

Schlussbericht, 22. Februar 2018

«**Thermische Netze**»

Entscheidungskriterien für die Systemwahl



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Stefan Gemperle, eicher+pauli Liestal AG

Sven Trecco, eicher+pauli Zürich AG

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Zu Händen von:
Joachim Ködel
Hochschule Luzern - Technik und Architektur
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Inhalt

1	Symbole und Abkürzungen.....	4
2	Zusammenfassung	5
3	Ausgangslage.....	7
3.1	Ziel des Arbeitspakets	7
3.2	Vorgehensweise	8
3.3	Fragestellungen.....	8
3.4	Abgrenzungen	9
4	Projektorganisation	9
5	Grundlagen	9
6	Schnittstellen Betrachtung	10
7	Methodik	11
8	Altbau	14
8.1	Perimeter.....	14
8.2	Variantenmatrix	16
8.3	Variante 1 / Altbau / RW zentral / TWW zentral.....	16
8.4	Variante 2 / Altbau / RW zentral / TWW dezentral.....	19
8.5	Variante 3 / Altbau / RW dezentral / TWW dezentral.....	22
8.6	Ergebnisse Altbau	24
9	Neubau	29
9.1	Perimeter.....	29
9.2	Variantenmatrix	30
9.3	Variante A / Neubau / RW zentral / TWW zentral.....	31
9.4	Variante B / Neubau / RW zentral / TWW dezentral.....	34
9.5	Variante C / Neubau / RW dezentral / TWW dezentral.....	37
9.6	Ergebnisse Neubau	39
10	Fazit.....	43
10.1	Investitionen	43
10.2	Energiebedarf.....	43
10.3	Ökologie	44
10.4	Jahreskosten	45
11	Ausblick	46
12	Anhang	47

1 Symbole und Abkürzungen

TWW	Trinkwarmwasser
RW	Raumwärme
VLS	Volllaststunden
Trm	Trassee Meter (Vor- und Rücklauf)
Trkm	Trassee Kilometer (Vor- und Rücklauf)
K	Kelvin
GW	Grundwasser
JAZ	Jahresarbeitszahl
GIS	Geografisches Informationssystem
WP	Wärmepumpe

2 Zusammenfassung

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Erarbeitung von Entscheidungskriterien für die Systemwahl bei Wärmeverbunden.

Untersucht wird die Wärmeerzeugung in einem Altbaugebiet und in einem Neubaugebiet. Beiden Gebieten wird die SIA Nutzung Wohnen MFH zugeschrieben. Bei den Gebieten und den Wärmebezüglern handelt es sich um einen real existierenden Wärmeverbund. Damit wird eine reale Fernleitungstypologie erreicht. In diesen zwei Fernleitungsnetzen ist die lineare Wärmedichte auf 2000 MWh/(Trkm x Jahr) normiert. Die Wärmequelle ist Grundwasser mit einem konstanten Temperaturniveau von 11 °C.

Die zentrale Frage ist: wo findet der Temperaturhub für die Raumwärme und das Trinkwarmwasser statt?

Um dies zu untersuchen, sollen auf dem Altbau- sowie auf dem Neubaugebiet drei Varianten konzipiert werden, die sich durch die Anordnung des Temperaturhubs unterscheiden:

- Heizung zentral / Trinkwarmwasser zentral
- Heizung zentral / Trinkwarmwasser dezentral
- Heizung dezentral / Trinkwarmwasser dezentral

Basierend auf den oben genannten Anforderungen, sind die Varianten technisch phasengerecht konzeptioniert und dimensioniert worden. Es wird der Ansatz State-of-the-Art vertreten. Der technische Teil dient als Grundlage für die Schätzung der Investitionen $\pm 25\%$ sowie der Beurteilung von Wirtschaftlichkeit und Ökologie.

Die Analyse zeigt, dass sich die klassische Variante **Heizung zentral / Trinkwarmwasser zentral** unter den beschriebenen Gegebenheiten im **Altbau** durchsetzt. Der Hauptgrund liegt in der höheren Effizienz der zentralen gegenüber der dezentralen Wärmeaufbereitung für die RW und das TWW.

Bei **Neubauten** setzt sich klar die Variante **Heizung dezentral / Trinkwarmwasser dezentral** durch. Die Hauptgründe sind das Wegfallen einer Energiezentrale, die tiefen Vorlauftemperaturen, welche sich günstig auf die Effizienz und damit auf den Stromverbrauch auswirken und das Wegfallen von thermischen Verteilverlusten aufgrund der kalten Wärmeverteilung.

Folgende weiterführende Fragenstellungen haben sich aus der Bearbeitung ergeben:

- Sensitivitätsanalyse der Ergebnisse
- Heizspeicher und Frischwasserstation versus Warmwassererwärmer
- Verhalten bei Kältebedarf
- Andere Wärmequellen
- Wärmeverluste versus Pumpenstrom
- Risikoanalyse

Résumé

L'objectif de ce lot de travail est de développer des critères de décision pour le choix du système de réseau thermique.

La production et distribution de chaleur a été analysée pour un quartier de vieux bâtiments existants et pour un quartier de bâtiments neufs. Les deux quartiers ont des profils d'utilisation qui correspondent aux profils de la SIA 2024 pour des maisons plurifamiliales. Les zones et les consommateurs de chaleur sont issus d'un réseau de chaleur existant, afin d'obtenir une véritable typologie de tuyauterie. Dans ces deux réseaux de transport calorifique, la densité thermique linéaire est ajustée à 2000 MWh/(km x an). L'eau souterraine représente la source de chaleur avec une température constante de 11 °C durant toute l'année.

La question centrale est la suivante : où a lieu l'élévation de température pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ?

Pour répondre à cette question, trois options ont été analysées sur les deux quartiers en question. Tous deux diffèrent de par la disposition et le gain de température :

- Chauffage centralisé / eau chaude sanitaire centralisée
- Chauffage centralisé / eau chaude sanitaire décentralisée
- Chauffage décentralisé / eau chaude sanitaire décentralisée

Des options techniques ont été conçues et dimensionnées sur la base des exigences mentionnées ci-dessus. L'approche choisie est de représenter la pratique de réalisation courante le mieux possible. La partie technique sert de base à l'estimation des investissements à $\pm 25\%$ ainsi qu'à l'évaluation de l'efficacité économique et écologique.

L'analyse montre que l'option classique du **chauffage centralisé / eau chaude sanitaire centralisée** est préférable dans le quartier **avec les vieux bâtiments existants**. La raison principale réside dans le rendement supérieur du système de chauffage centralisé par rapport au système décentralisé pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Dans les **bâtiments neufs**, l'option du **chauffage décentralisé / eau chaude sanitaire décentralisée** prévaut clairement. Les raisons principales sont l'élimination de la centrale énergétique, les basses températures de départ, qui ont un effet positif sur le rendement et donc sur la consommation d'électricité et l'élimination des pertes thermiques de distribution grâce aux basses températures.

Suite à cette analyse, d'autres questions ont été soulevées :

- Analyse de sensibilité des résultats
- Stockage pour le chauffage et station d'eau fraîche par rapport à un boiler
- Comportement lors de besoin en froid
- Autres sources de chaleur
- Pertes de chaleur vs. besoin en électricité des pompes de circulation
- Analyse des risques

3 Ausgangslage

Die Energiestrategie 2050 sieht vor, sich von den fossilen Energieträgern weitgehend zu verabschieden und vermehrt erneuerbare Energien einzusetzen. Die CO₂-Emissionen sollen drastisch reduziert werden. Thermische Netze bieten eine gute Möglichkeit, vermehrt erneuerbare Energien zu nutzen und so die definierten Ziele des Bundes zu erreichen. Nebst der Frage nach der Wirtschaftlichkeit von thermischen Netzen, stellt sich die Frage nach der Systemwahl; bspw. zentrale oder dezentrale Aufbereitung, hohe oder tiefe Netztemperaturen je nach Temperatur der Quellen oder Senken, usw. Dieses Arbeitspaket soll erste Schritte zu Entscheidungskriterien für die Systemwahl behandeln.

Das Programm «Thermische Netze» beinhaltet die vier Teilprojekte «Grundlagen», «Musterbeispiele», «Aus- und Weiterbildung» und «Informationspunkt». Der Programmteil «Grundlagen» beabsichtigt die Zusammenstellung bestehender, verwendbarer Grundlagen und die Neuerstellung von Grundlagen für alle Akteure der Branche. Als Grundlagen sind dabei zu verstehen: Erfahrungsberichte, Instrumente, Tools, Leitfaden und Handbücher. Die Grundlagen werden zu unterschiedlichen Themen betreffend «Thermische Netze» in Form von Arbeitspaketen zusammengestellt. Ein aktuelles Thema bei den «Thermischen Netzen» sind Entscheidungsgrundlagen für die Systemwahl.

3.1 Ziel des Arbeitspakets

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Mitgestaltung von Entscheidungskriterien für die Systemwahl bei «Thermischen Netzen». Aussagen zu folgenden Kriterien sollen daraus resultieren:

- Anordnung der Wärmearaufbereitung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung zur Beheizung / wo findet der Temperaturhub statt?)
- Aussagen zur Wahl der Netztemperatur in Abhängigkeit von der Art der Wärmearaufbereitung und dem Temperaturniveau der Verbraucher

Dabei sollen wirtschaftliche und ökologische Aspekte als Entscheidungskriterien herangezogen werden.

In diesem Arbeitspaket bleibt die Betrachtung auf die Wärmeversorgung beschränkt. Damit kann die Vorgehensweise an einem relativ einfachen System getestet werden.

Komplexere Systeme müssten in weiteren Arbeitspaketen untersucht werden. Die Methodik dazu dürfte sich auf diese Arbeit abstützen und sie weiterentwickeln.

3.2 Vorgehensweise

Anhand einer Aufstellung hypothetischer Projekte von thermischen Netzen mit nur einer typischen Niedertemperaturquelle (z.B. Grundwasser) und typischen Bedarfssituationen werden folgende Parameter variiert:

- Temperaturniveau Verbraucher (typisch Neubau Minergie-Standard und typisch mischbauweise Altbau)
- Wärmeaufbereitungssystem (gesamt zentrale Wärmeaufbereitung / zentrale Wärmeaufbereitung für die Raumwärme und dezentrale Wärmeaufbereitung für das Trinkwarmwasser / gesamt dezentrale Wärmeaufbereitung)
- Temperaturniveau primärseitige Wärmeverteilung als Funktion der Bedarfsanforderungen der Verbraucher und das Wärmeaufbereitungssystem (geeignete minimale Vorlauf- und Rücklauftemperatur)

Das zugrunde gelegte Versorgungsgebiet soll über eine lineare Anschlussdichte von 2 MWh/Trm*a für den Wärmeabsatz verfügen. Das Versorgungsgebiet ist von einem real existierenden Versorgungsgebiet abgeleitet. Daraus ergeben sich auch real vorkommende Netztopologien.

Die Systeme werden nach ihrer Wirtschaftlichkeit (Jahreskosten) und Ökologie (Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen CO₂-eq) ausgewertet.

Die technisch-wirtschaftliche Betrachtung der Berechnungsfälle führt zu hypothetischen Auslegungen für die Anlagen (Netz, apparative Ausrüstung etc.) auf der Basis marktgängiger oder marktreifer Komponenten. Damit können Vergleiche der einzelnen Fälle und Aussagen zur Gesamteffizienz erzielt werden.

Wir gehen von Kosteninformationen basierend auf Schätzkosten aus ähnlichen Vorhaben mit einer Genauigkeit der Investitionen für Anlagen und Netze von +/- 25% aus. Damit wird in den Gestehungskosten eine Präzision von ±1,5 Rp./kWh erreicht.

Die Bearbeitungstiefe lässt prinzipielle Unterschiede der Betrachtungsfälle erkennen.

3.3 Fragestellungen

In diesem Arbeitspaket wird eine Antwort zu folgender Fragestellung geliefert:

Welches Wärmeaufbereitungs- und Verteilsystem (zentral, zentral und dezentral, nur dezentral, Netztemperatur) ist für thermische Netze in Abhängigkeit von der Bedarfsstruktur (Senke) wirtschaftlich und ökologisch vorteilhaft?

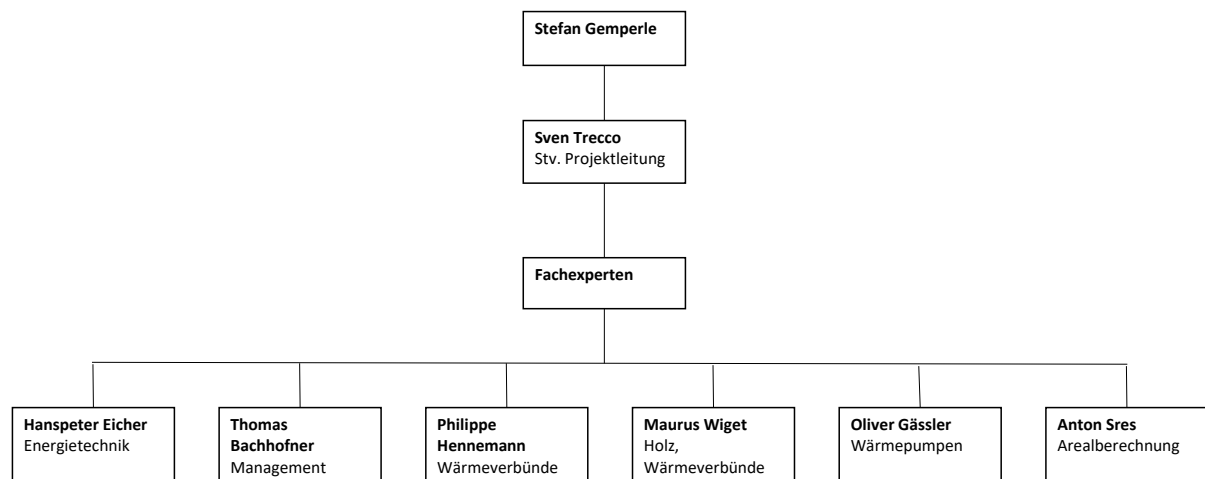
3.4 Abgrenzungen

Nicht betrachtet werden im Besonderen:

- Unterschiedliche Wärmequellen
- Kälteerzeugung und -verteilung
- Verschiedene Verteilsysteme (4-Leiter, 3-Leiter und 1-Leiter)
- Zusätzliche Senken (z.B. Wohnen- und Dienstleistungsquartiere, Industrieareale, usw.)
- Zusätzliche Temperaturniveaus der primärseitigen Wärmeversorgung

4 Projektorganisation

Die Projektorganisation e+p intern ist gemäss unterem Organigramm organisiert:



5 Grundlagen

Folgende Grundlagen bilden die Basis der Arbeiten:

Tabelle 1, Zusammenstellung Grundlagen

Bezeichnung	Grösse	Bemerkung
Lineare Energiedichte	2'000 MWh/(Trkm*Jahr)	
Auslegung Energiezentrale	100%	
Auslegung Unterstationen	130%	Leistungsberechnung über Volllaststunden (24h Mittelwert) Spitzendeckung mit Berücksichtigung von Tagesschwankungen

Verteilverluste Altbau zentral-zentral	10%	Als Ausgangslage für die Verlustberechnung der weiteren Varianten
Wärmequelle	11 °C	Grundwasser, keine Beschränkung Grundwasserfassung
Stromaufnahme Hauptförderpumpe	2'200 Volllaststunden	
Kalkulationszinssatz	3%	
Technische Lebensdauer	15-50 Jahre	Nach Komponenten gemäss VDI-Richtlinie 2067
Inflation	1%	
Baukosten	385 CHF/m ³	Oberirdische Zentrale

Weitere Grundlagen sind:

- Pflichtenheft Programm "Thermische Netze" vom 24.03.2017
- Startsitung vom 09.08.2017, inkl. aller Dokumente
- Zwischenbesprechung 1, vom 29.09.2017, inkl. aller Dokumente
- Grundlegenden vom Wärmeverbund Augarten in AEW
- Primärenergie und CO₂-eq Faktoren gemäss Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

6 Schnittstellen Betrachtung

Die vorliegende Studie betrachtet die wesentlichen Punkte der Wärmeverbunde. Folgende Schnittstellen bilden die Grenzen der Studie.

- Wärmeverteilung in der Unterstation (Verteilbalken)
- Hilfsenergien, Strom für Regulierung etc. sind nicht berücksichtigt
- Dezentrale bauliche Kosten sind nicht berücksichtigt. Es werden nur die baulichen Mehrkosten für Varianten mit Wärmepumpen in den Unterstationen gegenüber klassischen Unterstationen berücksichtigt

7 Methodik

1. Definieren der Wärmequelle

Als Wärmequelle wird Grundwasser mit einer konstanten Temperatur von 11 °C angenommen. Die Temperaturspreizung zwischen Schöpfung und Rückführung darf 3 K nicht überschreiten¹.

2. Definieren der Gebäudenutzungen

Die Nutzung und das damit verbundene Nutzungsprofil sind auf die Nutzung «Wohnen» reduziert. Andere Nutzungen werden nicht betrachtet.

3. Definieren Altbau- und Neubaugebiet mit realen Verbrauchern

Um der Realität möglichst nahe zu kommen, sind die Verbraucherdaten eines realen Wärmeverbunds gewählt worden. Es handelt sich um den Wärmeverbund AEW Augar-ten in Rheinfelden. Die Wärmeverbunde Neubau und Altbauggebiet sind in der Realität tatsächlich auch Altbau- und Neubaugebiete. Allerdings sind die Verbraucher an ein und demselben Wärmeverbund angeschlossen.

4. Definieren eines Wärmenetzes

Die Verbraucher sind in Neubau- und Altbauggebiet aufgeteilt und mittels einem fiktivem Netz (basierend auf einem GIS) verbunden.

5. Definieren eines Zentralstandorts

Der Abstand des Zentralenstandorts zu den jeweiligen Wärmeverbunden ist bei beiden Verbunden gleich lang.

6. Vereinheitlichen der linearen Wärmedichte auf 2 MWh/Trm/Jahr

Durch das Zeichnen des Netzes sind die Trasseemeter bekannt. Um die Vorgabe der Linearen Wärmedichte von 2'000 MWh/km/Jahr zu erfüllen, wird der Wärmebedarf der einzelnen Verbraucher proportional zum tatsächlichen Verbrauch angepasst. Damit ist der Energiebedarf pro Wärmeverbund normiert.

7. Definieren der Verbrauchertemperaturen

Die Temperaturen der Verbraucher sind wie folgt definiert und müssen bei jedem Konzept eingehalten werden:

Heizkurve Altbau

Heizkurve Neubau

8. Definieren des Warmwasseranteils

Während der Warmwasseranteil bei einem Altbauggebiet relativ gering ist, benötigt ein Neubaugebiet ca. 45% der Wärme für die Warmwasseraufbereitung. Diese Aufteilung ist wie folgt berechnet:

Altbauggebiet: 300 Volllaststunden für Warmwasser

Neubaugebiet: 45% der Wärme für Warmwasser

9. Erstellen der Anlagenkonzepte (Prinzipschemas) für die Varianten

Alle Konzepte sind mit grundlegenden Prinzipschemas beschrieben und im Anhang einsehbar. Die grundlegenden hydraulischen Ansprüche sowie die Temperaturen sind dadurch möglichst transparent dargestellt.

¹ Eidg. Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, Anhang 2

10. Auslegen der Wärmeerzeugung

Die Auslegung der Wärmeerzeugung erfolgt mit dem Grundsatz einer Energiedeckung von mind. 80% über die Grundwasser-Wärmepumpe. In den Konzepten wird eine Wärmeerzeugung von 80% über die Wärmepumpe nur beim Anspruch von 70 °C Vorlauftemperatur für die Raumwärme umgesetzt. Bei Neubaugebieten mit einer vorgegebenen Vorlauftemperatur für die Raumwärme von 36 °C ist keine fossile Deckung der Spitzen vorgesehen. Somit erfolgt eine 100%-Deckung des Wärmebedarfs über die Grundwasser-Wärmepumpe.

