

Vorgezogener Heizgruppenersatz, 31. Oktober 2024

Vorgezogener Heizgruppenersatz Effizienzpotenziale erschliessen



Autoren

Martin Mühlebach, Lemon Consult AG

Sebastian Teutloff, Lemon Consult AG

Carolina Fraga, Services Industriels de Genève

Ophélie Reynoud, ENERGYS Sàrl

Sébastien Gabus, ENERGYS Sàrl

Titelbild: Innenhof Rotachquartier, Baugenossenschaft Rotach

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	4
2.	Ausgangslage	5
3.	Hypothese	6
4.	Produktneutralität	6
5.	Objekte	7
5.1	ZH-Objekt 1: Zweierstrasse.....	7
5.2	ZH-Objekt 2: Rotachquartier	8
5.3	GE-Objekt 1: Rue Dancet	9
5.4	GE-Objekt 2: Route de Mon-Idée 51-53	10
6.	Methodik und Vorgehen	11
6.1	Umbau Heizverteiler	11
6.2	Messung ohne Optimierung	12
6.3	Aktivierung Optimierung.....	12
6.4	Auslesen und Auswertung der Messdaten.....	12
7.	Resultate	13
7.1	Energetische Einsparung	13
7.2	Einsparung Investitionskosten.....	14
7.2.1	GE-Objekt 2: Route de Mon-Idée	14
7.2.2	GE-Objekt 2: Rue Dancet	15
7.2.3	ZH-Objekt 1: Zweierstrasse.....	16
7.2.4	ZH-Objekt 2: Rotachquartier	17
8.	Erkenntnisse	18
9.	Anhang	19

1. Zusammenfassung

Erkenntnisse aus dem Betriebsoptimierungsprogramm des Kantons Genf zeigen: Gebäude mit bestehenden Wärmeerzeugern werden heute oft ineffizient betrieben. Der hydraulische Abgleich des Heizsystems und die Optimierung der Heizkurve spielen bei bestehenden Objekten eine untergeordnete Rolle, da von fossilen Wärmeerzeugern genügend Brennerleistung und hohe Vorlauftemperaturen vorhanden sind und die Raumtemperatur gewährleistet werden kann. Mit einem Ersatz zu erneuerbaren Erzeugungssystemen, insbesondere mit Wärmepumpen, kommt der Optimierung eine wichtige Bedeutung zu. In der vorliegenden Studie soll die Hypothese getestet werden, ob es bei Liegenschaften mit mehreren Heizgruppen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist, eine Optimierung vor dem Ersatz des Wärmeerzeugers vorzunehmen. Es wird mit Einsparungen von 5 - 10 % der Investitionskosten zum Ersatz des Wärmeerzeugers gerechnet.

Für vier Objekte in Zürich und Genf wurden im September 2023 Umbaumassnahmen an den Heizverteilungen umgesetzt. Im ersten Teil der Heizperiode von Oktober 2023 bis Januar 2024 wurde die Messung der Vorlauftemperatur und des Durchflusses ohne Optimierung durchgeführt. Im Januar 2024 wurde die Optimierungsfunktion des Regulierventils aktiviert.

Mit Hinzunahme der Optimierungsfunktion konnte gezeigt werden, dass die Heizleistung der zukünftigen Wärmeerzeuger je nach Objekt um 12 bis 30 % tiefer dimensioniert werden kann, als dies in der Standardauslegung anhand von Durchflussmessungen der Fall gewesen wäre. Dies wirkt sich auch ökonomisch positiv aus: Es kann festgehalten werden, dass die Investitionskosten für die zwei Objekte in der route de Mon-Idée um 9,5 % und für das Rotachquartier 16 % tiefer liegen als ohne die intelligente Betriebsoptimierung. Bei allen betrachteten Objekten lohnt sich der Einsatz der intelligenten Ventile. Die Einsparungen an Investitionen sind somit wesentlich höher als die Mehrkosten für die Planung des Einsatzes der Ventile. Es zeigt sich, dass gerade Wärmepumpensysteme sehr preissensitiv bezüglich deren Leistungsklasse sind.

Eine Verallgemeinerung für die gesamte Schweiz kann mit den untersuchten Objekten nicht getroffen werden. Die Effizienz- und Kosteneinsparung muss weiterhin fallweise betrachtet werden. Das Effizienz- und Kosteneinsparpotenzial konnte in allen vier untersuchten Objekten nachgewiesen werden. Für Mehrfamilienhäuser mit fossiler Erzeugung ohne vorgängige Optimierungen kann festgestellt werden, dass Effizienzpotenziale mit massenstromgeregelter Optimierung erschlossen werden können. Weitere Untersuchungen zu vorhandenen Effizienzpotenzialen können diese Resultate verifizieren.

Für einen vorausschauenden Wärmeerzeugerersatz muss bereits ein bis zwei Jahre im Voraus mit der Planung des Umbaus der Heizverteilung begonnen werden, um den Vorteil der intelligenten Optimierung nutzen zu können. Damit dieses Potenzial ausgeschöpft werden kann, ist eine vorausschauende Investitions- und Ersatzplanung notwendig. Dies bei institutionellen Bauträgerschaften im Alltag zu implementieren, wird die Herausforderung in der Umsetzung sein. Sensibilisierungsarbeit und Kommunikation der Projektergebnisse werden nötig sein, damit die Projektergebnisse in die Praxis umgesetzt werden.

2. Ausgangslage

Verschiedene Forschungsprojekte und Erfahrungen aus Betriebsoptimierungsprogrammen zeigen, dass bei Ersatz eines bestehenden Heizkessels die neu eingesetzten Wärmepumpen überdimensioniert werden. Dies führt zu unnötig hohen Investitionskosten und zu einer reduzierten Effizienz der installierten Anlage im Betrieb.

Dass Gebäude mit fossilen Wärmeerzeugern meist ineffizient betrieben werden, ist oft eine Ursache von fehlender Einregulierung der Erzeugung mit dem Wärmeabgabesystem (siehe Abbildung 1). Bei einer fossilen Heizung spielt dieser hydraulische Abgleich eine untergeordnete Rolle, da genügend Brennerleistung sowie hohe Vorlauftemperaturen vorhanden sind und die Raumtemperatur auch mit mangelndem hydraulischem Abgleich und nicht optimierter Heizkurve gewährleistet werden kann. Die neue Heizung wird im Standardfall anhand von Verbrauchsmessungen der bestehenden Anlage ausgelegt. Eine fossile Heizung mit mehr Leistung kostet zudem unwesentlich viel mehr. In erneuerbaren Wärmeerzeugersystemen kosten bei grösseren Objekten die Wärmepumpen hingegen mehr, bei grösserer Leistung. Bei fehlendem hydraulischem Abgleich und nicht optimierter Heizkurve werden die neu eingebauten Wärmepumpen in vielen Fällen überdimensioniert. Erfahrungen aus dem Betriebsoptimierungsprogramm des Kantons Genf (éco 21, Heizungsoptimierung¹) zeigen ein durchschnittliches Effizienzpotenzial von 16 % auf. Je nach Objekt betragen die Optimierungen 10 bis 40 %.

Das Einregulieren von Anlagen ist heute wesentlich einfacher als früher, da verschiedene Firmen Armaturen entwickelt haben, welche diesen Prozess teilweise automatisieren. Durch die damit ermöglichte Betriebsoptimierung vor dem Ersatz des Wärmeerzeugers kann die neue Wärmeerzeugung auf den tatsächlichen Bedarf ausgelegt werden. Zusätzlich liegt mit der exakten Wärmemessung eine bessere Datengrundlage für die Dimensionierung der neuen Heizung vor.



- Bestehende Gebäude haben oft ineffiziente Heizungseinstellungen
- Die neu einzubauende Wärmepumpe ist somit in vielen Fällen überdimensioniert
- Hydraulischer Abgleich spielt eine untergeordnete Rolle, da genügend Brennerleistung vorhanden
- Betriebsoptimierungsprogramm des Kanton Genf zeigt ein durchschnittliches Effizienzpotential von 16 %
- Neue Heizung wird aufgrund von Verbrauchsmessungen der bestehenden Anlage ausgelegt

Abbildung 1: Vergleich fossile und erneuerbare Erzeugung (links und rechts)

Lemon Consult wurde angefragt, zusammen mit Services Industriels de Genève (SIG), ENERGYS Sàrl und der Firma Belimo AG ein Innovationsprojekt zu kreieren, um die These des Effizienzpotenzials anhand von vier Fallbeispielen zu verifizieren und Handlungsoptionen aufzuzeigen, wie in Zukunft eine Überdimensionierung der Wärmeerzeugung vermieden werden kann.

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

3. Hypothese

In der vorliegenden Studie soll die Hypothese getestet werden, ob es bei Mehrfamilienhäusern mit mehr als sechs Wohnungen und gemischten Liegenschaften mit Gewerbe und Wohnungen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist, eine Optimierung in der Heizperiode vor dem Ersatz des Wärmeerzeugers vorzunehmen. Die Betriebsoptimierung mittels intelligenter Ventile wird dazu führen, dass Wärmeerzeuger mit durchschnittlich 10 % weniger Leistung eingebaut werden können und somit mit tieferen Investitionskosten von 5 - 10 % gerechnet werden kann. Die Hypothese wird qualitativ an vier ausgewählten Mehrfamilienhäusern in Genf und Zürich getestet.

4. Produktneutralität

Belimo stellte für das vorliegende Projekt das Produkt in Abbildung 2 gratis zur Verfügung. Das Belimo Energy Valve™ ist ein Regelventil mit thermischem Energiezähler, welches die Energiemessung und -regelung, das Volumenstrommanagement und eine IoT-fähige Abrechnung in einem Gerät bündelt. Produktkosten werden im Katalogpreis je nach Dimension mit CHF 1'500.- bis CHF 2'300.- angegeben. Wir möchten darauf hinweisen, dass es auf dem Markt selbstverständlich weitere Geräte von anderen Herstellern gibt, welche ebenfalls die Funktion eines Energy Valves erfüllen, und möchten hier weniger das Produkt als vielmehr dessen Anwendung testen.



Abbildung 2: Belimo Energy Valve™

5. Objekte

Für das Projekt war eine sorgfältige Auswahl der Testobjekte zentral. Es konnten vier Mehrfamilienhäuser mit bestehender fossiler Heizung gefunden werden. In allen vier Objekten wird die fossile Heizung bis 2027 ersetzt werden. Dafür benötigen die Bauträgerschaften einen Vorschlag zur Dimensionierung eines erneuerbaren Wärmeerzeugersystems. Je zwei Objekte sind in Zürich und Genf.

5.1 ZH-Objekt 1: Zweierstrasse

Bauträgerschaft	Allgemeine Baugenossenschaft Zürich (ABZ)
Adresse	Zweierstrasse 99 -105 in 8003 Zürich
EBF	2'800 m ²
Anzahl Wohnungen	25
Heizung	1 x 250 kW kondensierender Gaskessel 89 W/m ²
Betriebsoptimierung	3 Ventile (Energy Valves) und eine Messstelle für das Brauchwarmwasser werden benötigt. Vorgängig wurde bereits eine energetische Betriebsoptimierung durchgeführt, welche 20 % der Energie eingespart hat.



Abbildung 3: Mehrfamilienhaus an der Zweierstrasse

5.2 ZH-Objekt 2: Rotachquartier

Bauträgerschaft	Baugenossenschaft Rotach Zürich
Adresse	Rotachquartier: Aemtlerstr. 73; Gertrudstr. 54 – 72; Nussbaumstr. 16 – 26; Rotachstr. 40 – 67; Saumstr. 14, 17, 19, 22 und 48 in 8003 Zürich
EBF	26'000 m ²
Anzahl Wohnungen	326
Heizung	2 x 1,2 MW kondensierende Ölkessel 92 W/m ²
Betriebsoptimierung	10 Ventile (Energy Valves) Verbrauch Brauchwarmwasser war bereits bekannt.



Abbildung 4: Rotachquartier in Zürich

5.3 GE-Objekt 1: Rue Dancet

Bauträgerschaft	CPEG (Caisse de prévoyance de l'Etat de Genève)
Adresse	Rue Dancet 12-20, 1205 Genève
EBF	9'819 m ²
Anzahl Wohnungen	112
Heizung	2 x 400 kW Gaskessel 81 W/m ²
Betriebsoptimierung	2 Ventile (Energy Valves) werden benötigt. Vorgängig wurde bereits eine energetische Betriebsoptimierung durchgeführt, welche 15 % der Energie eingespart hat.



Abbildung 5: Mehrfamilienhaus an der rue Dancet in Genf

5.4 GE-Objekt 2: Route de Mon-Idée 51-53

Bauträgerschaft	CPEG (Caisse de prévoyance de l'Etat de Genève)
Adresse	Route de Mon-Idée 51-53, 1226 Thônex
EBF	7'869 m ²
Anzahl Wohnungen	72
Heizung	2 x 280 kW Ölkessel 71 W/m ²
Betriebsoptimierung	1 Ventil (Energy Valve) wird benötigt.



Abbildung 6: Mehrfamilienhaus an der Route de Mon-Idée in Thônex

6. Methodik und Vorgehen

Für die vier beschriebenen Objekte in Zürich und Genf wurden dasselbe Vorgehen und dieselbe Auswertungsmethodik angewendet. Die Umbaumaassnahmen an den Heizverteilungen wurden im September 2023 durchgeführt.

6.1 Umbau Heizverteiler

Bei den Objekten in Zürich wurde im Zuge des Umbaus der Heizverteilung vom alten 3-Wege-Ventil auf eine Einspritzschaltung gewechselt (Abbildung 7). Dieser Schritt optimiert die Hydraulik und bindet die Ventile regelungstechnisch besser in das System ein. Die Energy Valves wurden hierbei so gewählt, dass sie äquivalent zu den bestehenden Ventilen sind. Im gleichen Zug wurden ebenfalls die Pumpen ersetzt. Für den Einsatz der Energy Valves müssen keine weiteren Anpassungen am Heizverteiler vorgenommen werden. Die Autoren erachten es aber als sinnvoll gleichzeitig zum Einbau neuer Ventile den gesamten Heizverteiler zu erneuern.



Abbildung 7: Heizverteilung Zweierstrasse vor (links) und nach (rechts) dem Umbau

Bei beiden Objekten in Genf (Abbildung 8) wurden die bestehenden 3-Wege-Ventile gegen 3-Wege-Energy Valves ausgetauscht. An der Rue Dancet wurden die Heizungspumpen ebenfalls ersetzt, während an der Route de mon Idée die Pumpen belassen wurden.



Abbildung 8: Einbau der Energy Valves, rue Dancet (Verteilung Ost links und West rechts)

6.2 Messung ohne Optimierung

Im ersten Teil der Heizperiode von Oktober 2023 bis Januar 2024 wurde die Messung der Vorlauf-, Rücklauf-temperatur und des Durchflusses ohne Optimierung durchgeführt. Die gewählte Einstellung an den Energy Valves war die Proportional-Regelung², welche das Ventil wie ein übliches Mischventil funktionieren lässt. Diese Messungen dienen nach der Optimierung als Vergleichsgrösse.

6.3 Aktivierung Optimierung

Im Januar 2024 wurde dann die Optimierung des Energy Valves bei den vier Objekten eingeschaltet, indem die teil-automatische Regelung des Volumenstromes aktiviert wurde. Aus den Messdaten ohne Optimierung wurde der Massenstrom am Auslegepunkt (-8 °C für Zürich bzw. -5 °C für Genf) korreliert. Anschliessend wurden dieser Wert für die Massenstrom-Regelparameter eingesetzt und die automatische Optimierung gestartet. Die gesunkene Leistung dank der Optimierung ist darauf zurückzuführen, dass die Rücklauftemperaturen aufgrund des kontrollierten Massenstroms gesenkt wurden und somit die Wärmeverluste reduziert werden konnte.

Für das zweite Objekt in Genf (Rue Dancet) ist der Optimierungsschritt nicht aussagekräftig, da Anfang 2024 ein neues Energieoptimierungssystem in Betrieb genommen wurde, welches die Innentemperatur der Räume und vorausschauende Wetterdaten für die Heizungsoptimierung berücksichtigt. Letzteres führte dazu, dass die vom Energy Valve gemessenen Daten zu stark streuten, um daraus die nötigen Schlüsse ziehen zu können.

6.4 Auslesen und Auswertung der Messdaten

Ende April 2024 wurden die Messdaten ausgelesen. Die Aussentemperaturen wurden hierbei von der Seepolizei Zürich³ für beide Objekte in Zürich und von der Meteo Schweiz Station in Genf-Cointrin⁴ für beide Objekte in Genf übernommen.

Für alle vier Objekte wurden die Messungen in verschiedenen Zeitschritten ausgelesen – dennoch wurden dieselben Zeitschritte (aggregierte Stundenwerte) für die Auswertungen und Analysen benutzt. Der Aufwand zur Auswertung ist hierbei zu beachten.

Die Messdaten wurden mit den Aussentemperaturen korreliert. Aus der Korrelation wurde die Auslegeleistung bei -8 °C (SIA-Auslegetemperatur für Zürich) und -5 °C für Genf (SIA-Auslegetemperatur für Genf) bestimmt.

² Zu den Einstellungen des Energy Valves gibt es im Anhang in GE-1 und GE-2 genauere Ausführungen

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

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

7. Resultate

Für die vier Objekte werden die Leistungseinsparungen sowie die resultierenden Investitionskosten pro Wärmeerzeugersystem aufgezeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass eine generelle Aussage für die Schweiz bei vier untersuchten Objekten nicht möglich ist. Die Resultate zeigen aber eine eindeutige Tendenz auf.

7.1 Energetische Einsparung

Abbildung 9 zeigt die korrelierte gemessene Heizleistung in Rot (ohne Optimierung) und die mittels Energy Valve optimierte Heizleistung in Grün. Die Punkte sind die einzelnen aggregierten Messungen auf Stundenbasis. Es werden nur Tageswerte in der Grafik dargestellt. Eine parallele Verschiebung der Heizkurve nach unten ist erkennbar und je tiefer die Aussentemperaturen, desto grösser wird die Leistungseinsparung durch die Optimierung.

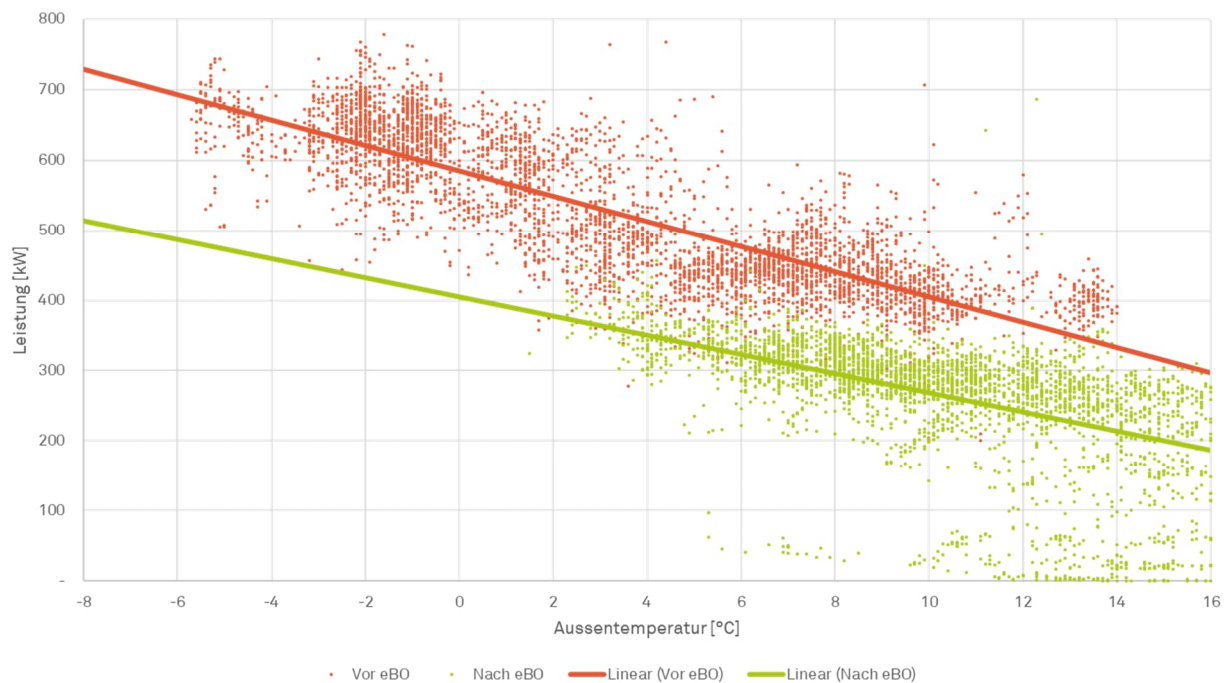


Abbildung 9: Optimierung der Heizleistung vor Betriebsoptimierung (rot) zu nach Betriebsoptimierung (grün) für das Rotachquartier, dargestellt sind Tageswerte

Die Auslegung mittels Verbrauchszahlen der letzten drei Jahre und Volllaststunden (2'700 h/a) dient als Vergleichsgrösse für die gemessenen Leistungen ohne und mit Optimierung (Tabelle 10). Wenn das Standardverfahren mit Volllaststunden angewendet worden wäre, hätten wir eine Überdimensionierung der Heizungsleistungen um 16 bis 52 % gegenüber einer Heizleistung, welche durch Messung ohne Optimierung ermittelt wurde. Mit einer akkuraten Messung kann die Leistung je nach Objekt bereits um die Hälfte reduziert werden. Die Leistungsermittlung gemessen korrespondiert zu dem mit der Brechungsmethode der Summenhäufigkeit, wie in SIA 384 beschrieben. Mit Hinzunahme der automatischen Betriebsoptimierung ist ersichtlich, dass die Leistungsauslegung nochmals um 8 bis 15 % reduziert werden kann. Gegenüber einer Dimensionierung mit Volllaststunden erreicht der Einsatz des Energy Valves mit Optimierung eine Reduktion der Leistung von 42 bis 66 %.

