



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung

Zwischenbericht vom 13.11.2024

RenoSource

Pilot- und Demonstrationsprojekt «im Kehl»,
Baden: Mehrquellen-Wärmepumpensystem für
den Wärmeerzeugerersatz mit Erdwärmesonden
zur Spitzenlastdeckung



Quelle © Lägern Wohnen, 2023:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung



Datum: 13.11.2024

Ort: Rapperswil

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

Kanton Aargau
Dep. Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Energie
Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau

Subventionsempfänger/innen:

OST – Ostschweizer Fachhochschule, Institut für Energietechnik
Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
www.ost.ch/iet

Amstein + Walthert AG
Andreasstrasse 5, CH-8050 Zürich

Heim AG Heizsysteme (ehemals Bion Bauhaus AG)
Im Dorf 23, 9203 Niederwil

Lägern Wohnen
Gemeinnützige Bau- und Siedlungsgenossenschaft Lägern
Etzelmatt 1, 5430 Wettingen

Autoren:

Christoph Meier, OST IET, christoph.meier@ost.ch
Carsten Wemhöner, OST IET, carsten.wemhoener@ost.ch
Simon Büttgenbach (ehemals Amstein + Walthert), s.buettgenbach@soltop-energie.ch
Roger Meier, Amstein + Walthert, roger.meier@amstein-walthert.ch
René Huber, Heim AG, rene.huber@heim-ag.ch
Jan Huber, Heim AG, jan.huber@heim-ag.ch
Mario Jacober, Lägern Wohnen, mario.jacober@laegern.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch
Stephan Renz, renz@renzconsulting.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502598-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Projekt untersucht einen Wärmeerzeugerersatz in zwei Mehrfamilienhäusern, bei dem die beiden Ölheizkessel durch zwei innenaufgestellten Propan-Wärmepumpen ersetzt werden, und die als Wärmequellen Luft und eine Spitzenlastdeckung über Erdwärmesonden nutzen. Durch die Auslegung der Erdreichquelle auf Spitzendeckung werden bestehende Platz- und Bohrtiefeneinschränkungen überwunden und die Wärmepumpe wird ohne fossile Spitzendeckung betrieben. Dies wird auch durch die hohen möglichen Vorlauftemperaturen der Propan-Wärmepumpe von 70 °C unterstützt. Das Monitoring der Wärmepumpen über drei Heizperioden dient daher neben der Betriebsauswertung und -optimierung auch zur Verifizierung von Simulationsmodellen, mit denen erweiterte Auslegungs- und Planungsempfehlung für Mehrquellsysteme entwickelt werden. Weiterhin wird eine Bewertung der innenaufgestellten Propan-Wärmepumpen in Hinblick auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit vorgenommen. Ziel ist die Dokumentation eines Best Practice Systems für den Mehrquelleneinsatz und den Wärmeerzeugerersatz mit innenaufgestellte Propan-Wärmepumpen.

Résumé

Le projet étudie le remplacement des générateurs de chaleur dans deux immeubles d'habitation, dans lesquels les chaudières à mazout sont remplacées par deux pompes à chaleur au propane installées à l'intérieur, et qui utilisent comme sources de chaleur l'air et une couverture de pointe par des sondes géothermiques. La conception de la source géothermique pour une couverture de pointe permet de surmonter les restrictions existantes en matière d'espace et de profondeur de forage et de faire fonctionner la pompe à chaleur sans couverture de pointe fossile. Ceci est également soutenu par les températures de départ élevées de 70 °C possibles de la pompe à chaleur au propane. Le suivi des pompes à chaleur sur trois périodes de chauffage sert donc non seulement à l'évaluation et à l'optimisation du fonctionnement, mais aussi à la vérification de modèles de simulation permettant de développer des recommandations de conception et de planification élargies pour les systèmes multi-sources. En outre, une évaluation des pompes à chaleur au propane installées à l'intérieur est effectuée en termes d'efficacité et de rentabilité. L'objectif est de documenter un système de bonnes pratiques pour l'utilisation de plusieurs sources et le remplacement des générateurs de chaleur par des pompes à chaleur au propane installées à l'intérieur.

Summary

The project investigates a boiler replacement in two multi-family dwellings, where the oil boilers are replaced by indoor installed propane heat pumps with the two heat sources air and a peak load coverage by borehole heat exchangers. By designing the ground source for peak coverage, existing space and drilling depth constraints are overcome and the heat pumps are operated without fossil fuel peak coverage. This is also supported by the high possible flow temperatures of 70 °C of the propane heat pumps. The monitoring of the heat pumps over three heating periods therefore not only serves for operational evaluation and optimization, but also for the verification of simulation models, which are used to develop advanced design and planning recommendations for these multi-source systems. Furthermore, an evaluation of indoor propane heat pumps with regard to efficiency and economy will be performed. The goal is to document a best practice system for multi-source applications and indoor installed propane heat pumps.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 4 |
| 1 Einleitung | 5 |
| 1.1 Ausgangslage und Hintergrund | 5 |
| 1.2 Motivation des Projekts | 7 |
| 2 Anlagenbeschrieb | 10 |
| 2.1 Ausgangslage | 10 |
| 2.2 Heizleistungsbedarf | 10 |
| 2.3 Wärmepumpenanlage | 13 |
| 2.4 Betriebskonzept | 15 |
| 2.5 Messkonzept | 16 |
| 3 Vorgehen und Methode..... | 20 |
| 3.1 Projektziele und Erfolgsfaktoren..... | 20 |
| 4 Ergebnisse aus den Simulationsstudien | 22 |
| 4.1 Hydraulische Konzepte | 22 |
| 4.2 Quellenbewirtschaftung und Regelstrategien..... | 23 |
| 4.3 Exergieverluste | 25 |
| 5 Ergebnisse aus dem Monitoring | 27 |
| 5.1 Regeneration | 27 |
| 6 Propan als Kältemittel..... | 29 |
| 6.1 Sicherheitskonzept | 29 |
| 7 Bewertung der bisherigen Ergebnisse..... | 33 |
| 8 Weiteres Vorgehen | 33 |
| 9 Publikationen | 34 |
| 10 Literaturverzeichnis | 34 |
| 11 Anhang | 35 |
| 11.1 Sicherheitskonzept | 35 |

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

In Gebäuden grösserer Leistung, insbesondere in Altbauten wie der Siedlung «im Kehl 6+8», liegen die Marktanteile von Wärmepumpen deutlich niedriger als im Neubau, wo der Anteil von WP bei kleineren Leistungsanforderungen im Wohnbereich mittlerweile bei 80-90% liegt. Hemmnisse im grösseren Leistungsbereich sind oft Einschränkungen bei geeigneten Wärmequellen, was zu verschiedensten Herausforderungen führt. Örtliche Einschränkungen (z.B. wenig Platz für Erdsondenbohrungen, Bohrtiefenbegrenzung / Bohrverbote, Lärmschutz) verbunden mit einem hohen flächenspezifischen Wärmebedarf im Vergleich zu einem Neubau führen oft zu hohen Kosten für die Erschliessung der Wärmequelle oder verunmöglichen gar eine Wärmepumpenanlage. Die Nutzung mehrerer Wärmequellen zur Umgehung dieser Einschränkungen einzelner Quellen ist bisher kaum verbreitet, birgt aber das Potenzial, die jeweiligen Einschränkungen soweit zu reduzieren, dass auch grössere Leistungen realisiert werden können und der alleinige Betrieb einer WP-Anlage ermöglicht wird. Zudem ergeben sich auch Synergien der einzelnen Quellen untereinander. Ursachen für die trotzdem geringe Verbreitung sind die fehlende Bekanntheit dieser Art von Systemen, eine höhere planerische Komplexität gepaart mit fehlender Erfahrung, allfällig höhere Investitionskosten und fehlende Produkt- bzw. Systemanbieter. Die Umsetzung erfordert die Integration und Regelung verschiedener Systeme allfällig unterschiedlicher Hersteller, was zu Unklarheiten für die Gesamtverantwortung und die Betriebsoptimierung führen kann.

Das Ende 2023 abgeschlossene BFE-Forschungsprojekt «HP-Source» [1] befasste sich mit dieser Problematik und hat technische Konzepte für die Kombination verschiedener Wärmequellen untersucht. Unter anderem stellten sich dabei folgende beiden Strategien als besonders erfolgsversprechend heraus:

Regeneration mittels Luftwärmetauscher: Eine Regeneration kann die Sondenlänge bei grösseren Erdwärmesonden (EWS)-Anlagen reduzieren und so Platzbeschränkungen entschärfen. Die Regeneration von EWS mittels Luftwärmetauscher benötigt deutlich weniger Platz als eine solare Regeneration und sind insbesondere bei fehlenden Dachflächen eine interessante Alternative. Es können industrielle Rückkühler eingesetzt werden, welche projektspezifisch bezüglich Leistung, Temperaturen und Akustik ausgelegt werden. Mit einem Luftwärmetauscher im Solekreis können Erdwärmesonden regeneriert und entlastet werden. Einige Anlagen mit diesem System wurden in der Schweiz bereits realisiert, wobei der Luftwärmetauscher nur bei positiven Temperaturen betrieben wird, da bei negativen Lufttemperaturen wegen fehlendem Temperaturgefälle keine Wärme in die Erdsonden eingebracht werden kann. Die Erdwärmesonden werden somit zwar durch die Regeneration und durch die Direktnutzung der mit dem Luftwärmetauscher gewonnenen Wärme energetisch entlastet. Bei negativen Umgebungstemperaturen müssen sie jedoch die volle Quellenleistung liefern. Mit zunehmender Abkühlung der Sonden über die Jahre – sofern die EWS nicht vollständig regeneriert wird – erhöht sich der Ertrag des Luftwärmetauschers bis sich die Temperatur stabilisiert.

Erdwärmesonden zur Spitzenlastdeckung: Werden die Erdwärmesonden nur zur Spitzenlastdeckung genutzt, reduziert sich die entzogene Energiemenge deutlich. So wird z.B. nur noch ca. 15-25% der ursprünglichen Sondenmeter (bei gleicher Sondenteufe) benötigt, wenn die Erdwärmesonden 50% statt 100% der Leistung liefern, siehe Abbildung 1. Damit ergibt sich eine überproportionale Einsparung an Sondenlänge, welche mit zunehmender Feldgrösse wegen der gegenseitigen Beeinflussung der Sonden zunimmt.

Die Strategie der Spitzenlastsonde ermöglicht somit einen Mittelweg zwischen einem reinen Erdsonden-system mit hohen Investitionskosten, grossem Platzbedarf, keiner Lärmelastung und guter Jahresarbeitszahl und einem reinen Luftpumpensystem mit niedrigeren Investitionskosten, geringem Platzbedarf, hoher Lärmelastung und schlechterer Jahresarbeitszahl.

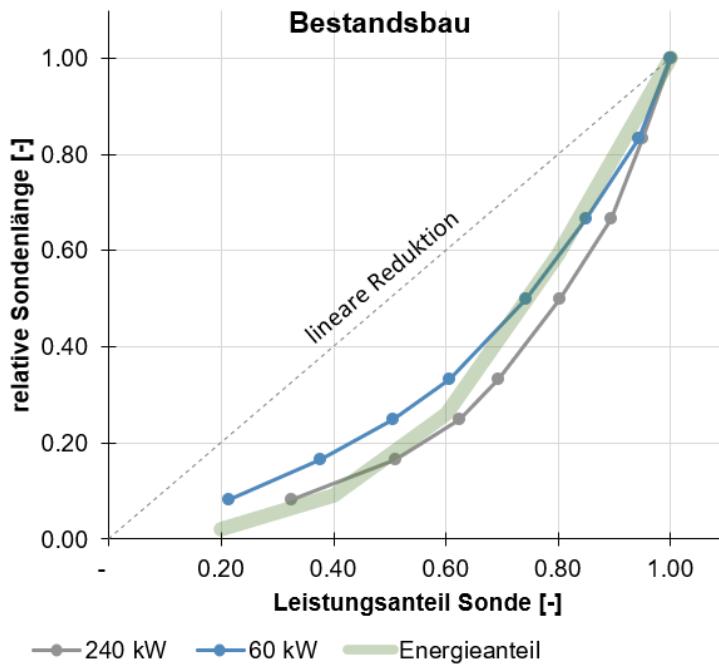


Abbildung 1: Relative Sondenlänge für die Spitzenlastdeckung. Die benötigte Gesamtsondenlänge ist abhängig von der aus dem Erdreich entzogenen Energie (Quelle: HP-Source)

Darüber hinaus wären die Einzelquellen häufig aufgrund der grösseren Auslegung dann allein gar nicht zu realisieren, da z.B. die Lärmbelastung bei Luft oder der Platzbedarf für die EWS zu gross werden. Die Effizienz des Spitzenlastsonden-Systems mit Luft als Grundlastquelle ist abhängig vom Anteil der Erdwärmesonden, wie in Abbildung 2 dargestellt ist. Mit zunehmendem Anteil der Erdwärmesonden nähert sich die Effizienz derjenigen eines Erdwärmesonden-Systems. Dabei ist zu beachten, dass bei einem konventionellen Erdwärmesonden-System die JAZ über die Jahre abnimmt, da die Erdreichtemperatur abfällt. Beim Spitzenlastsondenystem mit einem Leistungsanteil aus den Sonden um 50% stabilisiert sich das Erdreich schon nach wenigen Jahren bei der Minimaltemperatur.

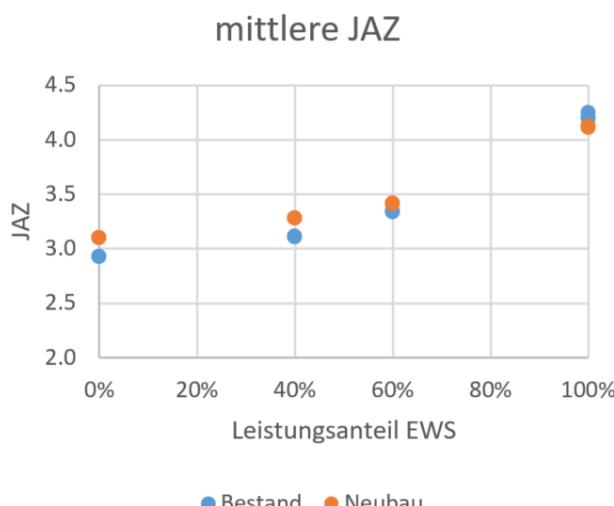


Abbildung 2: Jahresarbeitszahl für Spitzenlastsondenysteme mit Luft als Grundlastquelle, gemittelt über 50 Jahre. (Quelle: HP-source)

Bivalente Wärmepumpensysteme in der Sanierung umfassen bisher hauptsächlich Spitzenlastdeckung mit fossilen Energieträgern. In den letzten Jahren konnte sich auch die solare Regeneration zunehmend verbreiten. Wie das Projekt «HP-Source» zeigt, besteht jedoch ein interessantes Potenzial bei Mehrquellen-Systemen mit reinem Wärmepumpenbetrieb. In der Praxis werden jedoch kaum solche Anlagen umgesetzt. Die Herausforderungen bestehen insbesondere in folgenden Punkten:

- Komplexität: Mehrquellen-Anlagen erhöhen die Komplexität des Systems. Dadurch steigt das Risiko von Fehlern in Planung, Ausführung und Betrieb und damit auch daraus resultierende Folgekosten. Der Planungsprozess wird aufwändiger, wodurch sich sowohl höhere Kosten als auch ein längerer Umsetzungszeitraum ergeben.
- Es fehlt Planungserfahrung mit solchen Anlagen, was die Risiken und damit auch den Widerstand gegen solche Systeme erhöht.
- Es gibt kaum Systemanbieter, welche eine solche Anlage aus einer Hand anbieten und die Gesamtverantwortung übernehmen.
- Mehrquellen WP-Systeme sind kaum bekannt und entsprechend gibt es kaum Referenzen, welche die Bekanntheit erhöhen können.
- Bei Mehrquellen-Anlagen werden höhere Investitionskosten antizipiert.
- Es fehlt das Wissen zur Auslegung von Erdwärmesonden ausserhalb der heute üblichen Anwendungen im monovalenten Betrieb.

Die beiden dargestellten Betriebsstrategien «Regeneration mit Luftwärmetauscher» und «EWS-Spitzenlastdeckung» ermöglichen aber eine neue Beurteilung der Potenziale von Mehrquellen-systemen, mit der einige der oben genannten Hemmnisse überwunden werden können. Allerdings sind auch praktische Umsetzungen als P&D-Projekte notwendig, um gut dokumentierte "Best Practice"-Beispiele zu schaffen, die die technische und wirtschaftliche Machbarkeit und Vorteile demonstrieren.

