

Rapport final, 22 février 2018

« Réseaux thermiques »

Critères de décision pour le choix du système

Auteurs

Stefan Gemperle, eicher+pauli Liestal AG

Sven Trecco, eicher+pauli Zürich AG

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.
La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.**

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale : 3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.suisseenergie.ch/conseil
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch

Contenu

1	Symboles et abréviations	4
2	Resumé	5
3	Situation initiale	7
3.1	Objectif du lot de travail	7
3.2	Procédure	8
3.3	Questions	8
3.4	Délimitations	9
4	Organisation du projet	9
5	Bases	10
6	Considération des interfaces	11
7	Méthodologie	11
8	Bâtiments existants:	16
8.1	Périmètre	16
8.2	Matrice des variantes	18
8.3	Variante 1 / bâtiments existants / CL centralisé / ECS centralisée	19
8.4	Variante 2 / bâtiments existants / CL centralisé / ECS décentralisée	22
8.5	Variante 3 / bâtiments existants / CL décentralisé / ECS décentralisée	25
8.6	Résultats bâtiments existants	27
9	Nouvelles constructions:	32
9.1	Périmètre	32
9.2	Matrice des variantes	33
9.3	Variante A / nouvelles constructions / CL centralisé / ECS centralisée	35
9.4	Variante B / nouvelles constructions / CL centralisé / ECS décentralisée	38
9.5	Variante C / nouvelles constructions / CL décentralisé / ECS décentralisée	41
9.6	Résultats nouvelles constructions	43
10	Conclusion:	47
10.1	Investissements	47
10.2	Besoins en énergie	47
10.3	Écologie	49
10.4	Coûts annuels	49
11	Perspectives	51
12	Annexe	52

1 Symboles et abréviations

ECS eau chaude sanitaire

CL chauffage des locaux

TPL heures à pleine charge

Trm tracé en mètres (aller et retour)

Trkm tracé en kilomètres (aller et retour)

K kelvin

ES eaux souterraines

COP coefficient de performance annuel

SIG système d'information géographique

PAC pompe à chaleur

2 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 bâtiments existants et pour un quartier de nouvelles constructions. 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 thermique existant, afin d'obtenir une typologie de tuyauterie réelle. 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'ECS?

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

- Chauffage centralisé / ECS centralisée
- Chauffage centralisé / ECS décentralisée
- Chauffage décentralisé / ECS 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 ± 25 % ainsi qu'à l'évaluation de l'efficacité économique et écologique.

L'analyse montre que l'option classique du **chauffage centralisé / ECS centralisée** est préférable dans le quartier de **bâtiments existants**. La raison principale réside dans le rendement supérieur du système de chauffage centralisé par rapport à la préparation de chaleur décentralisée pour le chauffage et l'ECS.

Dans les nouvelles constructions, l'option du **chauffage décentralisé / ECS décentralisée** prévaut clairement. Les raisons principales sont l'élimination de la centrale énergétique, les basses températures aller, 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

Zusammenfassung

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

Untersucht wird die Wärmeerzeugung in einem Altbaugbiet und in einem Neubaugebiet. Beiden Gebieten wird die SIA Nutzung Wohnen MFH zugeschrieben. Bei den Gebieten und den Wärmebezüglern handelt es sich um ein 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 die klassische Variante **Heizung zentral / Trinkwarmwasser zentral** sich 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

3 Situation initiale

La stratégie énergétique 2050 prévoit de réduire l'utilisation des sources d'énergie fossiles et de faire plus largement appel aux énergies renouvelables. Les émissions de CO₂ doivent être réduites de manière drastique. Les réseaux thermiques offrent une bonne opportunité pour utiliser davantage d'énergies renouvelables et d'atteindre ainsi les objectifs définis par la Confédération. À la question de la rentabilité des réseaux thermiques s'ajoute celle du choix du système; par exemple, préparation centralisée ou décentralisée, températures de réseau élevées ou basses selon la température des sources ou des puits, etc. Ce document de travail montre les premières étapes pour évaluer les critères de décision pour le choix du système.

Le Programme «réseaux thermiques» comprend les quatre projets partiels: «Documents de bases», «Projets exemples», «Éducation et formation continue» et «Point d'information». La partie «Documents de bases» du Programme vise à répertorier les bases existantes utilisables et à créer de nouvelles bases pour tous les acteurs de la branche. Les bases contiennent: des exemples tirés de la pratique, des instruments, des outils, des guides et des manuels. Les bases sont élaborées par le biais de lots de travail sur différents sujets concernant les réseaux thermiques. Les critères de décision relatifs au choix du système constituent un sujet d'actualité dans le domaine des réseaux thermiques.

3.1 Objectif du lot de travail

L'objectif de ce lot de travail est de contribuer au développement de critères de décision pour le choix du système de réseaux thermiques. Il devrait en résulter des énoncés sur les critères suivants:

- Implantation de la préparation de la chaleur (hausse centralisée ou décentralisée de la température pour le chauffage / où l'élévation de la température a-t-elle lieu?)
- Déclarations sur le choix de la température du réseau en fonction du type de la préparation de chaleur et du niveau de température des consommateurs

Les aspects économiques et écologiques doivent être utilisés comme critères de décision.

Dans ce lot de travail, l'analyse se limite à l'approvisionnement en chaleur. Cela permet de tester la procédure sur un système relativement simple.

Des systèmes plus complexes devraient être étudiés dans le cadre d'autres lots de travail. La méthodologie en la matière devrait se baser sur ce travail et être développée davantage.

3.2 Procédure

Sur la base d'une liste de projets hypothétiques de réseaux thermiques comportant une seule source à basse température typique (par exemple eaux souterraines) et des situations de demande typiques, les paramètres suivants vont varier:

- Niveau de température des consommateurs (nouvelles constructions typiques selon le standard Minergie et bâtiments existants typiques en construction mixte)
- Système de chauffage (préparation de la chaleur totale centralisée / préparation de chaleur centralisée pour le chauffage des locaux et préparation décentralisée de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire / préparation totale de la chaleur décentralisée)
- Niveau de température de la distribution de chaleur côté primaire en fonction des exigences de la demande des consommateurs et de la préparation de chaleur (température minimale appropriée aller et retour)

La zone d'approvisionnement de base doit présenter une densité de raccordement linéaire de 2 MWh/Trm*a pour la vente de chaleur. La zone d'approvisionnement est établie à partir d'une zone d'approvisionnement réelle existante. Il en résulte également des topologies de tuyauterie réelles.

Les systèmes sont évalués en fonction de leur efficacité économique (coûts annuels) et des aspects écologiques (besoins en énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre CO₂-eq).

L'examen technico-économique des cas de calcul conduit à des interprétations hypothétiques pour les installations (réseau, appareils, etc.) sur la base de composants qui peuvent être obtenus sur le marché. Cette méthode permet de comparer les cas individuels et de faire des énoncés sur l'efficacité globale.

Notre hypothèse est basée sur les coûts estimés de projets similaires avec une précision de +/- 25% de l'investissement pour les installations et les réseaux. Ainsi, une précision de ±1,5 c./kWh peut être obtenue en ce qui concerne les coûts d'installation.

La profondeur de détail révèle des différences fondamentales entre les cas examinés.

3.3 Questions

Ce lot de travail fournit une réponse à la question suivante:

Quel système de préparation et de distribution de la chaleur (centralisé, centralisé et décentralisé, uniquement décentralisé, température du réseau) est économiquement et écologiquement avantageux pour les réseaux thermiques en fonction du profil de la demande (puits)?

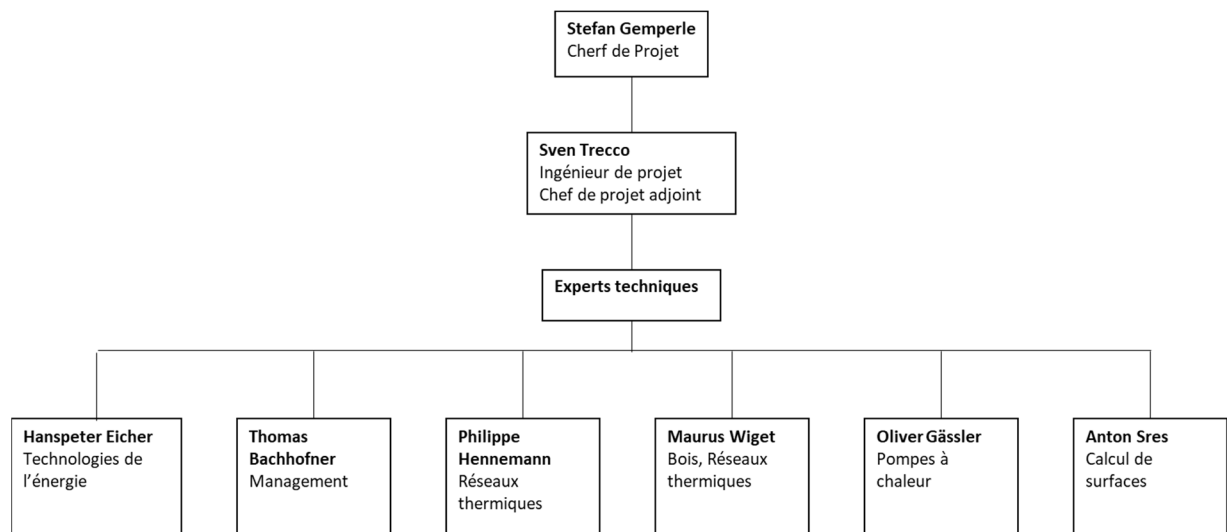
3.4 Délimitations

Ne sont pas considérés en particulier:

- Des sources de chaleur de natures différentes
- Production et distribution de froid
- Différents systèmes de distribution (4 conduites, 3 conduites et 1 conduite)
- Puits supplémentaires (par exemple, quartiers d'habitation et de services, sites industriels, etc.)
- Niveaux de température supplémentaires de l'approvisionnement en chaleur côté primaire

4 Organisation du projet

L'organisation interne du projet e+p est conforme à l'organigramme ci-dessous:



5 Bases

Les éléments suivants constituent la base des travaux:

Tableau 1, Récapitulation des éléments

Désignation	Taille	Remarque
Densité d'énergie linéaire	2000 MWh/(Trkm*an)	
Dimensionnement centrale énergétique	100%	
Dimensionnement sous-stations	130%	Calcul de la puissance sur les heures d'exploitation à pleine charge (moyenne sur 24h) Couverture des pointes en tenant compte des fluctuations quotidiennes
Pertes de distribution bâtiments existants centralisé-centralisé	10%	Comme point de départ pour le calcul des pertes des autres variantes
Source de chaleur	11 °C	Eaux souterraines, sans restriction Captage des eaux souterraines
Consommation électrique pompe de circulation principale	2'200 heures d'exploitation à pleine charge	
Calcul du taux d'intérêt	3%	
Durée de vie technique	15 à 50 ans	Par composants selon la directive VDI 3492
Inflation	1%	
Coûts de construction	385 CHF/m ³	Centrale en surface

Autres bases:

- Cahier des charges Programme «réseaux thermiques» du 24.03.2017
- Séance de coup d'envoi du 09.08.2017, y compris tous les documents
- 1^{ère} séance intermédiaire, en date du 29.09.2017, y compris tous les documents
- Données de base du réseau thermique de chaleur Augarten AEW

- Énergie primaire et facteurs d'émission de CO₂ selon les données des écobilans dans la construction KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

6 Considération des interfaces

La présente étude examine les points essentiels des réseaux de chaleur. Les interfaces suivantes constituent les limites de l'étude.

- Distribution de chaleur dans la sous-station (nourrice de distribution).
- Les énergies auxiliaires, l'électricité pour la régulation, etc. ne sont pas incluses.
- Les coûts de la construction décentralisée ne sont pas inclus. Seuls les coûts structurels supplémentaires pour les variantes avec pompes à chaleur dans les sous-stations par rapport aux sous-stations classiques sont pris en compte.

7 Méthodologie

1. Définir la source de chaleur

On suppose que la source de chaleur est une nappe phréatique dont la température constante est de 11 °C. L'écart de température entre l'aller et le retour ne doit pas dépasser 3 K¹.

2. Définir les utilisations du bâtiment

L'utilisation et le profil de charge correspondant sont limités au « résidentiel ». D'autres affectations ne sont pas prises en compte.

3. Définir la zone de bâtiments existants et de nouvelles constructions avec des consommateurs réels

Les données de consommateurs d'un réseau thermique réel ont été choisies afin de se rapprocher le plus possible de la réalité. Il s'agit du réseau thermique AEW Augarten à Rheinfelden. Les réseaux de chaleur des nouvelles constructions et des bâtiments existants correspondent dans la réalité exactement aux quartiers de bâtiments existants et de nouvelles constructions. Cependant, les consommateurs sont raccordés à un seul et même réseau thermique.

4. Définir un réseau thermique

Les consommateurs sont répartis en quartiers de nouvelles constructions et de bâtiments existants, et sont reliés au moyen d'un réseau fictif (basé sur un SIG).

5. Définir un emplacement de la centrale

La distance entre l'emplacement de la centrale et les réseaux de chaleur est la même pour les deux réseaux.

¹ Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux), annexe 2

6. Uniformisation de la densité thermique linéaire à 2 MWh/Trm/an

En traçant le réseau, on obtient le nombre de mètres du tracé. Pour répondre à l'exigence de densité thermique linéaire de 2 000 MWh/km/an, le besoin de chaleur des consommateurs individuels est ajusté proportionnellement à la consommation réelle. Cela permet de standardiser les besoins énergétiques pour chaque réseau thermique.

7. Définir les températures de consommation

Les températures des consommateurs sont définies comme suit et doivent être observées pour chaque concept:

Courbe de chauffage bâtiments existants

Courbe de chauffage nouvelles constructions

8. Définir la part d'eau chaude

Alors que la part d'eau chaude pour un bâtiment existant est relativement faible, une nouvelle construction nécessite environ 45 % de la chaleur pour la préparation de l'eau chaude sanitaire. Cette répartition est calculée comme suit:

Quartier de bâtiments existants: 300 heures d'exploitation à pleine charge pour l'eau chaude

Quartier de nouvelles constructions: 45% de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire

9. Élaborer les concepts des installations (schémas de principe) pour les variantes

Tous les concepts sont décrits avec des schémas de principe de base et peuvent être consultés en annexe. Les besoins hydrauliques de base ainsi que les températures sont de telle manière présentés le plus clairement possible.

10. Dimensionnement de l'installation de chauffage

La production de chaleur est dimensionnée selon le principe d'une couverture énergétique d'au moins 80 % par la pompe à chaleur eau-eau. Dans les différents concepts, une production de chaleur de 80% via la pompe à chaleur n'est mise en œuvre que lorsqu'une température aller de 70 °C est requise pour le chauffage des locaux. Dans le quartier de nouvelles constructions où la température aller pour le chauffage des locaux est fixée à 36 °C, il n'est pas prévu de recourir aux énergies fossiles pour couvrir les pointes de charge. Cela signifie que 100 % des besoins en chaleur sont couverts par la pompe à chaleur eau-eau.

La production de chaleur centralisée ainsi que les réseaux de froid et chauffages à distance sont conçus pour couvrir 100 % des besoins en chaleur sur la base des considérations suivantes:

Le calcul de la demande de puissance des consommateurs est basé sur la demande de chaleur et les degrés-jours de chauffage. Cela permet de calculer les valeurs de la puissance moyennes sur 24 heures. Ces valeurs ne tiennent donc pas compte des pointes journalières.

Pour le calcul des besoins en puissance des différentes sous-stations et de leurs conduites de raccordements domestiques, un facteur de majoration de 1,3 est pris en compte.

Pour toutes les autres conduites de chauffage à distance, et en particulier pour la production de chaleur centralisée, ce facteur n'est pas pris en compte. En effet, on suppose que les pointes journalières et les équivalences se compensent.

11. Dimensionnement de tous les éléments de l'installation

Une fois le concept élaboré et les températures définies, tous les éléments de l'installation (pompes, tuyaux, etc.) sont dimensionnés selon les méthodes en usage dans la branche. Les dimensions sont indiquées dans les schémas en annexe. Les valeurs les plus importantes pour le dimensionnement des éléments de l'installation sont indiquées dans le tableau suivant:

Perte de pression conduite chaude	Max. 250 Pa/m
Perte de pression conduite froide	Max. 100 Pa/m
Température différentielle eaux souterraines - séparation du système	1K
Température différentielle chauffage à distance circuit primaire au circuit secondaire sous-stations	2K
Facteur de surdimensionnement sous-stations	1.3
Stockage PAC	Conçu pour le fonctionnement cadencé d'une PAC, de sous-stations et de solutions centralisées

Calculer les pertes de distribution et, le cas échéant, ajuster la production de chaleur

Les pertes de distribution sont définies pour la variante classique 1 comme représentant 10 % du besoin en chaleur.

Un coefficient de transmission thermique moyen a été calculé à partir de la surface de l'enveloppe, la différence de température moyenne entre les conduites de transmission et la température du sol, et les pertes de distribution fixées à 10% dans la variante 1.

Celui-ci est ensuite utilisé pour le calcul de toutes les variantes. Les paramètres pour le calcul des pertes de distribution dans les variantes sont:

- La surface de l'enveloppe du réseau sur la base de la longueur et du diamètre des conduites du chauffage à distance
- Le coefficient de transmission thermique décrit ci-dessus s'applique uniquement aux conduites en acier isolées
- Températures aller et retour
- Temps d'exploitation
- Ni gains, ni pertes sont pris en compte pour le froid à distance.

La variante A (nouvelle construction, centralisé-centralisé) a, outre les pertes de distribution, également des pertes de chaleur dans le réseau pour la préparation de l'ECS en été. Les pertes de chaleur, dues au maintien du niveau de température à 70 °C pour l'ECS, sont considérées et ne sont pas récupérées pour le chauffage des locaux et donc perdues par transmission. Supposons un délai d'une heure à pleine puissance pour le alimenter le chauffage à distance, un temps de charge de trois heures pour l'ECS et la perte de toute l'énergie dans le réseau due au refroidissement du réseau de chauffage à distance après la charge de l'ECS.