Auch an den Objekten Rue Dancet (GE-2) und Zweierstrasse (ZH-1) können trotz einer durchgeführten Betriebsoptimierung, welche bereits 30 und 20 % Einsparungen erzielt hat, die künftige Wärmeleistungen nochmals reduziert werden. Am zweiten Objekt in Genf (GE-2) hat der Optimierungsschritt funktioniert, allerdings wurden während der Messreihe weitere Optimierung vorgenommen und die Datenstreuung war daher zu ausgeprägt, um eine plausible Leistungsbestimmung machen zu können.

Objekt	Installierte Leistung kW	Leistung Volllaststunden kW	Leistung gemessen kW	Reduktion Leistung gemessen (gegenüber Volllaststunden)	Leistung optimiert kW	Reduktion Leistung optimiert (gegenüber Leistung gemessen)
ZH-1	250	130	75	42 %	56	15 %
ZH-2	2'400	1'530	730	52 %	514	30 %
GE-1	560	320	210	34 %	185	12 %
GE-2	800	440	370	16 %	-	-

Tabelle 1: Vergleich der drei Leistungsberechnungen für die vier Objekte

7.2 Einsparung Investitionskosten

Die Einsparungen der Investitionskosten hin zu einem erneuerbaren Wärmeerzeugersystem wurden für alle untersuchten Objekte berechnet und werden in den Abbildungen 11-15 dargestellt. Die Autoren sind sich einig, dass der Planungsmehraufwand durch den vorzeitigen Ersatz der Heizgruppen auf 40 Stunden pro Heizzentrale beziffert werden kann, was Mehrkosten von CHF 5'000.- für den Einsatz der automatischen Optimierung bedeutet (Stundensatz: CHF 130.-). Alle dargestellten Investitionskosten werden mit einer Genauigkeit von +/- 25 % errechnet.

Mit der reinen Messung ohne Optimierung des Belimo Energy Valves können die Investitionskosten um 8 % reduziert werden. Anstatt CHF 1,3 Mio. werden CHF 1,2 Mio. für die geplanten Luft-Wasser Wärmepumpen veranschlagt. Die Anzahl der benötigten Wärmepumpen bleibt identisch, allerdings kann die verwendete Leistungsklasse durch die genaue Messung reduziert werden.

7.2.1 GE-Objekt 2: Route de Mon-Idée

An der route de Mon-Idée wurde ein Ersatz mit einem Luft-Wasser Wärmepumpensystem vorgeschlagen. Eine Wärmepumpenlösung mit Erdsonden kann aus Platzgründen nicht realisiert werden.

Als Referenzgrösse sind in Abbildung 10 sind die Kosten, welche bei einem 1:1-Ersatz der heute installierten Leistung angefallen wären, abgebildet. Zudem sind die Investitionskosten bei einer Dimensionierung mit Verbrauchszahlen und Volllaststunden sowie der Messung ohne und mit Optimierung des Energy Valves dargestellt. Mit einer reinen Messung ohne Optimierung (Leistung vor eBO) wird eine Senkung der

Investitionskosten um 9 % gegenüber einer Auslegung mit Volllaststunden möglich. Mit der Massenstrom-Optimierung durch das Energy Valve (nach eBO) können die Investitionskosten gegenüber der Messung ohne Optimierung um weitere 95 % oder, nach Abzug der Mehrkosten für die Planung, um CHF 95'000.- gesenkt werden. Gegenüber einer Standardauslegung mit Volllaststunden können mit dem vorgezogenen Heizungsersatz CHF 195'000.- eingespart und somit die Investitionskosten um 17 % gesenkt werden.

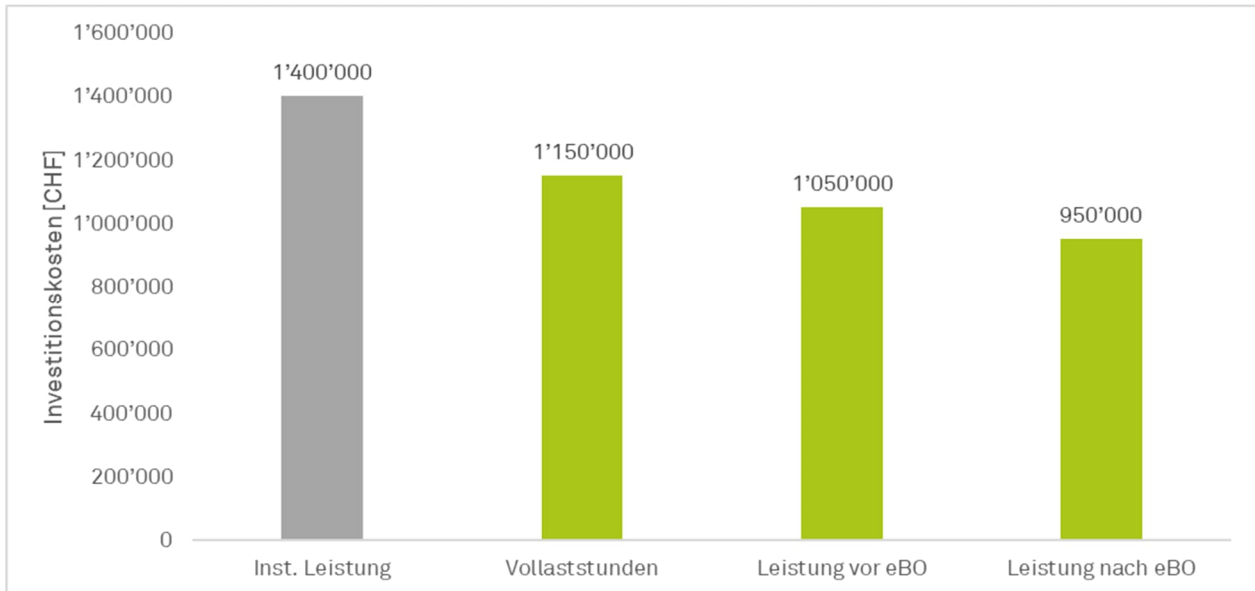


Abbildung 10: Ersatzinvestitionen Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft, route de Mon-Idée

7.2.2 GE-Objekt 2: Rue Dancet

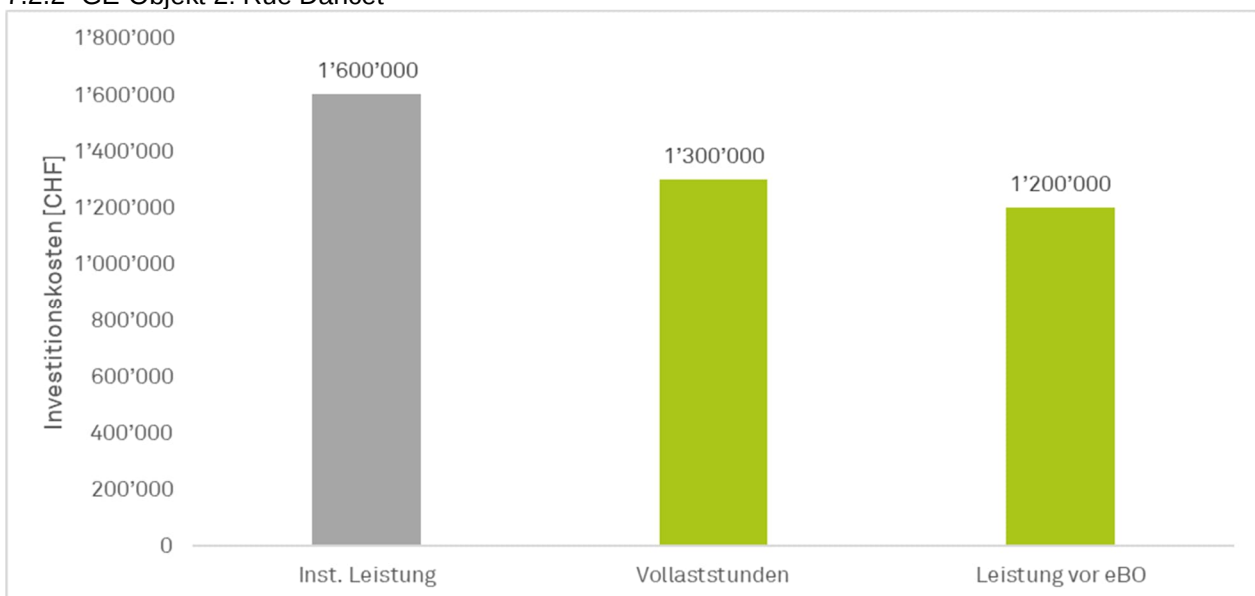


Abbildung 11: Ersatzinvestitionen Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft, rue Dancet

In Abbildung 11 ist ersichtlich, dass trotz der fehlenden Optimierung (Leistung nach eBO) mit der präzisen Messung des Energy Valves bereits eine Investitionskostenersparnis (Leistung vor eBO) realisiert werden kann.

7.2.3 ZH-Objekt 1: Zweierstrasse

An der Zweierstrasse wurden die Investitionskosten für eine Variante einer zentralen Wärmepumpe mit Aussenluft (Abbildung 12) und eine Sole-Wasser Wärmepumpe (Abbildung 13) berechnet.

Bei der Wärmepumpenlösung mit Aussenluft lassen sich die Investitionskosten durch die Optimierungsfunktion des Belimo Energy Valves gegenüber einem 1:1-Ersatz mehr als halbieren. Im Fall einer Lösung mit Erdsonde liegt die Einsparung an Investitionskosten bei 68 %. Bei beiden Varianten lohnt sich die Optimierungsfunktion gegenüber der reinen Messung, vor allem bei der Wärmepumpenlösung mit Erdsonde können durch eine kürzere Sondenlänge CHF 140'000.- oder 15 % an Investitionen gesenkt werden. Die Mehrkosten der Planung fallen bei beiden optimierten Lösungen nicht ins Gewicht.

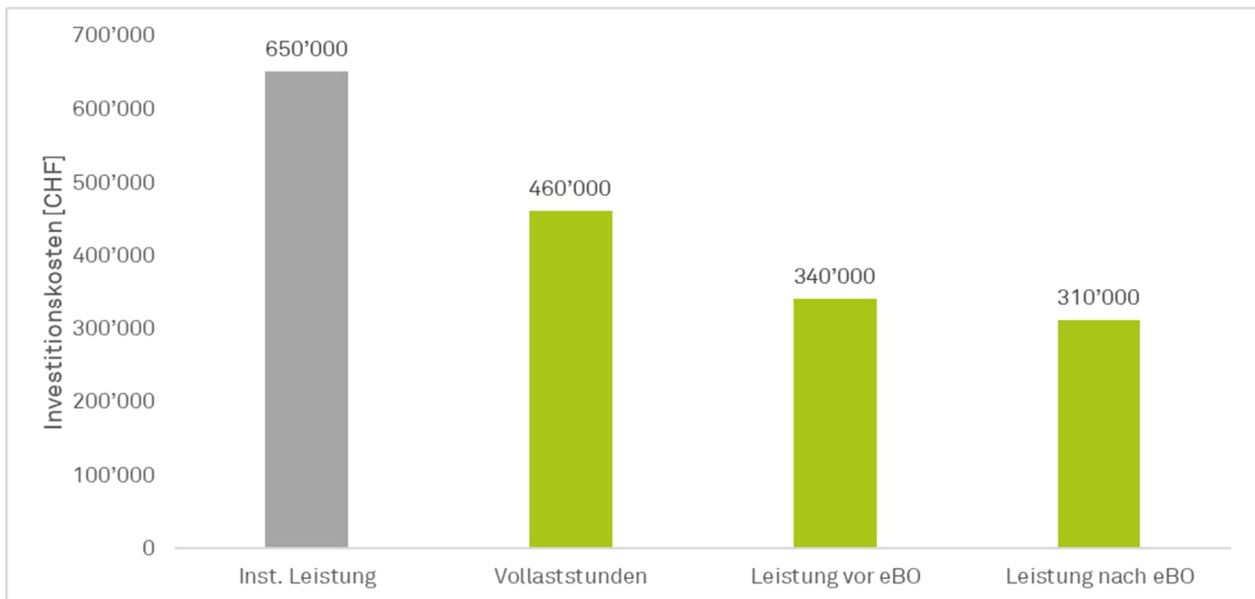


Abbildung 12: Ersatzinvestitionen durch Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft, Zweierstrasse

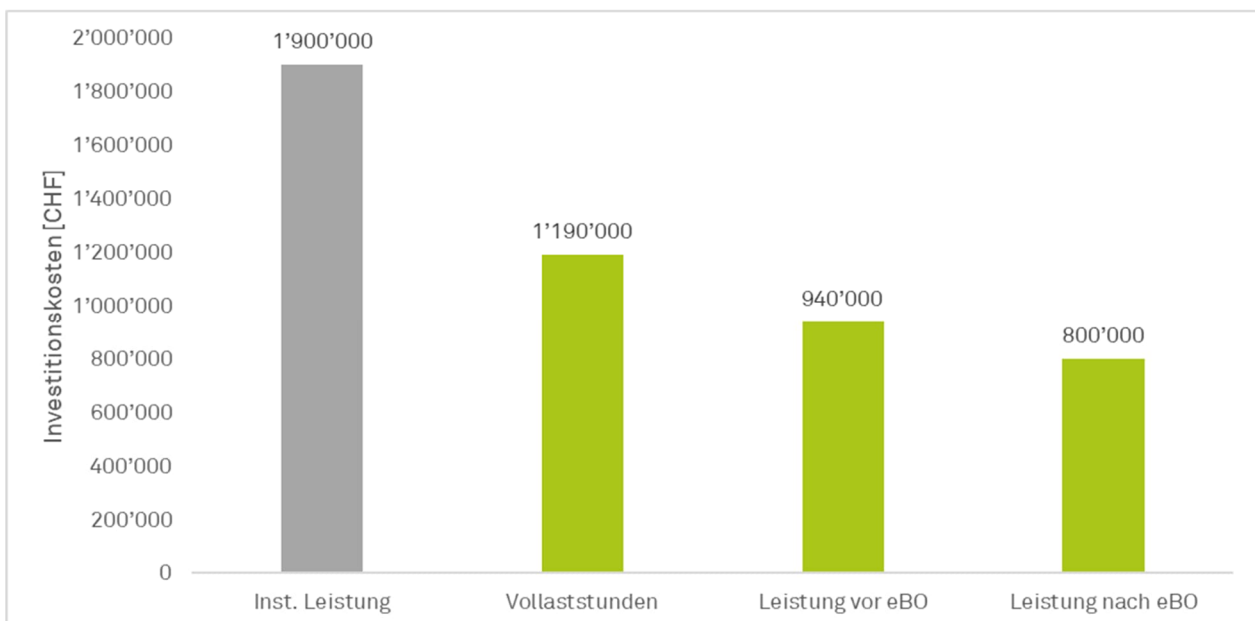


Abbildung 13: Ersatzinvestitionen durch Erdwärmesonden-Wärmepumpe, Zweierstrasse

7.2.4 ZH-Objekt 2: Rotachquartier

Ein gleiches Bild zeigt sich beim zweiten Objekt in Zürich (Abbildung 14). Für das Rotachquartier wurde ein System mit zentralen Luft-Wasser Wärmepumpen vorgeschlagen. Die Einsparungen gegenüber einer Auslegung mit der Volllastmethode betragen CHF 1,4 Mio. Dies kommt einer Halbierung der Investitionskosten gleich. Ebenfalls bringt die Optimierung des Energy Valves 16 % an Reduktion der Investition gegenüber einer reinen Messung ohne Optimierung. Es zeigt sich, dass gerade Wärmepumpensysteme sehr preissensitiv bezüglich deren Leistungsklasse sind. Eine vorgängige Messung und Betriebsoptimierung zur Einregulierung von Erzeugung und Verteilung sind daher besonders empfehlenswert.

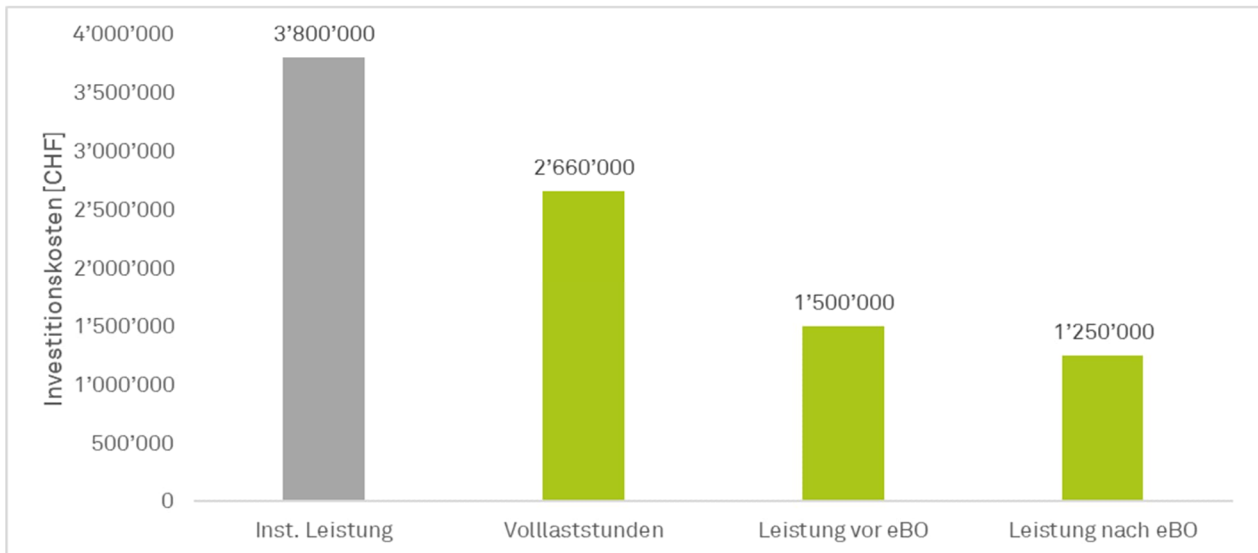


Abbildung 14: Ersatzinvestitionen durch Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft, Rotachquartier

8. Erkenntnisse

Die Resultate zeigen, dass der Einsatz von Belimo-Ventilen genaue Messdaten zum Heizverbrauch liefert. Dies ermöglicht es, die Berechnung des Leistungsbedarfs für die Heizung zu präzisieren. Bereits mit der Messung konnten die Leistungsberechnungen präziser durchgeführt werden und eine Leistungsreduktion von 16 bis 52 % scheint gegenüber der Vollastmethode möglich. Mit Hinzunahme der Optimierungsfunktion konnte gezeigt werden, dass die Heizleistung der zukünftigen Wärmeerzeugung je nach Objekt und Variante um 12 bis 30 % tiefer dimensioniert werden kann, als dies mit einer reinen Messung der Fall gewesen wäre. Dieser Umstand kommt für die Autoren überraschend. Es kann ebenfalls konstatiert werden, dass an der Zweierstrasse und an der rue Dancet bereits vorgängig Betriebsoptimierungen stattgefunden haben. Die Optimierungsmöglichkeiten sind deshalb tiefer, aber immer noch beträchtlich.

Dies wirkt sich auch ökonomisch positiv aus: Unter Berücksichtigung der Mehrkosten für die Planung kann festgehalten werden, dass die Kosten für eine Wärmepumpe für die zwei Objekte in der route de Mondée um 10 % und im Rotachquartier um 16 % tiefer sind als ohne massenstromgeregelte Betriebsoptimierung im Vergleich zu einer Leistungsbestimmung mit Verbrauchsmessung. Die Hypothese wurde für drei Objekte bestätigt: Ein vorgezogener Heizgruppenersatz mit intelligenter Betriebsoptimierung macht bei grösseren Wohnliegenschaften energetisch und ökonomisch Sinn. Die Kosteneinsparungen überwiegen den Mehraufwand in der Planung deutlich. Nicht berücksichtigt in der Betrachtung sind die künftigen Effizienzgewinne durch die optimierte Auslegung sowie die Reduktion der grauen Energie durch kleinere Wärmepumpen.