Die zentrale Wärmeerzeugung sowie das kalte und warme Fernwärmenetz sind aufgrund der folgenden Überlegung auf 100% des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt:

Die Berechnung des Leistungsbedarfs der Verbraucher basiert auf Wärmebedarf und Heizgradtagen. Damit werden 24-Stunden-Mittelwerte für die Leistung berechnet. In diesen Werten sind keine Tagesspitzen berücksichtigt.

Für die Berechnung des Leistungsbedarfs der einzelnen Unterstationen und deren Hausanschlussleitungen wird dies über Zuschlagsfaktor von 1.3 berücksichtigt.

Für alle anderen Fernwärme-Rohrleitungen, insbesondere für die zentrale Wärmeerzeugung, wird dieser Faktor nicht berücksichtigt. Dies, weil davon ausgegangen wird, dass die Tagesspitzen und die Gleichwertigkeiten sich gegenseitig aufheben.

11. Dimensionierung aller Anlagenelemente

Nach dem Erstellen des Konzeptes und dem Definieren der Temperaturen werden alle Anlagenelemente (Pumpen, Rohre, etc.) mit branchenüblichen Methoden dimensioniert. Die Dimensionen sind in den Prinzipschemas im Anhang einsehbar. Die wichtigsten Werte für die Dimensionierung der Anlagenelemente sind in der folgenden Tabelle eingefügt:

Druckverlust warme Fernleitungsrohre	Max. 250 Pa/m
Druckverlust kalte Fernleitungsrohre	Max. 100 Pa/m
Grädigkeit Grundwasser-Systemtrennung	1K
Grädigkeit Fernwärme Primärseite zu Sekundärseite Unterstationen	2K
Überdimensionierungsfaktor Unterstationen	1.3
WP-Speicher	Ausgelegt auf Taktbetrieb einer WP, Unterstationen sowie zentrale Lösungen

Berechnen der Verteilverluste und ggf. anpassen der Wärmeerzeugung

Definiert sind die Verteilverluste bei der klassischen Variante 1 mit 10% des Wärmebedarfs.

Über die Mantelfläche, den mittleren Temperaturunterschied zwischen Fernleitungsrohren und Bodentemperatur und den vorgegebenen Verteilverlusten von 10% in Variante 1, ist ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Verteilung berechnet worden.

Dieser wird anschliessend für die Berechnung aller Varianten verwendet. Die Variablen für die Berechnung der Verteilverluste in den Varianten sind:

- Mantelfläche des Netzes aufgrund der Länge und der Durchmesser der Fernwärmehohre
- Der oben beschriebene mittlere Wärmedurchgangskoeffizient gilt nur für isolierte Stahlrohre
- Vor- und Rücklauftemperaturen
- Betriebszeiten
- Für die kalte Fernwärme sind keine Gewinne oder Verluste eingerechnet.

Variante A (Neubau, zentral-zentral) hat zusätzlich zu den Verteilverlusten noch ein Verlust für das Aufheizen des Netzes für die TWW-Wärme im Sommer einberechnet. Damit wird berücksichtigt, dass die Wärme auf dem Temperaturniveau von ca. 70 °C nach den TWW-Ladezeiten nicht für die Raumwärme genutzt wird und dadurch mittels Transmission verloren geht. Angenommen wird eine Stunde Vorlaufzeit bei voller Leistung für das Aufwärmen des Fernwärmenetzes, drei Stunden Ladezeit für das TWW und der Verlust der gesamten Energie im Netz durch die Auskühlung des Fernwärmenetzes im Anschluss zur TWW-Ladung.

12. Berechnen der JAZ (WP-Esti) für Raum- und Warmwassererzeugung

Die Jahresarbeitszahlen für Raumwärme und Warmwasser sind mit dem Berechnungsprogramm WPesti² berechnet. In der Berechnung ist der Pumpenstrom für die Grundwasserfassung enthalten. Der Pumpenstrom der Hauptversorgungspumpen ist mit 2'200 Volllaststunden pro Jahr berücksichtigt.

13. Definieren der Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Der wirtschaftliche Vergleich aller Massnahmen dient als gewichtiges Kriterium für die Systemwahl. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erfolgt mittels der dynamischen Annuitätenmethode und damit über den Vergleich der Jahreskosten. Diese setzen sich aus den Energie-, Wartungs- und Instandsetzungs- und Kapitalkosten zusammen.

Energiekosten:

Die Energiekosten setzen sich aus dem Strom- und Heizölverbrauch zusammen. In der Studie sind keine anderen Energieträger berücksichtigt. Die Strom- und Heizölpreise richten sich nach den aktuellen Zahlen des Marktes.

Wartungs- und Instandsetzungskosten:

Die Abschätzung eines prozentualen Faktors auf die Investitionen erfolgt nach allgemeinen Richtlinien³, Herstellerangaben und Erfahrungswerten.

Kapitalkosten:

Die Kapitalkosten sind über die Investitionen und die mittlere technische Lebensdauer der jeweiligen Variante berechnet. Grundlage für die Investitionen sind Richtpreisofferten und Erfahrungswerte.

² Link zur aktuellen Version: <https://www.endk.ch/de/fachleute-1/hilfsmittel>

³ VDI-Richtlinie 2067, September 2000; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung

14. Beurteilen der Ökologie mittels CO₂ + Primärenergiebedarfsrechnung

Die ökologische Verträglichkeit wird über die Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalenz) und den Primärenergiebedarf beurteilt. Grundlage für die Berechnung bildet die Liste Ökobilanzen im Baubereich KBOB / eco-bau – IPB 2009/1:20164. Die Beurteilung betrachtet nur den Betrieb der Anlagen. Die Erstellung und Mobilität sind ausgeklammert.

15. Empfehlung für Alt- und Neubaugebiet aufgrund der Wirtschaftlichkeit und Ökologie

Die Empfehlung für das Neu- sowie Altbaugebiet basiert auf den wirtschaftlichen und ökologischen Erkenntnissen aus der Arbeit sowie der Praxistauglichkeit, welche auf Grund von Erfahrungen gemacht wurden. Dabei wird der aktuelle State-of-the-Art angewandt.

16. Weiterführende Betrachtungen

Die Studie beinhaltet nicht alle Problemstellungen. Auf weiterführende, interessante Themen wird an dieser Stelle hingewiesen.

8 Altbau

Dieses Kapitel behandelt das Altbaugebiet. Es wird zuerst auf den Perimeter eingegangen und danach die Varianten definiert.

8.1 Perimeter

Die Wärmenachfrage in dem Perimeter richtet sich nach real existierenden Wärmeverbräuchern des Wärmeverbunds Augarten Weiherfeld in Rheinfelden⁵. Wie im Kapitel Methodik beschrieben, sind die Wärmeverbraucher über Übergabestationen mit einem fiktiven Netz verbunden und der Energieverbrauch auf die vorgegebene lineare Energiedichte von 2'000 MWh/Trkm/Jahr proportional angepasst.

⁴ Link zu der aktuellen Version https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html

⁵ Wärmeverbund Augarten Weiherfeld, Abwärmennutzung ARA Rheinfelden, AEW Energie AG, Nutzung der Daten durch AEW am 18.09.2017 bewilligt.

Das untere Bild stellt eine Übersicht über den Wärmeverbund Altbau dar. Im Anhang [1] ist die Karte in Originalgrösse einsehbar.

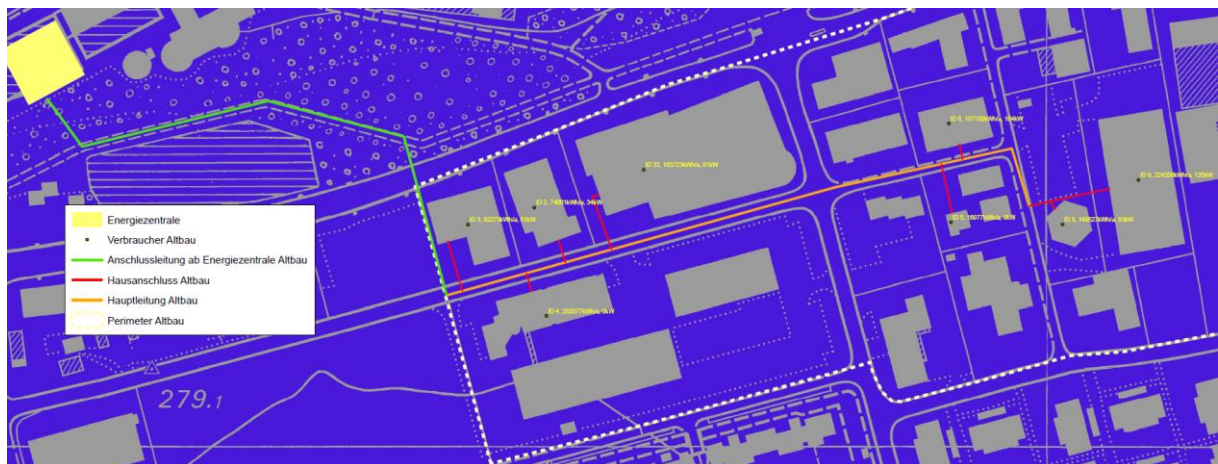


Abbildung 1, Perimeter Wärmeverbund Altbau

Folgend sind die normierten Parameter des Altbaus (ohne Verteilverluste) aufgeführt. Der Leistungsbedarf ist mittels den Volllaststunden berechnet. Die angegebenen Trasse Meter enthalten die Hauptleitungen inkl. den Hausanschlüssen.

Tabelle 2, Parameter Altbau

Nutzung	Wohnen MFH
Meteostation	Basel-Binningen
Gebäudestandart	Altbau
Anzahl Unterstationen	8
Wärmebedarf	1'440 MWh/Jahr
Volllaststunden	2'200 VLS/Jahr
Leistungsbedarf (-7 °C)	655 kW
Wärmebedarf TWW ⁶	443 MWh/Jahr
Wärmebedarf RW	2'213 MWh/Jahr
Trasse Meter (Summe)	720 Trm
Temperaturen RW (-7 °C)	VL 70 °C RL 50 °C
Temperaturen TWW	VL 62 °C RL 52 °C
Lineare Energiedichte	2'000 MWh/Trkm/Jahr

⁶ Berechnet über die Gesamtleistung mit 300 VLS

8.2 Variantenmatrix

Die Grundfrage der Arbeit lautet: «zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung / wo findet der Temperaturhub statt?». Für die Beantwortung dieser Fragen werden drei Konzepte definiert:

- Variante 1: Zentrale Aufbereitung von Wärme für Trinkwarmwasser und Raumwärme
- Variante 2: Zentrale Aufbereitung von Raumwärme, dezentrale Aufbereitung von Trinkwarmwasser
- Variante 3: Zentrale Aufbereitung von Wärme für Trinkwarmwasser und Raumwärme (Kalte Wärmeverteilung)

Um die grundlegenden technischen Unterschiede der Konzepte überschaubar darzustellen, sind diese in der unteren Matrix aufgeführt.

Tabelle 3, Variantenmatrix Altbaugebiet

Variante	1	2	3
Altbau (Vorlauftemperatur 70 °C)	x	x	x
Neubau (Vorlauftemperatur 36 °C)			
Raumwärme zentral	x	x	
Raumwärme dezentral			x
Trinkwarmwasser zentral	x		
Trinkwarmwasser dezentral		x	x
Wärmeerzeugung Raumwärme monovalent (100% GW-WP) ⁷			x
Wärmeerzeugung Raumwärme bivalent (80% GW-WP / 20% Heizölkes-sel) ⁸	x	x	
100% Redundanz Spitzenlastdeckung: 50% Redundanz Wärmeerzeugung	x	x	
Anschluss mobile Heizzentrale: 100% Redundanz			
keine Redundanz Wärmeerzeuger			x

Die Varianten unterscheiden sich neben der Wärmeerzeugung grundlegend in der Verteilung des Risikos eines Ausfalls der Wärmeerzeugung. Während bei Varianten 1 und 2 die Spitzendeckung 100% redundant ausgeführt wird und somit der Ausfall einer der drei Wärmeerzeuger kompensiert werden kann, ist bei den dezentralen Varianten aus ökonomischen Gründen keine Redundanz vorgesehen, allerdings verteilt sich das Risiko auf die einzelnen Häuser.

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Varianten technisch beschrieben.

8.3 Variante 1 / Altbau / RW zentral / TWW zentral

Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für die RW und das TWW erfolgt in der Energiezentrale. Die Wärmeerzeugung erfolgt bivalent mit einer Grundwasser-Wärmepumpe und einer Heizöl Spitzendeckung. Die Spitzendeckung ist redundant ausgeführt, somit wird eine Systemredundanz von 50% erreicht.

⁷ Bezogen auf die benötigte Jahresenergie ab Wärmeerzeugung

⁸ Bezogen auf die benötigte Jahresenergie ab Wärmeerzeugung

Temperaturen ab Energiezentrale

Die Temperaturen des Netzes müssen das ganze Jahr über genug hoch sein, um das TWW und die Anforderungen der RW zentral bereitstellen zu können. Die fossile Spitzendeckung gewährleistet hohe Temperaturen, daher sind die Netz-Temperaturen ebenfalls hochgehalten. Ein Vorteil ist der dadurch grössere Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf der Rohre und die einhergehende kleinere und kostengünstigere Dimensionierung der Fernleitungen. Nachteilig sind die dadurch resultierenden höheren Wärmeverluste.

Im unteren Diagramm ist die Heizkurve ab der Energiezentrale dargestellt. Bei Auslegungsaussentemperatur wird die Vorlauftemperatur mit 85 °C gefahren, obwohl von den Wärmebezugern nur eine Temperatur von 70 °C+2K gefordert wird.

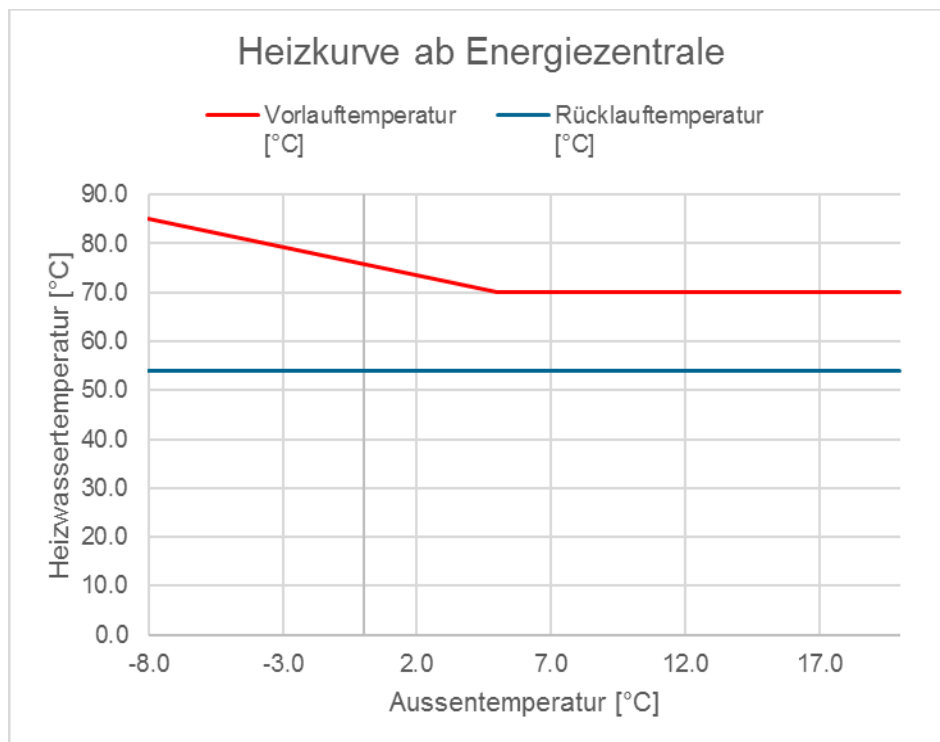


Abbildung 2, Heizkurve ab Energiezentrale Variante 1

Verluste

Die Verteilverluste sind in dieser Variante mit 10% der benötigten Wärme der Wärmebezugler festgelegt. Das entspricht rund 148 MWh/Jahr.

Energie- und Leistungsbedarf

Mit den Verlusten stellt sich folgender Bedarf für Energie und Leistung ein:

Wärmebedarf:	1'631 MWh/Jahr
Leistungsbedarf:	830 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Bei der Auslegung der Wärmeerzeuger wird ein Verhältnis zwischen Wärme ab WP und Wärme ab Heizölkessel von 80% zu 20% angestrebt. Dieses Verhältnis wird mit der folgenden Auslegung erreicht:

GW-WP	390 kW
Heizölkessel 1	450 kW
Heizölkessel 2 (Redundanz)	450 kW
Systemleistung	840 kW

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit branchenüblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [2] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ), Wirkungsgrad Heizölkessel

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wurde mit dem Programm WPesti Anhang [3] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpe auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich um eine Ammoniak Wärmepumpe. Die Förderpumpe wird mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW)	3.6
JAZ WP (TWW)	3.8
Wirkungsgrad Heizölkessel	90%

Energie- und Leistungsbedarf Energiezentrale

Mit den oben berechneten Energie- und Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert worden:

Elektrizität WP-RW	291 MWh/Jahr
Elektrizität WP-TWW	69 MWh/Jahr
Hauptvorlaufpumpe	16.5 MWh/Jahr
Summe Elektrizität	376 MWh/Jahr
Heizöl EL	370 MWh/Jahr

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe.

GW-Pumpe	8 kW
WP	100 kW
Hauptvorlaufpumpe	4 kW
Summe	112 kW

8.4 Variante 2 / Altbau / RW zentral / TWW dezentral

8.4.1 Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für die RW erfolgt in der Energiezentrale und für das TWW in den Unterstationen mit Standard Wasser-Wasser Wärmepumpen. Die zentrale Wärmeherzeugung erfolgt bivalent mit einer Grundwasser-Wärmepumpe und einer Heizöl Spitzendeckung. Die Spitzendeckung ist redundant ausgeführt, somit wird eine Systemredundanz von 50% erreicht.

Temperaturen ab Energiezentrale

Die Temperaturen sind wie in der Variante 1 aufgrund der fossilen Spitzendeckung und den dadurch wirtschaftlich günstigeren Bedingungen hochgehalten.

Im unteren Diagramm ist die Heizkurve ab der Energiezentrale dargestellt. Bei Auslegungsaussentemperatur wird die Vorlauftemperatur mit 85 °C gefahren, obwohl von den Wärmebegütern nur eine Temperatur von 70 °C+2K gefordert wird.