12. Calcul du COP (PAC-Esti) pour la production d'eau chaude et de chaleur pour les locaux

Les coefficients de performance annuels pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire sont calculés au moyen du programme de calcul WPesti². Le calcul inclut le débit de la pompe pour le captage des eaux souterraines. Le débit des principales pompes d'alimentation est considéré comme étant de 2'200 heures d'exploitation à pleine charge par an.

13. Définir la base du calcul de rentabilité

La comparaison économique de toutes les mesures constitue un critère déterminant pour le choix du système. L'évaluation de la rentabilité économique est obtenue au moyen de la méthode des annuités dynamique et donc en comparant les coûts annuels. Il s'agit des coûts de l'énergie, de maintenance et de capital.

Coûts de l'énergie:

Les coûts de l'énergie se composent de la consommation d'électricité et de mazout. Aucun autre agent énergétique n'est pris en compte dans l'étude. Les prix de l'électricité et du mazout sont basés sur les valeurs actuelles du marché.

Frais de maintenance et de réparation:

L'estimation d'un facteur de pondération sur les investissements est basée sur les directives générales³, les données du fabricant et des valeurs empiriques.

Coût du capital:

Les coûts du capital sont calculés sur la base de l'investissement et de la durée de vie technique moyenne de la variante respective. Les investissements sont basés sur des offres avec prix indicatifs et des valeurs empiriques.

14. Évaluation de l'impact environnemental au moyen du calcul du CO₂ + calcul des besoins en énergie primaire

L'impact écologique est évaluée sur la base des émissions de gaz à effet de serre (équivalents en CO₂) et des besoins en énergie primaire. La base de calcul est la liste des «Données écobilans dans la construction» KBOB, eco-bau, IPB 2009/1:2016)⁴. L'évaluation se concentre uniquement sur l'exploitation des installations. La production et la mobilité n'ont pas été prises en compte.

² Lien vers la version actuelle: <https://www.endk.ch/de/fachleute-1/hilfsmittel>

³ Directive VDI 2067, septembre 2000; rentabilité des installations thermiques, données de base et calcul des coûts

⁴ Lien vers la version actuelle https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html

15. Recommandation pour les quartiers de bâtiments existants et de nouvelles constructions basée sur la rentabilité et l'écologie

La recommandation pour les quartiers de bâtiments existants et de nouvelles constructions s'appuie sur les résultats économiques et écologiques issus du travail et sur la faisabilité, établis sur la base de l'expérience. Les pratiques courantes de la technique sont appliqués.

16. Autres considérations

L'étude ne couvre pas tous les aspects de la question. Une lecture plus approfondie d'autres thèmes est recommandée à ce stade.

8 Bâtiments existants:

Ce chapitre traite le quartier de bâtiments existants. Le périmètre est d'abord examiné, puis les variantes sont définies.

8.1 Périmètre

Le besoin en chaleur dans le périmètre est basée sur les consommateurs de chaleur réels existants du réseau de chaleur Augarten Weiherfeld à Rheinfelden⁵. Comme décrit dans le chapitre Méthodologie, les consommateurs de chaleur sont raccordés à un réseau fictif via des stations d'échange et la consommation d'énergie est proportionnellement ajustée à la densité énergétique linéaire fixée à 2000 MWh/Trkm/an.

La figure ci-dessous montre un aperçu du réseau thermique de bâtiments existants. Dans l'annexe [1], la carte en taille originale peut être visualisée.

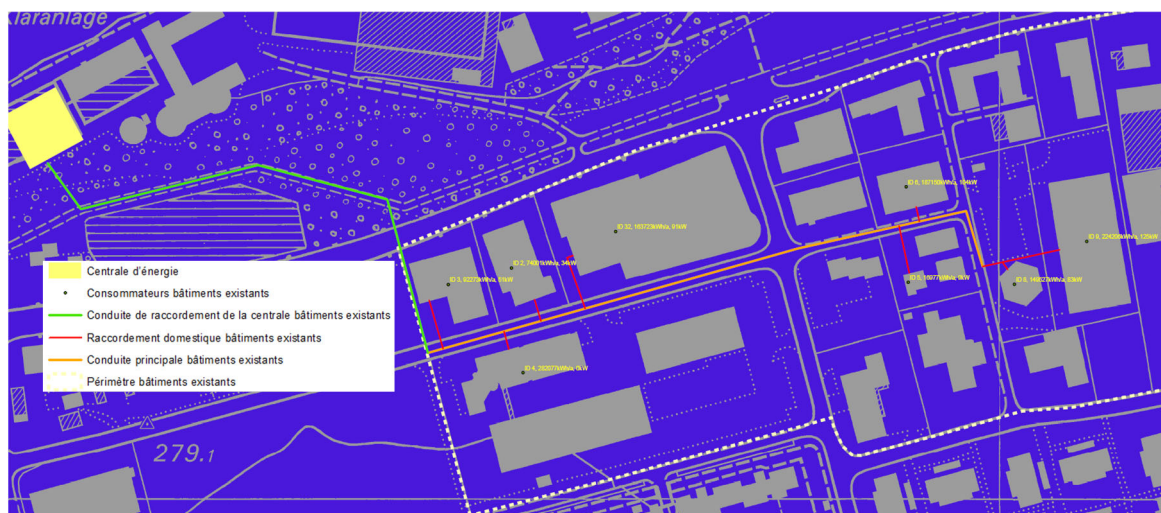


Figure 1, Périmètre du réseau thermique pour les bâtiments existants

Voici les paramètres normalisés des bâtiments existants (sans perte de distribution). La puissance nécessaire est calculée sur la base des heures d'exploitation à pleine charge. Les tracés spécifiés comprennent les conduites principales, y compris les raccordements domestiques.

Tableau 2, Paramètres bâtiments existants

Utilisation	Maisons plurifamiliales
Station météorologique	Basel-Binningen
Standard bâtiments	Bâtiments existants
Nombre de sous-stations	8
Besoins en chaleur	1'440 MWh/an

⁵ Réseau thermique Augarten Weiherfeld, utilisation des rejets thermiques ARA Rheinfelden, AEW Energie AG, utilisation des données par AEW approuvées le 18.09.2017.

Heures d'exploitation à pleine charge	2'200 heures d'exploitation à pleine charge/an
Besoins en puissance	655 kW
Besoins en chaleur ECS ⁶	443 MWh/an
Besoins en chaleur CL	2' 213 MWh/an
Mètres de tracé (somme)	720 Trm
Températures CL (-7 °C)	aller 70 °C retour 50 °C
Températures ECS	aller 62 °C retour 52 °C
Densité d'énergie linéaire	2000 MWh/Trkm/an

⁶Calculés sur la puissance totale avec 300 heures d'exploitation à pleine charge

8.2 Matrice des variantes

La question pertinente du présent lot de travail est la suivante: «Augmentation de la température centralisée ou décentralisée? / Où la hausse de température a-t-elle lieu? Trois concepts sont définis pour répondre à ces questions:

- Variante 1, préparation centralisée de chaleur pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux
- Variante 2, préparation centralisée du chauffage des locaux, préparation décentralisée de l'eau chaude sanitaire
- Variante 3, préparation décentralisée de chaleur pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux (distribution de froid)

Les différences techniques essentielles des concepts sont présentées dans la matrice ci-dessous de manière claire.

Tableau 3, Matrice des variantes bâtiments existants

Variante	1	2	3
Bâtiments existants (température aller 70 °C)	x	x	x
Nouvelles constructions (température aller 36 °C)			
Chauffage centralisé des locaux	x	x	
Chauffage décentralisé des locaux			x
Eau chaude sanitaire centralisée	x		
Eau chaude sanitaire décentralisée		x	x
Installation pour chauffage des locaux monovalent (100% ES-PAC) ⁷			x
Installation pour chauffage des locaux bivalent (80% ES-PAC / 20% chaudière à mazout) ⁸	x	x	
100% de redondance pour la couverture des charges de pointe: 50% de redondance pour la production de chaleur	x	x	
Raccordement d'un système de chauffage mobile: redondance à 100%			
Pas de redondance pour la production de chaleur			x

Outre la production de chaleur, les variantes diffèrent essentiellement au niveau de la répartition du risque de défaillance de la production de chaleur. Alors que dans les variantes 1 et 2, la couverture de pointe est redondante à 100 % et qu'une éventuelle défaillance de l'un des trois générateurs de chaleur peut donc être compensée, il n'y a pas de redondance dans les variantes décentralisées pour des raisons économiques, cependant le risque est réparti entre les différentes maisons individuelles.

Dans les chapitres suivants, les variantes sont présentées sur le plan technique.

⁷En rapport avec l'énergie annuelle requise pour la production de chaleur

⁸En rapport avec l'énergie annuelle requise pour la production de chaleur

8.3 Variante 1 / bâtiments existants / CL centralisé / ECS centralisée

Description élémentaire des exigences

L'élévation de température pour le CL et l'ECS a lieu dans la centrale. La chaleur est produite de manière bivalente au moyen d'une pompe à chaleur eau-eau et d'une couverture de pointe au mazout. La couverture de pointe est conçue de manière redondante, ce qui permet d'atteindre une redondance du système de 50 %.

Températures à partir de la centrale

Les températures du réseau doivent être suffisamment élevées toute l'année pour que l'ECS et le besoin en CL soient couverts de manière centralisée. La couverture de pointe fossile garantit des températures élevées, c'est pourquoi les températures du réseau sont également maintenues à un niveau élevé. L'un des avantages est la différence de température plus importante qui en résulte entre les conduites aller et retour et le dimensionnement plus petit et plus rentable des conduites à longue distance. Un inconvénient est l'augmentation des pertes de chaleur qui en résulte.

Dans le diagramme ci-dessous, la courbe de chauffage est représentée à partir de la centrale d'énergie. Lorsque la température extérieure de dimensionnement est atteinte, la température aller est réglée à 85 °C, bien que seule une température de 70 °C + 2K soit requise de la part des consommateurs de chaleur.

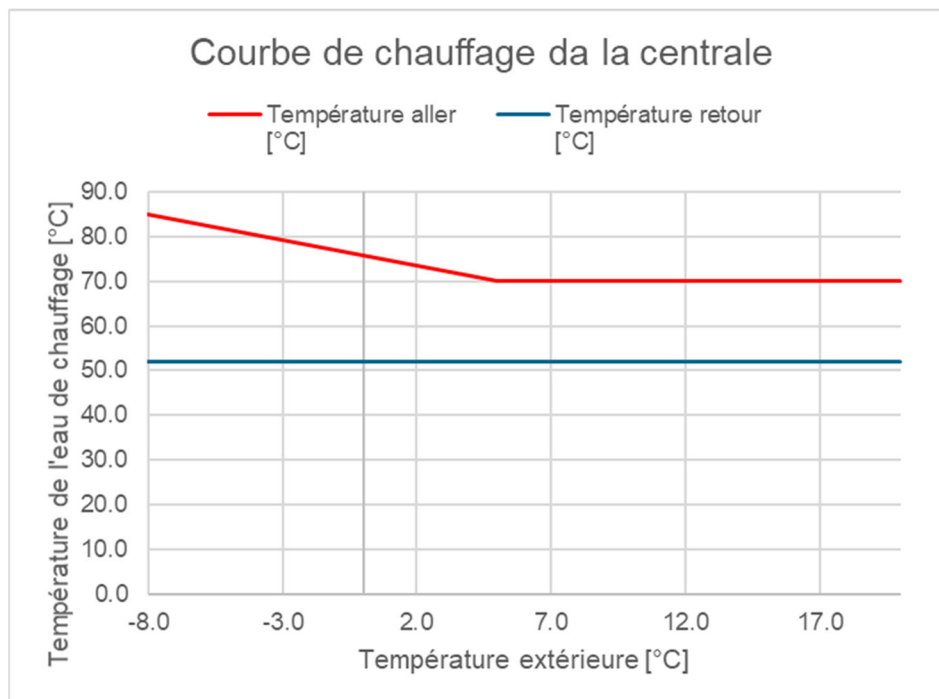


Figure 2, Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante 1

Pertes

Dans cette variante, les pertes de distribution sont fixées à 10 % de la chaleur requise par les consommateurs de chaleur. Cela correspond à environ 148 MWh/an.

Besoins en énergie et en puissance

Les pertes engendrent les besoins en énergie et en puissance suivants:

Besoins en chaleur: 1' 631 MWh/an

Besoins en puissance: 830 kW

Dimensionnement des installations de chauffage

Lors du dimensionnement de l'installation de chauffage, l'objectif est d'atteindre un rapport de 80 % à 20 % entre la chaleur de la pompe à chaleur et celle de la chaudière à mazout. Ce rapport est obtenu grâce au dimensionnement suivant:

PAC eaux souterraines 390 kW

Chaudière à mazout 1 450 kW

Chaudière à mazout 2 (Redondance) 450 kW

Performance du système 840 kW

Dimensionnement

Le dimensionnement des installations de chauffage et la conception des températures permettent de dimensionner les composants du système. Cela a été réalisé pour le système en utilisant des méthodes courantes dans la branche. Il en résulte en annexe [2] un schéma de principe avec les dimensions du système. Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP), rendement de la chaudière à mazout

Le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur a été calculé pour le chauffage et l'ECS à l'aide du programme WPesti Annexe [3]. Outre l'électricité pour la pompe à chaleur (pompe à chaleur à l'ammoniac), l'électricité pour la pompe des eaux souterraines est également incluse. La pompe de circulation est ajoutée séparément au besoin en énergie de la centrale avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL) 3.6

COP PAC (ECS) 3.8

Rendement de la chaudière à mazout 90%

Besoins en énergie et en puissance centrale d'énergie

Le besoin annuel en énergie finale a été déterminé sur la base des chiffres sur l'énergie et l'efficacité énergétique calculés ci-dessus:

Électricité PAC-CL 291 MWh/an

Électricité PAC-ECS 69 MWh/an

Pompe aller principale 16.5 MWh/an

Somme électricité 376 MWh/an

Mazout 370 MWh/an

La puissance électrique absorbée a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau thermique, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont indiqués, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas prise en compte.

Pompe ES	8 kW
PAC	100 kW
Pompe aller principale	4 kW
Somme	112 kW

8.4 Variante 2 / bâtiments existants / CL centralisé / ECS décentralisée

8.4.1 Description élémentaire des exigences

L'élévation de température pour le CL se fait dans la centrale énergétique et pour l'ECS dans les sous-stations avec des pompes à chaleur eau-eau standard. La production de chaleur centralisée se fait de manière bivalente au moyen d'une pompe à chaleur eau-eau et d'une couverture de pointe au mazout. La couverture de pointe est conçue de manière redondante qui permet d'atteindre une redondance du système de 50 %.

Températures à partir de la centrale énergétique

Comme dans la variante 1, les températures sont maintenues à un niveau élevé grâce à la couverture de pointe par des énergies fossiles et aux conditions économiquement plus favorables qui en résultent.

Dans le diagramme ci-dessous, la courbe de chauffage est représentée à partir de la centrale énergétique. Lorsque la température extérieure de dimensionnement est atteinte, la température aller est réglée à 85 °C, bien que seule une température de 70 °C + 2 K soit requise par les consommateurs de chaleur.

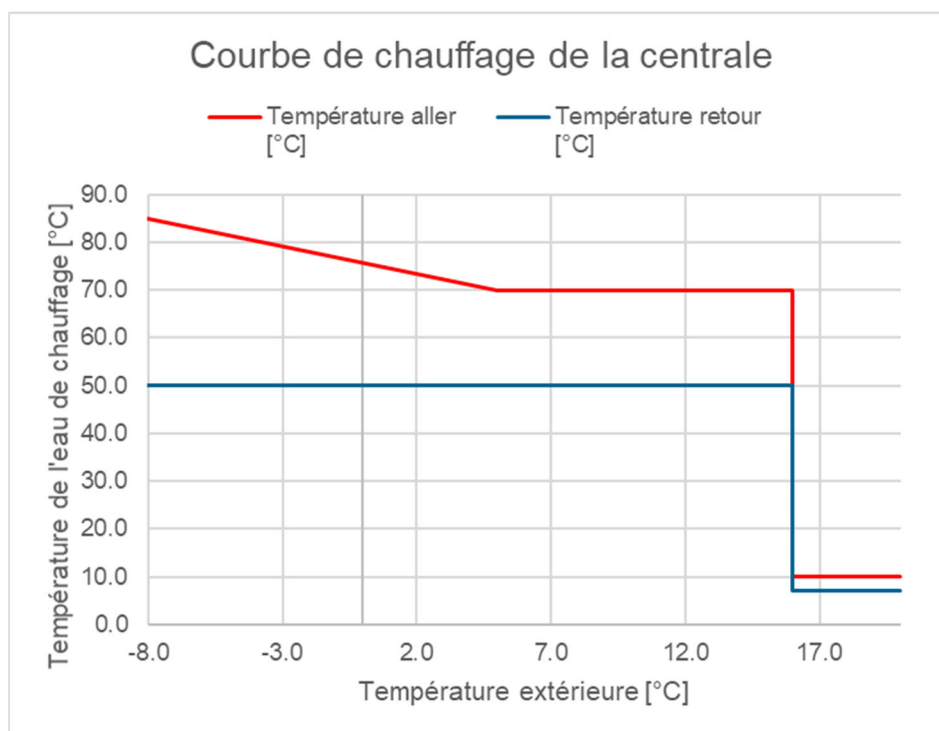


Figure 3, Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante 1

La centrale énergétique fournit de la chaleur à un niveau de température entre 70 et 85 °C à partir d'une température extérieure inférieure à 16 °C. En cas de températures extérieures plus élevées, la chaleur n'est fournie qu'à une température de 10 °C. Dans les sous-stations, des pompes à chaleur eau-eau utilisent les eaux souterraines pour chauffer l'ECS. Durant la période froide (température extérieure < 16 °C), l'ECS est directement produite par le système de chauffage à distance en raison du niveau de température élevé de ce dernier. Un concept avec une préparation centralisée de la chaleur à un niveau de température élevé

pendant la période de chauffage et une préparation décentralisée de l'ECS tout au long de l'année n'est pas considéré comme judicieux.

Pertes

Les pertes de distribution sont calculées comme décrit dans le chapitre Méthodologie, sur la base de la variante 1. Ni les pertes ni les gains ne sont pris en compte lors de la distribution de froid.

