

Remplacement anticipé de groupes de chauffage, 27 novembre 2024

Remplacement anticipé de groupes de chauffage et valorisation des potentiels d'efficacité



Auteurs

Martin Mühlebach, Lemon Consult AG

Sebastian Teutloff, Lemon Consult AG

Carolina Fraga, Services Industriels de Genève

Ophélie Reynoud, ENERGYS Sàrl

Sébastien Gabus, ENERGYS Sàrl

Photo de couverture: cour intérieure Rotachquartier

Cette étude a été réalisée pour le compte de SuisseEnergie.

Ses auteurs sont seuls responsables du contenu.

Sommaire

| | | |
|-----------|--|-------------------------------------|
| 1. | Synthèse | 4 |
| 2. | Situation de départ | 5 |
| 3. | Hypothèse | 6 |
| 4. | Neutralité du produit | 6 |
| 5. | Immeubles | 7 |
| 5.1 | Immeuble ZH- 1: Zweierstrasse..... | 7 |
| 5.2 | Immeuble ZH 2: Rotachquartier..... | 8 |
| 5.3 | Immeuble GE 1: Route de Mon-Idee 51-53..... | 9 |
| 5.4 | Immeuble GE 2: Rue Dancet..... | 10 |
| 6. | Méthodologie et procédure | 11 |
| 6.1 | Réfection du système de distribution du chauffage..... | 11 |
| 6.2 | Mesurage sans optimisation | 12 |
| 6.3 | Activation de l'optimisation..... | 12 |
| 6.4 | Relevé et exploitation des données de mesure..... | 12 |
| 7. | Résultats | 13 |
| 7.1 | Economie énergétique | 13 |
| 7.2 | Economie de coûts d'investissement..... | 14 |
| 7.2.1 | Immeuble GE 1: Route de Mon-Idee | 14 |
| 7.2.2 | Immeuble GE 2: Rue Dancet..... | 16 |
| 7.2.3 | Immeuble ZH 1: Zweierstrasse | 16 |
| 7.2.4 | Immeuble ZH 2: Rotachquartier..... | 17 |
| 8. | Enseignements | Error! Bookmark not defined. |
| 9. | Annexe | 20 |

1. Synthèse

Certains enseignements tirés du programme d'optimisation énergétique de l'exploitation (éco21) du canton de Genève montrent que les bâtiments équipés de générateurs de chaleur sont aujourd'hui souvent exploités de manière inefficace. L'équilibrage hydraulique du système de chauffage et l'optimisation de la courbe de chauffe jouent un rôle secondaire dans les bâtiments existants équipés de chauffages à combustible fossile car la puissance du brûleur et les températures de départ élevées sont suffisantes pour assurer la température ambiante. En vue de leur remplacement par des systèmes fonctionnant aux énergies renouvelables, notamment des pompes à chaleur, cette optimisation acquiert une réelle importance. La présente étude a pour objet de tester l'hypothèse selon laquelle il pourrait être économiquement et écologiquement judicieux de procéder à une telle optimisation dans les bâtiments comportant plusieurs groupes de chauffage avant de remplacer le générateur de chaleur. On peut alors escompter une économie de 5 à 10% sur les coûts d'investissement du futur générateur de chaleur.

Des travaux de rénovation des systèmes de distribution du chauffage ont été réalisés en septembre 2023 dans quatre immeubles à Zurich et Genève. La mesure de la température de départ et du débit a été réalisée sans optimisation durant la première partie de la période de chauffage d'octobre 2023 à janvier 2024. Puis la fonction d'optimisation de la vanne de régulation a été activée en janvier 2024.

L'ajout de la fonction d'optimisation a permis de démontrer que la puissance de chauffage des futurs générateurs de chaleur peut, selon l'immeuble, être recalibrée de 12 à 30% vers le bas par rapport à ce qui aurait été le cas avec une conception standard sur la base de mesures de débit. Ceci a également un effet positif sur le plan économique : on constate que les coûts d'investissement pour les deux immeubles situés sur la Route de Mon-Idee et dans le site Rotach sont inférieurs respectivement de 9.5% et de 16% aux coûts générés sans optimisation énergétique de l'exploitation intelligente. Le recours aux vannes intelligentes s'avère judicieux pour tous les immeubles concernés. Les économies d'investissement sont donc nettement supérieures aux coûts supplémentaires liés à la planification du recours aux vannes. Il s'avère que les systèmes de pompes à chaleur en particulier sont très sensibles au prix en termes de classe de puissance.

L'exemple des immeubles en question ne permet pas d'établir une généralisation pour l'ensemble de la Suisse. Les gains d'efficacité et les économies en matière de coûts doivent continuer d'être examinées au cas par cas. Le potentiel d'efficacité et d'économie en matière de coûts a pu être attesté dans les quatre immeubles examinés. Pour les immeubles collectifs munis d'un chauffage à combustible fossile sans optimisation préalable, on constate que le potentiel d'efficacité peut être exploité grâce à une optimisation régulée du débit massique. Des investigations plus approfondies sur le potentiel d'efficacité existant peuvent corroborer ces résultats.

En vue d'un remplacement anticipé du générateur de chaleur, il convient de débiter la planification de la réfection de la distribution du chauffage dès un à deux ans à l'avance afin de bénéficier de l'optimisation intelligente. Afin de bien exploiter ce potentiel, il est nécessaire d'établir une planification prospective de l'investissement et du remplacement. L'enjeu ici sera de la mettre en œuvre au quotidien chez les promoteurs immobiliers institutionnels. Il faudra passer par un travail de sensibilisation et de communication des données du projet pour que leurs résultats soient mis en œuvre sur le terrain.

2. Situation de départ

Divers projets de recherche et l'expérience tirée de programmes d'optimisation d'exploitation indiquent que les pompes à chaleur nouvellement installées sont surdimensionnées lors du remplacement d'une chaudière. Ce surdimensionnement entraîne des coûts d'investissement inutilement élevés et une efficacité réduite du système installé.

Le fait que des bâtiments équipés de générateurs de chaleur à énergie fossile fonctionnent généralement de manière inefficace débouche souvent sur un défaut de régulation de la production au moyen du système d'émission de chaleur (voir figure 1). Dans le cas d'un chauffage à combustible fossile, cet équilibre hydraulique joue un rôle secondaire car la puissance du brûleur et les températures de départ élevées s'avèrent suffisantes, et la température ambiante peut être garantie même en l'absence de l'équilibre hydraulique et malgré une courbe de chauffe non optimisée. Le nouveau système de chauffage est habituellement conçu sur la base de mesures de consommation du système préexistant. Un chauffage à combustible fossile plus puissant coûte par ailleurs marginalement plus cher. Pour ce qui est des systèmes de production de chaleur renouvelable en revanche, les pompes à chaleur destinées aux immeubles plus importants sont proportionnellement plus onéreuses. À défaut d'un équilibre hydraulique et en cas de courbe de chauffage non optimisée, les pompes à chaleur nouvellement installées sont fréquemment surdimensionnées. L'expérience qui découle du programme d'optimisation du canton de Genève (éco 21, Optimisation du chauffage¹) montre un potentiel d'efficacité énergétique de 16 % en moyenne. Selon l'immeuble, l'optimisation s'élève de 10 à 40 %.

Si le réglage des systèmes est aujourd'hui beaucoup plus facile qu'avant, c'est parce que diverses entreprises ont développé des armatures qui automatisent partiellement le processus. Grâce à l'optimisation de l'exploitation ainsi dégagée avant le remplacement du générateur de chaleur, la nouvelle production de chaleur peut être alignée sur les besoins réels. De plus, la mesure exacte de la chaleur fournit une meilleure base de données pour le dimensionnement du nouveau système de chauffage.

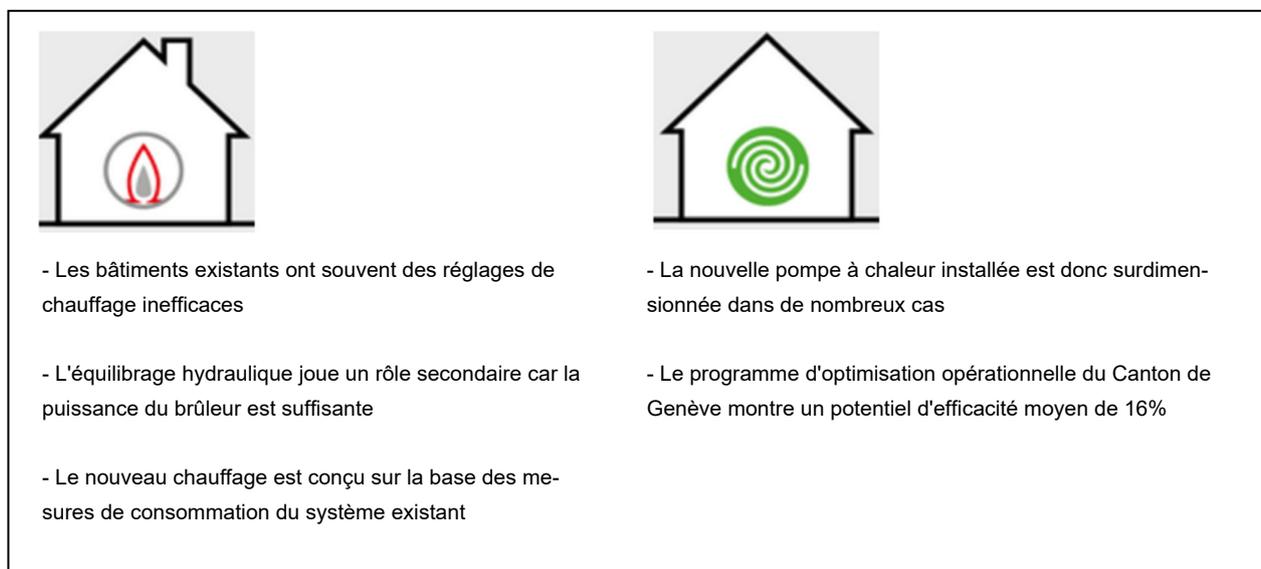


Figure 1: Comparaison entre un chauffage à combustible fossile et renouvelable (gauche / droite)

Lemon Consult a été sollicité pour créer un projet d'innovation en coopération avec les Services Industriels de Genève (SIG), la ENERGYS Sàrl et la société Belimo AG afin de vérifier la thèse du potentiel d'efficacité par le biais de quatre études de cas et de proposer des solutions quant à la manière de prévenir un excès de production de chaleur à l'avenir.

¹ <https://ww2.sig-ge.ch/a-propos-de-sig/nous-connaître/le-programme-eco21>

3. Hypothèse

Le but de la présente étude est de tester l'hypothèse selon laquelle il serait écologiquement et économiquement judicieux de procéder à une optimisation de la période de chauffage avant le remplacement du générateur de chaleur dans des immeubles d'habitation de plus de six appartements et des immeubles mixtes comprenant des locaux commerciaux et des logements. L'optimisation de l'exploitation à l'aide de vannes intelligentes permettra d'installer des générateurs de chaleur avec une puissance en moyenne inférieure de 10% et donc d'envisager une diminution des coûts d'investissement de 5 à 10 %. L'hypothèse est testée qualitativement sur quatre immeubles d'habitation choisis, situés à Genève et à Zurich.

4. Neutralité du produit

Belimo a gratuitement fourni le produit présenté sur la Figure 2 en vue de ce projet. La Belimo Energy Valve™ est une vanne de régulation dotée d'un compteur d'énergie thermique qui regroupe la mesure et le contrôle de l'énergie, la gestion du débit volumique et la facturation compatible IdO dans un même appareil. Les prix catalogue des coûts produits se situent entre CHF 1'500 et CHF 2'300 selon leur dimension.

Nous tenons à souligner qu'il existe bien entendu sur le marché d'autres appareils d'autres fabricants, et qui remplissent également la fonction d'une vanne d'énergie ; aussi souhaitons-nous tester ici davantage l'application que le produit lui-même.

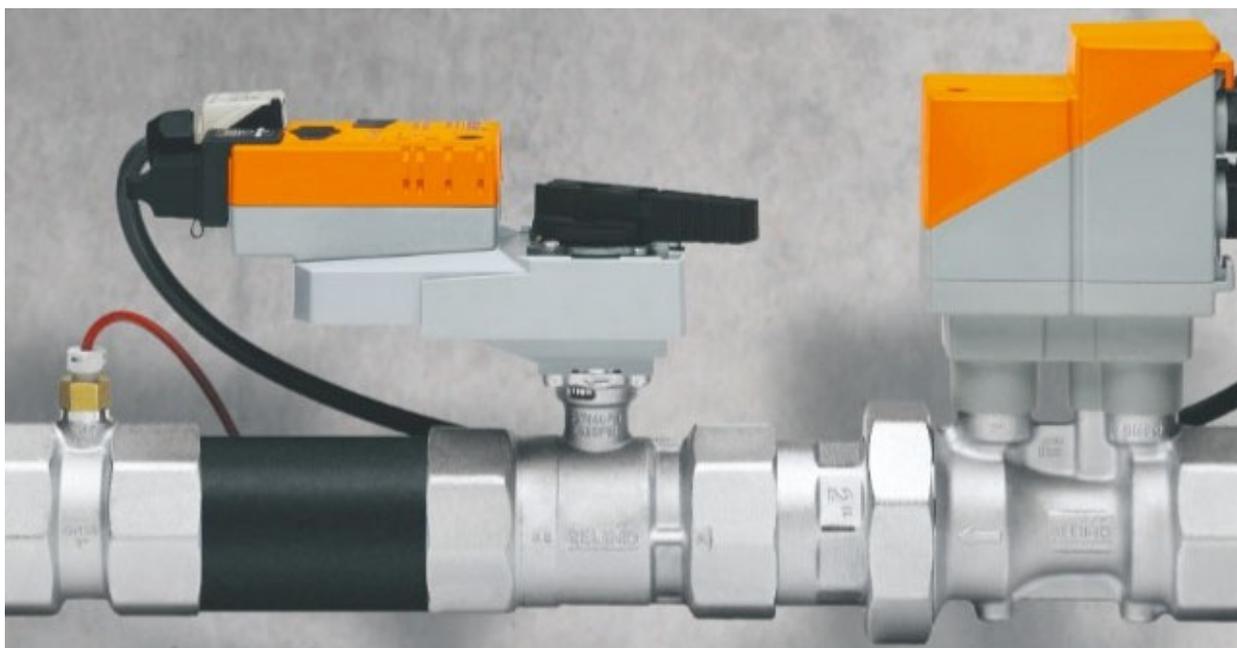


Figure 2: Belimo Energy Valve™

5. Immeubles

La sélection minutieuse des immeubles d'essai était centrale pour le projet. Quatre immeubles d'habitation équipés d'un chauffage à combustible fossile ont ainsi été retenus, dans lesquels ce dernier est destiné à être remplacé d'ici 2027. Les promoteurs immobiliers nécessitent à cet égard une proposition sur les dimensions d'un système de production de chaleur à énergie renouvelable. Deux de ces immeubles se situent à Zurich, et les deux autres à Genève.

5.1 Immeuble ZH- 1: Zweierstrasse

| | |
|--|--|
| Maîtrise d'ouvrage | Allgemeine Baugenossenschaft Zürich (ABZ) |
| Adresse | Zweierstrasse 99 -105 à 8003 Zurich |
| SRE | 2'800 m ² |
| Logements | 25 |
| Chauffage | 1 x chaudière à gaz à condensation 250 kW 89 W/m ² |
| Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) | 3 vannes (Energy Valves) et un point de mesure pour l'eau chaude sanitaire sont requises. Une OéE avait déjà été réalisée au préalable, ce qui a permis d'économiser 20% d'énergie. |



Figure 3: immeuble collectif situé sur la Zweierstrasse

5.2 Immeuble ZH 2: Rotachquartier

| | |
|--|--|
| Maîtrise d'ouvrage | Baugenossenschaft Rotach Zürich |
| Adresse | Rotachquartier: Aemtlerstr. 73; Gertrudstr. 54 – 72; Nussbaumstr. 16 – 26; Rotachstr. 40 – 67; Saumstr. 14, 17, 19, 22 et 48 à 8003 Zurich |
| SRE | 26'000 m ² |
| Logements | 326 |
| Chauffage | 2 x chaudière à mazout à condensation 1.2 MW 92 W/m ² |
| Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) | 10 vannes (Energy Valves) La consommation d'eau chaude sanitaire était déjà connue. |



Figure 4: Rotachquartier à Zurich

5.3 Immeuble GE 1: Route de Mon-Idee 51-53

| | |
|--|--|
| Maîtrise d'ouvrage | CPEG (Caisse de prévoyance de l'Etat de Genève) |
| Adresse | Route de Mon-Idee 51-53, 1226 Thônex |
| SRE | 7'869 m ² |
| Logements | 60 |
| Chauffage | 2 x chaudière à mazout 280 kW 71 W/m ² |
| Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) | 1 vanne (Energy Valves) est requise. |



Figure 5: immeuble collectif situé sur la Route de Mon-Idee à Thônex

5.4 Immeuble GE 2: Rue Dancet

| | |
|--|--|
| Maîtrise d'ouvrage | CPEG (Caisse de prévoyance de l'Etat de Genève) |
| Adresse | Rue Dancet 12-20, 1205 Genève |
| SRE | 9'819 m ² |
| Logements | 120 |
| Chauffage | 2 x chaudière à gaz 400 kW 81 W/m ² |
| Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) | 2 vannes (Energy Valves) sont requises. Une optimisation énergétique de l'exploitation a été réalisée au préalable, ce qui a permis d'économiser 15% d'énergie. |



Figure 6: immeuble collectif situé sur la rue Dancet à Genève

6. Méthodologie et procédure

La même procédure et la même méthodologie d'évaluation ont été appliquées pour les quatre immeubles décrits à Zurich et à Genève. Les travaux de rénovation des systèmes de distribution de chauffage ont été menés en septembre 2023.

6.1 Réfection du système de distribution du chauffage

L'ancienne vanne à 3 voies a été remplacée par un circuit d'injection (Figure 7) dans le cadre de la rénovation du système de distribution de chauffage des immeubles à Zurich. Cette étape optimise le système hydraulique et intègre mieux les vannes dans le système en termes de technique de régulation. Les vannes Energy Valves ont été choisies de manière qu'elles soient équivalentes aux vannes existantes. Les pompes ont également été remplacées. L'emploi des vannes Energy Valves ne nécessite pas de réajustement du système de distribution du chauffage. Les auteurs estiment cependant qu'il est judicieux de renouveler l'ensemble du système en même temps que le montage de nouvelles vannes.

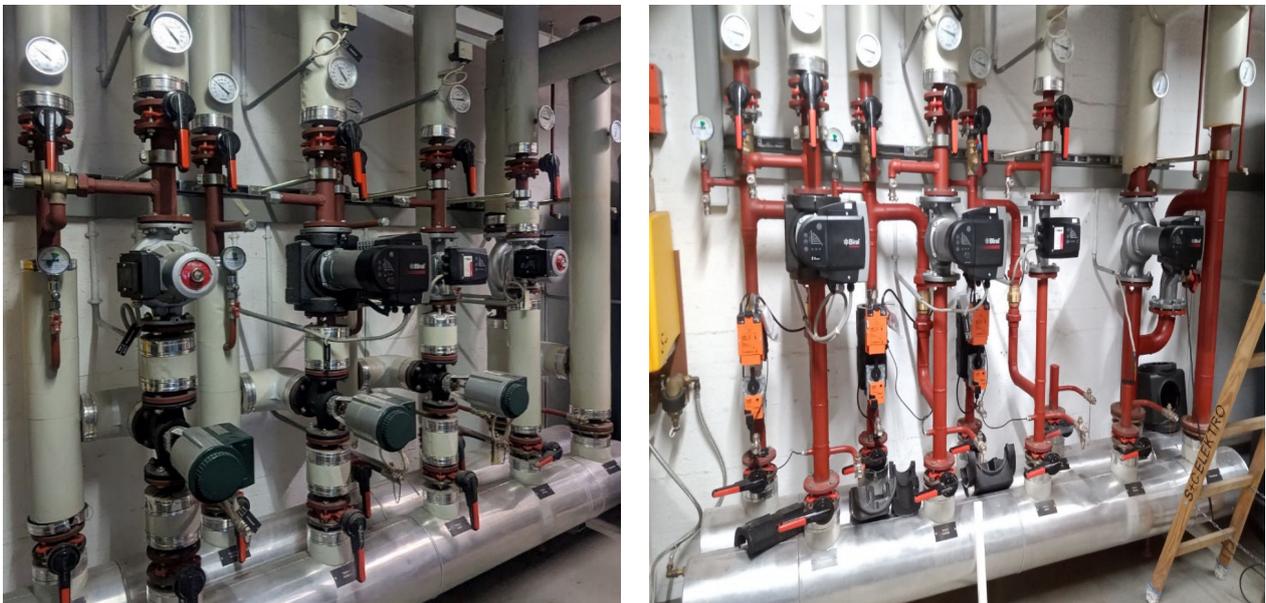


Figure 7: distribution du chauffage dans la Zweierstrasse avant (gauche) et après (droite) la réfection

Les vannes à 3 voies existantes ont été remplacées par des vannes Energy Valves à 3 voies dans les deux immeubles de Genève (Figure 8). Les pompes thermiques ont également été remplacées rue Dancet, alors que celles de la route de mon Idée ont été maintenues.



Figure 8: montage des Energy Valves, rue Dancet (distribution Est à gauche et Ouest à droite)

6.2 Mesurage sans optimisation

La première partie de la période de chauffage d'octobre 2023 à janvier 2024 a été consacrée à la mesure de la température de départ et de retour ainsi que du débit, sans optimisation. Le réglage sélectionné sur les Energy Valves a été défini par le contrôle proportionnel² qui permet à la vanne de fonctionner comme une vanne mélangeuse classique. Ces mesures servent de grandeur de comparaison après optimisation.

6.3 Activation de l'optimisation

L'optimisation de la vanne Energy Valve a été mise en service en janvier 2024 dans les quatre immeubles par l'activation de la régulation semi-automatique du débit volumique. Le débit massique a été relié au point d'application (-8 °C pour Zurich et -5 °C pour Genève) sur la base des données de mesure sans optimisation. Cette valeur a ensuite été utilisée pour les paramètres de contrôle du débit massique, puis l'optimisation automatique a été lancée. La diminution de la puissance grâce à l'optimisation est due au fait que les températures de retour ont été baissées au moyen du débit massique contrôlé, ce qui a permis de réduire les pertes de chaleur.

L'étape d'optimisation n'est pas révélatrice pour ce qui concerne le deuxième immeuble à Genève (rue Dancet), dans la mesure où un nouveau système d'optimisation énergétique a été mis en service début 2024, lequel prend en compte la température intérieure des pièces et les données météorologiques prédictives pour l'optimisation du chauffage. Ce dernier point a induit une dispersion trop élevée des données mesurées par la vanne Energy Valve pour pouvoir en tirer les conclusions nécessaires.

6.4 Relevé et exploitation des données de mesure

Les données de mesure ont été relevées fin avril 2024. Les températures extérieures ont à cet égard été relevées par la police maritime de Zurich³ pour les deux immeubles zurichois et par la station MétéoSuisse de Genève-Cointrin⁴ pour les deux immeubles genevois.

Les mesures des quatre immeubles ont été relevées en différentes étapes temporelles, même si ces étapes (valeurs horaires agrégées) ont précisément été exploitées pour les évaluations et les analyses. Il convient d'observer ici les efforts en vue de l'exploitation.

Les données de mesure ont été mises en corrélation avec les températures extérieures. Cette corrélation a déterminé la puissance d'application à -8 °C (température admise de SIA pour Zurich) et -5 °C pour Genève (température admise de SIA pour Genève).

² Consultez plus en détail les explications sur les immeubles GE 1 et GE 2 au sujet des réglages des vannes Energy Valves

³ <https://www.tecson-data.ch/zurich/mythenquai/index.php>

⁴ <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/messwerte-und-messnetze.html#param=messwerte-lufttemperatur-10min&table=false&station=GVE&chart=hour>

7. Résultats

Les gains de puissance ainsi que les coûts d'investissement qui en résultent par le du générateur de chaleur sont présentés pour les quatre immeubles. Il convient de noter qu'il n'est pas possible de statuer définitivement pour l'ensemble de la Suisse à partir des quatre seuls immeubles examinés. Les résultats indiquent toutefois une tendance claire.

7.1 Économie énergétique

La figure 9 montre en rouge la puissance calorifique mesurée corrélée (sans optimisation) et la puissance calorifique optimisée à l'aide de l'Energy Valve en vert. Chaque point représente une mesure précise agrégée sur une base horaire. Le graphique représente uniquement les valeurs journalières. On peut clairement identifier un déplacement parallèle de la courbe de chauffage vers le bas, et plus la température extérieure est basse, plus l'économie d'énergie réalisée grâce à l'optimisation est importante.

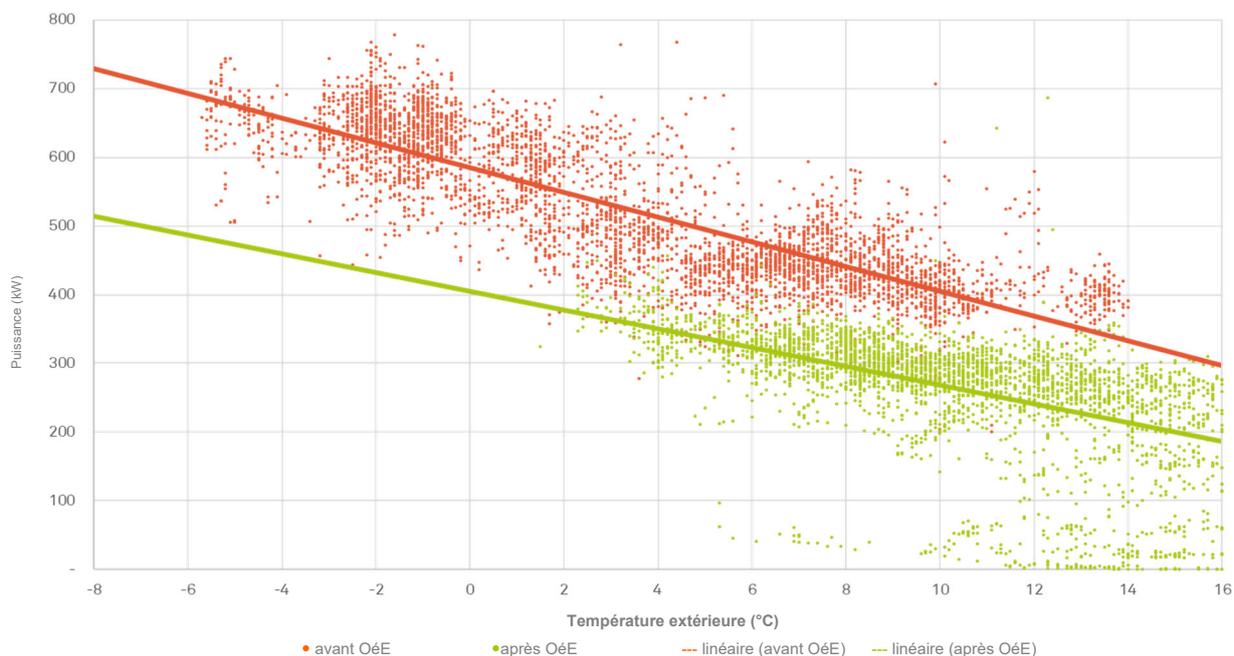


Figure 9: optimisation de la puissance calorifique avant OéE (rouge) et après OéE (vert) pour le Rotachquartier, représentant les valeurs journalières

L'application au moyen des chiffres de consommation des trois dernières années et les heures de pleine charge (2'700 h/a) sert de grandeur de comparaison pour les puissances mesurées sans et avec optimisation (comparaison). Si la procédure standard avec les heures de pleine charge avait été utilisée, nous aurions un surdimensionnement de la puissance calorifique de 16 à 52 % par rapport à une puissance calorifique déterminée par mesure sans optimisation. Avec une mesure précise, la puissance peut d'ores et déjà être réduite de moitié, selon l'immeuble. La détermination de la puissance mesurée correspond par ailleurs à la méthode de réfraction de la fréquence cumulée, telle que décrite dans SIA 384. En recourant à l'optimisation automatique de l'exploitation, force est de constater que la puissance admise peut encore être réduite de 12 à 15 %. Par rapport au dimensionnement à partir des heures de pleine charge, le recours à l'Energy Valve avec optimisation permet d'obtenir une réduction de la puissance de 43 à 66 %. Il est également possible de réduire davantage les futures productions de chaleur sur les sites de la Zweierstrasse (ZH-1) et de l'immeuble rue Dancet (GE-2), et ce malgré une optimisation d'exploitation qui avait déjà permis de réaliser une économie de 20 % et 30 %. L'étape d'optimisation a fonctionné dans le deuxième immeuble à Genève ; d'autres optimisations ont toutefois été entreprises pendant la série de mesures, ce qui a eu pour effet de trop marquer la dispersion des données pour pouvoir produire un résultat plausible.

| Immeuble | Puissance installée kW | Puissance en heures de pleine charge kW | Puissance mesurée kW | Réduction mesurée de la puissance (par rapport aux heures de pleine charge) | Puissance optimisée kW | Réduction optimisée de la puissance (par rapport à la puissance mesurée) |
|----------|------------------------|---|----------------------|--|------------------------|---|
| ZH-1 | 250 | 130 | 75 | 42 % | 56 | 15 % |
| ZH-2 | 2'400 | 1'530 | 730 | 52 % | 514 | 30 % |
| GE-1 | 560 | 320 | 210 | 34 % | 185 | 12 % |
| GE-2 | 800 | 440 | 370 | 16 % | - | - |

Tableau 1: comparaison des trois calculs de puissance pour les quatre immeubles

7.2 Économie de coûts d'investissement

Les économies de coûts d'investissement pour le remplacement d'un système de production de chaleur à énergie renouvelable ont été calculées pour tous les immeubles examinés et sont exposées dans les graphiques 10 à 14. Les auteurs conviennent que le surcoût de la planification dû au remplacement anticipé des groupes de chauffage peut être estimé à 40 heures par centrale de chauffage, ce qui représente des frais supplémentaires de CHF 5'000 pour le recours à l'optimisation automatique (taux horaire : CHF 130.-). Tous les coûts d'investissement indiqués sont calculés avec une précision de +/- 25 %.

Par la seule mesure, sans optimisation, de la Belimo Energy Valve, il est possible de réduire les coûts d'investissement de 8 %. Le coût des pompes à chaleur air-eau prévues est estimé non pas à 1.3 million, mais à 1.2 million de francs. Le nombre de pompes à chaleur requises reste identique ; toutefois, la classe de puissance utilisée peut être réduite grâce à une mesure précise.

7.2.1 Immeuble GE 1: Route de Mon-Idée

Il a été proposé de remplacer le système par une pompe à chaleur air-eau dans l'immeuble de la Route de Mon-Idée. Il n'est pas possible de mettre en place une pompe à chaleur dotée de sondes géothermiques en raison d'un manque d'espace. Figure 10 indique en guise de référence les coûts qui auraient

été encourus si la capacité installée aujourd'hui avait été remplacée à l'identique. Il indique par ailleurs les coûts investis pour le dimensionnement, avec les chiffres de consommation et les heures de pleine charge, ainsi que la mesure sans et avec optimisation de la vanne Energy Valve. Par la seule mesure sans optimisation (puissance avant OéE), il est possible de réduire les coûts d'investissement de 9 % par rapport à une conception avec des heures de pleine charge. Grâce à l'optimisation du débit massique à l'aide de l'Energy Valve (après OéE), les coûts d'investissement peuvent être encore réduits de 12 % par rapport à la mesure sans optimisation, soit de CHF 95'000 après déduction du surcoût pour la planification. Par rapport à une conception standard avec des heures de pleine charge, le remplacement anticipé du système de chauffage permet d'économiser CHF 195'000 et de réduire ainsi les coûts d'investissement de 17 %.

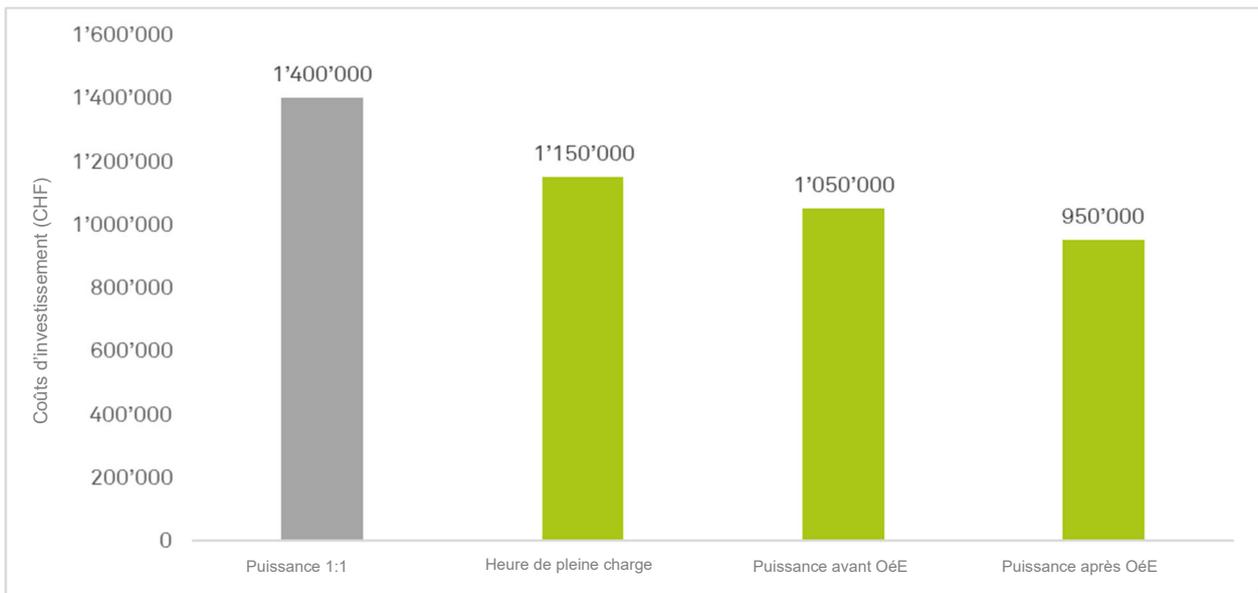


Figure 10: investissements de remplacement d'une pompe à chaleur air-eau avec air extérieur, Route de Mon-Idee⁵

⁵ Le coût d'investissement de la solution 1:1 est estimé à l'aide d'une extrapolation linéaire des autres variantes car cette solution n'est habituellement pas réalisée.

7.2.2 Immeuble GE 2: Rue Dancet

Par la seule mesure sans optimisation (puissance avant OéE), il est possible de réduire les coûts d'investissement de 16 % par rapport à une conception avec des heures de pleine charge. Comme pour ce cas une puissance après OéE n'a pas pu être identifiée dû à la dispersion des données, l'investissement n'a pas pu être estimé.

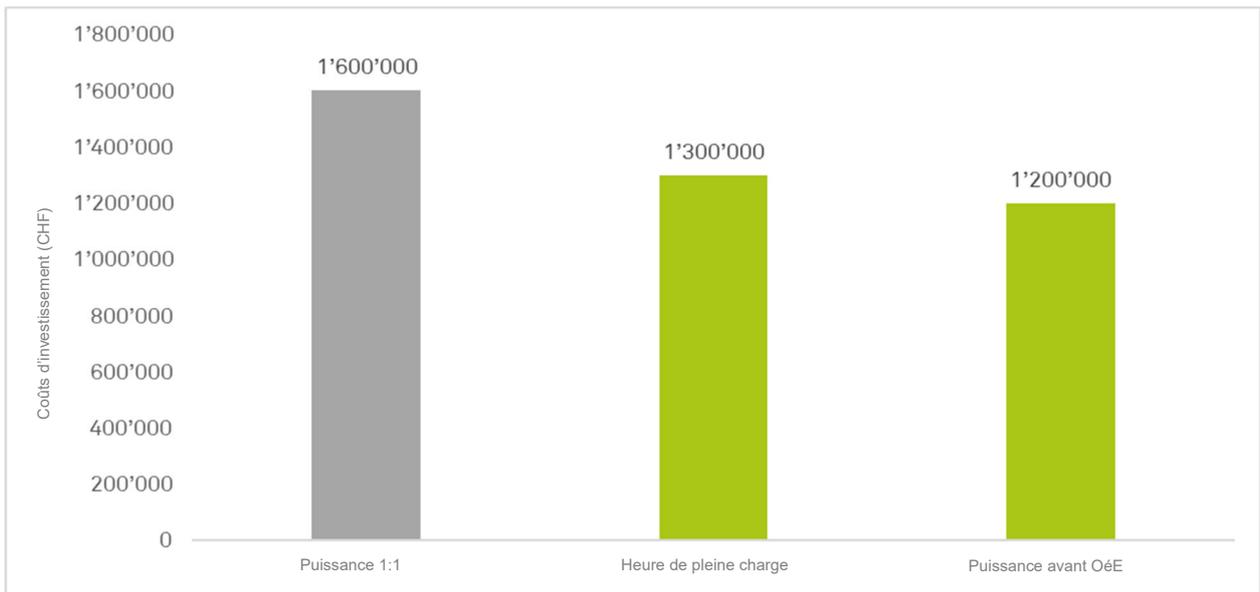


Figure 11: investissements de remplacement d'une pompe à chaleur air-eau avec air extérieur, rue Dancet⁶

7.2.3 Immeuble ZH 1: Zweierstrasse

Dans la Zweierstrasse, les coûts d'investissement ont été calculés pour une variante de la pompe à chaleur centrale avec air extérieur (Figure 12) et de la pompe à chaleur sol-eau (graphique 13).

