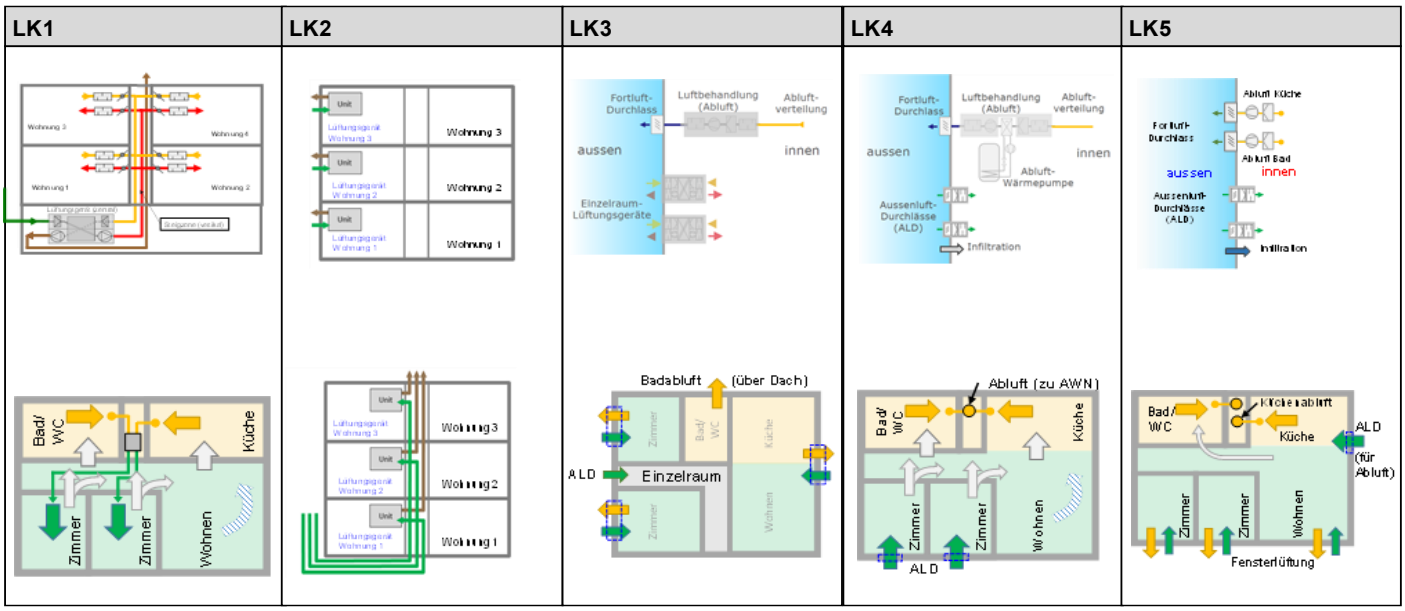
Mit Unterstützung von

energieschweiz

Schlussbericht, 21. Februar 2022 (Rev. A; 28.12.2022)

Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten



EnergieSchweiz
Bundesamt für Energie BFE

Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen

Postadresse:
CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444
energieschweiz.ch

Autoren
Heinrich Huber, HSLU
Gianrico Settembrini, HSLU
Alex Primas, HSLU
Stephan Zuber, HSLU

Begleitgruppe
Adrian Grossenbacher, BFE
Christoph Gmür, Bd Zürich / AWEL
Franz Sprecher, AHB
Martin Imholz, Kanton Uri
Robert Minovsky, Minergie
Martin Müller, Kanton Thurgau
Alfonso De Stefani, IG Passivhaus

Diese Studie wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz erstellt.

Kofinanzierung
Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK), c/o AWEL, Stampfenbachstr. 12, 8090 Zürich
Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Lindenhofstrasse 21, 8001 Zürich
MINERGIE Schweiz, Bäumleingasse 22, 4051 Basel

Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Zusammenfassung

Ausgangslage

Der Hauptzweck einer Wohnungslüftung ist es die Raumluftqualität bzw. den Aussenluftwechsel so sicherzustellen, dass keine Belästigung und kein Gesundheitsrisiko für die Benutzer auftritt und das Gebäude nicht geschädigt wird (SIA 180, 2014). Für die Beurteilung von Lüftungskonzepten lautet daher die Grundsatzfrage: Wie kommt man günstig, mit kleinem ökologischem Fussabdruck und hohem Nutzerkomfort zu guter Raumluft? Die vorliegende Untersuchung zeigt einen detaillierten Vergleich von Konzepten zur Belüftung von Wohngebäuden, der alle wesentlichen Faktoren einbezieht und für zukünftige Planungen die wesentlichen Hebel zur Optimierung aufzeigen kann.

Ziel ist es für das Gebäude das beste Konzept möglichst effizient und mit optimalem Nutzen für die Bewohner umzusetzen. Mit der vorliegenden Dokumentation werden wesentliche Punkte für die Planung aufgezeigt, um diese bei der Beurteilung konkreter Bauvorhaben einfach beiziehen zu können.

Vorgehen

Der erarbeitete Vergleich beinhaltet die folgenden fünf Lüftungskonzepte (LK):

- Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung als Mehrwohnungsanlage (LK 1)
- Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung als Einzelwohnungsanlage (LK 2)
- Konzepte mit Einzelraumlüftungsanlagen (LK 3)
- Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen und Abwärmenutzung (LK 4)
- Fensterlüftung mit bedarfsgeschalteter Badabluft (LK 5)

Für die Konzepte werden verschiedene Varianten der Ausführung untersucht, um deren Einfluss zu quantifizieren und die Bandbreite der Resultate aufzuzeigen. Die Bewertung erfolgt mit insgesamt 12 Kriterien die neben technischen Parametern wie Betriebsenergie, Materialökologie, Kosten und Raumbedarf auch Nutzer- bzw. gesundheitsrelevante Parameter wie Raumluftqualität, Akustik, Behaglichkeit und Robustheit bzw. Benutzerverhalten beinhalten.

Hauptergebnisse

Da der Hauptzweck eines Lüftungskonzepts die Sicherstellung der Raumluftqualität ist, darf ein Vergleich der Systeme nicht nur auf die Investitionen oder den ökologischen Fussabdruck reduzieren werden. Für die Bewertung müssen auch nicht oder nur schwer quantifizierbare Kriterien zu Gesundheit und Komfort einbezogen werden. Ein Vergleich der Basisvarianten zu den fünf Konzepten ist in Abbildung 1 für die untersuchten Kriterien dargestellt. Darin werden die Kriterien mit 0 bis 5 Punkten bewertet, wobei 0 der schlechteste und 5 der beste Wert über alle untersuchten Konzepte und Varianten ist.

Wird die Varianz der Resultate innerhalb eines Lüftungskonzeptes für die verschiedenen untersuchten Varianten betrachtet, so zeigt sich für die Konzepte mit Komfortlüftung und Wärmerückgewinnung (LK 1 und LK 2) eine deutlich kleinere Varianz bei den Nutzer- bzw. gesundheitsrelevanten Parameter im Vergleich zu den anderen Konzepten. Grosse Varianz zwischen den Varianten ist bei den Mehrwohnungsanlagen (LK 1) vor allem beim Stromverbrauch auszumachen. Bei den Einzelwohnungsanlage (LK 2) liegt die grösste Varianz beim Raumbedarf und der Materialisierung. Dies ist eng mit dem Aufstellungsstandort der Geräte verknüpft, der auch direkt Auswirkungen auf die Kosten hat (Investition und Unterhalt). Konzepte mit Einzelraumlüftungsanlagen (LK 3) zeigen eine grosse Varianz bei den Nutzer- bzw. gesundheitsrelevanten Parametern. Diese Bewertung ist eng verknüpft mit der Qualität der eingesetzten Geräte. Ähnliches gilt für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (LK 4). Hier ist die Varianz zudem abhängig vom Gebäude selbst (z.B. Luftdichtheit) und dem Nutzerverhalten (geringere Robustheit). Der systembedingte Unterduck in der Wohnung und die fehlende Erwärmung der Aussenluft im Winter sind dabei relevante Nachteile dieses Konzeptes. Die Fensterlüftung mit bedarfsgeschalteter Badabluft (LK 5) zeigt die grössten Varianzen bei der Raumluftqualität und dem Heizwärmebedarf. Diese beiden Parameter verhalten sich gegenläufig und sind durch das Nutzerverhalten bestimmt. Systembedingt ungünstig ist dieses Konzept bei der Robustheit, der thermischen Behaglichkeit und dem Schutz vor Aussenlärm.

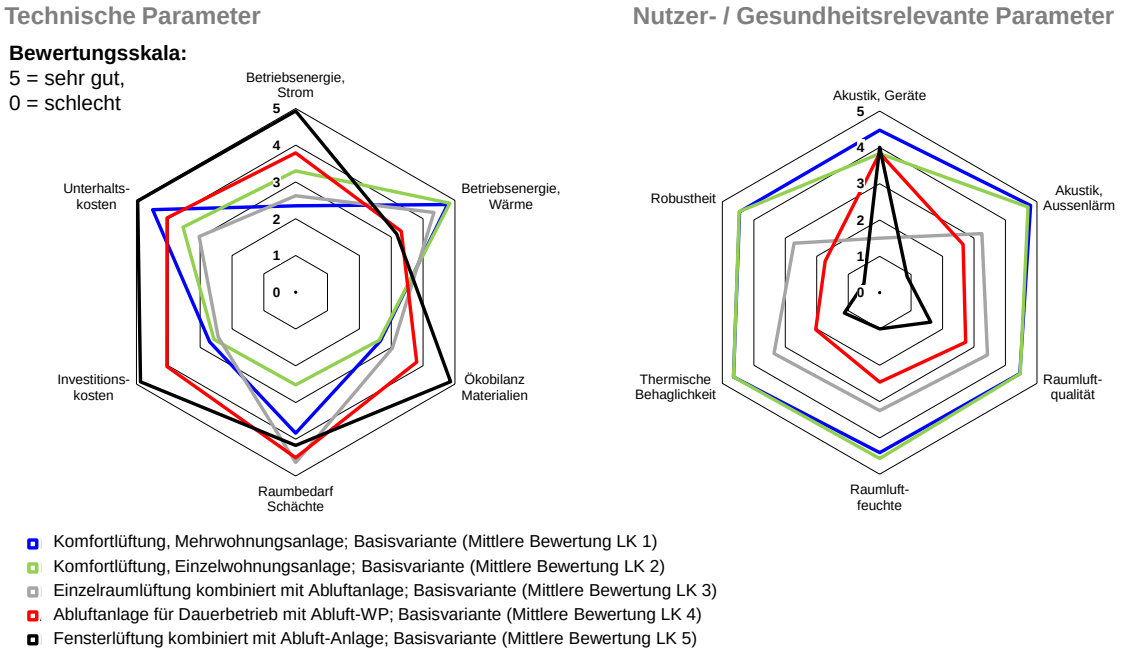


Abbildung 1: Zusammenfassende Bewertung der Lüftungskonzepte

Die Bewertungskriterien zur Materialökobilanz und der Betriebsenergie (Strom und Wärme) können in einer Gesamtbilanz zusammengefasst werden. Für diese Zusammenfassung wird von einer Wärmeerzeugung mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe und einem Strombezug ab Schweizer Verbrauchermix ausgegangen. Der Vergleich auf dieser Basis für den Indikator der Treibhausgasemissionen zeigt Abbildung 2. Auch die Resultate zu den Investitionskosten, Unterhaltskosten und der Betriebsenergie (Strom für Anlage und Wärmepumpe) können auf derselben Basis in einer Gesamtbewertung der Jahreskosten zusammengefasst werden. Dieser Vergleich ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Streubreiten in diesen beiden Abbildungen (dargestellt durch Fehlerindikatoren) zeigen die Variation aus der Variantenbetrachtung innerhalb eines Lüftungskonzeptes.

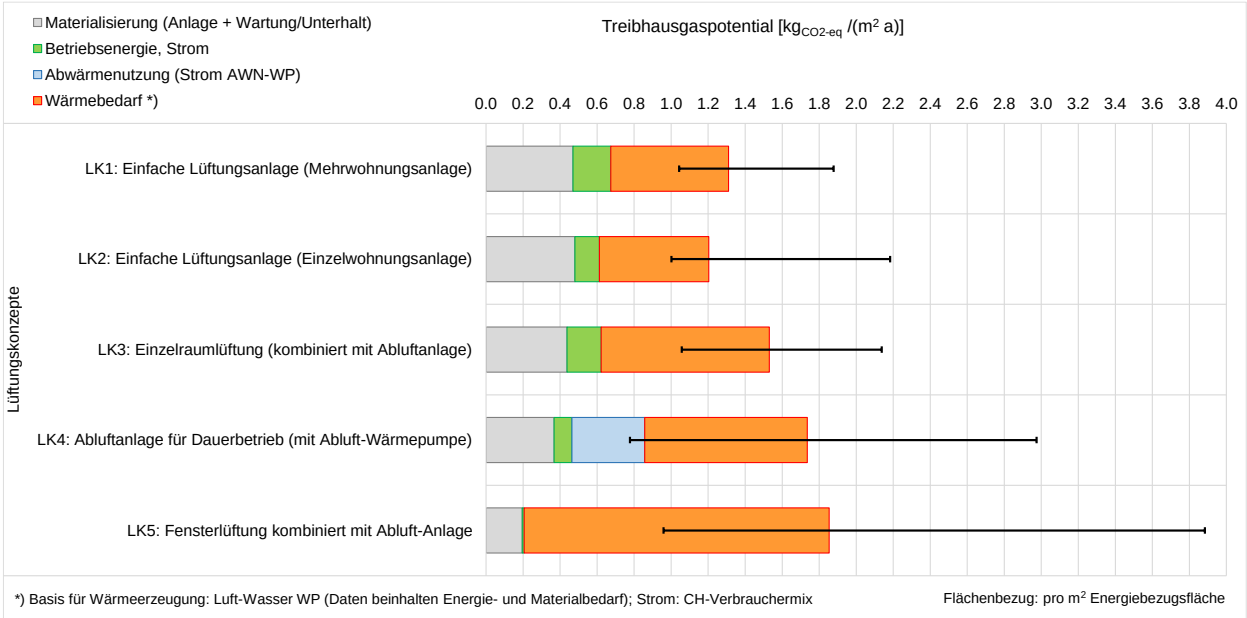


Abbildung 2: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Treibhausgaspotential

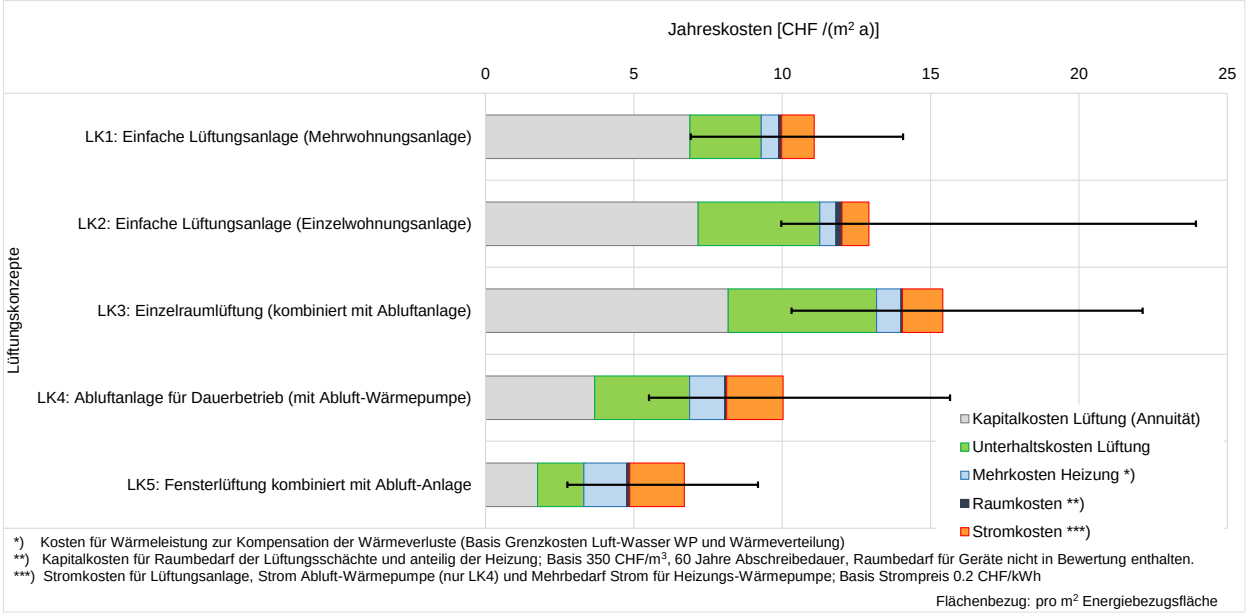


Abbildung 3: Konzeptvergleich, Gesamtbewertung Jahreskosten

Für alle Systeme spielt der Wärmebedarf (bzw. die Wärmeverluste) der Anlage im Vergleich der Gesamtökobilanz eine wesentliche Rolle. Insbesondere bei den Konzepten ohne Wärmerückgewinnung (LK 4 und LK 5) zeigt sich ein grosser Einfluss und eine grosse Varianz. Aus dem Vergleich der Jahreskosten ist zu entnehmen, dass die Instandhaltung über die Lebensdauer betrachtet einen vergleichbaren finanziellen Stellenwert hat wie die Investition selbst. Aus den teilweise grossen Streubreiten der Kennwerte kann geschlossen werden, dass die Gesamtkosten mit einem geeigneten Konzept deutlich beeinflusst werden können. Dabei ist zu beachten, dass bessere Werte für Raumluftqualität, Raumluftfeuchte, thermische Behaglichkeit, Robustheit, Betriebsenergie und Schallschutz oft durch höhere Investitionen und mehr Material bzw. graue Energie erkauft werden müssen. Die Relevanz und Gewichtung dieser Kriterien sind stark vom jeweiligen Objekt und seinen Rahmenbedingungen abhängig. Wichtig ist daher, dass in einem konkreten Projekt die verschiedenen teilweise gegenläufigen Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Ausblick

Mit den verschiedenen im Resultatkapitel erarbeiteten und diskutierten Lösungsvarianten soll der Bericht dazu beitragen, eine Systemoptimierung von Lüftungskonzepten einfacher und gesamtheitlicher zu ermöglichen. Auch die Einführung der Wohnungslüftungsnorm SIA 382/5 im Jahr 2021 kann ein Impuls für eine Weiterentwicklungen dieser Konzepte sein.

Entwicklungen in Richtung einer möglichst effizienter und wenig materialintensiver Luftführung sowie einer bedarfsgerechten Regelung sind wichtig. Die Kaskadenlüftung, als Kosten- und Lüftungstechnisch effiziente Lösung muss in Zukunft der Standard bei allen Anlagekonzepten sein.

Bei Konzepten mit Einzelraumgeräten bieten Systemen mit Nebenanschlüssen Potential für insgesamt günstigere Konzepte. Bei Abluftanlagen für Dauerbetrieb wie auch bei Konzepten die Fensterlüftung erfordern ist es wichtig, dass die Einschränkungen und Nachteile dieser Konzepte im Systementscheid und in der Planung berücksichtigt werden. Vor allem dem Einfluss durch die Nutzer (Robustheit, Einfluss auf Luftqualität) und dem Unterhalt der Aussenluftdurchlässe ist entsprechend Gewicht beizumessen.

Résumé

Introduction

Le but principal de l'aération dans les bâtiments d'habitation est d'assurer la qualité de l'air intérieur resp. le débit d'air neuf d'un manière telle qu'elle n'entraine aucune gêne et aucun risque pour la sante des occupants, et n'endommage pas le bâtiment (SIA 180, 2014). Pour l'évaluation des concepts de ventilation, la question fondamentale est la suivante : comment obtenir une bonne qualité de l'air intérieur de manière rentable, avec une faible empreinte écologique et un confort d'utilisation élevé ? Ce rapport présente une comparaison des concepts de ventilation pour les bâtiments résidentiels. L'évaluation prend en compte les facteurs pertinents et peut mettre en évidence les potentiels d'optimisation dans la planification des bâtiments résidentiels. L'objectif est de mettre en œuvre le concept de ventilation le mieux adapté au bâtiment. Il doit être aussi efficace que possible et offrir le plus grand bénéfice aux occupants. Cette documentation montre l'influence des décisions de conception dans la planification du concept de ventilation et doit soutenir l'évaluation dans les projets de construction.

Approche

La comparaison comprend les cinq concepts de ventilation (LK) suivants :

- Aération douce double flux avec récupération de chaleur, installation collective (LK1).
- Aération douce double flux avec récupération de chaleur, installation individuel (LK2).
- Concepts avec aération douce par pièce combinée à une installation d'air repris (LK 3)
- Aération simple flux avec bouches d'air neuf et d'air repris utilisant la chaleur perdue (LK 4)
- Aération par les fenêtres avec installation simple d'air repris en salles de bains (LK 5).

Différentes variantes de réalisation sont examinées pour chaque concept de ventilation afin de quantifier l'influence et de montrer la gamme de résultats pour chaque concept. L'évaluation est réalisée à l'aide de 12 critères qui comprennent des paramètres techniques tels que l'énergie d'exploitation, l'écologie des matériaux, les coûts et l'espace requis, ainsi que des paramètres pertinents à l'utilisateur et à la santé tels que la qualité de l'air intérieur, la protection contre le bruit, le confort thermique et la robustesse, respectivement l'influence du comportement de l'utilisateur.

Principaux résultats

L'objectif principal d'un concept de ventilation est d'assurer une bonne qualité de l'air intérieur. La comparaison des systèmes ne doit pas se limiter aux coûts de réalisation ou à l'empreinte écologique. L'évaluation doit également inclure des critères liés à la santé et au confort. La Figure 4 présente une comparaison entre les cinq concepts de ventilation. Elle montre l'évaluation de la variante de base de chaque concept pour les 12 critères examinés. Les critères y sont notés de 0 à 5, 0 étant la valeur la plus mauvaise et 5 la meilleure pour tous les concepts et variantes étudiés.

L'analyse des résultats montre que les différentes variantes du concept d'aération douce double flux (LK 1 et LK 2) présentent une variance significativement plus faible pour les paramètres pertinents à l'utilisateur et à la santé par rapport aux autres concepts. Les concepts d'aération douce en forme d'installations collectives (LK 1) montrent une grande variance dans la consommation d'électricité entre les différentes variantes de conception. Pour les systèmes d'aération douce en forme d'installations individuelles (LK 2), on constate une grande variation de l'espace requis et de l'écologie des matériaux entre les variantes de réalisation examinées. Ce résultat est étroitement lié à l'emplacement des appareils, qui a également un impact direct sur les coûts (investissement et entretien).

Les concepts avec aération double flux décentralisées pour pièces individuelles (LK 3) montrent une grande variance dans les paramètres pertinents à l'utilisateur et à la santé. Ce résultat est étroitement lié à la qualité des appareilles utilisées. Un résultat similaire est observé pour les systèmes d'aération simple flux avec bouches d'air neuf (LK 4). Dans ce cas la variation est dépendante du bâtiment (par ex. étanchéité a l'air de l'enveloppe) et de l'influence du comportement de l'utilisateur. La sous-pression inhérente au système dans le bâtiment et l'absence de préchauffage de l'air extérieur entrant sont des inconvénients de ce concept. La dépression dans le logement inhérente au système et l'absence de réchauffement de l'air neuf en hiver sont des inconvénients importants de ce concept. L'aération par les fenêtres avec installation simple d'air repris en salles de bains (LK 5) présente les plus grandes variations pour les critères de la qualité de

l'air intérieur et les besoins de chaleur pour le chauffage. Ces deux paramètres se comportent de manière opposée et sont avant tout déterminés par l'utilisateur. Par conséquent, ce concept présente des inconvénients inhérents au système en termes de robustesse, de confort thermique et de protection contre les bruits extérieurs.

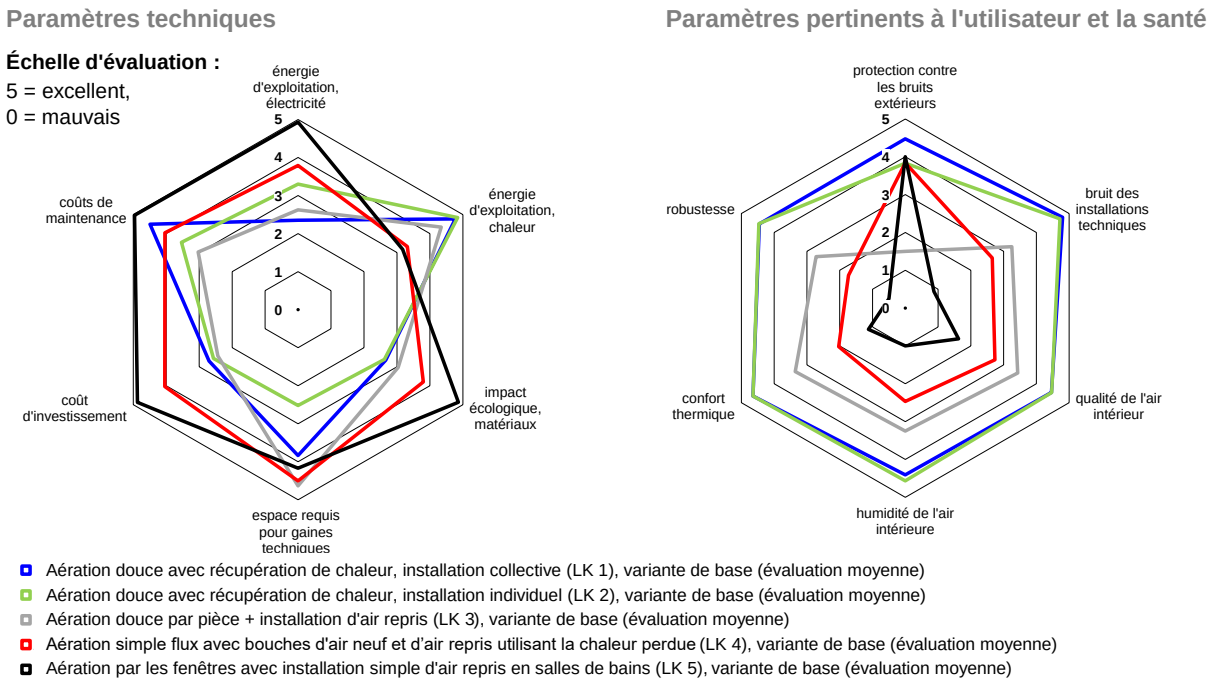


Figure 4: Évaluation des concepts de ventilation ; Résumé

Les résultats de l'analyse du cycle de vie des matériaux et de l'énergie d'exploitation (électricité et chaleur) peuvent être résumés dans une évaluation globale. Pour cette agrégation, la production de chaleur est définie avec une pompe à chaleur air-eau et les besoins d'énergie électrique avec le mix consommateur Suisse. La Figure 5 montre le résultat de cette comparaison pour l'indicateur des émissions de gaz à effet de serre.

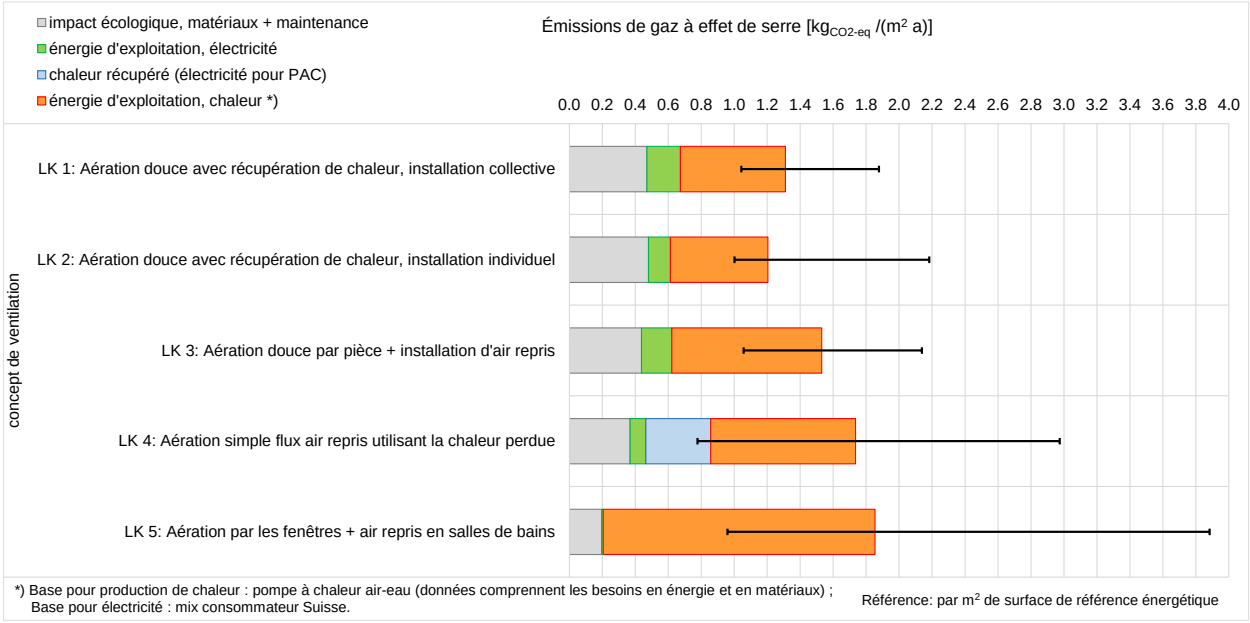


Figure 5: Comparaison des concepts, évaluation globale, émissions de gaz à effet de serre

Sur la même base, les résultats des coûts d'investissement, de maintenance et d'exploitation (coûts d'électricité pour le système d'aération et la pompe à chaleur) peuvent être résumés en coûts annuels. La Figure

6 présente le résultat de cette comparaison. La gamme de résultats pour chaque concept (représentées par les barres d'erreur) montrent la variation résultant de l'examen des différentes variantes de réalisation.

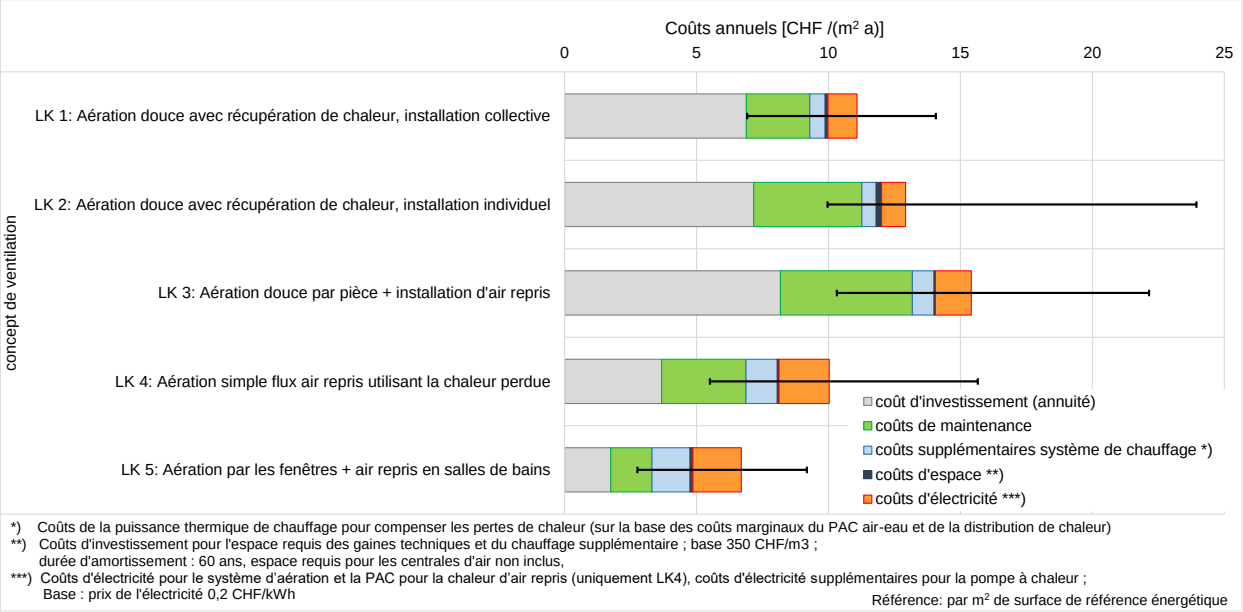


Figure 6: Comparaison des concepts, évaluation globale, coûts annuels

Pour tous les concepts de ventilation, le besoin de chaleur (ou pertes thermiques) du système joue un rôle important dans le résultat de l'analyse du cycle de vie. En particulier pour les concepts sans récupération de chaleur (LK 4 et LK 5), on constate une grande influence et une grande variabilité. La comparaison des coûts annuels montre que la maintenance a une importance financière comparable à l'investissement. La gamme de résultats pour chaque concept montrent la variation résultant de l'examen des différentes variantes de réalisation. La grande variance des résultats permet de conclure que les coûts totaux peuvent être fortement influencés par un concept approprié. Il convient de noter que de meilleures performances en matière de qualité de l'air intérieur, d'humidité de l'air intérieure, de confort thermique, de robustesse, de demande d'énergie d'exploitation et de protection contre le bruit sont souvent liées à un investissement initial et à des dépenses en matériaux plus élevés (plus d'énergie grise). Cependant, la pertinence et la pondération de ces impacts dépendent fortement des conditions sur site du bâtiment. Il est important de prendre en compte les différents paramètres, parfois contradictoires, dans un projet spécifique.

Perspectives

Avec les différentes variantes de conception élaborées et discutées dans le chapitre des résultats, le rapport doit contribuer à faciliter l'optimisation du système. La mise en œuvre de la nouvelle norme de ventilation mécanique dans les bâtiments d'habitation SIA 382/5 en 2021 peut également être une impulsion pour l'amélioration des concepts. Les développements en direction d'une distribution de l'air efficace sur le plan énergétique et matériaux, ainsi que le fonctionnement contrôlé par la demande, sont importants. La ventilation en cascade, en tant que solution efficace en termes de coûts et de ventilation, doit être la norme pour tous les concepts. Pour les systèmes avec aération douce pour pièces individuelles, les concepts avec des raccordements pour une deuxième pièce offrent un potentiel d'amélioration. Pour les systèmes d'aération simple flux avec bouches d'air neuf ainsi que pour les concepts qui nécessitent une aération par les fenêtres, il est important que les limites et les inconvénients de ces concepts soient pris en compte dans la décision du système. En particulier, l'influence du comportement de l'utilisateur (robustesse, influence sur la qualité de l'air intérieur) et l'entretien des entrées d'air neuf doivent être considérés. Il est important d'évoluer vers un système de ventilation le plus efficace possible et peu gourmand en matériaux, ainsi que vers une régulation adaptée aux besoins. La ventilation en cascade, en tant que solution efficace en termes de coûts et de ventilation, doit devenir la norme à l'avenir pour tous les concepts d'installation.

Abstract

Introduction

The main purpose of residential ventilation is to ensure good indoor air quality and sufficient outdoor air exchange. The requirement is to avoid nuisance or health risk for the occupants and structural damage of the building (SIA 180, 2014). For the evaluation of ventilation concepts, the basic question is: How can good indoor air quality be achieved cost-effectively, with a small ecological footprint and high user comfort? The report includes a comparison of ventilation concepts for residential buildings. The presented assessment considers the relevant factors and can point out potentials for the optimisation in future planning.

The aim is to implement the best suitable ventilation concept for the building. It shall be as efficiently as possible and allow the highest benefit for the occupants. This documentation shows the influence of de-sign decisions within planning and shall support the assessment within building projects.

Approach

The comparison includes the following five ventilation concepts (LK):

- Bidirectional Ventilation system with heat recovery and central air handling unit (LK 1)
- Bidirectional Ventilation system with heat recovery and unit for each dwelling (LK2)
- Concept with decentralized single room ventilation units (LK 3)
- Unidirectional exhaust air system with outdoor air inlets and waste heat recovery (LK 4)
- Natural window airing with demand-controlled extract air fan in bathrooms (LK 5)

For each concept different design variants are examined to quantify their influence and show the range of results for each concept. The assessment is carried out with 12 criteria which include technical parameters such as operating energy, material ecology, cost- and space requirements, as well as user and health-relevant parameters such as indoor air quality, acoustics, comfort, and robustness respectively the influence of user behaviour.

Main results

The main purpose of a ventilation concept is to ensure good indoor air quality. A comparison of different systems must not be reduced to the investment or the ecological footprint alone. For the assessment also health and comfort related criteria must be included. A comparison between the five concepts is shown in Figure 7. The comparison shows the rating of the basic design variant of each concept for 12 different criteria. Each parameter is rated from 0 to 5 points, with 0 being the worst and 5 the best rating across all concepts and variants examined.

The analysis of the results shows that different design variants of bidirectional ventilation systems with heat recovery (LK 1 and LK 2) have a significantly smaller variance for user and health-relevant parameters compared to the other concepts. A large variance in electricity consumption can be found within the different design variants of ventilation systems with heat recovery and central AHU (LK 1). For the single dwelling ventilation systems (LK 2) a large variance in requirements for space and materials between the design variants. This result is closely linked to the location of the units, which also has a direct impact on costs (investment and maintenance).

Concepts with decentralized single room ventilation units (LK 3) show a large variance in the user- and health-relevant parameters. This result is closely linked to the quality of the ventilation units used. The exhaust air systems with outdoor air inlets (LK 4) show a large variance in the user- and health-relevant parameters due to the influence of the building itself (e.g. air tightness) and the user behaviour. The system inherent underpressure in the building and the lack of preheating of the entering outdoor air are disadvantages of this concept. Concepts with natural window airing and a demand-controlled extract air fan (LK 5) show the largest variances in indoor air quality and heating demand. These two parameters behave in opposite ways and are above all determined by the user. Therefore, this concept has system inherent disadvantages in terms of robustness, thermal comfort, and protection from external noise.

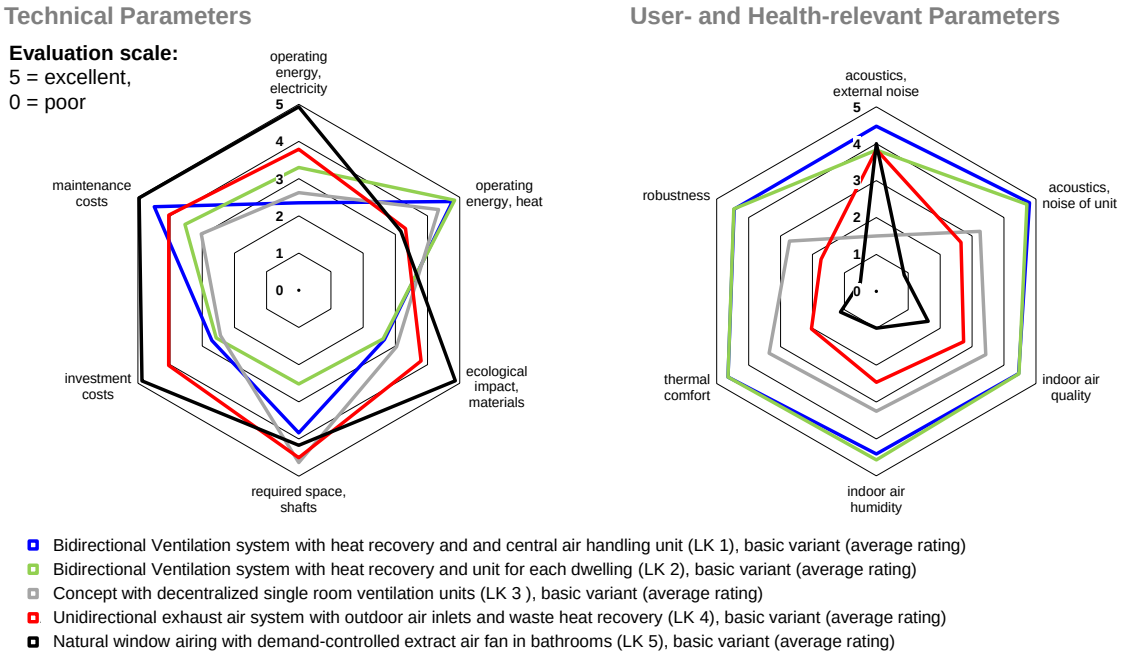


Figure 7: Evaluation of the ventilation concepts; Summary

The results of the material life cycle assessment and the operating energy (electricity and heat) can be summarised in an overall assessment. For this Aggregation the heat production is defined with an air-water heat pump and electricity according to the Swiss consumer mix. Figure 8 shows the result of this comparison for the indicator global warming potential.

On the same base the results of the costs for the investment, maintenance, and operating energy (electricity costs for ventilation system and heat pump) can be summarised to annual costs. Figure 9 shows the result of this comparison. The error bars in the figures show the range of results, depending on the design variant, for each concept.

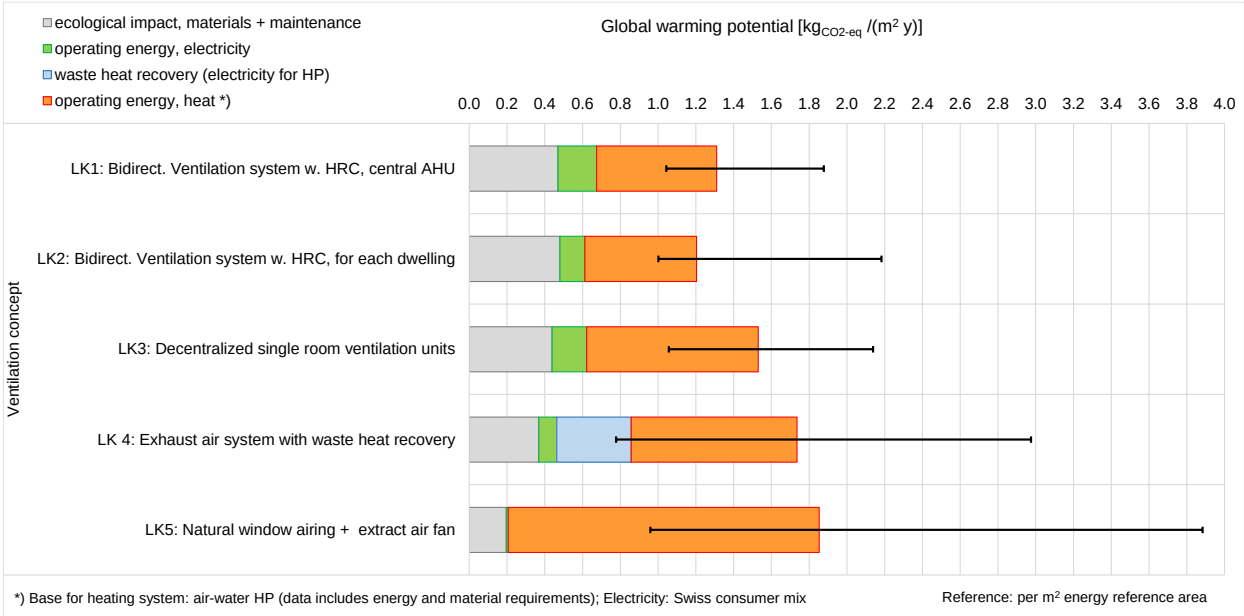


Figure 8: Concept comparison, overall assessment, global warming potential

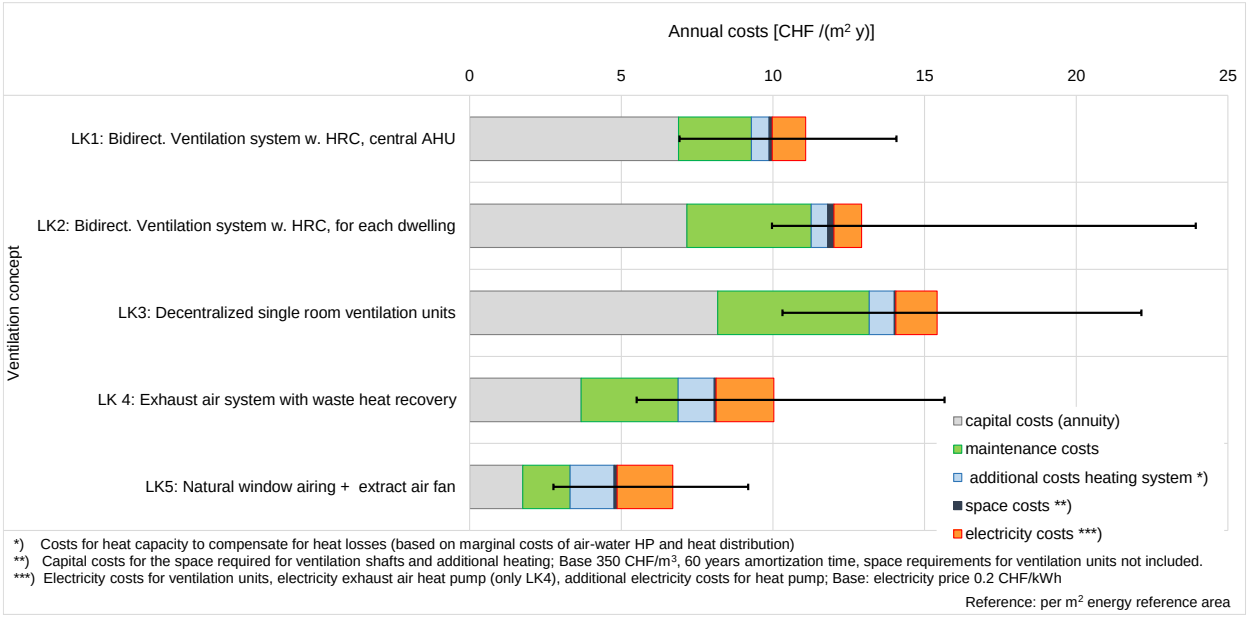


Figure 9: Concept comparison, overall assessment, annual costs

For all ventilation concepts, the heat demand (or heat losses) of the system plays a significant role in the overall result of the life cycle assessment. Particularly the concepts without heat recovery (LK 4 and LK 5), show a large influence and a large variance. The results of the annual costs show a comparable impact of maintenance costs over the service life as for the initial investment. The error bars in the figures show the range of results, depending on the design variant, for each concept. The large variance of the results within the ventilation concepts leads to the conclusion that total costs can be strongly influenced with a suitable design concept.

It should be noted that better performance for indoor air quality, indoor humidity, thermal comfort, robustness, operating energy demand and noise protection are often linked with higher initial investment and expenditure for materials (more grey energy). However, the relevance and weighting of these impacts are strongly dependent on the onsite conditions of the building. It is important to consider the various, sometimes contradictory, parameters in a specific project.

Outlook

With the results of the analysed and discussed design variants for each ventilation concept, the report should contribute to reach in practice more optimised concepts. The implementation of the new residential ventilation standard SIA 382/5 in 2021 can also be an impulse for further improvement of the concepts.

Developments in direction to an energy efficient and least material-intensive air distribution, as well as demand-controlled operation, are important. Cascade ventilation, as a cost- and ventilation-efficient solution, must be the standard for all ventilation concepts.

For systems with decentralized single room ventilation units, concepts with connections for a second room offer potential for improvements. For unidirectional exhaust air system with outdoor air inlets as well as for concepts that require natural window airing, it is important that the limitations and disadvantages of the concepts are considered in the system decision. In particular, the influence of the user behaviour (robustness, influence on air quality) and the maintenance of the outdoor air inlets must be considered accordingly.

Inhalt

1 Einleitung ... 16
1.1 Ausgangslage ... 16
1.2 Zielsetzung ... 16
1.3 Luftaustausch in Wohnungen ... 17
2 Methodik ... 19
2.1 Systemgrenzen ... 19
2.2 Vorgehen ... 19
3 Grundlagen ... 20
3.1 Literaturrecherche ... 20
3.2 Vorschriften und Normen ... 25
3.3 Lüftungstechnische Grundlagen ... 29
4 Definition der Lüftungskonzepte ... 38
4.1 LK1: Einfache Lüftungsanlage (Mehrwohnungsanlage) ... 38
4.2 LK2: Einfache Lüftungsanlage (Einzelwohnungsanlage) ... 40
4.3 LK3: Einzelraumlüftung (kombiniert mit Abluftanlage) ... 41
4.4 LK4: Abluftanlage mit Abluft-Wärmepumpe ... 42
4.5 LK5: Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage ... 43
5 Untersuchte Kriterien / Bewertungsparameter ... 45
5.1 Gesundheit ... 47
5.2 Akustik ... 47
5.3 Raumluftqualität ... 48
5.4 Raumluftfeuchte ... 50
5.5 Thermische Behaglichkeit ... 51
5.6 Robustheit, Benutzerverhalten ... 52
5.7 Betriebsenergie ... 54
5.8 Materialökologie ... 55
5.9 Gesamtökobilanz ... 58
5.10 Ökonomie ... 58
5.11 Gesamtbewertung der Jahreskosten ... 60
5.12 Instandhaltung und Reinigung ... 61
5.13 Raumbedarf ... 62
5.14 Weitere Kriterien (Nicht bewertet) ... 63
6 Resultate ... 64
6.1 Einführung ... 64

6.2 LK1: Einfache Lüftungsanlage (Mehrwohnungsanlage) 66
6.3 LK2: Einfache Lüftungsanlage (Einzelwohnungsanlage) 87
6.4 LK3: Einzelraumlüftung (kombiniert mit Abluftanlage) 105
6.5 LK4: Abluftanlage für Dauerbetrieb (mit Abluft-WP) 121
6.6 LK5: Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage 139
6.7 Sanierungen 149
6.8 Komfort 150
7 Schlussfolgerungen 151
7.1 Diskussion 151
7.2 Ausblick 170
8 Bibliographie 171
8.1 Abbildungsverzeichnis 171
8.2 Tabellenverzeichnis 173
8.3 Literaturverzeichnis 182
9 Anhang A; Literatur 186
9.1 Literaturstudie 186
10 Anhang zu LK1: Mehrwohnungsanlage 194
10.1 Basisannahmen für die Berechnungen 194
10.2 Standortvarianten Lüftungsgerät 196
10.3 Lage der Aussenluftfassung 210
10.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 215
10.5 Art der Wärmerückgewinnung 221
10.6 Luftverteilkonzept in der Wohnung 223
10.7 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 228
11 Anhang zu LK2: Einzelwohnungsanlage 234
11.1 Basisannahmen für die Berechnungen 234
11.2 Standortvarianten Lüftungsgerät 236
11.3 Lage der Aussenluftfassung 250
11.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 255
11.5 Art der Wärmerückgewinnung 261
11.6 Luftverteilkonzept in der Wohnung 264
11.7 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 270
12 Anhang zu LK3: Einzelraumlüftung 275
12.1 Basisannahmen für die Berechnungen 275
12.2 Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten 278
12.3 Anordnung und Einfluss der Aussenluftfassung 292
12.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 297

12.5 Art der Wärmerückgewinnung 303
13 Anhang zu LK4: Abluftanlage für Dauerbetrieb 306
13.1 Basisannahmen für die Berechnungen 306
13.2 Konzeptvarianten zu Abluftanlagen für Dauerbetrieb 307
13.3 Anordnung und Einfluss der Aussenluftfassung 322
13.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 327
13.5 Luftverteilkonzept und Art der Abwärmenutzung 333
14 Anhang zu LK5: Fensterlüftung mit Badabluft 340
14.1 Basisannahmen für die Berechnungen 340
14.2 Konzeptvarianten zur Fensterlüftung mit Badabluft 341
15 Gesamtbewertungen 366
15.1 Daten zur Gesamtökobilanz 366
15.2 Daten zur Gesamtbewertung Jahreskosten 371
16 Verwendete Ökobilanzdaten 374

Abkürzungsverzeichnis

ALD	Aussenluft-Durchlass
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeffizienzverordnung
ISO	Internationale Organisation für Normung
LK	Lüftungskonzept
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
RAL	Raumluftqualität
SFP	Spezifische Ventilatorleistung
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SPI	Spezifische Geräteleistung
SWKI	Schweizer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (D)
WRG	Wärmerückgewinnung

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Hauptzweck einer Wohnungslüftung ist es die Raumluftqualität bzw. den Aussenluftwechsel so sicherzustellen, dass keine Belästigung und kein Gesundheitsrisiko für die Benutzer auftritt und das Gebäude nicht geschädigt wird (SIA 180, 2014). Dies ist die wichtigste Anforderung, die ein Lüftungskonzept zu erfüllen hat. Die Entwicklung von Lüftungssystemen in Wohnbauten schreitet schnell voran: Einerseits werden immer mehr Wohnbauten mit einer mechanischen Lüftung ausgestattet und andererseits sind auch neue Lüftungskonzepte, wie z.B. die Verbundlüftung, aufgekommen. Aus diesen Gründen wurde auch eine neue Norm, die SIA 382/5 *Lüftung in Wohnbauten*, erarbeitet. Diese trat 2021 in Kraft und ersetzt das Merkblatt SIA 2023 *Lüftung in Wohnbauten* ersetzen.

Für die Beurteilung von Lüftungskonzepten für Wohngebäude bestehen bezüglich Energiebedarfes, ökologischen Auswirkungen (Energie und Materialien) sowie Lebenszykluskosten offene Fragen, wobei die Grundsatzfrage lautet: Wie kommt man günstig und mit kleinem ökologischem Fussabdruck zu guter Raumluft? In verfügbaren Studien wurden bereits einzelne Aspekte zu dieser Fragestellung beleuchtet, aber ein gesamtheitlicher Vergleich heute üblicher Lüftungskonzepte fehlt. Ein solcher Vergleich verschafft den Bauherrschaften einen Überblick und soll als objektive Entscheidungsgrundlage dienen. Neben einem solchen Vergleich fehlen auch klare Planungsempfehlungen mit den wesentlichen Hebeln bzw. Stolpersteinen für zukünftige Planungen.

Ein Vergleich, der wesentlichen Faktoren (Ökologie, Kosten, Luftqualität, Behaglichkeit) und auch aktuelle Konzepte und Lösungen zur Belüftung von Wohngebäuden einbezieht, ist für eine möglichst umfassende Beurteilung notwendig. Auch ist es wichtig für zukünftige Planungen die wesentlichen Hebel bzw. Stolpersteine zu eruieren und wo möglich zu quantifizieren

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Studie ist eine Bewertung von fünf verschiedenen Lüftungskonzepten für Wohngebäude mittels verschiedener Kriterien wie Heizwärmebedarf, Betriebsenergie, Materialökobilanz (graue Energie) und Lebenszykluskosten. Wenn ein Kriterium nicht quantifizierbar ist, sprich, nicht direkt mit einem Indikator in Zahlenwerten ausgedrückt werden kann (wie z.T. bei den Kriterien zu Gesundheit und Komfort), so ist dieser Parameter zumindest qualitativ zu beurteilen. Anschliessend sollen die Lüftungskonzepte mit den ermittelten Parametern verglichen werden. Des Weiteren soll die Sensitivität von wichtigen Parametern untersucht werden. Daraus zeigt sich wie stabil sich die Parameter bei schwankenden Einflussgrössen verhalten. Die Ergebnisse dieser Studie sollen schliesslich als Entscheidungshilfe bei der Systemwahl dienen und die wesentlichen Hebel bzw. Stolpersteine bei der Planung aufzeigen. Die Studie baut auf den Erkenntnissen aus dem SYGREN-Projekt (Settembrini, et al., 2019) auf.

Insbesondere sollen die folgenden Fragestellungen bearbeitet werden:

- Bewertung und Vergleich von fünf verschiedenen Lüftungskonzepten, von Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (ALD) bis hin zu Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung (WRG). Bei den letzteren wird zwischen Einzelwohnungsanlagen und Mehrwohnungsanlagen unterschieden. Zum Vergleich wird zudem die Fensterlüftung mit Badabluft betrachtet.
- Die Lüftungskonzepte sollen, soweit dies möglich ist, eine vergleichbare Raumluftqualität aufweisen und eine normgerechte Feuchteabfuhr sicherstellen. Unterschiede in Parametern zu Luftqualität oder anderen Aspekten wie Schallschutz oder thermische Behaglichkeit werden berücksichtigt und qualitativ in die Bewertung einbezogen.
- Die Einflussgrössen Regulierbarkeit, Materialisierung und Anordnung sollen für die Sensitivitätsbetrachtung einbezogen werden. Ebenso, ob die Luftleitungen innerhalb der Wohnung in der Betondecke eingelegt sind oder ob sie ausserhalb der Tragstruktur (z.B. in abgehängter Decke) geführt werden. Dafür wird wo immer möglich auf entsprechende Untersuchungen realer Objekte oder zur Ergänzung auf Planungswerte (Normwerte, prospektive Annahmen zu LCC) zurückgegriffen.

- Die grossen Hebel und wesentlichen Stolpersteine in der Planung und Realisierung von Lüftungsanlagen sollen analysiert und für zukünftige Planungen aufgezeigt werden.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen werden drei Endprodukte mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden erstellt:

1. Wissenschaftlicher Schlussbericht (inkl. aller Annahmen und Details)
2. Kurzdokumentation mit den wesentlichen Erkenntnissen (für Fachleute)
3. Merkblatt (für die Diskussion mit Bauherrschaften)

1.3 Luftaustausch in Wohnungen

SIA 180 schreibt in Kapitel 3.2 vor, dass die Raumluftqualität in einem genutzten Gebäude so sein muss, dass sie keine Belästigung und kein Gesundheitsrisiko für die Benutzer darstellt und das Gebäude nicht schädigt (SIA 180, 2014). Dies ist der Hauptzweck einer Wohnungslüftung bzw. eines Lüftungskonzeptes für ein Wohngebäude im Allgemeinen. Das Lüftungskonzept muss den Bewohnern erlauben jederzeit die dafür notwendige Lüftung sicherzustellen. Gemäss (SIA 180, 2014) Kapitel 3.5. gilt der Grundsatz, dass die Aussenluft-Volumenströme so zu wählen sind, dass die Schadstoffkonzentrationen und die Feuchte im Raum die maximal zulässigen Werte für die geplante Nutzungsart des Raumes nicht übersteigen. Dafür ist frühzeitig ein Lüftungskonzept entsprechend diesen Anforderungen zu erstellen.

Unabhängig von der Nutzung des Gebäudes ist es wichtig, dass die Lüftung von Gebäuden nicht einfach zufällig erfolgen soll, in dem Sinne, dass das Vorhandensein von Fenstern per se schon ausreichen würde. Auch eine natürliche Lüftung muss geplant werden, und zwar so, dass mit einem vernünftigen Nutzerverhalten die Anforderungen an die Raumluftqualität stets sicher erreicht werden, (BAG, 2019). In (SIA 382/1, 2014) wie auch in (SIA 2023, 2008) werden Hinweise, Vorgehensweise, Vor- und Nachteile und Einsatzgrenzen verschiedener Lüftungskonzepte aufgezeigt. Auch in (Hässig, et al., 2005) wurde versucht ein Entscheidungsinstrument für den Entscheid zur Notwendigkeit einer fensterunabhängigen Lüftung zu erstellen.

Bei der Fensterlüftung in Wohnbauten besteht insbesondere nachts im Winter immer ein Zielkonflikt zwischen hygienischer Raumluftqualität und den Lüftungsverlusten sowie der thermischen Behaglichkeit. Dieser Konflikt wird auch in (SIA 382/1, 2014) Kapitel 4.2.2.9 festgestellt: «Bei unsachgemässer Fensterlüftung ist der Energieverbrauch stark erhöht (Dauerlüftung mit gekippten Fenstern) oder die Luftqualität ungenügend (kein ausreichender Luftaustausch mit geschlossenen Fenstern)».

In (BAG, 2019) wird basierend auf (Bischof & Wiesmüller, 2007) folgendes festgehalten: Bei der Wahl von automatisierten Systemen beachtet werden, dass der Mensch ein grundlegendes Bedürfnis hat, seine Raumumgebung den eigenen Bedürfnissen anzupassen. Einstellungen für stärkere oder schwächere Lüftung sollten ermöglicht werden. Die Nutzer müssen über die Möglichkeiten informiert werden, die Bedienung muss einfach sein, und die technischen Systeme müssen auch wirklich reagieren. Sind diese Punkte erfüllt, hat das einen entscheidenden Einfluss auf die Zufriedenheit und die Akzeptanz gegenüber der Technik. Wird dieses Grundbedürfnis hingegen ignoriert, ist vermehrt mit Unzufriedenheit und Klagen über die Raumbedingungen oder die Lüftung zu rechnen, und zwar unabhängig von objektiv gemessenen Raumluftparametern.

In heute neu gebauten oder erneuerten Gebäuden ist eine gut gedämmte und dichte Gebäudehülle der Stand der Technik und eine Anforderung der Bauvorschriften. Damit wird die energetische Qualität der Gebäude und auch die thermische Qualität der Gebäude stark verbessert. Dadurch erhält die Planung des erforderlichen Luftaustausches eine viel grössere Bedeutung, da der unkontrollierte Luftwechsel durch Undichtheiten stark reduziert ist.

Wie eine mechanische Lüftung gemäss dem Stand der Technik zu planen und zu realisieren sind wird in der Schweiz in (SIA 382/1, 2014) und in SIA 382/5 (SIA 382/5, 2021) festgelegt. Wie ein Konzept mit Lüftung über die Fenster zu realisieren ist wird in erster Linie in (SIA 180, 2014) und (SIA 382/1, 2014) beschrieben.

In Deutschland wird seit Mai 2009 bei jedem Neubau oder umfassenden Sanierung, bei der die Luftdichtheit des Gebäudes relevant beeinflusst wird, ein Nachweis gemäss (DIN 1946-6, 2019) verlangt, mit dem nachgewiesen werden muss, dass in der Planungsphase Feuchte- und Schimmelschutz, Raumluftqualität und

Energieeffizienz thematisiert und entsprechende Lüftungsmassnahmen im Lüftungskonzept eingeplant und umgesetzt werden. Darin wird zwischen der freien und der ventilatorgestützten Lüftung unterschieden und es gelten unterschiedliche Anforderungen, die den Planern in wichtigen Punkten Rechtssicherheit verschafft. Aber verschiede Punkte und Faktoren (z.B. Grad der Zumutbarkeit von aktive Fensterlüftung für Bewohner oder Witterungseinflüsse) können damit auch nicht abschliessend gelöst werden.

In einer Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung (Kah, et al., 2011) zeigte sich, dass der mittlere Aussenluftwechsel bei den Wohnungen mit Fensterlüftung je nach Wohnung sehr unterschiedlich ausfällt (bis Faktor 10) und sich von Tag zu Tag stark unterscheidet. Dies wirkt sich auch auf die Luftqualität insbesondere im Schlafzimmer in der Nacht aus. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch in (Hässig & Primas, 2004).

Die Untersuchung (Ott, et al., 2006) zeigte durch Befragung von Mietern und Eigentümern, dass Wohnkomfort, Behaglichkeit, frische Luft, ausgeglichene Wohnungstemperaturen sowie wenig Zugluft als Wohnungsqualität geschätzt und gesucht werden. In dieser Untersuchung wurde auch eine Einschätzung des Nutzens von mechanischen Lüftungsanlagen im Bereich der Innenluftqualität durch die Monetarisierung der gesundheitlichen Auswirkungen von schlechter Luftqualität untersucht. Aus Sicht der Gesundheit sind in gemäss dieser Studie dabei Allergien, SBS (sick building syndrome), Atemwegserkrankungen, Lungenkrebs und reduziertes Wohlbefinden am wichtigsten. Die meisten Zusammenhänge zwischen Innenluftqualität und Gesundheit beruhen gemäss der Untersuchung bisher auf Annahmen und Vermutungen, da in der Regel keine Daten verfügbar sind. Trotz aller Ungenauigkeiten kommt die Studie zum Schluss, dass die Kosten von schlechter Innenluftqualität sehr hoch sein können. Energieeffiziente Wohnbaumassnahmen haben also neben den beabsichtigten Energieeinsparungen zusätzliche Nutzen für die BewohnerInnen, die, wie oben gezeigt, sehr grosse Auswirkungen haben können.

Auch die Untersuchung von (Unterberger, et al., 2014) kommt zum Schluss, dass sich durch Raumluftanlagen eine deutliche Reduktion an Gesamtfeinstaub und Pilzsporen in der Zuluft verglichen mit der Aussenluft einstellen. Darüber hinaus lieferten tendenziell jene Anlagen die besten Ergebnisse, die mit hochwertigen und dicht sitzenden Filtern ausgeführt wurden. Auch eine ergänzend vorgenommene humanmedizinische Bewertung der Ergebnisse kommt zum Schluss das insbesondere das reduzierte allergene bzw. irritative Potenzial im Vergleich zur Aussenluft zu erwähnen ist und damit eine insgesamt günstigere Situation als bei Fensterlüftung ergibt.

In (Unterberger, et al., 2014) wurde auch eine Abschätzung zu den Vermeidungskosten von Feuchte- und Schimmelschäden vorgenommen. Die kontrollierte Be- und Entlüftung gewährleistet einen zuverlässigen Schutz vor Feuchte- und Schimmelschäden. Das daraus abgeleitete jährliche Kosteneinsparungspotential wird in dieser Studie mit 1,28 €/m² Wohnnutzfläche quantifiziert.

2 Methodik

2.1 Systemgrenzen

Für den Vergleich der verschiedenen Lüftungskonzepte werden ausschliesslich Wohnbauten betrachtet. Dabei werden nur Mehrfamilienhäuser (MFH) mit zehn oder mehr Wohnungen und keine Einfamilienhäuser (EFH) berücksichtigt. Alle Aussagen und Erkenntnisse dieser Studie beziehen sich auf Wohnungen von MFH. Weiter werden nur Lüftungskonzepte berücksichtigt, welche die Anforderungen von Schweizer Vorschriften und Normen erfüllen. Zudem bezieht sich die Studie grundsätzlich auf Lüftungskonzepte in Neubauten, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

In dieser Studie werden nur Lüftungskonzepte behandelt, die in den Geltungsbereich der SIA 382/5:2021 fallen. Die betrachteten Lüftungskonzepte mit ihren Systemgrenzen sind in Kapitel 4 definiert. Nicht behandelt werden die folgenden Lüftungskonzepte:

- Luftheizungen
- Klima- und Teilklimaanlagen
- Aktive Luftbefeuchtung
- Belüftungen von Räumen ausserhalb des Wärmedämmperimeters

Auch nicht behandelt werden Lüftungskonzepte mit einer sehr geringen Verbreitung in der Schweiz, wie z.B. die automatische Fensterlüftung oder Lüftungsgeräte die als Kombigerät mit einer Wärmepumpe für die Erwärmung der Zuluft ausgestattet sind.

2.2 Vorgehen

Die Vorgehensweise beinhaltet die folgenden Schritte:

- **Grundlagen:** In einem ersten Schritt wird die bestehende Literatur aufgearbeitet, es werden bisherige, relevante Studien vorgestellt. Dabei baut die Literaturrecherche auf den Resultaten der SYGREN-Studie auf. Es werden jedoch auch zusätzliche Untersuchungen, die zu dieser Thematik durchgeführt wurden, mitberücksichtigt. Daneben wird auch ein Überblick über die relevanten Normen und Richtlinien gegeben. Schliesslich werden auch noch einige lufttechnischen Grundlagen beschrieben.
- **Definition der Lüftungskonzepte:** Die fünf zu untersuchenden Lüftungskonzepte inklusive Systemgrenzen werden definiert.
- **Untersuchte Parameter:** Die Parameter, nach denen die Bewertung der Lüftungskonzepte, werden definiert und erklärt. Dafür werden, wo relevant auch die zulässigen Wertebereiche der Parameter festgelegt.
- **Analyse und Auswertung:** Die fünf Lüftungskonzepte werden mit den festgelegten Parametern analysiert und bewertet. Als Basis für die Analysen wird ein vierstöckiges Mehrfamilienhaus mit 16 Wohnungen verwendet. Ausserdem werden Sensitivitätsanalysen mit ausgewählten Einflussfaktoren und Konzeptvarianten durchgeführt und diskutiert.

3 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die relevante Literatur sowie die technischen und rechtlichen Grundlagen für diese Studie beschrieben.

3.1 Literaturrecherche

3.1.1 Übersicht

Die durchgeführte Literaturrecherche fasst Studien, Berichte sowie Nachschlagewerke bezüglich Lüftungen in Wohnbauten zusammen. Dabei wurden in erster Linie Publikationen berücksichtigt, welche für den Schweizer Markt relevant sind. Zudem wurden relevante Untersuchungen aus Deutschland und Österreich mitberücksichtigt. Die Literaturrecherche umfasst insgesamt 55 Quellen. In der Recherche wurde ermittelt welche, für die Untersuchung relevanten, Kriterien in den Untersuchungen behandelt werden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht, über die Häufigkeit der einzelnen Kriterien, d.h., wie oft ein Kriterium bzw. Aspekt in den 55 Publikationen behandelt wird.

Tabelle 1: Anzahl Publikationen (Häufigkeit), welche die verschiedenen Kriterien behandeln

Kriterium	Häufigkeit
Akustik	22
Baupraxis	27
Benutzerverhalten	17
Betriebsenergie	25
Raumluftqualität	16
Erwartungshaltung	9
Gesundheit	18
Instandhaltung/Reinigung	13
Monitoring	12
Ökologie	18
Ökonomie	8
Raumfeuchte	16
Robustheit	18
Sicherheit	8
Thermische Behaglichkeit	23
Wohnung/Gebäude	17

Von Interesse waren dabei insbesondere auch Publikationen, die viele verschiedene Aspekte betrachten. Tabelle 2 zeigt wichtige Literaturquellen, d.h., Publikationen, in welchen mindestens acht der Kriterien behandelt werden.

Tabelle 2: Wichtige Literaturquellen

Publikation	**Anzahl Kriterien**
N. Akca, B. Fries, H. Kasa, N. Kretzschmar, M. Neidek, J. Probst und C. Schlüter (2017). *Integrierte Bestandsanierung von Wohnungsbauten mittels Lüftungsanlagen mit Wärme (IBWL).* Hochschule Bochum, Deutschland.	13
E. Sibille, G. Rojas-Kopeinig, R. Pfluger, A. Greml, A. Trojer, J. Suschek-Berger, M. Spörk-Dür, W. Wagner, A. Knotzer (2015). *low_vent.com Konzepte für die «low-tech» Komfortlüftung in grossvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort.* AEE – Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf, Österreich.	12
H. Huber (2009). *Luftaustausch.* Synthesebericht, AWEL, Stadt Zürich.	12
H. Huber (2016). *Komfortlüftung in Wohngebäuden – Systeme, Konzepte, Umsetzung.* Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. Köln.	11
A. Trogisch, M. Reichel (2018). *Planungshilfen Lüftungstechnik.* VDE VERLAG GmbH.	10
H. Huber, C. Hauri (2019). *Gute Raumluft – Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus.* Minergie Schweiz.	10
W. Hässig, A. Primas, D. Gerber, T. Weber, C. Hauri, H. Huber (2006). *Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern.* Basler & Hofmann AG, HTA Luzern.	9
C. Hoffmann, A. Primas, A. Geissler, H. Huber (2018). *Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) – Die Sichtweise der Nutzer.* FHNW, Muttenz, HSLU – T&A, Luzern.	9
H. Huber, C. Stünzi, C. Sibold, D.-S. Kunz (2018). *ABLEG – Abluftanlagen in der energetischen Gebäudesanierung.* FHNW, Muttenz.	9
H. Huber (2010). *Komfortlüftung – Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten.* Faktor Verlag, Zürich.	9
K. Knecht, D. Sigrist (2019). *Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner.* s3 GmbH, Dübendorf.	9
C. Hoffmann (2014). *Fensterlüfter: Literaturstudie, Markstudie und Thermische Simulationen.* FHNW, Muttenz.	8
M. Ménard, M. Mühlebach, L. Carisch, M. Talattad (2018). *Evaluation Lüftung «mehr als wohnen».* Amt für Hochbauten, Stadt Zürich.	8
A. Jenny, W. Ott, A. Primas, R. Bäumler (2009). *Nachhaltige Quartierentwicklung Grünau-Werdwies Zürich.* Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Wohnungswesen BWO, Amt für Hochbauten AHB, Liegenschaftenverwaltung Zürich LVZ, Stadtentwicklung Zürich STEZ.	8

Dabei wurde unterschieden zwischen Feldstudien, in denen z.B. mittels Messungen oder Befragungen Daten erhoben und ausgewertet werden, und Standard-/Nachschlagewerken, in denen Fachwissen überliefert wird – jedoch keine objektspezifischen Erkenntnisse enthalten sind.

Nachfolgend werden je die 3 relevantesten Publikationen kurz erläutert bzw. zusammengefasst. Im Anhang zur Literaturrecherche in Kapitel 9.1 wird dann auf die gesamte recherchierte Literatur eingegangen. In diesem Kapitel werden auch die Inhalte der übrigen Literaturquellen aus Tabelle 1 erläutert bzw. zusammengefasst.

3.1.2 Relevante Feldstudien

C N. Akca, B. Fries, H. Kasa, N. Kretzschmar, M. Neidek, J. Probst und C. Schlüter (2017). Integrierte Bestandsanierung von Wohnungsbauten mittels Lüftungsanlagen mit Wärme (IBWL).

Die Studie zielt darauf ab, ökonomische Hemmnisse, sowie technische Vorbehalte gegenüber Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung abzubauen. Neben den wirtschaftlichen und energetischen Fragestellungen wurden durch den gewählten Ansatz der Ausführung von Pilotprojekten auch baupraktische Fragestellungen untersucht. Ergänzt wurde die Bearbeitung durch Einschaltung unterschiedlicher Expertisen aus den Bereichen Recht, Hygiene, Akustik sowie durch Literaturrecherchen und Nutzerbefragungen. Die Befragungen zur Bauherren- und Nutzerakzeptanz zeigten, dass ein Interesse an Lüftungsanlagen in Wohnbauten besteht, wenn auch die Motivation nicht auf energetische Fragestellungen, sondern auf die Bauschadensverminderung (z.B. Schimmelpilzproblematik) zurückzuführen ist. Als Hauptgrund, warum sich oftmals gegen Lüftungsanlagen entschieden wird, werden die hohen Investitionskosten sowie die hohen Wartungskosten genannt. Die Befragung der Nutzer zeigte, dass ihre Akzeptanz hauptsächlich von der betriebenen Informationspolitik (Ankündigung, Einbeziehung, Einweisung, etc.) abhängt. Mittels Aufklärung und Information konnte nach dem Einbau von Lüftungsanlagen auch das Lüftungsverhalten der Nutzer erfolgreich verändert werden. Des Weiteren konnten bezüglich thermischer Behaglichkeit keine Hemmnisse bei den Nutzern festgestellt werden. Aufgrund der Anforderungen des Brandschutzes ist die Anwendung von zentralen Zu-/Abluftanlagen mit WRG bei der Bestandssanierung schwierig – hier weisen wohnungsweise zentrale Lüftungsanlagen und vor allem raumweise Lüftungsgeräte grosse strukturelle Vorteile auf. Allerdings stellt die Durchführung von Filterwechseln durch Fachpersonal sowohl ein organisatorisches wie auch ökonomisches Problem und somit ein klares Hemmnis bei der Verbreitung von dezentralen Lüftungsanlagen dar. Ausserdem wurde erkannt, dass bereits kleine Montagefehler zu deutlich gesteigerten Schallemissionen führen können. Der Heizwärmebedarf konnte durch den Einsatz von Lüftungsanlagen mit WRG um ca. 30 % gesenkt werden. Gemäss den Autoren werden jedoch auf Seiten der Wohnungswirtschaft in erster Linie funktionale, wartungsarme Lösungen gefordert, die den gesetzlichen Mindestanforderungen genügen, sowie einen Feuchteschutz der Immobilien gewährleisten. Die Effizienz der Lüftungsanlagen bzw. die Energieeffizienz der Immobilie stellt für die Wohnungswirtschaft kein entscheidungsrelevantes Kriterium dar. Vielmehr stellen die hohen Installations- und Betriebskosten Gründe dar, dass weiterhin oft auf den Einbau von Wohnungslüftungsanlagen verzichtet wird.

E. Sibille, G. Rojas-Kopeinig, R. Pfluger, A. Greml, A. Trojer, J. Suschek-Berger, M. Spörk-Dür, W. Wagner, A. Knotzer (2015). low_vent.com Konzepte für die «low-tech» Komfortlüftung in grossvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort.

In dieser Studie wurde untersucht, wie optimierte bzw. vereinfachte Konzepte von mechanischen Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung in mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern die Energiebilanz der Lüftungsanlage beeinflussen und wie diese Konzepte von den Bewohnern und Nutzern bewertet werden. Dabei werden drei verschiedene Versionen einer Kaskaden-Lüftung verglichen: Ein Low-Tech System, ein Standard-System und ein Komfort- bzw. High-Tech-System. Die Systeme unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich der Volumenstromregelung und Eingriffsmöglichkeit durch die Nutzer. In einem ersten Schritt werden die Vor- und Nachteile der drei verschiedenen Lüftungskonzepte qualitativ beschrieben. Danach wurden für ausgewählte Demonstrationsgebäude mit verschiedenen (zentralen und dezentralen) Lüftungssystemen finanzielle und ökologische Lebenszyklusanalysen durchgeführt. Dabei ergaben sich die folgenden Erkenntnisse bezüglich der Optimierung von Lüftungsanlagen:

- Es sollten Kunststoff- statt Metallkanäle verwendet werden. Dies reduziert sowohl die Gesamtkosten wie auch den totalen Primärenergieaufwand.
- Die Kaskadenlüftung (Wohnzimmer als reine Überströmzone ohne eigene Zuluft) erlaubt im Vergleich zur normalen Luftführung (mit Zuluft im Wohnzimmer) signifikante finanzielle und energetische Einsparungen. Dabei bleibt die Luftqualität befriedigend.
- Die zentrale und wohnungsweise Verteilung ermöglicht eine Kosten- und Energieeinsparung im Vergleich zu der semi-zentralen Lösung. Die wohnungsweisen Varianten sind im Vergleich zu den zentralen Varianten kostengünstiger, aber die zentralen Varianten ermöglichen größere Energieeinsparungen.

Bei der Nutzerbefragung wurde die Möglichkeit, ständig frische Luft zur Verfügung zu haben, als Hauptgrund für eine Komfortlüftung genannt. Weiter zeigte sich, dass sich die Bewohner Regelungsmöglichkeiten wünschen, diese müssen aber nicht zu differenziert sein. Einige Bewohner sprechen Probleme mit Geruchsübertragung oder Zugluft an. Zudem gibt es gemäss den Bewohnern Überhitzungsprobleme im Sommer und Probleme mit trockener Luft im Winter.

H. Huber (2009). Luftaustausch.

Im Rahmen des Projektes Luftaustausch des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich wurden zu den fünf Themenkreisen/Modulen «Systemwahl», «Automatische Fensterlüftung», «Raumluftströmungen in Wohnbauten», «Raumluftströmungen in Schulräumen und Bettenzimmern» und «Qualitätssicherung» Grundlagen geschaffen und Werkzeuge erarbeitet. Dabei hat man sich auf die typischen Gebäude- und Nutzungsarten konzentriert, die im Immobilienportfolio der Stadt Zürich zu finden sind. Im Fokus des Projektes Luftaustausch stehen daher Schulbauten, Gesundheitsbauten und Wohnbauten. Zu jedem Modul liegen Berichte vor, wobei jeweils die folgenden Resultate erarbeitet wurden:

- Modul 1: Für die vier Lüftungssysteme des Merkblatts SIA 2023 (Automatische Fensterlüftung, Einzelraumlüftungsgeräte, Einfache Abluftanlage und Komfortlüftung) wurde eine Beurteilungsmatrix erstellt. Darin werden diverse Kriterien der Kategorien Energie, Hygiene, Behaglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Nutzung, Vorgaben und bauliche Anforderungen qualitativ bewertet. Die Beurteilungsmatrix dient als Unterstützung der Selektion des optimalen Lüftungssystems in einer frühen Planungsphase.
- Modul 2: Anhand von Strömungssimulationen mittels CFD wurden die Raumluftströmungen in Wohnungen, Schulen und Gesundheitsbauten untersucht und Empfehlungen für die Anordnung der Luftdurchlässe erstellt.
- Modul 3: Mit Messungen des Energieverbrauches und der Raumluftqualität wurde ermittelt, ob eine automatische Fensterlüftung in Schulräumen eine praxistaugliche und gute Alternative zu Konzepten mit WRG darstellt. Als Messobjekte dienten zwei Schulzimmer mit automatischer Fensterlüftung sowie zwei Schulzimmer mit handbetätigter Fensterlüftung. Dabei schnitt die automatische Fensterlüftung bezüglich Nutzerakzeptanz, Raumluftqualität und Heizenergieeinsparung gut ab.
- Modul 4: In einer Neubauwohnung wurden Einzelraumlüftungsgeräte messtechnisch untersucht. Zudem wurde die graue Energie bilanziert und mit Komfortlüftungen verglichen. Die Resultate zeigten, dass die CO_2-Werte in der Raumluft teilweise zu hoch waren. Des Weiteren störten sich einige Nutzer an den Geräuschen der Ventilatoren.
- Modul 5: Für den Luftaustausch in Wohnungen, Schulzimmern und Gesundheitsbauten (Bettenzimmer) wurden für die Phasen Planung, Realisierung, Abschluss und Betrieb qualitätssichernde Kontrollpunkte formuliert und in einem Kurzbericht zusammengefasst. Diese Umsetzungskontrolle soll jeweils zu Beginn der Planung besprochen werden.

3.1.3 Standard- und Nachschlagewerke

H. Huber (2016). Komfortlüftung in Wohngebäuden – Systeme, Konzepte, Umsetzung.

Dieses Buch ist eine umfassende Handlungsanleitung zur Auswahl, Planung, Installation und Instandhaltung von Lüftungsanlagen mit mechanisch geförderter Zu- und Abluft sowie Wärmerückgewinnung für Wohnungen und Einfamilienhäuser im Neubau und Bestand. Es vermittelt umfassende Grundlagen (zentrale Begriffe, Definitionen, Überlegungen zu Raumluftqualität und Wirtschaftlichkeit) sowie Informationen von der Auswahl über die Konzeption bis zur Umsetzung und Wartung. Es werden nicht nur die Vor- und Nachteile, sondern auch die Einsatzgrenzen von Komfortlüftungen dargestellt. Zudem werden Hintergrundinformationen, effiziente Planungsabläufe und relevante Kriterien des Lüftungslayouts, technische Umsetzung, Geräte, Instandhaltung und bauphysikalische Aspekte, wie Schall- und Brandschutz, im Detail beschrieben. Beispiele, Modellrechnungen und Merksätze ermöglichen die konkreten praktischen Anwendungen. Schliesslich wird auch ein Überblick über die relevanten Regelwerke in Deutschland, Österreich und der Schweiz gegeben.

A. Trogisch, M. Reichel (2018). Planungshilfen Lüftungstechnik.

Dieses Handbuch beschreibt das lüftungstechnische Grundwissen, um für ein Bauobjekt das optimale Lüftungssystem auszuwählen. Dabei veranschaulicht es insbesondere die physikalischen und technischen Zusammenhänge der Lüftungstechnik und vermittelt wichtiges Grundwissen wie Vorbemessungs- und Berechnungsverfahren oder die Funktionsweisen unterschiedlicher Lüftungssysteme. Architekten, Planer und Ingenieure können damit die Auswirkungen der Lüftung und ihrer Komponenten auf Innenausbau und Gebäudehülle beurteilen und sich auch bei diesem Aspekt kompetent in die Ausgestaltung des Bauwerks einschalten. Es werden die aktuellen technischen Lösungen vorgestellt, unter den zukünftig immer wichtiger werdenden Aspekten wie Behaglichkeit, energetischer Aufwand, Optimierung der Investitionskosten und Nachhaltigkeit, der Inspektion und Wartung sowie der Ablufterfassung in industriellen Fertigungsstätten.

H. Huber, C. Hauri (2019). Gute Raumluft – Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus.

Diese kurze Informationsbroschüre gibt einen guten Überblick über die in der Schweiz gängigen und für die Minergie-Zertifizierung akzeptierten Lüftungssysteme, auch Standardlüftungssysteme genannt. Zuerst werden jedoch der Sinn und Zweck sowie die wichtigen Punkte einer Wohnungslüftung erläutert, sprich, auf was zu achten ist. Auch werden häufige Fragen von Bauherren adressiert. Anschliessend werden dem Leser die verschiedenen Prinzipien der Lufterneuerung (innerhalb der Wohnung) erklärt: Kaskadenlüftung, Verbundlüftung und Einzelraumlüftung. Nachdem die drei Standardlüftungssysteme Komfortlüftung, Abluftanlage und Einzelraumlüftung erklärt sind, werden die Vor- und Nachteile dieser Systeme bezüglich diverser Kriterien (z.B. Energie oder Schallschutz) gezeigt. Abschliessend werden noch diverse Hinweise für Fachleute sowie Praxisbeispiele genannt. Diese Publikation bietet demnach sowohl für Bauherren, d.h. Laien, wie auch Fachleute eine gute Übersicht über die verschiedenen Lüftungssysteme sowie eine Hilfe zur Systemwahl.

3.2 Vorschriften und Normen

3.2.1 Überblick

Abbildung 10 zeigt die für Lüftungsanlagen wesentlichen gesetzlichen Vorschriften, Normen und Richtlinien/Merkblätter, wobei die Übersicht nicht abschliessend ist – je nach Kriterium kommen noch weitere Vorschriften bzw. Normen dazu.

Themenbereich					
Gesetzliche Grundlagen und Verordnungen	**EnG** Energiegesetz des Bundes	**EnV** Energieverordnung des Bundes	**EnEV** Energieeffizienzverordnung des Bundes	**MuKEn 2014** Kantonale Energievorschriften	**VKF 26-03** Brandschutz Brandschutzrichtline Lufttechnische Anlagen
Allgemeine Grundlagen	**SIA 180** Behaglichkeit Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau	**SIA 181** Schallschutz Schallschutz in Hochbauten	**SIA 2024** Standardnutzungen Raumnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik	**SIA 2028** Klimadaten Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik	
Fach-Grundlagen	**SIA 382/1** Lüftungsanlagen allgemein Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen	**SIA 382/5** Lüftungsanlagen Wohnbauten Lüftung in Wohnbauten (bisher SIA 2023)	**SWKI VA 104-01** Hygiene-Anforderungen Hygiene-Anforderungen an raumlufttechnischen Anlagen und Geräte	**SWKI 95-2** Instandhaltung Instandhaltung lüftungstechnischer Anlagen	
Berechnung	**SIA 382/2** Leistungs- und Energiebedarf Klimatisierte Gebäude - Leistungs- und Energiebedarf	**Minergie** Dimensionierungshilfe Komfortlüftung Dimensionierungshilfe Komfortlüftung			
Energiebedarf, Verbrauch, Bewertung	**SIA 2023** Energieausweis Energieausweis für Gebäude	**SIA 2040** Effizienzpfad SIA-Effizienzpfad Energie	**SIA 2032** Graue Energie Graue Energie von Gebäuden		
Ergänzungen	**SIA 380/4** Elektrische Energie Elektrische Energie im Hochbau	**SIA 386.110** Energieeffizienz Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomationen und Gebäudemanagement	**EKAS-Checklisten 6807** Instandhaltung Instandhaltung von raumlufttechnischen Anlagen		

Farblegende: Grün: energetische Vorschriften | Orange: Schutzvorschriften

Abbildung 10: Wesentliche Regelwerke für Lüftungsanlagen in Wohnbauten

Der Bund regelt die gesetzlichen Mindestanforderungen bezüglich Energieeffizienz im Energiegesetz (EnG), in der Energieverordnung (EnV) sowie in der Energieeffizienzverordnung (EnEV). In Anhang 1.17 der Energieeffizienzverordnung (EnEV) werden Anforderungen an die Energieeffizienz für das Inverkehrbringen von Lüftungsanlagen definiert. Diese basieren auf der EU Verordnung Nr. 1253/2014 (Ökodesign-Verordnung). Die kantonalen Energiegesetze wurden mit den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn) jedoch weitgehend harmonisiert. Sowohl die Bundes- wie auch die Kantonalrechtlichen Bestimmungen sind zwingend zu erfüllen. Zusätzlich muss auch die Brandschutzrichtlinie der VKF (Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen) erfüllt sein. Ergänzt werden diese gesetzlichen Vorschriften durch nationale Normen und Richtlinien des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) und Schweizerischen Vereins von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI). Diese Normen und Richtlinien sind als

Stand der Technik anerkannt und werden in Streitfällen als Basis hinzugezogen, wodurch sie verbindlichen Charakter erhalten.

Abbildung 11 zeigt, wie die wesentlichen Vorschriften und Normen verknüpft sind bzw. auf welchen Europäischen Vorschriften und Normen die Schweizerischen basieren.

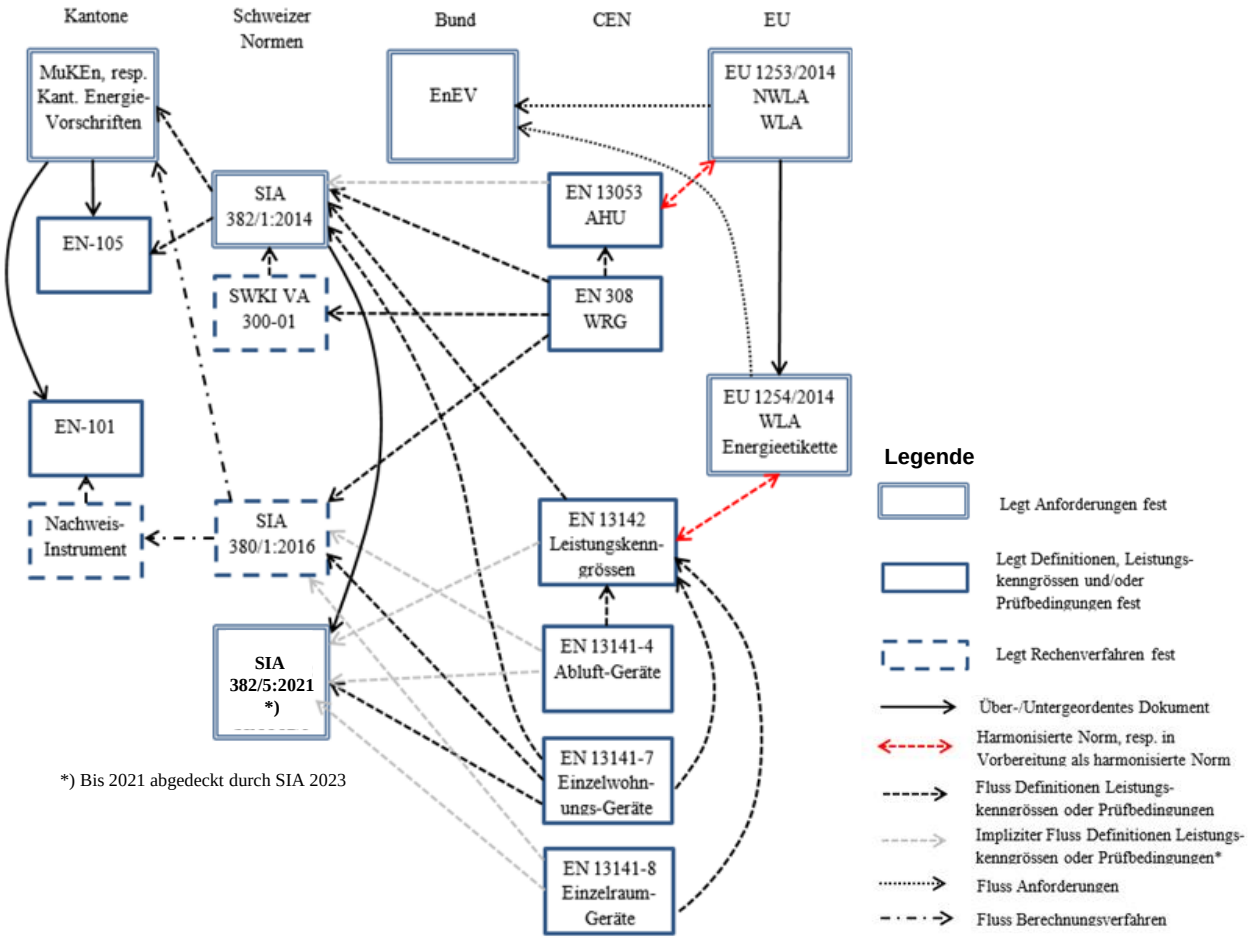


Abbildung 11: Zusammenhänge bei Vorschriften und Normen

3.2.2 Relevante Normen und Merkblätter

SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden»

Die Norm SIA 180 (SIA 180, 2014) bildet die schweizerische Grundlagennorm zur Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas und Vermeidung von Bauschäden. Eine der grundlegenden Anforderungen lautet, bereits im Vorprojekt ein Lüftungskonzept zu erstellen, wobei die folgenden drei Lüftungsprinzipien möglich sind: Natürliche Lüftung, einfache Abluftanlage (mit geplanter Nachströmung) und mechanische Zu-/Abluftanlage. Dabei muss das Lüftungskonzept zwingend die Anordnung der Luftdurchlässe wie auch die Betriebsart enthalten und das gewählte Lüftungsprinzip muss den notwendigen Luftvolumenstrom gewährleisten können.

SIA 382/1 «Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen»

Die Norm SIA 382/1 (SIA 382/1, 2014) gilt als allgemeine Norm für Lüftungsanlagen in personenbelegten Räumen und ist daher den übrigen schweizerischen Lüftungsnormen und -richtlinien übergeordnet. Sie beschreibt die grundsätzlichen Kriterien für die Wahl der Lüftungsstrategie und nennt die technischen Rahmenbedingungen zur Erreichung eines möglichst geringen Energieverbrauchs für die Luftaufbereitung und Luftförderung in Lüftungs- und Klimaanlagen. Zusätzlich werden die Bedingungen festgelegt, unter welchen eine Kühlung, Be- oder Entfeuchtung der Raumluft zweckmässig ist. Die Norm ist allerdings sehr allgemein gehalten und geht nicht spezifisch auf Wohnungslüftungen ein.

SIA-Merkblatt 2023 «Lüftung in Wohnbauten» (abgelöst durch SIA 382/5)

Im Gegensatz zur allgemeinen Norm SIA 382/1 geht das SIA-Merkblatt 2023[1] vollständig auf die Wohnungslüftung ein war daher bis zur Publikation der SIA 382/5 im Mai 2021 massgebend für deren Dimensionierung. Es werden beide Lüftungsmethoden (natürliche und mechanische Lüftung) berücksichtigt und die folgenden im Wohnbereich üblichen Lüftungssysteme beschrieben:

- Fensterlüftung
- Einfache Abluftanlage
- Einfache Lüftungsanlage (mit Zu- und Abluft)
- Einzelraum-Lüftungsgeräte
- Lüftungsanlage mit Lufterwärmung (als Nur-Luft-System, «Luftheizung»)

Für jedes Lüftungssystem werden jeweils Vor- und Nachteile sowie die Einsatzgrenzen diskutiert. Zudem werde diverse Systemoptionen, wie z.B. Erdreich-Wärmeübertrager, Abluft-Wärmepumpen und Vereisungsschutz der WRG, vorgestellt. Das SIA-Merkblatt 2023 fasst nochmals alle für Wohnungslüftungen relevanten Anforderung zusammen (wie z.B. die erforderlichen Aussenluftraten und energetischen Grenz-/Zielwerte). Schliesslich werden für alle betrachteten Lüftungssysteme numerische Dimensionierungs- und Planungsvorgaben gegeben. Ausserdem werden Hinweise zur Inbetriebnahme, Abnahme und zum Betrieb bzw. Unterhalt gegeben.

SIA 382/5: 2021 «Lüftung in Wohnbauten»

Die Norm SIA 382/5 (SIA 382/5, 2021) ersetzte im Jahr 2021 das SIA-Merkblatt 2023 (SIA 2023, 2008), weshalb die Sprache nun normativ ist (Anforderungen und keine Empfehlungen). Sie stellt die Grundlagen für die Planung, Realisierung, den Betrieb und die Instandhaltung von Lüftungen in Wohnbauten zur Verfügung. Die natürliche Lüftung wird jedoch nur noch am Rande behandelt. Sie soll später in einem neuen Merkblatt behandelt werden. Die Norm SIA 382/5 berücksichtigt einerseits Erfahrungen, welche mit der Anwendung des SIA-Merkblatts 2023 gemacht wurden und andererseits neue Entwicklungen im Markt und im europäischen Normenwesen. Im Vergleich zum SIA-Merkblatt 2023 sind insbesondere die folgenden Neuerungen zu beachten:

[1] Im Schweizerischen Regelwerk hat ein SIA-Merkblatt den Stellenwert einer Vornorm. Die SIA 2023 wurde im Mai 2021 abgelöst durch die Norm SIA 382/5: 2021

- Die Struktur hat an Klarheit gewonnen. Vor dem Beschrieb der üblichen Wohnungslüftungen und der Systemwahl werden die Anforderungen und Auslegungskriterien genannt.
- Bei der Luftverteilung bzw. Luftführung in den Wohneinheiten wird neu auch die Verbundlüftung behandelt.
- Die Druckbedingungen in den Wohnungen (maximal zulässige Über- bzw. Unterdrücke) werden nun klar definiert und anschaulich dargestellt.
- Die Anforderungen an die Raumluftqualität sind klarer formuliert, sprich, es werden spezifische CO_2-Pegel für die verschiedenen Anforderungen genannt.
- Die SIA 382/5 erlaubt in vielen Fällen eine Dimensionierung auf tiefere Luftvolumenströme.
- Die Anforderungen an den Vereisungsschutz werden verschärft.
- Neue Themen wie z.B. Pendellüfter und Energieetikette werden behandelt.

3.2.3 Umsetzung der Normen in der Baupraxis

Der aktuelle Stand der Technik wird zum einen durch die entsprechenden Normen abgebildet und bezieht andererseits auch die Erkenntnisse aus der Praxis mit ein. Ein guter Leitfaden mit Qualitätskriterien für eine gute Planung von Lüftungsanlagen ist in (Greml, et al., 2018) zu finden. In der Praxis oft nicht nach Norm geplant und gebaut werden insbesondre folgende Punkte:

- Wärmedämmung der Lüftungsleitungen (oft zu gering oder unvollständig ausgeführt).
- Aussenluftdurchlässe für Ersatzluft der Küchenabluft
- SIA-konforme Fensterlüftungen mit Abluft und kontrollierter Nachströmung
- Korrekte Dimensionierung der Aussenluftdurchlässe bei Abluftanlagen (vgl. LK 4)
- Luftfilterung und Wartung bei Aussenluftdurchlässen von Abluftanlagen (vgl. LK 4)

3.3 Lüftungstechnische Grundlagen

Grundsätzlich kann zwischen den folgenden beiden Lüftungsmethoden unterschieden werden, welche sowohl allein wie auch in Kombination eingesetzt werden können:

- *Natürliche Lüftung*: Wind und Auftriebskräfte führen zu Luftvolumenströmen durch geplante oder zufällige Öffnungen in der Gebäudehülle (spezielle Lüftungselemente, Fenster, Ritzen, Fugen, etc.).
- *Mechanische Lüftung*: Ventilatoren sorgen für den Lufttransport, wobei der Lufteintritt und -austritt immer an speziell dafür konzipierten Öffnungen erfolgt.

Während das *Lüftungssystem* das Gesamtsystem, bestehend aus Lüftungsanlage und dem Raum bzw. Gebäude, in dem sich der Luftaustausch abspielt, beschreibt, stellt die *Lüftungsanlage* lediglich die zur Ventilator-gestützten Lüftung erforderlichen Bauelemente dar. In Abbildung 12 sind die verschiedenen Anlagentypen definiert, je nach Funktionen der Lüftungsanlage (gemäss SIA 382/1).

	Anlagetyp	Zuluftförderung	Abluftförderung	WRG / AWN	Filterung der Zuluft	Heizen	Kühlen	Befeuchten	Entfeuchten	Farbcode der Zuluft
	Einfache Zuluftanlage	x	–	–	x	–	–	–	–	grün
	Zuluftanlage mit Lufterwärmung	x	–	–	x	x	–	–	–	rot
	Einfache Abluftanlage	–	x	–	–	–	–	–	–	–
	Abluftanlage mit Abwärmenutzung	–	x	x	–	–	–	–	–	–
Lüftungsanlage	Einfache Lüftungsanlage	x	x	x	x	–	–	–	–	grün *
Lüftungsanlage	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	x	x	x	x	x	–	–	–	rot
Lüftungsanlage	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und -befeuchtung	x	x	x	x	x	–	x	–	blau
Klimaanlage	Einfache Klimaanlage	x	x	x	x	x	x	–	(x)	blau
Klimaanlage	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	x	x	x	x	x	x	x	(x)	blau
Klimaanlage	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und -entfeuchtung	x	x	x	x	x	x	x	x	violett

* wenn mit der WRG die Zulufttemperatur auf über 17 °C gehalten werden kann, kann der Farbcode rot verwendet werden
– nicht beeinflusst durch das System bzw. nicht möglich oder nicht vorhanden
x durch das System kontrolliert und Einhaltung entsprechender Garantiewerte im Raum
(x) durch das System beeinflusst, aber ohne Garantiewerte im Raum

Betrachtete Systeme (Untersuchungsbereich)

Abbildung 12: Anlagentypen von Lüftungsanlagen nach Funktionen gemäss SIA 382/1

3.3.1 Lüftungssysteme

Im SIA-Merkblatt 2023 und der Broschüre «Gute Raumluft – Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus» (Huber & Hauri, 2019) sind drei Grundtypen von Lüftungssystemen mit mechanischer Lüftung beschrieben, welche am weitesten verbreitet sind und sich bewährt haben. Diese werden von Minergie als sogenannte Standardlüftungssysteme bezeichnet. Diese Minergie-Standardlüftungssysteme werden hier übernommen und mit der Fensterlüftung ergänzt. Die Beschreibung der drei mechanischen Lüftungssysteme lehnt sich an die Minergie-Broschüre an.

Einfache Lüftungsanlage (Komfortlüftung, Kontrollierte Wohnungslüftung)

Die Aussenluft gelangt über die Aussenluftverteilung zur Luftbehandlung. Dort wird sie gefiltert und durch die Wärmerückgewinnung (WRG) erwärmt oder (im Sommer) gekühlt. Anschliessend gelangt die Zuluft via Zuluftverteilung in die Wohnung, wo sie nach dem Kaskaden- oder Verbundprinzip geführt wird. Die Abluft gelangt über die Abluftverteilung zur Luftbehandlung zurück. Dort wird sie im Winter durch die WRG abgekühlt oder im Sommer erwärmt. Die Fortluft wird schliesslich über die Fortluftverteilung nach aussen geführt.

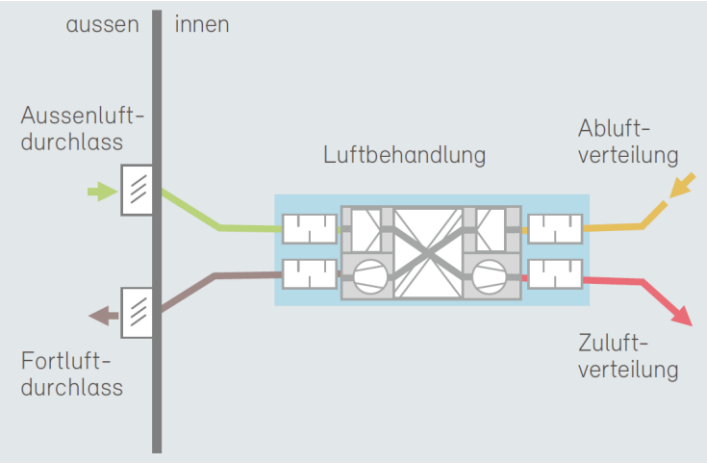


Abbildung 13: Schema einer einfachen Lüftungsanlage

Falls jede Wohnung ein eigenes Lüftungsgerät hat, spricht man von Einzelwohnungsanlagen. Falls jedoch eine zentrale Lüftungsanlage alle Wohnungen eines Mehrfamilien-Hauses versorgt, handelt es sich um eine Mehrwohnungsanlage.

Neben reinen Wärmeübertragern können für die WRG auch sog. Enthalpieübertrager eingesetzt werden. Diese gewinnen neben sensibler Wärme auch Feuchte zurück.

Beim Abkühlen der Abluft kann in der WRG Wasser kondensieren. In der kalten Jahreszeit kann das Wasser gefrieren und den Wärmeübertrager verstopfen, was die Funktion der ganzen Anlage beeinträchtigt. Deshalb ist ein Vereisungsschutz erforderlich. Enthalpieübertrager, die 70 % oder mehr der Feuchte von der Abluft in die Zuluft übertragen, gelten im schweizerischen Mittelland als ausreichenden Vereisungsschutz.

Abluftanlage

Bei Abluftanlagen wird nur die Abluft mechanisch gefördert, wobei die Luft in den Nassräumen abgesaugt wird. Dadurch entsteht in der Wohnung ein Unterdruck, der die Aussenluft über die Aussenluftdurchlässe (ALD) in den Zuluftbereich (Wohn- und Schlafzimmer) nachströmen lässt. Die Druckverhältnisse im Gebäude werden hauptsächlich durch die ALD bestimmt. Eine hohe Dichtheit der Gebäudehülle und richtig bemessene Überström-Luftdurchlässe innerhalb der Wohnung tragen massgebend zum Funktionieren dieses Lüftungssystems bei. Durch den systembedingen Unterdruck in der Wohnung wird immer ein Teil der Ersatzluft über Infiltration (Quelle nicht definiert) in die Wohnung strömen.

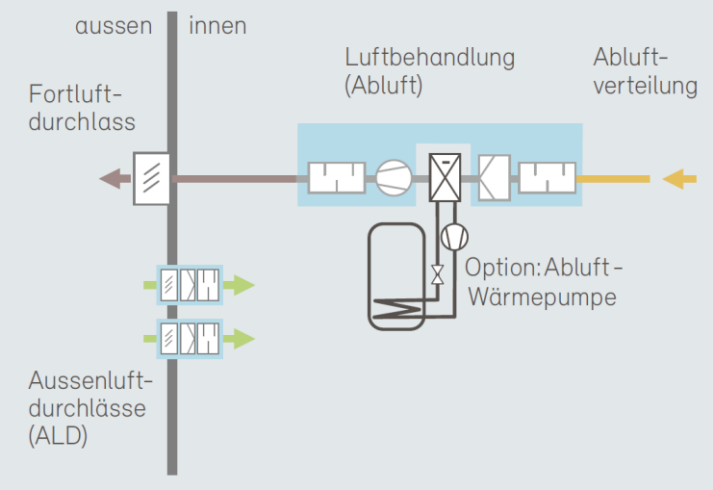


Abbildung 14: Schema einer Abluftanlage

Die ALD müssen zudem gegen Aussenlärm schützen (vgl. Lärmschutzverordnung) und je nach Anforderung und Aussenluftqualität mit Filtern ausgerüstet sein. In der Wohnung wird die Luft in der Regel nach dem Kaskadenprinzip geführt (siehe Kapitel 3.3.2). Zur Nutzung der Wärme in der Abluft können Abluft-Wärmepumpen eingesetzt werden. Die so gewonnene Wärme wird meist zum Bereiten des Warmwassers und teilweise als Heizungsunterstützung genutzt. Abluftanlagen lassen sich als Einzelwohnungsanlagen (ein Ventilator pro Nassraum) oder Mehrwohnungsanlagen (zentrale Ventilatoren) realisieren.

Einzelraumlüftung

Einzelraumlüftungsgeräte sind mit Zuluft- und Abluft-Ventilator, Filtern und WRG ausgestattet und belüften einzelne Räume. Die Luftbehandlung ist also gleich wie bei einer Komfortlüftung.

Häufig werden Einzelraumlüftungsgeräte mit Abluftanlagen kombiniert, wobei Bad, Dusche und WC keine Einzelraumlüftungsgeräte, sondern Abluftanlagen erhalten.

Auch bei Einzelraumlüftungen muss der Vereisungsschutz der WRG berücksichtigt werden. Auch hier lässt er sich z.B. mit einem Enthalpieübertrager lösen.

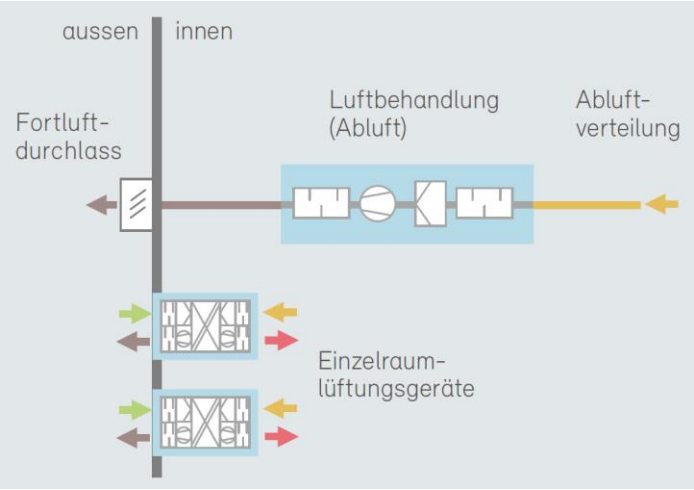


Abbildung 15: Schema einer Einzelraumlüftung kombiniert mit Abluftanlage

Fensterlüftung

Bei der Fensterlüftung erfolgt der Luftaustausch durch das manuelle oder automatische Öffnen von Fenstern (oder anderen Lüftungsöffnungen). Grundsätzlich wird unterschieden zwischen der einseitigen Lüftung und der Querlüftung. Bei der einseitigen Lüftung werden die Fenster nur an einer Fassade geöffnet. Der Luftaustausch wird dabei allein durch die Dichtedifferenz (meist infolge einer Temperaturdifferenz) zwischen innen und aussen bestimmt. Bei der Querlüftung ist meist der Wind die massgebende Antriebskraft.

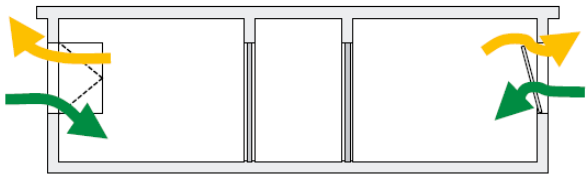


Abbildung 16: Schema einer Fensterlüftung mit Drehfenster (links) und Kippfenster (rechts) (grün: Aussenluft, gelb: Abluft)

Im Gegensatz zu mechanischen Lüftungssystemen gibt es in der Schweiz keine Norm für die Konzeption und Auslegung von freien Lüftungen bzw. Fensterlüftungen. In der SIA 382/1:2014 und im SIA-Merkblatt 2023 finden sich lediglich Richtwerte. Zudem stellt die SIA 180:2014 unter im Kapitel Lüftungskonzept einige allgemeine Anforderungen.

Fensterlüftungen sind oft mit Abluftanlagen für Bad/Dusche/WC kombiniert. In diesem Fall sind für die Nachströmung der Ersatzluft ALD erforderlich, entsprechend den Anforderungen der SIA 180:2014.

3.3.2 Luftverteilung in Wohnungen

Es gibt verschiedene Prinzipien, wie die Luft in den verschiedenen Wohneinheiten verteilt wird. Nachfolgend werden die drei Grundprinzipien der Luftführung vorgestellt, wobei sich die Beschreibung erneut an die Minergie-Broschüre «Gute Raumluft – Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus» lehnt (Huber & Hauri, 2019).

Kaskadenlüftung

In den Zimmern wird Zuluft zugeführt, während in Bad, Dusche, WC und Küche die Abluft abgeführt wird. Zwischen den Zuluft- und Abluft-Räumen befindet sich der Durchströmbereich. Dieser umfasst den Korridor und den offenen Wohnbereich. Im Durchströmbereich befinden sich keine Zu- oder Abluftdurchlässe.

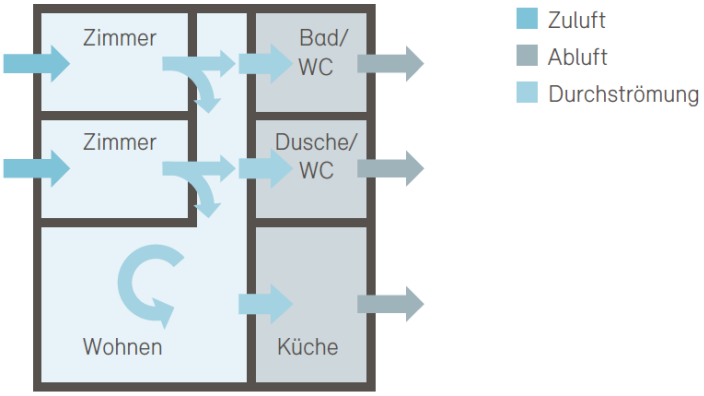


Abbildung 17: Prinzip der Kaskadenlüftung

Die Luft gelangt durch passive Überström-Luftdurchlässe oder einen Luftspalt unter der Tür von den Zuluft-Räumen in den Durchströmbereich und vom Durchströmbereich in die Abluft-Räume. Die Luftführung muss sowohl bei offenen wie auch bei geschlossenen Zimmertüren (auch bei geschlossenen Bad-, WC- und Küchen-Türen) gleich funktionieren. Über die gesamte Wohnung sind Zu- und Abluftvolumenstrom immer gleich gross.

Verbundlüftung

Die Zuluft wird im offenen Bereich der Wohnung zugeführt, an den die Zimmer angrenzen. Dieser Bereich umfasst in der Regel den Korridor und den Wohnbereich. Hier wird der gesamte Zuluftvolumenstrom der Wohnung eingeführt, was durch einen Einzigen aber auch durch mehrere Zuluftdurchlässe geschehen kann. In Bad, Dusche, WC und Küche wird die Abluft abgeführt. Die Zimmer liegen im sogenannten Verbundbereich. Gemäss SIA 382/5: 2021 müssen Verbundlüfter (aktive Überströmer) eingesetzt werden. Sie sorgen bei geschlossenen Türen für den Luftaustausch zwischen Zuluftbereich und Verbundbereich. Stehen die Türen offen, sorgt die natürliche Luftbewegung für eine ausreichende Umwälzung.

Es ist zu beachten, dass bei der Verbundlüftung Gerüche aus dem Ess- oder Kochbereich in die Zimmer gelangen können. Dies kann vermieden werden, wenn sich die Verbundlüfter bei Bedarf ausschalten lassen. Wiederum sind Zu- und Abluft-Volumenstrom über die gesamte Wohnung gleich gross.

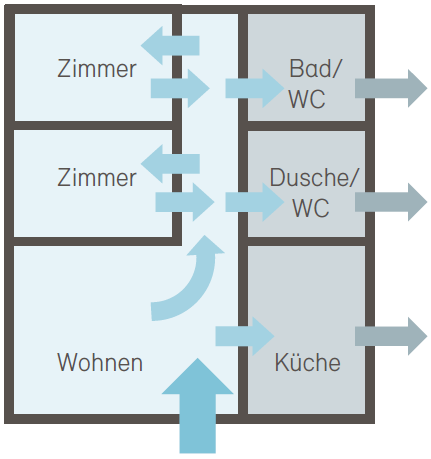


Abbildung 18: Prinzip der Verbundlüftung

Einzelraumlüftung

Bei der Einzelraumlüftung wird die Zuluft in jedem Raum direkt von aussen zu- und die Abluft direkt nach aussen abgeführt. Die Ausnahme ist der Korridor. Hier wird davon ausgegangen, dass durch offenstehende Türen und Personenverkehr eine ausreichende Durchströmung entsteht. In der Reinform der Einzelraumlüftung sind der Zu- und Abluftvolumenstrom in jedem Raum gleich gross.

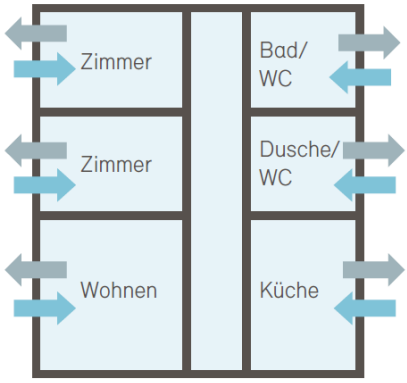


Abbildung 19: Prinzip der Einzelraumlüftung

Mischformen

Die drei Prinzipien lassen sich kombinieren – respektive ergeben sich teilweise auch ungeplante Mischformen. Ein einfaches Beispiel ist eine Lüftung, die nach dem Prinzip Kaskade konzipiert ist. Sobald eine Zimmertür offensteht, ergibt sich im entsprechenden Zimmer eine Mischform aus Verbund und Kaskade. In der Praxis typisch ist die Kombination einer Einzelraumlüftung (für die Zimmer) mit einer Abluft in Bad/Dusche/WC (Prinzip Kaskade).

Ein weiteres Beispiel von Mischsystemen sind Einzelraumlüftungsgeräte, die bewusst mit Disbalance betrieben werden. Das heisst, dass die einzelnen Geräte unterschiedlich grosse Zu- und Abluftvolumenströme aufweisen. Dadurch strömt die Differenzluftmenge in den Korridor oder wird von dort abgesogen. Es entsteht eine Mischform aus der Einzelraum- und der Verbundlüftung. Bei dieser Mischform sollte jedoch der Zu- und Abluftvolumenstrom der gesamten Wohnung gleich gross sein. Die Extremform dieses Ansatzes sind sogenannte *Pendellüfter*, bei denen ein Gerät nur Zuluft zuführt oder Abluft abführt. Diese Pendellüfter ändern alle ein bis zwei Minuten die Strömungsrichtung. Bei zusätzlichen Abluftventilatoren in Bad/Dusche/WC entsteht eine Mischform aus allen drei Prinzipien.

In der Regel sind auch bei Fensterlüftungen Mischformen vorhanden, die sich je nach Wind, Temperaturverhältnissen, Stellungen der Zimmertüren und Anzahl geöffneter Fenster ergeben.

3.3.3 Systemzusätze und Optionen

Steuerung/Regelung

Bei *einfachen Lüftungsanlagen*, bei *Abluftanlagen* sowie bei *Einzelraumlüftungsgeräten* sind die folgenden Varianten für die Steuerung/Regelung des Luftvolumenstroms verbreitet. Dabei wird der Luftvolumenstrom der gesamten Anlage bzw. der zur Anlage gehörenden Ventilatoren gesteuert/geregelt:

- Konstanter, einstufiger Betrieb (keine Eingriffsmöglichkeit durch Nutzer)
- Handsteuerung (Einstellung durch die Nutzer)
- Zeitsteuerung
- Bedarfsregelung nach Raumluftqualität (CO_2, VOC und/oder Raumluftfeuchte)[2]

Dabei sind 2-stufige, 3-stufige und stufenlose Regelungen üblich. Je nach Anlagetyp erfolgt die Veränderung des Luftvolumenstroms durch Veränderung der Ventilatorendrehzahl oder durch einen Volumenstromregler.

Bei *Abluftanlagen von einzelnen Nassräumen* sind die folgenden Steuerungs-/Regelungsvarianten üblich:

- Konstanter, einstufiger Betrieb (keine Eingriffsmöglichkeit durch Nutzer)
- Handsteuerung (ein- oder mehrstufig)
- Bedarfsregelung nach Raumluftqualität (meist Raumluftfeuchte)

Bei *Aussenluft-Durchlässen (ALD)* sind die folgenden Steuerungs-/Regelungsvarianten üblich:

- Konstante Einstellung (der Luftvolumenstrom wird allenfalls durch den Abluftventilator gesteuert/geregelt)
- Mechanische Handeinstellung (Klappe, Schieber)
- Feuchteregelung (bei tiefer Raumluftfeuchte erhöht sich der Strömungswiderstand des ALD selbstständig)

Die Varianten für die Steuerung/Regelung lassen sich teilweise kombinieren.

[2] Je nach Ausführung der Bedarfsregelung (z.B. CO_2-Messung in allen Räumen oder nur in Abluft; Zuluftvolumenstrom individuell pro Raum bzw. nur pro Wohnung regelbar) ist die erreichbare Reduktion der Vollbetriebsdauer unterschiedlich.

Einzel- und Mehrwohnungsanlage

Einfache Lüftungsanlagen und Abluftanlagen können für eine einzelne oder mehrere Wohnungen konzipiert werden. Bei einer Einzelwohnungsanlage wird jede Wohnung mit einer eigenen Luftaufbereitung ausgerüstet. Bei einer Mehrwohnungsanlage versorgt eine zentrale Luftaufbereitung alle Wohnungen in einem Mehrfamilien-Haus.

Nacherwärmung

Teilweise wird die Zuluft nach der WRG nachgewärmt. Dies erfolgt in der Regel über Lufterhitzer, die am Heizungsnetz angeschlossen sind. Direkt elektrisch beheizte Nachwärmer sind nicht zulässig. Bei der Frage, ob eine Nacherwärmung erforderlich ist oder nicht, spielt die minimal zulässige Zulufttemperatur die entscheidende Rolle, welche normalerweise durch die Projektgrundlagen vorgegeben ist.

Die Zulufttemperatur kann über der Raumtemperatur liegen und damit die Funktion vom Heizen übernehmen. Die alleinige Heizung mit Zuluft (Nur-Luft-System, oft als Luftheizung bezeichnet) soll ausschliesslich bei einem sehr kleinen spezifischen Wärmeleistungsbedarf in Betracht gezogen werden. Solche Systeme erfordern eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung.

Wärmerückgewinnung

Gemäss MuKEn 2014 Art. 1.19 Abs. 1 (MuKEn 2014, 2018) sind «lüftungstechnische Anlagen mit Aussenluft und Fortluft […] mit einer WRG auszurüsten» Dies bedeutet, dass sowohl einfache Lüftungsanlagen wie auch Einzelraumlüftungsgeräte über eine WRG verfügen müssen, welche den Anforderungen gemäss SIA 382/1, Ziffer 5.10, entspricht.

Bei einfachen Lüftungsanlagen erfolgt die WRG entweder mit Platten-Wärmeübertragern oder rotierenden Wärmeübertragern. Für beide Bauarten gibt es Wärmeübertragertypen, die neben sensibler Wärme auch Feuchte übertragen, sogenannte Enthalpieübertrager.

Eine Wärme- oder Feuchteübertragung ist bei gewissen Aussenluftkonditionen unerwünscht. Deshalb wird oft ein sogenannter Bypass eingesetzt, welcher auch als Wärmerückgewinnungsbypass bezeichnet wird. Dieser muss entsprechend den Aussen und Raumluftkonditionen gerätespezifisch geregelt werden. Beim Abkühlen der Abluft in der Wärmerückgewinnung kann Kondensat entstehen, das bei kalten Aussenlufttemperaturen vereisen kann. Dementsprechend muss ein Lüftungsgerät über einen Vereisungsschutz verfügen, welcher die Eisbildung unterbindet.

Abluft-Wärmepumpe

Anstelle oder ergänzend zu einer WRG kann eine Wärmepumpe eingesetzt werden, die der Abluft Wärmenergie entzieht. Die von der Wärmepumpe produzierte Wärme kann zur Wassererwärmung oder Heizungsunterstützung eingesetzt werden.

Bei Abluftanlagen ist eine Abluft-Wärmepumpe die einzige praktikable Möglichkeit für eine Nutzung der in der Abluft enthaltenden Wärmeenergie. Gemäss MuKEn 2014 Art. 1.19 Abs. 2 gilt: «Einfache Abluftanlagen von beheizten Räumen sind […] mit […] einer Nutzung der Wärme der Abluft auszurüsten, sofern der Abluftvolumenstrom mehr als 1'000 m^3/h und die Betriebsdauer mehr als 500 h/a beträgt. Dabei gelten mehrere getrennte einfache Abluftanlagen im gleichen Gebäude als eine Anlage. […]» (MuKEn 2014, 2018).

Gemäss der Vollzugshilfe EN-105 kann jedoch auf eine Abwärmenutzung verzichtet werden, wenn die Abluftanlagen mit wohnungsweiser oder raumweiser Bedarfsreglung nach CO_2 oder Feuchte ausgestattet sind. Weiter fallen auch Abluftventilatoren aus Bad/Dusche/WC, die nur auf manuelle Anforderung kurzzeitig in Betrieb sind, nicht unter diese Anforderung.

Die genannten Vorschriften führen dazu, dass Abluftanlagen, die für den Dauerbetrieb konzipiert sind und die keine Bedarfsregelung haben, ab einer bestimmten Gebäudegrösse (ab einer EBF von ca. 1000 m^2) mit Abluft-Wärmepumpen ausgerüstet werden.

Küchenabluft

Für die Küchenabluft werden hier nur die beiden Hauptvarianten, nämlich die Umluft-Dunstabzugshaube und die Fortluft-Dunstabzugshaube, behandelt. Detaillierte Analysen zu den verschiedenen Konzepten und Varianten zur Realisierung der Küchenabluft sind aus (Hauri, et al., 2019) zu entnehmen. Bei der Umluft-Dunstabzugshaube wird der Kochdunst (Küchenabluft) durch das Geruchsfiltersystem (Fettfilter und Geruchsfilter) gereinigt und in den Raum zurückgeführt. Bei der Fortluft-Dunstabzugshaube wird der Kochdunst über einen Fettfilter nach draussen geführt, weshalb die Nachströmung der Ersatzluft gelöst werden muss. Die Nachströmung kann über einen ALD erfolgen, welcher bei ausgeschalteter Kochstellenlüftung geschlossen ist und beim Einschalten der Kochstellenlüftung durch eine gesteuerte motorische Klappe geöffnet wird. Andernfalls kann die Nachströmung auch über ein offenes Fenster erfolgen, welches von Hand oder mit einem mechanischen Antrieb betätigt wird.

Brandschutz

Gemäss der VKF-Brandschutzrichtlinie 25-15 «Lufttechnische Anlagen» (VKF, 2015) können allenfalls Brandschutzklappen erforderlich sein, wenn die Fläche des Lüftungsabschnitts 600 m^2 übersteigt. Es wird angenommen, dass das Anlagenkonzept so gestaltet ist, dass keine Brandschutzklappen erforderlich sind.

3.3.4 Instandhaltung

Die Verantwortung für die Instandhaltung liegt beim Eigentümer. Spätestens bei der Übergabe der Anlage sollten die Zuständigkeiten für die Instandhaltungsarbeiten festgelegt werden.

Filterwechsel

Grundsätzlich muss ein Filter ersetzt werden, wenn die für die Anlage vorgesehene Enddruckdifferenz erreicht ist. Bei einer guten Filterdimensionierung ist das je nach Exponiertheit des Gebäudes (Aussenluftbelastung) ein- bis dreimal jährlich (Sicre & Baumann, 2014). Die maximale Filterstandzeit für Zuluftfilter der 1. Stufe wird in SIA 382/1 und SIA Merkblatt 2023 mit 1 Jahr angegeben. Die Filter müssen nach dem einmaligen Gebrauch entsorgt werden.

Kontrolle und einfache Reinigung

Grundsätzlich sollten alle Luftaufbereitungsgeräte und alle ALD bei jedem Filterwechsel kontrolliert werden. Eine Reinigung der Luftaufbereitungsgeräte erfolgt jährlich. Dabei werden auch die Aussenluftgitter gereinigt. Diese Arbeiten erfolgen durch instruierte Personen, wie z.B. den Hausdienst oder externe Instandhaltungsfirmen. Für detaillierte Informationen siehe auch (Primas, et al., 2018), Kapitel 2.1.3 in (Unterberger, et al., 2014) sowie Kapitel 3.5.6 in (Akca, et al., 2017).

Hygieneinspektion und Reinigung des Luftverteilungssystems

Die Notwendigkeit einer Reinigung der Luftverteilung und damit die Häufigkeit solcher Reinigungen ist stark abhängig von der effektiven Nutzung, aber auch von der Dimensionierung und Konzeption der Luftverteilung. Wesentliche Basis für die Inspektion und Reinigung ist die Zugänglichkeit hygienerelevanter Komponenten der Lüftungsanlage. Günstigen Einfluss auf den Hygienezustand hat die eingesetzte Filterqualität (Einsatz von Filterstufen gemäss SWKI-Richtlinie VA104-01). Ungenügend geschützte Anlagen müssen zur Aufrechterhaltung eines guten Hygienezustandes häufiger gereinigt werden (Ganz, et al., 2012). Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen sind in der SWKI-Richtlinie VA104-01 sowie SN EN 16798-17 enthalten. Für Wohngebäude wird in (SIA 2023, 2008) und (Unterberger, et al., 2014) ein Intervall für die Hygieneinspektion der Luftverteilung von 6 Jahren angegeben. In (SWKI VA104-01, 2019) und (Hässig, et al., 2003) wird ein Intervall für die Hygieneinspektion von 3 Jahren genannt. Für das Projekt wurde davon ausgegangen, dass die Hygieneinspektion alle 6 Jahre durchgeführt wird und die Abluftleitungen im Mittel alle 6 Jahre gereinigt werden. Für die Zuluftverteilung wird, durch die vorgeschalteten Zuluftfiltrierung von der Notwendigkeit einer Reinigung nur alle 20 Jahre ausgegangen. Wie eine Reinigung der Luftverteilung

durchgeführt wird und welche Komponenten kritisch sein können ist in (Hässig, et al., 2003) beschrieben. Im Weiteren werden in SN EN 15780:2011 Kriterien für die Beurteilung der Sauberkeit sowie die Reinigungsverfahren für Lüftungsanlagen definiert.

Tabelle 3 zeigt die in dieser Studie verwendeten Zeitintervalle für Filterwechsel, Reinigung, Hygieneinspektionen und Reinigungen der Luftverteilung.

Tabelle 3: Zeitintervalle für Filterwechsel, Reinigung, Hygieneinspektion und Reinigung der Luftverteilung

Konzept	Beschrieb	Intervall in Jahren			
		Filterwechsel	**Gerätereinigung**	**Hygieneinspektion**	**Reinigung Luftverteilung**
LK1	Einfache Lüftungsanlage, Mehrwohnungsanlagen	Filter Gerät: **1** Aktivkohle Kü.: **1**	Lüftungsgitter: **1 *)** Zentrales Gerät: **1**	**6**	ABL, FOL, AUL: **6** ZUL: **20**
LK2	Einfache Lüftungsanlage, Einzelwohnungsanlagen	Filter Gerät: **1** Aktivkohle Kü.: **1**	Lüftungsgitter: **1 **)** Gerät: **1**	**6**	ABL, FOL, AUL: **6** ZUL: **20**
LK3	Einzelraumlüftungsgeräte	Filter Gerät: **1** Aktivkohle Kü.: **1**	Lüftungsgitter: **1 **)** Einzelraumgerät: **1**	**6**	ABL, FOL, AUL: **6** ZUL: n.V.
LK4	Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen	Filter ALD: **1** Aktivkohle Kü.: **1**	ALD: **1 ***)** ABL-Ventilator: **1**	**6**	ABL, FOL: **6**
LK5	Fensterlüftung mit Abluftanlage	Filter ALD: **1**	ALD: **1 ***)** Zentrales Gerät: **1**	**6**	ABL, FOL: **5-10 ****)**

*) Die Reinigung der ZUL- und Abluftgitter in der Wohnung erfolgt durch die Mieter. Über den Hauswart sollten dies ca. 1x pro Jahr in Augenschein genommen werden (ev. Instruktion der Mieter)

**) Die Reinigung der ZUL- und Abluftgitter in der Wohnung (sofern notwendig) wie auch des AUL-/ FOL-Gitters erfolgt zusammen mit der jährlichen Gerätekontrolle durch den entsprechenden Dienstleister.

***) Die Reinigung der Aussenluftdurchlasse (ALD) in der Wohnung erfolgt zusammen mit dem jährlichen Filterwechsel und der Kontrolle des ABL-Ventilators durch den entsprechenden Dienstleister.

****) Aufgrund der höheren Luftgeschwindigkeiten (intermittierender Betrieb) und den geringeren Betriebsstunden kann das erforderliche Reinigungsintervall höher sein.

Abschreibung und Erneuerung

Als Richtwerte für die technische Lebensdauer der Lüftungskomponenten wird an die Angaben aus SIA 382/1:2014, Anhang B, Tabelle 25 angelehnt (SIA 382/1, 2014). Dabei wird eine mittlere Beanspruchung angenommen. Bei den Lüftungsgeräten wird aufgrund der unterschiedlichen Konstruktion zwischen den zentralen Anlagen (Lebensdauer 20 Jahre) und den dezentralen Geräten (Lebensdauer 15 Jahre) unterschieden. Für Elemente, die den Roh- bzw. Ausbau des Gebäudes betreffen (Schachtwände, Verstärkung Betondecken) basiert die Lebensdauer auf dem SIA Merkblatt 2032 (SIA 2032, 2010). Ein Spezialfall bilden einbetonierte Luftleitungen. Hier kann aufgrund der fehlenden Systemtrennung auch mit einer Lebensdauer von 60 Jahren argumentiert werden. Für die Berechnungen wurden für diese Elemente jedoch ebenfalls eine Lebensdauer von 30 Jahren angesetzt. Tabelle 4 zeigt die in dieser Studie verwendeten Lebensdauerannahmen für die berücksichtigten Elemente.

Tabelle 4: Lebensdauerannahmen für die berücksichtigten Elemente

Verwendete Lebensdauer	LD [Jahre]
Luftverteilung, vertikale Steigzone (Kanäle, Rohre, Formteile)	30
Luftverteilung, horizontal zu Lüftungsgerät (Kanäle, Rohre, Formteile)	30
Luftverteilung, horizontal zu Wohnung (Kanäle, Rohre, Formteile)	30
Luftverteilung innerhalb Wohnung (Kanäle, Rohre, Formteile)	30
Lüftungsgerät (zentral)	20
KWL-Boxen in Wohnung; dezentrale Lüftungsgeräte	15
Diverse Elemente (Brandschutzklappen, Klappen, Regelung etc.)	15
Anschlüsse Heizung, Elektro	30
Bauliches Schächte *)	30
Bauliches, Betondecken **)	60

*) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke

**) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)

4 Definition der Lüftungskonzepte

Für die Vergleiche werden fünf Lüftungskonzepte definiert. Ergänzend zu den Basissystemen werden zudem Systemvarianten festgelegt. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die definierten Lüftungskonzepte.

Tabelle 5: Übersicht Lüftungskonzepte

Code	Basissystem				Systemvarianten
	Bezeichnung	Prinzip Verteilung	Steuerung/Regelung	Küchenabluft	
LK1	Einfache Lüftungsanlage (Mehrwohnungsanlage)	Kaskade	Handschalter pro Wohnung mit 2 Stufen	Umluft	Prinzip Verbundlüftung, Luftaufbereitung
LK2	Einfache Lüftungsanlage (Einzelwohnungsanlage)	Kaskade	Handschalter mit 3 Stufen	Umluft	Prinzip Verbundlüftung, Platzierung Gerät und Hauptverteilung
LK3	Einzelraumlüftungsgeräte kombiniert mit Abluftanlage pro Nassraum	Einzelraum / Kaskade	Handschalter pro Gerät mit 3 Stufen, Abluftventilatoren: Ein/Aus	Umluft	Zentraler Abluftventilator mit Dauerbetrieb
LK4	Abluftanlage mit Abluft-Wärmepumpe (Mehrwohnungsanlage)	Kaskade	Dauerbetrieb mit konstantem Volumenstrom	Umluft	Einzelwohnungsanlage, ALD mit Feuchteregelung, keine Abluft-Wärmepumpe
LK5	Fensterlüftung kombiniert mit Abluftanlage pro Nassraum (mit ALD für Nachströmung)	Kaskade	Manuelle Fensteröffnung, Abluftventilatoren: Ein/Aus	Abluft	Zentraler Abluftventilator Druckgeregelt

Die Auslegung der Luftvolumenströme erfolgt bei allen Basissystemen gemäss (SIA 382/5, 2021). Für die Basisvariante wird von einer 3½ -Zimmer Neubauwohnung mit 90 m^2 Wohnfläche ausgegangen (Details siehe Kapitel 10.1). Dabei wird angenommen, dass das Wohnzimmer im Durchströmbereich liegt und die Wohnung eine geringe effektiven Belegung (2 Personen in 3½ -Zimmer Wohnung) der Wohnung vorliegt. Für alle Systeme wird von einer korrekten Planung der Nachströmung von Ersatzluft ausgegangen (betrifft v.A. LK5, LK 4 und LK 3).

4.1 LK1: Einfache Lüftungsanlage (Mehrwohnungsanlage)

4.1.1 Basissystem

Anlagetyp

Einfache Lüftungsanlage, Mehrwohnungsanlage

Luftverteilung in der Wohnung

- Prinzip Kaskade, mit Wohnzimmer im Durchströmbereich
- Die Zuluft-Durchlässe sind über den Zimmertüren angeordnet
- Die Zuluft- und Abluftleitungen (Kunststoff PE, Aussendurchmesser 90 mm) sind in der Betondecke eingelegt

Steuerung/Regelung

- Der Luftvolumenstrom kann pro Wohnung mittels Handschalter auf zwei verschiedenen Stufen eingestellt werden
- Jede Wohnung ist mit einer Wohnungslüftungsbox (Volumenstromregler, Schalldämpfer und Steuerung) ausgerüstet
- Der Überdruck beim Zuluftaustritt und Ablufteintritt des Luftaufbereitungsgeräts wird auf einen konstanten Wert von 100 Pa geregelt. Der Vordruck der Volumenstromregler beträgt 20 Pa (vgl. (Huber & Helfenfinger, 2013)

Luftaufbereitung

- Luftaufbereitungsgerät mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Temperatur-Änderungsgrad der WRG: 75 %
- Feuchtegehalt-Änderungsgrad: 60 %

- Gesamtwirkungsgrad des Ventilators 50%; Bei typischen Druckverlusten entsprechend einer spezifischen Ventilatorleistung (SFP) im Bereich von 0.20...0.30 W/(m³/h).
- Bis zu einer Aussentemperatur von –10 °C ist der Enthalpieübertrager als Vereisungsschutz ausreichend
- Es ist kein Nachwärmer vorhanden

Hauptverteilung Pro Steigzone ist eine Zu- und Abluftleitung aus runden, verzinkten Spiralfalzrohren vorhanden

Lüftungswärmeverluste Leckagen, Disbalancen und Wärmeeinträge reduzieren den Nutzen der WRG um 5 Prozentpunkte

Küchenabluft Umluft-Dunstabzugshaube

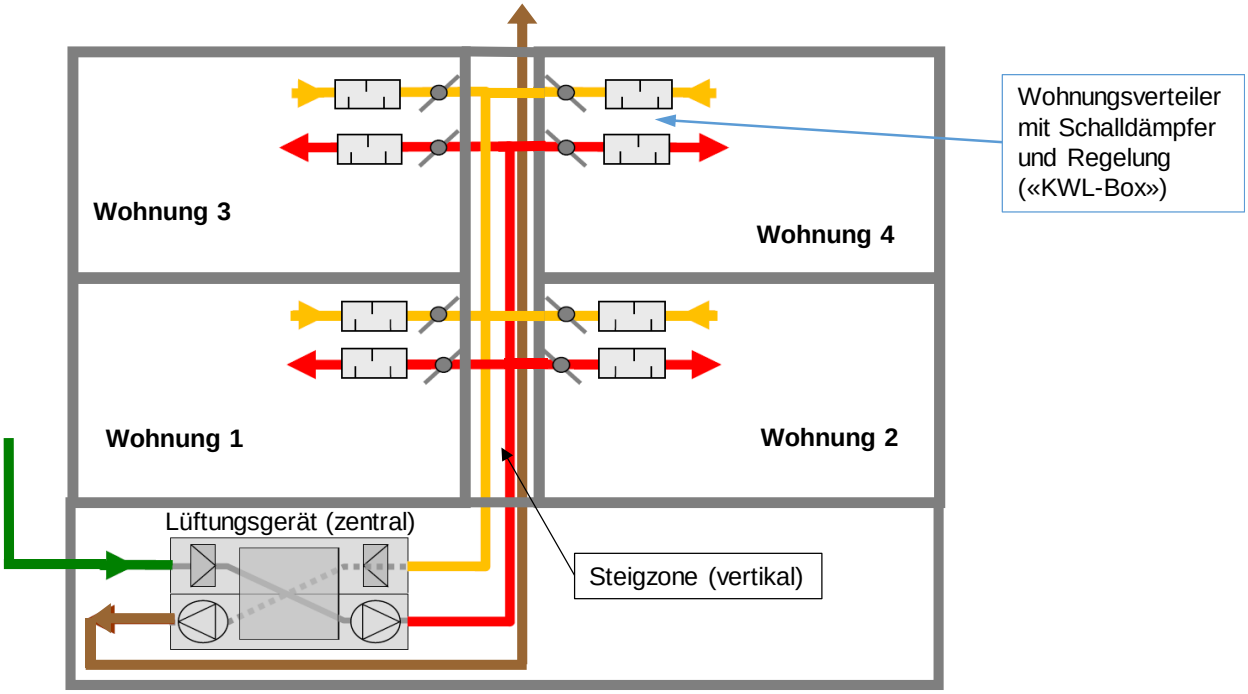


Abbildung 20: Schemaschnitt vom LK1 (grün: Aussenluft, braun: Fortluft, rot: Zuluft, gelb: Abluft)

4.1.2 Sytemoptionen

Luftverteilung in der Wohnung

- Prinzip Verbund anstelle Kaskade
- Bei Neubauten werden Verbundlüfter vorausgesetzt.
- Die gesamte Zuluft der Wohnung wird im Korridor zugeführt. Das heisst, dass kein Luftverteiler und keine einbetonierten Zuluftleitungen vorhanden sind

Luftaufbereitung

- WRG mit Platten-Wärmeübertrager ohne Feuchteübertragung
- Nacherwärmung der Zuluft auf konstant 18 °C
- Vereisungsschutz der WRG mit Bypass
- Temperatur-Änderungsgrad der WRG: 75 %
- Bei ungünstigen Druckverlusten entsprechend etwa einer spezifischen Ventilatorleistung (SFP) im Bereich von 0.30...0.40 W/(m³/h).