Eine Verallgemeinerung für die gesamte Schweiz kann mit den untersuchten Objekten nicht getroffen werden. Die Effizienz- und Kosteneinsparung muss weiterhin fallweise betrachtet werden. Das Effizienz- und Kosteneinsparpotenzial konnte in allen vier untersuchten Objekten nachgewiesen werden. Für Mehrfamilienhäuser mit fossiler Erzeugung ohne vorgängige Optimierungen kann festgestellt werden, dass Effizienzpotenziale mit massenstromgeregelter Optimierung erschlossen werden können.

Die Stolpersteine sehen die Autoren in der Praxis bei der zeitlichen Planung des Wärmeerzeugersatzes. Für eine intelligente Optimierung muss bereits ein bis zwei Jahre im Voraus die Heizverteilung umgebaut werden. Es werden drei Monate einer Heizperiode benötigt, in denen ebenfalls Temperaturen $< -5^{\circ}\text{C}$ vorherrschen, um die exakte Dimensionierung des neuen Erzeugers mit Optimierung festzulegen. Damit dieses Potenzial ausgeschöpft werden kann, ist eine vorausschauende Investitions- und Ersatzplanung notwendig. Dies bei institutionellen Bauträgerschaften im Alltag zu implementieren, wird die Herausforderung in der Umsetzung sein. Sensibilisierungsarbeit und Kommunikation der Projektergebnisse werden nötig sein, damit die erfreulichen Projektergebnisse in die Praxis umgesetzt werden können.

9. Anhang

Es werden im Anhang die detaillierten Messberichte und die dazugehörigen Variantenstudien aller vier untersuchten Objekte aufgeführt:

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



energyys

ingénierie du bâtiment

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

Projet Innovation SuisseEnergie / Belimo

Le 13 juin 2024, version 02

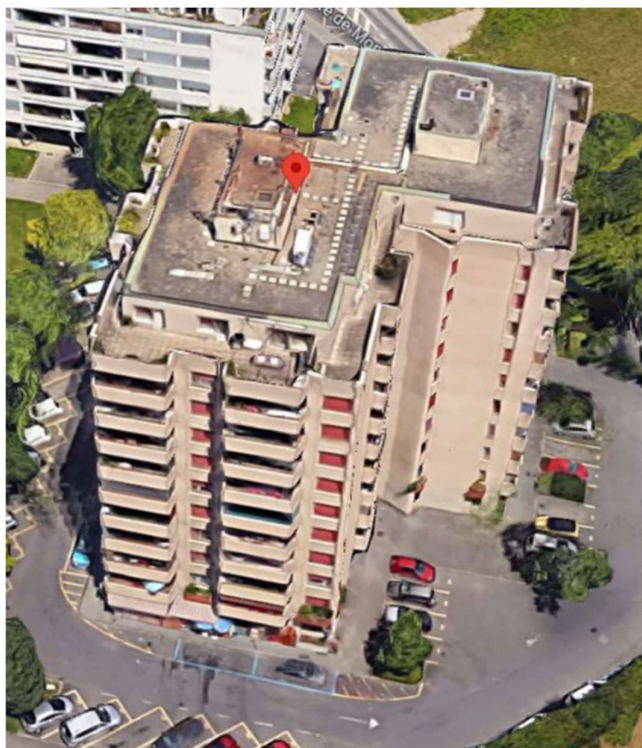


Table des matières

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



1. Introduction

1.1 Cadre du mandat

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

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

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

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

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

1.2 Objectifs de l'étude

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

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

1.3 Documents et informations de base

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

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

Tableau 1 : Informations utiles à l'étude

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



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

Tableau 2 : Acteurs impliqués dans la gestion énergétique du bâtiment

2. Présentation du site

2.1 Situation du bâtiment

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

La figure ci-dessous présente le bâtiment étudié :

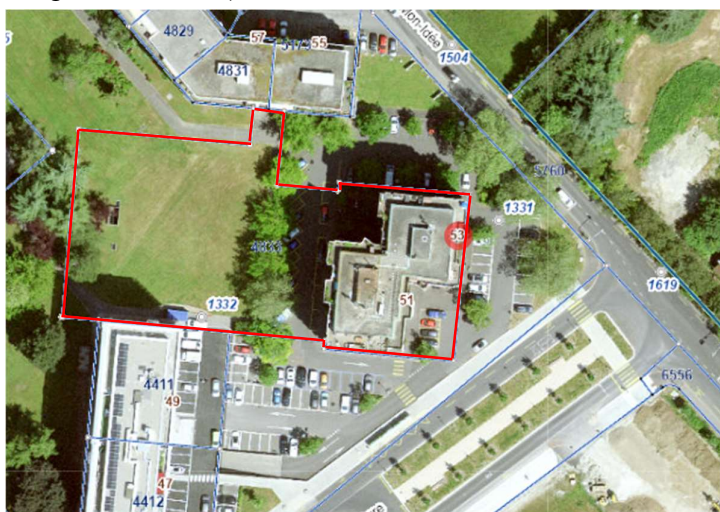


Figure 1 : orthophoto du site avec indication de l'emplacement du bâtiment

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

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

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



2.2 Consommation de mazout pour la production de chaleur & ECS

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

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

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

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

2.3 Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS

Production de chaleur

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



Figure 2 : Chaudières mazout – 2x 280 kW

Distribution de chaleur

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

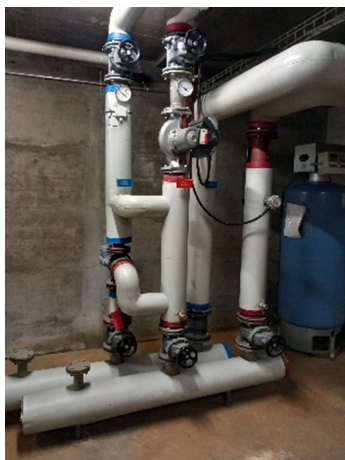


Figure 3 : Collecteur de chaleur en chaufferie

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

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

Emission de chaleur

L'émission de chaleur est faite par des radiateurs.

Production et distribution d'eau chaude sanitaire

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



Figure 4 : Chauffe-eaux alimentés par les chaudières

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

Mesures, commandes et régulation (MCR) chauffage

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



Figure 5 : Tableau MCR en chaufferie

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

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

3.1 Installation d'une vanne Belimo Energy Valve

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

Généralités

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

Modes de fonctionnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Mise en œuvre de la vanne Belimo Energy Valve

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

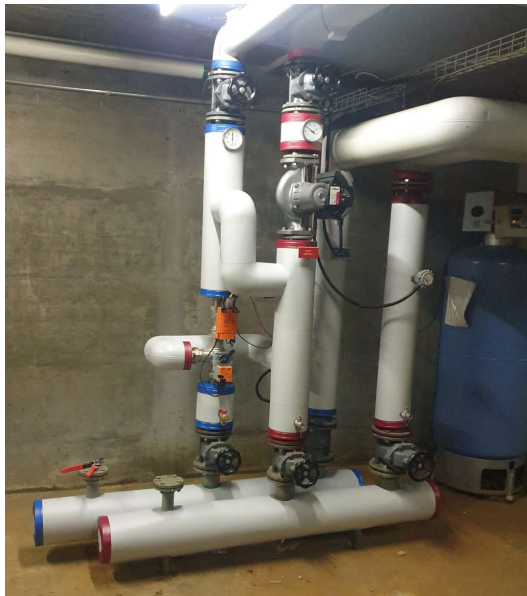


Figure 6 : Installation de la vanne 3 voies Belimo Energy Valve

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

3.2 Méthodologie et conditions du suivi énergétique

Appareils de mesure

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

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

Tableau 5 : Paramètres mesurés et appareils de mesure utilisés



Périodes de mesures

Les mesures ont été réalisées sur deux périodes distinctes :

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

Déroulement des mesures

Etablissement de diagrammes de mesure du taux de charge

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

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

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

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

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

Calcul du besoin de puissance

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

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

Les besoins de puissances calculés sont présentés au chapitre 4.

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

Panel de données insuffisantes

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

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

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



3.3 Résultats du suivi énergétique

Première phase de mesure : sans optimisation

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

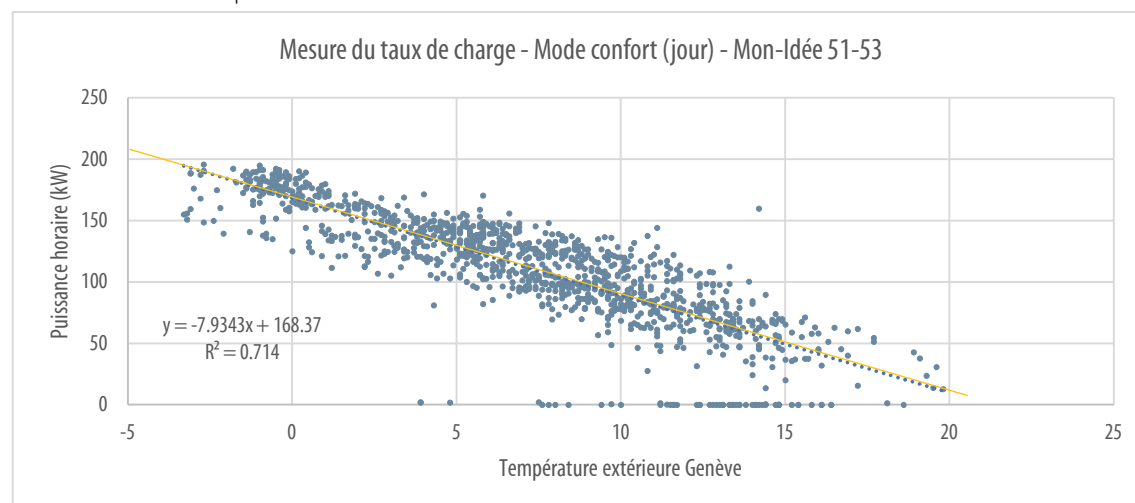


Figure 7 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation – période du 16.10.23 au 14.01.24

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

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

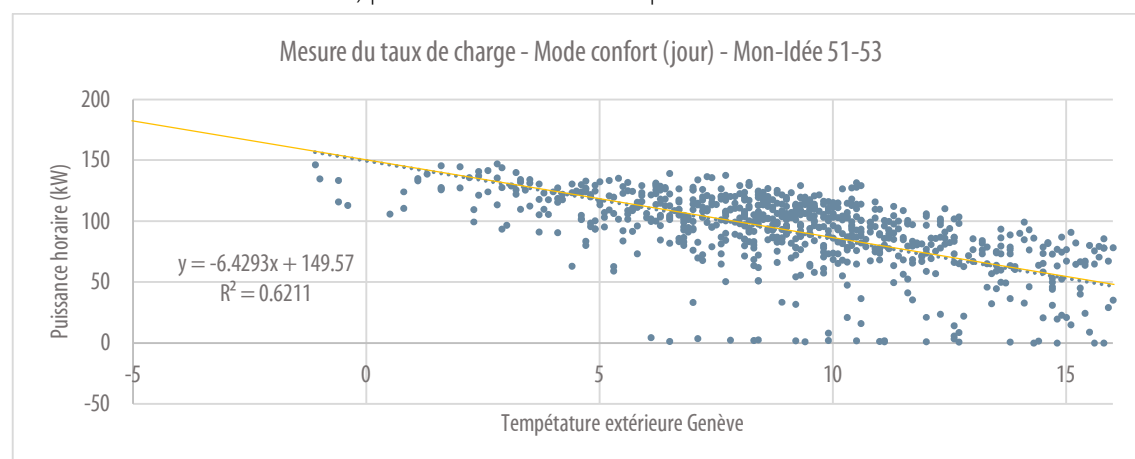


Figure 8 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024

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



4. Calculs des besoins de puissance

4.1 Généralités

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

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

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

4.2 Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

4.5 Synthèse des besoins de puissances calculés

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

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

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

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

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

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



5. Etude du remplacement de la production de chaleur

5.1 Généralités

Solution étudiée

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

Dimensionnement de la production de chaleur

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

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

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

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

Rappel du besoin de puissance considéré

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

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

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

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





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

Scénario comprenant :

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



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

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

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

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

Eléments conservés :

- ☐ Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

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

Remarques importantes :

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



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

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



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

Rappel du besoin de puissance considéré

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

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

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

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

Scénario comprenant :

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

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



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

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

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

Eléments conservés :

- ☐ Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

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

Remarques importantes :

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



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

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



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

Rappel du besoin de puissance considéré

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

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

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

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

Scénario comprenant :

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



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

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

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

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

Eléments conservés :

- ☐ Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

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

Remarques importantes :

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



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

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

5.5 Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance

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

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

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

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

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

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



6. Synthèse et conclusion

6.1 Synthèse

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

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

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

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

6.2 Conclusion

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

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

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

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

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



Annexe 1. Schémas de principe hydrauliques

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

Voir pages suivantes



CHAUFFERIE
ROUTE DE MON-IDEE 51

Nomenclature des appareils

Circulateurs :

1 : BIRAL Redline LX 503

2 : BIRAL Redline LX 503

3 : GRUNDFOS UPS 50-30 F

4 : GRUNDFOS UPS 50-30 F

5 : GRUNDFOS UP 20-45 N150

6 : GRUNDFOS Alpha1 20-45 N 150

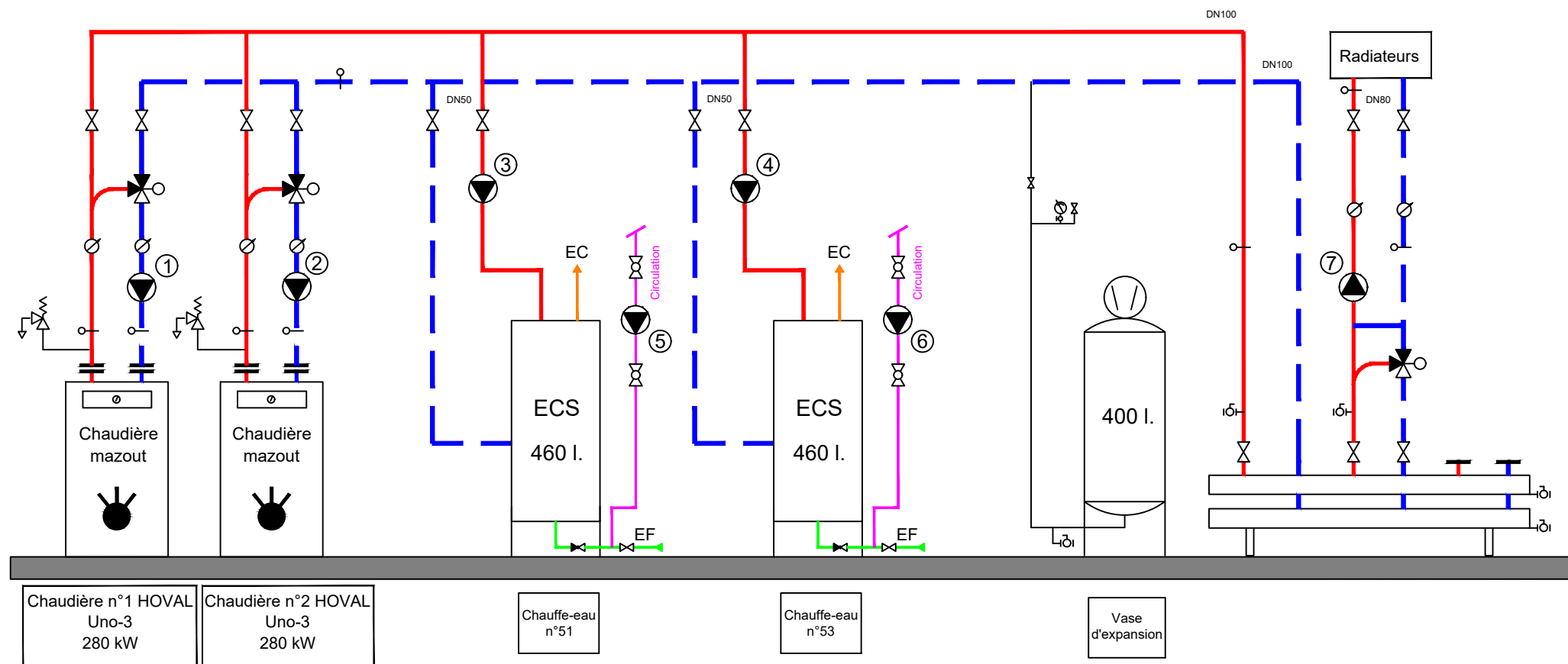
7 : BIRAL A652 V2

Vase d'expansion :

PNEUMATEX Compresso CU 400.6

Chauffe-eaux :

HOVAL Modul-plus F 41



11112 - Route de Mon-Idee 51-53, Thônex

plan: SCHEMA DE PRINCIPE CHAUFFERIE. - EXISTANT

phase: -	technique: CHAUFFAGE
-------------	--------------------------------

Dessiné par:	ORE
--------------	-----

Fichier: SP Chauffage

Echelle:

Format:	A4
---------	----

Date de création:	29.08.2023
-------------------	------------

CHAUFFERIE

ROUTE DE MON-IDEE 51

Nomenclature des appareils

Circulateurs :

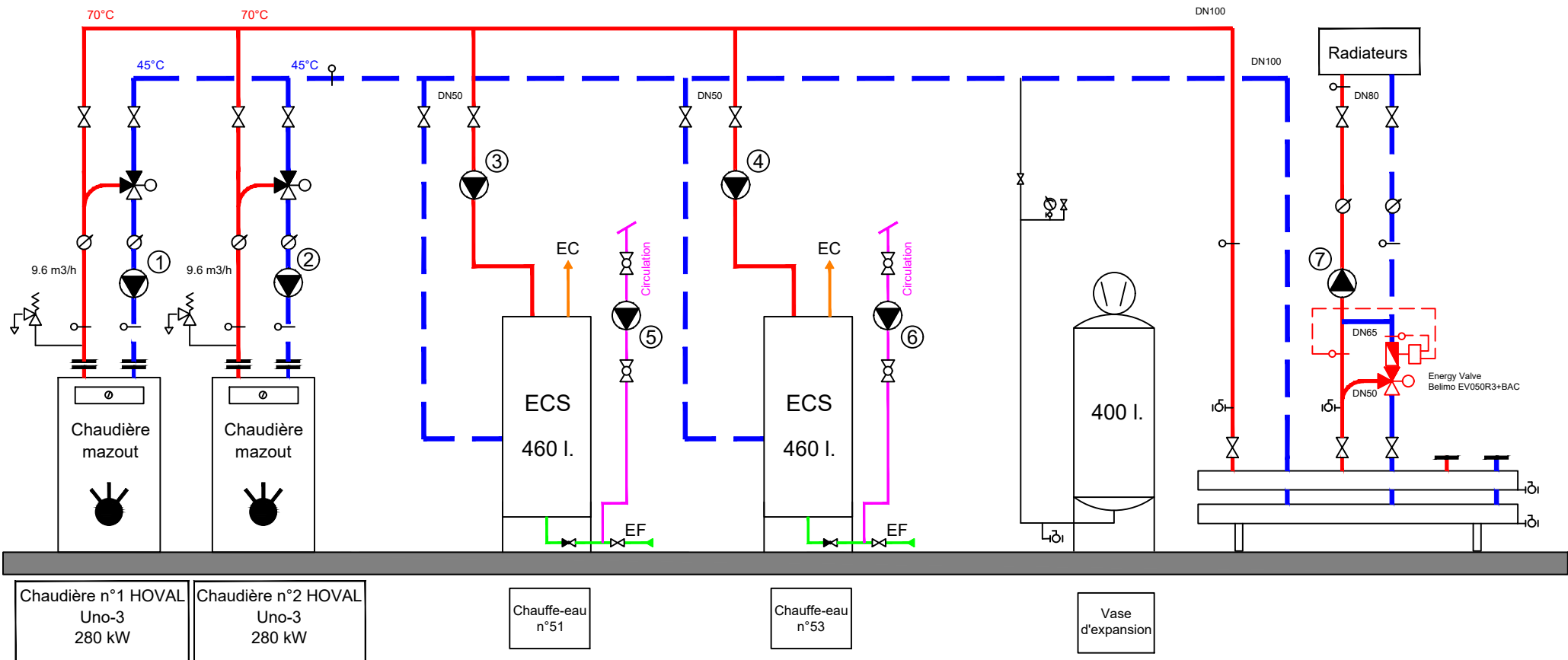
- 1 : BIRAL Redline LX 503
- 2 : BIRAL Redline LX 503
- 3 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 4 : GRUNDFOS UPS 50-30 F
- 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N150
- 6 : GRUNDFOS Alpha1 20-45 N 150
- 7 : BIRAL A652 V2

Vase d'expansion :

PNEUMATEX Compresso CU 400.6

Chauffe-eaux :

HOVAL Modul-plus F 41



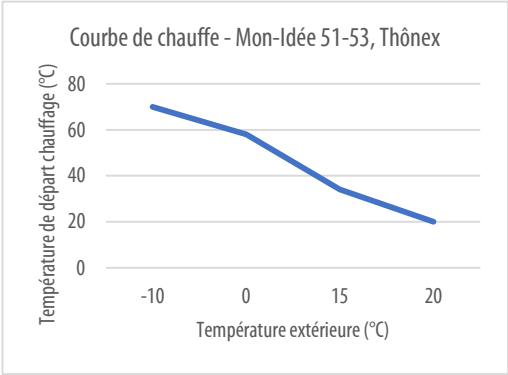
Annexe 2. Paramètres de régulation

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

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

Les points de la courbe de chauffe sont les suivants :