La solution pompe à chaleur avec air extérieur revient à réduire les coûts d'investissement plus que de moitié par rapport à un remplacement à l'identique grâce à la fonction d'optimisation de la Belimo Energy Valve. Avec la solution avec sonde géothermique, l'économie sur les coûts d'investissement s'élève à 68 %. Dans les deux variantes, la fonction d'optimisation est rentable par rapport à la mesure seule, et notamment la solution pompe à chaleur avec sonde géothermique permet, grâce à une longueur de sonde plus courte, de réduire l'investissement de CHF 140'000 soit 15 %. Le surcoût pour la planification n'est pas significatif dans aucune des deux solutions.

⁶ Le coût d'investissement de la solution 1:1 est estimé à l'aide d'une extrapolation linéaire des autres variantes car cette solution n'est habituellement pas réalisée.

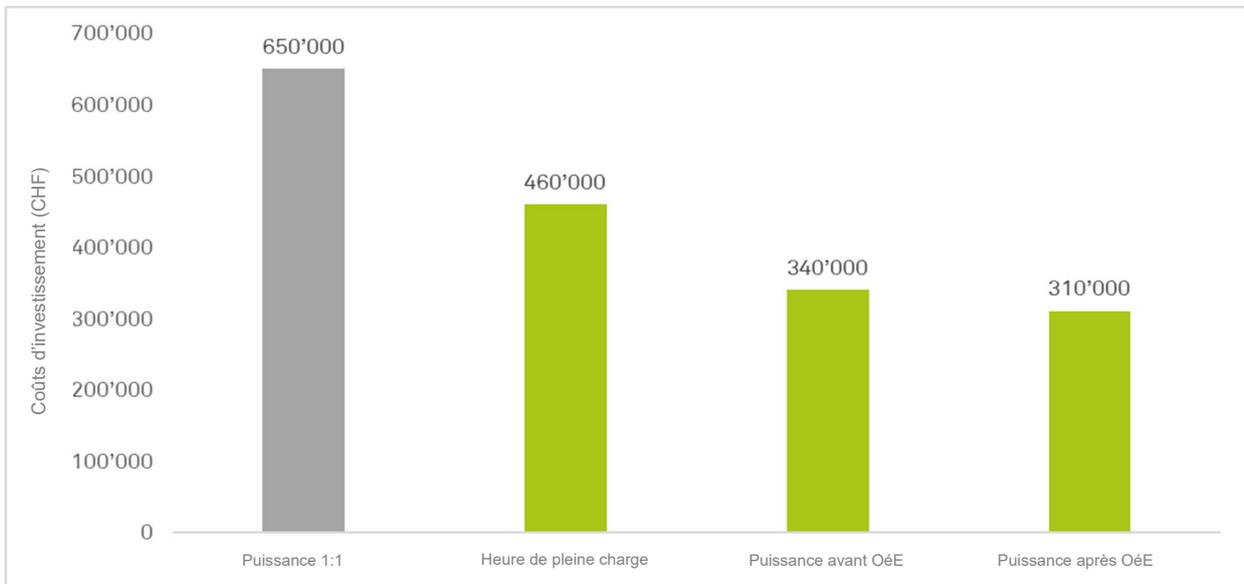


Figure 12: investissement de remplacement par une pompe à chaleur air-eau avec air extérieur, Zweiers-trasse

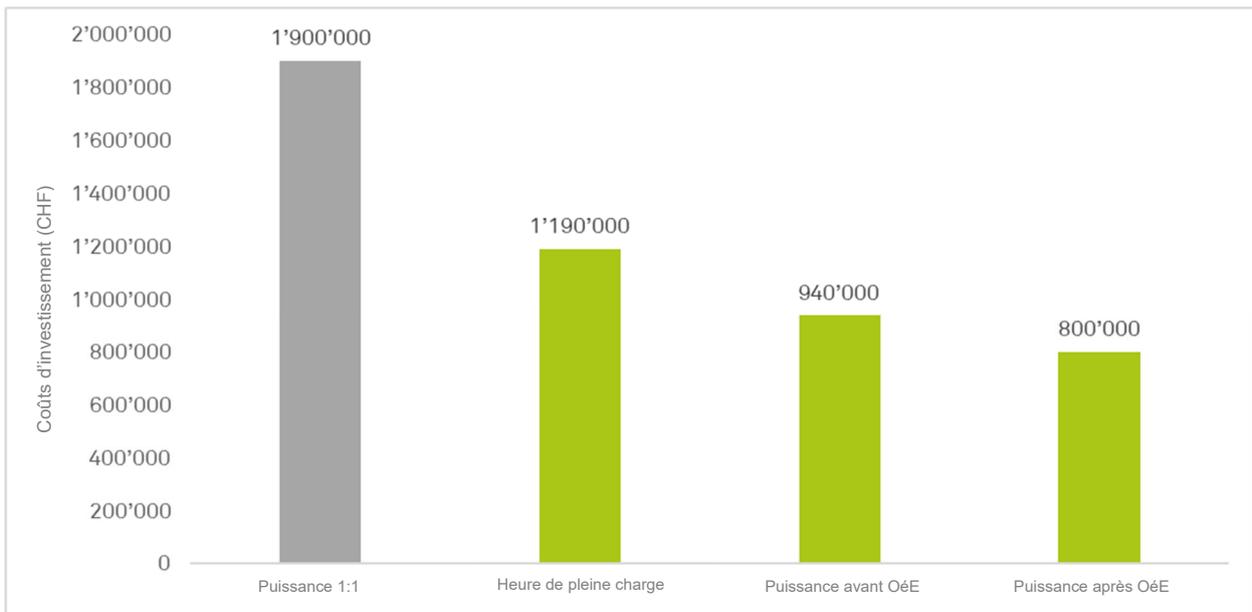


Figure 13: investissement de remplacement par une pompe à chaleur avec sonde géothermique, Zweiers-trasse

7.2.4 Immeuble ZH 2: Rotachquartier

La situation est similaire pour ce qui concerne le deuxième immeuble à Zurich (graphique 14). Un système avec pompes à chaleur centrales air-eau a été proposé pour le Rotachquartier. Les économies réalisées par rapport à une conception utilisant la méthode de pleine charge s'élèvent à 1.4 million de francs, ce qui revient à la réduction de moitié des coûts d'investissement. L'optimisation de la vanne Energy Valve entraîne également une réduction de 16 % de l'investissement par rapport à une mesure seule sans optimisation. Il s'avère que les systèmes de pompes à chaleur en particulier sont très sensibles aux prix en termes de classe de puissance. Une mesure préalable et une optimisation de l'exploitation en vue de réguler la production et la distribution de la chaleur sont donc particulièrement recommandées.

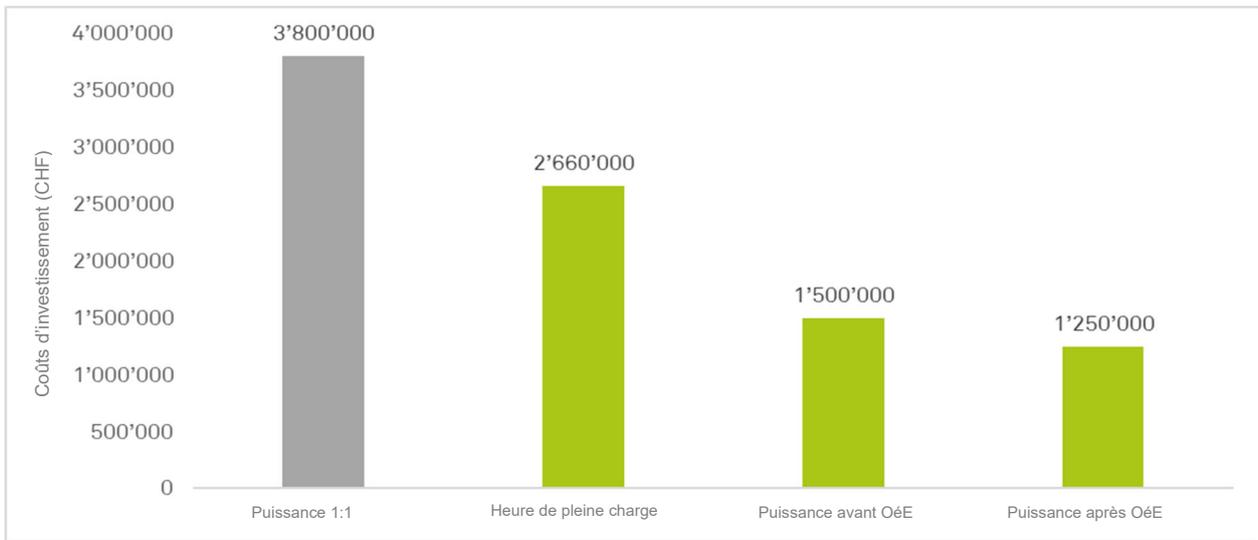


Figure 14: Investissement de remplacement par une pompe à chaleur air-eau avec air extérieur, Rottachquartier

8. Conclusions

Les résultats montrent que l'utilisation de vannes Belimo fournit des données de mesure précises sur la consommation de chauffage. Cela permet de calculer plus précisément la puissance nécessaire pour le chauffage. Dès la phase de mesure, il a été possible d'effectuer les calculs de puissance avec plus de précision et de dégager ainsi une réduction de la puissance nécessaire de 16 à 52 % qui semble réalisable par rapport à la méthode à pleine charge. L'ajout de la fonction d'optimisation a permis de démontrer que la puissance de chauffage de la future production de chaleur peut, selon l'immeuble, être recalibrée de 12 à 30 % vers le bas par rapport à ce qui aurait été le cas avec une mesure seule. Cet enseignement a surpris les auteurs de l'étude. On peut également constater que des optimisations d'exploitation antérieures ont déjà eu lieu dans la Zweierstrasse et la rue Dancet. Les possibilités d'optimisation sont par conséquent inférieures, mais restent tout de même remarquables.

L'effet se fait également ressentir positivement sur le plan économique : en tenant compte des surcoûts de la planification, on peut retenir que les coûts d'une pompe à chaleur pour les deux immeubles sont inférieurs de 10 % dans la Route de Mon-Idee et de 16% dans le Rotachquartier à ceux d'une optimisation de l'exploitation contrôlée sans débit massique en comparaison à la détermination de la puissance par la mesure de la consommation. L'hypothèse a été confirmée dans trois immeubles : un remplacement anticipé des groupes de chauffage associé à l'optimisation intelligente de l'exploitation s'avère énergétiquement et économiquement judicieux dans des immeubles d'habitation de plus grande taille. L'économie de coûts dépasse nettement le surcoût induit par la planification. Et il n'a pas été tenu compte des futurs gains d'efficacité grâce à la conception optimisée ainsi que la réduction de l'énergie grise au moyen de pompes à chaleur plus petites.

L'exemple des immeubles en question ne permet pas d'établir une généralisation pour l'ensemble de la Suisse. Les gains d'efficacité et les économies en matière de coûts doivent continuer d'être examinées au cas par cas. Le potentiel d'efficacité et d'économie en matière de coûts a pu être attesté dans les quatre immeubles examinés. Pour les immeubles collectifs munis d'un chauffage à combustible fossile sans optimisation préalable, il est possible de constater que le potentiel d'efficacité peut être exploité grâce à une optimisation régulée du débit massique.

Les auteurs identifient davantage des obstacles dans la pratique, par rapport à la planification dans le temps du remplacement du générateur de chaleur. Une optimisation intelligente nécessite de procéder à la réfection de la distribution du chauffage un à deux ans à l'avance. Il faut trois mois de période de chauffage, pendant lesquels dominent des températures de < -5 °C, afin de déterminer les dimensions exactes du nouveau générateur avec optimisation. Afin de bien exploiter ce potentiel, il est nécessaire d'établir une planification prospective de l'investissement et du remplacement. L'enjeu ici sera de le mettre en œuvre au quotidien chez les promoteurs immobiliers institutionnels. Il faudra passer par un travail de sensibilisation et de communication sur les données du projet pour que leurs résultats soient mis en œuvre sur le terrain.

9. Annexe

Les rapports de mesures détaillés et les études de variantes associées des quatre immeubles d'essai sont consignés en annexe.

- GE-1 : Route de mon Idée
- GE-2 : Rue Dancet
- ZH-1 : Zweierstrasse
- ZH-2 : Rotachquartier



energys

ingénierie du bâtiment

Route de Mon-Idee 51-53 CH – 1226 Thônex

Projet Innovation SuisseEnergie / Belimo

Le 13 juin 2024, version 02



Table des matières

| | | |
|-----------|--|----|
| 1. | INTRODUCTION | 3 |
| 1.1 | Cadre du mandat | 3 |
| 1.2 | Objectifs de l'étude | 3 |
| 1.3 | Documents et informations de base | 3 |
| 2. | PRÉSENTATION DU SITE | 4 |
| 2.1 | Situation du bâtiment | 4 |
| 2.2 | Consommation de mazout pour la production de chaleur & ECS | 5 |
| 2.3 | Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS | 5 |
| 3. | INSTALLATION D'UNE VANNE INTELLIGENTE BELIMO ET SUIVI ÉNERGÉTIQUE | 8 |
| 3.1 | Installation d'une vanne Belimo Energy Valve | 8 |
| 3.2 | Méthodologie et conditions du suivi énergétique | 9 |
| 3.3 | Résultats du suivi énergétique | 11 |
| 4. | CALCULS DES BESOINS DE PUISSANCE | 12 |
| 4.1 | Généralités | 12 |
| 4.2 | Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment | 12 |
| 4.3 | Besoin de puissance selon mesures 1 ^{ère} phase (sans optimisation) | 12 |
| 4.4 | Besoin de puissance selon mesures 2 ^{ème} phase (avec optimisation) | 13 |
| 4.5 | Synthèse des besoins de puissances calculés | 13 |
| 5. | ETUDE DU REMPLACEMENT DE LA PRODUCTION DE CHALEUR | 14 |
| 5.1 | Généralités | 14 |
| 5.2 | Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon les consommations | 14 |
| 5.3 | Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures sans optimisation | 18 |
| 5.4 | Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures avec optimisation | 21 |
| 5.5 | Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance | 23 |
| 6. | SYNTHÈSE ET CONCLUSION | 24 |
| 6.1 | Synthèse | 24 |
| 6.2 | Conclusion | 24 |
| Annexe 1. | Schémas de principe hydrauliques | |
| Annexe 2. | Paramètres de régulation | |
| Annexe 3. | Courbes de mesures du taux de charge | |



1. Introduction

1.1 Cadre du mandat

Les Services Industriels de Genève (SIG) réalisent en partenariat avec SuisseEnergie un projet Innovation afin de définir au plus juste le besoin de puissance de deux sites sur le canton de Genève, dans le but d'un remplacement de la production de chaleur par une solution monovalente PAC air/eau adaptée.

Pour ce faire, des vannes intelligentes (Energy Valves) de marque Belimo ont été mises en œuvre sur les installations de chauffage de deux bâtiments à Genève afin de mesurer précisément la puissance des secteurs de chauffe. Dans un second temps des mesures d'optimisation énergétique ont été réalisées via les Energy Valves afin d'analyser et quantifier l'impact de ces mesures sur le besoin de puissance des sites.

Dans ce cadre, les SIG, par l'intermédiaire de Madame Fraga, ont sollicité le bureau ENERGYS Sàrl afin de mettre en place un suivi énergétique avec les Energy Valves Belimo sur les deux sites, avec et sans mesures d'optimisation ainsi que de traiter et d'analyser les données récoltées sur ces installations.

Ce rapport traite de l'un des deux sites. Il s'agit d'un immeuble d'habitation sis Route de Mon-Idee 51-53 à Thônex.

La démarche, l'état initial et les principaux résultats de cette étude font l'objet du présent document.

1.2 Objectifs de l'étude

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- Etat des lieux sommaire des installations de chauffage,
- Mise en place, en coordination avec le chauffagiste et la société Belimo, des vannes intelligentes Energy Valves sur les secteurs de distribution de chaleur,
- Réalisation d'une campagne de mesures des données énergétiques des vannes Belimo sur une saison de chauffe (avec et sans l'activation des paramètres d'optimisation des vannes),
- Identification des éventuels problèmes rencontrés,
- Synthèse et analyse des résultats avant et après optimisation,
- Proposition et chiffrage de différents scénarios d'assainissement de la production de chaleur selon les consommations du site et les données mesurées par les vannes.

1.3 Documents et informations de base

Les documents et informations suivants ont servi de base à l'étude de ce bâtiment :

| Titre | Date | Provenance | Remarque/Annexe |
|----------------------------------|---------------------|--------------|-----------------|
| Plans des bâtiments | 1980-1984 | CPEG | Format PDF |
| Données de consommation (mazout) | 2021-2023 | SITG | - |
| Données énergétiques des vannes | 16.10.23 – 24.04.24 | Cloud Belimo | Format CSV |

Tableau 1 : Informations utiles à l'étude

Le tableau ci-dessous donne la liste des acteurs impliqués dans la gestion du bâtiment (liste non exhaustive).



| Personne | Entreprise | Titre/responsabilité | Téléphone |
|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| - | Brollet SA | Régie immobilière | 058 201 33 19 |
| M. Michael Festor | Services Plus Energies | Maintenance chauffage | 022.793.24.34 |

Tableau 2 : Acteurs impliqués dans la gestion énergétique du bâtiment

2. Présentation du site

2.1 Situation du bâtiment

Le site étudié se situe Route de Mon-Idee 51-53, il occupe la parcelle 4833 de la commune de Thônex, à une altitude de 430 mètres.

La figure ci-dessous présente le bâtiment étudié :

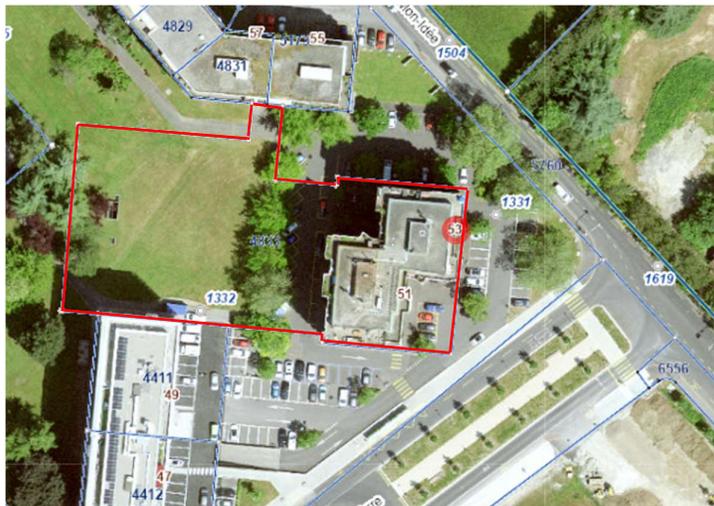


Figure 1 : ortophoto du site avec indication de l'emplacement du bâtiment

Il s'agit d'un bâtiment de logements répartis sur 10 étages avec des commerces au RDC. Ce bâtiment a été construit dans les années 1970/1980.

Le bâtiment ne se situe pas dans une zone protégée. Il ne bénéficie d'aucune protection patrimoniale.

La surface de référence énergétique (SRE) totale de l'immeuble est de **7'869 m²**.



2.2 Consommation de mazout pour la production de chaleur & ECS

Les données de consommation pour la production de chaleur ont été obtenues depuis le système d'information du territoire genevois (SITG – donnée énergie).

| Années | Consommation de mazout | Indice de dépense de chaleur (IDC) |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------|
| | [litres] | [MJ/m ² .an] |
| 2021 | 80 045 | 388 |
| 2022 | 91 276 | 439 |
| 2023 | 76 670 | 409 |
| Moyenne 2021-2023 | 82 664 | 412 |

Tableau 3 : Consommation de mazout du site et Indice de Dépense de chaleur (IDC)

La consommation annuelle de mazout pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) du site est de 82'700 litres de mazout.

2.3 Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS

Production de chaleur

La production de chaleur du site est assurée par deux chaudières mazout de 280 kW chacune. Ces chaudières datent de 2008.



Figure 2 : Chaudières mazout – 2x 280 kW

Distribution de chaleur

La distribution de chaleur principale, située en chaufferie, est présentée sur la figure ci-dessous.



Figure 3 : Collecteur de chaleur en chaufferie

Le collecteur en chaufferie est composé d'un seul groupe de distribution pour les radiateurs. Ce secteur de distribution est en injection trois voies.

Le schéma de principe des installations existantes est donné en **annexe 1**.

Emission de chaleur

L'émission de chaleur est faite par des radiateurs.

Production et distribution d'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est produite par deux chauffe-eaux sanitaires à haut rendement, de 460 litres chacun, installés en chaufferie. Ils sont alimentés par les chaudières.



Figure 4 : Chauffe-eaux alimentés par les chaudières

Le schéma de principe des installations existantes est donné en **annexe 1**.

Mesures, commandes et régulation (MCR) chauffage

Les installations de chauffage et d'ECS sont pilotées par un tableau MCR installé en chaufferie. Ce tableau est équipé d'un automate de marque Trend et d'un écran tactile. Une supervision EvoSPE, mise en œuvre par l'exploitant Services Plus Energies (SPE), permet de récupérer les données des installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire.



Figure 5 : Tableau MCR en chaufferie

Les paramètres de régulation sont donnés en **annexe 2**.

3. Installation d'une vanne intelligente Belimo et suivi énergétique

3.1 Installation d'une vanne Belimo Energy Valve

Dans le cadre du mandat, une vanne 3 voies intelligente de type Energy Valve de marque Belimo a été mise en œuvre sur le secteur de chauffage en remplacement de la vanne 3 voies existante.

Généralités

La vanne Energy Valve de Belimo se compose d'une vanne de régulation avec un capteur de débit et deux sondes de températures intégrés. Cet appareil permet une mesure de l'énergie et une régulation de l'ouverture de la vanne en fonction de différents paramètres.

Modes de fonctionnement

L'Energy Valve Belimo est pilotée par un signal de contrôle 0-10V transmis par le tableau MCR existant.

La vanne peut fonctionner selon différents modes, résumés dans le tableau ci-dessous :

| Mode de fonctionnement | Description |
|------------------------|--|
| Contrôle de position | Signal 0-10 V directement converti en pourcentage d'ouverture de vanne |
| Contrôle de débit | Signal 0-10 V converti en pourcentage du débit maximum de consigne |
| Contrôle de puissance | Signal 0-10 V converti en pourcentage de la puissance maximale de consigne |

Tableau 4 : mode de fonctionnement de l'Energy Valve Belimo

Le contrôle de position correspond à un fonctionnement classique d'une vanne motorisée. C'est le mode qui a été choisi pour la 1^{ère} phase de mesures sans optimisation (cf. chapitre 3.2).

En contrôle de débit, l'ouverture de la vanne s'ajuste de manière à respecter un certain débit (paramètre direct).

A contrario, en contrôle de puissance, la vanne contrôle son débit afin d'avoir la puissance souhaitée selon le ΔT mesuré. Cette méthode dépend de plusieurs paramètres et est donc peu précise dans les cas où la demande de chauffage est faible et lorsqu'il y a des faibles ΔT .

C'est pourquoi le contrôle de débit a été choisi pour la phase d'optimisation (cf. chapitre 3.2).

En complément de ces 3 modes, une fonction de ΔT manager peut être activée. Cette option permet de maintenir dans la mesure du possible un ΔT proche d'une valeur de consigne (ΔT Set Point). Cette fonction n'a pas été activée durant la période de mesures présentée ci-après.



Mise en œuvre de la vanne Belimo Energy Valve

Les travaux de mise en œuvre de l'Energy Valve Belimo ont été réalisés début octobre 2023.

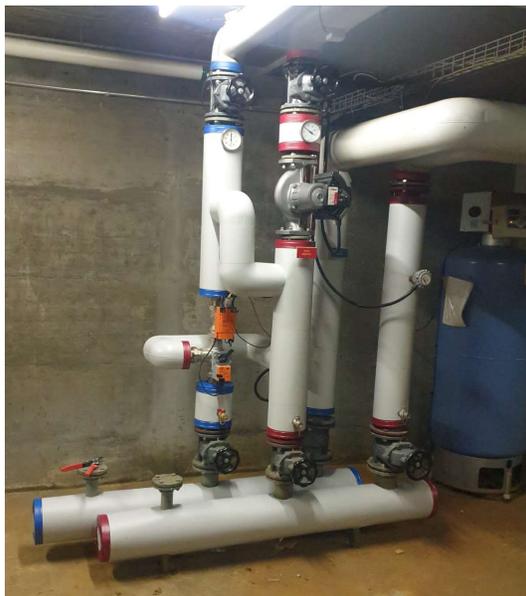


Figure 6 : Installation de la vanne 3 voies Belimo Energy Valve

Le schéma de principe des installations après travaux est donné en **annexe 1**.

3.2 Méthodologie et conditions du suivi énergétique

Appareils de mesure

Le tableau suivant donne la liste des paramètres mesurés et des appareils de mesures utilisés :

| Paramètres | Unité | Appareil de mesure | Pas de temps | Remarque |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------|---|
| Températures départ/retour primaire | °C | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Débit primaire | m ³ /h | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Puissance instantanée primaire | kW | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Energie chaud primaire | kWh | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS |
| Ouverture de la vanne | % | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS |
| Température extérieure | °C | Données météo Suisse | 1 heure | Station météo Genève-Cointrin |

Tableau 5 : Paramètres mesurés et appareils de mesure utilisés



Périodes de mesures

Les mesures ont été réalisées sur deux périodes distinctes :

- 1^{ère} période de mesures : sans optimisation de la vanne (contrôle de position) : du 16 octobre 2023 au 14 janvier 2024,
- 2^{ème} période de mesures : avec optimisation de la vanne (régulation par contrôle de débit ¹) : du 19 février au 24 avril 2024.

Déroulement des mesures

Etablissement de diagrammes de mesure du taux de charge

Les vannes Belimo Energy Valves mesurent les puissances instantanées traversant les vannes avec un pas de temps de 30 secondes. A partir de ces valeurs, des puissances horaires ont été calculées pour le secteur de chauffe.

En parallèle, les températures extérieures horaires la station météo de Genève-Cointrin ont été extraites. Les couples de valeurs « puissance » et « température extérieure » sont ensuite reportés sur un diagramme.

Pour permettre une meilleure analyse des données, trois différents diagrammes ont été tracés en fonction des différents régimes de fonctionnement des chaudières, soit :

- mode confort (jour), pour les puissances horaires mesurées entre 7 heures et 19 heures,
- mode relance matinale, pour les puissances horaires mesurées entre 4 heures et 6 heures,
- mode réduit (nuit), pour les puissances horaires mesurées entre 20 heures et 3 heures.

Les diagrammes de mesure du taux de charge en mode confort (jour) sont présentés au chapitre 3.3. Les diagrammes des modes relance matinale et réduit (nuit) sont présentés en annexe 3.

Calcul du besoin de puissance

Une courbe de tendance est tracée sur les diagrammes de mesures du taux de charge afin d'extrapoler les besoins de puissance pour une température de -5°C (température de dimensionnement à Genève selon SIA 381/2).

A noter que dans le cas du remplacement de la production de chaleur, le besoin de puissance considéré pour le dimensionnement des installations est calculé à partir des mesures en mode confort (jour) afin de ne pas tenir compte des relances matinales et des réductions nocturnes.

Les besoins de puissances calculés sont présentés au chapitre 4.

Problèmes rencontrés sur la deuxième période de mesures (phase d'optimisation)

Panel de données insuffisantes

La deuxième période de mesures (phase d'optimisation) a été réalisée sur la fin de la saison de chauffe 2023-2024. Les températures extérieures ont été clémentes lors de cette période. De ce fait, l'échantillon de données n'est pas suffisant car il y a très peu de données pour des températures inférieures à 2°C .

Nous conseillons donc de poursuivre le suivi énergétique sur une saison de chauffe supplémentaire, afin de valider les résultats présentés au chapitre 3.3.

¹ Le débit maximum de consigne a été calculé à partir du besoin de puissance issu de la première phase de mesures, sans optimisation, pour une température extérieure de -5°C et avec ΔT de 20K.



3.3 Résultats du suivi énergétique

Première phase de mesure : sans optimisation

Le diagramme du taux de charge pour la première phase de mesure (sans optimisation de la vanne) pour le mode confort est présenté ci-dessous.

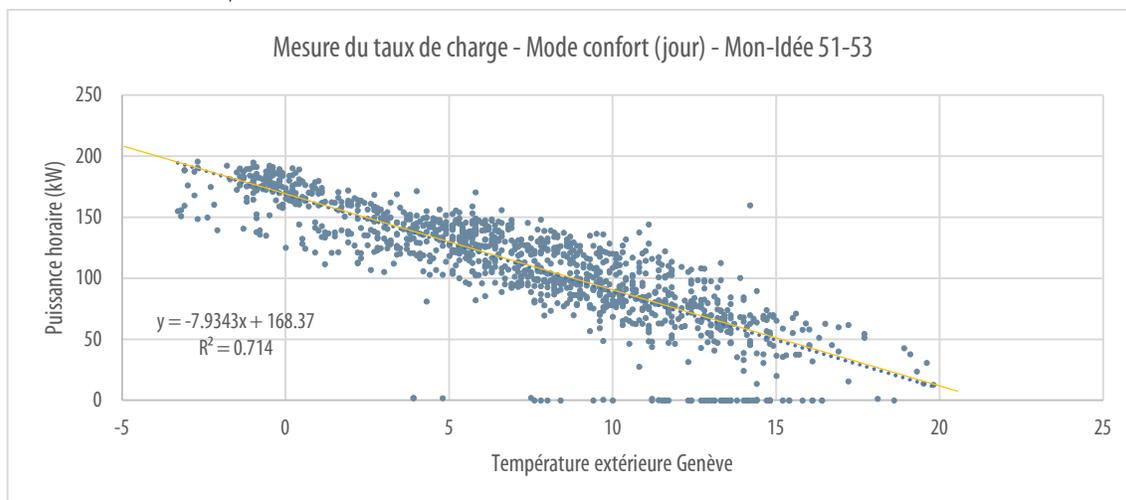


Figure 7 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation – période du 16.10.23 au 14.01.24

Deuxième phase de mesure : avec optimisation de la vanne par contrôle de débit

Le diagramme du taux de charge pour la deuxième phase de mesure (optimisation par la vanne Belimo avec le mode contrôle de débit) pour le mode confort est présenté ci-dessous.

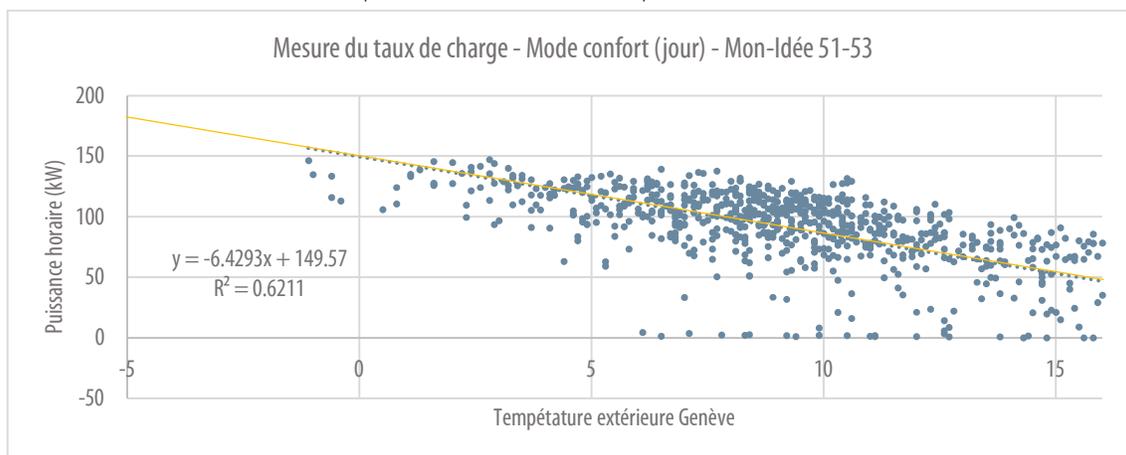


Figure 8 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024

Les diagrammes de mesure du taux de charge avec la superposition des courbes avant et après optimisation sont présentés en **annexe 3**.



4. Calculs des besoins de puissance

4.1 Généralités

Trois méthodes de calcul du besoin de puissances sont présentées dans ce chapitre :

- Calcul sur la base des relevés de consommations du bâtiment,
- Calcul issu des données mesurées lors de la 1^{ère} phase (sans optimisation de la vanne Belimo).
- Calcul issu des données mesurées lors de la 2^{ème} phase (avec optimisation de la vanne Belimo).

Les différents besoins de puissances issus de ces méthodes de calcul sont donnés ci-dessous.

4.2 Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment

Les besoins de puissance pour le chauffage et l'ECS ont été estimés à l'aide du calcul estimatif présenté dans le tableau ci-dessous :

| | Unité | Mon-Idee 51-53 |
|---|------------------|----------------|
| Consommation de mazout ² | litres/an | 82 700 |
| Heures de fonctionnement plateau suisse avec ECS | h | 2 700 |
| Besoin de puissance arrondi | kW | 320 |
| Surface de référence énergétique | m ² | 7 869 |
| Contrôle – immeuble locatif avec isolation traditionnelle- 50 - 70 W/m ² | W/m ² | 41 |

Tableau 6 : Calcul estimatif des besoins de puissance en chauffage du site à partir des données de consommations

Le besoin de puissance pour le site calculé selon les relevés de consommation est donc de **320 kW**.

4.3 Besoin de puissance selon mesures 1^{ère} phase (sans optimisation)

En regard des diagrammes présentés au chapitre 3.3, le besoin de puissance du bâtiment pour la première phase de mesure (sans optimisation) est donné dans le tableau ci-dessous.

| | Unité | Mon-Idee 51-53 Mode CONFORT |
|---|------------------|--------------------------------|
| Besoin de puissance à Text -5°C | kW | 208 |
| Surface de référence énergétique | m ² | 7 869 |
| Contrôle – immeuble locatif avec isolation traditionnelle- 50 - 70 W/m ² | W/m ² | 26 |

Tableau 7 : Calcul estimatif des besoins de puissance en chauffage du site à partir de la mesure du taux de charge – sans optimisation vanne

Le besoin de puissance pour le site calculé selon le diagramme du taux de charge sans optimisation de la vanne Belimo est donc de **210 kW**.

² Le rendement des chaudières a été négligé pour avoir une puissance surfacique cohérente avec la qualité de l'enveloppe thermique du bâtiment.



4.4 Besoin de puissance selon mesures 2^{ème} phase (avec optimisation)

En regard des diagrammes présentés au chapitre 3.3, le besoin de puissance du bâtiment pour la seconde phase de mesure (optimisation par l'Energy Valve Belimo, mode contrôle de débit) est donné dans le tableau ci-dessous.

| | Unité | Mon-Idée 51-53 Mode CONFORT |
|---|------------------|--------------------------------|
| Besoin de puissance à Text -5°C | kW | 182 |
| Surface de référence énergétique | m ² | 7 869 |
| Contrôle – immeuble locatif avec isolation traditionnelle- 50 - 70 W/m ² | W/m ² | 23 |

Tableau 8 : Calcul estimatif des besoins de puissance en chauffage du site à partir de la mesure du taux de charge – sans optimisation vanne

Le besoin de puissance pour le site calculé selon le diagramme du taux de charge avec optimisation de la vanne Belimo par le débit est donc de **185 kW**.

4.5 Synthèse des besoins de puissances calculés

Les besoins de puissances calculés suivant les différentes méthodes sont résumés dans le tableau ci-dessous.

| | Unité | Méthode consommation | Méthode mesures 1 ^{ère} phase | Méthode mesures 2 ^{ème} phase |
|---------------------------------|------------------|----------------------|--|--|
| Besoin de puissance à Text -5°C | kW | 320 | 210 | 185 |
| Puissance surfacique | W/m ² | 41 | 26 | 23 |
| Ecart du besoin de puissance | % | 0 | -35% | -45% |

Tableau 9 : Synthèse des calculs des besoins de puissance du site suivant les différentes méthodes

La mise en place de l'Energy Valve sur le secteur de chauffage (sans optimisation de la vanne) permet d'affiner le calcul du besoin de puissance et de le réduire d'environ -35%.

L'activation des paramètres d'optimisation de l'Energy Valve (contrôle de débit) permet de réduire le besoin de puissance calculé d'environ 10%, soit une diminution de 45% par rapport au besoin calculé à partir des consommations.