4.2 LK2: Einfache Lüftungsanlage (Einzelwohnungsanlage)

4.2.1 Basissystem

Anlagetyp	Einfache Lüftungsanlage, Einzelwohnungsanlage
Luftverteilung in der Wohnung	• Prinzip Kaskade, mit Wohnzimmer im Durchströmbereich • Die Zuluft-Durchlässe sind über den Zimmertüren angeordnet • Die Zuluftleitungen (Kunststoff PE, Aussendurchmesser 90 mm) sind in der Betondecke eingelegt
Steuerung/Regelung	Der Luftvolumenstrom kann pro Wohnung mittels Handschalter auf drei verschiedenen Stufen eingestellt werden.
Luftaufbereitung	• Luftaufbereitungsgerät mit Enthalpie-Plattenübertrager • Temperatur-Verhältnis der WRG: 85 % • Feuchtegehalt-Verhältnis: 60 % • Gesamtwirkungsgrad des Ventilators 43%, entsprechend einer spezifischen elektrischen Leistung (SPI) von ca. 0.25 W/(m³/h)[3] • Bis zu einer Aussentemperatur von -10 °C ist der Enthalpieübertrager als Vereisungsschutz ausreichend • Es ist kein Nachwärmer vorhanden
Standort der Geräte und Hauptverteilung	Die Luftaufbereitungsgerät sind in den Geschossen der entsprechenden Wohnungen installiert. Die Aussenluft wird an der Fassade gefasst. Die Fortluft wird über die Fassade ausgeblasen.
Lüftungswärmeverluste	Leckagen, Disbalance und Wärmeeinträge reduzieren den Nutzen der WRG um 10 Prozentpunkte (gegenüber dem Temperatur-Verhältnis nach EN 13141-7)
Küchenabluft	Umluft-Dunstabzugshaube

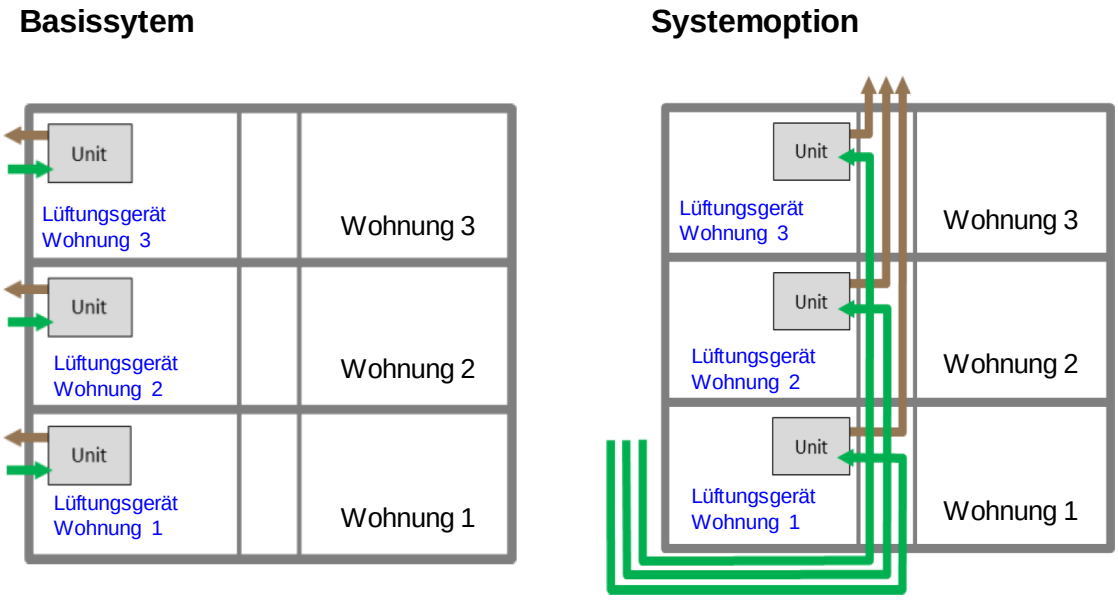


Abbildung 21: Schemaschnitt vom LK2 (grün: Aussenluft, braun: Fortluft)

[3] Gemäss Herstellerdeklaration bezogen auf Referenzvolumenstrom und 50 Pa ext. Druck sowie sauberen Filter

4.2.2 Systemoptionen

Luftverteilung in der Wohnung	• Prinzip Verbund anstelle Kaskade • Bei Neubauten werden Verbundlüfter vorausgesetzt, bei Modernisierungen wird eine Luftverteilung über offene Türen vorausgesetzt • Die gesamte Zuluft der Wohnung wird im Korridor zugeführt
Luftaufbereitung	• WRG mit Platten-Wärmeübertrager ohne Feuchteübertragung • Vereisungsschutz der WRG: bedarfsgeregelter Elektrovorwärmer
Standort der Geräte und Hauptverteilung	Die Luftaufbereitungsgerät sind in den Geschossen der entsprechenden Wohnungen installiert. Die Aussenluft wird durch die Steigzonen vom Untergeschoss her zugeführt und die Fortluft wird in der Steigzone übers Dach weggeführt (siehe Abbildung 21). Die Aussen- und Fortluftleitungen sind gemäss Vollzugshilfe EN-105 wärmegedämmt.
Lüftungswärmeverluste	Leckagen, Disbalance und Wärmeeinträge reduzieren den Nutzen der WRG um 15 Prozentpunkte (gegenüber dem Temperatur-Verhältnis nach EN 13141-7)

4.3 LK3: Einzelraumlüftung (kombiniert mit Abluftanlage)

4.3.1 Basissystem

Anlagetyp	• Einzelraumlüftungsgeräte in allen Zimmern sowie im Wohnbereich • Eine Abluftanlage pro Bad/Dusche/WC
Luftverteilung in der Wohnung	Prinzip Einzelraum, bei Betrieb der Abluftventilatoren teilweise Kaskade. Im Basissystem offener Wohnzimmer / Küchenbereich (nur 1 Gerät)
Steuerung/Regelung	• Der Luftvolumenstrom kann pro Gerät, sprich Zimmer, mittels Handschalter auf 3 verschiedenen Stufen eingestellt werden • Jedes Einzellüftungsgerät ist mit einer Volumenstromreglung ausgerüstet (Minimierung von unerwünschter Disbalance) • Die Auslegung des ALD und die Regelung der Abluftanlage im Bad ist auf minimale Unterdrücke (max. 4 Pa) ausgelegt.
Luftaufbereitung	• WRG mit Enthalpie-Übertrager[4] • Temperatur-Verhältnis der WRG: 85 % • Feuchtegehalt-Verhältnis: 60 % • Gesamtwirkungsgrad des Ventilators 40%, entsprechend einer spezifischen elektrischen Leistung (SPI) von ca. 0.23 W/(m^3/h)[5] • Die Empfindlichkeit des Luftstroms gegenüber Schwankungen in der Druckdifferenz gem. EN 13141-8 liegt bei 20 % • Bis zu einer Aussentemperatur von –10 °C ist der Enthalpieübertrager als Vereisungsschutz ausreichend
Standort der Geräte und Hauptverteilung	• Die Einzelraumlüftungsgeräte sind im Brüstungsbereich in den Zimmern platziert • Ausblasen der Fortluft der Einzelraumgeräte über die Fassade
Lüftungswärmeverluste	Leckagen, Disbalance und Wärmeeinträge reduzieren den Nutzen der WRG um 20 Prozentpunkte (gegenüber dem Temperatur-Verhältnis nach EN 13141-8)
Küchenabluft	Umluft-Dunstabzugshaube

[4] Aktuell jedoch erst für wenige Produkte erhältlich

[5] Gemäss Herstellerdeklaration bezogen auf Referenzvolumenstrom und 0 Pa ext. Druck sowie sauberen Filter

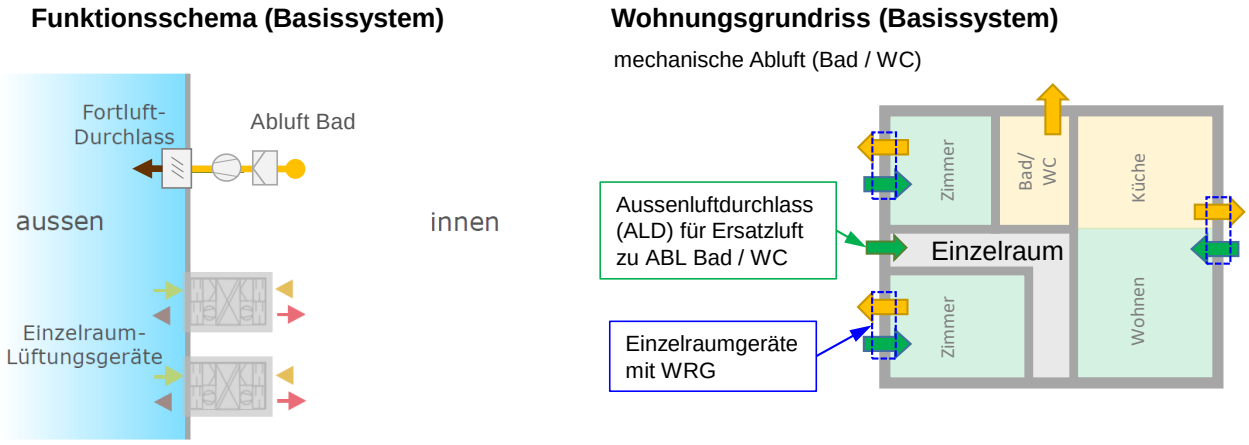


Abbildung 22: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss vom LK3

4.3.2 Systemoptionen

Luftaufbereitung	• WRG mit Platten-Wärmeübertrager (keine Feuchtrückgewinnung • Temperatur-Verhältnis der WRG: 75 % • Variation Gesamtwirkungsgrad des Ventilators zwischen 30% und 50%, entsprechend einer spezifischen elektrischen Leistung (SPI) im Bereich von 0.18 bzw. 0.30 W/(m³/h) • Die Empfindlichkeit des Luftstroms gegenüber Schwankungen in der Druckdifferenz gem. EN 13141-8 liegt bei 40 % • Unterhalb einer Aussentemperatur von –5 °C schaltet der Vereisungsschutz das Gerät aus
Standort der Geräte und Luftverteilung	Die Abluft aus dem Bad wird nicht über eine eigene Abluftanlage, sondern über naheliegende Zimmergeräte abgeführt. Dadurch entfällt der Aussenluftdurchlass für die Nachströmung der Ersatzluft.
Lüftungswärmeverluste	Leckagen, Disbalance, Wärmeeinträge und Vereisungsschutz reduzieren den Nutzen der WRG um 30 Prozentpunkte (gegenüber dem Temperatur-Verhältnis nach EN 13141-7)

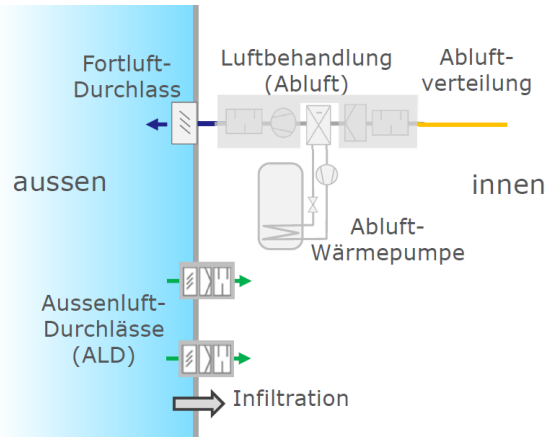
4.4 LK4: Abluftanlage mit Abluft-Wärmepumpe

4.4.1 Basissystem

Anlagetyp	Abluftanlage für Dauerbetrieb (Mehrwohnungsanlage) mit Abluft-Wärmepumpe für die Wassererwärmung
Luftverteilung in der Wohnung	• Prinzip Kaskade mit Wohnzimmer im Durchströmbereich • Die ALD sind über den Fenstern angeordnet und mit Filtern der Klasse coarse ausgerüstet. Die ALD werden auf einen Unterdruck von 4 Pa (im sauberen Zustand) ausgelegt. Pro Zimmer sind 2 ALD vorhanden.
Steuerung/Regelung	Dauerbetrieb mit konstantem Luftvolumenstrom
Luftaufbereitung	Gesamtwirkungsgrad des Ventilators 40%, entsprechend einer spez. Ventilatorleistung (SFP) von ca. 0.15 W/(m³/h) bei 80 Pa ext. Druck.
Abluft-Wärmepumpe	• Jahresarbeitszahl: 2.8 • Deckungsgrad Warmwasser: 80 %

Lüftungswärmeverluste	Die Infiltration wird für einen dichten Neubau (q_{a50} = 0.6 m³/(m²·h) bestimmt (je nach Konzept 30 %-45% des Aussenluftvolumenstroms)
Küchenabluft	Umluft-Dunstabzugshaube

Funktionsschema (Basissystem)



Wohnungsgrundriss (Basissystem)

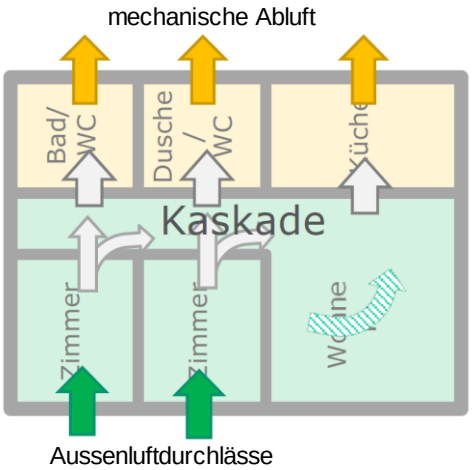


Abbildung 23: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss vom LK4

4.4.2 Systemoptionen

Anlagetyp	Abluftanlage ohne Abluft-Wärmepumpe
Steuerung/Regelung	• ALD und Abluft-Durchlässe mit selbstständiger Feuchteregelung, ansonsten keine Steuerung/Regelung des Luftvolumenstroms in der Wohnung • Der Unterdruck beim Ablufteintritt des Luftaufbereitungsgeräts wird auf einen konstanten Wert von 80 Pa geregelt • Zusätzliche Nutzung für Heizwärme
Luftaufbereitung	Ungünstig: Hohe Infiltration; Gebäude mit q_{a50} = 1.2 m³/(m²·h) Günstig: Geringe Infiltration; Gebäude mit q_{a50} = 0.4 m³/(m²·h)

4.5 LK5: Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage

4.5.1 Basissystem

Anlagetyp	• Fensterlüftung in den Zimmern, inkl. dem Wohnbereich • Abluftanlage (Einzelventilatoren) pro Bad/Dusche/WC (ohne Abluft-Wärmepumpe)
Luftverteilung in der Wohnung	• Bei einer reinen Fensterlüftung ist das Prinzip der Luftführung nicht klar bestimmbar (Mischform). Bei Betrieb der Abluftventilatoren stellt sich zumindest teilweise das Prinzip Kaskade ein. • Für die Nachströmung der Ersatzluft sind im Wohnbereich zwei ALD installiert. Die ALD sind über den Fenstern angeordnet und mit Filtern der Klasse coarse ausgerüstet. Die ALD werden auf einen Unterdruck von 10 Pa (im sauberen Zustand) ausgelegt, da die Abluft nur kurze Zeit in Betrieb ist.

Steuerung/Regelung	• Die Fenster werden manuell nach Bedarf geöffnet und geschlossen • Die Abluftanlagen werden manuell ein- und ausgeschaltet. Die Nachlaufzeit beträgt 15 Minuten.
Luftaufbereitung	• Einrohrlüfter (mit Filter); gemeinsame Sammelleitung pro Steigzone • Spezifische Ventilatorleistung (SFP): 0.20 W/(m³/h)
Lüftungswärmeverluste	Der thermische wirksame Aussenluftvolumenstrom entspricht einer Lüftung nachts mit Kippfenster und am Tag mit Stosslüftung (6 min /h)[6]
Küchenabluft	Abluft-Dunstabzugshaube (mit Fensterkontakt, Ersatzluft über Fenster)

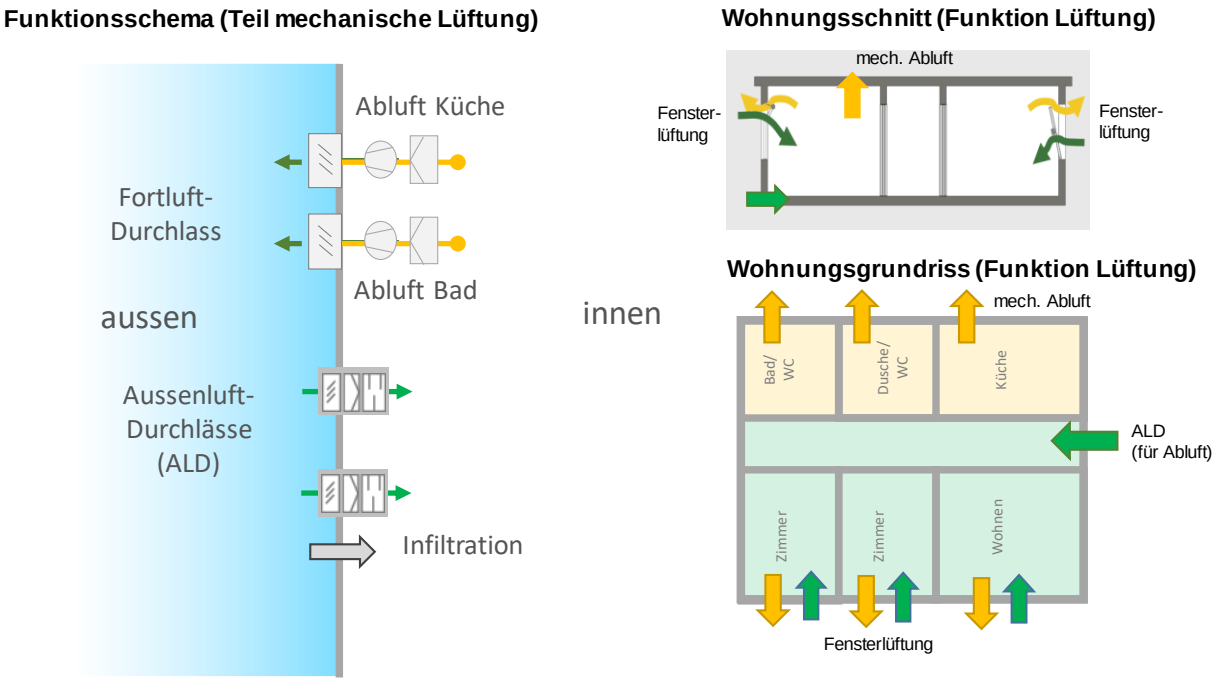


Abbildung 24: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss / -schnitt vom LK4

4.5.2 Systemoptionen

Lüftungswärmeverluste	**Hygienisch ungünstig:** Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom bei Fensterlüftung abends und morgens (nachts Fenster geschlossen) sowie am Tag mit Stosslüftung (6 min /h bei Anwesenheit)[7] **Variante:** Therm. wirksamer Aussenluftvolumenstrom bei Lüftung mit Spaltlüfter (Fensterbeschlag) bzw. am Tag mit Stosslüftung (6 min /h) **gemäss SIA-Berechnung:** Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom entsprechend dem Standardwert SIA 380/1:2016 (Basis 22°C Raumtemperatur)

[6] Mit diesem Lüftungsschema wird der Richtwert für die CO_2-Konzentration im Aufenthaltsbereich gemäss SIA 180: 2014, Tabelle 4 von 1000...2000 ppm eingehalten (Maximalwert in Heizperiode gut 1200 ppm), es widerspricht allerdings der Anforderung gemäss SIA 180: 2014, Kapitel 3.2.7 (Ein Lüftungsprinzip, das während der Heizperiode eine permanente teilweise Öffnung der Fenster erfordert, ist nicht zulässig)

[7] Mit diesem Lüftungsschema wird die Anforderung gemäss SIA 180: 2014, Kapitel 3.2.7 (Ein Lüftungsprinzip, das während der Heizperiode eine permanente teilweise Öffnung der Fenster erfordert, ist nicht zulässig eingehalten, Der Richtwert für die CO_2-Konzentration im Aufenthaltsbereich gemäss SIA 180: 2014, Tabelle 4 wird damit jedoch nachts bei weitem nicht eingehalten (Maximalwert: 3000…6000 ppm anstatt 1000...2000 ppm gemäss Richtwert SIA 180: 2014.

5 Untersuchte Kriterien / Bewertungsparameter

Das Bauwesen ist anspruchsvoll und komplex. Es sind zahlreiche Akteure wie Architekten, Gebäudetechniker (Ingenieure und Planer), Bauunternehmer, Behörden, Bauherren und viele weitere involviert. Dementsprechend wichtig ist es, den Überblick zu behalten und das Gebäude als ganzheitliches System zu betrachten. Dies gilt genauso für die Lüftungstechnik: Ein Lüftungssystem bedarf einer ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung nach diversen Kriterien und über den gesamten Lebenszyklus. Das «perfekte» oder «beste» Lüftungssystem existiert nicht, sondern hängt sowohl von den lokal gegebenen Rahmenbedingungen wie auch den Präferenzen des Bauherrn ab, sprich, welche Kriterien wie stark gewichtet werden. Aus diesem Grund werden die Lüftungskonzepte in dieser Studie aus diversen Blickwinkeln analysiert und bewertet, sprich, nach verschiedenen Kriterien bewertet.

Die Kriterien, die dazu zur Anwendung kamen, wurden in Zusammenarbeit mit der Begleitgruppe, welche ein breites Fachwissen im Lüftungsbereich ausweisen kann, definiert. Weiter wurden auch Normen, Richtlinien, Standards und Erkenntnisse aus der Literaturrecherche miteinbezogen. Der erarbeitete Kriterienkatalog deckt die wesentlichen Parameter ab, welche durch das Lüftungssystem beeinflusst werden. Trotzdem sollte die Auflistung keinesfalls als vollständig und abschliessend betrachtet werden. Tabelle 6 gibt eine zusammenfassende Übersicht der Kriterien bzw. Parameter, die bewertet wurden.

Einflussfaktoren / Kriterien	Hauptbewertungspunkt	Bewertungsart
Technische Parameter		
Betriebsenergie Strom	Strom für Anlage inkl. Enteisung / KWL-Box etc.; [kWh/(m^2 a)]	quantitativ
Betriebsenergie Wärme	Wärmeverluste (WRG, Verrohrung, Enteisung); [kWh/(m^2 a)]	quantitativ
Materialökologie *)	Ökobilanz der Materialien; Wert als "Indikator"/(m^2 a)	quantitativ
Ökonomie / Erstellung	Investitionskosten inkl. Anteile H, E, MSRL und baul. [CHF/m^2]	quantitativ
Ökonomie / Instandhaltung	Unterhaltskosten (Wartung, Reinigung, Filterw.) [CHF/(m^2 a)]	quantitativ
Raumbedarf Schächte	Für Schächte inkl. Schachtwand [m^3/m^2]	quantitativ
Raumbedarf, total **)	Für Geräte (Lüftungszentralen) und Schächte [m^3/m^2]	quantitativ
Gesundheitlliche / Nutzerrelevante Parameter		
Akustik, Geräteschall	Anlagegeräusche	qualitativ / Anforderungen
Akustik, Schallschutz	Schalldämmung gegen Aussenlärm	qualitativ / Anforderungen
Raumluftqualität	Raumluftqualität ***), Schutz vor Luftschadstoffen (Feinstaub, Pollen), Geruchsübertragung zwischen Wohnungen	qualitativ / z.T. quantitativ
Raumluftfeuchte	Hohe / niedrige Raumluftfeuchte; Schutz vor Feuchtigkeitsproblemen	qualitativ / z.T. quantitativ
Thermische Behaglichkeit	Raumluftgeschwindigkeit bzw. Zugluft, Zulufttemperatur ****)	qualitativ
Robustheit / Benutzerverhalten	Benutzerverhalten (offene Fenster / Türen), Wind, Wartung *****)	qualitativ (Einflüsse)
Weitere Kriterien (nicht bewertet/ bzw. tw. in Beschrieben / Folgerungen zu den Varianten behandelt)		
Sicherheit (Vorgaben Brandschutz, Einbruchschutz etc.); Baupraxis (Einhaltung Normen; Abnahme / Übergabe), Erwartungshaltung (Wohnlage, Mietobjekt / Wohneigentum); Monitoring (Betriebsoptimierung, Performance Gap)		

*) Untersuchte Indikatoren: Graue Energie, gesamte Primärenergie, Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte (UBP 2013)

**) Raumbedarf für Geräte (nach SIA 382/1 bei zentralen Anlagen; in Wohnung inkl. Revisionszugang), kein Raumbedarf bei Dachaufstellung)

***) RAL-Klassen; Indikator CO_2; VOC, PM, starker Zusammenhang mit bewertung "Gesundheit" im allgemeinen.

****) z.B. bei Fensterlüftung werden dafür zwingende Benutzereingriffe vorausgesetzt (mit entsprechender Wirkung)

*****) Abhängigkeit von Aussenbedingungen, Benutzereingriffen sowie sachgerechter, regelmässiger Wartung und Instandhaltung.

Tabelle 6: Übersicht der Kriterien / Bewertungsparameter

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diese Kriterien kurz vorgestellt. Einerseits werden die Kriterien beschrieben und erläutert, inwiefern diese für Wohnungslüftungen relevant sind. Tabelle 7 zeigt zudem eine Übersicht der Vorschriften und Normen, welche für die Beurteilung der verschiedenen Kriterien relevant sind. Die Literaturstudie im Anhang (Kapitel 9.1) zeigt zudem detailliert auf, welche Publikation für welche Kriterien relevant ist.

		Nutzerrelevante Parameter						Technische Parameter					Weitere Parameter			
		Gesundheit allgemein	Akustik	Raumluftqualität	Thermische Behaglichkeit	Raumfeuchte	Robustheit / Benutzerverhalten	Ökologie (v.A. Materialökologie)	Ökonomie	Betriebsenergie	Instandhaltung / Reinigung	Raumbedarf (Wohnung/Gebäude)	Sicherheit	Erwartungshaltung	Baupraxis	Monitoring
Gesetze																
EnG	Energiegesetz des Bundes									X						
Verordnungen																
EnV	Energieverordnung des Bundes									X						
EnEV	Energieeffizienzverordnung des Bundes 1)									X						
LRV	Luftreinhalte-Verordnung	X		X												
LSV	Lärmschutz-Verordnung		X													
StSV	Strahlenschutzverordnung	X														
Harmonisierte Musterbestimmungen																
MuKEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich			X						X						
SIA-Normen																
SIA 118: 2013	Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten														X	
SIA 180: 2014	Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden	X		X	X	X	X									
SIA 181: 2020	Schallschutz im Hochbau		X													
SIA 380/1: 2016	Heizwärmebedarf									X						
SIA 382/1: 2014	Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen 2)	X	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X
SIA 382/2: 2011	Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf									X						
SIA 382/5: 2021	Mechanische Lüftung in Wohnbauten 3)	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X
SIA 480: 2016	Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau								X							
SIA 2056: 2019	Elektrizität in Gebäuden - Energie- und Leistungsbedarf 4)									X						
EN-Normen (die auch als SIA-Norm publiziert wurden)																
SN EN 12599:2012; SIA 382.102: 2012	Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen									X					X	
SN EN 13465:2004; SIA 382.201	Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen			X						X						
SN EN 14134:2019; SIA 382.202	Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung und Funktionsprüfungen von Lüftungsanlagen in Wohnungen														X	
SN EN 15242:2007; SIA 382.705	Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschliesslich Infiltration			X						X						
SN EN 15665:2009; SIA 382.252	Lüftung von Gebäuden - Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden 5)	X		X												
SN EN 15780:2011; SIA 382.312	Lüftung von Gebäuden - Luftleitungen - Sauberkeit von Lüftungsanlagen										X					
EN 16798-17:2017; SIA 382.727	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden – Teil 17: Leitlinien für die Inspektion von Lüftungs und Klimaanlagen (Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11)										X					
SIA-Merkblätter																
SIA-Merkblatt 2024	Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik		X	X	X	X	X			X						
SIA-Merkblatt 2031	Energienachweis für Gebäude									X						
SIA-Merkblatt 2032	Graue Energie von Gebäuden							X								
SIA-Merkblatt 2039	Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort							X								
SIA-Merkblatt 2040	SIA-Effizienzpfad Energie							X								
SIA-Merkblatt 2048	Energetische Betriebsoptimierung									X						X
Weitere Normen																
SN EN ISO 7726:2001	Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Grösse				X											
SN EN ISO 7730:2006	Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD- Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit				X											
ISO 14040: 2006	Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen							X								
ISO 14044: 2006	Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen							X								
VDI 2081, Blatt 1	Geräuscherzeugung und Lärmminderung im Raumlufttechnischen Anlagen		X													
Richtlinien																
SWKI 92-2 B	Devis Raumlufttechnische Anlagen «Bedingungen, Vorschriften, Projektgrundlagen»		X													
SWKI 96-5	Abnahmeprotokolle														X	
SWKI VA104-01	Raumlufttechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte	X		X		X	X				X					
VKF 25-15: 2015	Brandschutzrichtlinie «Lufttechnische Anlagen»												X			
Empfehlungen / Andere																
KBOB Empfehlung 2009/1: 2016	Ökobilanzdaten im Baubereich							X								
GebäudeKlima Schweiz	Stand der Technik Papier «Brandschutz in Lüftungen von Wohnbauten»												X			

1) Diese verweist für Lüftungsanlagen auf die EU Verordnung 1253/2014 als Basis (Ökodesign-Verordnung)
2) wurde 2021 durch SIA 382/5 ergänzt, welche für Wohnungslüftungen massgebend ist
3) löste 2021 das SIA-Merkblatt 2023 ab
4) Ersatz für SIA 380/4: 2006 Elektrische Energie im Hochbau
5) Derzeit ist eine Nachfolgenorm in Bearbeitung: prEN 15665 "Mechanical, hybrid and natural residential ventilation"

Tabelle 7: Übersicht der Vorschriften und Normen zu den Kriterien / Bewertungsparameter

5.1 Gesundheit

Der Faktor Gesundheit beinhaltet eine Vielzahl von Aspekten, die mit Fokus auf die Situation in Wohngebäuden von Relevanz sind. Eine Übersicht über die Einflussfaktoren gibt beispielsweise das Merkblatt Gesundes Innenraumklima des Vereins ecobau (ecobau, 2020). Wichtige Faktoren in Bezug auf die Gesundheit im Wohnumfeld sind Schadstoffe in der Raum- und Aussenluft, Umgebungslärm und klimatische Faktoren. Ergebnisse aus einer Untersuchung aus Deutschland zu diesem Thema sind in (Thißen & Niemann, 2016) zu finden. Eine Zusammenstellung von gesundheitlichen Aspekten mit Fokus auf die Raumluftqualität ist in (Waeber, 2011) beschrieben.

Aufgrund der verschiedenen Aspekte des Einflussfaktors Gesundheit wurde das Thema für die Untersuchung in folgende Teilaspekte unterteilt:

- Akustik / Schallschutz:
- Raumluftqualität:
- Raumluftfeuchte
- thermische Behaglichkeit

Diese Aspekte werden in den folgenden Unterkapitel erörtert. Das Lüftungssystem muss u.a. dafür sorgen, dass die Raumluft kein Gesundheitsrisiko für die Benutzer darstellt. Die gesundheitlichen Aspekte von Wohnungslüftungen, sprich die positiven oder negativen gesundheitlichen Folgen, sind der Systemwahl unbedingt zu berücksichtigen.

5.2 Akustik

Der Schutz vor Lärm und damit auch die akustische Qualität der Lüftungsanlagen, bzw. deren Elemente haben beim Bauen einen grossen Stellenwert. Gute Wohnqualität zeichnet sich auch durch ein ruhiges Wohnumfeld aus. In der Planung ist dabei insbesondere die Schallschutznorm SIA 181 (SIA 181, 2020) von Bedeutung. Darin sind die Grundanforderungen an den Schallschutz am und im Gebäude festlegt. In (Huber, 2016) werden die verschiedenen Aspekte für die Planung und Beurteilung Wohnungslüftungen bezüglich Akustik im Detail behandelt.

Für das Kriterium der Akustik sind die folgenden Teilaspekte für die Bewertung und den Vergleich der Wohnungslüftungskonzepte einbezogen worden:

Anlagegeräusche	Der durch die Lüftungsanlage verursachte Schalldruckpegel muss insbesondere bei in der Wohnung installierten Anlagen beachtet werden. Massgebend für Wohn- und Schlafzimmer ist der Grundschallpegel in der Nacht. Im deutschsprachigen Raum sind die folgenden Schalldruckpegel üblich: • Für Wohn- und Schlafzimmer: 25 dB(A) für Tag und Nacht • WC, Bad und Dusche: 30 dB(A) für Tag und Nacht
Schalldämmung gegen Aussenlärm	Das Schalldämm-Mass der Gebäudehülle sollte durch eine Wohnungslüftung nicht spürbar geschwächt werden. Dies kann der Fall sein, wenn Lüftungskomponenten in die Gebäudehülle eingebaut sind, wie z.B. ALD oder Einzelraumlüftungsgeräte.

Weitere Aspekte zur Akustik sind für die Planung der Lüftungsanlagen und Gebäude von Bedeutung (Huber, 2016). Diese Aspekte wurden in der Beurteilung betrachtet, wenn dies für eine Variante aufgrund der Situation speziell zu beachten ist. Die folgenden Aspekte für die Bewertung und den Vergleich von Wohnungslüftungen von Bedeutung:

Trittschall

Um störende Geräusche aus Menschenbewegungen auf Decken in den darunterliegenden Räumen zu reduzieren, wird eine Trittschalldämmung eingesetzt. Diese Trittschalldämmung kann durch Leitungsführungen der Wohnungslüftung geschwächt werden. Hierbei sind insbesondere Bodendurchlässe heikel.

Schallübertragung zwischen Nutzungseinheiten

Eine Wohnungslüftung kann den baulichen Schallschutz gegenüber anderen Wohnungen (Nutzungseinheiten) schwächen. Bei Mehrwohnungsanlagen kann es bei unsachgemässer Installation der Lüftungsleitungen zu Luftschallübertragung von Wohnung zu Wohnung (Telefonie) kommen.

Schallübertragung innerhalb der Wohnung

So wie zwischen verschiedenen Nutzungseinheiten bzw. Wohnungen kann es durch Lüftungsleitungen oder Überströmelemente auch innerhalb der Wohnung zur Luftschallübertragung kommen. Dabei dürfen Zimmertüren und Zimmertrennwände durch lüftungstechnische Einrichtungen nicht geschwächt werden.

Schall-Emissionen gegen aussen

Eine Lüftungsanlage kann in der Nachbarschaft Lärmbelastungen verursachen, wobei der Schall über die Aussenluft- und Fortluft-Durchlässe ins Freie gelangt. Dieser Aspekt ist bei Wohnungslüftungen untergeordnet, da die Luftmengen eher tief sind und damit bei korrekter Auslegung diesbezüglich keine Probleme bereiten.

5.3 Raumluftqualität

Eine Hauptaufgabe der Lüftung ist die Sicherstellung einer Raumluftqualität, die für Gesundheit und das Wohlbefinden günstig ist. Wie (Waeber, 2011) aufzeigt, ist eine gute Durchlüftung der Räume dabei ein entscheidender Faktor. Der Frischluftwechsel beeinflusst nicht nur die subjektive Empfindung („Sick Building Syndrome“ das sich über Kopfschmerzen, Müdigkeit, Unwohlsein oder Schleimhautreizungen äussert), es bestehen auch starke Zusammenhänge zu handfesteren Gesundheitsrisiken wie Asthma, Allergie, Entzündungen und Infektionen (Waeber, 2011). In erster Linie wird gelüftet, um Belastungen aus dem Raum abzuführen. Dabei ist CO_2 ein guter Indikator für die Luftqualität in Wohnbauten (Emissionen primär durch Personen verursacht). CO_2 stellt ein Mass für den menschlichen Stoffwechsel im Raum dar und lässt sich zuverlässig und günstig messen (Huber, 2016). Da Belastungen der Raumluft jedoch auch von anderen Quellen (z.B. Materialien, Belastung der Aussenluft ect.) stammen können ist CO_2 als alleiniger Indikator unzureichend. Neben dem Luftwechsel selbst hat damit auch die Art der Aussenluftfilterung, der Standort der Aussenluftfassung sowie das Systemkonzept selbst (im Unterdruck gegenüber bei ausgeglichenem Druck) einen relevanten Einfluss auf die Beurteilung der Raumluftqualität.

Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte zur Raumluftqualität kurz erörtert:

Innenraumbelastung

Die Innenraumbelastung erfolgt (im Idealfall) hauptsächlich durch Menschen. Rauchen beeinträchtigt die Raumluftqualität massiv, wobei es gemäss SIA Norm 382/1 in Räumen, in denen geraucht wird, nicht möglich ist, eine gute Raumluftqualität zu erreichen. Neben den Personen kann eine Vielzahl von Schadstoffen die Raumluft belasten. So können Räucherstäbchen oder russende Kerzen die Raumluftkonzentration an Feinstaub stark ansteigen lassen und ccc Hier sollte jedoch an der Quelle angesetzt werden, sprich, die Emissionen sollten so weit wie möglich reduziert werden. Dies heisst, dass die für die Raumluftqualität relevanten Baukonstruktionen und Innenanwendungen mit emissionsarmen Baumaterialien zu planen und fachgerecht zu verarbeiten sind.

Belastung durch Personen

Eine erwachsene Person stösst tagsüber ungefähr 18 bis 30 l CO_2/h (sitzende Tätigkeit / ruhig stehend bzw. mittelschwere Tätigkeit stehend) und nachts 12 bis 16 l CO_2/h (ruhig liegend, schlafend bzw. ruhig sitzend) aus (gemäss Tabelle 4 aus (SIA 180, 2014)). Dieser Wert variiert jedoch abhängig von der Tätigkeit und der Konstitution der Personen. In (SIA 382/5, 2021) werden für Wohnungen als typische Werte für die CO_2-Emission pro Person 20 l/h am Tag und 13,6 l/h in der Nacht verwendet. Wiederum ist zu beachten, dass CO_2 nur ein Indikator für die Raumluftqualität ist

Feuchtigkeitsbelastung

Wird in Kapitel 5.4 behandelt.

Aussenluftbelastung

Die Aussenluft stellt die unbehandelte Luft dar, welche von aussen in die Lüftungsanlage oder in eine Öffnung einströmt. Die Aussenluft kann Schadstoffe wie Feinstaub, Stickoxide, Pollen oder auch Gerüche enthalten und hat einen relevanten Einfluss auf die Innenraumqualität. Sie wird gemäss SIA Norm 382/1 in drei Kategorien klassiert: AUL 1, AUL 2 und AUL 3. Für die Klassierung massgebend ist der kritischste Stoff in der Aussenluft sowie die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV). Bei der Klasse AUL 3 ist eine reine Fensterlüftung nicht mehr zulässig. Geruchsbelastungen müssen in der Regel durch Befragungen vor Ort abgeklärt werden und können ebenfalls ein Argument gegen eine reine Fensterlüftung darstellen.

Belastung durch Radon

Radon ist ein radioaktives Gas, das aus dem Untergrund in Gebäude eindringen kann und Lungenkrebs verursachen kann. Wegen Radonrisiko darf keine Luft aus dem Keller nachströmen, was insbesondere bei älteren Gebäuden mit Unterdruck im Wohnbereich geschehen könnte. Für Radon sind in der Strahlenschutzverordnung (StSV) verbindliche Grenzwerte angegeben.

Geruchsübertragung zw. Wohnungen

Geruchsübertragungen zwischen Wohnungen werden in erster Linie durch Leckagen in der Luftverteilung, eine gemeinsam genutzte Luftverteilung und Unterdruck in der Wohnung hervorgerufen. Insbesondere Anlagen die systembedingt zu einem Unterdruck in der Wohnung aufweisen (z.B. Kochstellenabluft, Anlagen mit Aussenluftdurchlässen) sind daher sorgfältig zu planen.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der Raumluftqualität von Bedeutung:

Luftschadstoffe

Luftschadstoffe umfassen Schadstoffe aus der Aussenluft wie Feinstaub, Stickoxide, Kohlenmonoxid; Radon aus dem Bauuntergrund; Schadstoffe aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen wie Formaldehyd, Lösemittel und andere flüchtige organische Verbindungen (VOC); biologische Verunreinigungen wie Allergene von Pollen, Milben und Haustieren sowie Schimmelpilze und Bakterien. Luftschadstoffe können, Geruchsauswirkungen haben.

Indikatoren für Luftqualität

Häufig wird CO_2 als Indikator für die empfundene Luftqualität in Wohnbauten verwendet. Andere Indikatoren, welche gemessen werden können, sind flüchtige organische Verbindungen (VOCs), Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (PM10).

Luftfilterung

Die Art der Filterung muss die örtliche Belastung der Aussenluft mit Staub und anderen Luftverunreinigungen, die Betriebsweise der Lüftungsanlage sowie die Anforderungen an die Raumluftqualität berücksichtigen. Die Aussenluft muss zwingend gefiltert werden.

Lüftungssysteme mit einer Filterung der Aussenluft bzw. Zuluft reduzieren die Pollenbelastung in der Raumluft und sind daher für Pollenallergiker geeignet.

5.4 Raumluftfeuchte

Die Raumluftfeuchte ist ein Parameter der Luftqualität, der von der Feuchteproduktion in der Wohnung (Personen, Kochen, Duschen etc.), der Lüftung (Lüftungsverhalten, Luftwechsel) und dem Aussenklima (Aussenfeuchte, Aussentemperatur) abhängt. Durch die Art und den Betrieb des Lüftungssystem wird dieser massgeblich beeinflusst, was für die Gesundheit, Nutzerzufriedenheit bzw. den Komfort und die Bauschadensfreiheit eine wichtige Rolle spielt.

Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte zur Raumluftfeuchte kurz erörtert:

Hohe Raumluftfeuchte

Hohe Raumluftfeuchten sind hygienisch bedeutend kritischer als niedrige. Vorwiegend während des Sommerhalbjahres besteht in Wohnungen ein Feuchteüberschuss, der zwingend durch Lüften abgeführt werden muss. Bei Raumluftfeuchten von über 70 % nimmt das Risiko von Schimmelpilzwachstum (insbesondere an kalten Oberflächen z.B. im Winter) deutlich zu. Zudem wird die Raumluft als weniger frisch empfunden und durch ein stärkeres Wachstum von Mikroorganismen entstehen Gerüche (Huber, 2016). Bei zu geringem Luftaustausch wird das Problem verschärft und das Risiko von Schimmelpilzwachstum nimmt stark zu.

Schimmelpilzwachstum

Der Schimmelpilz benötigt einerseits ein feuchtwarmes Klima und andererseits einen zugluftgeschützten Ort, um gedeihen zu können. Deshalb sind kühle Wände in Kombination mit einer hohen Raumluftfeuchte besonders anfällig (Wasser kondensiert auf der Oberfläche der Wand). Mit dem Ausmass der Schimmelbildung nehmen auch die Gesundheitsrisiken zu. Neben häufigen Reizungen von Augen, Haut und Atemwegen, erhöht sich das Risiko für Atemwegserkrankungen sowie für eine Entwicklung und Verschlimmerung von Asthmasymptomen (Tappler, et al., 2019).

Niedrige Raumluftfeuchte

Bei zu tiefer Luftfeuchtigkeit können Schleimhäute austrocknen, was Atemwegserkrankungen fördert (ecobau, 2020). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass es für eine gesunde Person unproblematisch ist, wenn die Raumluftfeuchte an einigen wenigen Tagen im Jahr unter 30 % relative Feuchte sinkt (Huber, 2016). Dem kann mit einem bedarfsgerechten Luftwechsel und einer Feuchterückgewinnung entgegengewirkt werden.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der Raumluftfeuchte von Bedeutung:

Feuchtequellen

Neben Personen gibt es diverse andere Feuchtequellen im Raum wie z.B. Pflanzen, Kochen und Duschen. Dabei gibt eine sitzende Person gemäss SIA-Merkblatt 2024 80 Gramm Wasserdampf pro Stunde ab.

Relative Luftfeuchte [%]

Die relative Luftfeuchte beschreibt das Verhältnis des effektiven Wasserdampfdrucks zum Sättigungsdampfdruck bei gleicher Temperatur. Sie gibt somit an, wie viel der maximal möglichen Wasserdampfmenge die Luft enthält. Bei gleichbleibender absoluter Feuchte ist die relative Feuchte daher stark von der Lufttemperatur abhängig.

Massebezogene Luftfeuchte [g/kg]

Die massebezogene Luftfeuchte beschreibt das Verhältnis zwischen den Massenanteilen Wasserdampf und trockene Luft bei konstanter Temperatur. Sie wird auch als Mischungsverhältnis bezeichnet.

Nach SIA 180: 2014, Ziffern 3.5.1.3 und 3.5.1.4, muss die massebezogene Raumluftfeuchte in mechanisch belüfteten Räumen in der Regel (Unter-. bzw. Überschreitung während 10% der Nutzungszeit zulässig) höher als 4.9 g/kg und niedriger als 13.7 g/kg sein. Gemäss Merkblatt SIA 2024 entspricht dies einem Bereich für die relative Luftfeuchte von 30...60%.

5.5 Thermische Behaglichkeit

Einen wesentlichen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit eines Menschen haben die Raumtemperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Luftgeschwindigkeit. Diese beeinflussen den Wärmehaushalt des menschlichen Körpers entscheidend. Im Zusammenhang mit der Lüftung ist insbesondere die Beurteilung der Unzufriedenheit wegen Zugluft nach SIA 180 von Bedeutung. Daneben können je nach System auch andere Kriterien wie minimale Oberflächentemperaturen oder der sommerliche Wärmeschutz z.B. bei Aussenluftdurchlässen relevant sein.

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte zur thermischen Behaglichkeit in Bezug auf die Lüftungskonzepte von Wohnbauten kurz erörtert.

Unzufriedenheit wegen Zugluft

Das Kriterium der Unzufriedenheit wegen Zugluft beschreibt nach SIA 180 der zu erwartende Anteil an Unzufriedenen, die sich trotz optimaler empfundener Temperatur über Zugluft beklagen. Dies wird mit der Zugluftrate (DR) bewertet bzw. gemessen. Die zulässige Raumluftgeschwindigkeit ist abhängig vom Zugluftrisiko, dem Turbulenzgrad und der Raumlufttemperatur. Die Norm SIA 180 zeigt die zulässigen Raumluftgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Lufttemperatur sowohl für die natürliche Lüftung wie auch die mechanische Lüftung auf. Kritisch ist dabei insbesondere kalte Aussenluft (bei Fensteröffnung oder Aussenluftdurchlass) oder Zuluft (bei Anlagen mit ungenügender oder instationärer Wärmerückgewinnung)

Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz muss primär mit baulichen (Sonnenschutz etc.) sichergestellt werden, da die nach Norm vorgegebenen Luftvolumenströme ungeeignet sind zur Gewährleistung des sommerlichen Wärmeschutzes (SIA 382/5, 2021). Allerdings soll die Lüftung die Problematik nicht noch verschärfen. Dies betrifft neben einem angepassten Betrieb der Anlage und der Wärmerückgewinnung insbesondere die Art und der Ort der Aussenluftfassung bzw. des Aussenluftdurchlasses. Für die Beurteilung massgebend ist dabei die in den Raum eintretende Zulufttemperatur.

Winterlicher Wärmeschutz

In Bezug auf die Lüftungskonzepte sind beim winterlichen Wärmeschutz in erster Linie die Oberflächentemperaturen von Bedeutung, die bei Konzepten die direkt über die Fassade Aussenluft beziehen

im Winter tief sein können und damit ein Problem bezüglich Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit darstellen können. Die verwendeten Bauteile müssen daher die Anforderungen von SIA 180 einhalten. Danach darf die Oberflächenfeuchte (relative Feuchte der oberflächennahen Luftschicht) den Wert von 80 % nicht während mehr als zweier aufeinander folgender Wochen pro Jahr übersteigen.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit von Bedeutung:

Aufenthaltsbereich
Die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit müssen im Aufenthaltsbereich eingehalten werden. Die Definition des Aufenthaltsbereichs richtet sich ohne besondere Vereinbarung nach SIA 180 Kapitel 2.1.2. Dabei ist zu beachten, dass für den Aufenthaltsbereich in Zonen im Nahbereich von Zuluftdurchlässen (z.B. bei Bodendurchlässen) oder Aussenluftdurchlässen ohne besondere Abmachung eine Distanz von 0.5 m gilt.

Zugluftrate (DR)
Die Zugluftrate beschreibt den vorausgesagten Prozentsatz an Menschen, die sich durch Zugluft beeinträchtigt fühlen. Details zur Berechnung der Zugluftrate siehe (SIA 180, 2014) Anhang B.3.1.

operative (empfundene) Temperatur
Für die thermische Behaglichkeit massgebende Temperatur unter Berücksichtigung der Lufttemperatur am betrachteten Ort im Raum und der Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen. Sie kann meist dem Mittel zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur gleichgesetzt werden. Bei Gebäuden mit gut gedämmter Gebäudehülle weicht empfundenen Temperatur daher nur geringfügig von der Raumlufttemperatur ab.

5.6 Robustheit, Benutzerverhalten

Unter Robustheit versteht man im Kontext von Wohnungslüftungen die Fähigkeit eines Lüftungssystems, äusseren Veränderungen standzuhalten, sprich, wie robust sich die Performance des Lüftungssystems (Luftqualität, Komfort, Energieverbrauch, etc.) gegen veränderte Rahmenbedingungen verhält. Dabei kann die veränderte Rahmenbedingung sowohl durch externe Einflüsse (z.B. Wind, Temperaturen etc.) aber auch durch das Benutzerverhalten bedingt sein. Daher werden diese beiden Kriterien zusammen betrachtet.

Jedes Lüftungssystem setzt ein entsprechendes Benutzerverhalten voraus, um seine Funktionen befriedigend erfüllen zu können. So kann ein falsches Benutzerverhalten z.B. zu ungenügender Raumluftqualität (wenn beispielsweise bei der Fensterlüftung zu selten gelüftet wird) oder zu einem höheren Energieverbrauch führen (wenn beispielsweise trotz Komfortlüftung und WRG im Winter häufig über die Fenster gelüftet wird). Die Angaben in den Normen beziehen sich jeweils auf ein «übliches» Benutzerverhalten, was in der Praxis dann natürlich nicht der Fall sein muss. Aus diesen Gründen ist es wichtig, den Aspekt des Benutzerverhaltens zu berücksichtigen.

Nachfolgend werden die wesentlichen Einflüsse erläutert, welche die Lüftungsperformance beeinflussen können und gegen welche die verschiedenen Lüftungssysteme unterschiedlich robust sind.

Benutzerverhalten: Offener Fenster
Offene Fenster beeinflussen die Leistung eines Lüftungssystems in vielerlei Hinsicht. So kann die Häufigkeit und Dauer an geöffneten Fenstern sowohl die Luftqualität (z.B. ungenügende Luftqualität bei zu seltenem Öffnen der Fenster beim System «Fensterlüftung») wie auch die Betriebsenergie (z.B. tiefere Einsparung an Heizwärme beim System «einfache Lüftungsanlage»). Auch können offene Fenster bei Systemen, die mit Unterdruck in der Wohnung arbeiten die Luftverteilung innerhalb der Wohnung stark beeinträchtigen.

Benutzerverhalten: Offene Türen

Offene bzw. geschlossene Türen können die Luftverteilung innerhalb der Wohnung beeinträchtigen. Dies ist insbesondere bei Konzepten relevant die auf eine natürliche Luftverteilung (nicht mechanisch unterstützt) setzen, wie z.B. bei der Fensterlüftung.

Benutzerverhalten: Lüftungsmassnahme

Die verschiedenen Lüftungssysteme für Wohnbauten sind unterschiedlich stark abhängig vom Benutzerverhalten. Die deutsche Norm DIN 1946-6 spricht in diesem Zusammenhang von «nutzerabhängigen Lüftungsmassnahmen». So ist z.B. die Fensterlüftung stark abhängig vom Benutzerverhalten, um gute Raumluftqualität bereitzustellen und damit für sich kein nutzerunabhängig wirksames Lüftungssystem.

Wind

Starker Wind kann die Leistung von Lüftungssysteme beeinträchtigten die empfindlich auf Windeinflüsse sind. Dies betrifft vor allem Elemente, die auf geringen Druckdifferenzen basieren (wie z.B. Aussenluftdurchlässe oder Einzelraumlüftungsgeräte mit Axialventilatoren). Dies muss insbesondere bei Gebäuden mit starker Windexposition (Starkwindgebiete, Hochhäuser) berücksichtigt werden.

Einfluss der Instandhaltung und Wartung

Lüftungssysteme sind unterschiedlich stark abhängig von einer regelmässigen und sachgerechten Wartung und Instandhaltung. Dies betrifft auch hier vor allem Elemente, die auf geringen Druckdifferenzen basieren (wie z.B. Aussenluftdurchlässe oder Einzelraumlüftungsgeräte mit Axialventilatoren). Hier führt eine ungenügende Wartung zu starken Leistungseinbussen (z.B. in Form von schlechter Luftqualität oder auch erhöhtem Risiko von Geruchsproblemen).

Raumnutzung und Wohnungsbelegung

In der Planung gelten für die Nutzung und Luftmengen die Vorgaben aus SIA 382/5. Für den späteren Betrieb ist es jedoch wichtig, dass das Lüftungskonzept genügend flexibel ist auch davon abweichende Haushaltstypen optimal zu versorgen. Dies spricht für alle bedarfsgerecht geregelten Konzepte.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf Robustheit und das Benutzerverhalten von Bedeutung und werden daher nachfolgend kurz erörtert:

Instruktion

Eine Instruktion der Benutzer ist gemäss SIA 382/5 zwingend notwendig. Dabei ist vorgegeben, welche Themen zu erörtern und in einer schriftlichen Anleitung abzugeben sind.

Instandhaltung

Die Verantwortung für die Instandhaltung liegt beim Eigentümer, wobei die Zuständigkeiten für die Instandhaltungsarbeiten spätestens bei der Übergabe festgelegt werden. Die Richtlinie SWKI VA104-01 beinhaltet eine Checkliste für die Instandhaltung. SIA 382/5 verweist auch auf die Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen gemäss SN EN 16798-17.

5.7 Betriebsenergie

Für die Bewertung des Kriteriums der Betriebsenergie wird die Systemgrenze in der Betrachtung beim Lüftungsgerät (Strom) bzw. beim Ausgang des Wärmeerzeugers (Wärme) gelegt. Dies wird so festgelegt, damit die berechneten Werte für unterschiedliche Wärmeerzeugungsarten oder Stromerzeugungsarten verwendet werden können. Eine entsprechende Gesamtbewertung wird im Kapitel 5.9 beschrieben.

Für das Kriterium der Betriebsenergie sind die Teilaspekte zur Betriebsenergie Strom und Betriebsenergie Wärme wie folgt definiert worden:

Betriebsenergie Strom

Der Betriebsenergiebedarf Strom beinhaltet den Elektrizitätsbedarf der (mechanischen) Lüftung und setzt sich aus dem Elektrizitätsbedarf der Luftförderung, dem Elektrizitätsbedarf des Vereisungsschutzes der Wärmerückgewinnung (WRG) und den zusätzlich verbauten Elementen (wie z.B. KWL-Box oder Verbundlüfter) zusammen.

Nicht in diesem Wert einbezogen wird der Strombedarf der Wärmepumpe von Lüftungsanlagen mit Abluftwärmepumpe (nur LK 3). Dieser zusätzliche Stromverbrauch wird nur in der Gesamtbetrachtung einbezogen, da dies zur vergleichbaren Berechnung Festlegungen zum Heizsystem im Haus erfordert.

Betriebsenergie Wärme

Der Betriebsenergiebedarf Wärme beinhaltet den durch die Lüftung verursachten Anteil des Heizwärmebedarfs. Dieser setzt sich aus den Lüftungswärmeverlusten dem Wärmebedarf des Vereisungsschutzes der WRG sowie den Wärmeverlusten durch Lüftungsleitungen innerhalb der Gebäudehülle zusammen.

Bei den Lüftungsanlagen mit Abluftwärmepumpe beinhaltet dieser Wert die gesamten Wärmeverluste ohne die mit der Wärmepumpe genutzte Abwärme. Dieser zusätzliche Wärmenutzung wird nur in der Gesamtbetrachtung einbezogen, da dies zur vergleichbaren Berechnung Festlegungen zum Heizsystem im Haus erfordert.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der Betriebsenergie von Bedeutung und werden daher nachfolgend kurz erörtert:

Elektrizitätsbedarf Luftförderung

Der Elektrizitätsbedarf der Luftförderung hängt von den Ventilatoren, deren Steuerung/Regelung (bzw. Betriebsweise) und den Druckverlusten im Lüftungsgerät und der Luftverteilung ab. Die folgenden beiden Kenngrössen sind wichtig für die Luftförderung:

- **Spezifische Ventilatorleistung (SFP)**: Verhältnis von effektiver Aufnahmeleistung des Ventilatormotors zum gesamten geförderten Luftvolumenstrom [W/(m^3/h)]
- **Spezifische Geräteleistung (SPI)**: Verhältnis der gesamten elektrischen Aufnahmeleistung eines Lüftungsgerätes zum mittleren Luftvolumenstrom von Zu- und Abluft, wobei das Enteisen sowie eine Vor- und Nachheizung nicht erfasst werden [W/(m^3/h)]

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die pro Jahr erforderlich ist, um ein Gebäude auf einer gewünschten Raumtemperatur zu halten. Er bestimmt sich aus den Verlusten der Transmission und der Lüftung abzüglich des genutzten Anteils der solaren und internen Wärmeeinträge. Die Lüftungswärmeverluste (und somit auch der Heizwärmebedarf) hängen vom gewählten Lüftungssystem ab.

Lüftungswärmeverluste	Lüftungswärmeverluste beschreiben Wärme, die durch Lüftung vom beheizten Raum an die äussere Umgebung abgegeben wird. Sie hängen hauptsächlich von der Temperaturdifferenz (zwischen Innen- und Aussentemperatur) und dem thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstrom ab, wobei der thermisch wirksame Aussenluftvolumenstrom vom Lüftungssystem abhängt, nämlich vom geförderten Aussen-/Fortluft-Volumenstrom und dem Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung.
Infiltration	Infiltration bedeutet unkontrollierter Lufteintritt durch Undichtheiten der Gebäudehülle, verursacht durch Auftrieb, Wind oder Abluftüberschuss des mechanischen Systems (Unterdruck). In der Berechnung sind sie Teil der Lüftungswärmeverluste.
Effektiver Nutzen der WRG	Der effektive Nutzen der WRG ist über das gesamte Gebäude zu betrachten. Disbalance (zwischen Zu- und Abluft), zusätzliche Druckverluste (z.B. durch Verschmutzung) und Luftförderverluste (durch Infiltration und Leckagen) können den Temperaturänderungsgrad, sprich die Effizienz, der WRG stark reduzieren.
Vereisungsschutz der WRG	Bei tiefen Aussentemperaturen kann Kondenswasser auf der Abluftseite der WRG gefrieren. Deshalb soll durch geeignete Massnahmen verhindert werden, dass die WRG durch Frost und Eis verstopft. Der Vereisungsschutz kann unterschiedlich gewährleistet werden, z.B. mit einer WRG mit Feuchteübertragung, einem Erdreich-Wärmeübertrager oder einer Bypass-Steuerung mit Nacherwärmung. Der Energieaufwand für den Vereisungsschutz muss berücksichtigt werden.
Steuerung/Regelung	Der Einfluss des Lüftungssystems auf den Verbrauch an Betriebsenergie hängt stark von der Steuerung/Regelung ab. Die Betriebsweise eines Lüftungssystems hat einen starken Einfluss sowohl auf den Elektrizitätsbedarf wie auch auf den Heizwärmebedarf.

5.8 Materialökologie

Neben der Betriebsenergie ist die Materialökologie das heisst die Umweltauswirkungen der für das Lüftungssystem verwendeten Materialien ein wichtiges Kriterium. Dabei werden die für die Erstellung, den Unterhalt und die Entsorgung benötigten Materialien über den ganzen Lebenszyklus bilanziert. Damit können bezüglich der Materialisierung unterschiedliche Konzepte miteinander verglichen werden. Dieser Kennwert beinhaltet Betriebsenergie der Lüftungsanlagen noch nicht.

Die Gesamtbewertung mit Einbezug der Betriebsenergien und weitere Details zur verwendeten Systemgrenze werden in Kapitel 5.9 beschrieben.

über den ganzen Lebenszyklus, eines Lüftungssystems gemeint. Indem alle Lebensphasen berücksichtigt werden, kann die ökologische Performance eines Lüftungssystems ganzheitlich bewertet und verglichen werden. Die Betriebsenergie wird also ebenso berücksichtigt wie die graue Energie. Nachfolgend werden verschiedene Aspekte erläutert sowie Begriffe definiert, welche bezüglich der Ökobilanz von Lüftungssystemen relevant sind.

Das Kriterium der Materialökobilanz ist für die Studie wie folgt definiert worden:

Materialökobilanz

Die Materialökobilanz beinhaltet alle Materialien, die zur Erstellung des Lüftungssystems erforderlich sind. Dies beinhaltet neben den Geräten, Luftleitungen weitere Elemente, die für die Erstellung des Lüftungssystems erforderlich sind. Dies beinhaltet z.B. auch notwendige Anschlussleitungen für Heizung, Elektro, bauliche Aufwände z.B. für Schachtwände und Aufwände für Unterhalt und Wartung (Material, Transport).

Bewusst nicht einbezogen werden allfällige Mehr- / Minderaufwände, die sich aus der Veränderung vom Wärmebedarf des Gebäudes ergeben. Dies damit die Ergebnisse unabhängig von der eingesetzten Wärmeerzeugung weiterverwendet werden können. Diese Aufwände werden nur in der in Kapitel 5.9 beschriebenen Gesamtbewertung einbezogen.

Die Werte der Materialökobilanz werden immer pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr umgerechnet. Die für diese Berechnung verwendeten Annahmen zur Lebensdauer der Elemente basieren auf (SIA 382/1, 2014) sowie (SIA 2032, 2010). Die verwendeten Werte sind in Tabelle 4 dokumentiert.

Die Werte der Materialökobilanz werden für folgende Indikatoren ausgewertet:

- Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)
- Primärenergie gesamt (nicht erneuerbar +erneuerbar)
- Treibhausgasemissionen
- Umweltbelastungspunkte 2013

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der Materialökobilanz von Bedeutung und werden daher nachfolgend kurz erörtert:

Ökobilanz

Eine Ökobilanz, auch Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment; LCA) genannt, ist eine systematische Analyse der Umweltauswirkungen eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus.

Zuerst werden jeweils die Ziele und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Anschliessend wird mittels Datenbanken (wie z.B. ecoinvent[8]) eine Sachbilanz erstellt, in der alle Ressourcenverbräuche und Emissionen bzw. Ausstoss von Schadstoffen entlang des gesamten Lebenszyklus quantifiziert werden. Die darauffolgende Wirkungsabschätzung ordnet die Ergebnisse der Sachbilanz nach wissenschaftlich basierten Kriterien verschiedenen Wirkungskategorien zu. Eine Wirkungskategorie fasst die Umweltwirkung der einzelnen Stoffe (Ressourcenverbräuche und Emissionen bzw. Ausstoss von Schadstoffen) zu einem Umweltthema (z.B. Klimaerwärmung) anhand eines Indikators zusammen.

Indikatoren

Je nach Wirkungsabschätzungsmethode werden unterschiedliche Indikatoren verwendet, um die Umweltauswirkungen zu quantifizieren. Die folgenden vier Indikatoren werden in der Schweiz angewandt und z.B. in den Daten von (KBOB, 2016) publiziert:

[8] Die in der Untersuchung verwendeten Ökobilanzdaten aus (KBOB, 2016) und anderen Untersuchungen basieren auf der ecoinvent-Datenbestand v2.2 (Ökobilanzdatenbanken enthalten Sachbilanzdaten)

- *Nicht erneuerbare Primärenergie [kWh_{oil-eq}]*: Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandelung und keinem Transport unterworfen worden ist und die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird (z.B. fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern)
- *Primärenergie gesamt [kWh_{oil-eq}]*: Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandelung und keinem Transport unterworfen worden ist und sowohl aus erneuerbaren wie auch aus nichterneuerbaren Quellen gewonnen wird.
- *Treibhausgasemissionen [kg CO_2-Äquivalente]*: Alle zum Klimawandel beitragende Emissionen werden nach ihrem Treibhauspotenzial gewichtet und so in CO_2-Äquivalente umgewandelt. Die Treibhauswirkung wird auf Basis der Treibhauspotenziale des 5. Sachstandberichts des IPCC (2013) quantifiziert.
- *Umweltbelastungspunkte [UBP]*: Die Methode der ökologischen Knappheit (2013) zeigt in Umweltbelastungspunkten ein vollständiges Bild der Umweltauswirkungen auf und basiert auf der schweizerischen Umweltpolitik. Die Gewichtung der Umweltbelastungen erfolgt aufgrund der politischen Umweltziele der Schweiz vornimmt. Die Bewertung beinhaltet Umweltbelastungen durch die Nutzung von Energie- und stofflichen Ressourcen, von Land und Süsswasser, durch Emissionen in Luft, Gewässer und Boden, durch die Ablagerung von Rückständen aus der Abfallbehandlung sowie durch Verkehrslärm.

Graue Energie

Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als nicht erneuerbarer Primärenergieaufwand bezeichnet.

Graue Treibhausgasemissionen

Kumulierte Menge der Treibhausgase (CO_2, Methan, Stickoxid und weitere klimawirksame Gase), die bei allen vorgelagerten Prozessen, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und bei der Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, emittiert wird. Sie wird in CO_2-Äquivalenten ausgedrückt. Dabei wird die gleiche Sachbilanz berücksichtigt wie bei der Grauen Energie.

Lebensphasen

In einer Ökobilanz werden die nachfolgenden Lebensphasen unterschieden:

- Herstellung und Installation
- Betrieb (inkl. Unterhalt und Wartung)
- Rückbau und Entsorgung bzw. Recycling

Rückbau bzw. Entsorgung

Bei Lüftungsanlagen sollte bereits in der Planung sichergestellt werden, dass der spätere Rückbau der Anlagen und deren Entsorgung ohne vermeidbare Umweltbelastungen möglich sind. Aus diesem Grund ist bei der Wahl der Lüftungskomponenten zu berücksichtigen, dass sie getrennt und wenn möglich wiederverwertet werden können

5.9 Gesamtökobilanz

In der Gesamtökobilanz wird die Systemgrenze der Materialökobilanz erweitert damit die Systemgrenzen einen gleichwertigen Gesamtvergleich der verschiedenen Systeme ermöglicht. Dabei wird die Herstellung / Wartung / Erneuerung, der Betrieb (Energiebedarf) und die Entsorgung aller Komponenten bezogen auf 1 m^2 Energiebezugsfläche und Jahr bezogen (funktionale Einheit). Mit dem Bezug der Belastungen aus dem gesamten Lebenszyklus (inkl. Betrieb) müssen die Wärmeverluste und der Stromverbrauch einbezogen und bewertet werden, damit ein Vergleich der verschiedenen Systemkombinationen möglich ist. Die dafür erforderlichen Festlegungen sind in 7.1.4 beschrieben.

Für die Gesamtökobilanz wurden in diesem Projekt folgende Festlegungen gemacht:

- Wärmeerzeugung mit Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer JAZ von 2.8
- Elektrizität vom Netz bilanziert mit Schweizer Verbrauchermix

Die für die Ökobilanzierung verwendeten Systemgrenzen mit den berücksichtigten Elementen sind in Abbildung 25 dargestellt.

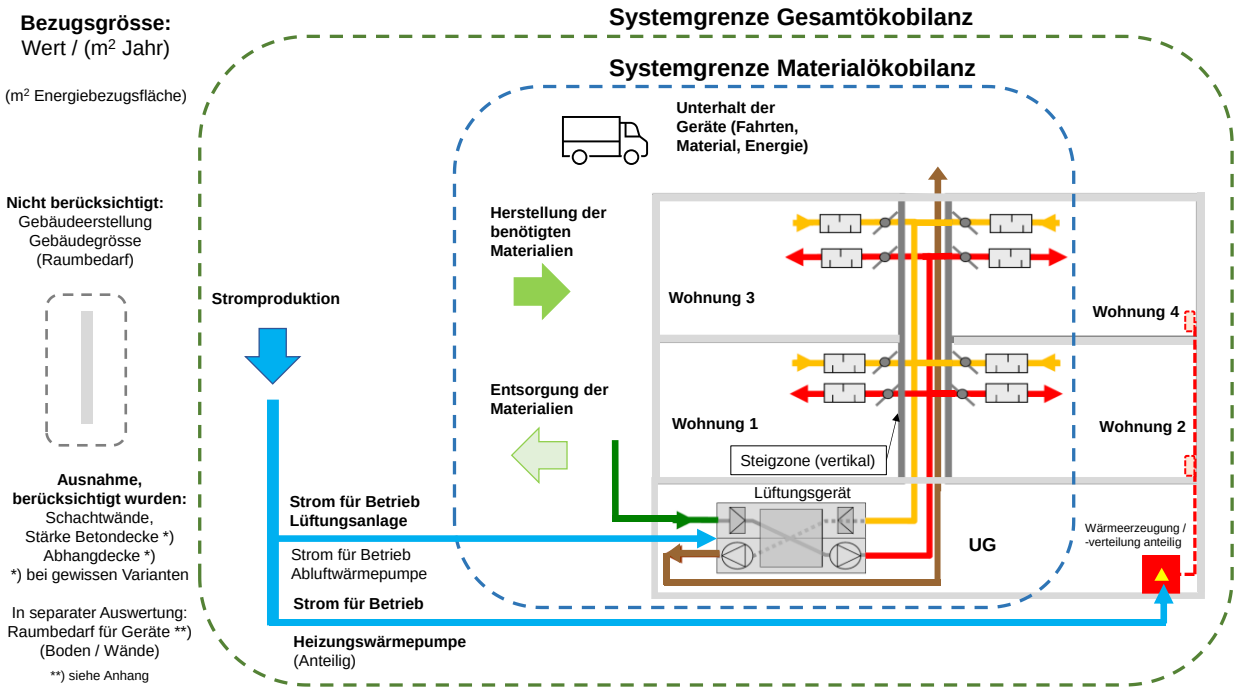


Abbildung 25: Systemgrenze der Ökobilanzbetrachtung zum Vergleich der Lüftungssysteme

5.10 Ökonomie

Die Wirtschaftlichkeit bzw. die Kosten stellen ein wichtiges Kriterium bei der Wahl eines Lüftungssystems dar, nicht zuletzt für den Bauherrn bzw. Investor. Wie schon bei der Ökobilanz ist es auch bei der finanziellen Bewertung wichtig, sämtliche Kosten aller Lebensphasen der Lüftungsanlagen zu berücksichtigen. Diese umfassen Investitions-, Kapital-, Energie-, Unterhalts- und Entsorgungskosten (bzw. den Restwert). Nachfolgend werden die wesentlichen Aspekte erläutert.

Für die Bewertung des Kriteriums der Ökonomie wird in der Analyse auf die Investitionskosten und die Unterhaltskosten fokussiert. Mit diesen beinen Kriterien kann bereits ein Vergleich der Systeme erfolgen, ohne dass weitergehende Festlegungen zu anderen Gewerken oder anderen Kostenparameter getroffen werden müssen. Für eine Gesamtbewertung der Jahreskosten müssen diese Aspekte jedoch einbezogen werden dies wird im Kapitel 5.11 beschrieben.

Für die Bewertung des Kriteriums der Ökonomie sind die Teilaspekte zu den Investitionskosten und den Unterhaltskosten wie folgt definiert worden:

Investitionskosten

Investitionskosten sind Ausgaben für Investitionen vom Beginn bis zum Ende der Betrachtungsperiode. Es wird unterschieden zwischen Anfangsinvestitionen zu Beginn der Betrachtungsperiode sowie Ersatz- bzw. Erneuerungsinvestitionen während der Betrachtungsperiode. Im ermittelten Wert sind nur die Anfangsinvestitionen enthalten. Bei der Gesamtbetrachtung der Jahreskosten werden Erneuerungsinvestitionen (Ersatz von Anlageteilen) werden in über die Lebensdauer (Annuität) berücksichtigt.

Unterhaltskosten

Unterhaltskosten beinhalten Kosten für Kontrolle und Reinigung der Lüftungsanlagen während der Betrachtungsperiode. Diese Kosten beinhalten in der vorliegenden Analyse den Aufwand für den jährlichen Service, das heisst Anfahrt, Arbeitszeit, Filterersatz sowie benötigtes Kleinmaterial. Im Weiteren beinhalten die Kosten eine periodische Hygieneinspektion und Reinigung des Luftverteilungssystems (hier im 6-Jahres Intervall angesetzt) mit denselben Kostenpositionen. Weitere Beschreibungen und Begriffe zu diesem Kriterium sind in Kapitel 5.12 zu finden.

Folgende Begriffe sind in Bezug auf die Beurteilung der Ökonomie von Bedeutung und werden daher nachfolgend kurz erörtert:

Wirtschaftlichkeitsrechnung

Mit einer Wirtschaftlichkeitsrechnung, auch Investitionsrechnung genannt, wird ein oder mehrere Investitionsvorhaben auf deren Wirtschaftlichkeit untersucht. Dabei gibt es statische (z.B. statische Amortisationsrechnung) und dynamische Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung Im vorliegenden Projekt wird die Kapitalwertmethode oder Annuitätenmethode angewendet. (statische Methode)

Amortisationsrechnung

Bei der Amortisationsrechnung wird die Zeitdauer berechnet, die notwendig ist, um das eingesetzte Kapital zurückzuzahlen. Diese Rückzahldauer gibt an, wie lange ein Projekt bzw. ein Objekt genutzt werden muss, damit es wirtschaftlich ist.

Kapitalwertmethode

Der Kapitalwert ist gleich der Summe der Barwerte der Ausgaben und Einnahmen über die ganze Betrachtungsperiode, berechnet mit dem Kalkulationszinssatz.

Annuitätenmethode

Der Kapitalwert einer Investition wird über die Nutzungsdauer auf konstante jährliche Zahlungen (sogenannte Annuitäten) verteilt. Eine Annuität entspricht dem Netto-Jahresertrag, sprich, der Differenz zwischen den mittleren Jahreseinnahmen und den mittleren Jahresausgaben (inkl. Kapitalkosten) über die Betrachtungsperiode. In diesem Bericht wird für Gesamtbetrachtung der Jahreskosten die Annuitätenmethode angewendet.

Lebenszykluskostenrechnung

Werden bei der Kapitelwert- oder Annuitätenmethode nur die Kosten, also negative Zahlungsströme, berücksichtigt, spricht man auch von einer Lebenszykluskostenrechnung. Da ein Lüftungssystem in der Regel keine (monetären) Einnahmen generiert, werden oft die Lebenszykluskosten benutzt, um verschiedene Systeme miteinander zu vergleichen.

Kapitalkosten	Kapitalkosten sind jährliche Kosten zur Verzinsung und Amortisation der Investition. Sie entsprechen somit den jährlichen Kosten der Verzinsung und Rückzahlung eines Darlehens in der Höhe der Investitionskosten.
Energiekosten	Die bezüglich Lüftungssystemen relevanten Energiekosten umfassen die jährlichen Kosten für die Heizwärme sowie die Stromkosten für die Versorgung des Lüftungsgerätes. Diese Werden für die Gesamtbetrachtung der Jahreskosten einbezogen.
Restwert	Der Restwert beschreibt den Wert einer Investition am Ende der Betrachtungsperiode. Er entspricht dem Verkaufspreis der ausgebauten Anlagenteile, vermindert um die Rückbau- und Entsorgungskosten. In Analyse in diesem Bericht wird kein Restwert berücksichtigt.
Nicht monetäre Vor- und Nachteile	Lüftungssysteme haben diverse nicht monetäre Auswirkungen, sprich, Vor- bzw. Nachteile, die in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht – oder nur mit Schwierigkeiten – berücksichtigt werden können (auch Co-Benefits genannt). So lässt sich z.B. eine Komfortsteigerung bzw. der Nutzen von gesunder Raumluft nur schwer monetär beurteilen. Aus diesem Grund ist bei der Wahl eines Lüftungssystems entscheidend, dass nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern alle hier vorgestellten Kriterien berücksichtigt werden.
Kosten des zusätzlichen Platzbedarfes	Je nach Lüftungssystem wird unterschiedlich viel Raum beansprucht, welcher ansonsten anderweitig genutzt werden könnte. In diesem Bericht wird für Gesamtbetrachtung der Jahreskosten die Erstellungskosten der benötigten Schachtflächen berücksichtigt. Weitere Angaben zu diesem Kriterium ist in Kapitel 5.13 zu finden.

5.11 Gesamtbewertung der Jahreskosten

In der Gesamtbewertung der Jahreskosten wird die Systemgrenze der Kostenberechnung weitert damit die Systemgrenzen einen gleichwertigen Gesamtvergleich der verschiedenen Systeme ermöglicht. Dabei werden die Erstellungs-, Unterhalts- und Betriebskosten (inkl. Strom und Wärme) als Jahreskosten bezogen auf 1 m^2 Energiebezugsfläche bezogen (funktionale Einheit). Mit dem Bezug der Belastungen aus dem gesamten Lebenszyklus (inkl. Betrieb) müssen die Wärmeverluste und der Stromverbrauch einbezogen und bewertet werden, damit ein Vergleich der verschiedenen Systemkombinationen möglich ist. Die dafür erforderlichen Festlegungen sind in 7.1.7beschrieben.

Für die Gesamtbewertung der Jahreskosten wurden zum einen identische Festlegungen wie bei der Gesamtökobilanz gemacht (Lebensdauer, Art der Wärmeerzeugung) und zum anderen mussten verschiedene Festlegungen bezüglich der Kostenberechnung getroffen werden:

- verwendeter Realzinssatz für Annuitätenberechnung: 3%
- Raumkosten für Schächte von 350 CHF/m^3
- Kostenkennwert zusätzliche Wärmeleistung 3.2 CHF/W (Erzeugung + Verteilung)
- Stromkosten für Elektrizität vom Netz: 0.2 CHF/kWh

Die für die Gesamtbewertung der Jahreskosten verwendeten Systemgrenzen mit den berücksichtigten Elementen sind in Abbildung 26 dargestellt.

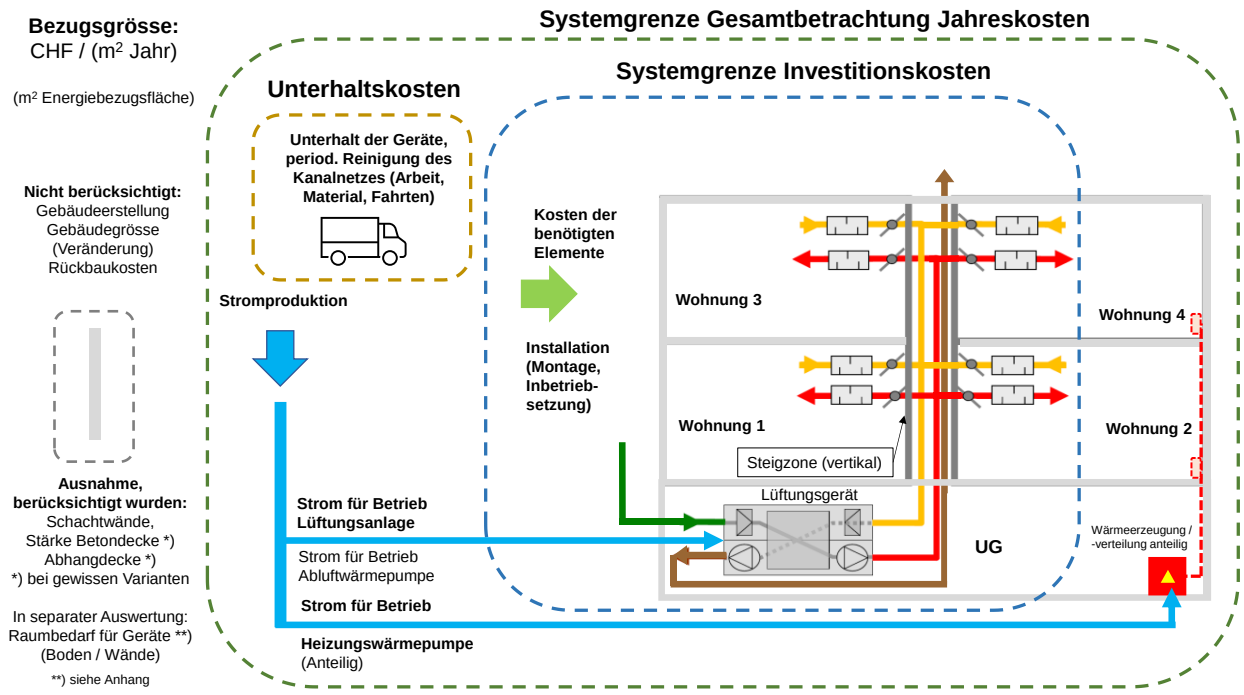


Abbildung 26: Systemgrenze der Gesamtbewertung der Jahreskosten zum Vergleich der Lüftungssysteme

5.12 Instandhaltung und Reinigung

Die Instandhaltung, d.h. die regelmässige Wartung und Reinigung der Lüftungsanlagen, ist Voraussetzung für eine einwandfreie Hygiene. Eine regelmässige Instandhaltung und Reinigung werden für die betrachteten Systeme vorausgesetzt. Die Bewertung dieser Aspekt schlägt sich daher primär in den Unterhaltskosten nieder. Je nach betrachtetem System fliessen Bewertungen zur Instandhaltung und Reinigung aber auch bei der Robustheit (siehe Kapitel 5.6) oder der Gesundheit bzw. Luftqualität (siehe Kapitel 5.3) ein. Nachfolgend werden wichtige Aspekte der Instandhaltung bzw. Reinigung genauer erläutert.

Instandhaltung

Die Verantwortung für die Instandhaltung liegt beim Eigentümer, wobei die Zuständigkeiten für die Instandhaltungsarbeiten spätestens bei der Übergabe festgelegt werden. In der Norm SIA 382/1:2021 werden zur Instandhaltung Festlegungen gemacht, Die Richtlinie SWKI VA104-01 beinhaltet eine Checkliste für die Instandhaltung.

Aufwand für Unterhalt und Wartung

Der Aufwand für Unterhalt und Wartung ist je nach Lüftungssystem sehr unterschiedlich. Dies muss bei der Systemwahl zwingend berücksichtigt werden. Die SIA Norm 382/1 gibt grobe Richtwerte für den jährlichen Wartungsaufwand von verschiedenen Lüftungskomponenten (in Prozent der Investitionskosten).

Wartungsfreundlichkeit

Lüftungssysteme unterscheiden sich nicht nur in ihrem Wartungsaufwand, sondern auch in ihrer Wartungsfreundlichkeit. Dies umfasst z.B. die Zugänglichkeit der Luftleitungen oder ob der Filterersatz von den Nutzern, dem Hauswart oder einer Fachfirma durchgeführt werden kann bzw. muss.

Technische Lebensdauer

Zu erwartende Periode zwischen der Inbetriebnahme eines Lüftungsanlagenteils und dessen Ersatz aufgrund abnehmender Gebrauchstauglichkeit oder zunehmender Kosten für die Instandhaltung und den Ersatz einzelner Bestandteile. Die SIA Norm 382/1 gibt grobe Richtwerte für die technischen Lebensdauer von verschiedenen Lüftungskomponenten (bei mittlerer und grosser Beanspruchung).

5.13 Raumbedarf

Der Raum- bzw. Platzbedarf eines Lüftungssystems ist nicht nur für die Machbarkeit entscheiden (sprich, ob ein Lüftungssystem überhaupt umgesetzt werden kann), sondern beeinflusst auch die Wirtschaftlichkeit massgebend. Dieser Aspekt ist auch stark durch den Wohnungsgrundriss bzw. die Wohnungstypologie beeinflusst. Nachfolgend werden einige Aspekte von Lüftungssystemen genauer erläutert, welche den Raum- bzw. Platzbedarf wesentlich beeinflussen.

Luftaufbereitungszentralen

Die Norm SIA 382/1 gibt den Raumbedarf von Zu- und Abluftzentralen vor. Dabei ist jeweils sowohl die lichte Raumhöhe wie auch die Nettogeschossfläche vorgegeben. Die Luftaufbereitungsgeräte können entweder in den Wohngeschossen (mehrere Anlagen), im Untergeschoss (eine Zentrale) oder auf dem Dach (ebenfalls eine Zentrale) platziert werden. Bei einer Aufteilung in mehrere Anlagen wird die erforderliche Raumhöhe reduziert, die erforderliche Nettogeschossfläche dagegen erhöht.

Schachtquerschnitte

Die Norm SIA 382/1 gibt den Platzbedarf von Luftleitungen in Steigzonen vor. Dabei wird der benötigte Schachtquerschnitt (in m^2) in Abhängigkeit des Luftstroms (in m^3/h) angegeben. Je nachdem, wo die und wie viele Verteiler platziert sind, benötigt die Steigzone unterschiedlich viel Platz.

Feinverteilung der Lüftungsleitungen

Die Feinverteilung der Lüftungsleitungen zu bzw. von den einzelnen Räumen kann zu einem nicht unwesentlichen zusätzlichen Raumbedarf führen. Je nachdem, ob die Leitungen unter der Decke geführt (mit zweiter abgehängter Decke verkleidet), im Bodenaufbau (Estrich) oder in die Betondecke eingelegt werden, kann die lichte Raumhöhe reduziert bzw. die Deckenstärke erhöht werden.

Ersatz der Lüftungskomponenten

Da die Lebensdauer der Lüftungskomponenten kleiner ist als jene des Gebäudes, muss der Ersatz ohne grössere bauliche Anpassungen möglich sein (Raum für Revision)

5.14 Weitere Kriterien (Nicht bewertet)

Weitere Kriterien können für eine Bewertung von Lüftungskonzepten herangezogen werden. In der vergleichenden Bewertung wurden diese Kriterien nicht einbezogen, da Sie zum einen zwingende Vorgaben beinhalten (z.B. Brandschutz) aber auch Kriterien zur Ausführungsqualität beinhalten, die nicht direkt mit der Art vom Lüftungskonzept zusammenhängen. Diese weiteren Kriterien sind nachfolgend zur Vollständigkeit kurz beschrieben:

Sicherheit

Dieses Kriterium beinhaltet Aspekte wie Brandschutz (Einteilung in Brandabschnitte, Bauart und Feuerwiderstand des Aufstellungsraums, Ausgestaltung der Steigzonen sowie der Brandschutzdämmung), Einbruchsschutz (z.B. Notwendigkeit von offenen Fenstern nachts) aber auch Aspekte die mit den Druckdifferenzen (v.A. Unterdruck) in der Wohnung zusammenhängen (z.B. Schutz vor Radon; Austritt von Gasen aus Feuerstätten)

Baupraxis

Dieses Kriterium beinhaltet in erster Linie die Anforderungen an die Abnahme bzw. Übergabe der Anlage (Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung, Funktionsmessung und Hygienekontrolle) sowie die Objektgerechte Disposition (z.B. Standort Aussenluftfassung bzw. Fortluftdurchlass, Wartbarkeit der Anlage, Systemtrennung) und Planung (Einhaltung der Normen, korrekte Dimensionierung und Inbetriebsetzung).

Erwartungshaltung

Die Erwartungshaltung bzw. Anforderungen an die Lüftung beeinflussen die Systemwahl. Dies beinhaltet zum einen den Standort des Objektes (z.B. lärm- bzw. schadstoffbelastete Wohnlage) oder auch das Preissegment des geplanten Objektes (z.B. Mietobjekt bzw. Wohneigentum), Auf Basis der für das Gebäude zutreffenden Erwartungen/Anforderungen wird dann das entsprechende Lüftungssystem gewählt

Monitoring

Ein Monitoring ist die Voraussetzung dafür, den Lüftungsbetrieb optimieren zu können, sprich, den Verbrauch an Betriebsenergie weiter zu senken, die Luftqualität und/oder den Komfort weiter zu steigern (bzw. in den geplanten Werten zu erhalten). Dies verringert die Gefahr für das Auftreten von Differenzen zwischen den geplanten und den tatsächlich erreichten technischen Kennzahlen eines Gebäudes.

6 Resultate

6.1 Einführung

Die wesentlichen Resultate aus der Analyse der fünf Lüftungskonzepte sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt. Dabei wurden für jedes Lüftungskonzept Themenbereiche festgelegt, bei denen bei der Anlagenplanung relevante Einflüsse auf die Bewertungskriterien (Einflussfaktoren) erwartet werden. Zu jedem Themenbereich werden Fragen formuliert, welche sich in der Planung der Anlage stellen. Im Weiteren werden wesentliche Merkmale, die sich daraus für die Anlage ableiten lassen, stichwortartig aufgeführt.

Für jeden Themenbereich (Fragestellung) wird der Einfluss auf verschiedene Parameter (Einflussfaktoren) qualitativ bewertet. Tabelle 8 zeigt die Funktion dieses qualitativen Bewertungsrasters beispielhaft.

Tabelle 8: Beispiel zur Bewertung der Fragestellungen in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Standort des Lüftungsgerätes**	**Regelung / Steuerung**			**Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung**
Fragestellung	Wo wird das Gerät platziert (Dach / UG)? Im beheizten oder unbeheizten Bereich?	Wie erfolgt die Bedarfsanpas-sung des Luft-volumenstroms in der Wohnung?	Welche Art von Wärmerück-ge eingesetzt?	Mit welchem Konzept erfolgt in der Wohnung?	Mit welchem Konzept erfolgt die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung?
Merkmale	zus. Bauvolumen, Wärmeverluste und geforderte Wärmedämmung, Materialaufwand,	Variable Volumen-stromregler (mit / ohne KWL-Box), Bedieneinheit etc.	Ent Ba Ge	g, Wohnbereich,	Eingelegte Rohre, mit abgehängter Decke im Korridorbereich
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**				
Betriebsenergie	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross		gering gross
Graue Energie	R: mittel V: gross	R: gering V: mittel	R: gering V: gering	V: gross	: hoch V: gross
Investition	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: mittel	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Instandhaltung			R: mittel V: gering	R: mittel V: gross	R: mittel V: gering
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)		V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	

zugeordneter Themenbereich zur Einordnung der Fragestellung

Kurzbeschrieb der Fragestellung

Merkmale die die möglichen Varianten auszeichnen

Einflüsse mit "hoher" und "mittlerer" Relevanz werden farblich gekennzeichnet

Wo der Einfluss auf den Parameter sehr gering oder nicht vorhanden ist, bleibt das Fled leer.

Die Bewertung erfolgt über eine qualitative Einschätzung wie relevant der Einfluss einer Entscheidung im betrachteten Thema auf den jeweiligen Parameter ist (Relevanz «hoch», «mittel» oder «gering»). Bei Parametern wo der Einfluss als sehr gering bzw. nicht vorhanden eingestuft wird, wird auf eine Bewertung verzichtet (leeres Feld). Einflüsse mit hoher und mittlerer Relevanz werden farblich gekennzeichnet. Diese Punkte werden in der weiteren Bewertung detaillierter untersucht.

Neben der «Relevanz» erfolgt eine Bewertung der «Varianz» (Varianz «gross», «mittel» oder «gering»). Damit erfolgt eine Aussage wie stark der Einfluss auf einen Parameter variieren kann je nach Art und Weise der Umsetzung eines bestimmten Konzeptes. Zum Beispiel heisst dies, dass bei «hoher Relevanz» und «geringer Varianz» der Entscheid zwar einen grossen Einfluss auf die Bewertung des Parameters hat, aber immer etwa ähnlich ausfallen wird. Bei «hoher Relevanz» und «hoher Varianz» dagegen kann der Einfluss stark variieren (grosse Unterschiede zwischen verschiedenen Projekten zu erwarten).

In einem weiteren Schritt werden für die verschiedenen Themenbereiche bzw. Fragestellungen mögliche Lösungsoptionen detaillierter untersucht. Zum einen werden dafür die Vor- und Nachteile der Lösungsoptionen festgehalten und zum anderen erfolgt eine Bewertung der Einflussfaktoren hoher oder mittlerer Relevanz. Wo möglich werden die Resultate dabei mit quantitativen Abschätzungen und Kennzahlen präzisiert.

Die Kennwerte beziehen sich für den Flächenbezug immer auf die Energiebezugsfläche. Kennzahlen zu Betriebsenergie, Grauer Energie und Unterhaltskosten werden als Kennwerte pro m^2 und Jahr dargestellt.

Bei den quantitativen Werten wird ganz links in der Tabelle ein 100%-Kennwert dargestellt. Dieser Wert entspricht einem mittleren Projekt mit 3.5-Zimmer Wohnungen, das dem Basissystem entsprechend den Festlegungen in Kapitel 4 entspricht[9]. Dieser Kennwert wird über die Bewertung aller Fragestellungen eines Lüftungskonzeptes konstant gehalten. Für jede Variante wird ein Kennwert angegeben, der für ein mittleres Projekt mit 3.5-Zimmer Wohnungen realisiert werden kann. Dieser Wert wird zudem als Prozentsatz mit einem 100%-Kennwert verglichen. Der Wertebereich der prozentualen Werte bei den einzelnen Varianten wird in erster Linie durch den Einfluss verschiedener Wohnungsgrössen bestimmt, welche bei einem konkreten Projekt natürlich unterschiedlich sein kann. Wo weitere Faktoren in diesen Wertebereich einbezogen werden, ist dies im entsprechenden Kapitel aufgeführt. Detailresultate zu den Berechnungsvarianten sind für jede Fragestellung im Anhang des Berichtes zu finden. Tabelle 9 zeigt das quantitative Bewertungsraster für die Variantenbetrachtung einer Fragestellung beispielhaft.

Tabelle 9: Beispiel zur Bewertung der Lösungsvarianten einer Fragestellung

Variante / Einflussfaktor	Ein Gerät auf dem Dach	Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Ein Gerät im UG	Ein Gerät pro Steigzone im UG	Je ein Gerät auf dem Dach und im UG **)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.96) Bereich: 90-110%	90% (Wert: 1.85) Bereich: 90-100%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 95-145%	100% (Wert: 1.96) Bereich: 90-125%	105% (Wert: 2.1) Bereich: 95-135%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.7) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 9.2) Bereich: 90-100%	100% Berei		105% (Wert: 10.2) Bereich: 95-120%	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.96) B	105% (Wert: 2.12)	100% er			a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	B		ei			
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	8 Bereich: 85-95%	Bereich: 95-105%	(Wert: 2.48) Bereich: 85-110%	110% (Wert: 2.81) Bereich: 100-130%	Bereich: 100-130%	

Graue Energie:
Wird als Indikator für die Ökobilanz dargestellt. Daten zu weiteren Indikatoren (UBP, Treibhausgas-potential) sind im Anhang dokumentiert.

Kennwert:
In % des Basiswertes sowie als absoluter Wert dargestellt.
Bereich:
Zu erwartender Wertebereich, der für diese Fragestellung bei verschiedenen Projekten zu erwarten ist.

100% Kennwert:
Dieser Wert wird als Basiswert (Standardwert für untersuchtes Basissystem) für alle Varianten innerhalb eines Lüftungs-konzeptes konstant gehalten.

[9] Die Basis für diese Wahl ist dass dies eine typische Gebäude- und Wohnungsgrösse bei Mehrfamilienhäuser ist.

6.2 LK1: Einfache Lüftungsanlage (Mehrwohnungsanlage)

Bei einfachen Lüftungsanlagen mit einem zentralen Gerät liegen wesentliche Einflüsse im Entscheid wo die Geräte platziert werden und damit verbunden die Festlegung der Lage und Anzahl der angeschlossenen Steigzonen sowie die Länge und Verortung der Kanäle zu den Wohnungen. Ein wichtiger Konzeptentscheid ist die Art und Lage der Aussenluftfassung, da dadurch die Luftqualität beeinflusst wird. Relevant ist auch die Gerätewahl (Gerätegrösse bzw. Aufteilung der Anlagen, Art der Wärmerückgewinnung) bzw. der Entscheid wie die Anlage geregelt werden soll (von konstantem Betrieb bis zu bedarfsgerechter Regelung). Weitere Themenbereiche von Bedeutung, liegen in der Art der Luftverteilung in der Wohnung (Konzeptentscheid) sowie in der Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung (z.B. eingelegt bzw. Aufputz). In Tabelle 10 werden die dazu erarbeiteten Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren bewertet.

Tabelle 10: Bewertung der Fragestellungen zu LK 1 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Standort des Lüftungsgerätes**	**Lage der Aussenluft-fassung**	**Regelung / Steuerung**	**Wärmerück-gewinnung**	**Luftverteil-konzept in der Wohnung**	**Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung**
Fragestellung	Wo wird das Gerät platziert (Dach / UG)? Im beheizten oder unbeheizten Bereich? Länge der Hauptleitungen. Anteil gedämmte Leitungen.	Wie ist die Aussenluftqualität am Ort der Aussenluft-fassung?	Wie erfolgt die Bedarfsanpassung des Luft-volumenstroms in der Wohnung? (Steuerung: z.B. mind. 2-stufig; Regelung nach CO_2; etc.?)	Welche Art von Wärmerück-gewinnung wird eingesetzt?	Mit welchem Konzept erfolgt die Luftverteilung in der Wohnung? Wie hoch sind die Luftvolumen-ströme?	Mit welchem Konzept erfolgt die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung?
Merkmale	zus. Bauvolumen, Wärmeverluste und geforderte Wärmedämmung, Materialaufwand, Grösse der Instal-lationszonen, Risiko von Geruchs-übertragung	Höhe über Boden, Abstand von Quellen, Lokale Belastung Feinstaub und NOx, Belastung durch Gerüche	Variable Volumen-stromregler (mit / ohne KWL-Box), Bedieneinheit bzw. Sesorik in der Wohnung, Regelung der Ventilatoren; Gleichzeitigkeiten	Enthalpie-Übertrager; Bauart (Rotor, Platten-Übertrager), Risiko von Geruchs-übertragung	Kaskade, Verbundlüftung, Zuluft im Wohnbereich, Gesamtluft-volumenstrom pro Wohnung	Eingelegte Rohre, mit abgehängter Decke im Korridorbereich
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**					
Betriebsenergie	R: mittel V: gross	**)	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: gross
Graue Energie	R: mittel V: gross	**)	R: gering V: gering	R: gering V: gering	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Investition	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: gering	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Instandhaltung	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: mittel	R: gering V: gering	R: mittel V: gross	R: gering V: mittel
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	***)**	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	
Raumluftfeuchte			R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: mittel	
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: mittel V: gross		R: mittel V: gross		R: mittel V: gross	R: gering V: gering
Schallschutz von aussen		R: gering V: mittel				
thermische Behaglichkeit			R: gering V: gering		R: gering V: gering	

*) Die Einflüsse auf die Raumluftqualität werden primär beim Punkt Lage der Aussenluftfassung bewertet.

**) Unterschiedliche Leitungslängen für AUL / FOL-Leitungen wird hier nicht bewertet (Bewertung siehe "Standort des Lüftungsgerätes")

Aus der Analyse der Modellgebäude ergeben sich insbesondere relevante Einflüsse der vom Gerätestandort und der Leitungsführung auf die Instandhaltung. Im Weiteren sind relevante Einflüsse auf die Betriebsenergie, die Graue Energie und die Investitionen zu beobachten.

Wie die Luftverteilung in der Wohnung selbst erfolgt, ist primär für die Betriebsenergie und die Raumluftfeuchte von Relevanz, da mit diesem Entscheid die pro Wohnung notwendige Luftmenge beeinflusst wird. In geringerem Masse wird damit, über die erforderlichen Leitungslängen, auch die Graue Energie bzw. die Kosten (Investition Instandhaltung) beeinflusst.

Vom eingesetzten Gerät und dessen Steuerungs- bzw. Regelungsmöglichkeiten wird vor allem die benötigte Betriebsenergie aber auch die Raumluftfeuchte beeinflusst. Beim Gerätekonzept ist ebenfalls wesentlich auf wie viele Teilanlagen die Lüftung eines Gebäudes aufgeteilt wird.

Im Folgenden Unterkapitel wird im Detail auf den Einfluss des Gerätestandortes und die damit zusammenhängende Leitungsführung eingegangen.

6.2.1 Platzierung der Lüftungsgeräte bei Mehrwohnungsanlagen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen hat die Wahl des Aufstellungsstandortes der Geräte bei Mehrwohnungsanlagen. Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 5 verschiedene Lösungsvarianten verglichen:

- Variante 1: Ein Gerät auf dem Dach
- Variante 2: Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach
- Variante 3: Ein Gerät im UG
- Variante 4: Ein Gerät pro Steigzone im UG
- Variante 5: Je ein Gerät auf dem Dach und im UG

Abbildung 27 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

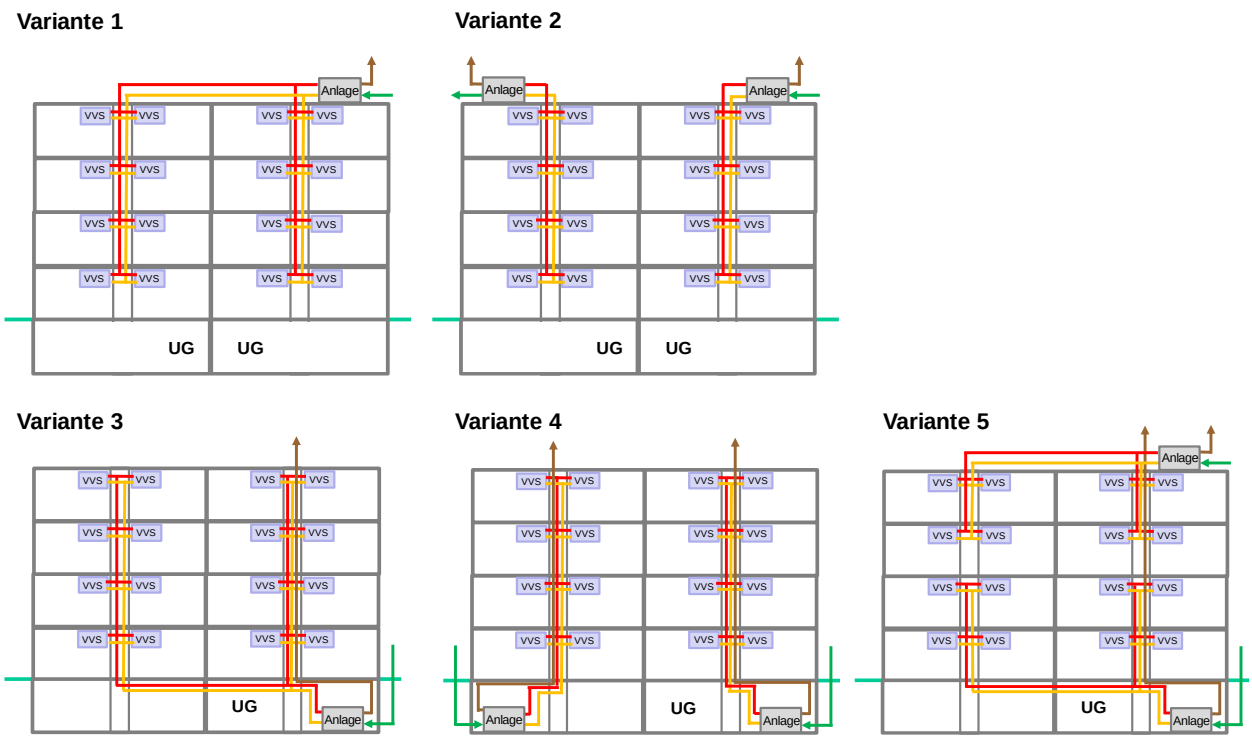


Abbildung 27: Lösungsvarianten für Aufstellungsstandort der Geräte bei zentralen Wohnungslüftungsanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Geräteaufstellungsstandort bei zentralen Wohnungslüftungsanlagen

Variante:	Vorteile	Nachteile
Ein Gerät auf dem Dach	Kurze Leitungslängen für AUL und FOL. Dadurch für diesen Teil geringe Druckverluste, geringer Aufwand Graue Energie und Investitionskosten. Kein Platzbedarf im UG.	ZUL/FOL Leitungen auf Dach bis zur Steigzone sind gut zu dämmen (Verluste). Standort AUL-Fassung gut zu planen, da Gefahr für Kurzschluss zw. FOL und AUL. Dach muss begehbar sein. Gerät für Aussenaufstellung nötig (oder ein unbeheizter Dachraum muss vorhanden sein) dadurch höhere Kosten, Graue Energie für Gerät.
Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Kurze Leitungslängen für AUL und FOL und gedämmter Anteil der AUL / ZUL. Dadurch für diesen Teil geringe Druckverluste, geringer Aufwand Graue Energie und Investitionskosten. Kein Platzbedarf im UG.	Standort AUL-Fassung gut zu planen, da Gefahr für Kurzschluss zw. FOL und AUL. Mehrere Geräte für Aussenaufstellung nötig (wenn kein unbeheizter Dachraum vorhanden) dadurch höhere Kosten, Graue Energie für Geräte.
Ein Gerät im UG	Einfache Zugänglichkeit für Wartung. Realisierung eines Erdregisters möglich. Kurze Leitungen für Anschluss von Heiz- / Kühlregistern.	Raumbedarf im UG. Einbringung kann Probleme bereiten. Horizontale Leitungsführung im UG erfordert grossen Koordinationsaufwand (meist div. Nutzungen / Brandabschnitte etc.). Oft lange, gedämmte Verrohrung für AUL und FOL erforderlich (Kosten, Graue Energie, Investitionskosten). Bei über Dachgeführter FOL grösserer Schachtflächenbedarf.
Ein Gerät pro Steigzone im UG	Einfache Zugänglichkeit für Wartung. Realisierung eines Erdregisters möglich. Kurze Leitungen für Anschluss von Heiz- / Kühlregistern. Günstige Platzierung für kurze horizontale Leitungen für ZUL/ABL möglich (Technikraum in Schachtnähe).	Raumbedarf im UG. Oft lange, gedämmte Verrohrung für AUL und FOL erforderlich (Kosten, Graue Energie, Investitionskosten). Bei über Dachgeführter FOL grösserer Schachtflächenbedarf. Mehrere Geräte nötig dadurch höhere Kosten, Graue Energie für Geräte.
Je ein Gerät auf dem Dach und im UG	Minimierung der erforderlichen Schachtflächen für ZUL/ABL. Geringerer Raumbedarf im UG erforderlich. V.A. für hohe schlanke Gebäude geeignet (z.B. Hochhäuser).	Da sowohl ein Gerät im UG als auch auf dem Dach sind bei dieser Variante die Nachteile der jeweiligen Variante zu beachten. Dadurch ist diese Variante nur dann sinnvoll, wenn die Vorteile aus den geringeren Schachtflächen überwiegen.

Tabelle 12 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Platzierung der Lüftungsgeräte bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher und mittlerer Relevanz (Instandhaltung, Investitionen, Betriebsenergie und Graue Energie) als quantitative Einschätzung sowie für den Einflussfaktor Gesundheit als Eignungskriterium. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. Handlungsempfehlungen erfolgt die die Bewertung der Einflussfaktoren zur Akustik sowie Instandhaltung/Hygiene. Zudem wird der Schacht- und Raumbedarf bewertet.

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 12 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. In dieser Berechnung wurde die Wohnungsgrösse nicht verändert (alles 3.5-Zimmer Wohnungen mit 90 m^2 Wohnfläche). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.1.1). Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 10.2 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

Tabelle 12: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Mehrwohnungsanlagen

Variante / Einflussfaktor	Ein Gerät auf dem Dach	Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Ein Gerät im UG	Ein Gerät pro Steigzone im UG	Je ein Gerät auf dem Dach und im UG **)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.96) Bereich: 90-110%	90% (Wert: 1.85) Bereich: 90-100%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 95-145%	100% (Wert: 1.96) Bereich: 90-125%	105% (Wert: 2.1) Bereich: 95-135%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.7) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 9.2) Bereich: 90-100%	100% (Wert: 9.8) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 9.9) Bereich: 95-120%	105% (Wert: 10.2) Bereich: 95-120%	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.96) Bereich: 90-105%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 100-110%	100% (Wert: 1.98) Bereich: 90-115%	100% (Wert: 2.03) Bereich: 95-120%	110% (Wert: 2.16) Bereich: 100-125%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 102) Bereich: 85-105%	100% (Wert: 112) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 104) Bereich: 85-110%	100% (Wert: 112) Bereich: 90-120%	105% (Wert: 117) Bereich: 95-125%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	85% (Wert: 2.1) Bereich: 85-90%	95% (Wert: 2.3) Bereich: 95-100%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 85-105%	105% (Wert: 2.6) Bereich: 100-125%	110% (Wert: 2.6) Bereich: 100-125%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	15% (Wert: 0.0059) Bereich: - (gering)	15% (Wert: 0.0059) Bereich: - (gering)	150% (Wert: 0.0632) Bereich: 100-150%	210% (Wert: 0.0889) Bereich: 140-215%	105% (Wert: 0.0443) Bereich: 70-105%	0.042 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	70% (Wert: 0.0049) Bereich: 65-75%	70% (Wert: 0.0049) Bereich: 65-75%	135% (Wert: 0.0093) Bereich: 130-140%	170% (Wert: 0.0119) Bereich: 165-175%	75% (Wert: 0.0052) Bereich: 70-75%	0.007 m^3/m^2
Gesundheit	Kurzschlussgefahr AUL / FOL auf Dach zu beachten! ***)	Kurzschlussgefahr AUL / FOL auf Dach zu beachten! ***)	AUL Fassung gem. SIA 382/1:2014 zu planen.	AUL Fassung gem. SIA 382/1:2014 zu planen.	Kurzschlussgefahr AUL / FOL auf Dach zu beachten! ***)	
Akustik	Schalldämmung (Luftschall und Körperschall) v.A. gegenüber oberster Wohnung muss erfüllt werden.	Schalldämmung (Luftschall und Körperschall) v.A. gegenüber oberster Wohnung muss erfüllt werden.			Schalldämmung (Luftschall und Körperschall) v.A. gegenüber oberster Wohnung muss erfüllt werden.	
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang ****)	Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang ****)			Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang ****)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

*) Raumbedarf für Lüftungszentralen gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt.
Bei den Varianten mit Dachaufstellung wurde kein Raumbedarf für die Lüftungszentrale einbezogen.

**) Lösung ist nur bei Gebäuden mit hohen Geschosszahlen (Hochhaus > 10 Geschosse) aufgrund der möglichen Reduktion an Schachtfläche interessant.

***) Dabei sind unbedingt auch andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. in die Betrachtung einzubeziehen.
Daneben sind alle Bedingungen gem. SIA 382/1: 2014 Kapitel 5.12 zu beachten.

****) Dachzugang muss ohne Verwendung von Persönlicher Schutzausrüstung (Klettergurt, Sicherungsseil) ermöglicht werden.

Da die Wohnungsgrösse einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate bei den quantitativen Kennwerten hat (Bezug: m^2 Energiebezugsfläche) wurden die fünf Lösungsvarianten auch für ein Gebäude mit 4.5-Zimmer Wohnungen (je 90 m^2 Wohnfläche) und ein Gebäude mit 2.5-Zimmer Wohnungen (je 60 m^2 Wohnfläche) berechnet. In dieser Berechnungsvariante wurden nur diese Parameter verändert, welche sich durch das leicht grössere Gebäude ergeben (z.B. Horizontale Verteilung ab dem Lüftungsgerät) oder sich über die Zimmerzahl definieren (Anzahl Luftauslässe).

Tabelle 13 zeigt die quantitativen Resultate die Varianz der Wohnungsgrösse für die Variantenbetrachtung zur Platzierung der Lüftungsgeräte bei Mehrwohnungsanlagen.

Tabelle 13: Variation der Wohnungsgrösse für die Varianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Mehrwohnungsanlagen

Variante / Einflussfaktor	Ein Gerät auf dem Dach	Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Ein Gerät im UG	Ein Gerät pro Steigzone im UG	Je ein Gerät auf dem Dach und im UG **)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.96) Bereich: 95-130%	90% (Wert: 1.85) Bereich: 90-125%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 95-145%	100% (Wert: 1.96) Bereich: 95-135%	105% (Wert: 2.1) Bereich: 95-145%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.7) Bereich: 100-125%	95% (Wert: 9.2) Bereich: 95-120%	100% (Wert: 9.8) Bereich: 100-130%	100% (Wert: 9.9) Bereich: 100-130%	105% (Wert: 10.2) Bereich: 105-135%	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.96) Bereich: 80-145%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 90-155%	100% (Wert: 1.98) Bereich: 80-145%	100% (Wert: 2.03) Bereich: 85-150%	110% (Wert: 2.16) Bereich: 95-160%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 102) Bereich: 70-145%	100% (Wert: 112) Bereich: 80-160%	95% (Wert: 104) Bereich: 70-150%	100% (Wert: 112) Bereich: 80-160%	105% (Wert: 117) Bereich: 85-165%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	85% (Wert: 2.1) Bereich: 55-100%	95% (Wert: 2.3) Bereich: 65-115%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 60-110%	105% (Wert: 2.6) Bereich: 70-130%	110% (Wert: 2.6) Bereich: 75-135%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	15% (Wert: 0.0059) Bereich: 10-20%	15% (Wert: 0.0059) Bereich: 10-20%	150% (Wert: 0.0632) Bereich: 135-210%	210% (Wert: 0.0889) Bereich: 190-295%	105% (Wert: 0.0443) Bereich: 95-145%	0.042 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	70% (Wert: 0.0049) Bereich: 60-100%	70% (Wert: 0.0049) Bereich: 60-100%	135% (Wert: 0.0093) Bereich: 110-190%	170% (Wert: 0.0119) Bereich: 145-245%	75% (Wert: 0.0052) Bereich: 65-110%	0.007 m^3/m^2

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

Der Angegebene Wertebereich bezieht sich in dieser Aufstellung auf die Variation der Wohnungsgrössen.

Die hohen Werte bilden die 2.5-Zimmer Wohnungen ab, die tiefen primär 4.5-Zimmer Wohnungen (Ausnahme Betriebsenergie)

*) Raumbedarf für Lüftungszentralen gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt.
Bei den Varianten mit Dachaufstellung wurde kein Raumbedarf für die Lüftungszentrale einbezogen.

**) Lösung ist nur bei Gebäuden mit hohen Geschosszahlen (Hochhaus > 10 Geschosse) aufgrund der möglichen Reduktion an Schachtfläche interessant.

6.2.2 Lage der Aussenluftfassung

Einen wesentlichen Einfluss auf die Raumluftqualität, insbesondere was Gerüche betrifft, hat die Lage der Aussenluftfassung. Für eine insgesamt günstige Platzierung sind jedoch auch Kostenaspekte (z.B. Nähe zum Lüftungsgerät, notwendige Durchbrüche etc.) wie auch ein guter Zugang für die Wartung zu beachten.

Die Wahl des Aufstellungsstandortes der Aussenluftfassung ist in erster Linie durch den Standort des Lüftungsgerätes vorgezeichnet. Für die nachfolgende Analyse wurden 4 verschiedene Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung auf dem Dach
- Variante 2: AUL Fassung an Fassade im Dachgeschoss
- Variante 3: AUL Fassung im EG mit Ansaugturm
- Variante 4: AUL Fassung im EG im Fassadenbereich

Abbildung 28 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen bezüglich der Aussenluftqualität am Standort der Aussenluftfassung betrachtet. Obwohl beim Lüftungskonzept mit zentralen Anlagen eine grosse Freiheit besteht bezüglich der Wahl eines, bezüglich der Aussenluftqualität günstigen Standortes für die Aussenluftfassung, wird für den ungünstigen Fall ein erhöhter Aufwand für den Unterhalt angenommen. Gegenüber dem Basisfall unterscheidet sich dies primär durch die schnellere Verschmutzung der Filter, was ein kürzeres Intervall für den Unterhalt der Anlage erfordert (für diesen Fall 2x jährlich angenommen).

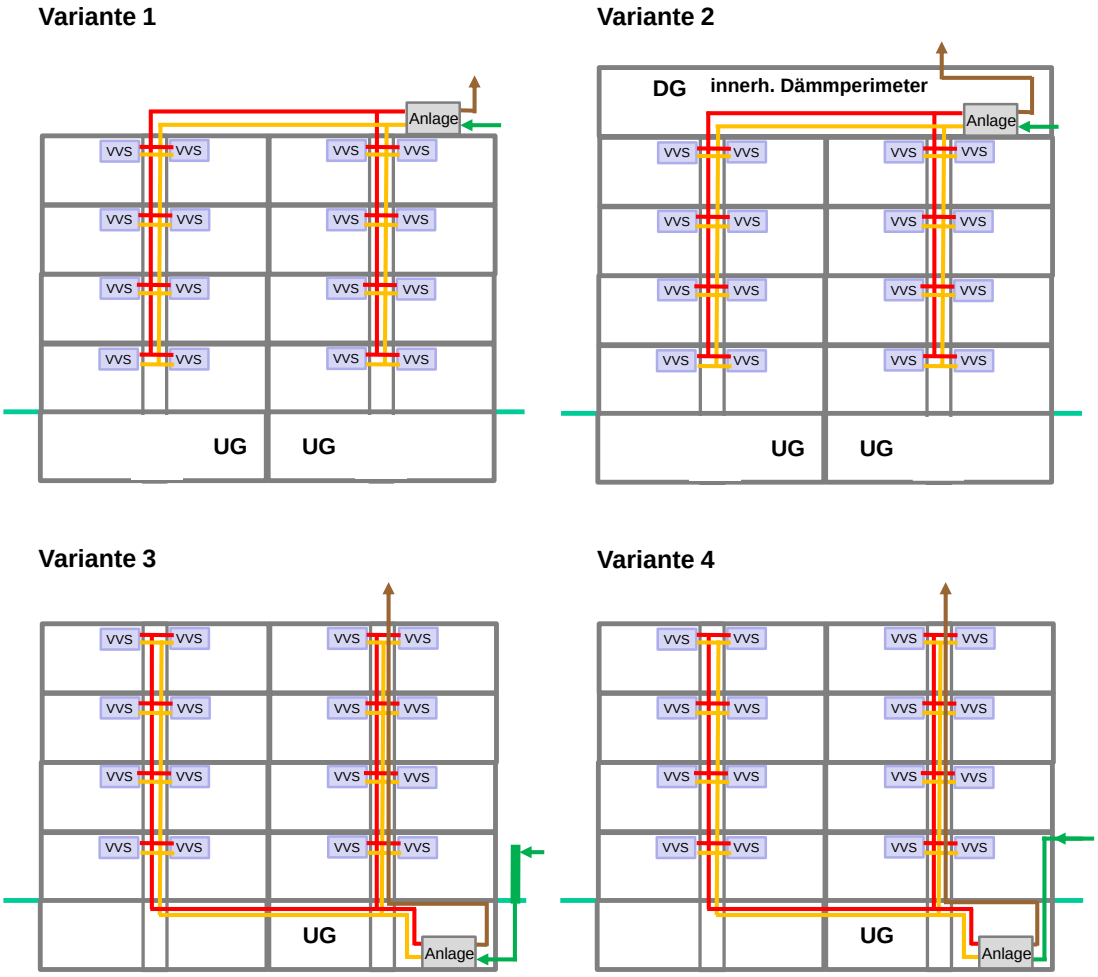


Abbildung 28: Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Tabelle 14: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Variante:	Vorteile	Nachteile
AUL Fassung auf dem Dach	Kurze Leitungslängen für AUL bei Geräteinstallation auf dem Dach. Dadurch niedrigste Kosten für diese Variante.	Ungeeignet für Gerätestandort im UG (lange, gedämmte Leitung). Gefahr von Kurzschlüssen mit FOL und Sanitärentlüftungen. Notwendige Abstände (SIA 382/1) sind zwingend einzuhalten und vorherrschende Windrichtung ist zu berücksichtigen.
AUL Fassung an Fassade im Dachgeschoss	Kurze Leitungslängen für AUL bei Geräteinstallation im Dachgeschoss. Günstig für Gebäude die über ein Technikbereich im DG verfügen.	Ev. Zielkonflikt zwischen kurzer Leitungslänge zum Gerät und der für die Luftansaugung geeigneten Fassade. Wichtig ist, dass die Ansaugung nicht in Bereichen mit sommerlicher Stauwärme erfolgt und direkt unterhalb keine Bereiche mit Luftbelastung (z.B. Balkone / Terrassen, Küchenfenster, etc.) vorhanden sind. Zugänglichkeit für Wartung muss gut möglich sein.
AUL Fassung im EG mit Ansaugturm (3 m über Boden)	Für Gerätestandort im UG eine sinnvolle Lösung. Insbesondere geeignet für Anlagen mit Erdregister.	Ev. Zielkonflikt zwischen kurzer Leitungslänge zum Gerät und Aussenluftbedingungen am Aufstellstandort (Schadstoffbelastung). Insbesondere darf der Ansaugturm nich in der Nähe von Parkplätzen, Garageneinfahrten oder Abfallcontainern sein. Diese Variante weist höhere Investitionskosten auf.
AUL Fassung im EG im Fassadenbereich	Für Gerätestandort im UG eine mögliche Lösung, wenn kein Ansaugturm realisiert werden kann.	Aus Sicht der Luftqualität oft kritisch bzw. schwieriger realisierbar. 3 m Bodenabstand und Belastungen durch Personen EG Nutzungen können kritisch sein. Wichtig ist auch, dass die Ansaugung nicht in Bereichen mit sommerlicher Stauwärme erfolgt. Bauphysikalisch u.U. schwieriger zu lösen, z.B. wenn Leitungsführung im EG durch genutze Bereiche hindurch führt.

Tabelle 15 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zum Standort der Aussenluftfassung bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftqualität) als qualitative Einschätzung mit Angabe der Ausschlusskriterien. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung weiterer Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Investition, Instandhaltung/Hygiene) oder auch geringer Relevanz.

Tabelle 15: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Variante / Einflussfaktor	AUL Fassung auf dem Dach (Gerät auf dem Dach)	AUL Fassung an Fassade im Dachgeschoss	AUL Fassung im EG mit Ansaugturm	AUL Fassung im EG im Fassadenbereich	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.96) Bereich: 95-105% *)	100% (Wert: 1.99) Bereich: 95-105% *)	105% (Wert: 2.11) Bereich: 95-120% *)	105% (Wert: 2.11) Bereich: 95-120% *)	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.7) Bereich: - (gering)	95% (Wert: 9.1) Bereich: 90-95% *)	100% (Wert: 9.8) Bereich: 95-105% *)	100% (Wert: 9.8) Bereich: 95-105% *)	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.96) Bereich: 95-110% *)	95% (Wert: 1.89) Bereich: 90-110% *)	100% (Wert: 1.98) Bereich: 95-115% *)	100% (Wert: 2.0) Bereich: 95-115% *)	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 102) Bereich: 85-100% *)	90% (Wert: 101) Bereich: 85-100% *)	95% (Wert: 104) Bereich: 85-105% *)	95% (Wert: 105) Bereich: 85-110% *)	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	85% (Wert: 2.1) Bereich: 85-130%	90% (Wert: 2.2) Bereich: 85-150%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-140%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-145%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	15% (Wert: 0.0059) Bereich: - (n.V.)	140% (Wert: 0.0587) Bereich: - (n.V.)	150% (Wert: 0.0632) Bereich: - (n.V.)	150% (Wert: 0.0632) Bereich: - (n.V.)	0.042 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	70% (Wert: 0.0049) Bereich: - (n.V.)	70% (Wert: 0.0049) Bereich: - (n.V.)	135% (Wert: 0.0093) Bereich: - (n.V.)	135% (Wert: 0.0093) Bereich: - (n.V.)	0.007 m^3/m^2
Gesundheit ***)	Kurzschlussgefahr AUL / FOL auf Dach zu beachten! Andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. sind unbedingt in die Betrachtung einzubeziehen.	Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Balkonen/Terrassen oder direkt oberhalb von Fenstern oder Ausblasöffnungen von Küchenabluft.	Min. 3 m über Boden. Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Aufenthaltsbereichen von Personen, Einfahrten, Parkplätzen oder Containerstandorten.	Min. 3 m über Boden. Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Aufenthaltsbereichen von Personen, Einfahrten, Parkplätzen oder Containerstandorten.	
Sommerlicher Wärmeschutz	Bereiche mit sommerlicher Stauwärme auf dem Dach sind zu meiden (Windrichtung beachten).	Windrichtung beachten. Fassaden mit sommerlicher Stauwärme sind zu vermeiden.	Standorte mit kühlen Bodenflächen bevorzugen (z.B. Gartenbereich anstatt Asphaltflächen)	Windrichtung beachten. Fassaden mit sommerlicher Stauwärme sind zu vermeiden.	
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang ****)	Gute Zugänglichkeit für Service beachten (Konzept erforderlich, ev. dadurch erhöhte Wartungskosten)	Planung von geeigneten Revisionsöffnungen für Wartung sind vorzusehen.	Gute Zugänglichkeit für Service beachten (z.B. freie Bodenfläche für Arbeitsbühne)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Bei Variante 3 und 4 ist das Gerät im UG angeordnet, bei Variante 1 und 2 im DG bzw. auf dem Dach. Nur 1 Gerät pro Gebäude.
*) Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten neben dem Einfluss des Standortes der Aussenluftfassung auch die Differenzen zwischen einer Ausführung mit Lüftungskanälen oder -rohren.
**) Raumbedarf für Lüftungszentralen gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt.
Bei der ersten Varianten mit Dachaufstellung wurde kein Raumbedarf für die Lüftungszentrale einbezogen.
***) Für alle Varianten sind die Bedingungen gem. SIA 382/1: 2014 Kapitel 5.12 zu beachten.
Dabei sind unbedingt auch andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. in die Betrachtung einzubeziehen.
****) Dachzugang muss ohne Verwendung von Persönlicher Schutzausrüstung (Klettergurt, Sicherungsseil) ermöglicht werden.

Die Bewertungen für den Raumbedarf in Tabelle 15 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 10.3 zu entnehmen.

6.2.3 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch hat die Art der Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen. Durch eine bedarfsgeführte Betriebsweise kann auch die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst werden. Bei einer nicht angepassten Betriebsweise kann neben der Raumluftfeuchte auch die Raumluftqualität ungünstig beeinflusst werden. Dies kann sowohl Überlüftung (im Winter zu trocken) als auch zu geringe Luftmengen (zu geringe Feuchteabfuhr, schlechte Luftqualität) bedeuten.

Eine bedarfsgerechte Lüftung wirkt sich (bei richtiger Auslegung der Komponenten) auch günstig auf die Lüftungsgeräusche in der Wohnung aus.

Auf der anderen Seite erfordert die Anlagensteuerung und vor allem die wohnungsweise Regelung der Luftmengen zusätzlichen Apparateaufwand (z.B. Stufenschalter, Raumluftsensoren, VAV-Boxen oder ähnliche Elemente). Dies führt zu einem relevanten Mehraufwand bei den Investitions- und Unterhaltskosten wie auch beim Aufwand der Grauen Energie.

Die Wahl der Anlagensteuerung bzw. –Regelung ist in erster Linie durch die verwendeten Elemente im Wohnungsverteiler bestimmt. Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen (unterschiedliche Verteilkonzepte siehe Kapitel 6.2.5). Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 5 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Wohnung (2-stufig), Referenz
- Variante 2: Basissystem VAV optimiert (Rückkopplung auf Lüftungsgerät)
- Variante 3: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-Regelung)
- Variante 4: Zentrales Zeitprogramm (2 Stufen)
- Variante 5: Konstantbetrieb

Abbildung 29 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

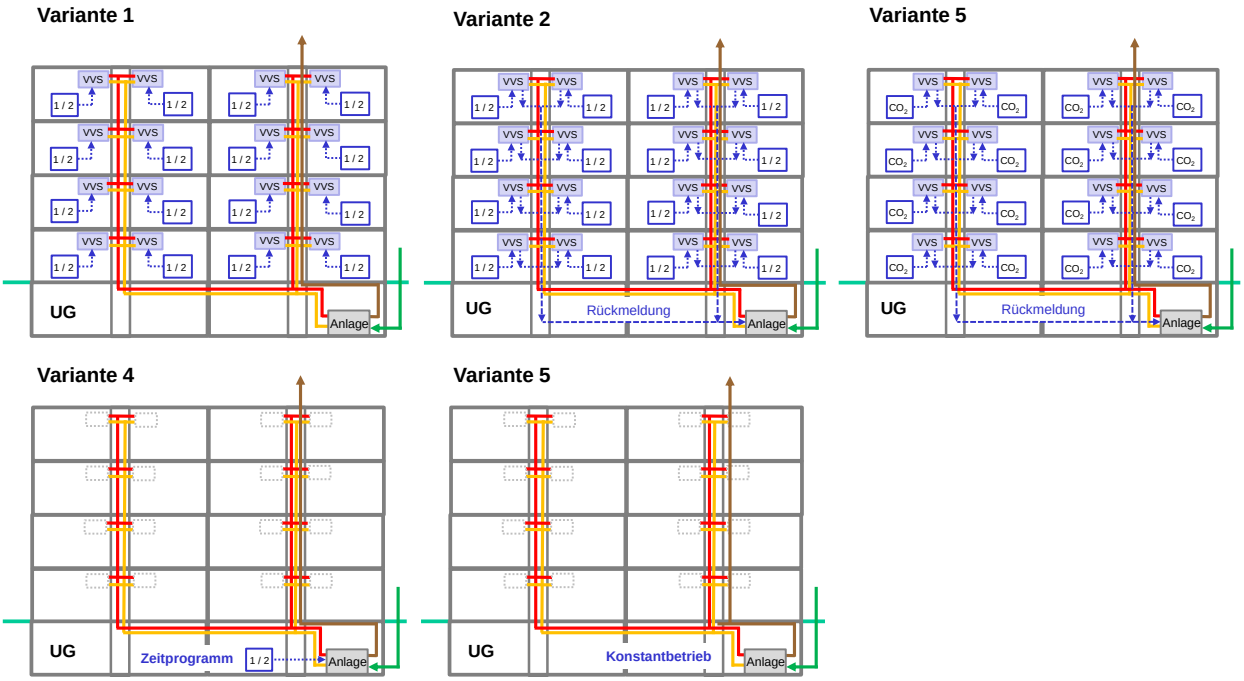


Abbildung 29: Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Tabelle 16: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem mit Stufenschalter (min. 2 stufig) je Wohnung, Referenzvariante	Individueller Eingriff durch Nutzer möglich (z.B. anwesend, abwesend). Günstig bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf.	Druckverluste durch Volumenstromregler (Wichtig zu beachten für Gerätewahl). Mehrkosten durch Volumenstromregler und Bediengerät pro Wohnung.
Wie Basissystem, jedoch Einstellung VAV optimiert (Rückkopplung auf zentrales Lüftungsgerät)	Individueller Eingriff durch Nutzer möglich (z.B. anwesend, abwesend). Günstig bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf.	Druckverluste durch Volumenstromregler (Wichtig zu beachten für Gerätewahl). Mehrkosten durch Volumenstromregler und Bediengerät pro Wohnung.
Bedarfsgerechte Regelung je Wohnung (CO_2-Regelung)	Optimale Anpassung an eff. Bedarf. Daher am günstigsten bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf. Typischerweise mit Möglichkeit für Benutzereingriff (Lüftungsstufen).	Druckverluste durch Volumenstromregler (Wichtig zu beachten für Gerätewahl). Mehrkosten durch Volumenstromregler, Regelung (Sensor/Aktor) und wenn vorhanden Bediengerät in Wohnung. Wartungs- und Ersatzkosten für Sensoren.
Keine Steuerung in Wohnung, zentrale Steuerung mit Zeitprogramm (2 Stufen)	Geringste Investitionskosten.	Nur ohne Konstantvolumenstromregler korrekt realisierbar (hoher Aufwand für Luftmengeneinregulierung). Keine Bedarfs-/Nutzergerechte Steuerung. Empfindlich auf Nutzereinflüsse (z.B. Abkleben von Auslässen etc.). Nicht mehr zeitgemässe Lösung.
Keine Steuerung in Wohnung, Zentrales Gerät mit Konstantbetrieb	Geringe Investitionskosten (Lösung wird jedoch meist mit Konstantvolumenstromreglern realisiert)	Wird oft mit Konstantvolumenstromregler realisiert (um Aufwand für Luftmengeneinregulierung gering zu halten) damit höchster Betriebsenergiebedarf. Ungünstige bezüglich Raumluftfeuchte im Winter. Keine Bedarfs- / Nutzergerechte Steuerung möglich.

Tabelle 17 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Betriebsenergie, Raumluftfeuchte, Investitionen) als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Instandhaltung, Raumluftqualität, Schallschutz Lüftungsgeräusche).

Die Bewertungen für die Betriebsenergie Strom und Wärme in Tabelle 17 basieren auf Berechnungen auf Basis der Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) vorgeschlagen werden. Weitere Datenquellen ist eine Untersuchung für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 10 Wohnungen aus (Huber & Helfenfinger, 2013) sowie Messdaten aus (Unterberger, et al., 2014). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch 4.2.1). Die Berechnung basiert auf einem Gebäude mit 16 Wohnungen (3.5-Zimmer Wohnungen) mit einer zentralen Lüftungsanlage im UG und einer Luftverteilung von dort über 2 Steigzonen in die Wohnungen. Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 10.4 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

Das Basissystem (Variante 1) ist mit einem Lüftungsgerät im Untergeschoss konzipiert (siehe Abbildung 29) daher weichen die Kennwerte in Tabelle 17 zum Teil vom Referenzwert (100%-Kennwert) ab, der ein Mittelwert aus den in Kapitel 6.2.1 untersuchten Standortvarianten darstellt.

Durch einfachere (kostengünstigeren) Elemente bzw. den vollständigen Verzicht auf wohnungsweise Steuerbarkeit der Luftmengen werden die Investitionskosten in einem relevanten Bereich beeinflusst. Daher ist die Bewertung der Investitionskosten für diesen Entscheid als von hoher Relevanz eingeschätzt worden. Die Basis dafür ist, dass nur die, für das jeweilige Konzept, notwendigen Installationen eingebaut werden.

Tabelle 17: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante / Einflussfaktor	Stufenschalter (min. 2 stufig) je Wohnung, Basisvariante	Wie Basissystem, jedoch Einstellung VAV optimiert	Bedarfsgerechte Regelung je Wohnung (CO_2-Regelung)	Nur Zentrale Steuerung mit Zeitprogramm mit 2 Stufen *)	Zentrales Gerät mit Konstantbetrieb *)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	105% (Wert: 2.11) Bereich: 80-135%	100% (Wert: 2.04) Bereich: 75-135%	65% (Wert: 1.28) Bereich: 55-75%	130% (Wert: 2.56) Bereich: 95-145%	140% (Wert: 2.82) Bereich: 130-150%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.8) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 9.8) Bereich: 90-110%	85% (Wert: 8.4) Bereich: 80-90%	105% (Wert: 10.4) Bereich: 100-110%	110% (Wert: 10.8) Bereich: - (gering)	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.98) Bereich: 95-100%	100% (Wert: 1.98) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 1.99) Bereich: 95-105%	95% (Wert: 1.94) Bereich: 90-100%	95% (Wert: 1.94) Bereich: 90-100%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 104) Bereich: 80-105%	95% (Wert: 105) Bereich: 80-110%	100% (Wert: 109) Bereich: 85-115%	80% (Wert: 87) Bereich: 70-90%	80% (Wert: 87) Bereich: 70-90%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	95% (Wert: 2.3) Bereich: 95-100%	90% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	90% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Abhängig von richtiger Nutzung durch Bewohner (Instruktion!)	Abhängig von richtiger Nutzung durch Bewohner (Instruktion!)	Korrekte Einstellung und Wartung der Sensoren erforderlich	Ev. Probleme bei Eingriffen durch Nutzer (z.B. Verstellen / Abkleben einzelner Auslässe)	Problemlos. Aber Tendenz zur Überlüftung	
Raumluftfeuchte	Gewisse Beeinflussbarkeit durch Nutzer (bei korrekter Nutzung des Stufenschalters)	Gewisse Beeinflussbarkeit durch Nutzer (bei korrekter Nutzung des Stufenschalters)	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird.	Abhängig vom gewählten Betriebsregime. In Praxis meist nicht bedarfsgerecht.	Ungünstig, da keine Bedarfsanpassung.	
Akustik: Schallschutz Lüftungsgeräusche	Günstig da Nutzer Einfluss auf Volumenstrom hat. Schalleigenschaften vom Volumenstromregler sind zu beachten (Gerätewahl)!	Günstig da Nutzer Einfluss auf Volumenstrom hat. Schalleigenschaften vom Volumenstromregler sind zu beachten (Gerätewahl)!	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird. Schalleigenschaften vom Volumenstromregler zu beachten (Gerätewahl)!	Schalldämmung (Luftschall und Körperschall) v.A. gegenüber oberster Wohnung muss erfüllt werden.	Da dauernder Betrieb mit Nennluftvolumenstrom ungünstig. Schalleigenschaften vom Konstantvolumenstromregler sind zu beachten!	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Basis für die Berechnungen bildete ein Gebäude mit einer Anlage im UG und der Versorgung der Wohnungen über 2 Steigzonen
*) Bei diesen beiden Varianten wird auf den Einbau einer KWL-Box verzichtet (da keine wohnungsweise Anpassung der Luftvolumenströme)

Die Bewertungen für die Betriebsenergie Strom und Wärme in Tabelle 17 basieren auf Berechnungen auf Basis der Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) vorgeschlagen werden. Weitere Datenquellen ist eine Untersuchung für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 10 Wohnungen aus (Huber & Helfenfinger, 2013) sowie Messdaten aus (Unterberger, et al., 2014). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch 4.2.1). Die Berechnung basiert auf einem Gebäude mit 16 Wohnungen (3.5-Zimmer Wohnungen) mit einer zentralen Lüftungsanlage im UG und einer Luftverteilung von dort über 2 Steigzonen in die Wohnungen. Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 10.4 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

6.2.4 Art der Wärmerückgewinnung

Die bei grösseren zentralen Lüftungsanlagen eingesetzten Wärmeübertrager weisen bei üblicher Auslegung nach Stand der Technik keine sehr grossen Unterschiede beim Wärmerückgewinnungsgrad auf. Damit ist der Einfluss auf die Betriebsenergie hauptsächlich durch den Druckverlust und durch den erforderlichen Vereisungsschutz bestimmt.

Einen grossen Einfluss hat die Art der Wärmerückgewinnung jedoch auf die Raumluftfeuchte. Bei der Verwendung von Enthalpieübertragern kann tiefen Luftfeuchten in den Wohnungen im Winter vorgebeugt werden. Rotations-Wärmeübertrager sind bei zentralen Anlagen aufgrund der möglichen Geruchsübertragung nicht üblich / empfohlen. Auch bei Anlagen mit Plattenwärmeübertragern kann es bei ungünstigen Druckverhältnissen und Leckagen im Lüftungsgerät zu Luftübertragungen von der Abluft in die Zuluft kommen.

Dies ist durch Geräte mit tiefen internen Leckagen und eine geeignete Anordnung der Ventilatoren zu verhindern.

Bei der Gerätewahl ist u.a. einer einfachen Wartbarkeit des Wärmeübertragers (und auch der übrigen Komponenten) Beachtung zu schenken, um die Wartungskosten möglichst gering zu halten.

Die verfügbaren Optionen bei der Wärmerückgewinnung sind in erster Linie durch den verwendeten Gerätetyp (Hersteller) bestimmt. Dabei kann je nach Hersteller die Verfügbarkeit solcher Optionen von der Gerätegrösse abhängig sein (Kompaktgerät / Modulgerät). Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen (unterschiedliche Verteilkonzepte siehe Kapitel 6.2.5). Für die nachfolgende Analyse wurden 2 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung

Nicht in den Vergleich aufgenommen wurden KVS-Systeme, da diese im Wohnungsbereich nicht üblich, und im Vergleich teuer sind (mind. für die typischen Luftmengen von MFH's). Zudem weisen sie in diesem Nutzungsbereich keine Vorteile auf. Spezialfälle wie die fehlende Möglichkeit das Zuluft- und Abluftgerät am selben Ort aufzustellen, wurden damit nicht in die Betrachtung einbezogen.

Tabelle 18: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem mit Enthalpie Plattenübertrager	Günstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Bei üblichen Winterbedingungen meist keine Enteisung nötig. Insbesondere für Standorte in Höhenlagen (kalt, trocken) geeignet.	Mehrkosten für Enthalpietauscher; Eventuelle Mehrkosten für Wartung / Unterhalt (Geräteabhängig); Erhöhte Raumluftfeuchte in Übergangszeit (Regelung durch Gerätebypass erforderlich). Bei Gebäuden mit grösseren Wärmebrücken (Sanierungen) besteht durch die höhere Feuchte erhöhte Gefahr von Kondensat bzw. Schimmelbildung (Sibille et. al., 2015). Dann ist in der Planung zu klären ob der Einsatz sinnvoll ist.
Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung	Günstigerer Preis des Tauschers. Höherer Wärmerückgewinnungsgrad möglich (mit Nutzung der Kondensation)	Ungünstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Energiebedarf für Enteisung nötig (bzw. Erdwärmetauscher oder andere Massnahme).

Tabelle 19 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Wärmerückgewinnung bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftfeuchte) als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Instandhaltung, Raumluftqualität) sowie der Investitionen (geringe Relevanz).

Zum Einfluss auf die Betriebsenergie ist anzumerken, dass ein wesentlicher Teil der möglichen Variation beim Stromverbrauch durch den Druckverlust des Wärmeübertragers bestimmt ist. Über den Plattenabstand im Wärmeübertrager kann der Wärmerückgewinnungsgrad beeinflusst werden und gegenläufig dazu der Druckverlust[10]. Wird ein grösser dimensionierter Wärmeübertrager im Gerät eingesetzt (geringere Anströmgeschwindigkeit), nimmt der Druckverlust ab und der Wärmerückgewinnungsgrad zu. Dabei nehmen typischerweise die übrigen internen Druckverluste ebenfalls ab, aber die Kosten, der Platzbedarf und auch die Graue Energie des Gerätes nehmen zu.

Insofern kann die Varianz der Betriebsenergie Wärme und Strom gegenläufig aber auch in die gleiche Richtung zeigen. Daraus ist ersichtlich, dass bei der Gerätewahl eine Gesamtoptimierung erforderlich ist, die u.a. vom lokalen Klima abhängig ist.