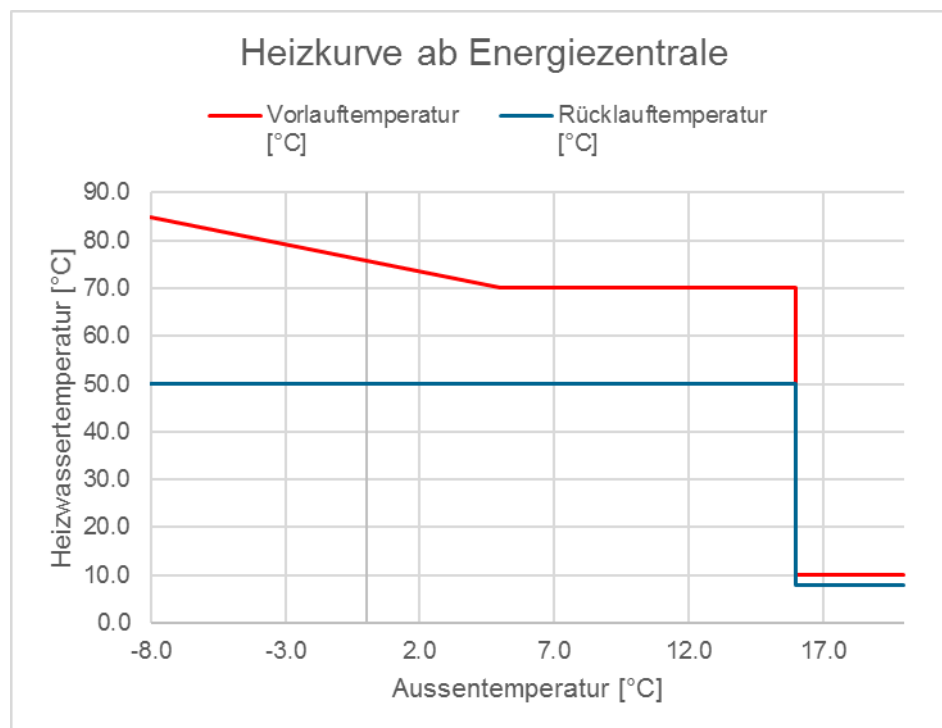


Abbildung 3, Heizkurve ab Energiezentrale Variante 1

Die Energiezentrale liefert ab einer Aussentemperatur von $< 16\text{ °C}$ Wärme auf dem Temperaturniveau von $70\text{--}85\text{ °C}$. Bei höheren Aussentemperaturen wird nur noch Wärme auf dem Temperaturniveau von 10 °C geliefert. In den Unterstationen nutzen in diesem Fall Wasser-Wasser-Wärmepumpen diese Wärmequelle für die Erwärmung des TWW. Während der kalten Periode (Aussentemperatur $< 16\text{ °C}$) wird das TWW aufgrund des hohen Temperaturniveaus der Fernwärme direkt über diese aufbereitet. Ein Konzept mit zentraler Wärmeaufbereitung auf hohem Temperaturniveau in der Heizperiode und ganzjähriger dezentraler TWW-Aufbereitung wird als nicht sinnvoll betrachtet.

Verluste

Die Verteilverluste sind, wie unter dem Kapitel Methodik beschrieben, in Anlehnung an Variante 1 berechnet. Während der Verteilung von kalter Fernwärme sind weder Gewinne noch Verluste eingerechnet.

Die Verteilverluste betragen in dieser Variante 8% der benötigten Wärme für RW und TWW. Das entspricht rund 119 MWh/Jahr .

Energie- und Leistungsbedarf

Mit den Verlusten stellt sich folgender Bedarf für Energie und Leistung ein:

Wärmebedarf:	1'601 MWh/Jahr
Leistungsbedarf:	830 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Bei der Auslegung der Wärmeerzeuger wird ein Verhältnis zwischen Wärme ab WP und Wärme ab Heizölkessel von 80% zu 20% angestrebt. Dieses Verhältnis wird mit der folgenden Auslegung erreicht:

Zentrale:

GW-WP	390 kW
Heizölkessel 1	450 kW
Heizölkessel 2 (Redundanz)	450 kW
Systemleistung	840 kW

Unterstationen:

WW-WP für TWW	Σ 53 kW
---------------	----------------

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit branchenüblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [4] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ), Wirkungsgrad Heizölkessel

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wurde mit dem Programm WPesti Anhang [5] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpe auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich für die Zentrale um eine Ammoniak Wärmepumpe und bei den Unterstationen um eine WP mit dem Kältemittel R134a. Die Förderpumpe wird mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW)	3.5
JAZ WP (TWW)	3.1
Wirkungsgrad Heizölkessel	90%

Energie- und Leistungsbedarf Energiezentrale

Mit den oben berechneten Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert:

Elektrizität WP-RW	316 MWh/Jahr
Elektrizität WP-TWW	75 MWh/Jahr
Hauptvorlaufpumpe	16.5 MWh/Jahr
Summe Elektrizität	407 MWh/Jahr

Heizöl EL	292 MWh/Jahr
-----------	--------------

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe.

GW-Pumpe	8 kW
WP	103 kW
Hauptvorlaufpumpe	4 kW
Unterstationen	Σ 16 kW
Summe	131 kW

8.5 Variante 3 / Altbau / RW dezentral / TWW dezentral

8.5.1 Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für RW und TWW erfolgt in den Unterstationen mit Standard Wasser-Wasser Wärmepumpen. Das hohe Temperaturniveau von 70 °C (Vorlauftemperatur) wird mittels Kaskadenschaltung der Standardwärmepumpen erreicht⁹. Redundanzen sind in dieser Variante nur bei der Grundwasserfassung eingebaut. Die Unterstationen sind nicht redundant aufgeführt.

Temperaturen ab Energiezentrale

Die Vorlauftemperatur ab der Systemtrennung zwischen Grundwasser und kalter Fernwärme beträgt über das ganze Jahr 10 °C. Schwankungen in der Grundwassertemperatur sind nicht berücksichtigt.

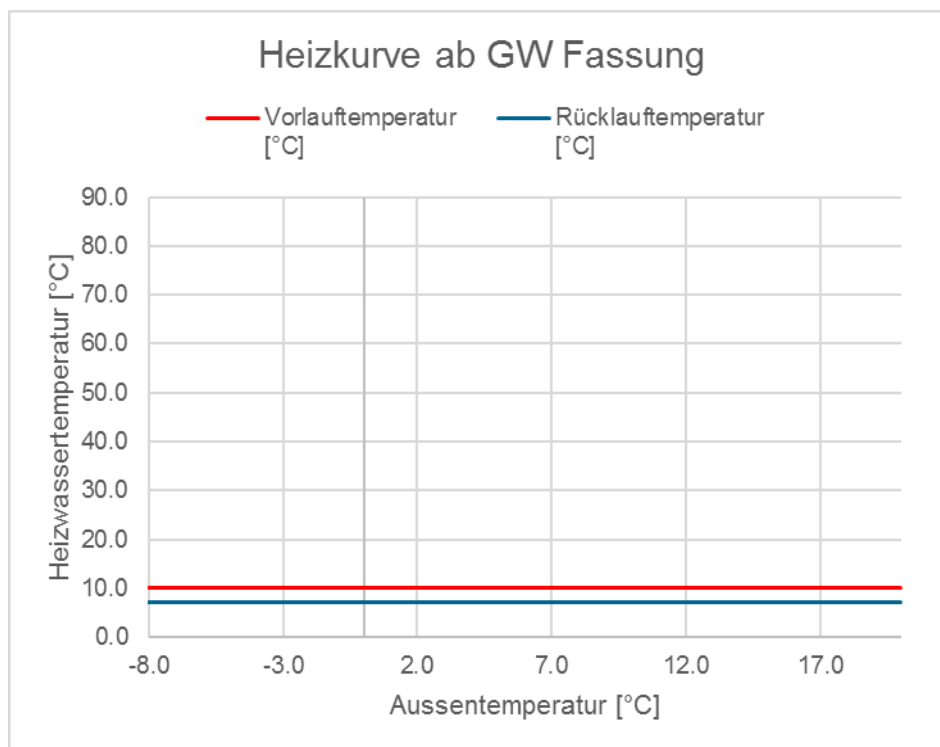


Abbildung 4, Heizkurve ab Energiezentrale Variante 1

Die Rücklauftemperatur von 7 °C ergibt sich durch die maximale Temperaturspreizung von 3 K zwischen Grundwasserschöpfung und Rückführung.

Verluste

Da es sich hier um kalte Fernwärme handelt, sind, wie unter Methodik beschrieben, keine Wärmeverluste oder -gewinne eingerechnet.

⁹ Diese Lösung wurde mit Hersteller von Wärmepumpen rückgesprochen. Solche Wärmepumpen werden zusammengebaut und als eine Maschine geliefert. Kältemittel ist R134a

Energie- und Leistungsbedarf

Der Bedarf für Energie und Leistung entspricht dem Bedarf auf Stufe der Nutzenergie:

Wärmebedarf: 1'483 MWh/Jahr

Leistungsbedarf: 655 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Die Wärmeerzeugung erfolgt zu 100 % über dezentrale Wärmepumpen. Die 100%-Deckung der Wärme ab WP hat insbesondere eine grössere Dimensionierung der Grundwasserfassung zur Folge. Ausgelegt sind die Wärmepumpen mit einem Spitzendeckungsfaktor von $f=1.3$.

Unterstationen:

Dezentrale GW-WP $\Sigma 854 \text{ kW}$

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit üblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [6] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen wurde mit dem Programm WPEsti Anhang [7] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpen auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich bei den Unterstationen um Wärmepumpen mit dem Kältemittel R134a. Die Hauptvorlaufpumpe ist mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW) 3.0

JAZ WP (TWW) 3.1

Energie- und Leistungsbedarf Energiezentrale

Mit den oben berechneten Energie- und Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert:

Elektrizität WP-RW 423 MWh/Jahr

Elektrizität WP-TWW 63 MWh/Jahr

Hauptvorlaufpumpe 33 MWh/Jahr

Summe Elektrizität 519 MWh/Jahr

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe.

GW-Pumpe	7.5 kW
Hauptvorlaufpumpe	15 kW
Unterstationen	Σ854 kW
Summe	877 kW

8.6 Ergebnisse Altbau

Die Ergebnisse sind im folgenden Kapitel durch die Investitionen, die Jahreskosten, der Primärenergie und der CO₂-equivalenten Treibhausgasemissionen ausgedrückt.

Grundlagen der Wirtschaftlichkeits- und Ökologieberechnung

Tabelle 4, Grundlagen der Wirtschaftlichkeits- und Ökologieberechnung

Kapitalzinssatz	3	%
Elektroenergiepreis Zentrale	0.122	CHF/kWh
Elektroenergiepreis Private	0.178	CHF/kWh
Grundpreis Strom pro kW	91.2	CHF/kW*a
Energiepreis Heizöl	0.075	CHF/kWh
CO ₂ Emissionen Heizöl EL*	0.301	T CO ₂ / MWh
CO ₂ Emissionen Strom*	0.102	T CO ₂ / MWh (CH-Verbrauchermix)
Primärenergie geamt Heizöl EL*	1.24	kWh oil-eq
Primärenergie gesamt Strom*	3	kWh oil-eq (CH-Verbrauchermix)
Beurteilung		

* gemäss KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

Investitionen ± 25 %

Für die bedeutendsten Anlageteile der Investitionenschätzung sind Richtpreis-Offerten bei Lieferanten angefragt worden. Alle weiteren Investitionen sind Erfahrungswerte aus realen Projekten. Entsprechen die vorliegenden Erfahrungswerte nicht den geforderten Dimensionen, wurden die Investitionen mit der folgenden Formel skaliert:

$$K2 = a + K1 \cdot \left(\frac{Q2}{Q1}\right)^{0.71}$$

- a: Fixe Kosten (CHF)
- K1: Nominale Kosten (CHF)
- K2: Kosten effektiv (CHF)
- Q2: Vergleichswert (m³/h, kW, CHF/m², etc.)
- Q1: Nominaler Vergleichswert (m³/h, kW, CHF/m², etc.)

Die Honorare sind mit 20% der Bausumme berücksichtigt.

Aufgrund der Kostengenauigkeit von $\pm 25\%$ ist hier zu betonen, dass sich alle Varianten auf etwa dem gleichen Investitionsniveau befinden. Vernachlässigt man die Kostengenauigkeit, ist Variante 3 in den Investitionen die günstigste, was hauptsächlich mit dem Wegfall der Energiezentrale zu begründen ist. Die Variante 2 ist die teuerste Variante. Dies, weil zu den Investitionen der Energiezentrale, die gleich gross dimensioniert ist wie die Energiezentrale der Variante 1, zusätzlich in den Unterstationen noch die Investitionen für die TWW-Aufbereitung hinzukommt. Das hat eine höhere Investition zu Folge. Zur besseren Übersicht sind die Investitionen im unteren Säulendiagramm in Sparten aufgeteilt.

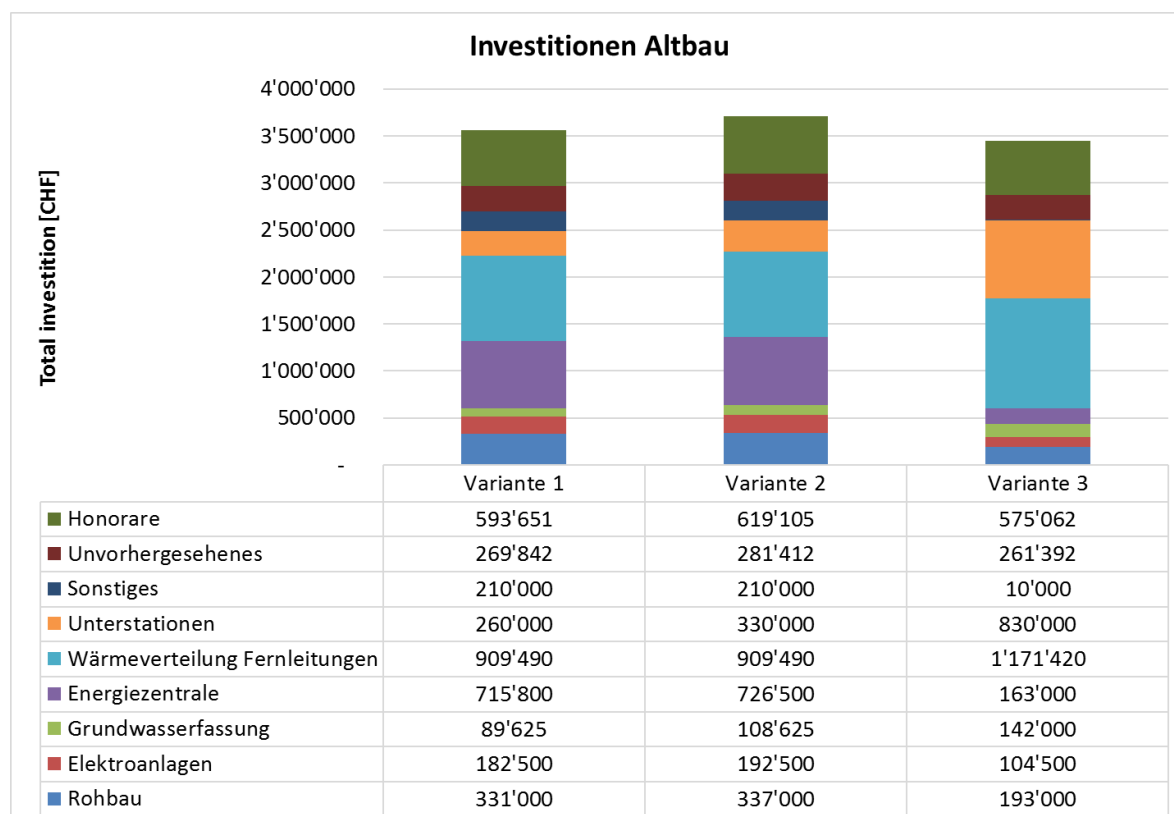


Abbildung 5, Investitionen Altbau

Nutzungsdauer

Die Abschätzung der Nutzungsdauer basiert auf Erfahrungswerten Normen¹⁰. Die Varianten haben aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkomponenten unterschiedliche Nutzungsdauern. In den Energiezentralen z.B. werden industrielle Wärmepumpen mit einer Nutzungsdauer von ca. 30 Jahren eingesetzt, demgegenüber stehen die dezentralen Wärmepumpen, mit Nutzungsdauern von ca. 20 Jahren. Diese Unterschiede sind in der Berechnung berücksichtigt.

¹⁰ VDI-Richtlinie 2067, September 2000; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

Wartungs- und Instandsetzungskosten

Die Abschätzung eines prozentualen Faktors auf die Investitionen erfolgt nach Richtlinien¹¹, Herstellerangaben und Erfahrungswerten.

Jahreskosten

An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich hier um eine Vergleichsstudie zwischen Systemen handelt und nicht um eine Studie zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Grundwasser-Wärmeverbunden.

Folgend sind die Jahreskosten in einem Säulendiagramm dargestellt. In diesem Vergleich ist die Variante 1 die wirtschaftlichste Variante.

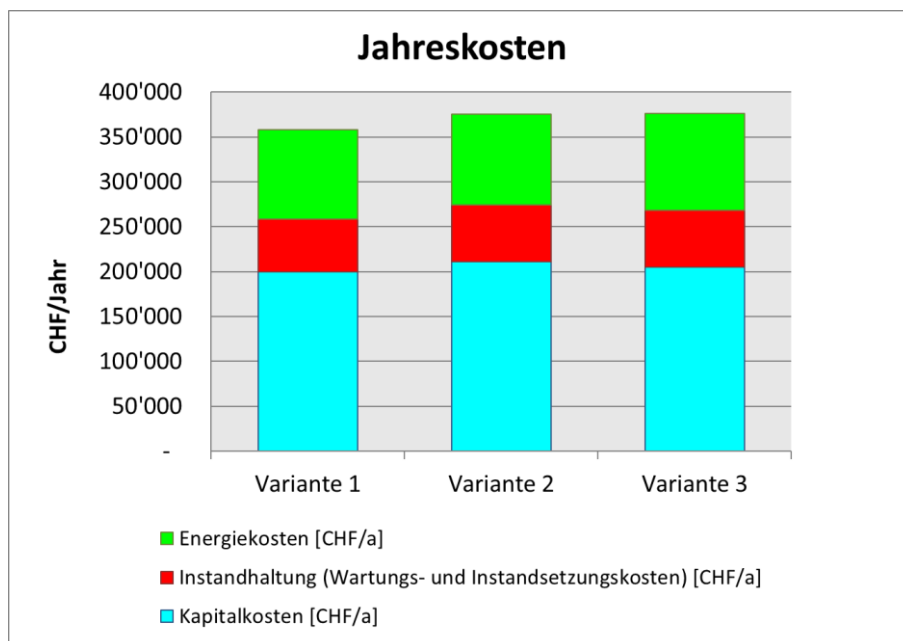


Abbildung 6, Jahreskosten Varianten Altbau

Wärmegestehungspreise

Die Wärmegestehungspreise liegen bei den Varianten grundsätzlich sehr hoch. Die folgenden Wärmegestehungspreise sollen als Vergleichswert zwischen den Varianten betrachtet werden. Genauigkeit ± 1.5 Rp./ kWh.

¹¹ VDI-Richtlinie 2067, September 2000; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

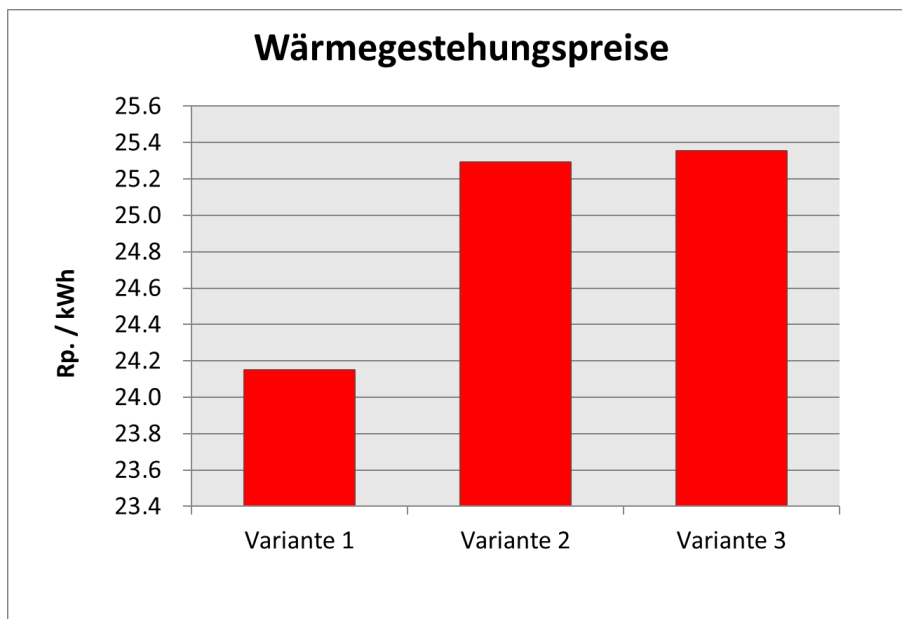


Abbildung 7, Wärmegestehungspreise Varianten 1-3

Ökologie

Die Ökologische Verträglichkeit ist mittels Treibhausgasemissionen (in CO₂-Äquivalenz) und Primärenergiebedarf beurteilt. Die zugrundeliegenden Faktoren sind den Ökobilanzen im Baubereich¹² entnommen.