Remarque : Pour les besoins de puissances calculés à partir des diagrammes du taux de charges (avec ou sans optimisation de l'Energy Valve), la puissance surfacique calculée est de 26 et 23 W/m². Ces valeurs nous semblent faibles par rapport à l'année du bâtiment et la qualité de son enveloppe thermique (isolation moyenne). Par mesure de sécurité, nous préconisons d'augmenter légèrement la puissance des PAC (par exemple d'un coefficient de sécurité de 10%), ou de mettre en place une résistance électrique dans l'accumulateur. Dans cette étude, nous avons choisi d'ajouter une résistance électrique (d'environ 20kW).



5. Etude du remplacement de la production de chaleur

5.1 Généralités

Solution étudiée

Dans ce chapitre est étudié le remplacement de la production de chaleur existante par une solution monovalente PAC air/eau. L'assainissement de la distribution principale de chaleur ainsi que de la production d'eau chaude sanitaire sont également compris dans les propositions de chiffrage ci-dessous. L'assainissement de la distribution secondaire et le remplacement des émetteurs de chaleur ne sont pas considérés dans cette étude.

Dimensionnement de la production de chaleur

Le dimensionnement de la production de chaleur est établi suivant les différents besoins de puissance calculés au chapitre 4, soit :

- A partir des relevés de consommations du bâtiment,
- A partir des données mesurées pour la 1^{ère} phase (sans optimisation de la vanne Belimo).
- A partir des données mesurées pour la 2^{ème} phase (avec optimisation de la vanne Belimo).

Trois chiffreages sont donc proposés pour la mise en œuvre d'une solution monovalente PAC air/eau.

5.2 Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon les consommations

Rappel du besoin de puissance considéré

Pour cette variante, le besoin de puissance pour le site est de **320 kW**, selon le chapitre 4.2.

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du bâtiment sis route de Mon-Idee 51-53 est assurée par deux pompes à chaleur (PAC) air/eau d'une puissance totale de 320 kW, installées en toiture suivant le plan ci-dessous.

En première approche nous proposons de faire transiter les liaisons hydrauliques entre les PAC et les accumulateurs de chauffage en toiture et dans les cheminées, selon le plan ci-dessous. Cette solution nécessite d'ouvrir la courette technique des cheminées tous les étages et de démolir les boisseaux.





Figure 9: Plan de toiture avec proposition d'implantation des PAC – Mon-Idee 51-53

Scénario comprenant :

- Mise en œuvre de 2 PAC air/eau d'une puissance totale de 320 kW,
- Mise en œuvre de deux accumulateurs pour le chauffage (4'800 litres au total),
- Mise en œuvre de deux chauffe-eaux sanitaires (3'500 litres au total),
- Distribution hydraulique primaire (y.c. création d'une liaison hydraulique PAC <-> chaufferie en eau claire, y.c. câbles chauffants en toiture),
- Réfection et adaptation de la distribution principale (y.c. calorifugeage),
- Réfection de la régulation,
- Démontage et évacuation de l'existant,
- Travaux de montage,
- Livraison à la grue en toiture et échafaudages,
- Châssis pour répartir la charge des PAC en toiture (60'000 CHF, prix à affiner),
- Caissons acoustiques pour les PAC (80'000 CHF, prix à affiner),
- Travaux de maçonnerie :
 - carottages,
 - ouvertures de la conduite de cheminée à chaque étage et démolition des boisseaux,
- Travaux de sanitaire,
- Travaux d'électricité :
 - Renforcement de l'alimentation électrique (alimentation de 630A au total),
 - Réfection de la distribution électrique depuis la limite de propriété avec le domaine public (y.c. création d'une tranchée - 250 ml),
 - Réfection du TGBT,
 - Raccordement électrique des installations
- Travaux de peinture.



Les coûts d'investissements sont regroupés par CFC et présentés dans le tableau ci-dessous :

| CFC | Libellé | Prix par CFC [CHF] |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 242 | Production de chaleur | 620 000 |
| 243 | Distribution de chaleur | 20 000 |
| 230 | Electricité | 245 000 |
| 237 | MCR | 25 000 |
| 250 | Sanitaire | 20 000 |
| 211 | Maçonnerie | 40 000 |
| 272 | Serrurerie | 60 000 |
| 244 | Etanchéité | 5 000 |
| 271 | Plâtrerie Peinture | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 110 000 |
| TOTAL net HT ± 25 % | | 1'150'000 |

Tableau 10: Tableau des investissements par CFC – scénario 1 - Besoin de puissance 320 kW

Subventions disponibles « Programme Bâtiments » en 2024 : CHF 130'000.- HT (M-05) – « pompe à chaleur air-eau », non compris dans le budget d'investissement énoncé ci-dessus.

Eléments conservés :

- Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

- Honoraires d'ingénieurs / d'architectes,
- Diagnostic amiante et éventuels travaux de retrait de l'amiante,
- Etude acoustique pour les PAC,
- Contrôle statique par un ingénieur civil,
- Sécurité et maintenance (ligne de vie, garde-corps, etc),
- Réfection de la nourrice et/ou des installations sanitaires.

Remarques importantes :

- Un contrôle statique devra être réalisé par un ingénieur civil pour vérifier la faisabilité de l'emplacement proposé. Des châssis pour la reprise des charges des PAC seront probablement nécessaires. En première approche, nous avons considéré un budget de **60'000 CHF** pour la mise en œuvre de châssis. Ce coût sera à affiner au stade du projet.
- Les PAC de grande puissance sont bruyantes (puissance acoustique de 90 dB(A) pour les PAC proposées – Purple HP 50.2). Des protections contre le bruit seront donc nécessaires pour que l'installation respecte les exigences de protection contre le bruit. En première



approche, un montant estimatif de **80'000 CHF** a été considéré pour la mise en œuvre de caissons acoustiques sur les PAC. Le coût de ces protections sera à vérifier au stade du projet.

- Actuellement, l'introduction électrique du bâtiment est en 250 A (logements, communs et chaufferie), il est nécessaire de renforcer l'introduction à 630A (dont 355 A pour les besoins des PAC). Des travaux d'adaptation du réseau électrique devront être mis en œuvre (notamment : mise en œuvre d'un nouveau câble électrique entre le coffret SIG et le TGBT, y compris création d'une tranchée, et réfection du TGBT). Un montant d'environ **210'000 CHF** a été considéré à ce stade pour ces modifications. Le coût de ces travaux sera à vérifier au stade du projet.



5.3 Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures sans optimisation

Rappel du besoin de puissance considéré

Pour cette variante, le besoin de puissance pour le site est de **210 kW**, selon le chapitre 4.3.

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du bâtiment sis route de Mon-Idee 51-53 est assurée par deux pompes à chaleur (PAC) air/eau d'une puissance totale de 210 kW, installées en toiture suivant le plan ci-dessous.

En première approche nous proposons de faire transiter les liaisons hydrauliques entre les PAC et les accumulateurs de chauffage en toiture et dans les cheminées, selon le plan présenté au chapitre 5.2. Cette solution nécessite d'ouvrir la courette technique des cheminées tous les étages et de démolir les boisseaux.

Scénario comprenant :

- Mise en œuvre de 2 PAC air/eau d'une puissance totale de 210 kW,
- Mise en œuvre de deux accumulateurs pour le chauffage (3'000 litres au total), y.c. résistance électrique de 20kW,
- Mise en œuvre de deux chauffe-eaux sanitaires (3'500 litres au total),
- Distribution hydraulique primaire (y.c. création d'une liaison hydraulique PAC <-> chaufferie en eau claire, y.c. câbles chauffants),
- Réfection et adaptation de la distribution principale (y.c. calorifugeage),
- Réfection de la régulation,
- Démontage et évacuation de l'existant,
- Travaux de montage,
- Livraison à la grue en toiture et échafaudages,
- Châssis pour répartir la charge des PAC en toiture (60'000 CHF, prix à affiner),
- Caissons acoustiques pour les PAC (80'000 CHF, prix à affiner),
- Travaux de maçonnerie :
 - carottages,
 - ouvertures de la conduite de cheminée à chaque étage et démolition des boisseaux,
- Travaux de sanitaire,
- Travaux d'électricité :
 - Renforcement de l'alimentation électrique (alimentation de 500A au total),
 - Réfection de la distribution électrique depuis la limite de propriété avec le domaine public (y.c. création d'une tranchée - 250 ml),
 - Réfection du TGBT,
 - Raccordement électrique des installations
- Travaux de peinture.

Les coûts d'investissements sont regroupés par CFC et présentés dans le tableau ci-dessous :



| CFC | Libellé | Prix par CFC [CHF] |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 242 | Production de chaleur | 560 000 |
| 243 | Distribution de chaleur | 20 000 |
| 230 | Electricité | 210 000 |
| 237 | MCR | 30 000 |
| 250 | Sanitaire | 20 000 |
| 211 | Maçonnerie | 40 000 |
| 244 | Etanchéité | 60 000 |
| 271 | Plâtrerie Peinture | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 100 000 |
| TOTAL net HT ± 25 % | | 1'050'000 |

Tableau 11 : Tableau des investissements par CFC – scénario 2 - Besoin de puissance 210 kW

Subventions disponibles « Programme Bâtiments » en 2024 : CHF 80'000.- HT (M-05) – « pompe à chaleur air-eau », non compris dans le budget d'investissement énoncé ci-dessus.

Eléments conservés :

- Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

- Honoraires d'ingénieurs / d'architectes,
- Diagnostic amiante et éventuels travaux de retrait de l'amiante,
- Etude acoustique pour les PAC,
- Contrôle statique par un ingénieur civil,
- Sécurité et maintenance (ligne de vie, garde-corps, etc),
- Réfection de la nourrice et/ou des installations sanitaires.

Remarques importantes :

- Un contrôle statique devra être réalisé par un ingénieur civil pour vérifier la faisabilité de l'emplacement proposé. Des châssis pour la reprise des charges des PAC seront probablement nécessaires. En première approche, nous avons considéré un budget de **60'000 CHF** pour la mise en œuvre de châssis. Ce coût sera à affiner au stade du projet.
- Les PAC de grande puissance sont bruyantes (puissance acoustique de 90 dB(A) pour les PAC proposées – Purple HP 32.2). Des protections contre le bruit seront donc nécessaires pour que l'installation respecte les exigences de protection contre le bruit. En première



approche, un montant estimatif de **80'000 CHF** a été considéré pour la mise en œuvre de caissons acoustiques sur les PAC. Le coût de ces protections sera à vérifier au stade du projet.

- Actuellement, l'introduction électrique du bâtiment est en 250 A (logements, communs et chaufferie), il est nécessaire de renforcer l'introduction à 500A (dont 250 A pour les besoins des PAC et de la résistance électrique de l'accumulateur PAC). Des travaux d'adaptation du réseau électrique devront être mis en œuvre (notamment : mise en œuvre d'un nouveau câble électrique entre le coffret SIG et le TGBT, y compris création d'une tranchée, et réfection du TGBT). Un montant d'environ **180'000 CHF** a été considéré à ce stade pour ces modifications. Le coût de ces travaux sera à vérifier au stade du projet.
- Une résistance électrique de l'ordre de 10% du besoin de puissance (20kW) est prévue dans l'accumulateur de la PAC. En première approche, un montant d'environ 10'000 CHF a été considéré pour sa mise en œuvre, son raccordement électrique et son raccordement au tableau MCR. Ce coût sera à affiner au stade du projet. Le coût pour le renforcement électrique du bâtiment est déjà pris en compte pour l'alimentation des PAC. La résistance électrique de 20kW n'augmente pas le renforcement électrique.



5.4 Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures avec optimisation

Rappel du besoin de puissance considéré

Pour cette variante, le besoin de puissance pour le site est de **185 kW**, selon le chapitre 4.4.

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du bâtiment sis route de Mon-Idee 51-53 est assurée par deux pompes à chaleur (PAC) air/eau d'une puissance totale de 185 kW, installées en toiture suivant le plan ci-dessous.

En première approche nous proposons de faire transiter les liaisons hydrauliques entre les PAC et les accumulateurs de chauffage en toiture et dans les cheminées, selon le plan présenté au chapitre 5.2. Cette solution nécessite d'ouvrir la courette technique des cheminées tous les étages et de démolir les boisseaux.

Scénario comprenant :

- Mise en œuvre de 2 PAC air/eau d'une puissance totale de 185 kW,
- Mise en œuvre d'un accumulateur de 2'800 litres pour le chauffage, y.c. résistance électrique de 20 kW,
- Mise en œuvre de deux chauffe-eaux sanitaires (3'500 litres au total),
- Distribution hydraulique primaire (y.c. création d'une liaison hydraulique PAC <-> chaufferie en eau claire, y.c. câbles chauffants),
- Réfection et adaptation de la distribution principale (y.c. calorifugeage),
- Réfection de la régulation,
- Démontage et évacuation de l'existant,
- Travaux de montage,
- Livraison à la grue en toiture et échafaudages,
- Châssis pour répartir la charge des PAC en toiture (60'000 CHF, prix à affiner),
- Caissons acoustiques pour les PAC (80'000 CHF, prix à affiner),
- Travaux de maçonnerie :
 - carottages,
 - ouvertures de la conduite de cheminée à chaque étage et démolition des boisseaux,
- Travaux de sanitaire,
- Travaux d'électricité :
 - Renforcement de l'alimentation électrique (alimentation de 500A au total),
 - Réfection de la distribution électrique depuis la limite de propriété avec le domaine public (y.c. création d'une tranchée - 250 ml),
 - Réfection du TGBT,
 - Raccordement électrique des installations
- Travaux de peinture.



Les coûts d'investissements sont regroupés par CFC et présentés dans le tableau ci-dessous :

| CFC | Libellé | Prix par CFC [CHF] |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 242 | Production de chaleur | 470 000 |
| 243 | Distribution de chaleur | 20 000 |
| 230 | Electricité | 210 000 |
| 237 | MCR | 30 000 |
| 250 | Sanitaire | 20 000 |
| 211 | Maçonnerie | 40 000 |
| 244 | Etanchéité | 60 000 |
| 271 | Plâtrerie Peinture | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 90 000 |
| TOTAL net HT ± 25 % | | 950'000 |

Tableau 12: Tableau des investissements par CFC – scénario 3 - Besoin de puissance 370 kW

Subventions disponibles « Programme Bâtiments » en 2024 : CHF 75'000.- HT (M-05) – « pompe à chaleur air-eau », non compris dans le budget d'investissement énoncé ci-dessus.

Eléments conservés :

- Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

- Honoraires d'ingénieurs / d'architectes,
- Diagnostic amiante et éventuels travaux de retrait de l'amiante,
- Etude acoustique pour les PAC,
- Contrôle statique par un ingénieur civil,
- Sécurité et maintenance (ligne de vie, garde-corps, etc),
- Réfection de la nourrice et/ou des installations sanitaires.

Remarques importantes :

- Un contrôle statique devra être réalisé par un ingénieur civil pour vérifier la faisabilité de l'emplacement proposé. Des châssis pour la reprise des charges des PAC seront probablement nécessaires. En première approche, nous avons considéré un budget de **60'000 CHF** pour la mise en œuvre de châssis. Ce coût sera à affiner au stade du projet.
- Les PAC de grande puissance sont bruyantes (puissance acoustique de 89 dB(A) pour les PAC proposées – Purple HP 30.2). Des protections contre le bruit seront donc nécessaires pour que l'installation respecte les exigences de protection contre le bruit. En première



approche, un montant estimatif de **80'000 CHF** a été considéré pour la mise en œuvre de caissons acoustiques sur les PAC. Le coût de ces protections sera à vérifier au stade du projet.

- Actuellement, l'introduction électrique du bâtiment est en 250 A (logements, communs et chaufferie), il est nécessaire de renforcer l'introduction à 500A (dont 250 A pour les besoins des PAC et de la résistance électrique de l'accumulateur PAC). Des travaux d'adaptation du réseau électrique devront être mis en œuvre (notamment : mise en œuvre d'un nouveau câble électrique entre le coffret SIG et le TGBT, y compris création d'une tranchée, et réfection du TGBT). Un montant d'environ **180'000 CHF** a été considéré à ce stade pour ces modifications. Le coût de ces travaux sera à vérifier au stade du projet.
- Une résistance électrique de l'ordre de 10% du besoin de puissance (20kW) est prévue dans l'accumulateur de la PAC. En première approche, un montant d'environ 10'000 CHF a été considéré pour sa mise en œuvre, son raccordement électrique et son raccordement au tableau MCR. Ce coût sera à affiner au stade du projet. Le coût pour le renforcement électrique du bâtiment est déjà pris en compte pour l'alimentation des PAC. La résistance électrique de 20kW n'augmente pas le renforcement électrique.

5.5 Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance

Le tableau ci-dessous résume les différents scénarios d'investissement proposés pour l'assainissement de la production de chaleur en fonction de la méthode de calcul utilisée pour définir le besoin de puissance du site.

| Scénario | Méthode de calcul du besoin de puissance | Besoin de puissance | Ecart du besoin de puissance | Prix total | Ecart des coûts |
|----------|--|---------------------|------------------------------|------------|-----------------|
| | | [kW] | [%] | [CHF ±25%] | [%] |
| 1 | selon consommations | 320 | 0 % | 1'150'000 | 0 % |
| 2 | selon mesures vanne Belimo sans optimisation | 210 | -35 % | 1'050'000 | -9% |
| 3 | selon mesures vanne Belimo avec optimisation | 185 | -45% | 950'000 | -17% |

Tableau 13: Tableau récapitulatif des scénarios d'investissements pour le remplacement de la production de chaleur

La diminution du besoin de puissance a un léger impact sur la diminution des coûts pour le remplacement de la production de chaleur par une solution 100% PAC air/eau.

Cette légère diminution des coûts s'explique pour les raisons suivantes :

- La réduction du besoin de puissance ne permet pas de diminuer le nombre de PAC à installer, mais permet seulement d'installer des PAC légèrement moins puissantes (faibles variations du prix d'achat pour les PAC de grandes puissances).
- Les coûts de mise en œuvre des conduites hydrauliques sont similaires car les mètres sont identiques et les diamètres sont similaires (réduction d'un à deux diamètres seulement).
- Les mesures de protection contre le bruit sont identiques car les niveaux de puissance sonore sont les mêmes pour les deux modèles de PAC proposés,
- Les coûts d'électricité sont diminués, mais il est nécessaire de renforcer l'introduction électrique pour les deux scénarios.



6. Synthèse et conclusion

6.1 Synthèse

La présente étude a permis de mettre en place des vannes intelligentes Belimo (Energy Valves) sur les secteurs de chauffe de l'immeuble sis Route de Mon-Idee 51-53 à Thônex et d'analyser leur fonctionnement. En outre, ce projet a permis de récolter et d'analyser les données mesurées par les vannes afin de définir le besoin de puissance du bâtiment au plus juste en vue d'un remplacement de la production de chaleur.

Une présentation du site et un état des lieux sommaire des installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) sont donnés au chapitre 2. Le fonctionnement de l'Energy Valve Belimo, la méthodologie du suivi énergétique et les résultats sont présentés au chapitre 3.

Le chapitre 4 présente quant à lui les calculs du besoin de puissance selon trois méthodes : à partir des consommations de chaleur, à partir des données mesurées par l'Energy Valve sans optimisation (vanne Belimo en mode contrôle de débit pour la 1^{ère} phase de mesures) et avec optimisation (vanne Belimo en mode contrôle de débit pour la 2^{ème} phase de mesures).

La présente étude propose au chapitre 5 trois scénarios de remplacement de la production de chaleur avec un dimensionnement des installations basé sur les différents calculs du besoin de puissance. Chaque scénario propose une solution d'assainissement 100% renouvelable (PAC air/eau), visant à la remise à niveau et à l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations de chauffage et d'ECS du site. Les solutions d'assainissement ont été évaluées techniquement et financièrement. Un résumé des investissements est proposé au chapitre 5.5.

6.2 Conclusion

Au vu de l'analyse présentée dans cette étude, nous observons que la mise en place d'une Energy Valve Belimo sur le secteur de chauffe permet d'obtenir des données de mesures précises, permettant d'affiner le calcul du besoin de puissance pour le chauffage.

Sans optimisation de la vanne, le besoin de puissance calculé à partir des données mesurées est plus faible que celui calculé à partir des consommations du bâtiment (sans mesures). Pour ce site, la diminution du besoin de puissance est d'environ 35 %. Cette diminution du besoin de puissance a un léger impact sur les coûts d'investissement dans le cas d'un remplacement de la production de chaleur par une solution 100% PAC air/eau (-10%).

L'activation de l'optimisation de la vanne par contrôle de débit semble diminuer le besoin de puissance du bâtiment. Toutefois, l'échantillon de données n'est pas suffisant pour cette dernière phase de mesures, car le nombre de données pour des températures extérieures négatives est trop faible. De fait, nous pouvons simplement conclure sur une tendance à la baisse du besoin de puissance et des coûts d'investissement liés au remplacement de la production de chaleur.

En outre, en cas de volonté de remplacement de la production de chaleur, ENERGYS recommande d'étendre la période de mesure sur une saison de chauffe supplémentaire, afin de définir un besoin de puissance plus juste.

ENERGYS ; ORE ; Grand-Lancy, le 13 juin 2024



Annexe 1. Schémas de principe hydrauliques

- Schéma de principe hydraulique existant,
- Schéma de principe hydraulique après travaux de mise en œuvre de la vanne Belimo.

Voir pages suivantes



CHAUFFERIE ROUTE DE MON-IDEE 51

Nomenclature des appareils

Circulateurs :

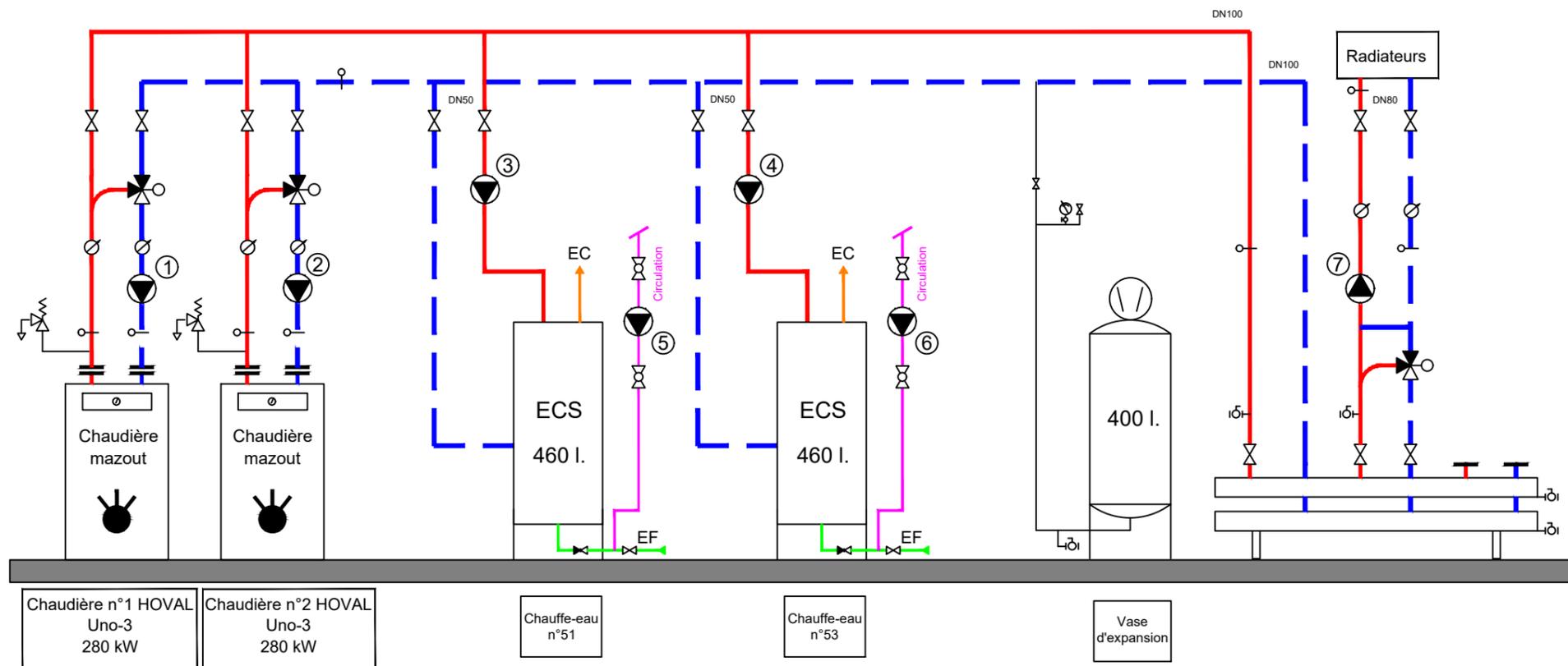
- 1 : BIRAL Redline LX 503
- 2 : BIRAL Redline LX 503
- 3 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 4 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N150
- 6 : GRUNDFOS Alpha1 20-45 N 150
- 7 : BIRAL A652 V2

Vase d'expansion :

PNEUMATEX Compresso CU 400.6

Chauffe-eaux :

HOVAL Modul-plus F 41



CHAUFFERIE ROUTE DE MON-IDEE 51

Nomenclature des appareils

Circulateurs :

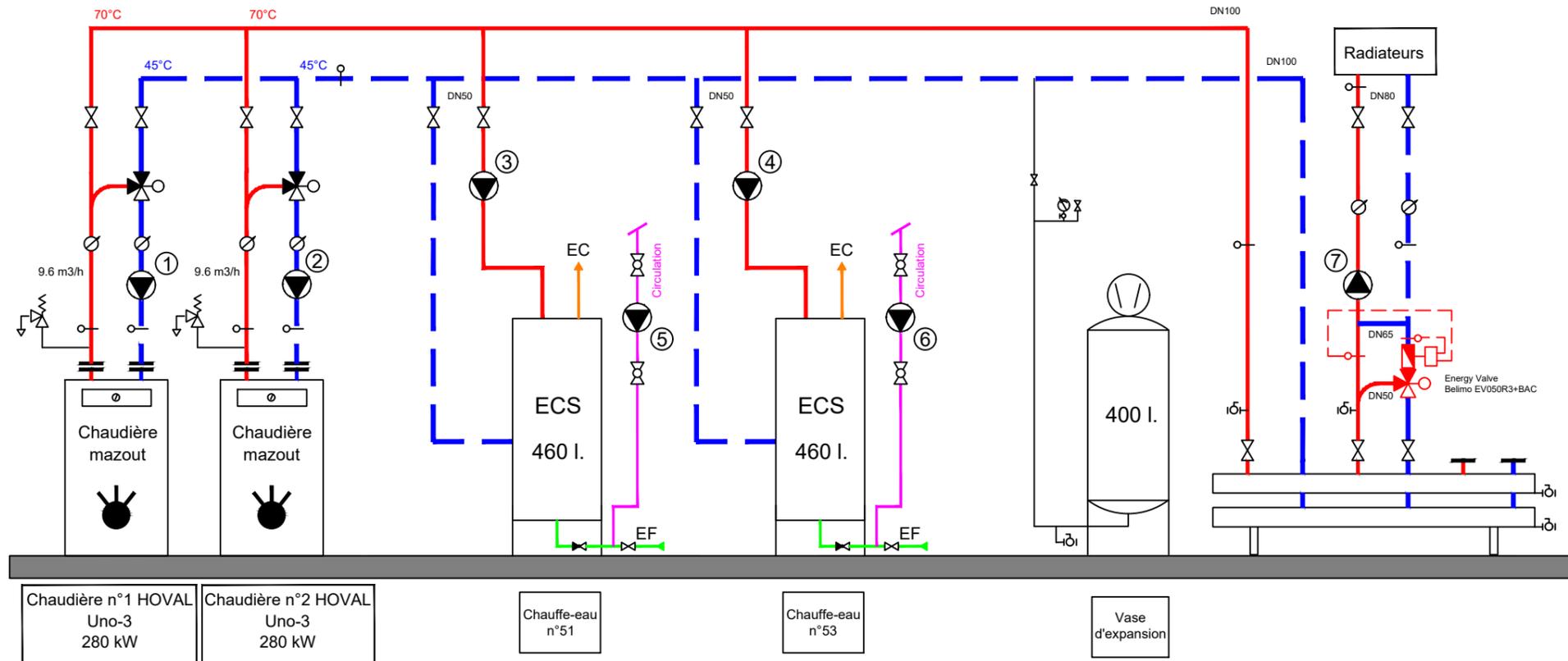
- 1 : BIRAL Redline LX 503
- 2 : BIRAL Redline LX 503
- 3 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 4 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N150
- 6 : GRUNDFOS Alpha1 20-45 N 150
- 7 : BIRAL A652 V2

Vase d'expansion :

PNEUMATEX Compresso CU 400.6

Chauffe-eaux :

HOVAL Modul-plus F 41



Remarques :

Données considérées pour sélection de la vanne 3 voies :
Puissance : 330 kW
Température : 70-45°C
Débit : 11 m³/h

Ancienne vanne 3 voies : SIEMENS, DN 65, Kvs : 49 m³/h
Nouvelle vanne 3 voies : Energy valve BELIMO, DN 50, Kvs : 25 m³/h

Annexe 2. Paramètres de régulation

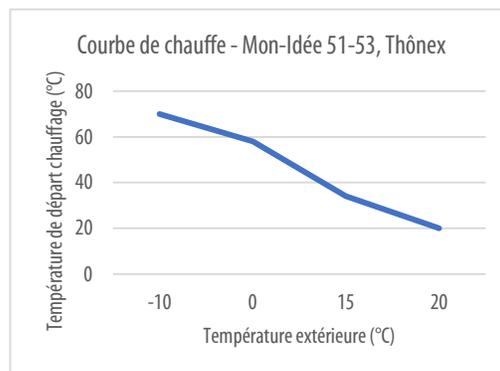
Les paramètres de régulation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont présentés ci-dessous.

Knob Overview

| Item | Label | Value | Units |
|------------|-------------------------------|--------|-------|
| K1 | ECO JOUR | 19.00 | DegC |
| K2 | ECO NUIT | 14.00 | DegC |
| K5 | DEPART 3 SECT CHAUFFAGE | 34.00 | DegC |
| K6 | CONSIGNE NUIT | 17.00 | DegC |
| K7 | CONSIGNE JOUR | 20.00 | DegC |
| K8 | DEPART 2 SECT CHAUFFAGE | 58.00 | DegC |
| K9 | DEPART 1 SECT CHAUFFAGE | 70.00 | DegC |
| K10 | DEPART 4 SECT CHAUFFAGE | 20.00 | DegC |
| K11 | TEMP EXT 1 SECT CHAUFFAGE | -10.00 | DegC |
| K12 | TEMP EXT 2 SECT CHAUFFAGE | 0.00 | DegC |
| K13 | TEMP EXT 3 SECT CHAUFFAGE | 15.00 | DegC |
| K14 | TEMP EXT 4 SECT CHAUFFAGE | 20.00 | DegC |
| K15 | CONSIGNE MAXI DEP CHAUFFAGE | 75.00 | DegC |
| K16 | CONSIGNE MINI DEP CHAUFFAGE | 20.00 | DegC |
| K17 | HYSTERESE ECS | 3.00 | DegC |
| K22 | CONSIGNE ECS JOUR | 50.00 | DegC |
| K23 | CONSIGNE ECS NUIT | 45.00 | DegC |
| K25 | TEMPS PERMUT CHAUDIERE | 100.00 | h |
| K26 | PRIORITE CHAUDIERES 0=AUTO | 0.00 | |
| K27 | DECAL SECTEUR-PRIMAIRE | 13.00 | DegC |

Les points de la courbe de chauffe sont les suivants :

| Température extérieure | Température départ |
|------------------------|--------------------|
| -10° | 70° |
| 0 | 58° |
| 15 | 34 |
| 20 | 20 |



Annexe 3. Courbes de mesures du taux de charge

La superposition des courbes de mesures du taux de charge avant/après optimisation par l'Energy Valve Belimo sont présentés ci-dessous.

Confort (jour)

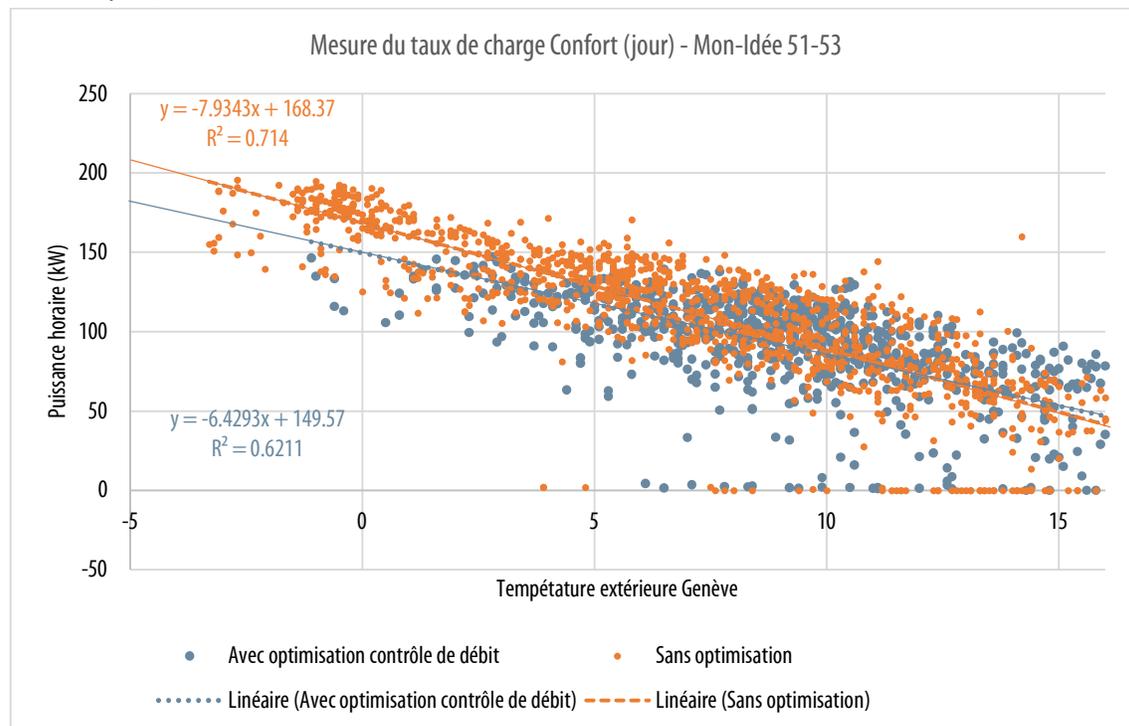


Figure 10: Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation du 19.02.2024 au 24.04.2024



Réduit (nuit)

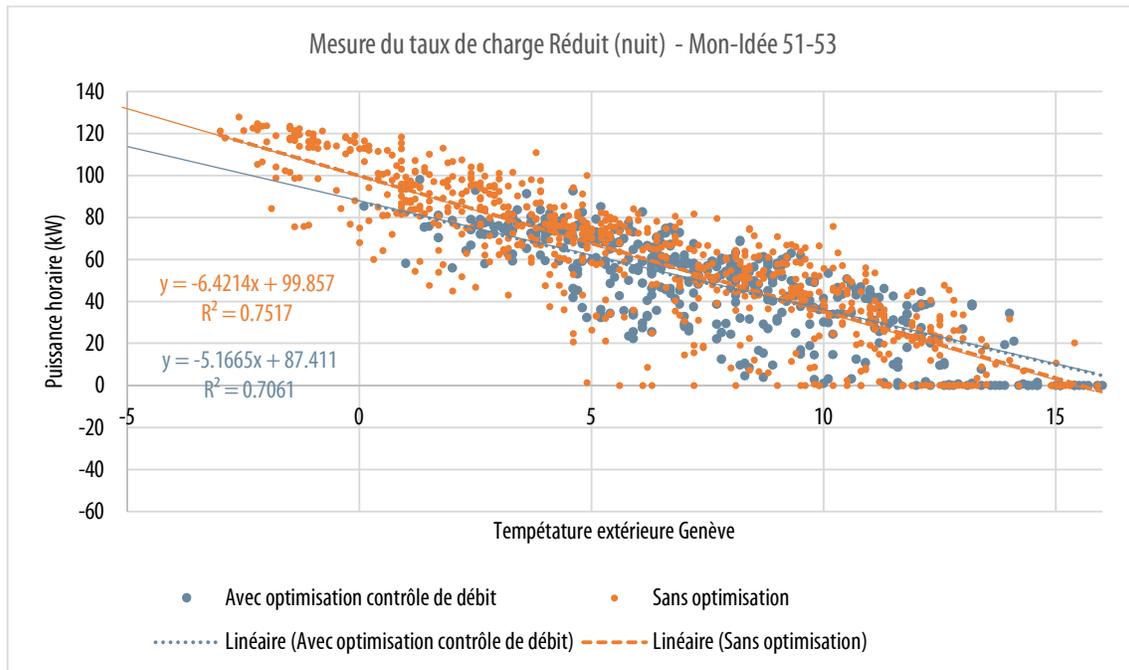


Figure 11 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation (du 19.02.2024 au 24.04.2024)

Relance matinale

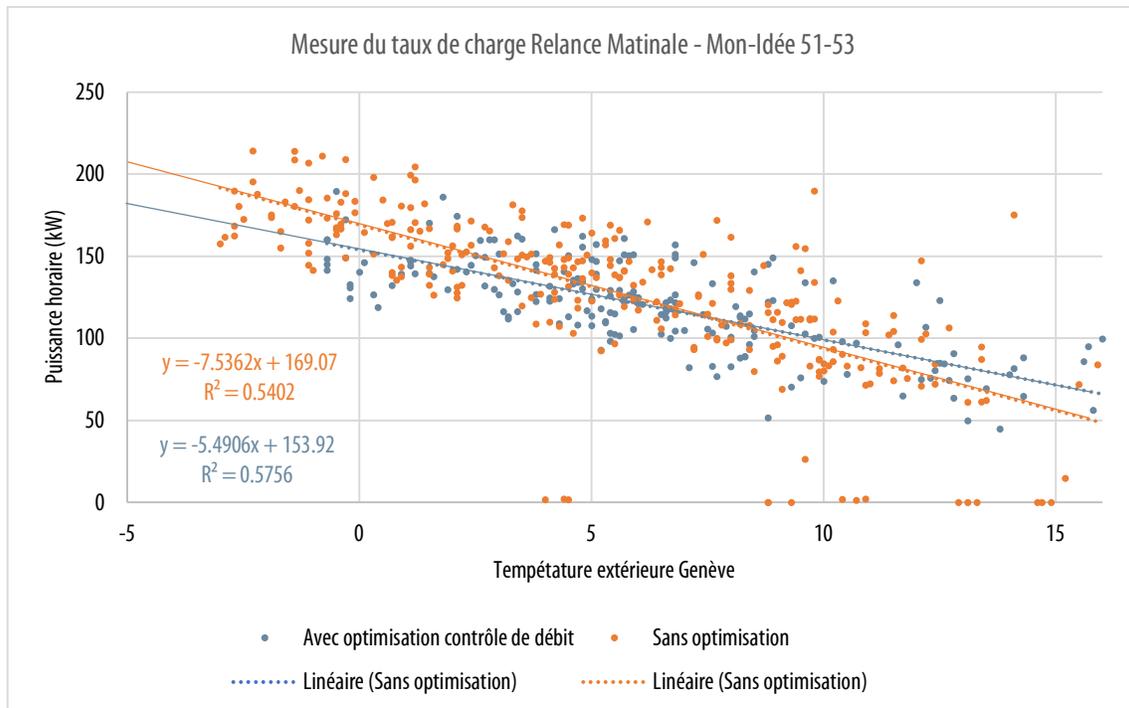


Figure 12 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation (du 19.02.2024 au 24.04.2024)





energys

ingénierie du bâtiment

Rue Dancet 12-20 CH – 1205 Genève

Projet Innovation SuisseEnergie / Belimo

Le 12 juin 2024, version 01



Table des matières

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | INTRODUCTION | 3 |
| 1.1 | Cadre du mandat | 3 |
| 1.2 | Objectifs de l'étude | 3 |
| 1.3 | Documents et informations de base | 3 |
| 2. | PRÉSENTATION DU SITE | 4 |
| 2.1 | Situation du bâtiment | 4 |
| 2.2 | Consommation de gaz pour la production de chaleur & ECS | 5 |
| 2.3 | Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS | 5 |
| 3. | INSTALLATION D'UNE VANNE INTELLIGENTE BELIMO ET SUIVI ÉNERGÉTIQUE | 8 |
| 3.1 | Installation d'une vanne Belimo Energy Valve | 8 |
| 3.2 | Méthodologie et conditions du suivi énergétique | 9 |
| 3.3 | Résultats du suivi énergétique | 12 |
| 4. | CALCULS DES BESOINS DE PUISSANCE | 13 |
| 4.1 | Généralités | 13 |
| 4.2 | Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment | 13 |
| 4.3 | Besoin de puissance selon mesures 1 ^{ère} phase (sans optimisation) | 13 |
| 4.4 | Besoin de puissance selon mesures 2 ^{ème} phase (avec optimisation) | 14 |
| 4.5 | Synthèse des besoins de puissances calculés | 14 |
| 5. | ETUDE DU REMPLACEMENT DE LA PRODUCTION DE CHALEUR | 15 |
| 5.1 | Généralités | 15 |
| 5.2 | Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon les consommations | 15 |
| 5.3 | Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures sans optimisation | 18 |
| 5.4 | Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance | 20 |
| 6. | SYNTHÈSE ET CONCLUSION | 21 |
| 6.1 | Synthèse | 21 |
| 6.2 | Conclusion | 21 |
| | Annexe 1. Schémas de principe hydrauliques | |
| | Annexe 2. Paramètres de régulation | |
| | Annexe 3. Courbes de mesures du taux de charge | |



1. Introduction

1.1 Cadre du mandat

Les Services Industriels de Genève (SIG) réalisent en partenariat avec SuisseEnergie un projet Innovation afin de définir au plus juste le besoin de puissance de deux sites sur le canton de Genève, dans le but d'un remplacement de la production de chaleur par une solution monovalente PAC air/eau adaptée.