Beim Vergleich zwischen Plattenübertrager mit und ohne Feuchteübertragung ist das Resultat ebenfalls von verschiedenen Faktoren abhängig. Beim Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung ist die angewendete Enteisungsstrategie (Wärme- und /oder Strombedarf dafür) wie auch von der Häufigkeit von Abluftkonditionen, die zu einem Kondensieren der Abluft im Wärmeübertrager führen. Diese Einflüsse sind somit vom

[10] Gemäss EnEV muss der Temperaturänderungsgrad mindestens 72 % betragen. Zudem gibt es Anforderungen an den SPI_{int}, die den internen Druckverlust einschränken.

Aussenklima (v.A. Perioden mit Temperaturen <0°C) wie auch von den Nutzern selbst (Einfluss auf Abluftfeuchte) abhängig.

Beim Plattenübertrager mit Feuchteübertragung ist im Mittelland meist keine zusätzliche Enteisung erforderlich (da bei einer Feuchteübertragung von mind. 60 % gar keine Vereisung entsteht). Damit kann die für die Enteisung sonst benötigte Energie eingespart werden. Typischerweise ist der Wärmeübertragungsgrad nach EN 308 (trocken) bei Plattenübertrager mit Feuchteübertragung leicht geringer. Dafür ist aber zusätzlich die Einsparung, die durch die Feuchteübertragung möglich wird zu berücksichtigen.

Im Gesamtfazit kann mit beiden Varianten eine gute Effizienz erreicht werden. Die Varianz der Effizienz dürfte bei Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung jedoch grösser sein und zudem kann im Winterfall damit nicht tiefen Raumluftfeuchten entgegengewirkt werden.

Tabelle 19: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit Enthalpie Plattenübertrager	Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	105% (Wert: 2.11) Bereich: 100-110%	105% (Wert: 2.11) Bereich: 100-110%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.8) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 9.8) Bereich: 80-120%	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.98) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 1.98) Bereich: 95-105%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 104) Bereich: 90-95%	95% (Wert: 102) Bereich: 90-95%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	90% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. tiefe Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5% Gefahr der Überfeuchtung **); kann bei Sanierungen kritisch sein (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$).	Keine Beeinflussung durch Wärmeübertrager. Höhere relative Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte v.a. im SZ: ca. 20% Geringere Gefahr der Überfeuchtung **), daher v.A. bei Sanierungen u.U. geeigneter (Abhängig von der Wärmebrückenfreiheit)	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Beeinflussung durch Leckagen oder VOC-Übertragung möglich	keine Beeinflussung durch Wärmeübertrager	
Instandhaltung/Hygiene	Unterhalt / Reinigung vom Wärmeübertrager kann u.U. aufwendiger sein.		

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
*) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung.
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³; Siehe (Sibille, et al., 2015) und (Rojas, et. al., 2015).
**) Details siehe (Sibille, et al., 2015)

6.2.5 Luftverteilkonzept in der Wohnung

Das verwendete Luftverteilkonzept in der Wohnung hat einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch. Über die notwendige Gesamtluftmenge hat dieser Entscheid aber auch einen relevanten Einfluss auf die benötigte Wärmeenergie.

Durch eine geeignete Luftführung wird die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst, da nur die wirklich benötigte Zuluft in die Wohnung eingebacht wird.

Je nach Konzept werden weitere Faktoren wie Graue Energie und Investitionen (über die verbauten Elemente und Luftleitungen), Instandhaltung (z.B. einfache Reinigbarkeit durch kurze Leitungen bzw. wenige Elemente) und auch die Raumluftqualität (Lüftungseffizienz des Konzeptes) günstig oder auch ungünstig beeinflusst.

Für die nachfolgende Analyse wurden 3 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Kaskade, Referenz
- Variante 2: Verteilsystem ohne Kaskade (ZUL auch in WZ)
- Variante 3: Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung)

Abbildung 30 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

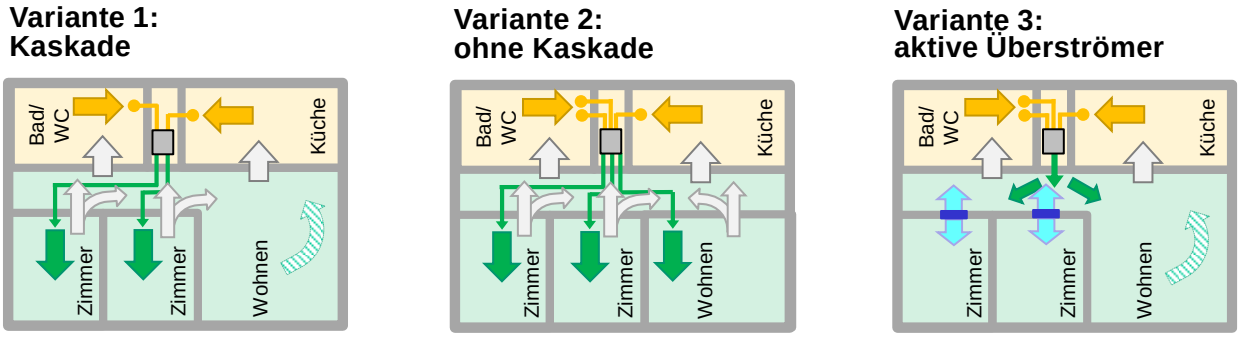


Abbildung 30: Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Tabelle 20: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung

Variante:	Vorteile	Nachteile
Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)	Geringere Luftmengen und damit geringerer Betriebsenergiebedarf (Wärme und Strom) und geringere Kosten. Günstiger Einfluss auf Raumluftfeuchte im Winter ohne wesentliche Verschlechterung der Raumluftqualität.	Mögliche Geruchsübertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer (für die Nutzer in der Regel jedoch problemlos).
Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)	Raumluftqualität völlig unabhängig von der Zimmerbelegung aller Zimmer in der Wohnung.	Höhere Luftmengen und damit höherer Betriebsenergiebedarf (Wärme und Strom) und höhere Kosten. Tiefe Raumluftfeuchten im Winter.
Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung)	Sehr einfache Zuluftverteilung in Wohnung (Einströmung in Korridorbereich), damit auch leicht geringerer Druckverlust Zuluftseitig. Kosteneinsparung bei der Zuluftverteilung in der Wohnung. Bedarfsgerechte Regelung einfacher umsetzbar. Insbesondere geeignet für grössere Wohnungen mit geringer Belegung.	Kosten, Stromverbrauch und Schallemissionen durch aktive Überströmer. Geruchsübertragung von Korridorbereich in Schlafzimmer. Bei Wohnungen mit hoher Belegung gemäss SIA 382/5: 2021 höhere Zuluftmengen nötig (da vollständig durchmischt).

Tabelle 21 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zum Luftverteilkonzept in der Wohnung bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz als quantitative (Betriebsenergie, Graue Energie, Investitionen) bzw. qualitative (Raumluftfeuchte) Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Instandhaltung sowie Raumluftqualität).

Tabelle 21: Bewertung der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung

Variante / Einflussfaktor	Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)	Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)	Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung) *)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	105% (Wert: 2.11) Bereich: 90-120%	155% (Wert: 3.15) Bereich: 135-180%	105% (Wert: 2.12) Bereich: 90-185%	2.0 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.8) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	130% (Wert: 12.7) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	100% (Wert: 9.8) Bereich: 100-130%	9.8 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.98) Bereich: 90-105%	115% (Wert: 2.28) Bereich: 105-125%	100% (Wert: 2.0) Bereich: 90-120%	2.0 kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 104) Bereich: 80-110%	105% (Wert: 114) Bereich: 90-120%	105% (Wert: 115) Bereich: 85-130%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-100%	100% (Wert: 2.4) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 2.3) Bereich: 90-110%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	150% (Wert: 0.0632) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	180% (Wert: 0.0759) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	150% (Wert: 0.0632) Bereich: 150-180%	0.042 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte **)	135% (Wert: 0.0093) Bereich: 130-140%	155% (Wert: 0.0108) Bereich: 145-160%	135% (Wert: 0.0093) Bereich: 130-160%	0.007 m^3/m^2
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. Tiefe Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5%	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge. höhere relative Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte v.a. im WZ. (WZ: ca. 20%, SZ: ca. 10%)	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge (im Standardfall der Auslegung) als bei dem Konzept mit Kaskade.	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Mögliche Geruchsübertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer. Geringste Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Günstigster Fall bezüglich CO_2 und TVOC. Aber höhere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Belegung des Wohnzimmers beeinflusst die Luftqualität im Schlafzimmer. Geruchsübertragung von Korridorbereich ins Schlafzimmer.	
Instandhaltung/Hygiene	Geringere Anzahl Zuluftleitungen und Auslässe in der Wohnung		Sehr kurze Zuluftverteilung in Wohnung. Unterhalt der Verbundlüfter muss gewährleistet werden können.	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
*) Für die Auslegung im Vergleich wurde auf den Auslegungskriterien gemäss Fpr SIA 382-5 basiert:
60 m^3/h Luftmenge über Verbundlüfter; Gleiche Gesamtluftmenge wie Verteilkonzept ohne Kaskade.
Für den Wertebereich wurde bei dieser Variante für das untere Bereichsende mit einer reduzierten Gesamtluftmenge gerechnet (gleiche Gesamtluftmenge wie beim Konzept mit Kaskade)
**) Raumbedarf für Lüftungszentrale im UG gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt und eingesetzt.
Variationsbreite ergibt sich durch Differenz der Ausführung mit Rohren / Kanälen.
***) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung. Details siehe (Sibille, et al., 2015).
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 21 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen) und einem zentralen Lüftungsgerät im UG. Für den Vergleich wurde die Auslegung der Luftmengen auf SIA 382/5: 2021 basiert. Dabei ist zu bemerken, dass SIA 382/5: 2021 bei der Dimensionierung der Verbundlüftung konservativ ist. Bei einer individuellen Dimensionierung mit Berücksichtigung des Luftvolumens der Wohnung können in den meisten Fällen bei gleicher Raumluftqualität die gleichen Aussenluftvolumenströme erreicht werden wie bei einer Kaskadenlüftung. Dies wurde in der Berechnung im unteren Endwert des angegebenen Wertebereichs berücksichtigt. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.2.1). Die Bewertung der Zielwertabweichung der Raumluftparameter basiert auf den Untersuchungen von (Sibille, et al., 2015) und ist dort im Detail beschrieben. Als Basis für die relative Zielwertabweichung dient die kumulative Häufigkeitsverteilung der einzelnen Parameter (rel.

Feuchte, CO_2 oder TVOC), welche mit dem für den jeweiligen Bewertungsparameter gültigen „Toleranzbreite“ verglichen wird. Weitere Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 10.6 zu entnehmen.

6.2.6 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Mit der Entscheidung zum Luftverteilkonzept wird meist auch die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung bestimmt. Bei diesem Entscheid besteht immer eine Abhängigkeit zu verschiedenen Faktoren, insbesondere der Architektur bzw. dem Raumkonzept.

Während die Dimension und Länge der Luftverteilung primär durch den Konzeptentscheid festgelegt wird, kann die Materialisierung einen relevanten Einfluss auf die Graue Energie, Investition und Instandhaltung haben.

Bei der Graue Energie sind primär die Materialien und Materialmengen von Bedeutung. Bei eingelegten Lüftungsrohren ist in der Planung die Klärung möglicher Auswirkungen auf die Statik wichtig. Unbedingt zu vermeiden sind Planungen, die zu einer relevanten Erhöhung der Grauen Energie in den Decken führt (Armierungsgehalt und/oder Deckenstärke). Dabei sind in jedem Fall Kreuzungen von Lüftungsleitungen und die Führung von Luftleitungen durch statisch stark beanspruchte Zonen zu vermeiden. Bei Luftverteilungen mit abgehängten Decken (Korridorbereiche) sind dagegen diese Aufwände in einem Gesamtvergleich ebenfalls einzubeziehen.

Bei den Investitionen sind die massgebenden Parameter die architektonischen Voraussetzungen (Grundriss), welche die eine oder andere Variante bevorteilen. Insbesondere bei nicht in die Betondecken eingelegten Luftverteilungen sind auch die gestalterischen Ansprüche der Architektur für den Entscheid von grosser Relevanz.

Für die Instandhaltung ist in erster Linie eine gute Reinigbarkeit von Bedeutung. Dies kann grundsätzlich unabhängig von der Materialisierung gut oder schlecht gelöst sein. Relevante Unterschiede ergeben sich in der Möglichkeit der Instandsetzung bei Konzepten ohne eingelegte Leitungen (positiv für die Systemtrennung) ergeben.

Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 5 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit eingelegten Polyethylen Wellrohren
- Variante 2: Eingelegte Polyethylen Wellrohre, Erhöhung Deckenstärke um 2 cm
- Variante 3: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Polyethylen Wellrohre
- Variante 4: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt[11]
- Variante 5: Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt sichtbar installiert

Abbildung 31 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

[11] Spiralfalzrohre aus verzinktem Stahlblech

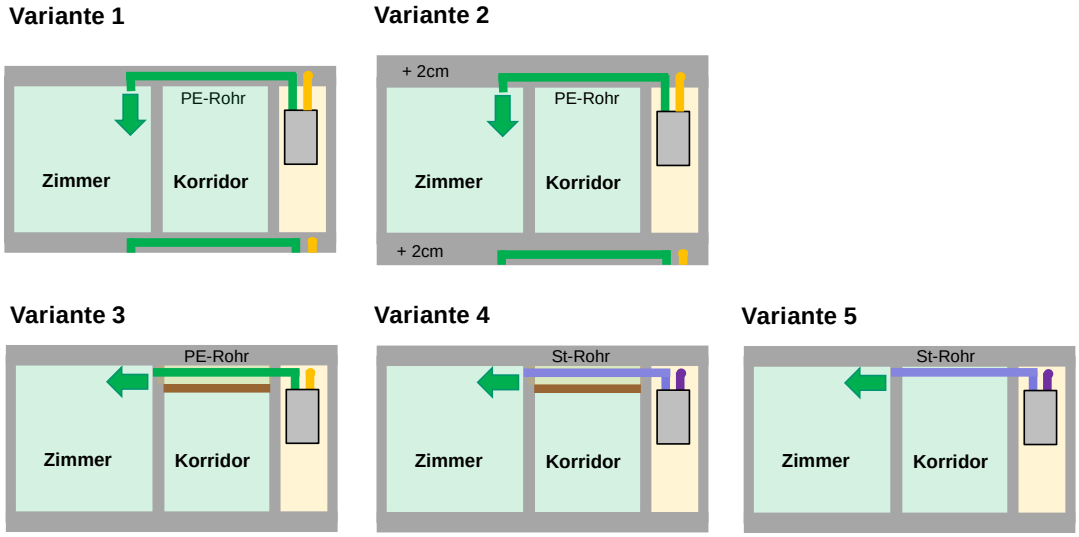


Abbildung 31: Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

Tabelle 22: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem mit eingelegten Kunststoffrohren	Deckenbereich ohne Absätze möglich (v.A. für offene Wohnbereiche). Relativ flexibel bezüglich Platzierung der Auslässe (Randbedingungen v.A. durch Statik)	Klärung der Tragfähigkeitsabminderung der Betondecke durch Statiker nötig. Systemtrennung nicht gewährleistet (späterer Umbau).
Eingelegte Kunststoffrohre, Erhöhung Deckenstärke um 2cm (Annahme)	Wie Basisvariante.	Deutliche Erhöhung der grauen Energie. Reduktion der Raumhöhe (bzw. ev. Erhöhung Bauvolumen). Übrige Nachteile wie Basisvariante.
Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Kunststoffrohre	Günstig bezüglich Systemtrennung und geeignet für Modernisierungen (keine Einlagen möglich). Oft kurze Leitungslängen möglich. Abgehängter Bereich auch für andere Installationen nutzbar (z.B. Beleuchtung).	Reduktion der Raumhöhe im Abgehängten Bereich und Materialaufwand für abgehängte Decke. Sichtbarer Deckensprung bei offenen Wohnungstypen. Eingeschränkte Möglichkeiten für Positionierung der Auslässe (im Türbereich). Wenig geeignet für weitverzweigte Wohnungsgrundrisse.
Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre	Vergleichbare Vor- und Nachteile wie Verteilung mit abgehängter Decke mit Kunststoffrohren aber ungünstiger bezüglich Grauer Energie (und insbesondere auch bezüglich der Bewertung mit Umweltbelastungspunkten) und Kosten.	
Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre sichtbar verlegt	Günstig bezüglich Systemtrennung und geeignet für Modernisierungen (keine Einlagen möglich). Relativ gutes Abschneiden bei der grauen Energie. Meist kurze Leitungslängen.	Eingeschränkte Möglichkeiten für Positionierung der Auslässe (im Türbereich). Bei Realisierung asl baumförmige Verteilung aufwändigere Einregulierung und Telefonieschalldämpfer notwendig. Wenig geeignet für weitverzweigte Wohnungsgrundrisse.

In die Variantenbetrachtung nicht einbezogen wurden Lösungen mit einer Luftverteilung oberhalb der Decke (im Bereich Trittschalldämmung Unterlagsboden). Dies aus den folgenden Gründen:

- Kaum mehr verbreitet in der Schweiz
- Infolge der erwünschten geringen Aufbauhöhe vergleichsweise hohe Druckverluste
- Gesamter Bodenbereich muss dieselbe Höhe aufweisen (erheblicher Materialaufwand)
- Eher ungünstige Zulufteinbringung im Bodenbereich (Verschmutzung, Wassereitritt)

Bei der Variante mit verstärkter Betondecke ist die zusätzliche Höhe der Deckenstärke von 2 cm eine Annahme und soll nur die Grössenordnung dieses Einflusses aufzeigen. In den Vergleich wurde nur die zusätzliche Betonmasse einbezogen nicht aber allfällige weitere Verstärkungen in der Statik, da für eine solchen Vergleich eine Vergleichsberechnung einer sonst komplett identischen Projektierung erstellt werden müsste, was im Rahmen der Untersuchung nicht möglich ist. Eine grobe Einschätzung dazu ist aus der Variantenbetrachtung im Anhang Kapitel 10.7.1 zu entnehmen. Ob und in welchem Mass eine Erhöhung der Deckenstärke notwendig ist, kann nur durch eine statische Berechnung geklärt werden. Folgende Punkte erhöhen die Wahrscheinlichkeit stark, dass dies notwendig ist:

- Gebäude mit geringen Spannweiten (geringe Deckenstärken möglich)
- Mehrere Leitungen mit Abstand weniger als 3x den Aussendurchmesser voneinander
- Aussendurchmesser der Lüftungsleitung im Bereich (oder sogar über) von 0.5 d[12]
- Leitungsführung lässt keine statisch günstige Anordnung zu (nicht nur bei Sperrzonen!!)
- Kreuzungen mit Elektro- und v.A: Sanitärleitungen oft unvermeidbar (Kreuzungen von Lüftungsleitungen müssen immer zwingend vermieden werden)

Nur eine statische Abklärung kann zeigen ob anstatt einer Erhöhung der Deckenstärke auch eine zusätzliche Querkraftbewehrung das Tragfähigkeitsproblem lösen kann.

Tabelle 23 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung für die Einflussfaktoren mit hoher bis mittlerer Relevanz als quantitative (Graue Energie, Investitionen und Raumbedarf). Ebenfalls über Eignungskriterien, bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die die Bewertung der Einflussfaktoren mit geringer Relevanz (Instandhaltung, Betriebsenergie). Zusätzlich erfolgt bei diesem Punkt eine Bewertung der Systemtrennung.

Tabelle 23: Bewertung der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit eingelegten Kunststoffrohren	Eingelegte Kunststoffrohre, Erhöhung Deckenstärke	Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Kunststoffrohre	Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre	Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre sichtbar verlegt	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	105% (Wert: 2.11) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 2.11) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 2.10) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 2.10) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 2.10) Bereich: n.V. *)	2.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.98) Bereich: 90-100%	110% (Wert: 2.24) Bereich: 100-130%	105% (Wert: 2.14) Bereich: 95-110%	110% (Wert: 2.18) Bereich: 95-115%	100% (Wert: 2.0) Bereich: 90-105%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	95% (Wert: 104) Bereich: 80-100%	100% (Wert: 111) Bereich: 85-115%	110% (Wert: 123) Bereich: 90-125%	115% (Wert: 126) Bereich: 90-130%	100% (Wert: 108) Bereich: 85-105%	110 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-95%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-100%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-100%	95% (Wert: 2.2) Bereich: 90-100%	2.4 CHF /(m^2 a)
Raumverlust in Wohnung (Raumhöhe) **)	0% (abs. Wert: 0 cm) Bereich: n.V. *)	0.8% (abs. Wert: 2 cm) Bereich: 0.8-1.6%	0.9% (abs. Wert: 15 cm) Bereich: 0.6-1.2%	0.9% (abs. Wert: 15 cm) Bereich: 0.6-1.2%	0% ***) - Bereich: k.A.	in % der lichten Raumhöhe
Instandhaltung/Hygiene			Möglichst kurz halten ohne viele oder enge Bögen.	Möglichst Sternförmige Führung mit identischen Querschnitten.	Wegen e.v. vorhandenen Querschnittsunterschieden schwieriger reinigbar (Konzept!)	
Systemtrennung	nicht gegeben	nicht gegeben	vorhanden	vorhanden	vorhanden	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
*) Ohne wesentliche Variation (daher ohne Angabe)
**) Raumverlust in der Wohnung bezieht sich auf den Verlust an lichter Raumhöhe (Mittelwert über Wohnung)
***) Bei dieser Variante ist kein flächiger Raumverlust vorhanden (nur eine Reduktion der lichten Raumhöhe im Bereich wo die Leitung geführt wird).

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 21 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. Für den Vergleich wurde die Auslegung der Luftmengen für eine Kaskadenlüftung gemäss SIA 382-5: 2021 basiert. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die

[12] d = Statische Höhe (vgl. SIA 260: 2013)

Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch 4.2.1). Für diesen Vergleich wird der Raumbedarf als «Raumverlust» in der Wohnung dargestellt, da bei diesem Variantenvergleich die benötigten Schachtflächen und der Raumbedarf für die Lüftungsanlage identisch sind. Der «Raumverlust» entspricht der mittleren Reduktion der lichten Raumhöhe (Mittelwert über die Wohnung). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 10.7 zu entnehmen.

6.2.7 Folgerungen für die Planung

Aus der Analyse der verschiedenen Themen und Relevanzen für die verschiedenen Parameter wie in Tabelle 10 können Folgerungen für die Planung bzw. mögliche Stolpersteine aufgezeigt werden.

Ein gutes Anlagenkonzept für eine Mehrwohnungsanlage verfügt über folgende Eigenschaften:

- Konzept mit Kaskadenlüftung (Wohnzimmer im Durchströmbereich)
- Bedarfsgerechte Luftmengenregelung jeder Wohnung (CO_2-geregelt + Stufenschalter)
- Einsatz eines hocheffizienten Lüftungsgerätes[15] mit Feuchterückgewinnung[13]
- Verteilkonzept mit minimierten Verteilleitungslängen[14] mit möglichst rundem Querschnitt
- Verteilung innerhalb der Wohnung mit kurzen Wegen (Luftauslass bei Zimmertüren)

Luftverteilkonzept in der Wohnung:

Einen grossen Einfluss auf wesentliche Parameter (Betriebsenergie, Kosten, Graue Energie. Raumluftfeuchte) hat die Wahl des optimalen Verteilkonzeptes. Wenn immer möglich soll ein Konzept mit Kaskadenlüftung umgesetzt werden. Damit kann bereits die Luftmenge im Nennbetrieb ohne wesentliche Einschränkungen reduziert werden, was zu den genannten Vorteilen führt. Wird dies nicht so umgesetzt, führt dies zu einer geringeren Effizienz der Anlagen (Energie und Kosten).

Einen anderen wesentlichen Einfluss hat das architektonische Konzept der Wohnungen. Grundrisse, welche kurze Wege zwischen den Steigschächten und den Zimmern mit Zuluft aufweisen, sind grundsätzlich günstiger. In diesem Sinne ungünstig sind Grundrisse, wo dies nicht der Fall ist, wie z.B. bei Durchschusswohnungen oder sehr verwinkelten Grundrissen.

Druckverluste:

Um eine hohe Effizienz beim Stromverbrauch zu erreichen ist eine genaue Analyse und Optimierung der Druckverluste notwendig. Dabei geht es nicht allein um die Luftgeschwindigkeiten in den Strängen, sondern wesentlich auch um die übrigen Druckverluste die sich durch div. Elemente (v.A. Bögen) und Armaturen ergeben.

Oft stark unterschätzt wird auch der Anteil an den geräteinternen Druckverlusten, die oft deutlich über den externen Druckverlusten liegen. Dies kann durch eine sorgfältige Gerätewahl (grosse Querschnitte und damit tiefe Geschwindigkeiten im Gerät, gut ausgelegte WRG, Wahl energieeffizienter Filter) deutlich verbessert werden[15]. Natürlich führt diese Optimierung zu einem grösseren, teureren Gerät, was sich aber über den eingesparten Strom über die Lebensdauer rechnet.

---

[13] Vor allem bei höher gelegenen Standorten. Bei Bauten (v.A. Erneuerungen) mit wesentlichen Wärmebrücken ist der Einsatz einer Feuchterückgewinnung zu überprüfen (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$). Details dazu siehe (Sibille, et al., 2015).

[14] Wesentlich sind günstige Standorte der Lüftungszentralen, insbesondere wenn eine Platzierung der Geräte auf dem Dach oder im Dachgeschoss nicht realisierbar oder sinnvoll ist. Die Führung von Aussen- und Fortluft durch das Gebäude ist zu vermeiden (Wahl der optimalen Zentralenstandort in Abhängigkeit vom Standort der Aussenluftfassung)

[15] Bei kleineren Geräten kann für die Wahl auf die Energieetikette gemäss (EU-VO Nr. 1254/2014, 2014) abgestützt werden (Klasse A oder A+ wählen). Vom Hersteller sollten zudem Angaben zur Beurteilung der Effizienz gemäss (EU-VO Nr. 1253/2014, 2014) verfügbar sein. Ebenfalls kann bei den Filtern eine gute Energieeffizienzklasse nach ISO 16890 gewählt werden (Klasse A oder A+). Bei grossen Geräten sind die Klassen nach SN EN 13053: 2011 zu beachten: Leistungsaufnahme von Antrieben: Klasse P1, Klasse der durchschnittlichen Luftgeschwindigkeitswerte im Gehäuse: V1, Wärmerückgewinnungsklasse: H1.

Daneben ist im Raumkonzept (Standort der Lüftungszentralen) der Leitungsführung grosse Beachtung zu schenken. Insbesondere kurze Horizontalverteilungen im UG (kleine Distanz zwischen Gerät und Steigzone) wirken sich günstig auf Kosten, Graue Energie und auch den Stromverbrauch aus. Auf jeden Fall ist ein für den Gerätestandort geeignetes Konzept für Aussenluftfassung und Fortluftführung zu wählen, um eine kurze Leitungsführung innerhalb des Gebäudes zu erreichen (günstig für Platzbedarf, Graue Energie und Kosten).

Luftmengenregelung:

Effiziente Anlagen verfügen über eine automatisierte Lüftungsregelung über CO_2-Sensoren. Insbesondere bei sehr unterschiedlich genutzten Wohnungen (Mietermix) werden solche Systeme wesentliche Reduktionen beim Betriebsenergiebedarf erzielen. Aufgrund der schnellen Entwicklung im Bereich der Sensorik werden diese Elemente in Zukunft auch bezüglich der Kosten in einem vertretbaren Bereich liegen. Wichtig bei diesen Elementen ist eine einfache Möglichkeit diese zu warten/auszutauschen, da die Sensorik eine geringere Lebensdauer aufweist als die übrigen Elemente.

Verbundlüftungen eigenen sich besonders gut für Bedarfsregelungen, da die Luftqualität im Durchströmbereich die Raumluftqualität in den Zimmern beeinflusst. Bei der Kaskadenlüftung ist zu beachten, dass bei einer Messung der Luftqualität oder im Durchströmbereich nicht auf die Luftqualität in Zimmern mit geschlossener Tür rückgeschlossen werden kann. Der gesamte Zuluftvolumenstrom der Wohnung soll daher mind. in der Nacht nach unten begrenzt werden.

Eine zentrale Anlage ohne jegliche Anpassung an den Bedarf sollte heute nicht mehr realisiert werden. Aufgrund der einfacheren Einregulierung werden heute bei zentralen Anlagen sowieso meist (Konstant)Volumenstromregler zur Unterstützung der Einregulierung eingebaut. Werden diese nicht variabel betrieben, wird zwar ein höherer Druckverlust in Kauf genommen, aber ohne den gesamten Nutzen dieses Elements zu verwenden. Daher ist zumindest eine Ansteuerung unterschiedlicher Lüftungsstufen je Wohnung vorzusehen. Damit kann neben der Energieeinsparung auch dem Nutzer eine Beeinflussungsmöglichkeit gegeben werden (entsprechende Instruktion vorausgesetzt).

Konzepte mit zentraler 2-stufiger Zeitsteuerung (wie bisher oft eingesetzt) sollten aus den folgenden Gründen möglichst vermieden werden:

- Funktion der Luftmengenabsenkung nur ohne Konstantvolumenstromregler in den Wohnungsabgängen überhaupt gewährleistet (damit hoher Aufwand für Luftmengenabgleich)
- Zeitschaltprogramm kann keine sinnvolle «Bedarfssteuerung» für alle Nutzer ergeben (meist eher als «Notlösung» verwendet bei zu hohen Schallpegeln nachts oder zu tiefer Feuchte)
- System (ohne Volumenstromregler je Wohnung) ist anfällig auf Nutzereinflüsse (Verstellen bzw. zukleben einzelner Auslässe), was zu unerwünschten Druckdifferenzen führen kann.

6.2.8 Anlagenbeispiel

Mit dem nachfolgenden Objektbeispiel einer Mehrwohnungsanlage sollen die in Tabelle 10 und in den Kapiteln 6.2.1 bis 6.2.6 bewerteten Themen beispielhaft aufgezeigt werden. Damit soll die Einordnung von Anlagen ermöglicht werden und die allenfalls kritischen Punkte des eingesetzten Lüftungskonzeptes aufgezeigt werden.

Abbildung 32: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bild: Aragorn Frey, www.gogi.ch)

Tabelle 24: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung)

Kennwert	Beschrieb / Wert
Jahr des Bezugs	2018
Geschosszahl	5 Wohngeschosse (+ UG)
Wohnungszahl	10 Wohnungen (je 4.5 - 5.5 Zimmer)
EBF	1706 m^2
Luftverteilkonzept	ohne Kaskade im Wohnzimmer (ZUL in jedem Zimmer, inkl. Wohnzimmer)
Standort Lüftungsgerät	Untergeschoss (1 Gerät) Gerätegewicht: 0.22 kg/(m^3/h) ohne Schalldämpfer
Aussenluftfassung	Im EG über Luftfassungsturm; AUL durchquert Tiefgarage (Brandschutzdämmung)
Fortluftauslass	In Tiefgarage im UG (1xBSK)
Luftverteilung vertikal	2 Steigzonen.
Anzahl Brandschutzklappen	3 (gem. Strangschema)
Luftverteilung in Wohnung	eingelegte PE-Rohre
spez. Nennluftmenge	0.82 m^3/(h m^2) nur Wohnungen 0.93 m^3/(h m^2) inkl. Kellerlüftung
Kosten Lüftungsanlage	59.-/m^2 (nur BPK 244, Bezug EBF)
Stromverbrauch Lüftungsanlage	1.1 kWh/m^2a
Wärmebedarf des Gebäudes	17 kWh/m^2a (nur Heizung)
Wärmerückgewinnungsgrad	86% Datenblattwert, nach PHI *) Plattentauscher ohne Feuchterückgewinnung

*) ohne Reduktionen für Leckagen etc.

Folgende Einordnung kann aus den verfügbaren Angaben zum Objekt erfolgen:

- Geräteinterner Druckverlust: Mit einem internen Druckverlust von 190 Pa weist die Anlage einen guten Wert auf, was den guten Stromverbrauchswert zum Teil erklärt.
- Regelung: Tagsüber nach CO_2 und in der Nacht fix auf Stufe 2.
- Bei Luftverteilung in der Wohnung ist das Wohnzimmer nicht in Kaskade, sondern hat eine separate (höhere Gesamtluftmengen).
- Die Lage der Aussenluftfassung und die Fortluftführung ist günstig für kurze Leistungsführungen (bei dem gewählten Gerätstandort im UG)
- Das Ausblasen der Fortluft in die Tiefgarage ist für die Leitungsführung und «Kaskadennutzung» der Abluft günstig, kann aber zu Geruchsbeschwerden in der Garage führen.
- Da die Aussenluft zwischen Fassung und Gerät die Tiefgarage durchquert ist eine Brandschutzdämmung erforderlich. In Tiefgaragen ist die lichte Höhe oft ein Problem was zu ungünstigen Querschnitten der Luftleitungen führen kann (wenn Leitungsführung nicht entlang einer Wand möglich).
- Im Gebäude wurden die Wände mit 5 cm Lehmputz was sich ausgleichend auf das Raumklima (v.A. Feuchte) auswirkt.

Auf Basis der Bewertungen in Tabelle 10 sowie den Kennwerten in den Kapiteln 6.2.1 bis 6.2.6 können folgende Einschätzungen zum Objekt gemacht werden:

Tabelle 25: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten

Thema	Bewertung
Standort des Lüftungsgerätes	1 Zentrales Gerät im UG, 2 Steigzonen. Dadurch dass pro 5 Wohnungen eine Steigzone vorhanden ist, wird der Materialanteil der Vertikalverteilung eher hoch sein (Hauptverteilung ist überwiegend mit Kanälen).
Lage der Aussenluftfassung	Für Platzierung des Gerätes im UG sinnvolle Lösung mit Ansaugturm. Damit kann (bei richtiger Platzierung) Aussenluft mit guter Qualität angesaugt werden.
Regelung/Steuerung	Tagsüber wird die Luft in den Wohnungen nach CO_2 als Indikator geregelt. Alle Wohnungen verfügen über eine KWL-Box, welche eine solche Lösung zulässt. Korrekt eingestellt wird diese Lösung zu einem tiefen Stromverbrauch und geringen Lüftungsverlusten führen.
Wärmerückgewinnung	Gemäss Datenblatt hat das Gerät einen hohen Wärmerückgewinnungsgrad. Es wird kein Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung eingesetzt.
Luftverteilkonzept in der Wohnung	Die Wohnungen werden alle Zimmer wie auch das Wohnzimmer mit Zuluft versorgt. Für eine Optimierung des Luftverteilkonzeptes hätte vermutlich ein Konzept mit Kaskade umgesetzt werden können. Damit könnte die Zuluftmenge reduziert werden und so die Anlage weiter optimiert werden.
Raumluftqualität	Luftqualitätsmessungen über 5 Monate zeigen im untersuchten Schlafzimmer während mehr als 70% eine Raumluftqualität von RAL 2 oder besser. Eine Überschreitung von RAL 3 wurde nur während knapp 8% der Zeit festgestellt.
Raumluftfeuchte	Bei den Messungen über 5 Monate wurden sowohl im untersuchten Schlafzimmer wie auch Wohnzimmer angenehme Raumluftfeuchten gemessen (Mittel bei 56%, Minimum 34%).
Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung	Die Luftverteilung in der Wohnung wurde mit eingelegten PE-Rohren ausgeführt. Dies ist in der Schweiz eine klassische Variante für den Neubau. Ob infolge der Lüftung eine grössere Deckenstärke erforderlich war, kann aus den verfügbaren Unterlagen nicht beurteilt werden.

6.3 LK2: Einfache Lüftungsanlage (Einzelwohnungsanlage)

Bei einfachen Lüftungsanlagen mit Einzelwohnungsanlagen liegen die wesentlichsten Einflüsse im Entscheid wo die Geräte platziert werden und damit verbunden die Festlegung der Länge und Verortung der Kanäle wie auch der Aussenluftfassung. Ein weiterer wesentlicher Entscheid liegt bei der Wahl des Gerätes bzw. dessen Eigenschaften und Steuerungsoptionen. In Tabelle 26 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren bewertet.

Tabelle 26: Bewertung der Fragestellungen zu LK 2 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Standort des Lüftungsgerätes**	**Lage der Aussenluft-fassung**	**Regelung / Steuerung**	**Wärmerück-gewinnung**	**Luftverteil-konzept in der Wohnung**	**Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung**
Fragestellung	Wo wird das Gerät platziert (in Wohnung bzw. UG / DG)? Länge der Leitungen vor dem Wohnungs-verteiler. Anteil gedämmter Leitungen.	Wie ist die Aus-senluftqualität am Ort der Aussenluft-fassung?	Wie erfolgt die Bedarfsanpassung des Luftvolumen-stroms in der Wohnung? (Steuerung: z.B. 3-stufig; Regelung nach CO_2; etc.?)	Welche Art von Wärmerück-gewinnung wird eingesetzt?	Mit welchem Konzept erfolgt die Luftverteilung in der Wohnung? Wie hoch sind die Luftvolumen-ströme?	Mit welchem Konzept erfolgt die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung?
Merkmale	zus. Bauvolumen, Wärmeverluste und geforderte Wärmedämmung, Materialaufwand, Grösse der Instal-lationszonen, Risiko von Geruchs-übertragung	Höhe über Boden, Abstand von Quellen, Lokale Belastung Feinstaub und NOx, Belastung durch Gerüche, Gefahr von Kurzschuss-strömungen	Bedieneinheit / Sensorik in der Wohnung, Regelungs-möglichkeiten des Gerätes	Enthalpie-Übertrager; Bauart (Rotor, Platten-Übertrager), Risiko von Geruchs-übertragung	Kaskade, Verbundlüftung, Zuluft im Wohnbereich, Gesamtluft-volumenstrom pro Wohnung	Eingelegte Rohre, mit abgehängter Decke im Korridorbereich
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**					
Betriebsenergie	R: hoch V: gross	R: hoch **) V: gross **)	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: gering
Graue Energie	R: hoch V: gross	R: hoch **) V: gross **)	R: gering V: gering	R: gering V: gering	R: mittel V: mittel	R: hoch V: gross
Investition	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Instandhaltung	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: mittel	R: mittel V: gross	R: mittel V: mittel	R: gering V: gering
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	*)	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	
Raumluftfeuchte			R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: mittel	
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: hoch V: gross		R: mittel V: gross		R: mittel V: gross	R: gering V: gering
Schallschutz von aussen		R: gering V: mittel				
thermische Behaglichkeit			R: gering V: gering		R: gering V: gering	

*) Die Einflüsse auf die Raumluftqualität werden primär beim Punkt "Lage der Aussenluftfassung" bewertet.

**) Bewertung zum Grossteil durch unterschiedliche Leitungslängen für AUL-Leitungen bestimmt (Gerätestandort in Wohnung).

Aus dieser Analyse ergeben sich insbesondere relevante Einflüsse der vom Geräte Standort abhängigen Leitungsführung vor allem auf die Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen.

Wie die Luftverteilung in der Wohnung selbst erfolgt, ist primär für die Betriebsenergie von Relevanz, da mit diesem Entscheid die pro Wohnung notwendige Luftmenge beeinflusst wird. In geringerem Masse wird damit, über die erforderlichen Leitungslängen, auch die Graue Energie bzw. die Kosten (Investition Instandhaltung) beeinflusst.

Vom eingesetzten Gerät und dessen Steuerungsmöglichkeiten wird vor allem die benötigte Betriebsenergie aber auch die Raumluftfeuchte beeinflusst. Vor allem bei Geräten die im Wohnraum eingebaut werden können zudem die schalltechnischen Eigenschaften relevant sein (Bewertung mittlere Relevanz aber grosse Varianz möglich)

Im Folgenden Unterkapitel wird im Detail auf den Einfluss des Geräte Standortes und die damit zusammenhängende Leitungsführung eingegangen

6.3.1 Platzierung der Lüftungsgeräte bei Einzelwohnungsanlagen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen hat die Wahl des Aufstellungsstandortes der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen. Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 5 verschiedene Lösungsvarianten verglichen:

- Variante 1: In Wohnung, AUL / FOL an Fassade
- Variante 2: In Wohnung, AUL ab Fassade FOL über Dach
- Variante 3: In Wohnung, AUL / FOL über Steigzone
- Variante 4: Geräte zentral im UG, ZUL / ABL über Steigzone
- Variante 5: Geräte zentral im DG, ZUL / ABL über Steigzone

Abbildung 33 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

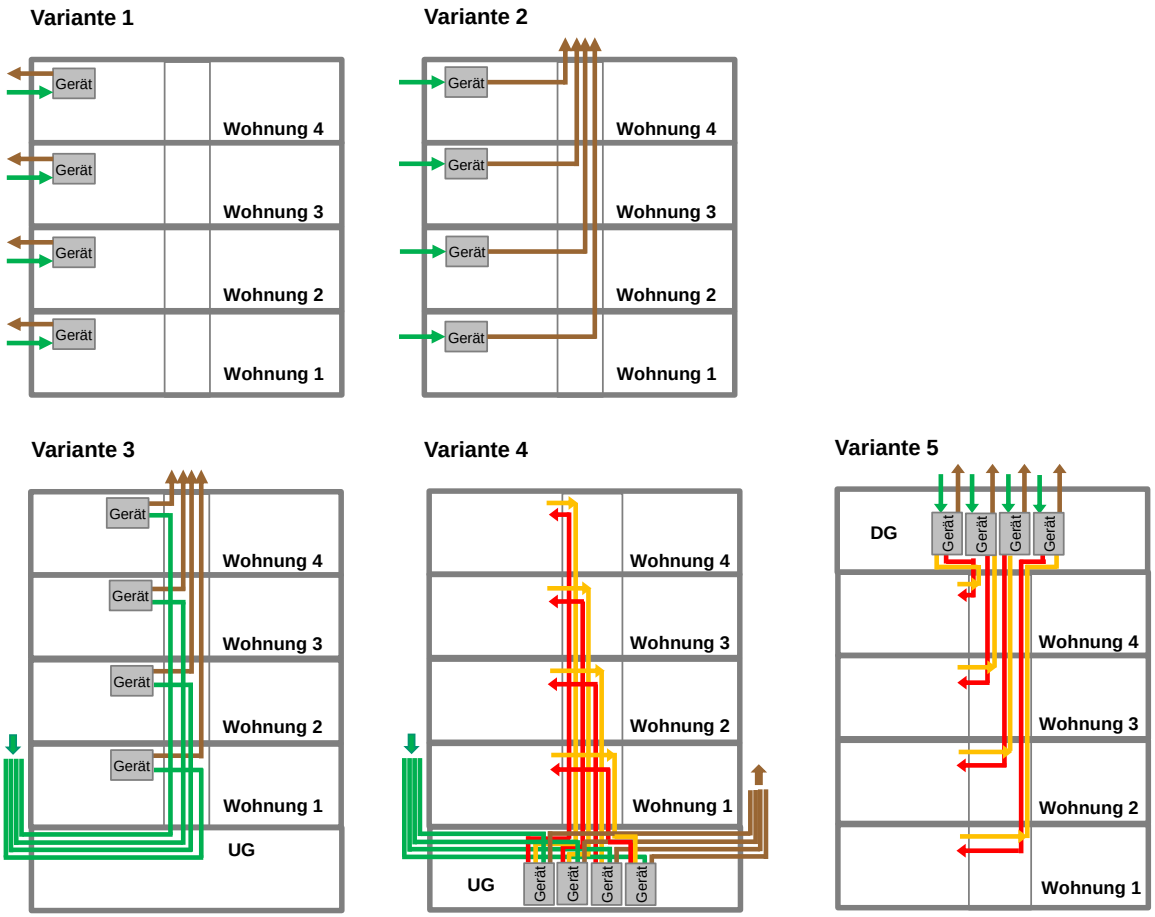


Abbildung 33: Lösungsvarianten für Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 27 zusammengestellt.

Tabelle 27: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen

Variante:	Vorteile	Nachteile
Geräte in Wohnung, AUL / FOL an Fassade	Kurze Leitungslängen dadurch geringe Druckverluste, geringer Aufwand Graue Energie und Investitionskosten	Raumbedarf und Schallemissionen des Gerätes in Wohnung; Wohnungszugang für Wartung nötig *); Standort AUL-Fassung u.U. ungünstig bez. Luftqualität / Temperaturen (z.B. AUL-Fassung in der Nähe von Raucherbalkonen, Stauwärme im Sommer); Gefahr für Kurzschluss zw. FOL und AUL. Leitungsführung von AUL / FOL-Leitung kann je nach Grundriss und Gerätestandort zu Einschränkungen führen. Feuchte FOL an Fassade kann zu verfärbungen / Schimmel führen.
Gräte in Wohnung, AUL ab Fassade FOL über Dach	Kurze Leitungslängen für AUL dadurch für diesen Teil geringe Druckverluste, geringer Aufwand Graue Energie und Investitionskosten	Raumbedarf und Schallemissionen des Gerätes in Wohnung; Wohnungszugang für Wartung nötig *); Standort AUL-Fassung u.U. ungünstig bez. Luftqualität / Temperaturen (z.B. AUL-Fassung in der Nähe von Raucherbalkonen, Stauwärme im Sommer); Verrohrung und Steigzone für FOL-Leitungen nötig (Platz, Kosten, Graue Energie); Wärmeverluste durch FOL innerh. therm. Gebäudehülle.
In Wohnung, AUL / FOL über Steigzone	Standort AUL-Fassung kann günstig gewählt werden (Wartung, Aussenluftqualität und -temperaturen)	Raumbedarf und Schallemissionen des Gerätes in Wohnung; Wohnungszugang für Wartung nötig *); Verrohrung und Steigzone für AUL und FOL-Leitungen nötig (Platz, Kosten, Graue Energie); Wärmeverluste durch FOL innerh. therm. Gebäudehülle; Reduktion WRG durch Wärmeeintrag in AUL in therm. Gebäudehülle.
Geräte zentral im UG, ZUL / ABL über Steigzone	Standort AUL-Fassung kann günstig gewählt werden (Wartung, Aussenluftqualität und -temperaturen); Gerätewartung vereinfacht da zentral im UG.	Verrohrung und Steigzone für ZUL und ABL-Leitungen nötig (Platz, Kosten, Graue Energie); AUL / FOL Leitungen im UG erforderlich (Kosten, Graue Energie). Wärmeverluste durch FOL wenn innerh. therm. Gebäudehülle; leichte Reduktion WRG durch Wärmeeintrag in AUL in therm. Gebäudehülle.
Geräte zentral im DG, ZUL / ABL über Steigzone	Standort AUL-Fassung kann (mit Einschränkungen) günstig gewählt werden (Wartung, Aussenluftqualität und -temperaturen); Gerätewartung vereinfacht da zentral (jedoch guter Zugang erforderlich). Günstig wenn geeigneter, frostfreier Dachraum vorhanden.	Verrohrung und Steigzone für ZUL und ABL-Leitungen nötig (Platz, Kosten, Graue Energie); Für die meisten Geräte frostsichere Aufstellung des Gerätes erforderlich (ev. baul. Massnahmen nötig); Kurzschluss zw. FOL und AUL muss vermieden werden!

*) Diese Nachteile können z.B. durch einen vom Treppenhaus zugänglichen Gerätestandort verhindert werden. Dazu sind jedoch insbesondere auch die Anforderungen bezüglich des Brandschutzes zu beachten. Im Variantenvergleich wurde diese Untervariante nicht betrachtet.

Tabelle 28 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Platzierung der Lüftungsgeräte bei Einzelwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher und mittlerer Relevanz (Instandhaltung, Investitionen, Betriebsenergie und Graue Energie) als quantitative Einschätzung sowie für den Einflussfaktor Gesundheit als Eignungskriterium. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. Handlungsempfehlungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren zur Akustik sowie Instandhaltung/Hygiene. Zudem wird der Schacht- und Raumbedarf bewertet.

Tabelle 28: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen

Variante / Einflussfaktor	In Wohnung, AUL / FOL an Fassade	In Wohnung, AUL ab Fassade FOL über Dach	In Wohnung, AUL / FOL über Steigzone	Geräte zentral im UG, ZUL / ABL über Steigzone	Geräte zentral im DG, ZUL / ABL über Steigzone	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.3) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 1.31) Bereich: 100-105%	105% (Wert: 1.34) Bereich: 100-110%	105% (Wert: 1.37) Bereich: 100-115%	100% (Wert: 1.33) Bereich: 100-110%	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.1) Bereich: 90-120%	110% (Wert: 9.9) Bereich: 100-140%	135% (Wert: 12.3) Bereich: 120-195%	125% (Wert: 11.4) Bereich: 105-175%	90% (Wert: 8.3) Bereich: 90-100%	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 90-120%	105% (Wert: 2.15) Bereich: 100-130%	120% (Wert: 2.44) Bereich: 110-155%	130% (Wert: 2.58) Bereich: 110-170%	110% (Wert: 2.19) Bereich: 100-125%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: 85-125%	110% (Wert: 126) Bereich: 95-140%	125% (Wert: 146) Bereich: 110-170%	135% (Wert: 156) Bereich: 115-185%	115% (Wert: 134) Bereich: 105-140%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 95-110%	105% (Wert: 4.2) Bereich: 100-115%	100% (Wert: 4.0) Bereich: 95-120%	110% (Wert: 4.4) Bereich: 100-130%	90% (Wert: 3.8) Bereich: 90-100%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.0255) Bereich: 70-170%	115% (Wert: 0.0292) Bereich: 95-155%	130% (Wert: 0.0329) Bereich: 120-140%	65% (Wert: 0.0164) Bereich: 55-75%	60% (Wert: 0.0152) Bereich: 50-70%	0.026 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.0149) Bereich: 60-200% **)	125% (Wert: 0.0186) Bereich: 105-175% **)	150% (Wert: 0.0223) Bereich: - (n.V.)	40% (Wert: 0.0058) Bereich: - (n.V.)	30% (Wert: 0.0046) Bereich: - (n.V.)	0.015 m^3/m^2
Gesundheit	Ungeeignet wenn AUL an stark belastetem Standort gefasst.	Ungeeignet wenn AUL an stark belastetem Standort gefasst.			Kurzschlussgefahr AUL / FOL zu beachten! ***)	
Akustik	Aufstellung in Räumen mit geringer Lärmempfindlichkeit LWA gem. prEN 13142:2018 Klasse 1 oder besser	Aufstellung in Räumen mit geringer Lärmempfindlichkeit LWA gem. prEN 13142:2018 Klasse 1 oder besser	Aufstellung in Räumen mit geringer Lärmempfindlichkeit LWA gem. prEN 13142:2018 Klasse 1 oder besser			
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit für Service zu beachten (Freiraum, Kondensatablauf)	Gute Zugänglichkeit für Service zu beachten (Freiraum, Kondensatablauf)	Gute Zugänglichkeit für Service zu beachten (Freiraum, Kondensatablauf)		Gute Zugänglichkeit für Service muss gegeben sein; kein erschwerter Zugang ****)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

*) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

**) Raumbedarf beinhaltet bei Var. 1 und Var. 2 auch Raumbedarf für die Leitungsführung von AUL / FOL in der Wohnung zur Aussenwand

***) Alle Bedingungen gem. SIA 382/1: 2014 Kapitel 5.12 sind zu beachten.
Dabei sind unbedingt auch andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. in die Betrachtung einzubeziehen

****) Bei Platzierung der Geräte auf Dach, muss Dachzugang ohne Verwendung von Persönlicher Schutzausrüstung (Klettergurt, Sicherungsseil) möglich sein.

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 28 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. In dieser Berechnung wurde die Wohnungsgrösse nicht verändert (alles 3.5-Zimmer Wohnungen mit 90 m^2 Wohnfläche). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.2.1). Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 11.2 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

Da die Wohnungsgrösse einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate bei den quantitativen Kennwerten hat (Bezug: m^2 Energiebezugsfläche) wurden die fünf Lösungsvarianten auch für ein Gebäude mit 4.5-Zimmer Wohnungen (je 120 m^2 Wohnfläche) und ein Gebäude mit 2.5-Zimmer Wohnungen (je 60 m^2 Wohnfläche) berechnet. In dieser Berechnungsvariante wurden nur diese Parameter verändert, welche sich durch das leicht grössere Gebäude ergeben (z.B. Horizontale Verteilung ab dem Lüftungsgerät) oder sich über die Zimmerzahl definieren (Anzahl Luftauslässe).

Tabelle 29 zeigt die quantitativen Resultate die Varianz der Wohnungsgrösse für die Variantenbetrachtung zur Platzierung der Lüftungsgeräte bei Einzelwohnungsanlagen.

Tabelle 29: Variation der Wohnungsgrösse für Varianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen

Variante / Einflussfaktor	In Wohnung, AUL / FOL an Fassade	In Wohnung, AUL ab Fassade FOL über Dach	In Wohnung, AUL / FOL über Steigzone	Geräte zentral im UG, ZUL / ABL über Steigzone	Geräte zentral im DG, ZUL / ABL über Steigzone	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.3) Bereich: 100-125%	100% (Wert: 1.31) Bereich: 100-125%	105% (Wert: 1.34) Bereich: 100-130%	105% (Wert: 1.37) Bereich: 100-130%	100% (Wert: 1.33) Bereich: 100-130%	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.1) Bereich: 100-130%	110% (Wert: 9.9) Bereich: 105-145%	135% (Wert: 12.3) Bereich: 130-190%	125% (Wert: 11.4) Bereich: 120-175%	90% (Wert: 8.3) Bereich: 90-120%	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 80-155%	105% (Wert: 2.15) Bereich: 85-165%	120% (Wert: 2.44) Bereich: 90-190%	130% (Wert: 2.58) Bereich: 95-205%	110% (Wert: 2.19) Bereich: 85-170%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: 75-160%	110% (Wert: 126) Bereich: 85-180%	125% (Wert: 146) Bereich: 95-210%	135% (Wert: 156) Bereich: 95-225%	115% (Wert: 134) Bereich: 85-190%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 80-150%	105% (Wert: 4.2) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 4.0) Bereich: 80-150%	110% (Wert: 4.4) Bereich: 85-165%	90% (Wert: 3.8) Bereich: 75-140%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.0255) Bereich: 75-150%	115% (Wert: 0.0292) Bereich: 85-175%	130% (Wert: 0.0329) Bereich: 95-195%	65% (Wert: 0.0164) Bereich: 50-95%	60% (Wert: 0.0152) Bereich: 45-90%	0.026 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.0149) Bereich: 75-150% **)	125% (Wert: 0.0186) Bereich: 95-190% **)	150% (Wert: 0.0223) Bereich: 110-230%	40% (Wert: 0.0058) Bereich: 30-60%	30% (Wert: 0.0046) Bereich: 25-45%	0.015 m^3/m^2

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

Der angegebene Wertebereich bezieht sich in dieser Aufstellung auf die Variation der Wohnungsgrössen

(Die hohen Werte bilden die 2.5-Zimmer Wohnungen ab, die tiefen primär die 4.5-Zimmer Wohnungen)

*) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

**) Raumbedarf beinhaltet bei Var. 1 und Var. 2 auch Raumbedarf für die Leitungsführung von AUL / FOL in der Wohnung zur Aussenwand

6.3.2 Lage der Aussenluftfassung

Einen wesentlichen Einfluss auf die Raumluftqualität, insbesondere was Gerüche betrifft, hat die Lage der Aussenluftfassung. Im Weiteren kann die Wahl einen Einfluss auf die Behaglichkeit im Sommer haben. Für eine insgesamt günstige Platzierung sind jedoch auch Kostenaspekte (z.B. erforderliche Leitungslängen) wie auch ein guter Zugang zu den Aussenluftgittern für die Wartung zu beachten.

Die Wahl des Aufstellungsstandortes der Aussenluftfassung ist in erster Linie durch die Raumgrundrisse, die Orientierung der Wohnungen und die Gebäudehöhe bzw. -Kompaktheit vorgezeichnet. Für die nachfolgende Analyse wurden 4 verschiedene Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort (Basisvariante)
- Variante 2: AUL Fassung an der Fassade, belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung im EG mit gemeinsamen Ansaugturm
- Variante 4: AUL Fassung auf dem Dach

Damit sich die Varianten in den übrigen Punkten nicht unterscheiden, wurde für alle Varianten von einer Platzierung des Lüftungsgerätes in der Wohnung und einer Fortluftführung über Dach ausgegangen. Die Variante 1 und Variante 3 sind identisch mit Variante 2 und 3 aus dem Variantenvergleich zum Aufstellungsstandort der Geräte.

Abbildung 34 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

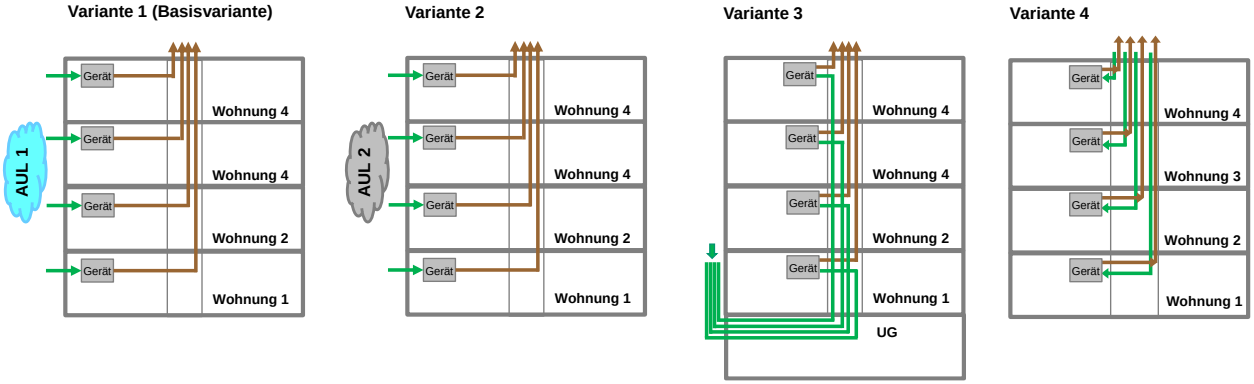


Abbildung 34: Lösungsvarianten für die Lage der Aussenluftfassung bei Einzelwohnungsanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 30 zusammengestellt.

Tabelle 30: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Variante:	Vorteile	Nachteile
AUL Fassung an Fassade der Wohnung, unbelasteter Standort (Basisvariante)	Kurze Leitungslängen für AUL. Günstig für Wohnungsgrundrisse die eine Geräteplatzierung in Aussenwandnähe erlauben.	Zielkonflikt zwischen kurzer Leitungslänge und der für die Luftfassung geeigneten Fassade. AUL-Fasssung soll nicht in Bereichen mit sommerlicher Stauwärme erfolgten und darf nicht in einem Bereich mit erhöhter Geruchsbelastung (z.B. Balkone / Terrassen, Küchenfenster, etc.) liegen. Zugänglichkeit für Wartung muss gut möglich sein (= Zielkonflikt). AUL-Leitung muss durch Wohnung geführt werden (Raumbedarf im Wohnraum).
AUL Fassung an Fassade der Wohnung, belasteter Standort (AUL 2)	Kurze Leitungslängen für AUL. Günstig für Wohnungsgrundrisse die eine Geräteplatzierung in Aussenwandnähe erlauben.	Gleiche Nachteile wie bei unbelastetem Standort. Zusätzlich stark erhöhter Wartungsaufwand (Reinigung / Filterwechsel).
AUL Fassung im EG mit Ansaugturm (3 m über Boden)	Lösung erlaubt es für alle Wohnungen einen vergleichbar günstigen Standort der Aussenluftfassung zu finden. Diese Lösung ermöglicht als einzige Anlagen mit Erdregister.	Lange AUL-Leitung zum Gerät, daher ungütig für Wärmeverluste, Graue Energie und Investitionen. Eine gemeinsame Aussenluftfassung erhöht die Gefahr von Geruchsübertragungen (Fehlströmungen müssen zwingend verhindert werden). Der Ansaugturm darf nicht in der Nähe von Parkplätzen, Garageneinfahrten oder Abfallcontainern sein.
AUL Fassung auf dem Dach	Keine Leitungsführung der AUL durch das UG erforderlich. Günstiger für Wohnungsgrundrisse die nur eine Geräteplatzierung in Schachtnähe erlauben. Geeignet für flache, wenig kompakte Gebäude.	Eher lange, gedämmte AUL-Leitung erforderlich (ungünstig für hohe Gebäude). Gefahr von Kurzschlüssen mit FOL und Sanitärentlüftungen. Notwendige Abstände (SIA 382/1) sind zwingend einzuhalten und vorherrschende Windrichtung ist zu berücksichtigen.

Tabelle 31 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zum Standort der Aussenluftfassung bei Einzelwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftqualität) als qualitative Einschätzung mit Angabe der Ausschlusskriterien. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung weiterer Einflussfaktoren mit hoher oder mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Graue Energie, Investition, Instandhaltung/Hygiene).

Tabelle 31: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Variante / Einflussfaktor	AUL Fassung an Fassade der Wohnung, unbelasteter Standort (Basisvariante)	AUL Fassung an Fassade der Wohnung, belasteter Standort (AUL 2)	AUL Fassung im EG z.B. mit Ansaugturm	AUL Fassung auf dem Dach	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.31) Bereich: 100-105% *)	100% (Wert: 1.31) Bereich: 100-105% *)	105% (Wert: 1.34) Bereich: 100-110% *)	100% (Wert: 1.32) Bereich: 100-105% *)	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	110% (Wert: 9.9) Bereich: 105-120% *)	110% (Wert: 9.9) Bereich: 105-120% *)	135% (Wert: 12.3) Bereich: 125-165% *)	125% (Wert: 11.2) Bereich: 115-135% *)	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	105% (Wert: 2.15) Bereich: 100-120% *)	125% (Wert: 2.48) Bereich: 115-135% *)	120% (Wert: 2.44) Bereich: 110-140% *)	115% (Wert: 2.3) Bereich: 105-125% *)	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	110% (Wert: 126) Bereich: 95-130% *)	110% (Wert: 126) Bereich: 95-130% *)	125% (Wert: 146) Bereich: 110-155% *)	120% (Wert: 139) Bereich: 105-140% *)	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	105% (Wert: 4.2) Bereich: 100-135%	175% (Wert: 7.2) Bereich: 175-210%	100% (Wert: 4.0) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 3.8) Bereich: 90-100%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	115% (Wert: 0.0292) Bereich: 100-145%	115% (Wert: 0.0292) Bereich: 100-145%	130% (Wert: 0.0329) Bereich: - (n.V.)	130% (Wert: 0.0329) Bereich: - (n.V.)	0.026 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	125% (Wert: 0.0186) Bereich: 105-175%	125% (Wert: 0.0186) Bereich: 105-175%	150% (Wert: 0.0223) Bereich: - (n.V.)	150% (Wert: 0.0223) Bereich: - (n.V.)	0.015 m^3/m^2
Gesundheit ***)	Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Balkonen/Terrassen von benachbarten Wohnungen bzw. direkt oberhalb deren Fenster. Nicht im Bereich von Ausblasöffnungen von Küchenabluft.	Wie bei Variante 1. Zusätzlich ist bei dieser Ausgangslage der Unterhalt für einen hygienischen Betrieb von erhöhter Wichtigkeit. Reinigung und Filterwechsel ist 2x jährlich zwingend erforderlich.	Min. 3 m über Boden. Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Aufenthaltsbereichen von Personen, Einfahrten, Parkplätzen oder Containerstandorten.	Kurzschlussgefahr AUL / FOL auf Dach zu beachten! Andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. sind unbedingt in die Betrachtung einzubeziehen.	
Sommerlicher Wärmeschutz	Windrichtung beachten. Fassaden mit sommerlicher Stauwärme sind zu vermeiden.	Windrichtung beachten. Fassaden mit sommerlicher Stauwärme sind zu vermeiden.	Standorte mit kühlen Bodenflächen bevorzugen (z.B. Gartenbereich anstatt Asphaltflächen)	Bereiche mit sommerlicher Stauwärme auf dem Dach sind zu meiden (Windrichtung beachten).	
Instandhaltung/Hygiene	Zugänglichkeit für Service zu beachten (Konzept erforderlich, ev. dadurch erhöhte Wartungskosten)	Reinigung und Filterwechsel ist 2x jährlich erforderlich. Zugänglichkeit für Service zu beachten (Konzept erforderlich, erhöhte Wartungskosten)	Einfache Zugänglichkeit und geeigneten Revisionsöffnungen sind vorzusehen	Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang ****)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

*) Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten neben dem Einfluss des Standortes der Aussenluftfassung auch die Differenzen zwischen einer Ausführung mit Lüftungskanälen oder -rohren.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Revisionszugang). Raumbedarf beinhaltet bei Var. 1 auch Raumbedarf für die Leitungsführung von AUL in der Wohnung ab Aussenwand.

***) Alle Bedingungen gem. SIA 382/1: 2014 Kapitel 5.12 sind zu beachten. Dabei sind unbedingt auch andere Quellen wie z.B. Sanitärentlüftungen etc. in die Betrachtung einzubeziehen

****) Dachzugang muss ohne Verwendung von Persönlicher Schutzausrüstung (Klettergurt, Sicherungsseil) ermöglicht werden.

Die Bewertungen für den Raumbedarf in Tabelle 31 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 11.3 zu entnehmen.

6.3.3 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch hat die Art der Gerätesteuerung bzw. die Regelung der Luftmengen. Durch eine bedarfsgeführte Betriebsweise wird auch die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst. Bei einer nicht angepassten Betriebsweise wird neben der Raumluftfeuchte auch die Raumluftqualität ungünstig beeinflusst. Dies kann sowohl Überlüftung (im Winter zu trocken) als auch zu geringe Luftmengen (zu geringe Feuchteabfuhr, schlechte Luftqualität) bedeuten. Eine bedarfsgerechte Lüftung wirkt sich (bei richtiger Auslegung der Komponenten) auch günstig auf die Lüftungsgeräusche in der Wohnung aus.

Bei den wohnungsweisen Geräten kann die Anlagensteuerung üblicherweise über die vom Hersteller angebotenen Zusatzoptionen (z.B. Stufenschalter, Raumluftsensoren, etc.) einfach realisiert werden. Die zusätzlichen Sensoren führen zu einem gewissen Mehraufwand bei den Investitions- und Unterhaltskosten.

Bei der Wahl der Anlagensteuerung bzw. –Regelung ist in der Planung in erster Linie der Unterschied durch die benötigten Bedienelemente in der Wohnung zu beachten. Bei einer zentralen Anordnung der Geräte (im UG oder DG) kann dies zu einem erhöhten Verkabelungsaufwand führen[16]. Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen (unterschiedliche Verteilkonzepte siehe Kapitel 6.2.5). Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 4 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Wohnung (3-stufig), Referenz
- Variante 2: Fixes Zeitprogramm (2 Stufen)
- Variante 3: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-Regelung)
- Variante 4: Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge)

Üblicherweise erlauben die höherwertigen Bediengeräte neben der Steuerung der Lüftungsstufen auch die Programmierung von Zeitprogrammen wie auch den Anschluss von optionalen CO_2- oder Feuchtesensoren. Für den Basisfall wird in Variante 1 von einem einfachen Stufenschalter im Wohnraum und in Variante 2 von einer Programmierung über die Serviceschnittstelle (ohne externes Bediengerät in der Wohnung) ausgegangen.

Abbildung 35 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

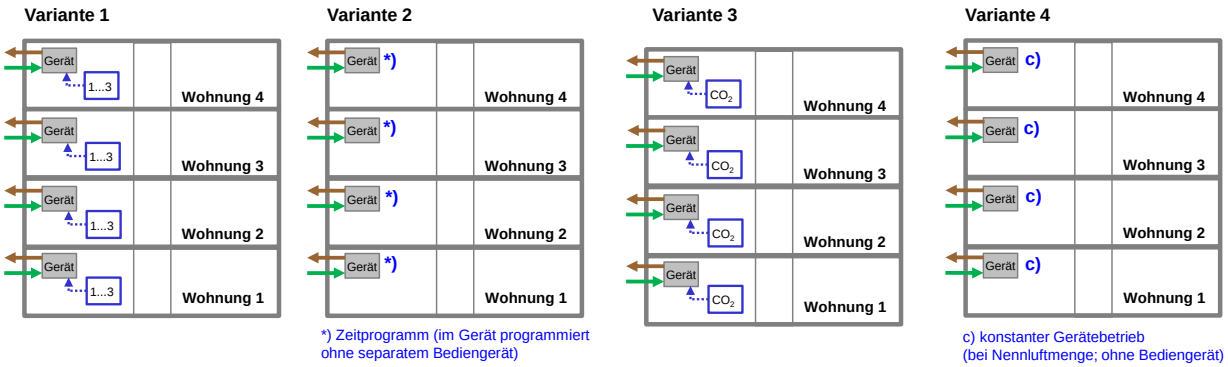


Abbildung 35: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Einzelwohnungsanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

[16] Bei verschiedenen Herstellern sind auch Lösungen mittels Funkverbindung bzw. WLAN-Anbindung möglich, um den Verkabelungsaufwand bei zentral angeordneten Geräten zu minimieren.

Tabelle 32: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante:	**Vorteile**	**Nachteile**
Basissystem mit Stufenschalter (3 stufig) je Wohnung, Referenzvariante	Individueller Eingriff durch Nutzer Möglich (z.B. anwesend, abwesend). Günstig bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf.	Mehrkosten für Investition und Installation des Bediengerät pro Wohnung. Wirkung abhängig von Nutzerverhalten (Nutzereingriff für Anpassung Lüftungsstufen erforderlich)
Fixes Zeitprogramm (z.B. mit Wochenprogramm)	Kein Nutzereingriff für Steuerung notwendig. Bei Geräten im UG/DG kann Steuerleitung in Wohnung eingespart werden.	Individuelle Festlegung / Programmierung des Zeitprogramms erforderlich (sonst u.U. kontraproduktiv). Ungünstiger bezüglich Raumluftfeuchte im Winter. Keine Bedarfs- / Nutzergerechte Steuerung. Individuelle (Mietergerechte) Anpassung schwierig (Instruktion) bzw. Aufwendig (Einstellung durch Hauswart).
Bedarfsgerechte Regelung je Wohnung (CO_2-Regelung)	Optimale Anpassung an eff. Bedarf. Daher am günstigsten bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf. Typischerweise mit Möglichkeit für Benutzereingriff (Lüftungsstufen).	Mehrkosten für Regelung (Sensor/Aktor) und wenn vorhanden Bediengerät in Wohnung. Wartungs- und Ersatzkosten für Sensoren.
Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge)	Minimalversion bezüglich Investitionskosten.	Ungünstig bezüglich Raumluftfeuchte im Winter. Keine Bedarfs- / Nutzergerechte Steuerung möglich.

Tabelle 33 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Mehrwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Betriebsenergie, Raumluftfeuchte) als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer oder geringer Relevanz (Investition, Instandhaltung, Raumluftqualität, Schallschutz Lüftungsgeräusche).

Tabelle 33: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit Stufenschalter (3-stufig) je Wohnung, Referenzvariante	Fixes Zeitprogramm (z.B. mit Wochenprogramm)	Bedarfsgerechte Regelung je Wohnung (CO_2-Regelung)	Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.3) Bereich: 75-130%	125% (Wert: 1.63) Bereich: 100-135%	60% (Wert: 0.8) Bereich: 50-70%	140% (Wert: 1.82) Bereich: - (gering)	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.1) Bereich: 90-105%	105% (Wert: 9.6) Bereich: 100-110%	90% (Wert: 8.0) Bereich: 85-90%	110% (Wert: 9.9) Bereich: - (gering)	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 2.01) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 2.03) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 2.01) Bereich: 95-105%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: 90-110%	95% (Wert: 110) Bereich: 85-105%	105% (Wert: 123) Bereich: 100-120%	95% (Wert: 110) Bereich: 85-105%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 95-100%	100% (Wert: 4.2) Bereich: 100-110%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 95-100%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Abhängig von richtiger Nutzung durch Bewohner (Instruktion!)	Ev. Probleme bei Eingriffen durch Nutzer (z.B. Verstellen / Abkleben einzelner Auslässe)	Korrekte Einstellung und Wartung der Sensoren erforderlich	Problemlos. Aber Tendenz zur Überlüftung	
Raumluftfeuchte	Gewisse Beeinflussbarkeit durch Nutzer (bei korrekter Nutzung des Stufenschalters)	Abhängig vom Betriebsregime. In Praxis meist nicht bedarfsgerecht.	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird.	Ungünstig, da keine Bedarfsanpassung.	
Akustik: Schallschutz Lüftungsgeräusche	Günstig da Nutzer Einfluss auf Volumenstrom hat.	Ungünstig, da Einstellung oft nicht mit aktuellem Mieterwunsch übereinstimmend.	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird.	Da dauernder Betrieb mit Nennluftvolumenstrom ungünstig.	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Basis für die Berechnungen bildete ein Gebäude mit Platzierung der Geräte in den Wohnungen und AUL- / FOL-Führung über die Fassade.
*) Bei diesen beiden Varianten wird auf den Einbau einer Bedieneinheit in der Wohnung verzichtet.

Die Bewertungen für die Betriebsenergie Strom und Wärme in Tabelle 17 basieren auf Berechnungen auf Basis der Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) vorgeschlagen werden. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.2.1). Die Berechnung basiert auf einem Gebäude mit 16 Wohnungen (3.5-Zimmer Wohnungen) mit wohnungsweisen Lüftungsgeräten, die in den Wohnungen platziert werden. Die Aussenluft und Fortluft werden an der Fassade gefasst bzw. Ausgeblasen. Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus Kapitel 11.4 im Anhang in zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

6.3.4 Art der Wärmerückgewinnung

Die bei wohnungsweisen Lüftungsanlagen eingesetzten Wärmeübertrager weisen je nach eingesetztem Produkt eine gewisse Spannbreite beim Wärmerückgewinnungsgrad auf. Dies beeinflusst den Wärmebedarf. Daneben ist der Einfluss auf die Betriebsenergie hauptsächlich durch den Druckverlust und den je nach Art der Wärmerückgewinnung erforderlichen Vereisungsschutz bestimmt.

Einen grossen Einfluss hat die Art der Wärmerückgewinnung jedoch auf die Raumluftfeuchte. Bei der Verwendung von Enthalpieübertragern kann tiefen Luftfeuchten in den Wohnungen im Winter vorgebeugt werden. Bei wohnungsweisen Geräten sind auch Rotations-Wärmeübertrager eine Option. Bei diesem Gerätetyp kann üblicherweise auf den Kondensatablauf verzichtet werden. Um Luftübertragungen von der Abluft in die Zuluft möglichst zu vermeiden sind Geräte mit tiefen internen Leckagen eizusetzen.

Bei der Gerätewahl ist u.a. einer einfachen Wartbarkeit des Wärmeübertragers (und auch der übrigen Komponenten) Beachtung zu schenken, um die Wartungskosten möglichst gering zu halten.

Die verfügbaren Optionen bei der Wärmerückgewinnung sind in erster Linie durch den verwendeten Gerätetyp (Hersteller) bestimmt. Dabei kann je nach Hersteller die Verfügbarkeit solcher Optionen von der Gerätegrösse abhängig sein. Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade sowie einer Fassung der Aussenluft bzw. Ausblasung der Fortluft an der Fassade ausgegangen. Für die nachfolgende Analyse wurden 3 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Anlage mit Enthalpie-Rotationswärmeübertrager
- Variante 3: Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 34 zusammengestellt.

Tabelle 34: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem mit Enthalpie Plattenübertrager	Günstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Bei üblichen Winterbedingungen meist keine Enteisung nötig. Insbesondere für Standorte in Höhenlagen (kalt, trocken) geeignet.	Mehrkosten für Enthalpietauscher; Eventuelle Mehrkosten für Wartung / Unterhalt (Geräteabhängig); Erhöhte Raumluftfeuchte in Übergangszeit (Regelung durch Gerätebypass erforderlich). Bei Gebäuden mit grösseren Wärmebrücken (Sanierungen) besteht durch die höhere Feuchte erhöhte Gefahr von Kondensat bzw. Schimmelbildung (Sibille et. al., 2015). Dann ist in der Planung zu klären ob der Einsatz sinnvoll ist.
Anlage mit Enthalpie-Rotationsübertrager	Günstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Geräte benötigen üblicherweise keinen Kondensatablauf, daher auch Geräte für Aussenaufstellung verfügbar. Feuchteübertragung über Rotordrehzahl regelbar. Insbesondere für Standorte in Höhenlagen (kalt, trocken) geeignet.	Mehrkosten für Rotor; Eventuelle Mehrkosten für Wartung / Unterhalt (Geräteabhängig); Leicht tieferer Wärmerückgewinnungsgrad als Plattenübertrager. Bei Gebäuden mit grösseren Wärmebrücken (Sanierungen) besteht durch die höhere Feuchte erhöhte Gefahr von Kondensat bzw. Schimmelbildung (Sibille et. al., 2015). Dann ist in der Planung zu klären ob der Einsatz sinnvoll ist.
Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung		Ungünstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Energiebedarf für Enteisung nötig.

Tabelle 35 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Wärmerückgewinnung bei wohnungsweisen Anlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftfeuchte) soweit möglich als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Investitionen, Instandhaltung, Raumluftqualität).

Tabelle 35: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit Enthalpie Plattenübertrager	Anlage mit Enthalpie-Rotationsübertrager	Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.3) Bereich: 80-140%	95% (Wert: 1.22) Bereich: 75-130%	110% (Wert: 1.4) Bereich: 85-160%	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.1) Bereich: 90-110%	110% (Wert: 9.9) Bereich: 95-120%	100% (Wert: 9.1) Bereich: 90-110%	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 2.02) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 2.02) Bereich: 90-110%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: 85-115%	100% (Wert: 115) Bereich: 90-115%	95% (Wert: 110) Bereich: 85-105%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 95-105%	95% (Wert: 3.9) Bereich: 90-100%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. tiefe Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5% Gefahr der Überfeuchtung; kann bei Sanierungen kritisch sein (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$).	Günstige Beeinflussung im Winter. tiefe Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5% Gefahr der Überfeuchtung **); Bei Sanierungen ist eine korrekte Feuchteregelung des Gerätes wichtig (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$).	Keine Beeinflussung durch Wärmeübertrager. Höhere relative Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte v.a. im SZ: ca. 20% Geringere Gefahr der Überfeuchtung **), daher v.A. bei Sanierungen u.U. geeigneter (Abhängig von der Wärmebrückenfreiheit)	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Beeinflussung durch Leckagen oder VOC-Übertragung möglich	Beeinflussung durch Leckagen oder VOC-Übertragung möglich	keine Beeinflussung durch Wärmeübertrager	
Instandhaltung/Hygiene	Unterhalt / Reinigung vom Wärmeübertrager kann u.U. aufwendiger sein.	Unterhalt / Reinigung vom Wärmerad kann u.U. aufwendiger sein.		

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Basis für die Berechnungen bildete ein Gebäude mit Platzierung der Geräte in den Wohnungen und AUL- / FOL-Führung über die Fassade.
*) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung.
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³; Details siehe (Sibille, et al., 2015) und (Rojas, et. al., 2015).
**) Details siehe (Sibille, et al., 2015)

Zum Einfluss auf die Betriebsenergie ist anzumerken, dass ein wesentlicher Teil der möglichen Variation beim Stromverbrauch durch die Effizienz der Ventilatoren und den geräteinternen Druckverlust bestimmt ist. Letzteres wird zum einen über die Art und Auslegung des Wärmeübertragers aber auch durch die Luftführung im Gerät[17] bestimmt. Wird ein grösser dimensioniertes Gerät eingesetzt (geringere Anströmgeschwindigkeit), nimmt der Druckverlust ab und der Wärmerückgewinnungsgrad zu. Dabei nehmen die übrigen internen Druckverluste ebenfalls ab, aber die Kosten, der Platzbedarf und auch die Graue Energie des Gerätes nehmen zu. Dabei ist auf eine Gerätewahl zu achten die beim Nennbetrieb wie auch bei reduziertem Betrieb eine gute Effizienz aufweist[18].

Insofern kann die Varianz der Betriebsenergie Wärme und Strom gegenläufig aber auch in die gleiche Richtung zeigen. Daraus ist ersichtlich, dass bei der Gerätewahl eine Gesamtoptimierung erforderlich ist, die u.a. vom lokalen Klima abhängig ist.

Beim Vergleich zwischen Plattenübertrager mit und ohne Feuchteübertragung ist das Resultat ebenfalls von verschiedenen Faktoren abhängig. Beim Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung ist die angewendete Enteisungsstrategie (Wärme- und /oder Strombedarf dafür) massgebend. Diese Einflüsse sind somit

[17] z.B. strömungsgünstige bzw. ungünstige Luftführung im Gerät. Für die Varianz in der Berechnung wurde von einem SPI des Gerätes (Normwert bei 50 Pa externem Druck) von 0.2…0.35 Wh/m^3 ausgegangen (Basiswert bei 0.25 Wh/m^3).

[18] Bei über- bzw. unterdimensionierten Geräten kann v.A. der SPI aber auch der Temperauränderungsgrad wesentlich vom angegebenen Normwert abweichen. Dies ist bei der Auslegung zu beachten.

vom Aussenklima (v.A. Perioden mit Temperaturen <0°C) wie auch von den Nutzern selbst (Einfluss auf Abluftfeuchte) abhängig.

Bei Wärmeübertrager mit Feuchteübertragung ist im Mittelland meist keine zusätzliche Enteisung erforderlich (da bei einer Feuchteübertragung von mind. 60 % gar keine Vereisung entsteht). Damit kann die für die Enteisung sonst benötigte Energie eingespart werden. Auf der anderen Seite ist bei diesen Geräten der Wärmeübertragungsgrad typischerweise leicht tiefer.

Im Gesamtfazit kann mit beiden Varianten eine gute Effizienz erreicht werden. Die Varianz der Effizienz dürfte bei Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung jedoch grösser sein und zudem kann im Winterfall damit nicht tiefen Raumluftfeuchten entgegengewirkt werden.

6.3.5 Luftverteilkonzept in der Wohnung

Beim Luftverteilkonzept in der Wohnung sind die Lösungsvarianten wie auch die Vor- und Nachteile identisch wie bei der Mehrwohnungsanlage (LK 1) wie dies in Kapitel 6.2.5 dokumentiert ist. Daher wird für die Einzelwohnungsanlagen (LK 2) hier nur die Bewertung der Lösungsvarianten für dieses Konzept dokumentiert. Die übrigen Informationen, Schemas und Einschätzungen zum Vergleich der Luftverteilkonzepte sind aus Kapitel 6.2.5 zu entnehmen.

Für die Bewertung wurden 3 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Kaskade, Referenz
- Variante 2: Verteilsystem ohne Kaskade (ZUL auch in WZ)
- Variante 3: Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung)

Tabelle 36 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zum Luftverteilkonzept in der Wohnung bei Einzelwohnungsanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz als quantitative (Betriebsenergie, Investitionen) bzw. qualitative (Raumluftfeuchte) Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Graue Energie, Instandhaltung sowie Raumluftqualität).

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 36 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen) und wohnungsweisen Lüftungsgeräten, die in den Wohnungen platziert werden. Die Aussenluft und Fortluft werden an der Fassade gefasst bzw. Ausgeblasen. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.2.1). Da die Basis für den Vergleich eine Anlage mit kurzen, grosszügig dimensionierten AUL/FOL Leitungen[19] ist, ist keine grosse Differenz zwischen den Varianten der Grauen Energie zu beobachten. Die Bewertung der Zielwertabweichung der Raumluftparameter basiert auf den Untersuchungen von (Sibille, et al., 2015) und ist dort im Detail beschrieben. Als Basis für die relative Zielwertabweichung dient die kumulative Häufigkeitsverteilung der einzelnen Parameter (rel. Feuchte, CO_2 oder TVOC), welche mit dem für den jeweiligen Bewertungsparameter gültigen „Toleranzbreite“ verglichen wird. Weitere Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang 11.6 zu entnehmen.

[19] Aufgrund typischer Geräteanschlüsse wird von einem minimalen Durchmesser der Leitungen von DN 125 ausgegangen.

Tabelle 36: Bewertung der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung

Variante / Einflussfaktor	Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)	Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)	Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung) *)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.3) Bereich: 95-105%	155% (Wert: 2.03) Bereich: 150-165%	100% (Wert: 1.31) Bereich: 95-170%	1.3 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 9.1) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	125% (Wert: 11.4) Bereich: n.V. (keine Variation der Luftmenge)	100% (Wert: 9.1) Bereich: 100-125%	9.1 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 95-105%	110% (Wert: 2.17) Bereich: 100-115%	100% (Wert: 2.04) Bereich: 95-110%	2.0 kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: 90-110%	110% (Wert: 125) Bereich: 100-115%	110% (Wert: 127) Bereich: 100-125%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	110% (Wert: 4.4) Bereich: 105-110%	100% (Wert: 4.2) Bereich: 100-110%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	100% (Wert: 0.0255) Bereich: - (keine Veränderung)	100% (Wert: 0.0255) Bereich: - (keine Veränderung)	100% (Wert: 0.0255) Bereich: - (keine Veränderung)	0.026 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte **)	100% (Wert: 0.0149) Bereich: - (keine Veränderung)	100% (Wert: 0.0149) Bereich: - (keine Veränderung)	100% (Wert: 0.0149) Bereich: - (keine Veränderung)	0.015 m^3/m^2
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. Tiefe Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5%	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge. höhere relative Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte v.a. im WZ. (WZ: ca. 20%, SZ: ca. 10%)	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge (im Standardfall der Auslegung) als bei dem Konzept mit Kaskade.	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Mögliche Geruchsübertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer. Geringste Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Günstigster Fall bezüglich CO_2 und TVOC. Aber höhere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Belegung des Wohnzimmers beeinflusst die Luftqualität im Schlafzimmer. Geruchsübertragung von Korridorbereich ins Schlafzimmer.	
Instandhaltung/Hygiene	Geringere Anzahl Zuluftleitungen und Auslässe in der Wohnung		Sehr kurze Zuluftverteilung in Wohnung. Unterhalt der Verbundlüfter muss gewährleistet werden können.	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Basis für die Berechnungen bildete ein Gebäude mit Platzierung der Geräte in den Wohnungen und AUL- / FOL-Führung über die Fassade.

*) Für die Auslegung im Vergleich wurde auf den Auslegungskriterien gemäss SIA 382-5:2021 basiert:
60 m^3/h Luftmenge über Verbundlüfter; Gleiche Gesamtluftmenge wie Verteilkonzept ohne Kaskade.
Für den Wertebereich wurde bei dieser Variante für das untere Bereichsende mit einer reduzierten Gesamtluftmenge gerechnet (gleiche Gesamtluftmenge wie beim Konzept mit Kaskade)

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Revisionszugang).
Raumbedarf beinhaltetauch Raumbedarf für die Leitungsführung von AUL / FOL in der Wohnung zur Aussenwand

***) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung. Details siehe (Sibille, et al., 2015).
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³

6.3.6 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Bei der Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung sind die Lösungsvarianten wie auch die Vor- und Nachteile identisch wie bei der Mehrwohnungsanlage (LK 1) wie dies in Kapitel 6.2.6 dokumentiert ist. Daher wird für die Einzelwohnungsanlagen (LK 2) hier nur die Bewertung der Lösungsvarianten für dieses Konzept dokumentiert. Die übrigen Informationen, Schemas und Einschätzungen zum Vergleich der Luftverteilkonzepte sind aus Kapitel 6.2.6 zu entnehmen.

Für die Analyse wurden die folgenden 5 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit eingelegten Polyethylen Wellrohren
- Variante 2: Eingelegte Polyethylen Wellrohre, Erhöhung Deckenstärke um 2 cm
- Variante 3: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Polyethylen Wellrohre
- Variante 4: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt[20]
- Variante 5: Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt sichtbar installiert

Für alle Varianten wurde ein Konzept mit wohnungsweisen Lüftungsgeräten, die in den Wohnungen platziert werden, zugrunde gelegt. Die Aussenluft und Fortluft werden dabei an der Fassade gefasst bzw. Ausgeblasen (entsprechend Variante 1 gemäss Kapitel 6.3.1).

Tabelle 37 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz als quantitative (Graue Energie, Investitionen und Raumbedarf). Ebenfalls über Eignungskriterien, bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die die Bewertung der Einflussfaktoren mit geringer bis mittlerer Relevanz (Instandhaltung, Betriebsenergie). Zusätzlich erfolgt bei diesem Punkt eine Bewertung der Systemtrennung.

Tabelle 37: Bewertung der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit eingelegten Kunststoffrohren	Eingelegte Kunststoffrohre, Erhöhung Deckenstärke	Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Kunststoffrohre	Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre	Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre sichtbar verlegt	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.30) Bereich: n.V. *)	100% (Wert: 1.30) Bereich: n.V. *)	100% (Wert: 1.29) Bereich: n.V. *)	100% (Wert: 1.29) Bereich: n.V. *)	100% (Wert: 1.29) Bereich: n.V. *)	1.3 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 2.02) Bereich: 95-105%	105% (Wert: 2.17) Bereich: 105-120%	110% (Wert: 2.18) Bereich: 105-115%	110% (Wert: 2.22) Bereich: 105-115%	100% (Wert: 2.04) Bereich: 100-105%	2.0 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 115) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 122) Bereich: 100-115%	115% (Wert: 133) Bereich: 105-125%	120% (Wert: 136) Bereich: 110-130%	100% (Wert: 118) Bereich: 100-105%	115 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 4.1) Bereich: 100-105%	4.1 CHF /(m^2 a)
Raumverlust in Wohnung (Raumhöhe) **)	0% (abs. Wert: 0 cm) Bereich: n.V. *)	0.8% (abs. Wert: 2 cm) Bereich: 0.8-1.6%	0.9% (abs. Wert: 15 cm) Bereich: 0.6-1.2%	0.9% (abs. Wert: 15 cm) Bereich: 0.6-1.2%	0% ***) - Bereich: k.A.	in % der lichten Raumhöhe
Instandhaltung/Hygiene			Möglichst kurz halten ohne viele oder enge Bögen.	Möglichst Sternförmige Führung mit identischen Querschnitten.	Wegen e.v. vorhandenen Querschnittsunterschieden schwieriger reinigbar (Konzept!)	
Systemtrennung	nicht gegeben	nicht gegeben	vorhanden	vorhanden	vorhanden	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
*) Ohne wesentliche Variation (daher ohne Angabe)
**) Raumverlust in der Wohnung bezieht sich auf den Verlust an lichter Raumhöhe (Mittelwert über Wohnung)
***) Bei dieser Variante ist kein flächiger Raumverlust vorhanden (nur eine Reduktion der lichten Raumhöhe im Bereich wo die Leitung geführt wird).

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 37 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. Für diesen Vergleich wird der Raumbedarf der Luftverteilung in der Wohnung als «Raumverlust» dargestellt, da bei diesem Variantenvergleich die benötigten Schachtflächen und der Raumbedarf für die Lüftungsanlage identisch sind. Der «Raumverlust» entspricht der mittleren Reduktion der lichten Raumhöhe (Mittelwert über die Wohnung). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 11.7 zu entnehmen.

Bezüglich der Variante mit verstärkter Betondecke sind weitere Einschätzungen zu diesem Thema aus der Dokumentation zur Mehrwohnungsanlage (LK 1) in Kapitel 6.2.6 zu entnehmen.

[20] Spiralfalzrohre aus verzinktem Stahlblech

6.3.7 Folgerungen für die Planung

Aus der Analyse der verschiedenen Themen und Relevanzen für die verschiedenen Parameter wie in Tabelle 26 können Folgerungen für die Planung bzw. mögliche Stolpersteine aufgezeigt werden.

Ein gutes Anlagenkonzept für eine Einzelwohnungsanlage verfügt über folgende Eigenschaften:

- Konzept mit Kaskadenlüftung (Wohnzimmer im Durchströmbereich)
- Gerät mit bedarfsgerechter Luftmengenregelung (CO_2-geregelt + Stufenschalter)
- Einsatz eines hocheffizienten Lüftungsgerätes der Effizienzklasse A+ gemäss (EU-VO Nr. 1254/2014, 2014) mit Feuchterückgewinnung[21]
- Bei Geräteaufstellung in der Wohnung ist ein Gerät mit tiefer Gehäuseabstrahlung einzusetzen (L_{WA} gem. FprEN 13142:2020 Klasse 1 oder besser)
- Standortkonzept für Geräte mit minimierten Verteilleitungslängen insbesondere für Aussen- und Fortluft[22]. Verteilung möglichst mit runden Querschnitten.
- Verteilung innerhalb der Wohnung mit kurzen Wegen (Luftauslass bei Zimmertüren)

Luftverteilkonzept in der Wohnung:

Vergleichbar wie bei den zentralen Anlagen hat auch bei den wohnungsweisen Anlagen das Luftverteilkonzept einen grossen Einfluss auf wesentliche Parameter (Betriebsenergie, Kosten, Raumluftfeuchte) hat die Wahl des optimalen Verteilkonzeptes. Wenn immer möglich ist ein Konzept mit Kaskadenlüftung umgesetzt werden. Damit kann bereits die Luftmenge im Nennbetrieb ohne wesentliche Einschränkungen reduziert werden, was zu den genannten Vorteilen führt.

Einen anderen wesentlichen Einfluss hat das architektonische Konzept der Wohnungen. Grundrisse, welche kurze Wege zwischen den Steigschächten und den Zimmern mit Zuluft aufweisen sind grundsätzlich günstiger. In diesem Sinne ungünstig sind Grundrisse, wo dies nicht der Fall ist, wie z.B. bei Durchschusswohnungen oder sehr verwinkelten Grundrissen. Bei solchen Grundrissen sind Varianten zu prüfen die z.B. eine Optimierung durch die Wahl des Gerätestandortes in der Wohnung erlauben.

Druckverluste:

Um eine hohe Effizienz beim Stromverbrauch zu erreichen ist die Wahl eines entsprechenden Gerätes mit einer hoher Ventilatoren Effizienz und geringem Standby Verbrauch wesentlich[23].

Daneben ist das Verteilkonzept relevant. Hierbei geht es nicht allein um die Luftgeschwindigkeiten in den Strängen, sondern auch um die übrigen Druckverluste die sich durch div. Elemente (v.A. Bögen) und Armaturen ergeben. Das optimale Verteilkonzept hat kurze Leitungslängen. Dies ist stark vom Gebäude- und Wohnungsgrundriss abhängig und auch eng verknüpft mit dem Aufstellungsort der Geräte.

Im Weiteren ist im Konzept der Standortwahl für das Gerät grosse Beachtung zu schenken. Insbesondere eine zentrale Anordnung der Geräte im UG führt zu langen Distanzen zwischen Gerät und der Wohnung, was negativ auf Kosten, Graue Energie und auch den Energieverbrauch auswirkt. Auf jeden Fall ist ein für den Gerätestandort geeignetes Konzept für Aussenluftfassung und Fortluftführung zu wählen, um unnötige Leitungsführung innerhalb des Gebäudes zu vermeiden (insbesondere von gedämmten Lüftungsleitungen).

---

[21] Vor allem bei höher gelegenen Standorten. Bei Bauten (v.A. Erneuerungen) mit wesentlichen Wärmebrücken ist der Einsatz einer Feuchterückgewinnung zu überprüfen (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit $f_{rsi} \leq 0.7$)

[22] Für Verluste und Raumbedarf besonders ungünstig sind Aussen- und Fortluftleitungen. Der beste Standort für die Lüftungsgeräte ist stark vom Gebäude- / Wohnungsgrundriss abhängig. Sollen die Geräte aufgrund der Zugänglichkeit für die Wartung nicht in der Wohnung platziert werden ist ein zentraler Standort im Dachgeschoss oder ev. auf dem Dach vorteilhaft.

[23] Für die Wahl soll auf die Energieetikette gemäss (EU-VO Nr. 1254/2014, 2014) abgestützt werden (Klasse A+ oder ev. A wählen). Es ist ein Gerät zu wählen, dass v.a. im Bereich von 50-100% der Nennluftmenge eine hohe Effizienz aufweist.

Aussenluftfassung:

Bei einem Gerätestandort in der Wohnung stellt die Aussenluftfassung eine Erschwernis dar. Dies ist bezüglich Geruchsbelastung, Wärmeverluste aber auch Raumbedarf (Führung von AUL und ev. auch FOL-Leitungen durch die Wohnung) gut zu klären, ob dies sinnvoll realisierbar ist. In verschiedener Hinsicht eine insgesamt günstige Ausgangslage hat ein zentraler Gerätestandort im Dachbereich (z.B. bei vorhandenem Dachboden oder bei geeigneten Geräten auch direkt auf dem Dach). Diese Variante ist ein Kompromiss zwischen Leitungslängen, Wärmeverlusten, Zugänglichkeit für Wartung und den Einflüssen auf die Aussenluft[24]. Dies ist eine Lösung, die oft einen guten Kompromiss der teilweise gegensätzlichen Anforderungen bietet.

Luftmengenregelung:

Eine wohnungsweise Anlage ohne bedarfsgerechte Steuerung der Luftmengen sollte heute nicht mehr realisiert werden. Zumindest eine Ansteuerung unterschiedlicher Lüftungsstufen je Wohnung ist vorzusehen. Damit kann neben der Energieeinsparung auch dem Nutzer eine Beeinflussungsmöglichkeit gegeben werden (entsprechende Instruktion vorausgesetzt).

Eine automatisierte Lüftungsregelung über CO_2-Sensoren (insbesondere, wenn in der Abluft eingebaut) ist bei den meisten heute auf dem Markt befindlichen Geräten als Option verfügbar. Damit lassen sich deutliche Einsparungen realisieren erzielen da die Reduktion der Luftmengen bei abwesenden Mietern automatisch erfolgt (kein Eingreifen des Mieters notwendig). Aufgrund der schnellen Entwicklung im Bereich der Sensorik werden diese Elemente in Zukunft auch bezüglich der Kosten und Zuverlässigkeit in einem vertretbaren Bereich liegen. Wichtig bei diesen Elementen ist eine einfache Möglichkeit diese zu warten/auszutauschen, da die Sensorik eine deutlich geringere Lebensdauer aufweist als die übrigen Elemente. Bei der Kaskadenlüftung ist zu beachten, dass bei einer Messung der Luftqualität oder im Durchströmbereich nicht auf die Luftqualität in Zimmern mit geschlossener Tür rückgeschlossen werden kann. Der gesamte Zuluftvolumenstrom der Wohnung soll daher mind. in der Nacht nach unten begrenzt werden. Insbesondere in grösseren Wohnungen mit geringer Belegung ist eine bedarfsgerechte Regelung u.U. einfacher mit einer Verbundlüftungen umsetzbar.

[24] Zwingend zu beachten bei dieser aufstellungsvariante ist, dass bei allen Windbedingungen keine Kurzschlüsse zwischen FOL und AUL von verschiedenen Geräten auf dem Dach bzw. anderen Elementen z.B. Sanitärentlüftung entstehen.

6.3.8 Anlagenbeispiel

Mit dem nachfolgenden Objektbeispiel einer Mehrwohnungsanlage sollen die in Tabelle 10 und in den Kapiteln 6.2.1 bis 6.2.6 bewerteten Themen beispielhaft aufgezeigt werden. Damit soll die Einordnung von Anlagen ermöglicht werden und die allenfalls kritischen Punkte des eingesetzten Lüftungskonzeptes aufgezeigt werden.

Abbildung 36: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle, Renggli AG aus (Leicht & Bieri, 2016))

Tabelle 38: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung)

Kennwert	Beschrieb / Wert
Jahr des Bezugs	2014
Geschosszahl	5 Wohngeschosse (+ UG)
Wohnungszahl	18 Wohnungen (2.5 bis 5.5 Zimmer)
EBF	2525 m^2
Luftverteilkonzept	ohne Kaskade im Wohnzimmer (ZUL in jedem Zimmer, inkl. Wohnzimmer)
Standort Lüftungsgeräte	Untergeschoss (total 18 Geräte) Gerätegewicht: 0.39 kg/(m^3/h) inkl. Schalldämpfer *)
Aussenluftfassung	Im EG auf Gebäuderückseite (Garten) über 2 Luftfassungen 1.2 m über Boden (pro 9 Geräte eine gemeinsame Fassung)
Fortluftauslass	Im EG auf Gebäuderückseite ebenfalls über einen Ausblasturm pro 9 Geräte; Abstand zur Zuluftfassung 6 m.
Luftverteilung vertikal	Einzeln pro Wohnung (DN 150) über insgesamt 6 Steigzonen.
AUL / FOL Leitungen im UG	Kanäle 80x25cm mit Brandschutzdämmung EI30
Luftverteilung in Wohnung	PE-Rohre in herabgehängter Decke
spez. Nennluftmenge (Bezug auf EBF)	0.9 m^3/(h m^2) Zuluft Wohnungen gem. Messung 0.77 m^3/(h m^2) Zuluft Wohnungen gem. Planung
Stromverbrauch Lüftungsanlage	1.17 kWh/m^2a Messung in 2 Wohnungen über 5 Monate **)
Wärmebedarf des Gebäudes	27.7 kWh/m^2a (nur Heizung) ***)
Wärmerückgewinnungsgrad	86% Datenblattwert, nach PHI Plattentauscher mit Feuchterückgewinnung

*) Bezug auf eff. Zuluftmenge; 0.35 kg/m^2 bei Bezug auf EBF vom Gebäude

**) Bezug anteilig auf gesamte EBF vom Gebäude (bei Bezug auf Wohnfläche: 1.67 kWh/m^2)

***) Aufgrund leerstehender Wohnungen und Benutzerverhaltens (Sonnenschutz, Raumtemperatur, tw. offene Fenster) deutlich über dem berechneten Wert von 13.1 kWh/m2

Folgende Einordnung kann aus den verfügbaren Angaben zum Objekt und dem an diesem Objekt durchgeführten Messprojektes (Leicht & Bieri, 2016) erfolgen:

- Regelung: Jeder Nutzer kann seine Anlage über einen Stufenschalter ansteuern.
- Bei Luftverteilung in der Wohnung ist das Wohnzimmer nicht in Kaskade, sondern hat eine separate (höhere Gesamtluftmengen).
- Die Auslegung des Nennvolumenstroms Wohnungen liegt im Bereich von 90-150 m^3/h. Damit wird das eingesetzte Gerät bei kleineren Wohnungen und bei Teillast nicht im Optimum vom SFP betrieben (kleineres Gerät hätte gewählt werden können)
- Die Lage der Aussenluftfassungen ist günstig auf der Gebäuderückseite. Allerdings hat der Ansaugturm eine geringe Höhe 1.2m. Die Distanz zum Fortluft Auslass sollte mit 6 m ausreichend sein, um Kurzschlüsse zu vermeiden.
- Durch die zwei zentralen Gerätestandorte (je 9 Geräte) erfordert die Gerätewartung keinen Wohnungszugang. Allerdings ist der Aufwand für die Leitungsführung dadurch gross.
- In den Wohnungen wird die Verteilung kurzgehalten (Einströmung oberhalb Türen). Durch die Führung in einer herabgehängten Decke ist die Systemtrennung gewährleistet.
- Das Gerät verfügt über eine Enthalpieübertrager. Dadurch kann die Raumluftfeuchte in einem Günstigen Bereich gehalten werden.

Auf Basis der Bewertungen in Tabelle 26 sowie den Kennwerten in den Kapiteln 6.3.1 bis 6.3.6 können folgende Einschätzungen zum Objekt gemacht werden:

Tabelle 39: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten

Thema	**Bewertung**
Standort des Lüftungsgerätes	Pro Wohnung 1 Gerät. Gerätestandort zentral im UG (je für 9 Geräte). Luftverteilung ZUL und ABL mit DN 150 (Wickelfalzrohre) über insgesamt 6 Steigzonen in die Wohnungen. Dadurch der Gerätestandort zentral im UG ist, wird der Materialanteil der Verteilung bis zur Wohnung eher hoch sein (dafür wird die Wartung vereinfacht).
Lage der Aussenluftfassung	Pro 9 Anlagen eine gemeinsame Aussenluftfassung auf der Gebäuderückseite. Die Lage ist grundsätzlich günstig. Die Höhe über Boden ist jedoch zu gering.
Regelung/Steuerung	Alle Wohnungen verfügen über einen Stufenschalter, welcher eine Bedarfssteuerung durch die Bewohner zulässt.
Wärmerückgewinnung	Gemäss Datenblatt hat das Gerät einen hohen Wärmerückgewinnungsgrad und besitzt einen Wärmeübertrager mit Feuchterückgewinnung. Damit ist der Vereisungsschutz effizient gelöst und der Kondensatablauf kann entfallen.
Luftverteilkonzept in der Wohnung	Die Wohnungen werden alle Zimmer wie auch das Wohnzimmer mit Zuluft versorgt. Für eine Optimierung des Luftverteilkonzeptes hätte ein Konzept mit Kaskade umgesetzt werden können wie auch in (Leicht & Bieri, 2016) vermerkt wird. Damit könnte die Zuluftmenge reduziert werden und v.A. die Raumluftqualität optimiert werden (v.A., Raumluftfeuchte im Winter im Wohnzimmer).
Raumluftqualität	Luftqualitätsmessungen über 5 Monate zeigten in 2 untersuchten Wohnungen während mehr als 85% der Zeit eine Raumluftqualität von RAL 2 oder besser. Eine Überschreitung von RAL 3 wurde nur während 5% der Zeit festgestellt. In einer dritten Wohnung wurden höhere CO_2-Werte festgestellt (34% RAL2 oder besser, 42% RAL 3 und knapp 3% >2000 ppm). Der Grund dafür konnte gemäss (Leicht & Bieri, 2016) nicht eindeutig eruiert werden *)
Raumluftfeuchte	Die Messungen über 5 Monate zeigten in 2 untersuchten Wohnungen während 86% der Zeit eine Raumluftfeuchte im Wohnzimmer zwischen 40-60% und während 14% zwischen 30-40%.
Raumlufttemperaturen	Die mittlere Raumlufttemperatur waren in den meisten gemessenen Zimmern mit Werten zwischen 21.5 und 22.9°C als „warm“ zu beurteilen.
Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung	Die Luftverteilung in der Wohnung erfolgt mit PE-Rohren die in einer heruntergehängten Decke geführt werden. Die Verteilung ist kurz gehalten (Lufteinlässe über Türe oder an Wänden) und die Systemtrennung wird gewährleistet.

*) Aus den Feuchtewerten dieses Raumes ist zu vermuten, dass die Lüftungsstufe durch die Nutzer in dieser Wohnung zu tief eingestellt war.

6.4 LK3: Einzelraumlüftung (kombiniert mit Abluftanlage)

Bei Einzelraumlüftungsanlagen liegen die wesentlichen Einflüsse im Entscheid, welche Eigenschaften das eingesetzte Gerät aufweist und wie das Gesamtkonzept in der Wohnung (mit Einbezug der Badabluft) gelöst wird. In Tabelle 40 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren bewertet.

Tabelle 40: Bewertung der Fragestellungen zu LK 3 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Gerätekonzept in WNG / Konzept Badabluft**	**Art der Aussenluftfassung**	**Regelung / Steuerung**	**Wärmerückgewinnung (Gerätekonzept)**
Fragestellung	Wie erfolgt die Einbindung der Badabluft im Konzept? Welche Eigenschaften haben die eingesetzten Geräte?	Wie wird die Aussenluftfassung realisiert? Welchen Einfluss hat die Aussenluftqualität am Standort? Ist die Reinigbarkeit gegeben?	Wie erfolgt die Bedarfsanpassung des Luftvolumenstroms in der Wohnung? (Steuerung: z.B. 3-stufig; Regelung nach CO_2; etc.?)	Welche Art der Wärmerückgewinnung wird eingesetzt? Welche Eigenschaften haben die eingesetzten Geräte?
Merkmale	Disbalancen im Betrieb. Einfluss der Art wie die Ersatzluft für die Badabluft eigebracht wird. Geräteeigenschaften wie Effizienz, Druckstabilität, Schallwerte.	Lokale Belastung Feinstaub und NOx, Belastung durch Gerüche aus angrenzenden Wohnungen, Zugänglichkeit der Aussenluftgitter.	Bedieneinheit / Sensorik in der Wohnung bzw. im Gerät, Regelungsmöglichkeiten des Gerätes	Enthalpie-Übertrager, Wärmeübertrager ohne Feuchterückgewinnung, Pendellüfter, Geräteeigenschaften wie Effizienz (el. / therm.) , Druckstabilität, Schallwerte., Risiko von Geruchsübertragung
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**			
Betriebsenergie	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Graue Energie	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: gering	R: mittel V: gross
Investition	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: mittel	R: mittel V: gross
Instandhaltung	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gering	R: mittel V: mittel
Raumluftqualität (CO_2, PM, Gerüche)	R: mittel V: gross	R: hoch *) V: klein	R: hoch V: gross	R: mittel *) V: gross
Raumluftfeuchte	R: gering V: gross		R: hoch V: gross	R: hoch **) V: gross
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: hoch **) V: gross		R: hoch V: gross	R: hoch **) V: gross
Schallschutz von aussen	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross		R: mittel **) V: gross
thermische Behaglichkeit	R: mittel V: gross	R: mittel V: mittel	R: gering V: mittel	R: hoch **) V: gross

*) Die Einflüsse auf die Raumluftqualität beziehen sich hier v.A. auf die Aussenluftbelastung (PM) bzw. der Filterwirkung der Geräte

**) Bewertung ist zum Grossteil durch die Eigenschaften der Lüftungsgeräte bestimmt..

Aus dieser Analyse ergeben sich insbesondere relevante Einflüsse durch die Wahl des Gerätes auf die erzielbaren Schallwerte (kritischer Parameter) sowie die Betriebsenergie und die Instandhaltungskosten. Zudem wird über die im Gerät eingesetzte Wärmerückgewinnung auch die Raumluftfeuchte in relevantem Masse beeinflusst.

Die Art wie das Gesamtkonzept in der Wohnung umgesetzt wird, hat einen grossen Einfluss auf die benötigte Betriebsenergie und die erreichbare Raumluftqualität und –Feuchte. Hier ist insbesondere von Bedeutung wie mit der Einbindung der Badabluft umgegangen wird.

Beim Standort der Aussenluftfassung besteht bei diesem Konzept üblicherweise nur wenig Spielraum. Die Umsetzung der Aussenluftfassung für die Einzelraumgeräte hat aber eine grosse Relevanz für die Wartung (Reinigung und Instandhaltung der Anlage) und beeinflusst auch wesentlich die Eigenschaften bezüglich der Luftqualität. So muss die Aussenluftfassung so ausgeführt sein, dass eine Rezirkulation von Fortluft möglichst vermieden wird. Dies ist zum grossen Teil durch die Konstruktion der Geräte gegeben und wird auch bei der Prüfung nach EN 13141-8 ermittelt. Mit der Aussenluftfassung zusammenhängend sind auch die Eigenschaften der im Gerät eingesetzten Filter von Bedeutung.

In den folgenden Unterkapiteln wird im Detail auf die verschiedenen Einflüsse in den untersuchen Fragestellungen bzw. Konzeptvarianten eingegangen.

6.4.1 Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

Einen wesentlichen Einfluss auf die benötigte Betriebsenergie und die erreichbare Raumluftqualität und –Feuchte hat das ausgeführte Gesamtkonzept in der Wohnung. Für die Analyse wurden die folgenden 4 verschiedene Lösungsvarianten verglichen:

- Variante 1: Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet mit ALD.
- Variante 2: Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet ohne ALD.
- Variante 3: Gerätebetrieb bei Betrieb Badabluft in Disbalance (Abluft wird reduziert)
- Variante 4: Gerätebetrieb mit leichter Disbalance. Badabluft Dauerbetrieb mit ALD
- Variante 5: Gerätebetrieb in Balance. Badabluft über Zimmergerät abgeführt

Abbildung 37 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

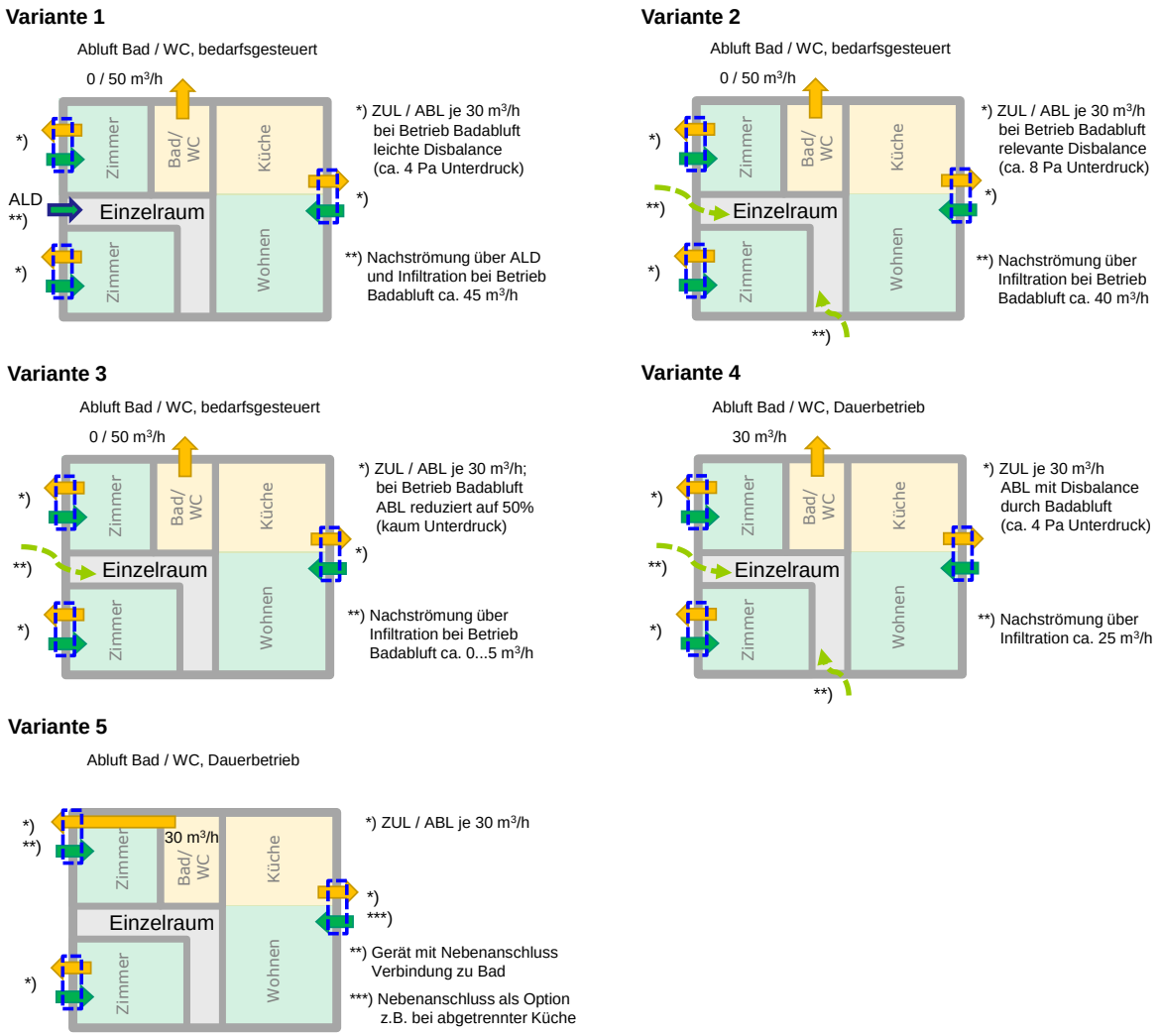


Abbildung 37: Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

Die in dieser Darstellung aufgeführten Luftmengen der Abluft basieren dabei auf den Werten wie sie in der Norm SIA 382/5: 2021 vorgeschlagen werden. Die Konzepte könnten auch auf Basis der bis anhin (bis Mai 2021) anzuwendenden SIA 2023 ausgelegt werden, was aber zu höheren Abluftvolumenströmen in Küche

und Bad (+33% bei Dauerbetrieb) und damit zu entsprechend höheren Gesamtluftvolumenströmen führen würde.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Druckdifferenzen und Disbalance hat die Empfindlichkeit der Einzelraumgeräte auf Druckdifferenzen sowie die Luftdichtheit der Gebäudehülle bzw. die Auslegung des Aussenluftdurchlasses (in Variante 1). Ist eine dichte Gebäudehülle vorhanden und sind die Geräte wenig Druckempfindlich ist die Auslegung des Aussenluftdurchlasses für die Ersatzluft im Bad wichtig, um grössere Unterdrücke im Gebäude zu verhindern. Bei eher undichten Gebäuden (Luftdichtheit im Bereich des Neubau-Grenzwertes nach SIA 180:2014) und druckempfindlichen Geräten (Klasse S3 nach (SN EN 13141-8, 2014)) ist die Nachströmung auch ohne Aussenluftdurchlass gegeben.

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 41 zusammengestellt.

Tabelle 41: Vor/Nachteile der Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten

Variante:	Vorteile	Nachteile
Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet mit ALD	Einzelraumgeräte werden (bei guter Auslegung des ALD) nahe am Nennbetrieb betrieben (gute WRG der Geräte). Regelung kann weitgehend unabhängig von der Badabluft erfolgen.	Durch intermittierenden Betrieb der Badabluft schlechter kontrollierte Geruchs- / Feuchteabfuhr (wenn nicht über eine Feuchteregelung sichergestellt). Durch Einbau des Aussenluftdurchlasses höhere unerwünschte Infiltration (z.B. bei Wind). Eingeschränkte Behaglichkeit, Schallschutz und Zuluftfiltrierung in der Nähe des ALD. Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch.
Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet ohne ALD.	Durch Verzicht auf ALD weniger Durchbrüche in Fassade (Wärmeverluste, Kosten). Eignung als vereinfachtes Konzept für Erneuerungen (geringere Dichtheit der Hülle).	Ungeeignet bei sehr dichten Gebäuden (hoher Unterdruck). Durch intermittierenden Betrieb der Badabluft schlechter kontrollierte Geruchs- / Feuchteabfuhr (wenn nicht über eine Feuchteregelung sichergestellt). Grössere Beeinflussung der Einzelraumgeräte durch Betrieb der Badabluft. Bei Betrieb Badabluft muss Rückströmung aus Zimmerabluft zuverlässig verhindert werden (Auslegung!). Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch. Gefahr von unerwünschten Infiltrationen steigt
Gerätebetrieb bei Betrieb Badabluft in Disbalance (Abluft wird reduziert)	Im Betriebsfall ohne eingeschaltete Badabluft keine wesentliche Disbalance (gute WRG). Kein Aussenluftdurchlass erforderlich (Fassadendurchbruch, Wärmeverluste)	Im Betriebsfall mit eingeschalteter Badabluft Disbalance und damit deutlich reduzierte WRG (kalte Zuluft in Zimmer). Durch intermittierenden Betrieb der Badabluft schlechter kontrollierte Geruchs- / Feuchteabfuhr (wenn nicht über eine Feuchteregelung sichergestellt). Ansteuerung Einzelraumgeräte erforderlich (Kosten Installation). Bei kalten Aussentemperaturen Konflikt mit üblicher Enteisungsstrategie der Einzelraumgeräte über Reduktion der Zuluftmenge. Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch.
Gerätebetrieb mit leichter Disbalance. Badabluft Dauerbetrieb mit ALD	Durch Dauerbetrieb der Badabluft kontrollierte Geruchs- / Feuchteabfuhr in Nassräumen. Konzept auch mit zentralem Fortluftventilator (z.B. auf Dach) realisierbar.	Hohe Gesamtabluftmenge ohne WRG. Durch Nachströmung entsteht dauernd ein Unterdruck in der Wohnung. Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch. Keine WRG der Badabluft. Durch Einbau des Aussenluftdurchlasses höhere unerwünschte Infiltration (z.B. bei Wind). Eingeschränkte Behaglichkeit, Schallschutz und Zuluftfiltrierung in der Nähe des ALD. Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch.
Gerätebetrieb in Balance. Badabluft über Zimmergerät abgeführt	Einzelraumgeräte werden im Nennbetrieb betrieben (optimale WRG der Geräte). Geringster Gesamtluftvolumenstrom in der Wohnung. Wärmerückgewinnung der Badabluft. Keine vertikale Steigzone für Badabluft. Auch bei Grundrissen mit geschlossener Küche eine Option zur Lösung der Küchenabluft.	Nur möglich, wenn Verbindung aus Bad zu Zimmergerät realisierbar. Horizontale Verrohrung in Wohnung erforderlich. Abhängigkeit zwischen Zimmerbetrieb und Badbetrieb. Verhinderung von Geruchsübertragung durch Kurzschlüsse bei dieser Variante besonders relevant. Schallemissionen der Einzelraumgeräte im Schlafzimmer sind kritisch, sofern Grundriss keine Geräteplatzierung ausserhalb des Zimmers erlaubt (z.B. im Bad mit Nebenanschluss im Zimmer).

Tabelle 42 zeigt die Resultate der Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten. Für die Einflussfaktoren Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen erfolgt dabei eine quantitative Einschätzung. Die Wertebereiche beinhalten dabei auch die Spannbreite bezüglich der Klassifizierung der Empfindlichkeit des Luftstroms (S1 bis S3 gem. SN EN 13141-8: 2014) der Einzelraumgeräte. Nicht verändert wurde der unkorrigierte Temperaturänderungsgrad sowie der spezifische Strombedarf der Einzelraumgeräte. Für weitere Einflussfaktoren (Behaglichkeit / Luftqualität, Akustik sowie Instandhaltung/Hygiene) erfolgt eine Bewertung über Eignungskriterien bzw. Handlungsempfehlungen. Zudem wird der Schacht- und Raumbedarf bewertet.

Tabelle 42: Bewertung der Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten (LK3)

Variante / Einflussfaktor	Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet mit ALD	Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet ohne ALD.	Gerätebetrieb bei Betrieb Badabluft in Disbalance (Abluft wird reduziert)	Gerätebetrieb mit leichter Disbalance. Badabluft Dauerbetrieb mit ALD	Gerätebetrieb in Balance. Badabluft über Zimmergerät abgeführt	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.8) Bereich: 75-130%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 75-130%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 75-130%	120% (Wert: 2.17) Bereich: 95-155%	100% (Wert: 1.77) Bereich: 75-130%	1.8 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 14.1) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 14) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 13.8) Bereich: 90-110%	130% (Wert: 18.1) Bereich: 120-140%	95% (Wert: 13.0) Bereich: 80-105%	14.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.8) Bereich: 75-120%	100% (Wert: 1.76) Bereich: 70-120%	100% (Wert: 1.76) Bereich: 70-120%	95% (Wert: 1.74) Bereich: 70-115%	90% (Wert: 1.61) Bereich: 65-110%	1.8 kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 120) Bereich: 80-120%	95% (Wert: 113) Bereich: 75-115%	100% (Wert: 122) Bereich: 80-120%	95% (Wert: 112) Bereich: 75-110%	90% (Wert: 106) Bereich: 75-105%	120 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 5.1) Bereich: 95-110%	95% (Wert: 4.8) Bereich: 90-105%	95% (Wert: 4.9) Bereich: 90-105%	95% (Wert: 4.8) Bereich: 90-105%	90% (Wert: 4.4) Bereich: 80-95%	5.0 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.02) Bereich: 70-125%	100% (Wert: 0.02) Bereich: 70-125%	100% (Wert: 0.02) Bereich: 70-125%	100% (Wert: 0.0195) Bereich: 70-125%	90% (Wert: 0.0178) Bereich: 60-115%	0.020 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 70-105%	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 70-105%	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 70-105%	80% (Wert: 0.0017) Bereich: 60-80%	0% (Wert: 0) Bereich: - (n.V.)	0.0022 m^3/m^2
Behaglichkeit / Luftqualität	Schwächere Zuluftfilterung des ALD, bei ALD lokal eingeschränkte Behaglichkeit	Wesentlicher Anteil der Ersatzluft für Bad aus Infiltration, d.H. nicht bekannte Luftqualität **)	Bei Betrieb Badabluft Behaglichkeit in Zimmern nicht gegeben (kalte ZUL)	Wesentlicher Anteil der Ersatzluft für Bad aus Infiltration, d.H. nicht bekannte Luftqualität **)	Geringe Leckluftrate (geringe Rezirkulation) zwischen FOL und AUL wichtig. ***)	
Akustik	Da die Aufstellung auch in Schlafräumen erfolgt sind Geräte mit tiefen abgestrahlten Schalleistungspegel (LWA) einzusetzen. Die Geräte sollen im Nennbetrieb der Klasse 0 gem. prEN 13142:2018 entsprechen (LWA < 25 dB(A) bei 30m^3/h). Bei grossen Zimmern (z.B. Wohnbereich > 20m^2) ev. Klasse 1 gem. prEN 13142:2018 noch akzeptabel.					
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit und einfache Reinigbarkeit der Aussenluftgitter muss gewährleitet sein. Die eingesetzten Geräte müssen über eine wirksame Strategie zur Abführung / Vermeidung von Kondensat / Vereisung verfügen (in der Variantenbetrachtung primär durch ein Gerät mit Enthalpieübertrager sichergestellt), da sonst Hygienerisiko und eingeschränkte Funktion bei tiefen Aussentemperaturen (Zeit mit grösstem Nutzen).					

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

*) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

**) Variante nicht geeignet für dichte Gebäude (erhöhter Unterdruck in Wohnung) bzw. Gebäude wo die infiltrierte Luft kontaminiert sein könnte (Radon, VOC).

***) Geräte mit Dichtheitsklasse nach SN EN 13141-8: 204 von U2 oder besser um Abluftübertragung (Badabluft) auf Zuluft zu minimieren.

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 42 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. In dieser Berechnung wurde die Wohnungsgrösse nicht verändert (alles 3.5-Zimmer Wohnungen mit 90 m^2 Wohnfläche). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.3.1). Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 12.2 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

Bei den derzeit erhältlichen Geräten ist die Spanne bezüglich der Grösse (Baugrösse, Gewicht), Effizienz und Kosten gross. Nur wenige Geräte erfüllen die Anforderungen an die Akustik (Schalldruckpegel / Schalldämmung), Filterqualität des AUL-Filters (ISO ePM1 ≥ 50 % / F7) und die Effizienz (guter Wärmerückgewinnungsgrad, geringe Druckdifferenzempfindlichkeit und Enthalpie-Wärmeübertrager). Daher wird es in vielen Fällen erforderlich sein in einzelnen Punkten Kompromisse einzugehen.

Da die Wohnungsgrösse einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate bei den quantitativen Kennwerten hat (Bezug: m^2 Energiebezugsfläche) wurden die fünf Lösungsvarianten auch für ein Gebäude mit 4.5-Zimmer Wohnungen (je 120 m^2 Wohnfläche) und ein Gebäude mit 2.5-Zimmer Wohnungen (je 60 m^2 Wohnfläche) berechnet. In dieser Berechnungsvariante wurden nur diese Parameter verändert, welche sich durch die grösseren Wohnungen ergeben (z.B. grössere Abluftmenge bei 2 Bädern) oder sich über die Zimmerzahl definieren (Anzahl Luftauslässe, Geräte).

Tabelle 29 zeigt die quantitativen Resultate die Varianz der Wohnungsgrösse für die Konzeptvarianten der Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten.

Tabelle 43: Variation der Wohnungsgrösse für Konzeptvarianten der Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten (LK3)

Variante / Einflussfaktor	Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet mit ALD	Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet ohne ALD.	Gerätebetrieb bei Betrieb Badabluft in Disbalance (Abluft wird reduziert)	Gerätebetrieb mit leichter Disbalance. Badabluft Dauerbetrieb mit ALD	Gerätebetrieb in Balance. Badabluft über Zimmergerät abgeführt	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.8) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 100-105%	120% (Wert: 2.17) Bereich: 120-135%	100% (Wert: 1.77) Bereich: - (n.V.)	1.8 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 14.1) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 14.0) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 13.8) Bereich: 100-105%	130% (Wert: 18.1) Bereich: 130-145%	95% (Wert: 13.0) Bereich: - (n.V.)	14.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.8) Bereich: 95-140%	100% (Wert: 1.76) Bereich: 90-135%	100% (Wert: 1.76) Bereich: 90-135%	95% (Wert: 1.74) Bereich: 90-135%	90% (Wert: 1.61) Bereich: 85-120%	1.8 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 120) Bereich: 100-115%	95% (Wert: 113) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 122) Bereich: 100-115%	95% (Wert: 112) Bereich: 95-105%	90% (Wert: 106) Bereich: 90-95%	120 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 5.1) Bereich: 100-125%	95% (Wert: 4.8) Bereich: 90-120%	95% (Wert: 4.9) Bereich: 90-120%	95% (Wert: 4.8) Bereich: 90-120%	90% (Wert: 4.4) Bereich: 80-105%	5.0 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.02) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 0.02) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 0.02) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 0.0195) Bereich: 95-105%	90% (Wert: 0.0178) Bereich: - (n.V.)	0.020 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 95-160%	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 95-160%	100% (Wert: 0.0022) Bereich: 95-160%	80% (Wert: 0.0017) Bereich: 75-125%	0% (Wert: 0) Bereich: - (n.V.)	0.0022 m^3/m^2

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);

100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung

Der angegebene Wertebereich bezieht sich in dieser Aufstellung auf die Variation der Wohnungsgrössen

(Die hohen Werte bilden die 2.5-Zimmer Wohnungen ab, die tiefen primär die 4.5-Zimmer Wohnungen)

*) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

6.4.2 Anordnung und Einfluss der Aussenluftfassung

Bei Anlagen mit Einzelraumgeräten besteht nur wenig Spielraum bezüglich der Anordnung der Aussenluftdurchlässe. Meist ist es nicht möglich die Fassade, an der die Aussenluft gefasst wird zu wählen (z.B. um Fassaden mit sommerlicher Stauwärme zu meiden). In der Planung ist insbesondere die Zugänglichkeit der Aussenluftfassung für Service und Reinigung zu beachten. Auch sind Standorte direkt oberhalb von Balkonen/Terrassen benachbarten Wohnungen zu vermeiden, da dies zu Beeinträchtigungen durch Gerüche (Rauch, Grill etc.) führen kann. Daneben sollte möglichst ein Ort ohne sommerlicher Stauwärme gewählt werden. Dies erfordert oft eine Abwägung zwischen guter Zugänglichkeit und geringer Fremdbeeinflussung.

Bei Gebäudelagen an stärker belasteten Standorten (AUL 2 oder schlechter nach SIA 382/1: 2014) ist eine schnellere Verschmutzung der Filter und Aussenluftelemente zu erwarten. Da Einzelraumgeräte empfindlich auf Verschmutzungen reagieren (erhebliche Beeinflussung des Zuluftvolumenstrom) wird dies ein erhöhtem Wartungsaufwand erfordern, um den bestimmungsgemässen Betrieb der Anlage aufrecht zu erhalten.

Keine Anordnung im Bereich oberhalb von Balkonen/Terrassen von benachbarten Wohnungen bzw. direkt oberhalb deren Fenster. Nicht im Bereich von Ausblasöffnungen von Küchenabluft.

Für die nachfolgende Analyse wurden 3 verschiedene Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort (wie Basisvariante)
- Variante 2: AUL Fassung an der Fassade, belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung in Fensterleibung, unbelasteter Standort

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall jeweils ein Fall mit einfachem Unterhalt (gute Zugänglichkeit und Reinigbarkeit der Elemente) sowie ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen für den Unterhalt (erhöhter Aufwand) untersucht. Im Basisfall unterscheidet sich Variante 1 und 2 primär durch die schnellere Verschmutzung der Filter (im Betrieb höherer Druckverlust) und dem höheren Reinigungsintervall (als Basis 2x jährlich angenommen).

Mit Variante 3 wird eine Lösungsvariante mit einer AUL Fassung in der Fensterleibung dargestellt, welche eine gewisse Flexibilität bezüglich dem Gerätestandort bietet und ein guter Zugang der AUL-Gitter für die Reinigung gewährleistet.

Abbildung 38 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

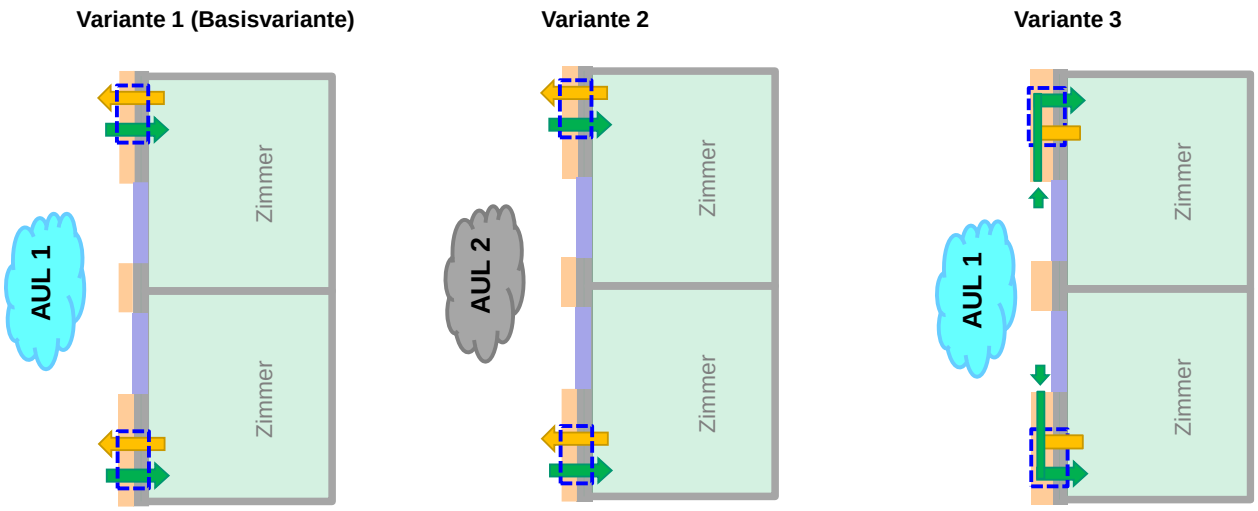


Abbildung 38: Lösungsvarianten zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 44 zusammengestellt.

Tabelle 44: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftfassung bei Einzelraumgeräten

Variante:	Vorteile	Nachteile
AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort (wie Basisvariante)	Einfach realisierbar, da wenig Schnittstellen mit baulichen Arbeiten.	Zugänglichkeit der AUL-Gitter ist oft erschwert (in jährlichem Service nur von innen mit erhöhtem Zeitaufwand zugänglich).
AUL Fassung an der Fassade, belasteter Standort (AUL 2)	Einfach realisierbar, da wenig Schnittstellen mit baulichen Arbeiten.	Zugänglichkeit der AUL-Gitter ist oft erschwert (in halbjährlichem Service nur von innen mit erhöhtem Zeitaufwand zugänglich). Stark erhöhter Wartungsaufwand (Reinigung / Filterwechsel). Grössere Disbalancen im Betrieb. Dadurch reduzierte Wärmerückgewinnung und schlechtere Raumluftqualität.
AUL Fassung in Fensterlaibung, unbelasteter Standort	Gute Zugänglichkeit der AUL-Gitter. Fassadengestaltung wird nicht durch Außenwandhaube beeinträchtigt.	Grösserer Aufwand bei Erstellung (v.A. bauliche Arbeiten und Koordination). Erhöhter Druckverlust für AUL und FOL (grössere Leitungslänge). Je nach Ausführung stärkere thermische Schwächung der Fassade (Wärmebrücke). Der aussenliegende Sonnenschutz darf den Luftaustausch nicht behindern (muss in Planung berücksichtigt werden).

Tabelle 45 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung der Einzelraumanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftqualität, Behaglichkeit) als qualitative Einschätzung mit Angabe der Ausschlusskriterien. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung weiterer Einflussfaktoren mit hoher oder mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Graue Energie, Investition, Instandhaltung/Hygiene). Grundsätzlich für alle Varianten gilt, dass der Standort und vor allem das Design vom Aussenluftdurchlass eine möglichst gute Robustheit in Bezug auf Windeinflüsse haben soll und einen guten Schalldämmwert. Diese Anforderung steht jedoch oft in Konkurrenz zu der Anforderung an einen geringen Druckverlust des Elementes.

Tabelle 45: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung

Variante / Einflussfaktor	AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, unbelasteter Standort	AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, belasteter Standort (AUL 2)	AUL Fassung an Fassade, unbelasteter Standort	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.38) Bereich: 95-110%	130% (Wert: 1.79) Bereich: 120-140%	100% (Wert: 1.39) Bereich: 95-110%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 60) Bereich: 95-115%	105% (Wert: 62) Bereich: 95-120%	95% (Wert: 57) Bereich: 90-110%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: 90-130%	180% (Wert: 5.8) Bereich: 160-225%	110% (Wert: 3.5) Bereich: 100-140%	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Hohe Empfindlichkeit der Luftqualität auf Störungen (z.B. offene Fenster). Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	Reinigung und Filterwechsel ist 2x jährlich erforderlich. Ungenügende Wartung führt zu stark reduzierten Zuluftmengen und damit ungenügender Luftqualität. Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	Hohe Empfindlichkeit der Luftqualität auf Störungen (z.B. offene Fenster). Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	
Behaglichkeit / Sommerlicher Wärmeschutz	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Bereiche mit sommerlicher Stauwärme und Beeinflussung durch den Sonnenschutz sind zu meiden. Dunkle Fassadenfarben und Markisen meiden.	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Bereiche mit sommerlicher Stauwärme und Beeinflussung durch den Sonnenschutz sind zu meiden. Dunkle Fassadenfarben und Markisen meiden.	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Fassaden mit sommerlicher Stauwärme und dunklen Fassadenfarben meiden.	
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter für Unterhalt ist zu gewährleisten (Sichtbarkeit für Inspektion und Erreichbarkeit für Reinigung)	Gute Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter für Unterhalt ist zu gewährleisten (Sichtbarkeit für Inspektion und Erreichbarkeit für Reinigung). Einsatz von Filter der Qualität ISO ePM1 50 %.	Für Reinigung muss Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter von der Raumseite möglichst einfach gewährleistet sein (Gitter von aussen oft schwer zugänglich)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite für den Arbeitsaufwand für den Unterhalt (Reinigung / Filterwechsel).
Zudem wird eine Spannbreite für die Kosten und Materialisierung der Aussenluftdurchlässe einbezogen.

Die Bewertungen für den Raumbedarf in Tabelle 45 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 12.3 zu entnehmen.

6.4.3 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch hat die Art der Gerätesteuerung bzw. die Regelung der Luftmengen. Durch eine bedarfsgeführte Betriebsweise kann auch die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst werden. Bei einer nicht angepassten Betriebsweise wird neben der Raumluftfeuchte auch die Raumluftqualität ungünstig beeinflusst. Dies kann sowohl Überlüftung (im Winter zu trocken) als auch zu geringe Luftmengen (zu geringe Feuchteabfuhr, schlechte Luftqualität) bedeuten. Eine bedarfsgerechte Lüftung wirkt sich (bei richtiger Wahl der Geräte) auch günstig auf die Lüftungsgeräusche in der Wohnung aus.

Bei den Einzelraumgeräten kann die Anlagensteuerung üblicherweise über die vom Hersteller angebotenen Zusatzoptionen (z.B. zentrale Bedienelemente, Raumluftsensoren, etc.) einfach realisiert werden. Dies führt zu einem gewissen Mehraufwand bei den Investitions- und Unterhaltskosten. Üblicherweise ist eine Stufenschaltung direkt am Gerät in den Basisversionen enthalten.

Bei der Wahl der Anlagensteuerung bzw. –Regelung ist in der Planung in erster Linie der Unterschied bei der Gerätewahl zu beachten. Wenn die Geräte innerhalb der Wohnung eine gemeinsame Regelstrategie verfolgen oder von einem zentralen Punkt aus bedient werden sollen, kann dies zu einem erhöhten Verkabelungsaufwand führen[25]. Dies wird in den Basisvarianten nicht mit einbezogen. Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept ohne Kaskade ausgegangen (unterschiedliche Verteilkonzepte siehe Kapitel 6.2.5). Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 3 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Gerät (3-stufig), Referenz
- Variante 2: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-Regelung / Feuchteregelung)
- Variante 3: Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge, gleiches Gerät wie in Variante 1)

Immer öfter erlauben die höherwertigen Geräte neben der Steuerung der Lüftungsstufen auch gemeinsame Ansteuerung mehrerer Geräte (über Funk oder WLAN) und auch den Anschluss von optionalen CO_2- oder Feuchtesensoren. Für den Basisfall wird in Variante 1 von einem einfachen Stufenschalter am Gerät und in Variante 2 von einer zusätzlichen Regelung über die optionalen Sensoren im Gerät (CO_2) bzw. im Badventilator (Feuchte) ausgegangen.

Abbildung 39 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

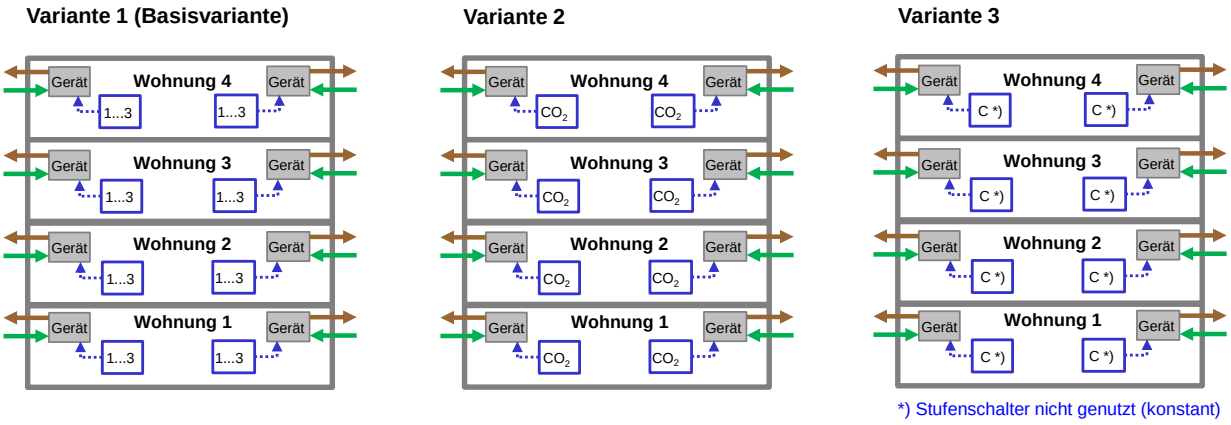


Abbildung 39: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Einzelraumanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 46 zusammengestellt.

[25] Bei verschiedenen Herstellern sind auch Lösungen mittels Funk bzw. WLAN Anbindung möglich um den Verkabelungsaufwand zwischen den Geräten zu minimieren.