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



Annexe 3. Courbes de mesures du taux de charge

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

Confort (jour)

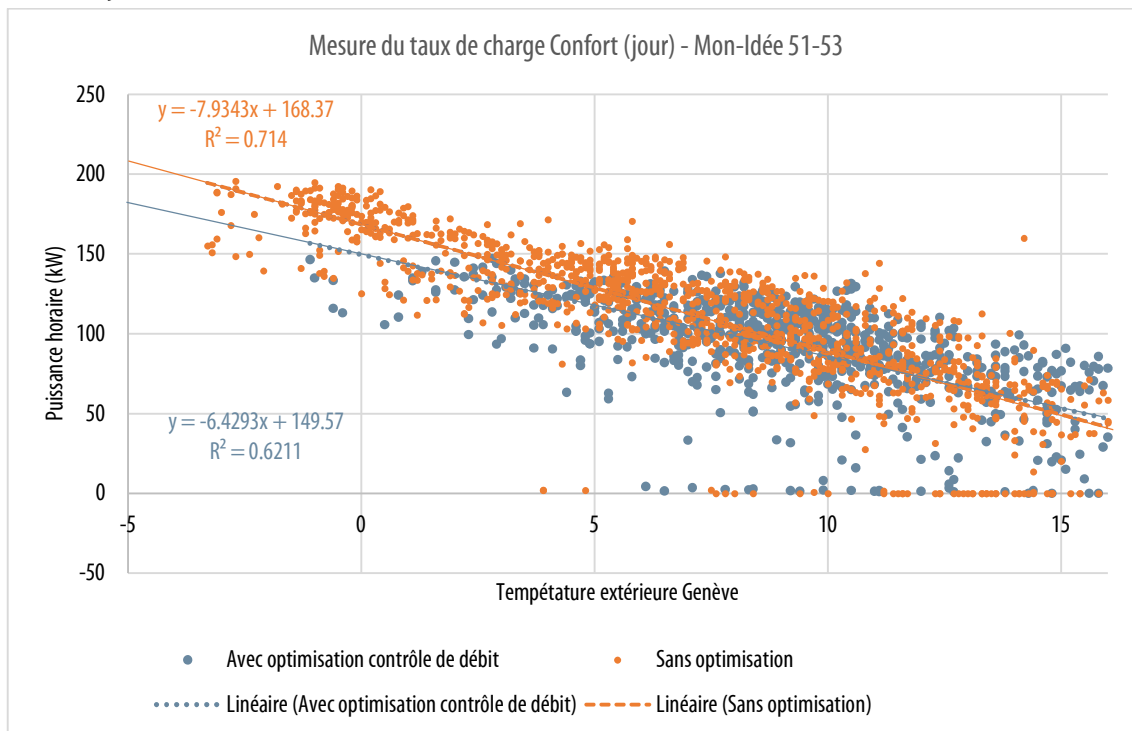


Figure 10 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation du 19.02.2024 au 24.04.2024



Réduit (nuit)

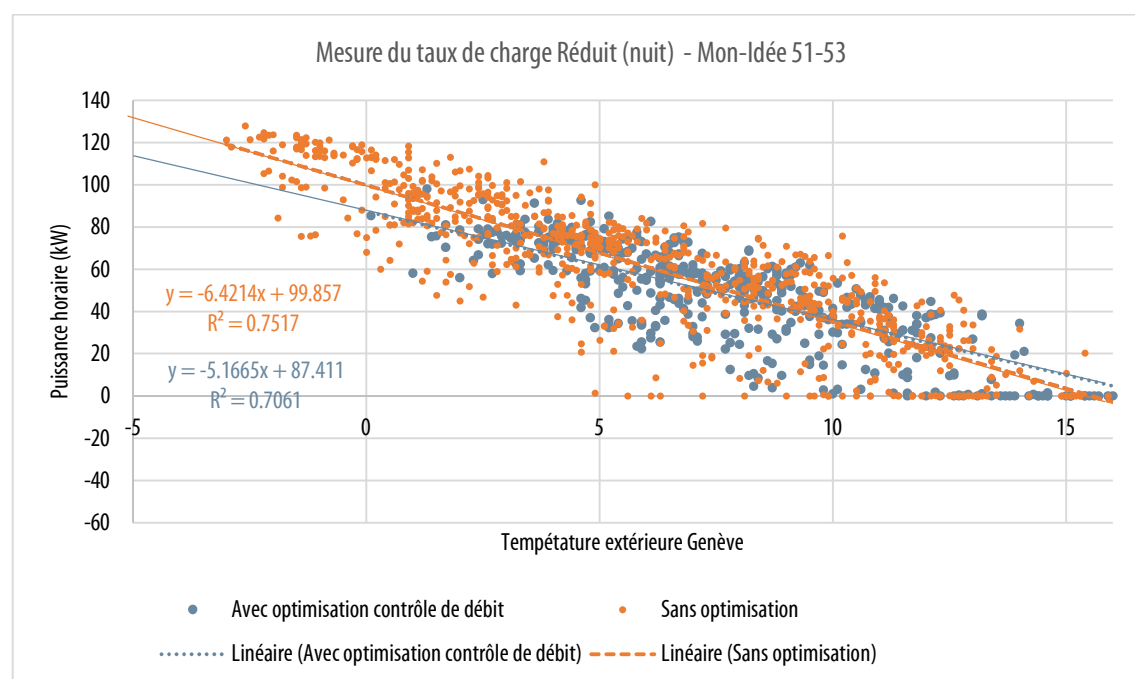


Figure 11 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation (du 19.02.2024 au 24.04.2024)

Relance matinale

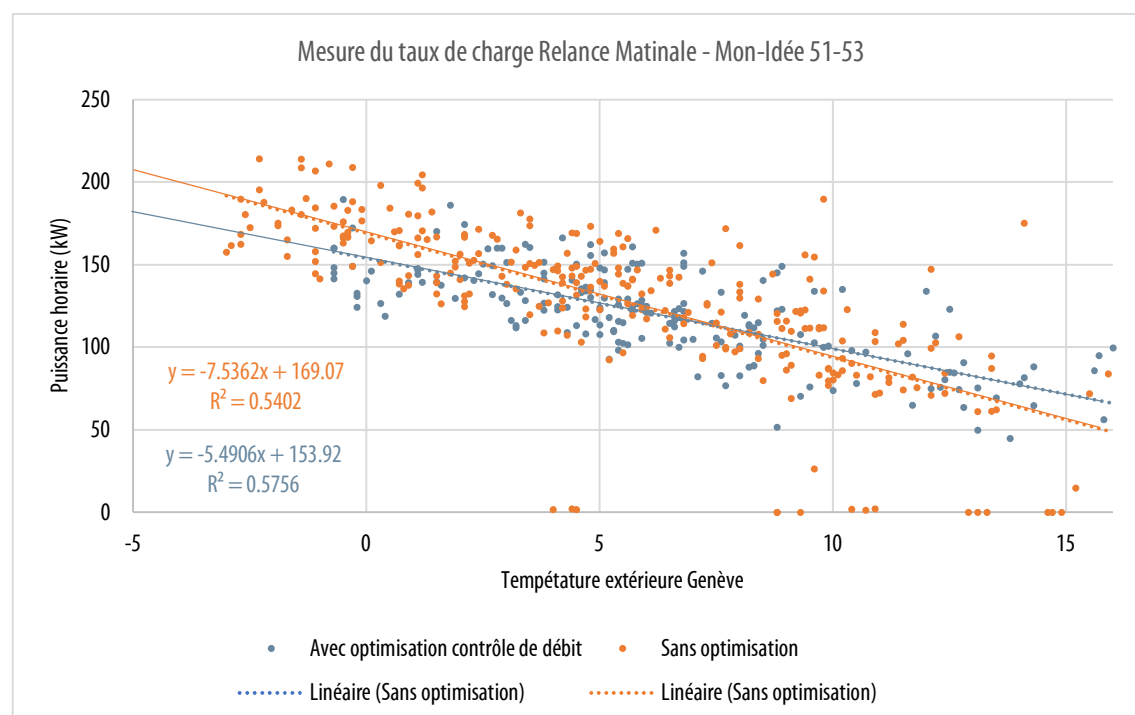


Figure 12 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – sans optimisation (du 16.10.23 au 14.01.24) et avec optimisation (du 19.02.2024 au 24.04.2024)





energyys

ingénierie du bâtiment

Rue Dancet 12-20 CH – 1205 Genève

Projet Innovation SuisseEnergie / Belimo

Le 12 juin 2024, version 01



Table des matières

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



1. Introduction

1.1 Cadre du mandat

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

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

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

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

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

1.2 Objectifs de l'étude

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

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

1.3 Documents et informations de base

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

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

Tableau 1 : Informations utiles à l'étude

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



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

Tableau 2 : Acteurs impliqués dans la gestion énergétique du bâtiment

2. Présentation du site

2.1 Situation du bâtiment

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

La figure ci-dessous présente le bâtiment étudié :



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

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

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

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



2.2 Consommation de gaz pour la production de chaleur & ECS

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

Années	Consommation de gaz [kWh]	Indice de dépense de chaleur (IDC) [MJ/m².an]
2020	1 377 539	590
2021	1 456 300	591
2022	1 329 757	495
2023	1 021 757	412
Moyenne 2020-2023	1 296 338	522

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

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

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

2.3 Présentation générale des installations de chauffage et d'ECS

Production de chaleur

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

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



Figure 2 : Chaudières au gaz – 2x 400 kW

Distribution de chaleur

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



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

Elle est composée de deux groupes de distribution :

- ☐ Secteur radiateurs EST,
- ☐ Secteur radiateurs OUEST.

Ces secteurs de distribution sont en mélange trois voies.

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

Emission de chaleur

L'émission de chaleur est faite par des radiateurs.

Production et distribution d'eau chaude sanitaire

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



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

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

Mesures, commandes et régulation (MCR) chauffage

Tableau MCR

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



Figure 5: Tableau MCR en chaufferie

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

Système d'optimisation Muller Energies

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

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

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

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

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

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

3.1 Installation d'une vanne Belimo Energy Valve

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

Généralités

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

Modes de fonctionnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Mise en œuvre de la vanne Belimo Energy Valve

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



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

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

3.2 Méthodologie et conditions du suivi énergétique

Appareils de mesure

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

Paramètres	Unité	Appareil de mesure	Pas de temps	Remarque
Températures départ/retour primaire	°C	Belimo Energy Valve	30 secondes	Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure
Débit primaire	m³/h	Belimo Energy Valve	30 secondes	Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure
Puissance instantanée primaire	kW	Belimo Energy Valve	30 secondes	Fichier CVS, pas de temps converti en 1 heure
Energie chaud primaire	kWh	Belimo Energy Valve	30 secondes	Fichier CVS
Ouverture de la vanne	%	Belimo Energy Valve	30 secondes	Fichier CVS
Température extérieure	°C	Données météo Suisse	1 heure	Station météo Genève-Cointrin

Tableau 5 : Paramètres mesurés et appareils de mesure utilisés



Périodes de mesures

Les mesures ont été réalisées sur deux périodes distinctes :

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

Déroulement des mesures et méthodes de calculs

Etablissement de diagrammes de mesure du taux de charge

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

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

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

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

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

Calcul du besoin de puissance

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

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

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

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

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

Panel de données insuffisantes

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

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

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

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



3.3 Résultats du suivi énergétique

Première phase de mesure : sans optimisation

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

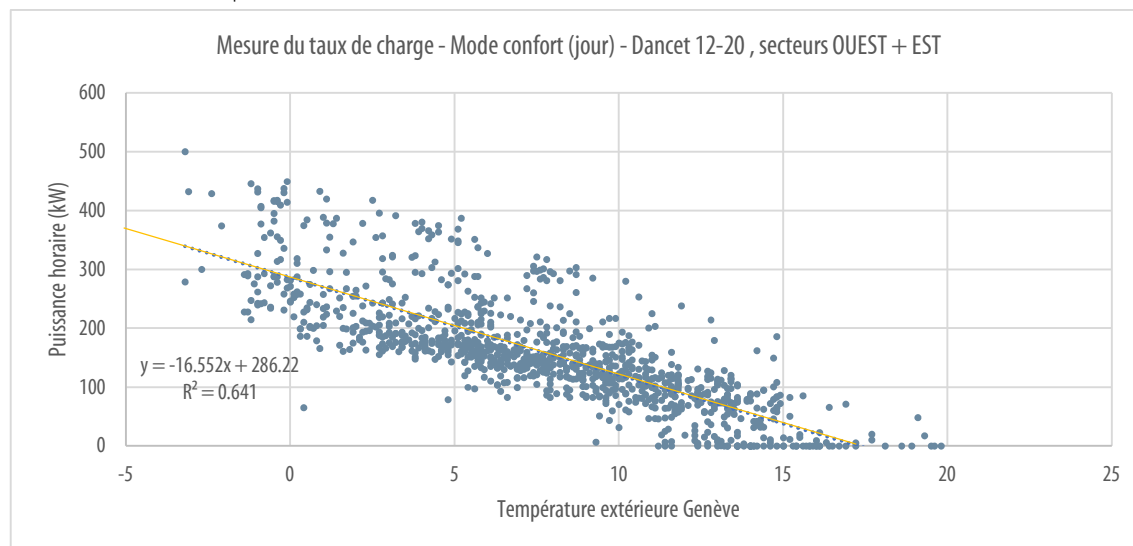


Figure 7 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation – période du 16.10.23 au 11.01.24

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

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

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

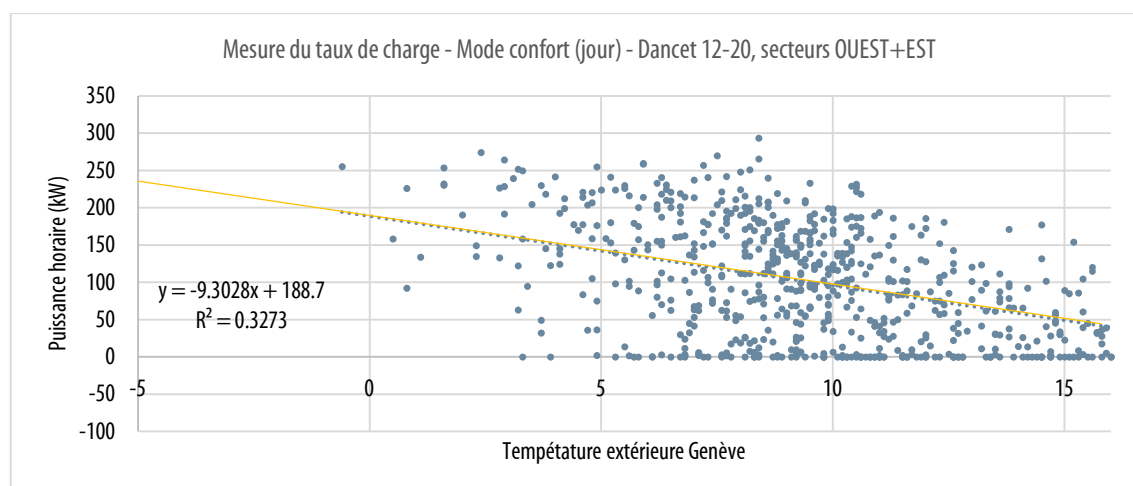


Figure 8 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) – période du 19.02.2024 au 24.04.2024



4. Calculs des besoins de puissance

4.1 Généralités

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

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

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

4.2 Besoin de puissance selon relevés de consommations du bâtiment

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

4.5 Synthèse des besoins de puissances calculés

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

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

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

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



5. Etude du remplacement de la production de chaleur

5.1 Généralités

Solution étudiée

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

Dimensionnement de la production de chaleur

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

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

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

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

Rappel du besoin de puissance considéré

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

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

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

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





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

Scénario comprenant :

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



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

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

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

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

Eléments conservés :

- ☐ Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

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

Remarques importantes :

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



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

Rappel du besoin de puissance considéré

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

Etude de la solution monovalente PAC air/eau

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

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

Scénario comprenant :

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



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

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

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

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

Eléments conservés :

- ☐ Réseau hydraulique secondaire et émission (radiateurs).

Non compris dans les montants susmentionnés :

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

Remarques importantes :

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



5.4 Synthèse des investissements selon le calcul du besoin de puissance

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

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

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

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

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

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



6. Synthèse et conclusion

6.1 Synthèse

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

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

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

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

6.2 Conclusion

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

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

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

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

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



Annexe 1. Schémas de principe hydrauliques

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

Voir pages suivantes



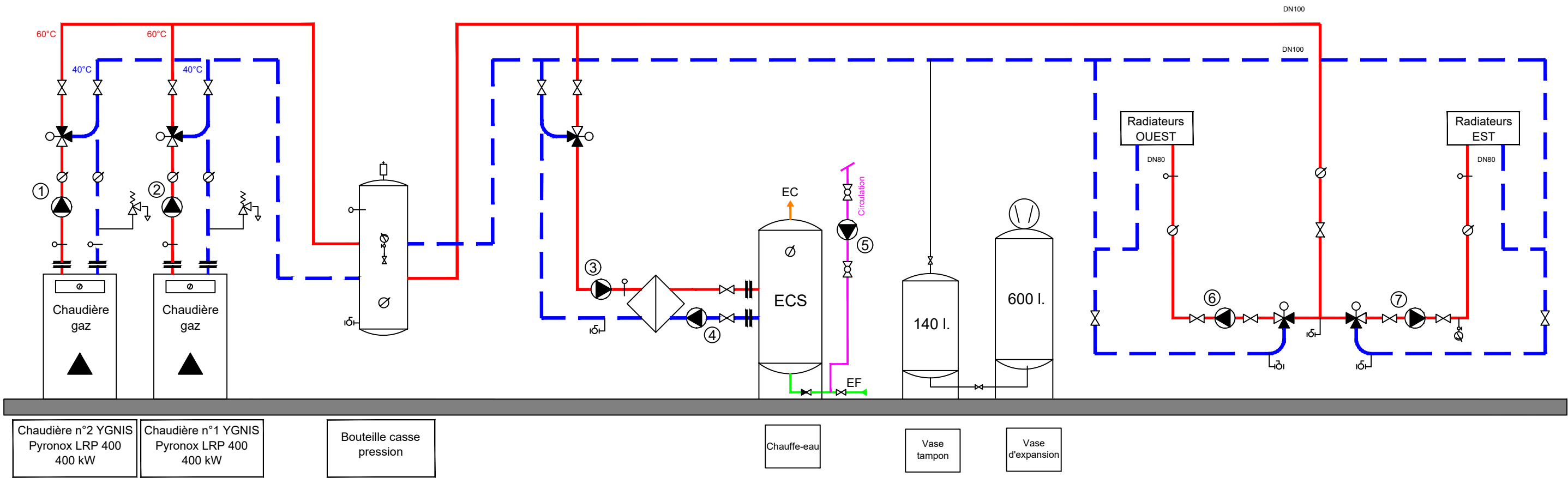
CHAUFFERIE RUE DANCET 18

Nomenclature des appareils

- Circulateurs :

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

Vase tampon :
PNEUMATEX



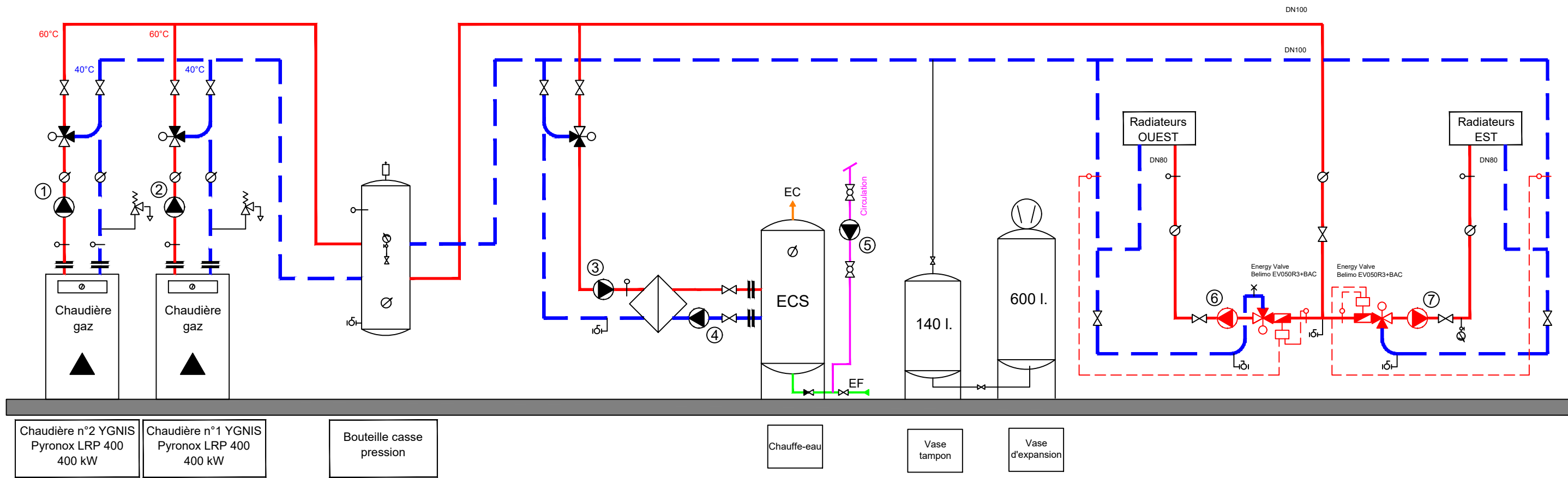
CHAUFFERIE RUE DANCET 18

Nomenclature des appareils

- Circulateurs :