Pour ce faire, des vannes intelligentes (Energy Valves) de marque Belimo ont été mises en œuvre sur les installations de chauffage de deux bâtiments à Genève afin de mesurer précisément la puissance des secteurs de chauffe. Dans un second temps des mesures d'optimisation énergétique ont été réalisées via les Energy Valves afin d'analyser et quantifier l'impact de ces mesures sur le besoin de puissance des sites.

Dans ce cadre, les SIG, par l'intermédiaire de Madame Fraga, ont sollicité le bureau ENERGYS Sàrl afin de mettre en place un suivi énergétique avec les Energy Valves Belimo sur les deux sites, avec et sans mesures d'optimisation ainsi que de traiter et d'analyser les données récoltées sur ces installations.

Ce rapport traite de l'un des deux sites. Il s'agit d'un immeuble d'habitation sis Rue Dancet 12 à 20 à Genève.

La démarche, l'état initial et les principaux résultats de cette étude font l'objet du présent document.

1.2 Objectifs de l'étude

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- Etat des lieux sommaire des installations de chauffage,
- Mise en place, en coordination avec le chauffagiste et la société Belimo, des vannes intelligentes Energy Valves sur les secteurs de distribution de chaleur,
- Réalisation d'une campagne de mesures des données énergétiques des vannes Belimo sur une saison de chauffe (avec et sans l'activation des paramètres d'optimisation des vannes),
- Identification des éventuels problèmes rencontrés,
- Synthèse et analyse des résultats avant et après optimisation,
- Proposition et chiffrage de différents scénarios d'assainissement de la production de chaleur selon les consommations du site et les données mesurées par les vannes.

1.3 Documents et informations de base

Les documents et informations suivants ont servi de base à l'étude de ce bâtiment :

| Titre | Date | Provenance | Remarque/Annexe |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Plans des bâtiments | 1987 | Comptoir Immobilier SA | Format PDF |
| Données de consommation (gaz) | 2020-2023 | SITG | - |
| Données énergétiques des vannes | 16.10.23 – 24.04.24 | Cloud Belimo | Format CSV |

Tableau 1 : Informations utiles à l'étude

Le tableau ci-dessous donne la liste des acteurs impliqués dans la gestion du bâtiment (liste non exhaustive).



| Personne | Entreprise | Titre/responsabilité | Téléphone |
|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| M. Steven Hutin | Comptoir Immobilier SA | Régie immobilière | 022 319 89 31 |
| M. Dorian Lavorel | Muller Energies SA | Maintenance chauffage | 022 722 19 10 |

Tableau 2 : Acteurs impliqués dans la gestion énergétique du bâtiment

2. Présentation du site

2.1 Situation du bâtiment

Le site étudié se situe Rue Dancet 12 à 20, il occupe les parcelles 2358, 2359, 2360, 2361 et 2362 de la commune de Genève-Plainpalais, à une altitude de 380 mètres.

La figure ci-dessous présente le bâtiment étudié :

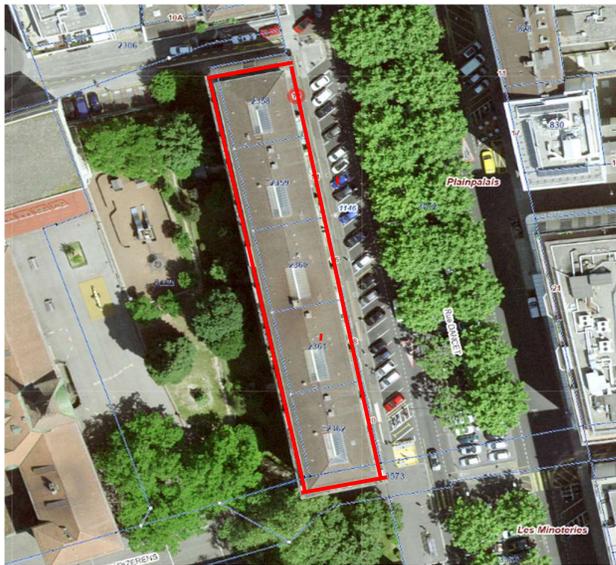


Figure 1 : ortophoto du site avec indication de l'emplacement du bâtiment

Il s'agit d'un bâtiment de logements répartis sur 8 étages avec des commerces au RDC. Ce bâtiment a été construit dans les années 1950/1960.

Le bâtiment ne se situe pas dans une zone protégée. Il ne bénéficie d'aucune protection patrimoniale.

La surface de référence énergétique (SRE) totale de l'immeuble est de **9'819 m²**.



2.2 Consommation de gaz pour la production de chaleur & ECS

Les données de consommation pour la production de chaleur ont été obtenues depuis le système d'information du territoire genevois (SITG – donnée énergie).

| Années | Consommation de gaz | Indice de dépense de chaleur (IDC) |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
| | [kWh] | [MJ/m ² .an] |
| 2020 | 1 377 539 | 590 |
| 2021 | 1 456 300 | 591 |
| 2022 | 1 329 757 | 495 |
| 2023 | 1 021 757 | 412 |
| Moyenne 2020-2023 | 1 296 338 | 522 |

Tableau 3 : Consommation de gaz du site et Indice de Dépense de chaleur (IDC)

La consommation annuelle de gaz pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) du site est de 1'297'000 kWh.

Au vu des IDC, l'optimisation énergétique réalisée par l'exploitant Muller Energies semble avoir été mise en place entre 2021 et 2022.

2.3 Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS

Production de chaleur

La chaufferie est située au sous-sol du bâtiment n°18.

La production de chaleur du site est assurée par deux chaudières au gaz de 400 kW chacune. Ces chaudières datent de 2002.



Figure 2 : Chaudières au gaz – 2x 400 kW

Distribution de chaleur

La distribution de chaleur principale, située en chaufferie, est présentée sur la figure ci-dessous.



Figure 3 : Collecteur de chaleur en chaufferie – Secteur Ouest à gauche, secteur Est à droite

Elle est composée de deux groupes de distribution :

- Secteur radiateurs EST,
- Secteur radiateurs OUEST.

Ces secteurs de distribution sont en mélange trois voies.

Le schéma de principe des installations existantes est donné en **annexe 1**.

Emission de chaleur

L'émission de chaleur est faite par des radiateurs.

Production et distribution d'eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est produite par un chauffe-eau sanitaire, installé en chaufferie. Il est alimenté par les chaudières et possède un échangeur externe.



Figure 4 : Chauffe-eau avec échangeur externe alimenté par les chaudières

Le schéma de principe des installations existantes est donné en **annexe 1**.

Mesures, commandes et régulation (MCR) chauffage

Tableau MCR

Les installations de chauffage et d'ECS sont pilotées par un tableau MCR installé en chaufferie. Ce tableau est équipé d'un automate de marque Saia et d'un écran tactile.



Figure 5: Tableau MCR en chaufferie

La courbe de chauffe des secteurs est donnée en **annexe 2**.

Système d'optimisation Muller Energies

Un système d'optimisation énergétique nommé Système GE (Gestion Energies) a été mis en œuvre par l'exploitant Muller Energie en 2021.

Ce système permet de corriger la courbe de chauffe en fonction de plusieurs paramètres :

- Les températures intérieures des locaux ¹,
- Un facteur d'ensoleillement par anticipation.

Le facteur d'ensoleillement par anticipation est appliqué à partir de mi-février jusqu'à l'arrêt du chauffage. Les données mesurées à partir de mi-février ont été faussées par ce facteur d'ensoleillement et sont donc peu exploitables (cf. voir chapitre 3.2).

¹ Abaissement de la température de départ des secteurs de chauffage si la moyenne des sondes de températures ambiantes atteint la valeur de consigne.



3. Installation d'une vanne intelligente Belimo et suivi énergétique

3.1 Installation d'une vanne Belimo Energy Valve

Dans le cadre du mandat, deux vannes 3 voies intelligentes de type Energy Valve de marque Belimo ont été mises en œuvre sur les deux groupes en mélange Est et Ouest en remplacement des vannes 3 voies existantes.

Généralités

La vanne Energy Valve de Belimo se compose d'une vanne de régulation avec un capteur de débit et deux sondes de températures intégrés. Cet appareil permet une mesure de l'énergie et une régulation de l'ouverture de la vanne en fonction de différents paramètres.

Modes de fonctionnement

L'Energy Valve Belimo est pilotée par un signal de contrôle 0-10V transmis par le tableau MCR existant.

La vanne peut fonctionner selon différents modes, résumés dans le tableau ci-dessous :

| Mode de fonctionnement | Description |
|------------------------|--|
| Contrôle de position | Signal 0-10 V directement converti en pourcentage d'ouverture de vanne |
| Contrôle de débit | Signal 0-10 V converti en pourcentage du débit maximum de consigne |
| Contrôle de puissance | Signal 0-10 V converti en pourcentage de la puissance maximale de consigne |

Tableau 4 : mode de fonctionnement de l'Energy Valve Belimo

Le contrôle de position correspond à un fonctionnement classique d'une vanne motorisée. C'est le mode qui a été choisi pour la 1^{ère} phase de mesures sans optimisation (cf. chapitre 3.2).

En contrôle de débit, l'ouverture de la vanne s'ajuste de manière à respecter un certain débit (paramètre direct).

A contrario, en contrôle de puissance, la vanne contrôle son débit afin d'avoir la puissance souhaitée selon le ΔT mesuré. Cette méthode dépend de plusieurs paramètres et est donc peu précise dans les cas où la demande de chauffage est faible et lorsqu'il y a des faibles ΔT .

C'est pourquoi le contrôle de débit a été choisi pour la phase d'optimisation (cf. chapitre 3.2).

En complément de ces 3 modes, une fonction de ΔT manager peut être activée. Cette option permet de maintenir dans la mesure du possible un ΔT proche d'une valeur de consigne (ΔT Set Point). Cette fonction n'a pas été activée durant la période de mesures présentée ci-après.



Mise en œuvre de la vanne Belimo Energy Valve

Les travaux de mise en œuvre des Energy Valves Belimo ont été réalisés début octobre 2023.



Figure 6 : Installation des vannes 3 voies Belimo Energy Valves - Secteur Ouest à gauche, secteur Est à droite

Le schéma de principe des installations après travaux est donné en **annexe 1**.

3.2 Méthodologie et conditions du suivi énergétique

Appareils de mesure

Le tableau suivant donne la liste des paramètres mesurés et des appareils de mesures utilisés :

| Paramètres | Unité | Appareil de mesure | Pas de temps | Remarque |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------|---|
| Températures départ/retour primaire | °C | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Débit primaire | m ³ /h | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Puissance instantanée primaire | kW | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure |
| Energie chaud primaire | kWh | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS |
| Ouverture de la vanne | % | Belimo Energy Valve | 30 secondes | Fichier CVS |
| Température extérieure | °C | Données météo Suisse | 1 heure | Station météo Genève-Cointrin |

Tableau 5 : Paramètres mesurés et appareils de mesure utilisés



Périodes de mesures

Les mesures ont été réalisées sur deux périodes distinctes :

- 1^{ère} période de mesures : sans optimisation de la vanne (contrôle de position) : du 16 octobre 2023 au 11 janvier 2024,
- 2^{ème} période de mesures : avec optimisation de la vanne (régulation par contrôle de débit ²) : du 19 février au 24 avril 2024.

Déroulement des mesures et méthodes de calculs

Etablissement de diagrammes de mesure du taux de charge

Les vannes Belimo Energy Valves mesurent les puissances instantanées traversant les vannes avec un pas de temps de 30 secondes. A partir de ces valeurs, des puissances horaires ont été calculées par secteur de chauffe.

En parallèle, les températures extérieures horaires la station météo de Genève-Cointrin ont été extraites. Les couples de valeurs « puissance » et « température extérieure » sont ensuite reportés sur un diagramme.

Pour permettre une meilleure analyse des données, trois différents diagrammes ont été tracés en fonction des différents régimes de fonctionnement des chaudières, soit :

- mode confort (jour), pour les puissances horaires mesurées entre 8 heures et 19 heures,
- mode relance matinale, pour les puissances horaires mesurées entre 6 heures et 7 heures,
- mode réduit (nuit), pour les puissances horaires mesurées entre 21 heures et 3 heures.

Les diagrammes de mesure du taux de charge en mode confort (jour) sont présentés au chapitre 3.3. Les diagrammes des modes relance matinale et réduit (nuit) sont présentés en annexe 3.

Calcul du besoin de puissance

Une courbe de tendance est tracée sur les diagrammes de mesure du taux de charge afin d'extrapoler les besoins de puissance pour une température de -5°C (température de dimensionnement à Genève selon SIA 381/2).

A noter que dans le cas du remplacement de la production de chaleur, le besoin de puissance considéré pour le dimensionnement des installations est calculé à partir des mesures en mode confort (jour) afin de ne pas tenir compte des relances matinales et des réductions nocturnes.

Les besoins de puissances calculés pour chaque période sont présentés au chapitre 4.

² Le débit maximum de consigne a été calculé à partir des diagrammes de mesure des débits horaires issus de la première phase de mesures, sans optimisation, pour une température extérieure de -5°C.



Problèmes rencontrés sur la deuxième période de mesures (phase d'optimisation)

Panel de données insuffisantes

La deuxième période de mesures (phase d'optimisation) a été réalisée sur la fin de la saison de chauffe 2023-2024. Les températures extérieures ont été clémentes lors de cette période. De ce fait, l'échantillon de données n'est pas suffisant car il y a très peu de données pour des températures inférieures à 2°C.

Nous conseillons donc de poursuivre le suivi énergétique sur une saison de chauffe supplémentaire, afin de valider les résultats présentés au chapitre 3.3.

Influence de l'ensoleillement et de la température intérieure des locaux

La deuxième période de mesure s'est étendue sur des jours ensoleillés avec une hausse des températures extérieures. Comme expliqué au chapitre 2.3, le système d'optimisation énergétique de Muller Energies tient compte des températures intérieures des locaux ainsi que d'un facteur d'ensoleillement par anticipation (appliqué à partir de mi-février jusqu'à l'arrêt du chauffage). De ce fait, les résultats ont été faussés pour cette période avec de nombreuses mesures de la puissance 30 secondes égale à 0 kW. Les points de mesures sont ainsi trop épars sur les diagrammes du taux de charge (R^2 trop faibles). Le besoin de puissance pour cette période de mesure ne peut donc être défini.



3.3 Résultats du suivi énergétique

Première phase de mesure : sans optimisation

Le diagramme du taux de charge pour la première phase de mesure (sans optimisation de la vanne) pour le mode confort est présenté ci-dessous.

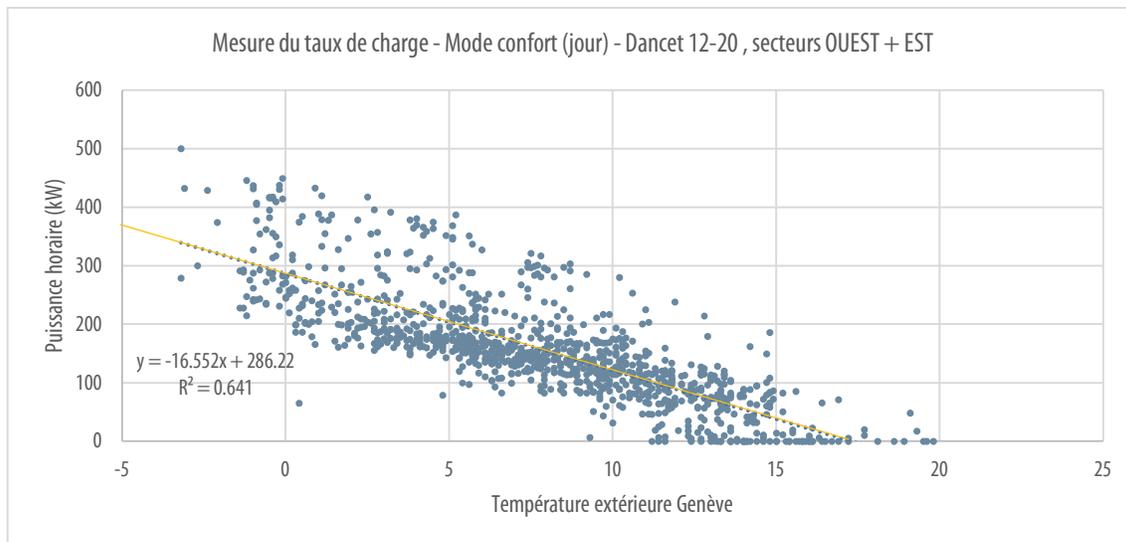


Figure 7 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation – période du 16.10.23 au 11.01.24

Deuxième phase de mesure : avec optimisation de la vanne par contrôle de débit

Le diagramme du taux de charge pour la deuxième phase de mesure (optimisation par la vanne Belimo avec le mode contrôle de débit) pour le mode confort est présenté ci-dessous.

A noter que ce diagramme est donné à titre indicatif, car les données ne sont pas exploitables (R^2 trop faibles). Le besoin de puissance pour cette période de mesure ne peut donc être défini.

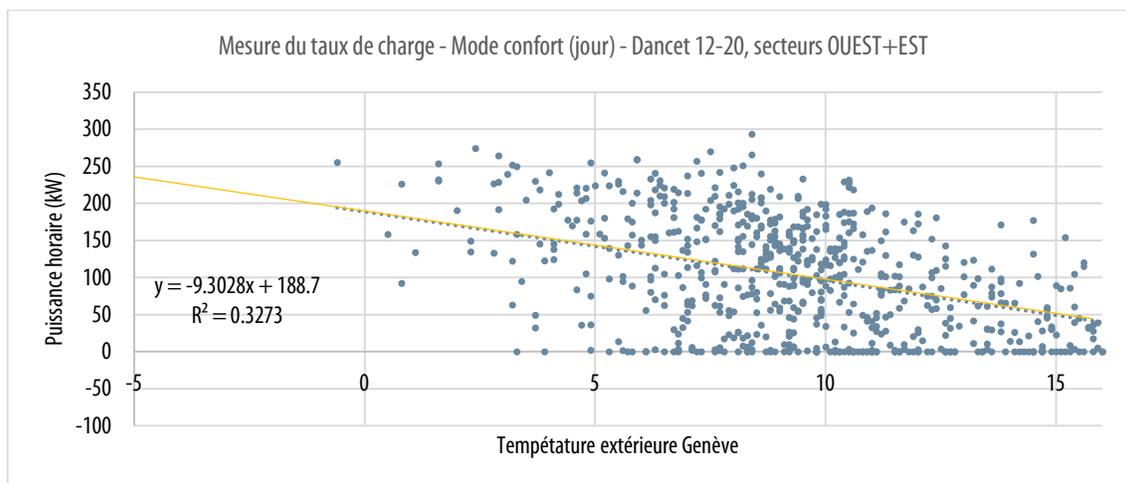


Figure 8 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024



4. Calculs des besoins de puissance

4.1 Généralités

Trois méthodes de calcul du besoin de puissances sont présentées dans ce chapitre :

- Calcul sur la base des relevés de consommations du bâtiment,
- Calcul issu des données mesurées lors de la 1^{ère} phase (sans optimisation des vannes Belimo).
- Calcul issu des données mesurées lors de la 2^{ème} phase (avec optimisation des vannes Belimo).

Les différents besoins de puissances issus de ces méthodes de calcul sont donnés ci-dessous.

4.2 Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment

Le besoin de puissance pour le chauffage et l'ECS a été estimé pour les années 2022-2023 (après optimisation énergétique du chauffagiste Muller Energies), à l'aide du calcul estimatif présenté dans le tableau ci-dessous :

| | Unité | Dancet 12-20 |
|---|------------------|--------------|
| Consommation de gaz 2022-2023 ³ | kWh/an | 1 176 000 |
| Heures de fonctionnement plateau suisse avec ECS | h | 2 700 |
| Besoin de puissance arrondi | kW | 440 |
| Surface de référence énergétique | m ² | 9 819 |
| Contrôle – immeuble locatif avec isolation traditionnelle- 50 - 70 W/m ² | W/m ² | 45 |

Tableau 6 : Calcul estimatif des besoins de puissance en chauffage du site à partir des données de consommations – avec optimisation Muller

Le besoin de puissance pour le site calculé selon les relevés de consommation est donc de **440 kW**.

Remarque : L'optimisation énergétique du Système GE de Muller Energies a permis de réduire d'environ 15% le besoin de puissance calculé pour les années 2020-2021⁴.

4.3 Besoin de puissance selon mesures 1^{ère} phase (sans optimisation)

En regard des diagrammes présentés au chapitre 3.3, le besoin de puissance du bâtiment pour la première phase de mesure (sans optimisation) est donné dans le tableau ci-dessous.

| | Unité | Dancet 12-20 (secteurs Est + Ouest) Mode CONFORT |
|---|------------------|---|
| Besoin de puissance à Text -5°C | kW | 369 |
| Surface de référence énergétique | m ² | 9 819 |
| Contrôle – immeuble locatif avec isolation traditionnelle- 50 - 70 W/m ² | W/m ² | 38 |

Tableau 7 : Calcul estimatif des besoins de puissance en chauffage du site à partir de la mesure du taux de charge – sans optimisation vanne

³ Le rendement des chaudières a été négligé pour avoir une puissance surfacique cohérente avec la qualité de l'enveloppe thermique du bâtiment.

⁴ Besoin de puissance calculé pour les années 2020-2021 = 525 kW (en considérant une consommation moyenne de 1'417'000 kWh/an et 2'700 heures de fonctionnement par an).



Le besoin de puissance pour le site calculé selon le diagramme du taux de charge sans optimisation de la vanne Belimo est donc de **370 kW**.

4.4 Besoin de puissance selon mesures 2^{ème} phase (avec optimisation)

Comme mentionné aux chapitres 3.2 et 3.3, les résultats issus de la deuxième période de mesures (optimisation par les Energy Valve) sont faussés en raison de la régulation existante optimisée du site (prise en compte des températures intérieures des logements et d'un facteur d'ensoleillement par anticipation).

Ces données n'étant pas exploitables, le besoin de puissance retenu pour cette phase est donc celui calculé pour la première phase de mesures (sans optimisation), à savoir 370 kW.

4.5 Synthèse des besoins de puissances calculés

Les besoins de puissances calculés suivant les différentes méthodes sont résumés dans le tableau ci-dessous.

| | Unité | Méthode consommation | Méthode mesures 1 ^{ère} phase | Méthode mesures 2 ^{ème} phase |
|---------------------------------|------------------|----------------------|--|--|
| Besoin de puissance à Text -5°C | kW | 440 | 370 | |
| Puissance surfacique | W/m ² | 45 | 38 | données non exploitables |
| Ecart du besoin de puissance | % | 0 | -15% | |

Tableau 8 : Synthèse des calculs des besoins de puissance du site suivant les différentes méthodes

La mise en place des Energy Valves sur les secteurs de chauffage (sans optimisation des vannes) permet d'affiner le calcul du besoin de puissance et de le réduire d'environ -15%.



5. Etude du remplacement de la production de chaleur

5.1 Généralités

Solution étudiée

Dans ce chapitre est étudié le remplacement de la production de chaleur existante par une solution monovalente PAC air/eau. L'assainissement de la distribution principale de chaleur ainsi que de la production d'eau chaude sanitaire sont également compris dans les propositions de chiffrage ci-dessous. L'assainissement de la distribution secondaire et le remplacement des émetteurs de chaleur ne sont pas considérés dans cette étude.

Dimensionnement de la production de chaleur

Le dimensionnement de la production de chaleur est établi suivant les différents besoins de puissance calculés au chapitre 4, soit :

- A partir des relevés de consommations du bâtiment,
- A partir des données mesurées pour la 1^{ère} phase (sans optimisation de la vanne Belimo).

Deux chiffrages sont donc proposés pour la mise en œuvre d'une solution monovalente PAC air/eau.

5.2 Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon les consommations

Rappel du besoin de puissance considéré

Pour cette variante, le besoin de puissance pour le site est de **440 kW** (avec optimisation par le système GE de Muller Energies), selon le chapitre 4.2.

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du bâtiment sis rue Dancet 12-20 est assurée par trois pompes à chaleur (PAC) air/eau d'une puissance totale de 440 kW, installées au sol à proximité de la chaufferie.

En première approche nous proposons de faire transiter les liaisons hydrauliques entre les PAC et les accumulateurs de chauffage dans une tranchée jusqu'à la chaufferie, selon le plan ci-dessous.



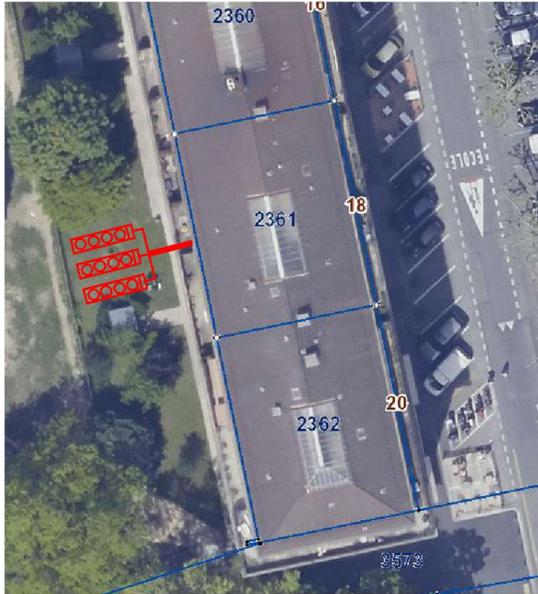


Figure 9 : Proposition d'implantation des PAC – Dancet 12-20

Scénario comprenant :

- Mise en œuvre de 3 PAC air/eau d'une puissance totale de 440 kW,
- Mise en œuvre de deux accumulateurs pour le chauffage (6'600 litres au total),
- Mise en œuvre de deux chauffe-eaux sanitaires (6'000 litres au total),
- Mise en œuvre d'un collecteur en chaufferie,
- Distribution hydraulique primaire (y.c. création d'une liaison hydraulique PAC <-> chaufferie) :
 - Conduits hydrauliques en chaufferie – DN100 et DN150 – 2 x 40 ml (y.c. calorifugeage),
 - Conduites à distance préisolées – DN100 – 2 x 25 ml,
- Réfection et adaptation de la distribution principale (y.c. calorifugeage),
- Réfection de la régulation,
- Démontage et évacuation de l'existant,
- Création d'une tranchée – environ 10 ml,
- Travaux de montage,
- Caissons acoustiques pour les PAC (120'000 CHF, prix à affiner),
- Travaux de maçonnerie (carottages, socle pour les PAC),
- Travaux de sanitaire,
- Travaux d'électricité :
 - Renforcement de l'alimentation électrique (alimentation de 630A au total),
 - Réfection de la distribution électrique depuis l'introduction dans le bâtiment,
 - Réfection du TGBT,
 - Raccordement électrique des installations,
- Travaux de peinture.



Les coûts d'investissements sont regroupés par CFC et présentés dans le tableau ci-dessous :

| CFC | Libellé | Prix par CFC [CHF] |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 242 | Production de chaleur | 850 000 |
| 243 | Distribution de chaleur | 35 000 |
| 230 | Electricité | 200 000 |
| 237 | MCR | 40 000 |
| 250 | Sanitaire | 20 000 |
| 211 | Maçonnerie | 30 000 |
| 271 | Plâtrerie Peinture | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 120 000 |
| TOTAL net HT ± 25 % | | 1'300'000 |

Tableau 9 : Tableau des investissements par CFC – scénario 1 - Besoin de puissance 440 kW

Subventions disponibles « Programme Bâtiments » en 2024 : CHF 200'000.- HT (M-05) – « pompe à chaleur air-eau », non compris dans le budget d'investissement énoncé ci-dessus.

Eléments conservés :

- Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

- Honoraires d'ingénieurs / d'architectes,
- Diagnostic amiante et éventuels travaux de retrait de l'amiante,
- Etude acoustique pour les PAC,
- Réfection de la nourrice et/ou des installations sanitaires,
- Evacuation d'un ancien accumulateur dans le local annexe à la chaufferie, avec calorifugeage probablement amianté.

Remarques importantes :

- Les PAC de grande puissance sont bruyantes (puissance acoustique de 90 dB(A) pour les PAC proposées – Purple HP 50.2). L'emplacement proposé pour les PAC est proche des fenêtres des logements ainsi que de l'école. **La faisabilité acoustique de cette solution est à vérifier par un acousticien.** Des protections contre le bruit seront nécessaires pour que l'installation respecte les exigences de protection contre le bruit. En première approche, un montant estimatif de **120'000 CHF** a été considéré pour la mise en œuvre de caissons acoustiques sur les PAC. Le coût de ces protections sera à vérifier au stade du projet.
- Actuellement, l'introduction électrique du bâtiment est en 100 A (logements, communs et chaufferie), il est nécessaire de renforcer l'introduction à 630A (dont 500A pour les besoins des PAC). Des travaux d'adaptation du réseau électrique devront être mis en œuvre (notamment réfection du TGBT). Un montant d'environ **150'000 CHF** a été considéré à ce stade pour ces modifications. Le coût de ces travaux sera à vérifier au stade du projet.



5.3 Solution PAC air/eau – Besoin de puissance selon mesures sans optimisation

Rappel du besoin de puissance considéré

Pour cette variante, le besoin de puissance pour le site est de **370 kW**, selon le chapitre 4.3.

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du bâtiment sis rue Dancet 12-20 est assurée par trois pompes à chaleur (PAC) air/eau d'une puissance totale de 370 kW, installées au sol à proximité de la chaufferie.

En première approche nous proposons de faire transiter les liaisons hydrauliques entre les PAC et les accumulateurs de chauffage dans une tranchée jusqu'à la chaufferie, selon le plan présenté au chapitre 5.2.

Scénario comprenant :

- Mise en œuvre de 3 PAC air/eau d'une puissance totale de 370 kW,
- Mise en œuvre de deux accumulateurs pour le chauffage (5'500 litres au total),
- Mise en œuvre de deux chauffe-eaux sanitaires (6'000 litres au total),
- Mise en œuvre d'un collecteur en chaufferie,
- Distribution hydraulique primaire (y.c. création d'une liaison hydraulique PAC <-> chaufferie) :
 - Conduits hydrauliques en chaufferie – DN80 et DN125 – 2 x 40 ml (y.c. calorifugeage),
 - Conduites à distance préisolées – DN80 – 2 x 25 ml,
- Réfection et adaptation de la distribution principale (y.c. calorifugeage),
- Réfection de la régulation,
- Démontage et évacuation de l'existant,
- Création d'une tranchée – environ 10 ml,
- Travaux de montage,
- Caissons acoustiques pour les PAC (120'000 CHF, prix à affiner),
- Travaux de maçonnerie (carottages, socle pour les PAC),
- Travaux de sanitaire,
- Travaux d'électricité :
 - Renforcement de l'alimentation électrique (alimentation de 500A au total),
 - Réfection de la distribution électrique depuis l'introduction dans le bâtiment,
 - Réfection du TGBT,
 - Raccordement électrique des installations,
- Travaux de peinture.



Les coûts d'investissements sont regroupés par CFC et présentés dans le tableau ci-dessous :

| CFC | Libellé | Prix par CFC [CHF] |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 242 | Production de chaleur | 805 000 |
| 243 | Distribution de chaleur | 35 000 |
| 230 | Electricité | 160 000 |
| 237 | MCR | 40 000 |
| 250 | Sanitaire | 20 000 |
| 211 | Maçonnerie | 30 000 |
| 271 | Plâtrerie Peinture | 5 000 |
| 289 | Divers, régie et imprévus | 105 000 |
| TOTAL net HT ± 25 % | | 1'200'000 |

Tableau 10 : Tableau des investissements par CFC – scénario 2 - Besoin de puissance 370 kW

Subventions disponibles « Programme Bâtiments » en 2024 : CHF 150'000.- HT (M-05) – « pompe à chaleur air-eau », non compris dans le budget d'investissement énoncé ci-dessus.

Eléments conservés :

- Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

- Honoraires d'ingénieurs / d'architectes,
- Diagnostic amiante et éventuels travaux de retrait de l'amiante,
- Etude acoustique pour les PAC,
- Réfection de la nourrice et/ou des installations sanitaires,
- Evacuation d'un ancien accumulateur dans le local annexe à la chaufferie, avec calorifugeage probablement amianté.