Tabelle 46: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante:	**Vorteile**	**Nachteile**
Basissystem mit Stufenschalter (min. 3 stufig) je Gerät, Referenzvariante	Individueller Eingriff durch Nutzer Möglich (z.B. anwesend, abwesend). Bei konsequenter Nurzung günstig bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf.	Wirkung abhängig von Nutzerverhalten (Nutzereingriff für Anpassung Lüftungsstufen erforderlich). Ohne Vernetzung der Geräte (mit zentralem Bediengerät oder App) ist die Nutzungsgerechte Bedienung relativ aufwendig für den Nutzer.
Bedarfsgerechte Regelung je Gerät (CO_2-Regelung, Feuchteregelung)	Optimale Anpassung an eff. Bedarf. Daher am günstigsten bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf. Zusätzlich mit Möglichkeit für Benutzereingriff (Lüftungsstufen).	Mehrkosten für Regelung (Sensor/Aktor) im Gerät und wenn vorhanden Bediengerät in Wohnung. Wartungs- und Ersatzkosten für Sensoren.
Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge)	keine (Gerät identisch wie in Variante 1) Vergleichsvariante entspricht dem Fall, dass der Nutzer die manuelle Stufenschaltung nicht nutzt.	Ungünstig bezüglich Raumluftfeuchte im Winter. Erhöhter Strom- und Wärmebedarf.

Tabelle 47 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Einzelraumanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Betriebsenergie, Raumluftfeuchte) als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer oder geringer Relevanz (Investition, Instandhaltung, Raumluftqualität, Schallschutz Lüftungsgeräusche).

Tabelle 47: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit Stufenschalter (min. 3 stufig) je Gerät, Referenzvariante	Bedarfsgerechte Regelung je Gerät (CO2-Regelung, Feuchteregelung)	Konstantbetrieb (auf Nennluftmenge)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.8) Bereich: 75-130%	60% (Wert: 1.08) Bereich: 50-70%	140% (Wert: 2.53) Bereich: n.V. *)	1.8 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 14.1) Bereich: 90-110%	80% (Wert: 11.5) Bereich: 75-90%	115% (Wert: 15.9) Bereich: 110-115% **)	14.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.8) Bereich: n.V. *)	100% (Wert: 1.82) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 1.8) Bereich: n.V. *)	1.8 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 120) Bereich: 100-105%	110% (Wert: 133) Bereich: 105-120%	100% (Wert: 120) Bereich: n.V. *)	120 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 5.1) Bereich: n.V. *)	105% (Wert: 5.3) Bereich: 105-110%	100% (Wert: 5.1) Bereich: n.V. *)	5.0 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Abhängig von richtiger Nutzung durch Bewohner (Instruktion!)	Korrekte Einstellung und Wartung der Sensoren erforderlich	Problemlos. Aber Tendenz zur Überlüftung	
Raumluftfeuchte	Gewisse Beeinflussbarkeit durch Nutzer (bei korrekter Nutzung der Stufen)	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird.	Ungünstig, da keine Bedarfsanpassung.	
Akustik: Schallschutz Lüftungsgeräusche	Günstig da Nutzer Einfluss auf Volumenstrom hat.	Günstig da nur notwendige Luftmenge in Wohnung eingebracht wird.	Da dauernder Betrieb mit Nennluftvolumenstrom ungünstig.	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite für den Betrieb der Einzelraumgeräte (Ausser Variante 3) und der Badabluft
Zudem wird eine Spannbreite der Kosten und des Materialaufwandes der Regel- / Steuerelemente einbezogen.
*) Ohne wesentliche Variation (daher ohne Angabe)
**) Varianz durch Spannbreite Betrieb Badabluft gegeben (Einzelraumgeräte ohne Varianz).

Die Bewertungen für die Betriebsenergie Strom und Wärme in Tabelle 47 basieren auf Berechnungen auf Basis der Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018)

vorgeschlagen werden. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch 4.3.1). Die Berechnung basiert auf einem Gebäude mit 16 Wohnungen (3.5-Zimmer Wohnungen) mit Ein-

zelraumgeräten. Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus Kapitel 12.4 im Anhang in zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

6.4.4 Art der Wärmerückgewinnung

Die bei Einzelraumgeräten eingesetzten Wärmeübertrager weisen je nach eingesetztem Produkt eine hohe Spannbreite beim Wärmerückgewinnungsgrad auf. Dies beeinflusst den Wärmebedarf. Daneben ist der Einfluss auf die Betriebsenergie hauptsächlich durch die elektrische Effizienz (Wirkungsgrad der Ventilatoren und Druckverluste) und den je nach Art der Wärmerückgewinnung erforderlichen Vereisungsschutz bestimmt.

Einen grossen Einfluss hat die Art der Wärmerückgewinnung jedoch auf die Raumluftfeuchte. Bei der Verwendung von Enthalpieübertragern kann tiefen Luftfeuchten in den Wohnungen im Winter vorgebeugt werden. Um Luftübertragungen von der Abluft in die Zuluft möglichst zu vermeiden sind Geräte mit tiefen internen Leckagen eizusetzen. Bei Einzelraumgeräten sind auch sogenannte Push-Pull Geräte eine Option. Bei diesem Gerätetyp kann üblicherweise auf den Kondensatablauf verzichtet werden.

Bei der Gerätewahl ist u.a. einer einfachen Wartbarkeit der Filter, des Wärmeübertragers und auch der Aussenluftfassung Beachtung zu schenken, um die Wartungskosten möglichst gering zu halten.

Die verfügbaren Optionen bei der Wärmerückgewinnung sind in erster Linie durch den verwendeten Gerätetyp (Hersteller) bestimmt. Dabei kann je nach Hersteller die Verfügbarkeit solcher Optionen eingeschränkt sein. Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept ohne Kaskade sowie einer Fassung der Aussenluft bzw. Ausblasung der Fortluft an der Fassade ausgegangen. Für die nachfolgende Analyse wurden 3 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung
- Variante 3: Anlage mit Push-Pull Geräten

Abbildung 40 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

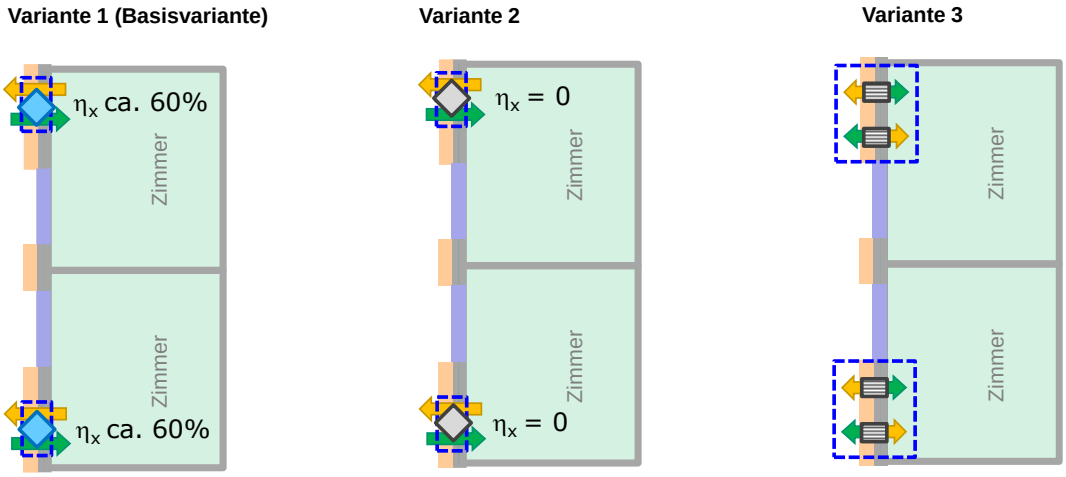


Abbildung 40: Lösungsvarianten für die Art der Wärmerückgewinnung bei Einzelraumanlagen

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 48 zusammengestellt.

Tabelle 48: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem, Geräte mit Enthalpie Plattenübertrager	Günstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Bei üblichen Winterbedingungen meist keine Enteisung nötig (bis ca. -8°C).	Mehrkosten für Enthalpieübertrager; Eventuelle Mehrkosten für Wartung / Unterhalt (Geräteabhängig); Erhöhte Raumluftfeuchte in Übergangszeit (Regelung durch Gerätebypass erforderlich). Bei Gebäuden mit grösseren Wärmebrücken (Sanierungen) besteht durch die höhere Feuchte erhöhte Gefahr von Kondensat bzw. Schimmelbildung. Dann ist in der Planung zu klären ob der Einsatz sinnvoll ist.
Geräte mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung	Tieferer Gerätepreis.	Ungünstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter. Je nach Art der Enteisungsfunktion ist Luftqualität im Raum nicht mehr gewährleistet (Disbalancen). Energiebedarf für Enteisung nötig. Abführung vom Kondensat erforderlich.
Geräte mit regenerativem Wärmespeicher (Pendellüfter)	Günstige Wirkung auf Raumluftfeuchte im Winter (Feuchteübertragung). Enteisung einfach lösbar.	Durch die periodische Umschaltung zeitweise Disbalance, Temperaturgradiente der ZUL und erhöhte Schallemissionen. Geräte weisen typischerweise eine hohe Druckempfindlichkeit auf. Filter werden durch Umschalten wechselseitig beaufschlagt (Hygiene). Pro Raum 2 Geräte erforderlich (bzw. ein "Doppelgerät").

Tabelle 35 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Wärmerückgewinnung bei Einzelraumgeräten für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftfeuchte) soweit möglich als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Investitionen, Instandhaltung, Raumluftqualität und Hygiene).

Zum Einfluss auf die Betriebsenergie ist anzumerken, dass ein wesentlicher Teil der möglichen Variation beim Stromverbrauch durch die Effizienz der Ventilatoren und den geräteinternen Druckverlust bestimmt ist. Letzteres wird zum einen über die Art und Auslegung des Wärmeübertragers aber auch durch die Luftführung im Gerät[26] bestimmt. Geräte welche, effiziente Ventilatoren, grössere Filter (mit tieferem Druckverlust) und auch bezüglich Druckempfindlichkeit günstige Werte aufweisen haben typischerweise grössere Aussenmasse und sind schwerer und teurer. Wesentlich ist bei der Gerätewahl darauf zu achten, dass dieses beim Nennbetrieb wie auch bei reduziertem Betrieb eine gute Effizienz aufweist[27].

Beim Vergleich zwischen Plattenübertrager mit und ohne Feuchteübertragung ist das Resultat ebenfalls von verschiedenen Faktoren abhängig. Beim Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung ist die angewendete Enteisungsstrategie massgebend. Überwiegend wird bei den Geräten eine Strategie eingesetzt, welche den Zuluftvolumenstrom reduziert (bzw. beim Unterschreiten einer Grenztemperatur temporär ganz unterbricht). Damit besteht in dieser Zeit eine Disbalance der Luftmengen (Unterdruck sowie Reduktion der WRG) und im betroffenen Raum wird der Sollwert der Zuluft nicht mehr erreicht (Reduktion der Luftqualität)[28].

Diese Einflüsse sind somit stark vom Aussenklima (v.A. Perioden mit Temperaturen <0°C) wie auch von den Nutzern selbst (Einfluss auf Abluftfeuchte) abhängig.

Bei Wärmeübertrager mit guter Feuchteübertragung ist im Mittelland meist keine zusätzliche Enteisung erforderlich (da bei einer Feuchteübertragung von mind. 60 % gar keine Vereisung entsteht). Damit kann die für die Enteisung sonst benötigte Energie eingespart werden und es muss keine Einbusse bei der Luftqualität in Kauf genommen werden. Auf der anderen Seite ist bei diesen Geräten der Wärmeübertragungsgrad typischerweise leicht tiefer.

---

[26] Für die Varianz in der Berechnung wurde von einem SPI der Einzelraumgeräte (Normwert mit sauberem Filter) von 0.18…0.30 Wh/m^3 ausgegangen (Basiswert bei 0.24 Wh/m^3). Bei Pendellüften ist dieser Wert infolge geringerer Druckverluste deutlich tiefer (SPI von 0.12…0.25 Wh/m^3 für Doppelgerät verwendet; Basiswert 0.18 Wh/m^3).

[27] Verschiedene Geräte weisen bei reduzierten Volumenströmen ungünstige SPI-Werte auf.

[28] Bei einigen wenigen Geräten ist optional auch eine elektrische Vorwärmung zur Enteisung erhältlich. Damit könnte der Betrieb mit Disbalance und reduzierter Luftqualität vermieden werden, allerdings auf Kosten eines höheren Gerätepreises und erhöhten Strombedarfs.

Bei den Pendellüftern (regenerative Wärmeübertrager typischerweise aus Waben-Keramik) bestehen durch die wechselseitige Durchströmung kaum Probleme mit einer Vereisung. Dafür haben diese Geräte grosse Defizite bezüglich der Druckstabilität (da mit Axialventilatoren aufgebaut) und der Hygiene (wechselseitig angeströmte Filter von geringerer Filterqualität[29]). Aufgrund der wechselseitigen Durchströmung sind diese Geräte auch immer paarweise einzusetzen.

Tabelle 49: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung

Variante / Einflussfaktor	Basissystem, Geräte mit Enthalpie Plattenübertrager	Geräte mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung	Geräte mit regenerativem Wärmespeicher (Pendellüfter)	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 1.8) Bereich: 70-140%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 70-140%	80% (Wert: 1.43) Bereich: 60-105%	1.8 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 14.1) Bereich: 90-130%	110% (Wert: 15.6) Bereich: 95-140%	110% (Wert: 15.7) Bereich: 100-145%	14.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.8) Bereich: 90-120%	100% (Wert: 1.8) Bereich: 90-120%	90% (Wert: 1.65) Bereich: 85-105%	1.8 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 120) Bereich: 85-115%	90% (Wert: 109) Bereich: 80-105%	95% (Wert: 113) Bereich: 85-105%	120 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 5.1) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 4.9) Bereich: 95-105%	95% (Wert: 4.8) Bereich: 90-100%	5.0 CHF /(m^2 a)
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. tiefe Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5% Gefahr der Überfeuchtung; kann bei Sanierungen kritisch sein (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit f_{rsi} ≤ 0.7).	Keine Beeinflussung durch Wärme-übertrager. Höhere relative Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte v.a. im SZ: ca. 20% Geringere Gefahr der Überfeuchtung, daher v.A. bei Sanierungen u.U. geeigneter (Abhängig von der Wärmebrückenfreiheit)	Günstige Beeinflussung im Winter. tiefe Zielwertabweichung *) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5% Gefahr der Überfeuchtung; kann bei Sanierungen kritisch sein (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit f_{rsi} ≤ 0.7).	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Nur bei sehr tiefen Aussentemperaturen Einschränkung bei der Raumluftqualität. Beeinflussung durch Leckagen oder VOC-Übertragung möglich	Je nach Enteisungsstrategie des Gerätes in 5-10% der Heizperiode Einschränkungen bei der Raumluftqualität zu erwarten. **)	Kritischer aufgrund Disbalancen durch Windeinfluss. Insbesondere die Anordnung der beiden Lüftungsgeräte über Eck ist problematisch.	
thermische Behaglichkeit	Bei Geräten mit guter Wärmerückgewinnung kaum Einschränkungen	Je nach Enteisungsstrategie des Gerätes in 5-10% der Heizperiode Einschränkungen bei der therm. Behaglichkeit zu erwarten. **)	Ungünstig durch Inhomogenes Geschwindigkeits- und Temperaturprofil am Zuluftaustritt.	
Akustik	Geräte sollen im Nennbetrieb der Klasse 0 gem. prEN 13142:2018 entsprechen (LWA < 25 dB(A) bei 30m3/h).		Durch An- und Abfahrvorgänge der Lüfter und den 2 Geräten je Zimmer akustisch ungünstigere Situation.	
Instandhaltung / Hygiene	Unterhalt / Reinigung vom Wärme-übertrager kann u.U. aufwendiger sein. Geräte mit Zuluftfilter der Klasse ISO ePM1 ≥ 50% (F7) einsetzen.	Aufwand für Unterhalt / Reinigung vom Kondensatbalauf (oft über Fassade). Geräte mit Zuluftfilter der Klasse ISO ePM1 ≥ 50% (F7) einsetzen.	Ungünstig da Filterqualität bei reversierenden Geräten typischerweise gering (ISO Coarse ≥ 60% / G4) und so nicht normkomform. Zudem wird der Filter wechselseitig durchströmt (Hygienisch ungünstig)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite der Eigenschaften (Effizienz etc.) typischer Einzelraumgeräte.
*) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung.
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³; Details siehe (Sibille, et al., 2015) und (Rojas, et. al., 2015).
**) Typisch sind Enteisungsstrategien, welche bei Vereisungsgefahr die Zuluftmenge reduzieren (Disbalance) bzw. die zeitweise ganz abschalten.

[29] Typischerweise werden bei reversierenden Geräten nur Filterqualitäten von ISO Coarse ≥ 45% / G3 bis ISO Coarse ≥ 60% / G4 angeboten. Diese Filterqualitäten erfüllen die Anforderungen gemäss SIA 382/5:2021 nicht.

6.4.5 Folgerungen für die Planung

Aus der Analyse der verschiedenen Themen und Relevanzen für die verschiedenen Parameter wie in Tabelle 40 können Folgerungen für die Planung bzw. mögliche Stolpersteine aufgezeigt werden.

Ein gutes Anlagenkonzept mit Einzelraumgeräten verfügt über folgende Eigenschaften:

- Konzept mit Nebenanschlüssen: Um die Badabluft über das Gerät zu führen, einen Gerätestandort ausserhalb vom Schlafzimmer zu ermöglichen (ev. sogar eine Kaskade mit dem Wohnzimmer im Durchströmbereich) und die Anzahl Geräte zu reduzieren
- Gerät mit bedarfsgerechter Luftmengenregelung (CO_2-geregelt + Stufenschalter)
- Einsatz eines leisen Gerätes. Im Nennbetrieb (30 m^3/h) soll der abgestrahlte Schallleistungspegel der Klasse 0 gem. FprEN 13142:2020 entsprechen (L_{WA} < 25 dB(A)[30])
- Einsatz von hocheffizienten Lüftungsgeräten der Effizienzklasse A+ gemäss (EU-VO Nr. 1254/2014, 2014) mit Feuchterückgewinnung[31]
- Gerät mit geringer Empfindlichkeit des Luftstroms auf Druckdifferenzen und geringen Leckagen (Klasse S1 bzw. U2 oder besser gemäss (SN EN 13141-8, 2014))
- Geräte mit Zuluftfiltern der Klasse ISO ePM1 ≥ 50% (F7) und im Minimum jährliche professionelle Filter und Gerätewartung (inkl. Reinigung der Aussenluftgitter).

Gerätewahl:

Bei Konzepten mit Einzelraumlüftungsanlagen ist Wahl des Gerätes von zentraler Bedeutung. Zum einen sind die schalltechnischen Werte des Gerätes bei Nennbetrieb (30 m^3/h je Raum) sehr wesentlich. Ist das Gerät zu laut wird es ausgeschaltet oder nur auf Minimalstufe betrieben, was zu unbefriedigender Luftqualität führt. Kritisch ist dabei insbesondere der Betrieb nachts im Schlafzimmer. In weiteres wichtiges Kriterium ist die Empfindlichkeit des Gerätes auf Druckdifferenzen. Eine gute Klassierung ist hier wichtig, um die Disbalance und damit die Wärmeverluste gering zu halten. Bei der Effizienz der Geräte (elektrische Leistungsaufnahme und Wärmerückgewinnung) existieren grosse Unterschiede zwischen den Geräten. Hier sind daher entsprechende Vorgaben bei der Ausschreibung der Geräte wichtig. Viele Geräte verfügen (zwar oft als Option) über die Möglichkeit einer Bedarfsgerechten Regelung über Luftqualitätssensoren. Diese Möglichkeit sollte in jedem Fall genutzt werden, um den Energiebedarf zu minimieren und die Behaglichkeit zu verbessern (Raumluftfeuchte, Akustik).

Aussenluftfassung / Wartung Unterhalt

Obwohl bei Einzelraumlüftungsanlagen der Standort der Aussenluftfassung (Fassade) stark vorgegeben ist, sind die verfügbaren Spielräume zu nutzen. Insbesondere für die Wartung und Reinigung ist auf eine gute Zugänglichkeit der Aussenluftgitter zu achten (entweder direkt von aussen oder durch die Gerätekonstruktion von innen her zugänglich).

Insbesondere kostengünstige Geräte verfügen zum Teil nicht über Filter der erforderlichen Qualität bezüglich der Filterwirkung (insbesondere Pendellüfter). Das eingesetzte Gerät soll über grosszügig Dimensionierte Filter der Qualität ISO ePM1 ≥ 50 % verfügen. Sehr wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die professionelle Organisation und Durchführung der Filterwartung. Nur so kann ein bestimmungsgemässer, hygienischer und effizienter Betrieb gewährleistet werden.

Bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes ist bei der Aussenluftfassung zu beachten, dass diese nicht an einem Ort mit sommerlicher Stauwärme (z.B. hinter Markisen) erfolgt.

---

[30] Diese Anforderung wird von den meisten am Markt erhältlichen Geräten nicht erfüllt. Die Anforderung ist jedoch wichtig, damit das Gerät im Praktischen Einsatz (nachts im Schlafzimmer) nicht ausgeschaltet wird und damit wirkungslos ist.

[31] Vor allem bei höher gelegenen Standorten. Bei Bauten (v.A. Erneuerungen) mit wesentlichen Wärmebrücken ist der Einsatz einer Feuchterückgewinnung zu überprüfen (Gefahr der Schimmelbildung bei Wärmebrücken mit f_{rsi} ≤ 0.7)

Luftverteilkonzept in der Wohnung:

Bei Einzelraumlüftungsanlagen kann eine Kaskade zwischen mehreren Räumen nur mit einem Nebenanschluss erreicht werden. Diese Möglichkeit ist in jedem Fall in der Planung in Betracht zu ziehen, da Sie Vorteile bezüglich der erforderlichen Anzahl Geräte, dem Gesamtluftvolumenstrom in der Wohnung oder auch der Anordnung der Geräte in schalltechnisch weniger kritischen Bereichen erlaubt. Damit kann das Konzept bezüglich den meisten Beurteilungsparametern optimiert werden (Energie, Ökologie, Behaglichkeit, bei günstiger Anordnung auch Kosten und Akustik).

Luftmengenregelung:

Viele Geräte verfügen (zwar oft als Option) über die Möglichkeit einer Bedarfsgerechten Regelung über Luftqualitätssensoren. Diese Möglichkeiten sollte in jedem Fall genutzt werden, um den Energiebedarf zu minimieren und die Behaglichkeit zu verbessern (Raumluftfeuchte, Akustik).

6.4.6 Anlagenbeispiel

Mit dem nachfolgenden Objektbeispiel mit Einzelraumanlagen sollen die in Tabelle 40 und in den Kapiteln 6.4.1 bis 6.4.4 bewerteten Themen beispielhaft aufgezeigt werden. Damit soll die Einordnung von Anlagen ermöglicht werden und die allenfalls kritischen Punkte des eingesetzten Lüftungskonzeptes aufgezeigt werden.

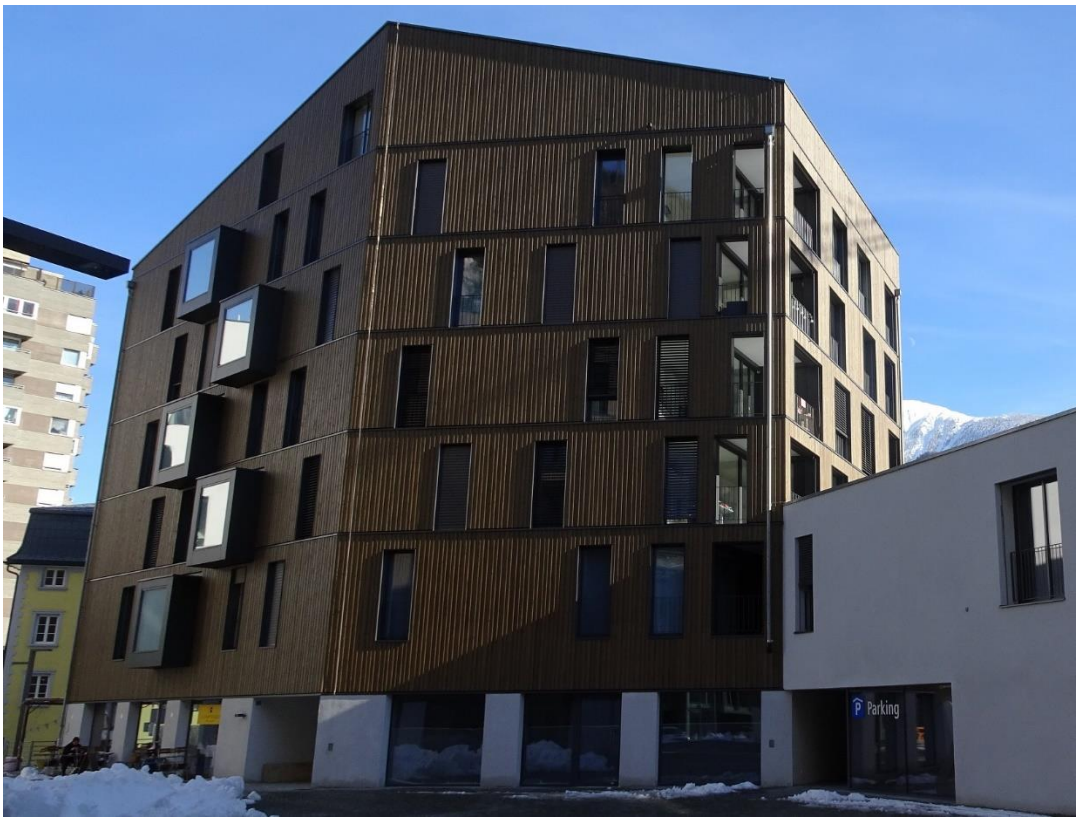


Abbildung 41: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle: HSLU)

Tabelle 50: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung)

Kennwert	Beschrieb / Wert
Jahr des Bezugs	2015
Geschosszahl	6 Wohngeschosse
Wohnungszahl	Total 78 Wohnungen in 5 Gebäuden; Pro Gebäude 9-24 Wohnungen (1.5 bis 4.5 Zimmer)
Nettogeschossfläche (nur Wohnungen)	6369 m^2
Luftverteilkonzept	Einzelraumgeräte in Wohn- und Schlafzimmer Abluft im Bad
Standort Lüftungsgerät	In Wohnung, seitlich neben Fenster eingebaut
Aussenluftfassung	In Fensterleibung (seitlich)
Fortluftauslass	Wohn- / Schlafräume an Fassade (Fensterleibung) Badabluft über Dach
Nennluftmenge	30 m^3/h Zuluft pro Gerät (Stufe 2)
Heizwärmebedarf Gebäude	23 kWh/m^2a gemäss SIA 380/1 Berechnung
Leistungsaufnahme; bei Nennluftmenge (30m^3/h)	0.33 Wh/m^3; gemäss Herstellerangabe
Filterqualität Einzelraumlüftungsgerät	Zuluftfilter: F7, Abluftfilter G3
Schallleistungspegel Einzelraugerät L_{WA}	31.7 dB(A) bei 30 m^3/h; gemäss Herstellerangabe
Wärmerückgewinnungsgrad	max. 62% Datenblattwert, gemäss Herstellerangabe *) Plattentauscher ohne Feuchterückgewinnung

*) ohne Reduktionen für Leckagen etc.; Bezugsvolumenstrom nicht eindeutig deklariert (vermutlich 15 m^3/h)

Folgende Einordnung kann aus den verfügbaren Angaben zum Objekt erfolgen:

- Konzept Badabluft: Die Funktionalität des in diesem Objekt verwendeten Konzeptes führt zu einer erheblichen Disbalance in den Einzelraumgeräten. Dem einwandfreien Zusammenspiel der Badabluft mit den Einzelraumgeräten ist im Konzept und insbesondere in der Ausführung (Einregulierung) grosses Gewicht beizumessen.
- Die Luftverteilung in diesem Objekt erfolgt ohne Kaskade. Zum einen ist das eingesetzte Gerät dafür nicht ausgerüstet (keine Nebenanschlüsse möglich) und zum ist dies auch durch das vorhandene Raumkonzept so nicht vorgesehen.
- Regelung: Die Steuerung des Gerätes funktioniert in diesem Objekt nur über 2-Stufen. Aktuell sind für Einzelraumgeräte mit vertretbarem Mehrpreis Regelungen erhältlich, die auch CO_2-Fühler bzw. Feuchteschutzfühler enthalten. Diese Optionen sollten für aktuelle Projekte genutzt werden.
- Die Lage der Aussenluftfassung im Fensterleibungsbereich ist bei diesem Objekt gut zugänglich für den Unterhalt und Reinigung. Dass die regelmässige, professionelle Wartung der Geräte wichtig ist, zeigten auch die Luftmengenmessungen in diesem Objekt vor und nach dem Filterwechsel (Primas, et al., 2018).
- Das eingesetzte Gerät hat einen Kreuzstromwärmeübertrager ohne Feuchteübertragung. Für Einzelraumgeräte sollten möglichst Enthalpieübertrager zum Einsatz kommen, um die Gefahr von Vereisung und Kondensat zu minimieren, da es bei diesen Geräten schwierig ist eine Enteisungsstrategie zu fahren die keine wesentlichen Einflüsse auf Luftqualität und Behaglichkeit haben.

Auf Basis der Bewertungen in Tabelle 40 sowie den Kennwerten in den Kapiteln 6.4.1 bis 6.4.4 können folgende Einschätzungen zum Objekt gemacht werden:

Tabelle 51: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten

Thema	Bewertung
Gerätekonzept in der Wohnung / Konzept Badabluft	Pro Zimmer (Schlafzimmer, Wohnzimmer) ist ein Gerät seitlich des Fensters montiert. Die Badabluft wird separat über eien Badabluftventilator aus den Bädern abgesaugt.
Lage der Aussenluftfassung	Die Aussenluft für die Einzelraumgeräte wird in der Fensterleibung vor den Markisen gefasst. Durch die dunkle Farbgegebung der Leibung könnte sich im Sommer dennoch eine erhöhte Temperatur der gefassten Aussenluft ergeben. Die Fliegengitter sind gut zugänglich für eine Inspektion und Reinigung.
Regelung/Steuerung	An den Geräten ist ein Folientaster verfügbar mit dem die Lüftungsstufe eingestellt werden kann.
Wärmerückgewinnung Vereisungsschutz	Das Gerät hat einen Kreuzstromwärmeübertrager ohne Feuchterückgewinnung. Das Element hat gemäss Hersteller einen Wärmerückgewinnungsgrad max. 62%. Durch den rel. tiefen Wärmerückgewinnungsgrad ist die Vereisungsgefahr eher gering. Als Option kann eine Frostschutzfunktion eingebaut werden, welche die Zuluftmenge auf die tiefe Stufe reduziert (Disbalance) bzw. ganz abschaltet. Ein separater Kondensatablauf ist im Gerät nicht vorhanden.
Luftverteilkonzept in der Wohnung	In der Wohnung werden alle Zimmer wie auch das Wohnzimmer mit Zuluft versorgt. Ein Konzept mit Kaskade wäre mit dem eingesetzten Gerät nicht realisierbar (kein Nebenanschluss möglich). Aus den Luftmengenmessungen in zwei Wohnungen zeigte sich, das die Luftmenge, Ansteuerung bzw. Einregulierung der Badabluft Optimierungsbedarf hat. Im Betrieb ergeben sich so erhebliche Disbalancen und damit eine erhebliche Reduktion der Wärmerückgewinnung und eine Erhöhung der Zugluftgefahr (Aussenluft tritt zu kalt ein)
Luftmengen	Der Aussenluftvolumenstrom lag in den beiden untersuchten Wohnungen nach dem Filterwechsel pro Gerät zwischen knapp 20 bis 30 m^3/h. Es wurde festgestellt, dass die Abluftmenge am Gerät stark durch den Badabluftventilator beeinflusst wird (Disbalance durch geringere Abluftvolumenstrom über Geräte)
Raumluftqualität	Für dieses Objekt standen keine Luftqualitätsmessungen zur Verfügung
Raumluftfeuchte	Für dieses Objekt standen keine Langzeitmessungen der Raumluftfeuchte zur Verfügung. Bei einer Kurzzeitmessung in 2 Wohnungen wurden keine aussergewöhnlichen Raumbedingungen festgestellt. (Aussentemperatur 7-9°C, Raumluftfeuchte zwischen 35 und 53% bei 22°C)
Filterqualität / Filterwartung	Die eingesetzten Geräte verfügen über gute Zuluftfilter (F7) und eine regelmässige (jährliche) professionelle Wartung ist bei diesem Objekt organisiert. Aus den Luftmengenmessungen zeigte sich, dass dies auch notwendig ist, da die Zuluftmenge vor dem Filterwechsel je nach Raum um 10-62% reduziert war (im Mittel über alle 5 gemessenen Geräte 33%).
Akustik Geräteschall	Für dieses Objekt standen keine Messungen oder Nutzerbefragungen zur Verfügung.

6.5 LK4: Abluftanlage für Dauerbetrieb (mit Abluft-WP)

Bei Abluftanlagen für Dauerbetrieb liegt ein wesentlicher Einfluss im Entscheid, welche Eigenschaften der eingesetzte Aussenluftdurchlass aufweist und wie das Konzept der Regelung über die Wohnung wie auch über das gesamte Gebäude (mit Einbezug der Abwärmenutzung) gelöst wird. In Tabelle 52 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren bewertet.

Tabelle 52: Bewertung der Fragestellungen zu LK 4 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Standort der Lüftungsgeräte (Ventilator und WP)**	**Art der Aussenluftfassung**	**Regelung / Steuerung**	**Wärmerückgewinnung (Gerätekonzept)**	**Luftverteilkonzept in der Wohnung**
Fragestellung	Wo wird das Gerät platziert (Dach / UG)? Im beheizten oder unbeheizten Bereich? Länge der Hauptleitungen. Anteil gedämmte Leitungen.	Wie und wo werden die Aussenluftdurchlässe realisiert? Empfindlichkeit auf Verschmutzung? Ist einfache Reinigbarkeit gegeben? Wie wird Schallübertragung vermieden?	Wie erfolgt die Steuerung/Regelung nach Bedarf in der Wohnung? Wie wird die Luftbilanz gewährleistet ist?	Welche Art der Abwärmenutzung wird eingesetzt?	Mit welchem Konzept erfolgt die Luftverteilung in der Wohnung? Wie hoch sind die Luftvolumenströme?
Merkmale	zus. Bauvolumen, Wärmeverluste und geforderte Wärmedämmung, Materialaufwand, Grösse der Instal-lationszonen, Risiko von Geruchsübertragung, Distanz zur Heizzentrale (für AWN)	Art und Realisierung des Gitters, Lokale Belastung durch Feinstaub und NOx, Belastung durch Gerüche und Lärm am Ansaugstandort, Schall-dämmwert des ALD.	Eigenschaften der eingesetzten Elemente in der Wohnung (ALD / ABL-Ventile, Sensoren). Übergeordnete Regelung der Ventilatoren.	Warmwassererzeugung und/oder Heizungsunterstützung?	Konzept mit bez. ohne Kaskade, Verbundlüftung mit Zuluft im Wohnbereich, Gesamtluftvolumen-strom pro Wohnung
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**				
Betriebsenergie	R: mittel V: gross	R: gering V: gering	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross
Graue Energie	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: mittel	R: gering V: mittel	R: mittel V: gross
Investition	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross
Instandhaltung	R: gering V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gering	R: gering V: mittel	R: mittel V: mittel
Raumluftqualität (CO_2, PM, Gerüche)	R: gering V: gering	R: hoch V: klein	R: hoch V: gross		R: mittel V: gross
Raumluftfeuchte		R: mittel V: gross	R: hoch V: gross		R: hoch V: mittel
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: mittel V: gross		R: mittel V: gross		R: gering V: mittel
Schallschutz von aussen		R: hoch V: gross			R: mittel V: gross
thermische Behaglichkeit		R: hoch V: gross	R: mittel V: mittel		R: mittel V: gross

Aus dieser Analyse ergeben sich insbesondere relevante Einflüsse durch die Wahl und Dimensionierung der Aussenluftdurchlasse auf die erzielbaren Druckverluste (kritischer Parameter), die einfache Wartung (Reinigbarkeit) und die Eigenschaften bezüglich Schalldämmung. Dies beeinflusst wesentlich den Nutzerkomfort (Luftqualität und Akustik) und die Unterhaltskosten.

Die Art wie das Konzept in der Wohnung und insbesondere die Regelung umgesetzt wird, hat einen grossen Einfluss auf die benötigte Betriebsenergie und die erreichbare Raumluftqualität und –Feuchte. Hier ist insbesondere von Bedeutung, dass die Anlage in der Wohnung nur geringe Unterdrücke verursacht.

Beim Standort der Aussenluftdurchlässe besteht auch bei diesem Konzept üblicherweise nur wenig Spielraum. Der Standort und die Zugänglichkeit der Aussenluftfassung hat aber eine grosse Relevanz für die Wartung (Reinigung auch des Aussengitters muss einfach möglich sein) und beeinflusst damit auch wesentlich die Eigenschaften bezüglich der Luftqualität (Luftmengen, Infiltrationen).

Auf die Betriebsenergie hat die Art der Abwärmenutzung einen wesentlichen Einfluss. Für die Nutzung muss eine möglichst gute Korrelation zwischen dem Wärmebedarf und der Abwärmemenge bestehen. Üblicherweise geschieht dies durch die Einbindung in die Warmwassererwärmung da diese einen ganzjährigen Bedarf hat. Es ist aber auch sinnvoll Konzepte zu prüfen die auch ein Teil der Heizwärme erbringen, da damit die Abwärmenutzung optimiert werden kann und das Temperaturniveau für die Heizung meist deutlich tiefer liegt.

In den folgenden Unterkapiteln wird im Detail auf die verschiedenen Einflüsse in den untersuchen Fragestellungen bzw. Konzeptvarianten eingegangen.

6.5.1 Konzeptvarianten zu Abluftanlagen für Dauerbetrieb

Einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebsenergie hat die Wahl des Aufstellungsstandortes der Geräte (Abluftventilator und Abluftwärmepumpe) bei Abluftanlagen. Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 4 verschiedene Lösungsvarianten verglichen:

- Variante 1: Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach.
- Variante 2: Ein Gerät auf dem Dach.
- Variante 3: Ein Gerät pro Steigzone im UG.
- Variante 4: Ein Gerät im UG.

Abbildung 42 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

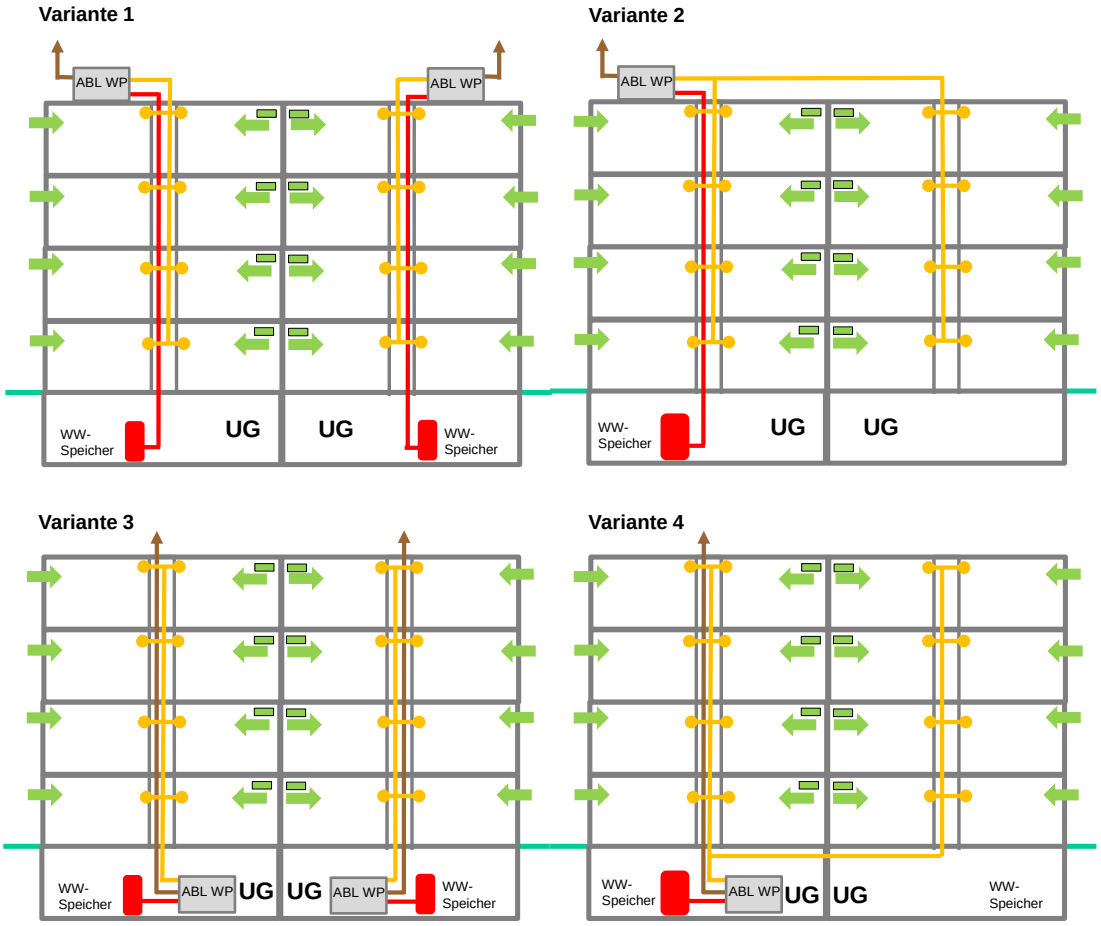


Abbildung 42: Konzeptvarianten für Aufstellungsstandorte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen

Für die Varianten wurde ein Konzept mit Kaskade in der Luftführung berücksichtigt. Dabei werden im Auslegungsfall 30 m³/h pro Zimmer mit Zuluft zugrunde gelegt und entsprechend dimensionierte Aussenluft-

durchlässe berücksichtigt. Die zusätzliche Infiltration durch den Unterdruck in der Wohnung wird in der Abluft berücksichtigt. Dafür wird eine Luftdichtheit des Gebäudes gemäss dem Neubau Zielwert nach SIA 80: 2014 von q_{a50} = 0.6 $m^3/(h\ m^2)$ zugrunde gelegt.

Der Gerätebetrieb wird mit konstanter Luftmenge und einer Abwärmenutzung (WP) für das Warmwasser einbezogen. In der Anlage wird die Wärmepumpe und die Anschlüsse bis zum Warmwasserspeicher mitberücksichtigt, nicht jedoch der Speicher selbst (auch ohne Lüftungsanlage erforderlich). In der Betriebsenergie wird der Strombedarf der Wärmepumpe nicht berücksichtigt. Mit dieser Art der Wärmerückgewinnung kann 30-40% der verfügbaren Abwärme der Lüftung in der Wärmepumpe genutzt werden. Die erwartete Arbeitszahl liegt im Bereich von 2.6 bis 3.4[32] und ist vor allem abhängig von der Güte der Wärmepumpe und der Ladetemperatur, die im Betrieb gefahren wird.

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 53 zusammengestellt.

Tabelle 53: Vor/Nachteile der Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen

Variante:	Vorteile	Nachteile
Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Kurze Leitungslängen für FOL und gedämmter Anteil vor Abwärmenutzung sehr kurz. Geringe Druckverluste, dadurch geringer Stromverbrauch. Kein Platzbedarf im UG.	Mehrere Geräte für Aussenaufstellung nötig (wenn kein unbeheizter Dachraum vorhanden) dadurch höhere Kosten, Graue Energie für Geräte. Einbindung der Abwärmenutzung aufwendiger wenn WW-Speicher nicht separat pro Steigzone.
Ein Gerät auf dem Dach	Grössere Anlage dadurch geringer Aufwand Graue Energie und Investitionskosten. Kein Platzbedarf im UG.	FOL Leitungen auf Dach bis zur Steigzone sind gut zu dämmen (Verluste). Gerät für Aussenaufstellung nötig (wenn kein unbeheizter Dachraum vorhanden). Höhere Druckverluste als bei Anlage pro Steigzone dadurch höhere Stromverbrauch.
Ein Gerät pro Steigzone im UG	Einfache Zugänglichkeit für Wartung. Kurze Leitungen für Anschluss an WW-Speicher. Günstige Platzierung für kurze horizontale Leitungen für ABL/FOL möglich (wenn Technikraum in Schachtnähe).	Raumbedarf im UG. Lange, gedämmte Verrohrung für FOL erforderlich (Graue Energie, Investitionskosten, Wärmeverluste). Bei über Dach geführter FOL grösserer Schachtflächenbedarf. Mehrere Geräte nötig dadurch höhere Kosten, Graue Energie für Geräte. Einbindung der Abwärmenutzung aufwendiger wenn WW-Speicher nicht separat pro Steigzone.
Ein Gerät im UG	Einfache Zugänglichkeit für Wartung. Kurze Leitungen für Anschluss an WW-Speicher.	Raumbedarf im UG. Horizontale Leitungsführung im UG erfordert erheblicher Koordinationsaufwand (meist div. Nutzungen / Brandabschnitte etc.). Oft lange, gedämmte Verrohrung für FOL erforderlich (Graue Energie, Investitionskosten, Wärmeverluste). Bei über Dachgeführter FOL grösserer Schachtflächenbedarf.

Tabelle 54 zeigt die Resultate der Konzeptvarianten für die Anlagenaufstellungsorte der Abluftanlagen für Dauerbetrieb. Für die Einflussfaktoren Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen erfolgt dabei eine quantitative Einschätzung. Für weitere Einflussfaktoren (Behaglichkeit / Luftqualität, Akustik sowie Instandhaltung/Hygiene) erfolgt eine Bewertung über Eignungskriterien bzw. Handlungsempfehlungen.

Die Bewertungen für die Betriebsenergie, die Graue Energie und den Raumbedarf in Tabelle 54 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen. In dieser Berechnung wurde die Wohnungsgrösse nicht verändert (alles 3.5-Zimmer Wohnungen mit 90 m^2 Wohnfläche). Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Aussenluftdurchlass ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch Kapitel 4.4). Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus dem Anhang Kapitel 13.1 zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

Bei den derzeit erhältlichen Aussenluftdurchlässen ist die Spanne bezüglich der Einbauart, den Lufttechnischen Eigenschaften (Druckverluste) und vor allem der Filterqualität gross. Nur wenige Geräte erfüllen die Anforderungen an die Filterqualität des AUL-Filters (ISO ePM1 ≥ 50 % / F7) für den Einsatz in belasteter

[32] Der obere Wertebereich kann z.B. mit Geräten mit Direktverdampfer erreicht werden, wenn die Wärme primär für des Vorwärmung des Warmwassers genutzt wird.

Aussenluft (AUL 2). Um die erforderliche Luftmenge zu erreichen sind daher normalerweise zwei Aussenluftdurchlässe pro Raum erforderlich.

Tabelle 54: Bewertung der Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen

Variante / Einflussfaktor	Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Ein Gerät auf dem Dach	Ein Gerät pro Steigzone im UG	Ein Gerät im UG	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 90-110%	115% (Wert: 1.10) Bereich: 95-150%	115% (Wert: 1.10) Bereich: 95-165%	145% (Wert: 1.38) Bereich: 105-220%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24.0 Bereich: - (gering)	100% (Wert: 24.4) Bereich: 100-105%	105% (Wert: 24.8) Bereich: 100-105%	100% (Wert: 24.4) Bereich: 100-105%	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.38) Bereich: 95-100%	85% (Wert: 1.19) Bereich: 80-90%	100% (Wert: 1.39) Bereich: 95-110%	85% (Wert: 1.21) Bereich: 80-95%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 60) Bereich: 95-105%	85% (Wert: 52) Bereich: 80-95%	100% (Wert: 61) Bereich: 95-115%	90% (Wert: 53) Bereich: 80-100%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: 100-105%	90% (Wert: 2.9) Bereich: 90-95%	105% (Wert: 3.4) Bereich: 105-110%	95% (Wert: 3.0) Bereich: 90-95%	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.0101) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 0.0101) Bereich: - (gering)	610% (Wert: 0.0614) Bereich: 435-440%	410% (Wert: 0.0415) Bereich: 300-310%	0.01 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.003) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 0.003) Bereich: 95-105%	365% (Wert: 0.011) Bereich: 350-380%	255% (Wert: 0.008) Bereich: 245-265%	0.003 m^3/m^2
Behaglichkeit / Luftqualität	Lokal eingeschränkte Behaglichkeit (kalte ZUL). Strömungstechnisch günstige Elemente sind zu wählen und auf richtige Platzierung ist zu achten. Bezüglich der Güte der eingesetzten Filter des ALD ist die Regelung gem SIA 2023, Ziff. 6.7.3 zu erfüllen.				
Akustik Aussenluftdurchlass	Die Eignung der akustischen Eigenschaften des ALD muss für die jeweilige Aussenlärmsituation projektspezifisch nachgewiesen werden. Die Standard-Schallpegeldifferenz einer Fassade kann durch einen ALD um rund 5dB reduziert sein. Im Regelfall, bei Lärmpegeln bis 60dB(A) am Tag sollten erhöhte Anforderungen an den Lärmschutz gemäss SIA 181 mit handelsüblichen ALD erreichbar sein. Zusammen mit den schalltechnischen Eigenschaften des ALD sind jedoch immer auch die zugehörigen Druckverluste zu beachten (Anforderung max. 4 Pa Druckverlust über ALD bei Nennluftmenge mit Filter).				
Akustik Abluftanlage	Schalldämmung (Luftschall und Körperschall) v.A. gegenüber oberster Wohnung muss erfüllt werden.				
Instandhaltung/Hygiene Aussenluftdurchlass	Gute Zugänglichkeit und einfache Reinigbarkeit der Aussenluftgitter muss gewährleitet sein. Die eingesetzten Aussenluftdurchlässe müssen über einen geeigneten Luftfilter verfügen (Anforderung abhängig von Aussenbedingungen) und dürfen kein bauphysikalisches Risiko aufweisen (Kriterien für Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit nach SIA 180:2014 müssen erfüllt werden).				
Instandhaltung/Hygiene Abluftanlage	Gute Zugänglichkeit für Service beachten; kein erschwerter Dachzugang **)				

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Für die Berechnung wird eine Abwärmenutzung mit einer Wärmepumpe für das Brauchwarmwasser einbezogen.
*) Raumbedarf für Abluftanlage mit Wärmepumpe gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt.
Bei den Varianten mit Dachaufstellung wurde kein Raumbedarf für die Abluftanlage mit Wärmepumpe einbezogen.
**) Dachzugang muss ohne Verwendung von Persönlicher Schutzausrüstung (Klettergurt, Sicherungsseil) ermöglicht werden.

Da die Wohnungsgrösse einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate bei den quantitativen Kennwerten hat (Bezug: m^2 Energiebezugsfläche) wurden die fünf Lösungsvarianten auch für ein Gebäude mit 4.5-Zimmer Wohnungen (je 120 m^2 Wohnfläche) und ein Gebäude mit 2.5-Zimmer Wohnungen (je 60 m^2 Wohnfläche) berechnet. In dieser Berechnungsvariante wurden nur diese Parameter verändert, welche sich durch die grösseren Wohnungen ergeben (z.B. grössere Abluftmenge bei 2 Bädern) oder sich über die Zimmerzahl definieren (Anzahl Luftauslässe, Volumenströme).

Tabelle 29 zeigt die quantitativen Resultate die Varianz der Wohnungsgrösse für die Konzeptvarianten für die Anlagenaufstellungsorte der Abluftanlagen für Dauerbetrieb.

Tabelle 55: Variation der Wohnungsgrösse für Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen

Variante / Einflussfaktor	Ein Gerät auf dem Dach	Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach	Ein Gerät im UG	Ein Gerät pro Steigzone im UG	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-120%	115% (Wert: 1.1) Bereich: 105-160%	115% (Wert: 1.1) Bereich: 105-160%	145% (Wert: 1.38) Bereich: 125-225%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24) Bereich: 100-120%	100% (Wert: 24.4) Bereich: 100-120%	105% (Wert: 24.8) Bereich: 105-120%	100% (Wert: 24.4) Bereich: 100-120%	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.4) Bereich: 85-145%	85% (Wert: 1.21) Bereich: 70-125%	100% (Wert: 1.42) Bereich: 85-145%	90% (Wert: 1.25) Bereich: 75-125%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	105% (Wert: 62) Bereich: 90-150%	90% (Wert: 55) Bereich: 80-130%	105% (Wert: 64) Bereich: 90-155%	95% (Wert: 56) Bereich: 80-135%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: 90-150%	90% (Wert: 2.9) Bereich: 80-140%	105% (Wert: 3.4) Bereich: 90-160%	95% (Wert: 3.1) Bereich: 85-145%	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte *)	100% (Wert: 0.0099) Bereich: 100-145%	100% (Wert: 0.0099) Bereich: 100-145%	605% (Wert: 0.0611) Bereich: 540-915%	410% (Wert: 0.0412) Bereich: 370-615%	0.01 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	95% (Wert: 0.003) Bereich: 85-135%	95% (Wert: 0.003) Bereich: 85-135%	350% (Wert: 0.011) Bereich: 285-505%	245% (Wert: 0.007) Bereich: 205-350%	0.003 m^3/m^2

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Für die Berechnung wird eine Abwärmenutzung mit einert Wärmepumpe für das Brauchwarmwasser einbezogen.
Der Angegebene Wertebereich bezieht sich in dieser Aufstellung auf die Variation der Wohnungsgrössen.
Die hohen Werte bilden überwiegend die 2.5-Zimmer Wohnungen ab, die tiefen primär 4.5-Zimmer Wohnungen und z.T auch 3.5-Zimmer Wohnungen
*) Raumbedarf für Abluftanlage mit Wärmepumpe gemäss SIA 382/1: 2014 Kapitel A.2.1 ermittelt. Für ALD Raumbedarf für Revision einbezogen.
Bei den Varianten mit Dachaufstellung wurde kein Raumbedarf für die Abluftanlage mit Wärmepumpe einbezogen.

6.5.2 Anordnung und Einfluss der Aussenluftdurchlässe

Bei Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen besteht nur wenig Spielraum bezüglich der Anordnung der Aussenluftdurchlässe. Meist ist es nicht möglich die Fassade, an der die Aussenluft gefasst wird zu wählen (z.B. um Fassaden mit sommerlicher Stauwärme zu meiden). In der Planung ist insbesondere die Zugänglichkeit der Aussenluftdurchlässe für Service und Reinigung zu beachten. Standorte welche eine Beeinträchtigung durch Gerüche (Rauch, Grill etc.) erwarten lassen sollen möglichst vermieden werden (z.B. in der Nähe von Balkonen/Terrassen benachbarten Wohnungen). Dies erfordert oft eine Abwägung zwischen guter Zugänglichkeit und geringer Fremdbeeinflussung.

Bei Gebäudelagen an stärker belasteten Standorten (AUL 2 oder schlechter nach SIA 382/1: 2014) ist eine schnellere Verschmutzung der Filter und Aussenluftelemente zu erwarten. Da Aussenluftdurchlässe empfindlich auf Verschmutzungen reagieren (erhebliche Beeinflussung des Zuluftvolumenstrom) wird dies ein erhöhtem Wartungsaufwand erfordern, um den bestimmungsgemässen Betrieb der Anlage aufrecht zu erhalten. Auch sind in diesem Fall Durchlässe, die mit einer Filterqualität des ALD von ISO ePM1 ≥ 50 % / F7 einzusetzen. Solche Produkte sind nur bei wenigen Herstellern erhältlich.

Für die nachfolgende Analyse wurden 3 verschiedene Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung im Fensterbereich (Sturz / Laibung), unbelasteter Standort
- Variante 2: AUL Fassung im Fensterbereich (Sturz / Laibung), belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall jeweils ein Fall mit einfachem Unterhalt (gute Zugänglichkeit und Reinigbarkeit der Elemente) sowie ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen für den Unterhalt (erhöhter Aufwand) untersucht. Im Basisfall unterscheidet sich Variante 1 und 2 primär durch die schnellere Verschmutzung der Filter (im Betrieb höherer Druckverlust) und dem höheren Reinigungsintervall (als Basis 2x jährlich angenommen).

Mit Variante 3 wird eine Lösungsvariante mit einer AUL Fassung in der Fensterleibung dargestellt, welche eine gewisse Flexibilität bezüglich dem Gerätestandort bietet und ein guter Zugang der AUL-Gitter für die Reinigung gewährleistet.

Abbildung 38 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

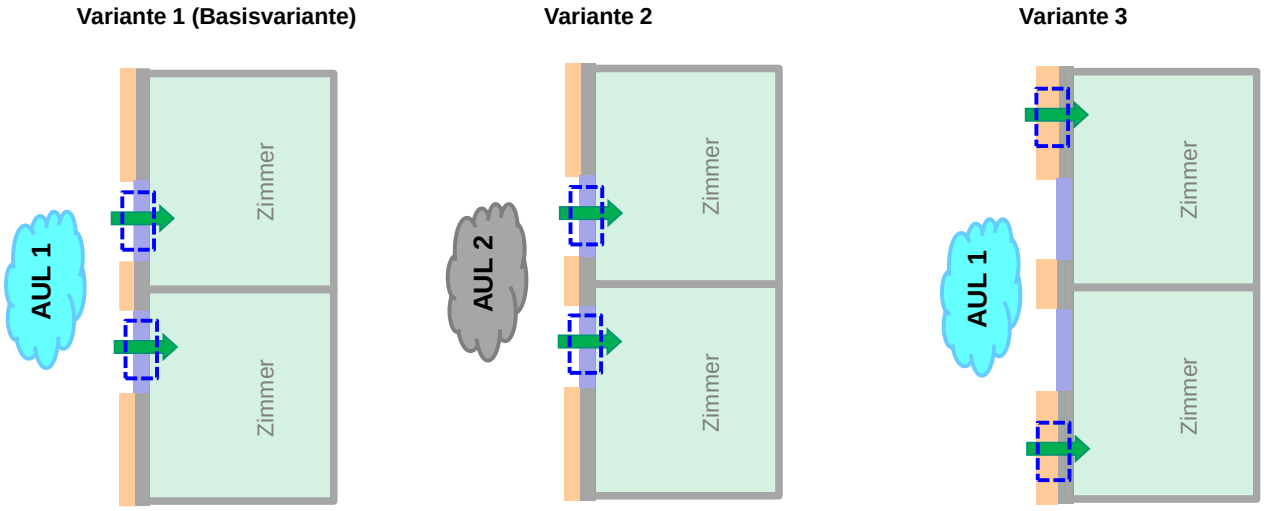


Abbildung 43: Lösungsvarianten zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 44 zusammengestellt.

Tabelle 56: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftdurchlässe bei Abluftanlagen

Variante:	Vorteile	Nachteile
AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, unbelasteter Standort (wie Basisvariante)	Meist gute Zugänglichkeit der AUL-Gitter. Fassadengestaltung wird nicht wesentlich durch Aussenluftdurchlass beeinträchtigt.	Je nach System grösserer Aufwand bei Erstellung (v.A. bauliche Arbeiten und Koordination). Je nach Ausführung stärkere thermische Schwächung der Fassade (Wärmebrücke). Der aussenliegende Sonnenschutz dürfen den Luftaustausch nicht behindern (muss in Planung berücksichtigt werden).
AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, belasteter Standort (AUL 2)	Meist gute Zugänglichkeit der AUL-Gitter. Fassadengestaltung wird nicht wesentlich durch Aussenluftdurchlass beeinträchtigt.	Zusätzlich stark erhöhter Wartungsaufwand (Reinigung / Filterwechsel). Gefahr von grösseren Unterdrücken / Infiltration im Betrieb. Dadurch schlechtere Raumluftqualität. Mehrkosten durch die erforderliche bessere Filterqualität (ISO ePM1 50 %)
AUL Fassung an Fassade, unbelasteter Standort	Einfach realisierbar, da wenig Schnittstellen mit anderen baulichen Arbeiten.	Zugänglichkeit der AUL-Gitter ist erschwert (in jährlichem Service nur von innen und u.U. mit erhöhtem Zeitaufwand zugänglich).

Tabelle 45 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung der Einzelraumanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Raumluftqualität, Behaglichkeit) als qualitative Einschätzung mit Angabe der Ausschlusskriterien. Ebenfalls über Eignungskriterien bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung weiterer Einflussfaktoren mit hoher oder mittlerer Relevanz (Betriebsenergie, Graue Energie, Investition, Instandhaltung/Hygiene).

Tabelle 57: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftdurchlässe bei Abluftanlagen

Variante / Einflussfaktor	AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, unbelasteter Standort	AUL Fassung in Fenstersturz oder Fensterverbreiterung, belasteter Standort (AUL 2)	AUL Fassung an Fassade, unbelasteter Standort	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 24.0) Bereich: - (gering)	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.38) Bereich: 95-110%	130% (Wert: 1.79) Bereich: 120-140%	100% (Wert: 1.39) Bereich: 95-110%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 60) Bereich: 95-115%	105% (Wert: 62) Bereich: 95-120%	95% (Wert: 57) Bereich: 90-110%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: 90-130%	180% (Wert: 5.8) Bereich: 160-225%	110% (Wert: 3.5) Bereich: 100-140%	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Hohe Empfindlichkeit der Luftqualität auf Störungen (z.B. offene Fenster). Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	Reinigung und Filterwechsel ist 2x jährlich erforderlich. Ungenügende Wartung führt zu stark reduzierten Zuluftmengen und damit ungenügender Luftqualität. Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	Hohe Empfindlichkeit der Luftqualität auf Störungen (z.B. offene Fenster). Erhöhte Gefahr von Geruchsbelastung in Fällen wo in der unterhalb liegenden Wohnung am offenen Fenster geraucht wird.	
Behaglichkeit / Sommerlicher Wärmeschutz	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Bereiche mit sommerlicher Stauwärme und Beeinflussung durch den Sonnenschutz sind zu meiden. Dunkle Fassadenfarben und Markisen meiden.	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Bereiche mit sommerlicher Stauwärme und Beeinflussung durch den Sonnenschutz sind zu meiden. Dunkle Fassadenfarben und Markisen meiden.	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluftgefahr). Fassaden mit sommerlicher Stauwärme und dunklen Fassadenfarben meiden.	
Instandhaltung/Hygiene	Gute Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter für Unterhalt ist zu gewährleisten (Sichtbarkeit für Inspektion und Erreichbarkeit für Reinigung)	Gute Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter für Unterhalt ist zu gewährleisten (Sichtbarkeit für Inspektion und Erreichbarkeit für Reinigung). Einsatz von Filter der Qualität ISO ePM1 50 %.	Für Reinigung muss Zugänglichkeit zum Aussenluftgitter von der Raumseite möglichst einfach gewährleistet sein (Gitter von aussen oft schwer zugänglich)	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite für den Arbeitsaufwand für den Unterhalt (Reinigung / Filterwechsel).
Zudem wird eine Spannbreite für die Kosten und Materialisierung der Aussenluftdurchlässe einbezogen.

Die Bewertungen für den Raumbedarf in Tabelle 45 basieren auf Berechnungen für ein 4-stöckiges Gebäude mit insgesamt 16 Wohnungen (3.5 Zimmer Wohnungen). Details zu den verwendeten Daten und Annahmen sind aus dem Anhang Kapitel 13.2 zu entnehmen.

6.5.3 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Einen relevanten Einfluss auf die Betriebsenergie hat die Art der Gerätesteuerung bzw. die Regelung der Luftmengen. Durch eine bedarfsgeführte Betriebsweise kann auch die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst werden. Bei einer nicht angepassten Betriebsweise wird neben der Raumluftfeuchte auch die Raumluftqualität ungünstig beeinflusst. Dies kann sowohl Überlüftung (im Winter zu trocken) als auch zu geringe Luftmengen (zu geringe Feuchteabfuhr, schlechte Luftqualität) bedeuten. Da Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen aufgrund der grossen Druckabhängigkeit eine geringe Robustheit im Betrieb aufweisen (leichte Beeinflussbarkeit durch Störgrössen), kann auch ein im Grundsatz gut funktionierende Regelstrategie zu Problemen im Betrieb führen (verminderte Luftqualität, Zuglufterscheinungen). Insbesondere könne die Nutzer auch einen grossen Einfluss darauf haben, wie der Fall eines gekippten Fensters zeigt, der das Lüftungskonzept in der Wohnung komplett infrage stellt.

Für alle Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen. Dies ist je nach System auch wesentlich für eine gute Funktionalität der Regelung. Für die nachfolgende Analyse wurden die folgenden 4 Varianten untersucht:

- Variante 1: Basissystem mit Konstantbetrieb, Referenzvariante
- Variante 2: Feuchteregelung der ALD und der Abluftventile
- Variante 3: Bedarfsgeführtes Abluftelement
- Variante 4: Bedarfsgeführter dezentraler Abluftventilator

Abbildung 39 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

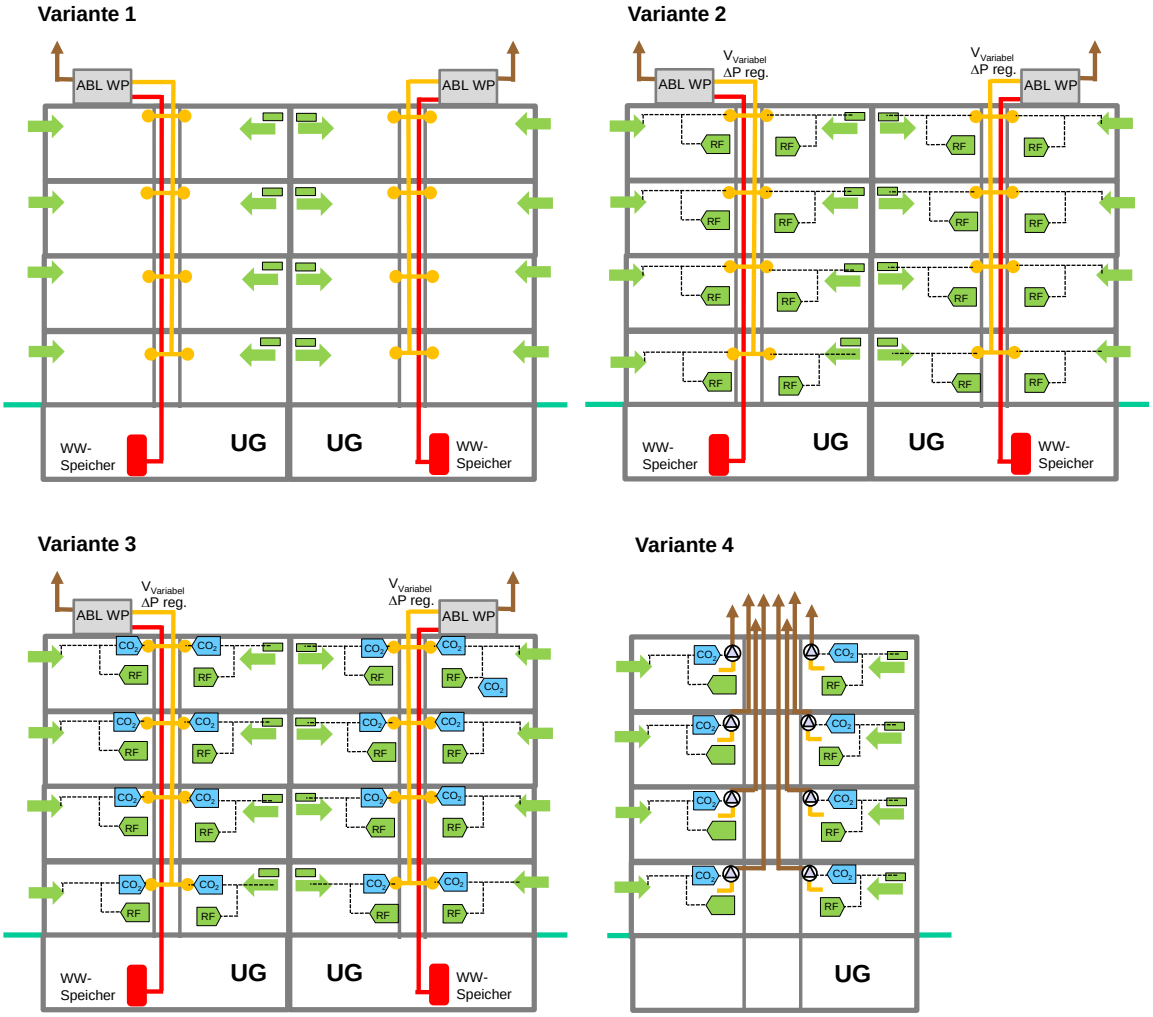


Abbildung 44: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Abluftanlagen

Bei den Abluftanlagen wird die bedarfsgerechte Regelung üblicherweise zum einen über Feuchtegesteuerte Aussenluftdurchlässe und andererseits durch Feuchte- oder CO_2-geregelte Abluftventile erbracht. Bei allen Anlagen, welche über eine Regelung der Luftmengen verfügen, muss der Abluftventilator einen konstanten Differenzdruck vorhalten damit die Regelung der Elemente überhaupt erfolgen kann. Als Spezialfall wird zudem ein System mit einem wohnungsweisen Abluftventilator betrachtet, der über Feuchte und CO_2 geregelt wird. Dieses System wird üblicherweise ohne Abwärmenutzung eingesetzt, kann aber für kleinere Gebäude eine Option für die Realisierung sein.

Bezüglich der Raumluftqualität eher kritisch zu sehen sind feuchtegeregelte Aussenluftdurchlässe, da damit u.U. keine ausreichende Frischluftzufuhr erfolgt.

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 58: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen zusammengestellt.

Tabelle 58: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante:	Vorteile	Nachteile
Basissystem mit Konstantbetrieb, Referenzvariante	Einfach und im Vergleich zu den anderen Varianten relativ robustes Betriebsverhalten.	Ungünstig bezüglich Raumluftfeuchte im Winter. Keine Bedarfsgerechte Steuerung der Luftmengen. Ungünstiger bezüglich Zuglufterscheinungen.
Feuchteregelung der ALD und der Abluftventile	Anpassung der Luftmenge an die Raumluftfeuchte in gewissem Bereich. Dadurch günstiger bezüglich Raumfeuchte und Betriebsenergiebedarf.	Mehrkosten für entsprechend ausgerüstete Bauteile (ALD und Abluftventil). Nur Sensitivität bezüglich Feuchte, dadurch kann Luftqualität je nach Situation ungünstig beeinflusst werden (Mindestluftmenge kann auch bei Raumnutzung deutlich unterschritten werden). Kaum entsprechende ALD-Elemente mit ausreichenden Luftfiltern erhältlich (Elemente besitzen meist keine eingebauten Filter). Erhöhter Wartungsaufwand für Funktionsprüfung der Elemente.
Bedarfsgeführtes Abluftelement	Bedarfsanpassung der Abluftmenge an die Raumluftfeuchte in gewissem Bereich und zusätzlich durch CO_2-gesteuerte Lüftungsstufen. Dadurch günstiger bezüglich Raumfeuchte, Luftqualität und Betriebsenergiebedarf.	Mehrkosten für entsprechend ausgerüstete Bauteile (Abluftventil). Sensitivität und Funktionalität ist stark abhängig von der richtigen Auslegung der verschiedenen Bauteile. Typischerweise nur 2-stufige Ansteuerung (Grund- / Intensivlüftungsstufe) der Luftqualitätsteuerung. Durch Überwachung nur in der Abluft ist das System nur funktional bei Kaskadenlüftung (Wohnzimmer im Durchströmbereich). Erhöhter Wartungsaufwand für Funktionsprüfung der Elemente.
Bedarfsgeführter dezentraler Abluftventilator	Bedarfsanpassung der Abluftmenge an die Raumluftfeuchte (mit mehreren Fühlern) und zusätzlich durch CO_2-gesteuerte Lüftungsstufen. Dadurch günstiger bezüglich Raumfeuchte, Luftqualität. Installation günstig bei nicht kompakten Gebäudegrundrissen (ohne zentrale Steigzone für mehrere Wohnungen).	System ermöglicht keine Wärmerückgewinnung (mit verhältnismässigem Aufwand). Dadurch bezüglich dem Einsatz auf kleine Gebäude (<1000 m^2/h Abluft) beschränkt *). Geringe Ventilatoreffizienz. Mehrkosten für Wohnungsweise Fortluftführung. Sensitivität und Funktionalität ist stark abhängig von der richtigen Einstellung der verschiedenen Bauteile. Durch Überwachung nur in der Abluft ist das System nur funktional bei Kaskadenlüftung (Wohnzimmer im Durchströmbereich). Erhöhter Wartungsaufwand für Funktionsprüfung des Elementes.

*) Alternativ müsste nach MuKEn die energetische Geleichwertigkeit zu einer Lösung mit Abwärmenutzung nachgewiesen werden können.

Tabelle 59 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Abluftanlagen für die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Betriebsenergie, Raumluftfeuchte) als quantitative bzw. qualitative Einschätzung. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer oder geringer Relevanz (Investition, Instandhaltung, Raumluftqualität, Behaglichkeit, Schallschutz Lüftungsgeräusche).

Tabelle 59: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

Variante / Einflussfaktor	Basissystem mit Konstantbetrieb, Referenzvariante	Feuchteregelung der ALD und der Abluftventile	Bedarfsgeführtes Abluftelement	Bedarfsgeführter dezentraler Abluftventilator	Kennwert (100%)
Abwärmenutzung für Warmwasser *)	100% (Wert: 45%) Bereich: n.V. **)	115% (Wert: 50%) Bereich: 110-120%	135% (Wert: 60%) Bereich: 130-145%	0% (Wert: 0%) Bereich: n.V. **)	45% der Abwärme
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 95-105%	70% (Wert: 0.67) Bereich: 60-85%	50% (Wert: 0.46) Bereich: 40-60%	40% (Wert: 0.38) Bereich: 30-55%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24.0) Bereich: n.V. **)	85% (Wert: 20.4) Bereich: 80-90%	70% (Wert: 16.9) Bereich: 65-75%	70% (Wert: 16.8) Bereich: 65-75%	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.38) Bereich: 95-100%	100% (Wert: 1.39) Bereich: 95-100%	100% (Wert: 1.39) Bereich: 95-100%	90% (Wert: 1.25) Bereich: 85-95%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 60) Bereich: 95-105%	105% (Wert: 64) Bereich: 100-115%	120% (Wert: 71) Bereich: 110-125%	95% (Wert: 57) Bereich: 85-105%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: 100-105%	115% (Wert: 3.7) Bereich: 115-130%	110% (Wert: 3.5) Bereich: 105-115%	110% (Wert: 3.6) Bereich: 110-120%	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Problemlos solange keine Fenster offen oder gekippt sind	Feuchteregelung kann Raumluftqualität ungünstig beeinflussen.	Günstig, wenn Einstellung und Wartung der Sensoren korrekt ausgeführt.	Günstig, wenn Einstellung und Wartung der Sensoren korrekt ausgeführt.	
Raumluftfeuchte	Ungünstig, da keine Bedarfsanpassung.	Luftmenge wird dem Feuchteanfall angepasst.	Günstig, Luftmenge wird dem Feuchteanfall angepasst.	Günstig, Luftmenge wird dem Feuchteanfall angepasst.	
Behaglichkeit	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit in Auslassnähe (Zugluft).	Günstigere Beurteilung bez. Behaglichkeit als Basisvariante	Günstigere Beurteilung bez. Behaglichkeit als Basisvariante	Günstigere Beurteilung bez. Behaglichkeit als Basisvariante	
Akustik: Schallschutz Lüftungsgeräusche	Da dauernder Betrieb mit Nennluftvolumenstrom ungünstig.	Günstigere Beurteilung da Luftmenge zeitweise reduziert.	Bei Elementen mit Stufenschaltung können Stufenwechsel störend sein	Durch Ventilatorelement innerhalb Wohnraum ev. kritisch bez. Geräuschen	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite für den erwarteten Einfluss der gewählten Bedarfsregelung
Zudem wird eine Spannbreite der Kosten und des Materialaufwandes der Regel- / Steuerelemente einbezogen.
*) Durch die Bedarfsregelung wird der nutzbare Anteil der Abwärme aus der Abluft beeinflusst. Daher wird sie ausgewiesen, Variante 4 hat keine Abwärmenutzung.
**) Ohne wesentliche Variation (daher ohne Angabe)

Die Bewertungen für die Betriebsenergie Strom und Wärme in Tabelle 59 basieren auf Berechnungen die sich an den Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) anlehnen. Es wird von einer guten Auslegung der Anlage bezüglich der Druckverluste und dem Lüftungsgerät ausgegangen damit die Gesamtanlage eine hohe Effizienz erreicht (Vergleiche auch 4.4.1).

Die Details zu den verwendeten Daten und Annahmen, die für die Ermittlung der quantitativen Kennwerte führen sind aus Kapitel 13.4 im Anhang in zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind weitere Indikatoren zur Bewertung der Ökologie aufgeführt (hier wird nur die Graue Energie als Indikator aufgeführt).

6.5.4 Luftverteilkonzept und Art der Abwärmenutzung

Das verwendete Luftverteilkonzept in der Wohnung hat über den Abluftvolumenstrom einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebsenergie und damit auch auf die Abwärmenutzung. Daher werden diese beiden Punkte in diesem Kapitel gemeinsam betrachtet. Über die notwendige Gesamtluftmenge hat dieser Entscheid aber auch einen relevanten Einfluss auf die benötigte Wärmeenergie.

Durch eine geeignete Luftführung (Kaskade) wird die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst, da nur die wirklich benötigte Zuluft in die Wohnung eingebacht wird. Je nach Konzept werden weitere Faktoren wie Investitionen und Graue Energie (über die verbauten Elemente und Luftleitungen), Instandhaltung (z.B. wenige Elemente). Die Abwärme, kann über die Abluftwärmepumpe für Warmwasser oder auch Heizung genutzt werden. Je nach Betriebskonzept beim Warmwasser (Ladetemperatur) und erforderlicher Vorlauftemperatur bei der Heizung kann ein kleinerer oder grösserer Anteil der Abwärme aus der Abluft genutzt werden. Dieser Anteil ist auch von der effektiv verfügbaren Abluftmenge abhängig. Daher wird die Abwärmenutzung in der Variantenbetrachtung gemeinsam mit dem Luftverteilkonzept betrachtet. Für die nachfolgende Analyse wurden 2 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung und 2 Varianten der Abwärmenutzung untersucht:

- Variante 1: Verteilsystem mit Kaskade, Abwärmenutzung für Warmwasser, Referenz
- Variante 2: Verteilsystem ohne Kaskade, Abwärmenutzung für Warmwasser
- Variante 3: Verteilsystem mit Kaskade, Abwärmenutzung für Heizung und Warmwasser
- Variante 4: Verteilsystem ohne Kaskade, Abwärmenutzung für Heizung und Warmwasser

Abbildung 45 zeigt die untersuchten Lösungsvarianten schematisch.

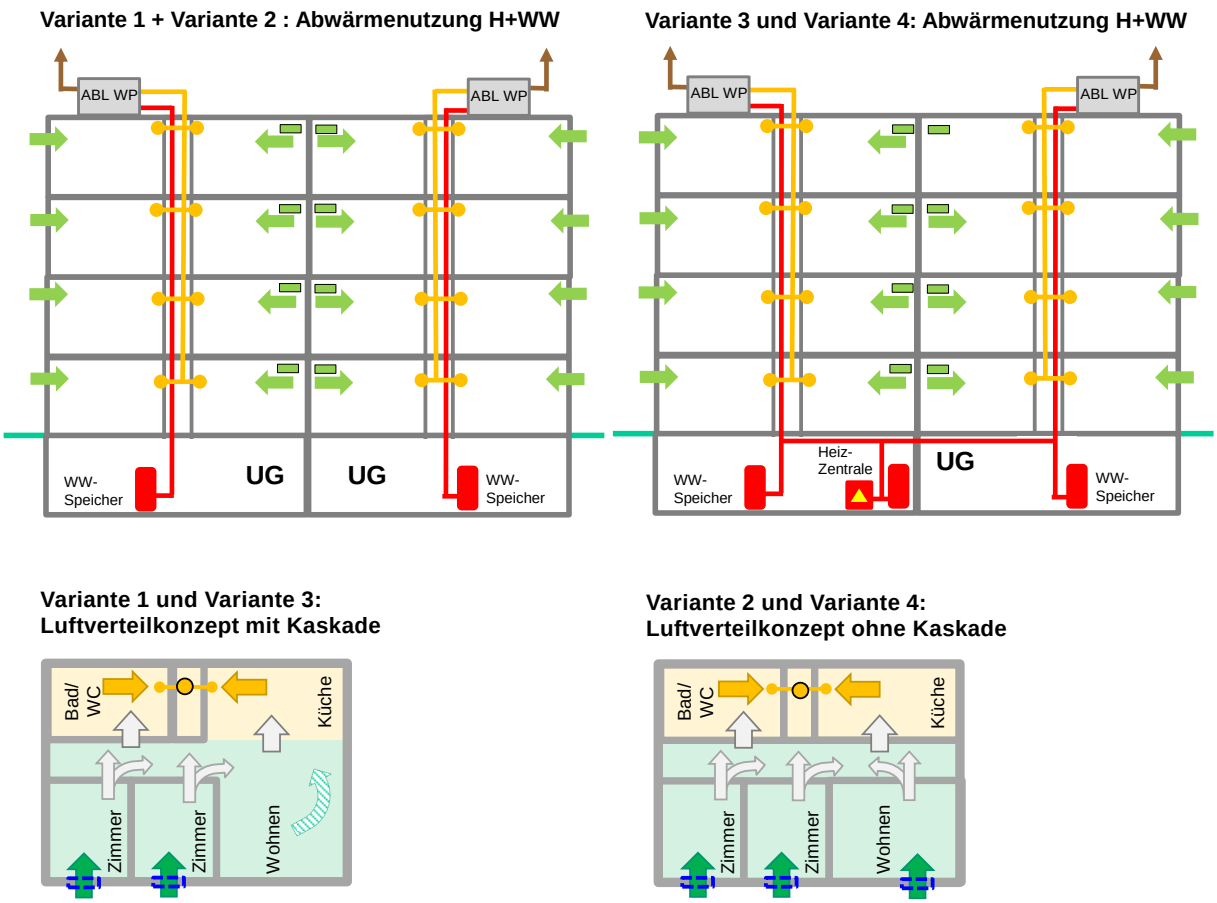


Abbildung 45: Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept

Die Lösungsvarianten weisen jeweils in unterschiedlichen Bereichen Vor- bzw. Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 60 zusammengestellt.

Tabelle 60: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept

Verteilkonzept:	**Vorteile**	**Nachteile**
Variante 1 und 3: Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich).	Geringere Luftmengen und damit geringerer Betriebsenergiebedarf (Wärme und Strom) und geringere Kosten. Günstiger Einfluss auf Raumluftfeuchte im Winter ohne wesentliche Verschlechterung der Raumluftqualität.	Mögliche Geruchsübertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer (für die Nutzer in der Regel jedoch problemlos).
Variante 2 und 4: Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL).	Raumluftqualität unabhängig von der Zimmerbelegung aller Zimmer in der Wohnung. Sinnvoll wenn Wohnzimmer im gegebenen Grundriss schlecht durchströmt wird.	Höhere Luftmengen und damit höherer Betriebsenergiebedarf (Wärme und Strom) und höhere Kosten. Tiefe Raumluftfeuchten im Winter.
Abwärmenutzung:	**Vorteile**	**Nachteile**
Variante 1 und 2: Abwärmenutzung nur für Warmwasser	Einfacheres Konzept Heizungsseitig. Einfacher auf mehrere Anlagen aufteilbar	Beschränktes Potential der Abwärmenutzung durch alleinige Nutzung für das Warmwasser.
Variante 3 und 4: Abwärmenutzung für Warmwasser und Heizung	Maximale Abwärmenutzung möglich. Je nach Gebäudestandard und Auslegung ist gegenüber Variante 1 und 2 eine deutliche Reduktion der Heizleistung möglich.	Wärmerzeugung muss für variabel anfallende Abwärme geeignet sein und darf nicht zu unerwünschten Rückkoppelungen im Heizsystem führen (Abstimmung der Regelung mit übriger Wärmeerzeugung wichtig).

Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Gebäudevariante angenommen. Variiert wurde in erster Linie die Luftdichtheit des Gebäudes was einen Einfluss auf den Abluftvolumenstrom im Betrieb hat (Basiswert: q_{a50} = 0.6 $m^3/(h\ m^2)$, Variationsbreite von 0.4 bis 1.2 $m^3/(h\ m^2)$). Im Weitern wurden die direkt mit der Konzeptvarianten zusammenhängenden Komponenten bezüglich Menge und Kosten variiert (z.B. Leitungslängen für Heizungs- oder Warmwasseranschluss bzw. die zugehörige MSRL etc.).

Tabelle 61 zeigt die Resultate der Variantenbetrachtung zum Luftverteilkonzept und der Abwärmenutzung. Die Einflussfaktoren mit hoher Relevanz (Betriebsenergie und Raumluftfeuchte) wurden soweit möglich als quantitative Einschätzung dargestellt. Ebenfalls über Eignungskriterien, Handlungsempfehlungen bzw. quantitativen Abschätzungen erfolgt die Bewertung der Einflussfaktoren mit mittlerer Relevanz (Investitionen, Instandhaltung, Graue Energie sowie Raumluftqualität und Hygiene).

Zum Einfluss auf die Betriebsenergie ist anzumerken, dass ein wesentlicher Teil der dargestellten Variation beim Stromverbrauch durch die unterschiedlichen Abluftvolumenströme je nach vorhandener Gebäudedichtheit ergeben, da der Zuluftvolumenstrom durch Aussenluftdurchlässe in der Auslegung konstant zu halten ist (Nennbetrieb). Durch die grosse Streubreite des Abluftvolumenstromes je nach Gebäudesituation weisen auch die Lüftungswärmeverluste eine grosse Bandbreite auf. Damit unterscheidet sich die Auslegung der Abluftanlage und auch der mögliche Anteil der damit nutzbaren Abwärme wie auch der Anlagenkosten. Bei erhöhter Undichtheit (Infiltration) sinkt der nutzbare Anteil der Abwärme und damit entstehen nicht nur grössere Verluste, sondern zudem auch erhöhte Kosten für die Anlage. Günstig für dieses Konzept ist daher eine möglichst Dichte Gebäudehülle, da damit die anfallende Abwärme am besten genutzt werden kann und die Verluste sich so minimieren.

Wird nur eine Abwärmenutzung für das Warmwasser vorgesehen ist der Anteil der Abwärmenutzung begrenzt. Zur Maximierung der Abwärmenutzung muss in diesem Fall eine hohe Ladetemperatur für die Warmwassererzeugung eingestellt werde, was die Effizienz der Wärmepumpe reduziert. Eine Nutzung für Heizung und Warmwasser ist, insbesondere bei mehreren Abluftwärmepumpen, bezüglich der Regelung anspruchsvoll. Allerdings kann damit meist ein hoher Anteil der anfallenden Abwärme zurückgewonnen werden und die Arbeitszahl der Wärmepumpe ist bei üblichen Heizungsauslegungen klar höher.

Tabelle 61: Bewertung der Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept

Variante / Einflussfaktor	Abwärmenutzung nur für Warmwasser		Abwärmenutzung für Warmwasser und Heizung		Kennwert (100%)
	Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)	Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)	Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)	Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)	
Abwärmenutzung *)	100% (Wert: 45%) Bereich: 80-105%	80% (Wert: 35%) Bereich: 60-75%	200% (Wert: 90%) Bereich: 175-210%	180% (Wert: 80) Bereich: 135-180%	45% der Abwärme
Deckungsanteil WW *)	100% (Wert: 80%) Bereich: 75-110%	100% (Wert: 80%) Bereich: 75-110%	30% (Wert: 25%) Bereich: 30-60%	25% (Wert: 20%) Bereich: 25-60%	80% des Bedarfs an Brauchwarmwasser
Arbeitszahl der Wärmepumpe	95% (Wert: 2.9) Bereich: 85-135%	105% (Wert: 3.1) Bereich: 90-140%	110% (Wert: 3.3) Bereich: 100-135%	115% (Wert: 3.4) Bereich: 105-145%	3.0 [1]
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.94) Bereich: 85-135%	135% (Wert: 1.26) Bereich: 120-175%	100% (Wert: 0.94) Bereich: 85-135%	135% (Wert: 1.26) Bereich: 120-175%	0.94 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 24.0) Bereich: 95-120%	140% (Wert: 33.6) Bereich: 135-160%	100% (Wert: 24.0) Bereich: 95-120%	140% (Wert: 33.6) Bereich: 135-160%	24.0 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 1.38) Bereich: 95-105%	110% (Wert: 1.54) Bereich: 105-115%	105% (Wert: 1.44) Bereich: 95-115%	115% (Wert: 1.62) Bereich: 105-125%	1.4 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 60) Bereich: 95-110%	120% (Wert: 71) Bereich: 110-130%	105% (Wert: 64) Bereich: 100-120%	125% (Wert: 76) Bereich: 115-135%	60 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten)	100% (Wert: 3.2) Bereich: - (gering)	115% (Wert: 3.7) Bereich: - (gering)	100% (Wert: 3.2) Bereich: - (gering)	115% (Wert: 3.7) Bereich: - (gering)	3.2 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	100% (Wert: 0.0101) Bereich: 95-105%	140% (Wert: 0.0142) Bereich: 135-145%	100% (Wert: 0.0101) Bereich: 95-105%	140% (Wert: 0.0142) Bereich: 135-145%	0.01 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte **)	100% (Wert: 0.003) Bereich: 90-125%	120% (Wert: 0.0035) Bereich: 105-135%	100% (Wert: 0.003) Bereich: 90-125%	120% (Wert: 0.0035) Bereich: 105-135%	0.003 m^3/m^2
Raumluftfeuchte	Günstige Beeinflussung im Winter. Tiefe Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5%	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge. höhere relative Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte v.a. im Wohnzimmer	Günstige Beeinflussung im Winter. Tiefe Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte im WZ und SZ: ca. 5%	ungünstigere Situation im Winter durch die höhere Gesamtluftmenge. höhere relative Zielwert-abweichung ***) bei der Raumluftfeuchte v.a. im Wohnzimmer	
Raumluftqualität (CO_2, Gerüche)	Mögliche Geruchs-übertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer. Geringere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Günstigster Fall bezüglich CO_2 und TVOC. Aber höhere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Mögliche Geruchs-übertragung vom Schlafzimmer ins Wohnzimmer. Geringere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	Günstigster Fall bezüglich CO_2 und TVOC. Aber höhere Zielwertabweichung ***) für Summenbewertung Feuchte, CO_2 und TVOC	
Instandhaltung/Hygiene	Geringere Anzahl Aussenluftduchlässe in der Wohnung	Grössere Anzahl Aussenluftduchlässe in der Wohnung	Geringere Anzahl Aussenluftduchlässe in der Wohnung	Grössere Anzahl Aussenluftduchlässe in der Wohnung	
Behaglichkeit	Im Winterfall reduzierte Behaglichkeit insbesondere in Auslassnähe (Zugluft).				
Akustik: Schallschutz Lüftungsgeräusche		Durch höheren Nennluftvolumenstrom bei Abluft ungünstiger		Durch höheren Nennluftvolumenstrom bei Abluft ungünstiger	

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Die Bereiche (in % vom Kennwert) beinhalten eine Spannbreite für den erwarteten Einfluss insbesondere durch die Gebäudedichtheit.
Zudem wird eine Spannbreite der Kosten und des Materialaufwandes der Regel- / Steuerelemente einbezogen.
*) Durch die Betriebsweise wird der nutzbare Anteil der Abwärme aus der Abluft beeinflusst In der Spannbreite sind übliche Einstellungen einbezogen.
Für den Basiswert wird Eine Erwärmung vom Brauchwarmwasser bis auf 50°C und eine max. Heizungsvorlauftemperatur von 40°C angenommen.
**) Spannbreite beinhaltet die vA. die Unterschiede der Ausführung mit Lüftungskanälen oder Lüftungsrohren.
Für die Dachaufstellung der Abluftanlage mit Wärmepumpe wurde kein Raumbedarf einberechnet.
***) Definition der Zielwertabweichung aus kumulativer Häufigkeitskurven der Modellrechnung. Details siehe (Sibille, et al., 2015).
Verwendete Zielwerte: CO_2: <600ppm; rel. Feuchte: >30%; TVOC: <0.3 mg/m³

6.5.5 Folgerungen für die Planung

Aus der Analyse der verschiedenen Themen und Relevanzen für die verschiedenen Parameter wie in Tabelle 52 können Folgerungen für die Planung bzw. mögliche Stolpersteine aufgezeigt werden.

Ein gutes Anlagenkonzept einer Abluftanlage für Dauerbetrieb und Abluft-Wärmepumpe verfügt über folgende Eigenschaften:

- Gebäude mit hoher Luftdichtigkeit (q_{a50} max. 0.6 $m^3/(h\ m^2$, [33])
- Konzept mit Kaskadenlüftung (Wohnzimmer im Durchströmbereich)
- Korrekt dimensionierte Aussenluftdurchlässe mit geringem Druckverlust (4 Pa bei Nennluftmenge inkl. Filter). Typischerweise 2 Elemente pro Raum mit Zuluft notwendig[34].
- Bezüglich thermischer Behaglichkeit und bauphysikalischem Risiko (Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit) optimierter Aufbau und Einbauort des Aussenluftdurchlasses
- Robustheit in Bezug auf Ausseinflüsse wie Wind ist bei der Wahl des ALD zu beachten
- Gut zugängliche und einfach zu reinigende Aussenluftdurchlässe mit Zuluftfiltern der Klasse ISO ePM1 ≥ 50% (F7) und im Minimum jährliche professionelle Filter- und Gerätewartung (inkl. Reinigung der Aussenluftgitter).
- Projektspezifischer Nachweis der ausreichenden Schalldämmung des Aussenluftdurchlasses entsprechend der Aussenlärmsituation (insb. bei Lärmpegeln über 60dB(A) am Tag)
- Einsatz von bedarfsgeführten Abluftelementen mit Grund- und Intensivlüftung (Ansteuerung über Feuchte und CO_2-Grenzwert) und entsprechend angepasstem Konzept der Regelung des Abluftventilators (Konstantdruckregelung) und der Abluft-Wärmepumpe[35]
- Nutzung der Abwärme für Heizung (möglichst mit tiefen Vorlauftemperaturen) und Warmwasser. Einsatz einer Abluftwärmepumpe mit geringen Übertragungsverlusten und hoher Effizienz (Direktverdampfer).
- Instruktion der Wohnungsnutzer über die systembedingten Eigenheiten die für die Funktion der Anlage zentral sind. Dies betrifft insbesondere den Umgang mit der Fensteröffnung in der Wohnung (keine Durchlüftung mehr in den übrigen Räumen)

Luftverteilkonzept in der Wohnung:

Einen grossen Einfluss auf wesentliche Parameter (Betriebsenergie, Kosten, Graue Energie. Raumluftfeuchte) hat die Wahl des optimalen Verteilkonzeptes. Wenn immer möglich ist ein Konzept mit Kaskadenlüftung umgesetzt werden. Damit kann bereits die Zuluftmenge im Nennbetrieb ohne wesentliche Einschränkungen der Luftqualität in der Wohnung reduziert werden, was zu den genannten Vorteilen führt. In vielen Objekten wird dies derzeit nicht so umgesetzt, was zu höheren Wärmeverlusten und einer geringeren Effizienz der Anlagen führt.

Aussenluftdurchlässe:

Zentral für die bestimmungsgemässe Funktion der Anlage und sehr wichtig für die Raumluftqualität und die thermische Behaglichkeit ist die richtige Auslegung und Konstruktion der Aussenluftdurchlässe. Dies erfordert eine sorgfältige Wahl des einzusetzenden Produktes, der Auslegung (nicht mehr als 4 Pa Druckverlust bei Nennluftmenge) und der örtlichen Platzierung (Minimierung der Zugluftrate im Aufenthaltsbereich bei kalten Aussentemperaturen). Dies ist auch aus den Resultaten der Untersuchungen (Hoffmann, et al., 2020) und (Mühlebach, et al., 2018) ersichtlich.

[33] gemäss (SIA 382/5, 2021) Kapitel 2.1.2.2; Die Anforderung für Neubauten bei Minergie P / A liegt bei $q_{E50} \leq 0.8\ m^3/(h\ m^2)$

[34] Typischerweise werden die Luftvolumenströme in den Datenblättern nicht bei 4 Pa sondern bei 10 Pa bzw. 20 Pa angegeben. Zudem beziehen sich die Angaben oft auf Filter mit ungenügender Filterqualität (oder sogar ohne Filter)

[35] Wesentlich bei der Wahl der Abluftwärmepumpe ist, dass die Anlage mit variablen Luftvolumenströmen umgehen kann und nicht nur mit 2 Stufen betrieben werden kann.

Oft stark unterschätzt wird der grosse Einfluss der Druckverluste über dem Aussenluftdurchlass und der Funktionalität des Systems. Bereits kleine Unterschiede in den Druckverlusten führen zu wesentlichen Unterschieden in der Luftverteilung in der Wohnung. Einen starken Zusammenhang damit hat auch die Luftdichtheit des Gebäudes. Aus diesem Grund sollte dieses System nur für Gebäude mit einer sehr guten Luftdichtheit zum Einsatz kommen. Andernfalls kann die benötigte Aussenluft in einzelnen Zimmern (z.B. kleinere Schlafzimmer mit wenig Aussenfassadenanteil) in der Realität nicht erreicht werden.

Da die Druckverluste über dem Aussenluftdurchlass klein sein müssen, stellt dies die Hersteller auch vor grössere Herausforderungen die Elemente für qualitativ hochwertige Filter auf die Nennluftmenge auszulegen. Bei sauberer Aussenluft (AUL 1 gemäss (SIA 382/1, 2014)) ist der Aussenluftdurchlass im Minimum mit einem Filter der Klasse ISO ePM10 50% (M5) auszurüsten. An Standorten mit schlechterer Luftqualität sind Filter der Klasse ISO ePM1 50% (F7) einzusetzen. In diesem Fall wird die Produktevielfalt sehr klein und eine genaue Betrachtung der Druckverlustangaben in den Herstellerdokumenten ist notwendig.

Wird dem Druckverlust über dem Aussenluftdurchlass nicht genügend Beachtung geschenkt, ist im Betrieb ein erhöhter Unterdruck in der Wohnung vorhanden, was die Infiltration erhöht und zu einer erhöhten Geruchsübertragung innerhalb des Objektes führen kann.

In diesem Zusammenhang besonders wichtig ist auch regelmässige (im Minimum jährliche) professionelle Wartung der Filter und der Aussenluftdurchlässe (inkl. Reinigung der Aussenluftgitter). Wird dies nicht ausgeführt, so kann der im Zimmer verfügbare Zuluftvolumenstrom massiv reduziert sein (Primas, et al., 2018) und damit die Wirksamkeit der Lüftung in Frage gestellt sein und durch den erhöhten Unterdruck besteht eine grössere Gefahr von Geruchsübertragungen.

Luftmengenregelung:

Für eine gewisse Bedarfssteuerung der Abluftanlage können bedarfsgeführte Abluftelementen verwendet werden. Diese steuern über eine Messung der Feuchte und teilweise auch der CO_2-Konzentration die Abluftmenge zwischen Grund- und Intensivlüftung. Damit kann die Luftmenge bei Abwesenheit reduziert werden und damit die Lüftungsverluste verringert und die Raumluftfeuchte im Winter verbessert werden. Wichtig bei diesen Elementen ist die korrekte Einstellung der Betriebsfälle und Schaltwerte (z.B. CO_2-Grenzwert für Umschaltung) sowie eine Überprüfung der Funktion im Rahmen der jährlichen Wartung der Aussenluftdurchlässe.

Im Weiteren sind am Markt feuchtegeregelte Aussenluftdurchlässe verfügbar. Mit diesen Elementen wird vor allem die Luftverteilung in der Wohnung verändert. Durch veränderte Druckverluste verringert sich die Zuluftmenge in Zimmern mit geringer Feuchte und erhöht sich in Zimmern mit hoher Feuchte. Da diese Elemente nur in einem vorgegebenen Feuchtebereich eine Regelfunktion aufweisen ist beim Einsatz solcher Elemente die möglichen Belegungsvarianten in der Wohnung und die daraus resultierende Luftmengenverteilung genau zu analysieren, um nicht einen kontraproduktiven Effekt bezüglich der Luftqualität zu erreichen[36].

Wenn die Wohnungen bedarfsgerecht gesteuert werden, muss der Abluftventilator und vor allem auch die Abluftwärmepumpe über den notwendigen und kontinuierlichen Regelbereich bezüglich der Abluftmenge verfügen.

[36] Aus Messprojekten ist bekannt, dass zwischen Raumluftfeuchte und der Belegung bzw. der Luftqualität (mit CO_2 als Indikator) in Schlafzimmern nicht in jedem Fall ein eindeutiger Zusammenhang besteht. Daher kann eine solche Bedarfssteuerung in der Wirkung nur begrenzt bedarfsgerecht sein.

Abwärmenutzung:

Wird die Abwärme nur für die Warmwassererwärmung verwendet, ist zwar die Einbindung und Ansteuerung einfacher aber der Nutzbare Anteil der Abwärme ist begrenzt. Mit einer zusätzlichen Nutzung für die Raumheizung ist die Abwärmenutzung bedarfsgerechter und auch bezüglich der Jahresarbeitszahl effizienter. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Gebäude tiefe Vorlauftemperaturen aufweist. Die Abwägung wie weit die Abwärmenutzung sinnvoll (energetisch und wirtschaftlich) ist muss immer in einer Gesamtbetrachtung mit der übrigen Heizwärmeerzeugung analysiert werden. Für eine Nutzung der Abwärme für Warmwasser und Heizung sollte das Abluftkonzept nur aus einer Anlage pro Gebäude (idealerweise im unbeheizten Dachbereich aufgestellt) bestehen, um die Einbindung zu vereinfachen und die Kosten zu minimeren.

6.5.6 Anlagenbeispiel

Mit dem nachfolgenden Objekteispiel einer Abluftanlage für Dauerbetrieb (mit Abluft-WP) sollen die in Tabelle 52 und in den Kapiteln 6.5.1 bis 6.5.4 bewerteten Themen beispielhaft aufgezeigt werden. Damit soll die Einordnung von Anlagen ermöglicht werden und die allenfalls kritischen Punkte des eingesetzten Lüftungskonzeptes aufgezeigt werden.

Abbildung 46: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle, Lemon Consult AG aus (Muller, et al., 2016))

Tabelle 62: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung)

Kennwert	Beschrieb / Wert
Jahr der Erneuerung	2013 bis 2015 (etappiert)
Geschosszahl	4-6 Wohngeschosse (+ UG)
Wohnungszahl	Total 121 Wohnungen in 7 Gebäuden; Pro Gebäude 15-20 Wohnungen
EBF	Total 12716 m^2, pro Gebäude 1597 bis 2068 m^2
Luftverteilkonzept	ohne Kaskade im Wohnzimmer (ZUL in jedem Zimmer, inkl. Wohnzimmer)
Standort Lüftungsgerät	Auf Dach (2 Geräte pro Haus); 1 ABL-WP pro Haus im UG
Aussenluftfassung	Aussenluftdurchlass oberhalb der Fenster
Fortluftauslass	Bei Abluftanlage auf dem Dach
Luftverteilung vertikal	1 Steigzone pro Abluftgerät auf Dach (2 pro Haus)
Anzahl Brandschutzklappen	keine (gem. Strangschema)
spez. Nennluftmengen *)	1.07 $m^3/(h\ m^2)$ bezogen auf Abluft ca. 0.75 $m^3/(h\ m^2)$ bezogen auf Zuluft über ALD
Kosten Lüftungsanlage	28.-/m^2; Bezug EBF, nur Lüftung ohne WP / Baul. 118.-/m^2; Bezug EBF, Lüftung und Heizung **)
Stromverbrauch Lüftungsanlage	< 1 kWh/m^2a ***) ; mit Verbrauch der ABL-WP 16 kWh/m^2a)
Wärmebedarf des Gebäudes	56 kWh/m^2a (nur Raumwärme); 89 kWh/m^2a (WW und Raumwärme)
Abwärmenutzung aus Abluft	Deckung von 56% des gesamten Wärmebedarf bzw. knapp 50 kWh/m^2a (Wärme ab WP) Mittlere JAZ: 3.0 (inkl. Verbrauch ABL-Ventilator) bzw. ca. 3.2 ohne ABL-Ventilator (nur WP)

*) eingestellt auf ca. 70% des Nennvolumenstroms (wegen Klagen bez. Zugluft, Trockenheit)

**) Inkl. aller WP (ABL- und Erdsonden-WP) und Erdsondenfeld

***) nicht direkt gemessen gemäss Studienautoren in der Regel unter 1 kWh/m^2.

Folgende Einordnung kann aus den verfügbaren Angaben zum Objekt und dem an diesem Objekt durchgeführten Messprojektes (Muller, et al., 2016) erfolgen:

- Das Gesamtkonzept mit zentraler Erdsonden-Wärmepumpe und gebäudeweisen Abluftwärmepumpen im UG, die die Wärme von den Abluftgeräten auf dem Dach nutzen, zeugt eine gute Effizienz und eine hohe Nutzung der verfügbaren Abwärmen und weist niedrige Investitionskosten auf.
- Bei Luftverteilung in der Wohnung ist das Wohnzimmer nicht in Kaskade, sondern hat einen separaten Aussenluftdurchlass (höhere Gesamtluftmengen).
- Aufgrund von Klagen wegen zu trockener Luft und Zugluft im Winter wurden die Luftmengen im Betrieb gegenüber den normativen Vorgaben tiefer eingestellt (ca. 70 % des Nennvolumenstroms)
- Die gemessene Luftqualität streut stark, im Bereich von 600 – 1350 ppm, in einzelnen Schlafzimmern bis > 2000 ppm.
- Mit Messungen wurde in dieser Studie der grosse Einfluss eines offenen Fensters bei diesem Konzept aufgezeigt. Der Nutzereinfluss auf die Luftqualität ist daher bei diesem Konzept hoch
- In den Wohnungen wird die Verteilung kurzgehalten (Einströmung oberhalb Türen). Durch die Führung in einer herabgehängten Decke ist die Systemtrennung gewährleistet.
- Die Untersuchung in diesem Projekt zeigte auf das der Infiltrationsanteil zwingend zu überprüfen ist. In einer Wohnung wurde vor der Abdichtung div. Bauteile eine Infiltration von 55% festgestellt (wurde mit Abdichtung auf 35% reduziert). Zudem zeigten sich in einigen Wohnungen Probleme mit Geruchsübertragung über das Treppenhaus die durch undichte Türdichtungen verursacht waren.

Auf Basis der Bewertungen in Tabelle 52 sowie den Kennwerten in den Kapiteln 6.5.1 bis 6.5.4 können folgende Einschätzungen zum Objekt gemacht werden:

Tabelle 63: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten

Thema	Bewertung
Standort der Lüftungsgeräte (Ventilator und WP)	Pro Haus stehen 2 Abluftgeräte mit Wärmerückgewinnung auf dem Dach. Über einen Glykolkreislauf wird die Abwärme zur zugehörigen Wärmepumpe im UG geführt (1 Gerät pro Haus) Pro Haus sind 2 Steigzonen vorhanden, damit wird eine effiziente Abluftführung mit geringem Materialaufwand für die Abluftleitungen und allfällige Dämmungen möglich sein.
Art der Aussenluftfassung	Der Aussenluftdurchlass ist oberhalb des Fenster angeordnet. Der ALD verfügt nur über einen Filter mit sehr schwacher Filterqualität (max. ISO Coarse 50%). Dadurch wird der Druckverlust zwar klein gehalten (und eine Filterverschmutzung tritt nur sehr langsam auf) aber es wird kein Feinstaub gefiltert.
Regelung/Steuerung	Es ist keine Bedarfssteuerung der Aussenluftdurchlässe oder Abluftventile vorhanden (konstante Luftmenge).
Abwärmenutzung	Pro Haus nutzt eine Abluft-Wärmepumpe die Abwärme aus den zwei zugehörigen Abluftanlagen auf dem Dach für das Warmwasser und die Raumheizung. Reicht die verfügbare Wärme nicht aus wird von der zentralen Wärmepumpe mit Erdsonde (1 Anlage für alle Gebäude) der zusätzlich benötigte Wärmebedarf bezogen.
Luftverteilkonzept in der Wohnung	Die Wohnungen werden alle Zimmer wie auch das Wohnzimmer mit Aussenluft versorgt. Für eine Optimierung des Luftverteilkonzeptes hätte u.U. ein Konzept mit Kaskade umgesetzt werden können. Damit könnte die Zuluftmenge reduziert werden und die Raumluftfeuchte optimiert werden (v.A., Raumluftfeucht im Winter im Wohnzimmer).
Luftmengen	Der Aussenluftvolumenstrom liegt in den meisten Schlafzimmern zwischen 20 bis 30 m^3/h. Der Infiltrationsanteil liegt nach Abdichtung von Leckagen im Bereich von 25 und 35 % der über den ALD einströmenden Zuluftmenge.
Raumluftqualität	Luftqualitätsmessungen in den erneuerten Gebäuden über 2 Wochen in 27 Zimmern zeigen in 50% der Räume eine Einhaltung der Raumluftqualität von RAL 2 oder besser. Eine erhebliche Überschreitung von RAL 2 (>20% der Zeit) wurde in 7 Räumen festgestellt. In 5 dieser Räume, alles Schlafzimmer, überschreiten auch RAL 3 klar, während etwa 4-35% der Zeit (gesamter Tag nicht nur nachts). Der maximal gemessene Wert lag bei 2800 ppm.
Raumluftfeuchte	Luftfeuchtemessungen in den erneuerten Gebäuden über 2 Wochen in 24 Zimmern zeigen in knapp 40% der Räume eine Einhaltung einer Raumluftfeuchte zwischen 30 und 60%. In gut 40% Räumen wurden Raumluftfeuchten von 30% während mehr als 20% der Zeit unterschritten (in 24 bis 90% der Zeit). In 3 Räumen wurde während 4-15% der Zeit eine Raumluftfeuchte über 60% gemessen.
Raumtemperaturen	Die Temperaturen können individuell mit Heizthermostaten eingestellt werden. Es besteht daher eine grosse Varianz der Messwerte. In 4 Räumen (15%) wurden Raumtemperaturen unter 20°C während mehr als 20% der Zeit gemessen (in 25 bis 85% der Zeit). In 3 Räumen (10%) wurde während 35-95% der Zeit eine Raumtemperatur über 24°C gemessen.
Therm Behaglichkeit	Bei einer Aussentemperatur von 4 °C erreicht die gemessenen Oberflächentemperaturen am Aussenluftdurchlass zwischen 10.5 °C und 13°C. Es gab einzelne Klagen bezüglich Zugluft (10 bis 15% der Nutzer). Eine systematische Erhebung der Nutzerzufriedenheit wurde nicht durchgeführt.
Akustik Aussenschall	An zwei Fassaden, mit und ohne Aussenluftdurchlass, wurde das bewertete Bau-Schalldämm-Mass R'w gemessenen. Die Messung zeigt eine Differenz von 1-2 dB. In der vorhandenen Situation vermindert der Aussenluftdurchlass die resultierende Schalldämmung der Fassade um ca. 1-2 dB (hauptsächlich im Frequenzbereich von ca. 1'000 Hz bis 2'500 Hz.)

6.6 LK5: Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage

Beim Konzept mit Fensterlüftung kombiniert mit einer intermittierend betriebenen Abluftanlage ist der Einfluss vom Benutzer sehr gross. Mit der Abluftanlage in Küche und Bad muss primär die sichergestellt werden, dass keine Bauschäden am Gebäude auftreten. Dazu gehört im technischen Bereich insbesondere die Planung und Einstellung der Abluftanlage sowie der dazugehörigen kontrollierten Nachströmung der Ersatzluft. Da die Bewohner (über Fensterlüftung) selbst für die Raumluftqualität verantwortlich sind müssen im Konzept auch Überlegungen einfliessen wie die Bewohner bei einem möglichst bedarfsgerechten Lüften über die Fenster unterstützt werden können. In Tabelle 64 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren bewertet.

Tabelle 64: Bewertung der Fragestellungen zu LK 5 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren

Thema	**Lüftungswärmeverluste**	**Art der Nachströmung der Bad- und Küchenabluft**	**Regelung/Steuerung**	**Unterdruck in Wohnung**
Fragestellung	Welche Hilfen stehen den Bewohnern zur Verfügung, um möglichst bedarfs-gerecht lüften zu können?	Wo werden die Aussenluftdurchlässe realisiert? Wie hoch ist die Empfindlichkeit auf Verschmutzung? Ist einfache Reinigbarkeit gegeben? Wie wird Schallübertragung vermieden?	Wie erfolgt die Steuerung / Regelung damit Bauschadensfreiheit im Gebäude, insbesondere in Bad und Küche gewährleistet ist?	Mit welchem Konzept / Steuerung wird gewährleistet, dass keine hohen Unterdrücke in der Wohnung entstehen? (z.B. bei Betrieb der Küchenabluft)
Merkmale	Einsatz spezieller Fensterbeschläge.	Art und Realisierung des ALD, Lokale Belastung Feinstaub, NOx sowie Gerüche, Lärmbelastung am Standort; Schall-dämmwert des ALD.	Art der Bedienung und Einstellung der Nachlaufzeit. Ev. Zusätzliche feuchtegesteuerte Schaltung.	Art und Realisation von Sperrschaltungen für Küchenabluft und insbesondere auch zwingend bei raumluftabhängigen Feuerungen.
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**			
Betriebsenergie	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: mittel	R: gering V: gering
Graue Energie	R: gering V: gering	R: gering V: mittel		
Investition	R: gering V: gering	R: mittel V: gross	R: gering V: gering	R: gering V: mittel
Instandhaltung	R: gering V: gering	R: hoch V: gross	R: gering V: gering	R: gering V: mittel
Raumluftqualität (CO_2, PM, Gerüche)	R: hoch V: gross	R: hoch V: klein	R: hoch V: gross	R: hoch V: klein
Raumluftfeuchte	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch *) V: gross	R: mittel V: gross
Schallschutz Lüftungsgeräusche			R: mittel V: gross	
Schallschutz von aussen	**)	R: hoch V: gross		R: mittel V: gross
thermische Behaglichkeit	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: gering V: mittel	R: mittel V: gross

*) Dieser Punkt ist zusammen mit der Sicherstellung der kontrollierten Nachströmung zentral für die Schadensfreiheit im Gebäude.

**) Da der Schallschutz von aussen bei einer Fensteröffnung sowieso gestört wird, wird dieser Punkt hier nicht zusätzlich bewertet.

Beim Entscheid, ob ein Gebäude primär über Fensterlüftung gelüftet werden kann, ist das Vorgehen gemäss (SIA 382/1, 2014) Kapitel 4.2.2 zu beachten und einzuhalten. Zwingend sind bei einer Lüftung über die Fenster die Anforderungen (SIA 382/1, 2014) Kapitel 5.2 und 5.3 einzuhalten. Damit wird sichergestellt das an Gebäudestandorten mit hoher Lärm- oder Aussenluftbelastung eine Fensterunabhängige (mechanische) Lüftung geplant wird. Im Merkblatt (SIA 2023, 2008) sind die Einsatzgrenzen der Fensterlüftung detaillierter beschrieben.

Folgende Beurteilungspunkte werden darin vorgeschlagen:

- Für eine reine Fensterlüftung gilt, die Lärmbelastung als zu hoch, wenn der Aussenlärm den Beurteilungspegel Tag von 55 dB(A) oder den Beurteilungspegel Nacht von 45 dB(A) überschreitet (Basis SIA 382/1: 2007, Ziffer 3.2.2)

Massgebend sind die Immissionswerte bei den für die Lüftung erforderlichen Fenstern unter Berücksichtigung der örtlichen baulichen Situation.

- Für eine reine Fensterlüftung gilt, die Luftbelastung als zu hoch, wenn einer der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) für NO_2 oder PM10 um mehr als 50% überschritten ist oder störende Geruchsbelastungen am Standort vorhanden sind die durch eine Lüftungsanlage gemildert werden können (Basis SIA 382/1: 2007, Ziffer 3.2.3)

Zudem wird darauf hingewiesen, dass die reine Fensterlüftung bei hoher Pollenkonzentration am Gebäudestandort für Allergiker ungeeignet ist.

Für die Fensterlüftung in Wohnbauten besteht zudem insbesondere nachts im Winter ein Zielkonflikt zwischen hygienischer Raumluftqualität und den Lüftungsverlusten sowie der thermischen Behaglichkeit. Gemäss (SIA 180, 2014) Kapitel 3.5. gilt der Grundsatz, dass die Aussenluft-Volumenströme sind so zu wählen sind, dass die Schadstoffkonzentrationen und die Feuchte im Raum die maximal zulässigen Werte für die geplante Nutzungsart des Raumes nicht übersteigen. Der Richtwerte die für Räume mit Personenbelegung gemäss (SIA 180, 2014) Tabelle 4 einzuhalten ist liegt für die CO_2-Konzentration bei 1000…2000 ppm. Auf der anderen Seite hält dieselbe Norm in Kapitel 3.2.7 fest, dass ein Lüftungsprinzip, das während der Heizperiode eine permanente teilweise Öffnung der Fenster erfordert, nicht zulässig ist. Bei einem mit zwei Personen belegten Schlafzimmer kann diese Anforderung auch mit vollständiger Stosslüftung am Abend und am Morgen nicht eingehalten werden. Ein typischer Verlauf des Anstieges der CO_2-Konzentration über die Nacht ist in Abbildung 47 dargestellt. Daraus zu sehen ist, dass der Richtwert von 2000 ppm bereist nach gut 2 Stunden überschritten wird (knapp 6 Stunden bei Belegung nur mit einer Person).

Dieser Konflikt wird auch in (SIA 382/1, 2014) Kapitel 4.2.2.9 festgestellt: «*Bei unsachgemässer Fensterlüftung ist der Energieverbrauch stark erhöht (Dauerlüftung mit gekippten Fenstern) oder die Luftqualität ungenügend (kein ausreichender Luftaustausch mit geschlossenen Fenstern)*».

Für die Nutzung tagsüber kann eine regelmässige Stosslüftung angenommen werden, wie dies in Abbildung 48 dargestellt wird. In der Nacht ist ein solches Nutzerverhalten nicht praktikabel. Für die Basisberechnung in diesem Konzept wird daher nachts ein gekipptes Fenster in jedem Schlafzimmer angenommen. In den in Kapitel 0 untersuchten Berechnungsfällen wurden neben diesem Basisfall auch Varianten mit nachts geschlossenen Fenstern und mit der Nutzung von Spaltlüftern als Lösungsvarianten untersucht.

Aus verschiedenen Messprojekten ist bekannt, dass in Gebäuden mit reiner Fensterlüftung die Richtwerte[37] der CO_2-Konzentation gemäss SIA 180:2014 Tabelle 4 vor allem in Schlafzimmern nachts oft deutlich überschritten wird. Bei nachts geschlossenen Fenstern und Schlafzimmertüren kann die CO_2-Konzentation bei dicht sanierten Gebäuden oder Neubauten ohne weiteres bis über 5000 ppm ansteigen. Im realen Betrieb verhalten sich die Bewohner oft angepasst an die Aussentemperatur (Kriesi, 2012). So wird bei wärmeren Aussentemperaturen öfters mit offenen Fenstern geschlafen und bei sehr kalten Temperaturen wird eine hygienisch bedenkliche Luftqualität im Raum akzeptiert.

[37] Richtwert CO_2-Konzentration gemäss SIA 180:2014 Tabelle 4: 1000-2000 ppm

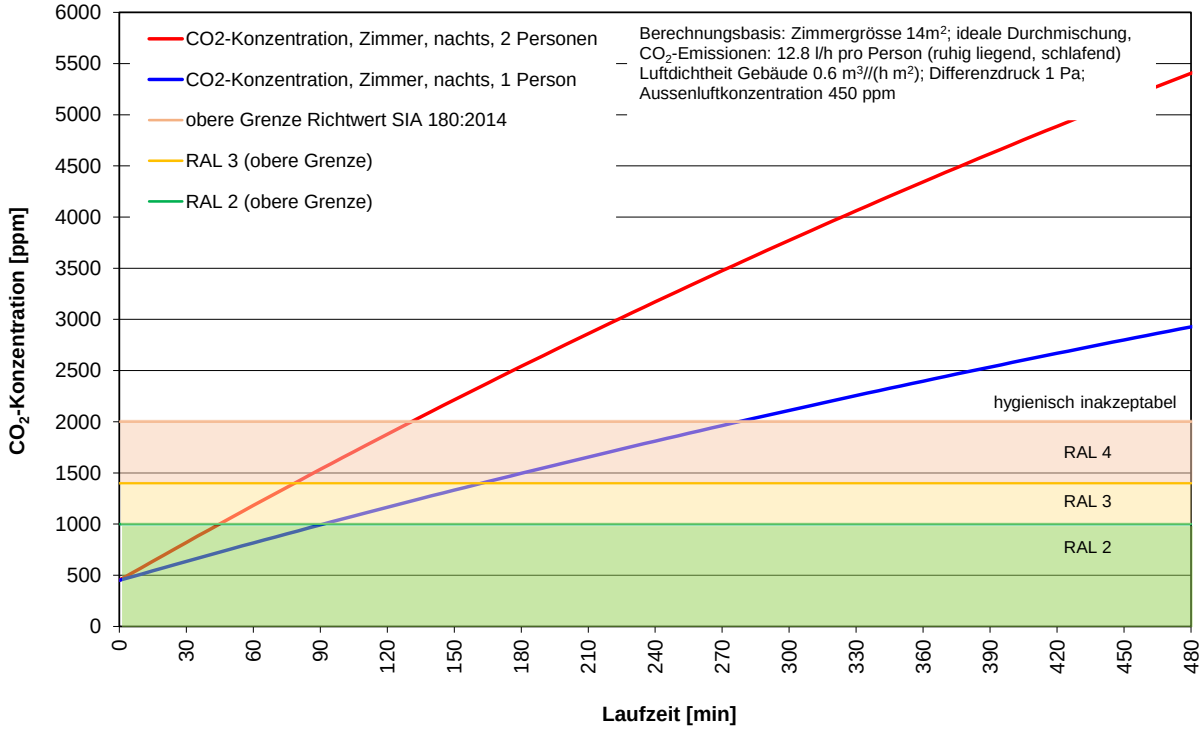


Abbildung 47: Verlauf Anstieg der CO_2-Konzentration, nachts bei fehlender Fensterlüftung

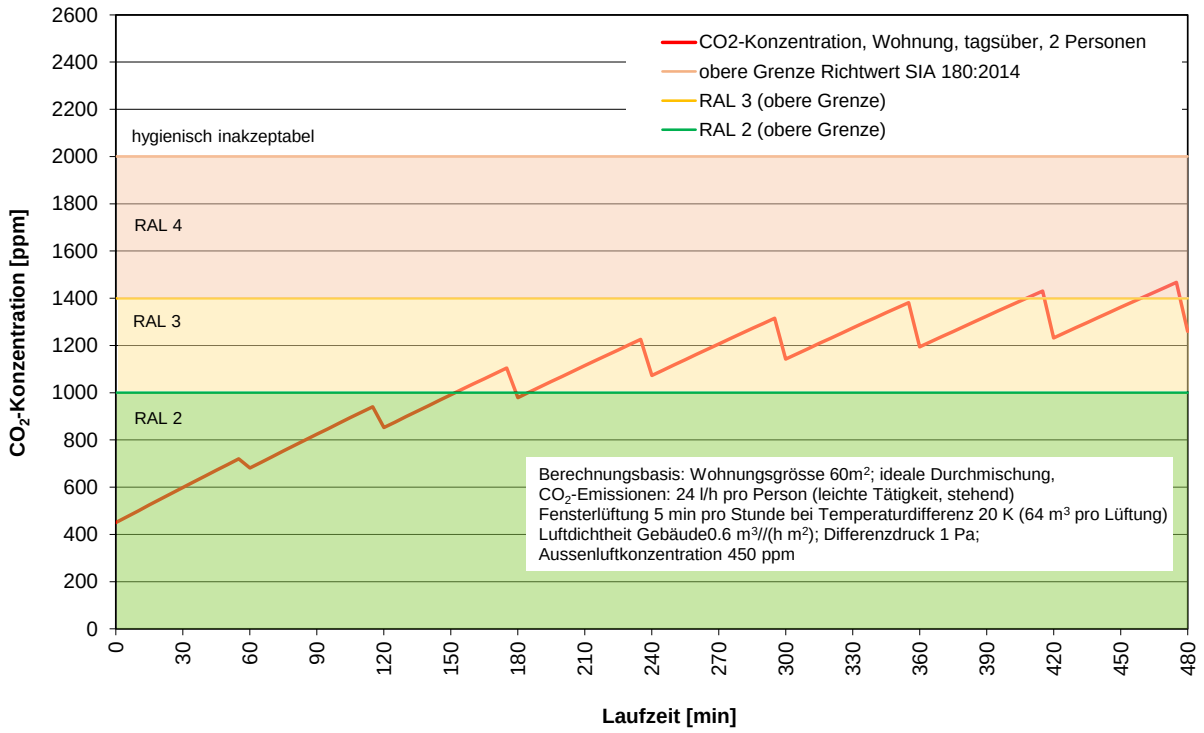


Abbildung 48: Verlauf Anstieg der CO_2-Konzentration, tagsüber bei stündlicher Stosslüftung über Fenster

6.6.1 Vergleichsvarianten für Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage

Um einen Vergleich der Fensterlüftung mit den übrigen Lüftungskonzepten zu ermöglichen, wurden folgende Berechnungsfälle für die Fensterlüftung untersucht:

- Variante 1: Nachts Kippfenster offen, tagsüber Stosslüften[38].
- Variante 2: Nachts Spaltlüfter offen, tagsüber Stosslüften[39]
- Variante 3: Nachts Fenster geschlossen, tagsüber Stosslüften[40].
- Variante 4: «Manuelle» Lüftung mit 0.7 $m^3/(h\ m^2)$[41]

Die verglichenen Berechnungsvarianten können aufgrund des rein hypothetischen Luftwechsels bezüglich der Luftqualität nicht direkt mit den anderen Anlagen verglichen werden, da in der Realität die Luftwechsel zeitlich sehr unterschiedlich sein werden. Insbesondere nachts wird im Schlafzimmer entweder ein starkes Lüftungsdefizit entstehen, wenn bei geschlossenen Fenstern geschlafen wird. Je nach Temperaturverhältnissen führt das Schlafen bei gekipptem oder leicht geöffnetem Fenster zu einem zu hohen Luftwechsel und bringt damit vor allem Im Winter Probleme bezüglich der Behaglichkeit und dem Wärmebedarf. Auch fällt die schalldämmende Wirkung von Fenstern bei nachts geöffnetem Fenster dahin. Aus verschiedenen Messungen und Untersuchungen (Hässig, et al., 2005) (Kriesi, 2012) zeigt sich, dass bei Gebäuden mit Fensterlüftung insbesondere bei kalten Aussenbedingungen weniger über die Fenster gelüftet wird und damit oft eine hygienisch bedenkliche Luftqualität in der Nacht (bzw. am frühen Morgen) von vielen Bewohnern in Kauf genommen wird. Da die Alternative meist nur ein gekipptes oder leicht geöffnetes Fenster ist, und dies zu unbehagliche Raumbedingungen während der Nacht führen würde. Zudem besteht bei gekipptem Fenster die Gefahr von Wassereitritt bei Regen und Wind. Bei Anwesenheit im Tagesverlauf kann das Lüften über Fenster einfacher realisiert werden und dürfte auch weniger häufig problematisch sein. Insbesondere bei Personen, die tagsüber ausser Haus sind, treten so tagsüber nur ein geringer Luftwechsel und damit nur geringe Wärmeverluste auf.

Da für die Analyse zumindest bei der Referenzvariante eine vergleichbare Raumluftqualität bei der Fensterlüftung wie bei den übrigen Lüftungssystemen erreicht werden soll, wurde dies für einen, für die Bewohner realisierbaren Berechnungsfall simuliert. Dieser Fall wurde als Variante 1 in den Vergleich aufgenommen und ist im Anhang detaillierter beschrieben.

Für die Modellierung des Luftwechsels wurden die Modelansätze für die Fensterlüftung aus (Maas, 1995) verwendet und mit einem Referenzklimadatensatz (Zürich SMA) basierend auf Stundenwerten berechnet. Für den Einfluss auf den Wärmebedarf wurden nur die Monate innerhalb der Heizperiode ausgewertet (Anfangs Oktober bis Ende April). Zusammen mit der Belegung, dem Fensteröffnungsverhalten und der Bewohneraktivität kann aus dieser Modellierung auch ein Rückschluss auf die zu erwartende Höhe der CO_2-Konzentration in der Wohnung bzw. über die Häufigkeit des Auftretens bzw. Überschreitens gewisser Grenzwerte eine Aussage gemacht werden.

Tabelle 65 zeigt die Resultate der Vergleichsvarianten der Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage für die Badentlüftung.

Für die Einflussfaktoren Betriebsenergie, Graue Energie und Investitionen erfolgt dabei eine quantitative Einschätzung. Die Resultate zur Raumluftqualität basieren auf verschiedenen Nutzungsszenarien. Die Wertebereiche beinhalten dabei auch die Spannbreite der Berechnungsdaten. Für weitere Einflussfaktoren (Behaglichkeit, Akustik sowie Hygiene) erfolgt eine Bewertung über Eignungskriterien bzw. Handlungsempfehlungen.

---

[38] Für Bewohner realisierbares Lüftungsszenario, Luftwechsel im Mittel etwa 1.0 $m^3/(h\ m^2\ Ae)$; Bereich 0.9…1.5.

[39] Spaltlüfter mit Durchflussfaktor ck = 0.03, Luftwechsel im Mittel etwa 0.57 $m^3/(h\ m^2\ Ae)$; Bereich 0.4…0.8.

[40] Lüftungsszenario mit hygienisch bedenklicher Luftqualität, Luftwechsel im Mittel etwa 0.55 $m^3/(h\ m^2\ Ae)$; Bereich 0.5…0.66.

[41] Rein hypothetisches Lüftungsszenario, Luftwechsel über Fenster entsprechend 0.7 $m^3/(h\ m^2\ Ae)$

Tabelle 65: Bewertung der Konzeptvarianten zur Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage (intermittierender Betrieb)

Variante / Einflussfaktor	Nachts Kippfenster offen, Tagsüber Stosslüften	Nachts Spaltlüfter offen, Tagsüber Stosslüften	Nachts Fenster geschlossen, Tagsüber Stosslüften	Manuelle Lüftung mit 0.7 $m^3/(h\ m^2)$	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.1) Bereich: 50-165%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 50-165%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 50-165%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 50-165%	0.1 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 25.4) Bereich: 75-220%	65% (Wert: 16.5) Bereich: 45-125%	65% (Wert: 16.5) Bereich: 50-110%	110% (Wert: 28.3) Bereich: 105-115%	25.4 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 0.84) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 0.85) Bereich: 90-115%	100% (Wert: 0.84) Bereich: 90-110%	100% (Wert: 0.84) Bereich: 90-110%	0.84 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 29) Bereich: 85-115%	105% (Wert: 30) Bereich: 85-120%	100% (Wert: 29) Bereich: 85-115%	100% (Wert: 29) Bereich: 85-115%	29 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten) *)	100% (Wert: 1.56) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 1.57) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 1.56) Bereich: 95-110%	100% (Wert: 1.56) Bereich: 95-110%	1.6 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 80-115%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 80-115%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 80-115%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 80-115%	0.007 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.005) Bereich: 75-125%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 75-125%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 75-125%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 75-125%	0.005 m^3/m^2
Luftqualität ***)	überwiegend RAL1 / RAL2 Maximalwert <1400 ppm	überwiegend RAL3 / RAL4 Maximalwert >2000 ppm (kurzzeitig überschritten)	überwiegend RAL3 / RAL4 Richtwert 2000 ppm mehr als 20% der Zeit überschritten. Maximalwert > 5000 ppm!!	****)	
Behaglichkeit	Stark eingeschränkte Behaglichkeit im Winter	Eingeschränkte Behaglichkeit an kalten Tagen, bei Wind und in Bereich des ALD	Zeitweise eingeschränkte Behaglichkeit im Winter sowie im Bereich des ALD	****)	
Gesundheit	Konzept nicht anzuwenden für Gebäudestandorte mit Luftbelastung einer Überschreitung der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) für NO_2 oder PM10 um mehr als 50%. Konzept ungeeignet für Gebäudestandorte mit störenden Geruchsbelastungen oder hoher Pollenkonzentration, die durch eine Lüftungsanlage gemildert werden kann. Risiko von Hausstaubmilben & Schimmel bei ungenügendem Luftwechsel				
Akustik	Konzept nicht geeignet, wenn Belastung mit Aussenlärm den Beurteilungspegel Tag von 55 dB(A) oder den Beurteilungspegel Nacht von 45 dB(A) überschreitet (Basis SIA 382/1: 2007, Ziffer 3.2.2)				
Instandhaltung/Hygiene Aussenluftdurchlass	Gute Zugänglichkeit und einfache Reinigbarkeit vom Aussenluftdurchlass muss gewährleitet sein. Die eingesetzten Aussenluftdurchlässe sollten über einen geeigneten Luftfilter verfügen (Anforderung abhängig von Aussenbedingungen) und dürfen kein bauphysikalisches Risiko (Kriterien für Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit nach SIA 180:2014 müssen erfüllt werden) aufweisen. Für die Betrachtung wird von einem jährlich professionell durchgeführten Unterhalt dieses Elementes ausgegangen (in der Praxis meist nicht so).				

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
Variationsbereich der Betriebsenergie Wärme aus Wertebereich der untersuchten Belegungs- und Betriebszenarien ermittelt (Nutzerverhalten)
*) jährlicher Unterhalt vom ALD und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.
**) Raumbedarf der erforderlichen Schächte inkl. Küchenabluft sowie Raumbedarf für Revision und Unterhalt vom ALD.
***) Rechnerische CO_2-Konzentration aus Wertebereich der untersuchten Belegungs- und Betriebszenarien ermittelt (Nutzerverhalten)
****) Nicht bewertet, da hypothetisches Szenario ohne Belegungsszenario

Zu den Ergebnissen ist anzufügen, dass insbesondere die Resultate zum Wärmebedarf aufgrund der Lüftungsverluste sehr stark variiert. Dies ist zum einen auf das Nutzungsszenario zurückzuführen (z.B. bei Stosslüftung) aber auch durch den Wind- und Temperatureinfluss, der die erzielten Luftwechselzahlen sehr stark beeinflusst. Auswertungen zu diesen Resultaten sind im Anhang in Kapitel 14.2.2 zu finden. Dies zeigt, dass die Auswirkungen (Verluste, Luftqualität) in diesem Konzept sehr stark von äusseren Bedingungen und dem Nutzer abhängig ist und die beiden Parameter sich im Winter gegenläufig verhalten. Zum Vergleichsszenario mit 0.7 $m^3/(h\ m^2)$ ist anzumerken, dass, wie bei den Berechnungen aller in diesem Bericht untersuchten Lüftungskonzepten von einer Raumtemperatur von 22°C ausgegangen wird[42].

Die Wohnungsgrösse hat in erster Linie über die Bezugsfläche einen Einfluss auf die Resultate bei den quantitativen Kennwerten (Bezug: m^2 Energiebezugsfläche). Tabelle 66 zeigt die Varianz der quantitativen Resultate in Bezug auf die Wohnungsgrösse für die vier Betriebskonzepte. Die Resultate beinhalten ein Gebäude mit 4.5-Zimmer Wohnungen (je 120 m^2 Wohnfläche) und ein Gebäude mit 2.5-Zimmer Wohnungen (je 60 m^2 Wohnfläche). In dieser Berechnungsvariante wurden nur diese Parameter verändert, welche

[42] In allen Berechnungen zu den Lüftungskonzepten; Typischer eher konservativer Wert für reale Wohngebäude im Winter

sich durch die grösseren Wohnungen ergeben (z.B. mehr Sanitärräume, längere Betriebszeit der Abluftmenge für Bad und Dunstabzugshaube) oder sich über die Zimmerzahl definieren (v.A. Volumenströme).

Tabelle 66: Variation der Wohnungsgrösse für die Konzeptvarianten zur Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage

Variante / Einflussfaktor	Nachts Kippfenster offen, Tagsüber Stosslüften	Nachts Spaltlüfter offen, Tagsüber Stosslüften	Nachts Fenster geschlossen, Tagsüber Stosslüften	Manuelle Lüftung mit 0.7 $m^3/(h\ m^2)$	Kennwert (100%)
Betriebsenergie Strom	100% (Wert: 0.1) Bereich: 100-155%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 100-155%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 100-155%	100% (Wert: 0.1) Bereich: 100-155%	0.1 kWh /(m^2 a)
Betriebsenergie Wärme	100% (Wert: 25.4) Bereich: 100-145%	65% (Wert: 16.5) Bereich: 65-90%	65% (Wert: 16.5) Bereich: 65-90%	110% (Wert: 28.3) Bereich: - ***)	25.4 kWh /(m^2 a)
Graue Energie (Herstellung + Entsorgung ohne Betriebsenergie)	100% (Wert: 0.84) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.85) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.84) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.84) Bereich: 85-155%	0.84 $kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Investitionskosten (excl. Raumkosten)	100% (Wert: 29) Bereich: 95-155%	105% (Wert: 30) Bereich: 100-160%	100% (Wert: 29) Bereich: 95-155%	100% (Wert: 29) Bereich: 95-155%	29 CHF / m^2
Kosten Wartung /Unterhalt (excl. Energiekosten) *)	100% (Wert: 1.6) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 1.6) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 1.6) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 1.6) Bereich: 85-155%	1.6 CHF /(m^2 a)
Raumbedarf im Gebäude für Geräte und Schächte **)	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 95-155%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 95-155%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 95-155%	100% (Wert: 0.0068) Bereich: 95-155%	0.007 m^3/m^2
davon Raumbedarf für Schächte	100% (Wert: 0.005) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 85-155%	100% (Wert: 0.005) Bereich: 85-155%	0.005 m^3/m^2

Legende: Kennwerte sind bezogen auf m^2 Energiebezugsfläche (Ae);
100% Kennwert entspricht dem Basissystem für ein Gebäude mit 16 3.5-Zi. Wohnungen bei technisch guter Auslegung / Ausführung
*) jährlicher Unterhalt vom ALD und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.
**) Raumbedarf der erforderlichen Schächte inkl. Küchenabluft sowie Raumbedarf für Revision und Unterhalt vom ALD.
***) kein wesenlticher Variationsbereich der Betriebsenergie Wärme da Berechnung auf vergleichbaren spez. Luftvolumenströmen basiert.

6.6.2 Folgerungen für die Planung

Aus der Analyse der verschiedenen Themen und Relevanzen für die verschiedenen Parameter wie in Tabelle 64 können Folgerungen für die Planung bzw. mögliche Stolpersteine aufgezeigt werden. Im Folgenden werden die wesentlichsten aufgelistet und kurz erläutert:

Ein gutes Anlagenkonzept für Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage verfügt über folgende Eigenschaften:

- Wird nur an Standorten ohne nennenswerte Belastung der Aussenluft und an Lagen mit geringer Aussenlärmbelastung eingesetzt.
- Verfügt über einen ausreichend dimensionierten Aussenluftdurchlass zur kontrollierten Nachströmung der Ersatzluft für die Badabluft. Dieser ALD muss bei ausgeschalteter Badabluft die Nachströmung unterbinden, um dauernde Wärmeverluste zu verhindern.
- Der Aussenluftdurchlass soll bezüglich thermischer Behaglichkeit und bauphysikalischem Risiko (Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit) optimierter werden (Aufbau und Einbauort)
- Der Aussenluftdurchlass muss zugänglich und einfach zu reinigen sein, soll mit einem Zuluftfilter der Klasse ISO ePM10 ≥ 50% (M5) ausgerüstet sein. Jährlich ist eine professionelle Filter- und Wartung (inkl. Reinigung des Aussenluftgitters) durchzuführen.
- Verfügt zumindest in den Schlafzimmern über Fenster, welche eine Lüftungsstellung erlauben, die in der Nacht einen gewissen Luftwechsel aufweisen aber dennoch im Vergleich zum gekippten Festem die Wärmeverluste beschränken (bzw. auch einen gewissen Witterungsschutz und Einbruchsschutz bieten).
- Verfügt über eine Badabluftsteuerung mit genügender Nachlaufzeit bzw. mit einer zusätzlichen Feuchtesteuerung.
- Verfügt über eine Dunstabzugshaube mit klarem Konzept zur Nachströmung der Ersatzluft (mindestens gesichert durch Fensterkontakt, idealerweise über motorische Klappe).

Gebäudestandort:

Ob ein Konzept mit Fensterlüftung vertretbar ist, hängt sehr stark von den äusseren Bedingungen am Gebäudestandorten ab. An Standorten mit hoher Lärm- oder Aussenluftbelastung ist dieses Konzept nicht zielführend. Daher ist das Vorgehen gemäss (SIA 382/1, 2014) Kapitel 4.2.2 zu beachten und einzuhalten. Weitere Einsatzgrenzen sind im Merkblatt (SIA 2023, 2008) beschrieben.

Konzepte nur mit Fensterlüftung sind nicht geeignet für sehr dichte Gebäude, da in solchen Bauten bei ungenügender Fensterlüftung sehr schlechte Raumluftqualitäten (hohe CO_2-Konzentrationen) auftreten können.

Auch die Grösse und Belegung der Wohnung ist aufgrund des pro Person verfügbaren Raumvolumens relevant für die Beurteilung. Für kleine stark belegte Wohnungen ist ein Konzept mit Fensterlüftung aufgrund der häufig notwendigen Lufterneuerung über die Fenster ungeeignet.