Les pertes de distribution dans cette variante représentent 8 % du besoin en chaleur requis pour le CL et l'ECS. Cela correspond à environ 119 MWh/an.

Besoins en énergie et en puissance

Les pertes entraînent les besoins en énergie et en puissance suivants:

Besoins en chaleur:	1' 601 MWh/an
Besoins en puissance:	830 kW

Dimensionnement des installations de chauffage

Lors du dimensionnement des installations de chauffage, l'objectif est d'atteindre un rapport de 80 % à 20 % entre la chaleur de la pompe à chaleur et celle de la chaudière à mazout. Ce rapport est obtenu grâce au dimensionnement suivant:

Centrale:

PAC ES	390 kW
Chaudière à mazout 1	450 kW
Chaudière à mazout 2	(Redondance) 450 kW
Performance du système	840 kW

Sous-stations:

PAC eau-eau pour ECS (Somme)	53 kW
------------------------------	-------

Dimensionnement

Le dimensionnement des installations de chauffage et la conception des températures permettent de dimensionner les composants du système. Cela a été réalisé pour le système en utilisant des méthodes courantes dans la branche. Il en résulte un schéma de principe avec les dimensions du système (en annexe [4]). Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP), rendement de la chaudière à mazout

Le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur a été calculé pour le CL et l'ECS à l'aide du programme WPesti Annexe [5]. Outre l'électricité pour la pompe à chaleur, l'électricité pour la pompe des eaux souterraines est également prise en compte. Pour la centrale, il s'agit d'une pompe à chaleur à l'ammoniac et pour les sous-stations, d'une pompe à chaleur avec fluide réfrigérant R134a. La pompe de circulation est ajoutée séparément à la demande en énergie de la centrale énergétique avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL)	3.5
COP PAC (ECS)	3.1
Rendement chaudière à mazout	90%

Besoins en énergie et en puissance de la centrale d'énergie

Au moyen des chiffres de rendement calculés ci-dessus, le besoin annuel en énergie finale est déterminée:

Électricité PAC-CL	316 MWh/an
Électricité PAC-ECS	75 MWh/an
Pompe aller principale	16.5 MWh/an
Somme électricité	407 MWh/an
Mazout	292 MWh/an

La consommation d'énergie électrique a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau thermique, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont indiqués, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas incluse.

Pompe ES	8 kW
PAC	103 kW
Pompe aller principale	4 kW
Sous-stations (somme)	16 kW
Somme	131 kW

8.5 Variante 3 / bâtiments existants / CL décentralisé / ECS décentralisée

8.5.1 Description élémentaire des exigences

L'élévation de température pour le CL et l'ECS a lieu dans les sous-stations avec des pompes à chaleur eau-eau standard. Le niveau de température de 70 °C (température aller) est atteint grâce à la connexion en cascade de pompes à chaleur standard⁹. Dans cette variante, les redondances ne sont intégrées qu'au niveau du captage des eaux souterraines. Les sous-stations ne présentent pas de redondance.

Températures à partir de la centrale d'énergie

La température aller provenant de la séparation du système entre les eaux souterraines et le réseau de froid à distance est de 10 °C tout au long de l'année. Les fluctuations de la température des eaux souterraines ne sont pas prises en compte.

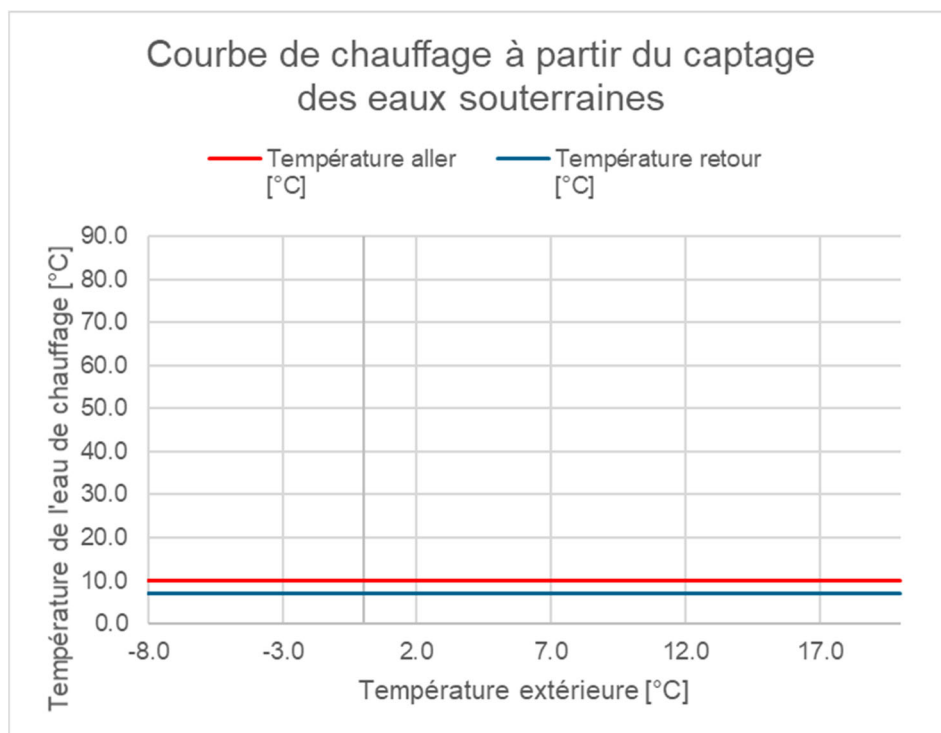


Figure 4, Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante 1

La température de retour de 7 °C résulte de la différence de température maximale de 3 K entre le prélèvement et le rejet des eaux souterraines.

Pertes

Comme il s'agit d'un réseau de froid à distance, tel que décrit dans le chapitre Méthodologie, aucune perte ou aucun gain de chaleur n'est pris en compte.

⁹Cette solution a été examinée avec les fabricants de pompes à chaleur. De telles pompes à chaleur sont assemblées et livrées sous la forme d'une seule machine. Le réfrigérant est le R134a

Besoins en énergie et en puissance

Les besoins en énergie et en puissance correspondent aux besoins d'énergie utile:

Besoins en chaleur: 1' 483 MWh/an

Besoins en puissance: 655 kW

Conception des installations de chauffage

La chaleur est produite à 100 % par des pompes à chaleur décentralisées. Le fait que la couverture de la chaleur provient à 100 % de la pompe à chaleur se traduit notamment par un plus grand dimensionnement du captage des eaux souterraines.

Les pompes à chaleur sont conçues avec un facteur de couverture de pointe de $f=1,3$.

Sous-stations:

PAC eau-eau décentralisée 854 kW

Dimensionnement

Le dimensionnement des installations de chauffage et la conception des températures permettent de dimensionner les composants du système. Cela a été réalisé pour le système en utilisant des méthodes courantes dans la branche. Il en résulte un schéma de principe avec les dimensions du système (en annexe [6]). Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP)

Le coefficient de performance annuel des pompes à chaleur a été calculé pour le chauffage et l'ECS à l'aide du programme WPesti Annexe [7]. Outre l'électricité nécessaire pour les pompes à chaleur, l'électricité pour la pompe des eaux souterraines a été prise en compte. Les pompes à chaleur des sous-stations fonctionnent avec le réfrigérant R134a. La pompe aller principale est ajoutée séparément au besoin en énergie de la centrale avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL) 3.0

COP PAC (ECS) 3.1

Besoins en énergie et en puissance de la centrale d'énergie

Les chiffres relatifs à l'énergie et l'efficacité énergétique calculés ci-dessus permettent de déterminer le besoin annuel en énergie finale:

Électricité PAC-CL	423 MWh/an
Électricité PAC-ECS	63 MWh/an
Pompe aller principale	33 MWh/an
Somme électricité	519 MWh/an

La consommation d'énergie électrique a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau thermique, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont énumérés, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas prise en compte.

Pompe ES	7.5 kW
Pompe aller principale	15 kW
Sous-stations (somme)	854 kW
Somme	877 kW

8.6 Résultats bâtiments existants

Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant en fonction des investissements, des coûts annuels, de l'énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre équivalents CO₂.

Bases du calcul de rentabilité et d'écologie

Tableau 4. Bases du calcul de rentabilité et d'écologie

Taux d'intérêt du capital	3	%
Prix de l'énergie électrique Centrale	0 122	CHF/kWh
Prix de l'énergie électrique Privés	0 178	CHF/kWh
Prix de base de l'électricité par kW	91.2	CHF/kW*a
Prix de l'énergie pour le mazout	0 075	CHF/kWh
Émissions de CO ₂ mazout EL*	0 301	T CO ₂ / MWh
Émissions de CO ₂ électricité*	0 102	T CO ₂ / MWh (Mix consommateur CH)
Énergie primaire totale mazout EL*	1.24	kWh oil-eq
Énergie primaire totale électricité*	3	kWh oil-eq (Mix consommateur CH)
Évaluation		

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

Investissements $\pm 25 \%$

Pour les éléments de l'installation les plus significatifs pour estimer l'investissement, des offres avec prix indicatifs ont été requises aux fournisseurs. Tous les autres investissements sont basés sur l'expérience de projets réels. Dans le cas où les valeurs empiriques existantes ne correspondaient pas aux dimensions requises, les investissements ont été ajustés à l'aide de la formule suivante:

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

- a: Coûts fixes (CHF)
- K1: Coûts nominaux (CHF)
- K2: Coûts effectifs (CHF)
- Q2: Valeur de référence (m³/h, kW, CHF/m², etc.)
- Q1: Valeur de référence nominale (m³/h, kW, CHF/m², etc.)

Les honoraires sont calculés avec 20 % du montant de la construction.

En raison de la précision des coûts de $\pm 25 \%$, il faut souligner ici que toutes les variantes se situent à peu près au même niveau d'investissement. Indépendamment de cette réflexion, la variante 3 est la plus favorable en termes d'investissement, ce qui est principalement dû à la suppression de la centrale énergétique. La deuxième variante est la plus coûteuse. En effet, outre les investissements dans la centrale énergétique, qui est de la même taille que la centrale énergétique de la variante 1, il y a également des investissements dans les sous-stations pour la préparation de l'ECS. Il en résulte un investissement plus important. Pour une meilleure vue d'ensemble, les investissements sont divisés en sections dans le diagramme ci-dessous.

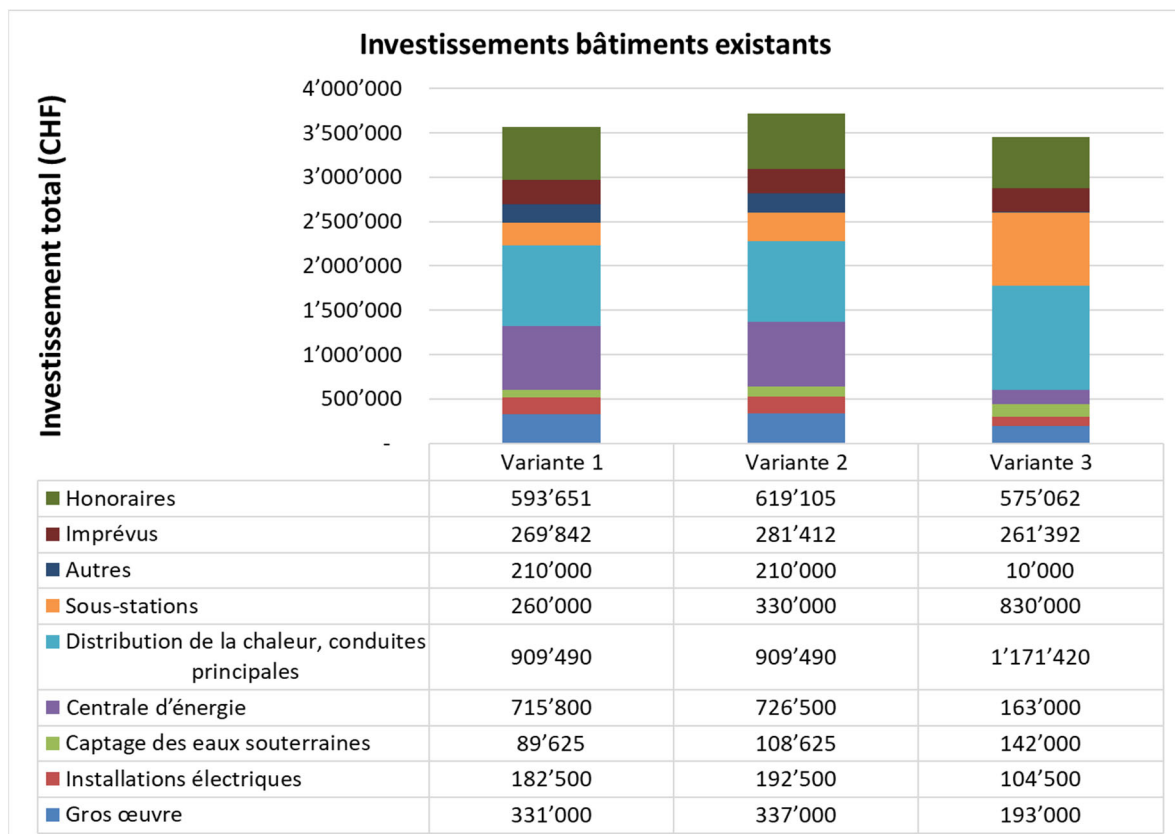


Figure 5, Investissements bâtiments existants

Durée d'utilisation

L'estimation de la durée d'utilisation est calculée sur la base de l'expérience et de normes¹⁰. Les variantes ont une durée d'utilisation différente en raison des différents éléments du système. Dans les centrales énergétiques, par exemple, les pompes à chaleur industrielles ont une durée d'utilisation d'environ 30 ans, alors que les pompes à chaleur décentralisées ont une durée d'utilisation d'environ 20 ans. Ces différences sont prises en compte dans le calcul.

Frais de maintenance et de réparation

L'estimation d'un facteur en pourcentage sur les investissements est basée sur les directives¹¹, les données du fabricant et des valeurs empiriques.

Coûts annuels

À ce stade, il convient de souligner une fois de plus qu'il s'agit d'une étude comparative entre systèmes et non d'une étude visant à évaluer l'efficacité économique des réseaux de chaleur utilisant les eaux souterraines.

Les coûts annuels sont indiqués dans un diagramme à barres ci-dessous. Dans cette comparaison, la variante 1 est la plus économique.

¹⁰Directive VDI 2067, septembre 2000; Rentabilité des installations techniques

¹¹Directive VDI 2067, septembre 2000; Rentabilité des installations techniques

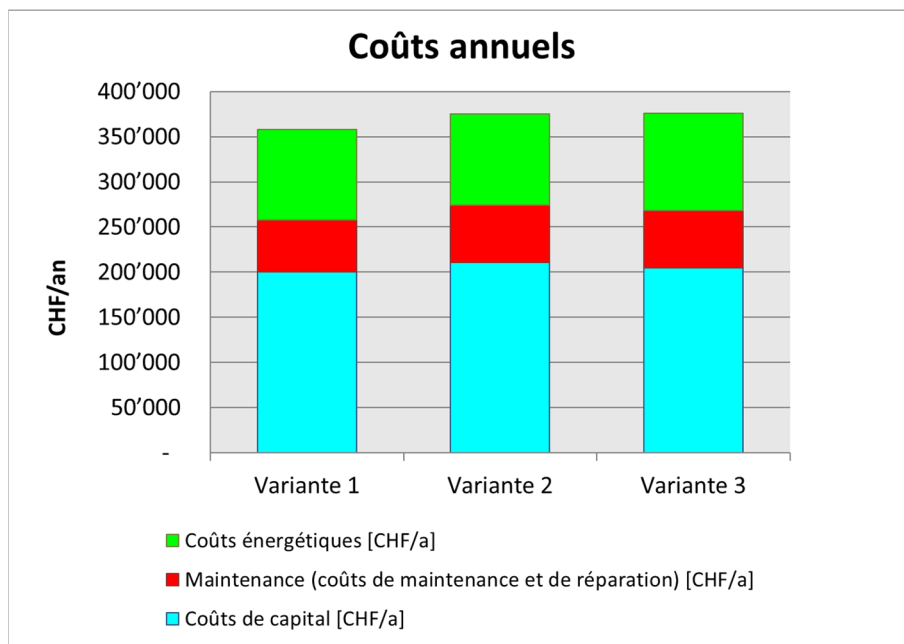


Figure 6, Coûts annuels des variantes bâtiments existants

Coûts de revient de la chaleur

Les coûts de revient de la chaleur pour les variantes sont généralement très élevés. Un réseau thermique de cette taille ne serait donc probablement pas réalisé. Les coûts de revient de chaleur suivants doivent être considérés de manière comparative entre les variantes.

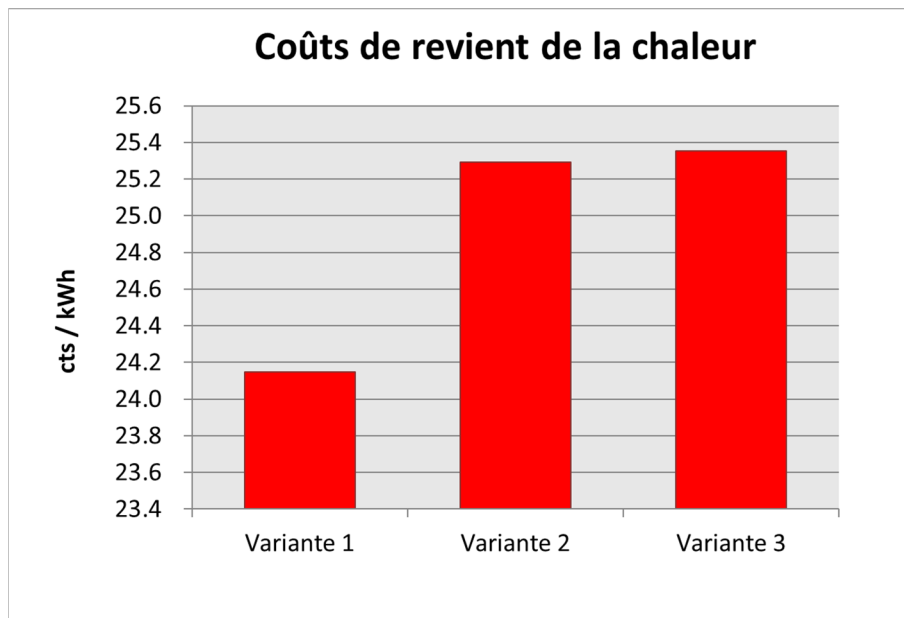


Figure 7, Coûts de revient de la chaleur pour les variantes 1-3

Écologie

L'impact écologique est évaluée au moyen des émissions de gaz à effet de serre (équivalents CO₂) et des besoins en énergie primaire. Les facteurs fondamentaux sont tirés des écobilans dans la construction ¹².