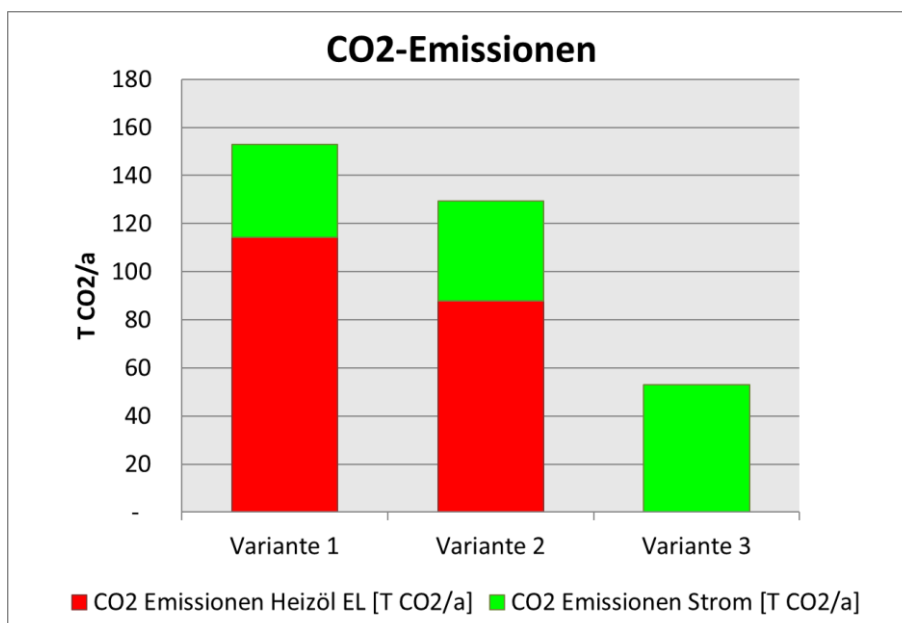


Abbildung 8, CO₂- Emissionen Varianten 1-3

¹² KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

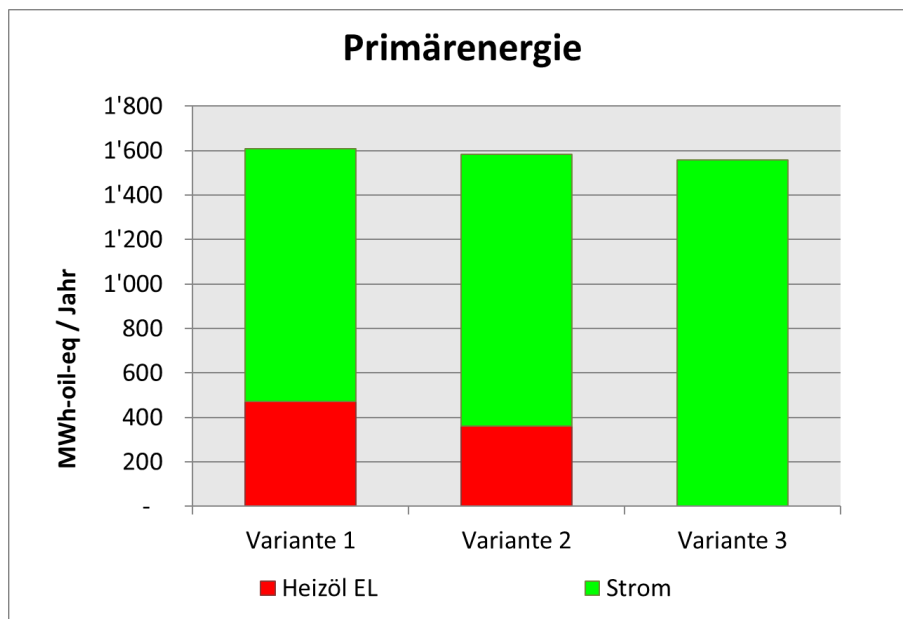


Abbildung 9, Primärenergiebedarf Varianten 1-3

Die Variante 3 hat die geringsten Treibhausgasemissionen und benötigt am wenigsten Primärenergie. Das macht diese Variante zu der am besten verträglichen für die Umwelt.

9 Neubau

9.1 Perimeter

Die Wärmenachfrage in dem Perimeter richtet sich nach real existierenden Wärmeverbräuchern des Wärmeverbunds Augarten Weiherfeld in Rheinfelden¹³. Wie im Kapitel Methodik beschrieben, sind die Wärmeverbraucher über Übergabestationen mit einem fiktiven Netz verbunden und der Energieverbrauch auf die vorgegebene lineare Energiedichte von 2'000 MWh/km/Jahr proportional angepasst.

Das untere Bild stellt eine Übersicht über den Wärmeverbund Neubau dar. Im Anhang [8] ist die Karte in Originalgrösse einsehbar.

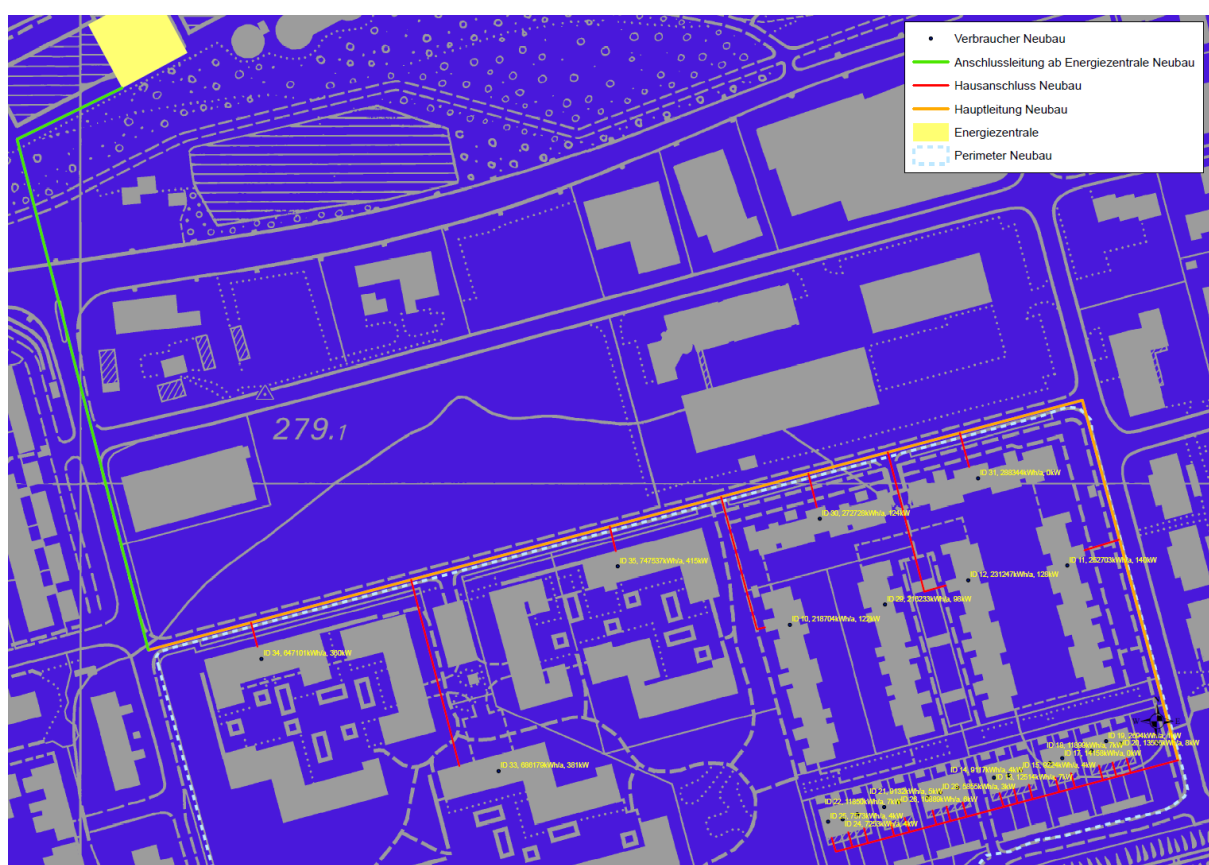


Abbildung 10, Perimeter Wärmeverbund Altbau

Folgend sind die normierten Parameter des Neubaus (ohne Verteilverluste) aufgeführt. Der Leistungsbedarf ist mittels den Vollaststunden berechnet. Die angegebenen Trasse Meter enthalten die Hauptleitungen inkl. den Hausanschlüssen.

¹³ Wärmeverbund Augarten Weiherfeld, Abwärmenutzung ARA Rheinfelden, AEW Energie AG, Nutzung der Daten durch AEW am 18.09.2017 bewilligt.

Tabelle 5, Parameter Altbau

Nutzung	Wohnen MFH
Meteostation	Basel-Binningen
Gebäudestandart	Neubau
Anzahl Unterstationen	25
Wärmebedarf	2'656 MWh/Jahr
Volllaststunden (RW+TWW)	2'500 VLS/Jahr
Leistungsbedarf (-7 °C)	1077 kW
Wärmebedarf TWW ¹⁴	1'195 MWh/Jahr
Wärmebedarf RW	1'461 MWh/Jahr
Trasse Meter (Summe)	1'328 Trm
Temperaturen RW (-7 °C)	VL 36 °C RL 26 °C
Temperaturen TWW	VL 62 °C RL 52 °C
Lineare Energiedichte	2'000 MWh/Trkm/Jahr

9.2 Variantenmatrix

Die Grundfragen der Arbeit lautet: «zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung / wo findet der Temperaturhub statt?». Für die Beantwortung dieser Fragen werden drei Konzepte definiert:

- Variante A: Zentrale Aufbereitung von Wärme für Trinkwarmwasser und Raumwärme
- Variante B: Zentrale Aufbereitung von Raumwärme, dezentrale Aufbereitung von Trinkwarmwasser
- Variante C: Zentrale Aufbereitung von Wärme für Trinkwarmwasser und Raumwärme (Kalte Wärmeverteilung)

Um die grundlegenden technischen Unterschiede der Konzepte überschaubar darzustellen, sind diese in der unteren Matrix aufgeführt.

¹⁴ Berechnet mit 45% des gesamten Wärmebedarfs

Tabelle 6, Variantenmatrix Neubau

Variante	A	B	C
Altbau (Vorlauftemperatur 70 °C)			
Neubau (Vorlauftemperatur 36 °C)	x	x	x
Raumwärme zentral	x	X	
Raumwärme dezentral			x
Trinkwarmwasser zentral	x		
Trinkwarmwasser dezentral		x	x
Wärmeerzeugung Raumwärme monovalent (100% GW-WP) ¹⁵	x	x	x
Wärmeerzeugung Raumwärme bivalent (80% GW-WP / 20% Heizölkes- sel) ¹⁶			
100% Redundanz Spitzenlastdeckung: 50% Redundanz Wärmeerzeugung			
Anschluss mobile Heizzentrale: 100% Redundanz	x	x	
keine Redundanz Wärmeerzeuger			x

Die Varianten unterscheiden sich neben der Wärmeerzeugung grundlegend in der Verteilung des Risikos eines Ausfalls der Wärmeerzeugung. Während bei den zentralen Varianten Redundanzen berücksichtigt sind, ist bei den dezentralen keine Redundanz vorgesehen, allerdings verteilt sich das Risiko auf die einzelnen Häuser. Varianten A+B sind mit Anschlüssen einer mobilen Heizzentrale ausgestattet. Somit wurden die Investitionen möglichst klein gehalten und eine 100% Redundanz geschaffen.

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Varianten technisch beschrieben.

9.3 Variante A / Neubau / RW zentral / TWW zentral

Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für die RW und das TWW erfolgt in der Energiezentrale. Die Wärmeerzeugung erfolgt monovalent mit einer zweistufigen Hochdruck Grundwasser-Wärmepumpe. Um die Investitionen möglichst gering zu halten, sind für Ausfälle der Wärmepumpe Anschlüsse für eine mobile Heizzentrale vorgesehen.

Temperaturen ab Energiezentrale

Das geforderte Temperaturniveau für die Raumheizung liegt tiefer als das geforderte Temperaturniveau für die Warmwassererzeugung. Der Effizienzananspruch ist, das Temperaturniveau möglichst tief zu halten. Daher wird in dieser Variante eine periodische Anhebung der Netztemperatur für die Warmwassererzeugung geplant. Dafür wird während drei Stunden in der Nacht ein Ladefenster für die TWW-Ladung berücksichtigt. Aus diesem Grund werden die TWW-Erwärmer grösser dimensioniert. Zusätzlich ist ein Elektroheizstab vorgesehen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten.

¹⁵ Bezogen auf die benötigte Jahresenergie ab Wärmeerzeugung

¹⁶ Bezogen auf die benötigte Jahresenergie ab Wärmeerzeugung

Im unteren Diagramm ist die Heizkurve ab der Energiezentrale dargestellt. Bei Auslegungsaussentemperatur wird die Vorlauftemperatur mit 40 °C gefahren. Die gestrichelte Linie markiert die Vorlauftemperatur für die periodische TWW-Ladung.

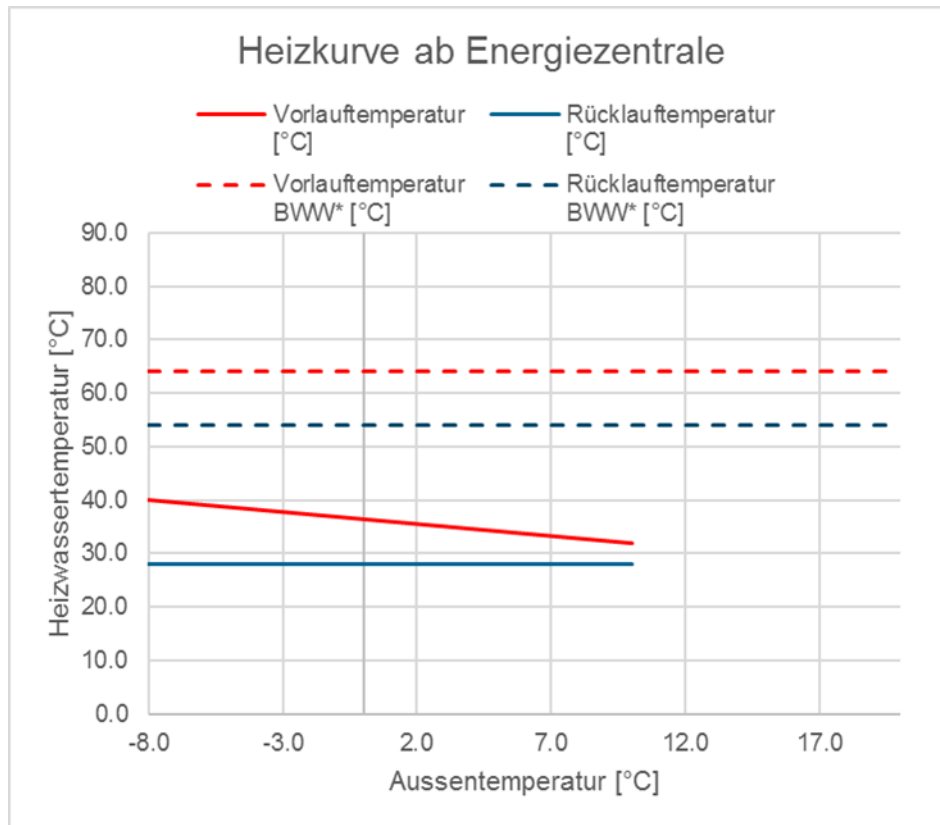


Abbildung 11, Heizkurve ab Energiezentrale Variante 1

Verluste

Die Verteilverluste sind, wie unter dem Kapitel Methodik beschrieben, in Anlehnung an Variante 1 berechnet.

Zusätzlich zu den Verteilverlusten hat diese Variante noch einen zusätzlichen Verlust für das Aufheizen des Fernwärmenetzes für die TWW-Ladung im Sommer einberechnet. Dies hängt damit zusammen, dass die Wärme auf dem durchschnittlichen Temperaturniveau von 63 °C nach den TWW-Ladezeiten nicht für die Raumwärme genutzt wird und dadurch ein Teil mittels Transmission verloren geht. Dieser Teil wurde über eine Wärmedurchgangsberechnung berechnet und beträgt im Intervall von 21 Stunden rund 620 kWh.

Die Verteilverluste betragen in dieser Variante insgesamt 9% der benötigten Wärme für RW und TWW. Das entspricht rund 338 MWh/Jahr.

Energie- und Leistungsbedarf

Mit den Verlusten stellt sich folgender Bedarf für Energie und Leistung ein:

Wärmebedarf: 2'930 MWh/Jahr

Leistungsbedarf: 1077 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Die Wärmeerzeugung erfolgt monovalent mit einer zweistufigen Ammoniak-Wärmepumpe für TWW und RW.

GW-WP	1'100 kW
-------	----------

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit üblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [9] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wurde mit dem Programm WPesti Anhang [10] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpe auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich um eine Ammoniak Wärmepumpe. Die Förderpumpe wird mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW)	6.7
-------------	-----

JAZ WP (TWW)	3.9
--------------	-----

Energie- und Leistungsbedarf Energiezentrale

Mit den oben berechneten Energie- und Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert:

Elektrizität WP-RW	233 MWh/Jahr
--------------------	--------------

Elektrizität WP-TWW	351MWh/Jahr
---------------------	-------------

Hauptvorlaufpumpe	48 MWh/Jahr
-------------------	-------------

Summe Elektrizität	632 MWh/Jahr
--------------------	--------------

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe.

GW-Pumpe	19 kW
----------	-------

WP	141kW
----	-------

Hauptvorlaufpumpe	22 kW
-------------------	-------

Summe	182 kW
-------	--------

9.4 Variante B / Neubau / RW zentral / TWW dezentral

9.4.1 Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für die RW erfolgt in der Energiezentrale und für das TWW in den Unterstationen mit Standard Wasser-Wasser Wärmepumpen. Die zentrale Wärmeerzeugung erfolgt monovalent mit einer einstufigen Niederdruck Grundwasser Wärmepumpe. Um die Investitionen möglichst gering zu halten, sind für Ausfälle der Wärmepumpe Anschlüsse für eine mobile Heizzentrale vorgesehen.

Temperaturen ab Energiezentrale

Im unteren Diagramm ist die Heizkurve ab der Energiezentrale dargestellt. Bei Auslegungsaussentemperatur wird die Vorlauftemperatur mit 40 °C gefahren.