Remarques importantes :

- Les PAC de grande puissance sont bruyantes (puissance acoustique de 90 dB(A) pour les PAC proposées – Purple HP 35.2). L'emplacement proposé pour les PAC est proche des fenêtres des logements ainsi que de l'école. **La faisabilité acoustique de cette solution est à vérifier par un acousticien.** Des protections contre le bruit seront nécessaires pour que l'installation respecte les exigences de protection contre le bruit. En première approche, un montant estimatif de **120'000 CHF** a été considéré pour la mise en œuvre de caissons acoustiques sur les PAC. Le coût de ces protections sera à vérifier au stade du projet.
- Actuellement, l'introduction électrique du bâtiment est en 100 A (logements, communs et chaufferie), il est nécessaire de renforcer l'introduction à 500 A (dont 400 A pour les besoins des PAC). Des travaux d'adaptation du réseau électrique devront être mis en œuvre (notamment réfection du TGBT). Un montant d'environ **120'000 CHF** a été considéré à ce stade pour ces modifications. Le coût de ces travaux sera à vérifier au stade du projet.



5.4 Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance

Le tableau ci-dessous résume les différents scénarios d'investissement proposés pour l'assainissement de la production de chaleur en fonction de la méthode de calcul utilisée pour définir le besoin de puissance du site.

| Scénario | Méthode de calcul du besoin de puissance | Besoin de puissance | Ecart du besoin de puissance | Prix total | Ecart des coûts |
|----------|--|---------------------|------------------------------|------------|-----------------|
| | | [kW] | [%] | [CHF ±25%] | [%] |
| 1 | selon consommations | 440 | 0 % | 1'300'000 | 0 % |
| 2 | selon mesures vanne Belimo sans optimisation | 370 | -15 % | 1'200'000 | -8% |

Tableau 11: Tableau récapitulatif des scénarios d'investissements pour le remplacement de la production de chaleur

La diminution du besoin de puissance a un léger impact sur la diminution des coûts pour le remplacement de la production de chaleur par une solution 100% PAC air/eau.

Cette légère diminution des coûts s'explique pour les raisons suivantes :

- La réduction du besoin de puissance ne permet pas de diminuer le nombre de PAC à installer, mais permet seulement d'installer des PAC légèrement moins puissantes (faibles variations du prix d'achat pour les PAC de grandes puissances).
- Les coûts de mise en œuvre des conduites hydrauliques sont similaires car les métrés sont identiques et les diamètres sont similaires (réduction d'un diamètre seulement).
- Les mesures de protection contre le bruit sont identiques car les niveaux de puissance sonore sont les mêmes pour les deux modèles de PAC proposés,
- Les coûts d'électricité sont diminués, mais il est nécessaire de renforcer l'introduction électrique pour les deux scénarios.



6. Synthèse et conclusion

6.1 Synthèse

La présente étude a permis de mettre en place des vannes intelligentes Belimo (Energy Valves) sur les secteurs de chauffe de l'immeuble sis Rue Dancet 12 à 20 à Genève et d'analyser leur fonctionnement. En outre, ce projet a permis de récolter et d'analyser les données mesurées par les vannes afin de définir le besoin de puissance du bâtiment au plus juste en vue d'un remplacement de la production de chaleur.

Une présentation du site et un état des lieux sommaire des installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) sont donnés au chapitre 2. Le fonctionnement des Energy Valves Belimo, la méthodologie du suivi énergétique et les résultats sont présentés au chapitre 3.

Le chapitre 4 présente quant à lui les calculs du besoin de puissance selon deux méthodes : à partir des consommations de chaleur du site et à partir des données mesurées par les Energy Valves. Deux périodes de mesure ont été réalisées : une 1^{ère} période sans optimisation (vanne Belimo en mode contrôle de position), une seconde période avec le mode contrôle de débit de la vanne Belimo enclenché. Seul le besoin de puissance de la 1^{ère} période de mesures a été considéré dans cette étude. Le besoin de puissance de la 2^{ème} période de mesure n'a pas été retenu car les résultats sont faussés par un dispositif de régulation intelligent du chauffagiste et parce que la seconde période de mesure ne comporte pas suffisamment de données pour des températures extérieures négatives.

La présente étude propose au chapitre 5 deux scénarios de remplacement de la production de chaleur avec un dimensionnement des installations basé sur les différents calculs du besoin de puissance. Chaque scénario propose une solution d'assainissement 100% renouvelable (PAC air/eau), visant à la remise à niveau et à l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations de chauffage et d'ECS du site. Les solutions d'assainissement ont été évaluées techniquement et financièrement. Un résumé des investissements est proposé au chapitre 5.5.

6.2 Conclusion

Au vu de l'analyse présentée dans cette étude, nous observons que la mise en place d'une vanne intelligente Belimo sur les secteurs de chauffe permet d'obtenir des données de mesures précises, permettant d'affiner le calcul du besoin de puissance pour le chauffage.

Sans optimisation de la vanne, le besoin de puissance calculé à partir des données mesurées est plus faible que celui calculé à partir des consommations du bâtiment (sans mesures). Pour ce site, la diminution du besoin de puissance est d'environ 15 % (valeur plutôt faible car le bâtiment est suivi et optimisé par un contrat d'optimisation énergétique). Cette diminution du besoin de puissance a un léger impact sur les coûts d'investissement dans le cas d'un remplacement de la production de chaleur par une solution 100% PAC air/eau (-10%).

Le calcul du besoin de puissance sur la base des données mesurées avec optimisation de la vanne Belimo n'a pas pu être déterminé. Pour ce bâtiment, nous ne pouvons donc pas conclure sur l'impact de l'activation des paramètres d'optimisation de la vanne sur le besoin de puissance et donc sur le coût d'investissement pour le remplacement de la production de chaleur.

En outre, en cas de volonté de remplacement de la production de chaleur, ENERGYS recommande d'étendre la période de mesure sur une saison de chauffe supplémentaire, afin de définir un besoin de puissance plus juste.

ENERGYS ; ORE ; Grand-Lancy, le 12 juin 2024



Annexe 1. Schémas de principe hydrauliques

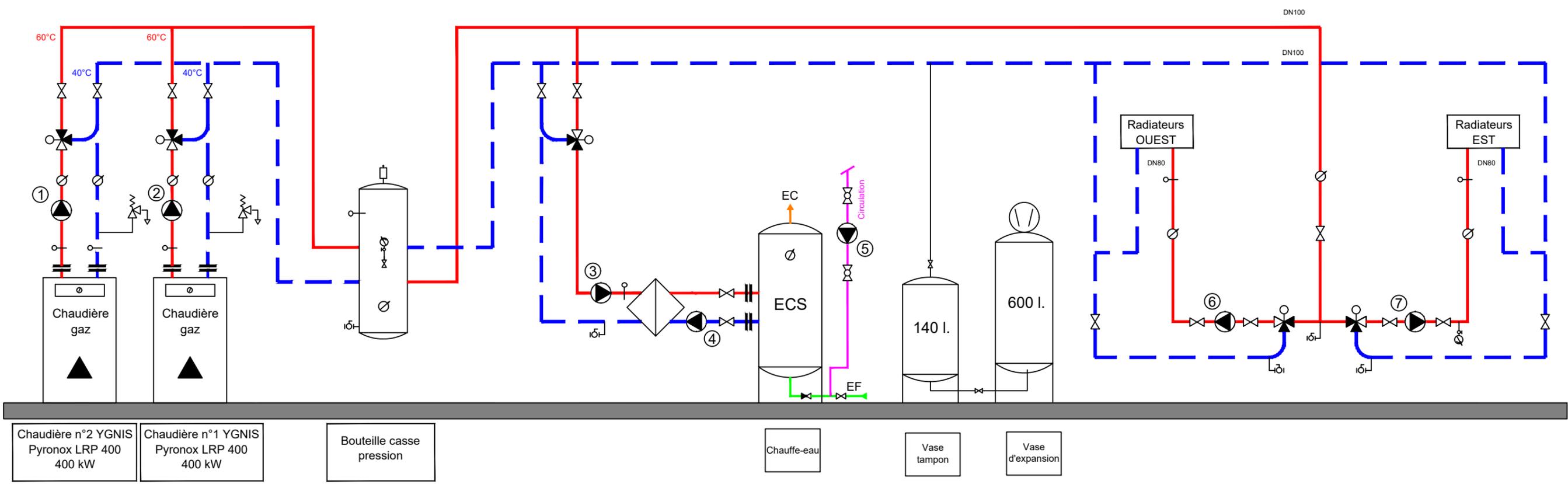
- Schéma de principe hydraulique existant,
- Schéma de principe hydraulique après travaux de mise en œuvre de la vanne Belimo.

Voir pages suivantes



CHAUFFERIE RUE DANCET 18

| Nomenclature des appareils | |
|------------------------------|------------------------------|
| Circulateurs : | Vase d'expansion : |
| 1 : BIRAL Redline LX 653 | PNEUMATEX Compresso CU 600.6 |
| 2 : BIRAL Redline LX 653 | |
| 3 : BIRAL Redline LX 503 | Vase tampon : |
| 4 : WILO Stratos 30/1-8 (DE) | PNEUMATEX |
| 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N 150 | |
| 6 : BIRAL Redline LX 803 | |
| 7 : BIRAL Redline LX 803 | |



Chaudière n°2 YGNIS
Pyronox LRP 400
400 kW

Chaudière n°1 YGNIS
Pyronox LRP 400
400 kW

Bouteille casse
pression

Chauffe-eau

Vase
tampon

Vase
d'expansion



| | | |
|----------|---|--------------|
| affaire: | 11112 - Rue Dancet 12 à 20, Genève | |
| plan: | SCHEMA DE PRINCIPE CHAUFFERIE. - EXISTANT | |
| phase: | technique: | Dessiné par: |
| - | CHAUFFAGE | ORE |

| | |
|-------------------|--------------|
| Fichier: | SP Chauffage |
| Echelle: | - |
| Format: | A4 |
| Date de création: | 26.09.2023 |

CHAUFFERIE RUE DANCET 18

Nomenclature des appareils

Circulateurs :

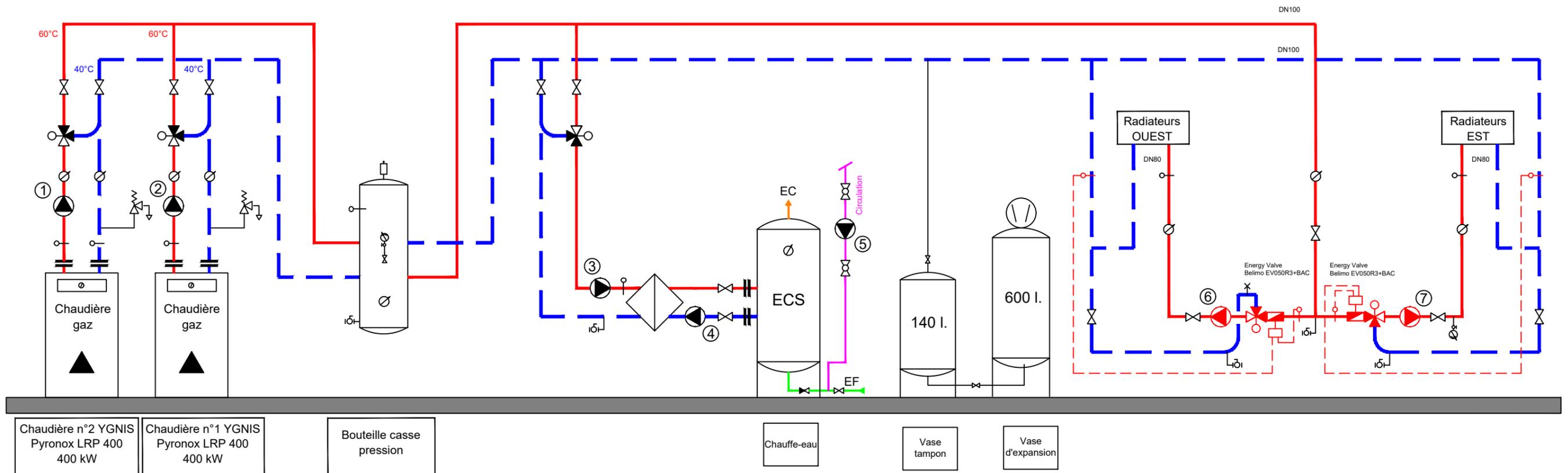
- 1 : BIRAL Redline LX 653
- 2 : BIRAL Redline LX 653
- 3 : BIRAL Redline LX 503
- 4 : WILO Stratos 30/1-8 (DE)
- 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N 150
- 6 : BIRAL ModuA 50-12 270 RED
- 7 : BIRAL ModuA 50-12 270 RED

Vase d'expansion :

PNEUMATEX Compresso CU 600.6

Vase tampon :

PNEUMATEX



| | | | |
|--------------|--|-------------------|--------------|
| affaire: | 11112 - Rue Dancet 12 à 20, Genève | Fichier: | SP Chauffage |
| plan: | SCHEMA DE PRINCIPE CHAUFFERIE. - INSTALL. ENERGY VALVE | Echelle: | - |
| phase: | Projet | Format: | A4 |
| technique: | CHAUFFAGE | Date de création: | 09.10.2023 |
| Dessiné par: | ORE | | |

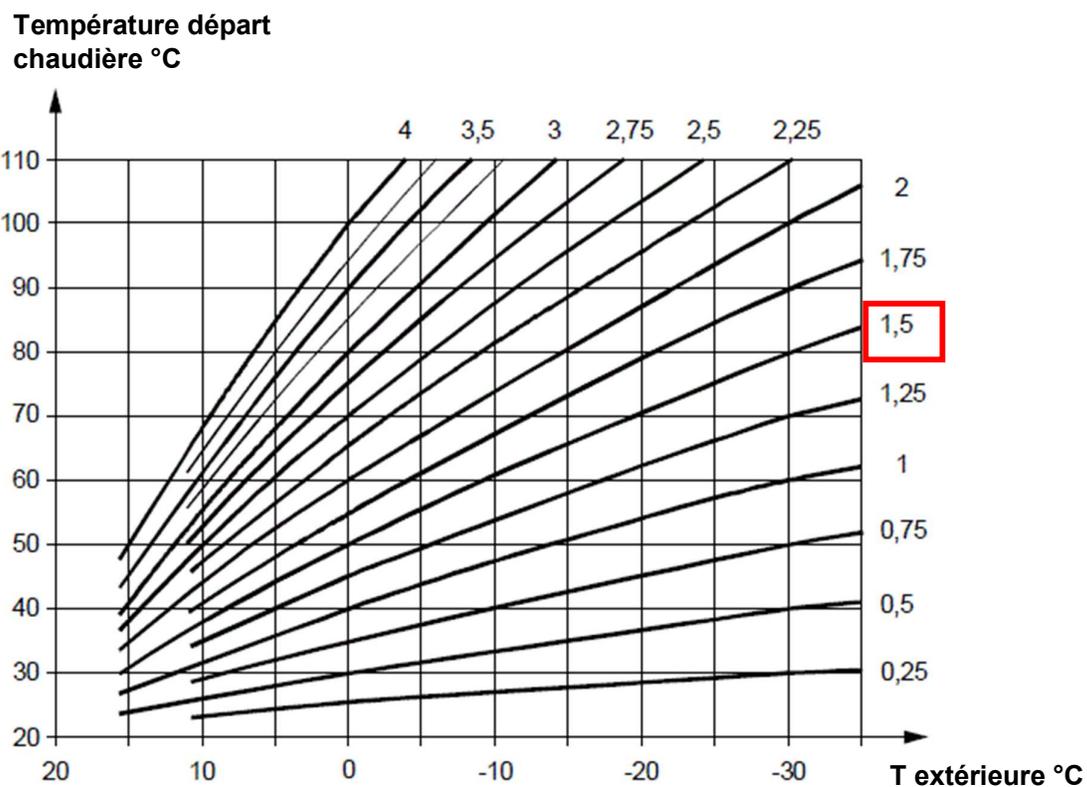
Remarques :

Données considérées pour sélection des vannes 3 voies :
 Puissance : 250 kW par secteur
 Température : 60-40°C
 Débit : 11 m³/h

Nouvelles vannes 3 voies : Energy valve BELIMO, DN 50, Kvs : 25 m³/h

Annexe 2. Paramètres de régulation

La courbe de chauffe pour le chauffage du site est présentée ci-dessous sur le graphique suivant (pente de 1.5 pour les secteurs Est et Ouest) :



Annexe 3. Courbes de mesures du taux de charge

Les diagrammes du taux de charge pour les deux phases de mesure (sans et avec optimisation des vannes Belimo) sont présentés ci-dessous selon les modes confort, relance matinale et réduit.

Première phase de mesure : sans optimisation

Confort (jour)

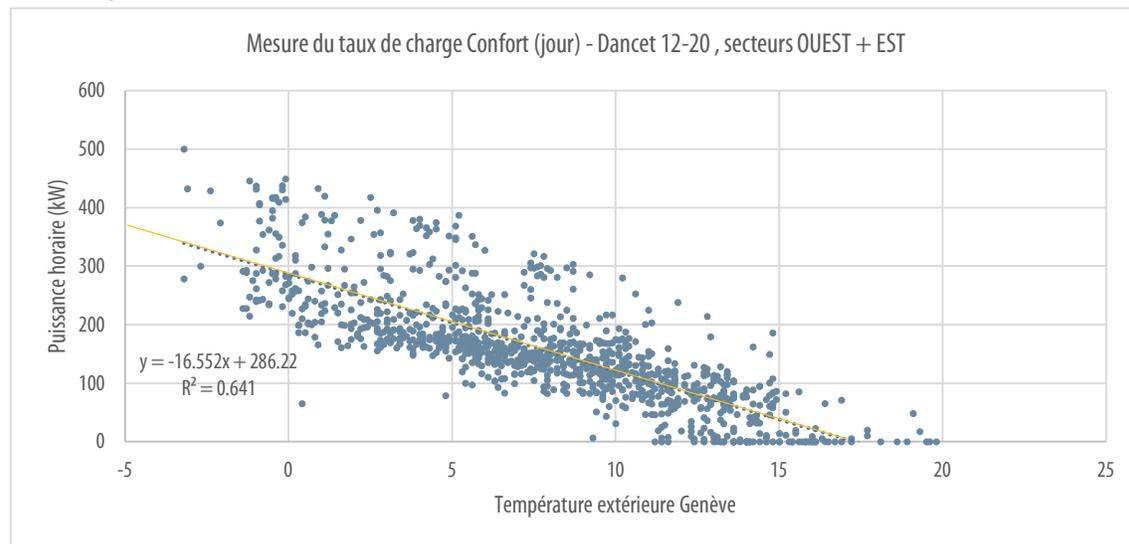


Figure 10 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation période du 16.10.23 au 11.01.24

Réduit (nuit)

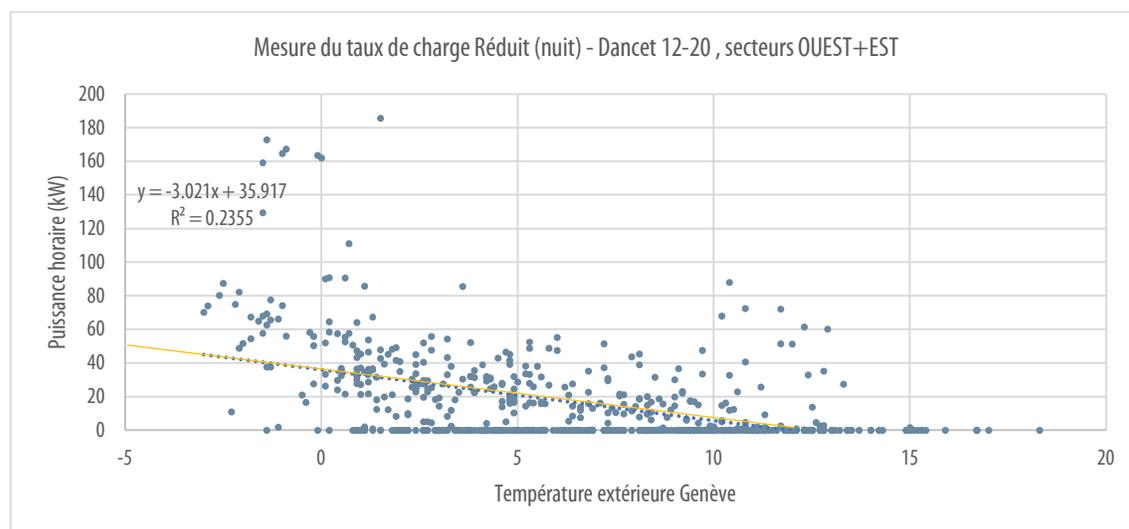


Figure 11 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation - période du 16.10.23 au 11.01.24



Relance matinale

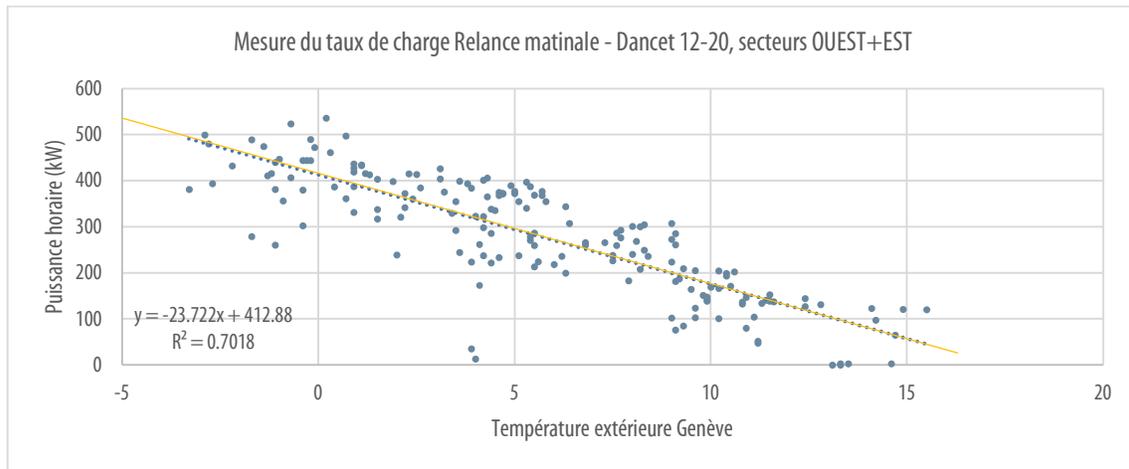


Figure 12 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation - période du 16.10.23 au 11.01.24

Deuxième phase de mesure : avec optimisation de la vanne par contrôle de débit

A noter que ces diagrammes sont donnés à titre indicatif, car les données ne sont pas exploitables (R^2 trop faibles).

Confort (jour)

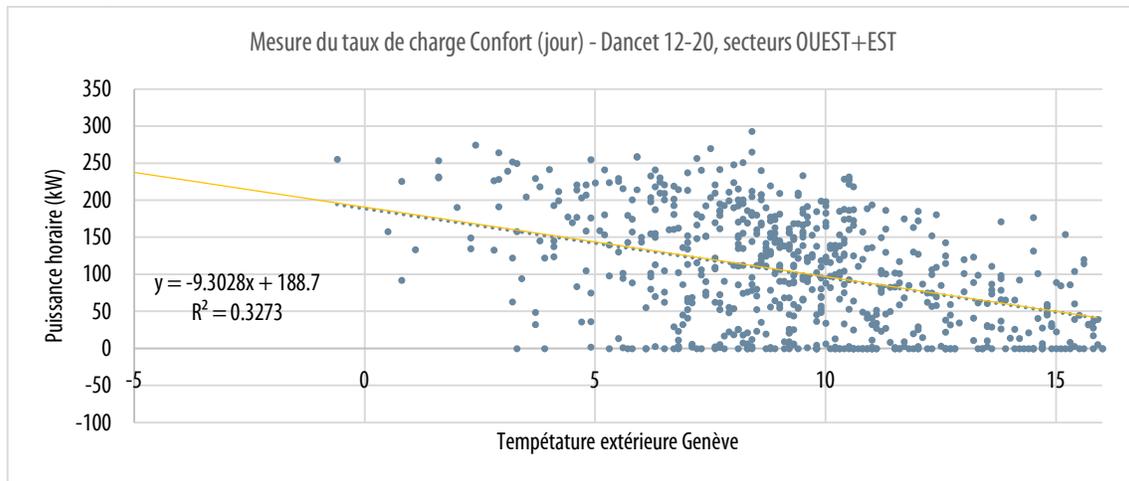


Figure 13 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) - période du 19.02.2024 au 24.04.2024



Réduit (nuit)

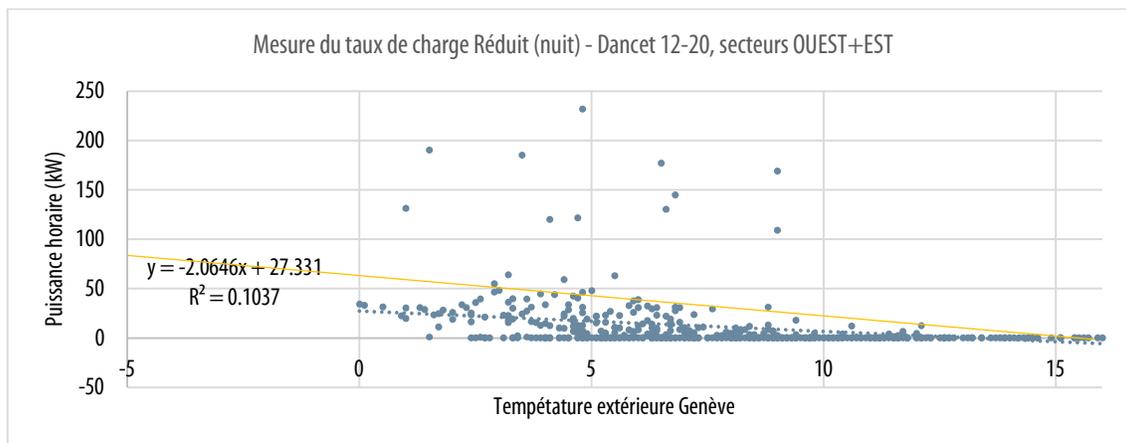


Figure 14 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024

Relance matinale

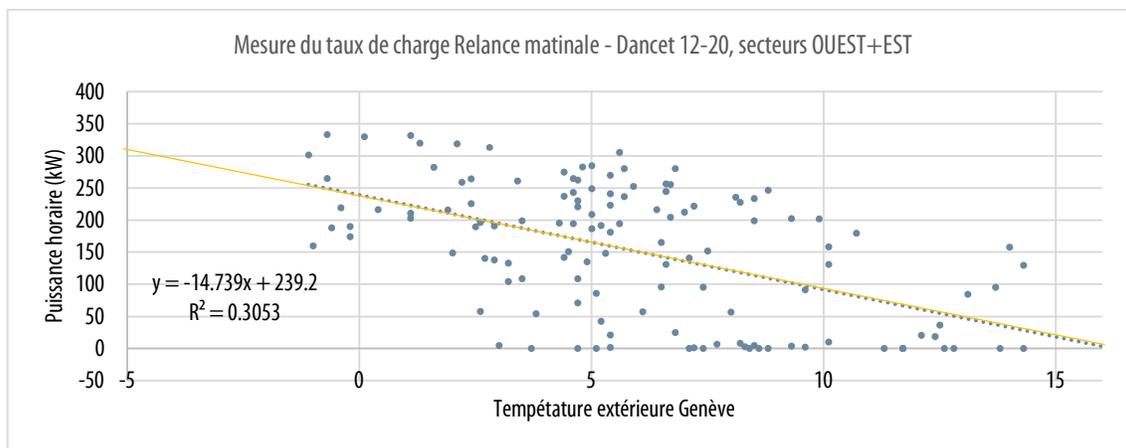


Figure 15 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024



Variantenvergleich

Wärmeerzeugersatz ABZ Wohnsiedlung Zweierstrasse

Version 1.1 | Konzept | Stand: 31.10.2024



Impressum

Objekt

ABZ Wohnsiedlung Zweierstrasse
Mehrfamilienhaus mit Verkaufsläden
Zweierstrasse 99, 101, 103, 105
8003 Zürich

Auftraggeber

Allgemeine Baugenossenschaft Zürich (ABZ)
Gertrudstrasse 103
8003 Zürich

BFE – Bundesamt für Energie
Energie Schweiz
3063 Ittigen

Auftragnehmer

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
8006 Zürich
Tel. +41 44 200 77 44

Sebastian Teutloff
Cyril Keller, BSc ZFH Energie- und Umwelttechnik

Projektleiter
Fachingenieur

Dokument

24394_BE_Variantenvergleich_Zweierstrasse_2024_10_30.docx

Zürich, 31.10.2024

Besten Dank an EnergieSchweiz für den Anstoss für das Projekt sowie die finanzielle Unterstützung.

Mit Unterstützung von



Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1. Zusammenfassung | 4 |
| 2. Einleitung | 5 |
| 2.1. Ausgangslage | 5 |
| 2.2. Zielsetzung | 5 |
| 3. Grundlagen | 6 |
| 3.1. Anlagezustand | 6 |
| 3.2. Auslegungsgrundlagen | 6 |
| 3.3. Energiekenndaten | 6 |
| 3.5. Leistungsbestimmung aufgrund Energiedaten | 7 |
| 3.6. Energiefluss Ist-Situation | 8 |
| 3.7. Hydraulik | 9 |
| 3.8. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO) | 9 |
| 4. Varianten | 9 |
| 4.1. Grundlagen Variantenvergleich | 9 |
| 4.2. Untersuchung Energieträger | 10 |
| 4.3. Definition Varianten | 11 |
| 4.4. Variante 1: 1:1 Gasheizkessel | 11 |
| 4.5. Variante 2: Aussenluft Wärmepumpe | 13 |
| 4.6. Variante 3: Pellets-Heizung | 15 |
| 5. Vergleich der Varianten | 17 |
| 5.1. Ökonomischer Vergleich | 17 |
| 5.2. Ökologischer Vergleich | 18 |
| 5.3. Empfehlung | 18 |
| 6. Energie-Politische-Studie: Vorgezogener Heizgruppenersatz | 19 |
| 6.1. Kostenentwicklung aufgrund vorgezogenem Heizgruppenersatz | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 7. Anhang | 20 |
| 7.1. Mögliche Aufstellsituation Variante 2 | 20 |
| 7.2. Mögliche Aufstellsituation Variante 3 | 20 |
| 7.3. Abklärung Fördergelder Klimaprämie | 20 |
| 7.4. Kostenzusammenstellung | 21 |

Änderungsverzeichnis

| <u>Version</u> | <u>Bemerkung</u> | <u>Datum</u> | <u>Kürzel</u> |
|----------------|--|--------------|---------------|
| 1.0 | Ersterstellung | 17.09.2024 | CKE/STE |
| 1.1 | Einpflegen der Rückmeldung vom BFE / EnergieSchweiz | 28.10.2024 | CKE/STE |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

1. Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Möglichkeiten der Wärmeerzeugung ausgearbeitet und geprüft hinsichtlich Energieeffizienz wie auch der Ökologie und Wirtschaftlichkeit.

Folgende Wärmeerzeugungsvarianten wurden untersucht:

- Variante 1:** 1:1-Ersatz Gasheizkessel (Vergleichsvariante)
- Variante 2:** Aussenluft-Wärmepumpe
- Variante 3:** Pellets-Heizung

Aufgrund der durchgeführten Variantenstudie empfiehlt Lemon Consult für den Ersatz des Wärmeerzeugers die Variante 2 - Aussenluft-Wärmepumpe. Der Wärmeerzeugersersatz durch Luft-Wasser-Wärmepumpen ist eine vielfach bewährte Option, welche sich durch niedrige Betriebs- und Wartungskosten sowie geringe CO₂-Emissionen auszeichnet. Vor der Umsetzung ist der Schallschutz inklusive allfälligen Schallschutzmassnahmen genau zu prüfen.

Vor einem zukünftigen Wärmeerzeugersersatz wird unabhängig von der gewählten Variante zu einer Auswertung der Messresultate der effektiv ans Gebäude abgegebenen Wärmeenergie geraten, welche in diesem Projekt in der Heizperiode 2023/2024 mithilfe der Belimo-Ventile erhoben wurden. Dies soll verhindern, dass die Erzeugerleistungen überdimensioniert und die Investitionskosten unnötig in die Höhe getrieben werden. Ausserdem haben überdimensionierte Wärmeerzeuger meist auch schlechtere Wirkungsgrade, da sie aufgrund der Auslegung häufig nur im Teillastbetrieb arbeiten.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Die Wärmeerzeugung der ABZ Wohnsiedlung Zweierstrasse mit Baujahr 1926 erfolgt momentan über einen Gasheizkessel mit Baujahr 1993. Der Kessel versorgt die Wohnungen, sowie die Ladenflächen und den Gemeinschaftsraum an der Zweierstrasse 99, 101, 103 und 105 mit Heizwärme und Brauchwarmwasser.

Ein 1:1-Ersatz des Gasheizkessels ist aufgrund des neuen Energiegesetzes nicht möglich und wäre auch nicht empfohlen. Gemäss dem neuen Energiegesetz des Kantons Zürich ist der Einsatz von fossilen Heizungen nur zulässig, sofern die Lebenszykluskosten für erneuerbare Systeme um 5% höher sind oder ein erneuerbares System technisch nicht möglich ist.

2.2. Zielsetzung

Für den Ersatz der Wärmeerzeugung sollen unterschiedliche Energieträger auf die örtliche Machbarkeit geprüft werden. Die örtlich verfügbaren Energieträger sollen ökonomisch und ökologisch anhand eines Variantenvergleichs verglichen werden.

Für den Variantenvergleich wird auch die Warmwassererzeugung betrachtet, um ein ganzheitliches Energiekonzept zu erstellen.

Abbildung 1: Übersicht Areal / Gebäude



3. Grundlagen

3.1. Anlagezustand

Die Heizzentrale weist über beinahe alle Anlageteile ein älteres Baujahr auf. Die Betriebssicherheit ist aktuell dennoch gegeben (mit Ausnahme des Gaskessels, welche zeitnah ersetzt werden sollte). Bei Ausfall von Komponenten, wie dies Stand Oktober 2023 für das Regulierventil der BWW-Bereitstellung der Fall war, besteht die Möglichkeit des Handbetriebs.

Tab. 1: technische Lebensdauer von Anlagen und Komponenten

| Anlage/ Komponente/ | Alter | Ø Lebens- dauer | Empfehlung |
|---|-------|--------------------|---|
| Heizkessel 1: 245kW | 30 | 20 – 25 | Zeitnaher Ersatz |
| Kaminanlage | - | 40 - 60 | Bei Kesslersatz Ersatz gemäss Richtli- nien |
| Expansionsanlage | 30 | 25 – 30 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung |
| Lademodul Warmwasser (WW) 65kW | 5 | 20 – 25 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung, da die bestehende Leistung zu gross ist und für den WP betrieb ungeeignet ist. |
| Warmwasserspeicher 1.25 m ³ | 33 | 40 - 60 | Beurteilung Innenleben bei Heizungs- umbau |
| Umwälzpumpen | <10 | 15 – 25 | Kein Bedarf, da bereits umgebaut |
| Rohrleitungen Zentrale | 30 | 30 – 40 | Keine Massnahmen |
| Regelventile | 1 | 15 – 20 | Kein Bedarf, da bereits umgebaut |
| Rohrleitungsdämmung | ≥30 | 40-60 | Ersatz bei Defekt |
| Regulierung Heizzent- rale | 30 | 15 - 20 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung |

3.2. Auslegungsgrundlagen

3.2.1. Gebäude

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|----------------------|------|---------|
| Standorthöhe Gebäude | 413 | m.ü.M |

3.2.2. Norm-Klimadaten (SIA 2028)

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|--|---------------|---------|
| Massgebende Klimastation | Zürich Kloten | - |
| Norm-Aussentemperatur der Klimastation (Heizung) | -8 | °C |
| Höhe der Klimastation | 425 | m.ü.M |

3.3. Energiekennndaten

Tab. 2: Endenergie-Kennndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

| Betriebsjahr | Brennstoff | Endenergie [kWh/a] |
|----------------------------------|------------|-----------------------|
| 2022 | Erdgas | 350'775 |
| 2021 | Erdgas | 372'341 |
| 2020 | Erdgas | 328'231 |
| Total Erdgas über 3 Jahre | | 1'051'347 |
| Durchschnitt über Jahre | | 350'449 |

Tab. 3: Nutzenergie-Kennndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

| Betriebsjahr | Nutzenergie [kWh/a] |
|----------------------------------|------------------------|
| 2022 | 367'570 |
| 2021 | 337'450 |
| 2020 | 333'775 |
| Total über 3 Jahre | 1'038'795 |
| Durchschnitt über 3 Jahre | 346'265 |
| Anteil Raumheizung | 276'897 |
| Anteil Warmwasser | 69'368 |

3.5. Leistungsbestimmung aufgrund Energiedaten

Aufgrund der Energiemenge resultiert eine Heizleistung von rund 130 kW. Diese Heizleistung wurde mittels 3 verschiedener Verfahren eruiert, ersichtlich in der nachfolgenden Abbildung. Die Heizleistung, welche mit diesen Verfahren beurteilt wurde, basiert auf einer gleichmässigen Nutzung.