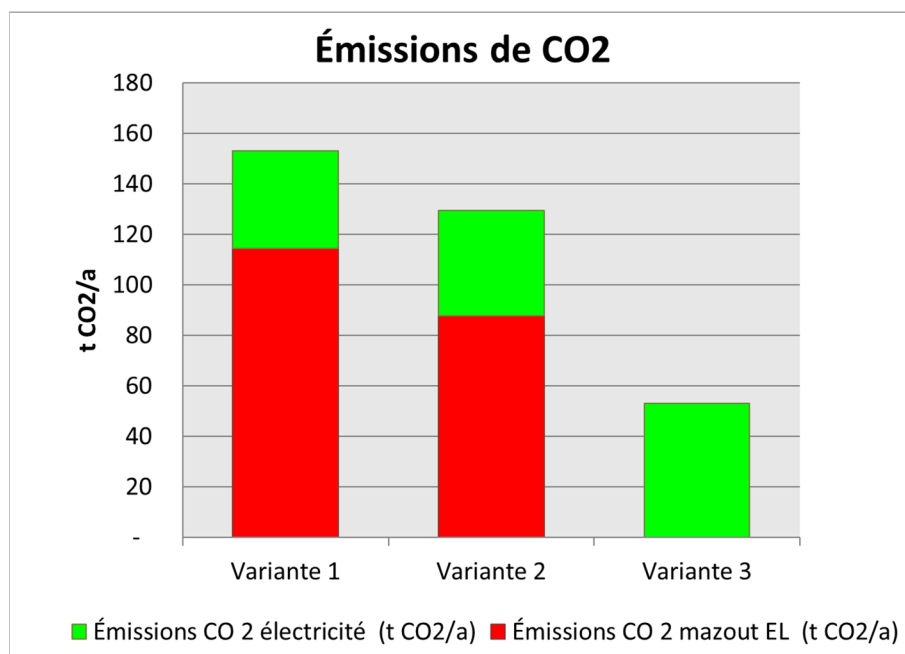


Figure 8, Émissions de CO₂ - variantes 1-3

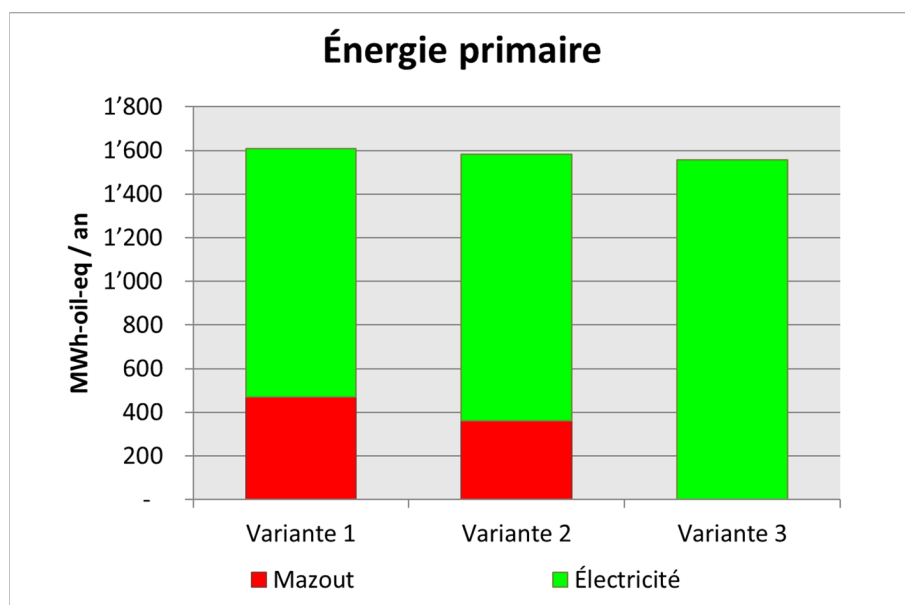


Figure 9, Besoins en énergie primaire, variantes 1-3

La variante 3 présente les plus faibles émissions de gaz à effet de serre et nécessite le moins d'énergie primaire. Cela en fait l'option la plus respectueuse de l'environnement.

¹²KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

9 Nouvelles constructions:

9.1 Périmètre

Le besoin en chaleur dans le périmètre est basé sur les consommateurs réels existants du réseau thermique de Augarten Weiherfeld à Rheinfelden¹³. Comme décrit dans le chapitre Méthodologie, les consommateurs de chaleur sont raccordés à un réseau fictif via des sous-stations et la consommation d'énergie est proportionnellement ajustée à la densité énergétique linéaire spécifiée de 2'000 MWh/km/an.

La figure ci-dessous montre un aperçu du réseau thermique des nouvelles constructions. Dans l'annexe [8], vous pouvez visualiser la carte en taille originale.

Figure 10 Périmètre du réseau de chaleur nouvelles constructions

Voici les paramètres normalisés des nouvelles constructions (sans pertes de distribution). La puissance nécessaire est calculée par le biais des heures d'exploitation à pleine charge. Les tracés spécifiés comprennent les conduites principales, y compris les raccordements domestiques.

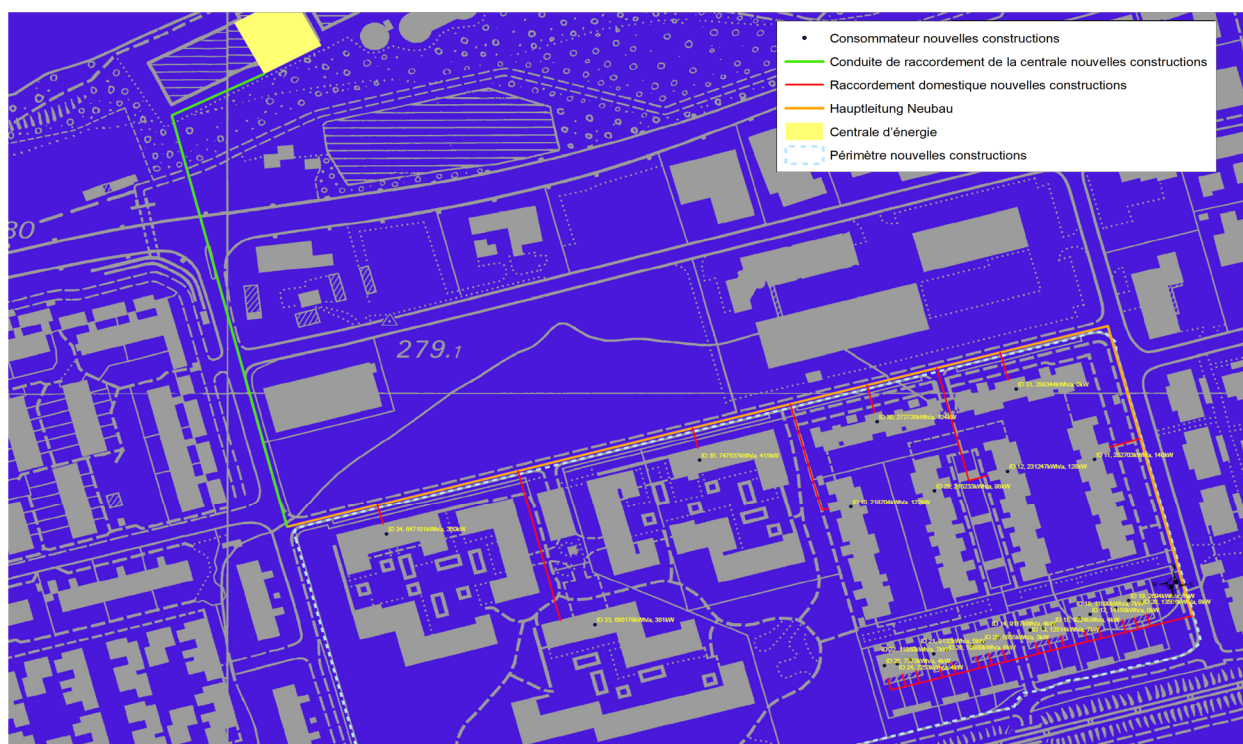


Tableau 5, Paramètres nouvelles constructions

¹³ Réseau de chaleur Augarten Weiherfeld, utilisation des rejets thermiques ARA Rheinfelden, AEW Energie AG, utilisation des données par AEW approuvée le 18.09.2017.

Utilisation	Maisons plurifamiliales
Station météorologique	Basel-Binningen
Standard bâtiment	Nouvelle construction
Nombre de sous-stations	25
Besoins en chaleur	2' 656 MWh/an
Heures d'exploitation à pleine charge (CL + ECS)	2' 500 heures d'exploitation à pleine charge/an
Besoins en puissance (-7 °C)	1077 kW
Besoins en chaleur ECS ¹⁴	1' 195 MWh/an
Besoins en chaleur CL	1' 461 MWh/an
Mètres de tracé (somme)	1'328 Trm
Températures CL (-7 °C)	aller 36 °C retour 26 °C
Températures ECS	aller 62 °C retour 52 °C
Densité d'énergie linéaire	2000 MWh/Trkm/an

9.2 Matrice des variantes

La question fondamentale du présent travail est la suivante: «augmentation de la température centralisée ou décentralisée / où la hausse de la température a-t-elle lieu? Trois concepts sont définis pour répondre à ces questions:

- Variante A, préparation centralisée de la chaleur pour l'ECS et le CL
- Variante B, préparation centralisée du CL, préparation décentralisée de l'ECS
- Variante C, préparation décentralisée de chaleur pour l'ECS et le CL (distribution de froid)

Les différences techniques fondamentales des concepts sont présentées de manière claire dans la matrice ci-dessous.

¹⁴Calculés avec 45 % de la demande totale de chaleur

Tableau 6 Matrice des variantes nouvelles constructions

Variante	A	B	C
Bâtiments existants (température aller 70 °C)			
Nouvelles constructions (température aller 36 °C)	x	x	x
Chauffage des locaux centralisé	x	x	
Chauffage des locaux décentralisé			x
Eau chaude sanitaire centralisée	x		
Eau chaude sanitaire décentralisée		x	x
Installation pour le chauffage des locaux monovalent (100% ES-PAC) ¹⁵	x	x	x
Installation pour le chauffage des locaux bivalent (80% ES-PAC/ 20% chaudière à mazout) ¹⁶			
Couverture à 100% de la charge de pointe par redondance: Couverture à 50% de la charge de pointe par redondance			
Raccordement d'un système de chauffage mobile: 100% de redondance	x	x	
Pas de redondance générateurs de chaleur			x

Outre la production de chaleur, les variantes diffèrent fondamentalement au niveau de la répartition du risque d'une défaillance de la production de chaleur. Si les redondances sont prises en compte dans les variantes centralisées, aucune redondance n'est prévue dans les variantes décentralisées, cependant, le risque est réparti entre les différentes maisons. Les variantes A+B sont équipées des raccordements d'une centrale de chauffage mobile. Cela a permis de maintenir les investissements à un niveau aussi bas que possible et de créer une redondance à 100 %.

Dans les chapitres suivants, les variantes sont présentées du point de vue technique.

¹⁵En rapport avec l'énergie annuelle nécessaire à la production de chaleur

¹⁶En rapport avec l'énergie annuelle nécessaire à la production de chaleur

9.3 Variante A / nouvelles constructions / CL centralisé / ECS centralisée

Description élémentaire des exigences

L'élévation de la température pour le CL et l'ECS a lieu dans la centrale d'énergie. La chaleur est produite de manière monovalente par une pompe à chaleur eau-eau à haute pression à deux allures. Afin de maintenir l'investissement le plus bas possible, des raccordements pour un système de chauffage mobile sont prévus en cas de défaillance de la pompe à chaleur.

Températures à partir de la centrale d'énergie

Le niveau de température requis pour le chauffage des locaux est inférieur au niveau de température requis pour la production d'eau chaude. L'exigence en matière de performance est de maintenir le niveau de température aussi bas que possible. Par conséquent, une hausse périodique de la température du réseau pour la production de l'eau chaude est prévue dans cette variante. À cette fin, une durée de trois heures durant la nuit est prévue pour recharger l'ECS. Pour cette raison, les dispositifs de chauffage pour l'ECS sont dimensionnés de manière plus grande. En outre, une résistance électrique est prévue pour assurer la sécurité de l'exploitation.

Dans le diagramme ci-dessous, la courbe de chauffage est représentée à partir de la centrale d'énergie. Lorsque la température extérieure de dimensionnement est atteinte, la température aller est réglée à 40 °C. La ligne pointillée représente la température aller de la charge périodique de l'ECS.

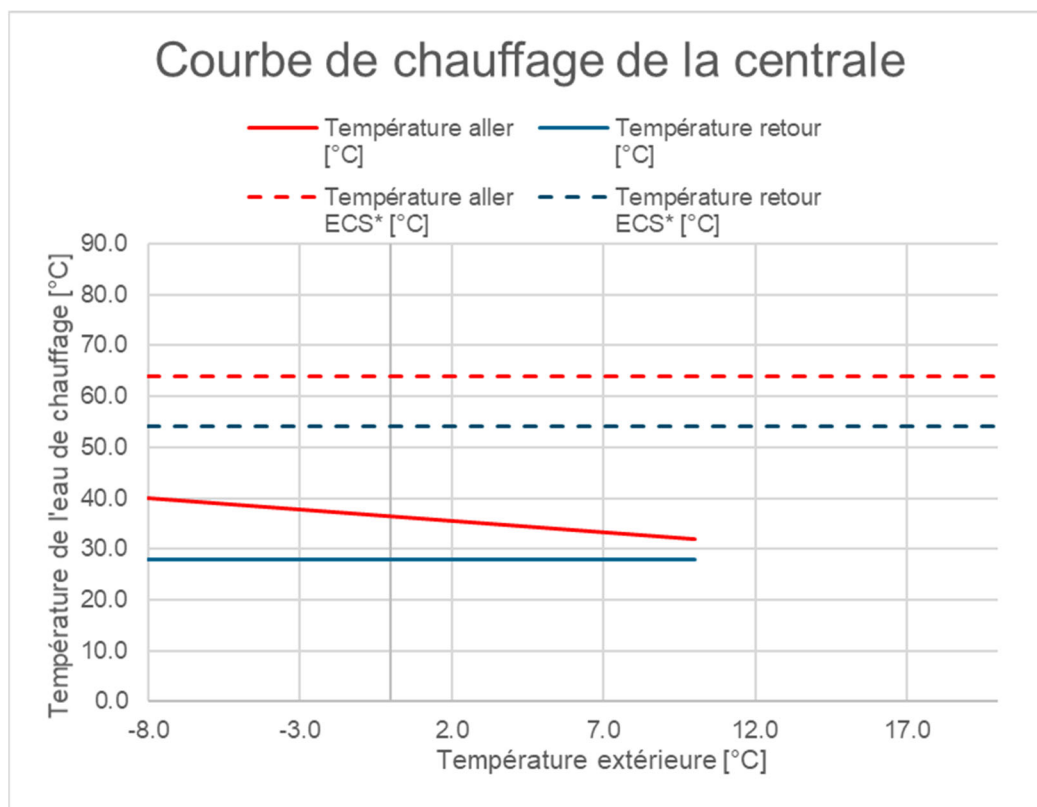


Figure 11 Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante A

Pertes

Les pertes de distribution sont calculées comme décrit dans le chapitre Méthodologie, sur la base de la variante 1.

En plus des pertes de distribution, cette variante a inclus une perte supplémentaire pour le chauffage à distance pour la charge de l'ECS en été. Cela est dû au fait que la chaleur à un niveau de température moyen de 63 °C ne sera pas utilisée pour le chauffage des locaux après les temps de charge de l'ECS et qu'une part de cette chaleur sera perdue par transmission. Cette part a été calculée au moyen d'un calcul de transmission de chaleur et s'élève à environ 620 kWh par intervalle de 21 heures.

Les pertes de distribution dans cette variante s'élèvent à 9 % de la chaleur requise pour le CL et l'ECS. Cela correspond à environ 338 MWh/an.

Besoins en énergie et en puissance

Les pertes entraînent les besoins en énergie et en puissance suivants:

Besoins en chaleur: 2' 930 MWh/an

Besoins en puissance: 1077 kW

Dimensionnement des installations de chauffage

La chaleur est produite de manière monovalente par le biais d'une pompe à chaleur à l'ammoniac à deux allures pour l'ECS et le CL.

ES-PAC 1' 100 kW

Dimensionnement

Le dimensionnement de la production de chaleur et des températures permet de dimensionner les éléments de l'installation. Celui-ci a été réalisée pour le système selon les méthodes courantes. Il en résulte en annexe [9] un schéma de principe avec les dimensions du système. Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP)

Le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur a été calculé pour le CL et l'ECS à l'aide du programme WPesti Annexe [10]. Outre l'électricité pour la pompe à chaleur, l'électricité pour la pompe sur eaux souterraines est également incluse. Il s'agit d'une pompe à chaleur à l'ammoniac. La pompe de circulation est ajoutée séparément au besoin en énergie de la centrale avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL) 6.7

COP PAC (ECS) 3.9

Besoins en énergie et en puissance de la centrale d'énergie

Le besoin annuel en énergie finale a été déterminé sur la base des chiffres sur l'énergie et du rendement énergétique calculés ci-dessus:

Électricité PAC-CL	233 MWh/an
Électricité PAC-ECS	351MWh/an
Pompe aller principale	48 MWh/an
Somme électricité	632 MWh/an

La puissance électrique absorbée a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau de chaleur, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont indiqués, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas prise en compte.