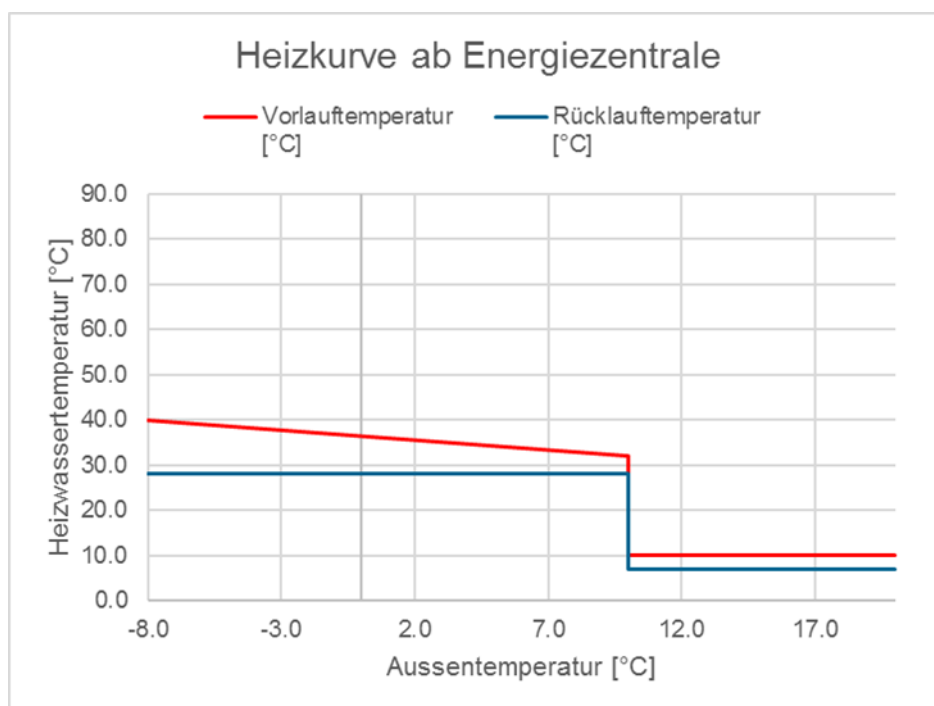


Abbildung 12, Heizkurve ab Energiezentrale Variante B

Die Energiezentrale liefert ab einer Aussentemperatur < 10 °C Wärme auf dem Temperaturniveau von 32-40 °C. Bei höheren Aussentemperaturen wird nur noch Wärme auf dem Temperaturniveau von 10 °C geliefert. In den Unterstationen nutzen Wasser-Wasser Wärmepumpen diese Wärmequelle für die Erwärmung des TWW. Da das Temperaturniveau für RW immer unter dem Temperaturniveau für TWW liegt, wird das TWW das ganze Jahr über mittels Wärmepumpen aufbereitet. Im Perimeter hat es diverse Einfamilienhäuser, für die sich eine separate TWW-Wärmepumpe nicht rentieren würde. Daher ist bei diesen Häusern ein standardisierter Luft-Wasser WP-Wassererwärmer eingerechnet.

Verluste

Die Verteilverluste sind, wie unter dem Kapitel Methodik beschrieben, in Anlehnung an Variante 1 berechnet. Während der Verteilung von kalter Fernwärme sind weder Gewinne noch Verluste eingerechnet.

Die Verteilverluste betragen in dieser Variante 3% der benötigten Wärme für RW und TWW. Das entspricht rund 82 MWh/Jahr.

Energie- und Leistungsbedarf

Mit den Verlusten stellt sich folgender Bedarf für Energie und Leistung ein:

Wärmebedarf:	2'764 MWh/Jahr
Leistungsbedarf:	960 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Bei der Auslegung der Wärmeerzeuger wird ein Verhältnis zwischen Wärme ab WP und Wärme ab Heizölkessel von 80% zu 20% angestrebt. Dieses Verhältnis wird mit der folgenden Auslegung erreicht:

Zentrale:

GW-WP	1000 kW
-------	---------

Unterstationen:

WW-WP für TWW	Σ 100 kW
---------------	-----------------

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit üblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [11] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wurde mit dem Programm WPesti Anhang [12] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpe auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich für die Zentrale um eine Ammoniak Wärmepumpe und bei den Unterstationen um eine WP mit dem Kältemittel R134a. Die Förderpumpe wird mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW)	6.5
JAZ WP (TWW)	3.1

Energie- und Leistungsbedarf

Mit den oben berechneten Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert:

Elektrizität WP-RW	241 MWh/Jahr
Elektrizität WP-TWW	387 MWh/Jahr
Hauptvorlaufpumpe	33 MWh/Jahr
Summe Elektrizität	661 MWh/Jahr

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe

GW-Pumpe	19 kW
WP	154 kW
Hauptvorlaufpumpe	15 kW
Unterstationen	Σ33 kW
Summe	221 kW

9.5 Variante C / Neubau / RW dezentral / TWW dezentral

Elementare Beschreibung Anforderungen

Der Temperaturhub für RW und TWW erfolgt in den Unterstationen mit Standard Wasser-Wasser Wärmepumpen. Redundanzen sind in dieser Variante nur bei der Grundwasserfassung eingebaut. Die Unterstationen sind nicht redundant aufgeführt.

Temperaturen ab Energiezentrale

Die Vorlauftemperatur ab der Systemtrennung zwischen Grundwasser und kalter Fernwärme beträgt über das ganze Jahr durch 10 °C. Schwankungen in der Grundwassertemperatur sind nicht berücksichtigt.

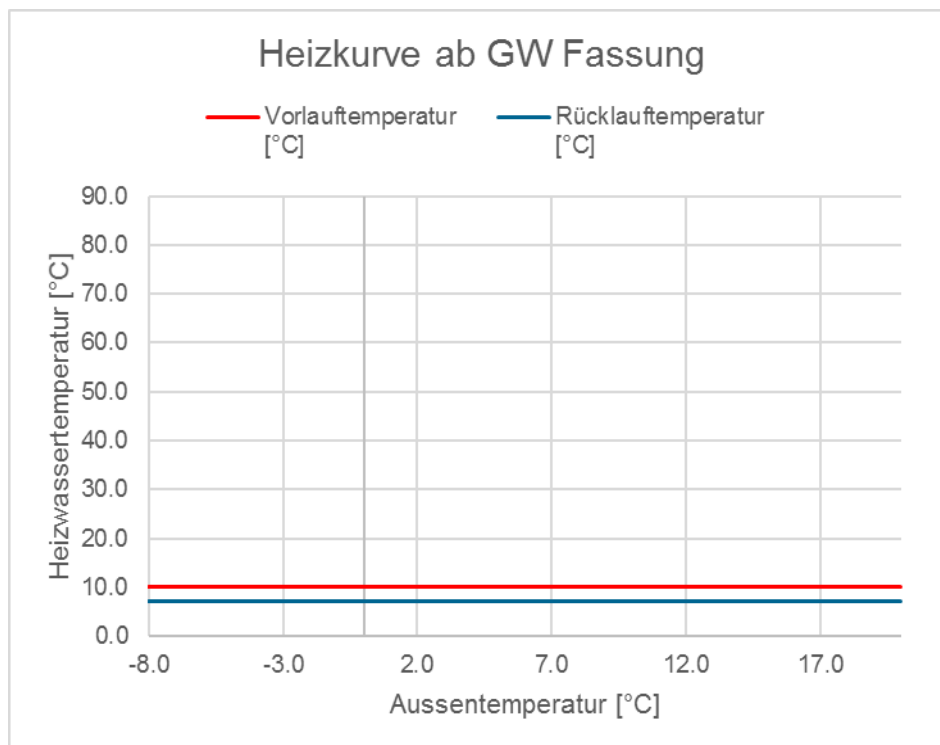


Abbildung 13, Heizkurve ab Energiezentrale Variante 1

Die Rücklauftemperatur 7 °C ergibt sich durch die maximale Temperaturspreizung von 3 K zwischen Grundwasserschöpfung und Rückführung.

Verluste

Da es sich hier um kalte Fernwärme handelt, wie unter Methodik beschrieben, keine Wärmeverluste oder -gewinne eingerechnet.

Energie- und Leistungsbedarf

Der Bedarf für Energie und Leistung entspricht dem Bedarf auf Stufe der Nutzenergie:

Wärmebedarf: 2'682 MWh/Jahr

Leistungsbedarf: 1'077 kW

Auslegung Wärmeerzeuger

Die Auslegung erfolgt pro Unterstation 100 % Wärme ab Wärmepumpe. Ausgelegt sind die Wärmepumpen mit einem Überdimensionierungsfaktor von $f=1.3$.

Unterstationen:

Dezentrale GW-WP	$\Sigma 1'415 \text{ kW}$
------------------	---------------------------

Dimensionierung

Mit der Auslegung der Wärmeerzeugung und den Temperaturen ist eine Dimensionierung der Anlagenelemente möglich. Diese wurde mit üblichen Methoden für das System durchgeführt. Als Ergebnis steht im Anhang [13] ein Prinzipschema mit den Dimensionen des Systems zur Verfügung. Mit der Dimensionierung der Anlagenelemente ist eine genauere Kostenschätzung möglich.

Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen wurde mit dem Programm WPEsti Anhang [14] für RW und TWW berechnet. Inbegriffen ist neben dem Strom für die Wärmepumpen auch der Strom für die Grundwasserpumpe. Es handelt sich bei den Unterstationen um Wärmepumpen mit dem Kältemittel R134a. Die Hauptvorlaufpumpe ist mit 2'200 VLS separat dem Energiebedarf der Energiezentrale hinzugefügt.

JAZ WP (RW)	5.7
-------------	-----

JAZ WP (TWW)	3.2
--------------	-----

Energie- und Leistungsbedarf Energiezentrale

Mit den oben berechneten Energie- und Effizienzzahlen ist der jährliche Endenergiebedarf eruiert:

Elektrizität WP-RW	260 MWh/Jahr
--------------------	--------------

Elektrizität WP-TWW	377 MWh/Jahr
---------------------	--------------

Hauptvorlaufpumpe	81 MWh/Jahr
-------------------	-------------

Summe Elektrizität	718 MWh/Jahr
--------------------	--------------

Die elektrische Leistungsaufnahme hat einen Einfluss auf die Betriebskosten eines Wärmeverbunds, daher wird diese hier angegeben und ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt. Ausgewiesen sind die wichtigsten Stromverbraucher, nicht berücksichtigt sind elektrische Leistungen für Hilfsbetriebe.

GW-Pumpe	19 kW
----------	-------

Hauptvorlaufpumpe	37 kW
-------------------	-------

Unterstationen	$\Sigma 261 \text{ kW}$
----------------	-------------------------

Summe	316 kW
-------	--------

9.6 Ergebnisse Neubau

Die Ergebnisse sind im folgenden Kapitel durch die Investitionen und die Wirtschaftlichkeit ausgedrückt.

Grundlagen der Wirtschaftlichkeits- und Ökologieberechnung

Tabelle 7, Grundlagen der Wirtschaftlichkeits- und Ökologieberechnung

Kapitalzinssatz	3	%
Elektroenergiepreis Zentrale	0.122	CHF/kWh
Elektroenergiepreis Private	0.178	CHF/kWh
Grundpreis Strom pro kW	91.2	CHF/kW*a
Energiepreis Heizöl	0.075	CHF/kWh
CO ₂ Emissionen Heizöl EL*	0.301	T CO ₂ / MWh
CO ₂ Emissionen Strom*	0.102	T CO ₂ / MWh (CH-Verbrauchermix)
Primärenergie geamt Heizöl EL*	1.24	kWh oil-eq
Primärenergie gesamt Strom*	3	kWh oil-eq (CH-Verbrauchermix)

Beurteilung

* gemäss KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

Investitionen ±25 %

Für die bedeutendsten Anlageteile der Investitionenschätzung sind Richtpreis-Offerten bei Lieferanten angefragt worden. Alle weiteren Investitionen sind Erfahrungswerte aus reellen Projekten. Entsprachen die vorliegenden Erfahrungswerte nicht den geforderten Dimensionen, wurden die Investitionen mit der folgenden Formel skaliert:

$$K2 = a + K1 \cdot \left(\frac{Q2}{Q1}\right)^{0.71}$$

- a: Fixe Kosten (CHF)
- K1: Nominale Kosten (CHF)
- K2: Kosten effektiv (CHF)
- Q2: Vergleichswert (m³/h, kW, CHF/m², etc.)
- Q1: Nominaler Vergleichswert (m³/h, kW, CHF/m², etc.)

Die Honorare sind mit 20% der Bausumme berücksichtigt.

Aufgrund der Kostengenauigkeit von $\pm 25\%$ ist hier zu betonen, dass sich die Varianten A+B auf etwa dem gleichen Investitionsniveau befinden. Variante C ist deutlich günstiger, was hauptsächlich mit dem Wegfall der Energiezentrale zu begründen ist. Die Variante A ist die teuerste. Aufgrund des verlangten Temperaturniveaus für TWW von $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ muss die Wärmepumpe zweistufig und damit als Hochdruck Wärmepumpe ausgeführt sein, während bei der Variante B eine einstufige Niederdruck-Wärmepumpe ausreicht. Zur besseren Übersicht sind die Investitionen im unteren Säulendiagramm in Sparten aufgeteilt.

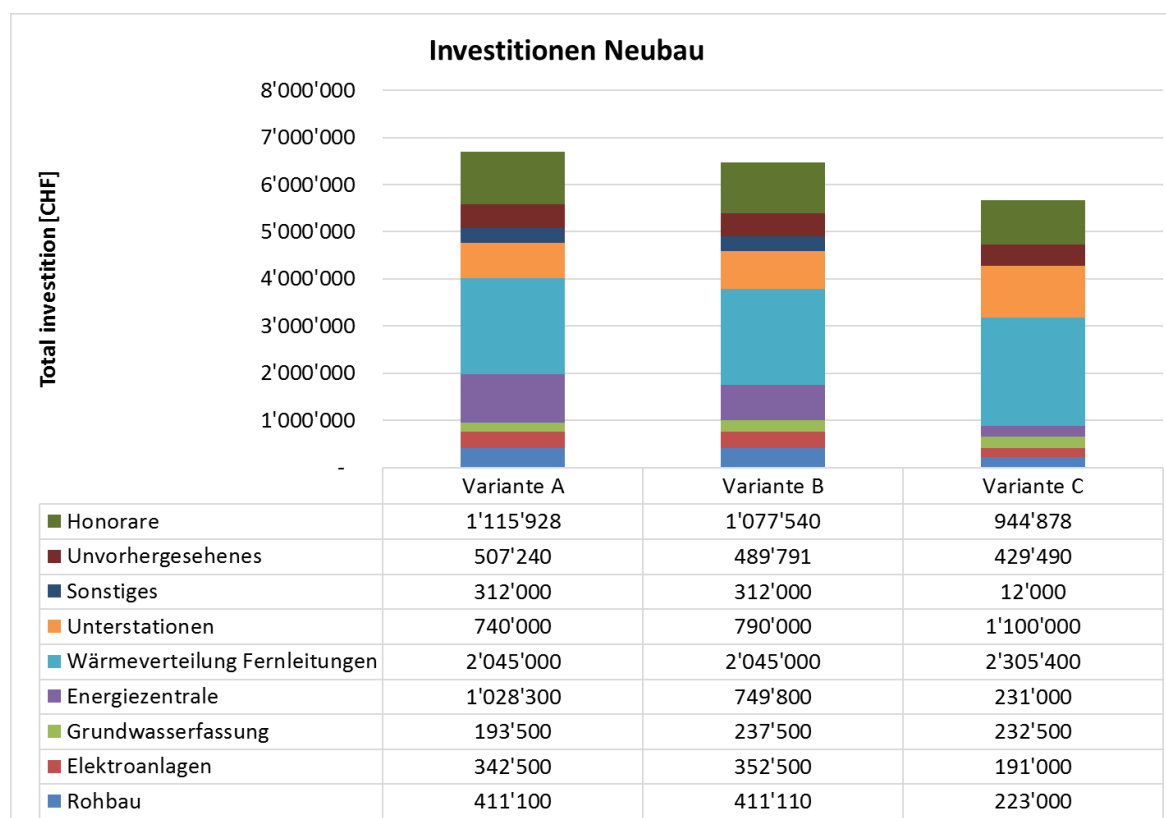


Abbildung 14, Investitionen Neubaugebiet

Nutzungsdauer

Die Abschätzung der Nutzungsdauer basiert auf Erfahrungswerten, Herstellerangaben und Richtlinien¹⁷. Die Varianten haben aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkomponenten unterschiedliche Nutzungsdauern. In den Energiezentralen z.B. werden industrielle Wärmepumpen mit einer Nutzungsdauer von ca. 30 Jahren eingesetzt, demgegenüber stehen die dezentralen Wärmepumpen, mit Nutzungsdauern von ca. 20 Jahren. Diese Unterschiede sind in der Berechnung berücksichtigt.

Wartungs- und Instandsetzungskosten

Die Abschätzung eines prozentualen Faktors auf die Investitionen erfolgt nach Richtlinien¹⁸, Herstellerangaben und Erfahrungswerten.

¹⁷ VDI-Richtlinie 2067, September 2000; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

¹⁸ VDI-Richtlinie 2067, September 2000; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

Jahreskosten

An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich hier um eine Vergleichsstudie zwischen Systemen handelt und nicht um eine Studie zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Grundwasser-Wärmeverbunden.

Folgend sind die Jahreskosten in einem Säulendiagramm dargestellt. In diesem Vergleich ist die Variante C die wirtschaftlichste Variante.

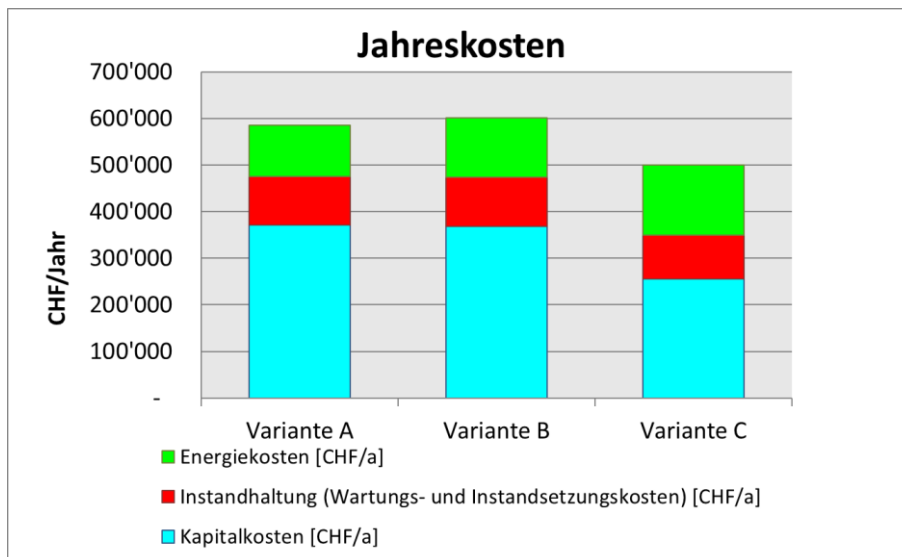


Abbildung 15, Jahreskosten Varianten Neubau

Wärmegestehungspreise

Die Wärmegestehungspreise liegen bei den Varianten grundsätzlich sehr hoch. Die folgenden Wärmegestehungspreise sollen als Vergleichswert zwischen den Varianten betrachtet werden. Genauigkeit ± 1.5 Rp./ kWh.

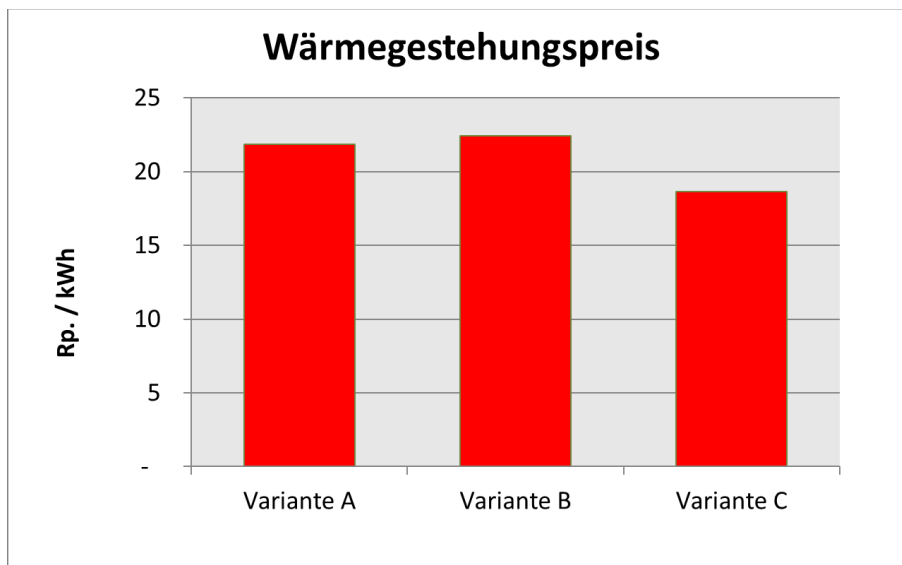


Abbildung 16, Wärmegestehungspreise Varianten 2-12

Ökologie

Die Ökologische Verträglichkeit ist mittels Treibhausgasemissionen (in CO₂-Äquivalenz) und Primärenergiebedarf beurteilt. Die zugrundeliegenden Faktoren sind den Ökobilanzen im Baubereich¹⁹ entnommen.