 - 1 : BIRAL Redline LX 653
 - 2 : BIRAL Redline LX 653
 - 3 : BIRAL Redline LX 503
 - 4 : WILO Stratos 30/1-8 (DE)
 - 5 : GRUNDFOS UP 20-45 N 150
 - 6 : BIRAL Modula 50-12 270 RED
 - 7 : BIRAL Modula 50-12 270 RED
- Vase d'expansion :
PNEUMATEX Compresso CU 600.6

Vase tampon :
PNEUMATEX



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

Remarques :

Données considérées pour sélection des vannes 3 voies :

Puissance : 250 kW par secteur

Température : 60-40°C

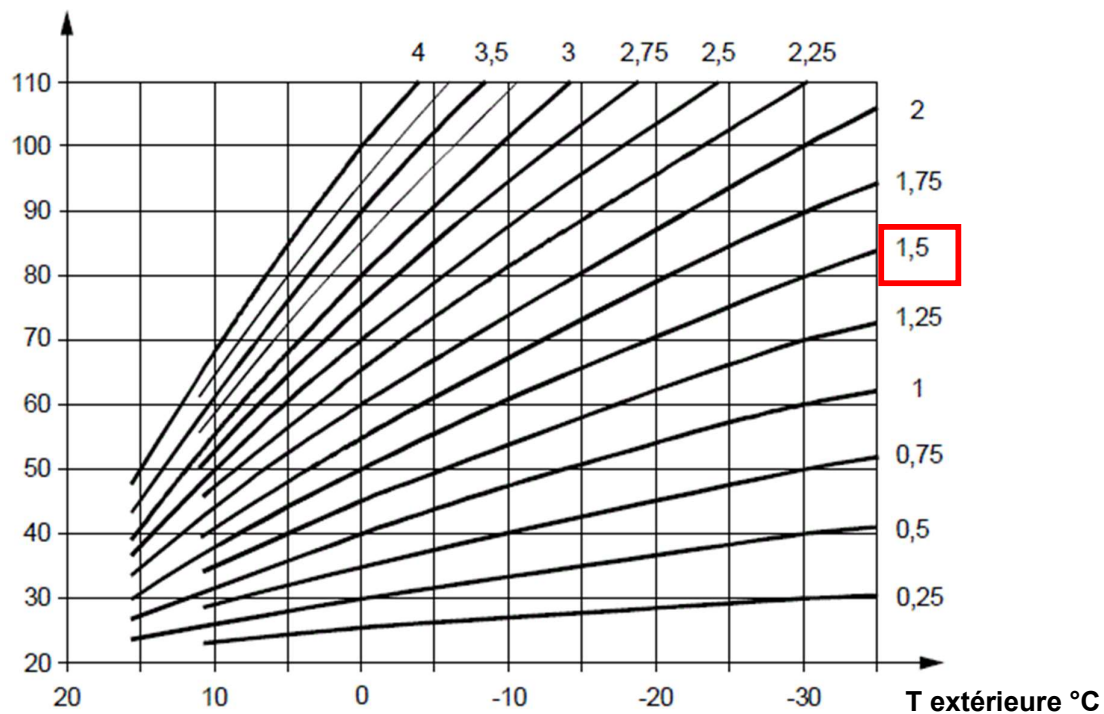
Débit : 11 m3/h

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

Annexe 2. Paramètres de régulation

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

Température départ
chaudière °C



Annexe 3. Courbes de mesures du taux de charge

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

Première phase de mesure : sans optimisation

Confort (jour)

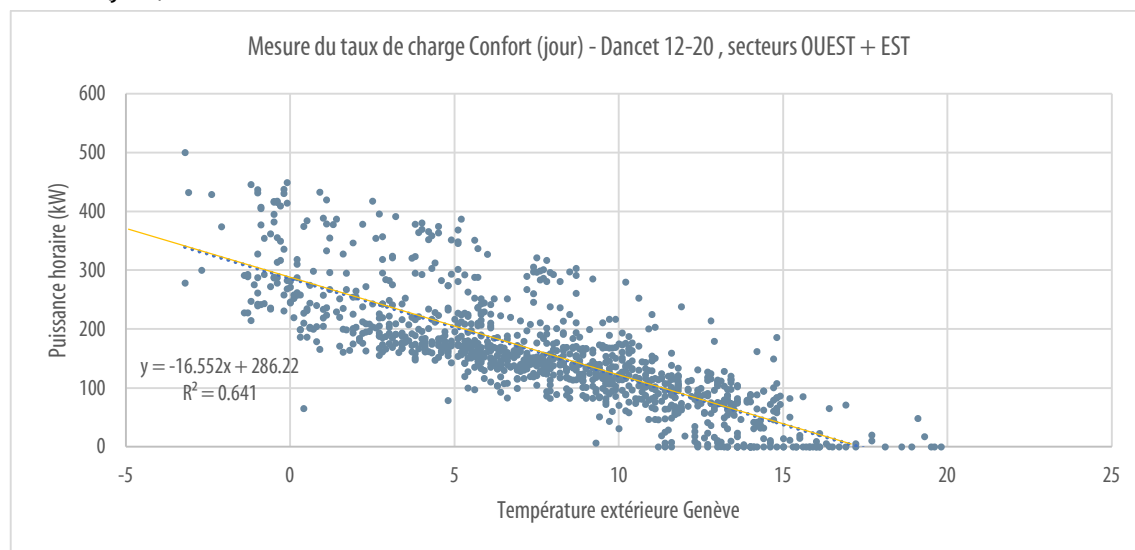


Figure 10 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation période du 16.10.23 au 11.01.24

Réduit (nuit)

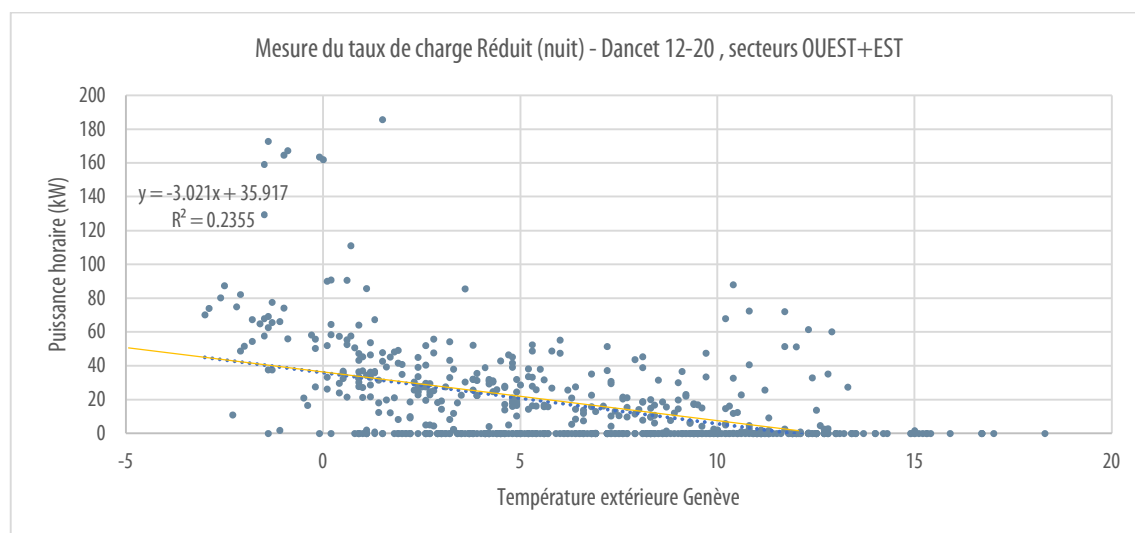


Figure 11 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation - période du 16.10.23 au 11.01.24



Relance matinale

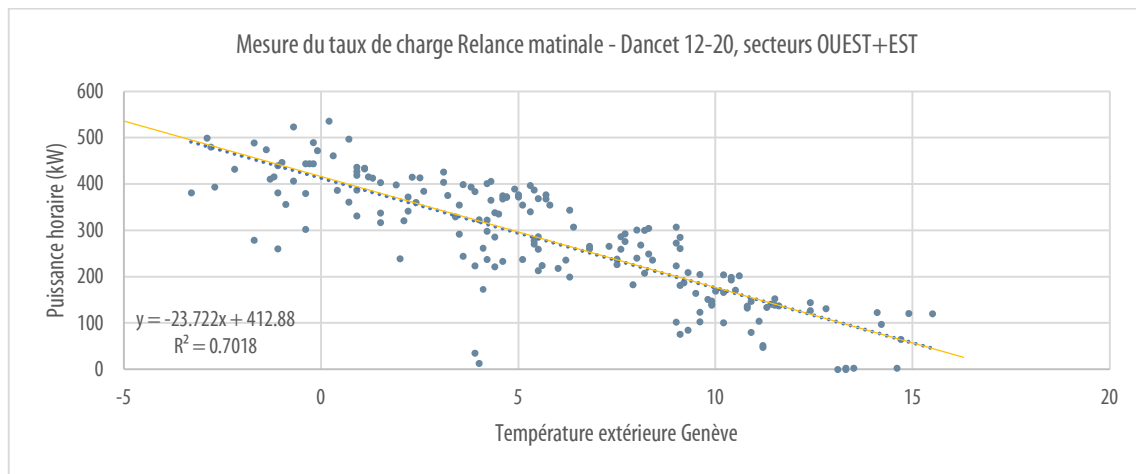


Figure 12 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – 1^{ère} phase de mesures sans optimisation - période du 16.10.23 au 11.01.24

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

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

Confort (jour)

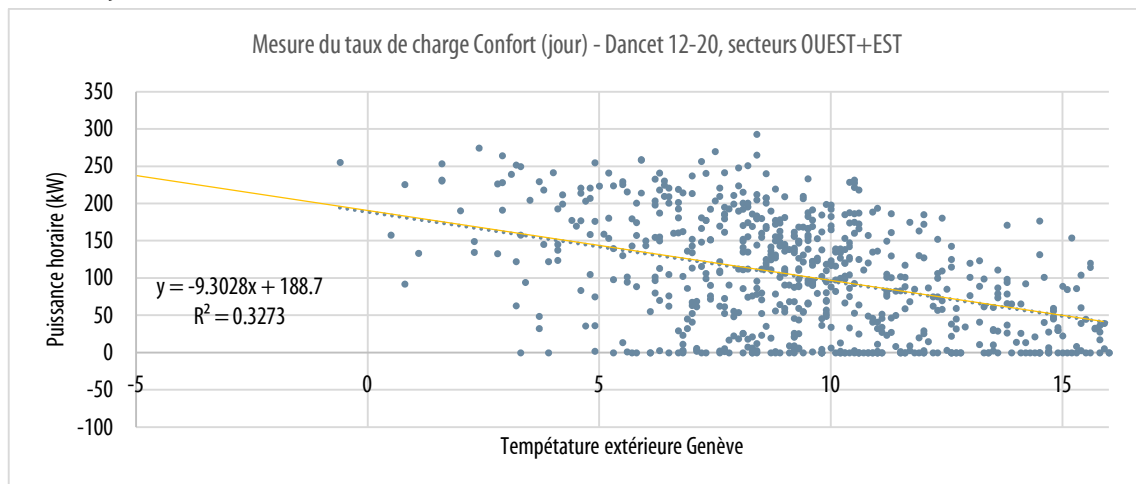


Figure 13 : Diagramme de mesure de la puissance effective - confort (jour) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) - période du 19.02.2024 au 24.04.2024



Réduit (nuit)

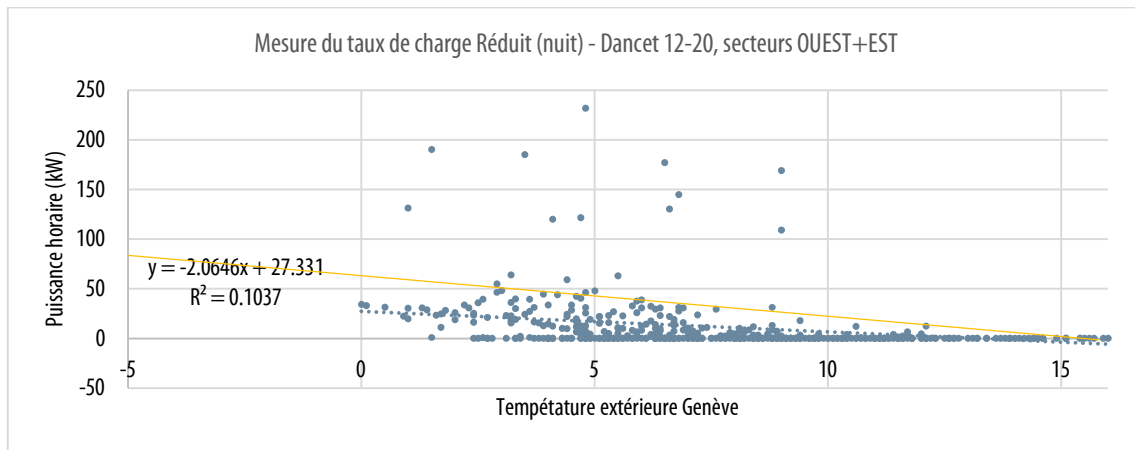


Figure 14 : Diagramme de mesure de la puissance effective – réduit (nuit) – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) - période du 19.02.2024 au 24.04.2024

Relance matinale

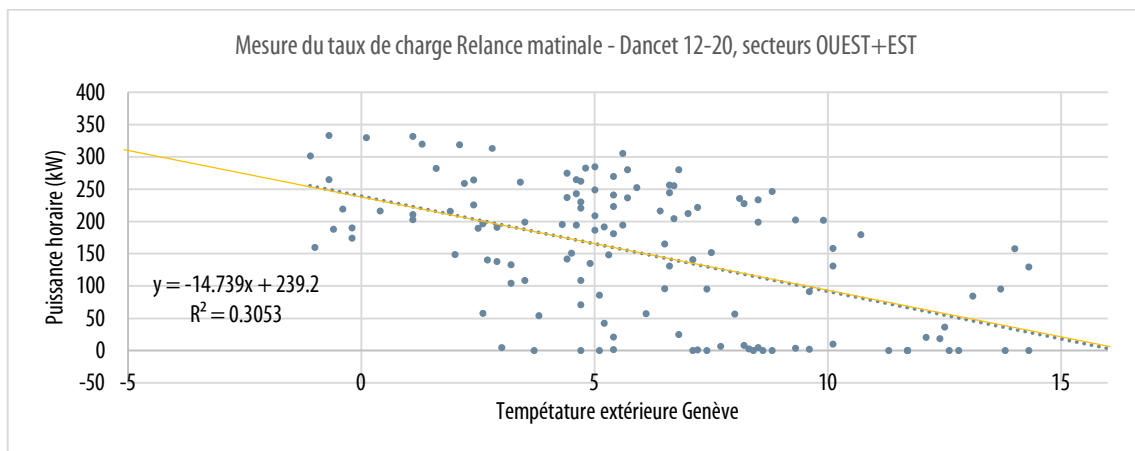


Figure 15 : Diagramme de mesure de la puissance effective – relance matinale – 2^{ème} phase de mesures avec optimisation (contrôle de débit) - période du 19.02.2024 au 24.04.2024



Variantenvergleich

Wärmeerzeugersatz ABZ Wohnsiedlung Zweierstrasse

Version 1.1 | Konzept | Stand: 31.10.2024



Impressum

Objekt

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

Auftraggeber

Allgemeine Baugenossenschaft Zürich (ABZ)
Gertrudstrasse 103
8003 Zürich

BFE – Bundesamt für Energie
Energie Schweiz
3063 Ittigen

Auftragnehmer

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

Sebastian Teutloff
Cyril Keller, BSc ZFH Energie- und Umwelttechnik

Projektleiter
Fachingenieur

Dokument

24394_BE_Variantenvergleich_Zweierstrasse_2024_10_30.docx

Zürich, 31.10.2024

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

Mit Unterstützung von



Inhalt

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

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

Änderungsverzeichnis

Version	Bemerkung	Datum	Kürzel
1.0	Ersterstellung	17.09.2024	CKE/STE
1.1	Einpfelegen der Rückmeldung vom BFE /	28.10.2024	CKE/STE
	EnergieSchweiz		

1. Zusammenfassung

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

Folgende Wärmeerzeugungsvarianten wurden untersucht:

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

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

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

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

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

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

2.2. Zielsetzung

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

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

Abbildung 1: Übersicht Areal / Gebäude



3. Grundlagen

3.1. Anlagezustand

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

Tab. 1: technische Lebensdauer von Anlagen und Komponenten

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

3.2. Auslegungsgrundlagen

3.2.1. Gebäude

Bezeichnung	Wert	Einheit
Standorthöhe Gebäude	413	m.ü.M

3.2.2. Norm-Klimadaten (SIA 2028)

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

3.3. Energiekennndaten

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

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

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

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

3.5. Leistungsbestimmung aufgrund Energiedaten

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

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

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

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

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

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

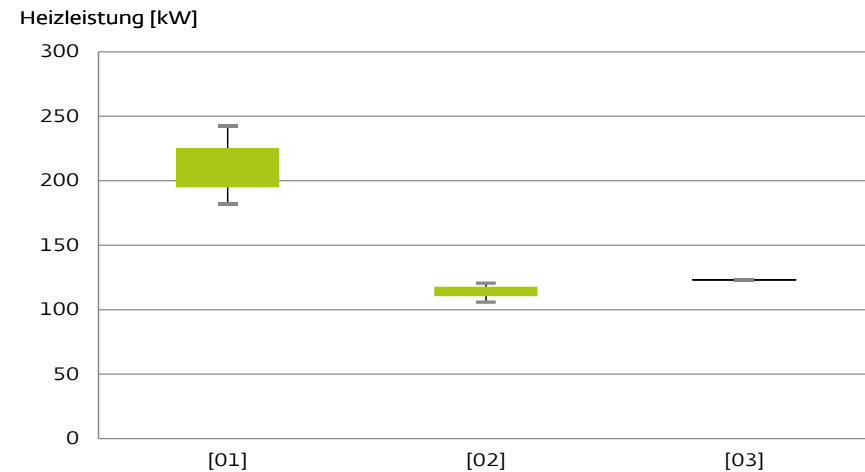
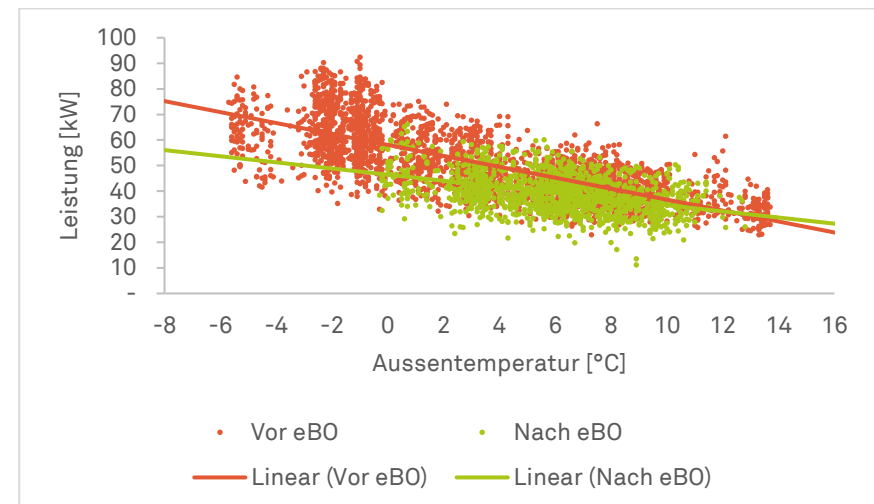


Abbildung 3: Messung der Heizleistung vor und nach der energetische Betriebsoptimierung ¹