1.2 Motivation des Projekts

Die Wohnbaugenossenschaft Lägern Wohnen besitzt an der Adresse «Im Kehl 6+8» in Baden zwei Mehrfamilienhäuser mit je 28 Wohnungen mit insgesamt 4'190 m² Wohnfläche. Die im Jahr 1972 erbauten Mehrfamilienhäuser befinden sich mehrheitlich im Originalzustand und wurden zuletzt in den 1990er Jahren leicht saniert. Die gemeinsame Wärmeerzeugung mittels Ölkkesseln ist in der Heizzentrale im Kellergeschoss des Mehrfamilienhauses "Im Kehl 6" installiert. Die Liegenschaft "Im Kehl 8" ist mittels einer Fernleitung an die Heizzentrale angeschlossen. Der analysierte Heizölverbrauch über die letzten 14 Jahre ergibt einen durchschnittlichen Jahresverbrauch von 60'000 l Heizöl resp. 600 MWh/a.

Als Wärmeerzeugersatz wurde neu eine Wärmepumpe (WP) pro Gebäude mit einem gemeinsamen Erdwärmesondenfeld geplant, womit die Energie- und Emissionsbilanz der Häuser deutlich verbessert werden kann. Aufgrund des steilen Geländes und der Zuwegung des Bohrgeräts steht für die Bohrungen jedoch nur der Parkplatz zur Verfügung. Aufgrund dieser Platzbeschränkungen für die Erdwärmesonden wurde eine zusätzliche Regeneration mittels Luftwärmetauscher (LWT) geplant. Die Wahl der Regenerationsquelle fiel auf einen LWT, da in einigen Jahren eine Dachsanierung geplant ist, und damit derzeit keine Solartechnik verlegt werden kann. Die zukünftig geplante Dachsanierung dient der weiteren Verbesserung der energetischen Qualität der Gebäude und einer allfälligen Nachrüstung einer PV-Anlage.

Im Sommer 2022 wurde mit den Bohrungen begonnen. Jedoch stiess man in 130 m Teufe auf Arteser, so dass die Bohrungen abgebrochen werden mussten und der Kanton eine Bohrtiefenbeschränkung bei 120 m erliess. Somit gibt es jetzt neben der Platzbeschränkung auch eine Tiefenbeschränkung, womit die Regeneration mit dem Luftwärmetauscher nicht mehr ausreicht.



Aus diesem Grund bietet sich das Konzept einer Spitzenlastdeckung mit Erdwärmesonde («Spitzenlastsonde») für den Wärmeerzeugersatz als Alternative zu reiner Luft/Wasser-Wärmepumpe an.

Abschätzungen basierend auf Resultaten aus dem «HP-Source»-Projekt zeigen, dass in dieser Situation eine Spitzenlast von ca. 40-50% aus den Sonden gedeckt werden kann. Für die Grundlastdeckung sind damit zwei Wärmetauscher in der Grösse des ursprünglich geplanten Wärmetauschers zur Regeneration notwendig. Durch die Einbindung der Wärmetauscher in den Solekreis kann damit auch regeneriert werden, was einen höheren Entzug aus den Sonden und damit einen höheren Spitzenlastanteil ermöglicht.

Die Wärmeerzeugung erfolgt mit zwei innenaufgestellten Wärmepumpen mit Kältemittel Propan. Dies erfordert besondere Sicherheitsmassnahmen wie zwangsbelüftete Gehäuse, Überwachungs-einrichtungen und entsprechende Massnahmen bauseits für Zu- und Abluft.

Mit der EU-Richtlinie zum Phase-down von fluorierten Kältemitteln (F-Gase Verordnung, 2014, aktuelle Version von 2023), die auch in der Schweiz über die ChemRRV [2] umgesetzt wird, wird die gesamte in Verkehr gebrachte Kältemittelmenge fluorierter Kältemittel limitiert, weshalb zukünftig höhere Kosten für die Genehmigung und sogar Verbote dieser konventionellen Kältemittel zu erwarten sind. Viele Hersteller warten aber mit der Umstellung auf Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential - GWP) noch ab. Propan-Wärmepumpen für Aussenaufstellung (insbesondere L/W-Geräte) wurden in den letzten Jahren von verschiedensten Herstellern vor allem im kleineren Leistungsbereich auf den Markt gebracht worden. Bei innenaufgestellten S/W-Wärmepumpen ist das Angebot jedoch noch sehr klein. Hauptgründe sind wohl Ängste wegen der Brennbarkeit des Kältemittels und die notwendigen Sicherheitsmassnahmen, welche den Planungs- und Installationsaufwand und die Kosten erhöhen.

Propan-WP haben eine Einsatzgrenze bis 70 °C Vorlauftemperaturen, was gerade bei Sanierungsgebäuden mit tendenziell höheren Vorlauftemperaturanforderungen einen Vorteil darstellt, und damit eine Etappierung von Sanierungsmassnahmen befördern kann, da nicht sofort mit dem Wärmeerzeugersatz auch bauliche Massnahmen am Gebäude oder ein Umbau des Wärmeübergabesystems verbunden sind. Für den Warmwasserbetrieb können problemlos 60 °C und mehr im Speicher erreicht werden, was mit konventionellen Kältemitteln häufig auf 60 °C Vorlauftemperatur und 55 °C im Speicher limitiert ist. Dadurch können mit Propan-WP direktelektrische Zusatzheizungen für den Warmwasserbetrieb komplett vermieden werden.

Somit gewinnt Propan wegen des niedrigen GWP und der guten kältetechnischen Eigenschaften zunehmend an Bedeutung. Dass es auch Nutzungsmöglichkeiten in innenaufgestellten Sole-Wärmepumpen gibt, welche den Sicherheitsnormen entsprechen, ist kaum bekannt.

Dieses Projekt bietet die Möglichkeit, den Einsatz von Propan in innenaufgestellten Wärmepumpen zu propagieren und den Nachweis zu erbringen, dass Propan auch für komplexere Quellenanordnungen aus zwei und mehr Wärmequellen standardisiert als innenaufgestellte Anlage betrieben werden kann. Hinsichtlich der Datenerfassung ergibt sich die Synergie, dass die für die Auswertung des Spitzenlastsondenystems benötigten Daten auch eine detaillierte Auswertung der Wärmepumpe bezüglich Betriebsverhalten und -effizienz sowie eine aufbauende wirtschaftliche und ökologische Auswertung, z.B. hinsichtlich Kostensteigerung durch erhöhten Sicherheitsaufwand, CO₂-Einsparungen durch Effizienzverbesserung und natürliches Kältemittel etc. erlauben. Besondere Herausforderungen in Bauprojekt "im Kehl" lagen in den folgenden Punkten:

- Umlaufplanung im laufenden Bauprojekt
- Die Wärmepumpen wurden bereits bestellt, eine Bestellungsänderung hätte hohe Kosten und Verzögerungen nach sich gezogen
- Die Nutzung des Daches ist stark eingeschränkt, da in einigen Jahren eine Dachsanierung geplant ist
- Die für die EWS verfügbare Fläche und die Bohrtiefenbeschränkung

Das P&D Projekt steht unmittelbar mit dem BFE-Forschungsprojekt "HP-Source" [1] in Verbindung, da sich im realen Bauprojekt "Im Kehl 6+8" genau die Probleme und Fragestellungen ergeben haben, welche im Projekt "HP-Source" untersucht und für die die obengenannten Strategien für Mehrquellsystem entwickelt wurden. Daher bestehen umfangreiche Vorkenntnisse zu den beiden Strategien hinsichtlich Auslegung und Potenzialen. Durch die zusätzliche Restriktion der Bohrtiefenbeschränkung müssen aber beide Strategien im Bauprojekt sogar kombiniert werden, was aufgrund der Sondenanzahl weitere Synergien verspricht, aber auch erweiterte Untersuchungen der Kombination erfordert. Im Rahmen des "HP-Source" Projekts konnten einige Voruntersuchungen für dieses P&D-Projekt durchgeführt werden:

Abbildung 3 zeigt die Resultate aus den Voruntersuchungen mittels Simulationen. Mit der progressiven Regelstrategie RS3, die einen höheren Anteil an Erdwärmesondennutzung umfasst, wird die minimal zulässige Sondentemperatur unterschritten. Die Regeneration mit dem sowieso vorhandenen Luftwärmetauscher erhöht die minimale mittlere Sondentemperatur langfristig um ca. 4 K. Mit der konservativen Regelstrategie RS2, die die Erdwärmesondennutzung auf den Spitzenlastbetrieb beschränkt, und Regeneration wird die minimale mittlere Sondentemperatur im zulässigen Bereich gehalten.

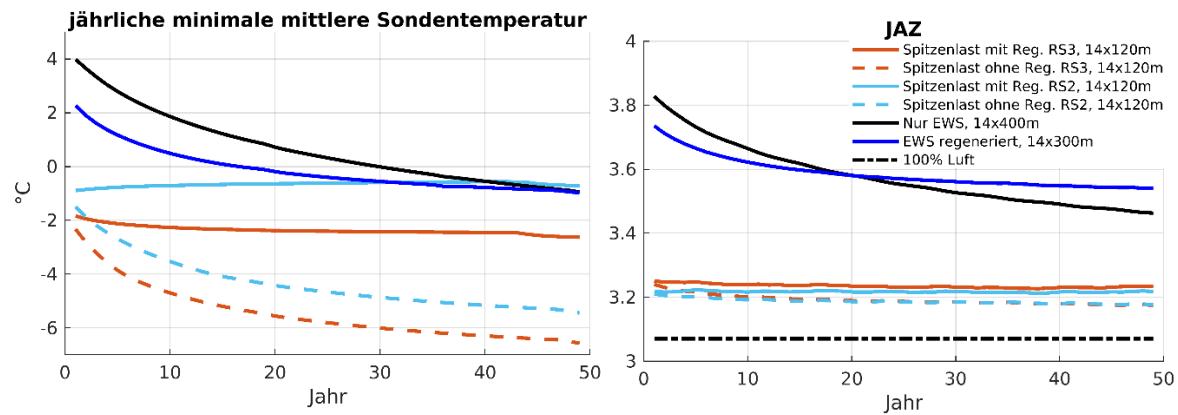


Abbildung 3: Sondentemperaturen und JAZ [1]



2 Anlagenbeschrieb

2.1 Ausgangslage

Die gemeinsame Wärmeerzeugung mittels Ölkesseln ist in der Heizzentrale im Kellergeschoß des Mehrfamilienhauses "Im Kehl 6" installiert. Die Liegenschaft "Im Kehl 8" ist mittels einer Fernleitung an die Heizzentrale angeschlossen. Im Rahmen des Planungsauftrags für das ursprünglich geplante Erdwärmesonden-System wurde von der Amstein und Walther AG (A+W) ein durchschnittlicher Heizölverbrauch von 60'000 Liter Heizöl resp. 600 MWh/a Wärmeenergie über die letzten 14 Jahre ermittelt. Nach Abzug der Kesselverluste (ca. 20%) und der Leitungsverluste in der Fernleitung zu Haus 8 (ca. 7%) ergibt sich ein Verbrauch von 446 MWh/a resp. 106 kWh/(m²a).



Abbildung 4: Alte Heizzentrale im Haus 6 mit den beiden Ölkkesseln

2.2 Heizleistungsbedarf

Die Heizleistung wurde im Januar 2023, in der kältesten Woche des Winters, mittels Clamp-On Ultraschall-Wärmezähler gemessen und daraus mittels Energiesignaturmethode [3] die benötigte Heizleistung abgeleitet. Die Messung erfolgte jeweils am Abgang des Heizkreises selbst, die Verluste durch die Fernleitung vom Gebäude 6 zum Gebäude 8 wurden damit nicht mitgemessen.

Verwendete Messgeräte:

- Deltawave C (Haus K6)
- Micronics PF333 (Haus K8)

Die Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Heizleistung über die Messperiode im Vergleich zur Außentemperatur für die Standorte der Meteoschweiz-Wetterstationen Buchs AG und Würenlingen. Die weitere Auswertung erfolgte für den konservativeren Fall mit der Wetterstation Würenlingen.

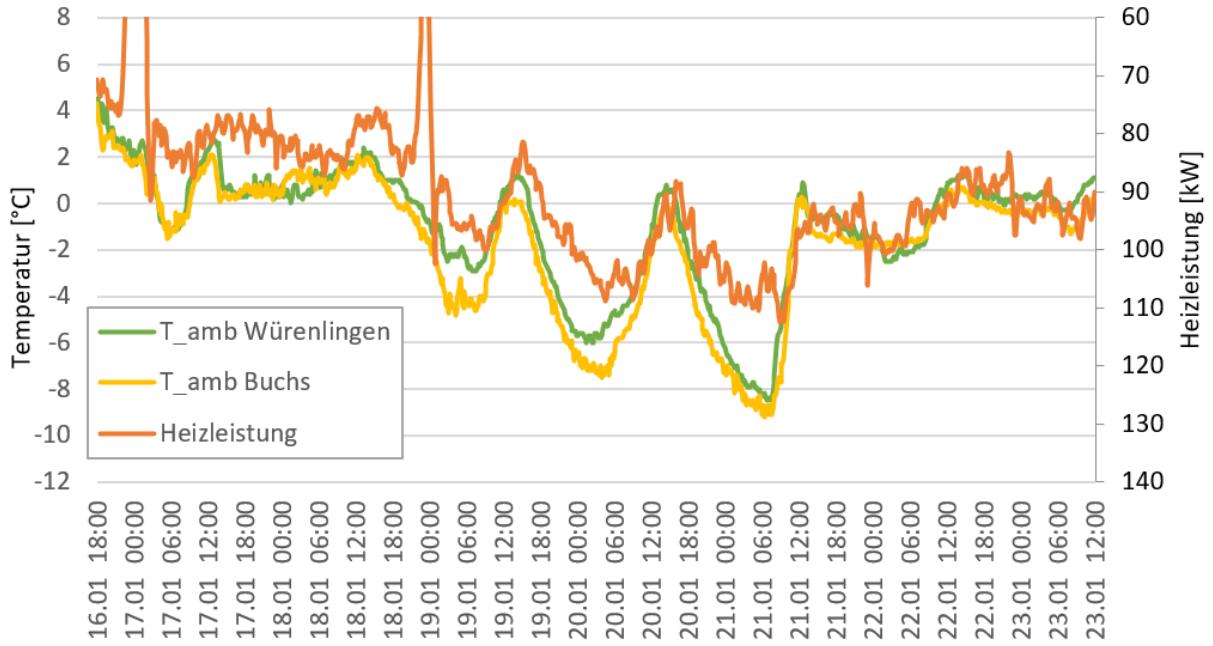


Abbildung 5: Heizleistung beider Gebäude zusammen während der kältesten Woche im Winter 2022/2023 im Vergleich zu den Temperaturen in Buchs AG und Würenlingen (Quelle: MeteoSchweiz).

Die Abbildung 6 zeigt die Energiesignatur für beide Gebäude separat und in der Summe. Damit ergibt sich eine Heizleistung bei -8°C von 45 kW für Gebäude 8 und 70 kW für Gebäude 6. Nicht miteingerechnet sind:

- Warmwasseraufbereitung
- Sperrzeiten
- Abtauenergie für die Aussenluftwärmetauscher

Bei der Umplanung auf ein Spitzenlastsondensystem waren die Wärmepumpen schon bestellt. Darum erfolgte die Messung zur Überprüfung, dass die Leistung der Wärmepumpen mit den kälteren Quelltemperaturen im Vergleich zum reinen EWS-System trotzdem genügend Leistung liefern.

Folgende Zuschläge wurden auf die gemessene Heizleistung aufgerechnet:

- Warmwasseraufbereitung: Der Warmwasserbedarf wurde geschätzt nach SIA 2024:2015 [4] mit $19.8 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ a) und 50% Verluste. Damit ergibt sich ein Wärmebedarf von total 124.4 MWh pro Jahr für das Warmwasser. Der Leistungszuschlag ergibt sich durch die Verteilung auf das ganze Jahr (8760 h) und beträgt 14.2 kW.
- Sperrzeiten: Keine Sperrzeiten durch das EVU.
- Abtauung des Rückkühlers: Es wird angenommen, dass an den kältesten Tagen 50% der Kälteleistung aus dem Rückkühler geerntet wird. Für die Abtauung müssen 15% der gewonnenen Kälteleistung wieder in Form von Wärme aus dem Heizungsspeicher abgegeben werden.