- Verfahren 1: Hottinger Formel
- Verfahren 2: SIA 384/1 (spez. Wärmebedarf / Volllaststunden)
- Verfahren 3: SIA 384/3 (Summenhäufigkeit)

Für die vorliegende Variantenstudie wurde mit den Ergebnissen gemäss Norm SIA 384/3 gearbeitet. Für die weitere Untersuchung wurde folgende Erzeugerleistung verwendet.

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|--|------|---------|
| Bislang installierte Heizleistung | 250 | kW |
| Heizleistung Zweierstrasse (klassisch) | 130 | kW |
| Gemessene Heizleistung ohne eBO | 75 | kW |
| Gemessene Heizleistung nach eBO | 56 | kW |

Nach der klassischen Auslegungsmethodik wäre die Heizung somit rund doppelt so gross gewählt und hätte unnötige Kosten zur Folge. Zudem laufen Wärmeerzeuger im Teillast oft nicht optimal und somit sinkt sogleich auch die Energieeffizienz. Das Ziel dieses Projektes ist es, dass die Minderkosten aufgrund der genauen Messung und der vorgängige energetische Betriebsoptimierung beurteilt wird. Im Nachfolgeprojekt wurden die Leistung von 56 kW für die Heizung sowie eine Anteil für das BWW-Aufgeschlagen.

Abbildung 2: Plausibilisierung Heizleistung Zweierstrasse 99, 101, 103, 105

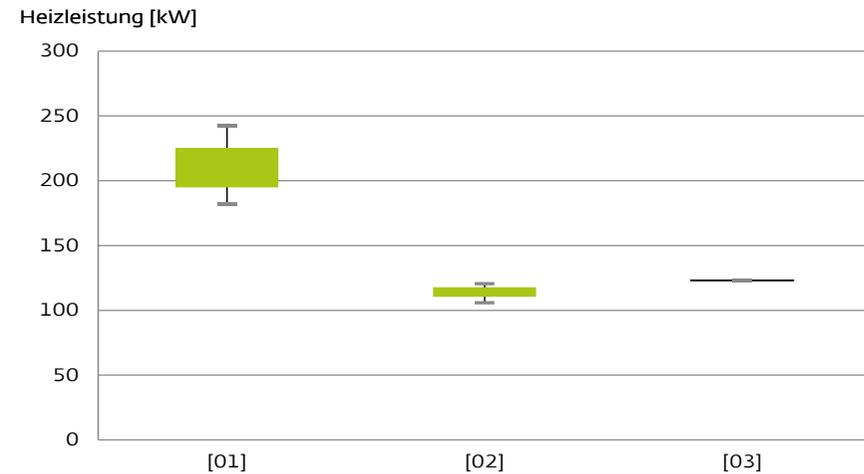
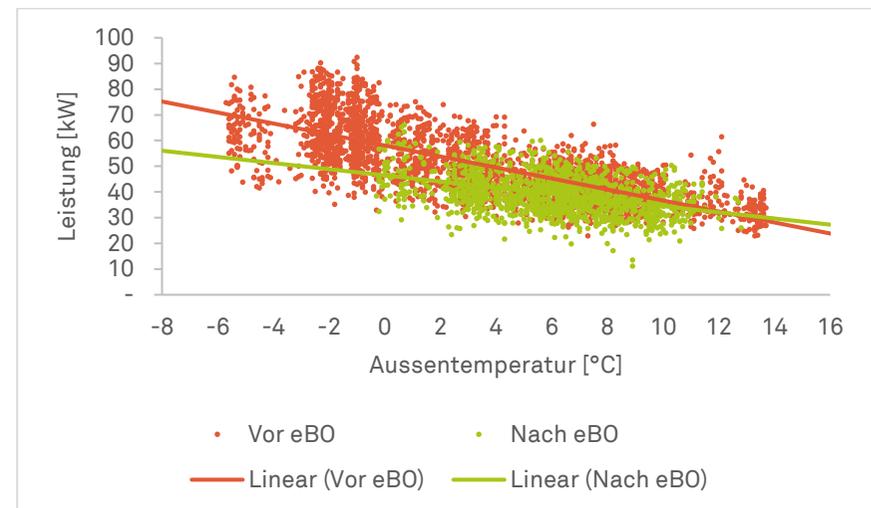


Abbildung 3: Messung der Heizleistung vor und nach der energetische Betriebsoptimierung ¹

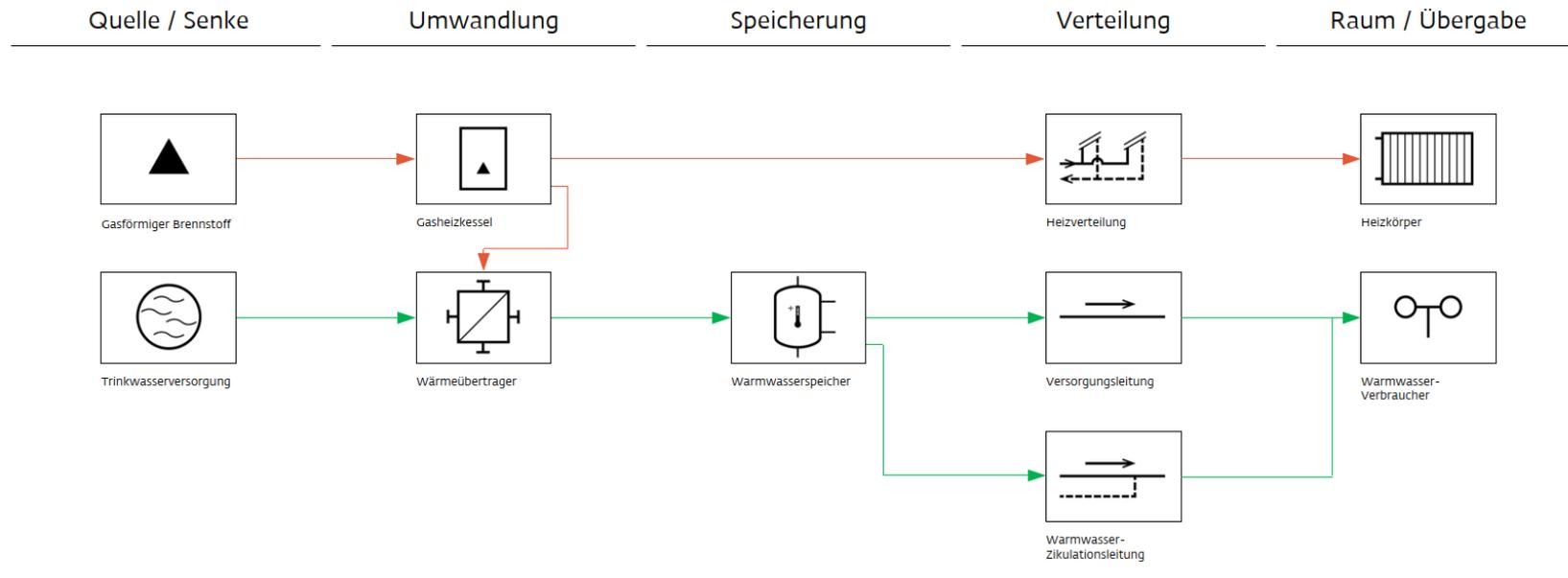


¹ Messzeitraum 27.12.2023 bis 25.01.2024 (vor eBO) und 26.01.2024 bis 09.02.2024 (nach eBO)

3.6. Energiefluss Ist-Situation

Abbildung 4: Energiefluss Ist-Situation

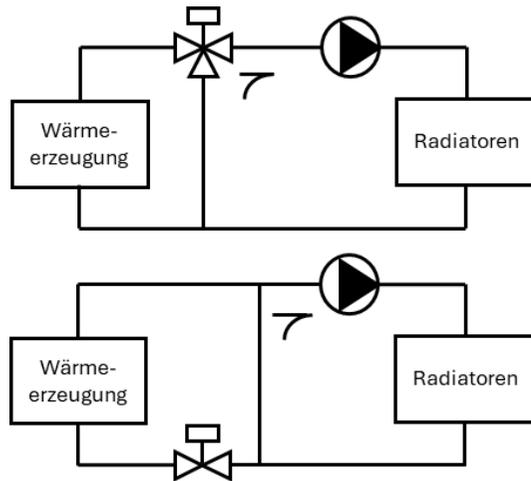
Schema Energieverlauf



3.7. Hydraulik

Für einen einwandfreien Betrieb des Energy Valve wurde die hydraulische Schaltung von einer Beimischschaltung auf eine Einspritzschaltung angepasst. Die obigen Messungen wurden somit mit einer Einspritzschaltung gemessen. Die folgende Abbildung zeigt hierbei schematisch die verwendeten Schaltungen vor (oben) und nach (unten) der Anpassung.

Abbildung 5: Hydraulische Schaltung



3.8. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO)

Die energetische Betriebsoptimierung mit den Energy Valve hebt sich von einer klassischen energetischen Betriebsoptimierung ab. Da die Ventile sogleich eine Durchfluss-/ Wärmemessung enthalten, kann zusätzlich auf solche zugegriffen werden. Die Vorgehensweise bei der Optimierung erfolgte in 3 Schritte:

- 1) Zunächst wurden die Ventile auf den Betriebsmodus *Positionsregelung* eingestellt. Hierbei reagiert das Ventil nur auf die externe Ansteuerung, reagiert somit wie ein übliches Heizungsventil und regelt die Vorlauf-temperatur aufgrund der Aussentemperatur.
- 2) Die Messdaten wurden ausgewertet und der maximale Volumenstrom am Auslegungspunkt (in Zürich: -8°C) wurde eruiert.

- 3) Abschliessend wurde der eruierte Volumenstrom als maximaler Volumenstrom gesetzt und die Regelung auf den Betriebsmodus *Volumenstromregelung* gesetzt. Hierdurch wird der Volumenstrom bei reduzierten Heizbetrieb ebenfalls reduziert. Dadurch wird auch die Rücklauf-temperatur gesenkt und somit auch die Verluste auf der Rück-laufleitung. Im Vergleich zu einer klassischen Heizgruppe ist zusätzlich der hydraulische instantan und nicht einmalig eingestellt, was bei grösseren Verteilsystemen die Rücklauf-temperaturen / Verluste weiter reduziert, ohne dass die Bewohner davon etwas mitbekommen.

Auf eine weitere Optimierung der Heizkurven (Vorlauf-temperatur geregelt auf die Aussentemperaturen) wurde in diesem Projekt verzichtet, da eine eBO vor-gängig schon eine Heizwärmeeinsparung von rund 20% erbrachte. Somit sind die erneuten Einsparungen lediglich auf die Regelmöglichkeiten der Energy Valve's zurückzuführen.

4. Varianten

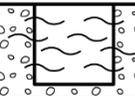
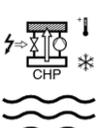
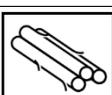
4.1. Grundlagen Variantenvergleich

Für den nachfolgenden Variantenvergleich wurden die unten erwähnten wirt-schaftliche Parameter verwendet:

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Kapitalzins | 3.50 | % |
| Jährliche Teuerung | 2.00 | % |
| Elektrizität ewz.natur 2023 HT | 27.8 | Rp/kWh |
| Elektrizität ewz.natur Zürich 2023 NT | 16.3 | Rp/kWh |
| Erdgas Arbeitspreis | 12.2 | Rp/kWh |
| Erdgas Leistungspreis | 34.00 | CHF/kWh |
| Jahresnutzungsgrad Heizkessel Gas | 90.00 | % |
| COP Wärmepumpe Aussenluft | 2.80 | - |

4.2. Untersuchung Energieträger

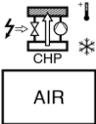
Tab. 4: Machbarkeitsanalyse der Energieträger

| Energieträger | Symbol | Vorteil | Nachteil | Empfehlung/ Verfügbarkeit |
|----------------------|---|---|---|--|
| Erdgas |  | <ul style="list-style-type: none"> - Eher tiefe Investitionskosten | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe CO₂-Emissionen - Schwankende Gaspreise | <p>✗ Bereits bestehend und dient als Vergleichsvariante für einen 1:1 Ersatz In Zürich verboten</p> |
| Grundwasser |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - In dem Gebiet erst ab 150kW Entzugsleistung erlaubt - Hohe Investitionskosten | <p>✗ Minimal notwendige Entzugsleistung von 150kW wird nicht erreicht.</p> |
| Erdsonden |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - Gebiet liegt in Gewässerschutzbereich, Grundwasserschutzzone A_u | <p>✗ Erdsondenbohrungen sind nicht erlaubt</p> |
| Aussenluft |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten - Baulicher Aufwand - Erhöhung der Elektrischen Anschlussleistung notwendig | <p>✓ Als Lösung möglich. Problematik Schall in Empfindlichkeitsstufe III</p> |
| Fernwärme |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Keine Wartung an Energieerzeugung | <ul style="list-style-type: none"> - Unsicherheit bezüglich Investitions- & Betriebskosten da Verbunderweiterung noch in Abklärung - Möglicher Anschlussstermin unsicher, frühestens 2030 | <p>✗ Vor Ersatz bei EWZ aktuellen Stand der Prüfung bzw. Planung Verbunderweiterung Hardau-Sihlfeld abklären</p> |
| Holzpellets |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Investitionskosten - Wartungsaufwand - Platzbedarf Lager | <p>✓ Platzverhältnisse für Pelletslager und kubischen Speicher im UG sind zu klären</p> |
| Holzschnitzel |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Investitionskosten - Wartungsaufwand - Platzbedarf Silo (ca. 3-facher Platzbedarf von Pellets) | <p>✗ In dieser Leistungsklasse nicht sinnvoll, ausser wenn Bezug in der Nähe oder eigenem Holzschlag möglich</p> |

4.3. Definition Varianten

Wie eingangs erwähnt wurden die folgende 3 Varianten überprüft:

Tab. 5: zu prüfende Varianten

| Variante | Bezeichnung |
|----------|---|
| 1 | 1:1 Ersatz Gasheizkessel  |
| 2 | Aussenluft Wärmepumpe  |
| 3 | Pellets-Heizung  |

4.3.1. Bemerkung Energieverbund Sihlfeld-Werd

Die Liegenschaft befindet sich im Bereich einer möglichen Erweiterung des Energieverbundes *Sihlfeld-Werd*. Die Machbarkeit des Energieverbundes befindet sich in der Prüfung und wird voraussichtlich bis 2027 abgeschlossen sein.

Im Falle eines positiven Realisierungsentscheids werden die ersten Liegenschaften erst nach dem Jahr 2030 an den Verbund angeschlossen werden. Je nach Baufortschritt und Lage der einzelnen Liegenschaften kann sich der Anschlussstermin jedoch auch noch länger verzögern.

Aufgrund dieses Zeithorizontes wird die Option des Anschlusses an einen Energieverbund im vorliegenden Variantenvergleich nicht berücksichtigt, da die Wärmeerzeugung bereits über der typischen Lebensdauer ist und Ersatzteile nur noch auf dem Occasionsmarkt verfügbar sind.

4.4. Variante 1: 1:1 Gasheizkessel

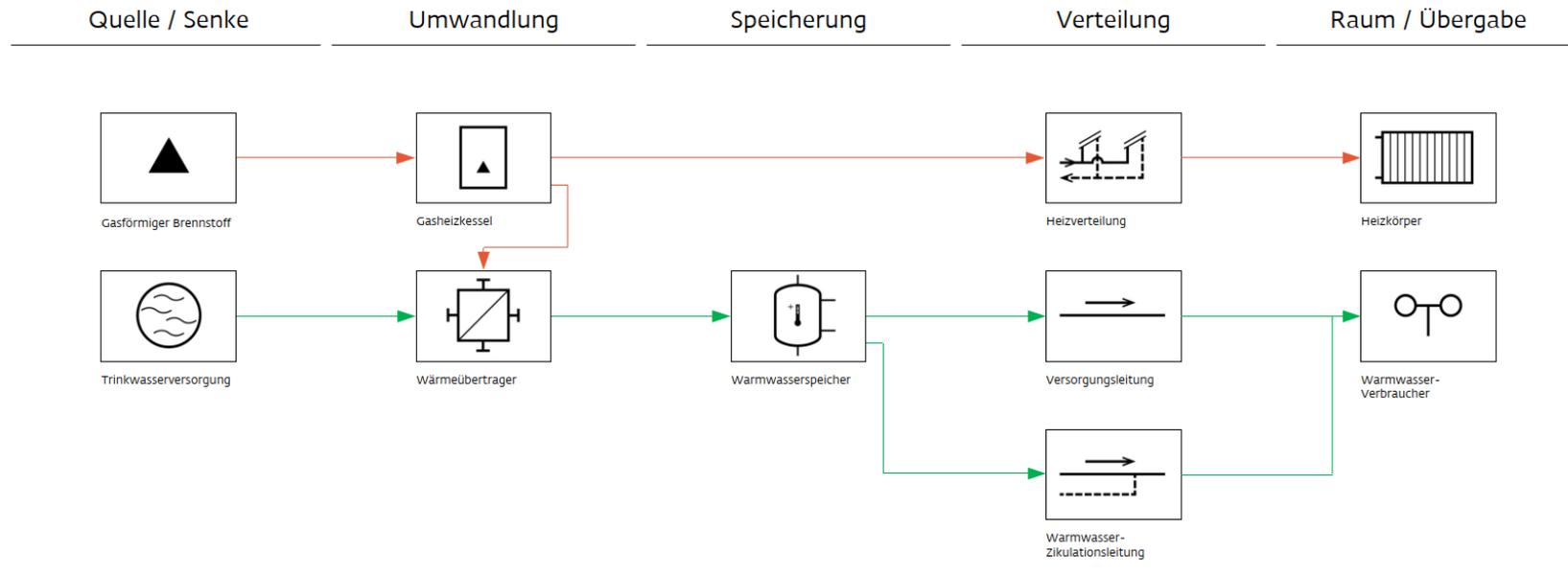
Diese Variante wird nicht in Erwägung gezogen und dient lediglich zum Vergleich zur bestehenden Wärmeerzeugung.

Wie bereits unter Abschnitt 2.1 Ausgangslage beschrieben ist ein 1:1-Ersatz von fossilen Heizsystem aufgrund des neuen Energiegesetzes nicht möglich. Zur vertieften Prüfung wurde für die Liegenschaft das EXCEL-Tool EN-LCC-ZH Heizkostenrechner, welches vom Kanton Zürich zur Prüfung bereitgestellt wird, angewendet.

Die Prüfung ergab für ein negatives Feedback bezüglich der Möglichkeit zum 1:1 Ersatz der Gaskessel.

Abbildung 6: Energiefluss Variante 1

Schema Energieverlauf



4.5. Variante 2: Aussenluft Wärmepumpe

Diese Variante sieht den Wärmeerzeugersersatz durch zwei Split-Luft/Wasser-Wärmepumpe vor, um die benötigte Heizleistung im Winter sicherzustellen. Eine Split-Ausführung bedeutet, dass der Lüfter der Wärmepumpe im Aussenbereich aufgestellt und mittels Hauseinführungsleitungen das Kältemittel zum Innengerät geführt wird.

Die neuen Komponenten werden innerhalb der bestehenden Heizzentralen der des Gebäudes aufgestellt und direkt in die bestehende Wärmeverteilung eingebunden. Die Ausseneinheiten könnten im Aussenbereich auf, der den Strassen abgewandten Seite hinter der Liegenschaft platziert werden. Eine mögliche, grobe Positionierung ist im Grundrissplan im Anhang ersichtlich.

4.5.1. Vorteile

Die Vorteile dieser Variante liegen in den tiefen CO₂-Emissionen sowie Betriebskosten, da die Energie- sowie Unterhaltskosten eher gering sind im Vergleich zu anderen Heizsystemen. Ebenfalls handelt es sich um eine Standardlösung, welche heutzutage in vielen Liegenschaften verbaut wird. Für die Warmwasserproduktion ausserhalb der Heizperiode profitiert man von einem effizienten Betrieb der Wärmepumpe aufgrund der erhöhten Aussenlufttemperaturen.

4.5.2. Nachteile

Die Nachteile dieser Variante liegen in den hohen Investitionskosten sowie den Kosten für die Schallschutzmassnahmen. Es muss sichergestellt werden, dass die Schallemissionen die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten. Dies lässt sich v. A. durch folgende Massnahmen erreichen:

- Sinnvolle Positionierung der Ausseneinheiten
- Auswahl geräuscharmer Wärmepumpe
- Bauliche Schallschutzmassnahmen (z.B. Verkleidung WP)

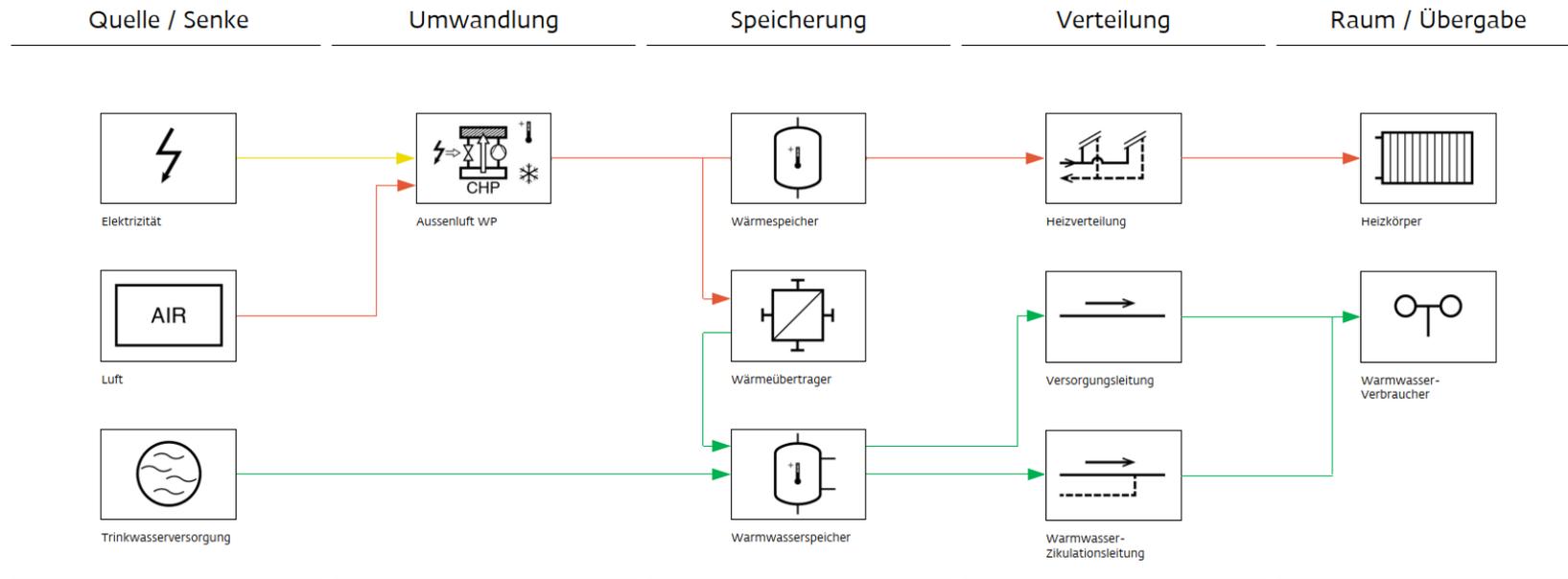
Im Rahmen des Vorprojekts ist ein Schallschutznachweis zu erstellen, um die aufgrund des gewählten Wärmepumpen-Fabrikats, effektiv notwendigen Massnahmen zu definieren.

4.5.3. Anmerkung zur Absenkung der Vorlauftemperaturen

Die bestehende Anlage und Einstellungen wurden bereits in zwei Schritten einer energetischen Betriebsoptimierung unterzogen. Die Vorlauftemperaturen müssen trotzdem mit 65°C gefahren werden. Dies ist bei der Auswahl der Wärmepumpe genau betrachtet werden.

Abbildung 7: Energiefluss Variante 2

Schema Energieverlauf



4.6. Variante 3: Pellets-Heizung

Diese Variante sieht den Wärmeerzeugersersatz durch eine Pellets-Heizung vor. Um die benötigte Wärmeerzeugerleistung im Winter zu gewährleisten, werden zwei separate Heizkessel in Kaskade vorgesehen. Dabei wird der Kessel mit der geringeren Leistung für den Sommerfall ausgelegt.

Dies bedeutet, dass ausserhalb der Heizperiode für die Brauchwarmwassererzeugung ein einzelner Kessel ausreicht, welcher jedoch in einem effizienten, hohen Betriebspunkt läuft, anstatt dass ein einzelner leistungsstärkerer Kessel im Teillastbetrieb betrieben wird.

Die neuen Heizkessel werden innerhalb der bestehenden Heizzentralen der Liegenschaft aufgestellt und direkt in die bestehende Wärmeverteilung eingebunden.

Das Pelletslager wird im Nebenraum (ehemaliger Öltankraum) auf der gegenüberliegenden Seite der Aussentreppe erstellt. Die grobe Positionierung ist im Grundrissplan im Anhang ersichtlich.

4.6.1. Vorteile

Holz stellt als einheimischer und CO₂ neutraler Energieträger eine im Vergleich zu importierten, fossilen Energieträger attraktive Energiequelle dar.

Durch die Aufteilung der Wärmeerzeugung auf zwei Erzeuger lassen sich die Anlagen im Teillastbetrieb auf eine tiefere Leistung regulieren und weisen so weniger Ein- und Ausschaltzyklen auf, was bei einer Holzverbrennung essenziell ist.

4.6.2. Nachteile

Die Nachteile einer Pellets-Heizung liegen in den erhöhten Investitionskosten, dem grossen Platzbedarf durch die Notwendigkeit eines separaten Pellets-Lagers, sowie dem erhöhten Wartungsaufwand von Holzheizungen.

Bei der Beschaffung der Pellets ist darauf zu achten, dass lokal hergestellte Pellets verwendet werden. Werden die Pellets über weite Strecken aus dem Ausland angeliefert führt dies zu indirekten CO₂-Emissionen.

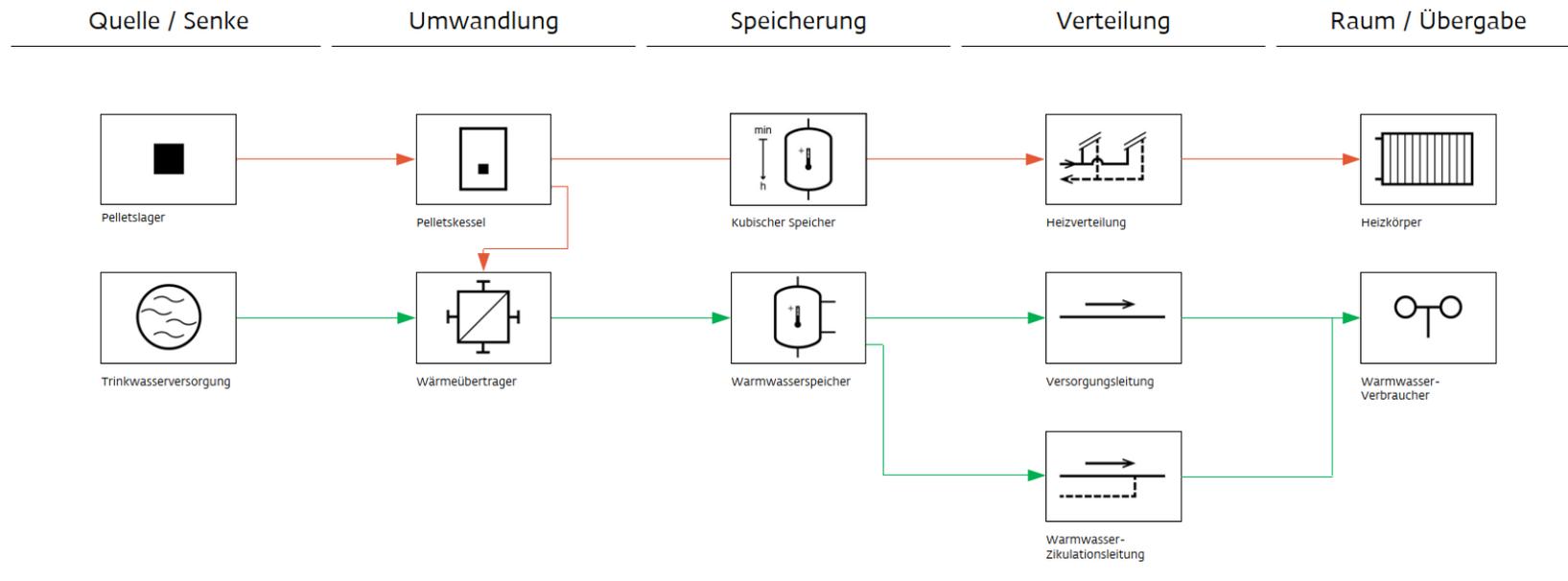
Aufgrund der Vorgabe des AWEL, welche für Holzfeuerungen bis 500 kW Nennwärmeleistung ein Speichervolumen von minimal 25l/kW vorsieht, muss für diese Variante ein Speicher mit 3075 Liter Inhalt erstellt werden. Da neben den beiden neu zu erstellenden Heizkesseln ein solcher Speicher zu gross für die Heizzentrale wäre, müsste eine Fläche von ca. 2m² vorgesehen werden. Ein möglicher Aufstellungsort für den Speicher wäre der Ladenkeller im UG.

4.6.3. Anmerkung zur Holzfeuerung

Grundsätzlich ist Holz ein einheimischer und CO₂-neutraler Energieträger. Hingegen sind die ökologisch und ökologisch verfügbare Menge an nachhaltig nachwachsendes Holz in der Schweiz bereits zu 80% ausgeschöpft. Die Holzfeuerung soll somit nur im Ausnahmefall erfolgen. Zudem bietet Holz hohe Vorlauftemperaturen, welche dringend in der Industrie benötigt wird. Daher soll für die Versorgungssicherheit der Schweiz kein Holz für die Beheizung von Gebäuden benutzt werden.

Abbildung 8: Energiefluss Variante 3

Schema Energieverlauf



5. Vergleich der Varianten

5.1. Ökonomischer Vergleich

Die Resultate des Variantenvergleiches ergeben, dass die Variante 2 Aussenluft-Wärmepumpe über eine Betrachtungsdauer von 25 Jahren die kostengünstigste Option für den Wärmeerzeugersersatz darstellt.

Zwar ergeben sich durch die darin vorgesehenen Wärmepumpen, sowie die Lärmschutzmassnahmen höhere Investitionskosten, diese können jedoch durch die nur geringfügig notwendigen Eingriffe am und im Gebäude und Heizsystem sowie über die Energiekosten kompensiert werden.

Sollte in Zukunft auf dem Dach der Liegenschaft eine Photovoltaikanlage gebaut werden, könnten dadurch die Energiekosten durch eine Nutzung des selbst produzierten Stroms teilweise vom schwankenden Strompreis entkoppelt werden.

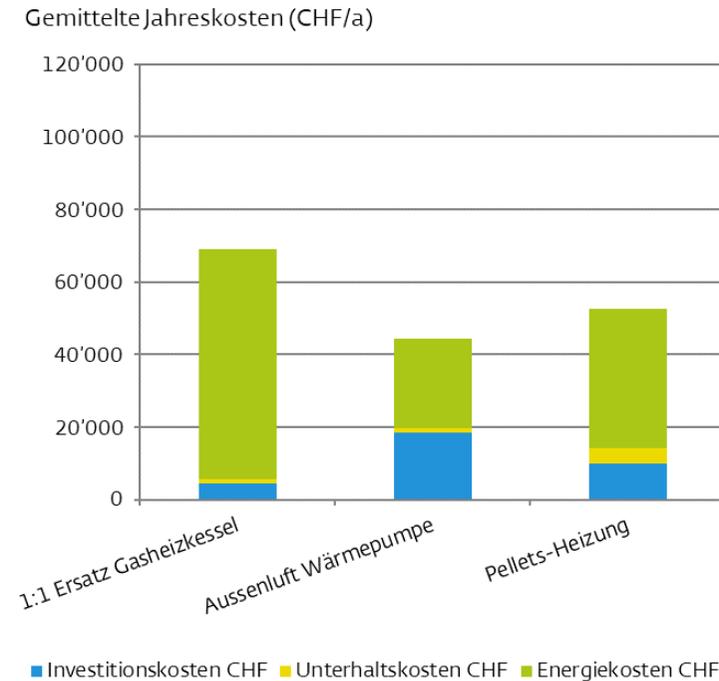
5.1.1. Fördergelder

In nachfolgender Tabelle sind die in den jeweiligen Varianten berücksichtigten Fördergelder abgebildet. Diese entsprechend dem heutigen Stand und können bei einer Umsetzung in der Zukunft abweichen.

| Variante | möglicher Förderbetrag | Förderung |
|----------------------------|------------------------|-------------|
| V2 – Aussenluft-Wärmepumpe | 63'000 CHF | Klimaprämie |
| V3 – Pellets-Heizung | 63'000 CHF | Klimaprämie |

Eine Übersicht zu den möglichen Fördergeldrechnern von Energiezukunftschweiz (Klimaprämie) sowie den daraus resultierenden Beträgen befindet sich im Anhang dieses Dokuments.

Abbildung 9: Gemittelte Jahreskosten pro Variante

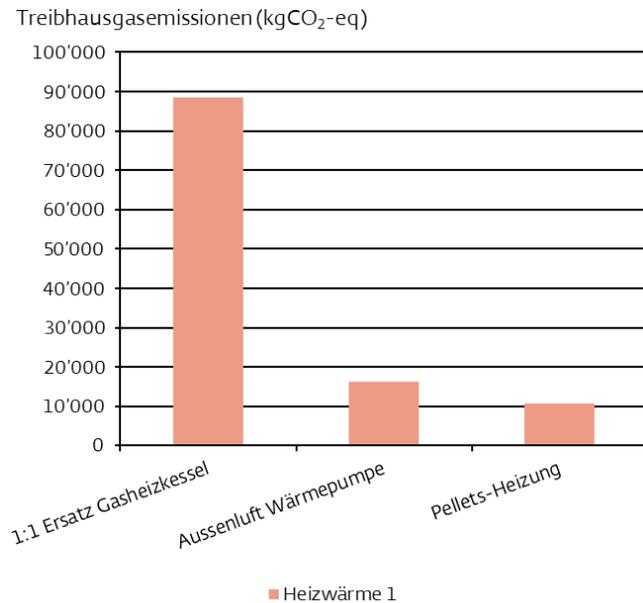


5.2. Ökologischer Vergleich

Im ökologischen Vergleich schliessen Variante 2 & 3 deutlich besser ab, als die Vergleichsvariante 1, welche einen 1:1 Ersatz des Gaskessels vorsieht.

Variante 3, welche eine Pelletsfeuerung beinhalten schliesst geringfügig besser ab (ca. 10'969 kg CO₂-eq) als die Variante 2 (ca. 16'310 kg CO₂-eq), welche zur Wärmebereitstellung auf Wärmepumpen zurückgreifen. Die THG-Emissionen für die Pellets-Variante wurden für lokale Pellets berechnet. Sollte dies bei der Beschaffung nicht so berücksichtigt werden, steigen die Emissionen entsprechend an.

Abbildung 10: CO₂-Ausstoss pro Variante



5.3. Empfehlung

Aufgrund der durchgeführten Variantenstudie empfiehlt Lemon Consult für den Ersatz des Wärmeerzeugers die Variante 2 Aussenluft-Wärmepumpe.

Der Wärmeerzeugersersatz durch Luft-Wasser-Wärmepumpen ist eine vielfache und bewährte Option, welche sich durch niedrige Betriebs- und Wartungskosten sowie geringe CO₂-Emissionen auszeichnet.

Im Vergleich zur Variante 3, welche eine Pelletsfeuerung vorsieht schneidet Variante 2 über den Betrachtungszeitraum nicht nur aus ökonomischer Sicht besser ab, sondern benötigt auch deutlich weniger Platz und Betriebsaufwände wie Pelletslieferungen und Wartung. Zudem sollte aufgrund der knappen Ressourcen keine Gebäude mit Holz beheizt werden.

6. Energie-Politische-Studie: Vorgezogener Heizgruppenersatz

6.1. Kostenentwicklung aufgrund vorgezogenem Heizgruppenersatz

Im Zuge der Energie-Politischen-Studie *Vorgezogener Heizgruppenersatz* wurde geprüft, ob es bei Liegenschaften mit mehreren Heizgruppen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist, vorgängig einen Heizgruppenersatz inkl. eBO vorzunehmen.

Dafür wurden vor der Heizperiode 2023/2024 Energy Valves der Marke Belimo mit Optimierungsfunktion in den Heizgruppen der Liegenschaft verbaut. An der Zweierstrasse wurden im Zuge der Studie die Investitionskosten für eine Variante zentrale Wärmepumpe mit Aussenluft (Abbildung 11) und eine Sole-Wasser Wärmepumpe (Abbildung 12) abgeschätzt. Bei der Wärmepumpenlösung mit Aussenluft lassen sich die Investitionskosten durch die Optimierungsfunktion des Belimo Energy Valves gegenüber eines 1:1-Ersatzes (bezogen auf die Leistung) mehr als halbieren. Im Fall einer Lösung mit Erdsonde liegt die Einsparung an Investitionskosten bei 68 %. Bei beiden Varianten lohnt sich die Optimierung gegenüber der reinen Messung, vor allem bei der Wärmepumpenlösung mit Erdsonde kann durch eine kürzere Sondenlänge CHF 140'000.- oder 15 % an Investitionen gesenkt werden.