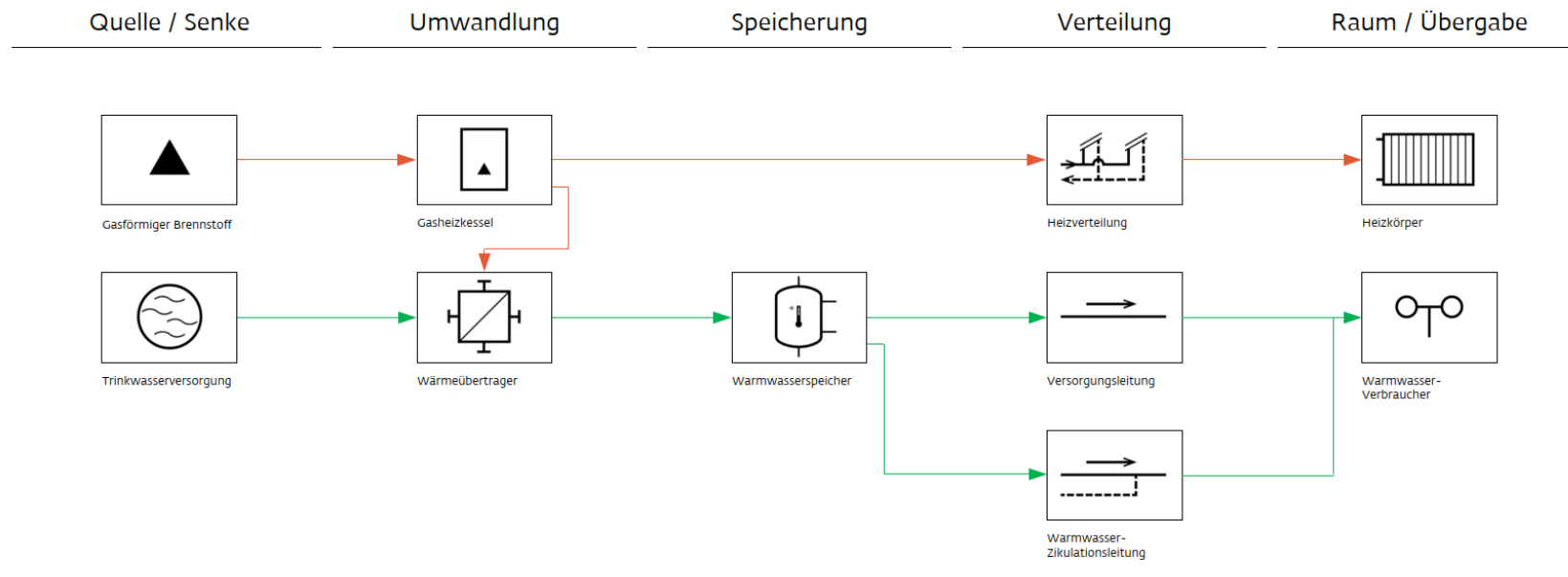


¹ Messzeitraum 27.12.2023 bis 25.01.2024 (vor eBO) und 26.01.2024 bis 09.02.2024 (nach eBO)

3.6. Energiefluss Ist-Situation

Abbildung 4: Energiefluss Ist-Situation

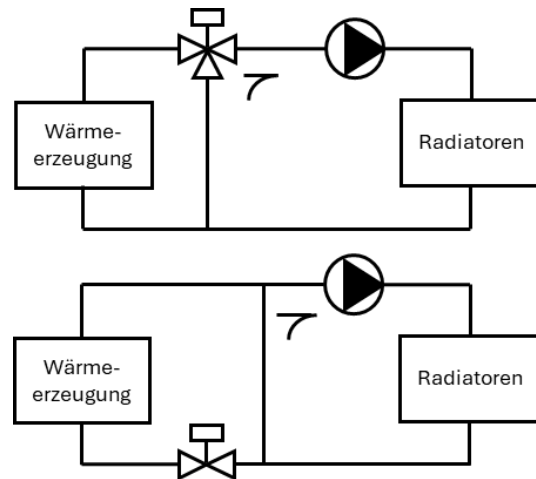
Schema Energieverlauf



3.7. Hydraulik

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

Abbildung 5: Hydraulische Schaltung



3.8. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO)

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

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

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

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

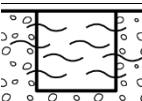
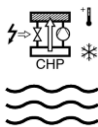
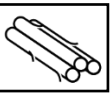
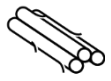
4. Varianten

4.1. Grundlagen Variantenvergleich

Für den nachfolgenden Variantenvergleich wurden die unten erwähnten wirtschaftliche Parameter verwendet:

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

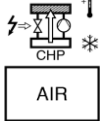
4.2. Untersuchung Energieträger**Tab. 4: Machbarkeitsanalyse der Energieträger**

Energieträger	Symbol	Vorteil	Nachteil	Empfehlung/ Verfügbarkeit		
Erdgas		– Eher tiefe Investitionskosten	– Hohe CO₂-Emissionen – Schwankende Gaspreise	✗	Bereits bestehend und dient als Vergleichsvariante für einen 1:1 Ersatz In Zürich verboten	✗
Grundwasser		– Tiefe CO₂-Emissionen – Tiefe Energiekosten	– In dem Gebiet erst ab 150kW Entzugsleistung erlaubt – Hohe Investitionskosten	✗	Minimal notwendige Entzugsleistung von 150kW wird nicht erreicht.	✗
Erdsonden		– Tiefe CO₂-Emissionen – Tiefe Energiekosten	– Gebiet liegt in Gewässerschutzbereich, Grundwasserschutzzone A_u	✗	Erdsondenbohrungen sind nicht erlaubt	✗
Aussenluft		– Tiefe CO₂-Emissionen – Tiefe Energiekosten	– Investitionskosten – Baulicher Aufwand – Erhöhung der Elektrischen Anschlussleistung notwendig	✓	Als Lösung möglich. Problematik Schall in Empfindlichkeitsstufe III	✓
Fernwärme		– Neutrale CO₂-Emissionen – Keine Wartung an Energieerzeugung	– Unsicherheit bezüglich Investitions- & Betriebskosten da Verbunderweiterung noch in Abklärung – Möglicher Anschlusstermin unsicher, frühestens 2030	✗	Vor Ersatz bei EWZ aktuellen Stand der Prüfung bzw. Planung Verbunderweiterung Hardau-Sihlfeld abklären	✗
Holzpellets		– Neutrale CO₂-Emissionen – Einheimischer Brennstoff	– Hohe Investitionskosten – Wartungsaufwand – Platzbedarf Lager	✓	Platzverhältnisse für Pelletslager und kubischen Speicher im UG sind zu klären	✓
Holzschnitzel		– Neutrale CO₂-Emissionen – Einheimischer Brennstoff	– Hohe Investitionskosten – Wartungsaufwand – Platzbedarf Silo (ca. 3-facher Platzbedarf von Pellets)	✗	In dieser Leistungsklasse nicht sinnvoll, ausser wenn Bezug in der Nähe oder eigenem Holzschlag möglich	✗

4.3. Definition Varianten

Wie eingangs erwähnt wurden die folgende 3 Varianten überprüft:

Tab. 5: zu prüfende Varianten

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

4.3.1. Bemerkung Energieverbund Sihlfeld-Werd

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

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

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

4.4. Variante 1: 1:1 Gasheizkessel

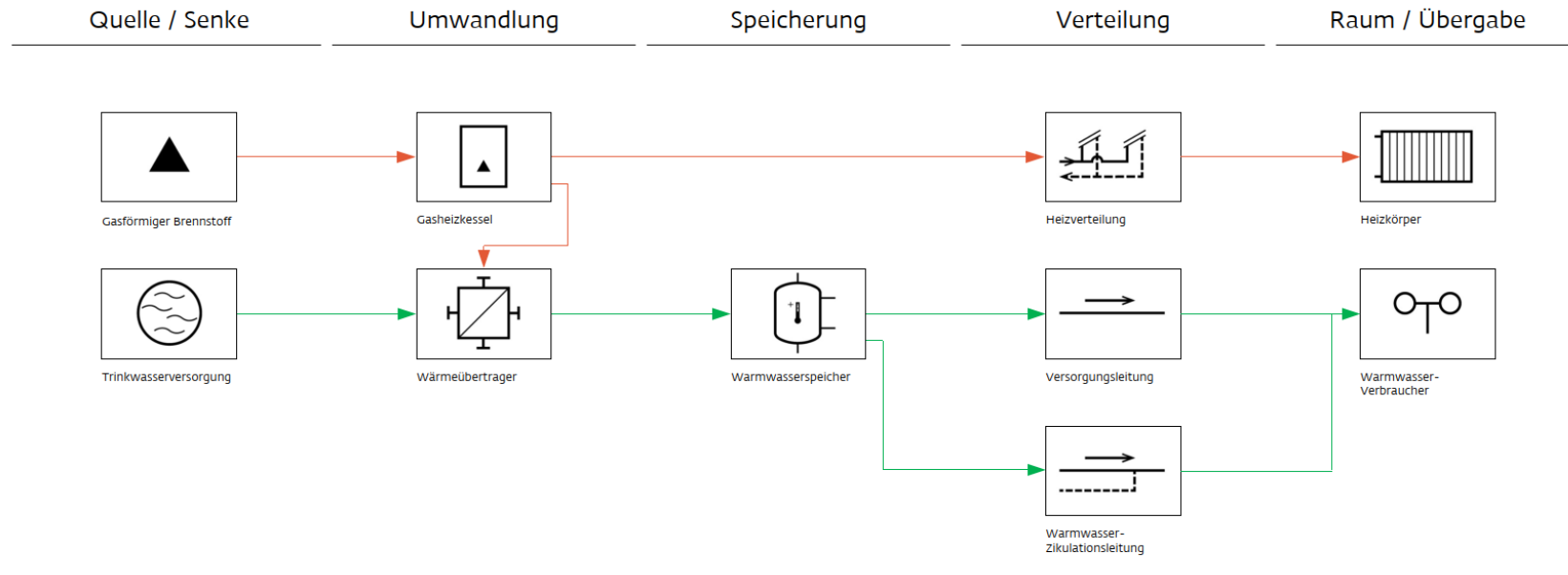
Diese Variante wird nicht in Erwägung gezogen und dient lediglich zum Vergleich zur bestehenden Wärmeerzeugung.

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

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

Abbildung 6: Energiefluss Variante 1

Schema Energieverlauf



4.5. Variante 2: Aussenluft Wärmepumpe

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

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

4.5.1. Vorteile

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

4.5.2. Nachteile

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

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

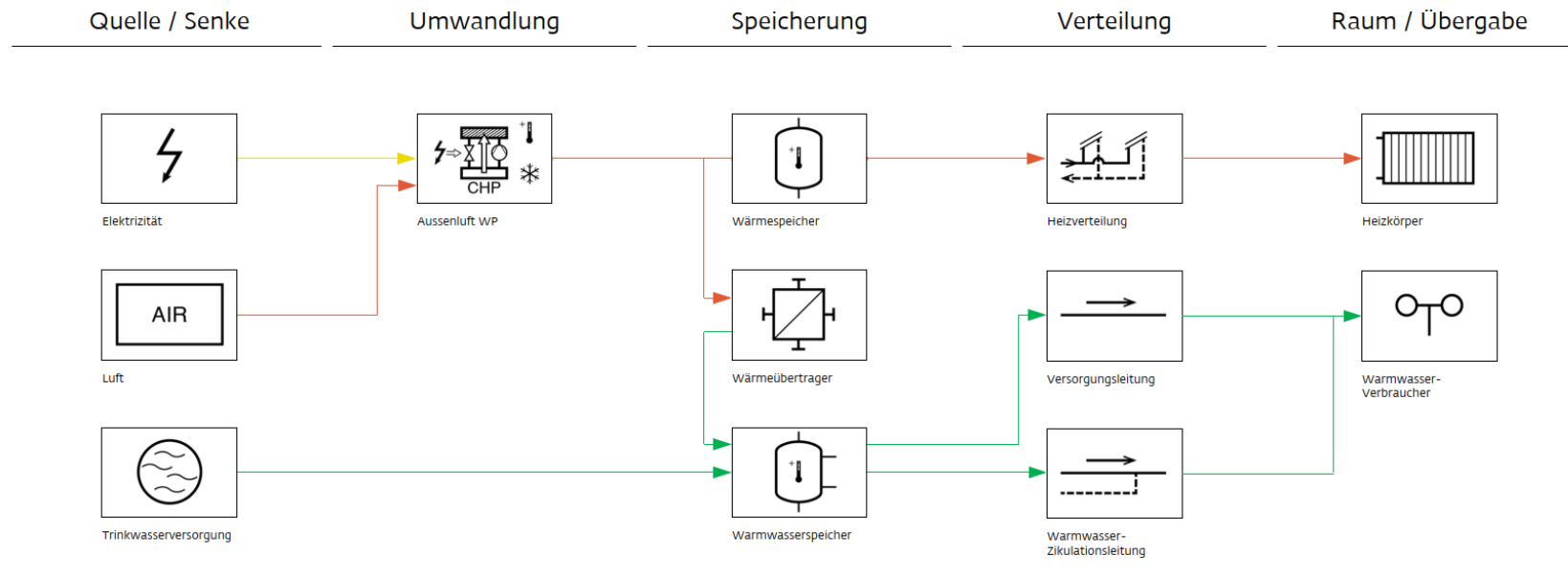
Im Rahmen des Vorprojekts ist ein Schallschutznachweis zu erstellen, um die aufgrund des gewählten Wärmepumpen-Fabrikats, effektiv notwendigen Massnahmen zu definieren.

4.5.3. Anmerkung zur Absenkung der Vorlauftemperaturen

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

Abbildung 7: Energiefluss Variante 2

Schema Energieverlauf



4.6. Variante 3: Pellets-Heizung

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

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

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

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

4.6.1. Vorteile

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

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

4.6.2. Nachteile

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

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

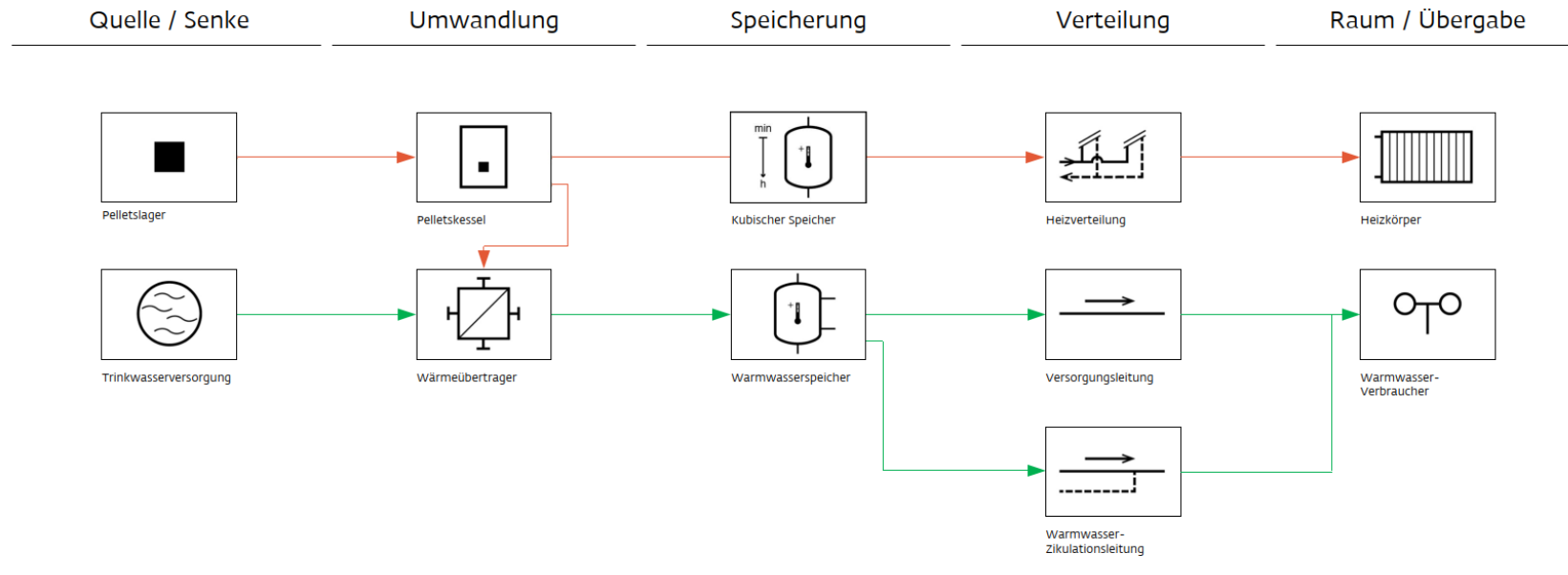
Aufgrund der Vorgabe des AWEL, welche für Holzfeuerungen bis 500 kW Nennwärmeleistung ein Speichervolumen von minimal 25l/kW vorsieht, muss für diese Variante ein Speicher mit 3075 Liter Inhalt erstellt werden. Da neben den beiden neu zu erstellenden Heizkesseln ein solcher Speicher zu gross für die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

4.6.3. Anmerkung zur Holzfeuerung

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

Abbildung 8: Energiefluss Variante 3

Schema Energieverlauf



5. Vergleich der Varianten

5.1. Ökonomischer Vergleich

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

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

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

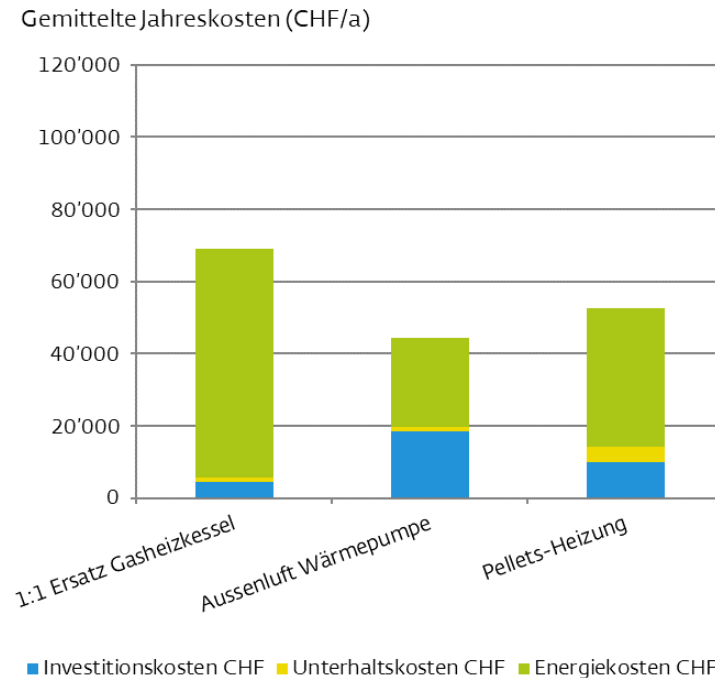
5.1.1. Fördergelder

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

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

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

Abbildung 9: Gemittelte Jahreskosten pro Variante

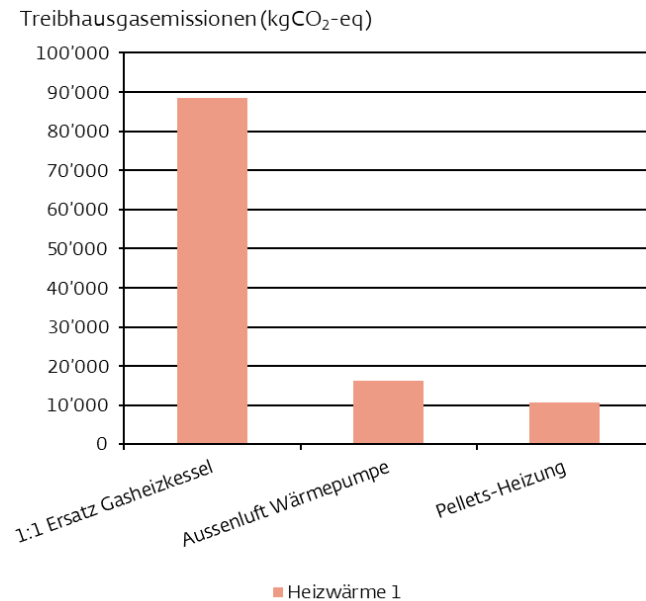


5.2. Ökologischer Vergleich

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

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

Abbildung 10: CO₂-Ausstoss pro Variante



5.3. Empfehlung

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

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

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

6. Energie-Politische-Studie: Vorgezogener Heizgruppenersatz

6.1. Kostenentwicklung aufgrund vorgezogenem Heizgruppenersatz

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

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

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

Anmerkung Erdwärmesonden

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

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

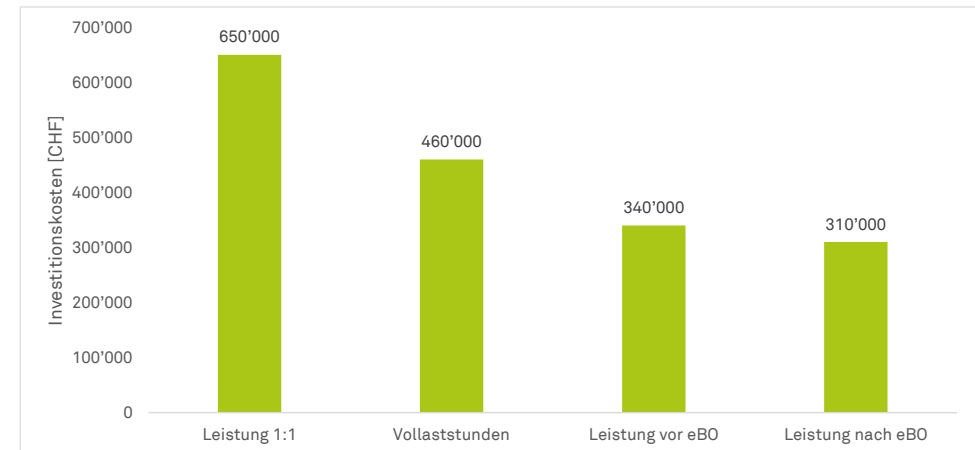
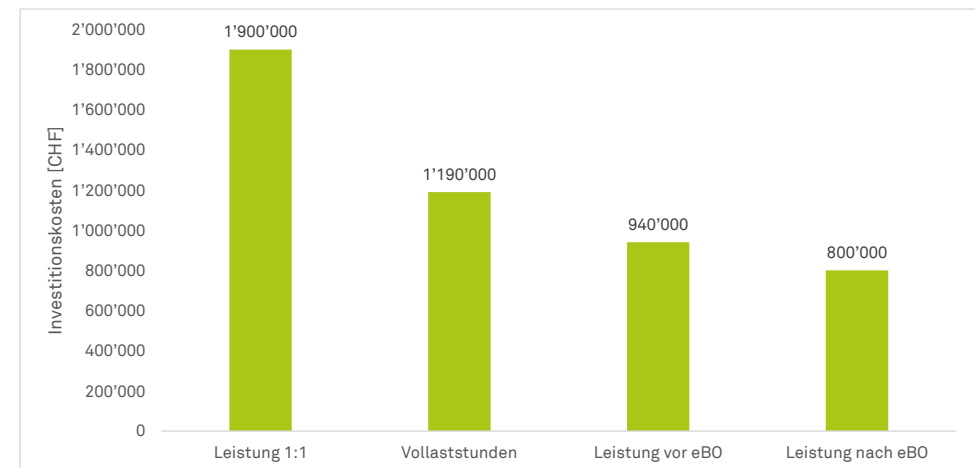