Benutzerverhalten:

Beim Anlagenkonzept mit Fensterlüftung ist der Benutzereingriff Pflicht und das Benutzerverhalten damit massgebend für die Luftqualität, die Raumluftfeuchte und auch die Lüftungsverluste. Damit ist sind auch grosse Unterschiede in der realen Nutzung vorhanden. In den einen Wohnungen treten Schimmelschäden durch die zu geringe Lüftung auf und in anderen Wohnungen entstehen durch gekippte Fenster grosse Wärmeverluste auf. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass sich das Fensterlüftungsverhalten deutlich an den Aussentemperaturen orientiert (Grossklos, et al., 2004) (Kriesi, 2012). Bei kalter Witterung wird weniger gelüftet und die schlechte Luftqualität in Kauf genommen. Bei wärmeren Bedingungen wird mehr gelüftet. Dies und der Fakt, dass dieses Verhalten, zwar in geringerem Mass, auch bei Gebäuden mit mechanischer Lüftung auftritt führt in realen Gebäuden meist zu geringeren Differenzen im Heizwärmebedarf als dies durch das Lüftungskonzept zu erwarten wäre. Dies geht im Fall vom Konzept mit Fensterlüftung allerdings auf Kosten der Raumluftqualität.

Raumluftqualität und thermische Behaglichkeit

Nicht lösbar ist der Zielkonflikt zwischen hygienischer Raumluftqualität und den Lüftungsverlusten sowie der thermischen Behaglichkeit im Winter insbesondere nachts. Durch den erforderlichen Nutzereingriff zur Fensterlüftung kann mit dem Konzept keine befriedigende Lösung gefunden werden.

Als Kompromiss können die Fenster mit speziellen Beschlägen versehen werden, welche einen kleinen definierten Öffnungsspalt ermöglichen (Spaltlüftung). Damit wird eine ein Luftwechsel ermöglicht, ohne dass die Fenster ganz geöffnet werden. Damit können sehr hohe CO_2-Konzentrationen während der Nacht vermieden werden ohne dass hohe Lüftungsverluste und damit eine starke Auskühlung eintreten. Zudem bleibt der Einbruchschutzgewährleistet und ein gewisser Witterungsschutz bestehen. Allerdings ist auch diese Lösung sehr stark von den Aussenbedingungen abhängig (Wind, Temperaturdifferenz) und es kann keine sichere Einhaltung des Richtwertes der CO_2-Konzentration von 2000 ppm gemäss (SIA 180, 2014) erreicht werden. Ein solches Konzept wird im Anlagenbeispiel in Kapitel 6.6.3 vorgestellt.

Aussenluftdurchlass für Ersatzluft der Badabluft:

Um Feuchteschäden und die Gefahr der Schimmelbildung zu verhindern ist eine bedarfsgesteuerte Badabluft erforderlich (üblicherweise über Lichtschalter gesteuert mit Nachlauf). In der Planung meist unberücksichtigt bleibt bei diesen Konzepten oft die erforderliche kontrollierte Nachströmung der Ersatzluft. Für die bestimmungsgemässe Funktion der Anlage ist daher die richtige Auslegung und Konstruktion des dafür erforderlichen Aussenluftdurchlass. Dies erfordert eine sorgfältige Wahl des einzusetzenden Produktes, der Auslegung (nicht mehr als 10 Pa Druckverlust bei Nennluftmenge) und der örtlichen Platzierung (Minimierung der Zugluftrate im Aufenthaltsbereich bei kalten Aussentemperaturen). Der verwendete Aussenluftdurchlass soll über eine Vorrichtung (Klappe) verfügen, die bei ausgeschalteter Badabluft die Nachströmung unterbindet, um dauernde Wärmeverluste zu verhindern.

Küchenabluft:

Beim Konzept mit Fensterlüftung ist eine Dunstabzugshaube mit Abluft (anstatt Umluft) im Grundsatz ein sinnvolles Konzept, da damit (bei Anwesenheit) bereits ein gewisser Luftwechsel sichergestellt wird. Oft fehlt jedoch ein klares Konzept zur Nachströmung der Ersatzluft. Im Minimum ist dafür eine Verriegelung mit einem Fensterkontakt vorzusehen, damit die Dunstabzugshaube nur bei gesicherter Nachströmung eingesetzt werden kann. Idealerweise geschieht die Nachströmung jedoch über eine motorische Klappe und einen entsprechenden Aussenluftdurchlass. Dies ist jedoch baulich deutlich aufwendiger und wird daher oft nicht umgesetzt. Detaillierte Angaben zu den Vor- und Nachteilen wie auch der Auslegung dieser Nachströmung ist in (Hauri, et al., 2019) zu finden. Wird die die Nachströmung der Ersatzluft nicht gelöst, so entsteht (ohne aktives Zutun der Nutzer) beim Betrieb der Küchenabluft ein hoher Unterduck in der Wohnung, eine schlechte Effizienz der Abzugshaube (zu wenig Volumenstrom) und eine unerwünschte oft unhygienische Nachströmung durch Leckagen (z.B. über Badabluft im Sanitärbereich).

6.6.3 Anlagenbeispiel

Mit dem nachfolgenden Objekteispiel mit Fensterlüftung kombiniert mit einer Abluft-Anlage sollen die in Tabelle 64 und im Kapitel 0 bewerteten Themen beispielhaft aufgezeigt werden. Damit soll die Einordnung von Anlagen ermöglicht werden und die allenfalls kritischen Punkte des eingesetzten Lüftungskonzeptes aufgezeigt werden.

Abbildung 49: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels LK 5 (Bildquelle: Basler & Hofmann AG)

Tabelle 67: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung)

Kennwert	Beschrieb / Wert
Bezug: Jahr der Erneuerung:	1980 2002/2003
Geschosszahl	4 Wohngeschosse
Wohnungszahl	181 Wohnungen (gesamte Siedlung)
Wohnfläche	14875 m^2 (1.5 bis 5.5 Zimmer)
Lärm / Luftbelastung am Standort	ES II; Messwerte bis max 41 dB(A) *) Luftbelastung gering [NO_2-Jahresmittel 28 µg/m³] **)
Konzept Badabluft	Badabluft mit gemeinsamen Dachventilatoren. Abluft pro Bad über Licht und Abluftelement gesteuert.
Kochstellenabluft	Wird für jede Wohnung separat über Dach geführt
Raumlüftung	Fenster mit Spaltlüftungsfunktion ausgerüstet
Luftwechselrate ***)	0.23-0.38 1/h Spaltlüfter geschlossen 0.9 -1.77 1/h Spaltlüfter offen
Abluftvolumenstrom Badabluft ****)	0.44-0.95 $m^3/(h\ m^2)$ 0.18 - 0.40 1/h
Abluftvolumenstrom Küche *****)	114 - 270 m^3/h Abluft Dunstabzugshaube 0.93 -2.18 $m^3/(h\ m^2)$
Wärmerückgewinnungsgrad	keine Wärmerückgewinnung

*) Gemessen am offenen Schlafzimmerfenster (Messwertbereich aus 3 Wohnungen 34-41 dB(A)

**) Gemäss Bewertung aus Hässig et. al 2005

***) Aus Tracergasmessung, Bezug auf Volumen des Schlafzimmers

****) Bei offenem Abluftventil; Bezug auf gesamte Wohnung (Wohnfläche bzw. Volumen)

*****) spez. Wert bezogen auf gesamte Wohnung (Wohnfläche)

In diesem Objekt wurden im Rahmen der Studie (Hässig, et al., 2005) messtechnisch untersucht und die Bewohner wurden auch befragt. Folgende Einordnung kann aus den daraus verfügbaren Angaben zum Objekt erfolgen:

- In diesem Objekt wurden wesentliche Unterschiede in der Nutzung der Fensterlüftung und des in dieser Siedlung vorhandenen Fensterbeschlages (Spaltlüfter) festgestellt.
- Aus der Umfrage die von 105 Mietern (60%) ausgefüllt wurde, zeigt sich, dass die Nutzer im Durchschnitt 2x täglich lüften. Knapp die Hälfte (45%) gab an bei geöffnetem Fenster zu schlafen (nicht befragt wurde ob dabei der Spaltlüfter genutzt wird).
- Aus der Umfrage zeigt sich eine überwiegend positive Wahrnehmung der Luftqualität («geruchlos» bis «frisch». Nur 20% der Bewohner bezeichneten die Luftqualität als «abgestanden» und nur 2% als «sehr abgestanden»
- Aufgrund der Lage der Siedlung war die Wahrnehmung von Geräuschen von aussen erwartungsweise nicht stark ausgeprägt.
- Aus der Umfrage fällt auf, dass in dieser Siedlung ein erhöhter Anteil der Bewohner die Raumtemperatur als «zu kalt» wahrnehmen. Aus den Messungen kann dies bei zwei von drei Wohnungen aus den Resultaten nachvollzogen werden. Inwieweit hier ein direkter Zusammenhang mit der Lüftung besteht, ist nicht klar.
- Das in dieser Siedlung verfolgte Konzept der Badabluft mit gemeinsamen Dachventilatoren je Haus und den durch Hitzepackung gesteuerten Abluftventile (öffnen mit Lichtschalter) führte Aufgrund Undichtheiten teilweise zu Problemen mit Unterdrücken, Zugserscheinungen und Geräuschen

Auf Basis der Bewertungen in Tabelle 64 und den Kennwerten im Kapitel 0 können folgende Einschätzungen zum Objekt gemacht werden:

Tabelle 68: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten

Thema	Bewertung
Lüftungskonzept	Fensterlüftung sowie Abluft aus Küche und Bad. Keine WRG. Keine mechanische Zuluft. Fenster mit speziellen Beschlägen.
Konzept der Fensterlüftung	Für die Luftnachströmung sind in den Fenstern spezielle Beschläge angebracht (Roto-Beschläge), welche einen kleinen definierten Öffnungsspalt ermöglichen. Damit wird ein Luftwechsel ermöglicht, ohne dass die Fenster ganz geöffnet werden (Schutz vor Einbruch und Auskühlung).
Art der Nachströmung der Bad- und Küchenabluft	Badabluft wird pro Steigzone mit einem gemeinsamen Dachventilatoren über Dach geführt. Kochstellenabluft wird für jede Wohnung separat über Dach geführt. Es sind keine separaten Nachströmöffnungen für die Ersatzluft von Bad und Küchenabluft vorhanden. Nachströmung erfolgt damit nur über die Bedienung der Fenster bzw. über Undichtheiten.
Regelung/Steuerung	Die Abluft vom Bad wird über einen Dachventilator abgeführt. Die Steuerung erfolgt über automatisch verschliessbare Abluftventile die über Lichtschalter mit einer Verzögerungszeit gesteuert werden. Der Dachventilator ist dauernd in Betrieb.
Unterdruck in Wohnung	Zum Unterdruck in der Wohnung stehen für diese Objekt keine Angaben zur Verfügung.
Raumluftqualität	Luftqualitätsmessungen über 1-2 Wochen zeigten eine starke Abhängigkeit der Resultate von der Handhabung der Fensterbeschläge durch die Bewohner. In der Wohnung, in der die Beschläge nur am Abend aber nicht nachts genutzt werden, wurden in 10% der Zeit (Bezug 24h) im Schlafzimmer 2000 ppm überschritten (Maximum bei 3600 ppm). RAL 4 wurde hier während etwa 20% der Zeit überschritten. In den anderen beiden untersuchten Wohnungen, die die Beschläger nachts oder dauernd nutzen, wurden kaum Überschreitungen von RAL 2 festgestellt. Zu den Resultaten ist jedoch festzuhalten, dass die Türstellung der Innentüren nicht erfasst wurde und die Badabluft auch bei geschlossenen Ventilen Luft aus der Wohnung abziehen kann (z.T. Undichtheiten im Element).
Raumluftfeuchte	Bei den Messungen über 2 Wochen wurden in den untersuchten Schlafzimmern überwiegend angenehme, aber eher tiefe Raumluftfeuchten gemessen (im Mittel etwa 35%). Raumluftfeuchten unter 30% wurden in 5-22% der Zeit unterschritten. In den Bädern sind die rel. Feuchten jedoch überwiegend tief (45-75% der Zeit unter 30%). Der Grund dürfte auch bei den hohen Raumtemperaturen im Bad zu suchen sein (im Mittel gut 24°C).
Behaglichkeit	Die Messdaten zu den Raumtemperaturen im Schlafzimmer der beiden Wohnungen, die den Spaltlüfter regelmässig nutzen zeigen 2-3°C tiefere Raumtemperaturen als die andere Wohnung. Aus diesen Daten und der (kurzzeitig, tagsüber) durchgeführten Behaglichkeitsmessung, lässt sich ein wesentlicher Einfluss der Spaltlüftung auf die Behaglichkeit ableiten. Einen Hinweis darauf gibt auch die Bewohnerumfrage die, im Vergleich zu den anderen Siedlungen in der Untersuchung, einen eher hohen Anteil der Rückmeldung "viel zu kalt" aufweist.

6.7 Sanierungen

Bei Sanierungen bestehen für die Planung von Lüftungsanlagen verschiedene Randbedingungen, Hindernisse und Problemfelder, welche die Wahlmöglichkeiten bei den Lösungsoptionen in der Planung oft stark einschränkt.

Damit besteht ein Konflikt zwischen dem Hauptziel der Lüftungsanlage, die Raumluftqualität sicherzustellen und die Bauschadensfreiheit zu gewährleisten und den vorhandenen Randbedingungen (verfügbarer Raum, gebaute Struktur, ect.). Oft wird dann die Lüftungsanlage nur auf die Sicherstellung der Bauschadensfreiheit ausgelegt. Zudem können u.U. in der Sanierung nicht vermeidbare Wärmebrücken zu einer Verschärfung dieser Problematik führen. Der Sicherstellung der Raumluftqualität für die Bewohner wird damit oft zu wenig Beachtung geschenkt bzw. den Nutzern selbst überlassen (z.B. durch Fensterlüftung). In Tabelle 69 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren mit Fokus auf die Gebäudesanierung bewertet. Die Basis für diese Bewertung bilden die Analysen, welche in den vorgehenden Kapiteln für die verschiedenen Lüftungskonzepte erstellt wurden.

Tabelle 69: Bewertung der Fragestellungen zum Themenkreis Sanierung

Thema	**Vertikalschächte**	**Luftverteilungskonzept in der Wohnung**	**Platzbedarf für Lüftungsgeräte**	**Bauphysikalische Schwächen des Gebäudes**	**Denkmalschutz**
Fragestellung (Mögliche eingrenzende Randbedingungen, die Auswirkungen auf das Lüftungskonzept haben können)	Vorhandene (kleine) Schächte müssen genutzt werden.	Keine Einlagen möglich. Beschränkte Platzverhältnisse in Korridoren.	Nur kleine (bereits belegte) Räume im UG verfügbar. Keine geeigneten Flächen auf dem Dach (z.B. Schrägdach mit Attika). Wenig Raum in Wohnung (kein Reduit)	Im Gebäude sind (nicht vermeidbare) Wärmebrücken vorhanden.	Welche sichtbaren Ein-/Aufbauten sind zulässig? Welche Anfodrerungen bestehen im Innern?
Merkmale	Abwägung der Konzepte bezüglich deren Schachtbedarf. Lösungsoptionen mit geringem Querschnittbedarf. Minimierung der Luftmengen (optimale Kaskaden)	Konzepte im Vorteil die Räume als Luftverteilung nutzen (Überströmung)	Konzepte mit kleinen Geräten im Vorteil. Möglichkeiten für Deckengeräte oder auch Einzelraumgeräte prüfen. Systeme mit Aussenluftdurchlass und Abluft im Vorteil.	In der Konzeptwahl ist der Feuchteabfuhr besondere Beachtung zu schenken. Einschränkungen bei einigen Konzepten.	Konzepte mit minimalen Einbauten im Vorteil. Speziallösungen erfordern gute Klärung der Funktionalität.
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**				
Betriebsenergie	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross
Graue Energie	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel *) V: gross	R: gering V: gross	R: mittel V: gross
Investition	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross
Instandhaltung	R: mittel V: mittel	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	R: gering V: mittel	R: mittel V: gross
Raumluftqualität (CO_2, PM, Gerüche)		R: hoch V: gross	R: mittel V: mittel	R: hoch V: gross	
Raumluftfeuchte		R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross	
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: gering V: mittel		R: hoch V: gross	R: gering V: hoch	R: mittel V: gross
Schallschutz von aussen		R: mittel V: gross	R: mittel *) V: gross	R: mittel *) V: gross	R: gering V: gross
thermische Behaglichkeit		R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel *) V: gross	

*) Relevanz und Bewertung stark abhängig vom gewählten Konzept.

6.8 Komfort

Bezüglich des Komforts ist zu grundsätzlich zu unterscheiden zwischen

- Thermische Behaglichkeit (Temperatur, Luftfeuchte, Zugluft)
- Luftqualität (CO_2-Konzentration als Indikator[43]; Partikel[44]; div. Gase[45])
- Nutzerkomfort (Eingriffsmöglichkeiten, Bedarfsgerechte Steuerung)

Ziel eines guten Anlagenkonzeptes ist es diese Anforderungen im gegebenen Projektrahmen möglichst optimal zu erfüllen. Oft besteht ein Konflikt zwischen hoher Erfüllung der Komfortkriterien und den Vorgaben zu den Investitionskosten. Anderseits kann eine gute Lösung, die den Komfort optimal berücksichtigt beim Betriebsenergiebedarf und u.U. auch bei den Betriebskosten vorteilhaft sein. Nicht vernachlässigt werden darf dabei die Nutzerzufriedenheit, da die Lüftung ja primär den Bewohnern einen Nutzen bringen sollte. In Tabelle 70 werden die sich daraus ergebenden Fragestellungen in Bezug auf ihre Relevanz und Varianz auf verschiedene Einflussfaktoren mit Fokus auf die Komfortkriterien bewertet. Die Basis für diese Bewertung bilden die Analysen, welche in den vorgehenden Kapiteln für die verschiedenen Lüftungskonzepte erstellt wurden.

Tabelle 70: Bewertung der Fragestellungen zum Themenkreis Komfort

Thema	**Luftmengen**	**Raumluftfeuchte**	**Zulufttemperatur im Winter**	**Zulufttemperatur im Sommer**	**Bedingungen der Aussenluft**
Fragestellung / Problemstellung	Die Luft sollte dort vorhanden sein, wo sie benötigt wird.	Tiefe Raumluftfeuchten im Winter.	Kalte Aussen- / Zuluft führt zu Reklamationen bezüglich Zugluft.	Stark erwärmte Aussen- / Zuluft führt zu Reklamationen bezüglich Überhitzung	Gebäude an stark belasteten Standorten
Merkmale	Bedarfsabhängige Steuerung. Kaskadenkonzepte.	Konzepte im Vorteil mit bedarfsgerechten Luftmengen und Enthalpieübertragern.	Grosse Schwächen bei Konzepten ohne Wärmerückgewinnung. Die angewendete Enteisungsstrategie bei Lüftungen darf nicht zu einer zu tiefen Zulufttemperatur führen.	Grosse Schwächen bei Konzepten mit Aussenluftfasung an Fassade (je nach Ausrichtung). Gewisse Konzepte erlauben einfache Verbesserungen (z.B. Erdregister)	Grosse Schwächen bei Konzepten mit Aussenluftfasung an Fassade und schwacher Aussenluftfilterung.
Einfluss auf:	**Legende zur Bewertung: R = "Relevanz" (hoch, mittel, tief) ; V = "Varianz" (gross, mittel, gering)**				
Betriebsenergie	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross
Graue Energie	R: hoch V: gross	R: gering V: gross	R: gering V: gross	R: mittel V: gross	R: gering V: mittel
Investition	R: hoch V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: mittel V: gross
Instandhaltung	R: mittel V: mittel		R: mittel V: gross	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross
Raumluftqualität (CO_2, PM, Gerüche)	R: mittel *) V: mittel	R: hoch V: gross			R: hoch V: **)
Raumluftfeuchte	R: hoch V: gross	R: hoch **)	R: gering V: mittel	R: gering V: gering	R: mittel V: gross
Schallschutz Lüftungsgeräusche	R: gering V: mittel				
Schallschutz von aussen			R: gering V: mittel	R: mittel V: gross	R: hoch V: gross
thermische Behaglichkeit		R: mittel V: gross	R: hoch V: **)	R: hoch V: **)	R: mittel V: gross

*) Relevanz nur als "mittel" bewertet, da die Luftqualität hier der Auslegungsparameter sein sollte und nicht das "Resultat"

**) Bewertung der Varianz hier wenig sinvoll, da der Parameter identisch mit der Fragestellung ist (daher natürlicherweise auch maximale Relevanz)

[43] Die Raumluftbelastung beinhaltet auch diverse andere Stoffe (z.B. VOC, etc.) die oft mit der CO_2-Konzentrarion in Korrelation stehen (aber nicht müssen).

[44] Damit sind in erster Linie meist Aussenluftbelastungen z.B. durch Feinstaub (vom Verkehr) oder auch Pollen gemeint.

[45] Darunter fallen z.B. gesundheitsschädliche Gase wie z.B. Radon.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Diskussion

7.1.1 Einleitung

In der Diskussion der Resultate und deren Schlussfolgerungen wird auf folgende Fragestellungen eingegangen:

- Welchen Einfluss haben Entscheide zur Systemwahl?
- Wie stellt sich die Sensitivität wichtiger Parameter für ein gewähltes Lüftungskonzept dar?
- Wie verhalten sich wesentliche Einflussgrössen im Vergleich?
- Welche Faktoren können in der Planung, Realisierung und im Betrieb ein wesentlicher Einfluss auf die ökonomische und ökologische Gesamtbilanz der Anlage haben?

Die Diskussion wird entlang den wesentlichen in der Analyse untersuchten Beurteilungsparametern geführt und dabei eine Einordung der Resultate der fünf Konzepten zueinander gemacht.

Abbildung 50 zeigt zur Rekapitulation die fünf untersuchten Konzepte in der Übersicht.

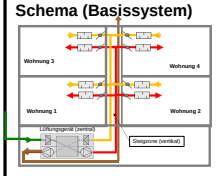
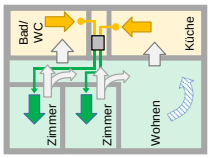
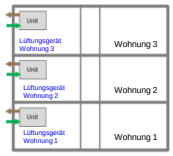
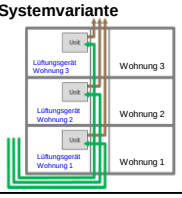
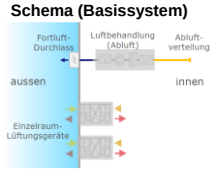
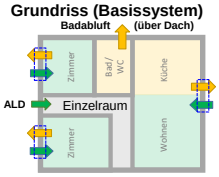
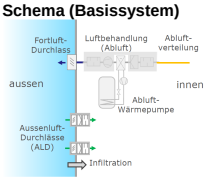
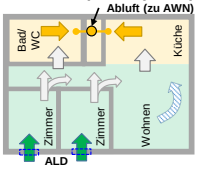
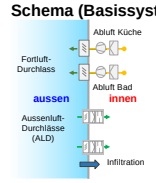
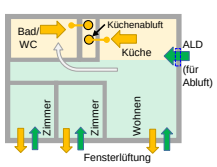
Code	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5
	Schema (Basissystem)  Grundriss (Basissystem) 	Basissystem  Systemvariante 	Schema (Basissystem)  Grundriss (Basissystem) 	Schema (Basissystem)  Grundriss (Basissystem) 	Schema (Basissystem)  Grundriss (Basissystem) 
Bezeichnung	Einfache Lüftungsanlage Mehrwohnungsanlage	Einfache Lüftungsanlage Einzelwohnungsanlage	Einzelraumlüftungsgerät kombiniert mit Abluftanlage für Nassräume	Abluftanlage mit Abluft-Wärmepumpe für WW Mehrwohnungsanlage	Fensterlüftung kombiniert mit Abluftanlage pro Nassraum
Verteilung	Kaskade	Kaskade	Einzelraum / Badabluft Kaskade	Kaskade	Badabluft als Kaskade
Steuerung / Regelung	Handschalter pro Wohnung mit 2 Stufen	Handschalter mit 3 Stufen	Handschalter je Gerät, 3 Stufen Badabluft Ein/Aus (über Licht)	Dauerbetrieb	Manuelle Fensterlüftung Badabluft Ein/Aus (über Licht)
Küchenabluft	Umluft	Umluft	Umluft	Umluft	Abluft
System-varianten	Verbundlüftung / ohne Kaskade Standort Lüftungsgerät Varianten Luftverteilung	Verbundlüftung / ohne Kaskade Standort Lüftungsgerät Varianten Luftverteilung	Gerät mit Nebenanschluss (keine sep. Badabluft) Badabluft mit Dauerbetrieb	ALD mit Feuchteregelung AWN für WW und Heizung Anlage ohne AWN je Wohnung	Nutzungsvarianten der Fensterlüftung Fensterlüftung mit Spaltlüfter

Abbildung 50: Übersicht Lüftungskonzepte

In den verwendeten Graphiken zur Darstellung der Resultate wird die Sensitivität in der Konzeption der einzelnen Varianten durch einen in der Graphik eingezeichneten Streuungsbereich aufgezeigt (als Fehlerindikator dargestellt). Die Graphen sind so aufgebaut, dass Sie jeweils für jedes Lüftungskonzept den Basiswert zeigten und mit dem Fehlerindikator die für den betrachteten Parameter günstigste sowie ungünstigste Berechnungsvariante. Detailangaben zu einzelnen Werten der untersuchten Varianten sind im jeweiligen Kapitel im Abschnitt 6 oder im Anhang zu finden. Wie in Kapitel 5 beschrieben basieren Beurteilungsparameter in Kapitel 7.1.2 bis Kapitel 7.1.7 auf quantitativen Analysen und die Beurteilung der Parameter ab Kapitel 7.1.8 basiert primär auf qualitativen Analysen der Konzepte und Varianten auf Basis der in Abschnitt 6 dokumentierten Ergebnissen. In diesen Darstellungen werden die Kriterien mit 0 bis 5 Punkten bewertet, wobei 0 der schlechteste und 5 der beste Wert über alle untersuchten Konzepte (LK 1 bis LK 5) und Varianten ist.

7.1.2 Materialökobilanz

Ein Vergleich der fünf Grundkonzepte bezüglich der Einschätzung zur Ökologie der Materialisierung (Erstellung und Entsorgung) zeigt Abbildung 51 für den Indikator der nichterneuerbaren Primärenergie («Graue Energie»). Wichtig für das Verständnis ist, dass die Betriebsenergie der Anlagen (Strom und Wärme) in diesen Resultaten nicht enthalten ist. Damit ebenfalls nicht in den Resultaten enthalten ist der unterschiedliche Aufwand für die Wärmerzeugung, der für die Bereitstellung der benötigten Wärme erforderlich ist. Die Resultate zur Gesamtökobilanz mit Berücksichtigung dieser Elemente sind in Kapitel 7.1.4 dargestellt.

Der Vergleich zeigt primär den Einfluss der Materialisierung. Aus den Ergebnissen zeigt sich die erwartete Abhängigkeit von der benötigten Materialmenge. Günstig sind daher alle Konzepte, die mit wenig, oder ökologisch günstigem Material auskommen. Dies kann mit einfacheren Konzepten (z.B. Abluftanlage gem. LK 4) aber auch mit günstigen Konzepten zur Luftführung (Kaskade) erreicht werden. Da im Basisfall vom Lüftungskonzept 1 (zentrale Anlage) wie auch im Lüftungskonzept 2 (wohnungsweise Anlage) bereits ein Konzept mit Kaskade vorgesehen ist, legt der Basiswert diese Konzepte bereits recht nahe beim Minimum. Auf der anderen Seite kann die Abweichung bei diesen Konzepten zu höheren Werten sehr deutlich ausfallen. Insbesondere beim Lüftungskonzept 2 sind dafür neben dem Lüftungskonzept selbst vor allem auch die Platzierung der Geräte ein wesentlicher Einfluss. Insbesondere eine zentrale Platzierung aller Geräte im UG kann sich sehr ungünstig auswirken. Wenn die Geräte in diesem Konzept nicht in der Wohnung platziert werden können, ist eine Anordnung in Steigzonennähe im Dachbereich oder sogar auf dem Dach selbst (wenn das Gerät dafür ausgelegt ist) zu empfehlen.

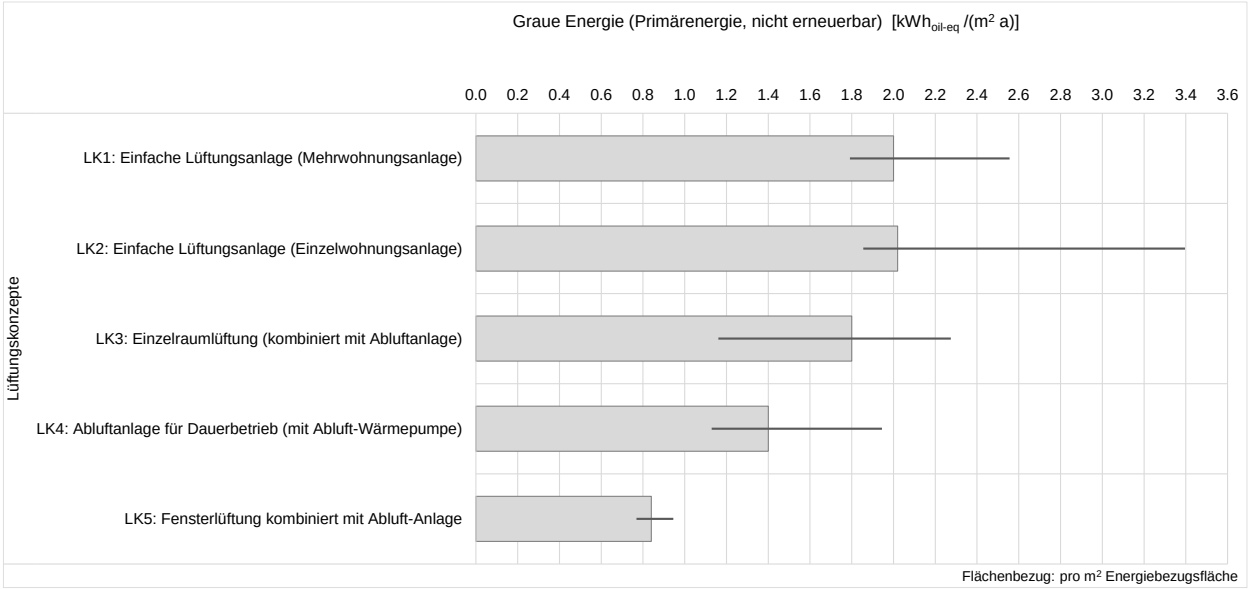


Abbildung 51: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Graue Energie (nichterneuerbare Primärenergie)

Ein sehr ähnliches Bild wie bei der nichterneuerbaren Primärenergie zeigt sich auch beim Indikator der gesamten Primärenergie (erneuerbar + nichterneuerbar) sowie bei dem Treibhausgaspotential wie aus Abbildung 52und Abbildung 53 hervorgeht.

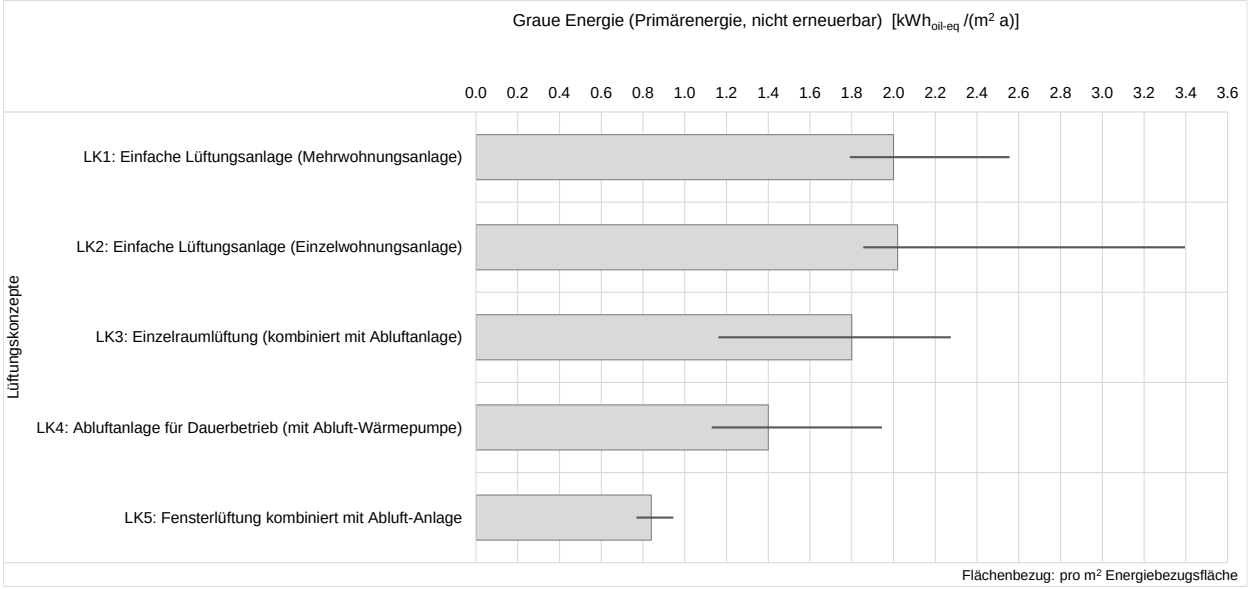


Abbildung 52: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Primärenergie gesamt (nichterneuerbar + erneuerbar)

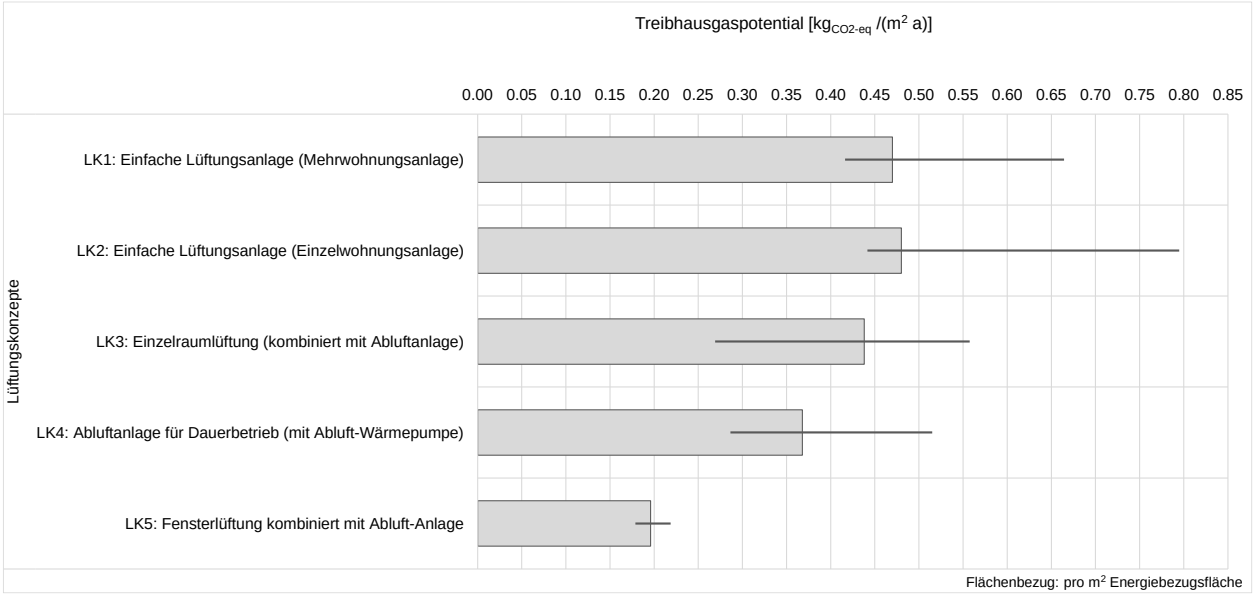


Abbildung 53: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Treibhausgaspotential

In Abbildung 54 sind die Resultate bewertet nach der Methode der ökologischen Knappheit, den Umweltbelastungspunkten (UBP 2013) dargestellt. Hier zeigen sich gewisse Verschiebungen bei Konzepten, die nur über ein kurzes Verteilnetz mit Lüftungsleitungen verfügen (v.A. Lüftungskonzept LK 2 und LK 3 aber auch bei gewissen Varianten vom LK2). Der Grund liegt in erster Linie in der relativ ungünstigen Bewertung der Verzinkung in der Methode der ökologischen Knappheit.

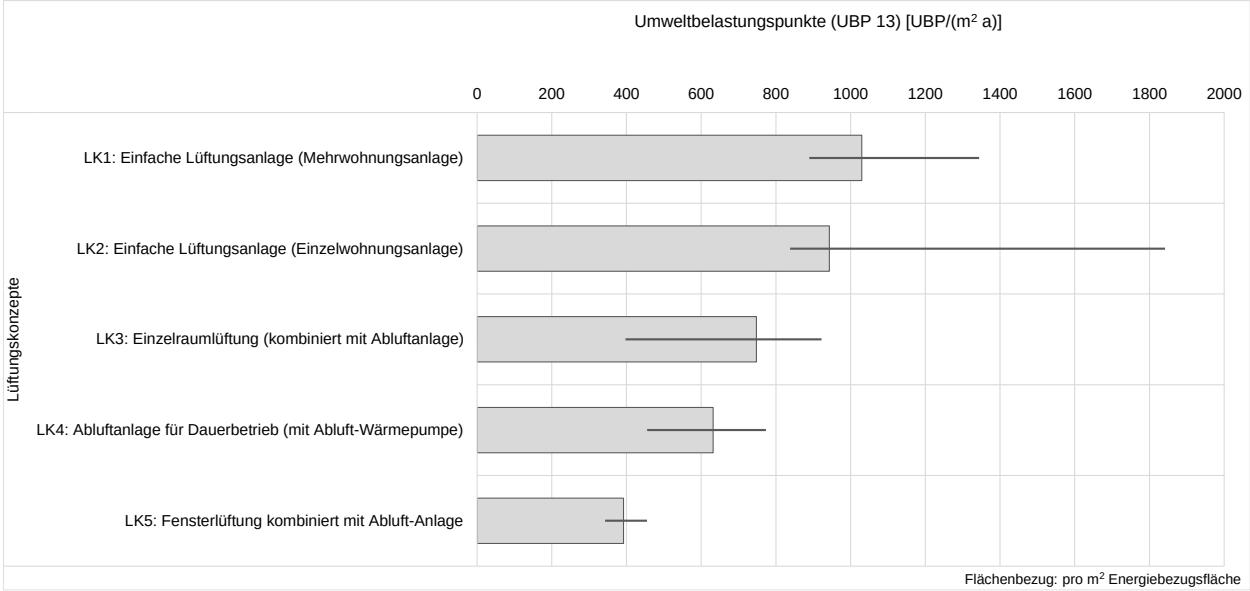


Abbildung 54: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Umweltbelastungspunkte (UBP 2013)

Die Grosse Sensitivität im Lüftungskonzept 3 (Einzelraumgeräte) ist in erster Linie auf die Geräte selbst zurückzuführen. Hier existiert eine grosse Bandbreite von Geräten. Kleine und leichte Geräte haben jedoch oft sehr ungünstige Eigenschaften bezüglich Effizienz (WRG, Strombedarf) und Akustik. Daher ist hier eine genaue Prüfung der Geräteeigenschaften zentral. Auf die ungünstige Seite bemerkbar macht sich ein erhöhter Wartungsaufwand bei belasteten Standorten.

Die Sensitivität im Lüftungskonzept 4 (Abluft) ist wesentlich durch das Anlagenkonzept (mehrere Kleine Abluftgeräte oder nur ein grosses) beeinflusst. Wie beim Lüftungskonzept 3 zeigt sich auch hier der erhöhte Wartungsaufwand bei belasteten Standorten (oberer Streubereich).

7.1.3 Betriebsenergie (Strom und Wärme)

In vielen Punkten hat die Einschätzung zur Betriebsenergie und die Ökologie der Materialisierung einen Zusammenhang. Dies kann gleichläufig (effiziente Konzepte) oder gegenläufig (grosszügige Dimensionierung) sein. Ein Vergleich der fünf Grundkonzepte bezüglich der Einschätzung zur Betriebsenergie zeigt Abbildung 55 (Strom) und Abbildung 56 (Wärme). Die Resultate in diesen Abbildungen beinhalten keine Gewichtung (Strommix bzw. Art der Wärmeproduktion) dies ist bei der Beurteilung zu beachten[46]. Damit ist die Abwärmenutzung durch die Abluftwärmepumpe im LK4 in diesen Daten auch nicht berücksichtigt.

Beim Strombedarf sind Anlagenkonzepte, welche geringe Gesamtluftmengen, eine bedarfsgerechte Steuerung, tiefe Druckverluste und Geräte mit einer hohen Effizienz (Ventilatoren und interne Druckverluste) aufweisen günstig. Bei den Zentralen Anlagen ist eine grosse Spannbreite der Werte zu erwarten. Dies zeigen auch Messungen an realisierten Projekten. Einzelwohnungsanlagen (LK 2) haben beim Stromverbrauch oft eine günstigere Ausgangslage als zentrale Anlagen, da die Leitungslängen oft kürzer sind und eine bedarfsgerechte Steuerung einfacher realisierbar ist. Aber auch hier besteht eine grosse Spannbreite. Einzelraumanlagen haben ungünstigere Voraussetzungen, da hier eine Kaskade oft nicht realisiert wird und damit die Gesamtluftmenge höher ist. Auch weisen die Geräte typischerweise insgesamt eine schlechtere Effizienz auf. Auf der anderen Seite ist hier eine bedarfsgerechte Steuerung am einfachsten möglich. Abluftanlagen (LK 4) haben im Grundsatz eine sehr günstige Ausgangslage beim Stromverbrauch. Allerdings können auch hier durch das Anlagenkonzept grosse Streuungen auftreten. Ungünstig ist dabei vor allem die Anordnung der Anlage (Abluftventilator und Abwärmenutzung) im UG.

[46] Für die Darstellung in den Abbildungen wird für die Übersichtlichkeit eine unterschiedliche Skalierung verwendet.

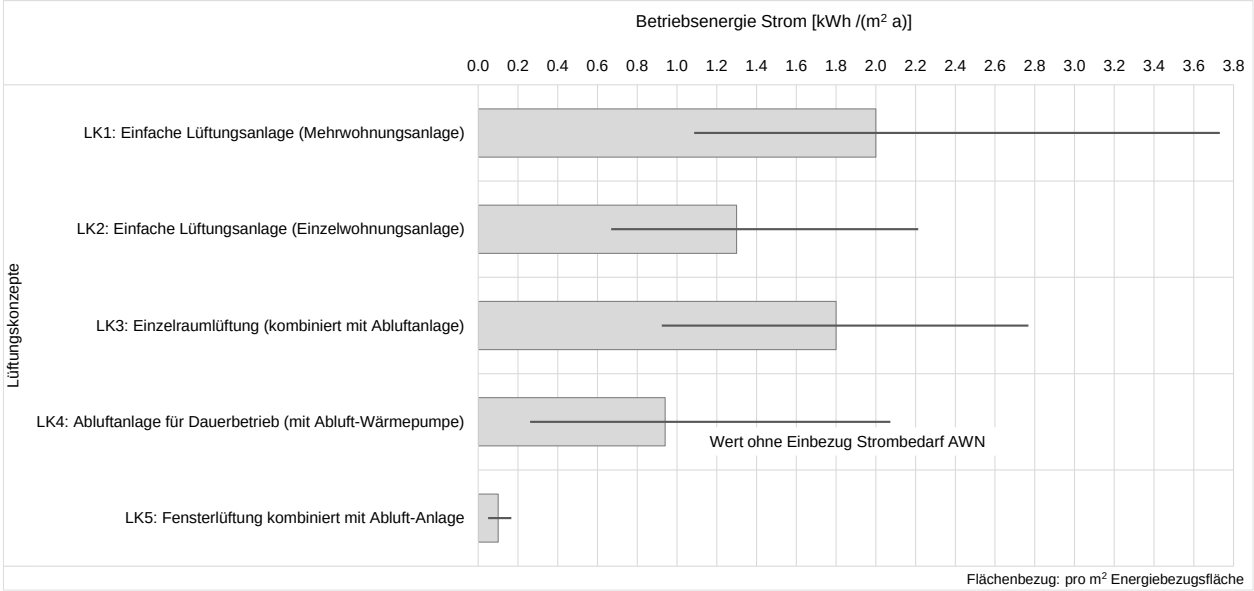


Abbildung 55: Konzeptvergleich, Bewertung Betriebsenergie Strom

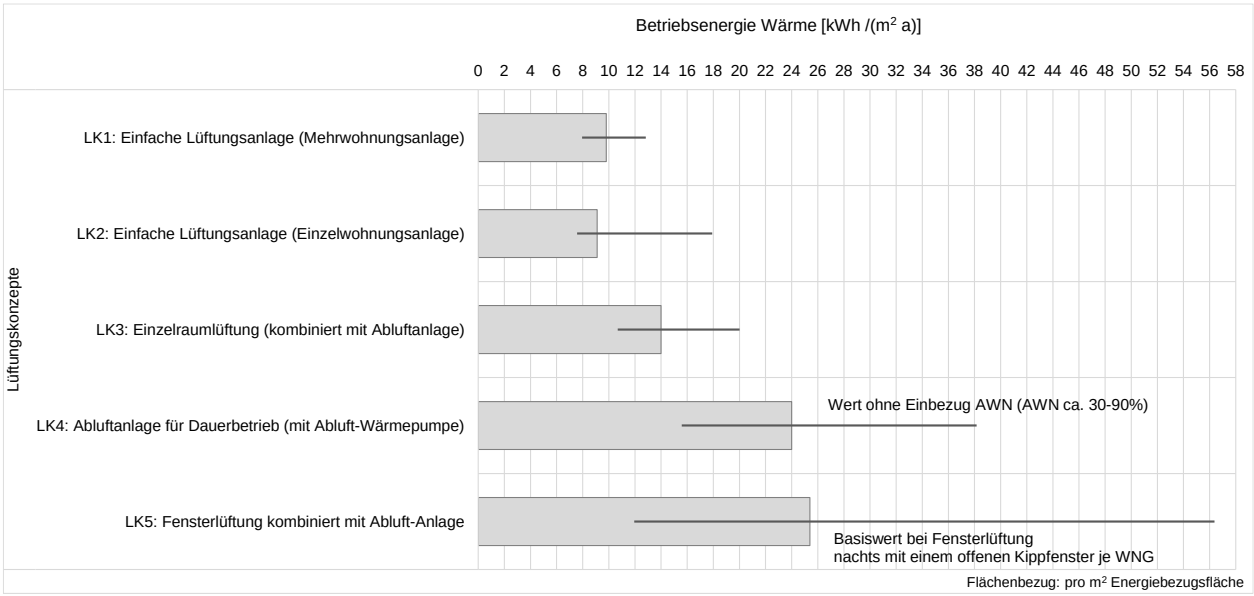


Abbildung 56: Konzeptvergleich, Bewertung Betriebsenergie Wärme

Die Bewertung der Betriebsenergie Wärme zeigt den Wärmebedarf der über die Lüftungsverluste, Wärmeverluste in den Lüftungsleitungen sowie dem erforderlichen Wärmebedarf für Nachwärmung der Zuluft (z.B. bei der Enteisung bzw. geringem Wärmerückgewinnungsgrad) entsteht.

Die Bewertung des erforderlichen Wärmebedarfs (Abbildung 56) fällt für die Lüftungskonzepte LK1 und LK2 am günstigsten aus. Bei den wohnungsweisen Anlagen ist der Streubereich jedoch deutlich grösser was vor allem dem Anlagenkonzept (Standort der Geräte) geschuldet ist das für wesentliche, zusätzliche Wärmverluste verantwortlich sein kann.

Die Abluftanlagen für Dauerbetrieb (LK 4) zeigen, bei korrekter Auslegung der Zuluftvolumenströme einen erheblichen Wärmebedarf, der für die Lufterwärmung benötigt wird. Zwar kann ein wesentlicher Teil davon durch die Abwärmenutzung wieder genutzt werden, aber dazu ist zusätzliche Primärenergie (Strom für die Wärmepumpe) nötig. In der Gesamtbilanz ist es bei diesem Konzept daher sehr relevant mit welcher Ge-

samteffizienz die übrige Heizwärme produziert wird. Ein wesentlicher zusätzlicher Einfluss ist die Gebäudedichtheit. In der vorliegenden Betrachtung wird von einem Neubaufall ausgegangen. Bei undichteren Altbauten kann der Anteil an Infiltration deutlich grösser sein, was die Abluftmenge und damit den Wärmebedarf deutlich erhöht (Zuluftvolumenstrom über die Aussenluftdurchlässe ist auch hier einzuhalten). Eine wesentliche Reduktion des Wärmebedarfs kann durch eine Bedarfsregelung der Abluftelemente erreicht werden. Bei diesem Konzept ist jedoch die Gefahr, dass die Luftqualität bei der Bedarfsregelung leidet, deutlich erhöht.

Bei der Fensterlüftung kombiniert mit einer bedarfsgeschalteten Badabluft (LK 5) wird von einem ganzjährigen Lüftungsverhalten der Bewohner ausgegangen, dass vertretbare Luftqualitäten auch nachts beinhaltet. In diesem Fall ist der Wärmebedarf vergleichbar, aber viel stärker abhängig von den Aussenbedingungen wie beim Lüftungskonzept LK4. Da in den realen Gebäuden viele Bewohner vor allem nachts hygienisch bedenkliche Luftqualitäten in Kauf nehmen ist in real gemessenen Gebäuden der Wärmebedarf oft deutlich niedriger. Dieser Fall wird in der Betrachtung aufgrund der nicht vergleichbaren Luftqualität bewusst nicht einbezogen.

Da beim System mit Abluftanlagen (LK 4) eine Abwärmenutzung mit einer Abluftwärmepumpe erfolgt, wird bei diesem System ein Teil des in Abbildung 56 ausgewiesenen Wärmebedarfs durch die im System enthaltene Abluftwärmepumpe erbracht. In Abbildung 58 wird dies berücksichtigt und als Wärmebedarf, der ab der Wärmeerzeugung bezogen werden muss, dargestellt.

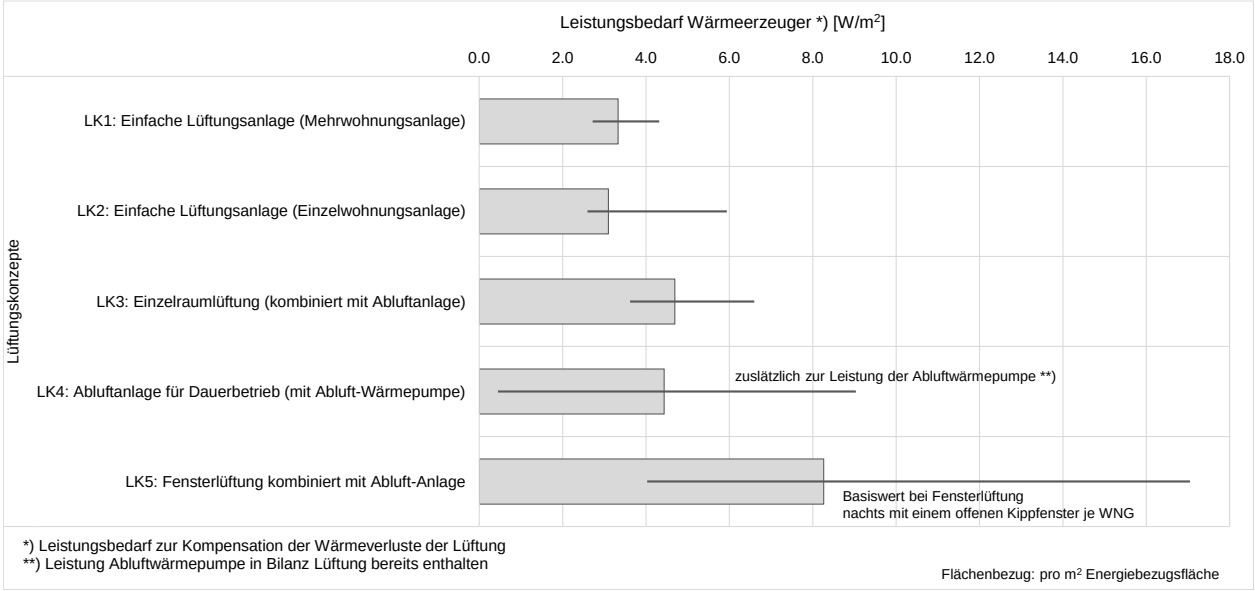


Abbildung 57: Konzeptvergleich, Bewertung Wärmebedarf ab Wärmeerzeuger

Da die Lüftungsverluste und Wärmerückgewinnung bei den verschiedenen Lüftungskonzepten sehr unterschiedlich sind, wird neben dem Wärmebedarf auch der benötigte Leistungsbedarf der Wärmeerzeugung und -abgabe beeinflusst. Um dies zu berücksichtigen, wurde auf Basis des definierten Referenzgebäudes (siehe Kapitel 10.1) mit einem vereinfachten Heizleistungsmodell der durch die Lüftungsverluste verursachte (zusätzliche) Leistungsbedarf der Wärmeerzeugung ermittelt. Da alle Systeme Lüftungswärmeverluste beinhalten ist dieser Leistungsbedarf auch bei allen Systemen, in unterschiedlichem Masse, vorhanden. Ein Vergleich der fünf Grundkonzepte bezüglich des Leistungsbedarfs zur Kompensation der Wärmeverluste der Lüftung zeigt Abbildung 58.

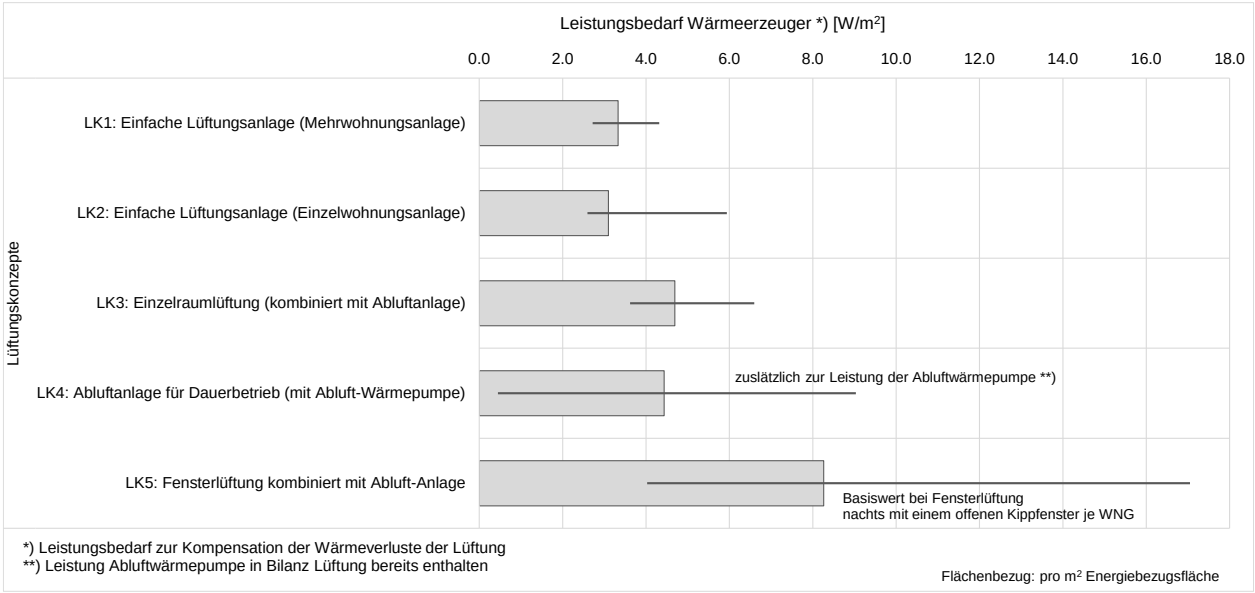


Abbildung 58: Konzeptvergleich, Bewertung Leistungsbedarfs zur Kompensation der Lüftungswärmeverluste

Für das System mit Abluftanlagen (LK 4) ist die Leistung der Abluftwärmepumpe in diesen Zahlen berücksichtigt. Die Resultate zeigen für dieses System damit nur der zusätzliche Leistungsbedarf der Gebäudeheizung. Je nach Ausgestaltung der Abwärmenutzung kann daher der zusätzliche Leistungsbedarf stark variieren. Den grössten zusätzlichen Leistungsbedarf weist die Fensterlüftung kombiniert mit einer bedarfsgeschalteten Badabluft (LK 5) auf. Der Grund ist hier vor allem im erhöhten Luftwechsel bei kalter Witterung zu suchen. Für die Analyse wird dabei ein von den Aussenbedingungen unabhängiges Lüftungsverhalten zugrunde gelegt, um die Vergleichbarkeit der Konzepte zu gewähren. In der Realität werden viele Bewohner vor allem bei kalter Witterung und nachts hygienisch bedenkliche Luftqualitäten in Kauf nehmen und die Lüftungshäufigkeit entsprechend reduzieren wird damit die Raumtemperatur nicht zu stark abfallen. Dies betrifft insbesondere die oberen Grenzen in der Sensitivitätsbetrachtung, da die Auslegung der Wärmeerzeugung und -abgabe nach Norm diese Leistungen gar nicht zur Verfügung stellen wird.

7.1.4 Gesamtökobilanz

Die Resultate zur Materialökobilanz und der Betriebsenergie (Strom und Wärme) können in einer Gesamtbilanz zusammengefasst werden. Dafür sind jedoch verschiedene (projektspezifische) Festlegungen erforderlich. Damit die Resultate projektunabhängig verwendet werden können werden die Teilresultate zur Betriebsenergie in Kapitel 7.1.3 ungewichtet dargestellt.

Für die Gesamtökobilanz wurden folgende Festlegungen gemacht:

- Wärmeerzeugung mit Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer JAZ von 2.8
- Elektrizität vom Netz bilanziert mit Schweizer Verbrauchermix

Für den Einbezug des Wärmebedarfs ab Wärmeerzeuger wurde der Prozess zur Nutzwärme ab Elektrowärmepumpe Luft / Wasser (JAZ 2.8) aus (KBOB, 2016) verwendet. Dieser Prozess beinhaltet auch die Verluste und die Materialien des Wärmeerzeugers. Damit noch nicht abgedeckt ist die Veränderung der Wärmeverteilung. Dies wurde mit dem Prozess «Wärmeverteilung Wohngebäude» aus (KBOB, 2016) verwendet. Für die Umrechnung des Prozesses wurde für den Vergleich eine Lebensdauer der Verteilung von 30 Jahren gemäss SIA 2032 angesetzt. Die Bezugsgrösse wurde über die erforderliche spezifische Leistung (siehe Abbildung 58) und die dem Prozess zugrundeliegende spezifische Leistung von 16.2 W/m² aus (Klingler, et al., 2014) zugrunde gelegt.

Für das System mit Abluftanlagen (LK 4) wird der Strombedarf der Abluftwärmepumpe in den nachfolgenden Graphen separat dargestellt. Für die Wärmeverteilung wird bei diesem System der gesamte für die Kompensation der Lüftungswärmeverluste erforderliche Leistungsbedarfs berücksichtigt. Insgesamt ist der

Einfluss von der Wärmeverteilung auf das Gesamtresultat jedoch klein (im Bereich 0.5% bis 1% beim Indikator der nichterneuerbaren Primärenergie. Nicht in die Berechnung einbezogen wurde der Raumbedarf (bzw. deren volumetrische Auswirkung auf das Gebäude). In den Materialaufwänden jedoch einbezogen sind z.B. notwendige Schachtwände oder andere direkt verknüpfte baulichen Aufwände.

Ein Gesamtvergleich der fünf Grundkonzepte auf dieser Basis für den Indikator der nichterneuerbaren Primärenergie zeigt Abbildung 59. Im Vergleich der Basisvarianten schneidet die wohnungsweise Anlage (LK 2) unter den gewählten Randbedingungen am günstigsten ab. Dies liegt zum einen an der guten Wärmerückgewinnung, dem moderaten Stromverbrauch. Da die Materialisierung in der Gesamtbilanz bei diesem Indikator nur knapp 15% ausmacht, fällt der höhere spezifische Materialbedarf dieses Konzeptes (v.a. gegenüber LK5) weniger ins Gewicht.

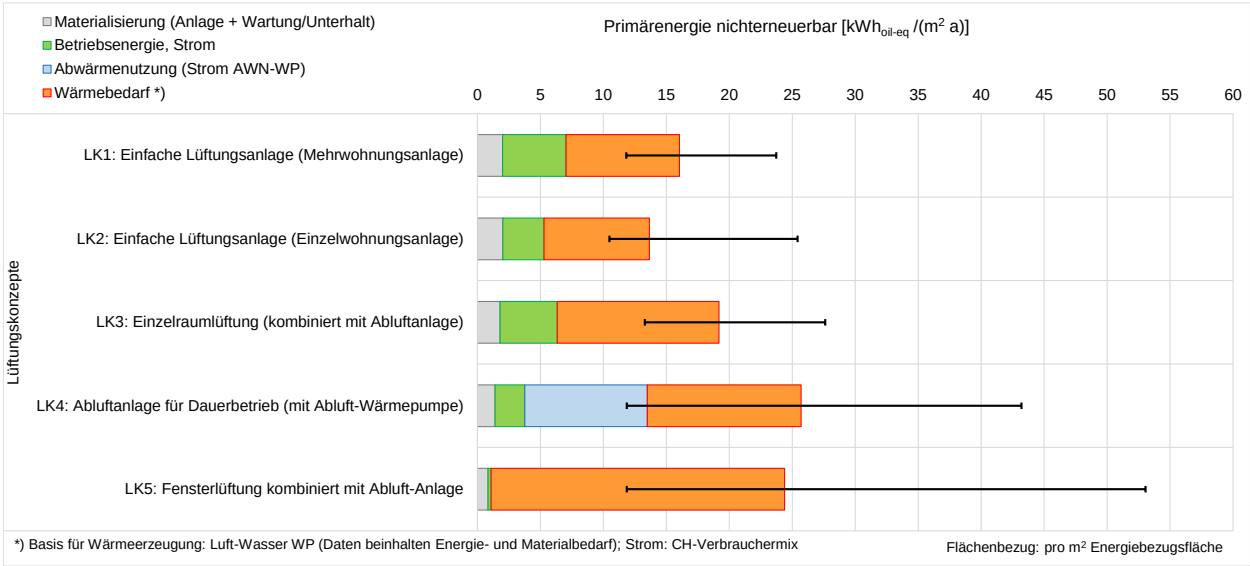


Abbildung 59: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Primärenergie nichterneuerbar

Die dargestellten Streubreiten (dargestellt durch Fehlerindikatoren) der Varianten und Sensitivitäten innerhalb eines Lüftungskonzeptes, beinhaltet die Variation aus allen Teilwerten (Materialisierung und Betriebsenergie). Die Analyse zeigt, dass mit den getroffenen Festlegungen zur Wärmeerzeugung und Strommix vor allem der Wärmebedarf für eine Grossteil der Variation verantwortlich ist.

Im Grundsatz ein ähnliches Bild wie bei der nichterneuerbaren Primärenergie zeigt sich auch bei den anderen Indikatoren. Im Vergleich der Basisvarianten schneidet bei allen Indikatoren die wohnungsweise Anlage (LK 2) unter den gewählten Randbedingungen am günstigsten ab. Bei der gesamten Primärenergie (erneuerbar + nichterneuerbar) sind die Differenzen zwischen den Varianten aufgrund des Einbezugs der Umgebungswärme der Luft-Wasser Wärmepumpe am grössten. Dies wirkt sich vor allem bei der Fensterlüftung (LK 5) aus. Am Geringsten sind die Differenzen zwischen den Varianten bei der Bewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit, den Umweltbelastungspunkten (UBP 2013). Der Grund hierfür liegt beim Einbezug verschiedener Umwelteinflüsse in dieser Bewertung. Dadurch nimmt das Gewicht vor allem der Materialisierung zu.

Abbildung 60 zeigt den Gesamtvergleich der fünf Grundkonzepte für den Indikator der gesamten Primärenergie (erneuerbar + nichterneuerbar).

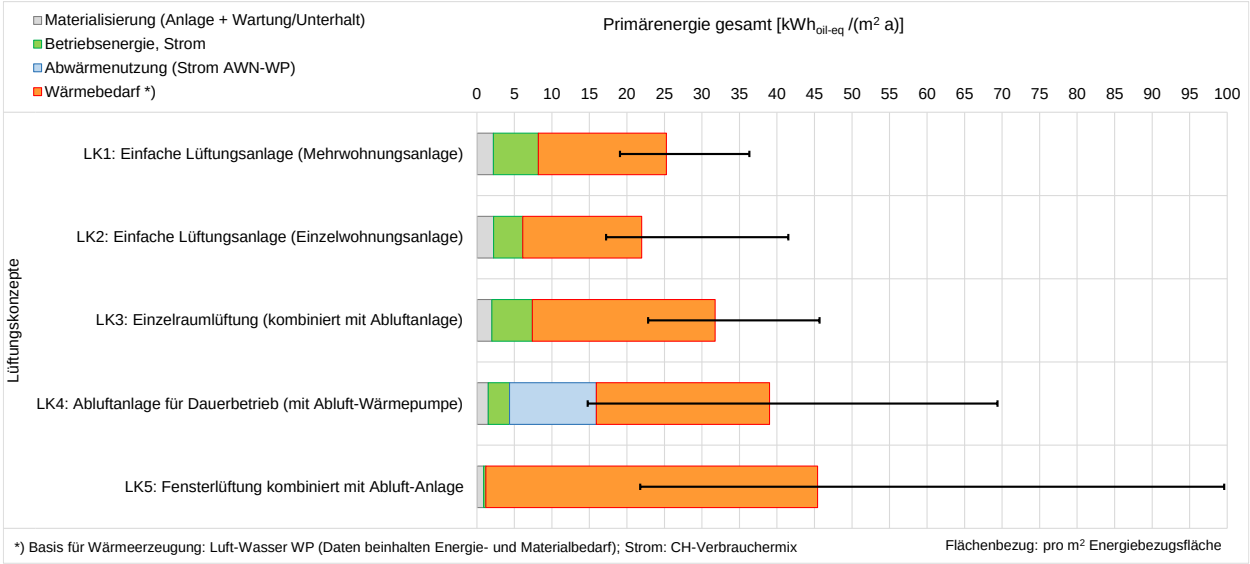


Abbildung 60: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Primärenergie gesamt (nichterneuerbar + erneuerbar)

Abbildung 61 zeigt Den Gesamtvergleich der fünf Grundkonzepte für den Indikator der Treibhausgasemissionen.

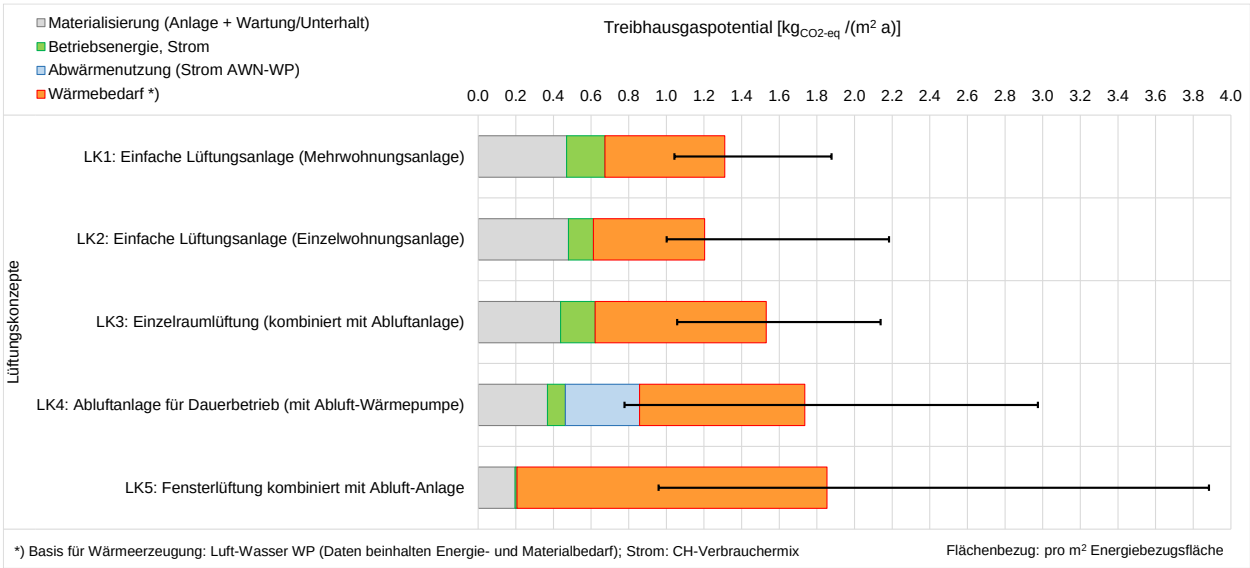


Abbildung 61: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Treibhausgaspotential

Abbildung 62 zeigt den Gesamtvergleich bewertet nach der Methode der ökologischen Knappheit, den Umweltbelastungspunkten (UBP 2013).

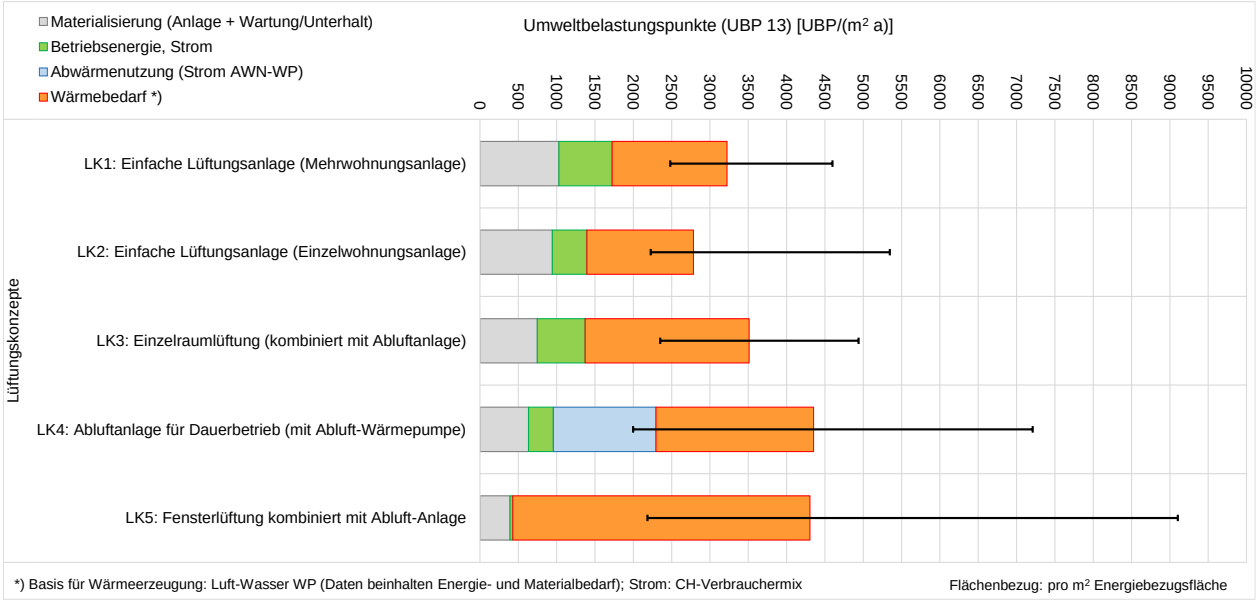


Abbildung 62: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Umweltbelastungspunkte (UBP 2013)

7.1.5 Ökonomie (Investitionskoten / Unterhaltskosten)

Ein Vergleich der fünf Grundkonzepte bezüglich der Einschätzung zur Ökonomie zeigt Abbildung 63 (Investitionskosten) und Abbildung 64 (Unterhaltskosten). Bei den Investitionskosten zeigen sich die erwarteten Differenzen. Zentrale Anlagen können bei günstiger Planung kosteneffizient realisiert werden. Bei den wohnungsweisen Anlagen ist die Spannbreite der Kosten sehr hoch. Ungünstige Konzepte können hier zu hohen Kosten führen.

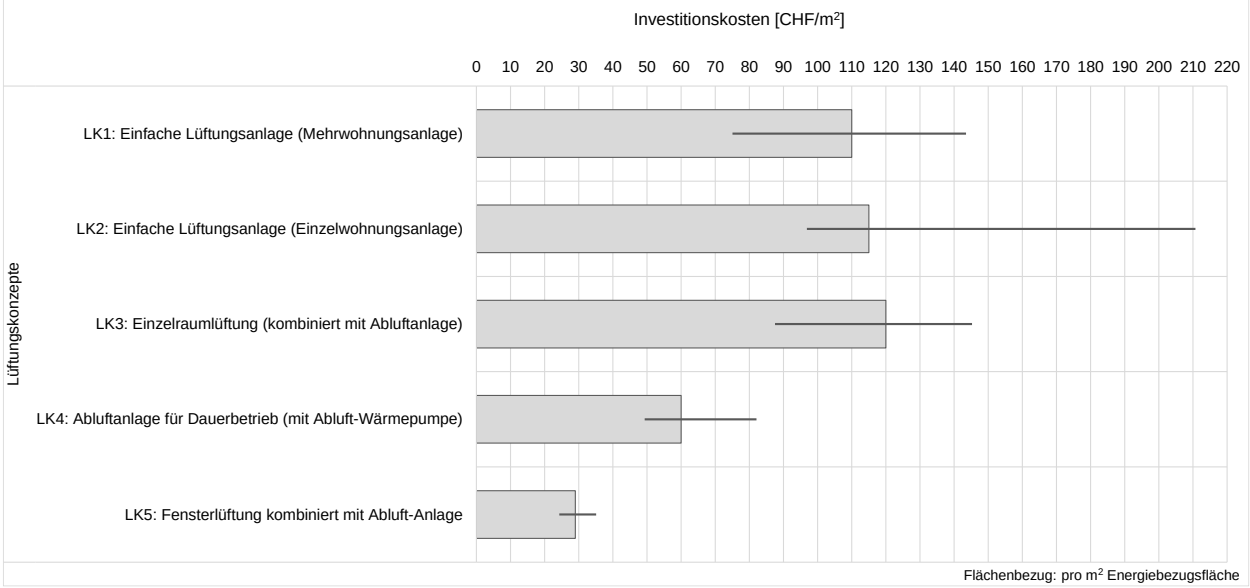


Abbildung 63: Konzeptvergleich, Bewertung Investitionskosten

Einzelraumanlagen sind im Grundsatz eher teurer, da wesentliche Kosten bei den Geräten anfallen und mehrere Geräte pro Wohnung notwendig sind. Da technisch gute und effiziente Geräte relativ teuer sind,

haben hier Kostenreduktionen meist mit Einbussen bei der Betriebsenergie oder beim Komfort (v.A. akustische Werte). Erwartet wurden die tiefen Investitionskosten der Abluftanlagen (LK 4). Kostensenkend sind hier grössere Anlagen (eine Anlage auf dem Dach für das gesamte Gebäude). Höhere Kosten sind bei guten bedarfsgesteuerten Elementen zu erwarten, da diese doch wesentlichen Mehrkosten verursachen.

Bei den Unterhaltskosten wie in Abbildung 64 gezeigt, wird im Basisfall von einer jährlichen professionell durchgeführten Wartung mit Filterwechsel ausgegangen. Insbesondere bei Lüftungskonzepten LK3 und LK4 wird dies in der Realität oft nicht so ausgeführt. Dies kann bei diesen Konzepten zu einer stark verringerten Zuluftmenge führen (siehe auch (Primas, et al., 2018)) was für die Luftqualität inakzeptabel ist. Auch entstehen Unterdrücke, die zu Geruchsproblemen zwischen den Wohnungen führen können. Auch bei den wohnungsweisen Anlagen ist diese Wartung nicht immer vorhanden, die Auswirkungen Konzeptbedingt jedoch geringer. Bei allen drei Konzepten ist der Aufwand wegen dem erforderlichen Wohnungszugang hoch. Der grosse Streubereich nach oben ist durch eine Berechnungsvariante mit belasteter Aussenluft (AUL 2) und halbjährlichem Wartungsintervall verursacht. Bei den wohnungsweisen Anlagen kann dies durch eine günstige Wahl der Aussenluftfassung vermieden werden. Bei den anderen beiden Konzepten (LK3 und LK4) ist dies für Standorte mit belasteter Aussenluft jedoch unvermeidlich.

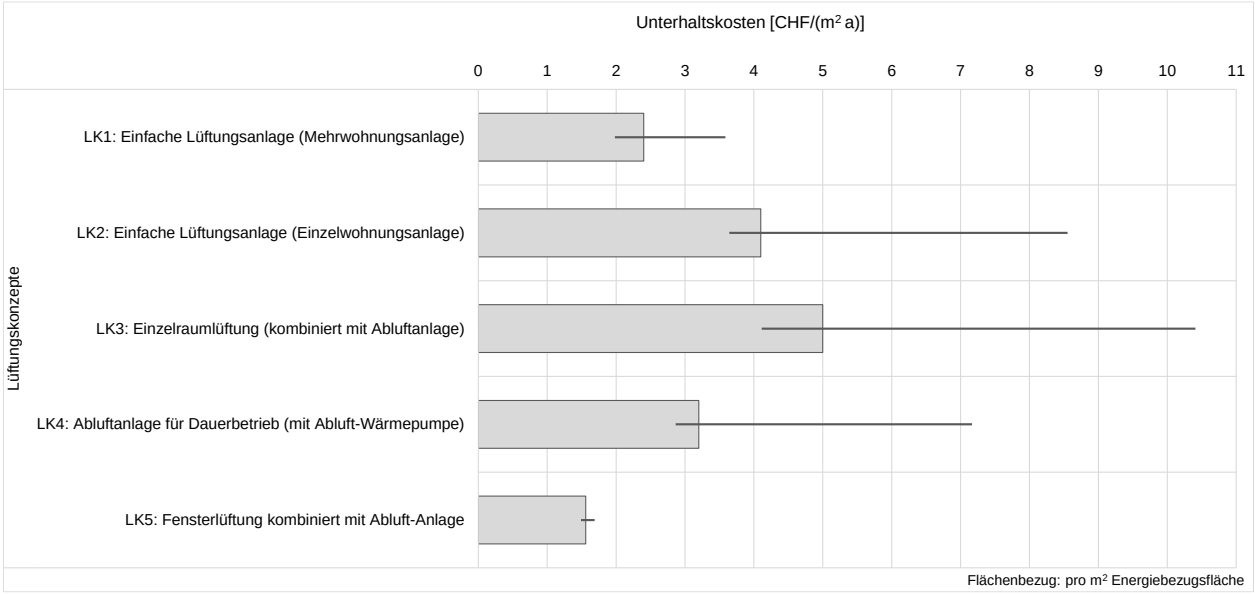


Abbildung 64: Konzeptvergleich, Bewertung Unterhaltskosten

Bei der Variante der Fensterlüftung kombiniert mit einer Abluftanlage ist ebenfalls ein jährlicher Unterhalt der Nachströmelemente (für Badabluft) erforderlich. Dies wird in der Praxis kaum durchgeführt (auch weil Nachströmelemente meist nicht eingeplant wurden) muss aber für einen korrekten Variantenvergleich einbezogen werden. Auch hier sind eine periodische Hygieneinspektion und Reinigung der Fortluftleitungen erforderlich, was in den Kosten auch einberechnet wurde.

7.1.6 Raumbedarf (Schächte / Apparate)

In der Planung von Lüftungskonzepten ist der Raumbedarf für die benötigten Luftleitungen win wesentlicher Faktor, da diese Leitungen (gegenüber den anderen Gewerken) viel Raum beanspruchen. Ein Vergleich der fünf Grundkonzepte bezüglich des ermittelten Raumbedarfes für Schächte zeigt Abbildung 65. Der Kennwert wird als m^3 Raumbedarf pro m^2 Energiebezugsfläche ausgewiesen. Insbesondere das Konzept mit wohnungsweiser Anlage (LK 2) schneidet hier ungünstiger ab und weist eine sehr hohe Varianz in den untersuchten Varianten auf. Dies ist vor allem durch die Wahl vom Standort der Geräte beeinflusst. Günstig

ist hier eine Platzierung im Dachgeschoss[47]. Im Vergleich die geringsten Schachtflächen benötigt LK 3 mit Einzelraumgeräten, da diese üblicherweise direkt an der Aussenfassade platziert sind. In diesem Zusammenhang ist zum Vergleich anzumerken, dass alle Konzepte bis auf LK 5 mit einer Umluft-Dunstabzugshaube berechnet wurden. Im LK 5 wird eine Fortluft-Dunstabzugshaube als Standard eingesetzt. Dadurch sind für diese Variante (z.B. im Vergleich mit LK 4) mehr Schachtflächen erforderlich.

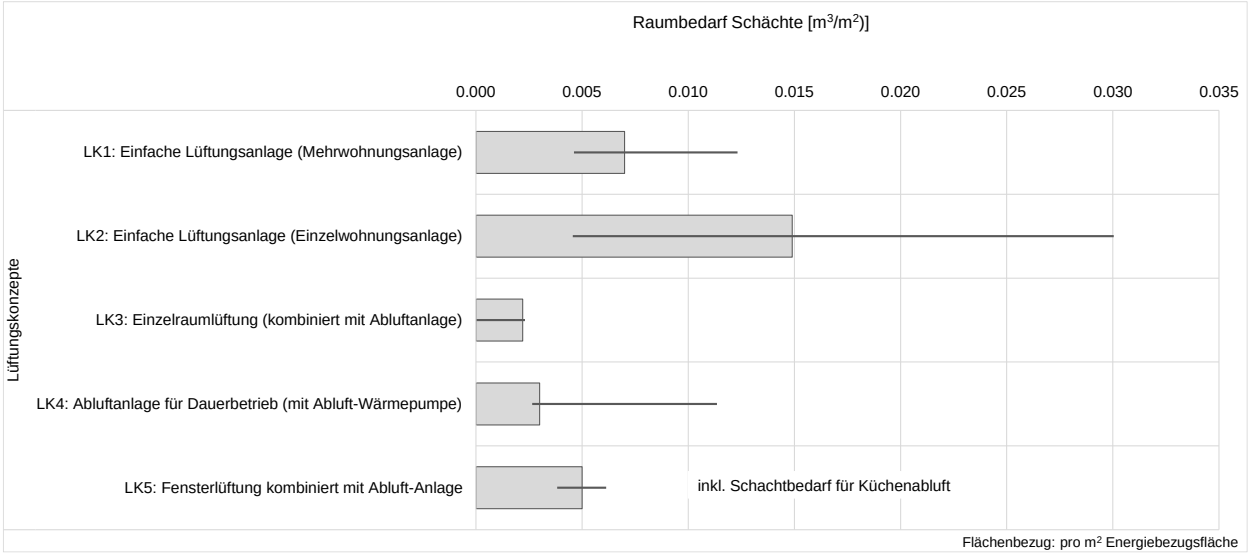


Abbildung 65: Konzeptvergleich, Bewertung Raumbedarf für Schächte

Abbildung 66 zeigt den Vergleich der fünf Grundkonzepte, wenn zusätzlich der Raumbedarf für die Geräte einbezogen wird.

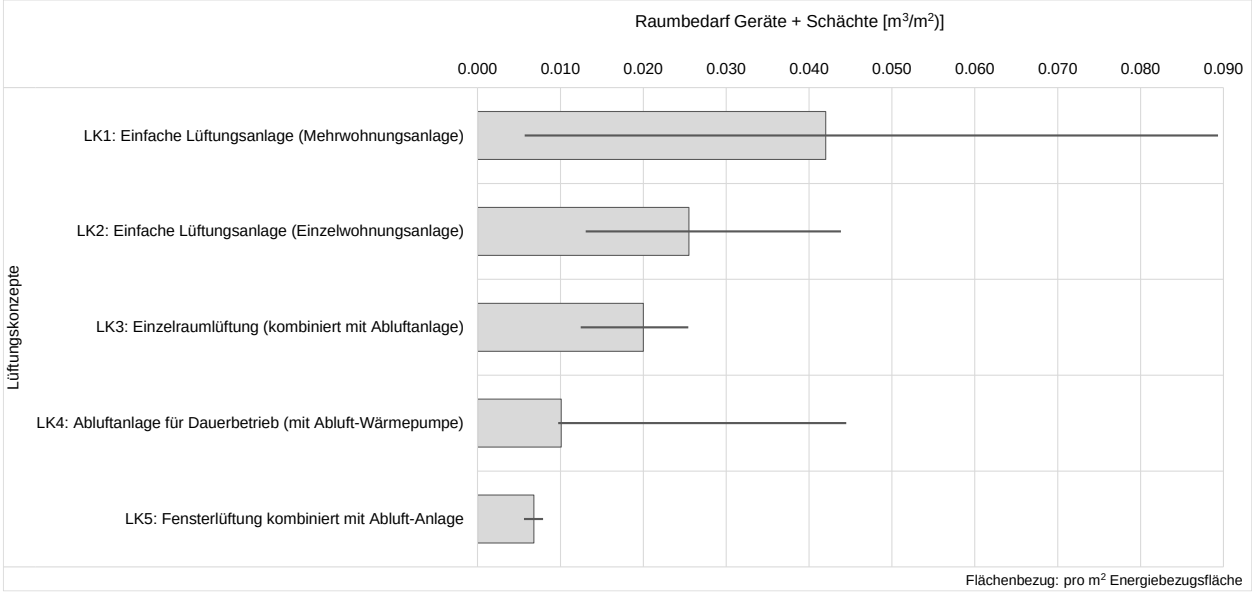


Abbildung 66: Konzeptvergleich, Bewertung Raumbedarf für Geräte und Schächte

Bei der Auswertung zum gesamten Raumbedarf ist anzumerken, dass hier eine Schwierigkeit in der Bewertung besteht. Während bei zentralen Anlagen, die eine Lüftungszentrale im Untergeschoss aufweisen, die

[47] Keine Dämmung der ZUL/ABL-Leitungen nötig, daher kleinere Dimension. Anmerkung: Auch bei einer Platzierung in der Wohnung z.B. in einem Nebenraum mit AUL / FOL ab Fassade ist für Querung der Luftleitungen in der Wohnung eine «Schachtfläche» notwendig (z.B. als Deckenabsatz, da Leitungsdimension kein sinnvolles Einbetonieren erlaubt). Dies wird in den Resultaten berücksichtigt.

Situation klar ist (eigener Technikraum) ist dies bei vielen anderen Situationen nicht eindeutig. Für die Auswertung wurden Standorte auf dem Dach (d.H. im Aussenklima) nicht ins Volumen eingerechnet (z.B. im Gegensatz zu Anlagen im unbeheizten Dachgeschoss). Stehen die Anlagen im Wohnraum, wurde der Raum einbezogen, der durch das Gerät beansprucht bzw. im Minimum für den Unterhalt frei bleiben muss. Aufgrund hoher Varianz je nach Situation und der Schwierigkeit bei der objektiven Bewertung wurde dieser Parameter nicht als separater Einflussfaktor im Gesamtvergleich aufgenommen.

7.1.7 Gesamtbewertung Jahreskosten

Die Resultate zu den Investitionskosten, Unterhaltskosten und der Betriebsenergie (Strom für Anlage und Wärmepumpe) können in einer Gesamtbewertung der Jahreskosten zusammengefasst werden. Dafür sind jedoch wie für die Gesamtökobilanz in Kapitel 5.9 verschiedene (projektspezifische) Festlegungen erforderlich. Für die Gesamtbewertung der Jahreskosten wurden dieselben Festlegungen zum Heizsystem gemacht wie bei der Gesamtökobilanz. Auch wurden identische Lebensdauerannahmen (siehe Tabelle 4) und Arbeitszahlen der Wärmepumpe verwendet. Zusätzlich wurden folgende Festlegungen für die Berechnung gemacht:

- verwendeter Realzinssatz für Annuitätenberechnung: 3%
- Raumkosten für Schächte von 350 CHF/m^3
- Kostenkennwert zusätzliche Wärmeleistung 3.2 CHF/W (Erzeugung + Verteilung)
- Stromkosten für Elektrizität vom Netz: 0.2 CHF/kWh

Abbildung 67 zeigt die Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten.

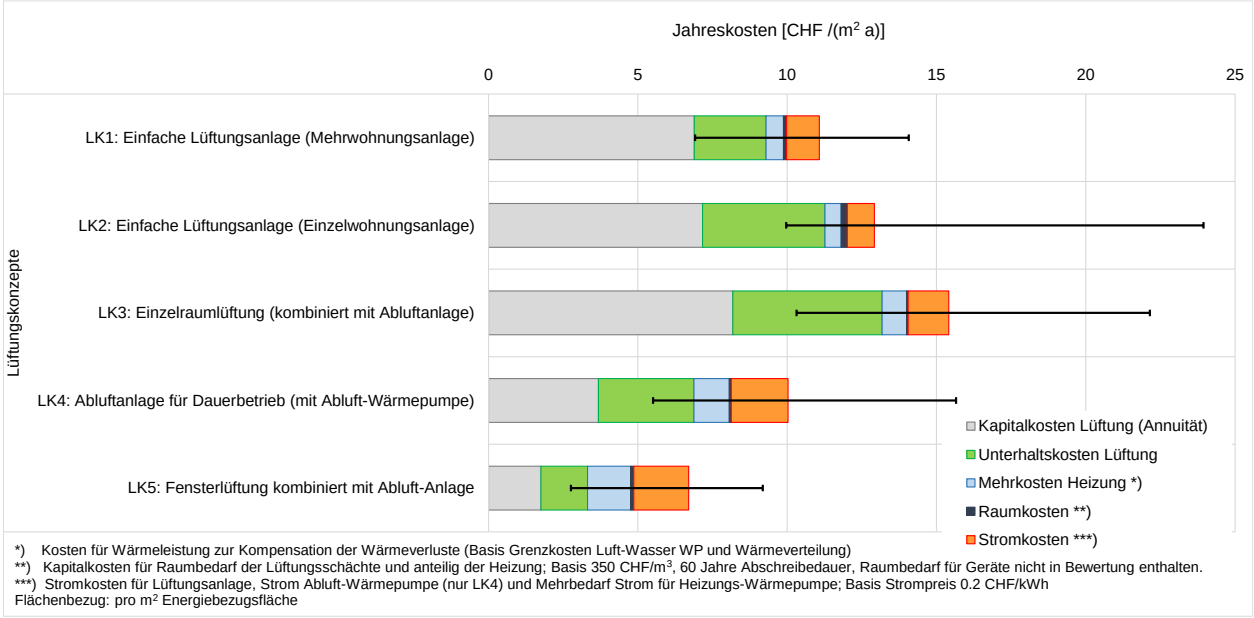


Abbildung 67: Konzeptvergleich, Gesamtbewertung Jahreskosten

Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass mit Ausnahme vom Lüftungskonzept LK 5 die Kosten für die Erstellung (Annuität der Kapitalkosten) und den Unterhalt dominieren. Insbesondere beim Lüftungskonzept LK 5 sind die Mehrosten für die erhöhte Heizleistung von Relevanz (knapp 22% der Gesamtkosten). Beim Konzept mit Abluftwärmepumpe (LK 4) ist dieser Kostenanteil mit etwa 12% geringer da ein Teil der Kosten bereits über die Abluftwärmepumpe abgedeckt ist. Dafür sind hier auch die Kapitalkosten der Anlage (mit Abluft-WP) erhöht.

Die höchsten Gesamtkosten sind bei den Einzelraumanlagen (LK 3) zu erwarten. Allerdings ist hier die Spannbreite der Kosten hoch. Vergleichbares gilt für die Wohnungsweisen Anlagen (LK 2). Hier ist die Kostenspannbreite ebenfalls sehr hoch. Ein wesentlicher Grund dafür sind die Varianten zum Standort der Geräte (siehe dazu Kapitel 6.3.1)

7.1.8 Akustik

Bei der Bewertung der Akustischen Eigenschaften der Konzepte muss unterschieden werden zwischen den von den Geräten verursachten Emissionen und dem Schallschutz vor Aussenlärm.

Diese beiden Parameter wurden auf Basis der untersuchten Konzepte und Varianten qualitativ bewertet. Abbildung 68 zeigt die Bewertung der akustischen Auswirkung der Lüftungsgeräte. In der Darstellung wird das Kriterium mit 0 bis 5 Punkten bewertet, wobei 0 der schlechteste und 5 der beste Wert über alle untersuchten Konzepte und Varianten ist.

Kaum Probleme sollten bei richtiger Planung bei zentralen Anlagen auftreten, da die in der Betrachtung einbezogenen Konzepte über gute Schalldämpfer verfügen. Eine gewisse Spannbreite ergibt sich aus den möglichen Lösungen und Gerätestandorten. Ungünstiger werden die wohnungsweisen Anlagen bewertet. Hier stellt sich das Problem, dass die Geräte oft in der Wohnung platziert sind, was zu Beeinträchtigungen führen kann. Die Konzepte können jedoch auch so ausgeführt werden, dass keine nennenswerte Beeinträchtigung stattfindet (z.B. Geräte im Dachbereich). Daher ist bei diesem Konzept die Spannbreite der Bewertung deutlich höher.

Ungünstig bewertet werden bei diesem Punkt Einzelraumgeräte. Nur wenige Geräte am Markt weisen akzeptable bis gute Schallwerte auf. Damit sind bei diesem Konzept häufiger Beeinträchtigungen zu erwarten, die u.U. dazu führen, dass die Bewohner die Anlage nur mit minimaler (ungenügender Luftmenge betreiben oder sogar ganz ausschalten. Bei akustisch sehr guten Geräten und insbesondere bei entsprechender Platzierung (z.B. mit Nebenanschlüssen) können diese Konzepte aber auch mit geringen Beeinträchtigungen realisiert werden.

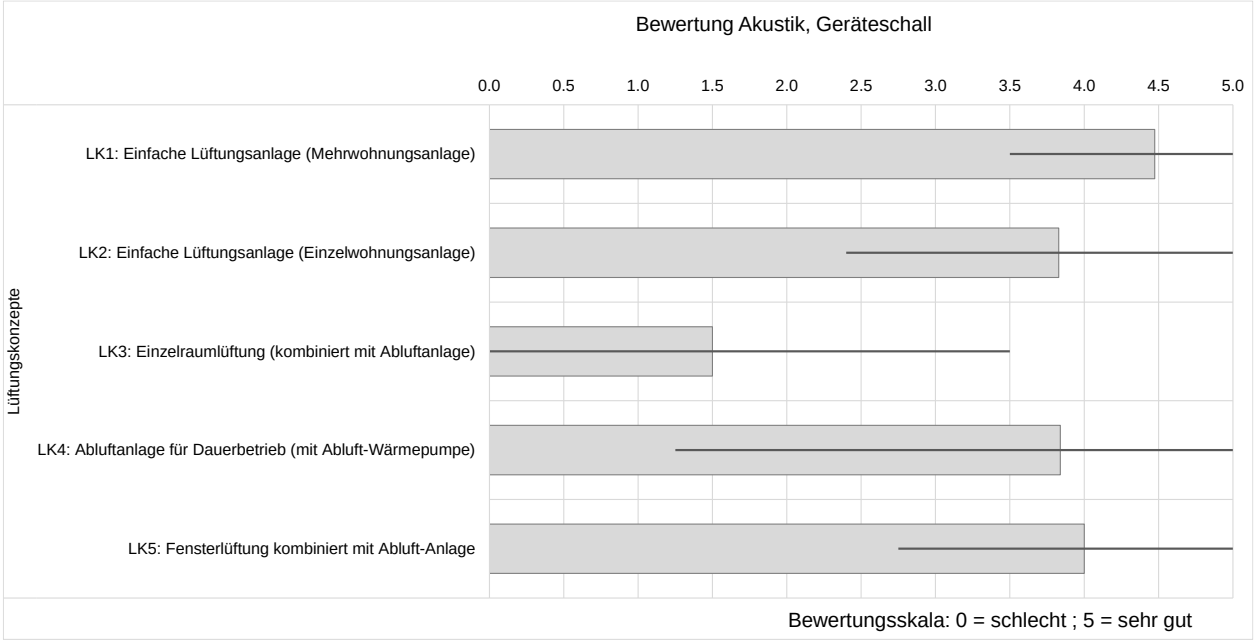


Abbildung 68: Konzeptvergleich, Bewertung Akustik, Geräteschall

Abluftanlagen können, bei entsprechender Planung und Auslegung akustisch günstig ausgeführt werden. Das Augenmerk ist hier vor allem auch eventuellen Strömungsgeräuschen bei den Abluftventilen zu richten. Ungünstiger zu bewerten sind insbesondere Anlagen, bei denen die Abluftventilatoren innerhalb der Wohnung angeordnet sind. Eine vergleichbare Bewertung wird dem Lüftungskonzept LK 5 für die Bewertung der Badabluft gegeben. Da hier ein intermittierender Betrieb erfolgt (zwar nur in der Zeit, in der das Bad

auch genutzt wird) und die Ventilatoren überwiegend im Sanitärraum angeordnet sind, wird von einer vergleichbaren Bewertung wie für das LK4 ausgegangen.

Abbildung 69 zeigt die Bewertung des Schallschutzes von aussen. Insbesondere in stätischen Lagen und an verkehrsreichen Standorten ist dieses Beurteilungskriterium sehr relevant.

Die beste Ausgangslage hat hier die zentrale Lüftungsanlage, wo der Schallschutz von Aussenlärm uneingeschränkt gegeben ist. Das Lüftungskonzept mit wohnungsweisen Anlagen wurde leicht ungünstiger bewertet, da vor allem bei Konzepten mit sehr kurzen Aussen und Fortluftleitungen ein Einfluss nicht ausgeschlossen werden kann. Bei richtiger Planung wird dieser Einfluss jedoch vernachlässigbar sein.

Konzepte mit Einzelraumgeräten sind in diesem Punkt deutlich kritischer zu sehen. Je nach Geräteart und Ausführung der Anschlüsse kann ein guter Schallschutz gewährleistet sein oder er kann bei sehr einfachen Geräten auch ungenügend sein. Daher weist dieses Konzept in der Bewertung eine hohe Streubreite auf. Bei der Planung kommt erschwerend dazu, dass viele Hersteller in den Gerätedaten oft keine ausreichenden oder keine klaren Angaben über die Dämpfung machen. Vergleichbares gilt auch für die Aussenluftdurchlässe bei den Abluftanlagen (LK 4). Hier ist die Situation jedoch kritischer, da die Dämpfungswerte der Durchlässe oft ungünstiger sind und für die Einhaltung des notwendigen Zuluftvolumenstrom bei 4 Pa Druckverlust grössere Durchbrüche erforderlich sind. Es sind aber auch Produkte am Markt, welche schalltechnisch gute Werte aufweisen. Detailliertere Untersuchungen zu den akustischen Eigenschaften dieser beiden Konzepte sind in (Manz, et al., 2001) und (Dorer, et al., 2002) zu finden.

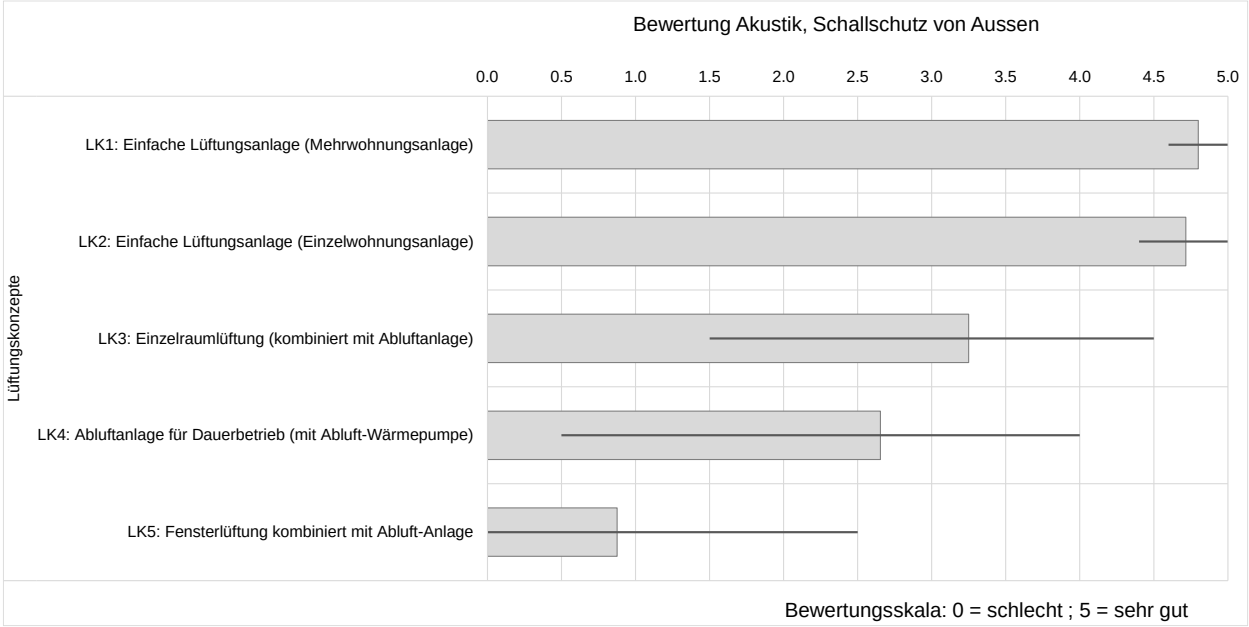


Abbildung 69: Konzeptvergleich, Bewertung Schallschutz von aussen

Bei der Fensterlüftung kann der Schallschutz von aussen nicht gewährleistet werden ohne dass die Luftqualität leidet. Insbesondere nachts können daher nicht beide Anforderungen erfüllt werden, da dies einen regelmässigen Nutzereingriff erfordern würde.

7.1.9 Raumluftqualität

Abbildung 70 zeigt die Bewertung der Raumluftqualität der verschiedenen Konzepte. Als wichtigste Voraussetzung für die Aufrechterhaltung einer guten Raumluftqualität ist eine korrekte Planung, Ausführung, Inbetriebnahme und Wartung. Vom Grundsatz müssten alle Anlagen mit Ausnahme vom Lüftungskonzept 5 bei der gewählten Auslegung eine gute Luftqualität sicherstellen. Je nach Konzept besteht aber eine grössere oder kleinere Beeinflussbarkeit durch externe Faktoren. Auch bestehen zwischen den untersuchten Untervarianten Differenzen in der Beurteilung der Luftqualität (siehe dazu die Resultattabellen zu den Lösungsvarianten in Kapitel 6).

Kaum Probleme sollten bei richtiger Planung, Ausführung und Inbetriebnahme bei den Lüftungskonzepten 1 und 2 auftreten. Eine gewisse Spannbreite ergibt sich aus den möglichen Lösungsvarianten. Eine wesentlich grössere Spannbereite ergibt sich bei den Einzelraumgeräten. Dies ist vor allem den Geräteeigenschaften geschuldet (Empfindlichkeit auf Druckschwankungen, Enteisungsstrategien, Verschmutzungseinflüsse). Damit dieses Konzept eine gute Luftqualität sicherstellt ist ein geeignetes Gerät zu wählen und der Unterhalt regelmässig von Fachpersonen ausführen zu lassen.

Vergleichbares gilt in insbesondere auch für Abluftanlagen. Bei diesem Anlagentyp kommt neben der grossen Empfindlichkeit auf Verschmutzungen die Gebäudedichtheit sowie der Wind- und Benutzereinfluss dazu. Dies führt zu einer grossen Spannbreite in der Bewertung.

Als ungünstig wird in diesem Zusammenhang die Fensterlüftung bewertet. In der Praxis wird eine akzeptable Luftqualität nachts nur mit starken Einschränkungen bei der Behaglichkeit bzw. dem Wärmebedarf erreicht. Aus diesem Grund wird hier oft eine ungenügende bis hygienisch bedenkliche Luftqualität von den Bewohnern akzeptiert.

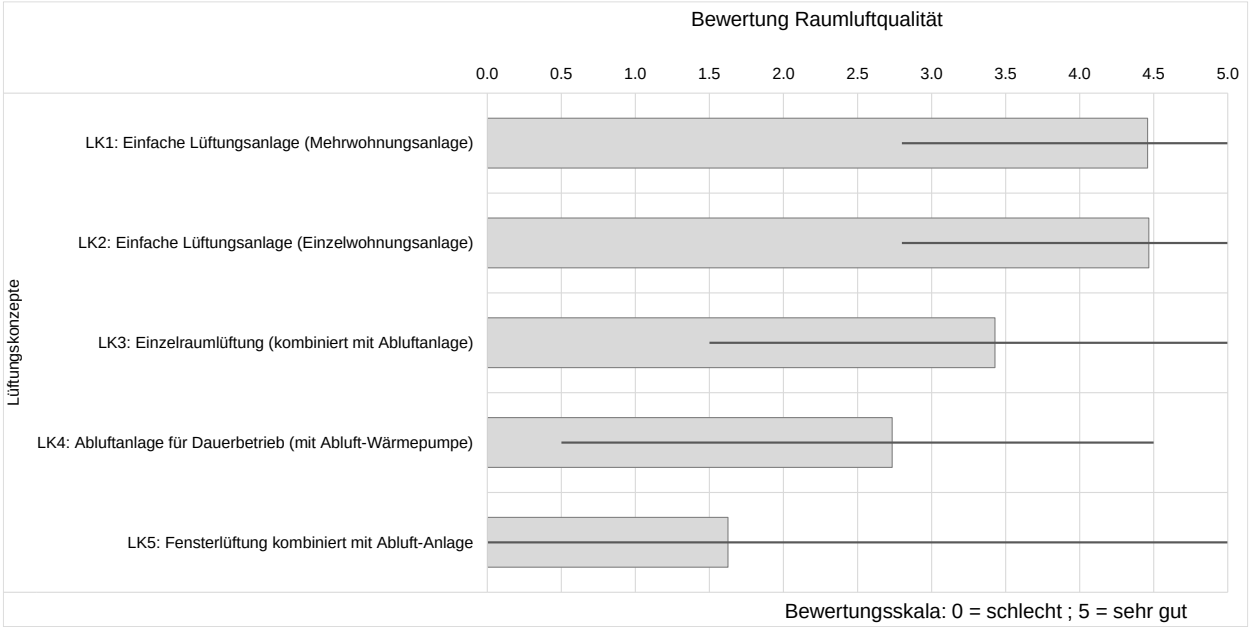


Abbildung 70: Konzeptvergleich, Bewertung Luftqualität

7.1.10 Raumfeuchte

Abbildung 71 zeigt die Bewertung der Raumluftfeuchte der verschiedenen Konzepte. Bei der Bewertung der Raumluftfeuchte gibt es mehrere Aspekte. Zum einen muss die Anlage die anfallende Feuchte wirkungsvoll abführen können damit keine Probleme mit Schimmel oder Milben auftreten. Auf der anderen Seite sinkt vor allem im Winter bei höheren Aussenluftwechseln die Feuchte stark ab und kann zu Beanstandungen oder Beschwerden führen. Das wichtigste ist eine hohe Lüftungseffizienz mit einer bedarfsgerechten Regelung zu realisieren. Der erste Punkt kann am besten mit einer guten Kaskade in der Luftführung erreicht werden. Dies ist beim Lüftungskonzept 3 mit Einzelraumlüften nicht einfach zu realisieren und beim Lüftungskonzept 5 mit Fensterlüftung nicht möglich. Die bedarfsgerechte Regelung dagegen ist im Lüftungskonzept 3 deutlich einfacher realisierbar als bei den anderen Konzepten. In den Konzepten mit einer Anlage mit Wärmerückgewinnung (LK 1, LK2 und LK 3) kann zudem mit einem Enthalpieübertrager ein Teil der Raumluftfeuchte zurückgewonnen werden. Dies ist im Winter sehr vorteilhaft, kann aber in der Übergangszeit oder bei Gebäuden mit erheblichen Wärmebrücken zu Problemen führen (Überfeuchtung bzw. Kondensatgefahr). Insbesondere in schlecht gedämmten Altbauten ist der Einsatz der Feuchterückgewinnung daher genau abzuklären (siehe dazu auch (Sibille, et al., 2015)).

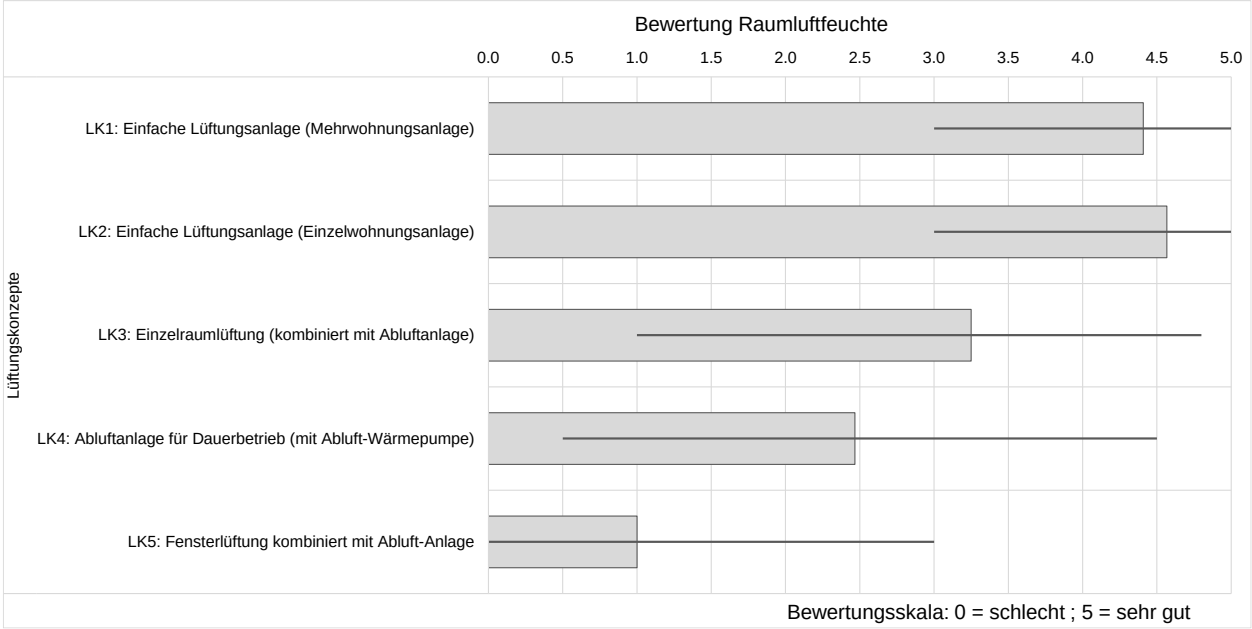


Abbildung 71: Konzeptvergleich, Bewertung Raumluftfeuchte

Die günstigste Ausgangslage zum gute Raumluftfeuchten sicherzustellen, wird dem Konzept mit wohnungsweisen Anlagen zugeschrieben. Bei diesem Konzept sind sowohl geeignete Luftführungskonzepte wie auch Bedarfsregelung und Feuchterückgewinnung gut realisierbar. Einen grösseren Streubereich in der Bewertung wird den zentralen Anlagen zugeschrieben. Hier werden noch häufiger Konzepte umgesetzt, welche zu wenig bedarfsgerecht sind (oft nur Steuerung anstatt Regelung). Die ungünstigere Bewertung der Einzelraumanlagen hat vor allem mit den durch die meist fehlende Kaskade geringeren Lüftungseffizienz und damit höheren Luftmengen zu tun. Ungünstig kann sich auch Disbalance durch den Betrieb der Badabluft oder die Enteisungsfunktion auswirken. Durch den intermittierenden Betrieb der Badabluft ist die zudem die Feuchteabfuhr aus den Sanitärräumen u.U. nicht in gleichem Masse sichergestellt.

Bei der Abluftanlage mit Aussenluftdurchlässen ist vor allem die höhere Luftmenge durch Infiltration als ungünstig zu bewerten. Im Weiteren ist die Sensitivität der Elemente (v.A. der Aussenluftdurchlässe) auf Verschmutzungen oder externe Einflüsse als ungünstig für eine Sicherstellung guter Raumluftfeuchten zu bewerten (Veränderung der Zuluftmenge in einzelnen Zimmern). Es sind zwar auch Systeme für die Feuchtesteuerung die Elemente verfügbar. Inwieweit diese jedoch die gesteckten Erwartungen erfüllen, konnte im Rahmen des Projektes nicht im Detail geklärt werden.

Bei der Fensterlüftung ist die Sicherstellung der zulässigen Rauluftfeuchten stark vom Verhalten der Nutzer abhängig. Dies kann zu daher zu Schimmelschäden führen, was zu Kosten und allenfalls zu gesundheitlichen Problemen führen kann. Dies wurde in (Unterberger, et al., 2014) und (Thaler, 2010) analysiert.

7.1.11 Thermische Behaglichkeit

Abbildung 72 zeigt die Bewertung des Einflussfaktors thermische Behaglichkeit für die verschiedenen Konzepte. Um dieses Kriterium gut zu erfüllen, ist eine Zulufttemperatur nahe an der Raumtemperatur während der gesamten Betriebszeit von Bedeutung. Im Sommer kann je nach Konzept auch die Art und der Ort der Aussenluftfassung wesentlich sein, um einer Überhitzung vorzubeugen. Hilfreich kann in diesem Fall auch die Wärmerückgewinnung sein, da diese die Zulufttemperatur bei heissen Aussentemperaturen näher an die Raumtemperatur bringt. Dies kann am besten mit den Lüftungskonzepten LK1 und LK 2 erreicht werden. Beim Lüftungskonzept 3 mit Einzelraumlüftern kann die thermische Behaglichkeit je nach Gerät durch Disbalance sowie u.U. der Enteisungsfunktion beeinträchtigt sein. Bei Pendellüftern ist zudem das inhomogenes Temperaturprofil am Zulufteintritt ein Nachteil. Diese Auswirkung wurde in (Müller, 2018) untersucht. Im Sommerfall ergeben sich zudem ungünstigere Voraussetzungen durch den Ort der Aussenluftfassung. Dies kann nur beschränkt in der Planung beeinflusst werden. Aus diesen Gründen ergibt sich für dieses

Konzept eine hohe Streubreite der Einschätzung. Bei Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (LK 4) ist die thermische Behaglichkeit deutlich ungünstiger. Die ergibt sich primär durch die hier fehlende Wärmerückgewinnung. Je nach Ausführung und Eibausituation kann die Beurteilung eine grosse Spannbreite aufweisen. Welche Einbauarten günstig oder auch ungünstig sind wurde in (Dorer, et al., 2002) untersucht. grossen

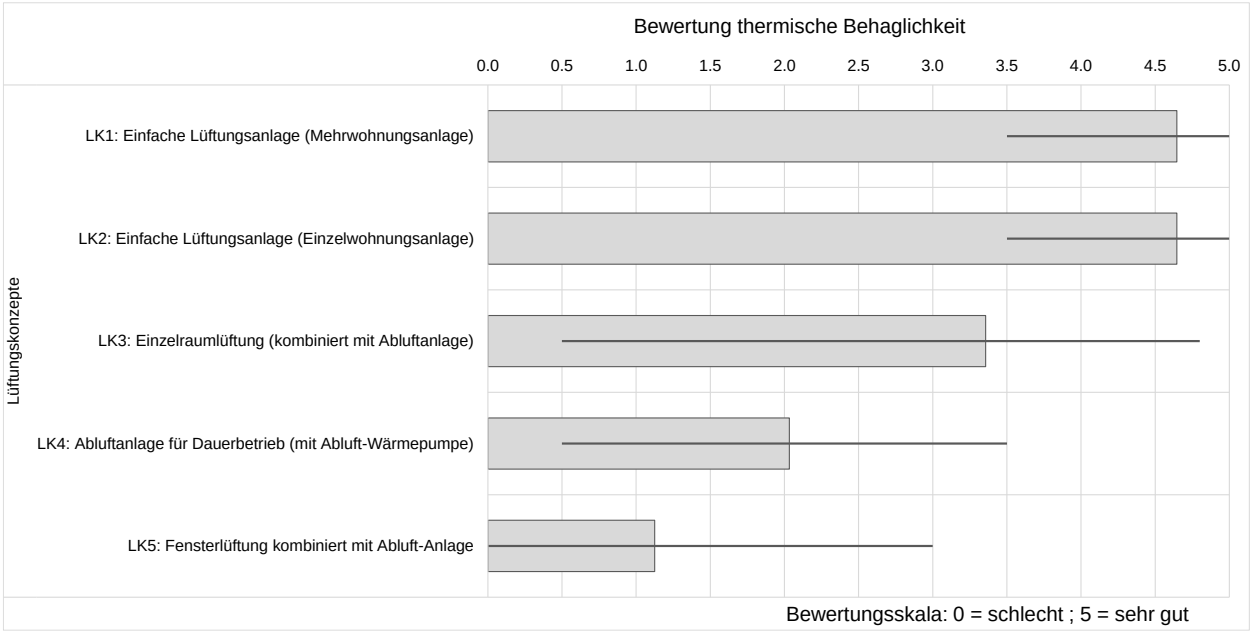


Abbildung 72: Konzeptvergleich, Bewertung thermische Behaglichkeit

Als ungünstig wird in diesem Zusammenhang die Fensterlüftung bewertet. Eine akzeptable Luftqualität wird insbesondere nachts nur mit starken Einschränkungen bei der Behaglichkeit erreicht. Aus diesem Grund fällt hier die Beurteilung ungünstig aus. Gewisse Verbesserungen in Bezug auf die Behaglichkeit, ohne die Luftqualität zu stark zu tangieren können Lüftungsbeschläge bringen, welche einen kleinen definierten Öffnungsspalt ermöglichen (Spaltlüftung). Gemäss (Hässig, et al., 2005) wird damit wird ein Luftwechsel ermöglicht, ohne dass die Fenster ganz geöffnet werden (Schutz vor Einbruch und Auskühlung).

7.1.12 **Robustheit**

Abbildung 73 zeigt die Bewertung des Einflussfaktors zur Robustheit der verschiedenen Lüftungskonzepte. Um dieses Kriterium gut zu erfüllen, muss die Anlage fähig sein, äusseren Einwirkungen wie z.B. den Benutzerverhalten oder Wetterbedingungen (z.B. Wind) standzuhalten.

Dies kann am besten mit den Lüftungskonzepten LK1 und LK 2 erreicht werden, da hier sowohl Zuluft als auch Abluft kontrolliert und geführt sind. Der einzige Nachteil bei diesen Systemen ist die erschwerte Nachrüstbarkeit. Mit intelligenten Konzepten ist diese Herausforderung jedoch in vielen Fällen lösbar. Beim Lüftungskonzept LK 3 mit Einzelraumlüftern kann die Empfindlichkeit der Geräte auf Druckschwankungen die Robustheit stark reduzieren. Es befinden sich zwar auch recht unempfindliche Geräte am Markt und auch bei der Aussenluftfassung können günstigere Varianten (z.B. Laibungsanschlüsse) gewählt werden. Diese Massnahmen haben jedoch wesentliche Auswirkungen auf die Kosten. Auf der u die kurzen Luftleitungen die thermische Behaglichkeit je nach Gerät durch Disbalance sowie u.U. der Enteisungsfunktion beeinträchtigt. Sehr ungünstig schneiden bei dieser Bewertung Pendellüfter ab wie dies auch in (Müller, 2018) messtechnisch gezeigt wird. Einen sehr grossen Einfluss von externen Einflüssen sind bei den Abluftanlagen vorhanden (LK 4). Hier kann ein offenes Fenster das gesamte Lüftungskonzept bereits zum Erliegen bringen. Auch besteht ein erheblicher Einfluss bei diesen Systemen durch Wetterbedingte Einflüsse wie z.B. Wind oder auch thermische Druckdifferenzen. Aus diesen Gründen fällt die Beurteilung der Robustheit ungünstig aus für dieses Lüftungskonzept. Verbesserungen bezüglich den Windeinflüssen können hier eben-

falls durch optimierte Aussenluftdurchlässe erreicht werden, welche eine geringere Beeinflussbarkeit aufweisen. Diese Verbesserung steht im Gegensatz zur Anforderung von geringen Druckverlusten des Elements (4 Pa) dieser Widerspruch ist in sich schwer zu lösen.

Die Fensterlüftung ist komplett vom Nutzer und dessen Bedienung abhängig. Auch haben bei diesem System die Aussenbedingungen Wind, Regen etc. den grössten Einfluss. Dies wird in der entsprechenden Bewertung berücksichtigt.

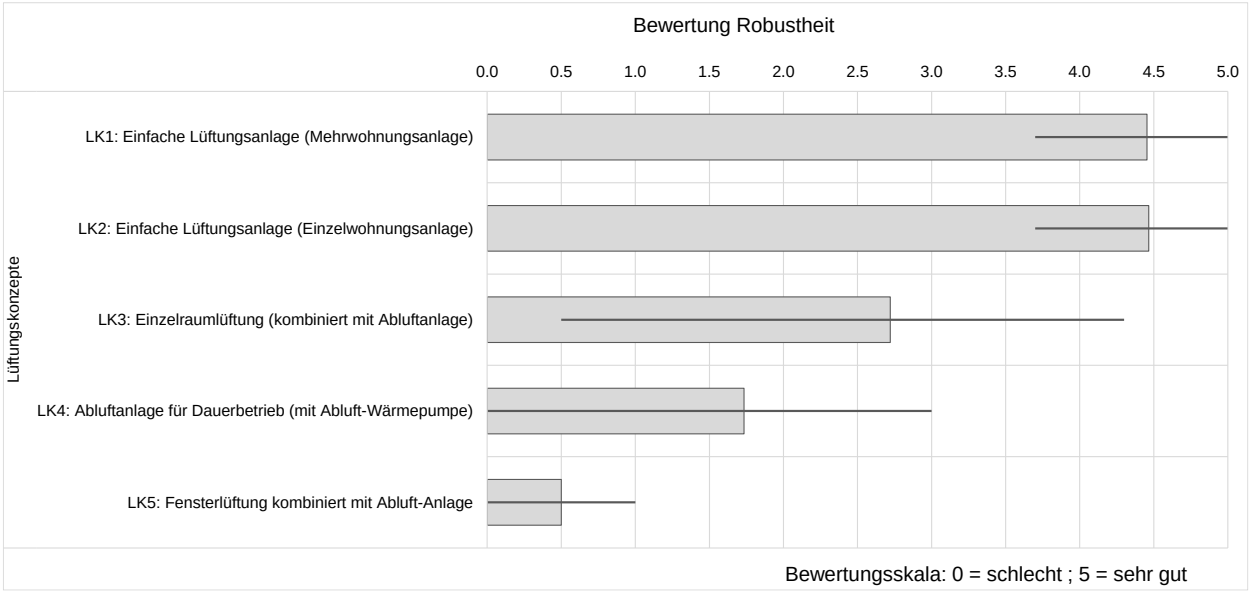


Abbildung 73: Konzeptvergleich, Bewertung Robustheit

Die Bewertung der Robustheit ist eng verwoben mit dem Benutzerverhalten.

7.2 Ausblick

Mit der Untersuchung können die Vor- und Nachteile bzw. Stärken und Schwächen der verschiedenen Lüftungskonzepte aufgezeigt werden. Für die Verbesserung und Weiterentwicklung der Wohnungslüftung sind bei den Konzepten mit mechanischer Zu- und Abluft (v.A. LK 1 und LK2) sind dabei vor allem Entwicklungen in Richtung möglichst effizienter Luftführung und einer bedarfsgerechten Regelung zentral. Um bei diesen Anlagen den Material- und Kostenaufwand für die Luftverteilung möglichst tief zu halten sind auch Lösungen mit vereinfachter Luftführung weiterzuentwickeln. Die Kaskadenlüftung, als Kosten- und Lüftungstechnisch effiziente Lösung muss der Standard bei allen Anlagekonzepten sein.

Bei Anlagen mit Einzelraumgeräten (LK3) liegen die interessanten Weiterentwicklungen in Systemen die mit Nebenanschlüssen. Damit können insgesamt günstige Konzepte mit verbesserten akustischen Eigenschaften realisiert werden. Die akustischen Eigenschaften der Geräte sind auch für die Weiterentwicklung dieser Gerätetypen sehr wichtig.

Bei Anlagekonzepten mit Abluftanlage für Dauerbetrieb (LK4) ist es wichtig, dass die Einschränkungen und Nachteile dieser Konzepte im Systementscheid und in der Planung berücksichtigt werden. Für die Weiterentwicklung dieser Konzepte ist der Fokus auf diese, vor allem für den Nutzer relevanten Aspekte wichtig. Günstigere Lösungen könnten dabei durch hybride Lüftungskonzepte, die mit der Kombination von heute üblichen Elementen zu einem optimierten Gesamtsystem ergeben. Wesentlich ist dabei, dass die Einflüsse durch die Nutzer (Robustheit) und der Anlagenunterhalt in den Weiterentwicklungen entsprechend berücksichtigt wird.

Auch andere Bestrebungen die Anlagen durch Vereinfachungen im Konzept, Entwicklung neuer und kostengünstigen Elemente günstiger und bedarfsgerechter zu gestalten wird ein wichtiger Schritt für die Weiterentwicklung im Allgemeinen sein. Mit der Einführung der neuen Wohnungslüftungsnorm SIA 382/5 im Jahr 2021 kann ein Impuls für solche Weiterentwicklungen sein.

8 Bibliographie

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenfassende Bewertung der Lüftungskonzepte 4
Abbildung 2: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Treibhausgaspotential 4
Abbildung 3: Konzeptvergleich, Gesamtbewertung Jahreskosten 5
Figure 4: Évaluation des concepts de ventilation ; Résumé 7
Figure 5: Comparaison des concepts, évaluation globale, émissions de gaz à effet de serre 7
Figure 6: Comparaison des concepts, évaluation globale, coûts annuels 8
Figure 7: Evaluation of the ventilation concepts; Summary 10
Figure 8: Concept comparison, overall assessment, global warming potential 10
Figure 9: Concept comparison, overall assessment, annual costs 11
Abbildung 10: Wesentliche Regelwerke für Lüftungsanlagen in Wohnbauten 25
Abbildung 11: Zusammenhänge bei Vorschriften und Normen 26
Abbildung 12: Anlagentypen von Lüftungsanlagen nach Funktionen gemäss SIA 382/1 29
Abbildung 6: Schema einer einfachen Lüftungsanlage 30
Abbildung 7: Schema einer Abluftanlage 31
Abbildung 8: Schema einer Einzelraumlüftung kombiniert mit Abluftanlage 31
Abbildung 9: Schema einer Fensterlüftung mit Drehfenster (links) und Kippfenster (rechts) (grün: Aussenluft, gelb: Abluft) 32
Abbildung 10: Prinzip der Kaskadenlüftung 32
Abbildung 11: Prinzip der Verbundlüftung 33
Abbildung 12: Prinzip der Einzelraumlüftung 33
Abbildung 20: Schemaschnitt vom LK1 (grün: Aussenluft, braun: Fortluft, rot: Zuluft, gelb: Abluft) 39
Abbildung 21: Schemaschnitt vom LK2 (grün: Aussenluft, braun: Fortluft) 40
Abbildung 22: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss vom LK3 42
Abbildung 23: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss vom LK4 43
Abbildung 24: Funktionsschema und Wohnungsgrundriss / -schnitt vom LK4 44
Abbildung 25: Systemgrenze der Ökobilanzbetrachtung zum Vergleich der Lüftungssysteme 58
Abbildung 26: Systemgrenze der Gesamtbewertung der Jahreskosten zum Vergleich der Lüftungssysteme 61
Abbildung 27: Lösungsvarianten für Aufstellungsstandort der Geräte bei zentralen Wohnungslüftungsanlagen 67
Abbildung 28: Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung 71
Abbildung 29: Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 73
Abbildung 30: Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung 78
Abbildung 31: Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 81
Abbildung 32: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bild: Aragorn Frey, www.gogi.ch) 85
Abbildung 33: Lösungsvarianten für Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen 88
Abbildung 34: Lösungsvarianten für die Lage der Aussenluftfassung bei Einzelwohnungsanlagen 92
Abbildung 35: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Einzelwohnungsanlagen 94
Abbildung 36: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle, Renggli AG aus (Leicht & Bieri, 2016)) 103
Abbildung 37: Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten 106
Abbildung 38: Lösungsvarianten zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung 110
Abbildung 39: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Einzelraumanlagen 112
Abbildung 40: Lösungsvarianten für die Art der Wärmerückgewinnung bei Einzelraumanlagen 114
Abbildung 41: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle: HSLU) 118

Abbildung 42: Konzeptvarianten für Aufstellungsstandorte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen 122
Abbildung 43: Lösungsvarianten zur Anordnung und dem Einfluss der Aussenluftfassung 126
Abbildung 44: Lösungsvarianten für die Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen bei Abluftanlagen 128
Abbildung 45: Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept 131
Abbildung 46: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels (Bildquelle, Lemon Consult AG aus (Muller, et al., 2016)) 136
Abbildung 47: Verlauf Anstieg der CO_2-Konzentration, nachts bei fehlender Fensterlüftung 141
Abbildung 48: Verlauf Anstieg der CO_2-Konzentration, tagsüber bei stündlicher Stosslüftung über Fenster 141
Abbildung 49: Bild vom Gebäude des Anlagenbeispiels LK 5 (Bildquelle: Basler & Hofmann AG) 146
Abbildung 50: Übersicht Lüftungskonzepte 151
Abbildung 51: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Graue Energie (nichterneuerbare Primärenergie) 152
Abbildung 52: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Primärenergie gesamt (nichterneuerbar + erneuerbar) 153
Abbildung 53: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Treibhausgaspotential 153
Abbildung 54: Konzeptvergleich, Bewertung der Materialisierung, Umweltbelastungspunkte (UBP 2013) 154
Abbildung 55: Konzeptvergleich, Bewertung Betriebsenergie Strom 155
Abbildung 56: Konzeptvergleich, Bewertung Betriebsenergie Wärme 155
Abbildung 57: Konzeptvergleich, Bewertung Wärmebedarf ab Wärmeerzeuger 156
Abbildung 58: Konzeptvergleich, Bewertung Leistungsbedarfs zur Kompensation der Lüftungswärmeverluste 157
Abbildung 59: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Primärenergie nichterneuerbar 158
Abbildung 60: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Primärenergie gesamt (nichterneuerbar + erneuerbar) 159
Abbildung 61: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Treibhausgaspotential 159
Abbildung 62: Konzeptvergleich, Gesamtbilanz, Umweltbelastungspunkte (UBP 2013) 160
Abbildung 63: Konzeptvergleich, Bewertung Investitionskosten 160
Abbildung 64: Konzeptvergleich, Bewertung Unterhaltskosten 161
Abbildung 65: Konzeptvergleich, Bewertung Raumbedarf für Schächte 162
Abbildung 66: Konzeptvergleich, Bewertung Raumbedarf für Geräte und Schächte 162
Abbildung 67: Konzeptvergleich, Gesamtbewertung Jahreskosten 163
Abbildung 68: Konzeptvergleich, Bewertung Akustik, Geräteschall 164
Abbildung 69: Konzeptvergleich, Bewertung Schallschutz von aussen 165
Abbildung 70: Konzeptvergleich, Bewertung Luftqualität 166
Abbildung 71: Konzeptvergleich, Bewertung Raumluftfeuchte 167
Abbildung 72: Konzeptvergleich, Bewertung thermische Behaglichkeit 168
Abbildung 73: Konzeptvergleich, Bewertung Robustheit 169
Abbildung 68: Zimmerzahl und durchschnittliche Wohnfläche von MFH Neubauten; Quelle: BFS / GWS, 2019 194
Abbildung 69: Geräte für Einzelwohnungsanlagen; Auswertung Prüfresultate für Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su) 235
Abbildung 70: Geräte für Einzelwohnungsanlagen; Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI) 235
Abbildung 71: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su) 276
Abbildung 72: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung korrigierter Wärmerückgewinnungsgrad ($\eta\theta_{,5\ su}$) 276
Abbildung 73: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI) 277
Abbildung 74: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su) 277
Abbildung 75: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung korrigierter Wärmerückgewinnungsgrad ($\eta\theta_{,5\ su}$) 278
Abbildung 76: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI) 278
Abbildung 77: Zusammenhang zwischen Raumluftfeuchte und CO_2-Konzentration. 327
Abbildung 78: Vergleich der Berechnungsresultate zur CO_2-Konzentration für die Fensterlüftungsvarianten 344
Abbildung 79: Vergleich der Berechnungsresultate zu den Lüftungsverlusten für die Fensterlüftungsvarianten 344
Abbildung 80: Berechnungsresultate zur CO_2-Konzentration der Fensterlüftungsvarianten bei offenen Schlafzimmertüre 345

Abbildung 81: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar.....346
Abbildung 82: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....346
Abbildung 83: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar.....347
Abbildung 84: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....347
Abbildung 85: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar. 348
Abbildung 86: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....348
Abbildung 87: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom im Januar; Variante 349
Abbildung 88: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur, Variante 349
Abbildung 89: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar 350
Abbildung 90: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....350
Abbildung 91: Abwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar. 351
Abbildung 92: Abwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....351
Abbildung 93: Anwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar. 352
Abbildung 94: Anwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.....352
Abbildung 95: Gesamtvergleich der Jahreskosten, mit Einbezug der Raumkosten für Lüftungsgeräte.....374

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl Publikationen (Häufigkeit), welche die verschiedenen Kriterien behandeln.....20
Tabelle 2: Wichtige Literaturquellen.....21
Tabelle 3: Zeitintervalle für Filterwechsel, Reinigung, Hygieneinspektion und Reinigung der Luftverteilung.....37
Tabelle 4: Lebensdauerannahmen für die berücksichtigten Elemente 37
Tabelle 5: Übersicht Lüftungskonzepte.....38
Tabelle 6: Übersicht der Kriterien / Bewertungsparameter.....45
Tabelle 7: Übersicht der Vorschriften und Normen zu den Kriterien / Bewertungsparameter 46
Tabelle 8: Beispiel zur Bewertung der Fragestellungen in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren.....64
Tabelle 9: Beispiel zur Bewertung der Lösungsvarianten einer Fragestellung.....65
Tabelle 10: Bewertung der Fragestellungen zu LK 1 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren.....66
Tabelle 11: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Geräteaufstellungsstandort bei zentralen Wohnungslüftungsanlagen 68
Tabelle 12: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Mehrwohnungsanlagen.....69
Tabelle 13: Variation der Wohnungsgrösse für die Varianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Mehrwohnungsanlagen 70
Tabelle 14: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung.....71
Tabelle 15: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung.....72
Tabelle 16: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen.....74
Tabelle 17: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen.....75
Tabelle 18: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung 76
Tabelle 19: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung.....77
Tabelle 20: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung.....78
Tabelle 21: Bewertung der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung 79
Tabelle 22: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 81
Tabelle 23: Bewertung der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 82
Tabelle 24: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung).....85
Tabelle 25: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten 86
Tabelle 26: Bewertung der Fragestellungen zu LK 2 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren.....87

Tabelle 27: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen 89
Tabelle 28: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen 90
Tabelle 29: Variation der Wohnungsgrösse für Varianten zum Aufstellungsstandort der Geräte bei Einzelwohnungsanlagen 91
Tabelle 30: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung 92
Tabelle 31: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung 93
Tabelle 32: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 95
Tabelle 33: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 95
Tabelle 34: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung 96
Tabelle 35: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung 97
Tabelle 36: Bewertung der Lösungsvarianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung 99
Tabelle 37: Bewertung der Lösungsvarianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung 100
Tabelle 38: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung) 103
Tabelle 39: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten 104
Tabelle 40: Bewertung der Fragestellungen zu LK 3 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren 105
Tabelle 41: Vor/Nachteile der Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten 107
Tabelle 42: Bewertung der Konzeptvarianten für Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten (LK3) 108
Tabelle 43: Variation der Wohnungsgrösse für Konzeptvarianten der Anlagen mit Einzelraumlüftungsgeräten (LK3) 109
Tabelle 44: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftfassung bei Einzelraumgeräten 110
Tabelle 45: Bewertung der Lösungsvarianten zum Aufstellungsstandort der Aussenluftfassung 111
Tabelle 46: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 113
Tabelle 47: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 113
Tabelle 48: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung 115
Tabelle 49: Bewertung der Lösungsvarianten zur Art der Wärmerückgewinnung 116
Tabelle 50: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung) 119
Tabelle 51: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten 120
Tabelle 52: Bewertung der Fragestellungen zu LK 4 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren 121
Tabelle 53: Vor/Nachteile der Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen 123
Tabelle 54: Bewertung der Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen 124
Tabelle 55: Variation der Wohnungsgrösse für Aufstellungsstandortkonzepte für Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen 125
Tabelle 56: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftdurchlässe bei Abluftanlagen 126
Tabelle 57: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anordnung der Aussenluftdurchlässe bei Abluftanlagen 127
Tabelle 58: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 129
Tabelle 59: Bewertung der Lösungsvarianten zur Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen 130
Tabelle 60: Vor/Nachteile der Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept 132
Tabelle 61: Bewertung der Lösungsvarianten zur Abwärmenutzung und zum Luftverteilkonzept 133
Tabelle 62: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung) 137
Tabelle 63: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten 138
Tabelle 64: Bewertung der Fragestellungen zu LK 5 in Bezug auf Relevanz und Varianz verschiedener Einflussfaktoren 139
Tabelle 65: Bewertung der Konzeptvarianten zur Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage (intermittierender Betrieb) 143
Tabelle 66: Variation der Wohnungsgrösse für die Konzeptvarianten zur Fensterlüftung kombiniert mit Abluft-Anlage 144
Tabelle 67: Kurzbeschrieb des Objektes (Charakterisierung) 147
Tabelle 68: Einschätzungen zum Objekt; basierend auf dem Bewertungsraster und den verfügbaren Daten 148
Tabelle 69: Bewertung der Fragestellungen zum Themenkreis Sanierung 149
Tabelle 70: Bewertung der Fragestellungen zum Themenkreis Komfort 150
Tabelle 71: Kennwerte für die untersuchten Wohnungsgrössen und die Auslegung der Luftmengen 194

Tabelle 72: Kennwerte für Wärmebedarf im Standardbetriebsfall des Gebäudes mit LK1 (Mehrwohnungsanlage) 195
Tabelle 73: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Lüftungsanlagen 196
Tabelle 74: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 196
Tabelle 75: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 197
Tabelle 76: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung zu den Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 197
Tabelle 77: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 198
Tabelle 78: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 198
Tabelle 79: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 199
Tabelle 80: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK1 mit Rohren 199
Tabelle 81: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 200
Tabelle 82: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK1 mit Rohren 200
Tabelle 83: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 201
Tabelle 84: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK1 mit Rohren 201
Tabelle 85: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 202
Tabelle 86: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK1 mit Rohren 202
Tabelle 87: Resultate für den Raumbedarf für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage) 203
Tabelle 88: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 204
Tabelle 89: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 204
Tabelle 90: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 204
Tabelle 91: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 205
Tabelle 92: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 205
Tabelle 93: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 206
Tabelle 94: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 206
Tabelle 95: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 207
Tabelle 96: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 208
Tabelle 97: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 208
Tabelle 98: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 209
Tabelle 99: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 209
Tabelle 100: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK1 210
Tabelle 101: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK1 211
Tabelle 102: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen 211
Tabelle 103: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren 211
Tabelle 104: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen 212
Tabelle 105: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren 213
Tabelle 106: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen 213
Tabelle 107: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren 214
Tabelle 108: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen 214
Tabelle 109: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren 215
Tabelle 110: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK1 216
Tabelle 111: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK1 216
Tabelle 112: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK1 mit Kanälen 217
Tabelle 113: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK1 217
Tabelle 114: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen 218
Tabelle 115: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren 218
Tabelle 116: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen 219

Tabelle 117: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren 219
Tabelle 118: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen.....220
Tabelle 119: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren 220
Tabelle 120: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1; mit Kanälen 221
Tabelle 121: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1, mit Kanälen.....222
Tabelle 122: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1; mit Kanälen.....222
Tabelle 123: Resultate zum Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1 223
Tabelle 124: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1 224
Tabelle 125: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1, mit Kanälen 224
Tabelle 126: Verwendete Spannbreite der Leitungslängen für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1 225
Tabelle 127: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1; mit Kanälen 225
Tabelle 128: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1; mit Rohren.....226
Tabelle 129: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1, mit Kanälen 226
Tabelle 130: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Rohren.....227
Tabelle 131: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Kanälen 227
Tabelle 132: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Rohren.....228
Tabelle 133: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1.....229
Tabelle 134: Resultate der Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1, mit Kanälen.....229
Tabelle 135: Verwendete Leitungslängen und Kennzahlen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1 230
Tabelle 136: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Kanälen.....230
Tabelle 137: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren 231
Tabelle 138: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1, mit Kanälen 231
Tabelle 139: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren 232
Tabelle 140: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Kanälen 232
Tabelle 141: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren 233
Tabelle 142: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Einzelwohnungsanlagen (LK2) 235
Tabelle 143: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage).....236
Tabelle 144: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage) 237
Tabelle 145: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung zu den Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage) 237
Tabelle 146: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage) 238
Tabelle 147: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage) 238
Tabelle 148: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK2 mit Kanälen 239
Tabelle 149: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK2 mit Rohren.....239
Tabelle 150: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK2 mit Kanälen 240
Tabelle 151: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK2 mit Rohren.....240
Tabelle 152: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK2 mit Kanälen 241
Tabelle 153: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK2 mit Rohren.....241
Tabelle 154: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK2 mit Kanälen.....242
Tabelle 155: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK2 mit Rohren.....242
Tabelle 156: Resultate für den Raumbedarf für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage).....243
Tabelle 157: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen 244
Tabelle 158: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren.....244
Tabelle 159: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen.....244
Tabelle 160: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren 245
Tabelle 161: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen 245

Tabelle 162: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren 246
Tabelle 163: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen.....246
Tabelle 164: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren 247
Tabelle 165: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen.....248
Tabelle 166: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren 248
Tabelle 167: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen.....249
Tabelle 168: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren 249
Tabelle 169: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK2.....250
Tabelle 170: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK2 251
Tabelle 171: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 2, günstig.....251
Tabelle 172: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 2, ungünstig.....251
Tabelle 173: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen 252
Tabelle 174: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren 253
Tabelle 175: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen 253
Tabelle 176: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren.....254
Tabelle 177: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen 254
Tabelle 178: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren.....255
Tabelle 179: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK2.....256
Tabelle 180: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK2.....256
Tabelle 181: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK2 mit Rohren 257
Tabelle 182: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK2.....257
Tabelle 183: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen 258
Tabelle 184: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren.....258
Tabelle 185: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen.....259
Tabelle 186: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren.....259
Tabelle 187: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen.....260
Tabelle 188: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren.....260
Tabelle 189: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK2 261
Tabelle 190: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK2 262
Tabelle 191: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren.....262
Tabelle 192: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren 263
Tabelle 193: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren 263
Tabelle 194: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftverteilkonzepte im LK2.....264
Tabelle 195: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftverteilkonzepte im LK2.....265
Tabelle 196: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2, mit Rohren.....266
Tabelle 197: Basis der Lüftungsleitungslängen für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2.....266
Tabelle 198: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2; mit Kanälen 267
Tabelle 199: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2; mit Rohren.....267
Tabelle 200: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2, mit Kanälen 268
Tabelle 201: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Rohren.....268
Tabelle 202: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Kanälen 269
Tabelle 203: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Rohren.....269
Tabelle 204: Resultate zur Grauen Energie für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Rohren.....270
Tabelle 205: Resultate der Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Rohren 271
Tabelle 206: Verwendete Leitungslängen und Kennzahlen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2 271

Tabelle 207: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Kanälen....272
Tabelle 208: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren....272
Tabelle 209: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Kanälen....273
Tabelle 210: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren....273
Tabelle 211: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Kanälen....274
Tabelle 212: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren....274
Tabelle 213: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Einzelraumanlagen (LK3)....276
Tabelle 214: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)....279
Tabelle 215: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)....279
Tabelle 216: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)....280
Tabelle 217: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)....280
Tabelle 218: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)....281
Tabelle 219: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....281
Tabelle 220: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....282
Tabelle 221: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....282
Tabelle 222: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....283
Tabelle 223: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK3, mit Kanälen....283
Tabelle 224: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK3, mit Rohren....284
Tabelle 225: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....284
Tabelle 226: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....285
Tabelle 227: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK3 (Einzelraumanlagen)....285
Tabelle 228: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....286
Tabelle 229: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....287
Tabelle 230: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....287
Tabelle 231: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....287
Tabelle 232: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Kanäle....288
Tabelle 233: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Rohre....288
Tabelle 234: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Kanäle....289
Tabelle 235: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Rohre....289
Tabelle 236: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....290
Tabelle 237: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....291
Tabelle 238: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen....291
Tabelle 239: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren....292
Tabelle 240: Kennwerte für die Berechnung der Varianten zur Aussenluftfassung des LK3....293
Tabelle 241: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte Varianten der Aussenluftfassung des LK3....293
Tabelle 242: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 3, günstig....294
Tabelle 243: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 3, ungünstig....294
Tabelle 244: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen....294
Tabelle 245: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren....295
Tabelle 246: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen....295
Tabelle 247: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren....296
Tabelle 248: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen....296
Tabelle 249: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren....297
Tabelle 250: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK3....298
Tabelle 251: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK3....298

Tabelle 252: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK3 mit Rohren 299
Tabelle 253: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK3 299
Tabelle 254: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen 300
Tabelle 255: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren 300
Tabelle 256: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen.....301
Tabelle 257: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren 301
Tabelle 258: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen.....302
Tabelle 259: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren 302
Tabelle 260: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK3 303
Tabelle 261: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK3 304
Tabelle 262: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3; mit Rohren 304
Tabelle 263: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3, mit Rohren 305
Tabelle 264: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3; mit Rohren 305
Tabelle 265: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Abluftanlagen (LK4).....307
Tabelle 266: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4) 308
Tabelle 267: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4) 308
Tabelle 268: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4).....309
Tabelle 269: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4).....309
Tabelle 270: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4).....310
Tabelle 271: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen.....310
Tabelle 272: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren 311
Tabelle 273: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen.....311
Tabelle 274: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren 312
Tabelle 275: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK4, mit Kanälen.....312
Tabelle 276: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK4, mit Rohren 313
Tabelle 277: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK4, Badabluft mit Kanälen 313
Tabelle 278: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK4, Badabluft mit Rohren.....314
Tabelle 279: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK4 (Abluftanlagen) 314
Tabelle 280: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen 315
Tabelle 281: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren.....316
Tabelle 282: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen.....316
Tabelle 283: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren 316
Tabelle 284: Resultate der Rechenvariante den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle 317
Tabelle 285: Resultate der Rechenvariante mit den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre 317
Tabelle 286: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle.....318
Tabelle 287: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre.....318
Tabelle 288: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle.....319
Tabelle 289: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre 319
Tabelle 290: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen 320
Tabelle 291: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren 320
Tabelle 292: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, mit Kanälen.....321
Tabelle 293: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, mit Rohren 321
Tabelle 294: Kennwerte für die Berechnung der Varianten zur Aussenluftfassung des LK4.....322
Tabelle 295: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte Varianten der Aussenluftfassung des LK4.....323
Tabelle 296: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 4, günstig.....323

Tabelle 297: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 4, ungünstig.....323
Tabelle 298: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen.....324
Tabelle 299: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren 324
Tabelle 300: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen 325
Tabelle 301: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren 325
Tabelle 302: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen 326
Tabelle 303: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren.....326
Tabelle 304: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK4.....328
Tabelle 305: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK4.....328
Tabelle 306: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK4 mit Rohren 329
Tabelle 307: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK4 mit Kanälen.....329
Tabelle 308: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK4.....330
Tabelle 309: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen 330
Tabelle 310: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren.....331
Tabelle 311: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen.....331
Tabelle 312: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren 332
Tabelle 313: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen.....332
Tabelle 314: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren 333
Tabelle 315: Basis der Kennwerte für die Sensitivitätsbetrachtung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 334
Tabelle 316: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 334
Tabelle 317: Resultate für den Grad der Abwärmenutzung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4.....334
Tabelle 318: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 335
Tabelle 319: Resultate der Investitionskosten, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 mit Rohren.....335
Tabelle 320: Resultate der Investitionskosten für die, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 mit Kanälen.....336
Tabelle 321: Resultate der Basisberechnung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle.....336
Tabelle 322: Resultate der Basisberechnung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre 337
Tabelle 323: Resultate mit günstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle 337
Tabelle 324: Resultate mit günstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre.....338
Tabelle 325: Resultate mit ungünstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle 338
Tabelle 326: Resultate mit ungünstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre.....339
Tabelle 327: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile, Konzept Fensterlüftung (LK5) 341
Tabelle 328: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5).....342
Tabelle 329: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5) 342
Tabelle 330: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5).....343
Tabelle 331: Hauptszenarien für die Nutzungsvarianten für das Konzept mit Fensterlüftung (LK5).....343
Tabelle 332: Für Dokumentation gewählte Nutzungsfälle für das Konzept mit Fensterlüftung (LK5) 345
Tabelle 333: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5) 353
Tabelle 334: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5) 353
Tabelle 335: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen.....354
Tabelle 336: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 354
Tabelle 337: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 355
Tabelle 338: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 355
Tabelle 339: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK5, mit Kanälen.....356
Tabelle 340: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK5, mit Rohren.....356
Tabelle 341: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen 357

Tabelle 342: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 357
Tabelle 343: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK5 (Fensterlüftung mit Badabluft) 358
Tabelle 344: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen 359
Tabelle 345: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren.....359
Tabelle 346: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen.....360
Tabelle 347: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 360
Tabelle 348: Resultate der Rechenvariante den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle 360
Tabelle 349: Resultate der Rechenvariante mit den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre 361
Tabelle 350: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle.....361
Tabelle 351: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre.....362
Tabelle 352: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle.....362
Tabelle 353: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre.....363
Tabelle 354: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen.....364
Tabelle 355: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren 364
Tabelle 356: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, mit Kanälen.....365
Tabelle 357: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, mit Rohren 365
Tabelle 358: Verwendete Daten für Wärmebedarf ab Wärmeerzeuger 366
Tabelle 359: Verwendete Daten Strombedarf der Abluft-Wärmepumpe (Abwärmenutzung bei LK 4) 366
Tabelle 360: Resultate der Gesamtökobilanz; Primärenergie, nichterneuerbar 367
Tabelle 361: Resultate der Gesamtökobilanz; Primärenergie, gesamt (erneuerbar + nicht erneuerbar) 368
Tabelle 362: Resultate der Gesamtökobilanz; Treibhausgaspotential 369
Tabelle 363: Resultate der Gesamtökobilanz; Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) 370
Tabelle 364: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Basiswerte.....371
Tabelle 365: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Minimalwerte 372
Tabelle 366: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Maximalwerte 372
Tabelle 367: Resultate zum Leistungsbedarf zur Deckung der Lüftungsverluste.....373
Tabelle 368: Resultate zum Raumbedarf und Raumkosten der Lüftungsgeräte.....373
Tabelle 369: Verwendete Ökobilanzdaten 375

8.3 Literaturverzeichnis

Akca, N. et al., 2017. *Integrierte Bestandsanierung von Wohnungsbauten mittels Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (IBWL),* Bochum: s.n.