Pompe ES	19 kW
PAC	141 kW
Pompe aller principale	22 kW
Somme	182 kW

9.4 Variante B / nouvelles constructions / CL centralisé / ECS décentralisée

9.4.1 Description élémentaire des exigences

L'élévation de température pour le CL se fait dans la centrale énergétique et pour l'ECS dans les sous-stations avec des pompes à chaleur eau-eau standard. La production de chaleur centralisée est monovalente, avec une pompe à chaleur eau-eau à basse pression à une allure. Afin de maintenir l'investissement le plus bas possible, des raccordements pour un système de chauffage mobile sont prévus en cas de défaillance de la pompe à chaleur.

Températures à partir de la centrale d'énergie

Le diagramme ci-dessous représente la courbe de chauffage à partir de la centrale d'énergie. Lorsque la température extérieure de dimensionnement est atteinte, la température aller est réglée à 40 °C.

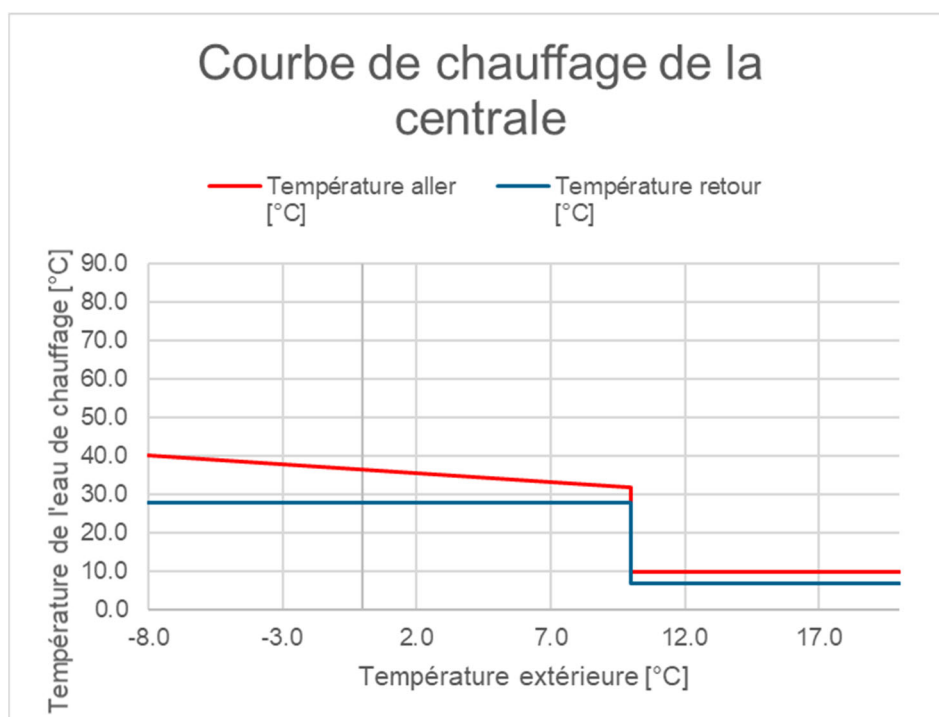


Figure 12 Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante B

La centrale fournit, à partir d'une température extérieure inférieure à 10 °C, de la chaleur à un niveau de température entre 32 et 40 °C. En cas de températures extérieures plus élevées, la chaleur n'est fournie qu'à une température de 10 °C. Dans les sous-stations, des pompes à chaleur eau-eau utilisent cette source de chaleur pour chauffer l'ECS. Étant donné que le niveau de température pour le CL est toujours inférieur au niveau de température pour l'ECS, l'ECS est préparée toute l'année à l'aide de pompes à chaleur. Le périmètre comprend plusieurs maisons individuelles pour lesquelles une pompe à chaleur ECS individuelle ne serait pas rentable. Par conséquent, un chauffe-eau PAC air-eau standardisé est pris en compte pour ces maisons.

Pertes

Les pertes de distribution sont calculées comme décrit dans le chapitre Méthodologie, sur la base de la variante 1. Ni les pertes ni les gains ne sont pris en compte lors de la distribution de froid à distance.

Les pertes de distribution dans cette variante s'élèvent à 3 % de la chaleur requise pour le CL et l'ECS. Cela correspond à environ 82 MWh/an.

Besoins en énergie et en puissance

Les pertes définissent les besoins en énergie et en puissance suivants:

Besoins en chaleur:	2' 764 MWh/an
Besoins en puissance:	960 kW

Dimensionnement des installations de chauffage

Lors du dimensionnement des installations de chauffage, l'objectif est d'atteindre un rapport de 80 % à 20 % entre la chaleur de la pompe à chaleur et celle de la chaudière à mazout. Ce rapport est obtenu grâce au dimensionnement suivant:

Centrale:

PAC-ES	1000 kW
--------	---------

Sous-stations:

EC-PAC pour l'ECS (somme)	100 kW
---------------------------	--------

Dimensionnement

La conception de la production de chaleur et des températures permet de dimensionner les éléments de l'installation. Celle-ci a été réalisée pour le système selon les méthodes usuelles. Il en résulte un schéma de principe avec les dimensions du système (en annexe [11]). Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP)

Le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur a été calculé pour le CL et l'ECS à l'aide du programme WPesti [12]. En plus de l'électricité pour la pompe à chaleur, l'électricité pour la pompe des eaux souterraines est également incluse. Pour la centrale, il s'agit d'une pompe à chaleur à l'ammoniac et pour les sous-stations, d'une pompe à chaleur avec réfrigérant R134a. La pompe de circulation est ajoutée séparément au besoin en énergie de la centrale avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL)	6.5
COP PAC (ECS)	3.1

Besoins en énergie et en puissance

Le besoin annuel en énergie a été déterminé à partir des chiffres sur le rendement énergétique calculés ci-dessus:

Électricité PAC-chauffage	241 MWh/an
Électricité PAC-ECS	387 MWh/an
Pompe aller principale	33 MWh/an
Somme électricité	661 MWh/an

La puissance électrique absorbée a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau de chaleur, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont indiqués, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas prise en compte.

Pompe-ES	19 kW
PAC	154 kW
Pompe aller principale	15 kW
Sous-stations (somme)	33 kW
Somme	221 kW

9.5 Variante C / nouvelles constructions / CL décentralisé / ECS décentralisée

Description élémentaire des exigences

L'élévation de la température pour le CL et l'ECS a lieu dans les sous-stations avec des pompes à chaleur eau-eau standard. Dans cette variante, des redondances ne sont prévues qu'au niveau du captage des eaux souterraines. Les sous-stations ne sont pas mentionnées de manière redondante.

Températures à partir de la centrale d'énergie

La température aller à partir de la séparation du système entre les eaux souterraines et le froid à distance est de 10 °C tout au long de l'année. Les fluctuations de la température des eaux souterraines ne sont pas prises en compte.

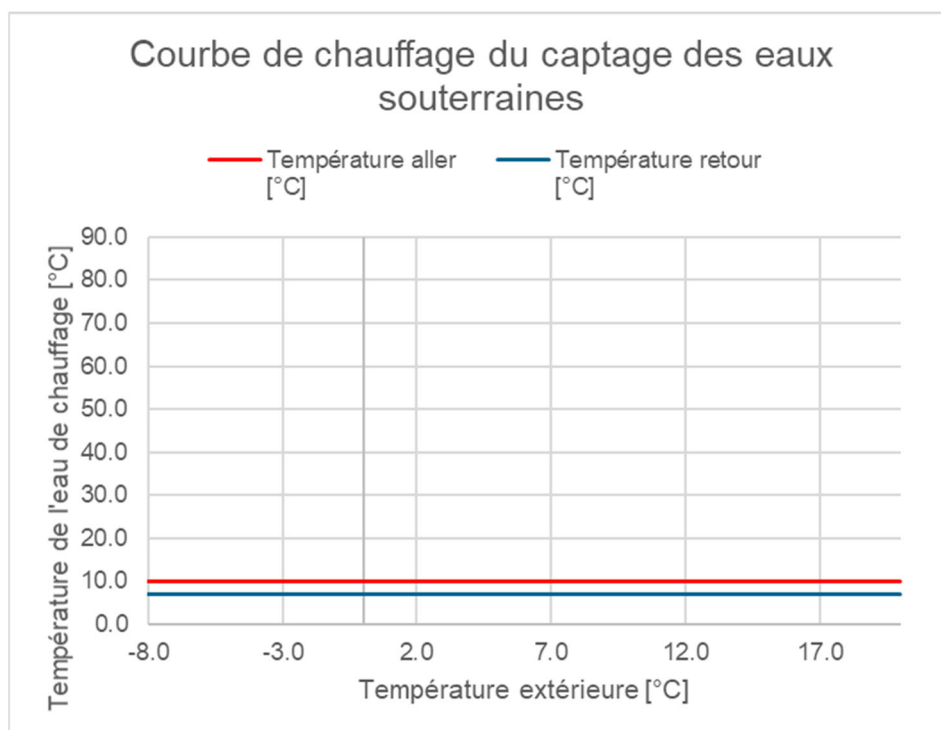


Figure 13 Courbe de chauffage à partir de la centrale énergétique Variante C

La température de retour de 7 °C résulte de la différence de température maximale de 3 K entre le prélèvement et le rejet des eaux souterraines.

Pertes

Comme il s'agit d'un réseau de froid à distance, tel que décrit dans le chapitre Méthodologie, aucune perte ou gain de chaleur n'est pris en compte.

Besoins en énergie et en puissance

Les besoins en énergie et en puissance correspondent à la demande au niveau de l'énergie utile:

Besoins en chaleur: 2' 682 MWh/an

Besoins en puissance: 1'077 kW

Dimensionnement des installations de chauffage

Le dimensionnement est basé sur l'approvisionnement à 100% par la pompe à chaleur dans la sous-station. Les pompes à chaleur sont conçues avec un facteur de surdimensionnement de $f = 1.3$.

Sous-stations:

PAC-ES décentralisée (somme)	1'415 kW
------------------------------	----------

Dimensionnement

La conception de la production de chaleur et des températures permet de dimensionner les éléments de l'installation. Celle-ci a été réalisée pour le système selon les méthodes courantes. Il en résulte un schéma de principe avec les dimensions du système (en annexe [13]). Le dimensionnement des éléments de l'installation permet une estimation plus précise des coûts.

Coefficient de performance annuel (COP)

Le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur a été calculé pour le CL et l'ECS à l'aide du programme WPesti [14]. Outre l'électricité nécessaire pour les pompes à chaleur, l'électricité pour la pompe sur eaux souterraines est également incluse. Les pompes à chaleur des sous-stations fonctionnent avec le réfrigérant R134a. La pompe principale de la conduite aller est ajoutée séparément au besoin en énergie de la centrale avec 2'200 heures d'exploitation à pleine charge.

COP PAC (CL)	5.7
--------------	-----

COP PAC (ECS)	3.2
----------------	-----

Besoins en énergie et en puissance de la centrale d'énergie

Le besoin annuel en énergie finale a été déterminé à partir des chiffres sur l'énergie et le rendement énergétique calculés ci-dessus:

Électricité PAC-CL	260 MWh/an
--------------------	------------

Électricité PAC-ECS	377 MWh/an
---------------------	------------

Pompe aller principale	81 MWh/an
------------------------	-----------

Somme électricité	718 MWh/an
-------------------	------------

La puissance électrique absorbée a une influence sur les coûts d'exploitation d'un réseau de chaleur, c'est pourquoi elle est indiquée ici et prise en compte dans le calcul de rentabilité. Les consommateurs d'électricité les plus importants sont indiqués, la puissance électrique pour les exploitations auxiliaires n'est pas prise en compte.

Pompe-ES	19 kW
----------	-------

Pompe aller principale	37 kW
------------------------	-------

Sous-stations (somme)	261 kW
-----------------------	--------

Somme	316 kW
-------	--------

9.6 Résultats nouvelles constructions

Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant en fonction des investissements et de la rentabilité.

Bases du calcul économique et écologique

Tableau 7 Bases du calcul économique et écologique

Taux d'intérêt du capital	3	%
Prix de l'énergie électrique Centrale	0.122	CHF/kWh
Prix de l'énergie électrique Privé	0.178	CHF/kWh
Prix de base de l'électricité par kW	91.2	CHF/kW*a
Prix de l'énergie pour le mazout	0.075	CHF/kWh
Émissions de CO ₂ mazout EL*	0.301	T CO ₂ / MWh
Émissions de CO ₂ l'électricité*	0.102	T CO ₂ / MWh (Mix consommateur CH)
Énergie primaire totale mazout EL*	1.24	kWh oil-eq
Énergie primaire totale électricité*	3	kWh oil-eq (Mix consommateur CH)

Évaluation

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

Investissements ± 25 %

Pour estimer les investissements des éléments de l'installation les plus significatifs, des offres avec prix indicatifs ont été requises aux fournisseurs. Tous les autres investissements sont basés sur l'expérience de projets réalisés. Dans le cas où les valeurs empiriques existantes ne correspondaient pas aux dimensions requises, les investissements ont été ajustés selon la formule suivante:

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

a: Coûts fixes (CHF)

K1: Coûts nominaux (CHF)

K2: Coûts effectifs (CHF)

Q2: Valeur de référence (m³/h, kW, CHF/m², etc.)

Q1: Valeur de référence nominale (m³/h, kW, CHF/m², etc.)

Les honoraires sont calculés à plus ou moins 20 % du montant de la construction.

En raison de la précision des coûts de ± 25 %, il faut souligner ici que toutes les variantes se situent à peu près au même niveau d'investissement. La variante C est nettement moins chère, ce qui est principalement dû à la suppression de la centrale énergétique. La variante A est la plus coûteuse. En raison du niveau de température requis pour l'ECS de 60 °C, la pompe à chaleur doit être conçue à deux allures et donc à haute pression, alors qu'une pompe à chaleur basse pression à une allure est suffisante pour la variante B. Pour une

meilleure vue d'ensemble, les investissements sont divisés en sections dans l'histogramme ci-dessous.

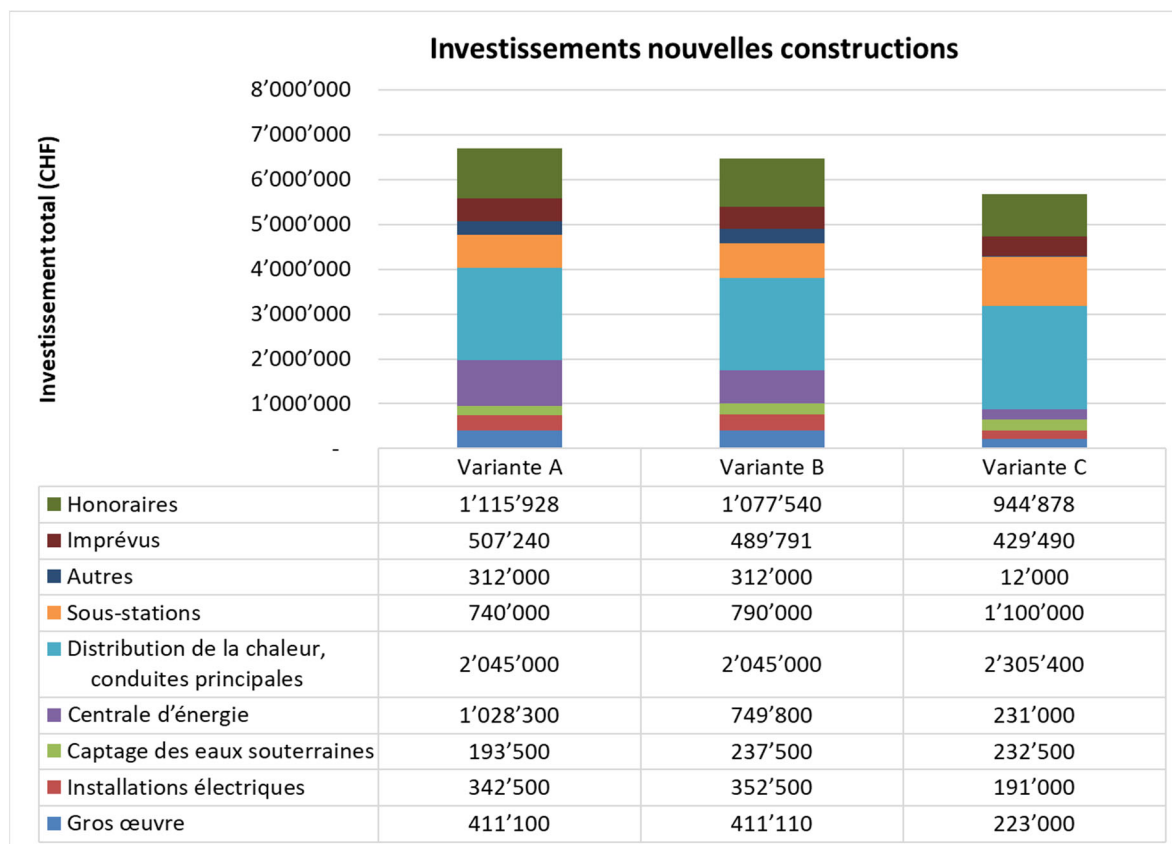


Figure 14 Investissements nouvelles constructions

Durée d'utilisation

L'estimation de la durée d'utilisation est basée sur l'expérience, les données du fabricant et les directives¹⁷. Les variantes ont une durée d'utilisation différente en raison des différents éléments du système. Dans les centrales énergétiques, par exemple, les pompes à chaleur industrielles ont une durée d'utilisation d'environ 30 ans, alors que les pompes à chaleur décentralisées ont une durée d'utilisation d'environ 20 ans. Ces différences sont prises en compte dans le calcul.

Coûts de maintenance et de réparation

L'estimation d'un facteur de pondération sur les investissements est basée sur les directives¹⁸, les données du fabricant et des valeurs empiriques.

¹⁷Directive VDI 2067, septembre 2000; Rentabilité des installations thermiques

¹⁸Directive VDI 2067, septembre 2000; Rentabilité des installations techniques

Coûts annuels

À ce stade, il convient de souligner une fois de plus qu'il s'agit d'une étude comparative entre systèmes et non d'une étude visant à évaluer l'efficacité économique des réseaux thermiques qui utilisent les eaux souterraines.

Les coûts annuels sont indiqués dans un diagramme à barres ci-dessous. Dans cette comparaison, la variante C est la plus économique.