Wetterstation Würenlingen

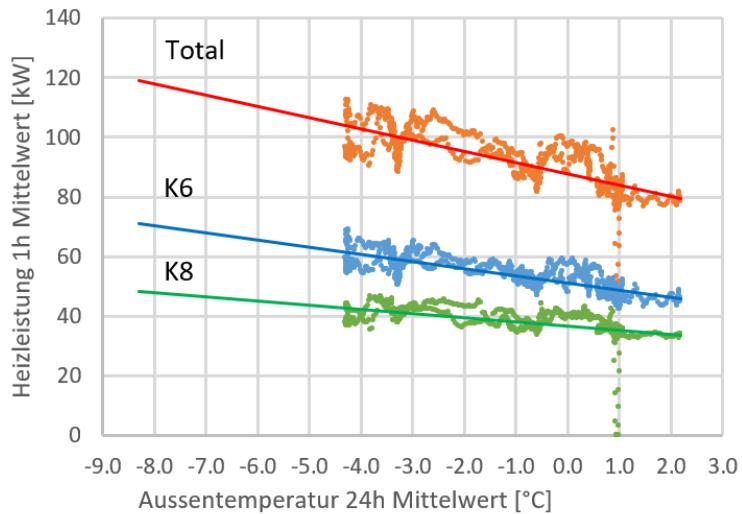


Abbildung 6: Heizleistungsermittlung nach der Signaturmethode für die Wetterstation Würenlingen

Tabelle 1 zeigt die Berechnung des Leistungsbedarfs.

Tabelle 1: Berechnung des Leistungsbedarfs

| Wert | Quelle / Basis | Einheit | Haus 6 | Haus 8 | Total |
|--|---|------------------------|--------|--------|-------|
| EBF | A+W | m ² | 2357 | 1833 | 4190 |
| Heizleistung bei -8°C | Ermittelt aus Messung | kW | 70.0 | 50.0 | 120.0 |
| Spez. Heizleistung (W/m ²) | Ermittelt aus Messung | W/m ² | 29.7 | 27.3 | 28.6 |
| Warmwasser Wärmebedarf | 19.8 kWh/m ² EBF + 50% Verluste (SIA 2024:2015) | MWh/a | 70.0 | 54.4 | 124.4 |
| Warmwasser Leistungszuschlag | Wärmebedarf / 8760 h | kW | 8.0 | 6.2 | 14.2 |
| Leistungsbedarf ohne Abtauung | | kW | 78.0 | 56.2 | 134.2 |
| Kälteleistungsbedarf ohne Abtauung | Annahme: COP = 3 | kW | 52.0 | 37.5 | 89.5 |
| Abtauleistung | 50% der Kälteleistung aus dem LWT. 15% der geernteten Energie für die Abtauung aufwenden → 7.5% Leistungszuschlag | kW | 3.9 | 2.8 | 6.7 |
| Leistungsbedarf | Total | kW | 81.9 | 59.0 | 140.9 |
| Heizleistung Wärmepumpe | B-13(A-8)/W45, gemäss Bion | kW | 94.0 | 73.0 | 167.0 |
| Vollaststunden | mit B-13(A-8)/W45 | h | 2670 | 2671 | 2671 |
| Leistungsreserve | | | 13% | 19% | 16% |
| Wärmeverbrauch | A+W | MWh/a | 251 | 195 | 446 |
| Spez. Heizwärmeverbrauch | A+W | kWh/(m ² a) | 106 | 106 | 106 |

Die Abbildung 7 zeigt eine Einordnung der spezifischen Heizleistung gegenüber dem spezifischen Wärmeverbrauch im Vergleich zu Messwerten aus verschiedenen Wohngebäuden [3]

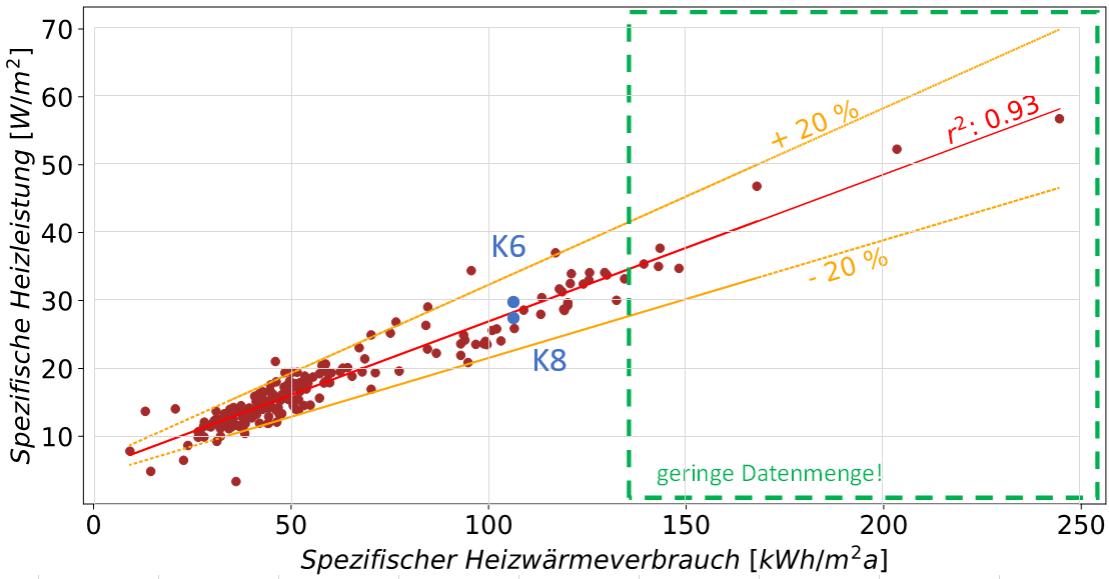


Abbildung 7: Spezifische Heizleistung in Abhängigkeit des spezifischen Heizwärmeverbrauchs [3]

2.3 Wärmepumpenanlage

Die Wärmepumpenanlage in beiden Häusern ist bis auf die Leistung der Wärmepumpen identisch, siehe Tabelle 2. Die Abbildung 8 zeigt die beiden Wärmepumpen und Luftwärmetauscher. Beim Haus 6 konnte der LWT auf einen Sockel im Garten gestellt werden, beim Haus 8 ist er auf dem Liftaufbau montiert. Das Dach wurde in diesem Bereich bereits saniert, so muss bei einer späteren Dachsanierung der LWT nicht mehr entfernt werden.



Abbildung 8: Wärmepumpen und Luftwärmetauscher der beiden Häuser K8 (links) und K6 (rechts)

Die zweistufigen, drehzahlgeregelten S/W-Wärmepumpen von Heim AG Heizsystemen bestehen jeweils aus drei Teilen, welche in jeweils eigenen Gehäusen untergebracht sind (Abbildung 9)

- Schaltschrank
- Leistungsmodul in belüftetem Gehäuse für die Kältekreise, siehe Abschnitt 6.1, welches die beiden Leistungsmodule enthält. Jedes Leistungsmodul ist ein eigener Kältekreis mit einem drehzahlgeregelten Verdichter.
- Hydraulikmodul: enthält die hydraulischen Komponenten wie Ventile, Pumpen und Plattenwärmetauscher.



Tabelle 2: Leistungsdaten der Wärmepumpen (Quelle: Datenblatt Heim AG)

| Haus | K6 | | K8 | |
|---|--------------|----------|----------|-------------|
| Typ SWISSHEAT® TITAN-HG-N | SW114/2-FU-A | | | SW89/2-FU-A |
| Betriebspunkt | B0/W35 | B-10/W60 | B0/W35 | B-10/W60 |
| Heizleistung [kW] | 114.9 | 92.1 | 106.7 | 72.0 |
| Kälteleistung [kW] | 82.3 | 47.7 | 64.4 | 37.3 |
| Leistungsaufnahme Verdichter [kW] | 24.5 | 38.4 | 19.2 | 30.0 |
| COP Heizen | 4.6 | 2.4 | 4.6 | 2.4 |
| Betriebsart FU [Hz] | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Kältemittelfüllmenge (R290) [kg] pro Leistungsstufe | 4.5 | | 3.8 | |
| Anzahl Leistungsstufen | 2 | | 2 | |
| Einsatzgrenze | B-13/W70 | | B-13/W70 | |

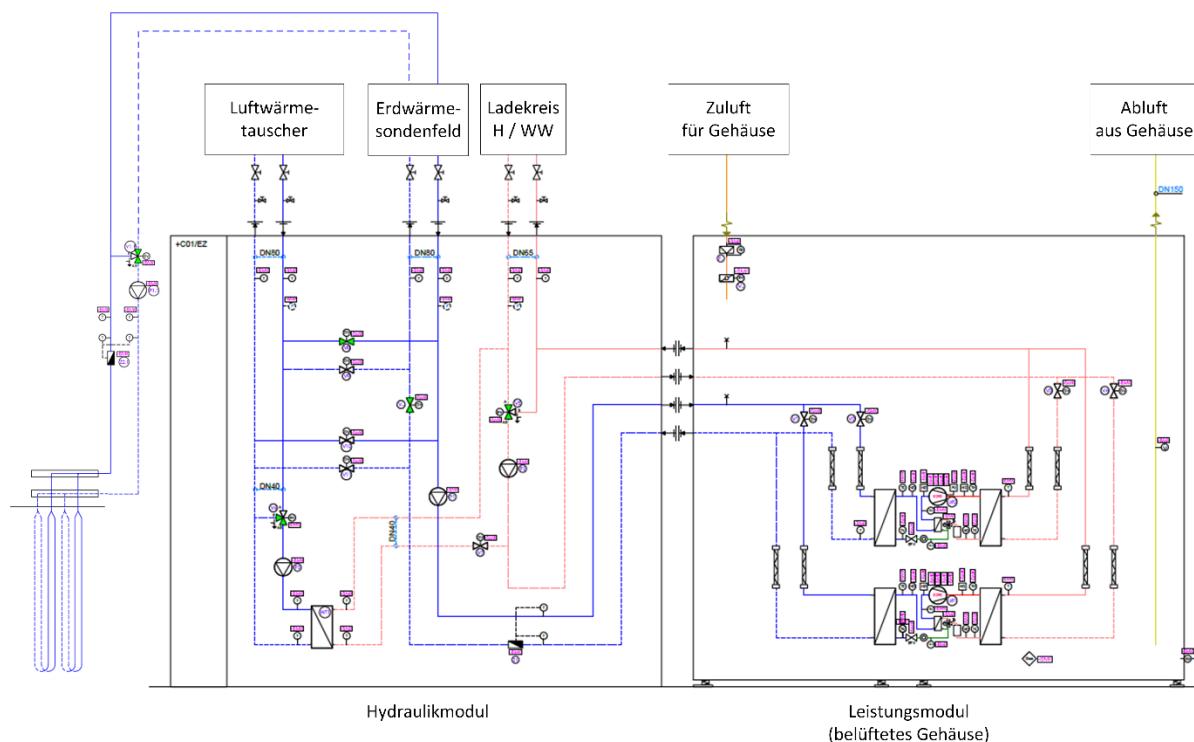


Abbildung 9: Hydraulikschemata der Wärmepumpen (Quelle: Heim AG Heizsysteme, nachbearbeitet)

Im Hydraulikmodul sind folgende Funktionen umgesetzt:

- Heizen/WW mit Luft als Quelle
- Heizen/WW mit Sonden als Quelle
- Heizen/WW mit Luft und Sonden als Quelle
- Regeneration ohne WP-Betrieb
- Regeneration mit WP-Betrieb
- Abtauung

Die beiden Erdwärmesondenfelder erstrecken sich über den Parkplatz zwischen den beiden Gebäuden (Abbildung 10). Das Feld beinhaltet

- Haus 6: 8 Sonden à 100m + 1 Sonde à 106m = 906 m
- Haus 8: 7 Sonden à 100 m + 1 Sone à 86 = 76 m



Abbildung 10: Erdsondenplan gemäss Ausführung. Die blau nummerierten Sonden sind dem Haus 6 (links), die rot markierten Sonden dem Haus 8 (rot) zugeordnet (Quelle: A+W, nachbearbeitet)

2.4 Betriebskonzept

Das Betriebskonzept entspricht der in HP-Source entwickelten Strategie «Spitzenlastsonde» (Abbildung 11), erweitert um eine Erdreichregeneration.

- Sommer: Wärmequelle Luft
- Winter: Grundlast Luft, Spitzenlast Erdwärmesonden
- Regeneration: Wann immer möglich wird das Erdreich mithilfe der Luftwärmetauscher regeneriert.



Die Zuschaltung der Erdwärmesonden erfolgt dynamisch und ist abhängig vom Wärmeleistungsbedarf. Im Abschnitt 4.2 wird die Regelstrategie sowie Resultate aus den Simulationen aufgezeigt. Ein Hauptziel dieses Projektes ist, diese Regelstrategien zu testen und zu verbessern, z.B. die Entnahme von Wärme aus dem Erdreich in Abhängigkeit des «Ladezustands» des Erdreichs zu regeln, also unter Berücksichtigung der eingespeisten und der entnommenen Wärmemenge.

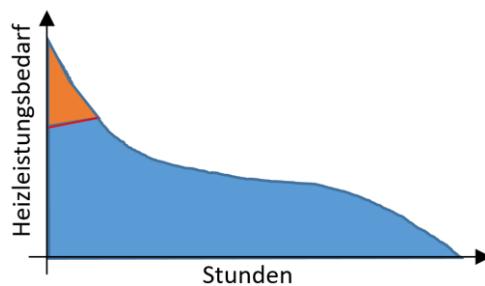


Abbildung 11: Strategie Spitzentlastsonde: Die Quelle Luft (blau) ist immer in Betrieb, die Quelle Erdwärme (orange) wird bei hohem Leistungsbedarf zugeschaltet.

2.5 Messkonzept

2.5.1 Monitoringsystem

Die Messdaten werden von der Wärmepumpen- und Systemsteuerung erfasst, wobei grösstenteils auf Werte zugegriffen wird, welche auch für die Regelung gebraucht werden. Die Steuerung basiert auf mehreren Priva-Steuerungen, welche über TCP/IP mit dem Internet verbunden sind.

Die Strom- und Wärmezähler sind über Modbus RTU und einen Wandler auf Modbus TCP ebenfalls mit dem Netzwerk verbunden, im Gegensatz zur restlichen Sensorik, welche direkt auf die Priva-Steuerung verdrahtet ist, damit die Funktionsweise der Anlage auch bei einem Ausfall des TCP/IP-Netzwerks gewährleistet ist. Für die Funktion der Anlage werden die Wärme- und Stromzähler nicht benötigt. Dadurch werden gewisse Temperaturen wie z.B. die Verdampfer-Eintrittstemperatur mehrfach erfasst, einerseits über direkt mit der Steuerung verdrahtete Sensoren, andererseits über die mit den Wärmezählern verbundenen Sensoren. Dies ergibt eine gewisse Redundanz für das Monitoring.

Ursprünglich war geplant, die Messwerte direkt aus der Priva-Cloud herunterzuladen. Nach der Inbetriebnahme wurde festgestellt, dass die 32-Bit-Werte aus den Belimo-Wärmezählern und den Stromzählern nicht in das Trending von Priva eingebunden werden können. Im Weiteren ist der Download der Trending-Daten sehr umständlich und fehleranfällig. Daher wurde entschieden, die Messwerte mittels eines Raspberry-Pi Kleincomputers und einem aPython-Script über die Modbus TCP Schnittstelle direkt aus der Priva-Steuerung und den Wärme- und Stromzählern auszulesen. Das Script wurde im Rahmen des P&D-Projekts Sunstore entwickelt und hat sich für das Monitoring auf mehreren Anlagen bereits bewährt. Für das Projekt RenoSource musste das Script jedoch noch weiterentwickelt werden, da nicht alle für dieses Projekt benötigten Funktionen der Modbus-Schnittstelle implementiert waren. Daher wurde für die ersten Auswertungen der Regeneration noch auf die Aufzeichnungen in der Priva-Cloud zurückgegriffen. Die Datenaufzeichnung mit dem Raspberry-Pi ist seit Anfang Oktober 2024 in Betrieb. Das Python-Script liest die Daten aus den Geräten aus und schreibt sie in eine CSV-Datei, welche einmal pro Tag auf die Gitlab-Plattform der OST synchronisiert wird, wie aus Abbildung 12 ersichtlich. Die beiden Anlagen sind physisch nicht im selben Netzwerk, sondern einzeln mittels Mobilfunkrouter mit dem Internet verbunden. Über ein VPN werden sie in ein virtuelles Netzwerk verschaltet. Bei der Aufzeichnung der Daten mit dem Raspberry-Pi im Haus 6 hat sich gezeigt, dass die Daten im Haus 8 zwar ausgelesen werden können, aber nicht

immer zuverlässig. Daher wird im Haus 8 ebenfalls ein Raspberry-Pi eingesetzt. Beide Raspberry-Pi erfassen die Daten in beiden Häusern. So ergibt sich nicht nur für den Ausfall der Internetverbindung eine Redundanz, sondern auch für den Ausfall eines Raspberry-Pi. Die Messpunkte und Messgeräte sind für beide Anlagen identisch und werden daher im Folgenden nur einmal aufgeführt.