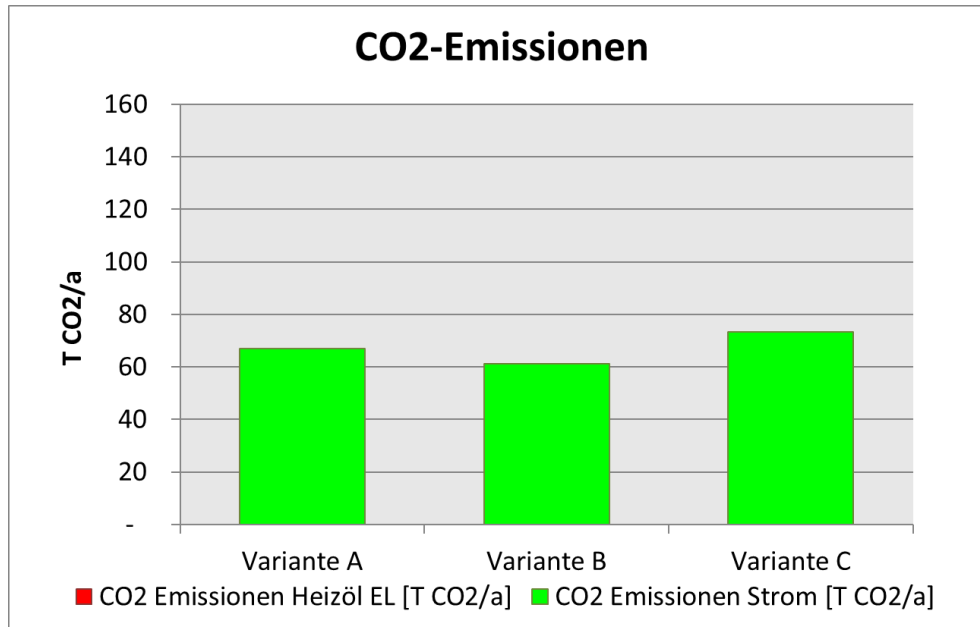


Abbildung 17, CO₂- Emissionen Varianten A-C

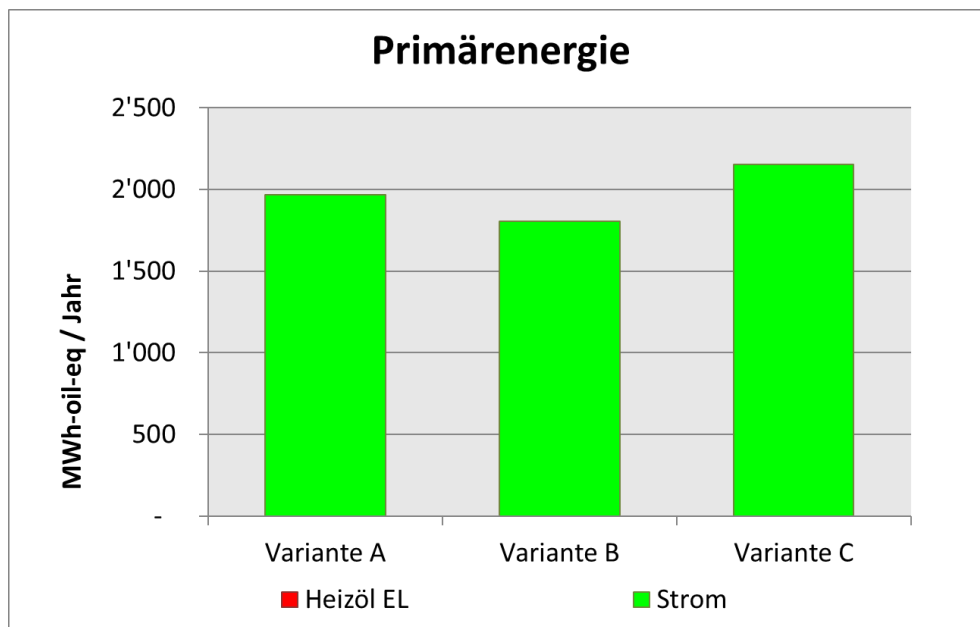


Abbildung 18, Primärenergiebedarf Varianten A-C

Die Variante B hat die geringsten Treibhausgasemissionen und benötigt am wenigsten Primärenergie. Das macht diese Variante zu der am besten verträglichen für die Umwelt.

¹⁹ KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

10 Fazit

10.1 Investitionen

In beiden Versorgungsgebieten ist die dezentrale Variante die günstigste. Unterschiede gibt es jedoch bei den Kostendifferenzen und bei der halbzentralen Variante.

Die Investitionen im **Altbau** liegen sehr nahe beieinander. Dies, da die Zentrale nicht so teuer ist wegen den geringeren Investitionen aufgrund der Spitzendeckung mit Öl und weil die dezentralen WP's wegen den hohen Temperaturen sehr teuer sind. Die grösseren Rohrleitungsdimensionen sind ebenfalls nicht so entscheidend, da dafür keine Isolation notwendig ist.

Die unterschiedlichen Effekte heben sich fast auf.

Im **Neubau** dagegen sind die dezentralen WP's aufgrund der tieferen Temperaturen Standardlösungen und so deutlich günstiger als im Neubau. Dadurch ist die dezentrale Lösung deutlich günstiger. Dieser Effekt wird zusätzlich dadurch unterstützt, dass bei der zentralen Lösung 100% der Leistung über die WP erfolgt.

Die halb zentrale Variante ist im **Altbaubereich** am teuersten. Dies, weil die Investitionen aufgrund der benötigten Wärmepumpen dezentral deutlich steigen. Der Anteil des Warmwassers an der gesamten Leistung ist im Altbau jedoch deutlich geringer als im Neubau. Dadurch, und weil mit der Leistungsreduktion lediglich der günstige Spitzenkessel Öl beeinflusst wird, erfolgt keine Kostenreduktion in der Zentrale. Insbesondere, weil die Kosten durch den erhöhten Massenstrom für die Verteilung steigen. Im Neubaugebiet ist dies anders. Der Anteil Warmwasser an der Leistung ist deutlich höher und die Leistungsreduktion wirkt direkt auf die teure WP und nicht auf den Spitzenkessel. Dadurch erfolgt eine deutliche Kostenreduktion, wodurch die halb zentrale Variante besser dasteht als die Zentrale.

10.2 Energiebedarf

Die in das Netz eingespeiste Energie sinkt in beiden Versorgungsgebieten je mehr dezentralisiert wird. Dies beruht direkt auf den sinkenden Wärmeverlusten. Die effektiv benötigte Energie für die Wärmeerzeugung verhält sich jedoch anders. Ursache dieser Unterschiede sind zum einen die Wirkungsgrade der Wärmepumpen und zum anderen die Verwendung eines Ölkessels für die Spitzendeckung in den Varianten 1 und 2 im Altbaubereich.

Im Neubaugebiet sieht man deutlich, dass der bessere Wirkungsgrad der zentralen Wärmepumpe deutlich einflussreicher auf den Gesamtenergiebedarf ist als die Reduktion der Wärmeverluste.

Energieträger	Var. A (Zentral)	Var. B (Halbzentral)	Var. C (Dezentral)	
Eingespeist	2'930	2764	2682	[MWh/a]
Strom	632	661	718	[MWh/a]

Die halbzentrale Variante mit ihrer zentralen Wärmeaufbereitung für die Heizung mit tiefen Temperaturen profitiert von einem sehr guten Wirkungsgrad, kombiniert mit tiefen Verlusten. Die schlechteren Wirkungsgrade der dezentralen Trinkwarmwasseraufbereitung reduzieren dieses positive Resultat aber nicht entscheidend. Die halbzentrale Variante ist dank dem besseren Wirkungsgrad trotz Verlusten immer noch besser als die dezentrale Variante.

Im Altbauggebiet ist dieser Vergleich schwieriger, da die Varianten 1 und 2 im Gegensatz zur Variante 3 eine Spitzendeckung mit Öl haben. Diese beiden Varianten profitieren zwar ebenfalls von dem besseren Wirkungsgrad der zentralen Wärmepumpe, der zusätzliche Ölbedarf dominiert jedoch das Ergebnis.

Energieträger	Var. 1 (Zentral)	Var. 2 (Halbzentral)	Var. 3 (Dezentral)	
Eingespeist	1631	1601	1483	[MWh/a]
Strom	376	407	519	[MWh/a]
Öl	370	292	0	[MWh/a]
Gesamt	746	699	519	[MWh/a]

Am wenigsten Energie benötigt deshalb klar die dezentrale Variante 3. Ebenfalls unterschiedlich ist das Ergebnis der Variante 1 und 2, wobei die zentrale Variante besser abschneidet als die dezentrale Variante. Dies ist auf mehrere Punkte zurück zu führen. So wird der Wirkungsgrad der zentralen Wärmepumpe nicht mehr deutlich besser durch die Dezentralisierung der Trinkwarmwassererzeugung, da die Heizung höhere Temperaturen benötigt als das Trinkwarmwasser. Somit fallen die schlechteren Wirkungsgrade der dezentralen WP's stärker ins Gewicht. Zusätzlich hat das Trinkwarmwasser einen deutlich tieferen Energieanteil am Gesamtverbrauch wie beim Neubau. Dadurch wird der Einfluss des erhöhten Strombedarfes für die Umwälzpumpen, ausgelöst durch höhere Massenströme, entscheidender als noch beim Neubaugebiet.

10.3 Ökologie

Im Neubaugebiet spiegelt die Ökologie direkt den Energiebedarf der Wärmeerzeuger wider, da alle Wärmeerzeuger den gleichen Energieträger (Strom) verwenden. Der CO₂-Ausstoss und der Primärenergiebedarf für die Variante B ist deshalb am tiefsten, gefolgt von der Variante A und der Variante C. Alle Varianten sind jedoch nahe beieinander.

Im Altbauggebiet trifft dies ebenfalls zu, jedoch nicht so deutlich. Hier schneiden die Varianten 1 + 2 beim CO₂-Ausstoss deutlich schlechter ab, weil sie noch den Energieanteil Öl von 20% haben. In der Primärenergie ist das Gleiche zu beobachten, jedoch weniger deutlich ausgeprägt. Damit ist die Variante 3 deutlich die ökologischste Variante im Altbauggebiet.

Wichtig ist, dass hier keine Aussage zur grauen Energie getroffen wird. Diese wurde nicht berücksichtigt.

10.4 Jahreskosten

Die Jahreskosten setzen sich erstens aus den Kapital- und Instandhaltungskosten zusammen, welche auf den Investitionen basieren und zweitens aus den Energiekosten, welche auf dem Energieverbrauch basieren. Auf Grund dieser Bedingungen entscheidet sich die Wirtschaftlichkeit.

Im **Altbau** sind die Investitionen aller Varianten sehr nahe beieinander, wobei die dezentrale Lösung die geringsten Investitionen benötigt. Trotz den geringsten Investitionen schneidet die zweit teuerste Variante Zentral bei den jährlichen Kapital- und Instandhaltungskosten besser ab. Sie profitiert dabei von der längeren Lebenszeit einer industriellen Wärmeerzeugung gegenüber kleinen dezentralen Lösungen. Ausserdem sind die Instandhaltungskosten geringer, da der Unterhalt einer zentralen Lösung günstiger ist als der von vielen dezentralen Lösungen.

Auch beim Energieverbrauch schneidet die dezentrale Lösung am besten ab. Bei den Energiekosten ist jedoch wieder die zentrale Lösung besser. Dies basiert auf zwei Ursachen: Erstens wird ein Teil der Energie in der zentralen Lösung mit Erdöl erzeugt, was deutlich günstiger ist als Strom und zweitens gelten für Grossanlagen andere Stromtarife wie für kleine private Anlagen. Deshalb profitiert die zentrale Wärmeerzeugung von einem günstigeren Stromtarif. Damit ergibt sich folgende Reihenfolge:

Rang	Variante	Jahreskosten [CHF/a]	Relative Abweichung
1	Zentral	358'144.00	0%
2	Dezentral	376'007.00	5%
3	Zentral / Dezentral	375'087.00	5%

Die zentrale Variante ist dabei klar am günstigsten. Wir empfehlen deshalb, in einem klassischen Altbaugbiet die klassische Variante umzusetzen. Die beiden Varianten dezentral und zentral / dezentral sind nahezu gleich auf. Eine relevante Aussage auf Grund der Jahreskosten kann deshalb nicht gemacht werden. Wegen der deutlich besseren Ökologie der Variante dezentral empfehlen wir jedoch klar, diese stets gegenüber der zentral / dezentral Variante zu bevorzugen.

Es gilt zu beachten, dass diese Aussage nur für Wärmeverbunde mit Grundwasser als Energiequelle gilt. Davon profitiert klar die dezentrale Variante, da sie ohne Wärmeverluste auskommt. Bei einer anderen Energiequelle ist davon auszugehen, dass diese Aussage nicht mehr gültig ist. Ebenfalls muss beachtet werden, dass hohe Vorlauftemperaturen bei den Verbrauchern von 70 °C angenommen wurden. Davon profitiert die zentrale Variante klar. Schon ab Vorlauftemperaturen von 65 °C bei den Verbrauchern, können deutlich günstigere Wärmepumpen dezentral eingesetzt werden. Dieser Einfluss auf die Investitionen und damit auf die Kapital- und Instandhaltungskosten ist zu berücksichtigen.

In Fall **Neubau** sind die Investitionen deutlicher auseinander. Die dezentrale Variante ist klar am günstigsten. Die beiden Varianten zentral und zentral / dezentral sind nahe beieinander. Dies führt direkt zu klar günstigeren Kapital- und Instandhaltungskosten für die dezentrale Variante. Die dezentrale und zentrale / dezentrale Variante sind auch bei diesen Kosten nahezu gleichauf, wobei die zentral / dezentrale Variante leichte Vorteile hat.

Bei den Energiekosten ist die zentrale Variante am besten. Gefolgt von der zentral / dezentralen Variante und, mit den höchsten Energiekosten, der dezentralen Variante. Man sieht hier klar, dass bei tiefen Temperaturen hohe Wirkungsgrade deutlich wichtiger sind als die Wärmeverluste im Verteilnetz. Die Differenz bei den Investitionen ist jedoch so gross, dass die dezentrale Variante weiterhin klar am wirtschaftlichsten ist:

Rang	Variante	Jahreskosten [CHF/a]	Relative Abweichung
1	Dezentral	499'321.00	0%
2	Zentral	585'267.00	17%
3	Zentral / Dezentral	601'322.00	20%

Da die Ökologie bei allen Varianten sehr nahe zusammen ist, empfehlen wir im Neubaugebiet die dezentrale Variante. Die Beurteilung der zentralen und zentral / dezentralen Variante ist schwieriger, da sie bei den Jahreskosten nahe beieinander sind. Da die zentrale Variante aber ebenfalls bei der ökologischen Betrachtung aufgrund des tieferen Energieverbrauchs vorne liegt, empfehlen wir die zentrale der zentral / dezentralen Variante vor zu ziehen.

Es gilt zu beachten, dass Grundwasser ein optimales Medium für ein Anergienetz ist. Diese Aussage gilt deshalb nur für Wärmeverbünde mit Grundwasser als Energiequelle. Liegt eine andere Energiequelle vor, ist diese Aussage nicht gültig.