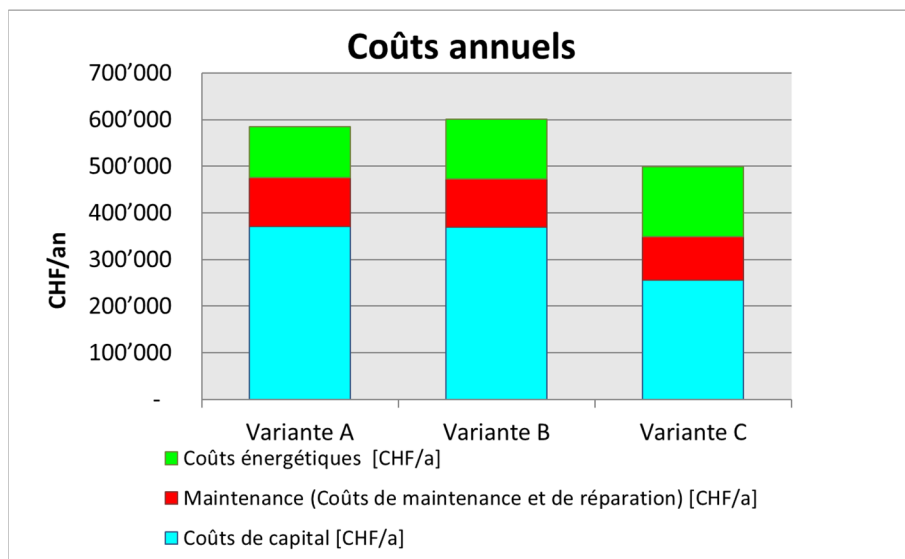


Figure 15 Coûts annuels des variantes nouvelles constructions

Coûts de revient de la chaleur

Les coûts de revient de la chaleur pour les variantes sont généralement très élevés. Un réseau de chaleur de cette taille ne serait donc probablement pas construit. Les coûts de revient de la chaleur présentés doivent être considérés comme valeur comparative entre les variantes.

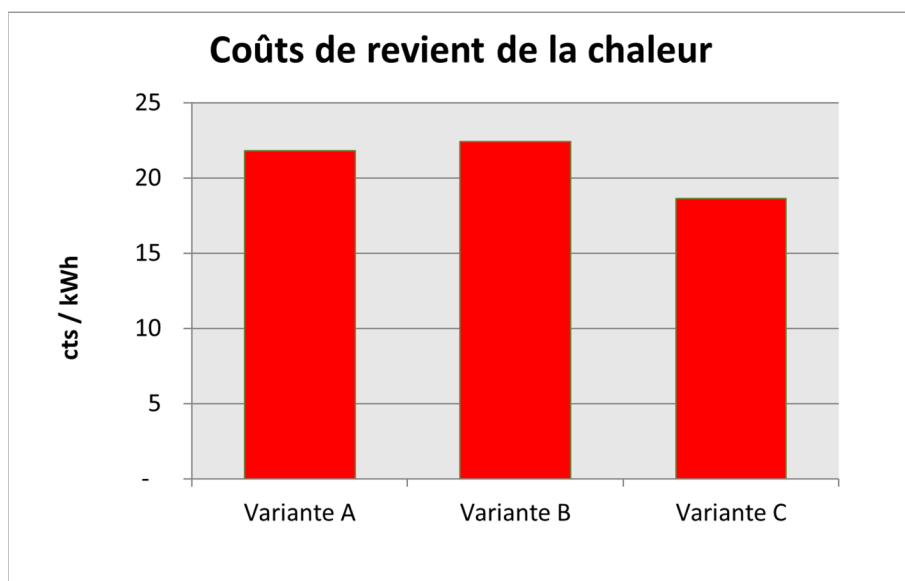


Figure 16 Coûts de revient de la chaleur pour les variantes 2-12

Écologie

L'impact écologique est évaluée au moyen des émissions de gaz à effet de serre (équivalents CO₂) et des besoins en énergie primaire. Les facteurs fondamentaux sont tirés des écobilans de la construction¹⁹.

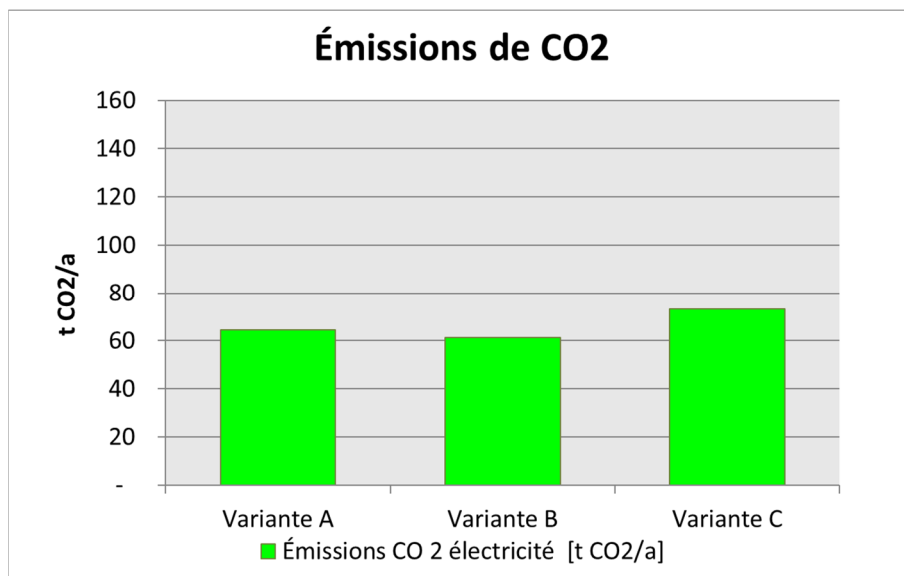


Figure 17 Émissions de CO₂ - variantes A-C

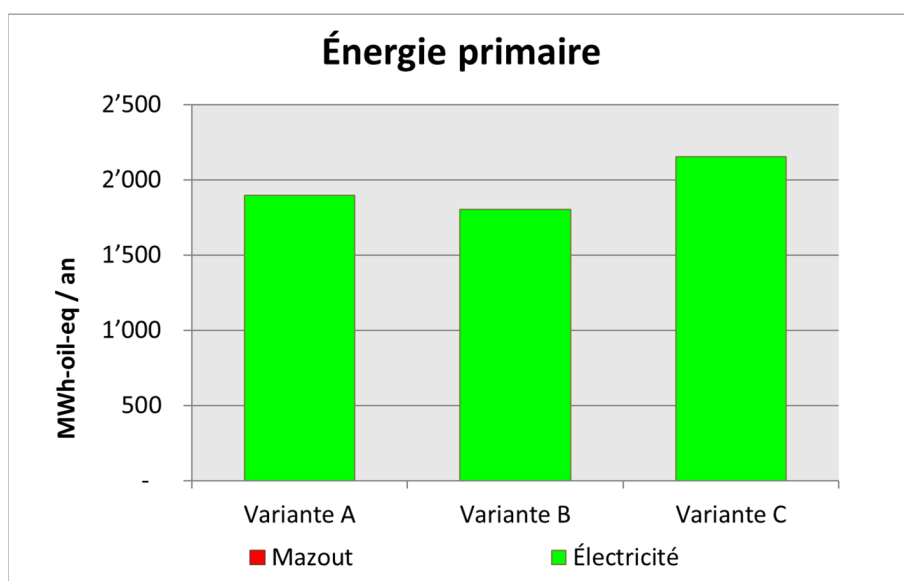


Figure 18 Besoins en énergie primaire variantes A-C

La variante B présente les plus faibles émissions de gaz à effet de serre et nécessite le moins d'énergie primaire. Cela en fait l'option la plus respectueuse de l'environnement.

¹⁹KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016

10 Conclusion:

10.1 Investissements

Dans les deux zones d'approvisionnement, la variante décentralisée est la plus favorable. Cependant, il y a des différences au niveau des coûts et de la variante semi-centralisée.

Les investissements pour les **bâtiments existants** sont très similaires. Cela est dû au fait que la centrale est moins coûteuse en raison de l'investissement moindre dû à la couverture des pointes avec le mazout et parce que les PAC décentralisées sont très coûteuses en raison des températures élevées. Les dimensions plus importantes de la conduite ne sont pas non plus aussi déterminantes, car aucune isolation n'est nécessaire à cet effet.

Les différents effets s'annulent pratiquement.

En revanche, dans les **nouvelles constructions**, les PAC décentralisées sont des solutions standard en raison des températures plus basses et sont donc nettement moins chères que dans les bâtiments existants. Ainsi, la solution décentralisée est beaucoup moins coûteuse. Cet effet est en outre renforcé par le fait que dans la solution centralisée, 100 % de l'énergie est fournie par la PAC.

La variante semi-centralisée est la plus chère dans le **quartier de bâtiments existants**. En effet, l'investissement requis pour les pompes à chaleur augmente considérablement lors d'une approche décentralisée. Cependant, la part de l'eau chaude dans la puissance totale est nettement plus faible pour les bâtiments existants que pour les nouvelles constructions. Pour cette raison, et parce que la réduction de puissance ne concerne que la chaudière à mazout de pointe à bas prix, il n'y a pas de réduction de coût dans la centrale. Cela surtout parce que les coûts grimpent en raison de l'augmentation du débit massique pour la distribution. Dans le quartier de nouvelles constructions, il en va autrement. La part de l'eau chaude dans la puissance est nettement plus élevée, et la réduction de puissance a un effet direct sur la PAC coûteuse et non sur la chaudière de pointe. Il en résulte une réduction significative des coûts, ce qui rend la version semi-centralisée plus attrayante que la version centralisée.

10.2 Besoins en énergie

Plus la variante est décentralisée, moins l'énergie injectée dans les deux zones d'approvisionnement est élevée. Cela est directement lié à la diminution des pertes de chaleur. Cependant, l'énergie réelle requise pour la production de chaleur est différente. Les raisons de ces différences sont, d'une part, les rendements des pompes à chaleur et, d'autre part, l'utilisation d'une chaudière à mazout pour le chauffage de pointe dans les variantes 1 et 2 dans le quartier de bâtiments existants.

Dans le quartier de nouvelles constructions, il apparaît clairement que le rendement supérieur de la pompe à chaleur centralisée a une influence bien plus importante sur le besoin total en énergie que la réduction des pertes de chaleur.

Agent énergétique	Variante A (centralisée)	Variante B (semi-centralisée)	Variante C (décentralisée)	
Injecté	2.930	2.764	2.682	[MWh/a]
Électricité	632	661	718	[MWh/a]

La variante semi-centralisée avec préparation de chaleur centralisée pour le chauffage à basse température bénéficie d'un très bon rendement combiné à de faibles pertes. Cependant, le rendement plus faible de la préparation décentralisée de l'eau chaude sanitaire ne réduit pas de manière significative ce résultat positif. Grâce à son meilleur rendement, la variante semi-centralisée est toujours meilleure que la variante décentralisée malgré les pertes.

Dans le quartier de bâtiments existants, cette comparaison est plus difficile, car les variantes 1 et 2, contrairement à la variante 3, ont une couverture de pointe au mazout. Bien que ces deux variantes bénéficient également du meilleur rendement de la pompe à chaleur centralisée, la demande supplémentaire de mazout joue un rôle prépondérant dans le résultat.

Agent énergétique	Variante 1 (centralisée)	Variante 2 (semi-centralisée)	Variante 3 (décentralisée)	
Injecté	1631	1601	1483	[MWh/a]
Électricité	376	407	519	[MWh/a]
Mazout	370	292	0	[MWh/a]
Global	746	699	519	[MWh/a]

La variante décentralisée 3 est donc clairement celle qui requiert le moins d'énergie. Les résultats des variantes 1 et 2 sont également différents, la variante centralisée étant plus performante que la variante décentralisée. Cela est dû à plusieurs éléments. Par exemple, le rendement de la pompe à chaleur centralisée n'est plus amélioré de manière significative en décentralisant la production d'eau chaude sanitaire, car le système de chauffage requiert des températures plus élevées que l'eau chaude sanitaire. Les moins bons rendements des PAC décentralisées revêtent donc une plus grande importance. De plus, la part énergétique de l'eau chaude sanitaire dans la consommation totale est nettement inférieure à celle des nouvelles constructions. Par conséquent, l'influence de l'augmentation de la puissance requise pour les pompes de circulation, déclenchée par des flux massiques plus élevés, devient plus déterminante que dans le quartier de bâtiments neufs.

10.3 Écologie

Dans le quartier de nouvelles constructions, l'écologie corrèle directement aux besoins énergétiques des installations de chauffage, étant donné que toutes les installations de chauffage utilisent le même agent énergétique (électricité). Les émissions de CO₂ et les besoins en énergie primaire de la variante B sont donc les plus faibles, suivis par ceux de la variante A et de la variante C. Cependant, toutes les variantes sont proches les unes des autres.

Cela se vérifie également dans le quartier de bâtiments existants, mais pas aussi clairement. Ici, les variantes 1 et 2 sont nettement moins performantes en termes d'émissions de CO₂, car elles ont encore une part d'énergie au mazout de 20 %. En matière d'énergie primaire, on observe le même phénomène, mais de manière moins prononcée. Cela fait de la variante 3 la variante la plus écologique dans le quartier de bâtiments existants.

Il est important de mentionner qu'aucune déclaration sur l'énergie grise n'est faite dans ce contexte. Celle-ci n'a pas été prise en compte.

10.4 Coûts annuels

Les coûts annuels sont composés d'une part des coûts de capital et de maintenance, basés sur les investissements, et d'autre part des coûts énergétiques, basés sur la consommation d'énergie. C'est sur ces principes que la rentabilité économique est calculée.

Dans le quartier de **bâtiments existants**, les investissements de toutes les variantes sont très proches les uns des autres, la solution décentralisée nécessitant le moins d'investissements. Malgré l'investissement le plus faible, la deuxième variante la plus chère, la variante centralisée, est plus performante en termes de coûts de capital et de maintenance annuels. De par son installation de chauffage industrielle, elle bénéficie d'une durée de vie plus longue par rapport aux petites solutions décentralisées. En outre, les coûts de maintenance sont moins élevés, puisque l'entretien d'une solution centralisée est moins coûteuse que celle de plusieurs solutions décentralisées.

La solution décentralisée est également la plus performante en termes de consommation d'énergie. Cependant, en ce qui concerne les coûts d'énergie, la solution centralisée est à nouveau préférable. Ceci est dû à deux facteurs: premièrement, une partie de l'énergie de la solution centralisée est produite avec du mazout, qui est beaucoup moins cher que l'électricité, et deuxièmement, les tarifs d'électricité appliqués aux grandes centrales sont inférieurs à ceux des petites installations privées. La production de chaleur centralisée bénéficie donc d'un tarif d'électricité plus favorable. Il en résulte la classification suivante:

Rang	Variante	Coûts annuels [CHF/a]	Écarts relatifs
1	Centralisée	358'144.00	0%
2	Décentralisée	376'007.00	5%
3	Centralisée/Décentralisée	375'087.00	5%

La variante centralisée est clairement la plus avantageuse. Nous recommandons donc de mettre en œuvre la variante standard dans un quartier classique de bâtiments existants. Les deux variantes, décentralisée et centralisée / décentralisée, sont presque identiques. Une

déclaration pertinente sur la base des coûts annuels ne peut donc pas être faite. Cependant, en raison de l'impact environnemental moindre de la variante décentralisée, nous recommandons clairement qu'elle soit toujours privilégiée par rapport à la variante centralisée / décentralisée.

Il convient de noter que cette déclaration ne s'applique qu'aux réseaux thermiques dont l'agent énergétique est une nappe phréatique. La variante décentralisée en bénéficie clairement, car elle n'entraîne pas de pertes de chaleur. Pour un autre agent énergétique, on peut supposer que cette déclaration n'est plus valable. Il faut également noter que des températures aller élevées de 70 °C ont été considérées pour les consommateurs. La variante centralisée en bénéficie clairement. Même à partir d'une température aller de 65 °C chez les consommateurs, des pompes à chaleur nettement moins chères peuvent être utilisées de manière décentralisée. Cette influence sur les investissements et donc sur les coûts de capital et de maintenance doit être prise en compte.

Dans le cas des **nouvelles constructions**, les investissements sont plus clairement différenciés. La variante décentralisée est clairement la moins chère. Les deux variantes, centralisée et centralisée/décentralisée, sont presque identiques. Cela conduit directement à des coûts d'investissement et de maintenance nettement plus favorables pour la variante décentralisée. Même à de tels coûts, la variante décentralisée et la variante centralisée/décentralisée sont presque équivalentes, cependant la variante centralisée/décentralisée présente de légers avantages.

Pour ce qui est des coûts énergétiques, la variante centralisée est la plus favorable. Vient ensuite la variante centralisée/décentralisée puis, avec les coûts énergétiques les plus élevés, la variante décentralisée. On voit clairement ici qu'à basse température, les rendements élevés sont beaucoup plus importants que les pertes de chaleur dans le réseau de distribution. Cependant, la différence en termes d'investissements est si grande que la variante décentralisée reste clairement la plus économique:

Rang	Variante	Coûts annuels [CHF/a]	Écarts relatifs
1	Décentralisée	499'321.00	0%
2	Centralisée	585'267.00	17%
3	Centralisée/Décentralisée	601'322.00	20%

Étant donné que l'écologie est très similaire dans toutes les variantes, nous recommandons la variante décentralisée dans le quartier de nouvelles constructions. Il est plus difficile d'évaluer la variante centralisée et la variante centralisée/décentralisée, car elles sont similaires en termes de coûts annuels. Cependant, étant donné que la variante centralisée est également en tête sur le plan écologique, en raison de sa plus faible consommation d'énergie, nous recommandons de privilégier la variante centralisée par rapport à la variante centralisée/décentralisée.

Il convient de noter que les eaux souterraines constituent un support optimal pour un réseau d'anergie. Cette déclaration ne vaut que pour les réseaux de chauffage dont la source d'énergie sont les eaux souterraines. S'il existe une autre source d'énergie, cette déclaration n'est pas valable.

11 Perspectives

- Analyse des risques;

Analyse du risque de défaillance d'un générateur de chaleur pour les différentes variantes.