Die Mehrkosten der Planung fallen bei beiden Lösungen nicht gross ins Gewicht und betragen rund CHF 7'000.-.

Anmerkung Erdwärmesonden

In dieser Untersuchung wurde die EWS-Lösung als zusätzliche Variante aufgenommen, um die Einsparpotentiale aufzuzeigen. Hingegen ist die EWS-Lösung in der Siedlung Zweierstrasse nicht zulässig und wurde somit im vorderen Teil dieser Dokumentation nicht erwähnt.

Abbildung 11: Ersatzinvestitionen durch Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft

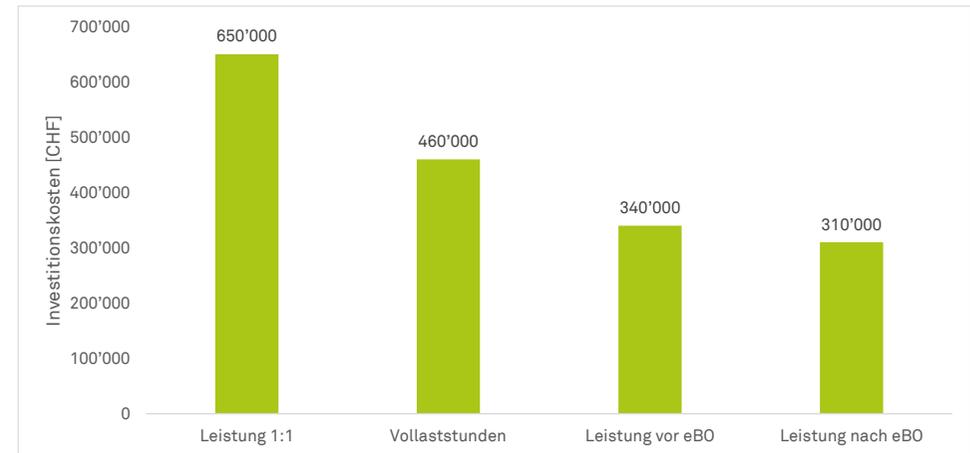
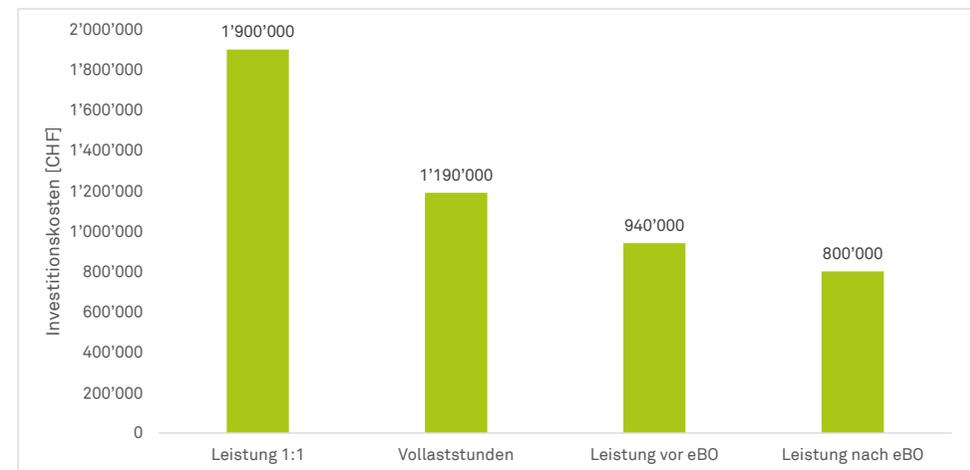


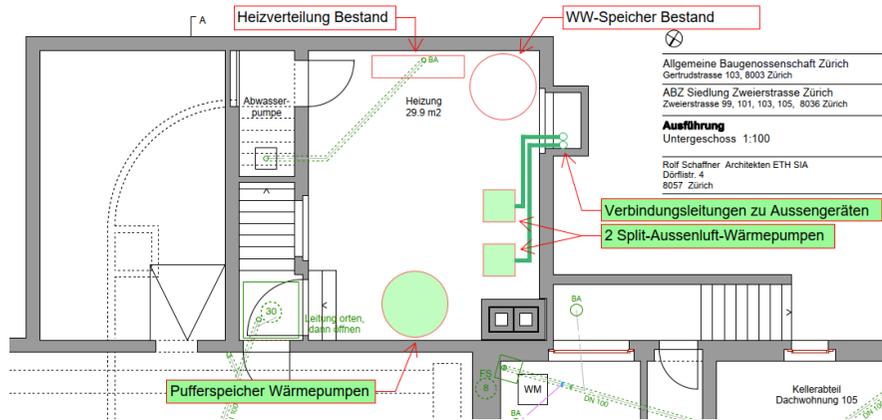
Abbildung 12: Ersatzinvestitionen durch Erdwärmesonden-Wärmepumpe



7. Anhang

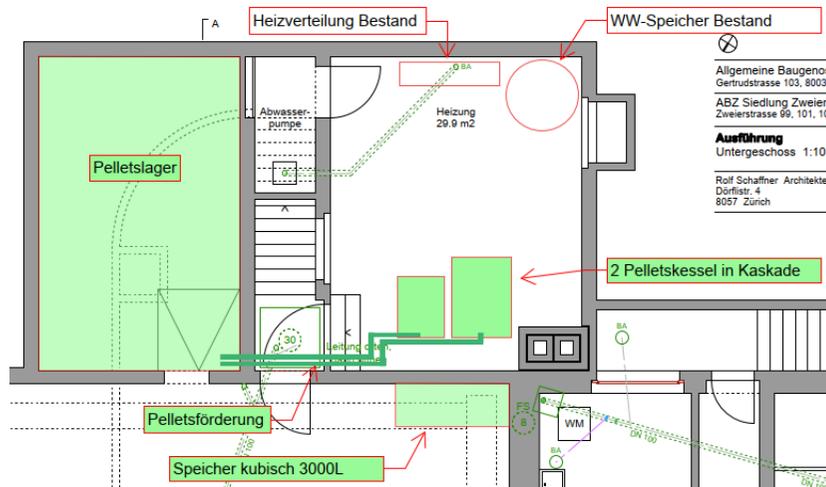
7.1. Mögliche Aufstellsituation Variante 2

Abbildung 13: Mögliche Aufstellsituation Variante 2



7.2. Mögliche Aufstellsituation Variante 3

Abbildung 14: Mögliche Aufstellsituation Variante 3



7.3. Abklärung Fördergelder Klimaprämie

Abbildung 15: Auszug Förderrechner Klimaprämie Heizungsersatz

Förderrechner

Kanton: Zürich

Technologie bestehende Heizung: Gas

Jahresverbrauch: 350449 kWh

Wärme-Art: Komfortwärme (Raum & Wass)

Technologie neue Heizung: Luft/Wasser Wärmepumpe

Klimaprämie berechnen

✓ Klimaprämie
Voraussichtlich beträgt die Klimaprämie zwischen **CHF 56'772.74 und CHF 69'388.90.**

Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen in Ihrem Kanton ist eine vertiefte Abklärung nötig. Gerne informieren wir Sie nach dem Einreichen Ihres Antrags individuell über das weitere Vorgehen und angepasste Zahlungsmodalitäten.

⚠ In nicht vermieteten Liegenschaften sind ab April 2023 nur Wärmepumpen grösser als 50 kW durch unser Programm förderbar. Für Mietliegenschaften gibt es keine Untergrenze.

Förderrechner

Kanton: Zürich

Technologie bestehende Heizung: Gas

Jahresverbrauch: 350449 kWh

Wärme-Art: Komfortwärme (Raum & Wass)

Technologie neue Heizung: Holzheizungen (Pellet, Schnitt)

Klimaprämie berechnen

✓ Klimaprämie
Voraussichtlich beträgt die Klimaprämie zwischen **CHF 56'772.74 und CHF 69'388.90.**

Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen in Ihrem Kanton ist eine vertiefte Abklärung nötig. Gerne informieren wir Sie nach dem Einreichen Ihres Antrags individuell über das weitere Vorgehen und angepasste Zahlungsmodalitäten.

7.4. Kostenzusammenstellung

| Variante LW-WP | | Leistung 1:1 | | Leistung vor eBO | | Leistung nach eBO | |
|------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--|
| Position | System / Arbeitsgattung | 250 kW | 130 kW | 75 kW | 60 kW | | |
| Wärmequellen, -senken, Lager | Hauseinführung (Splitgeräte) | CHF 11'400.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | | |
| Wärmequellen, -senken, Lager | Lärmschutzmassnahme (Aussengeräte) | CHF 50'200.00 | CHF 37'650.00 | CHF 25'100.00 | CHF 25'100.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Wärmepumpe 65 kW | CHF 118'459.59 | CHF 69'535.34 | CHF 43'459.59 | CHF 32'209.59 | | |
| Wärmeerzeugung | Wärmepumpe 65 kW | CHF 118'459.59 | CHF 69'535.34 | CHF 43'459.59 | CHF 32'209.59 | | |
| Wärmeerzeugung | Rohrleitung gedämmt inkl. Montage | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Heizgruppe gedämmt inkl. Montage | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | | |
| Wärmespeicherung | Heizungsspeicher | CHF 12'000.00 | CHF 9'000.00 | CHF 6'000.00 | CHF 6'000.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Transport und Aufstellung neuer Erzeuger | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | | |
| Demontage | Demontagarbeiten Bestandesanlage | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | | |
| Demontage | Rückbau Gasanschluss | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | | |
| Mobile Heizung | Mobile Heizung während Umbau | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | | |
| Elektro | Rückbau und Ausbau Hausanschluss EWZ inkl. Gr | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | | |
| Bauliches | Bauliches | CHF 19'224.96 | CHF 11'861.95 | CHF 9'884.96 | CHF 8'759.96 | | |
| Elektro | Elektro/GA | CHF 96'124.80 | CHF 64'252.23 | CHF 49'424.80 | CHF 43'799.80 | | |
| Planung | Planungshonorare | CHF 140'732.44 | CHF 112'031.41 | CHF 80'022.44 | CHF 72'709.94 | | |
| Total gerundet | | CHF 650'000.00 | CHF 460'000.00 | CHF 340'000.00 | CHF 310'000.00 | | |

| Variante EWS-WP | | Leistung 1:1 | | Leistung vor eBO | | Leistung nach eBO | |
|------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--|
| Position | System / Arbeitsgattung | 250 kW | 130 kW | 75 kW | 60 kW | | |
| Wärmequellen, -senken, Lager | Hauseinführung (Grabarbeiten) | CHF 375'000.00 | CHF 252'000.00 | CHF 180'000.00 | CHF 150'000.00 | | |
| Wärmequellen, -senken, Lager | EWS | CHF 687'500.00 | CHF 462'000.00 | CHF 330'000.00 | CHF 275'000.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Wärmepumpe 65 kW | CHF 118'459.59 | CHF 56'497.47 | CHF 43'459.59 | CHF 32'209.59 | | |
| Wärmeerzeugung | Wärmepumpe 65 kW | CHF 118'459.59 | CHF 56'497.47 | CHF 43'459.59 | CHF 32'209.59 | | |
| Wärmeerzeugung | Rohrleitung gedämmt inkl. Montage | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | CHF 5'700.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Heizgruppe gedämmt inkl. Montage | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | CHF 21'000.00 | | |
| Wärmespeicherung | Heizungsspeicher | CHF 12'000.00 | CHF 7'800.00 | CHF 6'000.00 | CHF 6'000.00 | | |
| Wärmeerzeugung | Transport und Aufstellung neuer Erzeuger | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | CHF 9'600.00 | | |
| Demontage | Demontagarbeiten Bestandesanlage | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | CHF 5'760.00 | | |
| Demontage | Rückbau Gasanschluss | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | CHF 1'920.00 | | |
| Mobile Heizung | Mobile Heizung während Umbau | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | CHF 2'000.00 | | |
| Elektro | Rückbau und Ausbau Hausanschluss EWZ inkl. Gr | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | CHF 28'000.00 | | |
| Bauliches | Bauliches | CHF 69'269.96 | CHF 40'613.95 | CHF 33'844.96 | CHF 28'469.96 | | |
| Elektro | Elektro/GA | CHF 346'349.80 | CHF 203'069.75 | CHF 169'224.80 | CHF 142'349.80 | | |
| Planung | Planungshonorare | CHF 466'024.94 | CHF 282'914.93 | CHF 235'762.44 | CHF 200'824.94 | | |
| Total gerundet | | CHF 1'900'000.00 | CHF 1'190'000.00 | CHF 940'000.00 | CHF 800'000.00 | | |

Rotachquartier Variantenvergleich

Version 1.1 | Konzept | Stand: 31.10.2024



Impressum

Objekt

Rotachquartier
8003 Zürich

Auftraggeber

Baugenossenschaft Rotach Zürich
Marc Stotz
Gertrudstrasse 69
8003 Zürich

BFE – Bundesamt für Energie
Energie Schweiz
3063 Ittigen

Auftragnehmer

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
8006 Zürich
Tel. +41 44 200 77 44

Sebastian Teutloff
Cyril Keller, BSc ZFH Energie- und Umwelttechnik

Projektleiter
Fachingenieur

Dokument

24394_BE_Variantenvergleich_20241030.docx

Zürich, 31.10.2024

Besten Dank an EnergieSchweiz für den Anstoss des Projekts sowie die finanzielle Unterstützung.

Mit Unterstützung von



1. Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Möglichkeiten der Wärmeerzeugung ausgearbeitet hinsichtlich Energieeinsparung wie auch der Ökologie und Wirtschaftlichkeit.

Folgende Wärmeerzeugungsvarianten wurden untersucht:

-Variante 1: 1:1 Ersatz Gasheizkessel (Vergleichsvariante)

-Variante 2: Zentrale L/W-WP

-Variante 3: Fernwärme

Aufgrund der durchgeführten Variantenstudie empfiehlt Lemon Consult für den Ersatz des Wärmeerzeugers die Variante 2 zentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Der Wärmeerzeugersersatz durch eine Wärmepumpe ist eine vielfach bewährte Option, welche sich durch niedrige Betriebs- und Wartungskosten sowie geringe CO₂-Emissionen auszeichnet.

Im Vergleich zur Variante 3 schneidet Variante 2 über den Betrachtungszeitraum nicht nur aus ökonomischer, sondern auch ökologischer Sicht besser ab.

Vor einem zukünftigen Ersatz muss auf jeden Fall sichergestellt werden, dass die Schallemissionen die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten, da sich die Anlage mitten in einem bewohnten Quartier befindet. Falls die Ausseneinheit der Wärmepumpe aufdach erstellt wird, ist zudem eine statische Prüfung der Gebäudesubstanz unerlässlich.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Die Wohnsiedlung im Besitz der Baugenossenschaft Rotach befindet sich im nördlichen Teil von Wiedikon und setzt sich überwiegend aus der Nutzung Wohnen zusammen. Die Wohnsiedlung wird in diesem Bericht als *Rotachquartier* bezeichnet und besteht komplett aus Reihen-Mehrfamilienhäuser.

Die Siedlung besteht seit über 100 Jahren und widerspiegelt sich demzufolge in den Gebäudehüllen der total 36 Häuser. Bis anhin wurde keine wesentliche energetische Sanierung durchgeführt. Eine Ausnahme bildet hierbei der 2021 durchgeführte Fensterersatz im ganzen Quartier. Das Rotachquartier verfügt über eine zentrale Wärmeerzeugung, in welcher auch das Warmwasser aufbereitet wird. Die Heizwärme wird über ein Fernleitungsnetz den verschiedenen Unterstationen zugeführt, von wo aus dem grössten Teil der Gebäude versorgt werden. Das Warmwasser wird ebenfalls über ein Fernleitungsnetz den einzelnen Gebäuden zugeführt und mittels einem Zirkulationssystem hochgehalten. Alle Fernleitungen verlaufen nebst den Strassenquerungen im Erdreich auch über die Kellerräume der Gebäude.

2.2. Zielsetzung

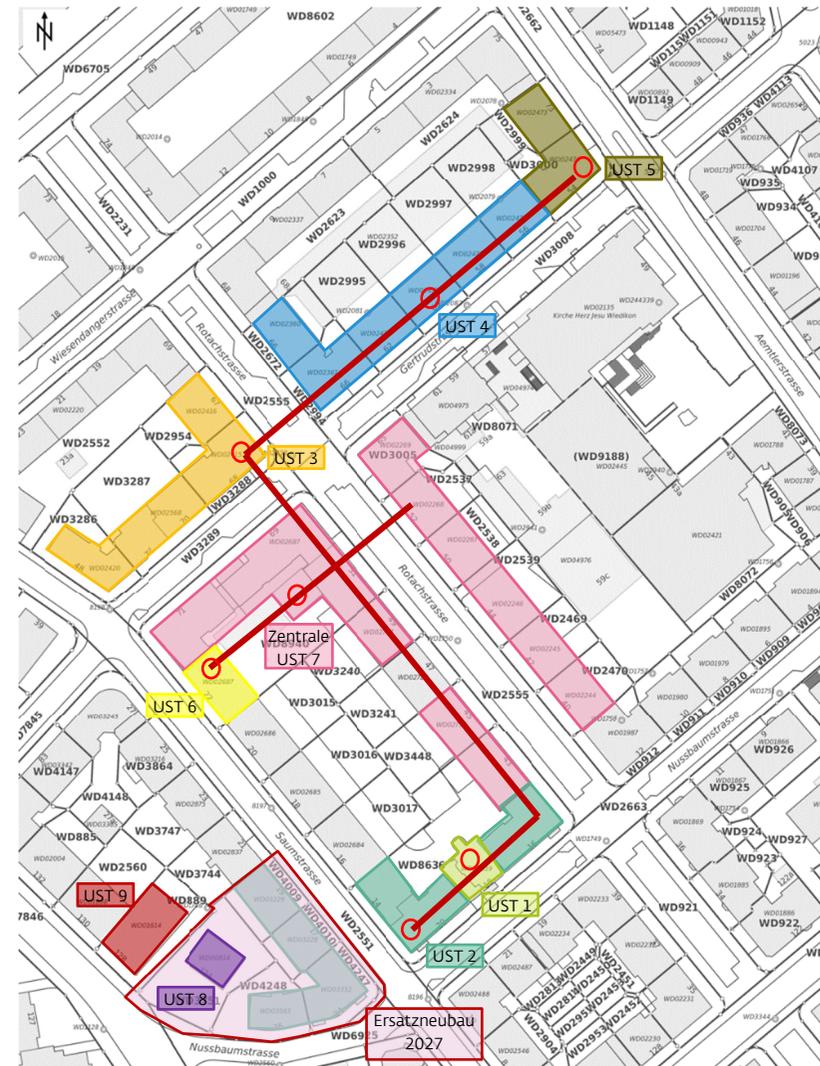
Ziel ist die bestehende Gasheizung mit einer möglichst ökologischen Wärmeerzeugung zu ersetzen. Der Bericht soll verschiedene Möglichkeiten der Wärmeerzeugung aufzeigen.

2.3. Übersicht Areal / Gebäude

Die folgende Tabelle sowie die Karte zeigt die Wärmeverteilung.

| | |
|---|--|
|  | Unterstation 1 (Hausnummer 18) |
|  | Unterstation 2 (Hausnummer 14, 16, 17, 19, 20, 24, 26) |
|  | Unterstation 3 (Hausnummer 48, 67, 68, 70, 72) |
|  | Unterstation 4 (Hausnummer 56, 58, 60, 62, 66, 66) |
|  | Unterstation 6 (Hausnummer 22) |
|  | Unterstation 5 (Hausnummer 73, 54) |
|  | Unterstation 7, Hauptzentrale (Hausnummer 40, 42, 44, 43, 50, 52, 65, 45, 49, 51, 69, 71) |
|  | Unterstation 8 (Hausnummer 124) eigene Wärmeerzeugung (Gas) |
|  | Unterstation 9 (Hausnummer 128) eigene Wärmeerzeugung (Öl) |
|  | Fernleitungsnetz Rotachquartier |
|  | Ersatzneubau Nussbaumrank (Realisierung 2027) |

Abbildung 1: Übersicht Areal Rotachquartier



3. Grundlagen

3.1. Anlagezustand

Die Heizzentrale weist über beinahe alle Anlageteile ein älteres Baujahr auf. Die Betriebssicherheit ist aktuell noch gegeben. Bei Ausfall von Komponenten besteht die Möglichkeit des Handbetriebs und eines Ersatzes innert nützlicher Frist (mit Ausnahme der Wärmeerzeugung, da ein 1:1-Ersatz in Zürich untersagt ist). Die Heizgruppen wurden im Rahmen dieses Projekt ersetzt und sind somit neu.

Tabelle 1: technische Lebensdauer von Anlagen und Komponenten

| Anlage/ Komponente/ | Alter | Ø Lebens- dauer ¹ | Empfehlung |
|---|--------|---------------------------------|---|
| Heizkessel 1: 1165kW | 27 | 20 – 25 | Zeitnaher Ersatz |
| Heizkessel 2: 1165kW | 27 | 20 – 25 | Zeitnaher Ersatz |
| Kaminanlage | - | 40 - 60 | Keine Kaminanlage in Zukunft nötig |
| Expansionsanlage | Ca. 24 | 25 – 30 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung |
| Wärmetauscher Warmwasser (WW) 700kW | 9 | 20 – 25 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung, da die bestehende Leistung zu gross ist. |
| Warmwasserspeicher 5.7 m ³ | 37 | 40 - 60 | Beurteilung Innenleben bei Heizungs- umbau |
| Warmwasserspeicher 5.7 m ³ | 37 | 40 - 60 | Beurteilung Innenleben bei Heizungs- umbau |
| Umwälzpumpen | 1 - 10 | 15 – 25 | Die alten unregelmässigen Pumpen wurden im Zuge dieses Projektes ersetzt |
| Rohrleitung | - | 30 – 40 | Keine Massnahmen |
| Regelventile | 1 | 15 – 20 | Ersatz bei Defekt |
| Unterstation 1 - 8 | 26 | 20 | Ersatz bei Defekt |
| Rohrleitungsdämmung | 37 | 40-60 | Ersatz bei Defekt / Nachrüsten bei Um- bau Wärmeerzeugung |
| Brenner Kessel 1/2 | Ca. 14 | 15 - 20 | Ersatz bei Defekt |
| Regulierung Heizzent- rale | Ca. 14 | 15 - 20 | Ersatz bei Umbau Wärmeerzeugung |

¹ Richtwerte stammen aus der SIA 382/1 und IP Bau – Unterhaltskosten

3.2. Auslegungsgrundlagen

Folgende Daten zeigen die Grundlage für die zukünftige Heizungsanlage.

3.2.1. Gebäude

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|------------------------------------|------|---------|
| Standorthöhe Rotachquartier Zürich | 414 | m.ü.M |

3.2.2. Norm-Klimadaten (SIA 2028)

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|--|------------|---------|
| Massgebende Klimastation | Zürich SMA | - |
| Norm-Aussentemperatur der Klimastation (Heizung) | -8 | °C |
| Höhe der Klimastation | 556 | m.ü.M |

3.3. Energiekenndaten

Tabelle 2: Endenergie-Kenndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

| Betriebsjahr | Brennstoff | Verbrauch [L] | Endenergie [kWh/a] |
|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------|
| 2014 / 2015 | Heizöl | 3'700 | 36'674 |
| 2015 / 2016 | Heizöl | 11'510 | 114'087 |
| 2016 / 2017 | Heizöl | 14'400 | 142'732 |
| 2017 / 2018 | Heizöl | 104 | 1'031 |
| 2018 / 2019 | Heizöl | 20'921 | 207'369 |
| Total | Anteil Heizöl | | 501'894 |
| 2014 / 2015 | Erdgas | - | 4'029'992 |
| 2015 / 2016 | Erdgas | - | 3'919'292 |
| 2016 / 2017 | Erdgas | - | 4'071'789 |
| 2017 / 2018 | Erdgas | - | 4'182'538 |
| 2018 / 2019 | Erdgas | - | 3'935'385 |
| Total | Anteil Erdgas | | 20'138'996 |
| Total | Über 5 Jahre | | 20'640'890 |
| Durchschnitt | Über 5 Jahre | - | 4'128'200 |

Tabelle 3: Nutzenergie-Kenndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

| Betriebsjahr | Nutzenergie [kWh/a] |
|----------------------------------|------------------------|
| 2014 / 2015 | 3'559'810 |
| 2015 / 2016 | 3'232'437 |
| 2016 / 2017 | 3'410'664 |
| 2017 / 2018 | 3'875'339 |
| 2018 / 2019 | 3'477'858 |
| Total | 17'556'108 |
| Durchschnitt über 5 Jahre | 3'509'000 |
| Anteil Raumheizung | 2'929'000 |
| Anteil Warmwasser | 580'000 |

3.4. Fernleitungsverluste Raumheizung

Nachfolgende Tabelle zeigt den überschlagsmässigen Fernleitungsverlust, welcher auf Seite Heizung angenommen werden kann. Aufgrund der Leistungsmessung des Zirkulationsverlustes, gehen wir davon aus, dass ein ähnlicher Wert angenommen werden kann. Bei der Begehung der Anlage wurde auch festgestellt, dass die Installationen nicht überall gedämmt waren, daher der hohe Verlust. Weiter ist aus der Leistungsmessung der Raumheizung ersichtlich, dass auch bei hohen Aussentemperaturen noch ein hoher Leistungsbedarf vorhanden ist. Somit wird daraus geschlossen, dass im Fernleitungsnetz hohe Wärmeverluste bestehen.

Tabelle 4: Schätzung Fernleitungsverluste Heizung

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|------------------------------------|----------------|--------------|
| TOTAL geschätzter Leistungsverlust | 65 | kW |
| Leistungsverlust pro Meter | Ca. 65 | W/m |
| Jährliche Betriebsstunden Heizung | 2'700 | h/a |
| Jährlicher Energieverlust | 175'000 | kWh/a |

3.5. Fernleitungsverluste Warmwasser

Nachfolgende Tabelle zeigt den überschlagsmässigen Fernleitungsverlust, welcher auf Seite Warmwasser angenommen werden kann.

Tabelle 5: Schätzung Fernleitungsverluste Warmwasser

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|--|----------------|--------------|
| TOTAL Zirkulationsverluste | 55 | kW |
| Leistungsverlust pro Meter | Ca. 55 | W/m |
| Jährliche Betriebsstunden | 8760 | h/a |
| Jährlicher Energieverlust Zirkulation | 482'000 | kWh/a |

3.6. Auswertung und Leistungsbestimmung Raumheizung (Stand 2020)

Während der Messdauer bewegten sich die Aussentemperaturen zwischen 0°C und +18 C, womit ein breites Leistungsspektrum abgedeckt werden kann. Mit der Leistungskennlinie kann man das Verhältnis der benötigten Heizleistung zur Aussentemperatur der Anlage darstellen, welches in der Abbildung 2 abgebildet ist. Anhand der ausgewerteten Daten resultiert bei einer Norm-Aussentemperatur von -8°C eine Leistung von 760kW, welche sich auf die Leistung der Raumheizung bezieht. Die Warmwasseraufbereitung ist in dieser Leistung nicht enthalten.

Tabelle 6: Leistungszusammenstellung Raumheizung

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|---|------------|-----------|
| Leistung Raumheizung Abbildung 2) – nicht rote Trendlinie | 760 | kW |
| Einsparung durch Fensterersatz (5%) | 40 | kW |
| Leistung Raumheizung | 720 | kW |

Abbildung 2: Leistungskennlinie Heizung während Tagesbetriebszeit (1h-Werte gemittelt)

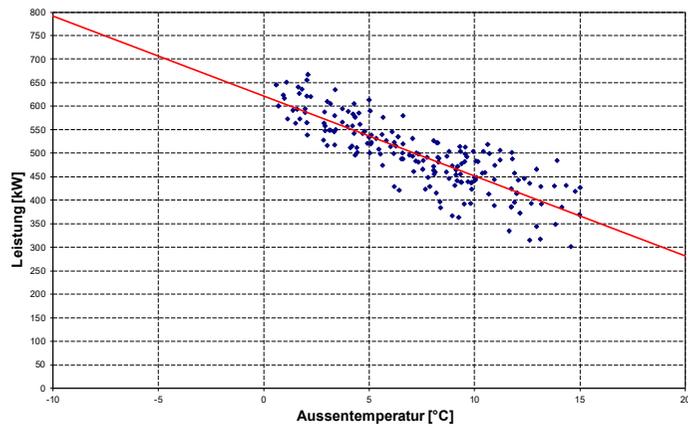
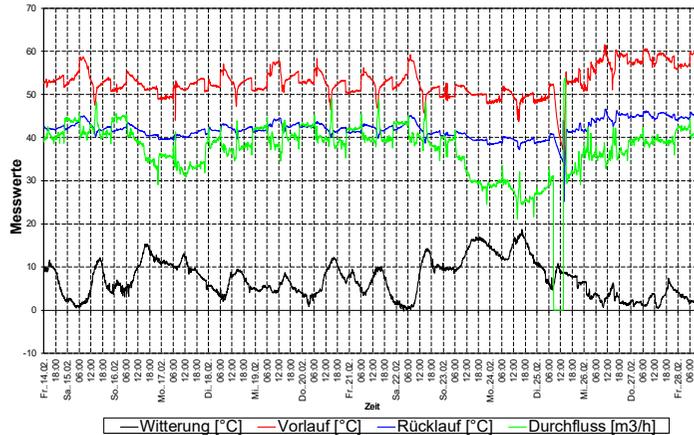


Abbildung 3: Messwerte Heizung



3.7. Auswertung und Leistungsbestimmung Warmwasser

Für die Messung des Warmwasserbedarfs wurde der Kaltwassereintritt zum Warmwasserspeicher gemessen. In der Abbildung 4 ist der tägliche Warmwasserbedarf ersichtlich, wobei sich dieser zwischen 32m³/d und 36.5m³/d bewegt. Aufgrund der Messung kann man davon ausgehen, dass der durchschnittliche tagesverbrauch bei rund 35m³/d liegt. Das installierte Speichervolumen der zwei Warmwasserspeicher liegt bei 11.4m³, was rund einem Drittel des Tagesbedarfs

entspricht. Aus der Abbildung 5 ist der 10-Minütige Spitzenbedarf des Warmwassers ersichtlich und wird grundsätzlich morgens zwischen 07:00 Uhr und 08:00 Uhr gezapft. Die Abbildung 6 zeigt die Messwerte vom Zirkulationsverlust in der Höhe von rund 55 kW über das gesamte Warmwassernetz.

Tabelle 7: Zusammenstellung Angaben Warmwasser

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|---|------------|-------------------|
| Tagesbedarf Warmwasser | 35 | m ³ /d |
| Leistungsverlust Zirkulation | 55 | kW |
| Leistungsbedarf Warmwassererwärmung | 200 | kW |
| Gewählte Leistung Warmwasser total | 250 | kW |

Abbildung 4: Messwerte Tagesverbrauch Warmwasser

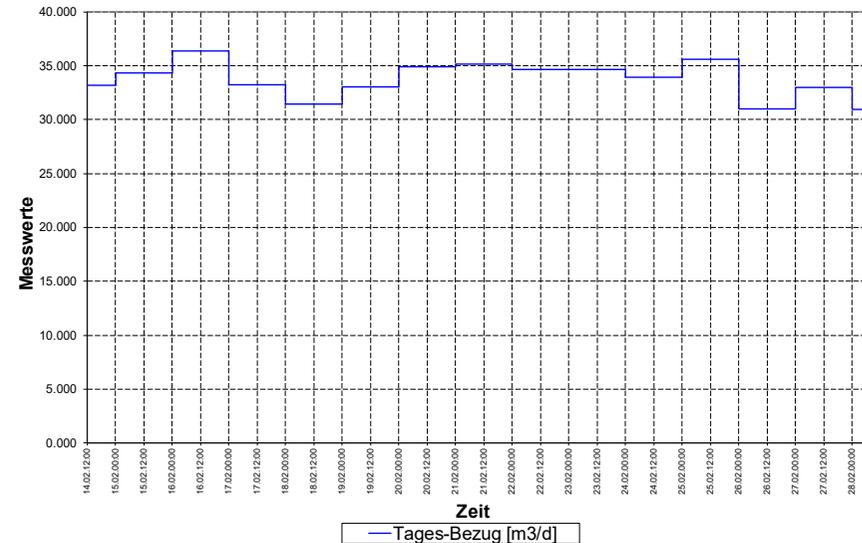


Abbildung 5: Messwerte 10min-Spitzenbedarf Warmwasser

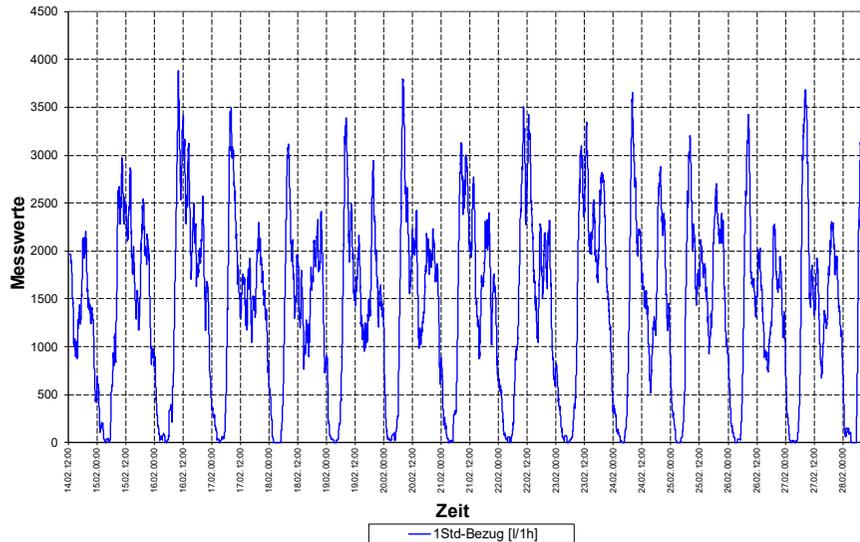
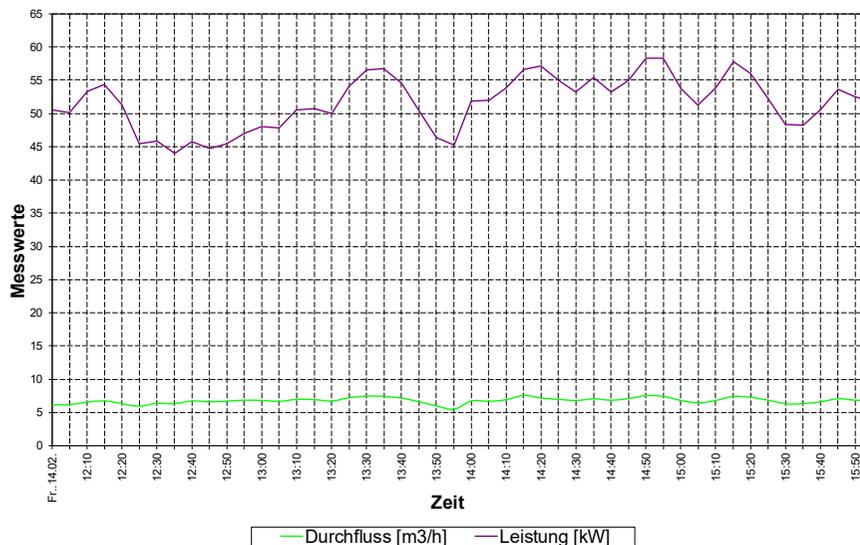


Abbildung 6: Messwerte Zirkulationsverluste



3.8. Auswertung und Leistungsbestimmung Raumheizung (Stand 2023/2024)

Im Zuge dieses Projektes wurden die Messungen aus dem Jahre 2020 mit den Energy Valve wiederholt. Die vorgängige Messung konnte ohne energetische Betriebsoptimierung bestätigt werden. Hingegen wurden die Messungen in den einzelnen Unterstationen / Heizgruppen vorgenommen und somit die Fernleitungsverlust nicht erfasst und zudem wurde in der Zwischenzeit im ganzen Quartier die Fenster ersetzt.