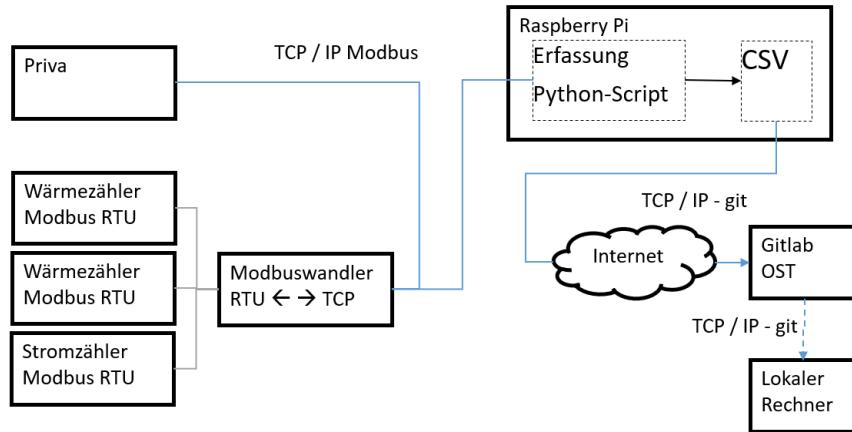


Abbildung 12: Messdatenauslesung mit dem Raspberry-Pi

Sämtliche Pumpen werden direkt über die Wärmepumpe mit Strom versorgt. Eine separate Erfassung zur Unterscheidung zwischen dem COP und der JAZ ist daher nicht direkt möglich. Lediglich der Ventilator des Rückkühlers wird über einen separaten Stromzähler erfasst.

2.5.2 Messpunkte

Aus den geforderten Erfolgsfaktoren lassen sich die notwendigen Kenngrößen und die damit notwendigen Datenquellen ableiten, die in Tabelle 3 aufgeführt sind.

Tabelle 3: Kenngrößen und dafür benötigte Messergebnisse

| Erfolgsfaktor | Benötigte Kenngrößen | Quellen |
|---------------------------------|--|--|
| Nachhaltiger Sondenbetrieb | Ein- und Austrittstemperaturen Entzogene und eingespeiste Energie | Ein- und Austrittsfühler EWS-Feld Wärmezähler EWS-Feld |
| Systemeffizienz: JAZ | Erzeugte Wärme mit WP Strombedarf total | Wärmezähler H + WW El. Zähler total |
| Verifizierung Simulationsmodell | Ein- und Austrittstemperaturen und Leistungen der Quellen und Senken (Sonden, Rückkühler Wärmepumpe) Elektrische Leistungen Stellgrößen (Beimischventil EWS, EWS-UWP Sollwert, Ventilator) | Temperaturen, Massenströme: <ul style="list-style-type: none"> - Sonden - Rückkühler - Verdampfer in/out - Kondensator out - Umgebung Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> - EWS - Rückkühler - Verdampfer - Kondensator - Elektrisch Stellgrößen direkt aus der Priva-Steuerung |



| | | |
|--|--|--|
| | RK Sollwert Betriebszustände, Verdichterdrehzahl) Umweltdaten: Wetter Aussentemperatur | Wetterdaten Meteoschweiz Aussentemperaturfühler |
|--|--|--|

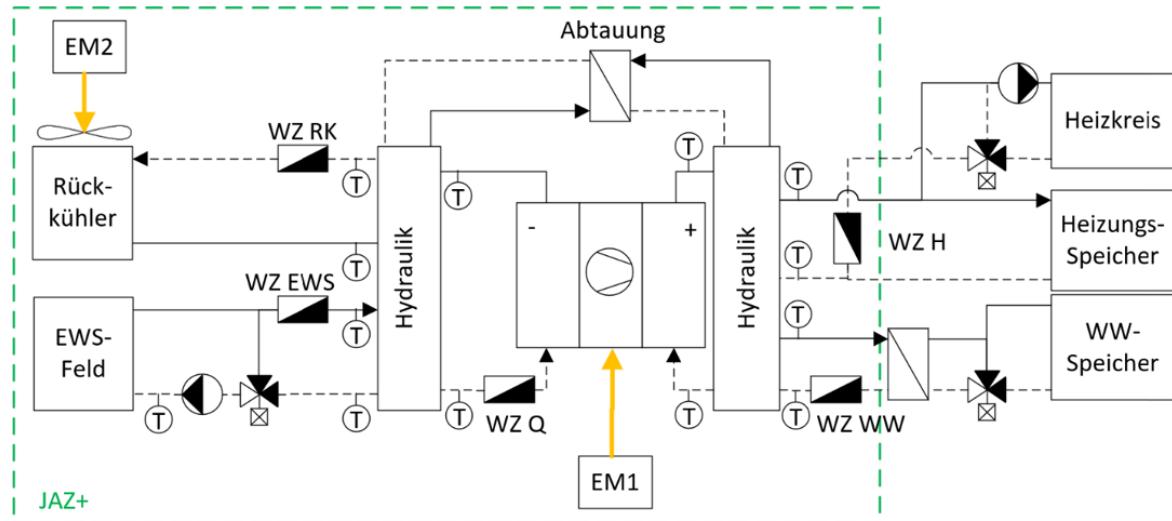


Abbildung 13: Systemgrenze und Messpunkte

2.5.3 Messmittel und Messunsicherheit

Die Messfehler der einzelnen Messgrößen sind meist abhängig von der effektiv gemessenen Grösse. Dieser Abschnitt gibt einen generellen Überblick der zu erwartenden maximalen Messfehler. Die effektiven Messfehler werden im Rahmen des Monitorings auf Basis der gemessenen Werte ermittelt.

Tabelle 4 gibt einen Überblick der eingesetzten Energiezähler.

Tabelle 4: Eingesetzte Energiezähler

| Messpunkt | Messgrösse | Datenpunkt | Fabrikat |
|-----------|------------|------------|----------------------------|
| WZ RK | Kälte | H.00-3P5 | Belimo 22PE-1UH/EXT-EF-50D |
| WZ EWS | Kälte | H.00-3P2 | Belimo 22PE-1UH/EXT-EF-50D |
| WZ Q | Kälte | EZ.11-4P2 | Neovac SC531 BU-SS |
| WZ H | Wärme | H.03-3P2 | Belimo 2PE-1UG/EXT-EF-50D |
| WZ WW | Wärme | H.02-4P2 | Belimo 2PE-1UG/EXT-EF-50D |
| EM1 | Strom | A.00-1P1 | Optec M3PRO 1-5 MID |
| EM2 | Strom | EZ.00-5P2 | Optec M3PRO 1-5 MID |

Wärmezähler Neovac

Die Wärmezähler entsprechen der Klasse 2 nach EN 1434, der zulässige Messfehler wird in der Richtlinie 2004/22/EG [5], Anhang MI-004 definiert. Er ergibt sich aus der Summe der Fehler aus der Durchflussmessung, der Temperaturmessung und des Rechenwerks.

Für eine Temperaturdifferenz von 4 K (Sollwert über den Verdampfer) beträgt der Fehler 6 %.

Wärmezähler Belimo

Die Wärmezähler haben gemäss Spezifikation folgende Messunsicherheit:

- Durchfluss bei 20 bis 100% vom Nenndurchfluss
 - $\pm 2\%$ Medium Wasser, 15...120 °C
 - $\pm 5\%$ Medium Wasser/Glykol, -20...120 °C
- Temperatur : PT1000 Klasse B gemäss EN 60751 [6].
 - Absoluttemperatur: $\pm 0.35\text{ K}$ @ 10 °C, $\pm 0.6\text{ K}$ @ 60 °C
 - Temperaturdifferenz: $\pm (1 + 12\text{ K} / \Delta\theta) [\% \text{ of } \Delta\theta]$ für $\Delta\theta$ im Bereich 3 K .. 100 K gemäss EN 1434
 $\pm 0.15\text{ K}$ @ 3 K , $\pm 0.22\text{ K}$ @ 10 K, $\pm 0.32\text{ K}$ @ 20 K
- Materialkonstanten: Im Quellenkreis beträgt die Glykolkonzentration 35% [7]
 - Die Dichte wird als konstant angenommen mit 1066 kg/m³ bei 0 °C und einem Fehler von $\pm 0.6\%$, welcher die Abweichungen für $\pm 20\text{ K}$ repräsentiert.
 - Die spezifische Wärmekapazität wird als konstant angenommen mit 3.61 kJ/(kgK) bei 0 °C und einem Fehler von $\pm 1\%$, welcher die Abweichung für $\pm 20\text{ K}$ repräsentiert.
- Aus der Fehlerfortpflanzung ergibt sich für die Leistung $\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$ ein maximaler Fehler von 10.1% bei $\Delta T = 10\text{ K}$, 11.6% bei $\Delta T = 3\text{ K}$,

Stromzähler

Der elektrische Leistungsbedarf wird mit MID-zertifizierten Stromzählern der Klasse B erfasst. Die Eichfehlergrenze liegt im genutzten Bereich bei max. 1.5%

Temperaturfühler

Die Temperaturfühler, mit Ausnahme der in den Wärmezählern eingesetzten Fühler, sind vom Typ PT1000 Klasse B Zweileiter gemäss EN 60751 [6]. Im Temperaturbereich bis 20°C liegt die Genauigkeit bei max. $\pm 0.5\text{ K}$ inkl. Fehler durch den Leitungswiderstand (50 m). Fehler, welche sich durch die Montage (z.B. Tauchhülse) ergeben, sind in obiger Genauigkeit nicht eingerechnet.



3 Vorgehen und Methode

3.1 Projektziele und Erfolgsfaktoren

Für die Verifizierung des Konzepts «Spitzenlastsonde» wurden folgende Erfolgsfaktoren definiert:

Effizienzsteigerung der JAZ von mind. 10% gegenüber dem Referenzsystem «Luft-Wärmepumpe» und «Energieeinsparung (elektrisch) von 19'000 kWh/a, hauptsächlich im Winterhalbjahr».

Die Effizienz und der Strombedarf des Spitzenlastsystems kann aus den Daten des Monitorings ermittelt werden (siehe Messkonzept). Für das Referenzsystem ist dies jedoch nicht direkt möglich. Für den Vergleich werden daher die Messdaten genutzt, um die Simulation zu verifizieren. Anschliessend erfolgt der Systemvergleich auf simulatorischer Basis mit einem monovalenten EWS-System und mit Luft-Wärmepumpen-Systemen in zwei Varianten:

- Luftwärmepumpe mit Direktverdampfer
- Sole-Split-System: dabei werden dieselben Modelle für die Wärmepumpe und den Luftwärmetauscher verwendet, wie im Spitzenlastsystem, die Luftwärmetauscher jedoch grösser ausgelegt.

Die gemessenen und simulierten energetischen Kennzahlen werden mit den Resultaten aus den Wärmepumpen-Feldmessungen des WPZ verglichen.

Weitere Projektziele sind:

Nachhaltiger Sondenbetrieb und optimierte Quellenbewirtschaftung

Bei einem monovalenten Erdwärmesondensystem nach üblicher Auslegung sinken die Sondentemperaturen über die Jahrzehnte des Betriebs langsam ab. Die Belastung der Sonde ergibt sich über den Energiebedarf, leistungsmässig könnten sie in der ersten Zeit stärker belastet werden, da die Grenztemperaturen noch nicht erreicht werden. Beim Spitzenlastsystem werden die Grenztemperaturen jedoch schon viel eher erreicht, bzw. es kann mehr spezifische Leistung entzogen werden, da sie sich energetisch wieder gut erholt, wie in Abbildung 14 rechts schematisch verglichen wird.

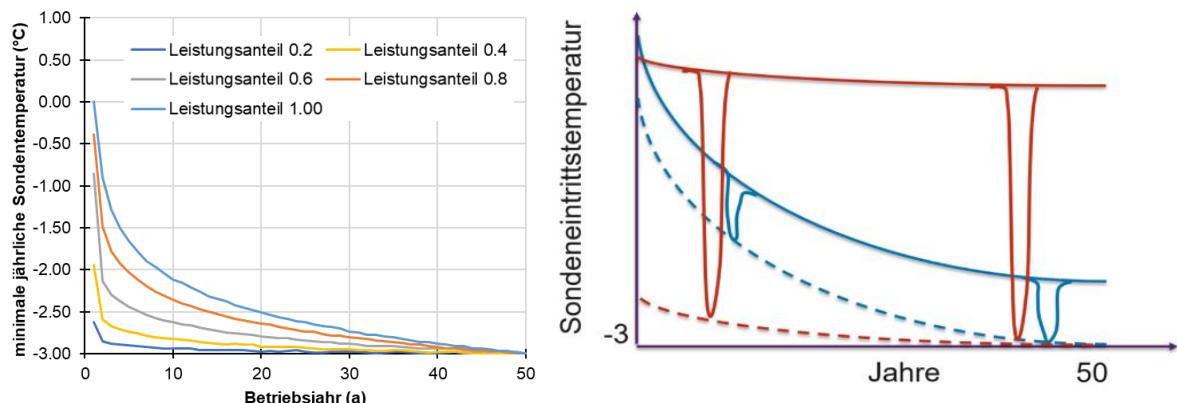


Abbildung 14: Minimale Sondentemperatur über 50 Jahre [1]

Dies führt jedoch dazu, dass die Sonde aktiv bewirtschaftet werden muss, damit die minimale Eintrittstemperatur nicht unterschritten wird und genügend Leistung in den kältesten Tagen zur Verfügung steht. Je kleiner der Leistungsanteil durch die Erdwärmesonden ist, desto stärker können diese belastet werden, was zu einer niedrigeren minimalen Eintrittstemperatur in die Sonden führt, wie in

Abbildung 14 links dargestellt ist. Das Ziel ist die Verifizierung dieses mittels Simulationen ermittelten Verhaltens, welches eine wichtige Grundlage für die Planung solcher Systeme bildet.

Verifizierung des Simulationsmodells

Mit den Daten aus dem Monitoring wird das Simulationsmodell verifiziert. Das Simulationsmodell ermöglicht einerseits den Vergleich mit anderen Systemen und definierten Bedingungen (Nachweis der Erfolgsfaktoren) und andererseits die Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Regelstrategien oder Auslegungsvarianten.

Nachweis der wirtschaftlichen Vorteile gegenüber einem Einquellensystem

Die im P&D-Projekt ermittelten Erstellungs- und Betriebskosten werden den Kosten der oben beschriebenen Vergleichsvarianten gegenübergestellt. Dabei fliessen auch die Erfahrungen aus dem Projekt bezüglich Kostenoptimierung mit ein.



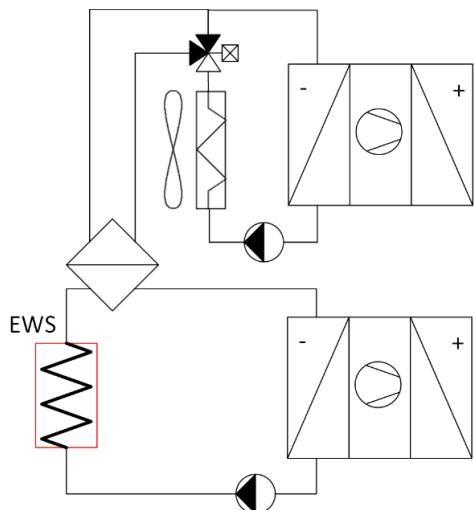
4 Ergebnisse aus den Simulationsstudien

4.1 Hydraulische Konzepte

In der Planungsphase standen zwei hydraulische Konzepte, wie in HP-Source in Abschnitt 5.5.2 beschrieben, zur Debatte:

Separate Wärmepumpen und hydraulische Kreise

Die beiden separaten hydraulischen Kreise werden über einen Plattenwärmetauscher gekoppelt. Im Regenerationsbetrieb wird dieser mittels 3-Wege-Umschaltventil eingekoppelt.