- Analyse de sensibilité;

Examen approfondi des résultats et de leur dépendance par rapport aux hypothèses formulées.

- Accumulateur de chauffage et station d'eau fraîche contre chauffe-eau;

Analyse des systèmes de chauffage à distance optimisés pour la production de chaleur classique et centralisée.

- Comportement en cas de besoin en froid;

Vérification du comportement du système en cas de demande simultanée de froid.

- Autres sources de chaleur;

Vérifier les résultats avec d'autres sources de chaleur pour le chauffage.

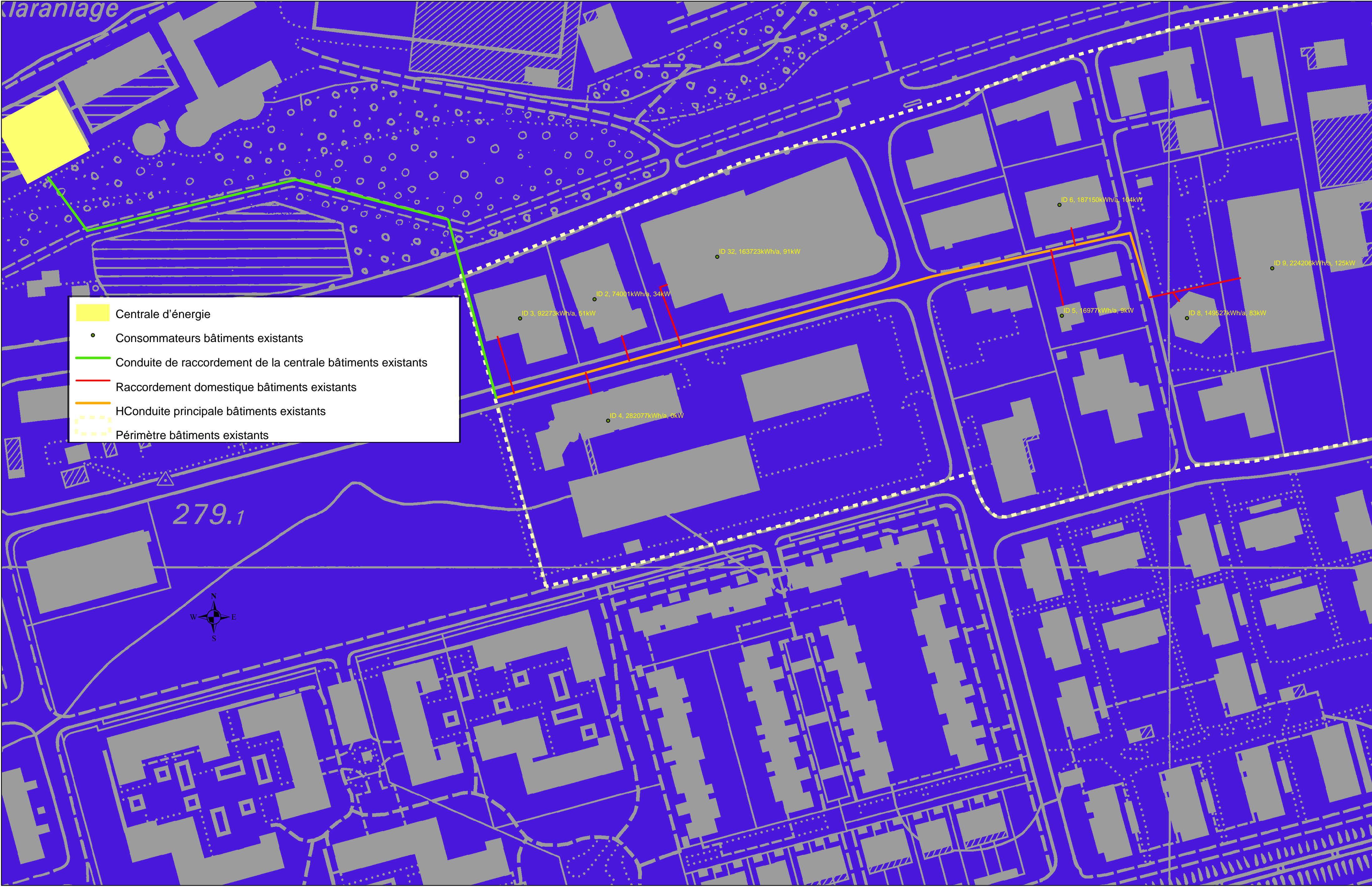
- Distribution de la chaleur pertes de chaleur par rapport au débit de la pompe;

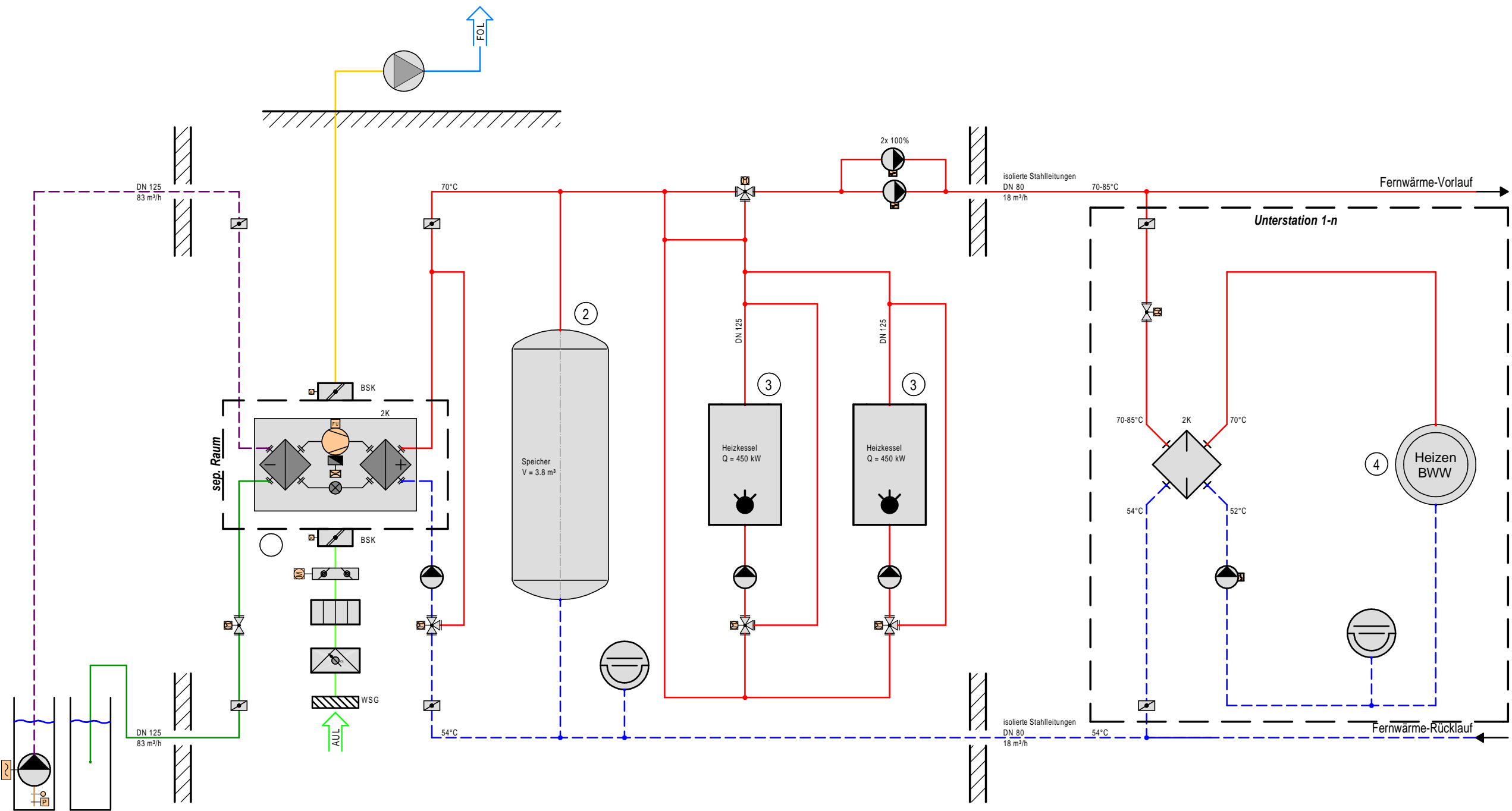
Étudier l'influence des pertes de chaleur et du débit de la pompe. À partir de quelle température de réseau vaut-il la peine d'optimiser la perte de pression par rapport à l'optimisation de la perte de chaleur.

12 Annexes

Liste des annexes:

- Annexe [1] SIG 20170918 Augarten Bâtiment existant
- Annexe [2] Schéma de principe Variante 1
- Annexe [3] Var 1 WPesti de
- Annexe [4] Schéma de principe Variante 2
- Annexe [5] Var 2 WPesti de
- Annexe [6] Schéma de principe Variante 3
- Annexe [7] Var 3 WPesti de
- Annexe [8] SIG 20170918 Augarten Nouvelle construction
- Annexe [9] Schéma de principe Variante A
- Annexe [10] Var A WPesti de
- Annexe [11] Schéma de principe Variante B
- Annexe [12] Var B WPesti de
- Annexe [13] Schéma de principe Variante C
- Annexe [14] Var C WPesti de





- ① Wärmepumpe
 $T_u = 7^\circ\text{C}$
 $T_o = 72^\circ\text{C}$
 $Q'_e = 390\text{ kW}$
 $Q'_s = 290\text{ kW}$
 $\text{COP} = 3.9$
 NH_3
- ② Speicher
 $V = 3'800\text{ Liter}$
- ③ Oelkessel
 $Q' = 450\text{ kW}$

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPesti

WPesti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

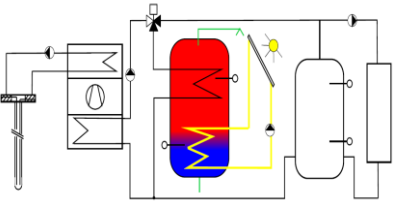
Projekt:

Annexe 3, Forschungsprojekt HSLU, Variante 1

Gebäudedaten

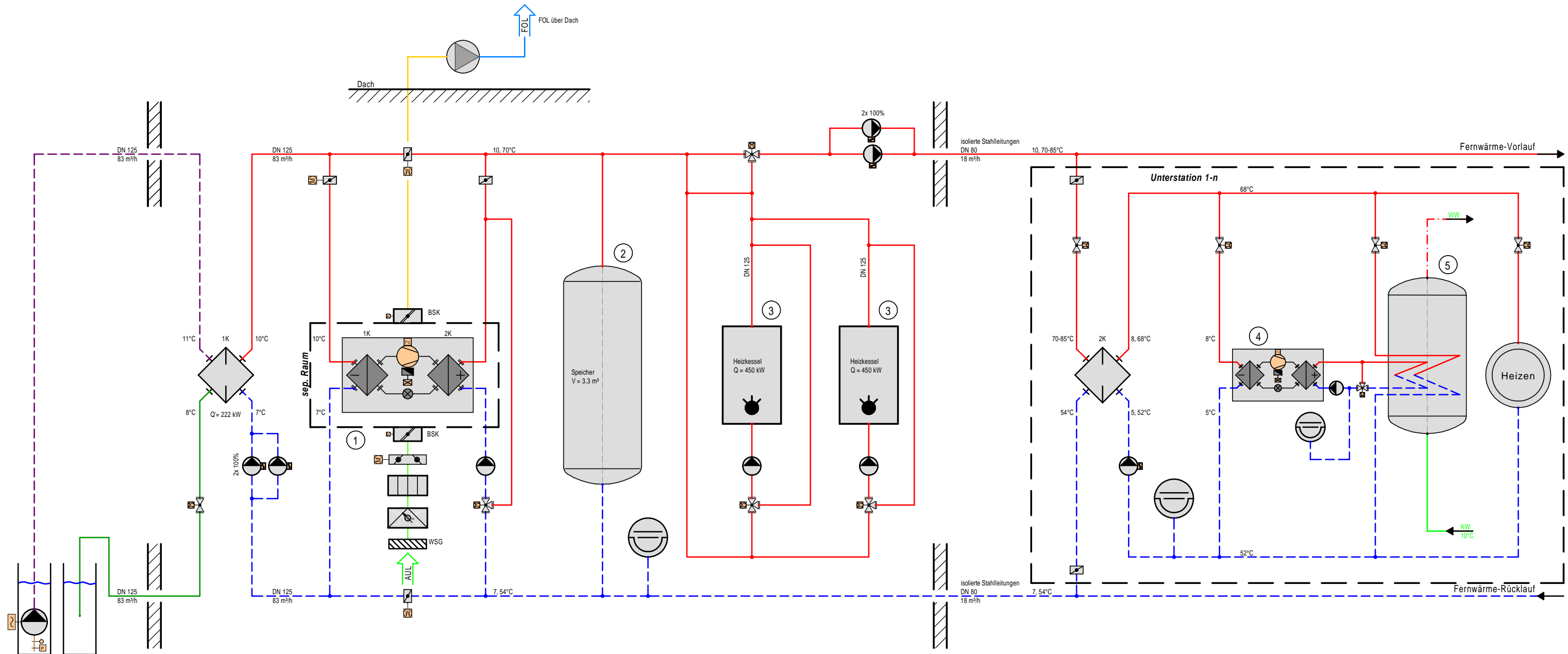
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	7%
Sperrzeiten 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)		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

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%	Etah =	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		6%	Etaw =	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

Projekt:	2017.1015.01
Plancode:	HE-PS-V2-P
Mst. / Grösse: - A3
Erstellt:	27.11.2017

Resultate				
Anteil fossiler Zusatzheizung für Heizung	$\epsilon =$	19.2%	kWh =	285'932
Anteil fossiler Zusatzheizung für Warmwasser				
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		4%	Etah =	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)		0%	Etaw =	100%
Laufzeit der Wärmepumpe			h / a	3'076
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	$\epsilon =$	80.8%	JAZ _h =	3.50
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser			JAZ _{ww} =	0.00

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPesti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

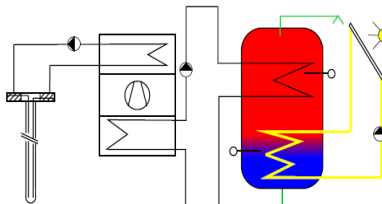
Projekt:

Annexe 5, Forschungsprojekt HSLU, Variante 2 Trinkwarmwasser

Gebäudedaten

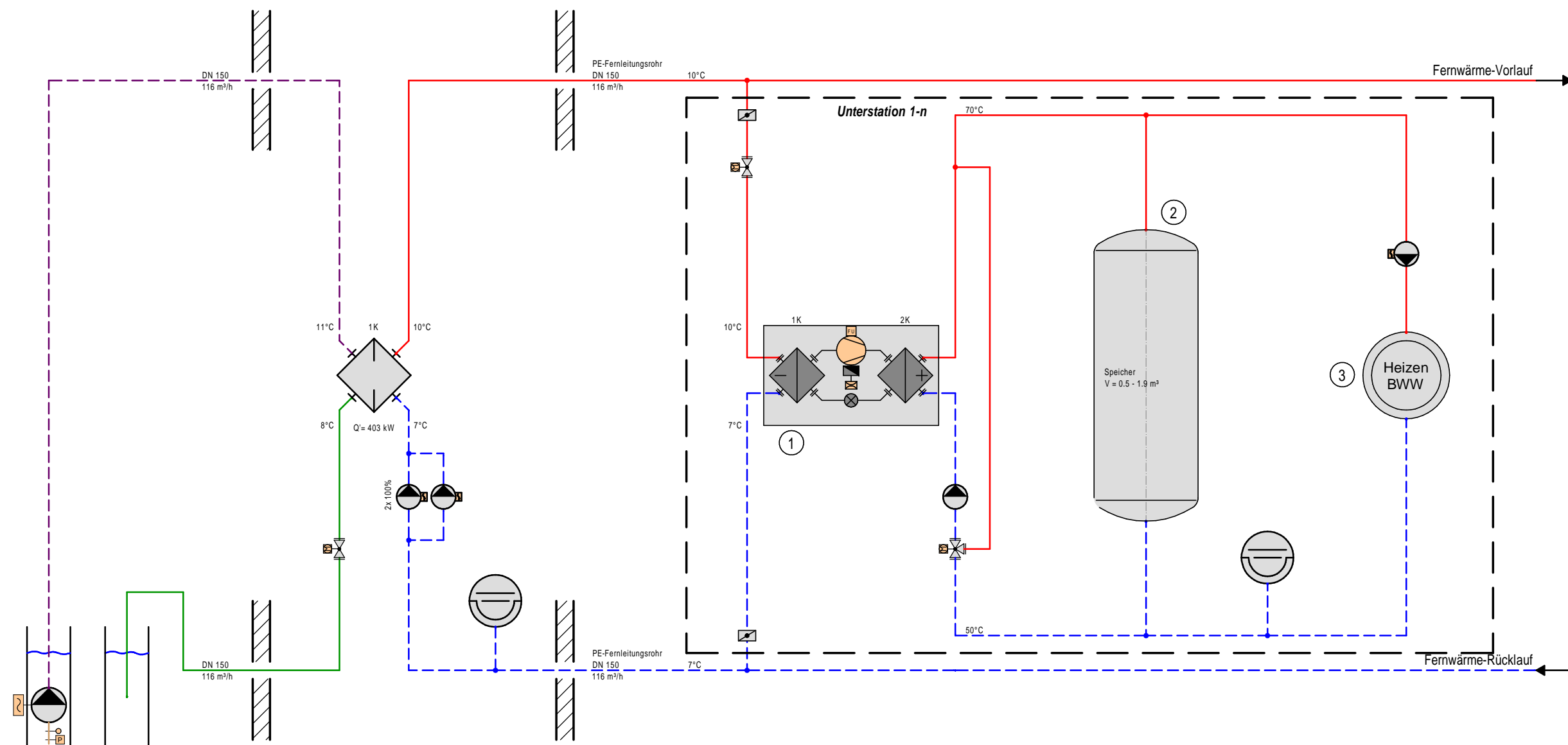
Klimastation	Basel-Binningen		
Gebäudekategorie	MFH		
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	7%
Sperrzeiten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