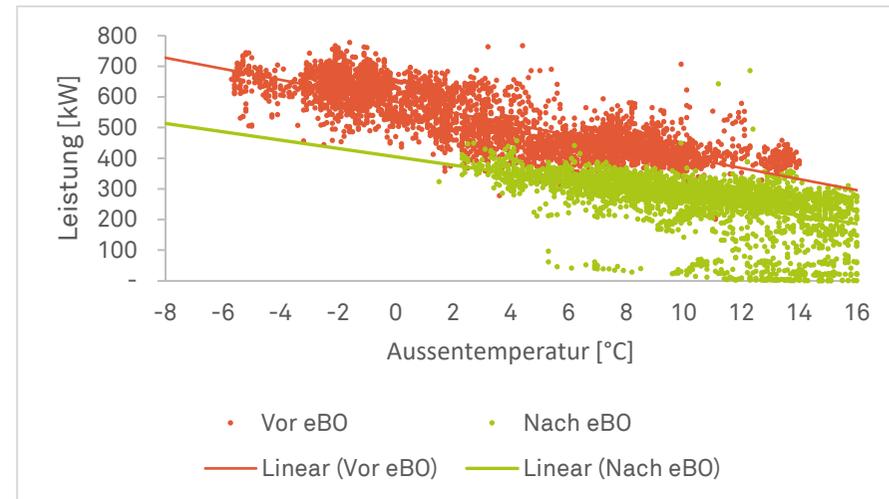
Die Messungen fanden während folgenden Perioden statt:

Messperiode 1: 27.12.2023 bis 25.01.2024 (vor eBO)

Messperiode 2: 18.03,14.04 bis 14.04.2024 (nach eBO)

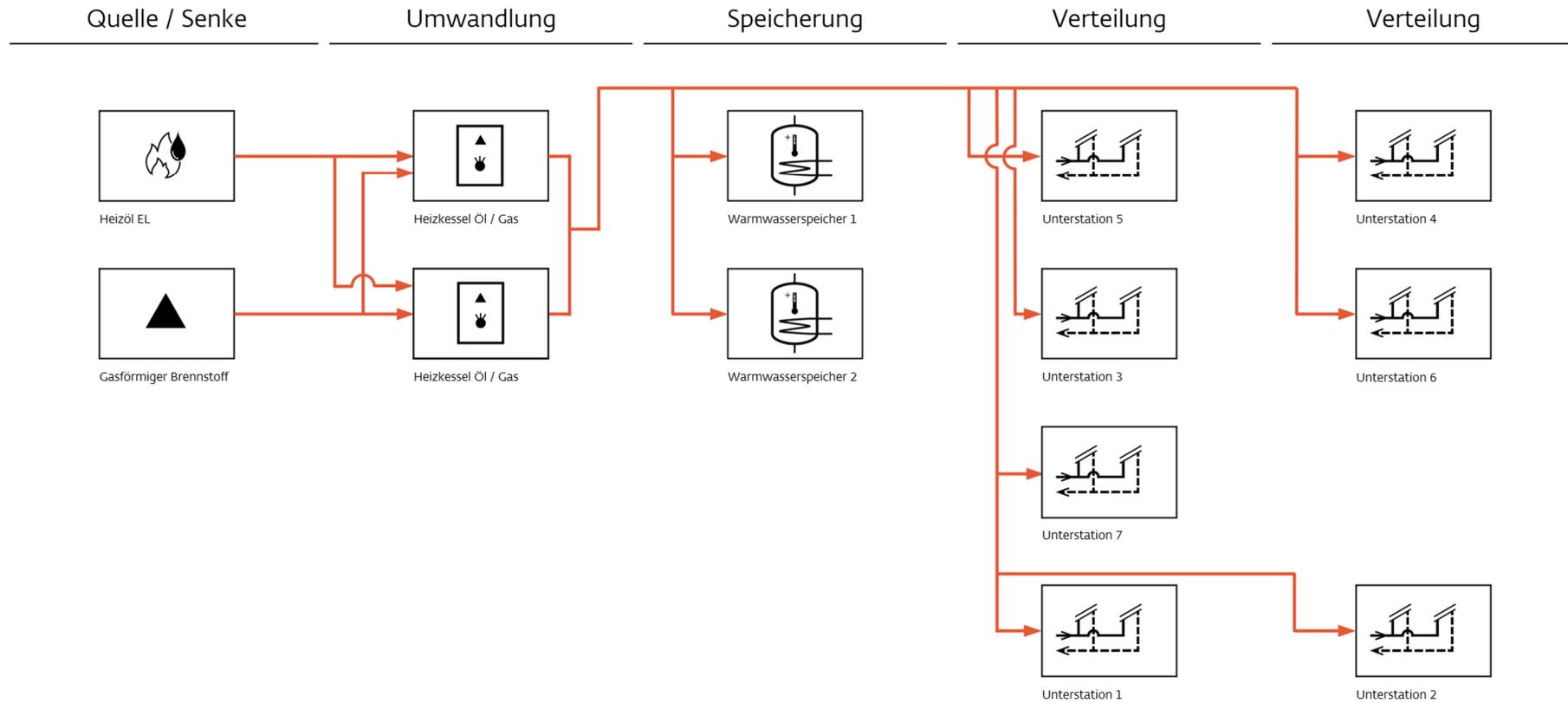
Nach der energetischen Betriebsoptimierung wurde die Heizleistung auf knapp oberhalb einem halben Megawatt gesenkt (-30%, grüne Punkte/Trendline).

Abbildung 7: Heizleistung vor und nach der energetischen Betriebsoptimierung



3.9. Energiefluss Ist-Situation

Abbildung 8: Energiefluss Ist-Situation

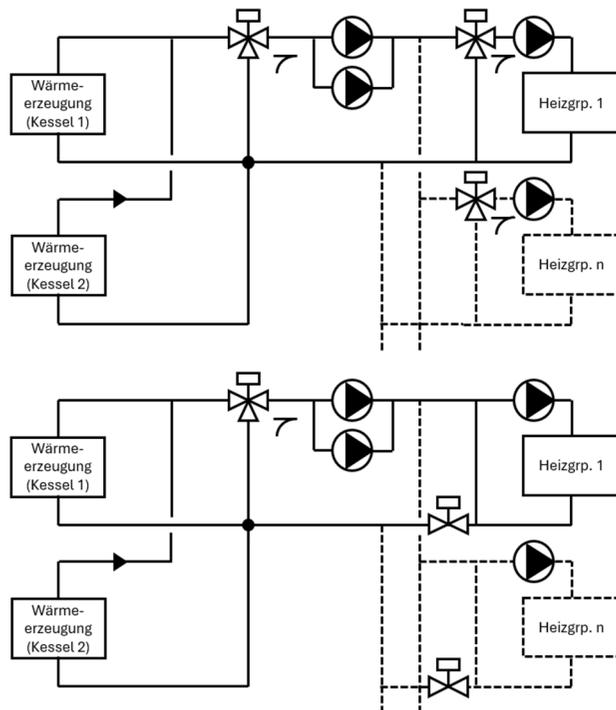


3.10. Hydraulik

Für einen einwandfreien Betrieb des Energy Valve wurde die hydraulische Schaltung von einer Beimischschaltung auf eine Einspritzschaltung angepasst. Die obigen Messungen wurden somit mit einer Einspritzschaltung gemessen. Die folgende Abbildung zeigt hierbei schematisch die verwendeten Schaltungen vor (oben) und nach (unten) der Anpassung.

Nach der Wärmeerzeugung ist eine Vormischung (auf Aussentemperatur geregelt) für das Fernwärmenetz verbaut, welche in diesem Projekt nicht angefasst wurde. Die einzelnen Heizgruppen in den Unterstationen wurden mit den Energy Valve's umgerüstet.

Abbildung 9: Hydraulische Schaltung



3.11. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO)

Die energetische Betriebsoptimierung mit den Energy Valve hebt sich von einer klassischen energetischen Betriebsoptimierung ab. Da die Ventile sogleich eine Durchfluss- / Wärmemessung enthalten, kann zusätzlich auf solche zugegriffen werden. Die Vorgehensweise bei der Optimierung erfolgte in 3 Schritte:

1. Zunächst wurden die Ventile auf den Betriebsmodus *Positionsregelung* eingestellt. Hierbei reagiert das Ventil nur auf die externe Ansteuerung, und somit wie ein übliches Heizungsventil, somit wird die Vorlauftemperatur aufgrund der Aussentemperatur geregelt.
2. Die Messdaten wurden ausgewertet und der maximale Volumenstrom am Auslegungspunkt (in Zürich: -8°C) wurde eruiert.
3. Abschliessend wurde der eruierte Volumenstrom als maximaler Volumenstrom gesetzt und die Regelung auf den Betriebsmodus *Volumenstromregelung* gesetzt. Hierdurch wird der Volumenstrom bei reduzierten Heizbetrieb ebenfalls reduziert. Dadurch wird auch die Rücklauftemperatur gesenkt und somit auch die Verluste auf der Rücklaufleitung. Im Vergleich zu einer klassischen Heizgruppe ist zusätzlich der hydraulische Abgleich instantan und nicht einmalig eingestellt, was bei grösseren Verteilsystemen die Rücklauftemperaturen / Verluste weiter reduziert, ohne dass die Bewohner davon etwas mitbekommen.

Auf eine weitere Optimierung der Heizkurven (z. B. Vorlauftemperatur geregelt auf die Aussentemperaturen) wurde in diesem Projekt verzichtet, da die Bau-gesellschaft Rotach bereits grossen Wert auf sauber eingestellte Heizsysteme setzt. Somit sind die erneuten Einsparungen lediglich auf die Regelmöglichkeiten der Energy Valve zurückzuführen. Zudem ist zu erwähnen, dass kein:e Bewohner:in der 340 Wohnungen wegen ungenügender Wärmeversorgung reklamiert hat!

4. Varianten

4.1. Grundlagen Variantenvergleich²

Folgende Tabelle zeigt die angenommenen wirtschaftlichen Parameter für den Variantenvergleich.

| Bezeichnung | Wert | Einheit |
|--------------------------------------|-------|---------|
| Kapitalzins | 3.00 | % |
| Jährliche Teuerung | 2.00 | % |
| Elektrizität HT (ewz.nature) | 23.89 | Rp/kWh |
| Elektrizität NT (ewz.nature) | 15.62 | Rp/kWh |
| Erdgas inkl. CO ₂ -Abgabe | 10.55 | Rp/kWh |
| Biogas inkl. CO ₂ -Abgabe | 15.10 | Rp/kWh |
| Jahresnutzungsgrad Heizkessel Gas | 95.00 | % |
| Fernwärme | 10.50 | Rp/kWh |
| COP Wärmepumpe Aussenluft | 3.00 | - |

4.2. Abgrenzungen

4.2.1. Unterstation 8 & 9 (Hausnummer 128 & 124)

Die beiden Hausnummern mit je einer eigenen Wärmeerzeugung werden im Bericht nicht berücksichtigt. Die Hausnummer 124 würde in das Konzept des Nussbaumranks integriert werden.

4.2.2. Warmwassererwärmung

Es wird in allen Varianten mit einer zentralen Warmwassererwärmung gerechnet.

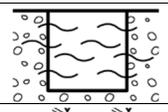
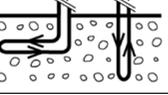
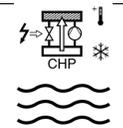
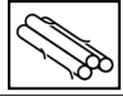
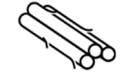
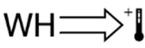
4.2.3. Fernleitungen (Variante Fernwärme)

Es wird davon ausgegangen, dass eine einzelne grosse Fernwärme-Übergabestation in der heutigen Hauptzentrale errichtet wird, und die Unterstationen über das bestehende Fernleitungsnetz bewirtschaftet werden. Es ist nicht angedacht die einzelnen Unterstationen mittels Fernwärme separat zu erschliessen.

² Alle Kosten exkl. MwSt

4.3. Untersuchung Energieträger

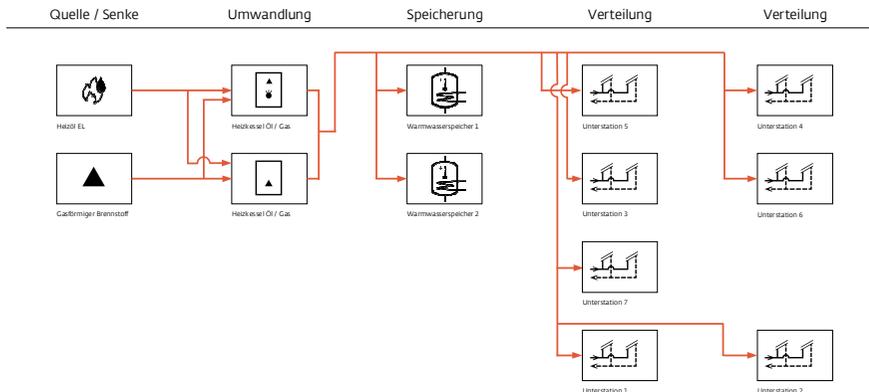
Tabelle 8: Machbarkeitsanalyse der Energieträger

| Energieträger | Symbol | Vorteil | Nachteil | Empfehlung/ Verfügbarkeit | Wunsch Bauherr |
|-------------------------|---|---|---|--|---|
| Heizöl |  | <ul style="list-style-type: none"> - Bestehende Infrastruktur - Gute Verfügbarkeit - Tiefe Investitionskosten | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe CO₂-Emissionen - Schwankende Ölpreise - In Zürich nicht mehr erlaubt | <ul style="list-style-type: none"> ✗ In Zürich verboten, somit keine Option mehr | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Erdgas |  | <ul style="list-style-type: none"> - Mittlere Investitionskosten - Gute Verfügbarkeit - Tiefe Investitionskosten | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe CO₂-Emissionen - Schwankende Gaspreise - In Zürich nicht mehr erlaubt | <ul style="list-style-type: none"> ✗ In Zürich verboten, somit keine Option mehr | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein, dient nur als Vergleichsvariante zu Ist-Zustand |
| Biogas |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Anteil Biogas wählbar | <ul style="list-style-type: none"> - Steigende Gaspreise, weil Nachfrage steigt und bereits heute sehr hoch | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Möglichkeit bei einem 1:1-Ersatz CO₂ einzusparen | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Grundwasser |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben über die Ergiebigkeit - Hohe Investitionskosten | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nach Abklärung mit AWEL nicht empfohlen aufgrund zu geringer Ergiebigkeit. | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Erdsonden |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Investitionskosten - Schwäre Zugänglichkeit zum Hinterhof | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nur geringe Teildeckung möglich. | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Aussenluft |  | <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten | <ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten - Baulicher Aufwand | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Grundsätzlich zentral möglich ✓ Problematik Schall, Statik ist zu berücksichtigen | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ja |
| Fernwärme |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Keine Wartung an Energieerzeugung | <ul style="list-style-type: none"> - tiefe Investitionskosten - hohe Betriebskosten - Anschlusshorizont 2035 - 2040 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Als zentrale Energieerzeugung möglich. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ja |
| Holzpellets |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff | <ul style="list-style-type: none"> - Mässige Investitionskosten - Wartungsaufwand - Anlieferung / Platzbedarf Silo | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nicht möglich Aufgrund der Platzverhältnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Holzsplitzel |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff | <ul style="list-style-type: none"> - Mässige Investitionskosten - Wartungsaufwand - Anlieferung / Platzbedarf Silo | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nicht möglich Aufgrund der Platzverhältnisse | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |
| Abwärmee-nutzung |  | <ul style="list-style-type: none"> - Neutrale CO₂-Emissionen - kostenloser Energieträger | <ul style="list-style-type: none"> - keine Verfügbarkeit vorhanden | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nicht möglich, da keine Quellen vorhanden | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Nein |

4.4. Variante 1: 1:1 Ersatz durch 100% Erdgas (Vergleichsvariante)

Diese Variante wird nicht in Erwägung gezogen und dient lediglich zum Vergleich zur bestehenden Wärmeerzeugung.

Abbildung 10: Energiefluss Variante 1



4.5. Variante 2: Zentrale L/W-WP

Diese Variante sieht den Wärmeerzeugersersatz durch eine zentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe in Split-Ausführung vor. Eine Split-Ausführung bedeutet, dass der Lüfter der Wärmepumpe im Aussenbereich aufgestellt und mittels Hauseinführungsleitungen mit dem Innengerät verbunden wird.

Ein möglicher Aufstellort für das Aussengerät wäre die Flachdachfläche der Gebäude an der Gertrudstrasse 69 und 71 oder allenfalls notgedrungen im Innenhof.

Die restlichen Komponenten werden innerhalb der bestehenden Heizzentrale aufgestellt und direkt in die bestehende Wärmeverteilung eingebunden.

4.5.1. Vorteile

Die Vorteile dieser Variante liegen in den tiefen CO₂-Emissionen sowie Betriebskosten, da die Energie- sowie Unterhaltskosten eher gering sind im Vergleich zu anderen Heizsystemen. Für die Warmwasserproduktion ausserhalb der Heizperiode profitiert man von einem effizienten Betrieb der Wärmepumpe aufgrund der erhöhten Aussenlufttemperaturen.

4.5.2. Nachteile

Die Nachteile dieser Variante liegen in den hohen Investitionskosten sowie den Kosten für die Schallschutz- und Baumassnahmen. Es muss sichergestellt werden, dass die Schallemissionen die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten und die Last der Ausseneinheit (bei aufdach) vom Gebäude getragen werden kann. Dies lässt sich v. A. durch folgende Massnahmen erreichen:

- Sinnvolle Positionierung der Ausseneinheiten (Statik)
- Bauliche Massnahmen (Schallschutz)

Im Rahmen des Vorprojekts ist u. A. ein Schallschutznachweis zu erstellen, um des gewählten Wärmepumpen-Fabrikats, effektiv notwendigen Massnahmen zu definieren.

Abbildung 11: Energiefluss Variante 2

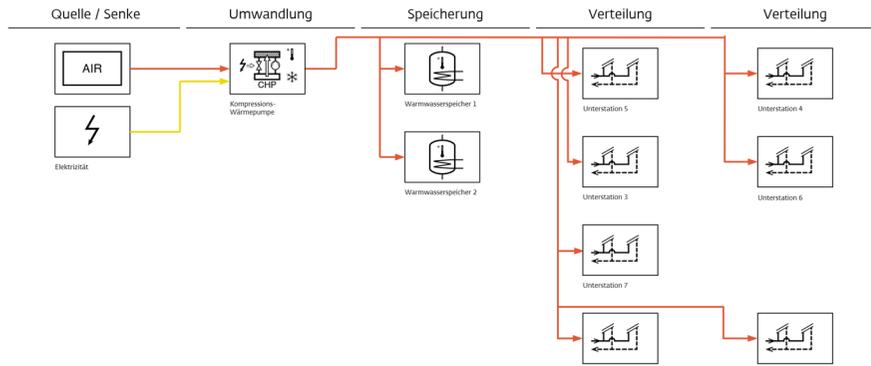
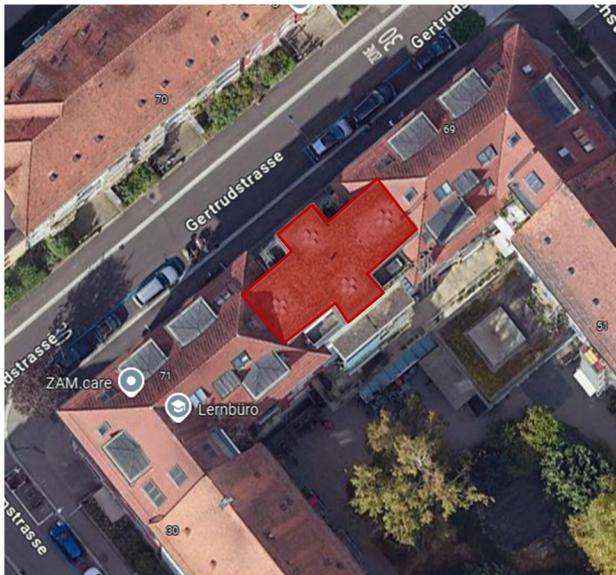


Abbildung 12: Mögliche Aufstellfläche Ausseneinheit L/W-WP Dach Gertrudstrasse 69/71



4.6. Variante 3: Fernwärme

In dieser Variante wird eine zentrale Übergabestation für das Areal errichtet, von welcher die Wärme über das bestehende Fernleitungsnetz in die einzelnen Unterstationen geführt wird.

Es ist zu erwähnen, dass die Machbarkeit des Energieverbundes Sihlfeld-Werd noch in der Prüfung ist. Die Prüfung ist voraussichtlich 2027 abgeschlossen. Der genaue Anschlusszeitpunkt ist somit jedoch noch nicht bekannt. Nach Nachfrage wurde hingegen eher 20240 als ein realistischer Zeithorizont erachtet, was die bestehende und rechtlich nicht ersetzbare Gasheizung sehr wahrscheinlich nicht überbrücken kann.

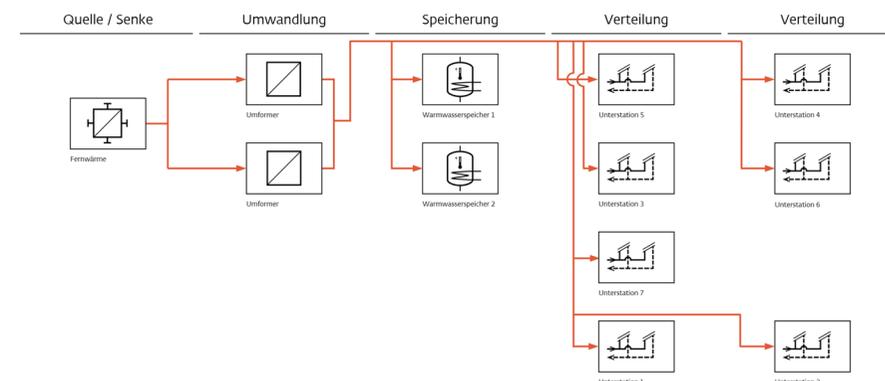
4.6.1. Vorteile

Durch eine Fernwärme-Übergabestation wird die Wärmeerzeugung vereinfacht. Die verhältnismässig kleine Fläche, die dafür benötigt wird, schafft wiederum neue Fläche welche umgenutzt werden kann. Der Unterhalt für Heizkessel, Brenner und Abgasanlagen entfällt vollständig.

4.6.2. Nachteile

Bei dieser Variante resultieren hohe Energiekosten. Die Fernleitungsnetze für Raumheizung und Warmwasser bleiben bestehen mit den damit verbundenen Energieverlusten.

Abbildung 13: Energiefluss Variante 3



5. Vergleich der Varianten

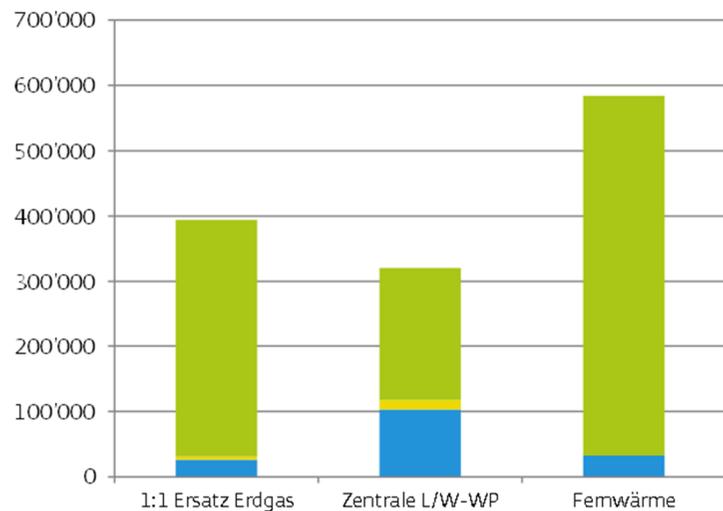
5.1. Ökonomischer Vergleich³

Die Resultate des Variantenvergleiches ergeben, dass die Variante 2 zentrale Aussenluft-Wärmepumpe über die Gesamtbetrachtungsdauer die kostengünstigste Option für den Wärmeerzeugersersatz darstellt.

Zwar fallen dabei höhere Investitionskosten als in den anderen Varianten an, diese können jedoch über die Energiekosten kompensiert werden.

Abbildung 14: Gemittelte Jahreskosten pro Variante

Gemittelte Jahreskosten (CHF/a)



■ Investitionskosten CHF ■ Unterhaltskosten CHF ■ Energiekosten CHF

5.2. Ökologischer Vergleich

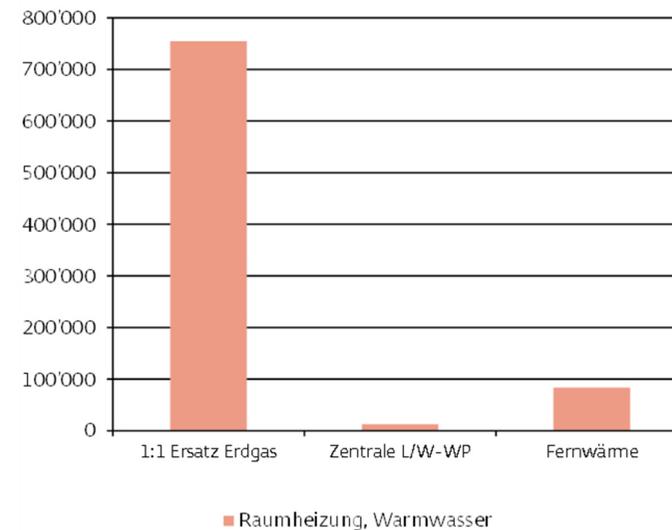
Im ökologischen Vergleich schliessen Variante 2 & 3 deutlich besser ab als die Vergleichsvariante 1, welche einen 1:1 Ersatz der Kessel vorsieht.

Variante 2 schliesst hierbei noch besser als Variante 3 ab, da von einem nachhaltigen Strommix ausgegangen wurde und bei der Fernwärme für die Spitzenlastabdeckung noch mit dem Einsatz von Gas gerechnet werden muss.

Eine genauere Beurteilung für Variante 3 bezüglich der CO₂-Emissionen ist erst nach Abschluss der Planungsphase des Energieverbundes möglich.

Abbildung 15: CO₂-Ausstoss pro Variante

Treibhausgasemissionen (kgCO₂-eq)



³ Alle Kosten exkl. MwSt

6. Empfehlung

Aufgrund der durchgeführten Variantenstudie empfiehlt Lemon Consult für den Ersatz des Wärmeerzeugers die Variante 2 *zentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe*.

Der Wärmeerzeugersersatz durch eine Wärmepumpe ist eine vielfach bewährte Option, welche sich durch niedrige Betriebs- und Wartungskosten sowie geringe CO₂-Emissionen auszeichnet. Es ist hierbei zu erwähnen, dass es sich aufgrund der hohen Leistung, um eine "industrielle" Anlage handelt und somit sich die Planungskosten entsprechen auf die individuelle konstruierte Wärmepumpe widerspiegeln.

Im Vergleich zur Variante 3 schneidet Variante 2 über den Betrachtungszeitraum nicht nur aus ökonomischer, sondern auch ökologischer Sicht besser ab.

Anmerkung

Die statische Integrität der Bausubstanz (bei Aufdach-Variante) sowie der notwendige Schallschutz muss vertiefter in einer Vorstudie beurteilt werden.

7. Energie-Politische-Studie: *Vorgezogener Heizgruppenersatz*

7.1. Kostenentwicklung aufgrund des vorgezogenem Heizgruppenersatz

Im Zuge der Energie-Politischen-Studie *Vorgezogener Heizgruppenersatz*, in welcher die Hypothese getestet wird, ob es bei Liegenschaften mit mehreren Heizgruppen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist eine Optimierung vor dem Ersatz des Wärmereizers vorzunehmen, wurde das in diesem Variantenvergleich betrachtete Rotachquartier ebenfalls untersucht.

Dafür wurden vor der Heizperiode 2023/2024 Energy Valves der Marke Belimo mit zusätzlichen Optimierungsfunktionen in den Heizgruppen der Liegenschaft verbaut. Für das Rotachquartier wurden im Zuge der Studie die Investitionskosten für eine Varianten 1:1 Ersatz mit Erdgas (Abbildung 16, Vergleichsvariante, verboten), einer zentralen Wärmepumpe mit Aussenluft (Abbildung 17, empfohlen) und einem Fernwärmeanschluss (Abbildung 18) abgeschätzt. Bei der Wärmepumpenlösung mit Aussenluft lassen sich die Investitionskosten durch die Optimierungsfunktion des Energy Valves gegenüber eines 1:1-Ersatzes mehr als halbieren. Im Fall einer Lösung mit Fernwärmeanschluss liegt die Einsparung an Investitionskosten bei 43 %. Bei beiden Varianten lohnt sich die Optimierungsfunktion gegenüber der reinen Messung.

7.2. Schlussfolgerung

Der **Ingenieursarbeit-Mehraufwand von rund 10 kCHF** resultieren je nach Varianten bei deutlich **über eine Million CHF Einsparung**. Somit ist das Vorgehen besonders beim Ersatz mittels Wärmepumpen unbedingt anzuwenden und 1 oder 2 Heizperioden vorab die Betriebsoptimierung vorzunehmen.

Abbildung 16: Ersatzinvestitionen bei 1:1 Ersatz Erdgas

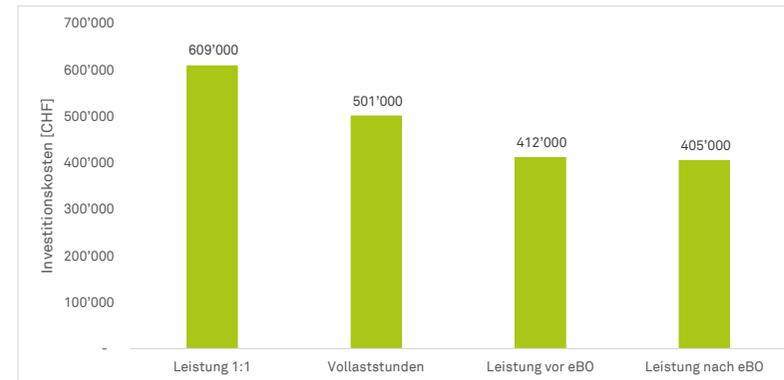


Abbildung 17: Ersatzinvestitionen bei Ersatzvariante L/W-WP zentral

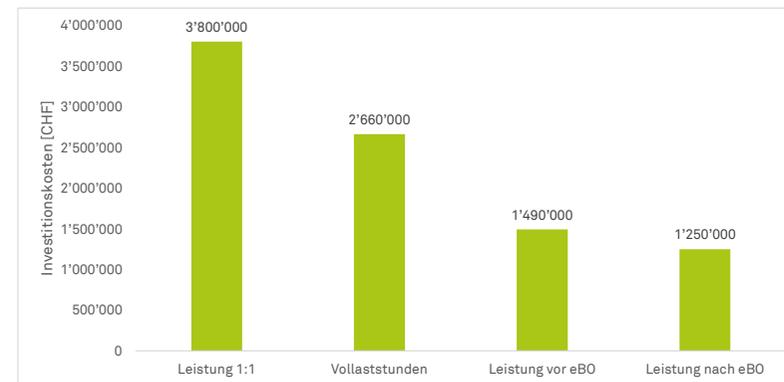
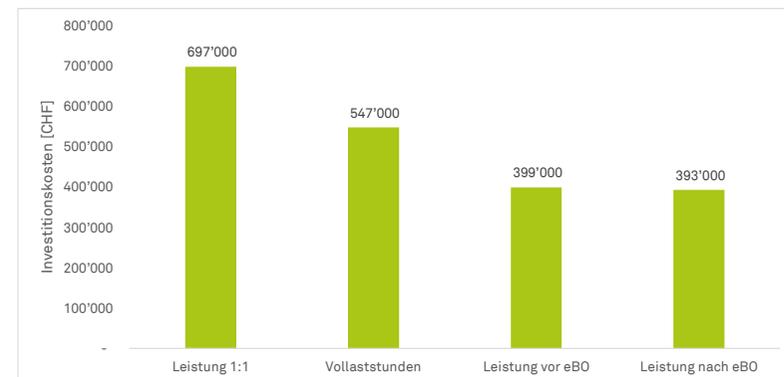


Abbildung 18: Ersatzinvestitionen bei Ersatzvariante Fernwärme



8. Anhang - Kostenzusammenstellung

| Variante Erdgas | | Leistung 1:1 | Volllaststunden | Leistung vor eBO | Leistung nach eBO |
|-------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 2400 kW | 1500 kW | 750 kW | 550 kW |
| Position | System / Arbeitsgattung | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten |
| Wärmeerzeugung | Ersatz Gaskessel | CHF 286'170.00 | CHF 214'627.50 | CHF 143'085.00 | CHF 135'930.75 |
| Wärmeerzeugung | Rohrleitung gedämmt inkl. Montage (inkl. BWW) | CHF 60'000.00 | CHF 48'000.00 | CHF 40'000.00 | CHF 39'999.05 |
| Wärmeerzeugung | Transport/Montage | CHF 17'280.00 | CHF 13'824.00 | CHF 11'520.00 | CHF 11'520.00 |
| Wärmeerzeugung | Erneuerung Gasanschluss | CHF 6'000.00 | CHF 5'500.00 | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 |
| Wärmeerzeugung | Erneuerung Abgasleitung | CHF 30'000.00 | CHF 30'000.00 | CHF 30'000.00 | CHF 30'000.00 |
| Demontage | Demontagearbeiten Bestandanlage | CHF 11'520.00 | CHF 11'520.00 | CHF 11'520.00 | CHF 11'520.00 |
| Demontage | Rückbau Energieversorgung Öl | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 |
| Bauliches | Bauliches | CHF 13'306.25 | CHF 13'306.25 | CHF 13'306.25 | CHF 13'306.25 |
| Elektro | Elektro/GA | CHF 79'837.50 | CHF 66'530.20 | CHF 66'531.25 | CHF 66'531.25 |
| Planung | Planungshonorare | CHF 79'837.50 | CHF 73'184.38 | CHF 66'531.25 | CHF 66'531.25 |
| Total gerundet | | CHF 609'000.00 | CHF 501'000.00 | CHF 412'000.00 | CHF 405'000.00 |
| Variante LW-WP Zentral | | | | | |
| Leistung 1:1 | | Leistung 1:1 | Volllaststunden | Leistung vor eBO | Leistung nach eBO |
| Position | System / Arbeitsgattung | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten |
| Wärmeerzeugung | Luftwärmepumpe inkl. Verrohrung, Montage und Dämmung | CHF 1'788'918.00 | CHF 1'192'612.00 | CHF 596'306.00 | CHF 477'044.80 |
| Wärmeerzeugung | Rückkühlung/Rückwärmung inkl. Verrohrung, Montage und Dämmung | CHF 894'621.00 | CHF 596'414.00 | CHF 298'207.00 | CHF 238'565.60 |
| Wärmeerzeugung | Sturmlüftung Wärmepumpe | CHF 22'200.00 | CHF 20'350.00 | CHF 18'500.00 | CHF 18'500.00 |
| Wärmeerzeugung | Bewilligungsgebühren | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 |
| Demontage | Rückbau Bestandanlage | CHF 50'000.00 | CHF 50'000.00 | CHF 50'000.00 | CHF 50'000.00 |
| Bauliches | Bauliches | CHF 52'500.00 | CHF 42'000.00 | CHF 35'000.00 | CHF 35'000.00 |
| Elektro | Elektro/GA | CHF 726'009.75 | CHF 484'006.50 | CHF 242'003.25 | CHF 193'602.60 |
| Planung | Planungshonorare | CHF 290'403.90 | CHF 266'203.58 | CHF 242'003.25 | CHF 229'903.09 |
| Total gerundet | | CHF 3'830'000.00 | CHF 2'657'000.00 | CHF 1'487'000.00 | CHF 1'248'000.00 |
| Variante Fernwärme | | | | | |
| | | Leistung 1:1 | Volllaststunden | Leistung vor eBO | Leistung nach eBO |
| Position | System / Arbeitsgattung | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten | Investitionskosten |
| Wärmeerzeugung | Übergabestation Fernwärme Sekundär, inkl. Dämmung | CHF 225'000.00 | CHF 180'000.00 | CHF 150'000.00 | CHF 142'500.00 |
| Wärmeerzeugung | Verrohrung Heizverteilung und BWW inkl. Dämmungen | CHF 75'000.00 | CHF 60'000.00 | CHF 50'000.00 | CHF 47'500.00 |
| Elektro | Regulierung | CHF 45'000.00 | CHF 36'000.00 | CHF 30'000.00 | CHF 30'000.00 |
| Wärmeerzeugung | Einmalige Anschlussgebühr | CHF 393'573.00 | CHF 262'382.00 | CHF 131'191.00 | CHF 124'631.45 |
| Elektro | Verdrahtung Heizungsinstallationen | CHF 10'500.00 | CHF 8'400.00 | CHF 7'000.00 | CHF 7'000.00 |
| Elektro | Verdrahtung Sanitärinstallationen | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 | CHF 5'000.00 |
| Demontage | Rückbau Energieversorgung Öl | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 | CHF 25'000.00 |
| Demontage | Rückbau Wärmeerzeugung | CHF 20'000.00 | CHF 20'000.00 | CHF 20'000.00 | CHF 20'000.00 |
| Demontage | Rückbau Abgasanlagen | CHF 10'000.00 | CHF 10'000.00 | CHF 10'000.00 | CHF 10'000.00 |
| Bauliches | Bauliches | CHF 21'409.55 | CHF 21'409.55 | CHF 21'409.55 | CHF 21'409.55 |
| Elektro | Elektro/GA | CHF 64'228.65 | CHF 64'228.65 | CHF 64'228.65 | CHF 64'228.65 |
| Planung | Planungshonorare | CHF 102'765.84 | CHF 94'202.02 | CHF 85'638.20 | CHF 85'638.20 |
| Total gerundet | | CHF 697'000.00 | CHF 547'000.00 | CHF 399'000.00 | CHF 393'000.00 |