Vorteile:

Klare Trennung der beiden Systeme

- keine Gefahr, dass zu kalte EWS-Eintrittstemperaturen bei kalten Außenluft-Temperaturen auftreten
- Einfache Regelung
- Glykol-Gehalt im EWS-Kreis kann niedriger sein als im Luft-Kreis → Kostensparnis

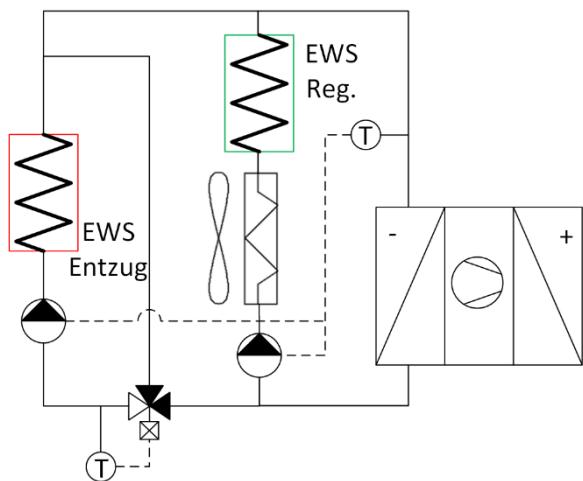
Nachteile:

- Temperaturverlust über den Plattenwärmetauscher
- Leistungsanteile der beiden Systeme sind begrenzt durch die Wärmepumpenleistung
- Ungleichmäßige Laufzeiten

Abbildung 15: Separate Hydraulik für Spitzenlastsonde mit Regeneration [1]

Luft und EWS in einem hydraulischen Kreis integriert

Die beiden Quellen werden im gleichen hydraulischen Kreis auf eine Wärmepumpe (mit mehreren Verdichtern) verbunden. Im Regenerationsbetrieb wird das EWS-Feld mittels Umschaltventilen (nicht eingezeichnet) nach dem Luftpummetauscher eingekoppelt.



Vorteile:

- Leistung einer Quelle ist nicht durch Wärmepumpenleistung begrenzt → mehr Flexibilität
- Nur eine Wärmepumpe nötig
- Kein Grädigkeitsverlust bei der Regeneration → höherer Regenerationsanteil erreichbar

Nachteile:

- Die Sonde muss vor kalten Temperaturen aus dem Luftpummetauscher geschützt werden.
- Regelung, insbesondere der Massenströme, komplexer
- Exergieverlust durch Mischung bei kalten Temperaturen.
- Gesamtleistung der Wärmepumpen bei kalten Temperaturen geringer, da Verdampfereintrittstemperatur geringer.
- Mehr Ventile notwendig (Kosten)

Abbildung 16: Integrierte Hydraulik für Spitzenlastdeckung mit Regeneration. Im Heizbetrieb ist das EWS-Feld in der roten Box eingebunden, im Regenerationsbetrieb in der grünen Box [1]

Aufgrund der weit fortgeschrittenen Planung und der schon getätigten Bestellung der Wärmepumpen zum Zeitpunkt der Projektänderung wurde entschieden, das System als integrierten Kreis aufzubauen. Diese Variante ist auch hydraulisch näher der ursprünglich geplanten Variante mit dem Luftwärmetauscher zur Regeneration.

Der Exergieverlust bei kalten Temperaturen entsteht, wenn die Austrittstemperatur aus der Sonde höher liegt als die Austrittstemperatur aus dem Luftwärmetauscher, d.h. die Quellentemperatur aus der Sonde heruntergemischt wird. Auf die Exergieverluste wird im Abschnitt 4.3 näher eingegangen.

4.2 Quellenbewirtschaftung und Regelstrategien

Die Quellenbewirtschaftung ist essenziell für einen zuverlässigen Betrieb des Systems. Dazu gehören

- Wahl der Leistungsanteile aus den einzelnen Quellen im Heizbetrieb
- Regeneration des Erdreichs
- Abtauung des Luftwärmetauschers
- Boost-Funktion als Fallback, falls das Erdreich an der Belastungsgrenze ist.

4.2.1 Heizbetrieb

Im Heizbetrieb sind die beiden Quellen Luft und Erdreich verfügbar. Die Luft als Grundlast wird dabei immer genutzt. Bei höherem Leistungsbedarf wird das Erdsondenfeld variabel zugeschaltet.

Der Bivalenzpunkt bezeichnet die Bedingung, bei der das Erdsondenfeld zugeschaltet wird. Dieser Umschaltpunkt wird hier jedoch nicht durch statische Bedingungen definiert, sondern verändert sich dynamisch in Abhängigkeit des Leistungsbedarfs des Gebäudes und des Zustands des Sondenfeldes. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, damit die Sonde zugeschaltet wird:

- 1. Bedingung: Aussentemperaturgrenze mit Hysteresis. Liegt die Aussentemperatur oberhalb dieser Grenze, ist die Sonde gesperrt (mit Ausnahme der Regeneration). Unterhalb der Grenze kann die Sonde eingesetzt werden, sofern die weiteren Bedingungen dies erfordern. Einschalten: $T_{amb} < 6^{\circ}\text{C}$, Ausschalten: $T_{amb} > 8^{\circ}\text{C}$
- 2. Bedingung: Die Sondenaustrittstemperaturregelung ergibt einen Sollwert für den EWS-Durchsatz > 0

Die Austrittstemperaturen aus den beiden Quellen hängen vom Leistungsbezug ab, was zu einer gegenseitigen Abhängigkeit führt. Damit lassen sich zwei Extremzonen für die Definition der Leistungsanteile aus den Quellen definieren:

1. Minimale Sondennutzung: Die Luftquelle wird immer so viel wie möglich ausgelastet. Die Erdwärmesonde wird dadurch so gering wie möglich belastet. Die Grenze der Luftquelle kann entweder als fixe Leistung oder durch eine minimale Sole-Austrittstemperatur, welche durch die minimale Verdampfer-Eintrittstemperatur der Wärmepumpe bestimmt wird, definiert werden.
2. Maximale Quellentemperatur: Bei steigendem Heizleistungsbedarf wird der Beitrag der Erdwärmesonde erhöht. Mit zunehmender Leistung aus der Erdwärmesonde sinkt die Austrittstemperatur aus der Sonde. Gleichzeitig steigt die Austrittstemperatur aus dem Luftwärmetauscher, da dieser weniger Leistung liefern muss. Das Optimum ist erreicht, wenn beide Quellen die gleiche Austrittstemperatur erreichen.



Sondenaustrittstemperaturregelung

Für das zweite Szenario wird die Sondenaustrittstemperatur aktiv mittels Aufteilung des Gesamtmassenstroms auf die beiden Quellen geregelt. In der realen Anlage geschieht dies durch die Regelung der EWS-Umwälzpumpe durch einen PI-Regler:

- Istwert: EWS-Kreis-Austrittstemperatur
- Sollwert: LWT-Sole-Austrittstemperatur oder Lufttemperatur mit Korrekturwert für die Berücksichtigung der Grädigkeit des LWT

Der Regler versucht, die Eintrittstemperatur in die Wärmepumpe zu optimieren, ohne dafür jedoch unnötig viel Wärme aus der EWS zu beziehen. Liegt $T_{EWS,out}$ oberhalb $T_{LWT,sek,out}$, besteht ein Potential, um die Quellentemperatur anzuheben. Der Sondenanteil wird erhöht, die Sonde wird mehr belastet. Damit sinkt die Sondenaustrittstemperatur. Gleichzeitig wird der Luftwärmetauscher entlastet und die Austrittstemperatur erhöht sich. So gleichen sich die beiden Temperaturen aneinander an. Die aus momentaner Sicht optimale Aufteilung zwischen den Quellen ist erreicht, wenn beide die gleiche Austrittstemperatur liefern.

Bei längerem Wärmeentzug aus den Sonden sinkt die Erdreichtemperatur. Da die Regelung die Austrittstemperatur konstant hält (bei konstantem Sollwert für die Regelung) wird dadurch die Leistung aus dem Erdreich kontinuierlich reduziert.

Im 2. Szenario werden die Erdwärmesonden deutlich mehr belastet als im 1. Szenario. Mit stärkerem Wärmeentzug aus den Sonden sinkt die Erdreichtemperatur über längere Zeit und damit auch die Austrittstemperatur aus der Sonde. Die Regelung reduziert den Massenstrom durch die Sonden und damit den Leistungsentzug aus dem Erdreich. Dadurch steigt der Leistungsbedarf aus dem Luftwärmetauscher, die Eintrittstemperatur in den Verdampfer sinkt und wird in einer längeren Kälteperiode irgendwann die kritische untere Grenze erreichen. Um solchen Situationen vorzubeugen, müssen Massnahmen getroffen werden.

Mittels Korrekturen des Sollwerts für die Sondenaustrittstemperaturregelung kann diese optimiert und Massnahmen gegen eine Übernutzung getroffen werden:

- **Sondenschutz** (zwingend notwendig): Die minimal zulässige (oder erwünschte) EWS-Eintrittstemperatur definiert zusammen mit der Spreizung die minimal zulässige EWS-Austrittstemperatur.
- **JAZ-Optimierung (optional)**: Der Sollwert kann angehoben werden. Dadurch wird mehr Leistung aus der EWS entzogen, wodurch die WP-Eintrittstemperatur angehoben werden kann. In den Simulationen konnte mit einer generellen Anhebung von 2 K die JAZ um ca. 0.1 angehoben werden. Diese Sollwertanhebung kann auch in Abhängigkeit von weiteren Variablen, z.B. der Aussentemperatur, bestimmt werden oder der Sollwert kann verringert werden um die Sonde gezielt zu entlasten.
- **Reserve für kalte Tage (optional)**: Bei kalten Aussentemperaturen wird durch die Regelung die EWS-Eintrittstemperatur auf den minimal zulässigen Wert abgesenkt (definiert durch den Sondenschutz). Durch den Wärmeentzug aus dem LWT wird erhöht und die WP-Eintrittstemperatur sinkt ab. Dem kann vorgebeugt werden, indem die Sonde bei Beginn einer Kälteperiode nicht komplett ausgereizt wird, sondern die zulässige minimale Sondeneintrittstemperatur zu Beginn der Kälteperiode etwas höher angesetzt und danach über längere Zeit langsam abgesenkt wird. Diese Funktion wurde in der Simulation noch nicht getestet.

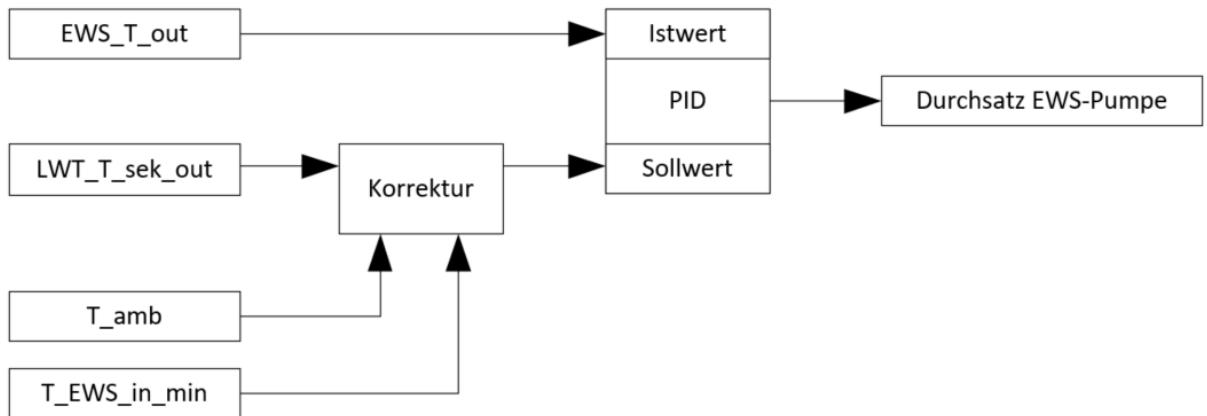


Abbildung 17 Regelstrategie für die Sondentemperatur

Sondenhochhaltung

Die Sondenhochhaltung ist von der restlichen Regelung unabhängig und immer aktiv, wenn die Sonde zugeschaltet wird.

Der Austritt aus der EWS wird über ein Mischventil dem Eintritt beigemischt, wenn die Eintrittstemperatur in den Sondenkreis unter die zulässige minimale Temperatur fällt. Damit wird die Eintrittstemperatur bis auf den Mindestwert angehoben.

Dadurch verändern sich auch die Druckverhältnisse im Sondenkreis und bewirken eine Störung des Sondendurchsatzes. Da jedoch der Bivalenzregler auf die Sondenaustrittstemperatur regelt, sollte diese Störung vom Regler ausgeglichen werden.

4.3 Exergieverluste

In der integrierten Hydraulik werden die Wärmeströme aus den beiden Quellen miteinander gemischt. In diesem Mischungsprozess wird Exergie aus der wärmeren Quelle vernichtet, welche dann in Form von elektrischer Energie in der Wärmepumpe wieder zugeführt werden muss. Die Abbildung 18 zeigt den Exegieinhalt beim Eintritt in den Verdampfer im integrierten System bzw. summiert für die beiden Verdampfer im separierten System. Als Bezugstemperatur wurde die gleitende Außentemperatur angesetzt. Mit einem «perfekten» Luftwärmetauscher mit 0 K Grädigkeit könnte die Wärme aus der Luft ohne Exergieverlust auf den Verdampfer übergeben werden. Da es jedoch eine Grädigkeit gibt, ergeben sich negative Werte im integrierten System. Im separierten System sind die Werte meist positiv, da die Sondenaustrittstemperatur direkt auf den Verdampfer geleitet wird und damit die negative Exergie des Luftwärmetauschers überkompensiert wird. Der grösste Exergieverlust tritt in der Periode zwischen dem 5. und dem 14. Januar auf.

Die Differenz des Exegieinhalt beim Verdampfer für die beiden Systeme beträgt über das Jahr aufsummiert ca. 1.1 MWh. Dies entspricht dem Exergieverlust im integrierten System im Vergleich zum separierten System.

Die Abbildung 19 zeigt die Summenhäufigkeit des Exergieverlustes über ein ganzes Jahr für Außentemperaturen < 5 °C.

Dieser Exergieverlust muss in Form von Strom für die höhere Verdichtung des Kältemittels in das System eingespeist werden.