Amrein, W. et al., 2017. *Damit Klimaanlagen Luft effizient bewegen,* s.l.: s.n.

B., F. & Huber, H., 2011. *Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen: Perspektiven für Gebäude der 2000W-Gesellschaft,* Horw: HSLU, FHNW.

BAG, 2019. *Lüftungsplanung bei Schulhausneubauten und -sanierungen - Informationen und Empfehlungen für Bauherren,* bern: Bundesamt für Gesundheit BAG.

Bischof, W. & Wiesmüller, G., 2007. *Das Sick Building Syndrome (SBS) und die Ergebnisse der ProKlimA Studie,* Landsberg am Lech: Umweltmedizin in Forschung und Praxis 12: 23–42.

Bundesamt für Statistik BFS, 2019. *Haushalte.* [Online] Available at: https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/stand-entwicklung/haushalte.html [Zugriff am 05 09 2019].

DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2018. *Ökobilanz des Gebäudes,* s.l.: s.n.

Dietrich, J., Sprecher, F. & Hilpert, M., 2016. *Energetische Aspekte von Lüftungssystemen in Klassenzimmern,* s.l.: AHB.

DIN 1946-6, 2019. *Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung,* Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN).

Dorer, V. et al., 2002. *Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL),* s.l.: EMPA, ZHW, Gröbly Fischer Architekten.

ecobau, 2020. *Merkblatt Gesundes Innenraumklima,* Zürich: ecobau.

ElCom, 2021. *Strompreise Schweiz.* [Online] Available at: https://www.strompreis.elcom.admin.ch

EU-VO Nr. 1253/2014, 2014. *EU-Verordnung Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014zu den Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen,* Brüssel: Europäischen Union.

EU-VO Nr. 1254/2014, 2014. *EU-Verordnung Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch,* Brüssel: Europäischen Union.

Flourentzou, F., 2012. *Einfaches Abluftsystem,* s.l.: s.n.

Fong, M. et al., 2017. *Life cycle assessment for three ventilation methods,* s.l.: s.n.

Frei, B., Reichmuth, F. & Huber, H., 2004. *Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser,* s.l.: s.n.

Frei, B., Sagerschnig, C. & Gyalistras, D., 2018. *ParkGap - Performance Gap Gebäude: Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen für den Gebäudepark der Schweiz,* s.l.: s.n.

Furter, R., 2007. *Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Klein-Lüftungsanlagen,* Horw: HSLU.

Ganz Klima GmbH, 2007. *Schlussbericht Raumluftfeuchte in Wohnneubauten,* s.l.: s.n.

Ganz, R., Sicre, B. & Nägeli, A., 2012. *Hygienezustand von Raumlufttechnischen Anlagen in der Schweiz,* s.l.: Ganz Klima GmbH, HSLU, Unifil AG.

GebäudeKlima Schweiz, 2016. *Stand der Technik Papier - Brandschutz in Lüftungen von Wohnbauten.* Olten: GebäudeKlima Schweiz.

Greml, A., Kapferer, R. & Leitzinger, W., 2018. *60 Qualitätskriterien für Komfortlüftungen,* s.l.: Komfortlüftung.at.

Grossklos, M., Knissel , J. & Loga, T., 2004. *Fensteröffnung in Passivhäusern,* Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.

Hässig, W., Lalive d'Epiney, A., Fotsch, P. & Steinle, P., 2003. *Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnubereich,* Zürich: Basler und Hofmann AG.

Hässig, W. & Primas, A., 2004. *Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich,* s.l.: BFE.

Hässig, W. et al., 2005. *Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern,* Zürich und Horw: Basler und Hofmann AG, Hochschule Luzern.

Hässig, W. & Wyss, S. S. J., 2015. *Untersuchung Wärmeverbrauchsdaten von Neubauten,* s.l.: s.n.

Hauri, C., Primas, A. & Huber, H., 2019. *Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau,* Bern: BFE.

Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T. & Zeumer, M., 2007. *Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden anhand von 20 Beispielprojekten als konkrete Handlungslinie und Arbeitshilfe für Planer,* Darmstadt: s.n.

Hellwig, R. T., 2005. *Thermische Behaglichkeit - Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht,* s.l.: s.n.

Hoffmann, C., 2014. *Fensterlüfter: Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen,* Muttenz: FHNW.

Hoffmann, C. et al., 2020. *FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich?,* Bern: Bundesamt für Energie (BFE).

Hoffmann, C., Primas, A., Geissler, A. & Huber, H., 2018. *Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) - Die Sichtweise der Nutzer,* s.l.: FHNW, HSLU.

Hoskyn, J., Zwick, P. & Jackschath, T., 2012. *Kostenklarheit 2011, Vergleichsbericht der Erstellungskosten und Kostenfaktoren von Wohnsiedlungen,* Zürich: Amt für Hochbauten der Stadt Zürich.

Huber, H., 2008. *Komfortlüftung - Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten.* Zürich: Faktor Verlag.

Huber, H., 2009. *Luftaustausch Synthesebericht,* Muttenz: FHNW.

Huber, H., 2012. *Einfache Abluftanlagen,* Muttenz: FHNW.

Huber, H., 2016. *Komfortlüftung in Wohngebäuden.* Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG.

Huber, H. & Hauri, C., 2019. *Gute Raumluft - Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus,* s.l.: Minergie Schweiz.

Huber, H. & Helfenfinger, D., 2013. *Individuelle Luftmengenregulierung bei Mehrwohnungsanlagen,* Muttenz: FHNW.

Huber, H., Sonderegger, F. & Frei, V., 2017. *Abluftvolumenströme in Wohnbauten Normen-Recherche und Vorschläge für die Umsetzung,* s.l.: s.n.

Huber, H., Stünzi, C., Sibold, C. & Kunz, D.-S., 2018. *ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung,* Muttenz: FHNW.

Jakob, M., Jochem, E. & Christen, K., 2002. *Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden,* Bern: Bundesamtes für Energie.

Jenny, A. & Ott, W., 2009. *Nachhaltige Quartierentwicklung Grünau-Werdwies Zürich: Auswirkungen der Ersatzneubauten Bernerstrasse Werdwies,* s.l.: econcept.

Kah, O. et al., 2011. *Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung,* Darmstadt: Passivhausinstitut.

KBOB, 2016. *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1,* Bern: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB.

Keller, B., Woodtli, M. & Eberle, S., 2016. *Lüftung mit aktiver Überströmung: Messung und Aufzeichnung von CO2-Konzentrationen,* s.l.: s.n.

KlimaHaus, 2020. *Produktliste Wohnraumlüftungsgeräte,* Bozen, Italien: Agentur für Energie Südtirol - KlimaHaus.

Klingler, M. et al., 2014. *Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen,* s.l.: BFE.

Knecht, K. & Sigrist, D., 2019. *Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner,* Dübendorf: s3 GmbH.

König, H., 2017. *Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden,* s.l.: s.n.

Kriesi, R., 2012. *Reales Lüftungsverhalten in Wohnungen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen,* s.l.: AHB.

Leicht, S. & Bieri, M., 2016. *swisswoodhouse – ein Gebäude für die 2000-Watt-Gesellschaft,* Bern: Bundesamt für Energie BFE.

Maas, A., 1995. *Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung,* Kassel: Universität Gesamthochschule Kassel.

Manz, H. et al., 2001. *Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung - Zusammenfassung des Schlussberichts,* s.l.: s.n.

Minergie Schweiz, 2019. *Anwendungshilfe zu den Gebäudestandards MINERGIE/MINERGIE-P/MINERGIE-A,* s.l.: s.n.

Minergie, 2019. *Faktenblatt Lüftung Siedlung Klee,* Zürich: Minergie Schweiz.

Mojic, I. et al., 2018. *ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser,* s.l.: s.n.

Moor, I., 2018. *Berechnung der grauen Energie bei MINERGIE-A, MINERGIE-ECO, MINERGIE-P-ECO und MINERGIE-A-ECO Bauten,* s.l.: s.n.

Mühlebach, M., Ménard, M., Carisch, L. & Talattad, M., 2018. *Evaluation Lüftung "mehr als wohnen",* Zürich: AHB.

MuKEn 2014, 2018. *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn),* Bern: Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EndK).

Müller, D., 2018. *EwWalt - Energetische Bewertung der dezentralen kontrollierten Wohnraumlüftung in alternierender Betriebsweise,* Aachen: RWTH Aachen.

Muller, V., Carisch, L. & Ménard, M., 2016. *Effiziente Abluft-Erdsonden-Wärmepumpe für die Gebäudeerneuerung,* Bern: Bundesamt für Energie BFE.

Ott, W., Jakob, M. & Baur, M., 2006. *Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohnbauten,* Bern: Bundesamt für Energie BFE.

Pohl, S., 2014. *Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) Gegenüberstellung von detailliertem und vereinfachtem Rechenverfahren,* Darmstadt: s.n.

prEN 13142, 2018. *Lüftung von Gebäuden - Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen - Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrössen,* Brüssel: Europäisches Komitee für Normung (CEN).

Primas, A., Moser, M.-T. & Zakovorotnyi, A., 2020. *Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte,* Bern: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE.

Primas, A., 2008. *Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032,* s.l.: s.n.

Primas, A., Huber, H., Hauri, C. & Näf, M., 2018. *Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie,* Horw: HSLU.

Primas, A. & Stache, M., 2012. *Niedertemperatur Wärmeverteilsysteme, Systemevaluation für Instandsetzungen und Neubauten,* Zürich: Amt für Hochbauten Stadt Zürich.

Reisinger, J., Kovacic, I. & Glöggler, J., 2016. *Ökobilanzierung Passivhaus-Wohnanlage Lodenareal in Innsbruck,* s.l.: s.n.

Schiantarelli, M., Minovski, R. & Huber, H., 2015. *Schlussbericht - Aktive Überströmer bei Komfortlüftungen,* s.l.: s.n.

Schweiz, M., 2019. *Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE/MINERGIE-P/MINERGIE-A,* s.l.: s.n.

Settembrini, G., Bionda, D. & Domingo, S., 2019. *SYGREN - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik,* Horw: HSLU.

SIA 180, 2014. *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein (SIA).

SIA 181, 2020. *Schallschutz im Hochbau,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein (SIA).

SIA 2023, 2008. *Merkblatt SIA 2023, Lüftung in Wohnbauten,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

SIA 2032, 2010. *SIA Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

SIA 382/1, 2014. *Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein (SIA).

SIA 382/5, 2021. *Mechanische Lüftung in Wohngebäuden, Norm SIA 382/5,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Sibille, E. et al., 2015. *low_vent.com Konzepte für die "low-tech" Komfortlüftung in grossvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort,* s.l.: s.n.

Sicre, B. & Baumann, P., 2014. *Hygieneuntersuchungen in der Komfortlüftung für energieeffiziente Gebäude,* Horw: HSLU.

SN EN 13141-7, 2010. *Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschliesslich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Wohneinheiten (,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

SN EN 13141-8, 2014. *Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten ohne Luftführung (einschliesslich Wärmerückgewinnung) für ventilatorgestützte Lüftungsanl,* Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Sölkner, P. et al., 2014. *Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus,* Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Stoffregen, A., Kreissig, J. & König, H., 2010. *Ökologische Bewertung der Haustechnik,* s.l.: s.n.

SWKI VA104-01, 2019. *Raumlufttechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte,* Urtenen-Schönbühl: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren.

T. A., 2010. *Lebenszykluskosten von Wohnraumlüftungsanlagen im Mehrgeschossigen Wohnbau,* s.l.: Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH.

Tappler, P., Hutter, H.-P., Hengsberger, H. & Ringer, W., 2014. *Lüftung 3.0 - Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern,* Wien: IBO, MedUni Wien, IG Passivhaus, AGES.

Tappler, P. et al., 2019. *Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden,* Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Thißen, M. & Niemann, H., 2016. Wohnen und Umwelt – Ergebnisse aus dem bundesweiten Gesundheitsmonitoringsystem des Robert Koch-Instituts. *UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst*, 2.

Trogisch, A. & Reichel, M., 2018. *Planungshilfen Lüftungstechnik.* s.l.:Vde Verlag GmbH.

Unterberger, B. et al., 2014. *Zukunftstaugliche Komfort- Lüftungssysteme in großvolumigen Wohngebäuden im Spannungsfeld von Hygiene und Kosten,* Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

VKF, 2015. *Brandschutzrichtlinie Lufttechnische Anlagen / 25-15,* Bern: Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen.

Waeber, R., 2011. Luftwechsel - Essenziell für Raumluftqualität und Gesundheit. *MODULØR*, 1, pp. 28-32.

Wegner, J., Stokar, M. & Hoffmann, C., 2010. *Studie zur Untersuchung von Mehrkosten von MINERGIE-P-Bauten,* s.l.: s.n.

Zimmermann, K., 2012. *Anwendung des Leitfadens Nachhaltiges Bauen und des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) in den Bundesbauverwaltungen,* s.l.: s.n.

9 Anhang A; Literatur

9.1 Literaturstudie

Titel	Autoren	Jahr	Akustik	Baupraxis	Benutzerverhalten	Betriebsenergie	Raumluftqualität	Erwartungshaltung	Gesundheit	Instandhaltung/Reinigung	Monitoring	Ökologie	Ökonomie	Raumfeuchte	Robustheit	Sicherheit	Therm. Behaglichkeit	Wohnung/Gebäude
Ökobilanz des Gebäudes	DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Anwendung des Leitfadens Nachhaltiges Bauen und des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) in den Bundesbauverwaltungen	K. Zimmermann (Öko-Zentrum NRW GmbH)	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden anhand von 20 Beispielprojekten als konkrete Handlungslinie und Arbeitshilfe für Planer	M. Hegger, M. Fuchs, T. Stark, M. Zeumer (TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen)	2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) Gegenüberstellung von detailliertem und vereinfachtem Rechenverfahren	S. Pohl (TU Darmstadt)	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus	P.J. Sölkner, A. Oberhuber, S. Spaun, R. Preininger, F. Dolezal, H. Mötzl, A. Passer, G. Fischer (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie)	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Ökologische Bewertung der Haustechnik	A. Stoffregen, J. Kreissig, H. König	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Life cycle assessment for three ventilation methods	M.L. Fong, Z. Lin, K.F. Fong, V. Hanby, R. Greenough	2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
low_vent.com Konzepte für die "low-tech" Komfortlüftung in grossvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort	E. Sibille, G. Rojas-Kopeinig, R. Pfluger, A. Greml, A. Trojer, J. Suschek-Berger, M. Spörk-Dür, W. Wagner, A. Knotzer	2015	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0

Titel	Autoren	Jahr	Akustik	Baupraxis	Benutzerverhalten	Betriebsenergie	Raumluftqualität	Erwartungshaltung	Gesundheit	Instandhaltung/Reinigung	Monitoring	Ökologie	Ökonomie	Raumfeuchte	Robustheit	Sicherheit	Therm. Behaglichkeit	Wohnung/Gebäude
Ökobilanzierung Passivhaus-Wohnanlage Lodenareal in Innsbruck	J. Reisinger, I. Kovacic, J. Glöggler	2016	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden	H. König	2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Reales Lüftungsverhalten in Wohnungen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen	R. Kriesi (Kriesi Energie GmbH)	2012	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Individuelle Luftmengenregulierung bei Mehrwohnungsanlagen	H. Huber, D. Helfenfinger (FHNW, Muttenz)	2013	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fensterlüfter: Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen	C. Hoffmann (FHNW, Muttenz)	2014	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Integrierte Bestandsanierung von Wohnungsbauten mittels Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (IBWL)	N. Akca, B. Fries, H. Kasa, N. Kretzschmar, M. Neidek, J. Probst, C. Schlüter (Hochschule Bochum)	2017	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen	M. Klingler, U. Kasser, D. Savi (Büro für Umweltchemie), A. Primas, Y. Stettler, P. Gujer	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich	W. Hässig, A. Primas (Basler & Hofmann AG)	2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Energetische Aspekte von Lüftungssystemen in Klassenzimmern	J. Dietrich (AFC Air Flow Consulting), F. Sprecher, M. Hilpert (AHB)	2016	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner	K. Knecht, D. Sigrist	2019	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern	W. Hässig, A. Primas (Basler & Hofmann AG), D. Gerber, T. Weber, C. Hauri, H. Huber (HSLU)	2006	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Lüftung 3.0 Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern	P. Tappler (IBO), H.-P. Hutter (MedUni Wien), H. Hengsberger (IG Passivhaus), W. Ringer (AGES)	2014	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Hygienezustand von Raumlufttechnischen Anlagen in der Schweiz	R. Ganz (Ganz Klima GmbH), B. Sicre et al. (HSLU - T&A), A. Nägeli (Unifil AG)	2012	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Hygieneuntersuchungen in der Komfortlüftung für energieeffiziente Gebäude	B. Sicre, P. Baumann (HSLU - T&A)	2014	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) - Die Sichtweise der Nutzer	C. Hoffmann (FHNW), A. Primas (HSLU), A. Geissler (FHNW), H. Huber (HSLU)	2018	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1

Titel	Autoren	Jahr	Akustik	Baupraxis	Benutzerverhalten	Betriebsenergie	Raumluftqualität	Erwartungshaltung	Gesundheit	Instandhaltung/Reinigung	Monitoring	Ökologie	Ökonomie	Raumfeuchte	Robustheit	Sicherheit	Therm. Behaglichkeit	Wohnung/Gebäude
Evaluation Lüftung "mehr als wohnen"	M. Mühlebach, M. Ménard, , L. Carisch, M. Talattad (Lemon Consult AG)	2018	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie	A. Primas, H. Huber, C. Hauri, M. Näf (HSLU - T&A)	2018	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Einfache Abluftanlagen	H. Huber (FHNW)	2012	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung	H. Huber, C. Stünzi, C. Sibold, D.-S. Kunz (FHNW)	2018	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL)	V. Dorer, A. Pfeiffer (EMPA), P. Hartmann, A. Schatz, J. Wydler (ZHW), P. Gröbly, U. Fischer (Gröbly Fischer Architekten)	2002	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
Nachhaltige Quartierentwicklung Grünau-Werdwies Zürich Auswirkungen der Ersatzneubauten Bernerstrasse Werdwies	A. Jenny, W. Ott (econcept)	2009	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Erhöhung der Energieeffizienz von Kleinlüftungsanlagen Perspektiven für Gebäude der 2000W-Gesellschaft	B. Frei (HSLU - T&A), H. Huber (FHNW)	2011	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schlussbericht Raumluftfeuchte in Wohnneubauten	Ganz Klima GmbH	2007	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
Komfortlüftung - Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten	H. Huber	2010	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Komfortlüftung in Wohngebäuden	H. Huber	2016	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
Planungshilfen Lüftungstechnik	A. Trogisch, M. Reichel	2018	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
SYGREN - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik	G. Settembrini, D. Bionda, S. Domingo	2019	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
ImmoGap Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser	I. Mojic, M. Luzzatto, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, S. van Velsen	2018	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Untersuchung Wärmeverbrauchsdaten von Neubauten	W. Hässig, S. Wyss, J. Staubli	2015	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0

Titel	Autoren	Jahr	Akustik	Baupraxis	Benutzerverhalten	Betriebsenergie	Raumluftqualität	Erwartungshaltung	Gesundheit	Instandhaltung/Reinigung	Monitoring	Ökologie	Ökonomie	Raumfeuchte	Robustheit	Sicherheit	Therm. Behaglichkeit	Wohnung/Gebäude
Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser	B. Frei, F. Reichmuth, H. Huber	2004	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Einfaches Abluftsystem	F. Flourentzou	2012	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Abluftvolumenströme in Wohnbauten Normen-Recherche und Vorschläge für die Umsetzung	H. Huber, F. Sonderegger, V. Frei	2017	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung Zusammenfassung des Schlussberichts	H. Manz, K. Baschnagel, D. Helfenfinger, H. Huber, M. Studer, G. Stupp	2001	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Anwendungshilfe zu den Gebäudestandards MINERGIE/MINERGIE-P/MINERGIE-A	Minergie Schweiz	2019	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE/MINERGIE-P/MINERGIE-A	Minergie Schweiz	2019	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs von Klein-Lüftungsanlagen	R. Furter (HLSU)	2007	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Berechnung der grauen Energie bei MINERGIE-A, MINERGIE-ECO, MINERGIE-P-ECO und MINERGIE-A-ECO Bauten	I. Moor	2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gute Raumluft Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus	H. Huber, C. Hauri	2019	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
ParkGap - Performance Gap Gebäude Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen für den Gebäudepark der Schweiz	B. Frei, C. Sagerschnig, D. Gyalistras	2018	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Lüftung mit aktiver Überströmung: Messung und Aufzeichnung von CO2-Konzentrationen	B. Keller, M. Woodtli, S. Eberle	2016	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Damit Klimaanlagen Luft effizient bewegen	W. Amrein, A. Theerd De Neef, U. Greber, F. Gubser, M. Hämmerle, C. Hauri, H. Huber, D. Jurt	2017	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Studie zur Untersuchung von Mehrkosten von MINERGIE-P-Bauten	J. Wegner, M. Stokar, C. Hoffmann	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032	A. Primas	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Titel	Autoren	Jahr	Akustik	Baupraxis	Benutzerverhalten	Betriebsenergie	Raumluftqualität	Erwartungshaltung	Gesundheit	Instandhaltung/Reinigung	Monitoring	Ökologie	Ökonomie	Raumfeuchte	Robustheit	Sicherheit	Therm. Behaglichkeit	Wohnung/Gebäude
Thermische Behaglichkeit Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht	R. T. Hellwig	2005	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Stand der Technik Papier Brandschutz in Lüftungen von Wohnbauten	GebäudeKlima Schweiz	2016	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Schlussbericht Aktive Überströmer bei Komfortlüftungen	M. Schiantarelli, R. Minovski, H. Huber	2015	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Luftaustausch Synthesebericht	H. Huber (FHNW)	2009	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

9.1.1 Weitere relevante Feldstudien

Ergänzung bzw. Vervollständigung zu Kapitel 3.1.2 (bzw. Tabelle 2):

W. Hässig, A. Primas, D. Gerber, T. Weber, C. Hauri, H. Huber (2006). Lüftung in sanierten Mehrfamilienhäusern.

Die Studie untersucht acht Siedlungen bzw. Liegenschaft der Stadt Zürich mit insgesamt 616 Wohnungen. Alle wurden kurz vor der Untersuchung saniert. Fünf Siedlungen sind mit einer einfachen Lüftungsanlage (Komfortlüftung) und drei mit Fensterlüftung und Nachströmungseinrichtungen ausgestattet. 312 Fragebogen (51 %) von Bewohnenden konnten ausgewertet werden und in 20 Wohnungen wurden messtechnische Erhebungen durchgeführt. Bei der Bewohnerbefragung schnitten die beiden Lüftungssysteme gleich gut ab bezüglich empfundener Raumtemperatur und Luftqualität. Die Bewohner von Wohnungen mit Komfortlüftung empfinden die Raumluft jedoch etwas häufiger als trocken. Im Lüftungsverhalten ergeben sich klare Unterschiede zwischen fenstergelüfteten und mechanisch gelüfteten Wohnungen: Die Wohnungen mit einer einfachen Lüftungsanlage werden deutlich weniger über die Fenster gelüftet (durchschnittlich einmal täglich) als jene mit Fensterlüftungen (durchschnittlich zweimal täglich). Der Anteil nachts offener Fenster liegt bei beiden Lüftungssystemen über 40 %, wobei der Anteil bei der Komfortlüftung etwas höher ist. Des weiteren wurden die Vorzüge der Komfortlüftung aus Bewohnersicht ermittelt. Dabei waren Energieeinsparung, Luftqualität und Kühleffekt die drei Hauptgründe für die Komfortlüftung – mit Energieeinsparung an erster Stelle. Bei den Messungen konnte nachgewiesen werden, dass der CO_2-Gehalt nachts in den Schlafzimmern der KWL-Wohnungen durchschnittlich nur halb so hoch ist, als in Fensterlüftung-Wohnungen mit geschlossenen Fenstern. Die Autoren schlussfolgern, dass einer sorgfältigen Planung und Ausführung hohes Gewicht beizumessen ist. Dies gilt insbesondere für die Platzierung der Aussenluftfassung, der Schalldämmung, der Gebäudedichtigkeit und dem korrekten Abgleich der Luftmengen. Bei Gebäuden mit Abluftanlagen in den Nasszellen aber ohne mechanische Zuluft, ist die Luftnachströmung in jedem Zimmer einzeln sicherzustellen.

C. Hoffmann, A. Primas, A. Geissler, H. Huber (2018). Fensterlüfter in Wohngebäuden (Sanierung und Neubau) – Die Sichtweise der Nutzer.

Die Studie untersuchte mittels Gebäudebegehungen und Nutzerbefragungen, wie sich eingebaute Fensterlüfter in der Praxis bewähren. Mit der Befragung liegen Antworten von 270 Nutzern aus 28 Gebäuden vor, welche mit Fensterlüftern und einer Abluftanlage ausgestattet sind. Dabei gaben 30 % der Befragten an, in der Nähe der Fensterlüfter immer Zugluft zu spüren und für rund 38 % ist die Raumluft zu trocken. Mit der Raumluftqualität sind lediglich 56 % der Befragten zufrieden. Die Betriebsweise der Abluftanlagen (intermittierend oder permanent) wirkt sich dabei nur wenig auf die Zufriedenheit der Befragten auf. In Kombination mit Radiatoren treten weniger Zuglufterscheinungen auf. Bezüglich der Art der Fensterlüfter zeigte sich, dass Falzlüfter (zusammen mit Radiatoren) im Vergleich zu Fensterlüftern oberhalb des Fensters weniger Zugerscheinungen hervorrufen. Verstellbare Fensterlüfter und nicht verstellbare Fensterlüfter wurden ähnlich bewertet, allerdings konnte gezeigt werden, dass verstellbare Fensterlüfter nicht abgeklebt werden. Eine Nutzerinformation half dabei, längeres Lüften tagsüber zu vermeiden.

H. Huber, C. Stünzi, C. Sibold, D.-S. Kunz (2018). ABLEG – Abluftanlagen in der energetischen Gebäudesanierung.

In dieser Studie wurde der Betrieb von Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen untersucht. Dazu wurden in 8 Wohnungen von 4 Mehrfamilienhäusern (zwei Neubauten und zwei erneuerte Gebäude) Raumklimadaten (Temperatur, Feuchtigkeit und CO_2-Konzentration) und Luftvolumenströme messtechnisch erfasst und ausgewertet. Die Messresultate zeigten, dass die realisierten Lüftungsanlagen mit wenigen Einschränkungen in der Lage sind, ein behagliches Raumklima und einen energieeffizienten Betrieb zu gewährleisten. Voraussetzung dazu bildet eine genügend luftdichte Gebäudehülle, die passende Dimensionierung der Anlage, die fachtechnische Ausführung und ein optimierter Betrieb. Obwohl nutzungsbedingt einzelne Messwerte die Grenz- oder Empfehlungswerte betreffend Luftvolumenstrom, Raumluftfeuchtigkeit oder CO_2-Konzentration kurzzeitig überschritten, schätzten die Nutzer der untersuchten Wohnungen die Wohnqualität

mit den Lüftungsanlagen als gut ein. Die Autoren schlussfolgern, dass die Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen grundsätzlich in der Lage sind, die Anforderung an Wärmeschutz, Behaglichkeit und Raumluftqualität zu erfüllen.

K. Knecht, D. Sigrist (2019). Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie.

In dieser Studie wurde anhand der Siedlung Klee in Zürich Affoltern eine zentrale Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und WRG sowohl finanziell als auch ökologisch mittels Lebenszyklusanalyse mit einer unkontrollierten (manuellen) Fensterlüftung (mit Abluft in den Nasszellen und Küchen) verglichen. Als Datengrundlage für die Massenbilanzen dienten die Materialspezifikationen in den Submissionseingaben der ausführenden Unternehmer, welche den Werkverträgen entnommen wurden. Die Kosten wurden den Schlussabrechnungen der ausführenden Unternehmer, den Wartungsverträgen für die Lüftungsanlagen und den Energieabrechnungen entnommen. Für die Betriebsenergie (Heizwärmeverbrauch und Allgemeinstrombedarf) wurden Messdaten über eine Zeitperiode von drei Jahren verwendet. Dabei wird für den Vergleich die Differenz der Allgemeinstromverbräuche der beiden Gebäudeteile verwendet, da keine Einzelmessungen der Lüftungsstromverbräuche zur Verfügung stehen. Die Auswertung zeigte, dass die analysierten Anlagen im Betrieb weit weniger Heizwärme einsparen und deutlich mehr Strom verbrauchen als geplant. Dadurch schnitt im Vergleich über den gesamten Lebenszyklus die Komfortlüftung sowohl ökologisch (Ökobilanz) wie auch finanziell (Lebenszykluskostenrechnung) schlechter ab als die Fensterlüftung.

Anmerkung zur Studie: Bei dieser Feldstudie wurden diverse Kriterien wie z.B. die Hygiene/Gesundheit nicht untersucht und auch keine Messungen zur Raumluftqualität durchgeführt. Zu dieser Studie publizierte Minergie einen Kurzbericht (Minergie, 2019) der zu verschiedenen Punkten der Studie Stellung bezieht. Im Fazit wird festgehalten, dass die Erkenntnisse der Studie nicht verallgemeinert oder für prospektive Aussagen zu Komfortlüftungen verwendet werden können.

C. Hoffmann (2014). Fensterlüfter: Literaturstudie, Markstudie und Thermische Simulationen.

In einem ersten Schritt wurden die bezüglich Fensterlüfter relevanten Normen und Richtlinien sowie die vorhandene Literatur aufgearbeitet. Bei den Normen lag der Schwerpunkt der Auswertung auf Fragen zum vorgeschriebenen Mindestluftwechsel für Personen und Feuchteschutz. In der darauffolgenden Marktstudie wurde ein breites Angebot an Fensterlüftern festgestellt. Es wurden insgesamt 20 Hersteller mit 50 Produkten betrachtet. Mittels thermischen Simulationen in einer typischen MFH-Wohnung wurde dann die Wirkung von Fensterlüftern untersucht. Dabei wird von einem ungedämmten Gebäude ausgegangen, in welches als Sanierungsmassnahme neue, dichte Fenster eingebaut werden. Die Simulationen zeigten, dass Fensterlüfter selten alleine den Feuchteschutzluftwechsel garantieren können. In Kombination mit Abluftventilatoren in Küche und Bad war eine Deckung möglich, allerdings mussten Fensterlüfter mit einem genügend grossen Luftdurchlass eingesetzt werden, was zu einem Konflikt mit dem thermischen Komfort führt (es sei denn, es werden pro Raum mehrere kleine Falzlüfter eingesetzt). Der hygienische Luftwechsel war nur in höher gelegenen Etagen mit Fensterlüftern mit mittlerem Luftdurchlass zusammen mit der Fensterlüftung und den Abluftventilatoren gesichert. Zudem zeigte sich, dass wenn statt der Fensterlüfter eine Zu- und Abluftanlage mit WRG eingesetzt wird, lassen sich beim ungedämmten Gebäude rund 20 % des Heizwärmebedarfs einsparen, beim gedämmten Gebäude sogar knapp 60 %.

M. Ménard, M. Mühlebach, L. Carisch, M. Talattad (2018). Evaluation Lüftung «mehr als wohnen».

Diese Studie analysierte die verschiedenen Lüftungssysteme auf dem Hunziker Areal in Zürich-Nord. Vier der 13 Gebäude auf dem Areal verfügen über eine Komfortlüftung in drei verschiedenen Ausführungen (zentral pro Haus, dezentral pro Wohnung und eine Verbundlüftung mit aktiven Überströmern). Die übrigen neun Gebäude sind mit Abluftanlagen und Aussenluftdurchlässen ausgestattet. Mittels Umfrage wurde die Zufriedenheit der Bewohner mit dem Raumkomfort in ihrer Wohnung und mit Thermographie-Aufnahmen der Anteil Fensterlüftung ermittelt. Ergänzend dazu lieferten Strommessungen der Lüftungsanlagen Aufschluss über den Stromverbrauch der Anlage im Betrieb, während mit CO_2- und Feuchtigkeitsmessungen die Raumluftqualität ermittelt wurde. Diese war in den Wohnzimmern, unabhängig vom jeweiligen Lüftungssystem, sehr gut. Anders in den Schlafzimmern, dort war die Raumluftqualität bei der dezentralen Zu-/Abluftanlage und den einfachen Abluftanlagen teilweise über den Grenzwerten. Trotzdem schnitten die Lüftungssysteme bei der Befragung bezüglich der empfundenen Raumluftqualität sehr ähnlich ab. Das dezentrale Lüftungssystem schnitt dabei in der Verteilung der Antworten am besten ab. Die Beim Kriterium Zuglufterscheinungen schnitt die zentrale Lüftungsanlage deutlich besser ab als die Abluftanlagen: Nur 11 % der Bewohner spürten Zuglufterscheinungen – bei den Abluftanlagen dagegen sind es fast 40 %. Beim gemessenen Stromverbrauch der Komfortlüftungssysteme gab es grosse Unterschiede. Die zentrale Zu-/Abluftanlage lag mit 4.8 kWh/m^2 Stromverbrauch deutlich über der dezentralen Zu-/Abluft- und der zentralen Verbundlüftungsanlage, wie auch deutlich über dem SIA 382/1 Grenzwert. Beim Heizwärmeverbrauch lagen gar alle vier Häuser mit Komfortlüftung markant über den Planungswerten. Die Erwartung, dass die Häuser mit Komfortlüftung gegenüber den Häusern mit Abluftanlagen 50 % oder noch weniger Heizwärme verbrauchen würden, hatte sich nicht bestätigt. Die Autoren sind der Ansicht, dass die erhöhte Rate an offenen Fenstern eine Ursache für den erhöhten Heizwärmeverbrauch sein könnte. Die Gebäude mit Abluftanlagen schnitten bei den Auswertungen bezüglich Energieverbrauch der Lüftung sehr gut ab.

A. Jenny, W. Ott, A. Primas, R. Bäumler (2009). Nachhaltige Quartierentwicklung Grünau-Werdwies Zürich.

Diese Studie umfasst eine Erfolgskontrolle der Ersatzneubauten Werdwies in Altstetten, Zürich. Dabei wurde, unter anderem, auch die Komfortlüftung mittels Messungen und Bewohnerbefragungen evaluiert. Die Resultate zeigten, dass die Mehrheit (57 %) der Bewohner zufrieden oder sehr zufrieden ist mit der Komfortlüftung. Dagegen waren rund 20 % nicht zufrieden mit der Komfortlüftung. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Anordnung der Lüftungsaggregate in einer Gitterkonstruktion auf dem Dach ungünstig ist, zu Kurzschlussströmungen führt und eine schlechte Zugänglichkeit sowie Störungsanfälligkeit bei tiefen Temperaturen aufweist. Die Luftmengen sind 20-25 % tiefer als ausgelegt, weil die Lüftung auf Stufe 1 betrieben wird, um weniger Mieterreklamationen wegen Geruchsbelästigungen (aufgrund von Kurzschlussströmungen) zu erhalten. Aufgrund der hohen Raumtemperaturen weisen die Wohnungen tiefe Raumluftfeuchten auf. Die Temperatur kann in den einzelnen Wohnungen nicht individuell reguliert werden. Die auch bei den Bewohnern als trocken empfundene Luft führt zu einem vermehrten Gebrauch von Luftbefeuchtern. Die CO_2-Werte entsprechen den Erwartungen.

9.1.2 Weitere relevante Standard- und Nachschlagewerke

Ergänzung bzw. Vervollständigung zu Kapitel 3.1.3 (bzw. Tabelle 2):

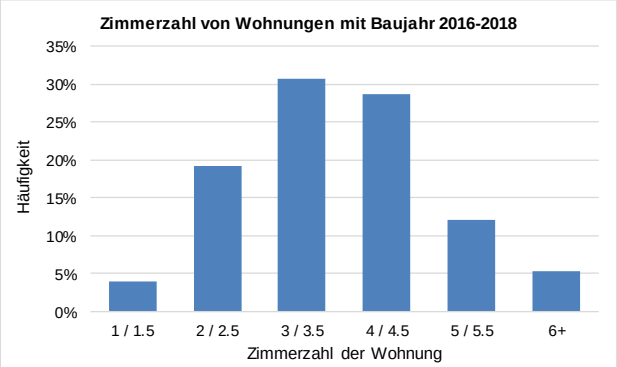
H. Huber (2010). Komfortlüftung – Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten.

Dieses Handbuch stellt ein Skript für Planer und Baufachleute zur Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten dar. Die verschiedenen Lüftungssysteme werden zudem vorgestellt und verglichen. Allerdings ist diese Publikation kein allgemeines Lehrmittel für Lüftungstechnik, sondern behandelt nur Themen, die bei der Wohnungslüftung speziell zu beachten sind. Allgemeine Grundlagen, wie z.B. Druckverlustberechnungen, werden vorausgesetzt, weshalb sich dieses Handbuch auch explizit an Fachleute richtet.

10 Anhang zu LK1: Mehrwohnungsanlage

10.1 Basisannahmen für die Berechnungen

Für die Berechnungen der Standardfälle wurde von einem Gebäude mit 4 Obergeschossen und insgesamt 16 Wohnungen ausgegangen. Als typische Wohnungsgrösse wurde ein Wohnungsgrundriss mit 3.5 Zimmern und 90 m² Wohnfläche gewählt. Die Basis für diese Wahl ist eine typische Gebäude- und Wohnungsgrösse bei Mehrfamilienhäusern die häufig vorkommt.



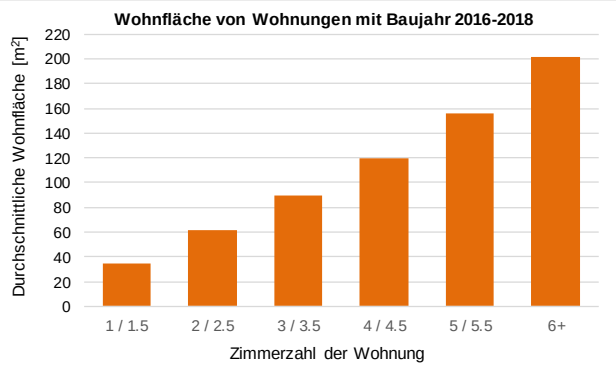


Abbildung 74: Zimmerzahl und durchschnittliche Wohnfläche von MFH Neubauten; Quelle: BFS / GWS, 2019

Neben dem Basisfall (3.5-Zimmer Wohnungen) wurden Variantenberechnungen mit Gebäuden mit 2.5- und 4.5-Zimmer Wohnungen durchgeführt, da diese ebenfalls sehr häufig in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind. Tabelle 71 zeigt die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte sowie die daraus resultierende Auslegung der Nennluftmengen. Für die Auslegung der Luftmengen bei den Konzepten mit Kaskade und Verbundlüfter wurde auf der SIA 382/5:2021 basiert.

Tabelle 71: Kennwerte für die untersuchten Wohnungsgrössen und die Auslegung der Luftmengen

Wohnungsgrösse	**2 / 2.5**	**3 / 3.5**	**4 / 4.5**	**Zimmer**	**Quelle**
Zimmerzahl	2	3	4	Stk.	
Anzahl Bäder / WC	1	1	2	Stk.	
Wohnfläche	60	90	120	m^2	1)
Energiebezugsfläche	75	113	150	m^2	2)
Annahme für Belegung	2	2 (3 *)	3	Pers.	3)
Auslegung der Luftmengen pro Wohnung					
nach SIA 2023: 2008	56 - 60	60 - 90	100 - 120	m^3/h	4)
SIA 382/5:2021, ohne Kaskade	60	90	120	m^3/h	
SIA 382/5:2021, mit Kaskade	50 **)	60	90	m^3/h	
SIA 382/5:2021, mit Verbundlüftung	60	60 (90 *)	120	m^3/h	***)
SIA 382/5:2021, Verbundlüfter, pro Zimmer	60	60	60	m^3/h	

1) Werte (gerundet) für Bauperiode 2016 bis 2018; Quelle: BFS – GWS, Stand 31.12.2018

2) Faktor für Umrechnung aus Literatur zwischen 0.77 und 0.82. Gewählter Faktor 0.8

3) Basis gerundete Belegungsdichte von Wohnungen in der Schwiz gemäss BFS für das Jahr 2019 (BFS, 2020)

4) Bis 5.2021 gültig (ersetzt durch SIA 382/5); Auslegung abhängig von Normalbelegung (gem. Tab. 8 in SIA 2023)

*) Auslegungsvariante mit 3 Personen betrachtet (dichtere Belegung, d.H. höhere Luftmengen bei Verbundlüftung)

**) Bemessungswert für Abluftvolumenstrom für gesamte Wohnung massgebend.

***) Auslegungswerte mit resultierender CO_2-Konzentration von ca. 850 ppm in der Abluft (vollständig durchmischt)

Das gewählte Basisgebäude (mit 3.5 Zimmer Wohnungen) besitzt eine Energiebezugsfläche von 1808 m² und weist eine einem typischen Neubau entsprechende Gebäudehülle auf. Der auf Basis der Standardnutzung für das Basisgebäude berechnete Wärmebedarf ist in Tabelle 72 dokumentiert.

Tabelle 72: Kennwerte für Wärmebedarf im Standardbetriebsfall des Gebäudes mit LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Gebäudekategorie:	I: Wohnen MFH		N (Länge)	
Klimastation:	Zürich SMA	W	[redacted]	E (Breite)
			S	

Gebäudeeingaben

Länge	Breite	Höhe	Geschosse	Raumhöhe	EBF_0	EBF
[m]	[m]	[m]	[Stk]	[m]	[m²]	[m²]
30.1	15.0	12.0	4	3.00	1'808	1'808

	Dämmung			**Fensterdimensionierung**		
A/EBF	Wände	Dach	Boden	U-Wert	G-Wert F.	Anteil F.
[1]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[W/(m²K)]	[1]	[%]
1.05	0.18	0.12	0.2	1	0.5	40%

Lüftung						**Heizung**
V/EBFo	V	WRG	Vth/EBFo	Leistung	Betriebsd.	N.-grad
[m³/m²h]	[m³/h]	[%]	[m³/m²h]	[Wh/m³]	[h/Woche]	[%]
0.53	960	70%	0.31	0.50	168	85%

Resultate (SIA 380/1)

Q_T	Transmissionsverluste	136.6	[MJ/m²]	68.6	[MWh/a]
Q_V	Ventilationsverluste	80.6	[MJ/m²]	40.5	[MWh/a]
Q_i	Interne Gewinne	97.6	[MJ/m²]	49.0	[MWh/a]
Q_s	Solare Gewinne	108.7	[MJ/m²]	54.6	[MWh/a]
η_g	Ausnutzung Gewinne	61%	[%]		
Q_h	Heizwärmebedarf	91.9	[MJ/m²]	46.2	[MWh/a]
H_g	Grenzwert Heizwärme	174.4	[MJ/m²]	87.6	[MWh/a]

Resultate (mit Lüftung im Nennbetrieb; Raumtemperatur 20°C)

Q_V	Ventilationsverluste	35.6	[MJ/m²]	17.9	[MWh/a]
η_g	Ausnutzung Gewinne	55%	[%]		
Q_h	Heizwärmebedarf	59.2	[MJ/m²]	29.7	[MWh/a]

Für den Lüftungsbetrieb wurden die Lüftungsverluste in Abhängigkeit vom effektiven Betriebsfall bestimmt. Für den Standardfall wurde für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste von einem mittleren Betrieb mit 85% der Nennluftmenge ausgegangen (2-Stufen Steuerung). Auch wurde für die Raumtemperatur ein Wert von 22°C angesetzt, da der Wert von 20°C gemäss Standardnutzung in SIA 380/1:2016 nicht dem heute üblichen Gebäudebetrieb entspricht. Im Weiteren beinhaltet die Berechnung auch einen Wärmebedarf für die Enteisungsfunktion (Basis Stufenloses Öffnen des Bypasses, über die Temperatur bei der Aussenluftansaugung im Gerät gesteuert; Nachheizung mit Lufterhitzer im Gerät) und die Verluste der Leitungsführung ausserhalb des Wärmedämmperimeters.

Der Strombedarf für die Lüftungsanlage unterscheidet sich je nach Variante aufgrund der unterschiedlichen Längen und Dimensionen der benötigten Luftleitungen (Druckverlust in Leitungen). Im Weiteren sind die Druckverluste von den übrigen Elementen (interne Druckverluste im Gerät, Luftdurchlässe etc.) ebenfalls für einen wesentlichen Anteil des Gesamtdruckverlustes massgebend. In Tabelle 73 sind die Basiswerte dargestellt, welche für die Berechnung verwendet wurden. Dabei wurden die Werte für eine günstige Anlage gemäss der zurückgezogenen Norm SN EN13779:2007 als Basis verwendet[48]. Für diverse Komponenten wurden die Werte reduziert, da die Angaben als zu hoch eingestuft wurden. Für den Druckverlust über dem Wärmtauscher wird ein Wert von 150 Pa eingesetzt. Eine Auswertung in Planung stehendender bez. kürzlich realisierter Gebäude zeigte ein Bereich von etwa 120 bis 180 Pa mit einem Mittelwert und Median von

[48] In der Nachfolgenorm SN EN 16798-3: 2017 ist diese Aufstellung nicht mehr enthalten.

150 Pa. Für die Luftauslässe wurde ein Standardwert von 10 Pa verwendet, da bei Wohnungslüftungsanlagen die Luftgeschwindigkeiten an den Luftauslässen in den Zimmern typischerweise tief sind und der Wert aus der Datenquelle (30 Pa) als deutlich zu hoch für diese Nutzung angesehen wird.

Tabelle 73: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Lüftungsanlagen

	Normal	Hoch	Niedrig	Gewählt	Exponent *)
Zuluftkanalsystem	300	600	200	berechnet	
Abluftkanalsystem	200	300	100	berechnet	
Lufterhitzer	80	100	40	40	1.5
WRG Einheit H1-H2	300	400	200	150	1.5
Luftfilter F5-F7 (Enddruck)	150	250	100	100	1.25
Schalldämpfer	50	80	30	30	2
Wohnungsverteiler **)	k.A.	k.A.	k.A.	30	
Luftdurchlass ZUL / ABL	50	100	30	10	1.5
Lufteintritt -Austritt; AUL / FOL	50	70	20	20	1.5
Kühler (wenn vorh)	140	200	100	nicht einbezogen	
Befeuchter (wenn vorh)	100	150	50	nicht einbezogen	

Quelle der Kenndaten "Normal", "Hoch", "Niedrig": Norm SN EN13779:2007, Tabelle A8
*) verwendeter Exponentialfaktor für Umrechung Druckverluste im Teillastbetrieb
**) Annahme für Lüftungsbox (VVS, Schalldämpfet: 20 Pa) und Luftverteiler (10 Pa)

10.2 Standortvarianten Lüftungsgerät

10.2.1 Basis für die Standortvarianten Lüftungsgerät

Bei den verschiedenen Varianten des Standorts unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Leitungslängen der Luftführung sowohl der Material- wie auch der Energiebedarf. Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 74 dokumentiert. Dafür wurden die folgenden 5 Varianten verglichen:

- Variante 1: Ein Gerät auf dem Dach
- Variante 2: Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach
- Variante 3: Ein Gerät im UG
- Variante 4: Ein Gerät pro Steigzone im UG
- Variante 5: Je ein Gerät auf dem Dach und im UG

Die Berechnung in Variante 2 und Variante 4 beinhaltet jeweils das halbe Gebäude, da die Anlage quasi zweimal identisch erstellt wird. Da sich bei Materialisierung Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden. In Tabelle 74 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 74: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Energiebezugsfläche	1808	904	1808	904	1808	[m^2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	1440	720	1440	720	1440	[m^2]
Anzahl Wohnungen	16	8	16	8	16	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG	60	60	60	60	60	[m^3/h]
Gesamtluftmenge, Nennbetrieb	960	480	960	480	960	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	2	1	2	1	2	[Stk.]
Anzahl Etagen	4	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	188	84	243	119	303	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	512	256	512	256	512	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	4	4	4	4	4	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)
**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)
***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden.

Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Luftverteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 75 dargestellt.

Tabelle 75: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Masse Lüftungsgerät *)	0.33	0.44	0.27	0.33	0.39	kg/m^2
Masse KWL-Boxen **)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	1.04	0.92	1.52	1.31	1.34	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**1.67**	**1.65**	**2.09**	**1.94**	**2.03**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.69	0.61	0.89	0.79	0.81	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**1.31**	**1.35**	**1.45**	**1.42**	**1.49**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht inkl. Schalldämpfer*

***) Gerätegewicht KWL-Boxen in Wohnung (sofern in Variante vorhanden)*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen, aktive Überströmer (sofern vorhanden)*

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die Druckverluste und die elektrische Leistung der Ventilatoren ermittelt werden. Diese Resultate für die Nennluftmenge sind in Tabelle 76 dargestellt.

Tabelle 76: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung zu den Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckverlust $_{\text{Gerät intern, AUL-ZUL}}$	320	320	320	320	320	Pa
Druckverlust $_{\text{Gerät intern, ABL-FOL}}$	280	280	280	280	280	Pa
Druckverlust $_{\text{AUL-ZUL, Kanal}}$	162	119	213	155	211	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, AUL-ZUL, Kanal}}$	482	439	533	475	531	Pa
spez. Leistung$_{\text{, AUL-ZUL, Kanal}}$	**0.27**	**0.24**	**0.30**	**0.26**	**0.29**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Kanal}}$	157	114	218	162	212	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Kanal}}$	437	394	498	442	492	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Kanal}}$	**0.24**	**0.22**	**0.28**	**0.25**	**0.27**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{AUL-ZUL, Rohr}}$	113	94	136	110	134	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, AUL-ZUL, Rohr}}$	433	414	456	430	454	Pa
spez. Leistung$_{\text{, AUL-ZUL, Rohr}}$	**0.24**	**0.23**	**0.25**	**0.24**	**0.25**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Rohr}}$	108	88	135	110	131	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Rohr}}$	388	368	415	390	411	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Rohr}}$	**0.22**	**0.20**	**0.23**	**0.22**	**0.23**	**$W/(m^3/h)$**

Bezug der spezifischen elektrischen Leistung: pro m^3/h Nennluftmenge. Verwendeter Ventilatorwirkungsgrad: 50%

Berechnungsbasis: Auslegung der Luftgeschwindigkeiten: 100% MuKEn-Anforderung (Ausnahme nach Wohnungsverteiler: max. 2 m/s)

Basis Luftgeschwindigkeit in Kanälen: effektive mittlere Geschwindigkeit

Basis Luftgeschwindigkeit in Steigzonen: Auslegung auf ungünstigstes Stockwerk (Querschnitte über Höhe identisch)

10.2.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Standortvarianten Lüftungsgerät

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten des Standorts aufgrund der Wärmeverluste der Luftführung. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 5 untersuchten Varianten sind in Tabelle 77 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 77: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Wärmebedarf Lüftungsanlage

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Temperauränderungsgrad *)	70%	70%	70%	70%	70%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{, Kanäle}$	**9.8**	**9.2**	**9.9**	**10.0**	**10.4**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{, Rohre}$	**9.6**	**9.1**	**9.7**	**9.8**	**10.1**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über das Heizregister erforderlich ist um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät zu erreichen*

10.2.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Standortvarianten Lüftungsgerät

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Varianten des Standorts der Lüftungsanlage unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Längen der benötigten Luftleitungen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom bei einem identischen Betriebsregime führen. Für den Einbezug der bei allen Varianten zur Anwendung kommenden Stufenschalter in der Wohnung (Luftmengen Reduktion über Volumenstromregler in Wohnungslüftungs-Boxen) wird eine mittlere Luftmenge für den Betrieb ermittelt mit der der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt wird.

Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 78 dargestellt.

Tabelle 78: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, KWL-Boxen	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt$_{, Kanäle}$	**2.07**	**1.91**	**2.27**	**2.06**	**2.25**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt$_{, Rohre}$	**1.86**	**1.79**	**1.95**	**1.85**	**1.94**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

10.2.4 Ökobilanzdaten der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Materialmengen und den zugehörigen Ökobilanzdaten werden die Belastungen für die Herstellung und Entsorgung der verwendeten Materialien berechnet. Als Basis dienen die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert). Die Resultate werden als Belastungen pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr angegeben. Für diese Umrechnung werden die in Tabelle 4 dargestellten Lebensdauerannahmen verwendet.

Neben den Materialien die für die Lüftungsanlage (Geräte, Kanäle etc.) benötigt werden sind je nach Variante auch zusätzliche Materialien der Gewerke Heizung, Elektro und Baumeister zu berücksichtigen, um einen korrekten Vergleich zu ermöglichen. In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für den Unterhalt (Material, Transporte) separat ausgewiesen.

Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für vier verschiedene Indikatoren bestimmt und dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren. Diese werden jeweils separaten Tabellen aufgeführt.

Die Resultate für die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 13) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 79 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 80.

Tabelle 79: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	66	66	66	66	44	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	105	58	212	157	207	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	136	136	136	136	136	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	14	14	14	14	14	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgerät (zentral)	248	332	202	251	291	UBP /(m^2 a)
KWL-Boxen in Wohnung	109	109	109	109	109	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	233	233	233	233	233	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	18	37	10	17	27	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	25	25	34	39	25	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	67	65	69	64	66	UBP /(m^2 a)
Summe	**1020**	**1073**	**1085**	**1084**	**1151**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 80: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	48	48	48	48	31	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	72	41	142	110	143	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	93	93	93	93	93	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	14	14	14	14	14	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgerät (zentral)	248	332	202	251	291	UBP /(m^2 a)
KWL-Boxen in Wohnung	109	109	109	109	109	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	233	233	233	233	233	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	18	37	10	17	27	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	25	25	34	39	25	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	67	65	69	64	66	UBP /(m^2 a)
Summe	**927**	**996**	**954**	**977**	**1032**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der gesamten Primärenergie (Summe aus Primärenergie nichterneuerbar und erneuerbar) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 81 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 82.

Tabelle 81: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.09	0.09	0.09	0.09	0.06	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.17	0.09	0.33	0.25	0.32	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgerät (zentral)	0.58	0.77	0.47	0.58	0.68	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
KWL-Boxen in Wohnung	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.06	0.13	0.04	0.06	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.06	0.06	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.29	0.27	0.30	0.27	0.28	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**2.23**	**2.39**	**2.28**	**2.31**	**2.47**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 82: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.12	0.07	0.22	0.18	0.22	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgerät (zentral)	0.58	0.77	0.47	0.58	0.68	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
KWL-Boxen in Wohnung	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.06	0.13	0.04	0.06	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.06	0.06	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.29	0.27	0.30	0.27	0.28	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**2.09**	**2.27**	**2.08**	**2.15**	**2.29**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie (Graue Energie) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 83 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 83.

Tabelle 83: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.09	0.09	0.09	0.09	0.06	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.16	0.09	0.31	0.23	0.30	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgerät (zentral)	0.53	0.70	0.43	0.53	0.62	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
KWL-Boxen in Wohnung	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.06	0.12	0.03	0.06	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.23	0.21	0.25	0.22	0.23	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**2.02**	**2.17**	**2.08**	**2.10**	**2.25**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 84: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.11	0.06	0.21	0.16	0.21	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgerät (zentral)	0.53	0.70	0.43	0.53	0.62	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
KWL-Boxen in Wohnung	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.06	0.12	0.03	0.06	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.05	0.06	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.23	0.21	0.25	0.22	0.23	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**1.89**	**2.06**	**1.89**	**1.95**	**2.08**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung des Treibhausgaspotentials sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 85 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 86.

Tabelle 85: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.020	0.020	0.020	0.020	0.013	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.038	0.020	0.072	0.054	0.070	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgerät (zentral)	0.118	0.158	0.096	0.120	0.139	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
KWL-Boxen in Wohnung	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.014	0.028	0.008	0.013	0.020	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.009	0.009	0.012	0.013	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.057	0.054	0.060	0.055	0.056	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.470**	**0.503**	**0.482**	**0.488**	**0.522**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 86: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.014	0.014	0.014	0.014	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.026	0.015	0.048	0.039	0.049	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgerät (zentral)	0.118	0.158	0.096	0.120	0.139	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
KWL-Boxen in Wohnung	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.014	0.028	0.008	0.013	0.020	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.009	0.009	0.012	0.013	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.057	0.054	0.060	0.055	0.056	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.439**	**0.478**	**0.438**	**0.453**	**0.482**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

10.2.5 Raumbedarf für Schächte und Geräte der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Dimensionen der Lüftungskanäle und -Rohre kann der erforderliche Schachtflächenbedarf und daraus den Raumbedarf für die Schächte ermittelt werden. Auch für die Aufstellung der Lüftungsgeräte wird Raum benötigt. Für die zentralen Anlagen wird dafür auf der Basis der Angaben in SIA 382/1: 2014 (Anhang: A2) der Raumbedarf ermittelt. In realen Projekten wird der Lüftungszentrale oft nicht dieses Raumvolumen zur Verfügung gestellt. Für die Analyse wird jedoch mit den Angaben aus SIA 382/1: 2014 gerechnet. Bei einer Dachaufstellung wird der Raumbedarf (Auf dem Dach) nicht einbezogen. Auf der anderen Seite wird für die Dachaufstellung ein Gerät vorgesehen, dass für eine Aussenaufstellung geeignet ist (teurer und schwerer). Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Raumbedarf bestimmt und in Tabelle 87 dargestellt.

Tabelle 87: Resultate für den Raumbedarf für die Standortvarianten des LK1 (Mehrwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Raumbedarf $_{\text{Lüftungsgerät}}$ *)	0.0000	0.0000	0.0528	0.0760	0.0380	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{KWL-Boxen}}$ **)	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Kanal}}$	0.0046	0.0046	0.0090	0.0115	0.0051	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Kanal}}$	**0.0057**	**0.0057**	**0.0628**	**0.0885**	**0.0441**	**m^3/m^2**
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Rohr}}$	0.0051	0.0051	0.0097	0.0123	0.0054	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Rohr}}$	**0.0062**	**0.0062**	**0.0636**	**0.0894**	**0.0445**	**m^3/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

Für den Raumbedarf in den Schächten wird die Dämmung (wenn vorhanden) berücksichtigt.

*) Basis: SIA 382/1 (A2), Für Dachaufstellung wird der Raumbedarf nicht einbezogen (Annahme: Aussenaufgestellt auf Dach)

**) Basis: Typisches Gerät inkl. Schalldämpfer

10.2.6 Kosten für die Anlagen der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Materialmengen und Gerätegrössen werden mittels Kostenkurven und Kostenkennzahlen die Investitionskosten berechnet. Als Basis für diese Kostendaten dienten aktuelle Projekte, Herstellerpreislisten sowie eigene Kostenkennzahlen und Annahmen.

Die Kosten für die Dunstabzugshauben (Umluft) wurden in die Position «diverse Elemente» einbezogen. Es wurde eine typische Abzugshaube für den normalen Wohnungsbau eingesetzt, die aber eine gute Energieeffizienz aufweist (kein hochpreisiges Produkt).

Neben dem Gewerk Lüftung (BKP 244) werden in den Kosten auch Positionen aus anderen Gewerken berücksichtigt, welche für den Variantenvergleich der Anlagen wesentlich sind. Es sind dies die Gewerke Heizung (z.B. Heizgruppe und Leitungen für Lufterhitzer), Elektro/MESRL (Anschlüsse für Geräte und an UV und Steuerung) und Baumeister (Schachtwände, Durchbrüche). In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für eine allfällige Verstärkung der Betondecke (in diesem Variantenvergleich nicht einbezogen) separat ausgewiesen.

Die Resultate für die Investitionskosten sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 88 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 89.

Die Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion wurden basierend auf den ermittelten Anlagen- und Kostenkenngrössen (Gerätegrösse, Anzahl Luftauslässe, Gerätekosten) sowie weiteren Annahmen (Anfahrtsweg, Personenzahl, Stundenansatz) modelliert. Als Basis für diese Kostendaten dienten typische Kostenkennzahlen und Annahmen. Wie bereits im Kapitel 3.3.4 beschrieben wird ein jährlicher Filterersatz (inkl. Aktivkohlefilter der Umluft-Dunstabzugshauben in den Wohnungen) und eine jährliche Gerätewartung angenommen. Für den 6-jährlichen Unterhalt (mit Hygieneinspektion) wird zusätzlich angenommen, dass die Abluft-, FOL- und AUL-Leitungen gereinigt werden. In den Kosten sind keine Ersatzinvestitionen enthalten, sondern nur ein prozentualer Kostenanteil für den Unterhalt (Reparatur, Ersatz von Verbrauchsmaterial) der Anlagen. Die Resultate für die Unterhaltskosten sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 90 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 91.

Tabelle 88: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Luftverteilung *)	20	18	23	22	24	CHF / m^2
Dämmung	3	1	3	3	4	CHF / m^2
Lüftungsgerät (zentral)	13	18	11	15	17	CHF / m^2
KWL-Boxen in Wohnung	18	18	18	18	18	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	13	13	13	13	13	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	27	28	27	28	30	CHF / m^2
Anteil Heizung, Elektro, MSRL **)	10	17	8	13	15	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	6	6	8	8	7	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**110**	**119**	**112**	**120**	**127**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12400	13400	12700	13600	14350	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Heizung, Elektro*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 89: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Luftverteilung *)	9	8	11	10	11	CHF / m^2
Dämmung	2	1	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (zentral)	13	18	11	15	17	CHF / m^2
KWL-Boxen in Wohnung	18	18	18	18	18	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	13	13	13	13	13	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	22	23	22	23	25	CHF / m^2
Anteil Heizung, Elektro, MSRL **)	10	17	8	13	15	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	6	6	8	8	7	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**94**	**105**	**95**	**103**	**108**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	10600	11800	10700	11600	12200	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Heizung, Elektro*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 90: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
jährlicher Unterhalt	1.05	1.28	1.02	1.24	1.26	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.09	1.11	1.32	1.40	1.47	CHF /(m^2 a)
Summe	**2.14**	**2.39**	**2.34**	**2.64**	**2.73**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 91: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
jährlicher Unterhalt	1.05	1.28	1.02	1.24	1.26	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.99	1.03	1.18	1.28	1.34	CHF /(m^2 a)
Summe	**2.05**	**2.32**	**2.21**	**2.52**	**2.60**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

10.2.7 Varianz der Resultate der Standortvarianten Lüftungsgerät

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation für die Platzierung der Geräte angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge der Luftverteilung von/bis zur Zentrale. Beim Raumbedarf für die Zentrale wurde für den günstigen Fall angenommen, dass der Raumbedarf für die Zentrale nur 60% vom Kennwert nach SIA 382/1:2014 beträgt. Ebenfalls in der Varianz enthalten ist die Differenz zwischen einer Verrohrung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate jedoch separat dokumentiert.

Tabelle 92: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**1.97**	**1.87**	**2.09**	**1.99**	**2.08**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.3**	**9.0**	**9.4**	**9.7**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.95**	**2.13**	**1.94**	**2.03**	**2.12**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**106**	**117**	**107**	**117**	**120**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.02**	**2.30**	**2.12**	**2.46**	**2.45**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0057**	**0.0057**	**0.0417**	**0.0581**	**0.0289**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0046	0.0046	0.0090	0.0115	0.0051	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0011	0.0327	0.0466	0.0239	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.54	1.57	1.76	1.77	1.75	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	133	107	166	139	163	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.45	0.52	0.49	0.51	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	977	1049	997	1038	1067	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.453	0.494	0.450	0.472	0.492	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.35	2.13	2.24	2.33	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 93: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.81**	**1.77**	**1.87**	**1.82**	**1.86**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**8.9**	**9.2**	**9.5**	**9.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.84**	**2.03**	**1.79**	**1.90**	**1.98**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**92**	**104**	**91**	**101**	**104**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.98**	**2.26**	**2.06**	**2.41**	**2.40**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0062**	**0.0062**	**0.0425**	**0.0590**	**0.0293**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0051	0.0051	0.0097	0.0123	0.0054	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0011	0.0327	0.0466	0.0239	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.24	1.30	1.30	1.34	1.34	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	99	87	114	101	111	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.44	0.43	0.46	0.45	0.46	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	897	979	894	944	973	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.427	0.471	0.416	0.442	0.460	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.03	2.24	1.98	2.10	2.19	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 94: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.21**	**1.96**	**2.87**	**2.49**	**2.73**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.6**	**9.6**	**10.8**	**11.7**	**11.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.13**	**2.22**	**2.33**	**2.38**	**2.48**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**115**	**122**	**122**	**133**	**138**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.20**	**2.44**	**2.50**	**2.98**	**2.99**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0057**	**0.0057**	**0.0630**	**0.0888**	**0.0442**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0046	0.0046	0.0092	0.0118	0.0051	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0011	0.0539	0.0770	0.0390	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.87	1.77	2.70	2.60	2.51	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	200	131	380	276	343	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.56	0.48	0.76	0.64	0.71	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1086	1109	1253	1262	1302	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.495	0.516	0.542	0.552	0.574	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.34	2.45	2.55	2.60	2.71	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 95: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.92**	**1.81**	**2.07**	**1.95**	**2.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.2**	**9.4**	**10.3**	**11.0**	**11.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.97**	**2.10**	**2.03**	**2.12**	**2.22**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**97**	**106**	**100**	**110**	**114**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.14**	**2.40**	**2.41**	**2.88**	**2.89**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0062**	**0.0062**	**0.0636**	**0.0894**	**0.0445**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0051	0.0051	0.0097	0.0123	0.0054	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0011	0.0539	0.0770	0.0390	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.42	1.41	1.68	1.68	1.71	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	129	98	169	136	165	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.44	0.52	0.48	0.52	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	972	1021	1044	1081	1122	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.456	0.487	0.471	0.493	0.514	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.17	2.32	2.23	2.33	2.44	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.2.8 Resultate für andere Wohnungsgrössen zu den Standortvarianten Lüftungsgerät

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen für zwei weitere Wohnungsgrössen durchgeführt. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate dokumentiert. Auch in dieser Resultatdarstellung werden die Ergebnisse für die Ausführung mit Kanälen und die Ausführung mit Rohren separat dargestellt. Typischerweise sind die Kostenkennwerte und die Indikatoren für die Umweltbelastung bei dem Gebäude mit grösseren Wohnungen (4.5-Zimmer Wohnungen) tiefer und bei dem Gebäude mit kleineren Wohnungen (2.5-Zimmer Wohnungen) höher. Bei den Kennwerten zur Betriebsenergie ist die Basisvariante (mit 3.5-Zimmer Wohnungen) am günstigsten, da diese Variante im Auslegungsfall die geringste Luftmenge pro m^2 Energiebezugsfläche aufweist. Siehe dazu auch die Festlegungen zur Auslegung in Kapitel 10.1.

Tabelle 96: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.29**	**2.03**	**2.64**	**2.18**	**2.41**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.9**	**10.3**	**10.7**	**11.0**	**11.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.75**	**1.90**	**1.81**	**1.86**	**2.01**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**92**	**99**	**93**	**101**	**108**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.39**	**1.60**	**1.53**	**1.76**	**1.87**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0051**	**0.0051**	**0.0568**	**0.0804**	**0.0400**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0043	0.0043	0.0078	0.0102	0.0045	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0008	0.0008	0.0490	0.0702	0.0355	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.50	1.49	1.86	1.76	1.89	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	184	121	270	158	214	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.54	0.47	0.63	0.51	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	878	932	941	952	1027	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.407	0.439	0.420	0.431	0.466	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.92	2.08	1.98	2.04	2.20	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 97: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.00**	**1.88**	**2.16**	**1.95**	**2.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.7**	**10.2**	**10.6**	**10.8**	**11.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.63**	**1.81**	**1.65**	**1.73**	**1.86**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**80**	**88**	**79**	**87**	**92**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.36**	**1.57**	**1.48**	**1.72**	**1.82**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0056**	**0.0056**	**0.0575**	**0.0813**	**0.0404**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0048	0.0048	0.0085	0.0111	0.0049	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0008	0.0008	0.0490	0.0702	0.0355	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.19	1.23	1.33	1.31	1.43	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	122	94	161	110	135	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.47	0.44	0.51	0.46	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	795	865	827	857	920	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.379	0.418	0.382	0.401	0.431	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.80	1.99	1.81	1.90	2.04	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 98: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.64**	**2.48**	**2.90**	**2.68**	**2.88**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.3**	**11.6**	**12.5**	**12.7**	**13.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.88**	**3.10**	**2.91**	**3.00**	**3.17**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**159**	**174**	**163**	**175**	**183**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.40**	**2.81**	**2.67**	**3.14**	**3.21**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0079**	**0.0079**	**0.0870**	**0.1227**	**0.0612**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0063	0.0063	0.0125	0.0162	0.0071	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0016	0.0016	0.0746	0.1066	0.0541	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	2.30	2.35	2.75	2.73	2.79	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	149	114	205	158	201	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.50	0.46	0.56	0.51	0.56	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1446	1532	1516	1543	1613	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.669	0.720	0.676	0.697	0.736	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	3.17	3.42	3.20	3.30	3.49	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 99: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.40**	**2.33**	**2.51**	**2.42**	**2.50**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.0**	**11.5**	**12.3**	**12.4**	**12.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.70**	**2.95**	**2.68**	**2.79**	**2.94**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**136**	**153**	**137**	**150**	**156**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.34**	**2.75**	**2.57**	**3.05**	**3.12**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0086**	**0.0086**	**0.0880**	**0.1238**	**0.0617**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0070	0.0070	0.0135	0.0172	0.0076	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0016	0.0016	0.0746	0.1066	0.0541	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.84	1.91	2.01	2.01	2.06	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	104	88	129	108	126	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.45	0.43	0.48	0.45	0.47	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1320	1421	1346	1392	1453	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.628	0.684	0.622	0.648	0.683	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.99	3.25	2.95	3.08	3.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.3 Lage der Aussenluftfassung

10.3.1 Basis für die Lagevarianten der Aussenluftfassung

Die verschiedenen Varianten der Lage der Aussenluftfassung unterscheiden sich bezüglich den Leitungslängen der Luftführung nur geringfügig. Für eine insgesamt günstige Platzierung sind verschiedene Kostenaspekte (z.B. Nähe zum Lüftungsgerät, notwendige Durchbrüche etc.) wie auch die Art des Zugangs für die Wartung relevant. Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 100 dokumentiert. Dafür wurden die folgenden 4 Varianten verglichen:

- Variante 1: AUL Fassung auf dem Dach
- Variante 2: AUL Fassung an Fassade im Dachgeschoss
- Variante 3: AUL Fassung im EG mit Ansaugturm
- Variante 4: AUL Fassung im EG im Fassadenbereich

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 (Gerät im UG) und Variante 3 (Gerät auf dem Dach bzw. im DG) verwendet. Diese Varianten sind in Kapitel 10.2.1 genauer spezifiziert. Sie basieren auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich bei Materialisierung Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

Tabelle 100: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK1

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Energiebezugsfläche	1808	1808	1808	1808	[m^2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	1440	1440	1440	1440	[m^2]
Anzahl Wohnungen	16	16	16	16	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG	60	60	60	60	[m^3/h]
Gesamtluftmenge, Nennbetrieb	960	960	960	960	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	2	2	2	2	[Stk.]
Anzahl Etagen	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	188	198	243	243	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	512	512	512	512	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	4	4	4	4	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)

**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Luftverteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 101 dargestellt.

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen bezüglich der Aussenluftqualität am Standort der Aussenluftfassung betrachtet. Obwohl beim Lüftungskonzept mit zentralen Anlagen eine grosse Freiheit besteht bezüglich der Wahl eines, bezüglich der Aussenluftqualität günstigen Standortes für die Aussenluftfassung, wird für den ungünstigen Fall ein erhöhter Aufwand für den Unterhalt angenommen. Gegenüber dem Basisfall unterscheidet sich dies primär durch die schnellere Verschmutzung der Filter, was ein kürzeres Intervall für den Unterhalt der Anlage erfordert (für diesen Fall 2x jährlich angenommen). Die Resultate zu dieser Sensitivitätsbetrachtung sind in Kapitel 0 dargestellt.

Tabelle 101: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK1

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Masse Lüftungsgerät *)	0.33	0.27	0.27	0.27	kg/m^2
Masse KWL-Boxen **)	0.18	0.18	0.18	0.18	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.11	0.11	0.11	0.11	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	1.04	1.15	1.52	1.52	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**1.67**	**1.71**	**2.09**	**2.09**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.69	0.73	0.89	0.89	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**1.31**	**1.29**	**1.45**	**1.45**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 EBF.

*) Gerätegewicht inkl. Schalldämpfer

**) Gerätegewicht KWL-Boxen in Wohnung (sofern in Variante vorhanden)

***) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen, aktive Überströmer (sofern vorhanden)

10.3.2 Unterhaltskosten für die Standortvarianten der Aussenluftfassung

Da der Aufwand für den Unterhalt bei den Aussenluftfassungen unterscheiden können wird dieser Punkt separat dokumentiert. Bei der Dachaufstellung des Gerätes (Variante 1) wird davon ausgegangen, dass die Aussenluftfassung einfach zugänglich ist und der Unterhalt daher kein Mehraufwand darstellt. Bei der Aussenluftfassung an der Fassade im Dachgeschoss (Variante 2) bedeutet der Zugang für den Unterhalt meist ein Mehraufwand, da die Fassung nicht an einem von Personen frequentierten (und damit einfach zugänglichen Ort, wie z.B. einer Dachterrasse) Ort angeordnet sein soll. Dies kann z.B. das Öffnen einer Revisionsöffnung oder ein anderweitig erschwerter Zugang sein. Nicht berücksichtigt in der Betrachtung wird ein sehr stark erschwerter Zugang der z.B. den Einsatz eines Skyworkers bedingt. Die Varianten mit der Lüftungszentrale im Untergeschoss (Variante 3 und 4) werden als vergleichbar eingeschätzt, da für beide Varianten ein ähnlicher Aufwand für den Unterhalt erforderlich ist. Die Resultate zu den Unterhaltskosten sind in Tabelle 102 und Tabelle 103 dargestellt. Die Resultate der Sensitivitätsbetrachtung zu den Unterhaltskosten ist in den Tabellen in Kapitel 0 dargestellt.

Tabelle 102: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	1.05	1.10	1.02	1.02	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.09	1.13	1.32	1.32	CHF /(m^2 a)
Summe	**2.14**	**2.23**	**2.34**	**2.34**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 103: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	1.05	1.10	1.02	1.02	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.99	1.03	1.18	1.18	CHF /(m^2 a)
Summe	**2.05**	**2.12**	**2.21**	**2.21**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

10.3.3 Weitere Resultate der Standortvarianten der Aussenluftfassung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Standortvarianten der Aussenluftfassung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation der Platzierung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge des Aussenluftanschlusses bis zur Zentrale. Im Weiteren werden zusätzlich erforderliche Durchbrüche oder ev. erforderliche Brandschutzdämmungen (bei Variante 4) einbezogen. Beim Raumbedarf für die Zentrale ist zu Variante 2 anzumerken, dass bei dieser Variante von einer Innenaufstellung des Lüftungsgerätes ausgegangen wird (Aufstellung im Dachgeschoss). Hier wurde der Raumbedarf für die Zentrale gemäss dem Raumbedarf nach SIA 382/1:2014 eingesetzt.

Tabelle 104: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.07**	**2.10**	**2.27**	**2.27**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.8**	**9.2**	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**1.97**	**2.08**	**2.10**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**110**	**110**	**112**	**114**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.09**	**2.17**	**2.27**	**2.27**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0057**	**0.0585**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0046	0.0046	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.67	1.71	2.09	2.09	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	160	169	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.51	0.52	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1020	998	1085	1091	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.470	0.458	0.482	0.488	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.23	2.17	2.28	2.30	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 105: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.87**	**1.95**	**1.95**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.6**	**9.1**	**9.7**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**1.82**	**1.89**	**1.90**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**94**	**93**	**95**	**96**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.05**	**2.12**	**2.21**	**2.21**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0062**	**0.0590**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0051	0.0051	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.31	1.29	1.45	1.45	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	111	115	136	136	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.46	0.46	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	927	896	954	959	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.439	0.424	0.438	0.443	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.09	2.01	2.08	2.10	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 106: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.06**	**2.09**	**2.24**	**2.24**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.8**	**9.1**	**9.6**	**9.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**1.95**	**2.04**	**2.06**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**109**	**109**	**111**	**112**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.08**	**2.12**	**2.23**	**2.23**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0057**	**0.0585**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0046	0.0046	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.65	1.67	2.00	2.00	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	158	166	208	208	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.51	0.52	0.56	0.56	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1016	988	1065	1069	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.468	0.454	0.474	0.478	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.22	2.15	2.24	2.26	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 107: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.85**	**1.87**	**1.94**	**1.94**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.6**	**9.0**	**9.5**	**9.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.88**	**1.81**	**1.86**	**1.87**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**94**	**93**	**94**	**94**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.04**	**2.07**	**2.17**	**2.17**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0062**	**0.0590**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0051	0.0051	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.30	1.27	1.42	1.42	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	110	113	132	132	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.46	0.46	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	924	890	941	944	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.421	0.433	0.436	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.00	2.05	2.07	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 108: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.08**	**2.12**	**2.36**	**2.36**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.3**	**10.3**	**10.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.17**	**2.16**	**2.27**	**2.31**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**110**	**112**	**115**	**119**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.16**	**3.59**	**3.35**	**3.50**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0057**	**0.0585**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0046	0.0046	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.70	1.78	2.25	2.25	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	163	175	241	241	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.51	0.53	0.60	0.60	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1061	1054	1156	1166	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.508	0.507	0.532	0.543	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.42	2.41	2.53	2.57	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 109: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.88**	**1.97**	**1.97**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.2**	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.03**	**2.00**	**2.05**	**2.08**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**94**	**95**	**96**	**99**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.11**	**3.53**	**3.28**	**3.42**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0062**	**0.0590**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0051	0.0051	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0011	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.32	1.31	1.50	1.50	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	300	300	300	300	Pa
Druckverlust, extern Mittel. ****)	112	118	141	141	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.46	0.46	0.49	0.49	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	965	947	1007	1015	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.476	0.469	0.481	0.489	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.24	2.30	2.33	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

10.4.1 Basis für die Varianten der Steuerung bzw. Regelung

Die Art der Anlagensteuerung bzw. Regelung beeinflusst die effektive Luftmenge in der Wohnung und bestimmt damit wie bedarfsgerecht die Lüftung funktioniert. Damit hat dieser Faktor einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 5 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Wohnung (2-stufig), Referenz
- Variante 2: Basissystem VAV optimiert (Rückkopplung auf Lüftungsgerät)
- Variante 3: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-Regelung)
- Variante 4: Zentrales Zeitprogramm (2 Stufen)
- Variante 5: Konstantbetrieb

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 10.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät im UG, 2 Steigzonen). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

10.4.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 5 untersuchten Varianten sind in Tabelle 110 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine

Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 110: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK1

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Temperauränderungsgrad *)	70%	70%	70%	70%	70%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	1.3	1.3	1.0	1.4	1.5	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{,\text{Kanäle}}$	**9.9**	**9.9**	**8.5**	**10.6**	**10.9**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{,\text{Rohre}}$	**9.7**	**9.7**	**8.3**	**10.3**	**10.7**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über das Heizregister erforderlich ist um Zuluftemperatur von 18 C° nach dem Gerät zu erreichen*

10.4.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen im Betrieb. Daraus ergeben sich im Betrieb unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Als Basisannahme für die Varianten werden die Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) angewendet (CRTL-Faktor). Daraus wird eine mittlere Luftmenge im Betrieb und damit der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt. Für die 5 Varianten zur Art der Steuerung und Regelung der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 111 dargestellt.

Tabelle 111: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK1

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckregelung	Standard	Optimiert	Optimiert	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	65%	95%	100%	% der Nenn-LM
Strombedarf, KWL-Boxen	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt$_{,\text{Kanäle}}$	**2.27**	**2.17**	**1.35**	**2.75**	**3.02**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt$_{,\text{Rohre}}$	**1.95**	**1.91**	**1.22**	**2.37**	**2.61**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

10.4.4 Investitionskosten für die Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Investitionskosten für die Steurer- und Regelvarianten unterscheiden sich vor allem bezüglich der Komponenten, die in jeder Wohnung eingebaut werden. Der Basisfall (Variante 1) und die Variante mit optimierter Steuerung (Variante 2) beinhalten eine KWL-Box mit einem einfachem Steuerschalter (min 2-stufig) um die Luftmenge zu steuern (durch den Wohnungsnutzer). Bei Variante 2 unterschiedlich ist nur eine Rückmeldung der KWL-Box zurück zur Lüftungsanlage, damit dies sich optimal einstellen kann. In Variante 3 (mit CO_2-Steuerung) ist ein zusätzliches Regelmodul erforderlich, das die KWL-Box bedarfsgerecht regelt. Damit wird die Luftmenge nutzerunabhängiger optimiert. Bei den Varianten 4 und 5 wird davon ausgegangen, dass nur ein einfacher (fixer) Konstantvolumenstromregler eingebaut ist. Es ist kein Eingriff von Nutzerseite her möglich. Bei Variante 4 ist der reduzierte Betrieb in erster Linie von der Einstellung der Zeitsteuerung abhängig. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 112 für die Luftverteilung mit Kanälen dargestellt. Die Resultate für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 112: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	23	23	23	23	23	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (zentral)	11	11	11	11	11	CHF / m^2
KWL-Boxen in Wohnung	18	18	21	6	6	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	13	13	13	13	13	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	27	27	29	23	23	CHF / m^2
Anteil Heizung, Elektro, MSRL **)	8	9	9	8	8	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	8	8	8	8	8	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**112**	**113**	**118**	**96**	**96**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12700	12800	13400	10900	10900	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Heizung, Elektro*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

10.4.5 Weitere Resultate der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Luftmengenregelung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie der Faktor der die mittlere Luftmenge im Betrieb bestimmt. Dieser Wert ist bei den Varianten 1 bis 3 stark von den Nutzern abhängig (Abwesenheiten, Art der Nutzung des Stufenschalteers). Tabelle 113 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 113: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**
Druckregelung	Standard	Optimiert	Optimiert	Standard	Standard
Mittelwert Betriebsluftmenge; Basisfall *)	85%	85%	65%	95%	100%
Mittelwert Betriebsluftmenge; günstiger Fall *)	75%	75%	60%	85%	100%
Mittelwert Betriebsluftmenge; ungünstiger Fall *)	95%	95%	70%	97%	100%

*) rechnerischer mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie
Wert in % der Nennluftmenge

Tabelle 114: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.27**	**2.17**	**1.35**	**2.75**	**3.02**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.9**	**8.5**	**10.6**	**10.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.08**	**2.09**	**2.04**	**2.04**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**112**	**113**	**118**	**96**	**96**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.27**	**2.27**	**2.37**	**2.22**	**2.22**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.09	2.09	2.05	2.05	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	215	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1086	1091	1062	1062	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.482	0.482	0.484	0.474	0.474	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.28	2.29	2.24	2.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 115: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.95**	**1.91**	**1.22**	**2.37**	**2.61**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.7**	**8.3**	**10.3**	**10.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**1.89**	**1.90**	**1.85**	**1.85**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**95**	**96**	**101**	**78**	**78**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.21**	**2.21**	**2.31**	**2.14**	**2.14**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.45	1.45	1.45	1.41	1.41	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	136	136	136	136	136	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	954	955	960	931	931	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.438	0.440	0.430	0.430	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.08	2.09	2.04	2.04	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 116: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.87**	**1.72**	**1.19**	**2.27**	**3.02**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**9.2**	**8.2**	**9.9**	**10.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.08**	**2.08**	**2.04**	**2.04**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**108**	**108**	**112**	**93**	**93**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.26**	**2.26**	**2.32**	**2.20**	**2.20**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.09	2.09	2.05	2.05	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	215	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1086	1090	1062	1062	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.482	0.482	0.484	0.474	0.474	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.28	2.29	2.24	2.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 117: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.60**	**1.53**	**1.09**	**1.95**	**2.61**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.0**	**8.0**	**9.7**	**10.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**1.89**	**1.89**	**1.85**	**1.85**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**90**	**90**	**94**	**75**	**75**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.19**	**2.19**	**2.25**	**2.13**	**2.13**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.45	1.45	1.45	1.41	1.41	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	136	136	136	136	136	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	954	955	959	931	931	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.438	0.440	0.430	0.430	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.08	2.09	2.04	2.04	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 118: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.75**	**2.72**	**1.52**	**2.86**	**3.02**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.6**	**10.6**	**8.9**	**10.7**	**10.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.04**	**2.08**	**2.09**	**2.04**	**2.04**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**117**	**119**	**125**	**102**	**102**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.29**	**2.29**	**2.43**	**2.24**	**2.24**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.09	2.09	2.05	2.05	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	215	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1087	1093	1062	1062	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.472	0.482	0.485	0.474	0.474	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.23	2.28	2.29	2.24	2.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 119: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK1 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.37**	**2.37**	**1.37**	**2.46**	**2.61**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.3**	**10.3**	**8.7**	**10.5**	**10.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**1.89**	**1.90**	**1.85**	**1.85**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**100**	**101**	**107**	**84**	**84**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.22**	**2.23**	**2.36**	**2.16**	**2.16**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.45	1.45	1.45	1.41	1.41	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	136	136	136	136	136	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	954	956	962	931	931	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.438	0.441	0.430	0.430	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.08	2.09	2.04	2.04	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.5 Art der Wärmerückgewinnung

Die Art der Wärmerückgewinnung beeinflusst die Höhe der Wärme- und Feuchterückgewinnung und damit zusammenhängenden Faktoren wie Betriebsenergie, Raumluftfeuchte und in geringerem Masse die Investitionen. Insbesondere für die Raumluftfeuchte im Winter sind Wärmeübertrager vorteilhaft, welche eine Feuchterückgewinnung aufweisen. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer zentralen Lüftungsanlage im UG und einem Konzept mit Kaskadenlüftung ausgegangen. Die Resultate beziehen sich auf die folgenden 2 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung

Nicht in den Vergleich aufgenommen wurden KVS-Systeme, da diese im Wohnungsbereich nicht üblich, und im Vergleich teuer sind (mind. für die typischen Luftmengen von MFH's). Zudem weisen sie in diesem Nutzungsbereich keine Vorteile auf.

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 10.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät im UG, 2 Steigzonen). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

10.5.1 Resultate Varianten zur Wärmerückgewinnung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Wärmerückgewinnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der der Wirkung des Wärmeübertragers angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden nur die Eigenschaften der Wärmeübertrager (Temperaturänderungsgrad, Druckverlust und Kosten).

Tabelle 120: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.27**	**2.27**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.08**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**112**	**111**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.27**	**2.25**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.09	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1085	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.482	0.482	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.28	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 121: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.16**	**2.16**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.8**	**8.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.95**	**1.95**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**109**	**109**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.23**	**2.22**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.00	2.00	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	270	270	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.54	0.54	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1020	1020	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.454	0.454	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.14	2.14	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 122: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.38**	**2.38**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.8**	**11.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.20**	**2.20**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**116**	**113**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.32**	**2.29**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.18	2.18	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	330	330	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.61	0.61	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1150	1150	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.510	0.510	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.42	2.42	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.6 Luftverteilkonzept in der Wohnung

10.6.1 Basis für die Varianten des Luftverteilkonzeptes

Das Konzept der Luftverteilung in der Wohnung beeinflusst die Auslegungsluftmenge und damit die damit zusammenhängenden Faktoren wie Betriebsenergie, Graue Energie, Investitionen und Raumbedarf aber auch die Parameter der Raumluftqualität. Insbesondere für die Raumluftfeuchte im Winter sind Konzepte vorteilhaft, welche eine Kaskadennutzung ermöglichen. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer zentralen Lüftungsanlage im UG ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 3 Varianten:

- Variante 1: Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)
- Variante 2: Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)
- Variante 3: Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung)

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 10.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät im UG, 2 Steigzonen). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

Für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) wird bei Variante 3 beim Minimalwert von einer Auslegung mit der identischen Gesamtluftmenge wie beim Konzept mit Kaskade ausgegangen. Diese Auslegung ist gemäss SIA 382/5:2021 bei einer geringen Belegung der Wohnung (2 Personen in einer 3.5-Zimmer Wohnung). Für den Basisfall und den Maximalwert wird bei Variante 3 von einer Auslegung mit einer Belegung von 3 Personen in einer 3.5-Zimmer Wohnung ausgegangen. Für die Varianten 1 und 2 wird für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) keine Veränderung der Nennluftmenge angenommen. Bei diesen Varianten beschränkt sich die Veränderung auf die Längen der Verteilung innerhalb der Wohnung und auf die damit verbundenen Komponenten (z.B. KWL-Box).

10.6.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 3 untersuchten Varianten sind in Tabelle 123 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 123: Resultate zum Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Temperauränderungsgrad *)	70%	70%	70%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.1	0.1	0.1	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	1.3	1.9	1.3	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{, Kanäle}$	**9.9**	**12.8**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{, Rohre}$	**9.7**	**12.6**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über das Heizregister erfolrderlich ist um Zuluftemperatur von 18 C° nach dem Gerät zu erreichen*

10.6.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Veränderung des Strombedarfs zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Auslegungsluftmengen. Daraus ergeben sich im Betrieb unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Für alle Varianten wird eine Steuerung der Luftmengen mittels Stufenschalter in der Wohnung angenommen (Details dazu siehe auch Kapitel 10.4). Für die 3 Varianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 124 dargestellt.

Tabelle 124: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, KWL-Boxen	0.39	0.39	0.39	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, akt. Überströmer ***)	0.00	0.00	0.04	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt$_{, \text{Kanäle}}$	**2.27**	**3.45**	**2.28**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt$_{, \text{Rohre}}$	**1.95**	**2.84**	**1.96**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

****) Für Basisberechnung wird von 1.5W pro Element und einer Betriebsdauer von 2870 h/a ausgegangen.*

10.6.4 Investitionskosten der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Investitionskosten für die Varianten des Luftverteilkonzeptes unterscheiden sich vor allem bezüglich den Auslegungsluftmengen, welche höhere bzw. geringere Kosten bei der Luftverteilung und auch den Lüftungsgeräten mit sich bringt. Bei der Varianz der Kosten spielt die Veränderung der Leitungslängen der Verteilung innerhalb der Wohnung (bei Variante 1 und 2 eingelegte PE-Wellrohre, bei Variante 3 ein relativ kurzer Leitungsanschluss aus einem PE-Wellrohr an einen einzigen Luftauslass) hinein. Zudem wurde eine Kostenspannbreite der Komponenten innerhalb der Wohnung (KWL-Box, bzw. aktive Überströmer) angenommen. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 125 für die Luftverteilung mit Kanälen dargestellt. Die Resultate für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 125: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1, mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Luftverteilung *)	23	25	22	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (zentral)	11	14	11	CHF / m^2
KWL-Boxen in Wohnung	18	18	18	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	13	16	22	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	27	30	31	CHF / m^2
Anteil Heizung, Elektro, MSRL **)	8	9	8	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	8	9	8	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**112**	**123**	**124**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12700	13900	14000	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Heizung, Elektro*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

10.6.5 Weitere Resultate Varianten zum Luftverteilkonzept

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie die Länge der Luftverteilung innerhalb der Wohnung und die Kosten der Bauelemente innerhalb der Wohnung (KWL-Box, aktive Überströmer). Bei der Varianten 3 wird für den tiefen Wertebereich zudem von einer 33% geringeren Auslegungsluftmenge ausgegangen. Tabelle 126 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 126: Verwendete Spannbreite der Leitungslängen für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; Basisfall *)	512	768	224	[m]
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; günstiger Fall *)	256	384	112	[m]
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; ungünstiger Fall *)	768	1152	336	[m]

*) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

Tabelle 127: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.27**	**3.45**	**3.49**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**12.8**	**12.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.38**	**2.34**	**kWh_{oil-eq}/(m^2 a)**
Investitionskosten	**112**	**123**	**131**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.27**	**2.45**	**2.46**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0754**	**0.0754**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0103	0.0103	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0651	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.42	2.32	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	260	253	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.62	0.61	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1233	1246	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.482	0.553	0.541	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.61	2.57	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 128: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.95**	**2.84**	**2.88**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**12.6**	**12.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**2.17**	**2.13**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**95**	**105**	**113**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.21**	**2.38**	**2.40**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0764**	**0.0764**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0113	0.0113	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0651	m^3/m^2
Materialbedarf	1.45	1.73	1.62	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	136	157	149	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.51	0.50	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	954	1087	1099	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.504	0.493	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.39	2.34	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 129: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.14**	**3.31**	**2.15**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**12.8**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**2.30**	**2.03**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**106**	**116**	**113**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.18**	**2.31**	**2.23**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0754**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0103	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.03	2.33	2.01	$kg/(m^3/h)$
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	210	255	207	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.62	0.56	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1076	1221	1091	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.470	0.535	0.471	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.22	2.53	2.23	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 130: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.82**	**2.70**	**1.83**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**12.6**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.83**	**2.09**	**1.84**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**89**	**98**	**96**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.11**	**2.25**	**2.16**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0764**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0113	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.39	1.64	1.37	$kg/(m^3/h)$
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	131	151	127	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.50	0.47	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	946	1075	960	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.426	0.486	0.427	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.02	2.30	2.03	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 131: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.44**	**3.64**	**3.73**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**12.8**	**12.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.13**	**2.46**	**2.41**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**129**	**141**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.37**	**2.59**	**2.60**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0754**	**0.0754**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0103	0.0103	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0651	m^3/m^2
Materialbedarf	2.15	2.51	2.37	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	221	265	255	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.58	0.63	0.62	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1093	1246	1269	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.494	0.572	0.556	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.33	2.69	2.64	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 132: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.12**	**3.02**	**3.12**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**12.6**	**12.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.94**	**2.25**	**2.20**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**101**	**111**	**123**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.30**	**2.52**	**2.54**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0764**	**0.0764**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0113	0.0113	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0651	0.0651	m^3/m^2
Materialbedarf	1.51	1.82	1.67	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	141	162	151	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.49	0.51	0.50	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	962	1100	1123	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.450	0.523	0.507	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.13	2.47	2.41	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

10.7 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

10.7.1 Basis für die Varianten der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung beeinflusst in erster Linie die Art und Menge des benötigten Materials. Damit wirkt dies vor allem auf die Faktoren, Graue Energie und Investitionen. Einen geringen Einfluss hat dieser Entscheid auf die Betriebsenergie. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer zentralen Lüftungsanlage im UG und einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 5 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit eingelegten Polyethylen Wellrohren
- Variante 2: Eingelegte Polyethylen Wellrohre, Erhöhung Deckenstärke um 2cm
- Variante 3: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Polyethylen Wellrohre
- Variante 4: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt
- Variante 5: Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt sichtbar installiert

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 10.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät im UG, 2 Steigzonen). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren leichte Unterschiede ergeben werden diese Werte bei den Resultaten zum Betriebsenergiebedarf Strom unterschieden. In die Analyse des Wertebereichs (Varianz) werden diese Differenten jedoch nicht einbezogen (Basis identische Ausführung der Luftverteilung von / bis zur Wohnung).

Für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) wird bei Variante 3 von in der Basisvariante mit einer notwendigen Verstärkung der Betondecke von 2 cm und einem Mehrbedarf von Armierungsstahl von 1.8 kg/m^2 ausgegangen. Für den Maximalwert wird bei Variante 3 eine Deckenverstärkung von 4 cm angenommen und bei der Minimalvariante eine Verstärkung von 2 cm ohne Mehrbedarf an Armierungsstahl. Für die Varianten 1 und 2 wird für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) eine Veränderung auf die Längen der Verteilung innerhalb der Wohnung (bzw. wo relevant der damit verbundenen abgehängten Deckenfläche).

10.7.2 Betriebsenergiebedarf Strom der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Varianten der Materialisierung innerhalb der Wohnung unterscheidet sich nur sehr geringfügig (geringe Unterschiede durch unterschiedliche Druckverluste). Für alle Varianten wird eine Steuerung der Luftmengen mittels Stufenschalter in der Wohnung angenommen (Details dazu siehe auch Kapitel 10.4). Für die 5 Varianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 133 dargestellt.

Tabelle 133: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, KWL-Boxen	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt$_{, Kanäle}$	**2.27**	**2.27**	**2.26**	**2.26**	**2.26**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt$_{, Rohre}$	**1.95**	**1.95**	**1.94**	**1.94**	**1.94**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

10.7.3 Investitionskosten der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten des Luftverteilkonzeptes unterscheiden sich vor allem durch die zusätzlichen, baulichen Elemente. Bei der Varianz der Kosten spielt die Veränderung der Leitungslängen der Verteilung innerhalb der Wohnung und vor allem die Differenzen in den baulichen Kosten eine Rolle. Zudem wurde eine Kostenspannbreite der Komponenten innerhalb der Wohnung (KWL-Box) angenommen. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 134 für die Luftverteilung mit Kanälen dargestellt. Die Resultate für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren (ab Lüftungsgerät von / bis Wohnungsverteiler) unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 134: Resultate der Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1, mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	23	23	23	25	25	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (zentral)	11	11	11	11	11	CHF / m^2
KWL-Boxen in Wohnung	18	18	18	18	18	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	13	13	13	13	13	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	27	27	27	28	28	CHF / m^2
Anteil Heizung, Elektro, MSRL **)	8	8	8	8	8	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	8	8	28	28	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	7	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**112**	**120**	**132**	**135**	**117**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12700	13500	14900	15200	13200	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) gemäss Variantenbeschrieb.*

***) Anteil Gewerke Heizung, Elektro*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

10.7.4 Weitere Resultate zu den Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie die Länge der Luftverteilung innerhalb der Wohnung sowie die Fläche der abgehängten Decke bzw. die zusätzliche Stärke der Betondecken. Auch für die Kosten der KWL-Box innerhalb der Wohnung wird variiert, da sich diese je nach Ausführungsvariante variieren kann. Tabelle 135 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 135: Verwendete Leitungslängen und Kennzahlen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Variante 5**
Druckregelung	Standard	Optimiert	Optimiert	Standard	Standard	Standard
Rohrlänge in Wohnung; Basisfall **)	512	512	384	384	384	[m]
Rohrlänge in Wohnung; günstiger Fall **)	256	256	192	192	192	[m]
Rohrlänge in Wohnung; ungünstiger Fall **)	768	768	576	576	576	[m]
Anteil abgehängte Decke; Basisfall ***)	0%	*+2cm Beton *)*	15%	15%	0%	[% der WF]
Anteil abgehängte Decke; günstiger Fall ***)	0%	*+2cm Beton *)*	10%	10%	0%	[% der WF]
Anteil abgehängte Decke; ungünstiger Fall ***)	0%	*+4cm Beton *)*	20%	20%	0%	[% der WF]

*) zusätzlich Betonstärke. Im günstigsten Fall, Annahme keine zusätzliche Armierung nötig. In den übrigen Fällen 90 kg/m^3 Armierung.

**) Zuluft und Abluft in Wohnung ab/bis Wohnungsverteiler

***) Wert in % der Wohnfläche; Für den günstigen Fall Annahme einer Unterkonstruktion aus Holz. In den übrigen Fällen Unterkonstruktion Metall.

Tabelle 136: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**2.27**	**2.27**	**2.26**	**2.26**	**2.26**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.34**	**2.23**	**2.28**	**2.10**	**kWh$_{oil-eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**112**	**120**	**132**	**135**	**117**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.27**	**2.27**	**2.28**	**2.28**	**2.28**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.09	2.09	2.06	2.21	2.21	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	215	215	213	213	213	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1085	1243	1222	1306	1165	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.482	0.578	0.516	0.527	0.487	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.56	2.45	2.50	2.31	kWh$_{oil-eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 137: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.95**	**1.95**	**1.94**	**1.94**	**1.94**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.89**	**2.15**	**2.04**	**2.09**	**1.91**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**95**	**102**	**114**	**117**	**99**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.21**	**2.21**	**2.21**	**2.22**	**2.21**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.45	1.45	1.42	1.57	1.57	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	136	136	133	133	133	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	954	1112	1091	1175	1034	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.438	0.534	0.473	0.483	0.443	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.35	2.25	2.30	2.10	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 138: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.25**	**2.25**	**2.24**	**2.24**	**2.24**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**2.17**	**2.06**	**2.08**	**2.03**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**106**	**110**	**118**	**119**	**109**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.18**	**2.18**	**2.18**	**2.18**	**2.18**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.03	2.03	2.01	2.09	2.09	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	210	210	209	209	209	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1076	1147	1089	1131	1116	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.470	0.545	0.477	0.482	0.472	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.22	2.38	2.31	2.33	2.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 139: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.93**	**1.93**	**1.92**	**1.92**	**1.92**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.83**	**1.98**	**1.87**	**1.89**	**1.84**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**89**	**92**	**100**	**101**	**92**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.11**	**2.11**	**2.12**	**2.12**	**2.11**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.39	1.39	1.37	1.45	1.45	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	131	131	129	129	129	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	946	1016	958	1000	985	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.426	0.501	0.433	0.438	0.428	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.02	2.18	2.11	2.13	2.04	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 140: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.29**	**2.29**	**2.27**	**2.27**	**2.27**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**9.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.13**	**2.65**	**2.33**	**2.41**	**2.17**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**134**	**148**	**152**	**124**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.37**	**2.37**	**2.38**	**2.43**	**2.42**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**0.0628**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	2.15	2.15	2.10	2.33	2.33	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	221	221	217	217	217	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1093	1409	1276	1402	1214	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.494	0.686	0.539	0.555	0.502	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.33	2.89	2.55	2.63	2.38	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 141: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK1; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.97**	**1.97**	**1.95**	**1.95**	**1.95**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**9.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.94**	**2.46**	**2.14**	**2.22**	**1.98**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**101**	**116**	**130**	**135**	**106**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.30**	**2.30**	**2.31**	**2.37**	**2.35**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**0.0636**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	0.0539	m^3/m^2
Materialbedarf	1.51	1.51	1.47	1.70	1.70	kg/m^2
Druckverlust (intern, Mittelwert	300	300	300	300	300	Pa
Druckverlust (extern, Mittelwert)	141	141	137	137	137	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	962	1278	1145	1271	1083	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.450	0.642	0.495	0.511	0.458	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.13	2.69	2.35	2.43	2.18	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; Basis ist für alle Varianten eine Aufstellung im UG.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Brandschutzklappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11 Anhang zu LK2: Einzelwohnungsanlage

11.1 Basisannahmen für die Berechnungen

Für die Berechnungen der Standardfälle wurde wie beim Lüftungskonzept LK1 von einem Gebäude mit 4 Obergeschossen und insgesamt 16 Wohnungen ausgegangen. Als typische Wohnungsgrösse wurde ein Wohnungsgrundriss mit 3.5 Zimmern und 90 m^2 Wohnfläche gewählt.

Neben dem Basisfall (3.5-Zimmer Wohnungen) wurden Variantenberechnungen mit Gebäuden mit 2.5- und 4.5-Zimmer Wohnungen durchgeführt, da diese ebenfalls sehr häufig in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind. Die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte und die Auslegung der Nennluftmengen sind identisch wie beim Lüftungskonzept LK1 (siehe Tabelle 71).

Das gewählte Basisgebäude (mit 3.5 Zimmer Wohnungen) besitzt eine Energiebezugsfläche von 1808 m^2 und weist eine einem typischen Neubau entsprechende Gebäudehülle auf. Der auf Basis der Standardnutzung für das Basisgebäude berechnete Wärmebedarf ist bis auf den Unterschied im Lüftungskonzept (z.B. Wärmerückgewinnungsgrad) identisch mit der Berechnung für das Lüftungskonzept LK1 (siehe, Tabelle 72).

Für den Lüftungsbetrieb werden die Lüftungsverluste in Abhängigkeit vom effektiven Betriebsfall bestimmt. Für den Standardfall wird für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste von einem mittleren Betrieb mit 85% der Nennluftmenge ausgegangen (3-Stufen Steuerung). Auch wurde für die Raumtemperatur ein Wert von 22°C angesetzt, da der Wert von 20°C gemäss Standardnutzung in SIA 380/1:2016 nicht dem heute üblichen Gebäudebetrieb entspricht. Im Weiteren beinhaltet die Berechnung auch den Wärmebedarf durch Verluste der Leitungsführung ausserhalb des Wärmedämmperimeters und den Strombedarf für die Enteisungsfunktion (Basis: Vorheizung mit elektr. Heizregister, stufenlos geregelt, über die Temperatur beim Geräteeintritt; für Standardvariante mit Enthalpie-Tauscher mit Grenztemperatur des Vereisungsschutzes bei -5°C. Da die Geräte im LK2 üblicherweise kein Heizregister zur Nacherwärmung aufweisen wird der Wärmebedarf ausgewiesen, der über ein Heizregister erforderlich wäre, um eine Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen. Dieser Wärmebedarf muss bei diesem Lüftungskonzept über die normale Raumheizung erbracht werden.

Der Strombedarf für die Lüftungsanlage unterscheidet sich je nach Variante aufgrund der unterschiedlichen Längen und Dimensionen der benötigten Luftleitungen (Druckverlust in Leitungen). Im Weiteren sind die Druckverluste von den übrigen Elementen (interne Druckverluste im Gerät, Luftdurchlässe etc.) ebenfalls für einen wesentlichen Anteil des Gesamtdruckverlustes massgebend. In Tabelle 73 sind die Basiswerte dargestellt, welche für die Berechnung verwendet wurden. Dabei basieren die verwendeten Werte für eine typische Anlage mit guter Auslegung. Für diverse Komponenten wurden die Werte reduziert, da die Angaben als zu hoch eingestuft wurden. Für den Druckverlust über dem Wärmtauscher wird ein Wert von 100 Pa eingesetzt[49]. Tabelle 142 zeigt die für die Berechnung verwendeten Druckverlustwerte. Für die Luftverteilung wird für alle Leitungen bis zum Gerät und vom Gerät bis zum Verteiler eine minimale Dimension von DN 125 verwendet[50]. Damit liegen die Luftgeschwindigkeiten im Verteilnetz bis 132 m^3/h unter den Anforderungen der MuKEn. Bei höheren Luftmengen würde die Auslegung gemäss den Anforderungen der MuKEn erfolgen. Für die Anlagen wird von einer separaten Führung der AUL- und FOL-Leitungen für jede Anlage ausgegangen, um Probleme mit Geruchsübertragungen zu verhindern[51]. Für die Luftverteilung nach dem Verteiler (zu / von den Zimmern) wird eine Luftgeschwindigkeit von max. 2 m/s angesetzt.

[49] Basiswert tiefer als bei zentralen Anlagen (LK1) angesetzt. Typischerweise geringere Luftgeschwindigkeiten im Gerät als bei zentralen Geräten (ΔP sinkt).

[50] Hintergrund: Typischer min. Durchmesser der Anschlüsse an den Lüftungsgeräten sowie Minimierung der Druckverluste.

[51] Bei gemeinsamen AUL / FOL Leitungen können bei unterschiedlich betriebenen Geräten unerwünschte Druckdifferenzen und damit Geruchsübertragungen aus anderen Wohnungen auftreten.

Tabelle 142: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Einzelwohnungsanlagen (LK2)

Bauteil	Basiswert	Exponent *)	Niedrig	Hoch
Zuluftkanalsystem	berechnet		berechnet	
Abluftkanalsystem	berechnet		berechnet	
Lufterhitzer (für Wohnungsgeräte: el. Enteisungsregister)	10	1.5		
WRG Einheit H1 **)	100	1.5	120 ****)	80 *****)
Luftfilter F5-F7 (Enddruck) **)	80	1.25		
Schalldämpfer ***)	20	2		
Wohnungsverteiler ***)	10	1.5		
Luftdurchlass ZUL / ABL	10	1.5		
Lufteintritt -Austritt; AUL / FOL	20	1.5		
Kühler (wenn vorh)	nicht einbezogen		berechnet	
Befeuchter (wenn vorh)	nicht einbezogen		berechnet	

*) verwendeter Exponentialfaktor für Umrechung Druckverluste im Teillastbetrieb
**) Für wohnungsweise Lüftungsgeräte reduzierter Wert (grosszügigere Auslegung als bei zentralen Anlagen)
***) Annahme für Wohnungsweise Geräte: Schalldämpfer: 20 Pa und Luftverteiler 10 Pa
****) Bei Variation der Wärmerückgewinnung verwendete Spannbreite der Werte

Zur Validierung der verwendeten spezifischen Stromaufnahme und Wärmerückgewinnungsgrade der Geräte wurden Daten mit Prüfresultaten aus aktuellen Produktelisten ausgewertet (KlimaHaus, 2020). Die Liste beinhaltet gut 300 Datensätze (80% mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung und 20% mit Feuchteübertragung davon jeweils 10% mit Plattenübertrager und 10% mit Rotoren). Die für den Basisfall und für die Varianz verwendeten Werte entsprechen dabei einem effizienten Gerät.

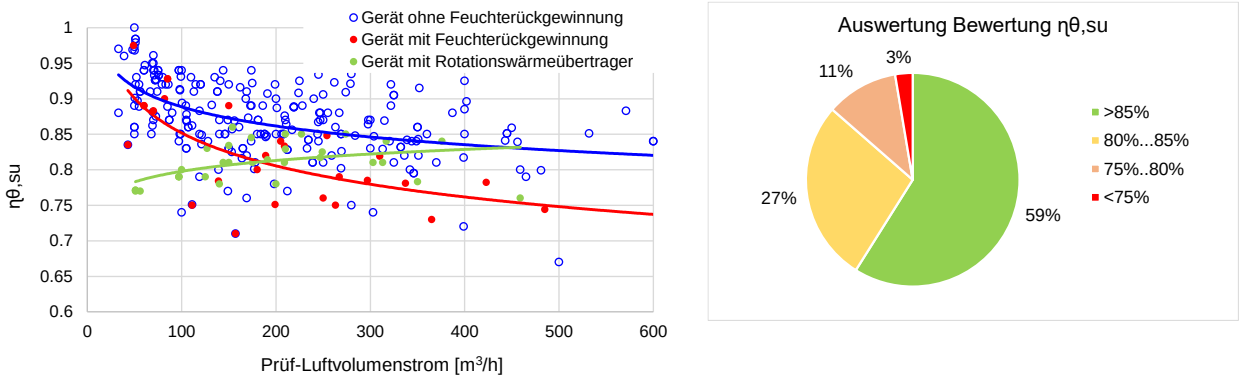


Abbildung 75: Geräte für Einzelwohnungsanlagen; Auswertung Prüfresultate für Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su)

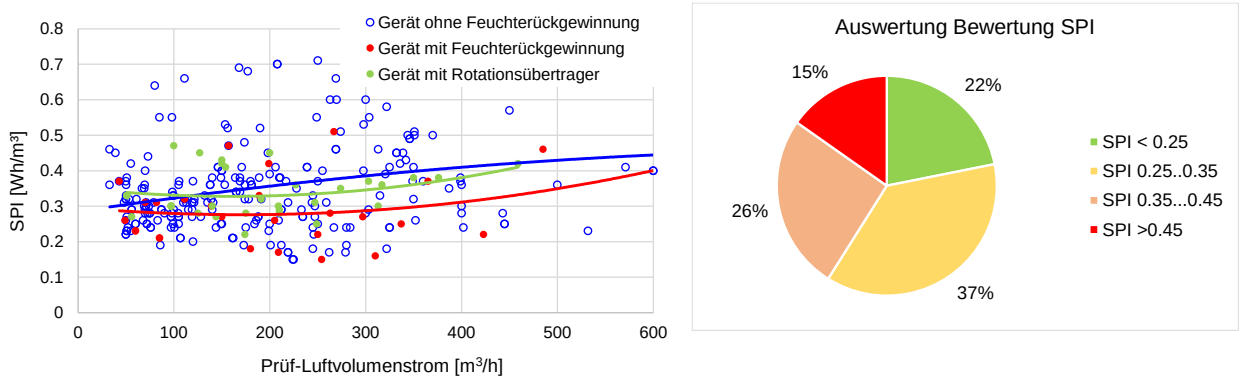


Abbildung 76: Geräte für Einzelwohnungsanlagen; Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI)

11.2 Standortvarianten Lüftungsgerät

11.2.1 Basis für die Standortvarianten Lüftungsgerät

Bei den verschiedenen Varianten des Standorts unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Leitungslängen der Luftführung sowohl der Material- wie auch der Energiebedarf. Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 143 dokumentiert. Dafür wurden die folgenden 5 Varianten verglichen:

- Variante 1: Gerät in Wohnung, AUL / FOL an Fassade
- Variante 2: Gerät in Wohnung, AUL ab Fassade FOL über Dach
- Variante 3: Gerät in Wohnung, AUL / FOL über Steigzone
- Variante 4: Alle Geräte im UG, ZUL / ABL über Steigzone
- Variante 5: Alle Geräte im DG, ZUL / ABL über Steigzone

Die Berechnung erfolgt jeweils nur für eine Wohnung. Die spezifischen Kennwerte sind daher auch nur auf die Flächen bzw. Luftvolumenströme einer Wohnung bezogen. Da sich die Längen der Luftleitungen ausserhalb der Wohnung je nach Standort der Wohnung (Geschoss) unterscheiden erfolgte die Berechnung mit einer mittleren Wohnung, welche für den Duschschnitt aller Wohnungen im Gebäude repräsentativ ist. Damit sind die berechneten Daten auch für das Gesamtgebäude (mit total 16 Wohnungen) gültig.

Da sich bei der Materialisierung auch Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben, werden diese Werte bei den Resultaten in dieser Variantenbetrachtung unterschieden. In Tabelle 143 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 143: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Energiebezugsfläche (in Berechnung)	113	113	113	113	113	[m2]
Wohnfläche (in Berechnung)	90	90	90	90	90	[m2]
Anzahl Wohnungen (in Berechn.)	1	1	1	1	1	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG	60	60	60	60	60	[m3/h]
Gesamtluftmenge, Nennbetrieb	60	60	60	60	60	[m3/h]
Anzahl Steigzonen	1	1	1	1	1	[Stk.]
Anzahl Etagen im Gebäude	4	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	15	21	36	55	32	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	32	32	32	32	32	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	4	4	4	4	4	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL); Berechnung mit Mittelwert über alle Geschosse (bei vertikaler Verteilung)

**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Luftverteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 144 dargestellt.

Tabelle 144: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Masse Lüftungsgerät *)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	kg/m^2
Masse Schalldämpfer **)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	1.05	1.29	2.06	2.60	1.45	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**1.52**	**1.76**	**2.53**	**3.07**	**1.92**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.54	0.64	0.92	1.27	0.86	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**1.01**	**1.11**	**1.39**	**1.75**	**1.33**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht excl. Schalldämpfer*

***) Gerätegewicht der Schalldämpfer in Wohnung bzw. beim Gerät*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, aktive Überströmer (sofern vorhanden)*

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die Druckverluste und die elektrische Leistung der Ventilatoren ermittelt werden. Diese Resultate für die Nennluftmenge sind in Tabelle 145 dargestellt.

Tabelle 145: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung zu den Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckverlust $_{\text{Gerät intern, AUL-ZUL}}$	210	210	210	210	210	Pa
Druckverlust $_{\text{Gerät intern, ABL-FOL}}$	200	200	200	200	200	Pa
Druckverlust $_{\text{AUL-ZUL, Kanal}}$	66	67	80	84	74	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, AUL-ZUL, Kanal}}$	276	277	290	294	284	Pa
spez. Leistung$_{\text{, AUL-ZUL, Kanal}}$	**0.18**	**0.18**	**0.19**	**0.19**	**0.18**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Kanal}}$	61	65	66	79	68	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Kanal}}$	261	265	266	279	268	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Kanal}}$	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.18**	**0.17**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{AUL-ZUL, Rohr}}$	59	59	65	67	62	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, AUL-ZUL, Rohr}}$	269	269	275	277	272	Pa
spez. Leistung$_{\text{, AUL-ZUL, Rohr}}$	**0.17**	**0.17**	**0.18**	**0.18**	**0.18**	**$W/(m^3/h)$**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Rohr}}$	54	55	56	62	57	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Rohr}}$	254	255	256	262	257	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Rohr}}$	**0.16**	**0.16**	**0.16**	**0.17**	**0.17**	**$W/(m^3/h)$**

Bezug der spezifischen elektrischen Leistung: pro m^3/h Nennluftmenge. Verwendeter Ventilatorwirkungsgrad: 43%

Berechnungsbasis: Vor Verteiler min. DN 125 bzw. Luftgeschwindigkeiten: 100% MuKEn-Anforderung; nach WNG-Verteiler: max. 2 m/s

Basis Luftgeschwindigkeit in Kanälen: effektive mittlere Geschwindigkeit

Basis Luftgeschwindigkeit in Steigzonen: min. DN 125 bzw. Luftgeschwindigkeiten gemäss 100% MuKEn-Anforderung

11.2.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Standortvarianten Lüftungsgerät

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten des Standorts aufgrund der Wärmeverluste der Luftführung. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 5 untersuchten Varianten sind in Tabelle 146 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 146: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Temperauränderungsgrad *)	75%	75%	75%	75%	75%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt, Kanäle	**9.2**	**10.1**	**12.7**	**11.7**	**8.4**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**9.0**	**9.7**	**11.9**	**11.0**	**8.3**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

11.2.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Standortvarianten Lüftungsgerät

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Varianten des Standorts der Lüftungsanlage unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Längen der benötigten Luftleitungen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom bei einem identischen Betriebsregime führen. Für den Einbezug der bei allen Varianten zur Anwendung kommenden Stufenschalter in der Wohnung (Luftmengen Reduktion des Lüftungsgerätes) wird eine mittlere Luftmenge für den Betrieb ermittelt mit der der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt wird.

Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 147 dargestellt.

Tabelle 147: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, zus. Geräte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, Kanäle	**1.33**	**1.34**	**1.38**	**1.42**	**1.37**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, Rohre	**1.28**	**1.28**	**1.30**	**1.31**	**1.29**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

11.2.4 Ökobilanzdaten der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Materialmengen und den zugehörigen Ökobilanzdaten werden die Belastungen für die Herstellung und Entsorgung der verwendeten Materialien berechnet. Als Basis dienen die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert). Die Resultate werden als Belastungen pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr angegeben. Für diese Umrechnung werden die in Tabelle 4 dargestellten Lebensdauerannahmen verwendet.

Neben den Materialien die für die Lüftungsanlage (Geräte, Kanäle etc.) benötigt werden sind je nach Variante auch zusätzliche Materialien der Gewerke Elektro und Baumeister zu berücksichtigen, um einen korrekten Vergleich zu ermöglichen. In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für den Unterhalt (Material, Transporte) separat ausgewiesen.

Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für vier verschiedene Indikatoren bestimmt und dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren. Diese werden jeweils separaten Tabellen aufgeführt.

Die Resultate für die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 13) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 148 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 149.

Tabelle 148: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0	0	0	157	126	UBP /(m^2 a)
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	115	179	357	389	159	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	136	136	136	136	136	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	14	14	14	14	14	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	214	214	214	214	214	UBP /(m^2 a)
Schalldämpfer	72	72	72	72	72	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	230	230	230	230	230	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	16	16	16	38	60	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	79	102	118	60	54	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	108	110	116	124	111	UBP /(m^2 a)
Summe	**982**	**1071**	**1271**	**1433**	**1173**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 149: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0	0	0	109	87	UBP /(m^2 a)
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	80	124	249	269	109	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	93	93	93	93	93	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	14	14	14	14	14	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	214	214	214	214	214	UBP /(m^2 a)
Schalldämpfer	72	72	72	72	72	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	230	230	230	230	230	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	16	16	16	38	60	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	79	102	118	60	54	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	108	110	116	124	111	UBP /(m^2 a)
Summe	**904**	**974**	**1120**	**1222**	**1042**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der gesamten Primärenergie (Summe aus Primärenergie nichterneuerbar und erneuerbar) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 150 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 151.

Tabelle 150: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.00	0.00	0.00	0.22	0.17	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.19	0.30	0.59	0.62	0.23	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Schalldämpfer	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.13	0.17	0.19	0.10	0.09	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.49	0.50	0.53	0.56	0.50	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**2.28**	**2.43**	**2.78**	**2.97**	**2.50**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 151: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.00	0.00	0.00	0.14	0.11	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.13	0.21	0.41	0.42	0.16	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Schalldämpfer	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.13	0.17	0.19	0.10	0.09	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.49	0.50	0.53	0.56	0.50	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**2.15**	**2.28**	**2.54**	**2.64**	**2.30**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie (Graue Energie) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 152 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 153.

Tabelle 152: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.00	0.00	0.00	0.20	0.16	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.18	0.28	0.55	0.58	0.22	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Schalldämpfer	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.12	0.16	0.18	0.09	0.08	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.43	0.44	0.46	0.50	0.44	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**2.08**	**2.23**	**2.55**	**2.74**	**2.29**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.

**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*

***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 153: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.00	0.00	0.00	0.14	0.11	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.12	0.19	0.39	0.40	0.15	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Schalldämpfer	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.12	0.16	0.18	0.09	0.08	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.43	0.44	0.46	0.50	0.44	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**1.96**	**2.08**	**2.32**	**2.43**	**2.10**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.

**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*

***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung des Treibhausgaspotentials sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 154 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 155.

Tabelle 154: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.000	0.000	0.000	0.047	0.038	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.042	0.065	0.130	0.135	0.051	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Schalldämpfer	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.001	0.001	0.001	0.003	0.005	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.027	0.035	0.041	0.021	0.019	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.106	0.109	0.114	0.121	0.109	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.493**	**0.527**	**0.603**	**0.644**	**0.539**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 155: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.000	0.000	0.000	0.031	0.025	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.029	0.045	0.091	0.092	0.034	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Schalldämpfer	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.001	0.001	0.001	0.003	0.005	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.027	0.035	0.041	0.021	0.019	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.106	0.109	0.114	0.121	0.109	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.467**	**0.493**	**0.549**	**0.571**	**0.494**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

11.2.5 Raumbedarf für Schächte und Geräte der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Dimensionen der Lüftungskanäle und -Rohre kann der erforderliche Schachtflächenbedarf und daraus den Raumbedarf für die Schächte ermittelt werden. Auch für die Aufstellung der Lüftungsgeräte wird Raum benötigt. Für die wohnungsweisen Anlagen wurde der Raumbedarf auf der Basis typischer Gerätegrössen (inkl. Raumbedarf für Servicearbeiten) ermittelt. In realen Projekten wird die Anlage oft in Räumen eingebaut, die auch anderweitig genutzt werden, z.B. Abstellraum (Doppelnutzung). Für die Aufstellung der Anlagen im UG und Dachgeschoss wurde mit denselben Kennwerten gerechnet. Für die Varianten mit AUL / FOL-Führung ab / zur Fassade wurde der Raumbedarf der Leitungen (inkl. Dämmung und Verkleidung) dem Raumbedarf für Schächte zugeschlagen[52]. Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Raumbedarf bestimmt und in Tabelle 156 dargestellt.

Tabelle 156: Resultate für den Raumbedarf für die Standortvarianten des LK2 (Einzelwohnungsanlage)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Raumbedarf $_{\text{Lüftungsgerät}}$ *)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{KWL-Boxen}}$ **)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Kanal}}$	0.0147	0.0184	0.0220	0.0057	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Kanal}}$	**0.0253**	**0.0290**	**0.0326**	**0.0163**	**0.0152**	**m^3/m^2**
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Rohr}}$	0.0150	0.0188	0.0225	0.0058	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Rohr}}$	**0.0256**	**0.0294**	**0.0331**	**0.0164**	**0.0153**	**m^3/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

Für den Raumbedarf in den Schächten wird die Dämmung (wenn vorhanden) berücksichtigt.

*) Basis: Typisches Gerät inkl. Schalldämpfer Basis: Herstellerangaben zu typ. Gerätegrössen; inkl. Raumbedarf für Revisionszugang

**) Bei Varianten mit wohnungsweisen Geräten nicht vorhanden

11.2.6 Kosten für die Anlagen der Standortvarianten Lüftungsgerät

Aus den ermittelten Materialmengen und Gerätegrössen werden mittels Kostenkurven und Kostenkennzahlen die Investitionskosten berechnet. Als Basis für diese Kostendaten dienten verfügbare Projektdaten, Herstellerpreislisten sowie eigene Kostenkennzahlen und Annahmen.

Die Kosten für die Dunstabzugshauben (Umluft) wurden in die Position «diverse Elemente» einbezogen. Es wurde eine typische Abzugshaube für den normalen Wohnungsbau eingesetzt, die aber eine gute Energieeffizienz aufweist (kein hochpreisiges Produkt).

Neben dem Gewerk Lüftung (BKP 244) werden in den Kosten auch Positionen aus anderen Gewerken berücksichtigt, welche für den Variantenvergleich der Anlagen wesentlich sind. Es sind dies die Gewerke Elektro/MSRL (Anschlüsse der Geräte an UV bzw. Wohnungsverteiler und Steuerung) und Baumeister (Schachtwände, Leitungsverkleidungen, Durchbrüche). In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für eine allfällige Verstärkung der Betondecke (in diesem Variantenvergleich nicht einbezogen) separat ausgewiesen.

Die Resultate für die Investitionskosten sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 157 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 158.

Die Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion wurden basierend auf den ermittelten Anlagen- und Kostenkenngrössen (Gerätegrösse, Anzahl Luftauslässe, Gerätekosten) sowie weiteren Annahmen (Anfahrtsweg, Personenzahl, Stundenansatz) modelliert. Als Basis für diese Kostendaten dienten typische Kostenkennzahlen und Annahmen. Wie bereits im Kapitel 3.3.4 beschrieben wird ein jährlicher Filterersatz (inkl. Aktivkohlefilter der Umluft-Dunstabzugshauben in den Wohnungen) und eine jährliche Gerätewartung angenommen. Für den 6-jährlichen Unterhalt (mit Hygieneinspektion) wird zusätzlich angenommen, dass die Abluft-, FOL- und AUL-Leitungen gereinigt werden. In den Kosten sind keine Ersatzinvestitionen enthalten,

[52] Da diese Leitungsführung oft nur im Deckenbereich Raum beansprucht könnte auch argumentiert werden, dass dieser Raumbedarf nicht einbezogen werden sollte. Da aber für die Leitung ein Raumbedarf im Wohnbereich besteht wurde dieser in der Analyse einbezogen.

sondern nur ein prozentualer Kostenanteil für den Unterhalt (Reparatur, Ersatz von Verbrauchsmaterial) der Anlagen. Die Resultate für die Unterhaltskosten sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 159 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 160.

Tabelle 157: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	19	22	30	41	29	CHF / m^2
Dämmung	4	6	11	9	2	CHF / m^2
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	30	30	30	30	30	CHF / m^2
Schalldämpfer	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	16	16	16	16	16	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	29	31	36	40	32	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	17	23	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	10	16	21	16	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**123**	**136**	**159**	**173**	**145**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	13900	15300	18000	19500	16400	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerk Elektro, MSRL*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, Verkleidungen, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 158: Resultate für die Investitionskosten für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	8	9	12	18	13	CHF / m^2
Dämmung	3	5	10	8	2	CHF / m^2
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	30	30	30	30	30	CHF / m^2
Schalldämpfer	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	16	16	16	16	16	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	24	26	29	30	26	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	17	23	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	10	16	21	16	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**107**	**117**	**132**	**139**	**123**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12100	13200	15000	15700	13900	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerk Elektro, MSRL*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, Verkleidungen, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 159: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
jährlicher Unterhalt	2.97	2.97	2.47	2.47	2.47	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.19	1.34	1.69	2.13	1.40	CHF /(m^2 a)
Summe	**4.16**	**4.31**	**4.16**	**4.60**	**3.87**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 160: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
jährlicher Unterhalt	2.97	2.97	2.47	2.47	2.47	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.12	1.25	1.54	1.90	1.29	CHF /(m^2 a)
Summe	**4.09**	**4.22**	**4.00**	**4.37**	**3.76**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

11.2.7 Varianz der Resultate der Standortvarianten Lüftungsgerät

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation für die Platzierung der Geräte angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge der Luftverteilung von/bis zum Gerät. Ebenfalls in der Varianz enthalten ist die Differenz zwischen einer Verrohrung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate jedoch separat dokumentiert.

Tabelle 161: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**1.32**	**1.34**	**1.36**	**1.39**	**1.36**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.6**	**9.5**	**11.5**	**10.1**	**8.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.95**	**2.12**	**2.40**	**2.48**	**2.19**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**114**	**128**	**150**	**158**	**140**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.00**	**4.16**	**3.87**	**4.11**	**3.69**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0173**	**0.0239**	**0.0305**	**0.0142**	**0.0131**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0088	0.0154	0.0220	0.0057	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.31	1.58	2.17	2.42	1.70	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	61	64	69	75	68	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.35	0.35	0.36	0.35	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	902	1006	1180	1269	1106	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.463	0.502	0.567	0.583	0.516	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.14	2.32	2.62	2.70	2.39	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 162: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.27**	**1.28**	**1.29**	**1.30**	**1.29**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.4**	**9.2**	**10.8**	**9.7**	**8.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.86**	**1.99**	**2.21**	**2.24**	**2.03**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**100**	**112**	**127**	**131**	**120**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.97**	**4.12**	**3.81**	**4.03**	**3.64**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0175**	**0.0243**	**0.0310**	**0.0143**	**0.0131**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0090	0.0158	0.0225	0.0058	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.94	1.05	1.25	1.50	1.22	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	55	57	59	62	59	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	838	922	1055	1106	995	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.442	0.473	0.523	0.527	0.479	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.04	2.19	2.42	2.44	2.22	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 163: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.35**	**1.38**	**1.44**	**1.49**	**1.40**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.9**	**12.7**	**17.9**	**15.9**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.41**	**2.65**	**3.18**	**3.40**	**2.54**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**146**	**163**	**197**	**211**	**159**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.44**	**4.72**	**4.97**	**5.39**	**4.13**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0432**	**0.0395**	**0.0358**	**0.0195**	**0.0184**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0294	0.0257	0.0220	0.0057	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	2.04	2.53	4.07	4.68	2.48	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	68	73	87	98	78	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.36	0.38	0.39	0.36	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1181	1327	1646	1842	1340	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.568	0.624	0.748	0.795	0.595	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.62	2.88	3.45	3.67	2.76	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 164: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.29**	**1.30**	**1.32**	**1.35**	**1.31**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.3**	**11.9**	**16.2**	**14.5**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.24**	**2.42**	**2.78**	**2.90**	**2.27**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**125**	**137**	**154**	**160**	**130**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.38**	**4.64**	**4.80**	**5.15**	**4.04**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0438**	**0.0401**	**0.0363**	**0.0196**	**0.0184**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0300	0.0263	0.0225	0.0058	0.0046	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.19	1.39	1.94	2.37	1.60	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	58	61	67	71	63	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.35	0.36	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1069	1176	1387	1511	1158	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.528	0.570	0.656	0.680	0.534	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.44	2.64	3.03	3.15	2.48	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.2.8 Resultate für andere Wohnungsgrössen zu den Standortvarianten Lüftungsgerät

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen für zwei weitere Wohnungsgrössen durchgeführt. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate dokumentiert. Auch in dieser Resultatdarstellung werden die Ergebnisse für die Ausführung mit Kanälen und die Ausführung mit Rohren separat dargestellt. Typischerweise sind die Kostenkennwerte und die Indikatoren für die Umweltbelastung bei dem Gebäude mit grösseren Wohnungen (4.5-Zimmer Wohnungen) tiefer und bei dem Gebäude mit kleineren Wohnungen (2.5-Zimmer Wohnungen) höher. Bei den Kennwerten zur Betriebsenergie ist die Basisvariante (mit 3.5-Zimmer Wohnungen) am günstigsten, da diese Variante im Auslegungsfall die geringste Luftmenge pro m^2 Energiebezugsfläche aufweist. Siehe dazu auch die Festlegungen zur Auslegung in Kapitel 11.1 bzw. Kapitel 10.1.