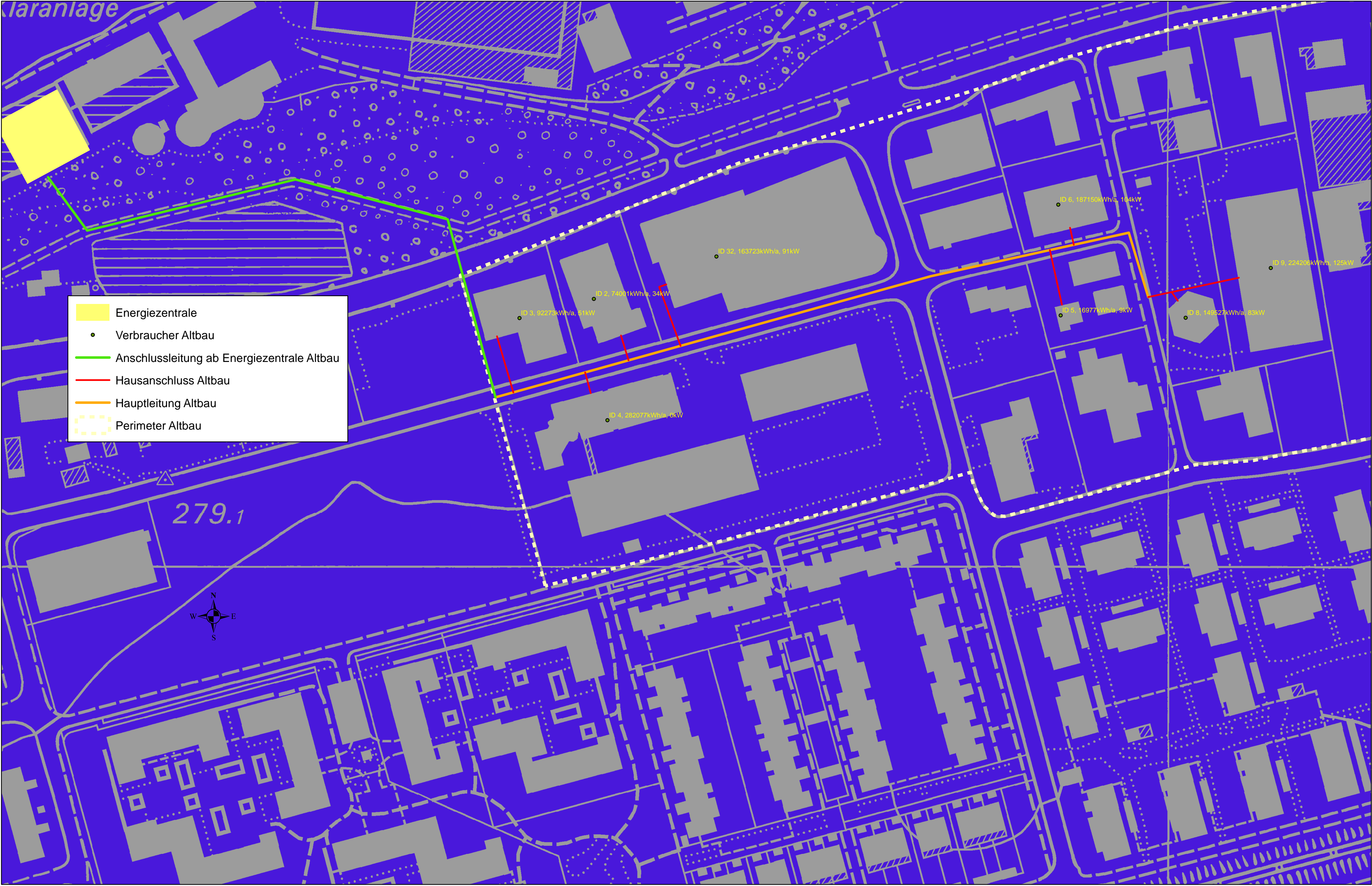
11 Ausblick

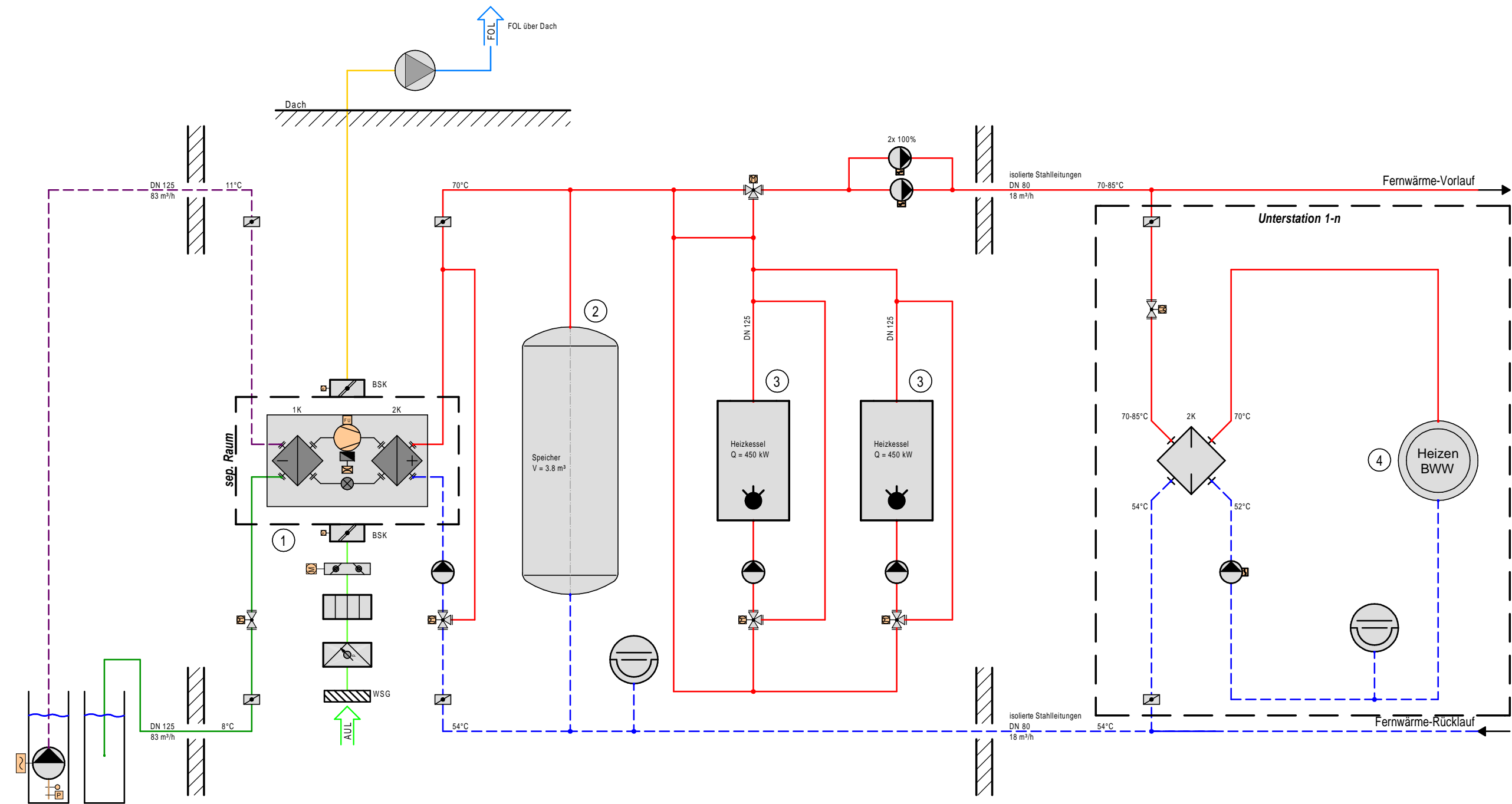
- Risikoanalyse;
Analyse des Risikos beim Ausfall eines Wärmeerzeugers bei den unterschiedlichen Varianten.
- Sensitivitätsanalyse;
Vertiefte Betrachtung der Ergebnisse und ihrer Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen.
- Heizspeicher und Frischwasserstation versus Warmwassererwärmer;
Analyse von optimierten Fernwärmesystemen für die klassische, zentrale Wärmeerzeugung.
- Verhalten bei Kältebedarf;
Überprüfen des Systemverhaltens bei gleichzeitigem Kältebedarf.
- Andere Wärmequellen;
Überprüfen der Ergebnisse mit anderen Wärmequellen für die Wärmeerzeugung.
- Wärmeverteilung Wärmeverluste versus Pumpenstrom;
Untersuchen des Einflusses der Wärmeverluste und des Pumpenstroms. Ab welcher Netztemperatur lohnt sich die Optimierung des Druckverlustes gegenüber der Wärmeverlustoptimierung.

12 Anhang

Verzeichnis der Anhänge:

- Anhang [1] GIS 20170918 Augarten Altbau
- Anhang [2] Prinzipschema Variante 1
- Anhang [3] Var 1 WPesti de
- Anhang [4] Prinzipschema Variante 2
- Anhang [5] Var 2 WPesti de
- Anhang [6] Prinzipschema Variante 3
- Anhang [7] Var 3 WPesti de
- Anhang [8] GIS 20170918 Augarten Neubau
- Anhang [9] Prinzipschema Variante A
- Anhang [10] Var A WPesti de
- Anhang [11] Prinzipschema Variante B
- Anhang [12] Var B WPesti de
- Anhang [13] Prinzipschema Variante C
- Anhang [14] Var C WPesti de





- ① Wärmepumpe

$T_u = 7^{\circ}\text{C}$
 $T_o = 72^{\circ}\text{C}$
 $Q'_e = 390\text{ kW}$
 $Q'_a = 290\text{ kW}$
 $\text{COP} = 3.9$
 NH_3
- ② Speicher

$V = 3'800\text{ Liter}$
- ③ Oelkessel

$Q' = 450\text{ kW}$
- ④ BWW-Speicher Unterstation

$V = 300 - 1'800\text{ Liter}$

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

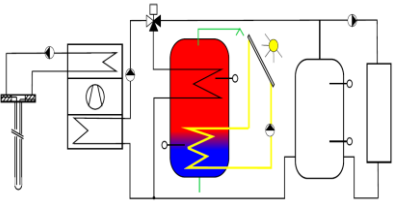
Projekt:

Anhang 3, Forschungsprojekt HSLU, Variante 1

Gebäudedaten

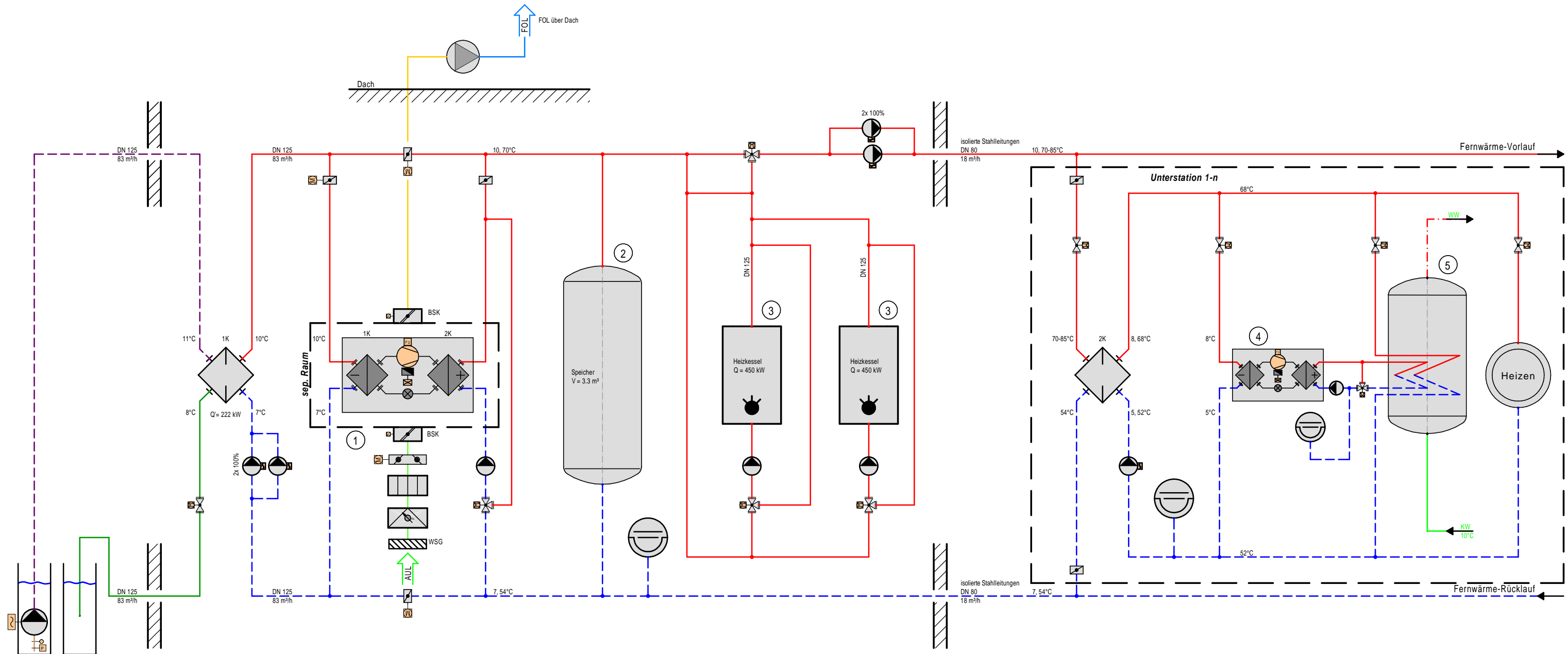
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	7%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert: 771.1	kW	632.5
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	27.7
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	33%

Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:				Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):				Heizung + Warmwasser
Heizungsspeicher				mit Heizungs - Speicher
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:				fossil bivalent (paralleler Betrieb)
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			390.0kW / 8.9
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			390
COP W10/W35	-			8.9
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			390
COP W10/W55	-			4.9
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	7500
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)			°C	11
Solltemperatur wärmster Raum (z.B. Badezimmer)		$T_{i,soll}$	°C	21
Vorlauftemperatur der Heizung: ($T_a = -8^\circ C$)		T_{VL}	°C	70
Rücklauftemperatur der Heizung: ($T_a = -8^\circ C$)		T_{RL}	°C	54
Differenz Speichertemperatur - Vorlauftemperatur Heizung		$dT_{Speicher}$	°C	0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:				kein Elektro-Heizstab
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage				Keine Solaranlage

Resultate

Anteil fossiler Zusatzheizung für Heizung	$\epsilon =$	24.3%	kWh =	361'556
Anteil fossiler Zusatzheizung für Warmwasser	$\epsilon =$	0.0%	kWh =	0
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		4%	$\epsilon_{tah} =$	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		6%	$\epsilon_{taw} =$	94%
Laufzeit der Wärmepumpe			h/a	3'638
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	75.7%	$JAZ_h =$	3.56
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	100.0%	$JAZ_{ww} =$	3.80



- ① Wärmepumpe
 $T_u = 6^\circ\text{C}$
 $T_o = 72^\circ\text{C}$
 $Q_e = 390\text{ kW}$
 $Q'_e = 290\text{ kW}$
 $\text{COP} = 3.90$
 NH_3
- ② Speicher
 $V = 3'300\text{ Liter}$
- ③ Oelkessel
 $Q = 450\text{ kW}$
- ④ BWW-Wärmepumpe Unterstation
 $Q = 4 - 12\text{ kW}$
- ⑤ BWW-Speicher Unterstation
 $V = 300 - 1'800\text{ Liter}$

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

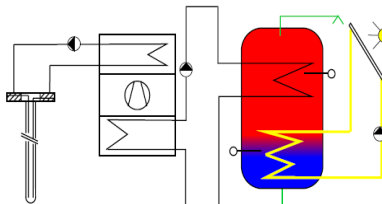
Projekt:

Anhang 5, Forschungsprojekt HSLU, Variante 2 Trinkwarmwasser

Gebäudedaten

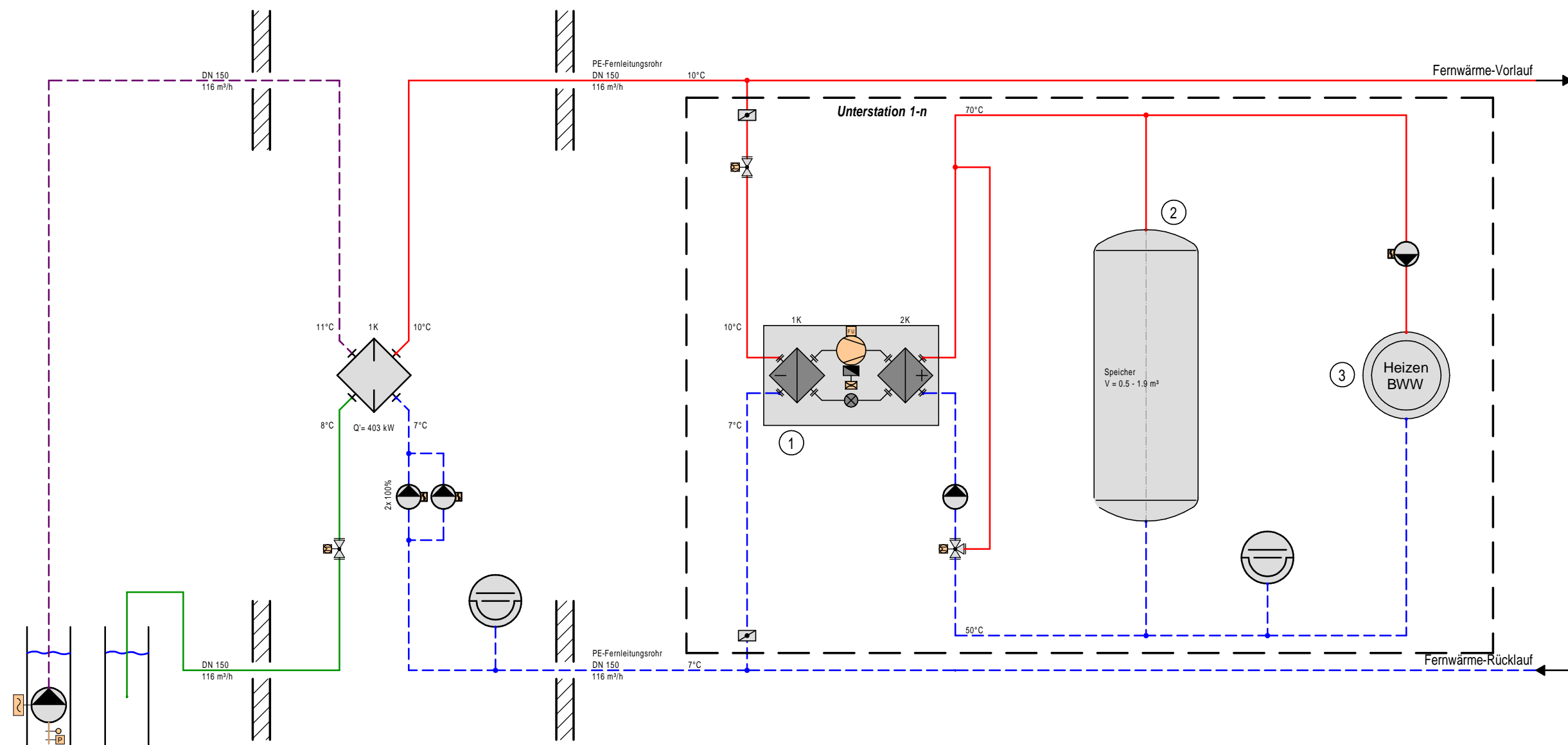
Klimastation	Basel-Binningen		
Gebäudekategorie	MFH		
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	7%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert: 771.1	kW	632.5
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	24.5
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	18%

Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:			Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos	
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):			Warmwasser	
			mit Heizungs - Speicher	
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:			fossil bivalent (paralleler Betrieb)	
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			54.0kW / 7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			54
COP W10/W35	-			7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			54
COP W10/W55	-			3.8
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	0
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)				10
				21
				70
				54
				0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:			kein Elektro-Heizstab	
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage			Keine Solaranlage	

Resultate

Anteil fossiler Zusatzheizung für Heizung				
Anteil fossiler Zusatzheizung für Warmwasser	$\epsilon =$	0.0%	kWh =	0
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		0%	Etah =	100%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		6%	Etaw =	94%
Laufzeit der Wärmepumpe			h / a	4'862
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung			JAZ _h =	0.00
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	100.0%	JAZ _{ww} =	3.08



① Wärmepumpe
R134a
 $T_u = 6^\circ\text{C}$
 $T_o = 72^\circ\text{C}$
 $Q'_c = 13-202 \text{ kW}$
 $\text{COP} = \text{ca. } 2.8$
 $n = 8$
 $\Sigma Q'_e = 222 \text{ kW}$
 $\Sigma Q'_c = 13-202 \text{ kW}$

② Speicher
 $V = 500 - 1'900 \text{ Liter}$
③ BWW-Speicher Unterstation
 $V = 300 - 1'800 \text{ Liter}$

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

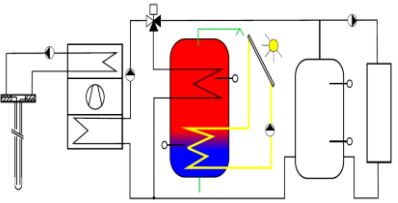
Projekt:

Anhang 7, Forschungsprojekt HSLU, Variante 3

Gebäudedaten

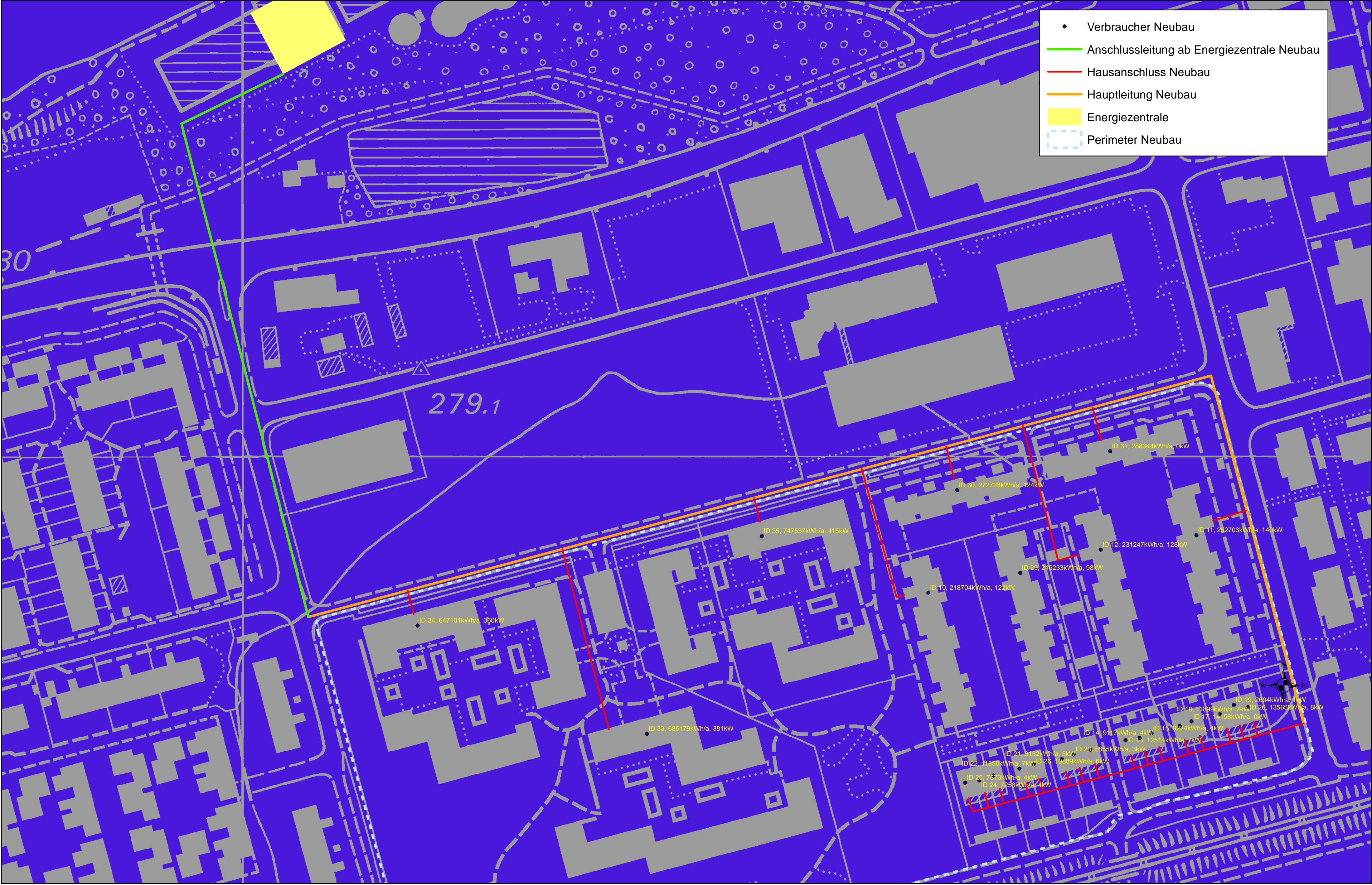
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	0%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert:	724.1	kW
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	20.8
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	0%