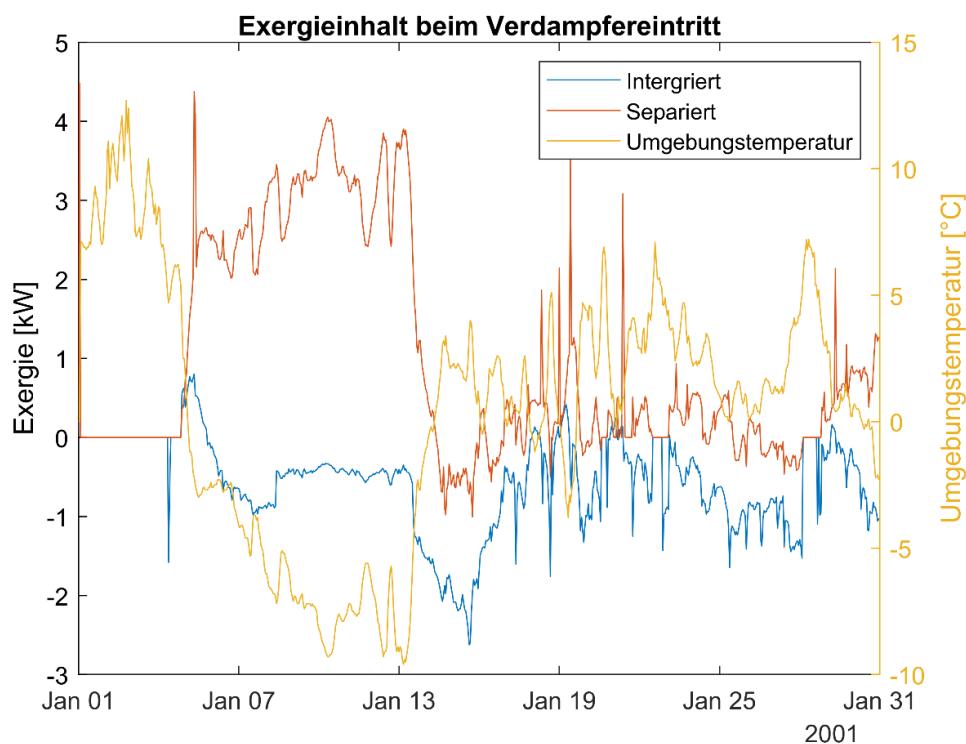


Abbildung 18: Exergieinhalt beim Verdampfereintritt bei Aussentemperaturen $< 5^{\circ}\text{C}$ (EWS-Betrieb aktiviert)

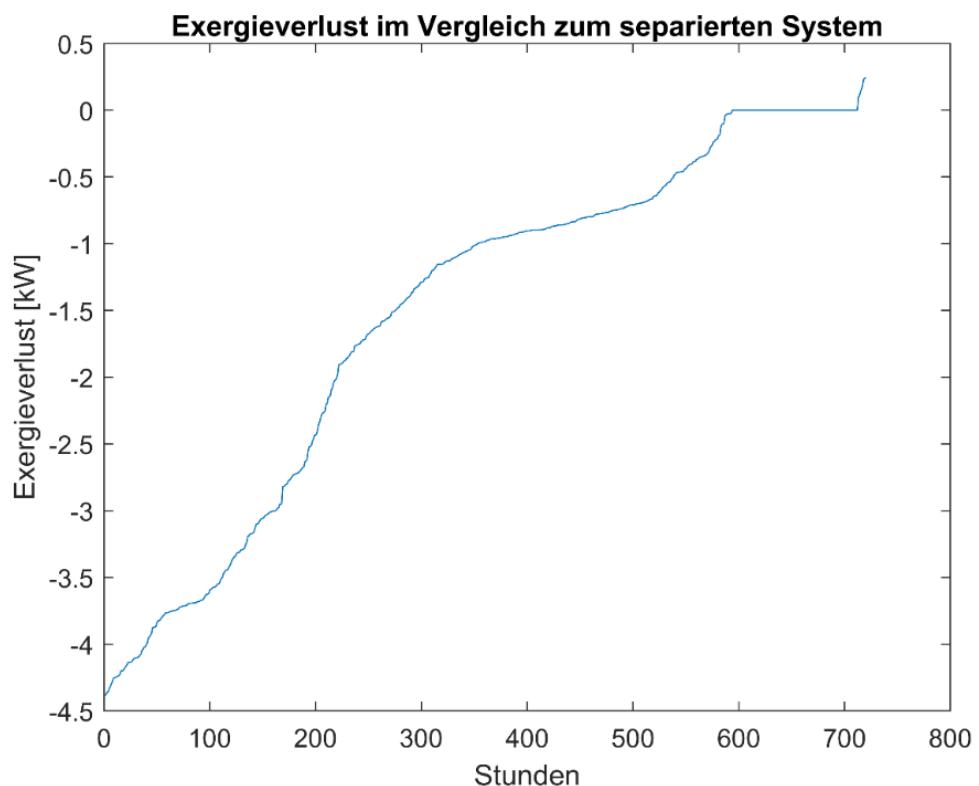


Abbildung 19: Summenhäufigkeit des Exnergieverlustes über ein Jahr.

5 Ergebnisse aus dem Monitoring

Die Anlage ist seit dem Mai 2024 in Betrieb, so dass bisher nur Messdaten des Sommerbetriebs, also Warmwasserbetrieb und Regeneration des Erdwärmesondenfeldes vorliegen.

5.1 Regeneration

Für den ersten Sommerbetrieb wurde die Regeneration im Haus 8 ausgeschaltet, um zu untersuchen, ob im ersten Betriebswinter schon Unterschiede zwischen den beiden Anlagen mit und ohne Regeneration zu erkennen sind. Seit Inbetriebnahme wurde insgesamt 14.4 MWh (bis 7.10.2024) in das EWS-Feld eingespeist und 2.6 MWh (bis 7.10.24) entnommen. Die Abbildung 20 zeigt den Eintrag in das EWS-Feld durch die Regeneration in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur für den Zeitraum vom 15. Juli bis zum 7. September. Danach erfolgte ein Kälteeinbruch und der Regenerationsertrag sank auf 0.

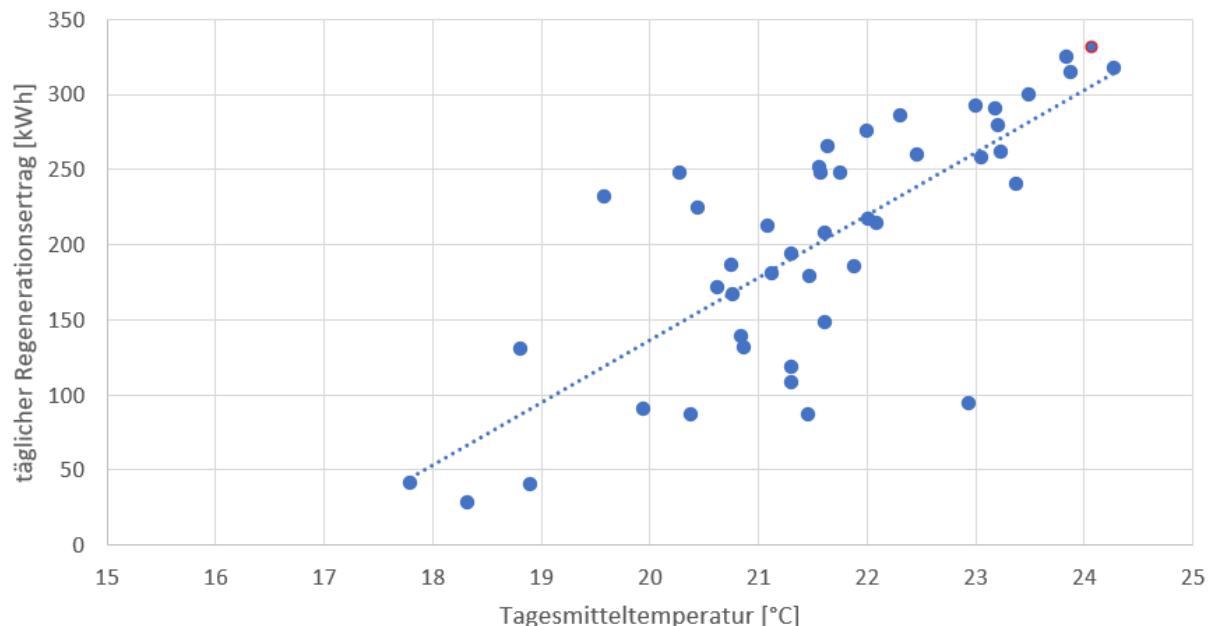


Abbildung 20: Tages-Regenerationsertrag in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur für Haus K6

Die Abbildung 21 zeigt den Verlauf der Vor- und Rücklauftemperaturen aus dem Sondenfeld während der Regeneration am 11. August 2024. Die kurzen Einbrüche sind durch die Warmwasserladung bedingt. Der Energieertrag an diesem Tag beträgt 331 kWh, die mittlere Außentemperatur 24.07 °C (rot markierter Punkt in Abbildung 20).

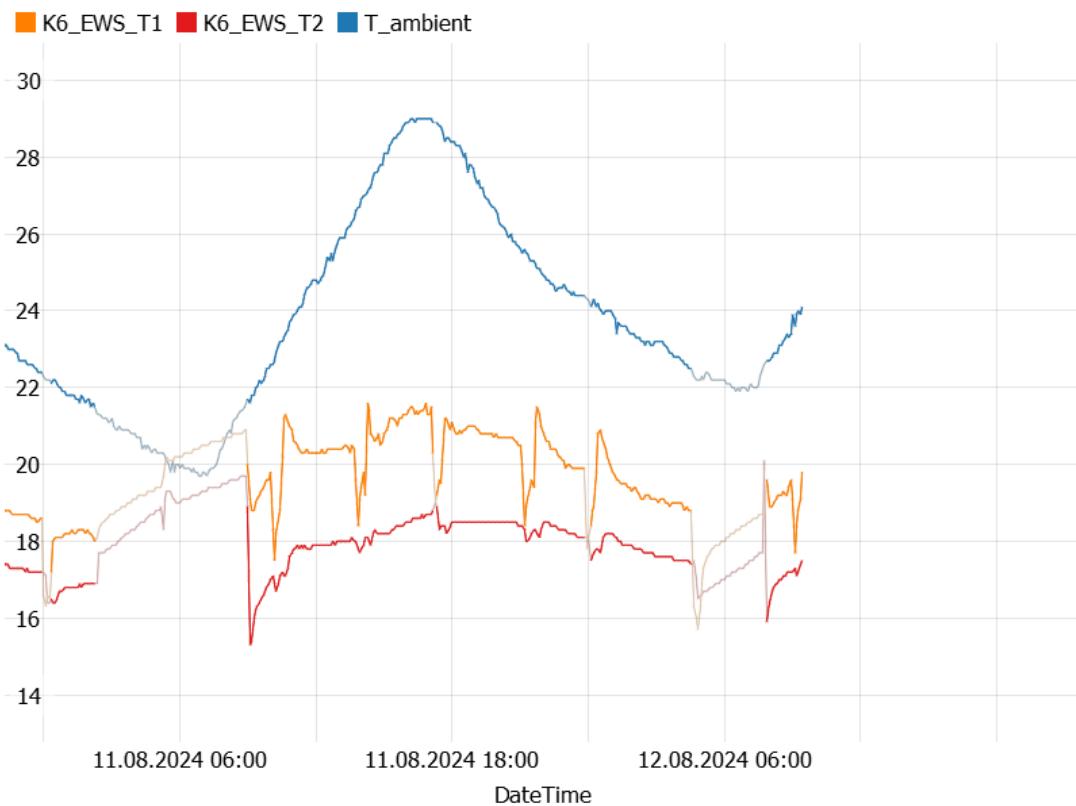


Abbildung 21: Vor- (T1) und Rücklauftemperaturen (T2) aus dem EWS-Feld während der Regeneration.
Ausgegraut: kein Massenstrom (keine Leistung)

6 Propan als Kältemittel

Propan (R290) gewinnt zunehmend an Bedeutung als umweltfreundliches Kältemittel in der Kältetechnik. Im Gegensatz zu herkömmlichen fluorierten Kältemitteln, die oft hohe Treibhauspotenziale (GWP) aufweisen und zur globalen Erwärmung beitragen, hat Propan ein sehr niedriges GWP von nur 3. Dies macht es zu einer attraktiven Alternative im Kampf gegen den Klimawandel. Zudem ist Propan ein natürlich vorkommendes Kohlenwasserstoffgas, das keine ozonschädigenden Eigenschaften besitzt, was es besonders umweltverträglich macht.

Ein weiterer Vorteil von Propan ist seine hohe thermodynamische Effizienz und die Möglichkeit, höhere Kondensationstemperaturen zu erreichen, was den Einsatz im Heizungsersatz oder bei der Warmwasseraufbereitung begünstigt. Trotz seiner brennbaren Eigenschaften, die besondere Sicherheitsvorkehrungen erfordern, wird Propan aufgrund seiner Umweltvorteile und technischen Leistungsfähigkeit zunehmend in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. In der Gebäudeheizung sind aussen aufgestellte Luftwärmepumpen mit Propan sehr stark im Kommen. Innenaufgestellte Sole-Wärmepumpen mit Propan haben noch eine deutlich geringere Verbreitung, da die Sicherheitsmassnahmen aufwändiger sind als bei Aussenaufstellung.

6.1 Sicherheitskonzept

In diesem Abschnitt wird auf die für das Projekt «im Kehl» umgesetzten Sicherheitsvorkehrungen und insbesondere auf die Erfahrungen und Learnings in der realen Umsetzung eingegangen.

Das Sicherheitskonzept stützt sich auf folgende Normen/Vorschriften:

- EN 378, Teil 1-4 von 2017 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen [8]–[11]
- Dokument SUVA 66139 von August 2018 [12]

Beide Normen sind zwar inzwischen in einer neueren Version verfügbar, Änderungen der Norm nach Auftragerteilung bis Bauabnahme sind jedoch nicht beeinflussbar.

Empfehlung: Die Leistungserbringung für die Abnahme beruht auf den zum Zeitpunkt der Auftragerteilung gültigen Normen.

Das Konzept lässt sich in verschiedene Typen von Massnahmen unterteilen:

- Technische Massnahmen (T)
- Bauliche Massnahmen (M)
- Organisatorische Massnahmen (O)

Das vollständige Sicherheitskonzept ist im Anhang 11.1 aufgeführt.

6.1.1 Technische Massnahmen

Die Wärmepumpe ist in einem belüfteten Aufstellungsraum montiert. Zusätzlich ist der Kältekreis in einem separaten belüfteten Gehäuse untergebracht.

Ein Lüfter (EX-geschützt) saugt die Luft aus dem Gehäuse und dem Raum, d.h. es herrscht steht ein Unterdruck im Gehäuse gegenüber dem Raum und im Raum gegenüber dem Gang. Der Unterdruck im belüfteten Gehäuse wird überwacht. Zusätzlich wird der Luftdurchsatz überwacht.

Eine stetig regelnde Klappe mit Federrückzugsantrieb in der Zuluftöffnung des Gehäuses regelt den Unterdruck auf mind. 20 Pa.



Ein Kältemitteldetektor überwacht die Propankonzentration im Gehäuse und löst bei Überschreiten von 20% UEG¹ den Havariefall aus.

Weitere Massnahmen sind notwendig, damit im Falle einer Leckage innerhalb der Wärmetauscher (Verdampfer und Kondensator) das Propan, welches in den Quellen- oder den Senkenkreis eindringt, nicht über das Sicherheitsventil oder automatische Entlüfter in die Räume gelangen kann. Dafür gibt es Installationsvorgaben:

- Keine automatischen Entlüfter
- Sicherheitsventile im Heizkreis und im Solekreis sind mit einer Abblasleitung ins Freie zu führen. Diese Leitung musste im Projekt «im Kehl» nachträglich noch eingebaut werden. Da auch Flüssigkeit frei wird, wenn das Sicherheitsventil anspringt, kann die Abblasleitung nicht in die Abluftleitung geführt werden. Alternativ könnte die Abblasleitung ins belüftete Gehäuse in einen Behälter führen.

Zur besseren Abscheidung im Falle einer Leckage von einem Wärmeübertrager ist die Nutzung eines Zyklonabscheiders denkbar, welcher auch das Propan aus dem Wasser abscheiden kann. Die Abluftleitung des Zyklonabscheiders muss dann in das belüftete Gehäuse führen, von wo sie dann aus dem Gebäude gebracht wird. So wird Kältemittel, welches aus dem Zyklonabscheider abgeschieden wird, ebenfalls vom Gassensor erfasst.

6.1.2 Bauliche Massnahmen

Die Abluftleitung aus dem Gehäuse muss an einen Ort geführt werden, wo das Propan keinen Schaden anrichten kann. Die Entlüftung des Aufstellungsraumes erfolgt über das belüftete Gehäuse. Der Zuluft-einlass in den Aufstellungsraum ist so zu platzieren, dass eine gute Durchströmung des Aufstellungsraumes im Bodenbereich erreicht wird, da Propan schwerer ist als Luft und sich im Falle einer Leckage am Boden sammelt. Dies muss auch beim Auslass berücksichtigt werden, damit sich das Propan nicht unter dem Auslass in einer Senke sammeln kann. Der Lufтаuslass kann sich nahe dem Boden befinden, es muss jedoch beachtet werden, dass er nicht verdeckt werden kann (z.B. Schnee oder Gegenständen).

Es ist zu beachten, dass die ganze Abluftleitung im Unterdruck gehalten wird, daher wurde der Lüfter am Ende der Leitung, direkt vor dem Lufтаuslass, platziert und mit einem Insektenschutzgitter geschützt. Die ganze Abluftleitung ist metallisch auszuführen und zu erden.

Für dieses Projekt wurde eine Sicherheitszone (EX-Zone) von 3 m um den Auslass ausgelegt. In dieser Zone dürfen sich keine Fenster oder Zündquellen (z.B. Lichtschalter) befinden. Wenn das Propan ausströmt, vermischt es sich sehr schnell mit Luft, so dass es zu keinem zündfähigen Gemisch kommt.

Im Bereich um den Lufтаuslass dürfen sich Personen aufhalten, allerdings sind Zündquellen verboten (z.B. Rauchen), analog den Vorschriften an Tankstellen. Die Zone muss mit einer Warnhinweis und Verbotszeichen markiert werden,

6.1.3 Organisatorische Massnahmen

Die organisatorischen Massnahmen umfassen die verschiedenen Prozesse von der Planung bis zur Entsorgung.