Tabelle 165: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.58**	**1.61**	**1.69**	**1.79**	**1.67**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.8**	**10.5**	**12.4**	**11.7**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.68**	**1.79**	**2.04**	**2.18**	**1.84**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**100**	**109**	**127**	**137**	**117**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.36**	**3.47**	**3.33**	**3.64**	**3.13**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0191**	**0.0218**	**0.0246**	**0.0123**	**0.0114**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0111	0.0138	0.0166	0.0043	0.0034	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.24	1.43	2.01	2.41	1.55	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	78	83	98	117	94	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.36	0.37	0.39	0.41	0.39	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	781	849	1000	1121	926	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.398	0.424	0.481	0.512	0.433	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.84	1.95	2.21	2.36	2.00	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 166: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.48**	**1.49**	**1.52**	**1.56**	**1.51**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.6**	**10.2**	**11.8**	**11.2**	**9.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.59**	**1.68**	**1.86**	**1.94**	**1.70**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**88**	**95**	**107**	**112**	**100**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.33**	**3.44**	**3.27**	**3.55**	**3.09**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0193**	**0.0221**	**0.0250**	**0.0124**	**0.0115**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0113	0.0141	0.0170	0.0044	0.0035	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.86	0.94	1.15	1.41	1.10	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	65	72	80	70	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	723	776	886	962	827	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.378	0.398	0.441	0.457	0.399	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.74	1.84	2.03	2.11	1.85	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 167: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.63**	**1.64**	**1.67**	**1.71**	**1.67**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.0**	**13.4**	**17.3**	**15.8**	**10.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**3.11**	**3.33**	**3.82**	**4.11**	**3.43**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**186**	**204**	**240**	**260**	**219**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.13**	**6.34**	**6.06**	**6.67**	**5.66**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0381**	**0.0437**	**0.0492**	**0.0246**	**0.0229**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0221	0.0277	0.0332	0.0086	0.0069	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	2.27	2.64	3.80	4.60	2.88	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	57	58	64	70	62	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.35	0.35	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1467	1602	1904	2147	1756	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.738	0.789	0.903	0.965	0.806	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	3.41	3.64	4.16	4.46	3.74	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 168: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen für die Standortvarianten des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.58**	**1.58**	**1.59**	**1.61**	**1.59**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**11.6**	**12.7**	**16.0**	**14.7**	**10.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.94**	**3.11**	**3.48**	**3.63**	**3.14**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**162**	**176**	**200**	**209**	**185**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.07**	**6.27**	**5.94**	**6.49**	**5.58**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0386**	**0.0443**	**0.0499**	**0.0247**	**0.0230**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0226	0.0283	0.0339	0.0087	0.0070	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.51	1.66	2.07	2.61	1.99	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	52	52	55	58	54	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1351	1457	1677	1830	1558	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.698	0.738	0.823	0.855	0.740	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	3.22	3.41	3.80	3.96	3.44	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.3 Lage der Aussenluftfassung

11.3.1 Basis für die Lagevarianten der Aussenluftfassung

Die verschiedenen Varianten der Lage der Aussenluftfassung unterscheiden sich vor allem bezüglich den Leitungslängen der Aussenluft. Für eine insgesamt günstige Platzierung sind verschiedene Kostenaspekte (z.B. Nähe zum Lüftungsgerät) wie auch die Art des Zugangs für die Wartung relevant. Damit sich die Varianten in den übrigen Punkten nicht unterscheiden, wurde für alle Varianten von einer Platzierung des Lüftungsgerätes in der Wohnung und einer Fortluftführung über Dach ausgegangen. Die Variante 1 und Variante 3 sind identisch mit Variante 2 und 3 aus dem Variantenvergleich zum Aufstellungsstandort der Geräte. Für die nachfolgende Analyse wurden 4 verschiedene Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort (Basisvariante)
- Variante 2: AUL Fassung an der Fassade, belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung im EG mit gemeinsamen Ansaugturm
- Variante 4: AUL Fassung auf dem Dach

Die Berechnung erfolgt jeweils nur für eine Wohnung. Die spezifischen Kennwerte sind daher auch nur auf die Flächen bzw. Luftvolumenströme einer Wohnung bezogen. Da sich die Längen der Aussenluftleitungen ausserhalb der Wohnung je nach Standort der Wohnung (Geschoss) unterscheiden erfolgte die Berechnung mit einer mittleren Wohnung, welche für den Durchschnitt aller Wohnungen im Gebäude repräsentativ ist. Damit sind die berechneten Daten auch für das Gesamtgebäude (mit total 16 Wohnungen) gültig. In Tabelle 169 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 169: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Energiebezugsfläche	113	113	113	113	[m^2]
Wohnfläche (in Berechnung)	90	90	90	90	[m^2]
Anzahl Wohnungen (in Berechn.)	1	1	1	1	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG	60	60	60	60	[m^3/h]
Gesamtluftmenge, Nennbetrieb	60	60	60	60	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	1	1	1	1	[Stk.]
Anzahl Etagen	1	1	1	1	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	21	21	36	29	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	32	32	32	32	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	4	4	4	4	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)

**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Luftverteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 170 dargestellt.

Tabelle 170: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte zu den Lagevarianten der Aussenluftfassung des LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Masse Lüftungsgerät *)	0.24	0.24	0.24	0.24	kg/m^2
Masse Schalldämpfer **)	0.12	0.12	0.12	0.12	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.10	0.10	0.10	0.10	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	1.29	1.29	2.06	1.67	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**1.76**	**1.76**	**2.53**	**2.14**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.64	0.64	0.92	0.78	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**1.11**	**1.11**	**1.39**	**1.26**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren eingesetzt; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht excl. Schalldämpfer*

***) Gerätegewicht der Schalldämpfer in Wohnung bzw. beim Gerät*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, aktive Überströmer (sofern vorhanden)*

11.3.2 Unterhaltskosten für die Standortvarianten der Aussenluftfassung

Da sich der Aufwand für den Unterhalt bei den Aussenluftfassungen deutlich unterscheiden kann, wird dieser Punkt separat dokumentiert. Bei der Aussenluftfassung an der Fassade (Variante 1 und Variante 2) bedeutet der Zugang für den Unterhalt meist einen gewissen Mehraufwand, da die Fassung u.U. nicht an einem einfach zugänglichen Ort angeordnet darf (wegen Geruchsproblematik). Dies kann z.B. das Öffnen einer Revisionsöffnung oder eine andere Massnahme für den Zugang erfordern. In der Betrachtung wird für den ungünstigen Fall ein erschwerter Zugang angenommen der z.B. teilweise den Einsatz eines Skyworkers bedingt und damit einen erheblichen Mehraufwand verursacht (Basis 1x jährliche Reinigung vom AUL-Gitter). Bei der anderen beiden Varianten (Variante 3 und 4) wird davon ausgegangen, dass die AUL-Fassung einfach zugänglich ist. Bei diesen Varianten liegt der Mehraufwand primär in der längeren AUL-Leitung, die in gewissen Zeitabständen inspiziert und ev. gereinigt werden muss (hier als 6-Jahres Unterhalt bezeichnet). Beim jährlichen Unterhalt wird in Variante 2 aufgrund der stärkeren Verschmutzung der Aussenluft mit zwei Wartungsterminen pro Jahr gerechnet. Bei den übrigen wird nur ein Termin pro Jahr angenommen. Die Resultate zu dem erwarteten Bereich der Unterhaltskosten sind in Tabelle 171 (günstiger Fall) und Tabelle 172 (ungünstiger Fall) dargestellt.

Tabelle 171: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 2, günstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	2.97	5.94	2.47	2.47	$CHF/(m^2 a)$
6-Jahres Unterhalt **)	1.23	1.23	1.45	1.31	$CHF/(m^2 a)$
Summe	**4.20**	**7.17**	**3.92**	**3.78**	**$CHF/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr; Mittelwert aus Berechnung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

Tabelle 172: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 2, ungünstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	4.12	7.09	2.47	2.47	$CHF/(m^2 a)$
6-Jahres Unterhalt **)	1.46	1.46	2.01	1.54	$CHF/(m^2 a)$
Summe	**5.58**	**8.55**	**4.48**	**4.01**	**$CHF/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr; Mittelwert aus Berechnung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

11.3.3 Weitere Resultate der Standortvarianten der Aussenluftfassung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Standortvarianten der Aussenluftfassung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation der Platzierung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge des Aussenluftanschlusses bis zum Lüftungsgerät. Im Weiteren werden erforderliche Dämmungen bzw. damit verbundene Wärmeverluste einbezogen.

Tabelle 173: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.34**	**1.34**	**1.38**	**1.36**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.1**	**10.1**	**12.7**	**11.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.23**	**2.55**	**2.55**	**2.40**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**136**	**136**	**159**	**150**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.27**	**7.24**	**4.08**	**3.85**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0290**	**0.0290**	**0.0326**	**0.0326**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0184	0.0184	0.0220	0.0220	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.76	1.76	2.53	2.14	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	66	66	73	70	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.36	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1071	1149	1271	1180	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.527	0.612	0.603	0.567	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.43	2.82	2.78	2.62	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 174: Resultate der Basisberechnung für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.28**	**1.30**	**1.29**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.7**	**9.7**	**11.9**	**10.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.41**	**2.32**	**2.21**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**117**	**117**	**132**	**127**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.22**	**7.19**	**4.00**	**3.79**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0294**	**0.0294**	**0.0331**	**0.0331**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0188	0.0188	0.0225	0.0225	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.11	1.11	1.39	1.26	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	57	57	61	59	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	974	1052	1120	1056	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.493	0.578	0.549	0.523	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.66	2.54	2.42	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 175: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.34**	**1.34**	**1.37**	**1.36**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.8**	**9.8**	**11.9**	**11.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.15**	**2.48**	**2.44**	**2.34**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**129**	**129**	**151**	**145**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.20**	**7.17**	**3.92**	**3.78**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0260**	**0.0260**	**0.0326**	**0.0326**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0154	0.0154	0.0220	0.0220	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.64	1.64	2.25	2.02	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	65	65	71	69	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.35	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1024	1102	1203	1149	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.509	0.594	0.576	0.555	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.35	2.74	2.66	2.56	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 176: Resultate mit günstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.28**	**1.29**	**1.29**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.4**	**9.4**	**11.2**	**10.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.01**	**2.34**	**2.23**	**2.17**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**111**	**111**	**126**	**123**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.16**	**7.13**	**3.86**	**3.73**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0264**	**0.0264**	**0.0331**	**0.0331**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0158	0.0158	0.0225	0.0225	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.06	1.06	1.29	1.21	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	57	57	60	59	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	934	1012	1070	1031	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.478	0.563	0.529	0.514	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.21	2.59	2.44	2.37	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 177: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.35**	**1.35**	**1.40**	**1.37**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**11.0**	**11.0**	**14.8**	**12.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.40**	**2.73**	**2.84**	**2.52**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**149**	**149**	**180**	**160**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.58**	**8.55**	**4.48**	**4.01**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0363**	**0.0363**	**0.0326**	**0.0326**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0257	0.0257	0.0220	0.0220	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	2.04	2.04	3.22	2.42	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	68	68	79	72	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.37	0.36	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1179	1257	1441	1252	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.567	0.652	0.669	0.595	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.62	3.01	3.08	2.74	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 178: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Standortvarianten der Aussenluftfassung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.29**	**1.29**	**1.31**	**1.29**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**10.4**	**10.4**	**13.6**	**11.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.23**	**2.56**	**2.54**	**2.30**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**128**	**128**	**148**	**134**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.52**	**8.49**	**4.37**	**3.94**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0369**	**0.0369**	**0.0331**	**0.0331**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0263	0.0263	0.0225	0.0225	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.22	1.22	1.65	1.37	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	58	58	63	60	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	1065	1143	1246	1110	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.527	0.612	0.600	0.545	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.44	2.83	2.77	2.52	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

11.4.1 Basis für die Varianten der Steuerung bzw. Regelung

Die Art der Anlagensteuerung bzw. Regelung beeinflusst die effektive Luftmenge in der Wohnung und bestimmt damit wie bedarfsgerecht die Lüftung funktioniert. Damit hat dieser Faktor einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Luftverteilkonzept mit Kaskade ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 4 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Wohnung (3-stufig), Referenz
- Variante 2: Fixes Zeitprogramm (2 Stufen)
- Variante 3: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-Regelung)
- Variante 4: Konstantbetrieb (Nennluftmenge)

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 11.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät in Wohnung, AUL und FOL ab/zur Fassade). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch kleine Differenzen in der Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben, werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

11.4.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 4 untersuchten Varianten sind in Tabelle 179 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 179: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Temperauränderungsgrad *)	75%	75%	75%	75%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	0.7	0.7	0.5	0.8	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt, Kanäle	**9.2**	**9.8**	**8.1**	**10.1**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**9.0**	**9.5**	**7.8**	**9.8**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

11.4.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen im Betrieb. Daraus ergeben sich im Betrieb unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Als Basisannahme für die Varianten werden die Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) angewendet (CRTL-Faktor). Daraus wird eine mittlere Luftmenge im Betrieb und damit der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt. Für die 4 Varianten zur Art der Steuerung und Regelung der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 180 dargestellt.

Tabelle 180: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	95%	65%	100%	% der Nenn-LM
Strombedarf, zus. Geräte	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.08	0.09	0.06	0.10	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, Kanäle	**1.33**	**1.66**	**0.83**	**1.85**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, Rohre	**1.28**	**1.61**	**0.77**	**1.80**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

11.4.4 Investitionskosten für die Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Investitionskosten für die Steurer- und Regelvarianten unterscheiden sich vor allem bezüglich der Komponenten, die in jeder Wohnung eingebaut werden. Der Basisfall (Variante 1) und die Variante mit CO_2-Regelung (Variante 2) beinhalten die Installation eines Bediengerätes in der Wohnung. In Variante 3 (mit CO_2-Steuerung) ist ein zusätzliches Regelmodul erforderlich, das das Lüftungsgerät bedarfsgerecht regelt. Damit wird die Luftmenge nutzerunabhängiger optimiert. Bei den Varianten 2 und 4 wird davon ausgegangen, dass kein separates Bediengerät für den Nutzer eingebaut ist. Bei Variante 2 ist der reduzierte Betrieb in erster Linie von der Einstellung der Zeitsteuerung abhängig. Bei Variante 4 wird das Gerät konstant betrieben. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 181 für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren dargestellt (übliche Ausführung). Die Resultate für die Luftverteilung mit Lüftungskanälen unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 181: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Luftverteilung *)	8	8	8	8	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	30	29	33	29	CHF / m^2
Schalldämpfer	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	16	16	16	16	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	24	24	26	24	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	8	15	8	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	10	10	10	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**107**	**102**	**115**	**102**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12100	11500	13000	11500	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerk Elektro, MSRL*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, Verkleidungen, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

11.4.5 Weitere Resultate der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Luftmengenregelung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie der Faktor der die mittlere Luftmenge im Betrieb bestimmt. Dieser Wert ist bei den Varianten 1 bis 3 stark von den Nutzern abhängig (Abwesenheiten, Art der Nutzung des Stufenschalters). Tabelle 182 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 182: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Mittelwert Betriebsluftmenge; Basisfall *)	85%	95%	65%	100%
Mittelwert Betriebsluftmenge; günstiger Fall *)	75%	85%	60%	100%
Mittelwert Betriebsluftmenge; ungünstiger Fall *)	95%	97%	70%	100%

*) rechnerischer mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie
Wert in % der Nennluftmenge

Tabelle 183: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.33**	**1.66**	**0.83**	**1.85**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**9.8**	**8.1**	**10.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.07**	**2.09**	**2.07**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**123**	**118**	**131**	**118**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.12**	**4.08**	**4.22**	**4.08**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.52	1.51	1.52	1.51	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	63	63	63	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.35	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	982	975	988	975	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.493	0.491	0.496	0.491	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.26	2.29	2.26	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 184: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.61**	**0.77**	**1.80**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.5**	**7.8**	**9.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.96**	**1.95**	**1.98**	**1.95**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**107**	**102**	**115**	**102**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.09**	**4.04**	**4.18**	**4.04**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.01	1.01	1.02	1.01	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	904	898	911	898	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.467	0.464	0.469	0.464	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.14	2.17	2.14	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 185: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.06**	**1.33**	**0.73**	**1.85**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.7**	**9.2**	**7.8**	**10.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.07**	**2.06**	**2.09**	**2.06**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**121**	**115**	**129**	**115**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.08**	**4.03**	**4.18**	**4.03**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.52	1.51	1.52	1.51	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	63	63	63	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.35	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	977	969	985	969	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.492	0.488	0.495	0.488	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.27	2.25	2.28	2.25	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 186: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.00**	**1.28**	**0.67**	**1.80**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.4**	**9.0**	**7.6**	**9.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.96**	**1.94**	**1.97**	**1.94**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**105**	**99**	**113**	**99**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.04**	**3.99**	**4.14**	**3.99**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.01	1.00	1.02	1.00	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	900	891	908	891	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.465	0.461	0.468	0.461	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.13	2.16	2.13	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 187: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.66**	**1.73**	**0.94**	**1.85**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.8**	**9.9**	**8.4**	**10.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.09**	**2.08**	**2.11**	**2.08**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**126**	**120**	**135**	**120**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.17**	**4.12**	**4.56**	**4.12**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.52	1.52	1.53	1.52	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	63	63	63	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.35	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	986	980	998	980	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.495	0.493	0.500	0.493	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.28	2.31	2.28	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 188: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK2 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.61**	**1.68**	**0.88**	**1.80**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.5**	**9.6**	**8.1**	**9.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.97**	**1.96**	**1.99**	**1.96**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**110**	**104**	**119**	**104**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.13**	**4.09**	**4.52**	**4.09**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.02	1.01	1.02	1.01	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	908	903	921	903	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.468	0.466	0.473	0.466	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.16	2.15	2.19	2.15	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.5 Art der Wärmerückgewinnung

Die Art der Wärmerückgewinnung beeinflusst die Höhe der Wärme- und Feuchterückgewinnung und damit zusammenhängenden Faktoren wie Betriebsenergie, Raumluftfeuchte und in geringerem Masse die Investitionen. Insbesondere für die Raumluftfeuchte im Winter sind Wärmeübertrager vorteilhaft, welche eine Feuchterückgewinnung aufweisen.

Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer wohnungsweisen Lüftungsanlage (Gerät in Wohnung, AUL und FOL ab/zur Fassade) und einem Konzept mit Kaskadenlüftung ausgegangen. Die Resultate beziehen sich auf die folgenden 3 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Anlage mit Enthalpie-Rotationswärmeübertrager
- Variante 3: Anlage mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 11.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät in Wohnung, AUL und FOL ab/zur Fassade). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch kleine Differenzen in der Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben, wurden diese Unterschiede in der Variation der Resultate berücksichtigt.

11.5.1 Betriebsenergiebedarf Wärme, Variation der Art der Wärmerückgewinnung

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten primär aufgrund des unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsgrades. In diesem Wert sind neben dem Unterschied des Temperauränderungsgrades gemäss den Prüfnormen auch Abzüge für Leckagen/ Wärmeeinträge sowie Zuschläge für die Einsparung durch die Feuchterückgewinnung einbezogen. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 3 untersuchten Varianten sind in Tabelle 189 dokumentiert.

Tabelle 189: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK2

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Temperauränderungsgrad *)	75%	71%	75%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	0.7	1.1	0.7	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt, Kanäle	**9.2**	**10.0**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**9.0**	**9.7**	**8.9**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

11.5.2 Betriebsenergiebedarf Strom, Variation der Art der Wärmerückgewinnung

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten der Wärmerückgewinnung unterscheidet sich primär aufgrund des Strombedarfes für die Enteisung und durch unterschiedliche Druckverluste bzw. der Geräteeffizienz (in Variationsbreite «günstig» / «ungünstig» einbezogen), die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Als Basisannahme für die Enteisung wurde eine stufenlose elektrische Vorheizung basierend auf der Aussenlufttemperatur am Eintritt angewendet. Für Variante 1 (mit Feuchteübertragung) wird ein Setpoint von -5°C und für Variante 3 (ohne Feuchteübertragung) ein Setpoint von -2°C verwendet. Für die Variante 2 (Rotor) wird angenommen, dass keine Enteisung erforderlich ist. Die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf für die untersuchten Varianten (Basiswerte) sind in Tabelle 190 dargestellt.

Tabelle 190: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, zus. Geräte	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.08	0.00	0.18	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, Kanäle	**1.33**	**1.25**	**1.43**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, Rohre	**1.28**	**1.19**	**1.37**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

11.5.3 Weitere Resultate der Varianten zur Wärmerückgewinnung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Wärmerückgewinnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der der Wirkung des Wärmeübertragers angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden nur die Eigenschaften der Wärmeübertrager (Temperaturänderungsgrad, Druckverlust und Kosten). In der nachfolgenden Auswertung werden die Werte für eine Ausführung mit Wickelfalzrohren dargestellt, da dies die in der Praxis üblichere Ausführung darstellt.

Tabelle 191: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren

Kennwert Rohre (Daten für Bewertungstabelle)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.19**	**1.37**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.7**	**8.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.96**	**1.96**	**1.96**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**107**	**107**	**102**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.09**	**4.10**	**3.92**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.01	1.01	1.01	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	904	904	904	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.467	0.467	0.467	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.15	2.15	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 192: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.02**	**0.95**	**1.10**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**8.0**	**8.8**	**8.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.94**	**1.86**	**1.86**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**99**	**101**	**97**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.90**	**3.92**	**3.77**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.00	0.97	0.97	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	185	185	185	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.27	0.27	0.27	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	895	860	860	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.462	0.442	0.442	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.13	2.05	2.05	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 193: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.76**	**1.63**	**2.00**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.9**	**10.7**	**9.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.06**	**2.06**	**2.06**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**116**	**114**	**107**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.27**	**4.33**	**4.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.06	1.06	1.06	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	225	225	225	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	56	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.46	0.46	0.46	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	948	948	948	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.491	0.491	0.491	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.26	2.26	2.26	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.6 Luftverteilkonzept in der Wohnung

11.6.1 Basis für die Varianten des Luftverteilkonzeptes

Das Konzept der Luftverteilung in der Wohnung beeinflusst die Auslegungsluftmenge und damit die damit zusammenhängenden Faktoren wie Betriebsenergie, Graue Energie, Investitionen und Raumbedarf aber auch die Parameter der Raumluftqualität. Insbesondere für die Raumluftfeuchte im Winter sind Konzepte vorteilhaft, welche eine Kaskadennutzung ermöglichen. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer wohnungsweisen Lüftungsanlage ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 3 Varianten:

- Variante 1: Verteilkonzept mit Kaskade (WZ im Überströmbereich)
- Variante 2: Verteilkonzept ohne Kaskade (WZ ebenfalls mit ZUL)
- Variante 3: Verteilsystem mit Verbundlüftern (aktive Überströmung)

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 11.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät in Wohnung, AUL und FOL ab/zur Fassade). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden diese Werte bei den Resultaten wo sinnvoll unterschieden.

Für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) wird bei Variante 3 beim Minimal.- und Basiswert von einer Auslegung mit der identischen Gesamtluftmenge wie beim Konzept mit Kaskade ausgegangen. Diese Auslegung ist gemäss SIA 382/5 bei einer geringen Belegung der Wohnung (2 Personen in einer 3.5-Zimmer Wohnung). Für den Maximalwert wird bei Variante 3 von einer Auslegung mit einer Belegung von 3 Personen in einer 3.5-Zimmer Wohnung ausgegangen. Für die Varianten 1 und 2 wird für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) keine Veränderung der Nennluftmenge angenommen. Bei diesen Varianten beschränkt sich die Veränderung auf die Längen der Verteilung innerhalb der Wohnung und auf die damit verbundenen Komponenten.

11.6.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 3 untersuchten Varianten sind in Tabelle 194 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten kleine Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese jeweils separat aufgeführt.

Tabelle 194: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftverteilkonzepte im LK2

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Temperauränderungsgrad *)	75%	75%	75%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	0.7	1.0	0.7	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{, \text{Kanäle}}$	**9.2**	**11.6**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{, \text{Rohre}}$	**9.0**	**11.3**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Wärmeverluste etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

11.6.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Veränderung des Strombedarfs zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Auslegungsluftmengen. Daraus ergeben sich im Betrieb unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Für alle Varianten wird eine Steuerung der Luftmengen mittels Stufenschalter in der Wohnung angenommen (Details dazu siehe auch Kapitel 11.4). Für die 3 Varianten zum Luftverteilkonzept in der Wohnung wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 195 dargestellt.

Tabelle 195: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftverteilkonzepte im LK2

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Druckregelung	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, akt. Überströmer **)	0.00	0.00	0.04	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung ***)	0.08	0.13	0.08	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt$_{, \text{Kanäle}}$	**1.33**	**2.10**	**1.34**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt$_{, \text{Rohre}}$	**1.28**	**1.96**	**1.28**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) Für Basisberechnung wird von 1.5W pro Element und einer Betriebsdauer von 2870 h/a ausgegangen.*

****) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt (Hier stufenlose el. Vorwärmung auf Basis AUL-Temperatur)*

11.6.4 Investitionskosten der Varianten zum Luftverteilkonzept

Die Investitionskosten für die Varianten des Luftverteilkonzeptes unterscheiden sich vor allem bezüglich den Auslegungsluftmengen, welche höhere bzw. geringere Kosten bei der Luftverteilung und auch den Lüftungsgeräten mit sich bringt. Bei der Varianz der Kosten spielt die Veränderung der Leitungslängen der Verteilung innerhalb der Wohnung (bei Variante 1 und 2 eingelegte PE-Wellrohre, bei Variante 3 ein relativ kurzer Leitungsanschluss aus einem PE-Wellrohr an einen einzigen Luftauslass) hinein. Zudem wurde eine Kostenspannbreite der Komponenten innerhalb der Wohnung (z.B. aktive Überströmer) angenommen. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 196 für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren dargestellt. Die Resultate für die Luftverteilung mit Kanälen unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 196: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2, mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Luftverteilung *)	8	9	7	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	30	34	30	CHF / m^2
Schalldämpfer	3	4	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	16	18	25	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	24	27	28	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	10	10	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**107**	**117**	**119**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12100	13200	13400	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerk Elektro, MSRL*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, Verkleidungen, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

11.6.5 Weitere Resultate Varianten zum Luftverteilkonzept

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie die Länge der Luftverteilung innerhalb der Wohnung und die Kosten der Bauelemente innerhalb der Wohnung (z.B. aktive Überströmer). Bei der Varianten 3 wird für den tiefen Wertebereich zudem von einer 33% geringeren Auslegungsluftmenge ausgegangen. Tabelle 126 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 197: Basis der Lüftungsleitungslängen für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; Basisfall *)	32	48	14	[m]
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; günstiger Fall *)	16	24	7	[m]
Länge Lüftungsleitung in Wohnung; ungünstiger Fall *)	48	72	21	[m]

*) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL); Länge pro Wohnung

Tabelle 198: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.33**	**2.10**	**1.34**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**11.6**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.23**	**2.09**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**123**	**133**	**135**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.12**	**4.46**	**4.22**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.52	1.65	1.48	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	78	57	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.36	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	982	1037	1010	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.493	0.529	0.495	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.44	2.30	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 199: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftverteilkonzepte in der Wohnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.96**	**1.28**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**11.3**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.96**	**2.11**	**1.98**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**107**	**117**	**119**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.09**	**4.43**	**4.18**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.01	1.15	0.98	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	63	50	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	904	960	932	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.467	0.502	0.468	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.31	2.17	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 200: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.31**	**2.06**	**1.30**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**13.0**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.03**	**2.15**	**2.03**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**122**	**131**	**129**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.04**	**4.34**	**4.09**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.46	1.56	1.44	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	58	73	55	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.36	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	973	1025	987	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.481	0.510	0.482	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.22	2.35	2.23	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 201: Resultate mit günstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.25**	**1.92**	**1.25**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**12.7**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.91**	**2.03**	**1.92**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**106**	**115**	**113**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.01**	**4.31**	**4.06**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.95	1.06	0.93	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	51	58	48	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.33	0.34	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	896	947	910	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.454	0.484	0.455	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.10	2.23	2.11	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 202: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.36**	**2.14**	**2.21**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**11.6**	**11.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.13**	**2.31**	**2.25**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**124**	**134**	**146**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.21**	**4.59**	**4.60**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.58	1.74	1.59	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	69	83	72	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.37	0.36	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	990	1050	1073	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.506	0.547	0.532	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.33	2.52	2.46	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 203: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten für die Luftverteilkonzepte im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.30**	**2.00**	**2.07**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**11.3**	**11.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**2.20**	**2.14**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**108**	**118**	**130**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.17**	**4.55**	**4.56**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.08	1.24	1.09	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	62	68	57	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.35	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	912	972	995	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.479	0.521	0.505	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.21	2.40	2.34	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

11.7 Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung

11.7.1 Basis für die Varianten der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung beeinflusst die in erster Linie die Art und Menge des benötigten Materials. Damit wirkt dies vor allem auf die Faktoren, Graue Energie und Investitionen. Einen geringen Einfluss hat dieser Entscheid auf die Betriebsenergie. Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit einer wohnungsweisen Lüftungsanlage ausgegangen. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 5 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit eingelegten Polyethylen Wellrohren
- Variante 2: Eingelegte Polyethylen Wellrohre, Erhöhung Deckenstärke um 2 cm
- Variante 3: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Polyethylen Wellrohre
- Variante 4: Verteilung mit abgehängter Decke im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt
- Variante 5: Verteilung im Korridorbereich, Spiralfalzrohre, verzinkt sichtbar installiert

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 gemäss den in Kapitel 11.2.1 untersuchten Varianten verwendet (Gerät in Wohnung, AUL und FOL ab/zur Fassade). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Da sich beim Druckverlust und damit dem Stromverbrauch Differenzen durch die Luftverteilung zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren leichte Unterschiede ergeben werden diese Werte bei den Resultaten zum Betriebsenergiebedarf Strom unterschieden. In die Analyse des Wertebereichs (Varianz) werden diese Differenten jedoch nicht einbezogen (Basis identische Ausführung der Luftverteilung von / bis zur Wohnung).

Für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) wird bei Variante 3 von in der Basisvariante mit einer notwendigen Verstärkung der Betondecke von 2 cm und einem Mehrbedarf von Armierungsstahl von 1.8 kg/m^2 ausgegangen. Für den Maximalwert wird bei Variante 3 eine Deckenverstärkung von 4 cm angenommen und bei der Minimalvariante eine Verstärkung von 2 cm ohne Mehrbedarf an Armierungsstahl. Für die Varianten 1 und 2 wird für die Analyse des Wertebereichs (Varianz) eine Veränderung auf die Längen der Verteilung innerhalb der Wohnung (bzw. wo relevant der damit verbundenen abgehängten Deckenfläche).

11.7.2 Graue Energie der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Veränderung des Grauen Energie (nichterneuerbare Primärenergie) für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Varianten der Materialisierung innerhalb der Wohnung unterscheidet sich in erster Linie bei den baulichen Aufwendungen. Für die 5 Varianten zur Materialisierung der Luftverteilung in der Wohnung wurden die spezifischen Detailkennwerte für die Graue Energie bestimmt und in Tabelle 204 dargestellt (Basis Lüftungsleitungen mit Rohren).

Tabelle 204: Resultate zur Grauen Energie für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Vertikale Steigzone (ZUL / ABL)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Vor Lüftungsgerät (AUL / FOL)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Horizontal zu Wohnung	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
innerhalb Wohnung	0.09	0.09	0.07	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Schalldämpfer	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Diverse Elemente	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Bauliches Schächte *)	0.12	0.12	0.30	0.30	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Unterhalt und Wartung	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$
Summe	**1.96**	**2.11**	**2.12**	**2.17**	**1.99**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\,a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien

Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.

**) Materialanteil für Vertikalschächte, Verkleidungen bzw. wenn vorhanden abgehängte Decke*

***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

11.7.3 Investitionskosten der Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Die Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten des Luftverteilkonzeptes unterscheiden sich vor allem durch die zusätzlichen, baulichen Elemente. Bei der Varianz der Kosten spielt die Veränderung der Leitungslängen der Verteilung innerhalb der Wohnung und vor allem die Differenzen in den baulichen Kosten eine Rolle. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 205 für die Luftverteilung mit Wickelfalzrohren dargestellt. Die Resultate für die Luftverteilung mit Kanälen (ab Lüftungsgerät von / bis Wohnungsverteiler) unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage wesentlich und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 205: Resultate der Investitionskosten für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	8	8	8	10	10	CHF / m^2
Dämmung	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Lüftungsgerät (Wohnungsweise)	30	30	30	30	30	CHF / m^2
Schalldämpfer	3	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	16	16	16	16	16	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	24	24	24	25	25	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	12	12	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	10	10	28	28	10	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	7	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**107**	**114**	**125**	**128**	**110**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	12100	12900	14100	14400	12400	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG (ab WNG-Verteiler) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerk Elektro, MSRL*

****) Anteil Baumeister (Schachtverkleidung, Verkleidungen, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

11.7.4 Weitere Resultate zu den Materialisierungsvarianten in der Wohnung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten des Luftverteilkonzeptes in der Wohnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie die Länge der Luftverteilung innerhalb der Wohnung sowie die Fläche der abgehängten Decke bzw. die zusätzliche Stärke der Betondecken. Tabelle 206 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 206: Verwendete Leitungslängen und Kennzahlen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Variante 5**
Rohrlänge in Wohnung; Basisfall **)	32	32	24	24	24	[m]
Rohrlänge in Wohnung; günstiger Fall **)	16	16	12	12	12	[m]
Rohrlänge in Wohnung; ungünstiger Fall **)	48	48	36	36	36	[m]
Anteil abgehängte Decke; Basisfall ***)	0%	*+2cm Beton *)*	15%	15%	0%	[% der WF]
Anteil abgehängte Decke; günstiger Fall ***)	0%	*+2cm Beton *)*	10%	10%	0%	[% der WF]
Anteil abgehängte Decke; ungünstiger Fall ***)	0%	*+4cm Beton *)*	20%	20%	0%	[% der WF]

*) zusätzlich Betonstärke. Im günstigsten Fall, Annahme keine zusätzliche Armierung nötig. In den übrigen Fällen 90 kg/m^3 Armierung.

**) Zuluft und Abluft in Wohnung ab/bis Wohnungsverteiler; Leitungslänge pro Wohnung

***) Wert in % der Wohnfläche; Für den günstigen Fall Annahme einer Unterkonstruktion aus Holz. In den übrigen Fällen Unterkonstruktion Metall.

Tabelle 207: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.33**	**1.33**	**1.32**	**1.32**	**1.32**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.08**	**2.23**	**2.24**	**2.28**	**2.10**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**123**	**130**	**141**	**144**	**126**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.12**	**4.12**	**4.13**	**4.13**	**4.13**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.52	1.52	1.49	1.49	1.49	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	63	63	61	61	61	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	982	1052	1119	1202	1061	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.493	0.568	0.528	0.538	0.498	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.28	2.44	2.44	2.50	2.30	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 208: Resultate der Basisberechnung für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.28**	**1.28**	**1.26**	**1.26**	**1.26**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.96**	**2.11**	**2.12**	**2.17**	**1.99**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**107**	**114**	**125**	**128**	**110**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.09**	**4.09**	**4.09**	**4.09**	**4.09**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.01	1.01	0.98	0.98	0.98	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	56	56	54	54	54	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	904	975	1042	1125	984	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.467	0.541	0.501	0.511	0.471	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.15	2.31	2.32	2.37	2.18	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 209: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.31**	**1.31**	**1.30**	**1.30**	**1.30**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.03**	**2.18**	**2.13**	**2.16**	**2.04**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**122**	**126**	**132**	**133**	**123**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.04**	**4.04**	**4.04**	**4.05**	**4.04**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.46	1.46	1.44	1.44	1.44	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	58	58	57	57	57	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	973	1044	1065	1107	1013	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.481	0.556	0.505	0.510	0.483	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.22	2.38	2.34	2.36	2.24	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 210: Resultate mit günstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.25**	**1.25**	**1.25**	**1.25**	**1.25**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.91**	**2.06**	**2.02**	**2.04**	**1.92**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**106**	**110**	**116**	**117**	**107**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.01**	**4.01**	**4.01**	**4.01**	**4.01**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	51	51	50	50	50	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	896	966	988	1030	936	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.454	0.529	0.478	0.483	0.456	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.10	2.26	2.22	2.24	2.11	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 211: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.36**	**1.36**	**1.34**	**1.34**	**1.34**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**9.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.14**	**2.44**	**2.34**	**2.41**	**2.17**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**124**	**139**	**152**	**156**	**128**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.26**	**4.26**	**4.26**	**4.26**	**4.26**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**0.0253**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.58	1.58	1.53	1.53	1.53	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	69	69	65	65	65	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	991	1132	1174	1299	1111	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.506	0.656	0.551	0.567	0.513	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.34	2.65	2.55	2.63	2.38	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

Tabelle 212: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Materialisierungsvarianten in der Wohnung im LK2; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.30**	**1.30**	**1.28**	**1.28**	**1.28**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**9.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.02**	**2.32**	**2.23**	**2.29**	**2.05**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**108**	**123**	**136**	**140**	**112**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.21**	**4.21**	**4.22**	**4.23**	**4.22**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**0.0256**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	1.08	1.08	1.03	1.03	1.03	kg/m^2
Druckverlust, intern, Mittel. ****)	205	205	205	205	205	Pa
Druckverlust, extern, Mittel. ****)	62	62	58	58	58	Pa
spez. Leistung Ventilatoren ****)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	913	1055	1096	1221	1033	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.480	0.629	0.525	0.540	0.487	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.21	2.53	2.43	2.51	2.25	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der wohnungsweisen Geräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Mittelwert aus AUL-ZUL und ABL-FOL Seite. Spezifische Ventilatorenleistung als Summe von ZUL + ABL (Bezug Nennluftmenge)

12 Anhang zu LK3: Einzelraumlüftung

12.1 Basisannahmen für die Berechnungen

Für die Berechnungen der Standardfälle wurde wie beim Lüftungskonzept LK1 von einem Gebäude mit 4 Obergeschossen und insgesamt 16 Wohnungen ausgegangen. Als typische Wohnungsgrösse wurde ein Wohnungsgrundriss mit 3.5 Zimmern und 90 m² Wohnfläche gewählt.

Neben dem Basisfall (3.5-Zimmer Wohnungen) wurden Variantenberechnungen mit Gebäuden mit 2.5- und 4.5-Zimmer Wohnungen durchgeführt, da diese ebenfalls sehr häufig in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind. Die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte und die Auslegung der Nennluftmengen sind identisch wie beim Lüftungskonzept LK1 (siehe Tabelle 71). Dabei wird beim Lüftungskonzept 3 als Basis die Auslegung ohne Kaskade angewendet. Für die Badabluft wird in der Basisvariante von einer bedarfsgesteuerten Anlage (Ein/Aus über Lichtschalte mit Nachlauf) ausgegangen. Der Bemessungs-Abluft-Volumenstrom wurde mit 50 m³/h angesetzt[53].

Das gewählte Basisgebäude (mit 3.5 Zimmer Wohnungen) besitzt eine Energiebezugsfläche von 1808 m² und weist eine einem typischen Neubau entsprechende Gebäudehülle auf (Luftdichtheit entsprechend dem Zielwert für Neubauten nach SIA 180: 2014). Der auf Basis der Standardnutzung für das Basisgebäude berechnete Wärmebedarf ist bis auf den Unterschied im Lüftungskonzept (z.B. Wärmerückgewinnungsgrad) identisch mit der Berechnung für das Lüftungskonzept LK1 (siehe, Tabelle 72).

Für den Lüftungsbetrieb werden die Lüftungsverluste in Abhängigkeit vom effektiven Betriebsfall bestimmt. Für den Standardfall wird für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste von einem mittleren Betrieb mit 85% der Nennluftmenge ausgegangen (3-Stufen Steuerung). Auch wurde für die Raumtemperatur ein Wert von 22°C angesetzt, da der Wert von 20°C gemäss Standardnutzung in SIA 380/1:2016 nicht dem heute üblichen Gebäudebetrieb entspricht. Im Weiteren

beinhaltet die Berechnung auch den Wärmebedarf durch Verluste durch Wärmebrücken, die durch den Geräteeinbau entstehen sowie dem Wärme- bzw. Strombedarf für die Enteisungsfunktion (Basisfall: Reduktion des Zuluft-Volumenstroms geregelt nach Aussentemperatur; Systemoption: Vorheizung mit elektr. Heizregister). Da die Geräte im LK3 üblicherweise kein Heizregister zur Nacherwärmung aufweisen wird der Wärmebedarf ausgewiesen, der über ein Heizregister erforderlich wäre, um eine Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen. Dieser Wärmebedarf muss bei diesem Lüftungskonzept über die normale Raumheizung erbracht werden.

Der Strombedarf für die Lüftungsanlage unterscheidet sich je nach Variante aufgrund der unterschiedlichen Gerätezahl und Konfiguration sowie dem Konzept und der Betriebsart zur Entlüftung des Bades. In Tabelle 73 sind die Basiswerte dargestellt, welche für die Berechnung verwendet wurden. Dabei basieren die verwendeten Werte für eine typische Anlage mit guter Auslegung. Für diverse Komponenten wurden die Werte reduziert, da die Angaben als zu hoch eingestuft wurden. Für den Druckverlust über dem Wärmtauscher wird ein Wert von 100 Pa eingesetzt[54]. Tabelle 213 zeigt die für die Berechnung verwendeten Druckverlustwerte. Für die Abführung der Badabluft wird von einem Konzept mit einzelnen Badventilatoren und einem Einrohrsystem mit einer Steigzone je 8 Wohnungen ausgegangen[55]. Für die Dimensionierung (Materialisierung) wurde eine Auslegung entsprechend den Anforderungen an die Luftgeschwindigkeit der MuKEn angewendet.[56].

---

[53] Bei den Varianten mit Dauerbetrieb der Badabluft wird ein Bemessungs-Abluft- Volumenstrom gemäss SIA 382/5:2021 von 30 m³/h angesetzt (Abweichend zur Festlegung im bisherigen SIA Merkblatt 2023 von 40 m³/h).

[54] Basiswert tiefer als bei zentralen Anlagen (LK1) angesetzt. Typischerweise geringere Luftgeschwindigkeiten im Gerät als bei zentralen Geräten (ΔP sinkt).

[55] Hintergrund: Typischer Aufteilung eines Wohnungskonzeptes mit 2 aneinandergrenzenden Sanitärräumen die an eine gemeinsame Steigzone angeschlossen sind. Zur Vermeidung von Geruchsübertragungen bei unterschiedlichem Betrieb der Abluftventilatoren sind Abluft-Elemente mit Rückschlagklappen einzusetzen.

[56] Grundsätzlich wären gemäss MuKEn 2014 höhere Luftgeschwindigkeiten zulässig (Art. 1.19, Abs. 4). Dies wurde für den Basisfall der Auslegung jedoch nicht so einbezogen.

Für die Luftverteilung in der Wohnung (z.B. bei Nebenanschlüssen) wird eine Luftgeschwindigkeit von max. 2 m/s angesetzt.

Tabelle 213: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Einzelraumanlagen (LK3)

Bauteil	Gewählt ZUL	Gewählt ABL	Exponent *)	Niedrig	Hoch
Zuluftkanalsystem	berechnet				
Abluftkanalsystem	berechnet				
Lufterhitzer (für Wohnungsgeräte: el. Enteisungsregister)	0	0	1.5		
WRG Einheit H1 **)	100	0	1.5	120 ****)	80 *****)
Luftfilter F5-F7 (Enddruck) **)	80	60	1.25		
Schalldämpfer ***)	0	0	2		
Wohnungsverteiler ***)	0	0	1.5		
Luftdurchlass ZUL / ABL	10	10	1.5		
Lufteintritt -Austritt; AUL / FOL	20	20	1.5		
Kühler (wenn vorh)	nicht einbezogen				
Befeuchter (wenn vorh)	nicht einbezogen				

*) verwendeter Exponentialfaktor für Umrechung Druckverluste im Teillastbetrieb
**) Für Einzelraumlüftungsgeräte reduzierter Wert (grosszügigere Auslegung als bei zentralen Anlagen)
***) Bei Konzepten mit Einzerlaumgeräten nicht separat einbezogen (bzw. im Gerät enthalten)
****) Bei Variation der Wärmerückgewinnung verwendete Spannbreite der Werte

Zur Validierung der verwendeten spezifischen Stromaufnahme und Wärmerückgewinnungsgrade der Geräte wurden Daten mit Prüfresultaten aus aktuellen Produktelisten ausgewertet (KlimaHaus, 2020). Die Liste beinhaltet gut 150 Datensätze (80% Geräte mit Plattenübertrager und 20% Pendellüfter). Die für den Basisfall und für die Varianz verwendeten Werte entsprechen dabei einem effizienten Gerät.

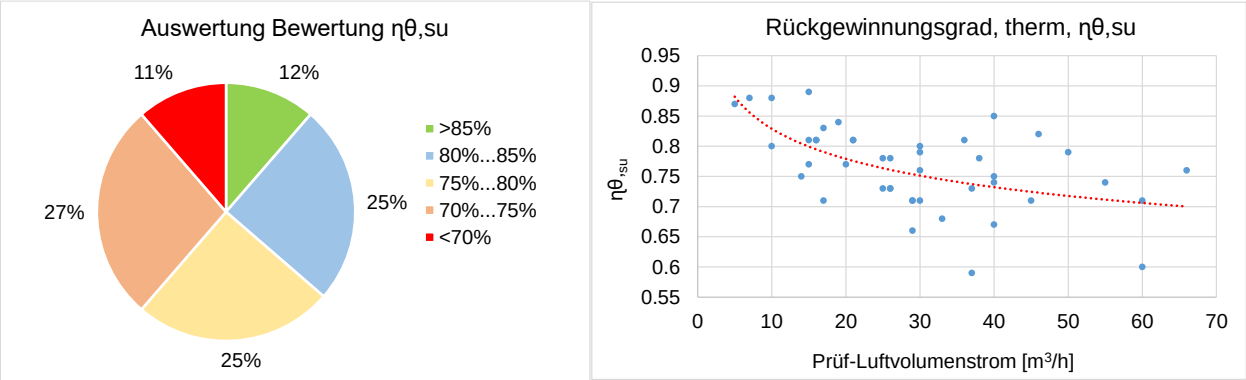


Abbildung 77: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su)

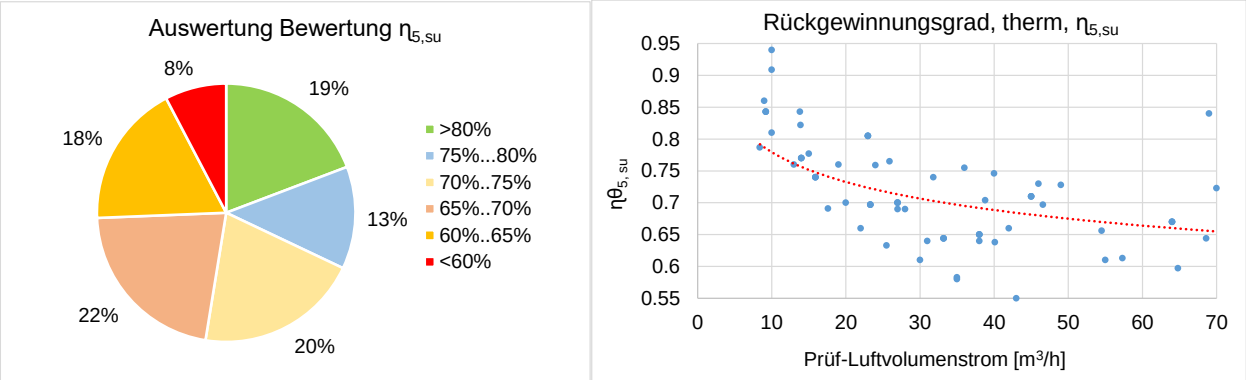


Abbildung 78: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung korrigierter Wärmerückgewinnungsgrad ($\eta\theta_{,5\ su}$)

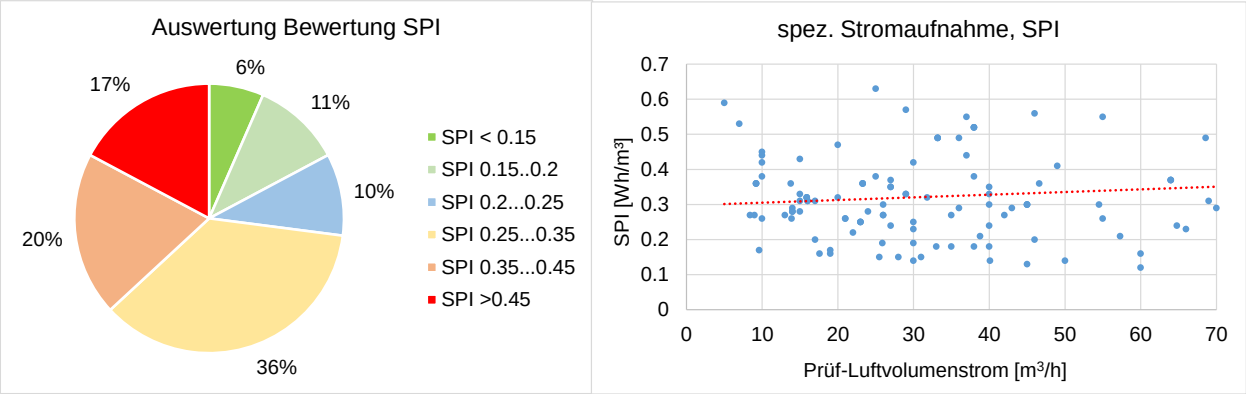


Abbildung 79: Einzelraumgeräte mit Plattenübertrager; Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI)

Der korrigierte Wärmerückgewinnungsgrad in dieser Auswertung entspricht dem aus den Prüfresultaten gemäss SN EN 13141-8: 2014 berechneten Wert $\eta\theta_{,5\,su}$). Da es sich dabei um Prüfstandsresultate handelt, sind diese Werte höher als die effektiv für die Berechnung eingesetzten Werte. Die für die Berechnung eingesetzten Kenndaten beinhalten zusätzliche Korrekturen, welche sich durch Filterverschmutzung und andere Faktoren im Betrieb ergeben.

Für die Variantenbetrachtung der Wärmerückgewinnung wird eine Variante mit Pendellüfter einbezogen. Die Kenndaten solcher Produkte unterscheiden sich wesentlich und wurden daher separat ausgewertet. Nachfolgend sind Daten mit Prüfresultaten dieser Produkte für die spezifische Stromaufnahme und den Wärmerückgewinnungsgrad ausgewertet.

Bei diesem Gerätetyp muss beachtet werden, dass für eine kontinuierliche Lüftung immer zwei Geräte paarweise betrieben werden müssen[57] und beim Umschalten die Luftrichtung geändert wird (Lüftungseffizienz nicht gleichwertig).

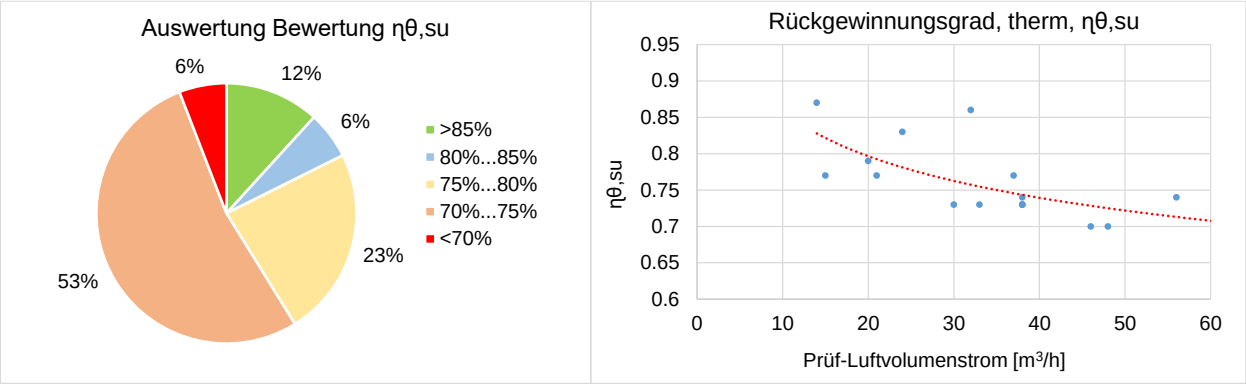


Abbildung 80: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad (ηθ,su)

[57] Hinweis: Die hier dargestellten Werte zum Stromverbrauch beziehen sich immer nur auf ein Gerät.

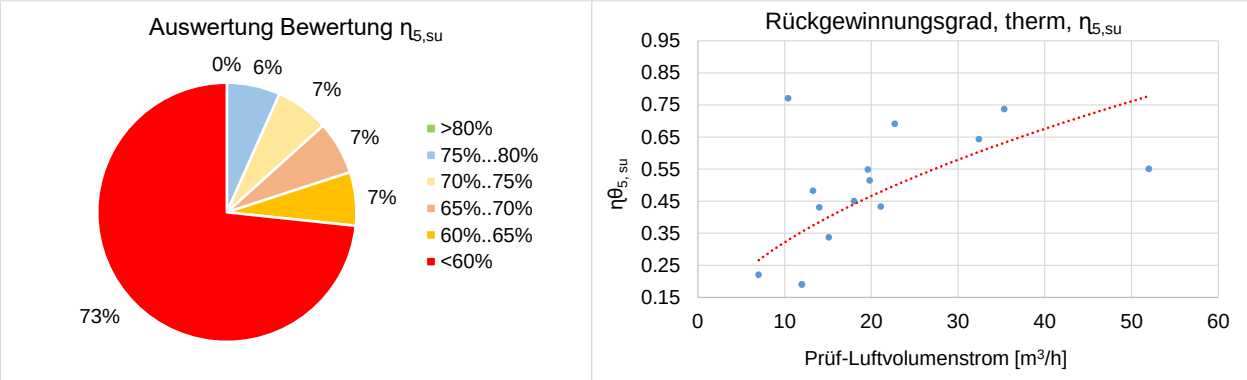


Abbildung 81: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung korrigierter Wärmerückgewinnungsgrad ($\eta\theta_{,5\ su}$)

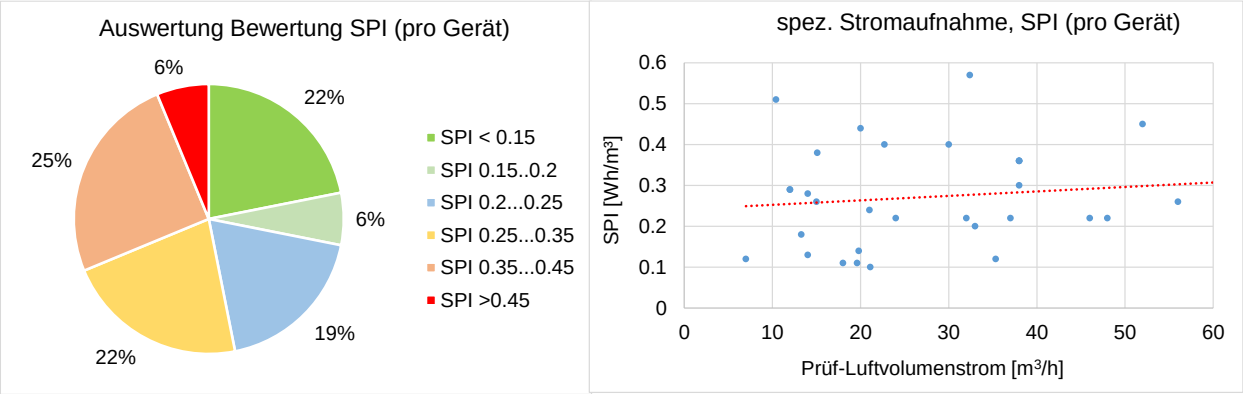


Abbildung 82: Einzelraumgeräte alternierend (Pendellüfter); Auswertung Prüfresultate für spez. Leistungsbedarf (SPI)

12.2 Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

12.2.1 Basis der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Bei den verschiedenen Konzeptvarianten unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Einbindung und Auslegung der Badabluft sowohl der Material- wie auch der Energiebedarf. Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 214 dokumentiert. Dafür wurden die folgenden 5 Varianten verglichen:

- Variante 1: Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet mit ALD
- Variante 2: Gerätebetrieb meist in Balance. Badabluft bedarfsgeschaltet ohne ALD
- Variante 3: Gerätebetrieb bei Betrieb Badabluft in Disbalance (Abluft wird reduziert)
- Variante 4: Gerätebetrieb mit leichter Disbalance. Badabluft Dauerbetrieb mit ALD
- Variante 5: Gerätebetrieb in Balance. Badabluft über Zimmergerät abgeführt

Die Berechnung erfolgt jeweils für ein Hausteil (1 Steigzone) mit 8 Wohnungen. Die spezifischen Kennwerte sind daher auch auf diesen Teil bezogen. Bei einem symmetrischen Hausgrundriss sind die berechneten Daten auch für das Gesamtgebäude (mit total 16 Wohnungen) gültig.

Da sich bei der Materialisierung auch Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung der Badabluft mit Kanälen und Rundrohren (übliche Variante) ergeben, werden diese Werte bei den Resultaten in dieser Variantenbetrachtung unterschieden. In Tabelle 214 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 214: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Energiebezugsfläche	904	904	904	904	904	[m^2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	720	720	720	720	[m^2]
Anzahl Wohnungen	8	8	8	8	8	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	90	90	90	90	90	[m^3/h]
Gesamtluftmenge, Nennbetrieb	720	720	720	720	720	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	1	1	1	1	1	[Stk.]
Anzahl Etagen	4	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	42	42	42	42	0	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	0	0	0	0	48	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	8	7	7	7	6	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)

**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Badabluft mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 215 dargestellt.

Tabelle 215: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Masse Lüftungsgeräte *)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	kg/m^2
Masse Abluftanlage **)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	0.15	0.15	0.15	0.12	0.02	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**0.61**	**0.59**	**0.59**	**0.56**	**0.45**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.10	0.10	0.10	0.07	0.02	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**0.56**	**0.54**	**0.54**	**0.51**	**0.45**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG (wenn vorh.) mit PE-Wellrohren; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht inkl. Steuerung*

***) Gerätegewicht Abluftanlage (excl. Kanäle)*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, etc. (sofern nicht bereits im Gerät berücksichtigt)*

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die Druckverluste und die elektrische Leistung der Ventilatoren ermittelt werden. Diese Resultate für die Nennluftmenge sind in Tabelle 216 dargestellt.

Tabelle 216: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckverlust $_{\text{Gerät intern, Einzelraumgerät}}$	180	180	180	180	180	Pa
Druckverlust $_{\text{Abluftanlage intern, ABL-FOL}}$	60	60	60	60	0	Pa
Druckverlust $_{\text{extern, Einzelraumgeräte}}$	30	30	30	30	38	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, Einzelraumgerät}}$	210	210	210	210	218	Pa
spez. Leistung$_{\text{, Einzelraumgerät}}$ *)	**0.29**	**0.29**	**0.29**	**0.29**	**0.30**	**W/(m³/h)**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Kanal}}$	65	65	65	59	0	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Kanal}}$	125	125	125	119	0	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Kanal}}$	**0.11**	**0.11**	**0.11**	**0.07**	**0.00**	**W/(m³/h)**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Rohr}}$	46	46	46	43	0	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Rohr}}$	106	106	106	103	0	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Rohr}}$	**0.11**	**0.11**	**0.11**	**0.07**	**0.00**	**W/(m³/h)**

Bezug der spezifischen elektrischen Leistung: pro m³/h Nennluftmenge (ZUL). Ventilatorwirkungsgrad der Einzelraumgeräte: 40%
Berechnungsbasis: Auslegung der Luftgeschwindigkeiten: 100% MuKEn-Anforderung (Ausnahme innerhalb Wohnung: max. 2 m/s)
Basis Luftgeschwindigkeit in Steigzonen: Auslegung auf ungünstigstes Stockwerk (Querschnitte über Höhe identisch)
**) Gesamtwert für Gerät: Summe ZUL + ABL; Wert mit Einbezug der Filterverschmutzung (höhere Druckverluste als in Normprüfung)*

12.2.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Konzeptvarianten aufgrund der Wärmeverluste und Disbalance in der Luftführung. Die berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 5 untersuchten Varianten sind in Tabelle 217 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten keine Differenzen durch die Kanaloberflächen der Abluft zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind diese nicht separat aufgeführt.

Tabelle 217: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Temperaturänderungsgrad *)	65%	64%	63%	63%	65%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	kWh /(m² a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	3.0	3.1	3.5	3.4	2.9	kWh /(m² a)
Wärmebedarf gesamt$_{\text{, Rohre}}$	**14.1**	**14.0**	**13.8**	**18.1**	**13.0**	**kWh /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr
**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Druckempfindlichkeit der Geräte etc.*
***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*
****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

12.2.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Konzeptvarianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen und Betriebsarten, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Für den Einbezug der bei allen Varianten zur Anwendung kommenden Stufenschalter der Einzelraumgeräte (Luftmengen Reduktion des Lüftungsgerätes) wird eine mittlere Luftmenge für den Betrieb ermittelt mit der der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt wird.

Für die 5 Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 218 dargestellt.

Tabelle 218: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten des LK3 (Einzelraumlüftung)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Druckregelung ABL	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, Einzelraumgeräte	1.71	1.71	1.71	1.71	1.77	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, ABL Bad Kanäle	**1.80**	**1.80**	**1.80**	**2.17**	**1.77**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, ABL Bad Rohre	**1.80**	**1.80**	**1.80**	**2.17**	**1.77**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

12.2.4 Ökobilanzdaten der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Aus den ermittelten Materialmengen und den zugehörigen Ökobilanzdaten werden die Belastungen für die Herstellung und Entsorgung der verwendeten Materialien berechnet. Als Basis dienen die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert). Die Resultate werden als Belastungen pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr angegeben. Für diese Umrechnung werden die in Tabelle 4 dargestellten Lebensdauerannahmen verwendet.

Neben den Materialien die für die Lüftungsanlage (Geräte, Kanäle etc.) benötigt werden sind je nach Variante auch zusätzliche Materialien der Gewerke Elektro und Baumeister zu berücksichtigen, um einen korrekten Vergleich zu ermöglichen. In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für den Unterhalt (Material, Transporte) separat ausgewiesen.

Für die 5 Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten wurden die spezifischen Kennwerte für vier verschiedene Indikatoren bestimmt und dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen einer Ausführung der Verrohrung der Badabluft mit Kanälen bzw. mit Rundrohren. Diese werden jeweils in separaten Tabellen aufgeführt.

Die Resultate für die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 13) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 219 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 220.

Tabelle 219: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	30	30	30	22	0	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	4	4	4	3	0	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	15	15	15	15	0	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0	0	0	0	3	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	348	348	348	348	348	UBP /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	17	17	17	17	0	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	199	189	189	186	189	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	9	9	13	9	7	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	17	17	17	15	0	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	117	110	110	110	103	UBP /(m^2 a)
Summe	**755**	**739**	**743**	**725**	**649**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien

Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.

**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*

***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 220: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	22	22	22	15	0	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	2	2	2	2	0	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	11	11	11	11	0	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0	0	0	0	3	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	348	348	348	348	348	UBP /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	17	17	17	17	0	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	199	189	189	186	189	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	9	9	13	9	7	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	17	17	17	15	0	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	117	110	110	110	103	UBP /(m^2 a)
Summe	**741**	**725**	**730**	**713**	**649**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der gesamten Primärenergie (Summe aus nichterneuerbar und erneuerbar) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 221 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 222.

Tabelle 221: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.04	0.04	0.04	0.03	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.45	0.44	0.44	0.43	0.44	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.53	0.49	0.49	0.49	0.46	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**2.00**	**1.95**	**1.96**	**1.93**	**1.79**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 222: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.45	0.44	0.44	0.43	0.44	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.53	0.49	0.49	0.49	0.46	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**1.98**	**1.93**	**1.94**	**1.91**	**1.79**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie (Graue Energie) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 223 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 224.

Tabelle 223: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK3, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.04	0.04	0.04	0.03	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.41	0.39	0.39	0.38	0.39	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.46	0.43	0.43	0.43	0.40	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**1.81**	**1.76**	**1.77**	**1.75**	**1.61**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 224: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK3, mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.41	0.39	0.39	0.38	0.39	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.46	0.43	0.43	0.43	0.40	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**1.79**	**1.75**	**1.75**	**1.73**	**1.61**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung des Treibhausgaspotentials sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 225 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 226.

Tabelle 225: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.009	0.009	0.009	0.007	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.098	0.095	0.095	0.093	0.094	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.006	0.006	0.006	0.005	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.117	0.108	0.108	0.108	0.101	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.440**	**0.428**	**0.429**	**0.423**	**0.393**	**$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 226: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Vertikale Steigzone	0.006	0.006	0.006	0.004	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.098	0.095	0.095	0.093	0.094	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.006	0.006	0.006	0.005	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.117	0.108	0.108	0.108	0.101	$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.436**	**0.424**	**0.424**	**0.419**	**0.393**	**$kg_{CO2\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

12.2.5 Raumbedarf für Schächte und Geräte der Konzeptvarianten für LK 3

Aus den ermittelten Dimensionen der Lüftungskanäle und -Rohre der Badabluft kann der erforderliche Schachtflächenbedarf und daraus den Raumbedarf für die Schächte ermittelt werden. Auch für die Aufstellung der Lüftungsgeräte wird Raum benötigt. Für die Einzelraumgeräte wurde der Raumbedarf auf der Basis typischer Gerätegrössen inkl. Raumbedarf für Servicearbeiten ermittelt. In realen Projekten wird die Anlage oft in Räumen eingebaut die normal genutzt werden z.B. Wohn- oder Schlafzimmer. Der für die Geräte ermittelte Raumbedarf kann daher im Normalfall anders genutzt werden muss aber für Servicearbeiten freigehalten werden können[58]. Für die 5 Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Raumbedarf bestimmt und in Tabelle 227 dargestellt.

Tabelle 227: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK3 (Einzelraumanlagen)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Raumbedarf $_{Lüftungsgerät}$ *)	0.0178	0.0178	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Schächte,\ Kanal}$	0.0021	0.0021	0.0021	0.0017	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Gesamt,\ Kanal}$	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**0.0195**	**0.0178**	**m^3/m^2**
Raumbedarf $_{Schächte,\ Rohr}$	0.0023	0.0023	0.0023	0.0018	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Gesamt,\ Rohr}$	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**0.0196**	**0.0178**	**m^3/m^2**

Verteilung in WNG (wenn vorh.) mit PE-Wellrohren; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
Für den Raumbedarf in den Schächten wird die Dämmung (wenn vorhanden) berücksichtigt.
*) Basis: Typisches Gerät bei Wandmontage; Basis: Herstellerangaben zu typ. Gerätegrössen; inkl. Raumbedarf für Revisionszugang
**) In Lüftungskonzept mit Einzelraumgeräten (LK3) nicht vorhanden

[58] Der ermittelte Raumbedarf ist vor allem für einen ungehinderten Zugang für Servicearbeiten (jährliche Reinigung / Filterwechsel) notwendig und muss bei der Nutzung berücksichtigt werden. Er wurde daher in der Analyse einbezogen.

12.2.6 Kosten für die Anlagen der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Aus den ermittelten Materialmengen, Gerätezahl und Gerätegrössen werden mittels Kostenkurven und Kostenkennzahlen die Investitionskosten berechnet. Als Basis für diese Kostendaten dienten verfügbare Projektdaten, Herstellerpreislisten sowie eigene Kostenkennzahlen und Annahmen.

Die Kosten für die Dunstabzugshauben (Umluft) wurden in die Position «diverse Elemente» einbezogen. Es wurde eine typische Abzugshaube für den normalen Wohnungsbau eingesetzt, die aber eine gute Energieeffizienz aufweist (kein hochpreisiges Produkt).

Neben dem Gewerk Lüftung (BKP 244) werden in den Kosten auch Positionen aus anderen Gewerken berücksichtigt, welche für den Variantenvergleich der Anlagen wesentlich sind. Es sind dies die Gewerke Elektro/MSRL (Anschlüsse der Geräte an UV bzw. Wohnungsverteiler und Steuerung) und Baumeister (Schachtwände, Leitungsverkleidungen, Durchbrüche). In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für eine allfällige Verstärkung der Betondecke (in den Variantenvergleichen zu LK 3 nicht relevant bzw. einbezogen) separat ausgewiesen.

Die Resultate für die Investitionskosten sind für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen in Tabelle 228 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 229.

Die Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion wurden basierend auf den ermittelten Anlagen- und Kostenkenngrössen (Gerätetyp, Anzahl Luftauslässe, Gerätekosten) sowie weiteren Annahmen (Anfahrtsweg, Personenzahl, Stundenansatz) modelliert. Als Basis für diese Kostendaten dienten typische Kostenkennzahlen und Annahmen. Wie bereits im Kapitel 3.3.4 beschrieben wird ein jährlicher Filterersatz (inkl. Aktivkohlefilter der Umluft-Dunstabzugshauben in den Wohnungen) und eine jährliche Gerätewartung angenommen. Für den 6-jährlichen Unterhalt (mit Hygieneinspektion) wird zusätzlich angenommen, dass die Abluft-, FOL- und AUL-Leitungen gereinigt werden. In den Kosten sind keine Ersatzinvestitionen enthalten, sondern nur ein prozentualer Kostenanteil für den Unterhalt (Reparatur, Ersatz von Verbrauchsmaterial) der Anlagen. Die Resultate für die Unterhaltskosten sind für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen in Tabelle 230 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 231.

Tabelle 228: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Variante 5**	**Einheit**
Luftverteilung *)	3	3	3	3	2	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	53	53	56	53	53	CHF / m^2
Abluftanlage, Bad (Geräte)	3	3	3	3	0	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	8	6	6	6	6	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	27	26	27	26	25	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	17	12	10	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	14	11	11	11	11	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**121**	**115**	**123**	**114**	**106**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	13700	12900	13900	12900	12000	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 229: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Luftverteilung *)	1	1	1	1	2	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	53	53	56	53	53	CHF / m^2
Abluftanlage, Bad	3	3	3	3	0	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	8	6	6	6	6	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	26	25	26	25	25	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	17	12	10	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	14	11	11	11	11	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**118**	**112**	**120**	**111**	**106**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	13400	12600	13600	12600	12000	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
**) Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.*
***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*
****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*
*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 230: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
jährlicher Unterhalt	3.94	3.76	3.83	3.76	3.60	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.13	1.04	1.05	1.03	0.82	CHF /(m^2 a)
Summe	**5.08**	**4.80**	**4.87**	**4.80**	**4.42**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 231: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
jährlicher Unterhalt	3.94	3.76	3.83	3.76	3.60	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	1.13	1.03	1.04	1.03	0.82	CHF /(m^2 a)
Summe	**5.07**	**4.79**	**4.87**	**4.79**	**4.42**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

12.2.7 Varianz der Resultate der Konzeptvarianten mit Einzelraumlüftungsgeräten

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation für die Konzeptvarianten angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge der Luftverteilung von/bis zum Gerät. Ebenfalls in der Varianz enthalten ist die Differenz zwischen einer Verrohrung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate jedoch separat dokumentiert.

Tabelle 232: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.39**	**1.39**	**1.39**	**1.67**	**1.35**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.6**	**12.6**	**12.6**	**16.5**	**11.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.32**	**1.28**	**1.28**	**1.26**	**1.16**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**98**	**93**	**100**	**92**	**87**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.70**	**4.44**	**4.50**	**4.44**	**4.11**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0140**	**0.0140**	**0.0140**	**0.0137**	**0.0125**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0015	0.0015	0.0015	0.0013	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.46	0.44	0.44	0.42	0.36	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	215	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	223	223	223	214	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	476	460	463	450	398	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.308	0.295	0.296	0.292	0.269	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.62	1.57	1.57	1.55	1.45	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 233: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.39**	**1.39**	**1.39**	**1.67**	**1.35**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.6**	**12.6**	**12.6**	**16.5**	**11.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.31**	**1.26**	**1.27**	**1.25**	**1.16**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**97**	**91**	**98**	**91**	**87**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.70**	**4.43**	**4.50**	**4.43**	**4.11**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0141**	**0.0141**	**0.0141**	**0.0138**	**0.0125**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0017	0.0017	0.0017	0.0014	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.43	0.41	0.41	0.39	0.36	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	215	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	148	148	148	143	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	468	452	454	443	398	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.305	0.293	0.293	0.290	0.269	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.61	1.56	1.56	1.54	1.45	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 234: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.31**	**2.31**	**2.31**	**2.77**	**2.31**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.6**	**15.5**	**15.2**	**19.5**	**14.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.18**	**2.13**	**2.14**	**2.11**	**1.95**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**143**	**135**	**145**	**134**	**126**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.45**	**5.15**	**5.25**	**5.15**	**4.74**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0252**	**0.0252**	**0.0252**	**0.0248**	**0.0231**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	0.0017	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.82	0.79	0.79	0.76	0.62	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	222	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	137	135	135	124	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.40	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	922	904	910	890	797	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.528	0.515	0.516	0.511	0.475	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.40	2.35	2.36	2.33	2.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 235: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.31**	**2.31**	**2.31**	**2.77**	**2.31**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.6**	**15.5**	**15.2**	**19.5**	**14.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.16**	**2.11**	**2.12**	**2.09**	**1.95**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**139**	**132**	**142**	**131**	**126**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.45**	**5.15**	**5.24**	**5.15**	**4.74**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0254**	**0.0254**	**0.0254**	**0.0249**	**0.0231**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	0.0018	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.75	0.73	0.73	0.69	0.62	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	222	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	111	110	110	105	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.40	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	905	888	894	875	797	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.523	0.510	0.511	0.506	0.475	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.38	2.32	2.33	2.30	2.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

12.2.8 Resultate Konzeptvarianten zu LK 3 für andere Wohnungsgrössen

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen für zwei weitere Wohnungsgrössen durchgeführt. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate dokumentiert. Auch in dieser Resultatdarstellung werden die Ergebnisse für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen und die Ausführung mit Rohren separat dargestellt. Typischerweise sind die Kostenkennwerte und die Indikatoren für die Umweltbelastung bei dem Gebäude mit grösseren Wohnungen (4.5-Zimmer Wohnungen) tiefer und bei dem Gebäude mit kleineren Wohnungen (2.5-Zimmer Wohnungen) höher. Bei den Kennwerten zur Betriebsenergie ist die Basisvariante (mit 3.5-Zimmer Wohnungen) am günstigsten, da diese Variante im Auslegungsfall die geringste Luftmenge pro m² Energiebezugsfläche aufweist. Siehe dazu auch die Festlegungen zur Auslegung in Kapitel 12.1 bzw. Kapitel 10.1.

Tabelle 236: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.86**	**1.86**	**2.41**	**1.78**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.7**	**14.5**	**14.4**	**20.2**	**13.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.75**	**1.68**	**1.68**	**1.65**	**1.50**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**127**	**117**	**125**	**116**	**109**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.91**	**4.49**	**4.57**	**4.49**	**4.03**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0202**	**0.0202**	**0.0202**	**0.0196**	**0.0179**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	0.0017	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.66	0.63	0.63	0.58	0.47	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	218	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	121	121	121	126	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	731	707	711	686	603	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.425	0.406	0.407	0.399	0.365	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.92	1.84	1.85	1.81	1.65	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m² Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 237: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.86**	**1.86**	**2.41**	**1.78**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.7**	**14.5**	**14.4**	**20.2**	**13.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.73**	**1.66**	**1.66**	**1.63**	**1.50**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**125**	**115**	**123**	**114**	**109**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.91**	**4.49**	**4.56**	**4.48**	**4.03**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0204**	**0.0204**	**0.0204**	**0.0198**	**0.0179**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0026	0.0026	0.0026	0.0019	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.60	0.57	0.57	0.54	0.47	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	218	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	104	104	104	106	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	715	691	695	674	603	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.420	0.401	0.402	0.396	0.365	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.90	1.82	1.83	1.79	1.65	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 238: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.86**	**1.86**	**2.41**	**1.78**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.7**	**14.5**	**14.4**	**20.2**	**13.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.23**	**2.16**	**2.16**	**2.13**	**1.93**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**137**	**127**	**137**	**126**	**115**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.30**	**5.88**	**5.96**	**5.88**	**5.33**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0210**	**0.0210**	**0.0210**	**0.0204**	**0.0179**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0032	0.0032	0.0032	0.0025	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.72	0.69	0.69	0.64	0.47	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	218	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	119	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	934	909	914	889	774	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.540	0.521	0.522	0.515	0.469	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.48	2.40	2.41	2.37	2.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 239: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.86**	**1.86**	**1.86**	**2.41**	**1.78**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.7**	**14.5**	**14.4**	**20.2**	**13.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.20**	**2.13**	**2.14**	**2.10**	**1.93**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**133**	**123**	**133**	**122**	**115**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.30**	**5.87**	**5.95**	**5.87**	**5.33**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0213**	**0.0213**	**0.0213**	**0.0206**	**0.0179**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0035	0.0035	0.0035	0.0027	0.0000	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.64	0.62	0.62	0.57	0.47	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	210	218	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	103	0	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	913	889	893	871	774	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.534	0.515	0.516	0.509	0.469	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.45	2.37	2.38	2.34	2.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

12.3 Anordnung und Einfluss der Aussenluftfassung

12.3.1 Basis für die Bewertung der Aussenluftfassung

Bei Anlagen mit Einzelraumgeräten ist die Anordnung der Aussenluftdurchlässe durch die Geräte bereits weitgehend gegeben. Da die Fassade an der die Aussenluft gefasst selten gewählt werden kann wird in dieser Variantenbetrachtung insbesondere der Einfluss der Aussenluftqualität verglichen. Dies ist zum einen der Referenzfall mit Aussenluft (AUL 1), welche die Immissionsgrenzwerte der LRV einhält (in dieser Betrachtung v.A. Schwebestoffe PM 10 relevant). Als Variante wird ein Standort betrachtet, an dem die Aussenluft hohe Konzentrationen an Staub oder Feinstaub aufweist (AUL 2). Für diesen Fall ist das in den Basisannahmen angesetzte Wartungsintervall von einem Jahr nicht ausreichend. In dieser Variante wird ein Wartungsintervall von ½ Jahr angenommen.

Als weitere Variante wird die Aussenluftfassung im Fensterleibungsbereich betrachtet. Diverse Hersteller und Produktetypen erlauben solche Einbauarten als Standardlösung oder als Option. Diese Einbauart weist Vorteile bezüglich der Optik und Zugänglichkeit auf, hat aber auch Nachteile, die bei der Planung beachtet werden müssen (z.B. Einfluss des Sonnenschutzes oder die Beeinflussung durch darunterliegende Fensteröffnungen). Für die nachfolgende Analyse die folgenden 3 Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort (wie Basisvariante)
- Variante 2: AUL Fassung an der Fassade, belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung in Fensterleibung, unbelasteter Standort

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall jeweils ein Fall mit einfachem Unterhalt (gute Zugänglichkeit und Reinigbarkeit der Elemente) sowie ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen für den Unterhalt (erhöhter Aufwand) untersucht. Als Basis für die Variantenbetrachtung wird die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich (siehe Kapitel 6.4.1 bzw. Kapitel 12.2) verwendet. In Tabelle 240 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 240: Kennwerte für die Berechnung der Varianten zur Aussenluftfassung des LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Energiebezugsfläche	904	904	904	[m2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	720	720	[m2]
Anzahl Wohnungen in Berechnung	8	8	8	[Stk.]
Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pa, q_{a50}	0.6	0.6	0.6	[m^3/(h m^2)]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	90	90	90	[m3/h]
Badabluft pro WNG (ABL) *)	50	50	50	[m3/h]
Anzahl Einzelraumgeräte pro WNG	3	3	3	[Stk.]
Aussenluftqualität	AUL 1	AUL 2	AUL 1	[Stk.]
Wartungsintervall **)	1	0.5	1	[Jahre]
mittlerer Druckverlust über ZUL Filter	80	100	80	Pa ***)
Geräteklassifizierung für Empfindlichkeit des Luftstroms	S2	S2	S2	****)

*) Badabluft mit bedarfsgesteuertem Betrieb (über Lichtschalter), 1 ALD für Nachströmung von Ersatzluft

**) Wartungsintervall für Filterwechsel und Reinigung (v.A. AUL Gitter) durch Fachfirma

***) Basiswert in Betrachtung, Spannbreite in Variantenbetrachtung +/- 20 Pa

****) Gemäss SN EN 13141-8:2014; Spannbreite in Variantenbetrachtung S1 bzw. S3

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei Berechnung der Badabluft erfolgt eine Unterscheidung zwischen einer Verteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 241 dargestellt.

Tabelle 241: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte Varianten der Aussenluftfassung des LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Masse Lüftungsgeräte *)	0.40	0.40	0.40	kg/m^2
Masse Abluftanlage **)	0.02	0.02	0.02	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.05	0.05	0.15	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	0.15	0.15	0.15	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**0.61**	**0.61**	**0.72**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.10	0.10	0.10	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**0.56**	**0.56**	**0.67**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG (wenn vorh.) mit PE-Wellrohren; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht inkl. Steuerung*

***) Gerätegewicht Abluftanlage (excl. Kanäle)*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, etc. (sofern nicht bereits im Gerät berücksichtigt)*

12.3.2 Unterhaltskosten zur Variantenbewertung der Aussenluftfassung

Da sich der Aufwand für den Unterhalt bei den untersuchten Varianten deutlich unterscheiden kann, wird dieser Punkt separat dokumentiert. In der Betrachtung wird für den ungünstigen Fall ein deutlich erhöhter Zeitaufwand pro Gerät (je nach Variante und Tätigkeit +25…+100%) angenommen, der sich u.A. durch einen erschwerten Zugang zu dem zu reinigenden Aussenluftgitter ergeben kann. In der Betrachtung wird jedoch davon ausgegangen, dass das Aussenluftgitter von innen oder über Wohnungsfenster etc. zugänglich ist (kein Einsatz eines Skyworkers o.ä. erforderlich). Für die Betrachtung mit günstigen Voraussetzungen wird von einem geringeren Zeitaufwand pro Gerät (-20%) ausgegangen. Die Resultate zu dem erwarteten Bereich der Unterhaltskosten sind in Tabelle 242 (günstiger Fall) und Tabelle 243 (ungünstiger Fall) dargestellt.

Tabelle 242: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 3, günstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	3.69	7.38	3.52	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt **)	1.03	1.03	1.03	CHF /(m^2 a)
Summe	**4.72**	**8.41**	**4.55**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, Berechnung für Badabluft mit Wickelfalzrohren

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

Tabelle 243: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 3, ungünstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	5.35	8.85	5.00	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt **)	1.55	1.55	1.31	CHF /(m^2 a)
Summe	**6.90**	**10.40**	**6.31**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, Berechnung für Badabluft mit Wickelfalzrohren

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

12.3.3 Weitere Resultate zur Variantenbewertung der Aussenluftfassung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den betrachteten Varianten der Aussenluftfassung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation der Platzierung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge des Aussenluftanschlusses bis zum Lüftungsgerät. Im Weiteren werden erforderliche Dämmungen bzw. damit verbundene Wärmeverluste einbezogen.

Tabelle 244: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**1.80**	**1.97**	**1.88**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.1**	**15.8**	**14.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.81**	**2.19**	**1.98**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**121**	**121**	**134**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**9.01**	**4.82**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.61	0.61	0.72	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	230	220	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.32	0.31	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	755	843	785	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.440	0.537	0.483	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.00	2.43	2.18	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 245: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.80**	**1.97**	**1.88**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.1**	**15.8**	**14.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.79**	**2.17**	**1.97**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**118**	**131**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**9.01**	**4.81**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.56	0.67	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	230	220	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.32	0.31	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	741	829	772	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.436	0.533	0.479	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.98	2.41	2.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 246: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.64**	**1.80**	**1.72**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**13.0**	**14.4**	**13.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.75**	**2.12**	**1.84**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**114**	**114**	**121**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.72**	**8.41**	**4.55**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.58	0.58	0.64	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	190	210	200	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.26	0.29	0.28	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	729	817	745	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.426	0.523	0.448	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.94	2.37	2.03	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 247: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.64**	**1.80**	**1.72**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**13.0**	**14.4**	**13.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.73**	**2.10**	**1.82**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**112**	**112**	**118**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.72**	**8.41**	**4.55**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.53	0.53	0.59	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	190	210	200	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.26	0.29	0.28	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	716	803	732	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.421	0.519	0.444	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.92	2.35	2.01	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 248: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.97**	**2.13**	**2.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.8**	**19.2**	**15.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.90**	**2.27**	**2.15**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**128**	**128**	**145**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.91**	**10.41**	**6.31**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.64	0.64	0.80	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	230	250	240	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.32	0.35	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	787	875	830	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.460	0.557	0.522	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.10	2.53	2.35	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 249: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.97**	**2.13**	**2.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.8**	**19.2**	**15.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.88**	**2.26**	**2.13**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**125**	**125**	**142**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**6.90**	**10.40**	**6.31**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.59	0.59	0.74	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	230	250	240	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.32	0.35	0.33	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	773	861	816	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.456	0.553	0.518	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.08	2.51	2.33	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

12.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

12.4.1 Basis für die Varianten der Steuerung bzw. Regelung

Die Art der Anlagensteuerung bzw. Regelung beeinflusst die effektive Luftmenge in der Wohnung und bestimmt damit wie bedarfsgerecht die Lüftung funktioniert. Damit hat dieser Faktor einen zentralen Einfluss auf die Betriebsenergie und dort insbesondere auf den Stromverbrauch. Für alle betrachteten Varianten als Basis die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich (siehe Kapitel 6.4.1 bzw. Kapitel 12.2) verwendet. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 3 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Stufenschalter je Gerät (3-stufig), Referenz
- Variante 2: Bedarfsgerecht je Wohnung (CO_2-/ Feuchteregelung je Gerät)
- Variante 3: Konstantbetrieb (Nennluftmenge, Badabluft über Lichtschalter)

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich gemäss Kapitel 6.4.1 (bzw. Kapitel 12.2) verwendet (Badabluft intermittierend, mit ALD für Nachströmung der Ersatzluft). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Die Variante basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sich nur geringe Differenzen (nur Badabluft betroffen). Zur Vollständigkeit und zum Vergleich werden diese Werte unterschieden und hier auch dokumentiert.

12.4.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 3 untersuchten Varianten sind in Tabelle 250 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten keine Unterschiede zwischen einer Ausführung der Badabluft mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden hier nur die Resultate für Wickelfalzrohre aufgeführt.

Tabelle 250: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Temperaturänderungsgrad *)	65%	65%	65%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	0.0	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	3.0	2.3	3.5	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**14.1**	**11.5**	**15.9**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Druckempfindlichkeit der Geräte etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

12.4.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen im Betrieb. Daraus ergeben sich im Betrieb unterschiedliche Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Als Basisannahme für die Varianten werden die Faktoren aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018) angewendet (CRTL-Faktor). Daraus wird eine mittlere Luftmenge im Betrieb und damit der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt. Für die 3 Varianten zur Art der Steuerung und Regelung der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 251 dargestellt.

Tabelle 251: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Druckregelung ABL	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	65%	100%	% der Nenn-LM
Strombedarf, Einzelraumgeräte	1.71	1.01	2.43	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, ABL Bad Kanäle	**1.80**	**1.08**	**2.53**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, ABL Bad Rohre	**1.80**	**1.08**	**2.53**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt.*

12.4.4 Investitionskosten für die Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Investitionskosten für die Steurer- und Regelvarianten unterscheiden sich vor allem bezüglich der Komponenten bzw. Optionen die im Einzelraumgerät eingebaut werden. Der Basisfall (Variante 1) und die Variante mit CO_2-Regelung (Variante 2) beinhalten daher die jeweiligen Optionen. In Variante 3 wird das Gerät konstant betrieben, hat aber bei den meisten Anbietern den gleichen Standard wie in der Basisvariante. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 252 für die Luftverteilung der Badabluft mit Wickelfalzrohren dargestellt (übliche Ausführung). Die Resultate für eine Ausführung mit Kanälen unterscheidet sich nur in der Position Luftverteilung und Transport, Montage leicht und wird daher nicht separat aufgeführt.

Tabelle 252: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK3 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Luftverteilung *)	1	1	1	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte (Einzelraum)	53	61	53	CHF / m^2
Abluftanlage, Bad	3	4	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	8	8	8	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	26	30	26	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	14	12	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	14	14	14	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**118**	**132**	**118**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	13400	14900	13400	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit Nebenanschluss) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

12.4.5 Weitere Resultate der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Luftmengenregelung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie der Faktor der die mittlere Luftmenge im Betrieb bestimmt. Dieser Wert ist bei der Variante 1 und 2 stark von den Nutzern abhängig (Abwesenheiten, Art der Nutzung des Stufenschalters). Tabelle 253 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 253: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Badabluft **)
Mittelwert Betriebsluftmenge; Basisfall *)	85%	65%	100%	3 h/d
Mittelwert Betriebsluftmenge; günstiger Fall *)	75%	60%	100%	2 h/d
Mittelwert Betriebsluftmenge; ungünstiger Fall *)	95%	70%	100%	4 h/d

*) rechnerischer mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie
Wert in % der Nennluftmenge

**) Mittlere Betriebszeit der Badabluft (bei Var 2 zusätzlich mit Feuchteregelung)

Tabelle 254: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.80**	**1.08**	**2.53**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.1**	**11.5**	**15.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.81**	**1.83**	**1.81**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**121**	**135**	**121**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**5.34**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.61	0.62	0.61	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	755	765	755	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.440	0.445	0.440	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.00	2.02	2.00	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 255: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.80**	**1.08**	**2.53**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.1**	**11.5**	**15.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.79**	**1.81**	**1.79**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**132**	**118**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**5.33**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.57	0.56	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	741	752	741	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.436	0.441	0.436	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.98	2.00	1.98	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 256: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.39**	**0.92**	**2.49**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.6**	**10.7**	**15.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.81**	**1.82**	**1.81**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**121**	**129**	**121**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**5.25**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.61	0.61	0.61	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	755	759	755	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.440	0.442	0.440	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.00	2.01	2.00	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 257: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.39**	**0.92**	**2.49**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.6**	**10.7**	**15.5**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.79**	**1.80**	**1.79**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**127**	**118**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**5.24**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.56	0.56	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	741	745	741	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.436	0.438	0.436	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.98	1.99	1.98	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 258: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.30**	**1.25**	**2.56**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.6**	**12.3**	**16.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.82**	**1.85**	**1.81**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**125**	**142**	**121**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.08**	**5.43**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0199**	**0.0199**	**0.0199**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0021	0.0021	0.0021	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.61	0.63	0.61	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	125	125	125	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	760	772	755	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.441	0.448	0.440	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.01	2.04	2.00	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 259: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK3, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.30**	**1.25**	**2.56**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**15.6**	**12.3**	**16.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.80**	**1.83**	**1.79**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**123**	**140**	**118**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**5.42**	**5.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0201**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0178	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.57	0.56	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	210	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	106	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	747	758	741	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.437	0.443	0.436	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.99	2.02	1.98	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

12.5 Art der Wärmerückgewinnung

Die Art der Wärmerückgewinnung beeinflusst die Höhe der Wärme- und Feuchterückgewinnung und damit zusammenhängenden Faktoren wie Betriebsenergie, Raumluftfeuchte und in geringerem Masse die Investitionen. Insbesondere für die Raumluftfeuchte im Winter sind Wärmeübertrager vorteilhaft, welche eine Feuchterückgewinnung aufweisen.

Für alle betrachteten Varianten wird von einem Anlagenkonzept mit Einzelraumlüftungsgeräten und einer bedarfsabhängig betriebenen Badabluft. Folgende 3 Varianten wurden unterschieden:

- Variante 1: Basissystem, Geräte mit Enthalpie-Plattenübertrager
- Variante 2: Geräte mit Plattenübertrager ohne Feuchteübertragung
- Variante 3: Geräte mit regenerativem Wärmespeicher (Pendellüfter)

Als Basis für die Variantenbetrachtung wird die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich (siehe Kapitel 6.4.1 bzw. Kapitel 12.2) verwendet. In den entsprechenden Kapiteln ist diese Variante genauer spezifiziert. Sie basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Bei Variante 3 wird ein Konzept mit je 2 Pendellüfter pro Raum (alternierend im Zuluftbetrieb) eingesetzt um einen gleichmässigen Luftaustausch ohne Geruchsübertragung z.B. aus der Küche in die Schlafzimmer zu erreichen.

12.5.1 Betriebsenergiebedarf Wärme, Variation der Art der Wärmerückgewinnung

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten primär aufgrund des unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsgrades. In diesem Wert sind neben dem Unterschied des Temperauränderungsgrades gemäss den Prüfnormen auch Abzüge für Leckagen/ Wärmeeinträge sowie Zuschläge für die Einsparung durch die Feuchterückgewinnung einbezogen. Zudem wird, wo relevant der zusätzliche Wärmebedarf für die Enteisung (durch typischerweise angewendete Strategie der Zuluftreduktion) einbezogen. Als Basisannahme für die Enteisung wurde ein stufenloses Reduzieren der Zuluft angenommen (gesteuert über die Temperatur bei der Aussenluftansaugung im Gerät). Für Variante 1 (mit Feuchteübertragung) und Variante 3 (Pendellüfter) wird im Basisfall angenommen, dass keine relevante Enteisung erforderlich ist. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 3 untersuchten Varianten sind in Tabelle 260 dokumentiert.

Tabelle 260: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK3

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Einheit**
Temperaturänderungsgrad *)	65%	65%	60%	%
Wärmebedarf, Enteisung **)	0.0	1.5	0.0	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf, Heizregister ***)	3.0	3.0	4.2	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{, Rohre}$	**14.1**	**15.6**	**15.7**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad der Wärmerückgewinnung inkl. Reduktion durch Leckagen, Druckempfindlichkeit der Geräte etc.*

***) Anteil am Wärmebedarf für Enteisung (kann bei Enteisungsfunktion mit elektrischen Vorwärmer auch negativen Wert annehmen)*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen*

12.5.2 Betriebsenergiebedarf Strom, Variation der Art der Wärmerückgewinnung

Die Veränderung des Strombedarfs der Lüftungsgeräte für die verschiedenen Varianten der Wärmerückgewinnung unterscheidet sich primär aufgrund der Geräteeffizienz und durch unterschiedliche Druckverluste (in Variationsbreite «günstig» / «ungünstig» einbezogen), die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen. Die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf für die untersuchten Varianten (Basiswerte) sind in Tabelle 261 dargestellt.

Tabelle 261: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Wärmerückgewinnung LK3

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	85%	85%	85%	% der Nenn-LM
Strombedarf, Einzelraumgeräte	1.71	1.71	1.34	kWh /(m^2 a)
Strombedarf, Enteisung **)	0.00	0.00	0.00	kWh /(m^2 a)
Strombedarf gesamt, ABL Bad Kanäle	**1.80**	**1.80**	**1.43**	**kWh /(m^2 a)**
Strombedarf gesamt, ABL Bad Rohre	**1.80**	**1.80**	**1.43**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

***) nur relevant, wenn Enteisungsfunktion der WRG elektrisch erfolgt (bei Einzelraumlüftungsgeräten unüblich)*

12.5.3 Weitere Resultate der Varianten zur Wärmerückgewinnung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Wärmerückgewinnung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der der Wirkung des Wärmeübertragers angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden nur die Eigenschaften der Geräte (Temperaturänderungsgrad, Druckverlust, Effizienz der Ventilatoren und Kosten). In der nachfolgenden Auswertung werden die Werte nur für eine Ausführung der Badabluft mit Wickelfalzrohren dargestellt, da dies die in der Praxis üblichere Ausführung darstellt.

Tabelle 262: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**1.80**	**1.80**	**1.43**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**14.1**	**15.6**	**15.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.79**	**1.79**	**1.64**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**118**	**108**	**112**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.07**	**4.91**	**4.76**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0201**	**0.0201**	**0.0177**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0178	0.0178	0.0154	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.56	0.48	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	210	210	140	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	96	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.29	0.29	0.23	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	741	741	673	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.436	0.436	0.397	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.98	1.98	1.81	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 263: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3, mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.29**	**1.29**	**1.06**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**12.7**	**13.1**	**14.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.63**	**1.62**	**1.51**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**103**	**95**	**100**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.76**	**4.64**	**4.51**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0148**	**0.0148**	**0.0162**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0125	0.0125	0.0139	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.48	0.48	0.42	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	190	190	130	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	96	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.20	0.20	0.16	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	669	666	615	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.397	0.394	0.366	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.80	1.79	1.67	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

Tabelle 264: Resultate mit ungünstigen Annahmen der Varianten der Wärmerückgewinnung im LK3; mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.80	0.80	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**2.49**	**2.49**	**1.93**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**18.5**	**19.3**	**20.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.12**	**2.14**	**1.90**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**133**	**120**	**123**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**5.38**	**5.19**	**5.01**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0254**	**0.0254**	**0.0192**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0023	0.0023	0.0023	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0231	0.0231	0.0169	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.72	0.73	0.61	kg/m^2
Druckverlust, Einzelraumgerät ****)	230	230	150	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	106	106	96	Pa
spez. Leistung Einzelraumgerät ****)	0.41	0.41	0.31	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	886	893	789	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.515	0.519	0.461	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.34	2.36	2.09	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Raumbedarf der Einzelraumgeräte basierend auf typischer Gerätedimensionen (Aufputz, inkl. Raumbedarf für Revisionszugang).

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Lüftungsgeräte sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (Einzelraumgerät: AUL-ZUL; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Einzelraumgerät eff. bei Nennluftmenge

13 Anhang zu LK4: Abluftanlage für Dauerbetrieb

13.1 Basisannahmen für die Berechnungen

Für die Berechnungen der Standardfälle wurde wie beim Lüftungskonzept LK1 von einem Gebäude mit 4 Obergeschossen und insgesamt 16 Wohnungen ausgegangen. Als typische Wohnungsgrösse wurde ein Wohnungsgrundriss mit 3.5 Zimmern und 90 m^2 Wohnfläche gewählt.

Neben dem Basisfall (3.5-Zimmer Wohnungen) wurden Variantenberechnungen mit Gebäuden mit 2.5- und 4.5-Zimmer Wohnungen durchgeführt, da diese ebenfalls sehr häufig in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind. Die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte und die Auslegung der Nennluftmengen sind identisch wie beim Lüftungskonzept LK1 (siehe Tabelle 71). Dabei wird beim Lüftungskonzept 4 als Basis die Auslegung mit Kaskade angewendet.

Das gewählte Basisgebäude (mit 3.5 Zimmer Wohnungen) besitzt eine Energiebezugsfläche von 1808 m^2 und weist eine einem typischen Neubau entsprechende Gebäudehülle auf (Luftdichtheit entsprechend dem Zielwert für Neubauten nach SIA 180: 2014). Der auf Basis der Standardnutzung für das Basisgebäude berechnete Wärmebedarf ist bis auf den Unterschied im Lüftungskonzept (z.B. Wärmerückgewinnungsgrad) identisch mit der Berechnung für das Lüftungskonzept LK1 (siehe, Tabelle 72).

Für den Lüftungsbetrieb werden die Lüftungsverluste in Abhängigkeit vom effektiven Betriebsfall bestimmt. Für den Standardfall wird für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste von einem mittleren Betrieb mit 100% der Nennluftmenge ausgegangen (Dauerbetrieb). Auch wurde für die Raumtemperatur ein Wert von 22°C angesetzt, da der Wert von 20°C gemäss Standardnutzung in SIA 380/1:2016 nicht dem heute üblichen Gebäudebetrieb entspricht. Im Weiteren beinhaltet die Berechnung auch den Wärmebedarf durch Verluste durch Wärmebrücken die durch den Einbau der Aussenluftdurchlässe. Da bei den Aussenluftdurchlässen im LK4 nicht erwärmte Aussenluft in den Raum eintritt wird der Wärmebedarf ausgewiesen, der über ein Heizregister erforderlich wäre, um eine Zulufttemperatur von 18 C° nach dem Gerät sicherzustellen. Dieser Wärmebedarf muss bei diesem Lüftungskonzept über die normale Raumheizung erbracht werden.

Der Strombedarf für die Lüftungsanlage unterscheidet sich je nach Variante aufgrund der unterschiedlichen Druckverluste, die sich aus dem Leitungsnetz ergeben. Dabei basieren die verwendeten Werte für eine typische Anlage mit guter Auslegung. Für den Druckverlust über dem Wärmtauscher in der Wärmepumpe wird ein Wert von 50 Pa eingesetzt[59]. Tabelle 265 zeigt die für die Berechnung verwendeten Druckverlustwerte. Für Aussenluftdurchlässe wird von einer Auslegung auf 4Pa Druckverlust ausgegangen. Dabei werden pro Zimmer zwei Aussenluftdurchlässe eingerechnet um den erforderlichen Zuluftvolumenstrom von 30m^3/h zu erreichen[60]. Für die Dimensionierung (Materialisierung) wurde eine Auslegung entsprechend den Anforderungen an die Luftgeschwindigkeit der MuKEn angewendet. Für die Luftverteilung in der Wohnung (z.B. bei Nebenanschlüssen) wird eine Luftgeschwindigkeit von max. 2 m/s angesetzt.

[59] Basiswert aus typischen Herstellerangaben.

[60] Hintergrund: Typische Aussenluftdurchlässe sind weisen bei 30 m^3/h Druckverluste von 8-10 Pa auf. Um den Unterdruck in der Wohnung zu minimieren und damit die zusätzliche Infiltrierte Luftmenge in Grenzen zu halten, wird eine Auslegung mit zwei Aussenluftdurchlässen pro Zimmer angewendet.

Tabelle 265: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile in Abluftanlagen (LK4)

Bauteil	Gewählt ZUL	Gewählt ABL	Exponent *)	Niedrig	Hoch
Zuluftkanalsystem	nicht vorhanden				
Abluftkanalsystem	berechnet				
Lufterhitzer (nicht vorhanden)	0	0	1.5		
Wärmetauscher für Abwärmenutzung mit WP	0	50	1.5	30 ****)	70 ****)
Luftfilter M5-F7 (Enddruck) **)	2	60	1.25		
Schalldämpfer ***)	0	30	2		
Wohnungsverteiler ***)	0	0	1.5		
Luftdurchlass ZUL / ABL	1	10	1.5		
Lufteintritt -Austritt; AUL / FOL	1	20	1.5		
Kühler (wenn vorh)	nicht einbezogen				
Befeuchter (wenn vorh)	nicht einbezogen				

*) verwendeter Exponentialfaktor für Umrechung Druckverluste im Teillastbetrieb
**) Für ALD gilt für gesamter ALD ein Auslegungswert von 4 Pa.
***) Bei Konzepten mit Aussenluftdurchlässen so nicht vorhanden
****) Bei Variation der Wärmerückgewinnung verwendete Spannbreite der Werte

13.2 Konzeptvarianten zu Abluftanlagen für Dauerbetrieb

13.2.1 Basis der Konzeptvarianten der Abluftanlagen

Die hier untersuchten Konzeptvarianten bilden verschiedene Varianten der Aufstellung der Abluftanlage und Abluftwärmepumpe ab. Diese unterscheiden sich in Material wie auch der Energiebedarf (v.A. Strom). Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 214 dokumentiert. Dafür wurden die folgenden 5 Varianten zur Aufstellung der Abluftanlage und Abluftwärmepumpe verglichen:

- Variante 1: Ein Gerät pro Steigzone auf dem Dach
- Variante 2: Ein Gerät auf dem Dach
- Variante 3: Ein Gerät pro Steigzone im UG
- Variante 4: Ein Gerät im UG

Die Berechnung erfolgt in den Varianten 1 und 3 jeweils für ein Hausteil (1 Steigzone) mit 8 Wohnungen und in Varianten 2 und 4 jeweils für das gesamte Haus (2 Steigzonen) mit 16 Wohnungen. Die spezifischen Kennwerte sind daher auch auf die jeweilige Wohnungsanzahl bezogen. Da von einem symmetrischen Hausgrundriss ausgegangen wird, sind die berechneten Daten auch für das Gesamtgebäude (mit total 16 Wohnungen) gültig.

Da sich bei der Materialisierung auch Differenzen durch die Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung der Badabluft mit Kanälen und Rundrohren (übliche Variante) ergeben, werden diese Werte bei den Resultaten in dieser Variantenbetrachtung unterschieden. In Tabelle 266 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 266: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Energiebezugsfläche	904	1808	904	1808	[m^2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	1440	720	1440	[m^2]
Anzahl Wohnungen	8	16	8	16	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	60	60	60	60	[m^3/h]
Gesamtzuluftmenge, Nennbetrieb	480	960	480	960	[m^3/h]
Gesamtabluftmenge, Nennbetrieb	696	1392	696	1392	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	1	2	1	2	[Stk.]
Anzahl Etagen	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	46	126	70	160	[m]
Rohrlänge in Wohnung *)	48	96	48	96	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	6	6	6	6	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)

**) Ab Wohnungsverteiler (ZUL + ABL)

***) Zuluft und Abluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Badabluft mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 267 dargestellt.

Tabelle 267: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Masse Lüftungsgeräte *)	0.16	0.10	0.12	0.09	kg/m^2
Masse Aussenluftdurchlässe **)	0.04	0.04	0.04	0.04	kg/m^2
Masse diverse Elemente **)	0.05	0.06	0.05	0.06	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	0.24	0.33	0.56	0.59	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**0.49**	**0.53**	**0.77**	**0.77**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.17	0.23	0.32	0.34	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**0.42**	**0.43**	**0.52**	**0.52**	**kg/m^2**

Verteilung in WNG mit PE-Wellrohren; Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Gerätegewicht Abluft-Wärmepumpe und Abluftventilator inklusive Schalldämpfer*

***) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, etc. (sofern nicht bereits im Gerät oder Aussenluftdurchlass berücksichtigt)*

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die Druckverluste und die elektrische Leistung der Ventilatoren ermittelt werden. Diese Resultate für die Nennluftmenge sind in Tabelle 268 dargestellt.

Tabelle 268: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Druckverlust $_{\text{ALD intern, Filter}}$	2	2	2	2	Pa
Druckverlust $_{\text{Abluftanlage intern, ABL-FOL}}$	140	140	140	140	Pa
Druckverlust $_{\text{ALD, Gitter etc.}}$	2	2	2	2	Pa
Druckverlust $_{\text{ALD, Gesamt}}$	4	4	4	4	Pa
spez. Leistung$_{\text{, "ALD"}}$ *)	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**W/(m^3/h)**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Kanal}}$	68	114	115	198	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Kanal}}$	208	254	255	338	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Kanal}}$	**0.21**	**0.26**	**0.26**	**0.34**	**W/(m^3/h)**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Rohr}}$	49	69	70	107	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Rohr}}$	189	209	210	247	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Rohr}}$	**0.19**	**0.21**	**0.21**	**0.25**	**W/(m^3/h)**

Bezug der spezifischen elektrischen Leistung: pro m^3/h Nennluftmenge (ZUL). Ventilatorwirkungsgrad des Abluftluftventilators: 40%

Berechnungsbasis: Auslegung der Luftgeschwindigkeiten: 100% MuKEn-Anforderung (Ausnahme innerhalb Wohnung: max. 2 m/s)

Basis Luftgeschwindigkeit in Steigzonen: Auslegung auf ungünstigstes Stockwerk (Querschnitte über Höhe identisch)

**) Rechnerischer Anteil des Leistungsbedarfs infolge des Druckverlustes über den Aussenluftdurchlass.*

13.2.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Konzeptvarianten für Abluftanlagen

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste durch Infiltration und Wärmebrücken) unterscheidet sich in den verschiedenen Konzeptvarianten aufgrund der Wärmeverluste in der Luftführung nur leicht. Die berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 4 untersuchten Varianten sind in Tabelle 269 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten nur sehr keine Differenzen durch die Kanaloberflächen der Abluft zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind werden diese in späteren Vergleichen nicht mehr unterschieden.

Tabelle 269: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Abwärmenutzungsgrad *)	44%	44%	43%	44%	%
Wärmebedarf gesamt$_{\text{, Kanäle}}$	**24.0**	**24.4**	**24.8**	**24.4**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{\text{, Rohre}}$	**24.0**	**24.4**	**24.8**	**24.4**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Anteil der Wärme in der FOL der mit einer Abwärmenutzung genutzt wird (100% = $T_{\text{nach AWN}} = T_{\text{AUL}}$)*

13.2.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten für Abluftanlagen

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die unterschiedlichen Konzeptvarianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Druckverluste, die zu einem Mehr- oder Minderbedarf an Lüftungsstrom führen.

Für die 4 Konzeptvarianten für Abluftanlagen wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 270 dargestellt.

Tabelle 270: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten der Abluftanlagen (LK4)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	100%	100%	100%	100%	% der Nenn-LM
Strombedarf gesamt, ABL Kanäle	**0.99**	**1.20**	**1.21**	**1.59**	**kWh /(m² a)**
Strombedarf gesamt, ABL Rohre	**0.90**	**0.99**	**0.99**	**1.17**	**kWh /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

13.2.4 Ökobilanzdaten der Konzeptvarianten für Abluftanlagen

Aus den ermittelten Materialmengen und den zugehörigen Ökobilanzdaten werden die Belastungen für die Herstellung und Entsorgung der verwendeten Materialien berechnet. Als Basis dienen die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert). Die Resultate werden als Belastungen pro m² Energiebezugsfläche und Jahr angegeben. Für diese Umrechnung werden die in Tabelle 4 dargestellten Lebensdauerannahmen verwendet.

Neben den Materialien die für die Lüftungsanlage (Geräte, Kanäle etc.) benötigt werden sind je nach Variante auch zusätzliche Materialien der Gewerke Elektro und Baumeister zu berücksichtigen, um einen korrekten Vergleich zu ermöglichen. In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für den Unterhalt (Material, Transporte) separat ausgewiesen.

Für die 4 Konzeptvarianten für Abluftanlagen wurden die spezifischen Kennwerte für vier verschiedene Indikatoren bestimmt und dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen einer Ausführung der Verrohrung der Badabluft mit Kanälen bzw. mit Rundrohren. Diese werden jeweils in separaten Tabellen aufgeführt.

Die Resultate für die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 13) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 271 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 272.

Tabelle 271: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Vertikale Steigzone	41	41	41	41	UBP /(m² a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	11	45	91	101	UBP /(m² a)
Horizontal zu Wohnung	21	21	21	21	UBP /(m² a)
innerhalb Wohnung	3	3	3	3	UBP /(m² a)
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	198	127	150	104	UBP /(m² a)
Aussenluftdurchlässe (ALD)	21	21	21	21	UBP /(m² a)
Diverse Elemente	199	207	199	207	UBP /(m² a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	37	18	17	8	UBP /(m² a)
Bauliches Schächte *)	19	19	37	31	UBP /(m² a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	UBP /(m² a)
Unterhalt und Wartung	92	71	95	73	UBP /(m² a)
Summe	**643**	**573**	**674**	**609**	**UBP /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien

Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.

**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*

***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 272: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	30	30	30	30	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	8	31	63	67	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	14	14	14	14	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	3	3	3	3	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	198	127	150	104	UBP /(m^2 a)
Aussenluftdurchlässe (ALD)	21	21	21	21	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	199	207	199	207	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	37	18	17	8	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	19	19	37	31	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	92	71	95	73	UBP /(m^2 a)
Summe	**622**	**542**	**629**	**558**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der gesamten Primärenergie (Summe aus nichterneuerbar und erneuerbar) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 273 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 273.

Tabelle 273: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.06	0.06	0.06	0.06	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.02	0.07	0.15	0.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.03	0.03	0.03	0.03	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.31	0.20	0.24	0.16	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.06	0.06	0.06	0.06	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.46	0.47	0.46	0.47	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.13	0.06	0.06	0.03	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.06	0.05	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.43	0.34	0.45	0.35	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)
Summe	**1.55**	**1.35**	**1.57**	**1.39**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 274: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Vertikale Steigzone	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.01	0.05	0.10	0.10	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.31	0.20	0.24	0.16	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.06	0.06	0.06	0.06	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.46	0.47	0.46	0.47	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.13	0.06	0.06	0.03	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.06	0.05	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.43	0.34	0.45	0.35	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**1.52**	**1.31**	**1.51**	**1.31**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie (Graue Energie) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 275 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 276.

Tabelle 275: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK4, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Vertikale Steigzone	0.05	0.05	0.05	0.05	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.02	0.07	0.14	0.15	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.03	0.03	0.03	0.03	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.28	0.18	0.21	0.15	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.06	0.06	0.06	0.06	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.41	0.42	0.41	0.42	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.12	0.06	0.06	0.03	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.06	0.05	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.37	0.29	0.39	0.30	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**1.40**	**1.21**	**1.42**	**1.25**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 276: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK4, mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.01	0.05	0.10	0.10	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.28	0.18	0.21	0.15	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.06	0.06	0.06	0.06	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.41	0.42	0.41	0.42	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.12	0.06	0.06	0.03	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.03	0.03	0.06	0.05	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.37	0.29	0.39	0.30	$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$
Summe	**1.37**	**1.17**	**1.36**	**1.18**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Die Resultate für die Bewertung des Treibhausgaspotentials sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 277 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 278.

Tabelle 277: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK4, Badabluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.012	0.012	0.012	0.012	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.004	0.016	0.032	0.034	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Horizontal zu Wohnung	0.006	0.006	0.006	0.006	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
innerhalb Wohnung	0.005	0.005	0.005	0.005	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.103	0.066	0.078	0.054	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.014	0.014	0.014	0.014	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Diverse Elemente	0.099	0.102	0.099	0.102	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.028	0.014	0.013	0.006	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Bauliches Schächte *)	0.007	0.007	0.013	0.011	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Unterhalt und Wartung	0.092	0.073	0.096	0.075	$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$
Summe	**0.371**	**0.316**	**0.368**	**0.320**	**$kg_{CO2-eq}/(m^2 a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

Tabelle 278: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK4, Badabluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Vertikale Steigzone	0.009	0.009	0.009	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Lüftungsgerät	0.003	0.012	0.023	0.023	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.004	0.004	0.004	0.004	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.005	0.005	0.005	0.005	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	0.103	0.066	0.078	0.054	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Aussenluftdurchlässe (ALD)	0.014	0.014	0.014	0.014	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.099	0.102	0.099	0.102	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.028	0.014	0.013	0.006	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.007	0.007	0.013	0.011	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.092	0.073	0.096	0.075	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.364**	**0.306**	**0.353**	**0.303**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (nur Variantenberechnung)*

13.2.5 Raumbedarf für Schächte und Geräte der Konzeptvarianten für LK 4

Aus den ermittelten Dimensionen der Lüftungskanäle und -Rohre der Abluft kann der erforderliche Schachtflächenbedarf und daraus den Raumbedarf für die Schächte ermittelt werden. Auch für die Aufstellung der Lüftungsgeräte wird Raum benötigt. Wenn die Anlagen auf dem Dach stehen wurde der Raumbedarf nicht in die Berechnung mit einbezogen. Für die Aussenluftdurchlässe wurde ein Raumbedarf für Servicearbeiten ermittelt und in den Kennwert einbezogen. Der für die Geräte ermittelte Raumbedarf kann daher im Normalfall anders genutzt werden muss aber für Servicearbeiten freigehalten werden können[61]. Für die 4 Varianten zum Standortkonzept der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Raumbedarf bestimmt und in Tabelle 279 dargestellt.

Tabelle 279: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK4 (Abluftanlagen)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Raumbedarf $_{\text{Abluft Ventilator und WP}}$ *)	0.0000	0.0000	0.0434	0.0268	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Aussenluftdurchlässe}}$ **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Kanal}}$	0.0028	0.0028	0.0106	0.0073	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Kanal}}$	**0.0099**	**0.0099**	**0.0611**	**0.0412**	**m^3/m^2**
Raumbedarf $_{\text{Schächte, Rohr}}$	0.0031	0.0031	0.0114	0.0079	m^3/m^2
Raumbedarf $_{\text{Gesamt, Rohr}}$	**0.0102**	**0.0102**	**0.0618**	**0.0418**	**m^3/m^2**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
Für den Raumbedarf in den Schächten wird die Dämmung (wenn vorhanden) berücksichtigt.
**) Basis: Abluftventilator / WP: Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis SIA 382/1: 2014*
***) Basis: Einbezug des Raumbedarfs für Revisionszugang am ALD (0.2 m^2 pro ALD eingesetzt)*

[61] Der ermittelte Raumbedarf ist vor allem für einen ungehinderten Zugang für Servicearbeiten (jährliche Reinigung / Filterwechsel) notwendig und muss bei der Nutzung berücksichtigt werden. Er wurde daher in der Analyse einbezogen.

13.2.6 Kosten für die Anlagen der Konzeptvarianten für Abluftanlagen (LK 4)

Aus den ermittelten Materialmengen, Gerätezahl und Gerätegrössen werden mittels Kostenkurven und Kostenkennzahlen die Investitionskosten berechnet. Als Basis für diese Kostendaten dienten verfügbare Projektdaten, Herstellerpreislisten sowie eigene Kostenkennzahlen und Annahmen.

Die Kosten für die Dunstabzugshauben (Umluft) wurden in die Position «diverse Elemente» einbezogen. Es wurde eine typische Abzugshaube für den normalen Wohnungsbau eingesetzt, die aber eine gute Energieeffizienz aufweist (kein hochpreisiges Produkt).

Neben dem Gewerk Lüftung (BKP 244) werden in den Kosten auch Positionen aus anderen Gewerken berücksichtigt, welche für den Variantenvergleich der Anlagen wesentlich sind. Es sind dies die Gewerke Elektro/MSRL (Anschlüsse der Geräte an die UV) und Baumeister (Schachtwände, Leitungsverkleidungen, Durchbrüche). In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für eine allfällige Verstärkung der Betondecke (in den Variantenvergleichen zu LK 4 nicht relevant bzw. einbezogen) separat ausgewiesen.

Die Resultate für die Investitionskosten sind für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen in Tabelle 280 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 281.

Die Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion wurden basierend auf den ermittelten Anlagen- und Kostenkenngrössen (Gerätetyp, Anzahl Luftauslässe, Gerätekosten) sowie weiteren Annahmen (Anfahrtsweg, Personenzahl, Stundenansatz) modelliert. Als Basis für diese Kostendaten dienten typische Kostenkennzahlen und Annahmen. Wie bereits im Kapitel 3.3.4 beschrieben wird ein jährlicher Filterersatz (inkl. Aktivkohlefilter der Umluft-Dunstabzugshauben in den Wohnungen) und eine jährliche Gerätewartung angenommen. Für den 6-jährlichen Unterhalt (mit Hygieneinspektion) wird zusätzlich angenommen, dass die Abluft- und FOL-Leitungen sowie die Aussenluftdurchlässe gereinigt werden. In den Kosten sind keine Ersatzinvestitionen enthalten, sondern nur ein prozentualer Kostenanteil für den Unterhalt (Reparatur, Ersatz von Verbrauchsmaterial) der Anlagen. Die Resultate für die Unterhaltskosten sind für die Ausführung der Abluft mit Kanälen in Tabelle 282 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 282.

Tabelle 280: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Luftverteilung *)	4	5	7	7	CHF / m^2
Dämmung	0	1	2	1	CHF / m^2
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	5	7	4	CHF / m^2
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	7	7	7	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	11	11	12	11	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	7	8	5	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	11	11	14	13	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**62**	**55**	**64**	**56**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	7000	6200	7200	6300	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. wohnungsinterne Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 281: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Luftverteilung *)	2	3	4	4	CHF / m^2
Dämmung	0	1	2	1	CHF / m^2
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	5	7	4	CHF / m^2
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	7	7	7	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	10	9	11	9	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	7	8	5	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	11	11	14	13	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**58**	**50**	**59**	**51**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	6600	5700	6600	5700	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. wohnungsinterne Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 282: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	2.37	2.08	2.36	2.07	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.88	0.87	1.11	1.01	CHF /(m^2 a)
Summe	**3.25**	**2.95**	**3.47**	**3.08**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 283: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	2.37	2.08	2.36	2.07	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.85	0.83	1.05	0.94	CHF /(m^2 a)
Summe	**3.23**	**2.91**	**3.41**	**3.02**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

13.2.7 Varianz der Resultate der Konzeptvarianten der Abluftanlagen

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation für die Konzeptvarianten angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden die Länge der Luftverteilung von/bis zum Gerät. Ebenfalls in der Varianz enthalten ist die Differenz zwischen einer Verrohrung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate separat dokumentiert.

Tabelle 284: Resultate der Rechenvariante den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**1.20**	**1.21**	**1.59**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.4**	**24.8**	**24.4**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.40**	**1.21**	**1.42**	**1.25**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**62**	**55**	**64**	**56**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**2.93**	**3.44**	**3.05**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0611**	**0.0412**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0106	0.0073	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0505	0.0339	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.49	0.53	0.77	0.77	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	254	255	338	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.26	0.26	0.34	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	643	573	674	609	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.371	0.316	0.368	0.320	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.55	1.35	1.57	1.39	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 285: Resultate der Rechenvariante mit den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.99**	**0.99**	**1.17**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.4**	**24.8**	**24.4**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.37**	**1.17**	**1.36**	**1.18**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**58**	**50**	**59**	**51**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.23**	**2.91**	**3.41**	**3.02**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0618**	**0.0418**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0114	0.0079	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0505	0.0339	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.42	0.43	0.52	0.52	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	209	210	247	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.21	0.21	0.25	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	622	542	629	558	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.364	0.306	0.353	0.303	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.52	1.31	1.51	1.31	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 286: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.97**	**1.10**	**1.11**	**1.34**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**23.9**	**24.2**	**24.4**	**24.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.39**	**1.18**	**1.36**	**1.18**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**61**	**53**	**61**	**54**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.23**	**2.88**	**3.34**	**2.95**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0437**	**0.0305**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0106	0.0073	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0331	0.0232	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.47	0.48	0.63	0.62	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	205	232	233	283	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.23	0.23	0.29	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	637	554	636	567	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.369	0.309	0.353	0.305	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.54	1.32	1.51	1.32	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 287: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.89**	**0.95**	**0.95**	**1.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**23.9**	**24.2**	**24.4**	**24.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.36**	**1.14**	**1.31**	**1.13**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**58**	**49**	**57**	**49**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.21**	**2.86**	**3.32**	**2.93**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0445**	**0.0311**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0114	0.0079	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0331	0.0232	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.41	0.40	0.46	0.45	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	187	199	200	223	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.20	0.20	0.22	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	618	528	602	529	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.363	0.301	0.342	0.293	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.51	1.28	1.46	1.26	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 288: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.04**	**1.40**	**1.54**	**2.07**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.1**	**24.8**	**25.5**	**24.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.43**	**1.27**	**1.56**	**1.31**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**63**	**57**	**70**	**59**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.29**	**3.01**	**3.58**	**3.07**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0440**	**0.0307**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0109	0.0075	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0331	0.0232	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.54	0.63	1.15	0.94	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	218	296	326	442	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.22	0.30	0.33	0.44	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	661	609	754	644	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.378	0.330	0.399	0.334	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.58	1.41	1.72	1.46	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 289: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.92**	**1.08**	**1.06**	**1.23**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.1**	**24.8**	**25.5**	**24.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.39**	**1.21**	**1.43**	**1.20**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**59**	**52**	**62**	**52**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.28**	**2.99**	**3.53**	**3.03**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0445**	**0.0311**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0114	0.0079	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0331	0.0232	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.45	0.49	0.62	0.55	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	193	228	224	261	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.23	0.23	0.26	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	635	567	670	571	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.369	0.316	0.369	0.309	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.54	1.35	1.58	1.34	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

13.2.8 Resultate Konzeptvarianten zu LK 4 für andere Wohnungsgrössen

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen für zwei weitere Wohnungsgrössen durchgeführt. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate dokumentiert. Auch in dieser

Resultatdarstellung werden die Ergebnisse für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen und die Ausführung mit Rohren separat dargestellt. Typischerweise sind die Kostenkennwerte und die Indikatoren für die Umweltbelastung bei dem Gebäude mit grösseren Wohnungen (4.5-Zimmer Wohnungen) tiefer und bei dem Gebäude mit kleineren Wohnungen (2.5-Zimmer Wohnungen) höher.

Tabelle 290: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.11**	**1.49**	**1.51**	**2.13**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**26.3**	**26.7**	**27.0**	**26.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.20**	**1.04**	**1.22**	**1.09**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**56**	**51**	**58**	**52**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.82**	**2.58**	**2.97**	**2.67**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0105**	**0.0105**	**0.0546**	**0.0376**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0025	0.0025	0.0085	0.0061	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0080	0.0080	0.0461	0.0315	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.48	0.49	0.70	0.71	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	215	291	295	420	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.28	0.28	0.40	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	546	483	572	520	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.319	0.271	0.318	0.280	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.32	1.15	1.34	1.20	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 291: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.60	0.60	0.60	0.60	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**1.16**	**1.17**	**1.45**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**26.3**	**26.7**	**27.0**	**26.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.17**	**1.00**	**1.16**	**1.02**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**54**	**47**	**54**	**48**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.81**	**2.57**	**2.95**	**2.65**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0108**	**0.0108**	**0.0553**	**0.0382**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0092	0.0067	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0080	0.0080	0.0461	0.0315	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.40	0.40	0.48	0.48	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	192	226	228	285	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.22	0.22	0.28	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	526	454	533	476	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.312	0.261	0.304	0.265	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.29	1.11	1.28	1.13	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 292: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.13**	**1.39**	**1.40**	**1.87**	**0.99**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**28.3**	**28.8**	**29.3**	**28.8**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**2.01**	**1.75**	**2.03**	**1.78**	**1.40**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**90**	**79**	**92**	**80**	**62**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.87**	**4.41**	**5.17**	**4.59**	**3.24**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0143**	**0.0143**	**0.0917**	**0.0616**	**0.0099**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0036	0.0036	0.0142	0.0097	0.0028	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0107	0.0107	0.0774	0.0519	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.64	0.70	1.00	0.95	0.49	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	210	261	261	351	208	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.24	0.24	0.32	0.21	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	906	809	940	846	643	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.531	0.454	0.523	0.454	0.371	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.23	1.95	2.25	1.98	1.55	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 293: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK4, mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.01**	**1.13**	**1.13**	**1.34**	**0.90**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**28.3**	**28.8**	**29.3**	**28.8**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.98**	**1.69**	**1.95**	**1.69**	**1.37**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**85**	**73**	**84**	**73**	**58**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.85**	**4.37**	**5.12**	**4.54**	**3.23**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0147**	**0.0147**	**0.0926**	**0.0623**	**0.0102**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0040	0.0040	0.0152	0.0105	0.0031	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0107	0.0107	0.0774	0.0519	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.56	0.58	0.69	0.68	0.42	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	211	212	252	189	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.17	0.19	0.19	0.23	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	879	770	884	786	622	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.523	0.442	0.504	0.435	0.364	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	2.20	1.89	2.17	1.89	1.52	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

13.3 Anordnung und Einfluss der Aussenluftfassung

13.3.1 Basis für die Bewertung der Aussenluftfassung

Bei Abluftanlagen ist die Anordnung der Aussenluftdurchlässe durch die Zimmergrundrisse bereits weitgehend gegeben. Da die Fassade, an der die Aussenluft gefasst wird, kann selten gewählt werden. Daher wird in dieser Variantenbetrachtung insbesondere der Einfluss der Aussenluftqualität verglichen. Dies ist zum einen der Referenzfall mit Aussenluft (AUL 1), welche die Immissionsgrenzwerte der LRV einhält (in dieser Betrachtung v.A. Schwebestoffe PM 10 relevant). Als Variante wird ein Standort betrachtet, an dem die Aussenluft hohe Konzentrationen an Staub oder Feinstaub aufweist (AUL 2). Für diesen Fall ist das in den Basisannahmen angesetzte Wartungsintervall von einem Jahr nicht ausreichend. In dieser Variante wird ein Wartungsintervall von ½ Jahr angenommen.

Als Basisvariante wird die Aussenluftfassung im Fensterbereich betrachtet. Von diversen Herstellern sind entsprechende Produktetypen verfügbar. Diese Einbauart weist Vorteile bezüglich der Optik und Zugänglichkeit auf, hat aber auch Nachteile, die bei der Planung beachtet werden müssen (z.B. Einfluss des Sonnenschutzes oder die Beeinflussung durch darunter oder danebenliegenden Fensteröffnungen). Für die nachfolgende Analyse die folgenden 3 Varianten untersucht:

- Variante 1: AUL Fassung im Fensterbereich, unbelasteter Standort (wie Basisvariante)
- Variante 2: AUL Fassung im Fensterbereich, belasteter Standort (AUL 2)
- Variante 3: AUL Fassung an der Fassade, unbelasteter Standort

Bei der Einschätzung der Varianz der Kenndaten wird neben dem Basisfall jeweils ein Fall mit einfachem Unterhalt (gute Zugänglichkeit und Reinigbarkeit der Elemente) sowie ein Fall mit ungünstigen Voraussetzungen für den Unterhalt (erhöhter Aufwand) untersucht. Als Basis für die Variantenbetrachtung wird die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich (siehe Kapitel 6.5.1 bzw. Kapitel 13.2) verwendet. In Tabelle 294 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 294: Kennwerte für die Berechnung der Varianten zur Aussenluftfassung des LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Energiebezugsfläche	904	904	904	[m2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	720	720	[m2]
Anzahl Wohnungen in Berechnung	8	8	8	[Stk.]
Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pa, q_{a50}	0.6	0.6	0.6	[m^3/(h m^2)]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	90	90	90	[m3/h]
Badabluft pro WNG (ABL) *)	50	50	50	[m3/h]
Anzahl Einzelraumgeräte pro WNG	3	3	3	[Stk.]
Aussenluftqualität	AUL 1	AUL 2	AUL 1	[Stk.]
Wartungsintervall **)	1	0.5	1	[Jahre]
mittlerer Druckverlust über ZUL Filter	80	100	80	Pa ***)
Geräteklassifizierung für Empfindlichkeit des Luftstroms	S2	S2	S2	****)

*) Badabluft mit bedarfsgesteuertem Betrieb (über Lichtschalter), 1 ALD für Nachströmung von Ersatzluft

**) Wartungsintervall für Filterwechsel und Reinigung (v.A. AUL Gitter) durch Fachfirma

***) Basiswert in Betrachtung, Spannbreite in Variantenbetrachtung +/- 20 Pa

****) Gemäss SN EN 13141-8:2014; Spannbreite in Variantenbetrachtung S1 bzw. S3

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Anzahl Elemente sowie die notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei Berechnung der Abluft erfolgt eine Unterscheidung zwischen einer Verteilung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 295 dargestellt.

Tabelle 295: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte Varianten der Aussenluftfassung des LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Energiebezugsfläche	904	904	904	[m2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	720	720	[m2]
Anzahl Wohnungen in Berechnung	8	8	8	[Stk.]
Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pa, q_{a50}	0.6	0.6	0.6	[m^3/(h m^2)]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	60	60	60	[m^3/h]
Gesamtzuluftmenge, Nennbetrieb	480	480	480	[m^3/h]
Gesamtabluftmenge, Nennbetrieb	696	696	696	[m^3/h]
Anzahl Aussenluftdurchlässe pro WNG	4	4	4	[Stk.]
Aussenluftqualität	AUL 1	AUL 2	AUL 1	[Stk.]
Wartungsintervall **)	1	0.5	1	[Jahre]
mittlerer Druckverlust über ZUL Filter	4	4	4	Pa ***)

*) Badabluft mit bedarfsgesteuertem Betrieb (über Lichtschalter), 1 ALD für Nachströmung von Ersatzluft

**) Wartungsintervall für Filterwechsel und Reinigung (v.A. AUL Gitter) durch Fachfirma

***) Basiswert in Betrachtung, Spannbreite in Variantenbetrachtung 4...8 Pa

13.3.2 Unterhaltskosten zur Variantenbewertung der Aussenluftfassung

Da sich der Aufwand für den Unterhalt bei den untersuchten Varianten deutlich unterscheiden kann, wird dieser Punkt separat dokumentiert. In der Betrachtung wird für den ungünstigen Fall ein deutlich erhöhter Zeitaufwand pro Gerät (je nach Variante und Tätigkeit +25…+100%) angenommen, der sich u.A. durch einen erschwerten Zugang zu dem zu reinigenden Aussenluftgitter ergeben kann. In der Betrachtung wird jedoch davon ausgegangen, dass das Aussenluftgitter von innen oder über Wohnungsfenster etc. zugänglich ist (kein Einsatz eines Skyworkers o.ä. erforderlich). Für die Betrachtung mit günstigen Voraussetzungen wird von einem geringeren Zeitaufwand pro Gerät ausgegangen. Die Resultate zu dem erwarteten Bereich der Unterhaltskosten sind in Tabelle 296 (günstiger Fall) und Tabelle 297 (ungünstiger Fall) dargestellt.

Tabelle 296: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 4, günstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	2.12	4.36	2.33	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt **)	0.78	0.79	0.85	CHF /(m^2 a)
Summe	**2.90**	**5.15**	**3.18**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, Berechnung für Abluft mit Wickelfalzrohren

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

Tabelle 297: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion für Varianten der AUL-Fassung im LK 4, ungünstig

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
jährlicher Unterhalt *)	3.08	6.08	3.28	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt **)	1.10	1.10	1.23	CHF /(m^2 a)
Summe	**4.18**	**7.18**	**4.51**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, Berechnung für Abluft mit Lüftungskanälen

*) Bei Variante 2 wird der "jährliche" Unterhalt alle 6 Monate durchgeführt (belasteter Standort)

**) Gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr

13.3.3 Weitere Resultate zur Variantenbewertung der Aussenluftfassung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den betrachteten Varianten der Aussenluftfassung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen

mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation der Platzierung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen).

Tabelle 298: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**0.99**	**0.99**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.40**	**1.81**	**1.40**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**62**	**64**	**59**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**5.78**	**3.52**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.49	0.49	0.49	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	643	740	645	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.371	0.478	0.372	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.55	2.02	1.55	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 299: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.90**	**0.90**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.37**	**1.78**	**1.38**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**58**	**60**	**56**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.23**	**5.76**	**3.51**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.42	0.42	0.42	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	622	719	624	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.364	0.472	0.366	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.52	1.99	1.52	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 300: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**0.99**	**0.99**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.32**	**1.69**	**1.33**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**59**	**61**	**57**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.91**	**5.17**	**3.19**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.48	0.49	0.48	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	624	713	626	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.351	0.446	0.352	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.47	1.90	1.48	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 301: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.90**	**0.90**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.30**	**1.66**	**1.30**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**56**	**57**	**54**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.90**	**5.15**	**3.18**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.41	0.42	0.41	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	603	692	605	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.345	0.440	0.346	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.44	1.87	1.45	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 302: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**1.00**	**1.00**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.54**	**1.94**	**1.51**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**68**	**71**	**65**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.16**	**7.17**	**4.49**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.50	0.50	0.48	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	6	6	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	677	773	665	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.408	0.515	0.401	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.69	2.16	1.66	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 303: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Aussenluftfassung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.91**	**0.91**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**24.0**	**24.0**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.51**	**1.92**	**1.48**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**65**	**68**	**62**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**4.15**	**7.15**	**4.48**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.43	0.44	0.41	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	6	6	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	656	752	644	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.402	0.508	0.394	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.66	2.13	1.63	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

13.4 Anlagensteuerung bzw. Regelung der Luftmengen

13.4.1 Basis für die Varianten der Steuerung bzw. Regelung

Die Art der Steuerung bzw. Regelung beeinflusst die effektive Luftmenge in der Wohnung und bestimmt damit wie bedarfsgerecht die Lüftung funktioniert. Damit hat dieser Faktor einen wichtigen Einfluss auf die Betriebsenergie. Für alle betrachteten Varianten als Basis die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich (siehe Kapitel 6.5.1 bzw. Kapitel 13.212.2) verwendet. Die nachfolgenden Resultate beziehen sich auf die folgenden 4 Varianten:

- Variante 1: Basissystem mit Konstantbetrieb, Referenzvariante
- Variante 2: Feuchteregelung der ALD und der Abluftventile
- Variante 3: Bedarfsgeführtes Abluftelement
- Variante 4: Bedarfsgeführter dezentraler Abluftventilator

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich gemäss Kapitel 6.5.1 (bzw. Kapitel 13.212.2) verwendet. Die Variante basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Bei dieser Variante sind pro Steigzone ein Abluftventilator und eine Abluftwärmepumpe auf dem Dach angeordnet. Die Abwärmenutzung wird nur der Warmwasseraufbereitung zur Verfügung gestellt. Das Lüftungskonzept beinhaltet eine Kaskade in der Luftführung (Wohnzimmer im Durchströmbereich). Im entsprechenden Kapitel ist diese Variante genauer spezifiziert. Zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sich insbesondere Differenzen beim Stromverbrauch. Zur Vollständigkeit und zum Vergleich werden diese Werte unterschieden und hier auch dokumentiert.

Einen anderen Ansatz verfolgt Variante vier. Bei dieser Variante erfolgt, ähnlich wie bei Variante 3, eine Regelung der Abluft über Feuchte und einen CO_2-Schwellenwert. Im Gegensatz zu Variante 3 wird in diesem Konzept pro Wohnung ein eigener Abluftventilator angesteuert (kompaktes Gerät mit allen erforderlichen Sensoren und Steuerungen). Die Fortluft wird dann separat nach aussen geführt. In der Berechnung wird dabei eine Fortluftführung über Dach mit einzelnen Rohrleitungen angenommen. Üblicherweise wird bei diesen Systemen die Abwärme nicht genutzt. Damit ergeben sich für diese Variante Einschränkungen in der Realisierbarkeit (Anforderungen MuKEn 2014) und beschränken sich auf kleine Gebäude.

Viele Produkte existieren für Variante 2 mit feuchtegeregelten Aussenluftdurchlässen und einer feuchteabhängigen Regelung des Abluftvolumenstromes. Üblicherweise haben diese Elemente einen Regelbereich zwischen 30-35% und 65-75% relative Feuchte. Damit ergeben sich mit diesen Elementen gewisse Zielkonflikte mit der Raumluftqualität, da zwar eine gewisse Abhängigkeit von Raumluftfeuchte und CO_2 als Indikator für die Raumluftqualität vorhanden ist, aber diese nicht sehr stark ausgeprägt ist. Damit können Fälle auftreten, in denen aufgrund der Personenbelegung eine höhere Luftmenge erforderlich ist, aber aufgrund der vorhandenen Raumluftfeuchte diese nicht in genügendem Masse zur Verfügung gestellt wird.

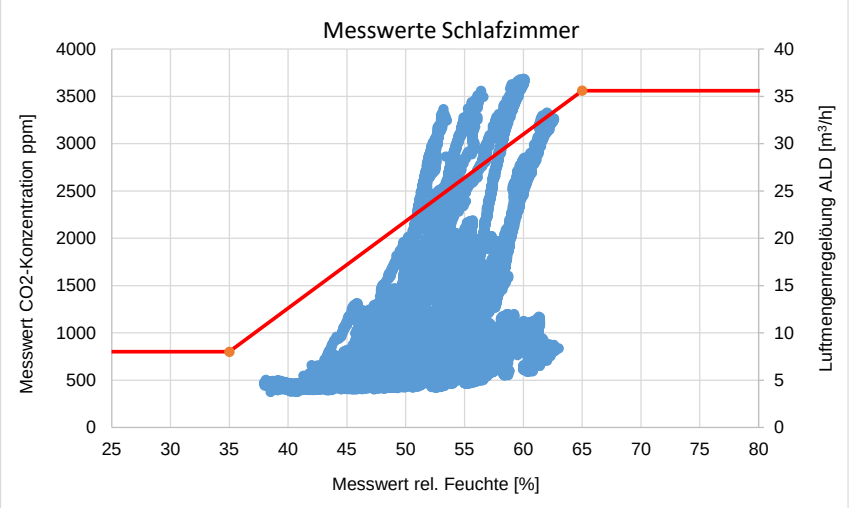


Abbildung 83: Zusammenhang zwischen Raumluftfeuchte und CO_2-Konzentration.

In Abbildung 83 wird dieser Zusammenhang anhand einer Datenaufzeichnung in einem Schlafzimmer (Datenquelle: (Primas, et al., 2020)) und einen typischen Regelverhalten eines Aussenluftdurchlasses (Basis 2 ALD pro Zimmer mit Auslegung auf 4 Pa) dargestellt. Bei sehr tiefen Luftfeuchten ist meist auch die CO_2 Konzentration tief (Abwesenheiten). In diesen Fällen ist die Reduktion der Luftmenge sinnvoll. Im Bereich um 50% relative Luftfeuchte können jedoch Fälle auftreten, in denen eine höhere Luftmenge aus Sicht der Luftqualität erwünscht wäre, aber die Feuchteregelung erst ca. in der Mitte des Regelbereiches ist. Dies bedeutet, dass die Auslegung der Nennluftmenge und der Minimalluftmenge solcher Auslässe genau betrachtet werden muss.

13.4.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten aufgrund unterschiedlicher Luftmengen im Betrieb. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 4 untersuchten Varianten sind in Tabelle 304 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten keine Unterschiede zwischen einer Ausführung der Badabluft mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden hier nur die Resultate für Wickelfalzrohre aufgeführt.

Tabelle 304: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme für die Varianten der Luftmengenregelung LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Abwärmenutzungsgrad *)	44%	51%	61%	0%	%
Wärmebedarf, Heizregister ***)	13.6	11.6	9.5	9.5	kWh /(m² a)
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**24.0**	**20.4**	**16.9**	**16.8**	**kWh /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr

**) Anteil der Wärme in der FOL der mit einer Abwärmenutzung genutzt wird (100% = $T_{nach\ AWN} = T_{AUL}$)*

***) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur von 18 C° nach dem ALD sicherzustellen*

13.4.3 Betriebsenergiebedarf Strom der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen im Betrieb. Die Annahmen für Berechnung der Varianten orientiert sich an den Faktoren (CRTL-Faktor) aus dem Normenentwurf prEN 13142 (prEN 13142, 2018). Dies führt zu einer mittleren Luftmenge im Betrieb mit deren Hilfe der mittlere Leistungs- und Energiebedarf bestimmt wird. Basierend auf einer Einschätzung der Wirkung im Betrieb wurden die Faktoren mit gewissen Abweichungen zu den Normwerten eingesetzt. Tabelle 308 zeigt die für die verschiedenen berechnungsfälle eingesetzten Kenndaten. Für die vier Varianten zum Standort der Lüftungsanlage wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 305 für den Basisfall dargestellt.

Tabelle 305: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom für die Varianten der Luftmengenregelung LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Druckregelung ABL	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	100%	85%	70%	70%	% der Nenn-LM
Strombedarf gesamt, ABL Kanäle	**0.99**	**0.71**	**0.49**	**0.47**	**kWh /(m² a)**
Strombedarf gesamt, ABL Rohre	**0.90**	**0.63**	**0.43**	**0.30**	**kWh /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

13.4.4 Investitionskosten für die Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Investitionskosten für die Steurer- und Regelvarianten unterscheiden sich vor allem bezüglich der Komponenten, die bei den einzelnen Varianten eingebaut werden. Deutlich unterschiedlich ist die Kostenaufteilung bei Variante 4, da hier eine abweichende Leitungsführung angewendet wird. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 306 für die Luftverteilung der Abluft mit Wickelfalzrohren dargestellt (übliche Ausführung). Die Resultate für eine Ausführung mit Kanälen werden in Tabelle 307 aufgeführt.