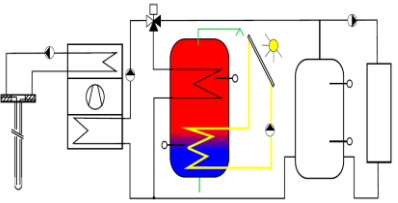
Projekt:

Annexe 7, Forschungsprojekt HSLU, Variante 3

Gebäudedaten

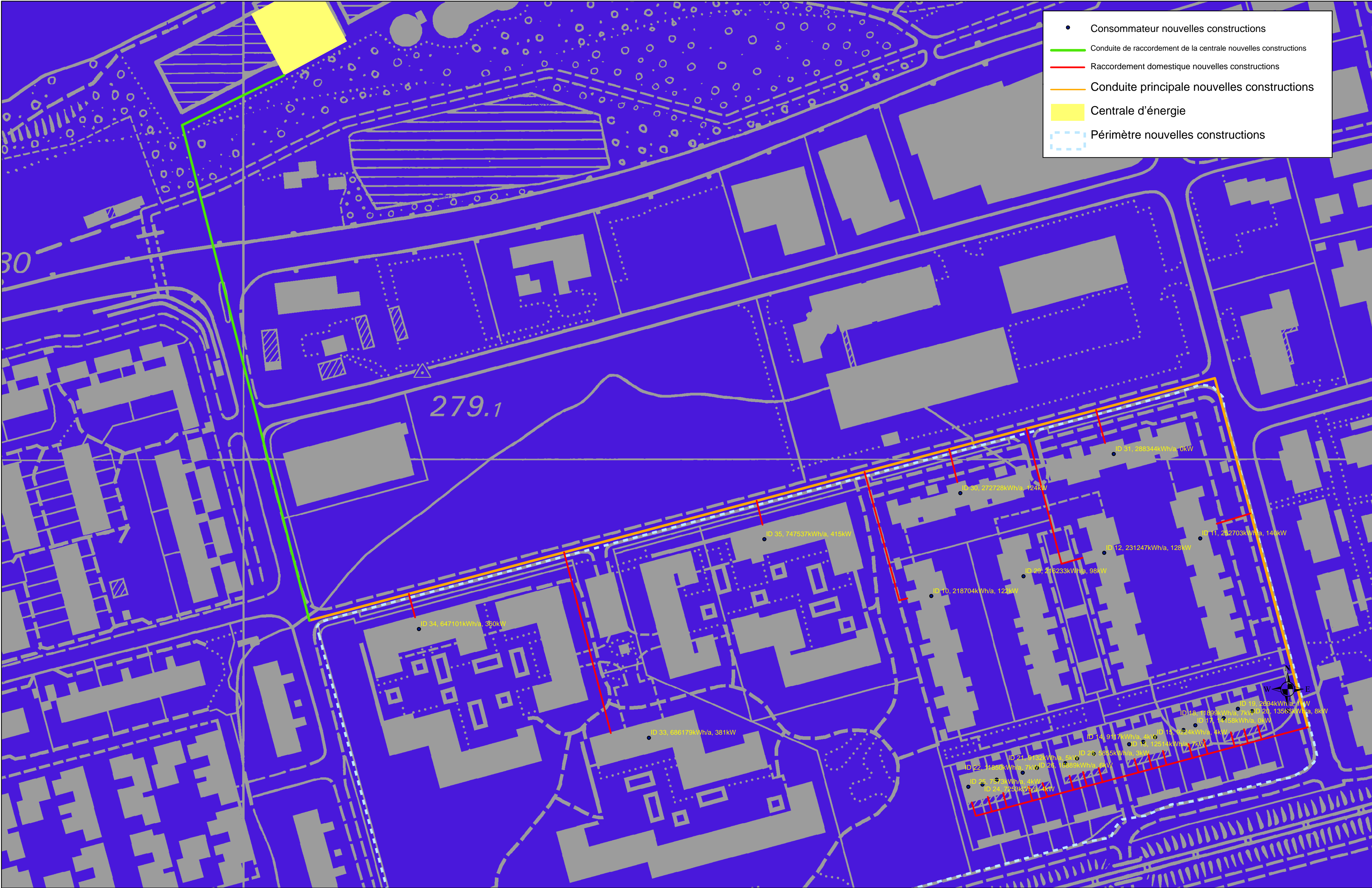
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	9'453
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	136
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	0%
Sperrzeiten 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%

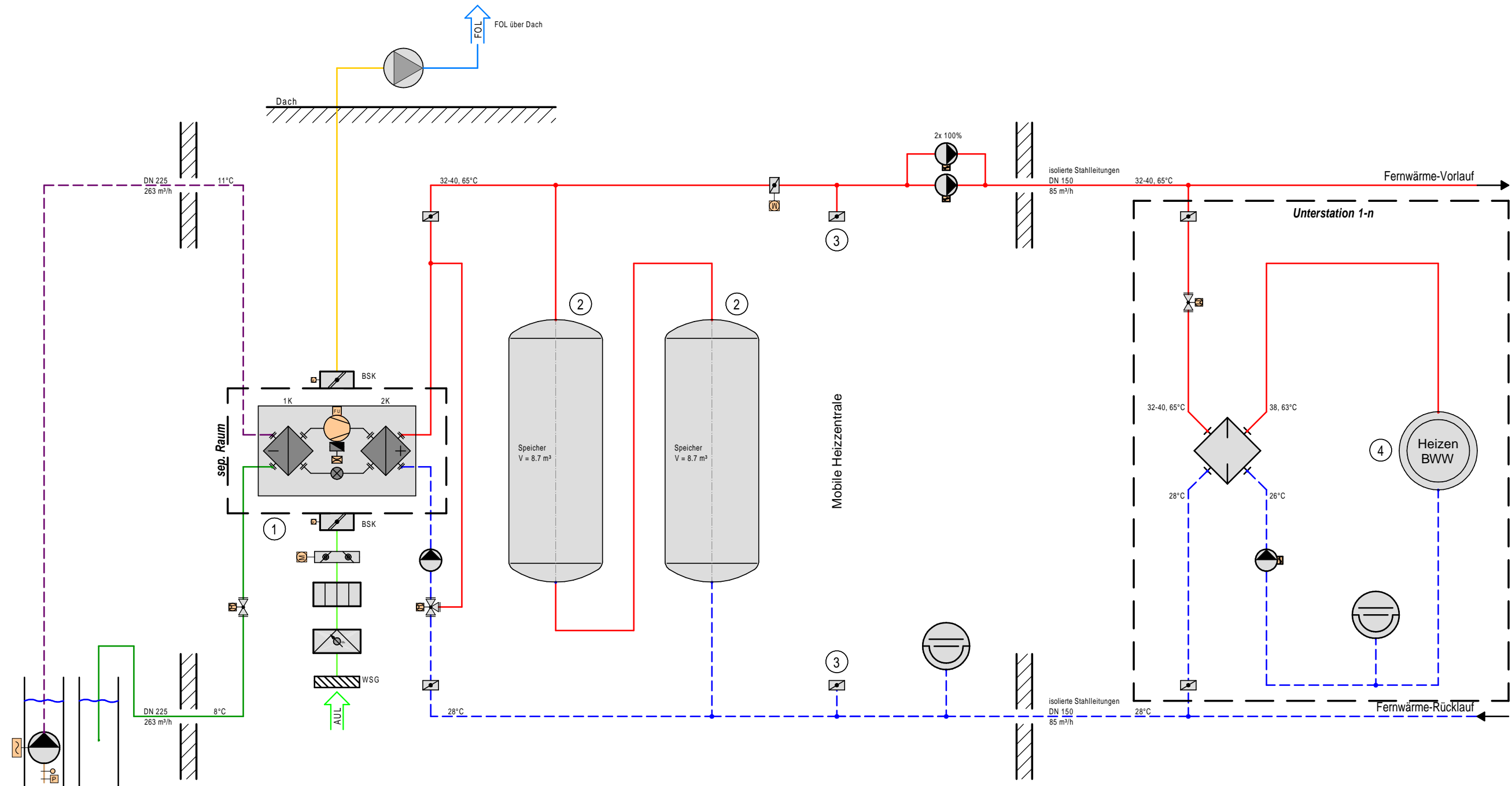
Wärmepumpen-Anlage

		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)		$T_{i,soll}$	°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

		0.0%		
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	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





- ① Wärmepumpe
 Stufe 1: $T_u = 7^\circ\text{C}$, $T_o = 42^\circ\text{C}$, $Q'_c = 918 \text{ kW}$, $Q'_e = 1'077 \text{ kW}$, $\text{COP} = 6.8$, NH_3
 Stufe 2: $T_u = 7^\circ\text{C}$, $T_o = 67^\circ\text{C}$, $Q'_c = 817 \text{ kW}$, $Q'_e = 1'077 \text{ kW}$, $\text{COP} = 4.1$, NH_3
- ② Speicher
 $V = 8'700 \text{ Liter}$
- ③ Anschlussstutzen
 Mobile Heizzentrale
- ④ BWW-Speicher Unterstation
 $V = 200 - 3'700 \text{ Liter}$
 Periodische Ladezeit
 24 Uhr - 03 Uhr

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

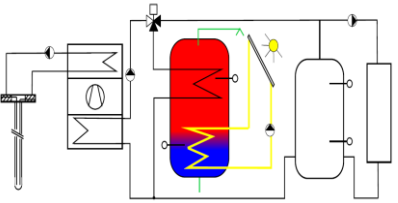
Projekt:

Annexe 10, Forschungsprojekt HSLU, Variante A

Gebäudedaten

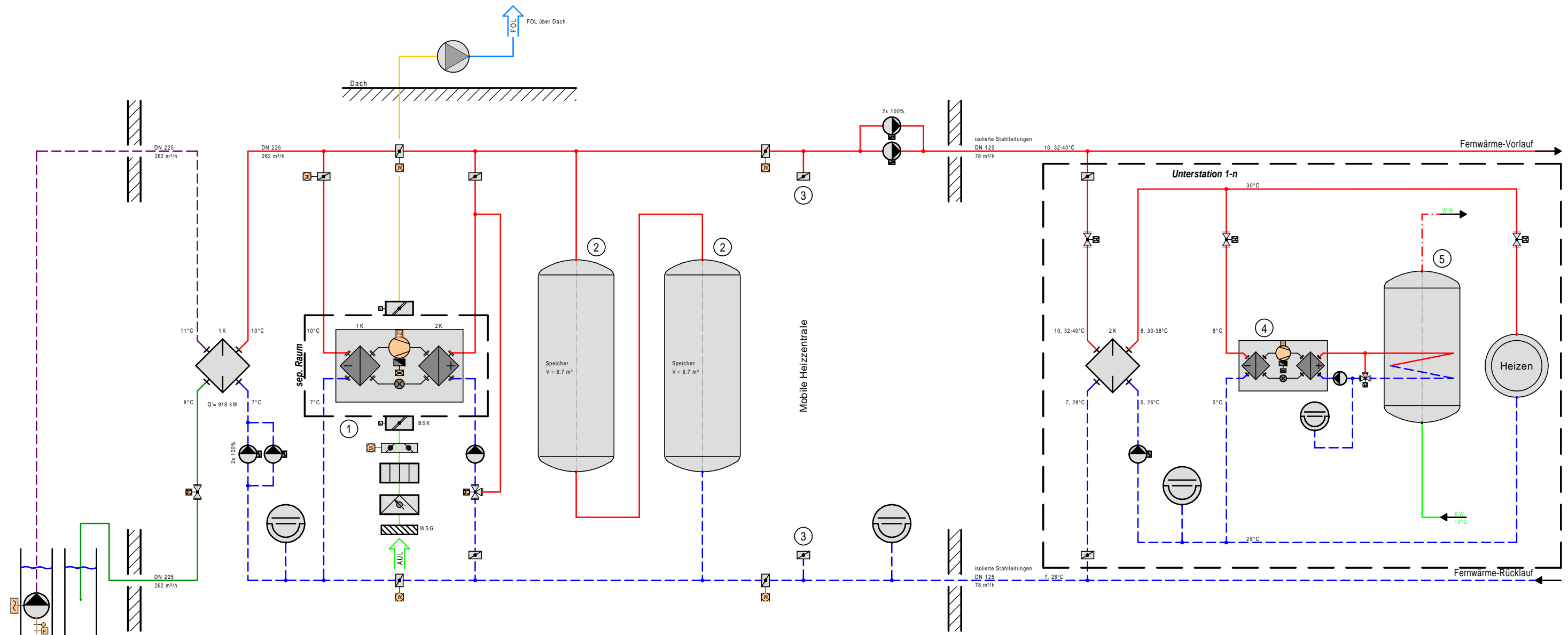
Klimastation			Basel-Binningen
Gebäudekategorie			MFH
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	57'274
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	26
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	6%
Sperrzeiten 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
 $T_u = 6^\circ\text{C}$
 $T_o = 42^\circ\text{C}$
 $Q_c = 918 \text{ kW}$
 $Q_e = 1'077 \text{ kW}$
COP = 6.8
- ② Speicher
V = 8'700 Liter
- ③ Anschlussstutzen
Mobile Heizzentrale
- ④ BWW-WP Unterstation
 $Q = 1 - 23 \text{ kW}$
EFH
L/W-WP-Boiler
- ⑤ BWW-Speicher Unterstation
V = 200 - 2'400 Liter

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPesti

WPesti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

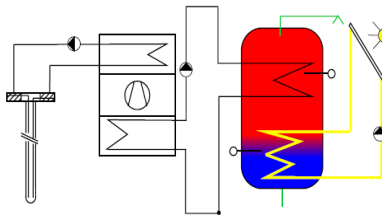
Projekt:

Annexe 12, Forschungsprojekt HSLU, Variante B Trinkwarmwasser

Gebäudedaten

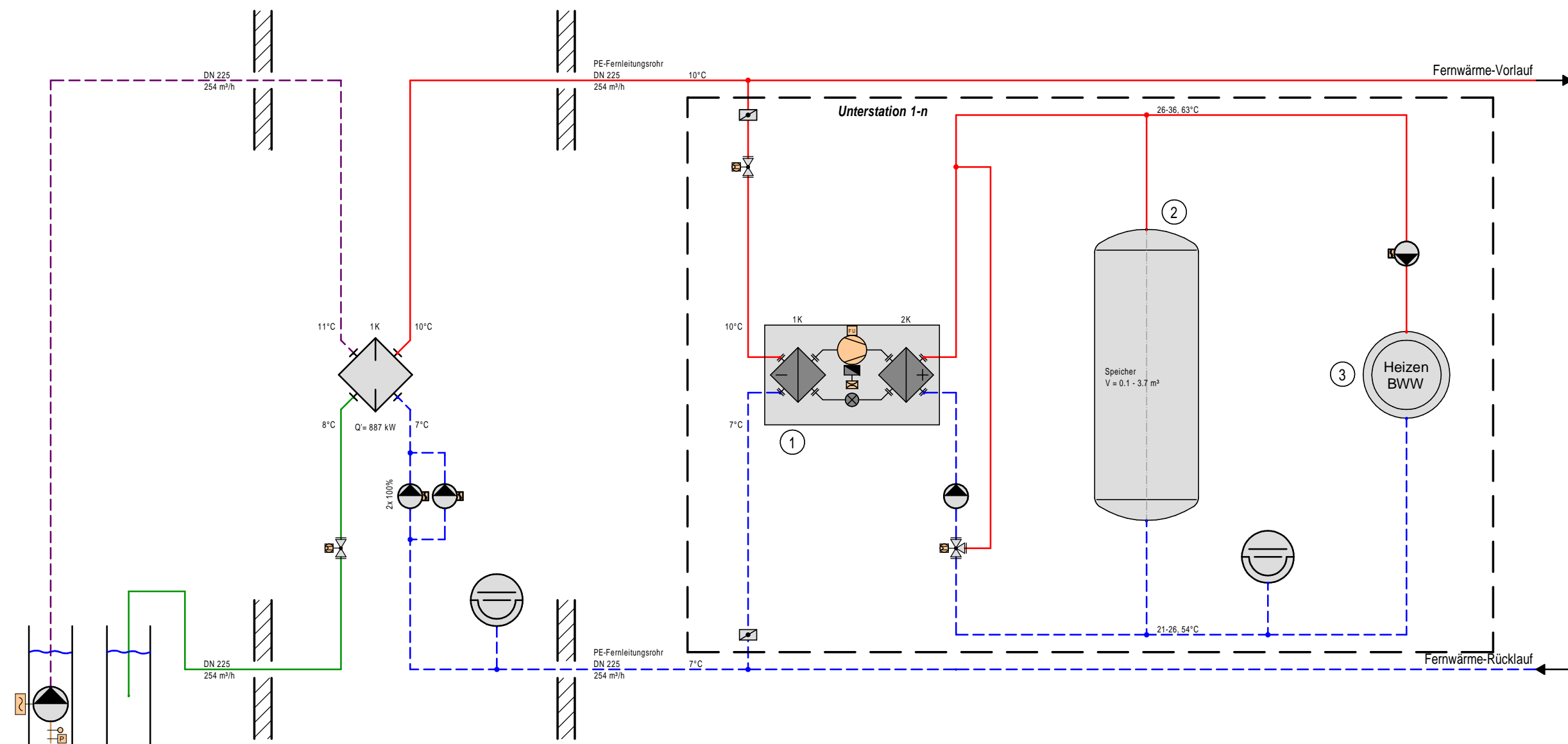
Klimastation	Basel-Binningen		
Gebäudekategorie	MFH		
Energiebezugsfläche EBF	A_E	m^2	57'274
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	kWh/m2a	26
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_T	kWh/m2a	
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q_V	kWh/m2a	
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	6%
Sperrzeiten 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

HSLU Nouvelles constructions

Annexe 13 Schéma de principe Variante C

Studie

Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti

WPEsti / V 8.2.1 / 30.06.2017
gültig bis 31.12.2017

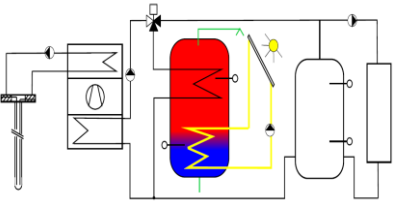
Projekt:

Annexe 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