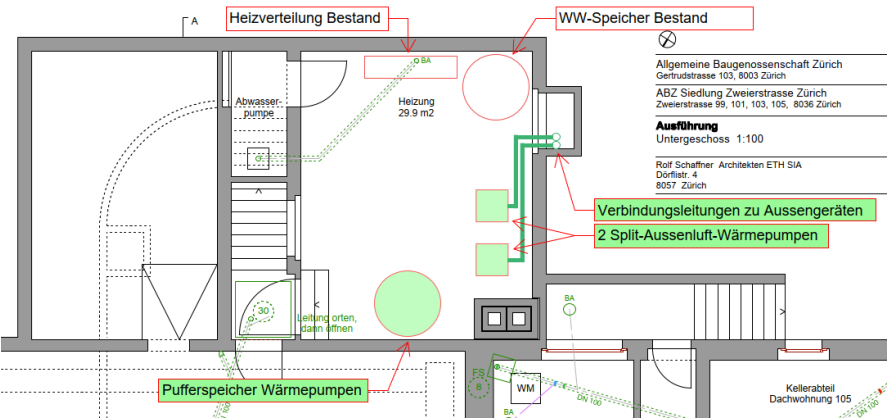
Abbildung 12: Ersatzinvestitionen durch Erdwärmesonden-Wärmepumpe



7. Anhang

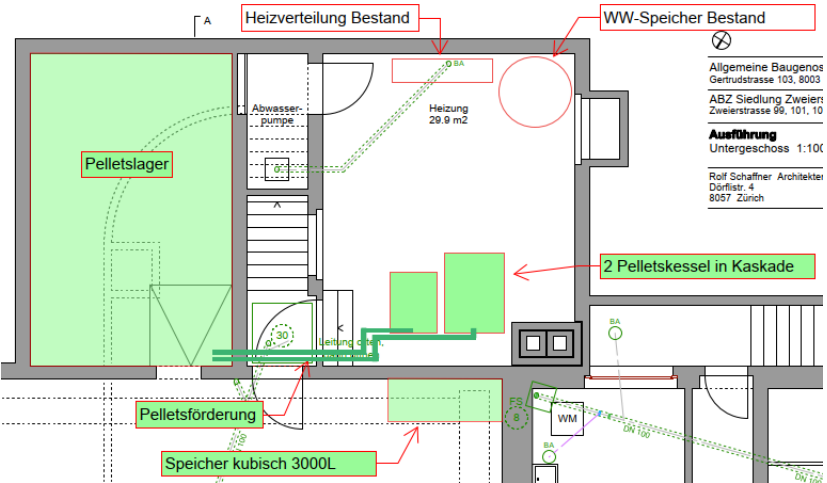
7.1. Mögliche Aufstellsituation Variante 2

Abbildung 13: Mögliche Aufstellsituation Variante 2



7.2. Mögliche Aufstellsituation Variante 3

Abbildung 14: Mögliche Aufstellsituation Variante 3



7.3. Abklärung Fördergelder Klimaprämie

Abbildung 15: Auszug Förderrechner Klimaprämie Heizungsersatz

Förderrechner

Kanton

Zürich

Technologie bestehende Heizung

Gas

Jahresverbrauch

350449 kWh

Wärme-Art

Komfortwärme (Raum & Wass

Technologie neue Heizung

Luft/Wasser Wärmepumpe

Klimaprämie berechnen

Klimaprämie

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

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

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

Förderrechner

Kanton

Zürich

Technologie bestehende Heizung

Gas

Jahresverbrauch

350449 kWh

Wärme-Art

Komfortwärme (Raum & Wass

Technologie neue Heizung

Holzheizungen (Pellet, Schnitz

Klimaprämie berechnen

Klimaprämie

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

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

7.4. Kostenzusammenstellung

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

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

Rotachquartier Variantenvergleich

Version 1.1 | Konzept | Stand: 31.10.2024



Impressum

Objekt

Rotachquartier
8003 Zürich

Auftraggeber

Baugenossenschaft Rotach Zürich
Marc Stotz
Gertrudstrasse 69
8003 Zürich

BFE – Bundesamt für Energie
Energie Schweiz
3063 Ittigen

Auftragnehmer

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

Sebastian Teutloff
Cyril Keller, BSc ZFH Energie- und Umwelttechnik

Projektleiter
Fachingenieur

Dokument

24394_BE_Variantenvergleich_20241030.docx

Zürich, 31.10.2024

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

Mit Unterstützung von



Inhalt

1. Zusammenfassung	4	7. Energie-Politische-Studie: Vorgezogener Heizgruppenersatz	18
2. Einleitung		7.1. Kostenentwicklung aufgrund des vorgezogenem Heizgruppenersatz	18
2.1. Ausgangslage	4	7.2. Schlussfolgerung	18
2.2. Zielsetzung	4	8. Anhang - Kostenzusammenstellung	19
2.3. Übersicht Areal / Gebäude	5		
3. Grundlagen	6	Änderungsverzeichnis	
3.1. Anlagezustand	6	Version	Bemerkung
3.2. Auslegungsgrundlagen	6	1.0	Ersterstellung
3.3. Energiekennndaten	6	1.1	Einpfelegen der Rückmeldung vom BFE /
3.4. Fernleitungsverluste Raumheizung	7		EnergieSchweiz
3.5. Fernleitungsverluste Warmwasser	7		
3.6. Auswertung und Leistungsbestimmung Raumheizung (Stand 2020)	7		
3.7. Auswertung und Leistungsbestimmung Warmwasser	8		
3.8. Auswertung und Leistungsbestimmung Raumheizung (Stand 2023/2024)	9		
3.9. Energiefluss Ist-Situation	10		
3.10. Hydraulik	11		
3.11. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO)	11		
4. Varianten	12		
4.1. Grundlagen Variantenvergleich	12		
4.2. Abgrenzungen	12		
4.3. Untersuchung Energieträger	13		
4.4. Variante 1: 1:1 Ersatz durch 100% Erdgas (Vergleichsvariante)	14		
4.5. Variante 2: Zentrale L/W-WP	14		
4.6. Variante 3: Fernwärme	15		
5. Vergleich der Varianten	16		
5.1. Ökonomischer Vergleich	16		
5.2. Ökologischer Vergleich	16		
6. Empfehlung	17		

1. Zusammenfassung

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

Folgende Wärmeerzeugungsvarianten wurden untersucht:

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

-Variante 2: Zentrale L/W-WP

-Variante 3: Fernwärme

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

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

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

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

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

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

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

2.2. Zielsetzung

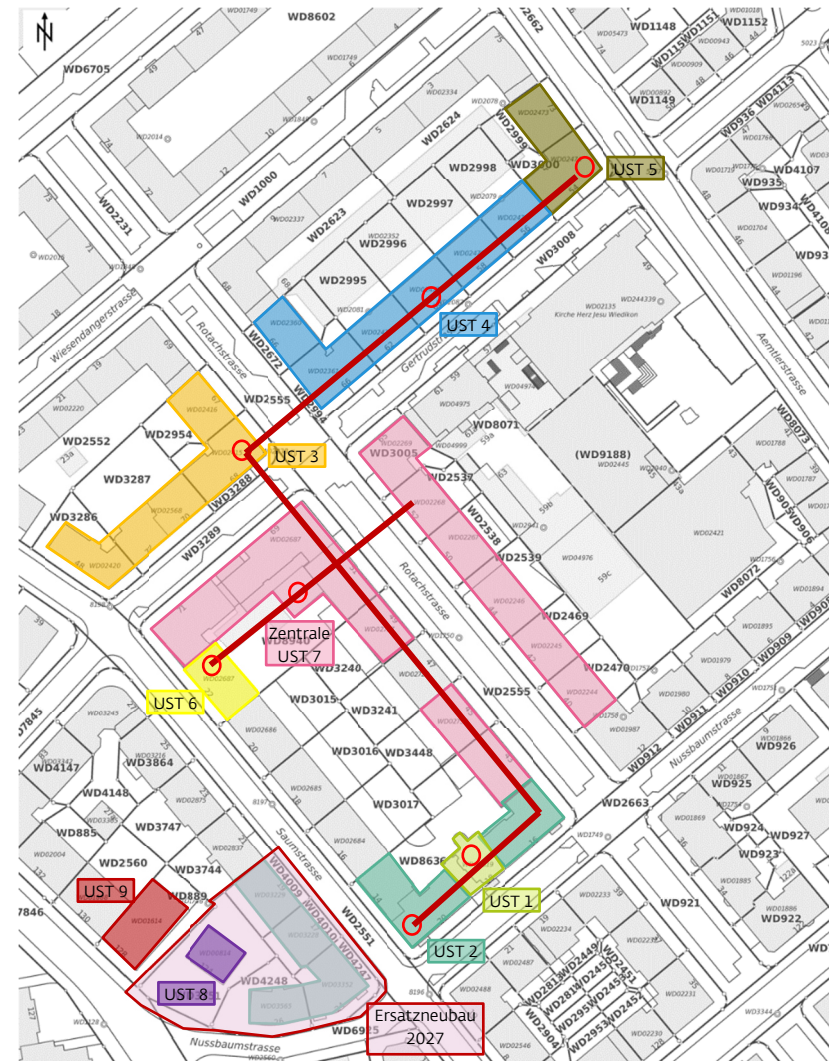
Ziel ist die bestehende Gasheizung mit einer möglichst ökologischen Wärmeerzeugung zu ersetzen. Der Bericht soll verschiedene Möglichkeiten der Wärmeerzeugung aufzeigen.

2.3. Übersicht Areal / Gebäude

Die folgende Tabelle sowie die Karte zeigt die Wärmeverteilung.

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

Abbildung 1: Übersicht Areal Rotachquartier



3. Grundlagen

3.1. Anlagezustand

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

Tabelle 1: technische Lebensdauer von Anlagen und Komponenten

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

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

3.2. Auslegungsgrundlagen

Folgende Daten zeigen die Grundlage für die zukünftige Heizungsanlage.

3.2.1. Gebäude

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

3.2.2. Norm-Klimadaten (SIA 2028)

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

3.3. Energiekennndaten

Tabelle 2: Endenergie-Kennndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

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

Tabelle 3: Nutzenergie-Kenndaten Heizung und Warmwasser gemäss Verbrauchsdaten

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

3.4. Fernleitungsverluste Raumheizung

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

Tabelle 4: Schätzung Fernleitungsverluste Heizung

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

3.5. Fernleitungsverluste Warmwasser

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

Tabelle 5: Schätzung Fernleitungsverluste Warmwasser

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

3.6. Auswertung und Leistungsbestimmung Raumheizung (Stand 2020)

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

Tabelle 6: Leistungszusammenstellung Raumheizung

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

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

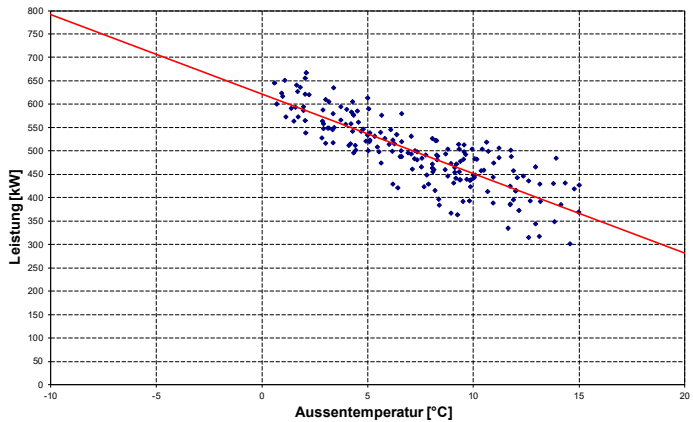
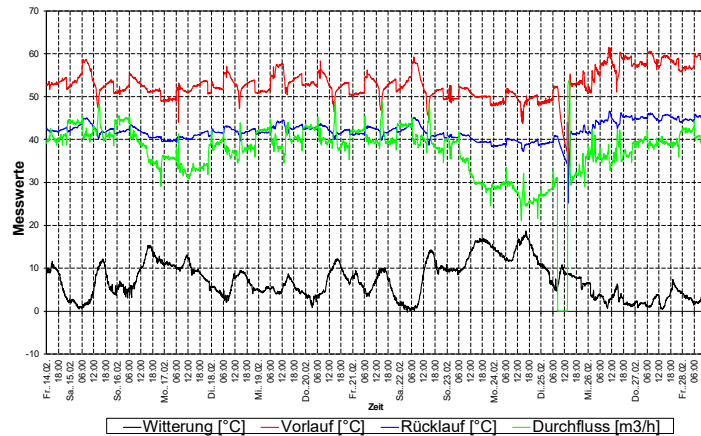


Abbildung 3: Messwerte Heizung



3.7. Auswertung und Leistungsbestimmung Warmwasser

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

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

Tabelle 7: Zusammenstellung Angaben Warmwasser

Bezeichnung	Wert	Einheit
Tagesbedarf Warmwasser	35	m³/d
Leistungsverlust Zirkulation	55	kW
Leistungsbedarf Warmwassererwärmung	200	kW
Gewählte Leistung Warmwasser total	250	kW

Abbildung 4: Messwerte Tagesverbrauch Warmwasser

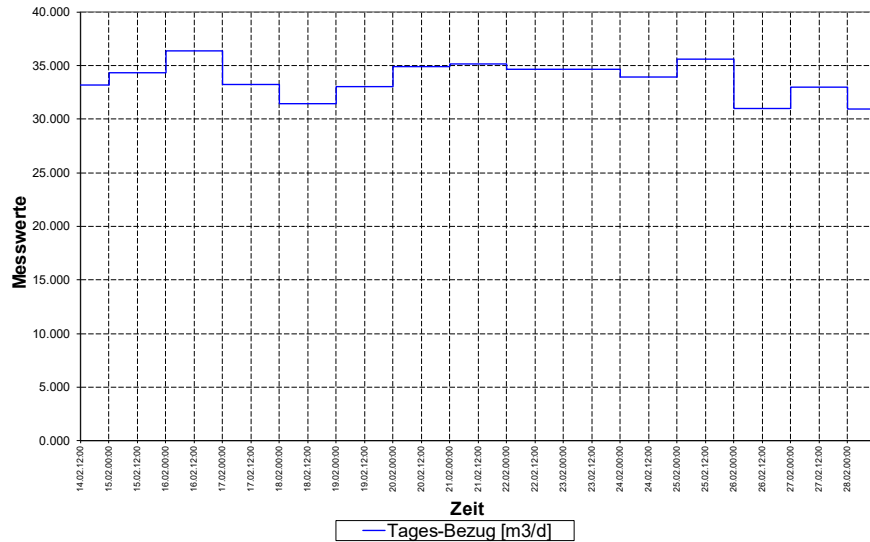


Abbildung 5: Messwerte 10min-Spitzenbedarf Warmwasser

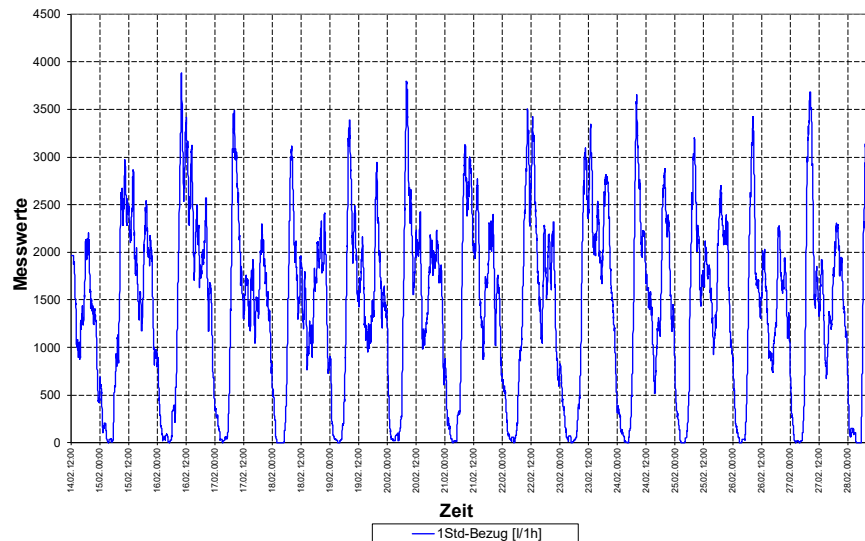
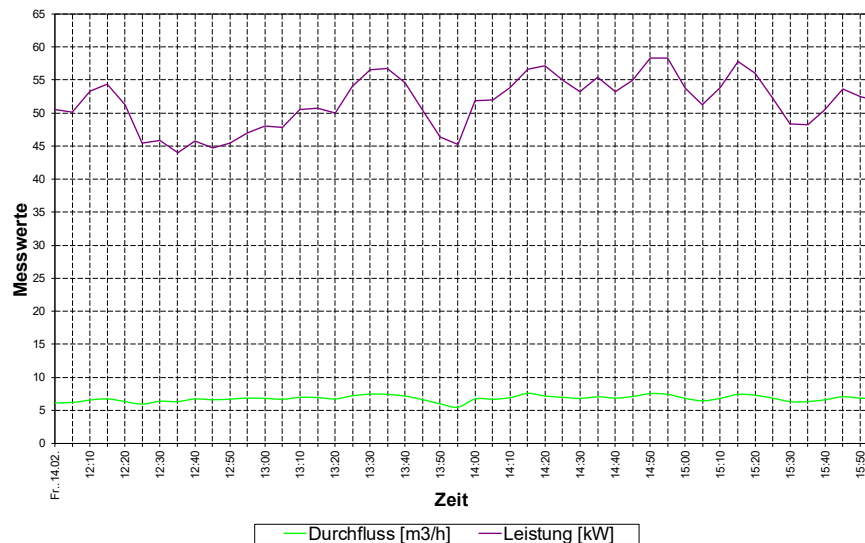


Abbildung 6: Messwerte Zirkulationsverluste



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

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

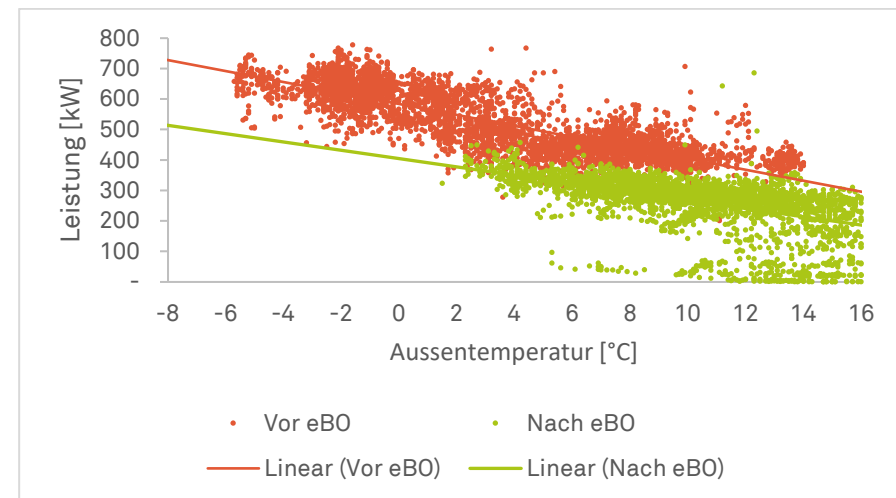
Die Messungen fanden während folgenden Perioden statt:

Messperiode 1: 27.12.2023 bis 25.01.2024 (vor eBO)