Planung

Das Sicherheitskonzept muss schon in einer frühen Planungsphase erstellt werden. Daraus leitet sich eine Risikobeurteilung ab, welche die Vorgaben durch die relevanten Normen und die konkrete

¹ UEG: Untere Explosionsgrenze. Unterhalb der unteren Explosionsgrenze ist ein Luft-Gas-Gemisch nicht entzündlich.

Umsetzung berücksichtigt. Die Risikobeurteilung wird laufend nachgeführt und mit Planer, Installateur und Architekt abgesprochen.

Installation und Inbetriebsetzung

Bei der Installation der Wärmepumpe muss sichergestellt werden, dass das Propan erst in das Gebäude kommt, wenn die Lüftung installiert und in Betrieb ist. Das Gerät ist daher getrennt in mehreren Einheiten (Leistungsmodul mit Kältekreisen mit belüftetem Gehäuse, Hydraulikmodul und Schaltschrank).

Die bevorzuge Variante ist der Einbau der Kältekreise in das Leistungsmodul, nachdem sämtliche anderen Anlagen installiert und die Lüftung in Betrieb genommen worden ist. Dies erfordert jedoch genügend Platz um die Anlage, um die Kältekreise einbringen zu können. Beim Heizungsersatz ist dies wegen beengter Platzverhältnisse oft nicht der Fall, wie auch in dieser Anlage. Bei Platzmangel besteht die Gefahr, dass die Kältekreise beim Transport beschädigt wird.

In der Anlage «Im Kehl» wurden daher die Kältekreise im Werk mit Stickstoff gefüllt. Die Befüllung mit Propan erfolgte dann auf der Anlage nach Inbetriebnahme der Abluftanlage. Diese Variante hat den Nachteil, dass auf der Anlage mit dem Propan hantiert werden muss.

Vor der Inbetriebsetzung muss sichergestellt werden, dass die Gehäusebelüftung, die Abluftanlage und die Sicherheitsüberwachung betriebsbereit sind und der Fernzugriff vorhanden ist.

Betrieb

Der Aufstellungsraum ist nur für befugte Personen zugänglich.

Wartung

Sämtliche Unterhaltsarbeiten dürfen nur von geschultem Personal vorgenommen werden. Der Betreiber ist verpflichtet, den Unterhalt und Wartung der Anlage zu organisieren und die zuständigen Fachfirmen aufzubieten sowie die Vorgaben gemäss ChemRRV [2] und EN378-1 bis 4 einzuhalten.

Ausserbetriebsetzung

Bei der Ausserbetriebsetzung muss der Kältekreis vor dem Abschalten der Abluftanlage zuerst vollständig entleert, vakuumiert und mit Stickstoff gespült werden. Das Kältemaschinenöl im Verdichter kann nach dem Absaugen noch mit Kältemittel angereichert sein und ausgasen. Die entleerten, offenstehenden Kältekreise dürfen nur im Freien aufbewahrt werden.

6.1.4 Umgang mit Störfällen

Havariefall (Kältemittelleckage)

Im Havariefall (ausgelöst durch den Gassensor bei Überschreiten von 20% UEG) wechselt die Anlage in einen sicheren Betriebszustand. Alle Geräte, bis auf die Sicherheitsüberwachung, werden vom Netz getrennt. Die Trennung erfolgt im Schaltschrank, welcher sich im Aufstellungsraum ausserhalb des belüfteten Gehäuses befindet. Dabei werden folgende Massnahmen getroffen:

- Primärer Schutz gegen die Bildung einer zündfähigen Atmosphäre
 - Dauerhafter Luftwechsel: Abluftventilator auf maximaler Stufe, Zuluftklappe komplett geöffnet (stromlos mit Federrückzug)
 - Stromlosschaltung sämtlicher nicht für die Sicherheitsfunktionen geltenden Geräte
- Sekundärer Schutz gegen mögliche Zündquellen
 - Heisse Oberflächen dürfen maximal 140 °C warm sein (auch im Normalbetrieb)
 - Stromlosschaltung sämtlicher nicht für die Sicherheitsfunktionen geltenden Geräte
 - Geräte, welche bei Gasalarm an Spannung bleiben sind, Gerätekategorie EX-Klasse 3G oder höher.



- Alarmmeldung
 - Akustisches Signal an der Anlage
 - Warn-Signaltafel im und ausserhalb des Aufstellungsraum
 - Eintragung des Alarms im Anlagen-Log (Logbuch)
 - E-Mail-Meldung

Die Havarie kann nur manuell an der Anlage quittiert werden, sofern der Grenzwert am Gassensor 20% UEG wieder unterschritten hat. Diese manuelle Quittierung der verriegelten Störung an der Anlage ist nur durch befugte Personen erlaubt.

Bei der Überprüfung und Behebung des Havariefalls durch die zuständige Fachfirma gilt das 4-Augen-Prinzip. Die Wiederaufnahme des Betriebs ist auch vom Betreiber freizugeben.

Not-Abschaltung

Die Anlage wird mit je einem Not-Aus-Taster bei der Tür zum Aufstellungsraum und bei der Energiezentrale ausgestattet. Bei Betätigung der Not-Abschaltung mit der verriegelnden Not-Aus-Taste wird die gleiche Abschaltung der Anlage wie im Havariefall ausgelöst.

Die Quittierung erfolgt durch das Lösen des Not-Aus-Taster und Quittierung des anstehenden Gasalarms (Fehlalarm). Sofern keine andere Störung ansteht, darf die Anlage wieder im Normalbetrieb arbeiten.

6.1.5 Vollzug

Das Sicherheitskonzept muss von der Feuerpolizei genehmigt werden. Die Erfahrung im Projekt hat gezeigt, dass ein frühzeitiger und transparenter Austausch (umfangreiche Unterlagen) mit der Feuerpolizei hilft, Unklarheiten und damit verbundene Verzögerungen zu minimieren. Brandschutz ist einerseits Sache der Kantone, es gelten nicht in allen Kantonen exakt die gleichen Regeln. Andererseits gibt es auch einen gewissen Ermessensspielraum innerhalb der kantonalen Regeln, was dazu führt, dass einzelne Situationen von unterschiedlichen Brandschutzbeauftragten unterschiedlich beurteilt werden. Zu Anfang des Projekts gab es einen Wechsel des Brandschutzbeauftragten von einer internen Person beim Kt. Aargau zu einer externen Person, was zu Diskrepanzen in der Beurteilung führte. Diese konnten dank der detaillierten Dokumentation jedoch behoben werden.

Nach Abschluss der Arbeiten wird eine Übereinstimmungserklärung von einem anerkannten Brandschutzexperten benötigt.

7 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Durch die Lieferverzögerungen der Wärmepumpen konnte die Anlage erst im Frühjahr 2024, statt wie geplant im Herbst 2023 in Betrieb genommen werden. Um drei Heizperioden zu messen wird daher im Rahmen des Reviews diskutiert, das Projekt bis ins 2027 zu verlängern.

Das Monitoring konnte nicht wie geplant gleich nach der Inbetriebnahme in vollem Umfang aufgenommen werden, da sich das Auslesen der Daten aus dem Trending der Steuerung als umständlich und fehleranfällig herausgestellt hat. Für die Datenaufzeichnung mit dem Raspberry-Pi musste der Python-Code angepasst werden, was zu weiteren Verzögerungen geführt hat. So ist dieses System erst seit 1. Oktober in Betrieb. Trotz dieser Schwierigkeiten konnten erste Daten zum Betrieb der Regeneration gesammelt und ausgewertet werden. Im Weiteren wurden verschiedene Betriebsparameter durch den Wärmepumpenlieferant über den Fernzugriff angepasst.

| | 2023 | | | | 2024 | | | | 2025 | | | | 2026 | | | |
|------------------------------------|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|
| Quartal | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| AP0: Projektmanagement | | | | | | | | B | | | | | | | | B |
| AP1: Auslegung | B | | | | | | | | | | | | | | | |
| AP2: Planung | B | | | | | | | | | | | | | | | |
| AP3: Messkonzept | B | | | | | | V | | | | | | | | | |
| AP4: Installation und IBN | | B | | | | V | | | | | | | | | | |
| AP5: Monitoring / Erfolgskontrolle | | | | | | | V | | | | | | | | | |
| AP6: Betriebsoptimierung | | | | | | | | B | | | | V | | | | |
| AP7: Auswertung Propan-WP | | | | | | | | B | | | | | | | | |
| AP8: Dissemination | | | | | | | | B | | | V | | | | | |

8 Weiteres Vorgehen

Die laufende Heizperiode wird kontinuierlich überwacht und die Betriebsdaten aufgezeichnet. Der Schwerpunkt für diese Heizperiode liegt in einem stabilen Betrieb der Bivalenzregelung und der Optimierung des allgemeinen Betriebs wie z.B. der Warmwasseraufbereitung und der Abtauung des Luftwärmetauschers. Im Weiteren werden die gewonnenen Daten genutzt, um die Simulationsmodelle zu überprüfen und allenfalls anzupassen.



9 Publikationen

Da noch keine Messdaten aufgenommen wurden, sind noch keine umfangreichen Publikationen erfolgt. Nichtsdestotrotz wurden eine Projektübersicht als Poster und Kurzbetrag im Tagungsband an der 30. BFE Wärmepumpentagung [13] präsentiert. Eine weitere Präsentation wurde im Rahmen des Carnot-User meeting in Muttenz gehalten, da die Voruntersuchungen mit der Carnot-Toolbox unter Matlab Simulink durchgeführt wurden [14]

10 Literaturverzeichnis

- [1] Wemhoener C., Meier C., Buesser C., and Baetschmann M., "HP-Source: Integrationsmöglichkeiten von Wärmequellen," Rapperswil, 2023.
- [2] *Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen*, 2015.
- [3] Bosshard, I., Troxler, M., Guliyeva, A., Kelevitz, K., Haller, Michel, Meier, Christoph, Werro, M., Wemhöner, C., Novoa-Herzog, R., and Holmuller, P., "OptiPower: Untersuchung der optimalen Auslegung der Leistung von Heiz- und Kühlsystemen für Wohn- und Verwaltungsgebäude," Schlussbericht, 2023.
- [4] SIA 2024:2015. Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik.
- [5] *Richtlinie 2004/22/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Messgeräte*: Europäische Union, 2004.
- [6] SN EN IEC 60751. Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren.
- [7] "Antifrogen N: Datenblatt," 2004.
- [8] SN EN 378-1. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen - Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien.
- [9] SN EN 378-2. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen - Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation.
- [10] SN EN 378-3. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen - Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen.
- [11] SN EN 378-4. Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen - Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung.
- [12] 66139. Kälteanlagen und Wärmepumpen sicher betreuen.
- [13] Wemhoener C. and Meier C., "P&D RenoSource - Mehrquellen-Wärmepumpensysteme für den Wärmeerzeugersatz mit Erdwärmesonden zur Spitzenlastdeckung," In *Tagungsband der 30. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kältetechnik des Bundesamts für Energie BFE*.
- [14] Meier C. and Wemhoener C., *RenoSource - P&D Project for dual source heat pump: Carnot User Meeting 2024*. Muttenz, Schweiz, 2024.

11 Anhang

11.1 Sicherheitskonzept

Betriebsanleitung



Funktionsbeschreibung / Sicherheitskonzept 10/2023

SWISSHEAT Energiezentralen mit brennbarem Kältemittel
Im Kehl 6+8, 5400 Baden



Musterbild



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| 1 Einleitung | 3 |
| 2 Zweck des Sicherheitskonzepts..... | 3 |
| 2.1 Normen..... | 3 |
| 3 Signalisationen..... | 3 |
| 3.1 Warnhinweise | 3 |
| 3.2 Gefahren | 3 |
| 3.3 Schutzausrüstung | 3 |
| 3.4 Begriffe/Abkürzungen..... | 3 |
| 4 Installationsvorschriften | 4 |
| 4.1 Allgemein | 4 |
| 4.2 Belüftetes Gehäuse..... | 4 |
| 4.3 Installationsvorgaben | 4 |
| 5 Öffentliche Voraussetzungen | 4 |
| 5.1 Betreiber der Anlage | 4 |
| 5.2 Brandalarm..... | 4 |
| 6 Herstellung/Lieferung/Montage/Inbetriebsetzung | 5 |
| 6.1 Lieferung | 5 |
| 6.2 Stillstand bis zur Inbetriebsetzung | 5 |
| 6.3 Inbetriebsetzung..... | 6 |
| 7 Normalbetrieb..... | 7 |
| 7.1 Funktionsbeschreibung Normalbetrieb | 7 |
| 7.2 Warnung im Normalbetrieb | 7 |
| 7.3 Funktionsbeschreibung bei Warnung im Normalbetrieb | 7 |
| 7.4 Warnmeldung/Signalisation | 7 |
| 7.5 Quittierung der Warnmeldung | 7 |
| 7.6 Alarmierung im Normalbetrieb | 7 |
| 7.7 Funktionsbeschreibung bei Alarmierung im Normalbetrieb | 7 |
| 7.8 Alarmmeldung/Signalisation | 8 |
| 7.9 Quittierung im Normalbetrieb | 8 |
| 7.10 Wartung und Unterhalt im Normalbetrieb | 8 |
| 8 Havariefall | 9 |
| 8.1 Alarmierung im Havariefall | 9 |
| 8.2 Primärer Schutz gegen Bildung einer zündfähigen Atmosphäre | 9 |
| 8.3 Sekundärer Schutz gegen mögliche Zündquellen | 9 |
| 8.4 Alarmmeldung/Signalisation | 9 |
| 8.5 Quittierung nach Havarie | 9 |
| 8.6 Funktionsbeschreibung bei Havarie..... | 9 |
| 8.7 Verhalten bei Havarie..... | 10 |
| 8.8 Massnahmen über Fernwartung | 10 |
| 8.9 Massnahmen vor Ort..... | 10 |
| 8.10 Servicearbeiten nach Havariefall | 10 |
| 9 Not-Abschaltung | 11 |
| 9.1 ALARM bei Not-Abschaltung | 11 |
| 9.2 Warnmeldung/Signalisation | 11 |
| 9.3 Funktionsbeschreibung Not-Abschaltung | 11 |
| 9.4 Quittierung nach Not-Abschaltung | 11 |
| 10 Ausserbetriebsetzung/Entsorgung | 12 |
| 11 Anhang | 12 |
| 11.1 Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290 | 12 |
| 12 Prinzipschema Sicherheitskonzept (Beispiel) | 13 |

1 Einleitung

Im Hinblick auf den Klimaschutz wird die Wende vom synthetischen hin zu den natürlichen Kältemitteln unumgänglich sein. Bion Bauhaus AG hat sich zum Ziel gesetzt diesen Trend ebenfalls aktiv zu unterstützen und mit guten Lösungen die Risiken durch zuverlässige Sicherheitseinrichtungen beherrschbar zu machen. Durch die jahrelange Verwendung von Sicherheitskältemitteln ist teils auch eine nachlässige Praxis auf Leckagen entstanden, wo es jetzt gilt mit durchdachten Vorkehrungen, guten Schulungen und strengen Regelungen das Vertrauen in die «Kältemittel-Wende» zu gewinnen.

2 Zweck des Sicherheitskonzepts

Dieses Dokument soll die Vorkehrungen beschreiben, welche für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb einer Anlage mit brennbarem Kältemittel sorgt.

Die Wärmepumpenanlage wird in einem Maschinenraum mit eingeschränkter Zugänglichkeit installiert. Die Wärmepumpe/Kühlanlage wird mit brennbarem Kältemittel betrieben. Das Kältemittel befindet sich in mehreren Kältekreisläufen innerhalb von einem Maschinengehäuse. Das Maschinengehäuse wird als belüftetes Gehäuse an eine mechanische Abluftanlage angeschlossen.

2.1 Normen

- EN378-1 bis 4:2017 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
- Dokument SUVA 66139 / August 2018

3 Signalisationen

3.1 Warnhinweise



Achtung Feuergefahr



Zutritt für Unbefugte verboten



keine offenen Flammen



Rauchverbrot

3.2 Gefahren



Freigesetztes Kältemittel kann bei schnellem Austreten Erfrierungen bewirken

3.3 Schutzausrüstung



Diese Schutzausrüstungen sind bei der Anlagendokumentation hinterlegt.

3.4 Begriffe/Abkürzungen

Erklärung der Begriffe und Abkürzungen die in diesem Dokument verwendet sind.