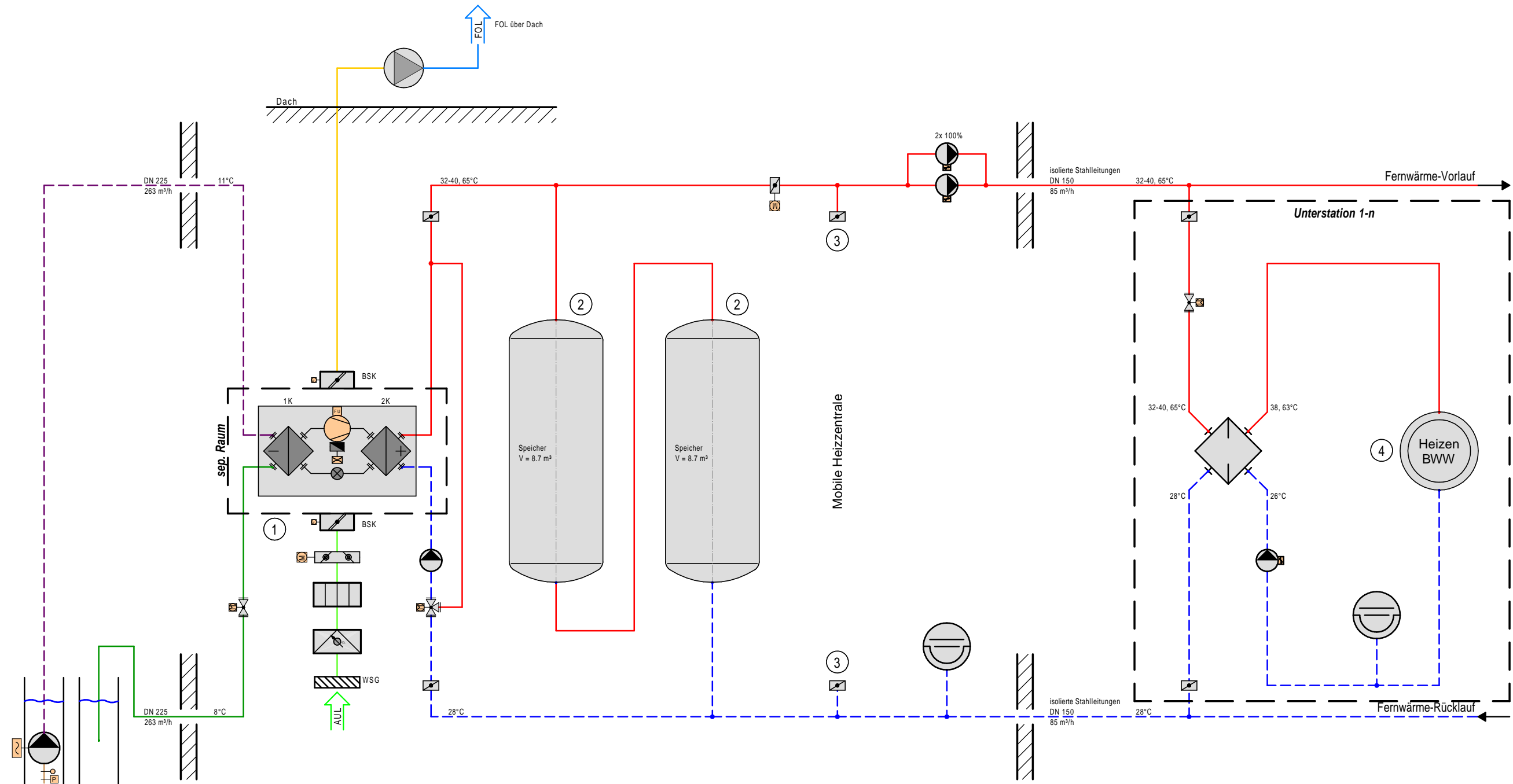
Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:				Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):				Heizung + Warmwasser
Heizungsspeicher				mit Heizungs - Speicher
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:				monovalenter Betrieb Heizung
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			854.0kW / 7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			854
COP W10/W35	-			7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			854
COP W10/W55	-			3.8
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	7500
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)			°C	10
Solltemperatur wärmster Raum (z.B. Badezimmer)		Ti,soll	°C	21
Vorlauftemperatur der Heizung: (Ta = -8°C)		T VL	°C	70
Rücklauftemperatur der Heizung: (Ta = -8°C)		T RL	°C	54
Differenz Speichertemperatur - Vorlauftemperatur Heizung		dT Speicher	°C	0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:				kein Elektro-Heizstab
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage				Keine Solaranlage

Resultate

		0.0%		
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	4%		Etah =	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	6%		Etaw =	94%
Laufzeit der Wärmepumpe			h / a	1'894
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	100.0%	JAZ _h =	3.04
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	100.0%	JAZ _{ww} =	3.14
Jahresarbeitszahl Heizung + Warmwasser JAZh+ww:	exkl. el. Zusatz		-	3.05





Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

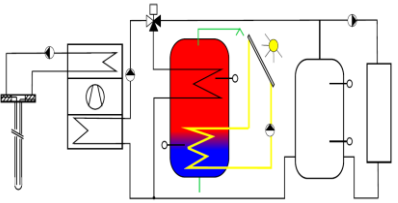
Projekt:

Anhang 10, Forschungsprojekt HSLU, Variante A

Gebäudedaten

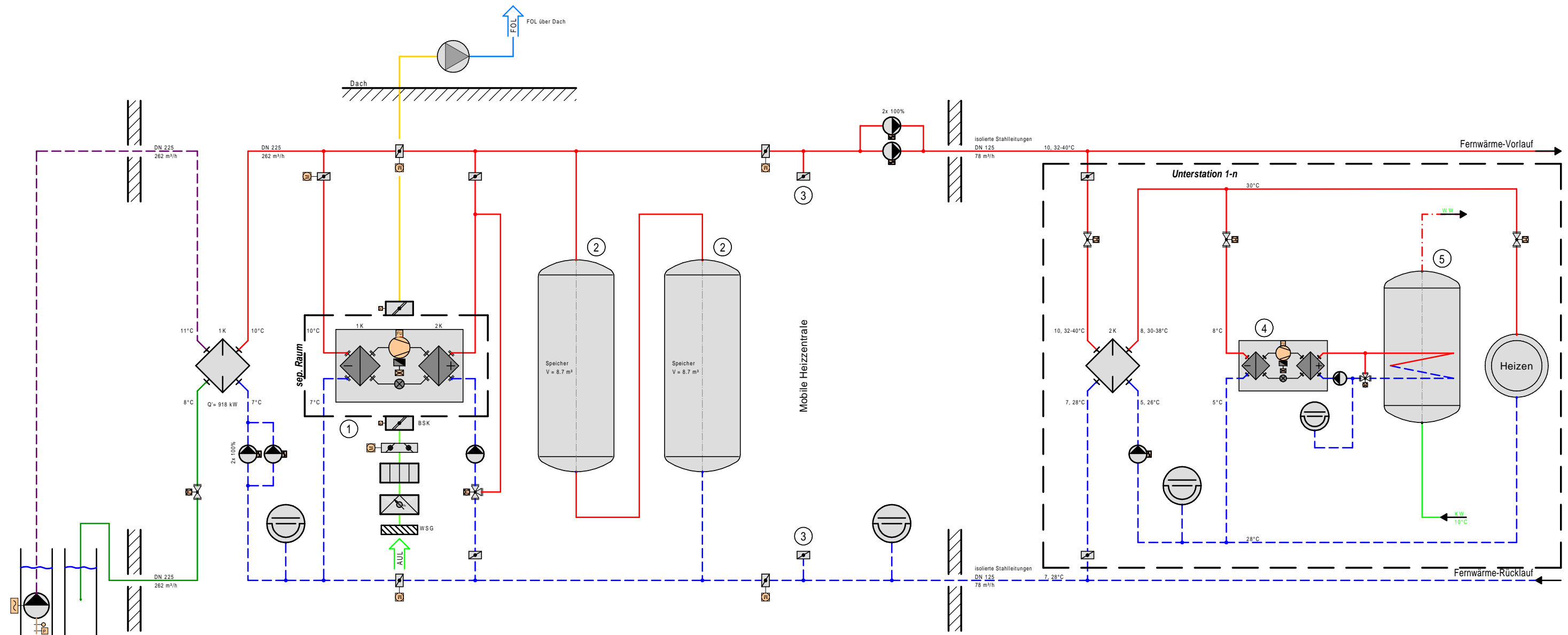
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	57'274
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	26
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	6%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert:	884.8	kW
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	23.7
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	14%

Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:				Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):				Heizung + Warmwasser
Heizungsspeicher				mit Heizungs - Speicher
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:				fossil bivalent (paralleler Betrieb)
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			1'100.0kW / 8.9
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			1100
COP W10/W35	-			8.9
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			1100
COP W10/W55	-			4.9
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	18500
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)			°C	11
Solltemperatur wärmster Raum (z.B. Badezimmer)		$T_{i,soll}$	°C	21
Vorlauftemperatur der Heizung: ($T_a = -8^\circ C$)		T_{VL}	°C	40
Rücklauftemperatur der Heizung: ($T_a = -8^\circ C$)		T_{RL}	°C	28
Differenz Speichertemperatur - Vorlauftemperatur Heizung		$dT_{Speicher}$	°C	0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:				kein Elektro-Heizstab
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage				Keine Solaranlage

Resultate

Anteil fossiler Zusatzheizung für Heizung	$\epsilon =$	0.0%	kWh =	0
Anteil fossiler Zusatzheizung für Warmwasser	$\epsilon =$	0.0%	kWh =	0
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		4%	$\epsilon_{tah} =$	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		6%	$\epsilon_{taw} =$	94%
Laufzeit der Wärmepumpe			h / a	2'947
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	100.0%	$JAZ_h =$	6.75
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	100.0%	$JAZ_{ww} =$	3.87



- ① Wärmepumpe
NH₃
T_u = 6°C
T_o = 42°C
Q_c = 918 kW
Q_e = 1'077 kW
COP = 6.8
- ② Speicher
V = 8'700 Liter
- ③ Anschlussstutzen
Mobile Heizzentrale
- ④ BW-WP Unterstation
Q = 1 - 23 kW
EFH
L/W-WP-Boiler
- ⑤ BW-WP-Speicher Unterstation
V = 200 - 2'400 Liter

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

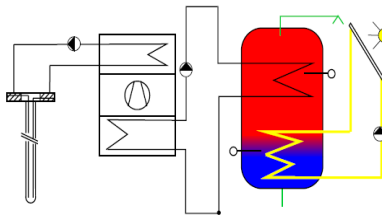
Projekt:

Anhang 12, Forschungsprojekt HSLU, Variante B Trinkwarmwasser

Gebäudedaten

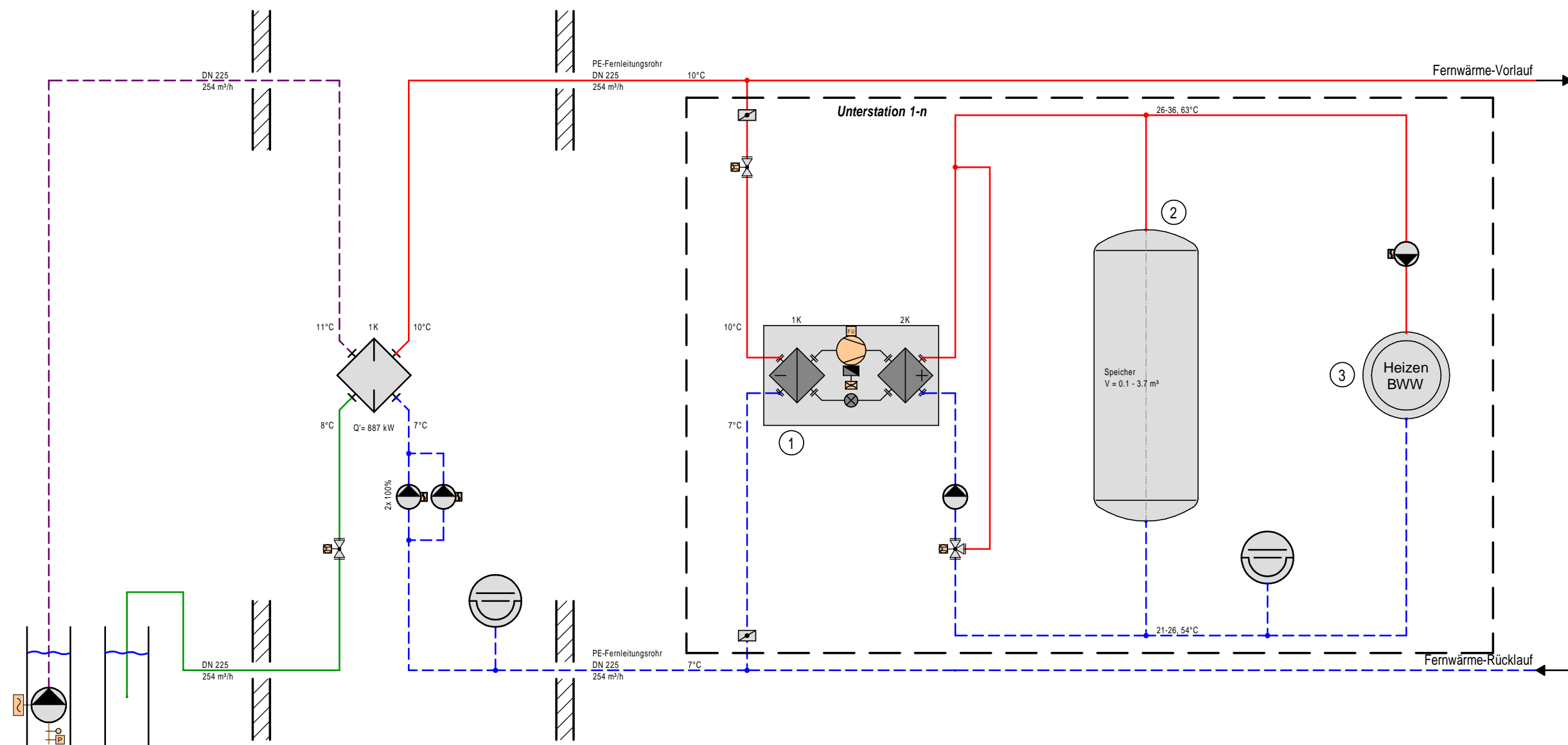
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	57'274
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	26
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	6%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert:	884.8	kW
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	20.8
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	0%

Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:				Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):				Warmwasser
				mit Heizungs - Speicher
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:				monovalenter Betrieb Heizung
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			136.0kW / 7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			136
COP W10/W35	-			7.1
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			136
COP W10/W55	-			3.8
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	0
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)				10
				21
				40
				28
				0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:				kein Elektro-Heizstab
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage				Keine Solaranlage

Resultate

ungedeckter Wärmebedarf Heizung			
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	0%	Etah =	100%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	6%	Etaw =	94%
Laufzeit der Wärmepumpe		h / a	8'760
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung		JAZ _h =	0.00
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	JAZ _{ww} =	3.08
Jahresarbeitszahl Heizung + Warmwasser JAZh+ww:	exkl. el. Zusatz	-	0.00



① Wärmepumpe
R134a
 $T_u = 6^\circ\text{C}$
 $T_o = 38^\circ\text{C}$
COP= 5.4
 $n = 25$
 $\Sigma Q'_e = 1'153 \text{ kW}$
 $\Sigma Q'_c = 1'415 \text{ kW}$

② Speicher
 $V = 100 - 3'700 \text{ Liter}$

③ BWW-Speicher Unterstation
 $V = 200 - 3'700 \text{ Liter}$
Periodische Ladung
24 Uhr - 03 Uhr

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

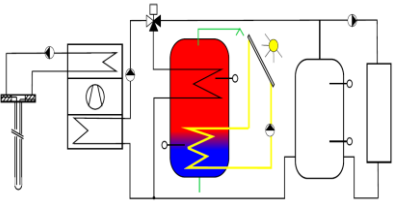
Projekt:

Anhang 14, Forschungsprojekt HSLU, Variante C

Gebäudedaten

Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	57'274
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	26
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	0%
Sperrzeiten für Wärmepumpe		h/d	0
Heizleistungsbedarf ohne Warmwasser bei -7°C	Vorschlagswert:	838.7	kW
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q_{ww}	kWh/m2a	20.8
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	0%

Wärmepumpen-Anlage

		WP-Liste	Hersteller:	Eigene Werte
Name und Typ der Wärmepumpe:			Typ:	W/W
Wärmequelle:				Wasser-Wasser-Wärmepumpe stufenlos
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):				Heizung + Warmwasser
Heizungsspeicher				mit Heizungs - Speicher
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:				monovalenter Betrieb Heizung
Quellentemperatur (Verdampfer-Eintritt):	°C			10
Rechenwerte bei TVL=35°C(Qh/COP):	°C			1'100.0kW / 7.5
Heizleistung Wärmepumpe W10/W35	kW			1100
COP W10/W35	-			7.51
Heizleistung Wärmepumpe W10/W55	kW			1100
COP W10/W55	-			4.47
Elektrische Leistungsaufnahme Förderpumpe:			W	37000
Quellentemperatur (falls nicht 10°C)			°C	10
Solltemperatur wärmster Raum (z.B. Badezimmer)		$T_{i,soll}$	°C	21
Vorlauftemperatur der Heizung: (Ta = -8°C)		T VL	°C	36
Rücklauftemperatur der Heizung: (Ta = -8°C)		T RL	°C	26
Differenz Speichertemperatur - Vorlauftemperatur Heizung		dT Speicher	°C	0
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:				kein Elektro-Heizstab
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:			°C	60
Warmwasser-Zirkulation / Begleitheizband	Nicht vorhanden			
Solaranlage				Keine Solaranlage

Resultate

		0.0%		
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	4%		Etah =	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	6%		Etaw =	94%
Laufzeit der Wärmepumpe			h / a	2'696
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	100.0%	JAZ _h =	5.74
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	$\epsilon =$	100.0%	JAZ _{ww} =	3.17
Jahresarbeitszahl Heizung + Warmwasser JAZh+ww:	exkl. el. Zusatz		-	4.21