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

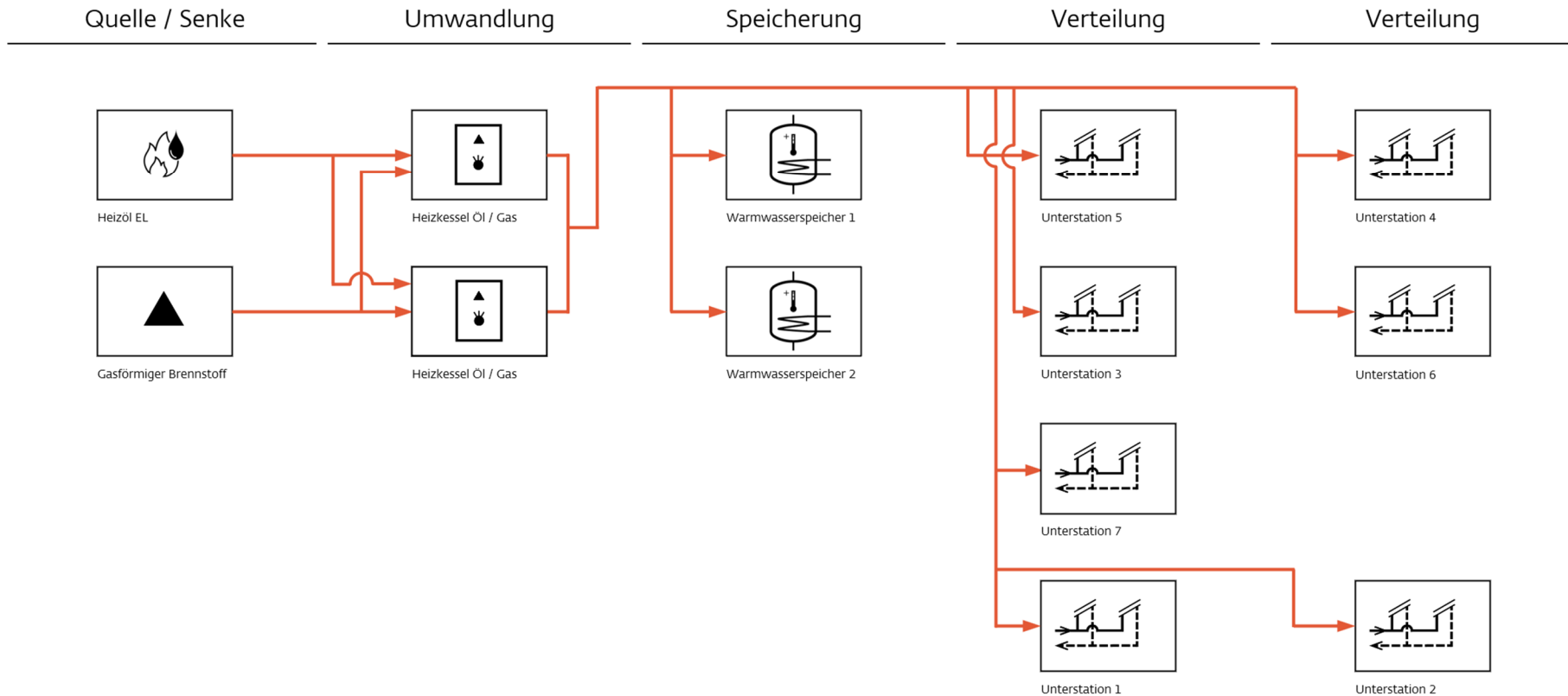
Nach der energetischen Betriebsoptimierung wurde die Heizleistung auf knapp oberhalb einem halben Megawatt gesenkt (-30%, grüne Punkte/Trendline).

Abbildung 7: Heizleistung vor und nach der energetischen Betriebsoptimierung



3.9. Energiefluss Ist-Situation

Abbildung 8: Energiefluss Ist-Situation

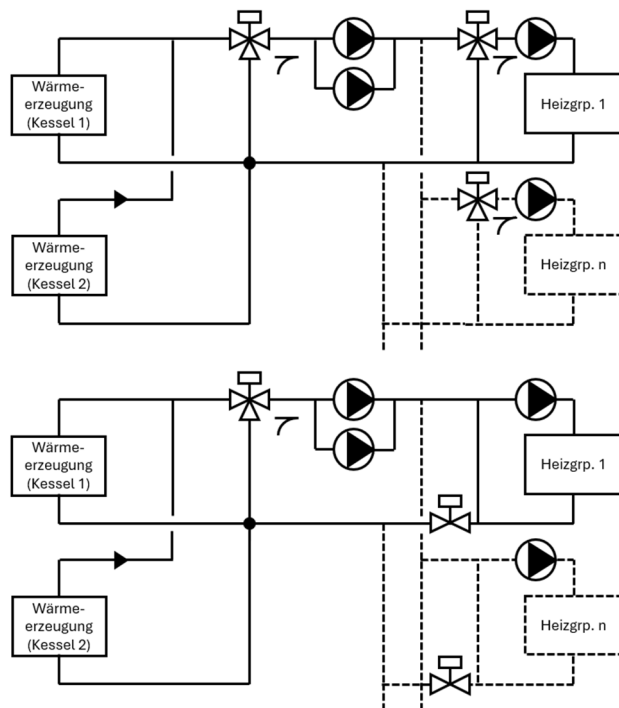


3.10. Hydraulik

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

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

Abbildung 9: Hydraulische Schaltung



3.11. Vorgehen energetische Betriebsoptimierung (eBO)

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

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

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

4. Varianten

4.1. Grundlagen Variantenvergleich²

Folgende Tabelle zeigt die angenommenen wirtschaftlichen Parameter für den Variantenvergleich.

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

4.2. Abgrenzungen

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

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

4.2.2. Warmwassererwärmung

Es wird in allen Varianten mit einer zentralen Warmwassererwärmung gerechnet.

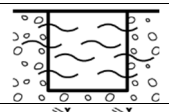
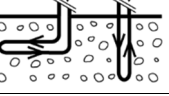
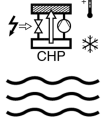
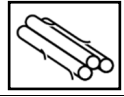
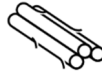
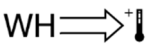
4.2.3. Fernleitungen (Variante Fernwärme)

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

² Alle Kosten exkl. MwSt

4.3. Untersuchung Energieträger

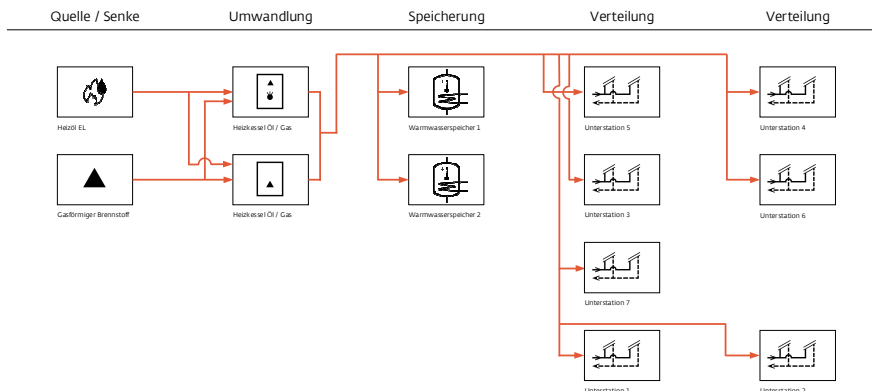
Tabelle 8: Machbarkeitsanalyse der Energieträger

Energieträger	Symbol	Vorteil	Nachteil	Empfehlung/ Verfügbarkeit	Wunsch Bauherr
Heizöl		- Bestehende Infrastruktur - Gute Verfügbarkeit - Tiefe Investitionskosten	- Hohe CO₂-Emissionen - Schwankende Ölpreise - In Zürich nicht mehr erlaubt	In Zürich verboten, somit keine ✗ Option mehr	✗ Nein
Erdgas		- Mittlere Investitionskosten - Gute Verfügbarkeit - Tiefe Investitionskosten	- Hohe CO₂-Emissionen - Schwankende Gaspreise - In Zürich nicht mehr erlaubt	In Zürich verboten, somit keine ✗ Option mehr	✗ Nein, dient nur als Vergleichsvariante zu Ist-Zustand
Biogas		- Neutrale CO₂-Emissionen - Anteil Biogas wählbar	Steigende Gaspreise, weil Nachfrage steigt und bereits heute sehr hoch	Möglichkeit bei einem 1:1-Ersatz CO ₂ einzusparen ✗	✗ Nein
Grundwasser		- Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten	- Keine Angaben über die Ergiebigkeit - Hohe Investitionskosten	Nach Abklärung mit AWEL ✗ nicht empfohlen aufgrund zu geringer Ergiebigkeit.	✗ Nein
Erdsonden		- Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten	- Hohe Investitionskosten - Schwäre Zugänglichkeit zum Hinterhof	Nur geringe Teildeckung möglich. ✗	✗ Nein
Aussenluft		- Tiefe CO₂-Emissionen - Tiefe Energiekosten	- Investitionskosten - Baulicher Aufwand	Grundsätzlich zentral möglich ✓ Problematik Schall, Statik ist zu berücksichtigen	✓ Ja
Fernwärme		- Neutrale CO₂-Emissionen - Keine Wartung an Energieerzeugung	- tiefe Investitionskosten - hohe Betriebskosten - Anschlusszeitraum 2035 - 2040	Als zentrale Energieerzeugung ✓ möglich.	✓ Ja
Holzpellets		- Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff	- Mässige Investitionskosten - Wartungsaufwand - Anlieferung / Platzbedarf Silo	Nicht möglich Aufgrund der ✗ Platzverhältnisse	✗ Nein
Holzsplit		- Neutrale CO₂-Emissionen - Einheimischer Brennstoff	- Mässige Investitionskosten - Wartungsaufwand - Anlieferung / Platzbedarf Silo	Nicht möglich Aufgrund der ✗ Platzverhältnisse	✗ Nein
Abwärmee-nutzung		- Neutrale CO₂-Emissionen - kostenloser Energieträger	keine Verfügbarkeit vorhanden	✗ Nicht möglich, da keine Quellen vorhanden	✗ Nein

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

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

Abbildung 10: Energiefluss Variante 1



4.5. Variante 2: Zentrale L/W-WP

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

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

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

4.5.1. Vorteile

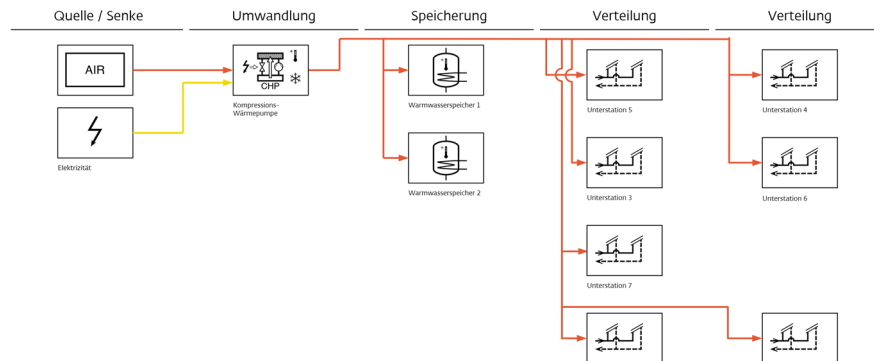
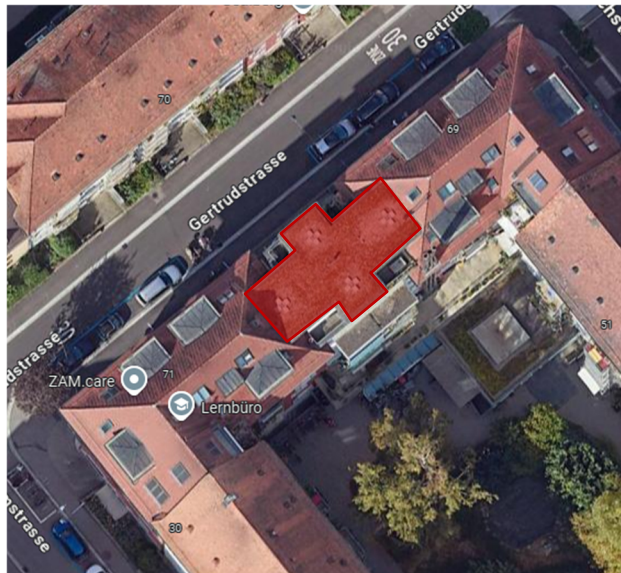
Die Vorteile dieser Variante liegen in den tiefen CO₂-Emissionen sowie Betriebskosten, da die Energie- sowie Unterhaltskosten eher gering sind im Vergleich zu anderen Heizsystemen. Für die Warmwasserproduktion ausserhalb der Heizperiode profitiert man von einem effizienten Betrieb der Wärmepumpe aufgrund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

4.5.2. Nachteile

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

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

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

Abbildung 11: Energiefluss Variante 2**Abbildung 12: Mögliche Aufstellfläche Ausseneinheit L/W-WP Dach Gertrudstrasse 69/71****4.6. Variante 3: Fernwärme**

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

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

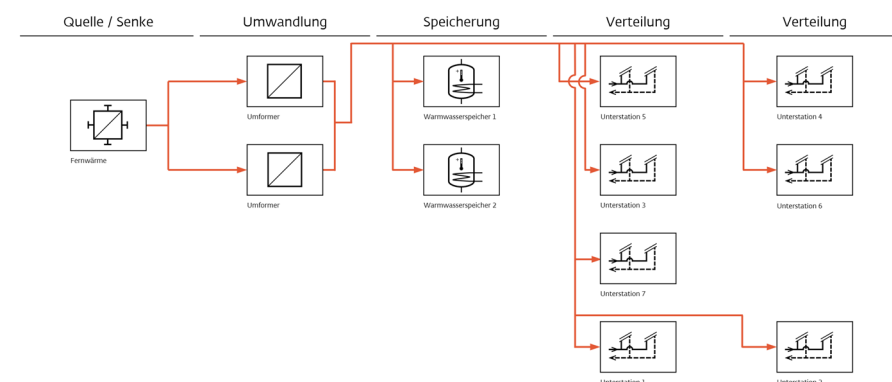
4.6.1. Vorteile

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

4.6.2. Nachteile

Bei dieser Variante resultieren hohe Energiekosten.

Die Fernleitungsnetze für Raumheizung und Warmwasser bleiben bestehen mit den damit verbundenen Energieverlusten.

Abbildung 13: Energiefluss Variante 3

5. Vergleich der Varianten

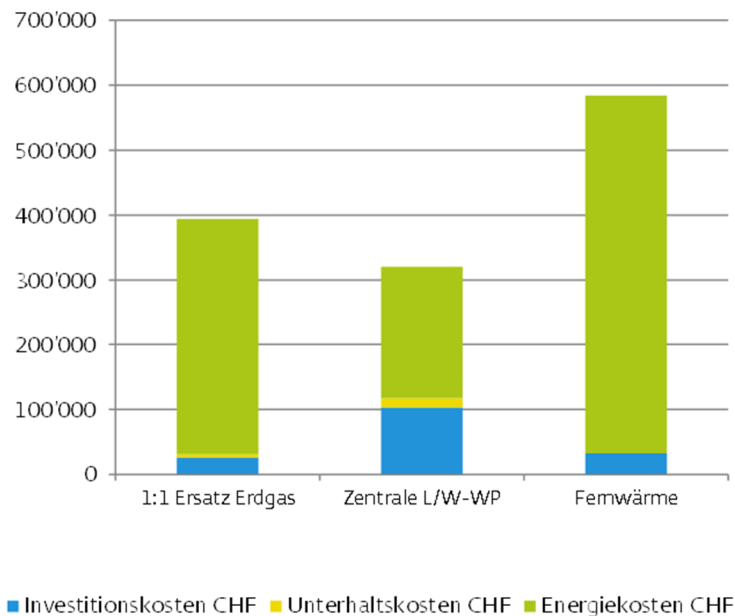
5.1. Ökonomischer Vergleich³

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

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

Abbildung 14: Gemittelte Jahreskosten pro Variante

Gemittelte Jahreskosten (CHF/a)



5.2. Ökologischer Vergleich

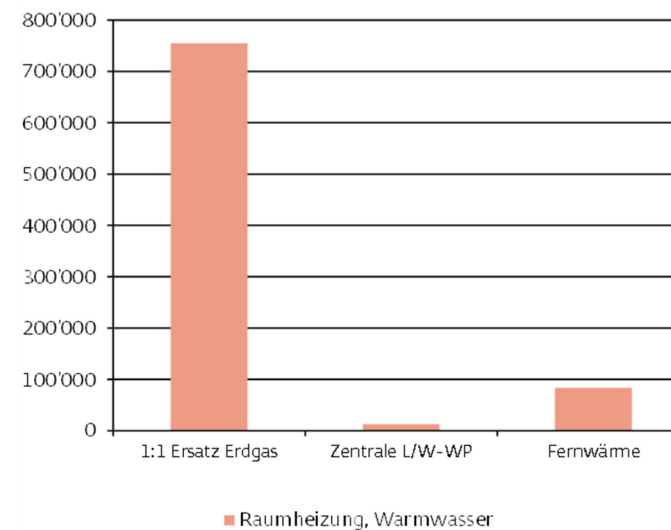
Im ökologischen Vergleich schliessen Variante 2 & 3 deutlich besser ab als die Vergleichsvariante 1, welche einen 1:1 Ersatz der Kessel vorsieht.

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

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

Abbildung 15: CO₂-Ausstoss pro Variante

Treibhausgasemissionen (kgCO₂-eq)



³ Alle Kosten exkl. MwSt

6. Empfehlung

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

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

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

Anmerkung

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

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

7.1. Kostenentwicklung aufgrund des vorgezogenem Heizgruppenersatz

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

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

7.2. Schlussfolgerung

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

Abbildung 16: Ersatzinvestitionen bei 1:1 Ersatz Erdgas

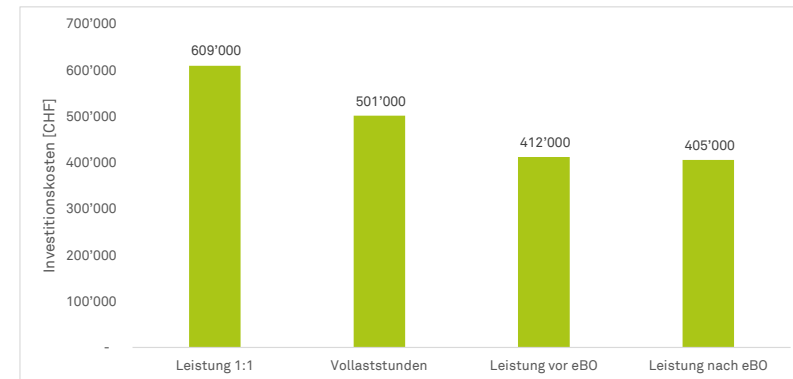


Abbildung 17: Ersatzinvestitionen bei Ersatzvariante L/W-WP zentral

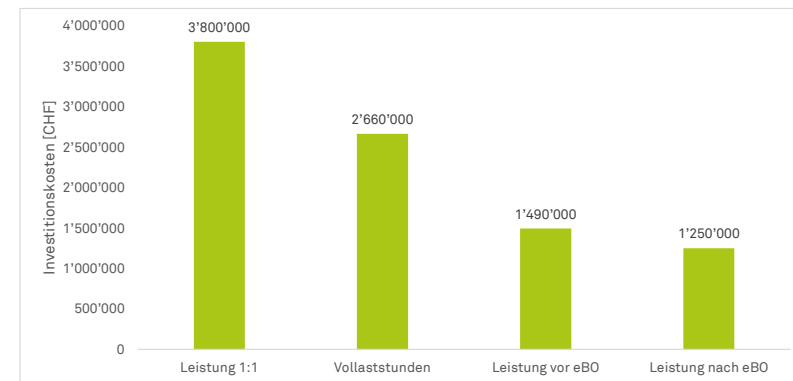
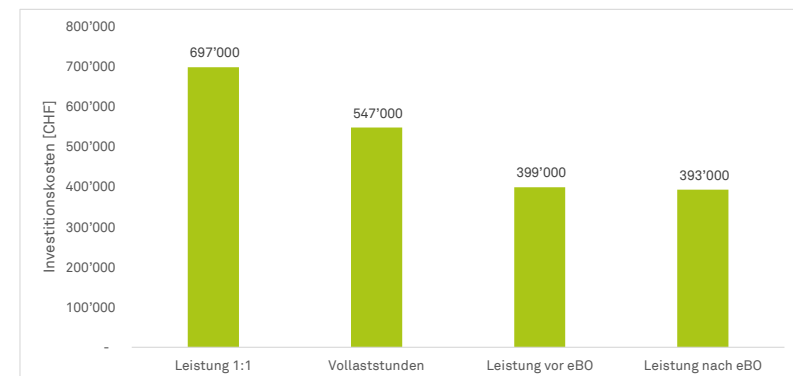


Abbildung 18: Ersatzinvestitionen bei Ersatzvariante Fernwärme



8. Anhang - Kostenzusammenstellung

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