Tabelle 306: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK4 mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Luftverteilung *)	2	2	2	3	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	9	9	7	CHF / m^2
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	8	8	7	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	9	14	9	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	10	11	13	11	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	4	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	11	11	11	12	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**58**	**62**	**70**	**54**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	6600	7000	7900	6200	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*
***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*
****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*
*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 307: Resultate der Investitionskosten für die Varianten der Luftmengenregelung LK4 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Luftverteilung *)	4	4	4	7	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	9	9	7	CHF / m^2
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	8	8	7	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	9	14	9	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	11	12	14	12	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	12	12	4	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	11	11	11	12	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**62**	**65**	**73**	**59**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	7000	7400	8200	6700	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*
***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*
****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*
*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

13.4.5 Weitere Resultate der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten der Luftmengenregelung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurde in erster Linie der Faktor der die mittlere Luftmenge im Betrieb bestimmt. Tabelle 308 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte. Der Mehraufwand für den Unterhalt der Elemente zur Bedarfsteuerung wurde mit Zuschlägen beim Zeitbedarf für die Wartung und höheren Erneuerungskosten der betroffenen Elemente berücksichtigt.

Tabelle 308: Verwendete mittlere Betriebsluftmenge für die Varianten der Luftmengenregelung LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Mittelwert Betriebsluftmenge; Basisfall *)	100%	85%	70%	70%
Mittelwert Betriebsluftmenge; günstiger Fall *)	100%	80%	65%	65%
Mittelwert Betriebsluftmenge; ungünstiger Fall *)	100%	90%	75%	75%

*) rechnerischer mittlere Luftmenge im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie
Wert in % der Nennluftmenge

Variante 2 mit Feuchteregelung wird in der Wirkung ähnlich beurteilt wie eine zentrale Bedarfsregelung.

Tabelle 309: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**0.71**	**0.49**	**0.47**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**20.4**	**16.9**	**16.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.40**	**1.40**	**1.41**	**1.27**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**62**	**65**	**73**	**59**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**3.70**	**3.48**	**3.56**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**0.0129**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	0.0036	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.49	0.49	0.49	0.41	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	86	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	643	645	647	504	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.371	0.372	0.373	0.309	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.55	1.55	1.56	1.40	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 310: Resultate der Basisberechnung für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.63**	**0.43**	**0.30**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**20.4**	**16.9**	**16.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.37**	**1.37**	**1.38**	**1.24**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**58**	**62**	**70**	**54**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.23**	**3.69**	**3.47**	**3.54**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**0.0132**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	0.0039	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.42	0.42	0.43	0.31	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	56	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	0.12	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	622	624	627	478	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.364	0.365	0.366	0.301	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.52	1.52	1.53	1.36	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 311: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**0.63**	**0.43**	**0.41**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**19.3**	**15.7**	**15.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.38**	**1.38**	**1.39**	**1.21**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**60**	**63**	**70**	**56**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.21**	**3.63**	**3.41**	**3.47**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**0.0129**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	0.0036	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.48	0.48	0.48	0.38	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	86	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	636	638	641	481	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.366	0.367	0.368	0.295	kg_{CO2-eq} /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.53	1.53	1.54	1.34	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 312: Resultate mit günstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.56**	**0.37**	**0.26**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**19.3**	**15.7**	**15.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.35**	**1.36**	**1.36**	**1.17**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**57**	**60**	**66**	**51**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.20**	**3.61**	**3.39**	**3.44**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**0.0132**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	0.0039	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.41	0.41	0.42	0.29	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	56	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	0.12	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	615	617	620	455	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.360	0.361	0.362	0.286	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.50	1.50	1.51	1.30	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 313: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**0.79**	**0.56**	**0.53**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**21.6**	**18.1**	**17.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.42**	**1.43**	**1.43**	**1.36**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**63**	**68**	**76**	**62**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.27**	**4.13**	**3.68**	**3.78**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0099**	**0.0099**	**0.0129**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0028	0.0028	0.0036	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.50	0.50	0.51	0.44	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	208	208	86	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.21	0.21	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	651	654	656	534	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.377	0.378	0.379	0.328	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.57	1.58	1.58	1.49	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 314: Resultate mit ungünstigen Annahmen für die Varianten der Luftmengenregelung des LK4, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.53	0.53	0.53	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**0.71**	**0.49**	**0.34**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**21.6**	**18.1**	**17.9**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.39**	**1.40**	**1.40**	**1.32**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**60**	**65**	**73**	**57**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.26**	**4.12**	**3.67**	**3.75**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0102**	**0.0102**	**0.0132**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0031	0.0031	0.0039	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0093	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.43	0.44	0.44	0.35	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	189	189	56	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.19	0.19	0.12	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	631	633	635	509	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.370	0.371	0.372	0.319	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.54	1.55	1.55	1.45	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

13.5 Luftverteilkonzept und Art der Abwärmenutzung

13.5.1 Basis für die Varianten zum Luftverteilkonzept und der Abwärmenutzung

Das verwendete Luftverteilkonzept in der Wohnung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebsenergie und damit auch auf die Abwärmenutzung. Daher werden diese beiden Punkte in diesem Kapitel gemeinsam betrachtet. Über die notwendige Gesamtluftmenge hat dieser Entscheid aber auch einen relevanten Einfluss auf die benötigte Wärmeenergie. Durch eine geeignete Luftführung (Kaskade) wird die Raumluftfeuchte günstig beeinflusst, da nur die wirklich benötigte Zuluft in die Wohnung eingebacht wird. Je nach Konzept werden weitere Faktoren wie Graue Energie und Investitionen (über die verbauten Elemente und Luftleitungen), Instandhaltung (z.B. wenige Elemente) und auch die Raumluftqualität (Lüftungseffizienz des Konzeptes) günstig oder auch ungünstig beeinflusst.

Die Abwärme, kann über die Abluftwärmepumpe für Warmwasser oder auch Heizung genutzt werden. Je nach Art der Nutzung kann ein kleinerer oder grösserer Anteil der Abwärme aus der Abluft genutzt werden. Die Nutzung ist auch von der Abluftmenge abhängig. Daher wird die Abwärmenutzung in der Variantenbetrachtung gemeinsam mit dem Luftverteilkonzept betrachtet. Für die nachfolgende Analyse wurden 2 Varianten von Luftverteilkonzepten innerhalb der Wohnung und 2 Varianten der Abwärmenutzung untersucht (total 4 Varianten):

- Variante 1: Verteilsystem mit Kaskade, Abwärmenutzung für Warmwasser, Referenz
- Variante 2: Verteilsystem ohne Kaskade, Abwärmenutzung für Warmwasser
- Variante 3: Verteilsystem mit Kaskade, Abwärmenutzung für Heizung und Warmwasser
- Variante 4: Verteilsystem ohne Kaskade, Abwärmenutzung für Heizung und Warmwasser

Für die Berechnungen wurden als Basis die Variante 1 aus dem Konzeptvergleich gemäss Kapitel 6.5.1 (bzw. Kapitel 13.2) verwendet. Die Variante basiert auf einem Gebäude mit 3.5 Zimmer Wohnungen. Bei dieser Variante sind pro Steigzone ein Abluftventilator und eine Abluftwärmepumpe auf dem Dach angeordnet. Die Abwärmenutzung wird in Variante 1 und Variante 2 nur der Warmwasseraufbereitung zur Verfügung gestellt. Das Lüftungskonzept in Variante 1 und Variante 3 beinhaltet eine Kaskade in der Luftfüh-

rung (Wohnzimmer im Durchströmbereich). Zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sich Differenzen beim Stromverbrauch und den Investitionen. Zur Vollständigkeit und zum Vergleich werden diese Werte unterschieden und hier auch dokumentiert.

Tabelle 315: Basis der Kennwerte für die Sensitivitätsbetrachtung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Anzahl Wohnungen (alle Sensitivitätsfälle)	8	8	8	8	Stk.
Gesamtzuluftmenge, Nennbetrieb (alle Sensitivitätsfälle)	480	720	480	720	m^3/h
Luftdurchlässigkeit Gebäudehülle q_{a50}; Basisfall	0.6	0.6	0.6	0.6	$m^3/(h\ m^2)$
Gesamtabluftmenge, Nennbetrieb; Basisfall *)	696	936	696	936	m^3/h
Luftdurchlässigkeit Gebäudehülle q_{a50}; günstiger Fall	0.6	0.6	0.6	0.6	$m^3/(h\ m^2)$
Gesamtabluftmenge, Nennbetrieb; günstiger Fall *)	624	864	624	864	m^3/h
Luftdurchlässigkeit Gebäudehülle q_{a50}; ungünstiger Fall	0.6	0.6	0.6	0.6	$m^3/(h\ m^2)$
Gesamtabluftmenge, Nennbetrieb; ungünstiger Fall *)	912	1152	912	1152	m^3/h

*) rechnerische Abluftmenge im Betrieb mit Einbezug der Infiltration (Unterdruck über ALD in allen Fällen 4 Pa)

13.5.2 Betriebsenergiebedarf Wärme der Steuerungs- und Regelungsvarianten

Die Veränderung des Wärmebedarfs für die Lüftung (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste) unterscheidet sich in den verschiedenen Varianten vor allem aufgrund unterschiedlicher Abluftmengen im Konzept. Die für die verschiedenen Varianten berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 4 untersuchten Varianten sind in Tabelle 316 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten keine Unterschiede zwischen einer Ausführung der Badabluft mit Kanälen und Rundrohren ergeben werden hier nur die Resultate für Wickelfalzrohre aufgeführt. Tabelle 317 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwertbereiche.

Tabelle 316: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Abwärmenutzungsgrad *)	45%	35%	90%	80%	%
Wärmebedarf, Heizregister ***)	13.6	20.4	13.6	20.4	kWh /(m2 a)
Wärmebedarf gesamt, Rohre	**24.0**	**33.6**	**24.0**	**33.6**	**kWh /(m2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Anteil der Wärme in der FOL der mit einer Abwärmenutzung genutzt wird (100% = $T_{nach\ AWN}$ = T_{AUL})*

****) Anteil am Wärmebedarf, der über ein Heizregister erforderlich wäre um Zulufttemperatur 18 C° nach dem ALD sicherzustellen (nur ZUL)*

Tabelle 317: Resultate für den Grad der Abwärmenutzung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Anteil Abwärmenutzung, Basiswert *)	**45%**	**35%**	**90%**	**80%**
Anteil Abwärmenutzung, günstiger Fall	47%	35%	95%	82%
Anteil Abwärmenutzung, ungünstiger Fall	36%	27%	78%	62%
Deckungsanteil Warmwasser, Basisfall *)	**80%**	**80%**	**25%**	**20%**
Deckungsanteil Warmwasser, günstiger Fall	88%	88%	49%	48%
Deckungsanteil Warmwasser, ungünstiger Fall	60%	60%	23%	19%
Arbeitszahl der Wärmepumpe, Basisfall *)	**2.9**	**3.1**	**3.3**	**3.4**
Arbeitszahl der Wärmepumpe, günstiger Fall	4.05	4.26	4.10	4.32
Arbeitszahl der Wärmepumpe, ungünstiger Fall	2.52	2.65	3.01	3.08

*) Basisfall bezieht sich auf den Nennwert der Abluftmengen bezogen auf eine Gebäudeundichtheit (0.6 $m^3/(h\ m^2)$ sowie eine Warmwassererwärmung auf 50°C sowie eine max. Vorlauftemperatur der Heizung von 40°C (Var. 3 und 4)

13.5.3 Betriebsenergiebedarf Strom, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung

Die Veränderung des Strombedarfs für die Lüftungsanlage für die verschiedenen Varianten unterscheidet sich primär aufgrund der unterschiedlichen Luftmengen im Betrieb. Für die Analyse wird von einem konstanten Betrieb ausgegangen. Im Strombedarf ist der Abluftventilator inkl. dem Druckverlust des Wärmetausches in der Wärmepumpe enthalten. Die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe selbst (Kompressor) ist nicht in den Werten enthalten. Dieser Verbrauch (bzw. die Effizienz der Abluftwärmepumpe, die mit der JAZ charakterisiert werden kann) ist nicht enthalten, da dieser Verbrauch nicht direkt der Lüftung zugeschlagen werden kann. Tabelle 318 zeigt die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf für die Varianten zum Luftverteilkonzept und der Abwärmenutzung für den Basisfall.

Tabelle 318: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Druckregelung ABL	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	100%	100%	100%	100%	% der Nenn-LM
Strombedarf gesamt, ABL Kanäle	**0.99**	**1.31**	**0.99**	**1.31**	**kWh /(m² a)**
Strombedarf gesamt, ABL Rohre	**0.90**	**1.20**	**0.90**	**1.20**	**kWh /(m² a)**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge der Einzelraumgeräte im Betrieb bei der für die Variante angenommenen Regelstrategie*

13.5.4 Investitionskosten, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung

Die Investitionskosten für die Varianten zum Luftverteilkonzept und der Abwärmenutzung unterscheiden sich vor allem bezüglich der Komponenten, die bei den einzelnen Varianten eingebaut werden. Deutlich unterschiedlich ist die Kostenaufteilung zwischen den Varianten mit Kaskade und denen ohne, da hier die höheren Luftmengen eine grössere Dimensionierung der Anlage erfordert. Die Resultate zu den Investitionskosten sind in Tabelle 319 für die Luftverteilung der Abluft mit Wickelfalzrohren dargestellt (übliche Ausführung). Die Resultate für eine Ausführung mit Kanälen werden in Tabelle 320 aufgeführt.

Tabelle 319: Resultate der Investitionskosten, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Luftverteilung *)	2	3	2	3	CHF / m²
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m²
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	9	9	9	CHF / m²
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	11	7	11	CHF / m²
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m²
Transport, Montage, IB	10	12	10	12	CHF / m²
Anteil Elektro, MSRL **)	12	13	16	17	CHF / m²
Bauliches, nichttragend ***)	11	15	11	15	CHF / m²
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m²
Summe	**58**	**70**	**62**	**74**	**CHF / m²**
Summe pro Wohnung	6600	7900	7000	8400	CHF / WNG

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche

**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 320: Resultate der Investitionskosten für die, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4 mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Luftverteilung *)	4	5	4	5	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte / WP Abluftanlage	9	9	9	9	CHF / m^2
Aussenluftdurchlässe (ALD)	7	11	7	11	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	11	13	11	13	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	12	13	16	17	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	11	15	11	15	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**62**	**73**	**65**	**78**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	7000	8300	7400	8800	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Inkl. Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant (z.B. Anlage mit wohnungsinterner Verrohrung der ABL-Ventile) mit eingelegten PE-Rohren.*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

13.5.5 Weitere Resultate, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung

Im Folgenden werden die übrigen Resultate der Berechnungen zu den Varianten zum Luftverteilkonzept und der Abwärmenutzung dokumentiert. Neben der Basisvariante wurde für die Bestimmung der Varianz Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Einschätzung der Kosten und der Wirkung angenommen. Variiert wurde in erster Linie die Luftdichtheit des Gebäudes was einen Einfluss auf den Abluftvolumenstrom im Betrieb hat. Im Weitern wurden die direkt mit der Konzeptvarianten zusammenhängenden Komponenten bezüglich Menge und Kosten variiert (z.B. Leitungslängen für Heizungs- oder Warmwasseranschluss bzw. die zugehörige MSRL etc.). Tabelle 317 zeigt die für die Berechnung der Varianz verwendeten Kennwerte.

Tabelle 321: Resultate der Basisberechnung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.99**	**1.31**	**0.99**	**1.31**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**33.6**	**24.0**	**33.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.40**	**1.56**	**1.45**	**1.64**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**62**	**73**	**65**	**78**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**3.68**	**3.24**	**3.68**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0099**	**0.0140**	**0.0099**	**0.0140**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0028	0.0033	0.0028	0.0033	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.49	0.60	0.49	0.60	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	208	205	208	205	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.21	0.18	0.21	0.18	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	643	711	656	730	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.371	0.414	0.383	0.433	$kg_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.55	1.72	1.60	1.80	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 322: Resultate der Basisberechnung, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.90**	**1.20**	**0.90**	**1.20**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**24.0**	**33.6**	**24.0**	**33.6**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.37**	**1.52**	**1.42**	**1.60**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**58**	**70**	**62**	**74**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.23**	**3.67**	**3.23**	**3.67**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0102**	**0.0144**	**0.0102**	**0.0144**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0031	0.0038	0.0031	0.0038	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.42	0.49	0.42	0.49	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	187	189	187	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.17	0.19	0.17	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	622	683	635	702	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.364	0.405	0.377	0.423	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.52	1.67	1.57	1.75	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 323: Resultate mit günstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.89**	**1.22**	**0.89**	**1.22**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**22.4**	**32.1**	**22.4**	**32.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.35**	**1.50**	**1.37**	**1.53**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**59**	**71**	**62**	**73**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**3.68**	**3.24**	**3.68**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0097**	**0.0138**	**0.0097**	**0.0138**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0027	0.0032	0.0027	0.0032	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.46	0.56	0.46	0.56	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	209	205	209	205	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.19	0.17	0.19	0.17	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	619	689	625	695	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.357	0.401	0.363	0.407	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.49	1.66	1.52	1.69	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 324: Resultate mit günstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.81**	**1.11**	**0.81**	**1.11**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**22.4**	**32.1**	**22.4**	**32.1**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.32**	**1.47**	**1.35**	**1.50**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**56**	**67**	**59**	**70**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.22**	**3.66**	**3.22**	**3.67**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0100**	**0.0142**	**0.0100**	**0.0142**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0029	0.0036	0.0029	0.0036	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.40	0.48	0.40	0.48	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	189	187	189	187	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.17	0.16	0.17	0.16	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	599	665	606	671	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.351	0.393	0.357	0.399	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.46	1.63	1.49	1.65	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 325: Resultate mit ungünstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.27**	**1.67**	**1.27**	**1.67**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**28.5**	**38.2**	**28.5**	**38.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.50**	**1.64**	**1.58**	**1.72**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**66**	**77**	**72**	**82**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.25**	**3.69**	**3.25**	**3.69**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0104**	**0.0143**	**0.0104**	**0.0143**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0033	0.0036	0.0033	0.0036	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.59	0.65	0.59	0.65	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	205	212	205	212	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.27	0.24	0.27	0.24	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	698	754	717	773	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.400	0.438	0.419	0.457	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.66	1.80	1.74	1.89	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

Tabelle 326: Resultate mit ungünstigen Annahmen, Varianten Luftverteilkonzept und Abwärmenutzung, LK4, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.53	0.80	0.53	0.80	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**1.16**	**1.49**	**1.16**	**1.49**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**28.5**	**38.2**	**28.5**	**38.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.46**	**1.60**	**1.54**	**1.68**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**62**	**73**	**68**	**78**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**3.24**	**3.68**	**3.24**	**3.68**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0108**	**0.0147**	**0.0108**	**0.0147**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0037	0.0041	0.0037	0.0041	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0071	0.0106	0.0071	0.0106	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.48	0.54	0.48	0.54	kg/m^2
Druckverlust, ALD ****)	4	4	4	4	Pa
Druckverlust, Abluft (ABL / FOL) ****)	187	190	187	190	Pa
spez. Leistung Abluft ****)	0.25	0.21	0.25	0.21	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	671	724	690	744	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.391	0.428	0.409	0.447	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.62	1.76	1.70	1.84	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Abluftventilator / WP: Typisches Gerät bei Aufstellung in Technikraum; Basis ALD: typ. ALD-Breite; inkl. Raumbedarf für Revision (0.5m)

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Geräte (ABL-Venti, WP, ALD) sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD: AUL-ZUL; Abluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Abluft bezogen auf Nennluftmenge (Zuluftvolumenstrom)

14 Anhang zu LK5: Fensterlüftung mit Badabluft

14.1 Basisannahmen für die Berechnungen

Für die Berechnungen der Standardfälle wurde wie beim Lüftungskonzept LK1 von einem Gebäude mit 4 Obergeschossen und insgesamt 16 Wohnungen ausgegangen. Als typische Wohnungsgrösse wurde ein Wohnungsgrundriss mit 3.5 Zimmern und 90 m² Wohnfläche gewählt.

Neben dem Basisfall (3.5-Zimmer Wohnungen) wurden Variantenberechnungen mit Gebäuden mit 2.5- und 4.5-Zimmer Wohnungen durchgeführt, da diese ebenfalls sehr häufig in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind. Da bei diesem Konzept der Luftwechsel in erster Linie durch die Fenster sichergestellt wird, bestehen hier keine spezifischen Nennluftmengen für die Zuluft. Diese Luftmengen ergeben sich durch das hinterlegte Nutzungsszenario. Das gewählte Basisgebäude (mit 3.5 Zimmer Wohnungen) besitzt eine Energiebezugsfläche von 1808 m² und weist eine einem typischen Neubau entsprechende Gebäudehülle auf (Luftdichtheit entsprechend dem Zielwert für Neubauten nach SIA 180: 2014). Der auf Basis der Standardnutzung für das Basisgebäude berechnete Wärmebedarf ist bis auf den Unterschied im Lüftungskonzept (z.B. Szenario der Fensterlüftung) identisch mit der Berechnung für das Lüftungskonzept LK1 (siehe, Tabelle 72).

Für die Badabluft wird wie im LK4 von einer bedarfsgesteuerten Anlage (Ein/Aus über Lichtschalter mit Nachlauf) ausgegangen. Der Bemessungs-Abluft-Volumenstrom wurde mit 50 m³/h angesetzt.

Für die Dunstabzugshaube wird im Basisfall mit einem Abluftvolumenstrom von 300 m³/h gerechnet und eine tägliche Nutzungszeit von einer Stunde pro Tag gerechnet. Für die Variationsbreite dieser Nutzung werden die Betriebsfälle «Kleinhaushalt» und «Familienhaushalt» aus (Hauri, et al., 2019) verwendet[62]. Für die Nachströmung der Ersatzluft für die Dunstabzugshaube ist der für die Badabluft erforderliche Aussenluftdurchlass (bei weitem) nicht ausreichend[63]. Für die Ersatzluft wird von einer Nachströmung über ein geöffnetes Fenster ausgegangen. Um beim Betrieb der Dunstabzugshaube die Zuluft sicherzustellen, wird eine Koppelung mit einem Fensterkontaktschalter angenommen.

Für den Lüftungsbetrieb werden die Lüftungsverluste in Abhängigkeit vom effektiven Betriebsfall bestimmt. Siehe dazu die Erläuterungen im folgenden Kapitel zu den unterschiedenen Berechnungsfällen. Für die Raumtemperaturwurde auch hier ein Wert von 22°C angesetzt, da der Wert von 20°C gemäss Standardnutzung in SIA 380/1:2016 nicht dem heute üblichen Gebäudebetrieb entspricht. Im Weiteren beinhaltet die Berechnung auch den Wärmebedarf durch Verluste durch Wärmebrücken, die durch den Einbau z.B. der Aussenluftdurchlässe ergeben. Zusätzlich zur Luftmenge, die durch die Fensterlüftung ausgetauscht wird (Wert abgängig von Szenario), werden die Wärmeverluste, welche bei Betrieb der Badabluft und der Dunstabzugshaube auftreten eingerechnet. Dieser Wärmebedarf muss bei diesem Lüftungskonzept über die normale Raumheizung erbracht werden.

Für die Abführung der Badabluft wird von einem Konzept mit einzelnen Badventilatoren und einem Einrohrsystem ohne Wärmerückgewinnung mit einer Steigzone je 8 Wohnungen ausgegangen[64]. Für die Dimensionierung (Materialisierung) wurde eine Auslegung entsprechend den Anforderungen an die Luftgeschwindigkeit der MuKEn angewendet[65].

Für die Verrohrung der Abluft der Dunstabzugshauben wird von einer Leitung pro Wohnung über Dach ausgegangen. Die Auslegung erfolgt auf eine Luftgeschwindigkeit von 6 m/s für den Basisfall mit einem Abluftvolumenstrom von 300 m³/h.

---

[62] Kleinhaushalt: Abluftvolumenstrom 210 m³/h, 0.5 h/d; Familienhaushalt: Abluftvolumenstrom 375 m³/h, 1 h/d

[63] In diesem Fall wären Unterdrücke zwischen 50 und 120 Pa erforderlich, um die Luftmenge zu erreichen.

[64] Hintergrund: Typischer Aufteilung eines Wohnungskonzeptes mit 2 aneinandergrenzenden Sanitärräumen die an eine gemeinsame Steigzone angeschlossen sind. Zur Vermeidung von Geruchs-übertragungen bei unterschiedlichem Betrieb der Abluftventilatoren sind Abluft-Elemente mit Rückschlagklappen einzusetzen.

[65] Grundsätzlich wären gemäss MuKEn 2014 höhere Luftgeschwindigkeiten zulässig (Art. 1.19, Abs. 4). Dies wurde für den Basisfall der Auslegung jedoch nicht so einbezogen (nur bei den Berechnungsvarianten zur Sensitivität).

Tabelle 327 zeigt die für die Berechnung verwendeten Druckverlustwerte.

Tabelle 327: Kennwerte und verwendete Werte für Druckverluste verschiedener Bauteile, Konzept Fensterlüftung (LK5)

Bauteil	Gewählt ZUL	Gewählt ABL	Exponent *)
Zuluftkanalsystem	nicht vorhanden		
Abluftkanalsystem (Badabluft)	berechnet		
Luftfilter G3 (Enddruck) **)	ca. 5 ***)	40	1.25
Aussenluftduchlass für Ersatzluft Badabluft		-	1.5
Luftdurchlass ABL		10	1.5
Lufteintritt -Austritt; FOL		20	1.5

*) verwendeter Exponentialfaktor für Umrechung Druckverluste im Teillastbetrieb
**) Filter für Badabluft
***) Für ALD gilt für gesamter ALD ein Auslegungswert für den Druckverlust von max 10 Pa.

Hinweise zum Konzept der Dunstabzugshaube:

Grundsätzlich könnte für dieses Lüftungskonzept auch eine Umluft-Dunstabzugshaube verwendet werden. Da bei diesem Konzept jedoch die Lüftung der Küche durch den Nutzer bestimmt wird (Fensterlüftung), müsste bei einem Einsatz einer Umluft-Dunstabzugshaube eine Fensterlüftung während bzw. gleich nach dem Kochbetrieb angenommen werden, um überschüssige Feuchtigkeit abzuführen. Da die dazu erforderliche Stosslüftung sehr grosse Varianz aufweisen kann (je nach Dauer, Aussentemperatur, Wind etc.) wurde diese Untervariante nicht speziell untersucht. Bei einer Stosslüftung von 15 min. Dauer, liegen die Wärmeverluste in einer ähnlichen Grössenordnung (jedoch mit sehr hoher Varianz).

Mit einer Umluft-Dunstabzugshaube würden sich die Investitionskosten, Materialbilanz (Graue Energie) und der Raumbedarf für Schächte reduzieren. Auf der anderen Seite erhöht sich der Aufwand für den Unterhalt durch den erforderlichen Ersatz der Aktivkohlefilter.

14.2 Konzeptvarianten zur Fensterlüftung mit Badabluft

14.2.1 Basis der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung

Die für dieses Lüftungskonzept untersuchten Varianten bilden in erster Linie verschiedene Fälle des Benutzerverhaltens ab. Diese unterscheiden sich in erster Linie durch den Energiebedarf (v.A. Wärme). Die für die verschiedenen Varianten bestimmten Basiskennwerte sind in Tabelle 214 dokumentiert. Die folgenden 4 Varianten zum Betrieb der Fensterlüftung wurden verglichen:

- Variante 1: Nachts Kippfenster offen, Tagsüber Stosslüften
- Variante 2: Nachts Spaltlüfter offen, Tagsüber Stosslüften
- Variante 3: Nachts Fenster geschlossen, Tagsüber Stosslüften
- Variante 4: "Manuelle Lüftung mit 0.7 $m^3/(h\ m^2)$"

Die Berechnung erfolgt jeweils für ein Hausteil (1 Steigzone) mit 8 Wohnungen. Die spezifischen Kennwerte sind daher auch auf die jeweilige Wohnungsanzahl bezogen. Da von einem symmetrischen Hausgrundriss ausgegangen wird, sind die berechneten Daten auch für das Gesamtgebäude (mit total 16 Wohnungen) gültig.

Da sich bei der Materialisierung die wesentlichsten Differenzen durch den Unterschied der Kanaloberflächen zwischen einer Ausführung der Badabluft und Küchenabluft mit Kanälen und Rundrohren (übliche Variante) ergeben, werden diese Werte bei den Resultaten in dieser Variantenbetrachtung unterschieden. In Tabelle 328 sind die wichtigsten Kennzahlen für den Basisfall mit 3.5 Zimmer Wohnungen zusammengestellt.

Tabelle 328: Kennwerte für die Materialisierung und Berechnung der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Energiebezugsfläche	904	904	904	904	[m^2]
Wohnfläche, alle Wohnungen	720	720	720	720	[m^2]
Anzahl Wohnungen	8	8	8	8	[Stk.]
Nennluftmenge pro WNG (ZUL)	113	64	62	79	[m^3/h]
Gesamtzuluftmenge, Fenster	904	512	496	633	[m^3/h]
Gesamtabluftmenge, Badabluft	400	400	400	400	[m^3/h]
Anzahl Steigzonen	1	1	1	1	[Stk.]
Anzahl Etagen	4	4	4	4	[Stk.]
Rohrlänge bis Wohnung *)	78	78	78	78	[m]
Rohrlänge in Wohnung **)	0	0	0	0	[m]
Anzahl Auslässe pro WNG ***)	1	1	1	1	[Stk.]

*) Alle Stränge bis Wohnungsverteiler (AUL, ZUL, ABL, FOL)

**) In diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden

***) Für Badabluft

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die für die Luftverteilung und Geräte notwendigen Materialgewichte ermittelt werden. Bei dieser Auswertung erfolgt zudem eine Unterscheidung zwischen der Badabluft mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. Die Resultate sind in Tabelle 329 dargestellt.

Tabelle 329: Materialbedarf für Luftverteilung und Geräte der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Masse Lüftungsgeräte *)	0.00	0.00	0.00	0.00	kg/m^2
Masse Abluftanlage **)	0.02	0.02	0.02	0.02	kg/m^2
Masse diverse Elemente ***)	0.05	0.05	0.05	0.05	kg/m^2
Masse Luftverteilung, Kanäle	0.34	0.34	0.34	0.34	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Kanäle	**0.40**	**0.40**	**0.40**	**0.40**	**kg/m^2**
Masse Luftverteilung, Rohre	0.21	0.21	0.21	0.21	kg/m^2
Masse Lüftung gesamt, Rohre	**0.28**	**0.28**	**0.28**	**0.28**	**kg/m^2**

Gewicht inkl. Formstücken aber excl. Dämmungen; Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) In diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden*

***) Gerätegewicht Abluftanlage (excl. Kanäle)*

****) Div. Elemente wie z.B. Lüftungsgitter, Klappen, etc.*

Aus der Gebäudedefinition und den angewendeten Auslegungskriterien (z.B. Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, etc.) können die Druckverluste und die elektrische Leistung der Badventilatoren ermittelt werden. Diese Resultate bezogen auf die jeweilige Zuluftmenge der Berechnungsvariante (Luftaustausch über Fensterlüftung) sind in Tabelle 330 dargestellt.

Tabelle 330: Druckverluste und spez. Ventilatorleistung der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Druckverlust $_{\text{Abluftanlage intern, ABL-FOL}}$	40	40	40	40	Pa
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Kanal}}$	65	65	65	65	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Kanal}}$	105	105	105	105	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Kanal}}$	**0.14**	**0.24**	**0.24**	**0.13**	**W/(m^3/h)**
Druckverlust $_{\text{ABL-FOL, Rohr}}$	46	46	46	46	Pa
Druckverlust $_{\text{Gesamt, ABL-FOL, Rohr}}$	86	86	86	86	Pa
spez. Leistung$_{\text{, ABL-FOL, Rohr}}$	**0.14**	**0.24**	**0.24**	**0.13**	**W/(m^3/h)**

Bezug der spezifischen elektrischen Leistung: pro m ^{3}/h Zuluft der Fensterlüftung. Ventilatorwirkungsgrad der Badabluftgeräte: 18%
Berechnungsbasis: Auslegung der Luftgeschwindigkeiten: 100% MuKEn-Anforderung
Basis Luftgeschwindigkeit in Steigzonen: Auslegung auf ungünstigstes Stockwerk (Querschnitte über Höhe identisch)

14.2.2 Betrieb Konzeptvarianten mit Fensterlüftung

Die Veränderung des Wärmebedarfs für den Luftaustausch (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste durch Infiltration und Wärmebrücken) unterscheidet sich in den verschiedenen Konzeptvarianten primär aufgrund des hinterlegten Betriebsfalles. Die beiden Hauptszenarien für die Belegung und Aktivität sind in Tabelle 331 dokumentiert. Für die vier untersuchten Konzeptvarianten wurden diese Nutzungsvarianten jeweils beibehalten und nur die Art der Fensterlüftung wurde verändert.

Tabelle 331: Hauptszenarien für die Nutzungsvarianten für das Konzept mit Fensterlüftung (LK5)

	Szenario mit Abwesenheit tagsüber			**Szenario mit Anwesenheit 1 Person tagsüber**		
Tagesstunde	Anwesenheit	Emissionen *)	Schlafzimmertüre	Anwesenheit	Emissionen *)	Schlafzimmertüre
[1..24]	[Ja / Nein]	%	[auf / zu]	[Ja / Nein]	%	[auf / zu]
1	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
2	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
3	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
4	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
5	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
6	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu
7	Ja	100%	auf	Ja	100%	auf
8	Nein	30%	auf	Ja	70%	auf
9	Nein	0%	auf	Ja	70%	auf
10	Nein	0%	auf	Ja	70%	auf
11	Nein	0%	auf	Nein	0%	auf
12	Nein	0%	auf	Nein	0%	auf
13	Nein	0%	auf	Ja	70%	auf
14	Nein	0%	auf	Ja	50%	auf
15	Nein	0%	auf	Nein	0%	auf
16	Nein	0%	auf	Nein	0%	auf
17	Nein	0%	auf	Ja	70%	auf
18	Ja	130%	auf	Ja	130%	auf
19	Ja	130%	auf	Ja	130%	auf
20	Ja	130%	auf	Ja	130%	auf
21	Ja	100%	auf	Ja	100%	auf
22	Ja	100%	auf	Ja	100%	auf
23	Ja	80%	zu	Ja	80%	zu
24	Ja	70%	zu	Ja	70%	zu

*) Basis für 100% entspricht 2 Personen mit je 18 l/h CO2-Ausstoss (je 1 Olf, entsprechend sitzender Tätigkeit)

In Abbildung 84 sind die zusammengefassten Berechnungsresultate der verschiedenen Fensterlüftungsvarianten bezüglich der zu erwartenden CO_2-Konzenration dargestellt. Als Vergleich wurden dieselben Szenarien für eine mechanische Lüftungsanlage berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese bei Abwesenheit von Personen zurückgefahren wird. Im Weiteren ist zu beachten, dass die Auswertung immer den ganzen Tag beinhaltet, also auch die Zeiten, in denen keine Personen anwesend sind. Für die Berechnung wird davon ausgegangen, dass die Schlafzimmer mit zwei Personen belegt sind und Schlafzimmertüre nachts geschlossen ist. Abbildung 85 zeigt die Auswertung für die Lüftungsverluste, die sich rechnerisch aus den Luftmengen und Temperaturdifferenzen ergeben. Für den Vergleichsfall mit Lüftungsanlage basieren die Werte auf einer Wärmerückgewinnung von 70%.

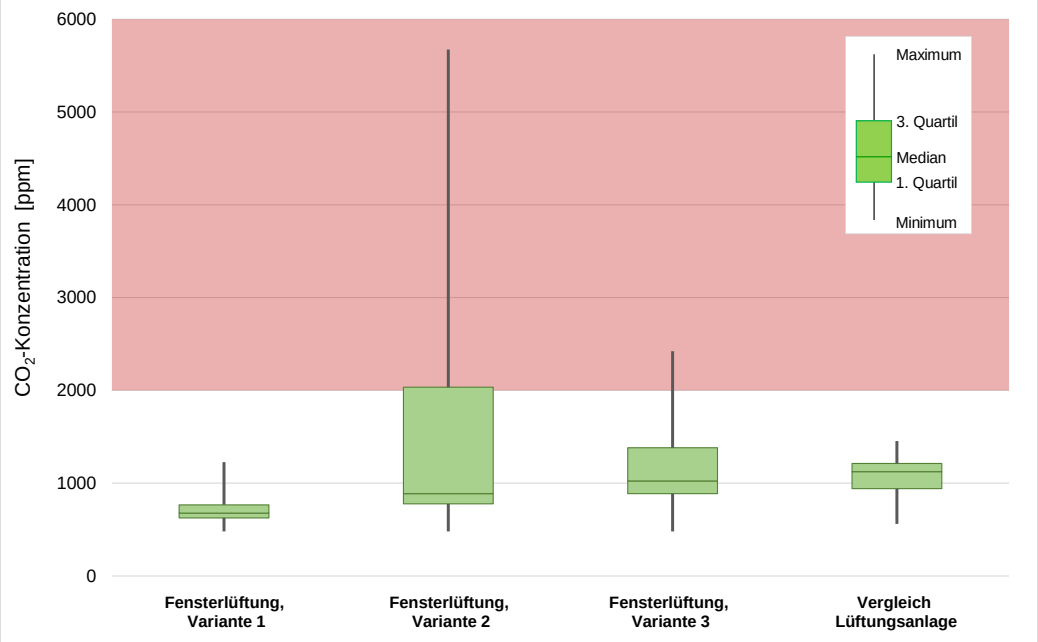


Abbildung 84: Vergleich der Berechnungsresultate zur CO_2-Konzentration für die Fensterlüftungsvarianten

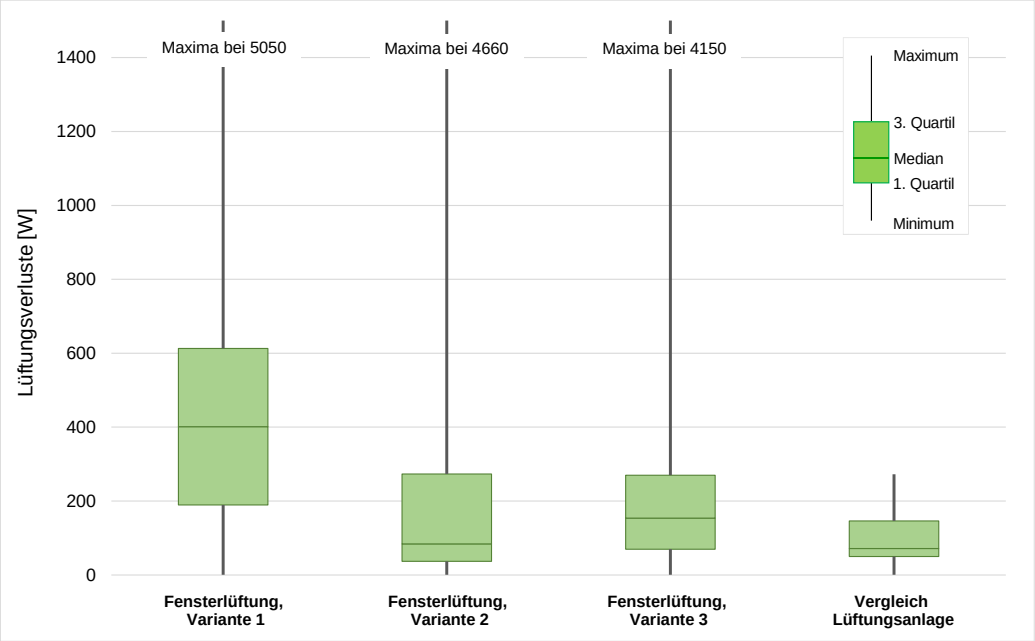


Abbildung 85: Vergleich der Berechnungsresultate zu den Lüftungsverlusten für die Fensterlüftungsvarianten

Die in der Basisvariante dargestellten Nutzungsszenarien zur Fensterlüftung basieren auf einer Belegung der 3 ½-Zimmer Wohnung mit zwei Personen und geschlossener Schlafzimmertüre in der Nacht. Bei diesem Nutzungsszenario tritt, bis auf Variante 1 mit dem nachts gekippten Fenster, immer im mit zwei Personen belegten Schlafzimmer die höchste CO_2-Konzentration auf. Der Grund liegt in der geschlossenen Schlafzimmertüre, wodurch das verfügbare Luftvolumen stark reduziert wird. Wird nachts die Schlafzimmertüre offengehalten, so werden die Spitzen der CO_2-Konzentrationen klar reduziert. Diese Berechnungsvariante ist in Abbildung 86 dargestellt.

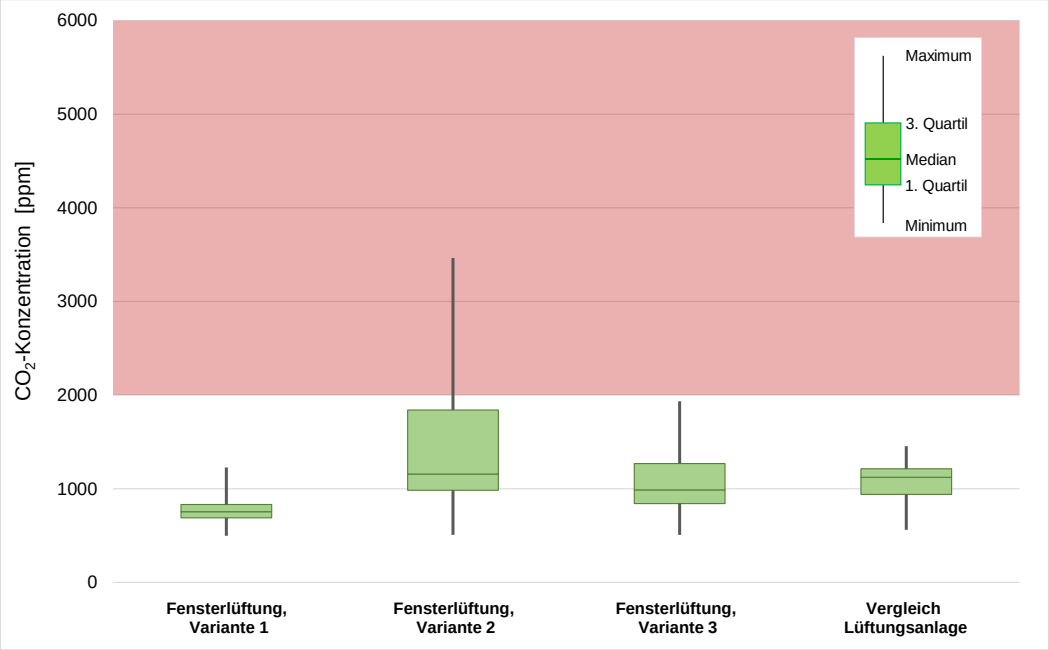


Abbildung 86: Berechnungsresultate zur CO_2-Konzentration der Fensterlüftungsvarianten bei offenen Schlafzimmertüre

Im Folgenden werden ausgewählte Resultate aus den Analysen zu den Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5) bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien dokumentiert. In Tabelle 332 sind die für die Dokumentation gewählten Szenarien zusammengefasst. Diese Auswertungen werden nachfolgend mit je zwei Diagrammen dokumentiert. Dies ist zum einen der Verlauf des Aussenluftvolumenstroma an zwei Tagen im Januar und ein Streudiagram, dass die CO_2-Konzentration der Variante in Abhängigkeit der Aussentemperatur (über das ganze Jahr).

Tabelle 332: Für Dokumentation gewählte Nutzungsfälle für das Konzept mit Fensterlüftung (LK5)

Szenario	Anwesenheit, tagsüber [Ja / Nein]	Lüftung bei Anwesenteit am Tag [Art]	zusätzliche Stosslüftung [min]	Lüftung in der Nacht [Art]
1	Nein	Stosslüftung 6 min je Stunde	je 15 min Morgens / Abends	1 Kippfenster offen
2	Ja	Stosslüftung 6 min je Stunde	je 15 min Morgens / Abends	1 Kippfenster offen
3	Nein	Stosslüftung 6 min je Stunde	je 15 min Morgens / Abends	Fenster geschlossen
4	Nein	Stosslüftung 6 min je Stunde	je 30 min Morgens / Abends	Fenster geschlossen
5	Ja	Stosslüftung 6 min je Stunde	je 15 min Morgens / Abends	Fenster geschlossen
6	Nein	Beschläge offen *)	je 15 min Morgens / Abends	Beschläge offen *)
7	Ja	Beschläge offen *)	je 15 min Morgens / Abends	Beschläge offen *)

Für diese Nutzzungsszenarien wir von einen Belegung mit 2 Personen und nachts offenen Schlaftimmerüren ausgegangen

*) offene Fensterbeschläge mit einem Durchlusskennwert C_K von 0.03 eingesetzt.

Nutzungsszenario 1 mit Abwesenheit tagsüber; bei Anwesenheit 6 min/h Stosslüften sowie Morgen und Abend je 15 min Stosslüften; Fenster nachts gekippt:

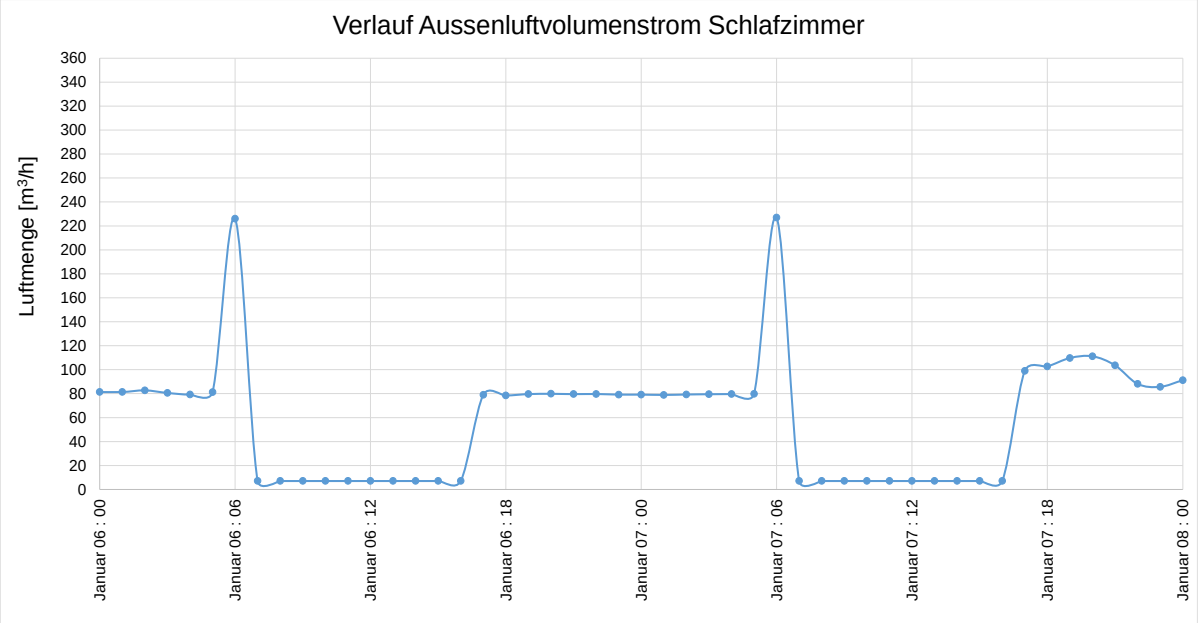


Abbildung 87: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar

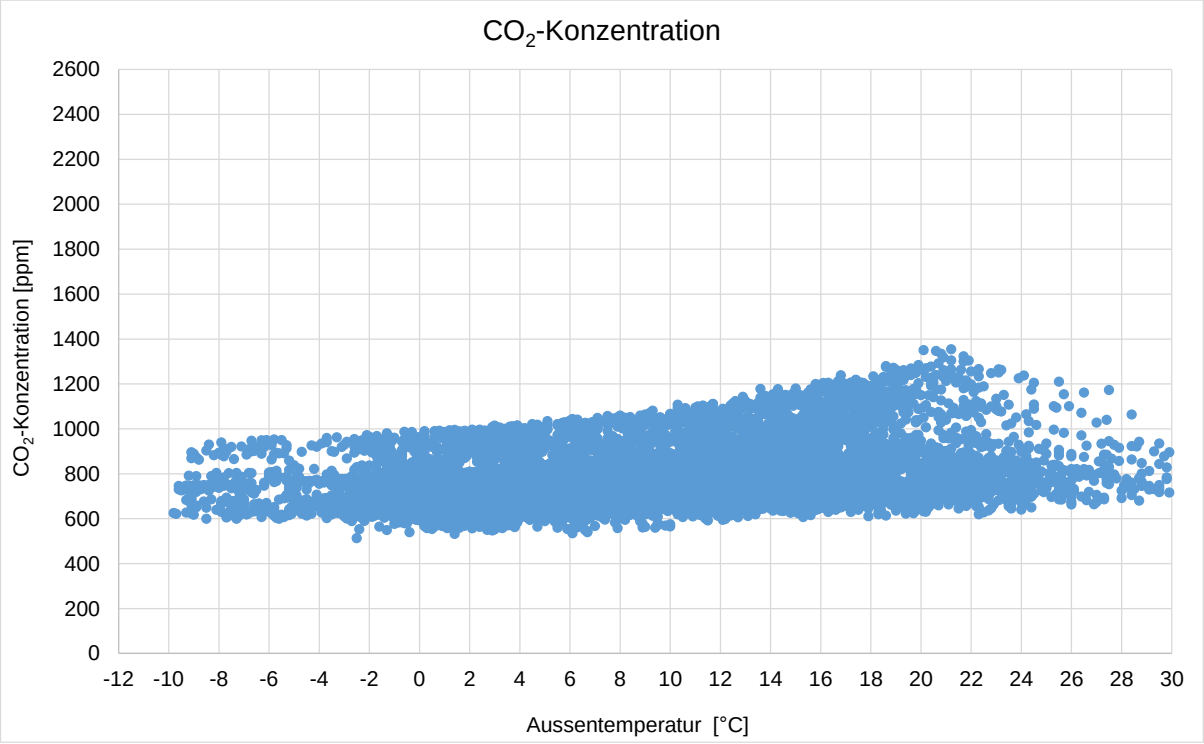


Abbildung 88: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur

Nutzungsszenario 2 mit Anwesenheit tagsüber; bei Anwesenheit 6 min/h Stosslüften sowie Morgen und Abend je 15 min Stosslüften; Fenster nachts gekippt:

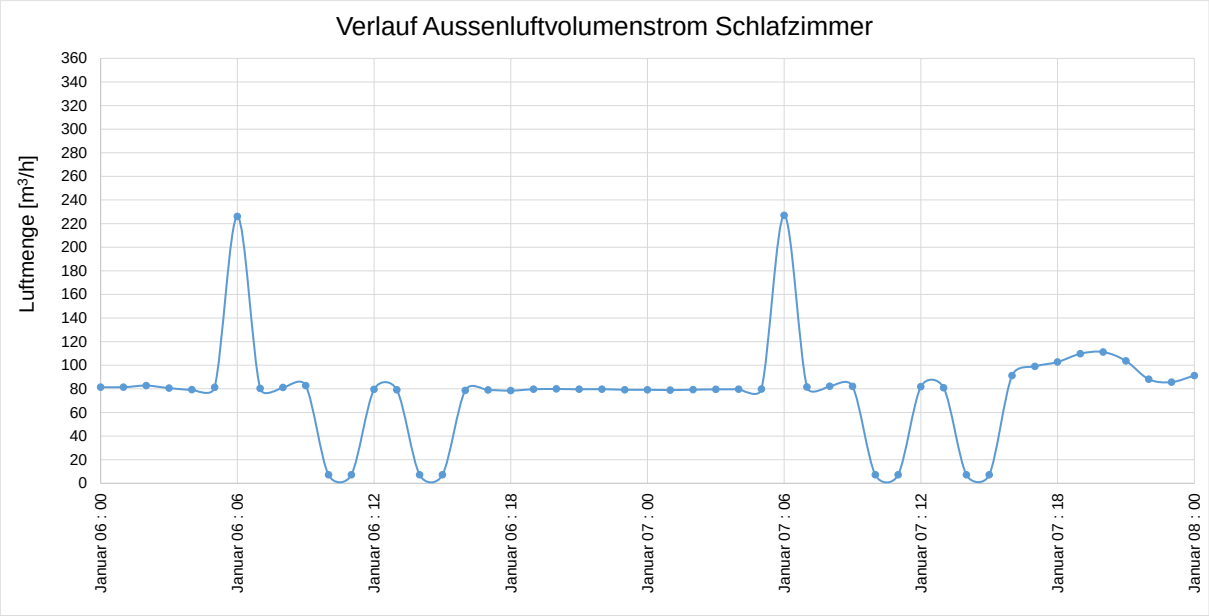


Abbildung 89: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar

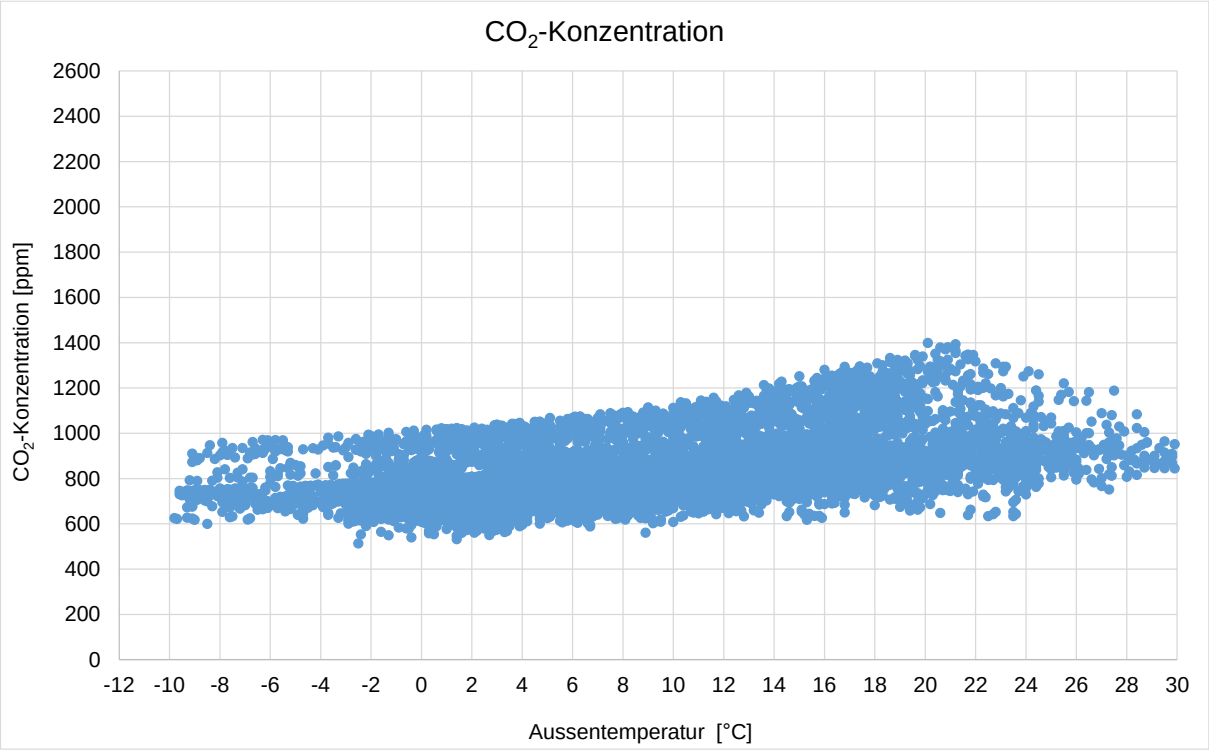


Abbildung 90: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts gekippt; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur

Nutzungsszenario 3 mit Abwesenheit tagsüber; bei Anwesenheit 6 min/h Stosslüften sowie Morgen und Abend je 15 min Stosslüften; Fenster nachts geschlossen:

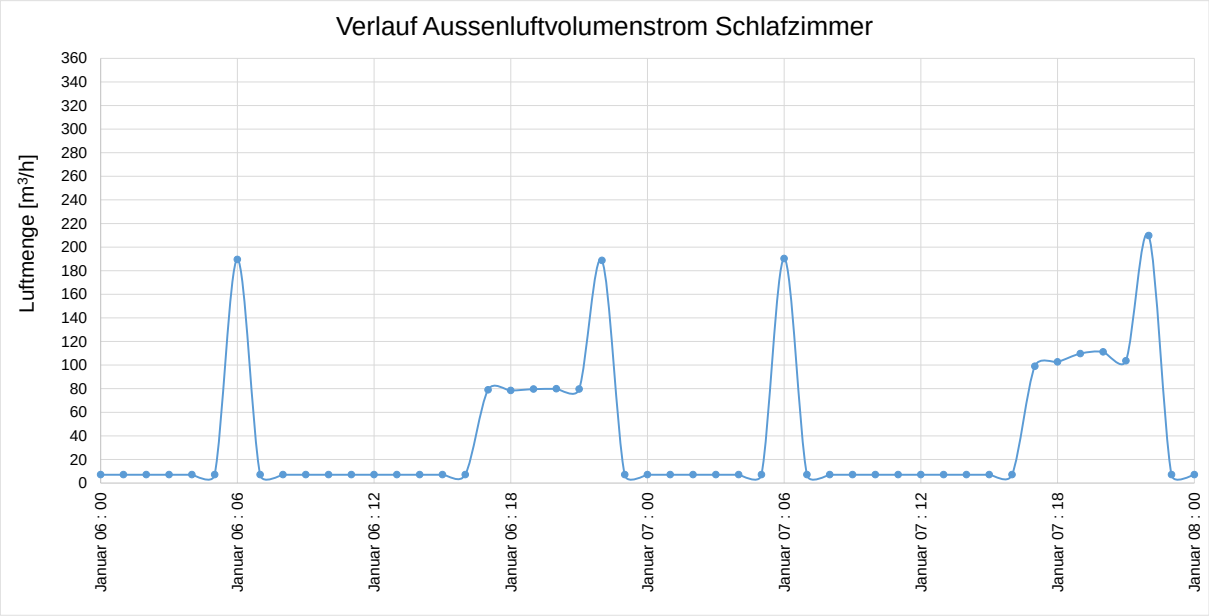


Abbildung 91: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar.

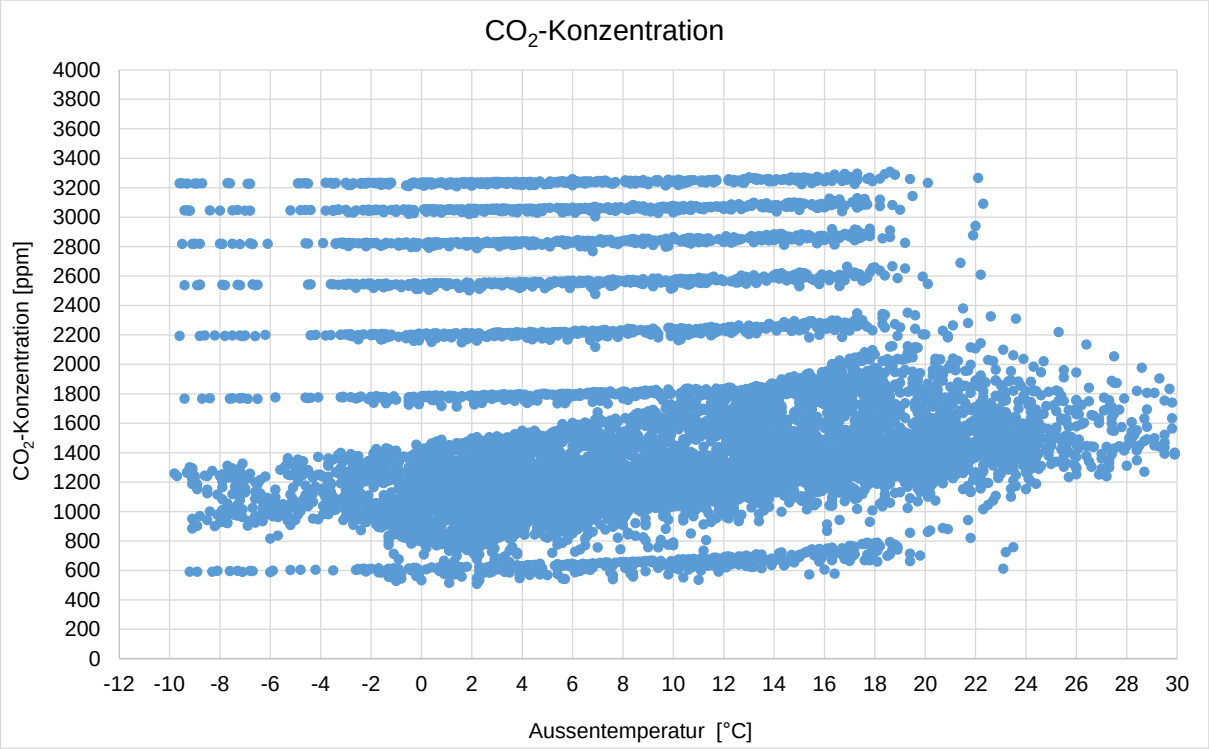


Abbildung 92: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur

Nutzungsszenario 4 mit Abwesenheit tagsüber; bei Anwesenheit 6 min/h Stosslüften sowie Morgen und Abend je 30 min Stosslüften; Fenster nachts geschlossen:

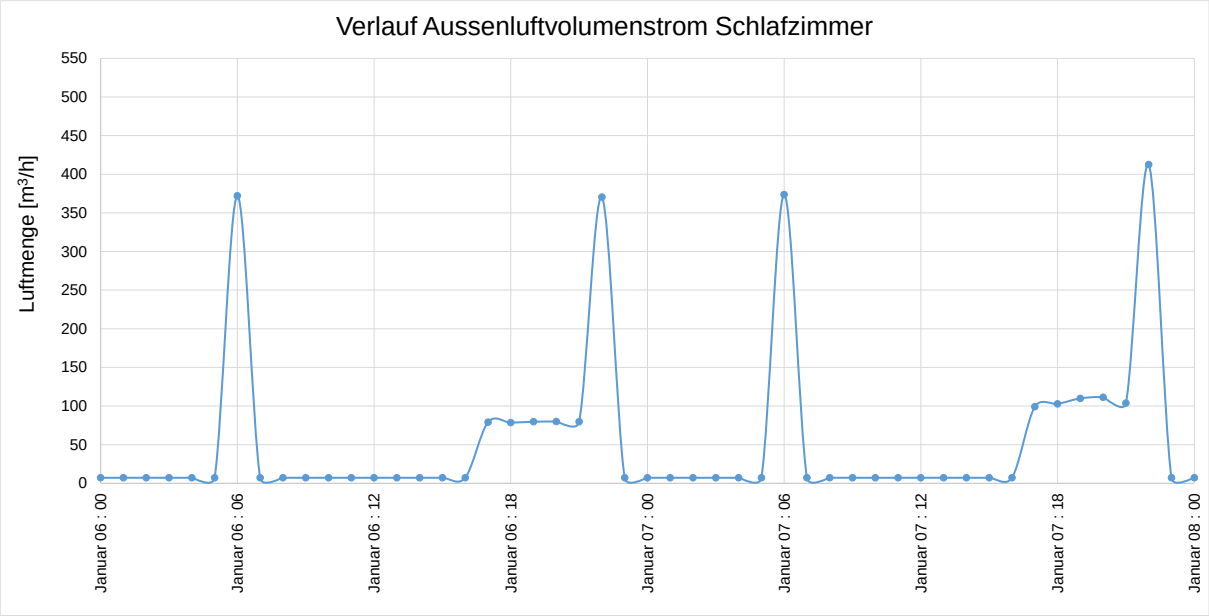


Abbildung 93: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom im Januar; Variante

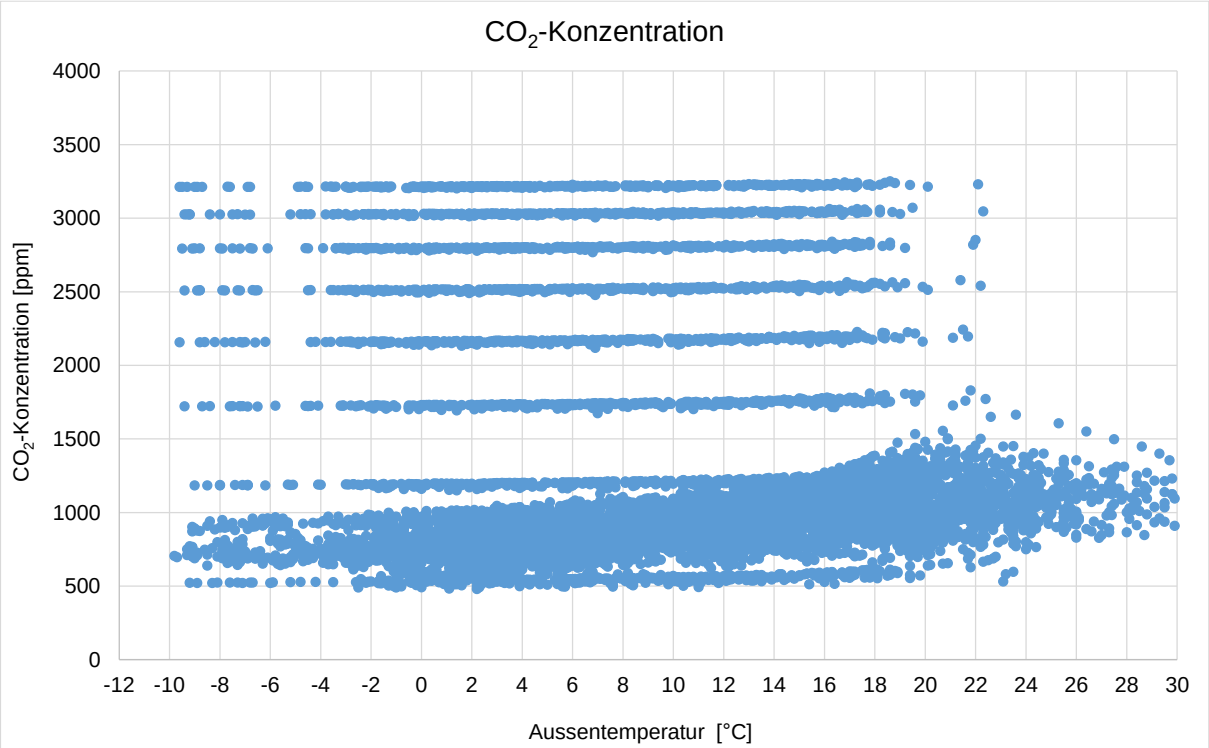


Abbildung 94: Abwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur, Variante

Nutzungsszenario 5 mit Anwesenheit tagsüber; Bei Anwesenheit 6 min/h Stosslüften sowie Morgen und Abend je 15 min Stosslüften; Fenster nachts geschlossen:

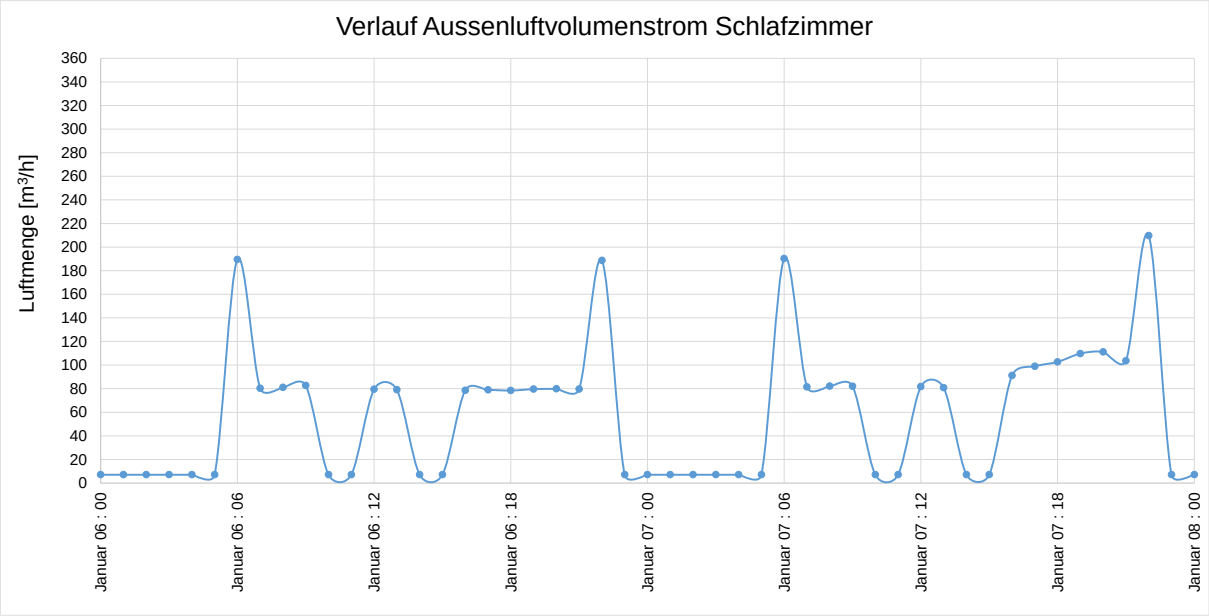


Abbildung 95: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar

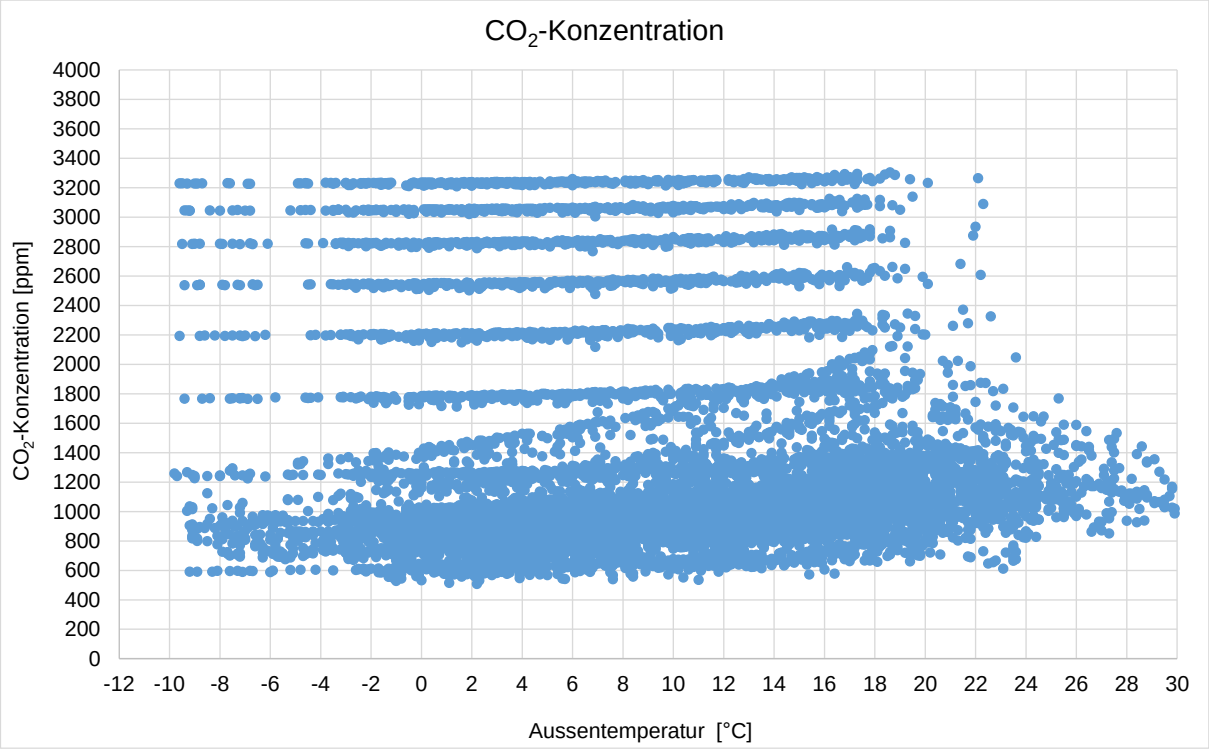


Abbildung 96: Anwesenheit tagsüber; Fenster nachts geschlossen; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur

Nutzungsszenario 6 mit Abwesenheit tagsüber; Bei Anwesenheit und nachts offene Fensterbeschläge (C_K = 0.03); zusätzlich Morgen und Abend je 15 min Stosslüften:

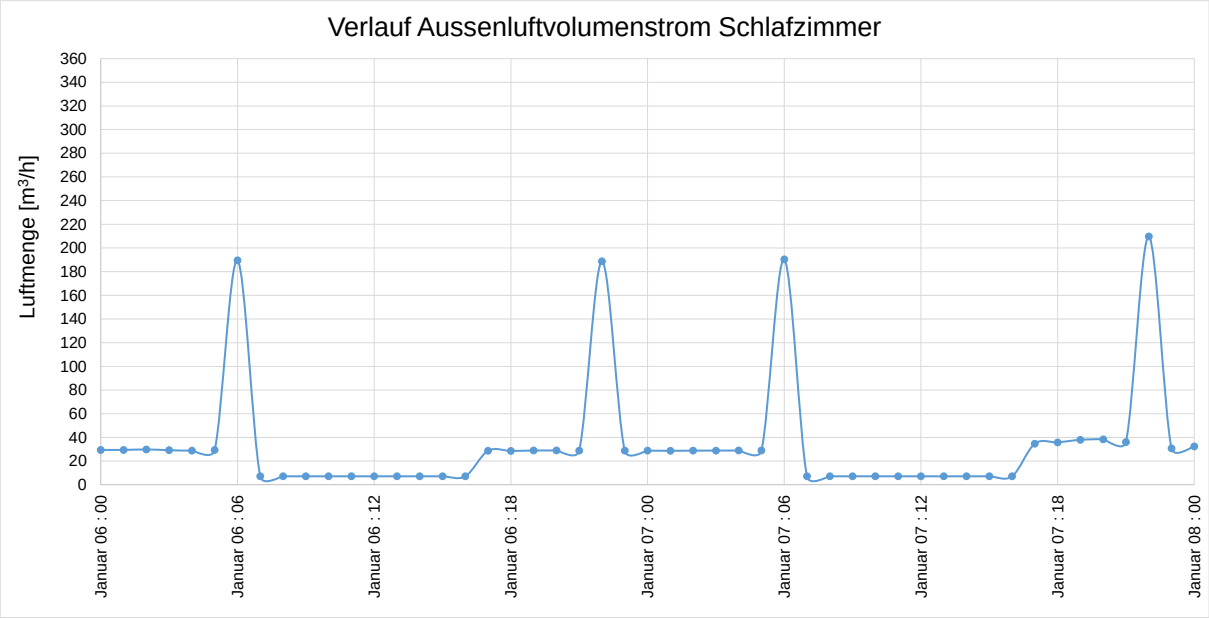


Abbildung 97: Abwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar.

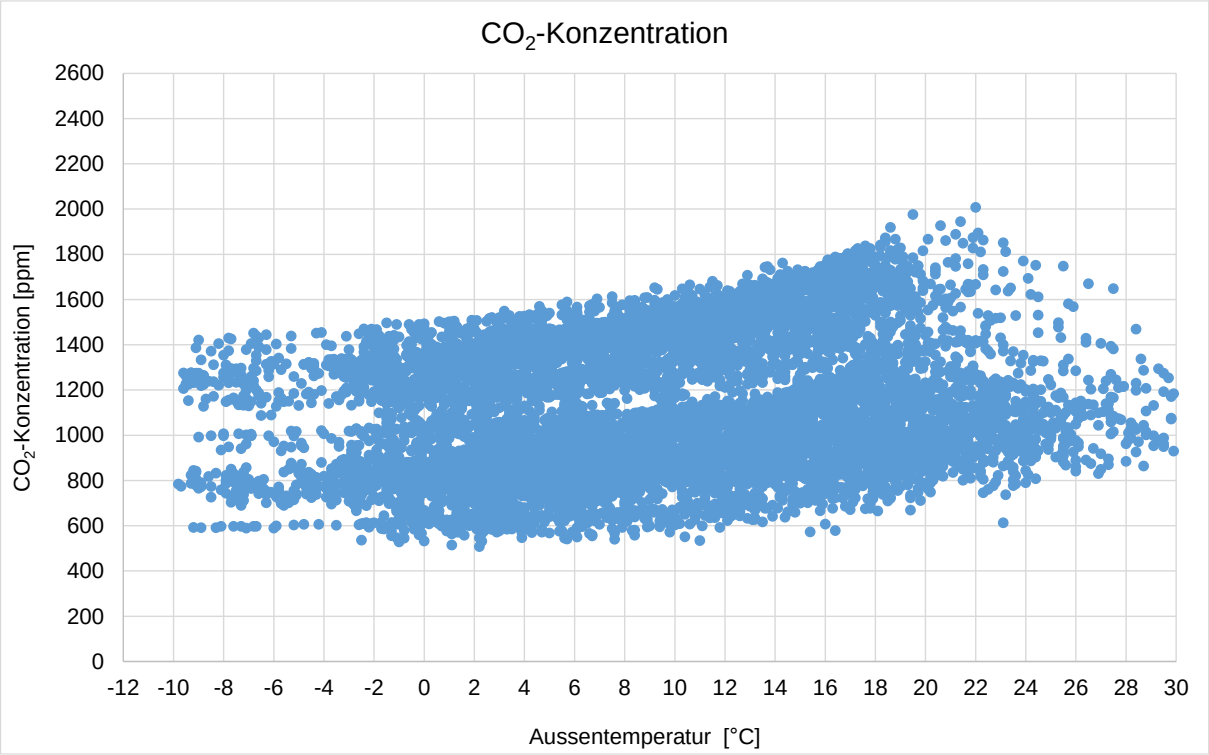


Abbildung 98: Abwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur.

Nutzungsszenario 7 mit Anwesenheit tagsüber; Bei Anwesenheit und nachts offene Fensterbeschläge (C_K = 0.03); zusätzlich Morgen und Abend je 15 min Stosslüften:

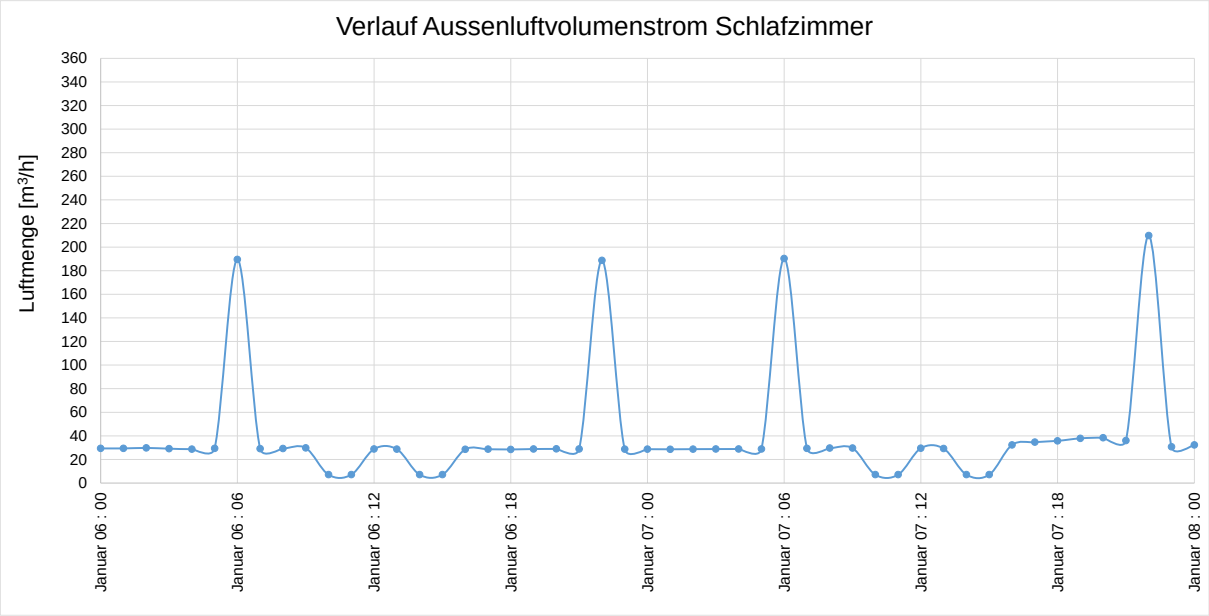


Abbildung 99: Anwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; Aussenluftvolumenstrom an zwei Tagen im Januar.

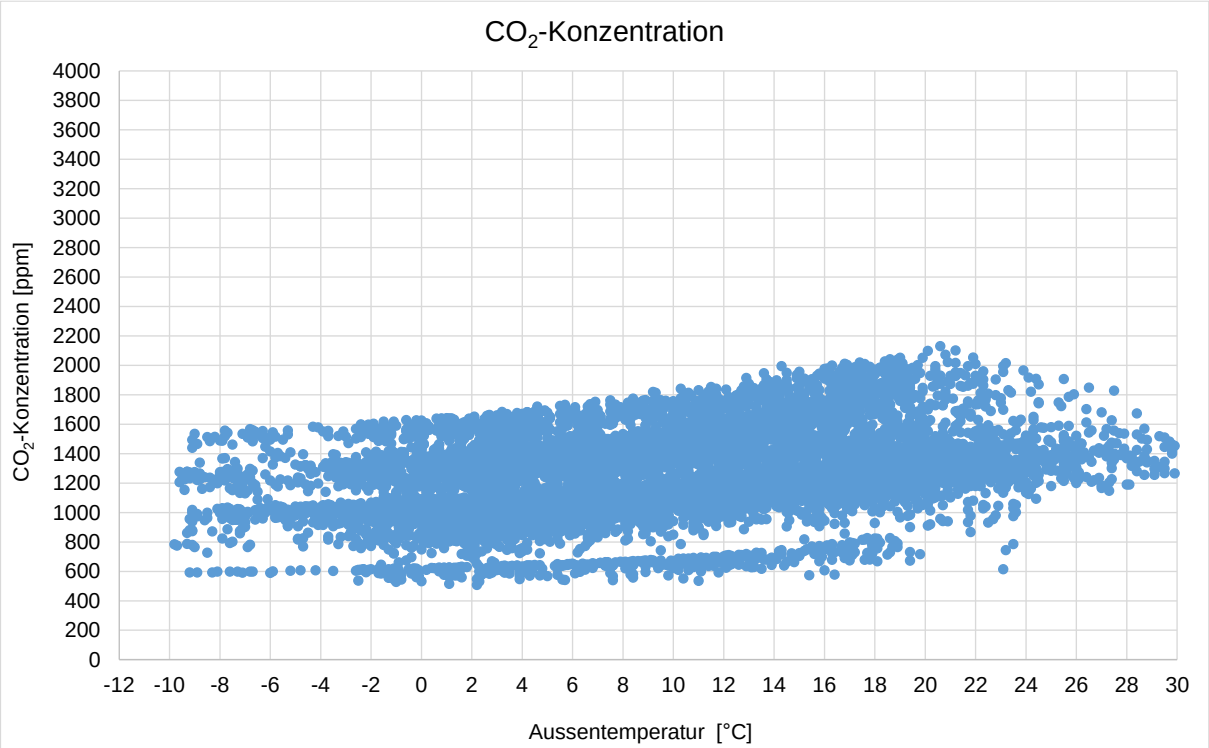


Abbildung 100: Anwesenheit tagsüber; Fensterlüftung mit Spaltlüftung; CO_2-Konzentration vs. Aussentemperatur

14.2.3 Betriebsenergiebedarf Wärme der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung

Die Veränderung des Wärmebedarfs für den Luftaustausch (Lüftungsverluste + zusätzliche Wärmeverluste durch Infiltration und Wärmebrücken) unterscheidet sich in den verschiedenen Konzeptvarianten primär

aufgrund des hinterlegten Betriebsfalles. Die berechneten Kennwerte zum Bedarf an Wärme (Betriebsenergiebedarf Wärme) für die 4 untersuchten Varianten sind in Tabelle 333 dokumentiert. Da sich bei den Verlusten keine Differenzen durch die Kanaloberflächen der Abluft zwischen einer Ausführung mit Kanälen und Rundrohren ergeben sind werden diese in späteren Vergleichen nicht mehr unterschieden.

Tabelle 333: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Wärme Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Temperaturänderungsgrad *)	0%	0%	0%	0%	%
Wärmebedarf, Küchenabluft **)	2.1	2.1	2.1	2.1	kWh /(m^2 a)
Wärmebedarf gesamt$_{, \text{Kanäle}}$	**25.4**	**16.5**	**16.5**	**28.3**	**kWh /(m^2 a)**
Wärmebedarf gesamt$_{, \text{Rohre}}$	**25.4**	**16.5**	**16.5**	**28.3**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) Temperauränderungsgrad = 0% bei Fensterlüftung*

***) Wärmeverluste durch Nachströmen der Ersatzluft für die Küchenabluft*

14.2.4 Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung

Bei diesem Lüftungskonzept ist kein Strombedarf für den Luftaustausch in den Zimmern vorhanden (da Fensterlüftung). Der einzige Lüftungsstrom, der einbezogen wird, ist der Strombedarf für die Badabluft. Dieser Bedarf ist in erster Linie vom Betriebsszenario abhängig (in der Basisvariante 3 h pro Tag angenommen) und unterscheidet sich damit nicht zwischen den betrachteten Varianten. Wie bei den anderen Lüftungskonzepten wird der Strombedarf für die Dunstabzugshaube nicht mit einbezogen. Angaben zur Grössenordnung dieses Stromverbrauchs sind in (Hauri, et al., 2019) zu finden und fallen für alle in diesem Bericht dargestellten Konzepte zusätzlich an.

Für die 4 Konzeptvarianten mit Fensterlüftung wurden die spezifischen Kennwerte für den Lüftungsstrombedarf bestimmt und in Tabelle 334 dargestellt.

Tabelle 334: Resultate für den Betriebsenergiebedarf Strom der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Druckregelung ABL	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Mittelwert Betriebsluftmenge *)	13%	13%	13%	13%	% der Nenn-LM
Strombedarf gesamt$_{, \text{ABL Bad}}$	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**kWh /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr

**) rechnerische mittlere Luftmenge des Badabluftbetriebs bei der angenommenen Betriebsstrategie (3h/Tag Betrieb)*

14.2.5 Ökobilanzdaten der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung

Aus den ermittelten Materialmengen und den zugehörigen Ökobilanzdaten werden die Belastungen für die Herstellung und Entsorgung der verwendeten Materialien berechnet. Als Basis dienen die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert). Die Resultate werden als Belastungen pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr angegeben. Für diese Umrechnung werden die in Tabelle 4 dargestellten Lebensdauerannahmen verwendet.

Neben den Materialien die für die Lüftungsanlage (Geräte, Kanäle etc.) benötigt werden sind je nach Variante auch zusätzliche Materialien der Gewerke Elektro und Baumeister zu berücksichtigen, um einen korrekten Vergleich zu ermöglichen. In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für den Unterhalt (Material, Transporte) separat ausgewiesen.

Für die 4 Konzeptvarianten für Abluftanlagen wurden die spezifischen Kennwerte für vier verschiedene Indikatoren bestimmt und dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen einer Ausführung der Verrohrung der Badabluft mit Kanälen bzw. mit Rundrohren. Diese werden jeweils in separaten Tabellen aufgeführt.

Die Resultate für die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 13) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 335 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 336.

Tabelle 335: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	95	95	95	95	UBP /(m^2 a)
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	4	4	4	4	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	15	15	15	15	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	17	17	17	17	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	199	201	199	199	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	2	2	2	2	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	25	25	25	25	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	52	52	52	52	UBP /(m^2 a)
Summe	**409**	**412**	**409**	**409**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Tabelle 336: Resultate Bewertung Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	65	65	65	65	UBP /(m^2 a)
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	2	2	2	2	UBP /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	11	11	11	11	UBP /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	17	17	17	17	UBP /(m^2 a)
Diverse Elemente	199	201	199	199	UBP /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	2	2	2	2	UBP /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	25	25	25	25	UBP /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0	0	0	0	UBP /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	52	52	52	52	UBP /(m^2 a)
Summe	**374**	**377**	**374**	**374**	**UBP /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Die Resultate für die Bewertung der gesamten Primärenergie (Summe aus Primärenergie nichterneuerbar und erneuerbar) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 337 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 338.

Tabelle 337: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.13	0.13	0.13	0.13	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.45	0.46	0.45	0.45	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.23	0.23	0.23	0.23	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.94**	**0.94**	**0.94**	**0.94**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Tabelle 338: Resultate Bewertung Primärenergie, gesamt; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.09	0.09	0.09	0.09	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.01	0.01	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.45	0.46	0.45	0.45	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.23	0.23	0.23	0.23	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.89**	**0.89**	**0.89**	**0.89**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Die Resultate für die Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie (Graue Energie) sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 339 zu finden und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 340.

Tabelle 339: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK5, mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.12	0.12	0.12	0.12	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.02	0.02	0.02	0.02	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.41	0.41	0.41	0.41	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.22	0.22	0.22	0.22	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.87**	**0.87**	**0.87**	**0.87**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Tabelle 340: Resultate Bewertung Primärenergie, nichterneuerbar (Graue Energie); Konzeptvarianten zu LK5, mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.08	0.08	0.08	0.08	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Horizontal zu Wohnung	0.01	0.01	0.01	0.01	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
innerhalb Wohnung	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.05	0.05	0.05	0.05	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Diverse Elemente	0.41	0.41	0.41	0.41	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches Schächte *)	0.04	0.04	0.04	0.04	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Bauliches, Betondecken **)	0.00	0.00	0.00	0.00	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Unterhalt und Wartung	0.22	0.22	0.22	0.22	$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$
Summe	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**$kWh_{oil\text{-}eq}/(m^2\ a)$**

Bezug: pro m² Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Die Resultate für die Bewertung des Treibhausgaspotentials sind für die Ausführung mit Kanälen in Tabelle 341 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 342.

Tabelle 341: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.028	0.028	0.028	0.028	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.001	0.001	0.001	0.001	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.005	0.005	0.005	0.005	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.011	0.011	0.011	0.011	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.098	0.100	0.098	0.098	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.001	0.001	0.001	0.001	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.009	0.009	0.009	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.049	0.049	0.049	0.049	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.201**	**0.202**	**0.201**	**0.201**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

Tabelle 342: Resultate Bewertung Treibhausgaspotentials; Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Vertikale Steigzone	0.019	0.019	0.019	0.019	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal ABL Ventil zu Steigzone	0.001	0.001	0.001	0.001	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Horizontal zu Wohnung	0.003	0.003	0.003	0.003	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
innerhalb Wohnung	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abluftanlage, Bad (Geräte)	0.011	0.011	0.011	0.011	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Diverse Elemente	0.098	0.100	0.098	0.098	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Anschlüsse Heizung, Elektro	0.001	0.001	0.001	0.001	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches Schächte *)	0.009	0.009	0.009	0.009	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Bauliches, Betondecken **)	0.000	0.000	0.000	0.000	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Unterhalt und Wartung	0.049	0.049	0.049	0.049	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**0.190**	**0.191**	**0.190**	**0.190**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr, ohne Betriebsenergie; Beinhaltet Herstellung und Entsorgung der Materialien
Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)
**) Materialanteil für Vertikalschächte, wenn vorhanden abgehängte Decke*
***) Materialzuschlag für verstärkte Betondecke (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

14.2.6 Raumbedarf für Schächte und Geräte der Konzeptvarianten für LK 5

Aus den ermittelten Dimensionen der Lüftungskanäle und -Rohre der Abluft aus Bad und von der Dunstabzugshaube kann der erforderliche Schachtflächenbedarf und daraus den Raumbedarf für die Schächte ermittelt werden. Für den Aussenluftdurchlass wurde ein Raumbedarf für Servicearbeiten ermittelt und in den Kennwert einbezogen. Der dafür ermittelte Raumbedarf kann daher im Normalfall anders genutzt werden muss aber für Servicearbeiten freigehalten werden können[66]. Die Kennwerte für die 4 Varianten aufgrund des identischen Konzeptes nicht. Die spezifischen Kennwerte für den Raumbedarf sind in Tabelle 343 dargestellt.

Tabelle 343: Resultate für den Raumbedarf der Konzeptvarianten zu LK5 (Fensterlüftung mit Badabluft)

Spez. Raumbedarf für vertikale Luftverteilung und Geräte

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Raumbedarf $_{ALD}$ *)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Schächte, Kanal}$	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Gesamt, Kanal}$	**0.0066**	**0.0066**	**0.0066**	**0.0066**	**m^3/m^2**
Raumbedarf $_{Schächte, Rohr}$	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	m^3/m^2
Raumbedarf $_{Gesamt, Rohr}$	**0.0069**	**0.0069**	**0.0069**	**0.0069**	**m^3/m^2**

Für den Raumbedarf in den Schächten wird die Dämmung (wenn vorhanden) berücksichtigt.

*) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

14.2.7 Kosten für die Anlagen der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK 5)

Aus den ermittelten Materialmengen, Gerätezahl und Gerätegrössen werden mittels Kostenkurven und Kostenkennzahlen die Investitionskosten berechnet. Als Basis für diese Kostendaten dienten verfügbare Projektdaten, Herstellerpreislisten sowie eigene Kostenkennzahlen und Annahmen.

Die Kosten für die Dunstabzugshauben (Ablufthaube) wurden in die Position «diverse Elemente» einbezogen. Es wurde eine typische Abzugshaube für den normalen Wohnungsbau eingesetzt, die aber eine gute Energieeffizienz aufweist (kein hochpreisiges Produkt).

Neben dem Gewerk Lüftung (BKP 244) werden in den Kosten auch Positionen aus anderen Gewerken berücksichtigt, welche für den Variantenvergleich der Anlagen wesentlich sind. Es sind dies die Gewerke Elektro/MSRL (Anschlüsse der Geräte) und Baumeister (Schachtwände, Leitungsverkleidungen, Durchbrüche). In den folgenden Resultattabellen werden diese, wie auch die Aufwendungen für eine allfällige Verstärkung der Betondecke (in den Variantenvergleichen zu LK 5 nicht relevant bzw. einbezogen) separat ausgewiesen.

Die Resultate für die Investitionskosten sind für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen in Tabelle 344 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 345.

Die Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion wurden basierend auf den ermittelten Anlagen- und Kostenkenngrössen (Gerätetyp, Anzahl Luftauslässe, Gerätekosten) sowie weiteren Annahmen (Anfahrtsweg, Personenzahl, Stundenansatz) modelliert. Als Basis für diese Kostendaten dienten typische Kostenkennzahlen und Annahmen. Wie bereits im Kapitel 3.3.4 beschrieben wird ein jährlicher Filterersatz (da im Konzept eine Abluft-Dunstabzugshaube verwendet wird, kein Ersatz eines Aktivkohlefilter notwendig) und eine jährliche Gerätewartung angenommen. Für den 6-jährlichen Unterhalt (mit Hygieneinspektion) wird zusätzlich angenommen, dass die Abluft- und FOL-Leitungen sowie die Aussenluftdurchlässe gereinigt werden. In den Kosten sind keine Ersatzinvestitionen enthalten, sondern nur ein prozentualer Kostenanteil für den Unterhalt (Reparatur, Ersatz von Verbrauchsmaterial) der Anlagen. Die Resultate für die Unterhaltskosten sind für die Ausführung der Abluft mit Kanälen in Tabelle 346 zu finden, und für die Ausführung mit Rohren in Tabelle 347.

[66] Der ermittelte Raumbedarf ist vor allem für einen ungehinderten Zugang für Servicearbeiten (jährliche Reinigung / Filterwechsel) notwendig und muss bei der Nutzung berücksichtigt werden. Er wurde daher in der Analyse einbezogen.

Tabelle 344: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Luftverteilung *)	4	4	4	4	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0	0	0	0	CHF / m^2
Abluftanlage, Bad (Geräte)	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	5	5	5	5	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	3	3	3	3	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	9	10	9	9	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**30**	**31**	**30**	**30**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	3400	3500	3400	3400	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 345: Resultate für die Investitionskosten der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**	**Einheit**
Luftverteilung *)	2	2	2	2	CHF / m^2
Dämmung	0	0	0	0	CHF / m^2
Lüftungsgeräte (in LK5 nicht vorh.)	0	0	0	0	CHF / m^2
Abluftanlage, Bad	3	3	3	3	CHF / m^2
Diverse Elemente Lüftung	7	7	7	7	CHF / m^2
Transport, Montage, IB	5	5	5	5	CHF / m^2
Anteil Elektro, MSRL **)	3	3	3	3	CHF / m^2
Bauliches, nichttragend ***)	9	10	9	9	CHF / m^2
Bauliches, Betondecken ****)	0	0	0	0	CHF / m^2
Summe	**27**	**28**	**27**	**27**	**CHF / m^2**
Summe pro Wohnung	3000	3200	3000	3000	CHF / WNG

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

**) Verteilung innerhalb WNG, sofern relevant mit eingelegten PE-Rohren (in diesem Lüftungskonzept nicht vorhanden)*

***) Anteil Gewerke Elektro / MSRL*

****) Anteil Baumeister (Durchbrüche, Schachtverkleidung, wenn relevant: abgehängte Decken)*

*****) Anteil Baumeister für Betondecken (wenn relevant: verstärkte Betondecke)*

Tabelle 346: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	0.99	0.99	0.99	0.99	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.62	0.62	0.62	0.62	CHF /(m^2 a)
Summe	**1.61**	**1.61**	**1.61**	**1.61**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

Tabelle 347: Resultate der Kosten für Wartung, Unterhalt und Inspektion der Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
jährlicher Unterhalt	0.99	0.99	0.99	0.99	CHF /(m^2 a)
6-Jahres Unterhalt *)	0.56	0.56	0.56	0.56	CHF /(m^2 a)
Summe	**1.55**	**1.55**	**1.55**	**1.55**	**CHF /(m^2 a)**

Bezug: pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr
**) gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr*

14.2.8 Varianz der Resultate der Konzeptvarianten mit Fensterlüftung (LK5)

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen mit Annahmen zu einer günstigen bzw. ungünstigen Situation für die Konzeptvarianten angenommen. Die Wohnungsgrösse wurde bei dieser Sensitivitätsanalyse nicht verändert (alle Wohnungen sind 3.5-Zimmer Wohnungen). Variiert wurden in erster Linie die Nutzereinflüsse (Anwesenheiten, etc.), welche sich v.A. stark auf das Lüftungsverhalten und damit auf den Wärmebedarf auswirken. Im Weiteren wurde eine Variation in der Länge der Luftverteilung von/bis zum Gerät und eine Variation der Elementkosten (v.A. beim ALD) einbezogen. Ebenfalls in der Varianz enthalten ist die Differenz zwischen einer Verrohrung mit Lüftungskanälen und Lüftungsrohren. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate separat dokumentiert.

Tabelle 348: Resultate der Rechenvariante den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.62	0.37	0.37	0.70	(m^3/h)/m^2
Betriebsenergie, Strom	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**25.4**	**16.5**	**16.5**	**28.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.87**	**0.87**	**0.87**	**0.87**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**30**	**31**	**30**	**30**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.58**	**1.58**	**1.58**	**1.58**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0066**	**0.0066**	**0.0066**	**0.0066**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.40	0.41	0.40	0.40	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	105	105	105	105	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.24	0.24	0.13	W/(m^3/h)
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	409	412	409	409	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.201	0.202	0.201	0.201	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.94	0.94	0.94	0.94	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche
*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.
**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.
***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.
****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 349: Resultate der Rechenvariante mit den Basisannahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.62	0.37	0.37	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**0.10**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**25.4**	**16.5**	**16.5**	**28.3**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**27**	**28**	**27**	**27**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.55**	**1.55**	**1.55**	**1.55**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0069**	**0.0069**	**0.0069**	**0.0069**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.28	0.28	0.28	0.28	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	86	86	86	86	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.24	0.24	0.13	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	374	377	374	374	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.190	0.191	0.190	0.190	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.89	0.89	0.89	0.89	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 350: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.49	0.29	0.32	0.70	0.88	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**18.9**	**11.9**	**12.9**	**26.5**	**33.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.81**	**0.81**	**0.81**	**0.81**	**0.81**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**26**	**27**	**26**	**26**	**26**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.51**	**1.51**	**1.51**	**1.51**	**1.51**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0056**	**0.0056**	**0.0056**	**0.0056**	**0.0056**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	203	203	203	203	203	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.23	0.21	0.09	0.08	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	369	371	369	369	369	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.187	0.189	0.187	0.187	0.187	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.87	0.88	0.87	0.87	0.87	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 351: Resultate der Rechenvariante mit günstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.49	0.29	0.32	0.70	0.88	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**0.05**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**18.9**	**11.9**	**12.9**	**26.5**	**33.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.77**	**0.77**	**0.77**	**0.77**	**0.77**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**24**	**25**	**24**	**24**	**24**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.49**	**1.49**	**1.49**	**1.49**	**1.49**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0058**	**0.0058**	**0.0058**	**0.0058**	**0.0058**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	128	128	128	128	128	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.23	0.21	0.09	0.08	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	343	345	343	343	343	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.179	0.180	0.179	0.179	0.179	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.83	0.84	0.83	0.83	0.83	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 352: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Kanäle

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	1.46	0.77	0.66	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**56.4**	**31.7**	**27.9**	**29.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.94**	**0.95**	**0.94**	**0.94**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**33**	**35**	**33**	**33**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.69**	**1.69**	**1.69**	**1.69**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0075**	**0.0075**	**0.0075**	**0.0075**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.51	0.51	0.51	0.51	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	115	115	115	115	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.08	0.14	0.17	0.16	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	452	455	452	452	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.218	0.219	0.218	0.218	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.01	1.02	1.01	1.01	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 353: Resultate der Rechenvariante mit ungünstigen Annahmen für die Konzeptvarianten zu LK5, Abluft Rohre

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	1.46	0.77	0.66	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**56.4**	**31.7**	**27.9**	**29.2**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.88**	**0.88**	**0.88**	**0.88**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**29**	**31**	**29**	**29**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.64**	**1.65**	**1.64**	**1.64**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0079**	**0.0079**	**0.0079**	**0.0079**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0061	0.0061	0.0061	0.0061	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.34	0.34	0.34	0.34	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	5	5	5	5	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	90	90	90	90	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.08	0.14	0.17	0.16	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	408	410	408	408	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.203	0.204	0.203	0.203	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.95	0.95	0.95	0.95	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

14.2.9 Resultate Konzeptvarianten zu LK 5 für andere Wohnungsgrössen

Für die Bestimmung der Varianz der Resultate wurden die Berechnungen für zwei weitere Wohnungsgrössen durchgeführt. In den nachfolgenden Tabellen werden diese Resultate dokumentiert. Auch in dieser Resultatdarstellung werden die Ergebnisse für die Ausführung der Badabluft mit Kanälen und die Ausführung mit Rohren separat dargestellt. Typischerweise sind die Kostenkennwerte und die Indikatoren für die Umweltbelastung bei dem Gebäude mit grösseren Wohnungen (4.5-Zimmer Wohnungen) tiefer und bei dem Gebäude mit kleineren Wohnungen (2.5-Zimmer Wohnungen) höher.

Tabelle 354: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.77	0.41	0.41	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.16**	**0.16**	**0.16**	**0.16**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**30.1**	**17.2**	**17.4**	**27.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.75**	**0.75**	**0.75**	**0.75**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**30**	**31**	**30**	**30**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.38**	**1.38**	**1.38**	**1.38**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0070**	**0.0070**	**0.0070**	**0.0070**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.39	0.39	0.39	0.39	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	12	12	12	12	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	101	101	101	101	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.17	0.33	0.32	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	355	358	355	355	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.173	0.174	0.173	0.173	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.80	0.81	0.80	0.80	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 355: Resultate der Rechenvariante mit 4.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, Abluft mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.77	0.41	0.41	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.16**	**0.16**	**0.16**	**0.16**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**30.1**	**17.2**	**17.4**	**27.7**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**0.70**	**0.71**	**0.70**	**0.70**	**$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
Investitionskosten	**27**	**29**	**27**	**27**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**1.36**	**1.36**	**1.36**	**1.36**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0074**	**0.0074**	**0.0074**	**0.0074**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.27	0.28	0.27	0.27	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	12	12	12	12	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	84	84	84	84	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.17	0.33	0.32	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	323	326	323	323	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.163	0.164	0.163	0.163	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	0.76	0.76	0.76	0.76	$kWh_{oil\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 356: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, mit Kanälen

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.93	0.56	0.56	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.15**	**0.15**	**0.15**	**0.15**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**36.2**	**22.8**	**22.8**	**27.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.31**	**1.31**	**1.31**	**1.31**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**45**	**47**	**45**	**45**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.38**	**2.38**	**2.38**	**2.38**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0100**	**0.0100**	**0.0100**	**0.0100**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.61	0.61	0.61	0.61	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	8	8	8	8	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	105	105	105	105	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.24	0.24	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	616	619	616	616	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.303	0.304	0.303	0.303	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.41	1.42	1.41	1.41	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

Tabelle 357: Resultate der Rechenvariante mit 2.5-Zimmer Wohnungen, Konzeptvarianten zu LK5, mit Rohren

Kennwert / Variante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Einheit
Nennluftmenge (100% Betrieb)	0.93	0.56	0.56	0.70	$(m^3/h)/m^2$
Betriebsenergie, Strom	**0.15**	**0.15**	**0.15**	**0.15**	**kWh /(m^2 a)**
Betriebsenergie, Wärme	**36.2**	**22.8**	**22.8**	**27.8**	**kWh /(m^2 a)**
Graue Energie	**1.23**	**1.24**	**1.23**	**1.23**	**kWh_{oil-eq} /(m^2 a)**
Investitionskosten	**41**	**42**	**41**	**41**	**CHF / m^2**
Unterhaltskosten *)	**2.33**	**2.34**	**2.33**	**2.33**	**CHF /(m^2 a)**
Raumbedarf, tot	**0.0105**	**0.0105**	**0.0105**	**0.0105**	**m^3/m^2**
Raumbedarf, nur Schächte	0.0078	0.0078	0.0078	0.0078	m^3/m^2
Raumbedarf, Geräte **)	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	m^3/m^2
Materialbedarf ***)	0.41	0.42	0.41	0.41	kg/m^2
Druckverlust, ALD Badabluft ****)	8	8	8	8	Pa
Druckverlust, Badabluft ****)	86	86	86	86	Pa
spez. Leistung Badabluft ****)	0.14	0.24	0.24	0.19	$W/(m^3/h)$
Umweltbelastungspunkte (UBP 13)	564	567	564	564	UBP /(m^2 a)
Treibhausgaspotential	0.286	0.288	0.286	0.286	kg $_{CO2-eq}$ /(m^2 a)
Primärenergie, gesamt	1.33	1.34	1.33	1.33	kWh_{oil-eq} /(m^2 a)

Flächenbezug: pro m^2 Energiebezugsfläche

*) jährlicher Unterhalt und alle 6 Jahre Inspektion + Reinigung ABL; gleichmässige Aufteilung der Kosten pro Jahr.

**) Basis: Raumbedarf für Revision vom Aussenluftdurchlass.

***) Materialbedarf für Luftverteilung, Ventilatoren sowie div. zusätzlich benötigte Elemente wie z.B. ALD, Abluftventile etc.

****) Druckverluste intern + extern (ALD bzw.; Badabluft: ABL-FOL). Spez. Leistung Badabluft bezogen auf Nennluftmenge Zuluft!

15 Gesamtbewertungen

15.1 Daten zur Gesamtökobilanz

In den folgenden Tabellen werden die für die Berechnung verwendeten Basisdaten und die Resultatdaten der in Kapitel 7.1.4 vorgestellten Gesamtökobilanz dokumentiert.

Für die Berechnung der Gesamtbilanz werden die Teilresultate zur Betriebsenergie aus Kapitel 7.1.3 mit Prozessen zur Strom- und Wärmeerzeugung verknüpft. Dafür wurden folgende Festlegungen gemacht:

- Wärmeerzeugung mit Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer JAZ von 2.8
- Elektrizität vom Netz bilanziert mit Schweizer Verbrauchermix

Für den Einbezug des Wärmebedarfs ab Wärmeerzeuger wurde der Prozess zur Nutzwärme ab Elektrowärmepumpe Luft / Wasser (JAZ 2.8) aus (KBOB, 2016) verwendet (KBOB ID: 44.001, Gesamtwert Herstellung + Entsorgung). Dieser Prozess beinhaltet auch die Verluste und die Materialien des Wärmeerzeugers. Damit noch nicht abgedeckt ist die Veränderung der Wärmeverteilung. Dies wurde mit dem Prozess «Wärmeverteilung Wohngebäude» aus (KBOB, 2016) verwendet (KBOB ID: 31.021, Gesamtwert Herstellung + Entsorgung). Für die Umrechnung des Prozesses wurde für den Vergleich eine Lebensdauer der Verteilung von 30 Jahren gemäss SIA 2032 angesetzt. Die Bezugsgrösse wurde über die erforderliche spezifische Leistung (siehe Tabelle 367) und die dem Prozess zugrundeliegende spezifische Leistung von 16.2 W/m^2 aus (Klingler, et al., 2014) zugrunde gelegt.

Für die Bilanzierung des Stromverbrauchs wird der Schweizer Verbrauchermix ohne Stromprodukte aus erneuerbaren Energien aus (KBOB, 2016) verwendet (KBOB ID: 45.020).

Für die Berechnung der Umweltbelastung aus dem Stromverbrauch wird zum einen der in Kapitel 7.1.3 dokumentierte Stromverbrauch der Lüftungsanlagen (Betriebsenergie Strom) und anderseits der Strombedarf der Abluft-Wärmepumpen im Lüftungskonzept LK4 gemäss Tabelle 359 einbezogen. Für die Berechnung wird Wärmebedarfs ab Wärmeerzeuger werden die in Tabelle 358 dokumentierten Werte verwendet.

Tabelle 358: Verwendete Daten für Wärmebedarf ab Wärmeerzeuger

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Basiswert	9.8	9.1	14.0	13.2	25.4	kWh /(m^2 a)
Maximalwert	7.9	7.6	10.7	1.2	11.9	kWh /(m^2 a)
Minimalwert	12.8	17.9	20.0	27.9	56.4	kWh /(m^2 a)

Tabelle 359: Verwendete Daten Strombedarf der Abluft-Wärmepumpe (Abwärmenutzung bei LK 4)

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Basiswert	n.V.	n.V.	n.V.	3.9	n.V.	kWh /(m^2 a)
Maximalwert	n.V.	n.V.	n.V.	3.5	n.V.	kWh /(m^2 a)
Minimalwert	n.V.	n.V.	n.V.	4.1	n.V.	kWh /(m^2 a)

In den Tabellen auf den folgenden Seiten werden die Resultate zur Gesamtökobilanz für die vier einbezogenen Indikatoren dokumentiert. In den Tabellen wird auch die Abschätzung für die zusätzliche Materialisierung des Raumbedarfs für die Lüftungsgeräte ausgewiesen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen). Diese Werte beinhalten das Material, welches für das zusätzliche Gebäudevolumen (Wände, Boden) benötigt wird um den Raumbedarf der Geräte (inkl. Revisionszugang) abzudecken. Für diese Materialien wird eine Lebensdauer von 60 Jahren angesetzt.

Tabelle 360: Resultate der Gesamtökobilanz; Primärenergie, nichterneuerbar

Primärenergie, nichterneuerbar; Basiswert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	2.00	2.02	1.80	1.40	0.84	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	5.04	3.28	4.54	2.37	0.25	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	9.72	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	9.00	8.35	12.85	12.22	23.31	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**16.04**	**13.65**	**19.19**	**25.71**	**24.40**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	8.90	8.26	12.71	11.99	23.06	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.10	0.09	0.14	0.23	0.24	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

Primärenergie, nichterneuerbar; Minimalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	1.79	1.86	1.16	1.13	0.77	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	2.74	1.68	2.33	0.66	0.13	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	8.87	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	7.29	6.95	9.81	1.20	10.96	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**11.82**	**10.49**	**13.30**	**11.86**	**11.86**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	7.21	6.87	9.70	1.04	10.84	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.08	0.08	0.11	0.15	0.12	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	16.95	15.74	24.22	22.84	43.94	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

Primärenergie, nichterneuerbar; Maximalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	2.56	3.40	2.27	1.94	0.95	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	9.40	5.58	6.98	5.23	0.42	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	10.31	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	11.78	16.44	18.36	25.73	51.69	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**23.74**	**25.42**	**27.61**	**43.20**	**53.05**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	11.65	16.27	18.17	25.37	51.18	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.13	0.18	0.19	0.36	0.50	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.13	0.03	0.05	0.07	0.01	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

**) Material für zusätzliches Gebäudevolumen (Wände, Boden) um Raumbedarf der Geräte (inkl. Revisionszugang) abzudecken. Lebensdauer 60 Jahre.

Tabelle 361: Resultate der Gesamtökobilanz; Primärenergie, gesamt (erneuerbar + nicht erneuerbar)

Primärenergie, gesamt; Basiswert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	2.20	2.22	1.99	1.53	0.91	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	6.00	3.90	5.40	2.82	0.30	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	11.57	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	17.06	15.84	24.37	23.09	44.21	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**25.26**	**21.96**	**31.76**	**39.01**	**45.42**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	16.95	15.74	24.22	22.84	43.94	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.11	0.10	0.15	0.26	0.27	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.07	0.03	0.04	0.02	0.01	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

Primärenergie, gesamt; Minimalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	1.98	2.04	1.45	1.26	0.83	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	3.26	2.01	2.77	0.78	0.15	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	10.56	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	13.83	13.18	18.60	2.16	20.79	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**19.07**	**17.22**	**22.82**	**14.77**	**21.77**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	13.75	13.09	18.48	1.99	20.66	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.09	0.08	0.12	0.17	0.13	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

Primärenergie, gesamt; Maximalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	2.79	3.67	2.53	2.16	1.02	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Betriebsenergie, Strom	11.19	6.64	8.30	6.22	0.50	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	12.27	0.00	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf *)	22.34	31.19	34.83	48.73	98.07	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Summe	**36.32**	**41.50**	**45.67**	**69.38**	**99.59**	**$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	22.20	30.99	34.62	48.34	97.52	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.14	0.19	0.21	0.39	0.56	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.14	0.04	0.05	0.07	0.01	$kWh_{oil-eq}/(m^2\ a)$

**) Material für zusätzliches Gebäudevolumen (Wände, Boden) um Raumbedarf der Geräte (inkl. Revisionszugang) abzudecken. Lebensdauer 60 Jahre.

Tabelle 362: Resultate der Gesamtökobilanz; Treibhausgaspotential

Treibhausgaspotential; Basiswert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	0.47	0.48	0.44	0.37	0.20	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	0.20	0.13	0.18	0.10	0.01	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	0.64	0.59	0.91	0.88	1.65	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**1.31**	**1.20**	**1.53**	**1.74**	**1.85**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	0.62	0.57	0.88	0.83	1.60	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Treibhausgaspotential; Minimalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	0.42	0.44	0.27	0.29	0.18	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	0.11	0.07	0.09	0.03	0.01	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	0.52	0.49	0.69	0.11	0.78	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**1.04**	**1.00**	**1.06**	**0.78**	**0.96**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	0.50	0.48	0.67	0.07	0.75	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)

Treibhausgaspotential; Maximalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	0.66	0.79	0.56	0.52	0.22	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	0.38	0.23	0.28	0.21	0.02	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	0.83	1.16	1.30	1.83	3.65	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Summe	**1.88**	**2.18**	**2.14**	**2.97**	**3.88**	**kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	0.81	1.13	1.26	1.75	3.54	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	0.03	0.04	0.04	0.08	0.11	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	0.05	0.01	0.02	0.02	0.00	kg $_{CO2\text{-}eq}$ /(m^2 a)

**) Material für zusätzliches Gebäudevolumen (Wände, Boden) um Raumbedarf der Geräte (inkl. Revisionszugang) abzudecken. Lebensdauer 60 Jahre.

Tabelle 363: Resultate der Gesamtökobilanz; Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte)

Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Basiswert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	1030	943	748	632	392	UBP /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	694	451	625	326	35	UBP /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0	0	0	1338	0	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	1498	1391	2139	2055	3878	UBP /(m^2 a)
Summe	**3222**	**2785**	**3512**	**4352**	**4305**	**UBP /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	1460	1356	2086	1967	3785	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	38	35	53	88	93	UBP /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	29	12	19	8	3	UBP /(m^2 a)

Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Minimalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	890	838	398	455	343	UBP /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	377	232	320	91	17	UBP /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0	0	0	1222	0	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	1215	1157	1633	230	1825	UBP /(m^2 a)
Summe	**2481**	**2227**	**2351**	**1998**	**2185**	**UBP /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	1184	1128	1592	171	1779	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	31	29	41	59	45	UBP /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	2	10	14	8	3	UBP /(m^2 a)

Umweltbelastungspunkte (UBP 13); Maximalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Materialisierung (Anlage + Wartung/Unterhalt)	1344	1842	922	773	455	UBP /(m^2 a)
Betriebsenergie, Strom	1295	768	960	720	58	UBP /(m^2 a)
Abwärmenutzung (Strom AWN-WP)	0	0	0	1419	0	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf *)	1961	2737	3056	4299	8592	UBP /(m^2 a)
Summe	**4599**	**5347**	**4939**	**7211**	**9104**	**UBP /(m^2 a)**
**) davon*						
Wärmebedarf, Erzeugung (KBOB ID: 44.001)	1912	2669	2982	4163	8399	UBP /(m^2 a)
Wärmebedarf, Mehraufwand Wärmeverteilung	49	67	75	136	193	UBP /(m^2 a)
Abschätzung für zusätzliche Gebäudevolumen (Nicht in Systemgrenze der Hauptauswertung einbezogen)						
Materialisierung Raum für Lüftungsgeräte **)	69	15	23	32	3	UBP /(m^2 a)

**) Material für zusätzliches Gebäudevolumen (Wände, Boden) um Raumbedarf der Geräte (inkl. Revisionszugang) abzudecken. Lebensdauer 60 Jahre.

15.2 Daten zur Gesamtbewertung Jahreskosten

In den folgenden Tabellen werden die für die Berechnung verwendeten Basisdaten und die Resultatdaten der in Kapitel 7.1.7 vorgestellten Gesamtbewertung der Jahreskosten dokumentiert.

Dazu werden die Resultate zu den Investitionskosten, Unterhaltskosten und der Betriebsenergie (Strom für Anlage und Wärmepumpe) zusammengefasst. Dafür sind jedoch wie für die Gesamtökobilanz verschiedene Festlegungen erforderlich. Für die Gesamtbewertung der Jahreskosten wurden dieselben Festlegungen zum Heizsystem gemacht wie bei der Gesamtökobilanz. Auch wurden identische Lebensdauerannahmen (siehe Tabelle 4) und Arbeitszahlen der Wärmepumpe verwendet. Zusätzlich wurden folgende Festlegungen für die Berechnung gemacht:

- verwendeter Realzinssatz für Annuitätenberechnung: 3%
- Raumkosten für Schächte von 350 CHF/m^3
- Kostenkennwert zusätzliche Wärmeleistung 3.2 CHF/W (Erzeugung + Verteilung)
- Stromkosten für Elektrizität vom Netz: 0.2 CHF/kWh

Der verwendete Realzinssatz für die Annuitätenberechnung wurde mit 3% basierend auf den Festlegungen in (Jakob, et al., 2002) festgelegt. Auch die Kostenkennwert für die zusätzlich benötigte Wärmeleistung wurde aus (Jakob, et al., 2002) entnommen. Der Kostenkennwert ist als Grenzkostenwert zu verstehen, der bei einer Vergrösserung der Leistung massgebend ist. Vergleiche mit eigenen Kostendaten und der in (Primas & Stache, 2012) dokumentierten Daten stützen diese Annahme. Für die Raumkosten wird ein Kostenkennwert von von 350 CHF/m^3 dieser wurde aus Bauwerkskosten der Gebäudebeispiele aus (Hoskyn, et al., 2012) ermittelt. Der Kostenkennwert beinhaltet die Bauwerkskosten ohne Technik (Elemente C - G ohne Technik D).

Die Elektrizitätskosten werden basierend auf einer Auswertung aktueller Schweizer Strompreise gemäss (ElCom, 2021) mit 20 Rp/kWh festgelegt. Für die Auswertung wurden Standardstromprodukte der Kategorien H2, C2 und C3 einbezogen.

In Tabelle 364 (Basiswerte), Tabelle 365 (Minimalwerte) und Tabelle 366 (Maximalwerte) sind die Resultate vom Gesamtvergleich der Jahreskosten dokumentiert.

Tabelle 364: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Basiswerte

Kennwert / Variante	**LK1**	**LK2**	**LK3**	**LK4**	**LK5**	**Einheit**
Kapitalkosten Lüftung (Annuität)	6.89	7.16	8.18	3.68	1.75	CHF /(m^2 a)
Unterhaltskosten Lüftung	2.40	4.10	5.00	3.20	1.56	CHF /(m^2 a)
Mehrkosten Heizung *)	0.58	0.54	0.82	1.19	1.45	CHF /(m^2 a)
Raumkosten **)	0.11	0.20	0.05	0.06	0.11	CHF /(m^2 a)
Stromkosten ***)	1.10	0.91	1.36	1.90	1.83	CHF /(m^2 a)
Summe	**11.08**	**12.92**	**15.41**	**10.03**	**6.70**	**CHF /(m^2 a)**

Investitionskosten Lüftung	110.00	115.00	120.00	60.00	29.00	CHF/m^2
Annuitätsfaktor für Lüftungsbauteile	6.26%	6.23%	6.81%	6.13%	6.04%	(berechnet aus Daten)
Raumbedarf Wärmeerzeugung	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	m^3/m^2

*) Kosten für Wärmeleistung zur Kompensation der Wärmeverluste (Basis Grenzkosten Luft-Wasser WP und Wärmeverteilung)

**) Kapitalkosten für Raumbedarf der Lüftungsschächte und anteilig der Heizung; Raumbedarf für Lüftunsgeräte nicht in Daten enthalten.

***) Stromkosten für Lüftungsanlage, Strom Abluft-Wärmepumpe (nur LK4) und Mehrbedarf Strom für Heizungs-Wärmepumpe

Verwendeter Realzinssatz 3%; Basis: (Jakob, et al., 2002) Tabelle 4.1-4, Wert für Volkswirtschaft

Strompreis: 0.2 CHF/kWh; Basis Auswertung Strompreise Schweiz https://www.strompreis.elcom.admin.ch

Raumkosten: 350 CHF/m^3; Basis Auswertung Bauwerkskosten (Elemente C - G) ohne Technik (D) der Gebäudebeispiele aus (Hoskyn, et al., 2012)

Lebensdauer der Elemente gemäss SIA 2032: 2010 (Wärmeerzeugung 20 Jahre, Wärmeverteilung 30 Jahre, Rohbau 60 Jahre)

Tabelle 365: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Minimalwerte

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Kapitalkosten Lüftung (Annuität)	4.70	6.03	5.96	3.02	1.47	CHF /(m^2 a)
Unterhaltskosten Lüftung	1.98	3.64	4.11	2.86	1.49	CHF /(m^2 a)
Mehrkosten Heizung *)	0.48	0.45	0.63	0.65	0.71	CHF /(m^2 a)
Raumkosten **)	0.07	0.07	0.02	0.04	0.07	CHF /(m^2 a)
Stromkosten ***)	0.78	0.67	0.95	0.84	0.86	CHF /(m^2 a)
Summe	**8.02**	**10.88**	**11.68**	**7.41**	**4.59**	**CHF /(m^2 a)**

Investitionskosten Lüftung	75.03	96.85	87.49	49.29	24.30	CHF/m^2
Annuitätsfaktor für Lüftungsbauteile	6.26%	6.23%	6.81%	6.13%	6.04%	(berechnet aus Daten)
Raumbedarf Wärmeerzeugung	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	m^3/m^2

*) Kosten für Wärmeleistung zur Kompensation der Wärmeverluste (Basis Grenzkosten Luft-Wasser WP und Wärmeverteilung)

**) Kapitalkosten für Raumbedarf der Lüftungsschächte und anteilig der Heizung; Raumbedarf für Lüftunsgeräte nicht in Daten enthalten.

***) Stromkosten für Lüftungsanlage, Strom Abluft-Wärmepumpe (nur LK4) und Mehrbedarf Strom für Heizungs-Wärmepumpe

Verwendeter Realzinssatz 3%; Basis: (Jakob, et al., 2002) Tabelle 4.1-4, Wert für Volkswirtschaft

Strompreis: 0.2 CHF/kWh; Basis Auswertung Strompreise Schweiz https://www.strompreis.elcom.admin.ch

Raumkosten: 350 CHF/m^3; Basis Auswertung Bauwerkskosten (Elemente C - G) ohne Technik (D) der Gebäudebeispiele aus (Hoskyn, et al., 2012)

Lebensdauer der Elemente gemäss SIA 2032: 2010 (Wärmeerzeugung 20 Jahre, Wärmeverteilung 30 Jahre, Rohbau 60 Jahre)

Tabelle 366: Resultate zum Gesamtvergleich der Jahreskosten; Maximalwerte

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Kapitalkosten Lüftung (Annuität)	8.99	13.13	9.90	5.03	2.12	CHF /(m^2 a)
Unterhaltskosten Lüftung	3.59	8.55	10.41	7.17	1.69	CHF /(m^2 a)
Mehrkosten Heizung *)	0.76	1.04	1.16	1.94	2.99	CHF /(m^2 a)
Raumkosten **)	0.18	0.41	0.06	0.19	0.16	CHF /(m^2 a)
Stromkosten ***)	1.66	1.72	1.98	3.23	4.06	CHF /(m^2 a)
Summe	**15.17**	**24.85**	**23.51**	**17.56**	**11.02**	**CHF /(m^2 a)**

Investitionskosten Lüftung	143.50	210.69	145.23	82.08	35.07	CHF/m^2
Annuitätsfaktor für Lüftungsbauteile	6.26%	6.23%	6.81%	6.13%	6.04%	(berechnet aus Daten)
Raumbedarf Wärmeerzeugung	0.002	0.002	0.003	0.004	0.007	m^3/m^2

*) Kosten für Wärmeleistung zur Kompensation der Wärmeverluste (Basis Grenzkosten Luft-Wasser WP und Wärmeverteilung)

**) Kapitalkosten für Raumbedarf der Lüftungsschächte und anteilig der Heizung; Raumbedarf für Lüftunsgeräte nicht in Daten enthalten.

***) Stromkosten für Lüftungsanlage, Strom Abluft-Wärmepumpe (nur LK4) und Mehrbedarf Strom für Heizungs-Wärmepumpe

Verwendeter Realzinssatz 3%; Basis: (Jakob, et al., 2002) Tabelle 4.1-4, Wert für Volkswirtschaft

Strompreis: 0.2 CHF/kWh; Basis Auswertung Strompreise Schweiz https://www.strompreis.elcom.admin.ch

Raumkosten: 350 CHF/m^3; Basis Auswertung Bauwerkskosten (Elemente C - G) ohne Technik (D) der Gebäudebeispiele aus (Hoskyn, et al., 2012)

Lebensdauer der Elemente gemäss SIA 2032: 2010 (Wärmeerzeugung 20 Jahre, Wärmeverteilung 30 Jahre, Rohbau 60 Jahre)

Tabelle 367: Resultate zum Leistungsbedarf zur Deckung der Lüftungsverluste

Leistungsbedarf (Deckung der Lüftungsverluste); Basiswert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Leistungsbedarf Wärmeerzeugung	3.3	3.1	4.7	4.4	8.3	W /m^2
Leistungsbedarf Wärmeverteilung	3.3	3.1	4.7	7.8	8.3	W /m^2

Leistungsleistungbedarf (Deckung der Lüftungsverluste); Minimalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Leistungsbedarf Wärmeerzeugung	2.7	2.6	3.6	0.4	4.0	W /m^2
Leistungsbedarf Wärmeverteilung	2.7	2.6	3.6	5.2	4.0	W /m^2

Leistungsbedarf (Deckung der Lüftungsverluste); Maximalwert

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Leistungsbedarf Wärmebedarf	4.3	5.9	6.6	9.0	17.0	W /m^2
Leistungsbedarf Wärmeverteil.	4.3	5.9	6.6	12.0	17.0	W /m^2

Kosten für zusätzliche Wärmeleistung

Kennwert / Variante	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Mehrkosten für Wärmeerzeugung / Verteilung	10.7	9.9	15.0	21.7	26.4	CHF /m2
Kosten für Wärmeleistung, Min	8.7	8.3	11.6	11.9	12.9	CHF /m2
Kosten für Wärmeleistung, Max	13.8	19.0	21.1	35.5	54.6	CHF /m2

verwendete Grenzkostenkennwerte:

Wärmeerzeugung mit LW-Wärmepumpe	1.00	*CHF/W;Aus Daten für LW-WP; (Jakob, et al., 2002) Tabelle 4.3-52*
Wärmeverteilung	2.20	*CHF/W; Aus Daten MFH bei 17-25 W/m^2 (Jakob, et al., 2002) Tabelle 4.3-52*

Je nach Lüftungssystem wird unterschiedlich viel Raum beansprucht, welcher ansonsten anderweitig genutzt werden könnte. Bei den benötigten Schachtflächen ist dies klar dem Lüftungssystem zuzuordnen. Bei den Flächen, die für die Geräte benötigt werden (inkl. Raumbedarf für Revisionen) ist dies je nach Gerätestandort nicht klar, ob diese Fläche dauerhaft nicht für eine anderweitige Nutzung zur Verfügung steht. Bei einer zentralen Anlage im Untergeschoss ist zumindest die effektiv benötigte Bodenfläche nicht anderweitig nutzbar. Bei kleineren oder dezentralen Anlagen die z.B. an einer Decke montiert werden können, muss der Raum beim Gerät für Revisionen freibleiben, kann aber ansonsten anderweitig genutzt werden. Aus diesen gründen wurde der Raumbedarf der Geräte nicht in die Auswertung in Kapitel 7.1.7 einbezogen. Zur Vollständigkeit der Dokumentation werden nachfolgend die Resultate zum Raumbedarf und den Raumkosten der Lüftungsgeräte aufgeführt. Die zugehörigen Detaildaten je Variante sind auch in dem vorgehenden Kapitel (Kapitel 10 bis Kapitel 14) dokumentiert.

Tabelle 368: Resultate zum Raumbedarf und Raumkosten der Lüftungsgeräte

Raumkosten Lüftungsgeräte *)	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Basiswert	0.38	0.13	0.23	0.09	0.02	CHF /(m^2 a)
Maximalwert	0.97	0.17	0.29	0.42	0.02	CHF /(m^2 a)
Minimalwert	0.01	0.11	0.16	0.09	0.23	CHF /(m^2 a)

*) Basierend auf Lebensdauer von 60 Jahren und Annuität mit 3% Realzinssatz

Raumbedarf Lüftungsgeräte **)	LK1	LK2	LK3	LK4	LK5	Einheit
Basiswert	0.0300	0.0106	0.0180	0.0071	0.0018	m^3/m^2
Maximalwert	0.0770	0.0138	0.0231	0.0331	0.0018	m^3/m^2
Minimalwert	0.0011	0.0085	0.0125	0.0071	0.0180	m^3/m^2

**) Basis für Raumbedarf der zentralen Geräte gemäss SIA 382/1: 2014; für Dachaufstellung kein Raumbedarf einbezogen.
Raumbedarf der übrigen Geräte / Elemente (z.B. innerhalb Wohnung) basierend auf typischer Gerätedimensionen (inkl. Revisionszugang)

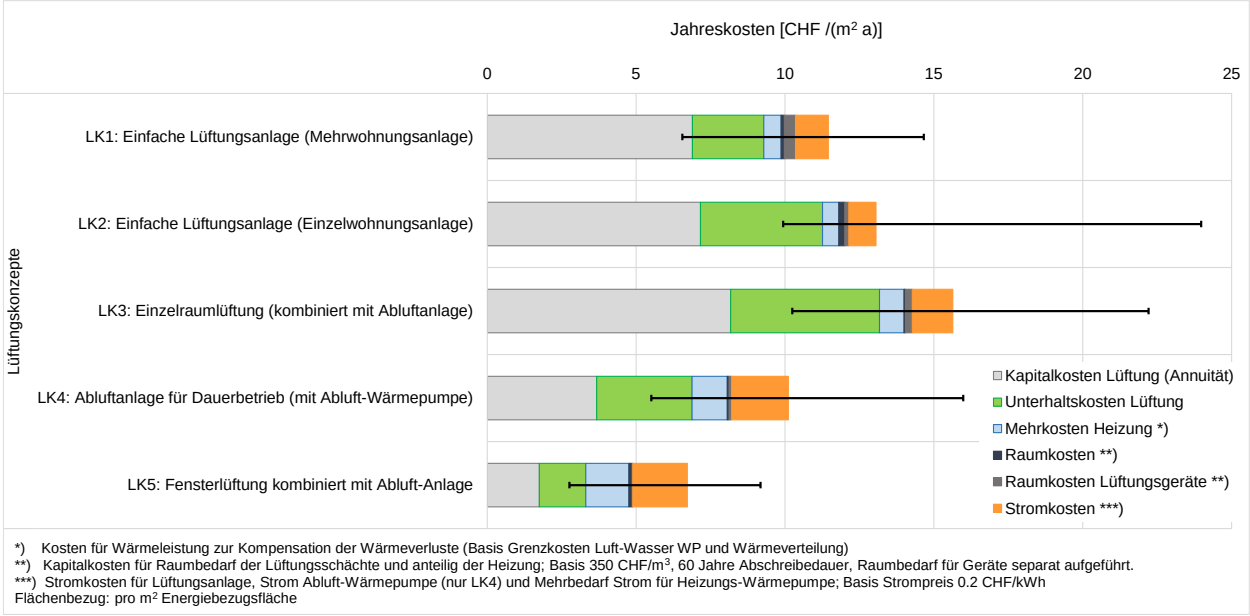


Abbildung 101: Gesamtvergleich der Jahreskosten, mit Einbezug der Raumkosten für Lüftungsgeräte

16 Verwendete Ökobilanzdaten

Für die Berechnungen wurden die Indikatoren nicht erneuerbare Primärenergie [kWh Öl- Äquivalente] auch «Graue Energie» bezeichnet, gesamte Primärenergie (nicht erneuerbar und erneuerbar) [kWh Öl- Äquivalente] Treibhausgasemissionen [kg CO_2-Äquivalente] sowie Umweltbelastungspunkte [UBP] verwendet. Als Datenbasis dienten die Daten aus der KBOB Liste «Oekobilanzdaten im Baubereich 2009» von 2016, sowie die Hintergrunddaten aus Ecoinvent (Datenbestand v2.2, aktualisiert).

Für die durchzuführenden Berechnungen wurden diverse Datensätze auf spezifische Einheiten (z.B. kg) umgerechnet, um die Modellierung zu vereinfachen. Datenbasis für verschiedene Datensätze ist die Untersuchung (Klingler, et al., 2014).

Tabelle 369 zeigt die für diese Untersuchung verwendeten Ökobilanzdaten.

Tabelle 369: Verwendete Ökobilanzdaten

Prozessmane	Einheit	UBP, 2013	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
		UBP	kWh oil-eq.	kWh oil-eq.	kg CO_2 eq.
Einzelraumlüfer Fenstermodell 10-30 m3/h, ohne Montage	kg	4.86E+03	2.53E+01	1.69E+01	3.34E+00
Gehäuse mit Ventilator für Bad-Entlüftung	kg	1.48E+04	4.25E+01	4.06E+01	8.93E+00
Luftfilter Wohnungslüftungsanlage, Kunsttoffrahmen	kg	6.24E+03	2.93E+01	2.81E+01	8.00E+00
Luftfilter Wohnungslüftungsanlage, Metallrahmen	kg	1.19E+04	2.24E+01	2.13E+01	4.59E+00
Luftfilter Wohnungslüftungsgerät, metallfrei	kg	7.45E+03	4.04E+01	3.33E+01	6.76E+00
Lüftungsanlage, diverse Elemente	kg	7.82E+03	1.46E+01	1.36E+01	3.23E+00
Lüftungsanlage, diverse Elemente	kg	7.82E+03	1.46E+01	1.36E+01	3.23E+00
Lüftungsbox, Stahl, mit SD., VVS 20-200 m3/h	kg	8.92E+03	1.57E+01	1.48E+01	3.18E+00
Lüftungsbox, Stahl, mit SD., VVS 20-200 m3/h	kg	8.92E+03	1.57E+01	1.48E+01	3.18E+00
Lüftungsgerät, 1800-13000 m3/h, Abluft, o. WRG, mit Schalld.	kg	1.89E+04	4.27E+01	3.93E+01	8.67E+00
Lüftungsgerät, 1800-13000 m3/h, Abluft, o. WRG, mit Schalldämpfer	kg	1.19E+04	2.68E+01	2.46E+01	5.46E+00
Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m3/h, mit Steuerung, o. Schalldämpfer	kg	1.31E+04	3.25E+01	2.99E+01	7.23E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.62mm	kg	1.02E+04	1.40E+01	1.33E+01	3.05E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.75mm	kg	9.22E+03	1.34E+01	1.27E+01	2.93E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.87mm	kg	8.56E+03	1.30E+01	1.23E+01	2.84E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.0mm	kg	8.02E+03	1.26E+01	1.20E+01	2.78E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.25mm	kg	7.29E+03	1.22E+01	1.16E+01	2.69E+00
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.5mm	kg	6.80E+03	1.19E+01	1.13E+01	2.63E+00
Lüftungsrohr, Polyethylen (PE)	kg	3.40E+03	2.37E+01	2.32E+01	5.41E+00
Schalldämpfer, Stahl, DN 125, ab Werk	kg	8.79E+03	1.62E+01	1.52E+01	3.07E+00
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.5mm	kg	1.15E+04	1.51E+01	1.43E+01	3.25E+00
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.6mm	kg	1.04E+04	1.43E+01	1.36E+01	3.11E+00
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.8mm	kg	8.91E+03	1.33E+01	1.27E+01	2.92E+00
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 1.0mm	kg	8.01E+03	1.27E+01	1.21E+01	2.80E+00
Zentrales Lüftungsgerät, 600-13000 m3/h, mit PWT und Schalldämpfer	kg	1.50E+04	3.51E+01	3.19E+01	7.17E+00
Zentrales Lüftungsgerät, 600-13000 m3/h, mit PWT und Schalldämpfer	kg	1.15E+04	2.67E+01	2.44E+01	5.46E+00
Strom, Verbrauchermix (Schweiz)	kWh	3.45E+02	2.55E+00	2.13E+00	1.15E-01
Heizungsrohr DN 20, gedämmt (PIR)	m	1.16E+04	5.00E+01	4.84E+01	1.13E+01
Heizungsrohr DN 40, gedämmt (PIR)	m	1.44E+04	6.14E+01	5.93E+01	1.38E+01
Kabel, Datenkabel in Infrastruktur, ab Werk	m	1.00E+03	1.26E+00	1.21E+00	1.70E-01
Kabel, Dreipolkabel, ab Werk	m	2.70E+04	1.90E+01	1.80E+01	2.47E+00
Kabel, Stromkabel für Computer, ohne Stecker, ab Werk	m	1.51E+03	2.13E+00	1.95E+00	3.46E-01
Abgehängte Decke, Holz UK	m^2	5.37E+03	3.64E+01	1.68E+01	3.57E+00
Abgehängte Decke, Metall UK	m^2	3.54E+04	4.81E+01	4.52E+01	1.00E+01
EI 30 Brandschutz-Dämmung, 50mm, 120kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	1.16E+04	4.35E+01	3.96E+01	1.00E+01
EI 60 Brandschutz-Dämmung, 70mm, 120kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	1.47E+04	5.61E+01	5.13E+01	1.30E+01
EI 90 Brandschutz-Dämmung, 100mm, 120kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	1.93E+04	7.49E+01	6.88E+01	1.75E+01
Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	9.05E+03	3.30E+01	2.99E+01	7.50E+00
Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium	m^2	2.09E+04	9.02E+01	7.72E+01	1.72E+01
Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	5.47E+03	1.83E+01	1.63E+01	3.99E+00
Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium	m^2	1.74E+04	7.55E+01	6.36E+01	1.37E+01
Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3, Alufolie gitterverstärkt	m^2	7.00E+03	2.46E+01	2.21E+01	5.49E+00
Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium	m^2	1.89E+04	8.18E+01	6.95E+01	1.52E+01
Wand Installationsschacht, Backstein	m^2	2.93E+04	1.18E+02	1.07E+02	3.49E+01
Wand Installationsschacht, Metall UK	m^2	4.60E+04	7.57E+01	7.11E+01	1.60E+01
Beton für Betondecke, Bewehrung 90 kg/m3	m^3	4.74E+05	8.31E+02	7.82E+02	2.88E+02
Beton für Betondecke, ohne Bewehrung	m^3	2.12E+05	4.79E+02	4.48E+02	2.25E+02
Dunstabzug, Umluft mit Aktivkohlefilter	Stk.	2.97E+05	6.96E+02	6.19E+02	1.50E+02
Dunstabzug, Abluft	Stk.	2.96E+05	6.88E+02	6.15E+02	1.49E+02
Aktivkohlefilter, Umluft Dunstabzug	kg	2.83E+03	2.13E+01	8.18E+00	3.26E+00
Personenwagen, Durchschnitt	pkm	2.17E+02	9.19E-01	8.94E-01	1.95E-01
Transport, Lieferwagen < 3,5t	vkm	3.97E+02	1.75E+00	1.70E+00	3.64E-01
Transport, Pkw, Flottendurchschnitt	vkm	3.41E+02	1.47E+00	1.44E+00	3.12E-01
Wärmeverteilung Wohngebäude (KBOB ID: 31.021)	m^2	5.48E+03	1.58E+01	1.43E+01	3.07E+00
Nutzwärme ab Elektrowärmepumpe Luft / Wasser (JAZ 2.8)	kWh	1.49E+02	1.73E+00	9.08E-01	6.28E-02
Elektrizität, Verbrauchermix Schweiz (KBOB ID: 45.020)	kWh	3.47E+02	3.00E+00	2.52E+00	1.02E-01

Dargestellte Werte beinhalten die Herstellung wie auch die zugehörige Entsorgung der Elemente (Sytemangrenzungen gemäss Ecoinvent 2.2)