- UEG: unter Explosionsgrenze
- LFL: lower flammability limit



4 Installationsvorschriften

4.1 Allgemein

Die Voraussetzungen zur Aufstellung und Installation werden im Voraus mit der Planung durch eine Risikobeurteilung festgelegt

Der Aufstellungsraum ist kein Personenaufenthaltsraum und darf nur von Fachpersonen mit einer Zutrittsbewilligung betreten werden.

Sämtliche Unterhaltsarbeiten dürfen nur von geschultem Personal durchgeführt werden. Das Öffnen vom Maschinengehäuse ist nur durch geschultes Personal gestattet.

Arbeiten mit offenen Flammen ist nur mit permanenter Überwachung der Gaskonzentration erlaubt.

Dieses Dokument ist nur im Zusammenhang mit der Bedienungsanleitung der Anlage gültig.

4.2 Belüftetes Gehäuse

Das Sicherheitskonzept des belüfteten Maschinengehäuse beruht auf nachstehender Voraussetzung und Ausführung:

- Belüfteter Aufstellungsraum
- Separates Maschinengehäuse für die Leistungsstufen mit den kältetechnischen Komponenten
- Maschinengehäuse ist nur für sachkundiges Personal zur Inspektion, Instandhaltung und Instandsetzung zugänglich.
- Überwachung Innenraum mit Kältemitteldetektoren
- Geregelter Lüfter mit Drucküberwachung Innenraum / Aufstellungsraum
- Geregelte Luftklappe mit mechanischem Federrückzug
- Überwachung Luftdurchsatz mit Luftstrom Messumformer

4.3 Installationsvorgaben

Bei Anlagen mit einem Füllinhalt <5 kg pro Kältekreis sind im Aufstellungsraum nachstehende Massnahmen in der hydraulischen Installation vorzusehen:

- Keine automatischen Entlüfter
- Die Sicherheitsventile für den Heizkreis und den Solekreis sind mit einer Abblasleitung ins Freie zu führen
- Die Abblasleitungen müssen so angelegt werden, dass sie sich im Freien selbsttätig entleeren um ein Einfrieren zu verhindern
- Warnschilder und Not-Austasten müssen nach Vorgaben installiert werden

5 Öffentliche Voraussetzungen

5.1 Betreiber der Anlage

Der Anlagenbetreiber ist verpflichtet, die Vorgaben gemäss ChemRRV und EN378-1 bis 4 einzuhalten sowie den Unterhalt und Wartung der Anlage zu organisieren und die zuständigen Fachfirmen aufzubieten.

5.2 Brandalarm

Die Massnahmen bei Brandalarm im Gebäude sind mit den zuständigen Stellen (Feuerwehr) festzulegen.

6 Herstellung/Lieferung/Montage/Inbetriebsetzung

Das Anlagenkonzept der Swissheat Energiezentrale besteht aus nachstehenden Anlageteilen, die normalerweise zusammen in einem Gehäuse verbaut werden:

- Leistungsteil (Leistungsstufen = Kältekreise mit je einem Verdampfer/Verflüssiger/Verdichter)
- Hydraulik Modul mit allen Einbauten für Wärmegewinnung / Heizen / Kühlen / WRG
- Schaltschrank mit Leistungsteil Kompressoren und Regulierung Leistungsstufen, Wärmegewinnung, Kühlen (FRC/AKK), Ladung WSP, Ladung BWW

In Zusammenhang mit dem brennbaren Kältemittel wird der Leistungsteil in einem belüfteten Gehäuse (Maschinengehäuse) verbaut. Das Hydraulik Modul mit Schaltschrank als separate Einheit wird vom Maschinengehäuse entkoppelt daneben aufgestellt. Es kann aber auch dezentral, z.B.: im Raum neben dem Aufstellungsraum des Leistungsteils aufgestellt werden.

Die Gehäusegrösse der Energiezentrale mit Maschinenraum, Hydraulik Modul und Schaltschrank ist den technischen Datenblatt zu entnehmen. Weitere Details sind in der Produktbeschreibung der Energiezentrale enthalten.

6.1 Lieferung

Die Lieferung und Montage der Anlage im Maschinenraum stellt eine besondere Herausforderung dar. Daher werden in diesem Dokument nachfolgende drei Möglichkeiten beschrieben:

Lieferung mit Schutzgasfüllung

Bei der Lieferung der Anlage sind alle Kältekreisläufe mit Stickstoff vorgefüllt. Das Kältemittel wird erst nach Inbetriebnahme der Abluftanlage mit dem Kältemittel gefüllt.

Lieferung ohne Kältekreisläufe

Die Anlage wird ohne Kältekreisläufe geliefert und aufgebaut. Die vorgefüllten Kältekreisläufe werden erst nach Inbetriebnahme der Abluftanlage eingebaut. (Organisatorisch)

Lieferung mit provisorischer Abluftanlage

Die Anlage wird mit fertig gefüllten Kältekreisläufen geliefert und montiert. Während der Montage wird eine provisorische Abluftanlage betrieben.

6.2 Stillstand bis zur Inbetriebsetzung

Lieferung mit Schutzgasfüllung

Wird die Lieferung mit Schutzgasfüllung durchgeführt, sind keine speziellen Vorkehrungen zu treffen.

Lieferung ohne Kältekreisläufe

Wird die Lieferung ohne Kältekreisläufe durchgeführt, sind keine speziellen Vorkehrungen betreffend Sicherheit zu treffen. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Kreisläufe nachträglich in die Anlage eingebaut werden können. Entsprechende Durchgangswege und Zugänglichkeiten für Material und Hebewerkzeug muss vorhanden sein.

Lieferung mit provisorischer Abluftanlage

Wird die Anlage mit fertig gefüllten Kältekreisläufen geliefert, muss eine provisorische Abluftanlage mit Gasüberwachung installiert werden. (Fehlalarme können auftreten während Bauphase).



6.3 Inbetriebsetzung

Die Inbetriebsetzung der Anlage darf nur durch die Herstellerfirma (Bion Bauhaus AG) durchgeführt werden.

Sämtliche Installationsarbeiten im Maschinenraum müssen fertig abgeschlossen sein. Der Wärmege-
winnungs- und Ladekreis muss mit dem entsprechenden Medium gefüllt und entlüftet sein.

Bevor die Anlage in Betrieb gehen kann, müssen alle Funktionen der Abluftanlage und Sicherheitsüber-
wachung geprüft und betriebsbereit sein.

Es ist zwingend, dass ein Fernzugriff auf die Anlage zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme vorhanden ist.

- Lieferung der Anlage gemäss Abschnitt 6.1
- Belüftung Maschinengehäuse auf Luftmenge, Dichtheit und Druckdifferenzmessung prüfen
- Sicherheitsüberwachung prüfen
- Abluftanlage betriebsbereit
- Fernzugriff vorhanden

7 Normalbetrieb

Im Normalbetrieb ist die Anlage mit der Sicherheitseinrichtung im dauerhaften Überwachungsmodus.

Überwacht werden:

- Gaskonzentration im Gehäuse
- Unterdruck im Gehäuse (min. 20Pa)
- Rückmeldung Betrieb Lüfter
- Vorhandener Luftstrom im Abluftkanal

Die Luftmenge wird auf einen minimalen Wert geregelt, dieser wird bestimmt durch den Unterdruck im Gehäuse welcher stetig mindestens 20Pa betragen muss. Es kann auch ein grösserer Unterdruck herrschen.

7.1 Funktionsbeschreibung Normalbetrieb

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Abluftventilator geregelt • Regelklappe in der Zuluft regelt 20Pa Unterdruck • Überwachung Luftstrom | (stetig regelnd 0-10V) (stetig regelnd 0-10V) (m/s) |
|--|---|

7.2 Warnung im Normalbetrieb

Die Warnung im Normalbetrieb wird ausgelöst von:

- Differenzdruck Filter zu hoch

Diese Warnung wird bezeichnet als:

- **WARNUNG: Filterwechsel Abluftanlage**

7.3 Funktionsbeschreibung bei Warnung im Normalbetrieb

Die Anlage läuft gemäss Funktionsbeschreibung Normalbetrieb weiter.

7.4 Warnmeldung/Signalisation

- Die WARNUNG wird auf dem Display der Anlage angezeigt.
- Die WARNUNG wird im Log-Buch eingetragen
- Die WARNUNG wird als E-Mail-Meldung abgesetzt

7.5 Quittierung der Warnmeldung

Die WARNUNG wird quittiert/gelöscht, sobald der Differenzdruck über dem Filter den eingestellten Höchstwert wieder unterschritten hat.

7.6 Alarmierung im Normalbetrieb

Die Alarmierung im Normalbetrieb wird ausgelöst von:

- Keine Rückmeldung Ventilator
- Unterdruck im Gehäuse kleiner 20Pa
- Kein Luftstrom messbar im Abluftkanal

Dieser Alarm wird bezeichnet als:

- **ALARM: Ausfall Abluftanlage**

7.7 Funktionsbeschreibung bei Alarmierung im Normalbetrieb

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Betrieb der Kältekreise schaltet Aus • Abluftventilator wechselt auf höchste Stufe | (Softwareschalter AUS) (Stufen-Trafo: Stufe 5) |
|---|---|



Betriebsanleitung

Normalbetrieb

7.8 Alarmsignalisierung

- Der ALARM wird auf dem Display der Anlage angezeigt.
- Der ALRAM wird im Log-Buch eingetragen
- Der ALRAM wird als E-Mail-Meldung abgesetzt
- Der ALARM wird über den Störmeldekontakt der Zentrale gemeldet

7.9 Quittierung im Normalbetrieb

Die Anlage kann den Betrieb erst wieder aufnehmen, wenn der Alarm nicht mehr ansteht.

Der Alarm wird automatisch quittiert, wenn die Werte für die Überwachungen wieder anstehen. Die Anlage kann im Normalbetrieb weiterlaufen.

7.10 Wartung und Unterhalt im Normalbetrieb

- Regelmässiges Überprüfen der Gassensoren
- Filterwechsel bei Verschmutzung
- Leckage Kontrolle gemäss ChemRRV
- Sicherheitsfunktionen überprüfen
- Warnhinweise prüfen

8 Havariefall

Im Havariefall (kontinuierlicher leichter Leckage) oder akute Leckage von Kältemittel im belüfteten Gehäuse.

Der Havariefall wird vom Relaiskontakt im Gassensor ausgelöst. Die Auslösung erfolgt bei einer Messung von 20% LFL (UEG).

8.1 Alarmierung im Havariefall

Die Alarmierung im Havariefall wird ausgelöst von:

- Gassensor (Messung Gaskonzentration 20% LFL (UEG)

Dieser Alarm wird bezeichnet als:

- **ALARM: Gasalarm/Leckage**

Die Anlage wechselt in einen sicheren Betriebszustand. Alle Geräte bis auf die Sicherheitsüberwachung werden vom Netz getrennt. Die Trennung erfolgt im Schaltschrank, welcher sich im Maschinenraum ausserhalb vom belüfteten Maschinengehäuse befindet.

8.2 Primärer Schutz gegen Bildung einer zündfähigen Atmosphäre

- Es ist ein dauerhafter Luftwechsel vorgesehen zum Schutz vor der Bildung einer zündfähigen Atmosphäre
- Stromlossschaltung sämtlicher nicht für die Sicherheitsfunktionen geltenden Geräte bei 20% LFL (UEG)

8.3 Sekundärer Schutz gegen mögliche Zündquellen

- Heisse Oberflächen können maximal 140°C warm sein
- Stromlossschaltung sämtlicher nicht für die Sicherheitsfunktionen geltenden Geräte
- Geräte welche bei Gasalarm an Spannung bleiben sind Gerätetekategorie 3G oder höher

8.4 Alarmmeldung/Signalisation

- Der ALARM wird mit einem akustischen Signal an der Anlage signalisiert
- Der ALRAM wird mit einer Warn-Signaltafel im Maschinenraum signalisiert
- Der ALARM wird im Log-Buch eingetragen
- Der ALARM wird als E-Mail-Meldung abgesetzt

8.5 Quittierung nach Havarie

Die Havarie kann nur manuell an der Anlage quittiert werden, sofern der Grenzwert am Gassensor die 20%UEG wieder unterschritten hat.

- manuelle Quittierung der verriegelten Störung an der Anlage, nur durch befugte Personen erlaubt

8.6 Funktionsbeschreibung bei Havarie

- Alarmerfassung via Gasmelder (Relaiskontakt öffnet)
- Stromlossschaltung (Schütz Sicherheitskette fällt ab)
- Regelklappe im Zuluftkanal öffnet (Federrückzug)
- Abluftventilator wechselt auf höchste Stufe (Stufen-Trafo: Stufe 5)



8.7 Verhalten bei Havarie

Vor dem Betreten des Maschinenraumes sind die Warnhinweise des Betreibers zu beachten.

- Achtung Feuergefahr
- Betreten des Maschinenraumes nur von geschultem Personal
- Not-Aus Taste aktivieren
- Rauchverbot
- Keine offenen Flammen

8.8 Massnahmen über Fernwartung

- Kontrolle der Gaskonzentration (%UEG)
- Kontrolle Betrieb Abluftanlage
- Rückmeldung Betrieb Ventilator
- Luftstrom
- Unterdruck Gehäuse
- Drucksensoren der Kältekreisläufe

8.9 Massnahmen vor Ort

- Feststellen ob es sich um einen ``Alarm`` oder ``Fehlalarm`` handelt
- Prüfen, ob die Abluftanlage in Betrieb ist
- Personen die sich in der Zentrale befinden evakuieren
- Die zuständige Fachfirma für die Lecksuche aufbieten
- Undichten Anlageteil absaugen/reparieren

8.10 Servicearbeiten nach Havariefall

Nach einem Havariefall, muss die zuständige Fachfirma die Anlage überprüfen. Die Wiederaufnahme des Betriebs ist auch vom Betreiber freizugeben. Es gilt das 4-Augen Prinzip.

9 Not-Abschaltung

Die Anlage kann mit einem Not-Aus Taster ausgeschaltet werden. Bei Betätigung der Not-Abschaltung mit der verriegelnden Not-Aus Taste wird die gleiche Abschaltung der Anlage wie im Störfall ausgelöst.

Der Betrieb und die Überwachungen der Abluftanlage (Abluftventilator, Gassensor, Unterdruck) bleiben in Betrieb.

9.1 ALARM bei Not-Abschaltung

Bei einer Not-Abschaltung werden die gleichen ALARM-Meldung ausgelöst wie bei einem realen Gasalarm.

- **ALARM: Gasalarm/Leckage**

9.2 Warnmeldung/Signalisation

- Der ALARM wird mit einem akustischen Signal an der Anlage signalisiert
- Der ALARM wird mit einer Warn-Signaltafel im Maschinenraum signalisiert
- Der ALARM wird im Log-Buch eingetragen
- Der ALARM wird als E-Mail-Meldung abgesetzt

9.3 Funktionsbeschreibung Not-Abschaltung

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| • Drücken der Not-Aus Taste | (Kontakt öffnet) |
| • Stromlosschaltung | (Schütz Sicherheitskette fällt ab) |
| • Regelklappe im Zuluftkanal öffnet | (Federrückzug) |
| • Abluftventilator maximale Drehzahl | (Freigabe 10V Signal) |

9.4 Quittierung nach Not-Abschaltung

Die Quittierung wird durch Lösen vom Not-Aus Taster und Quittierung des anstehenden Gasalarms (Fehlalarm) gemacht. Sofern keine andere Störung ansteht, darf die Anlage wieder im Normalbetrieb weiterarbeiten. Der ALARM wird gelöscht.



10 Ausserbetriebsetzung/Entsorgung

Bei der Ausserbetriebsetzung der Anlage ist dafür zu sorgen, dass das Kältemittel in den Kältekreisen vor dem Abschalten der Abluftanlage vollständig abgesaugt, vakuumiert und mit Stickstoff gespült werden.

Das Kältemaschinenöl im Verdichter und Kältekreis kann nach Absaugen noch mit Kältemittel angereichert sein und ausgasen. Es ist dafür zu sorgen, das ausgasendes Öl nicht entzündet werden kann.

Entleerte, offenstehende Kältekreise dürfen nur im freien über der Erdgleiche ohne direkten Zugang zu geschlossenen Räumen aufbewahrt werden.

Gase, Öle und Flüssigkeiten sind fachgerecht zu entsorgen.

11 Anhang

11.1 Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290

Das Sicherheitsdatenblatt vom Kältemittel R290 Propan kann von einem Lieferanten im Internet heruntergeladen werden.

Das Dokument wird in PDF-Form diesem Dokument beigelegt.

12 Prinzipschema Sicherheitskonzept (Beispiel)

