



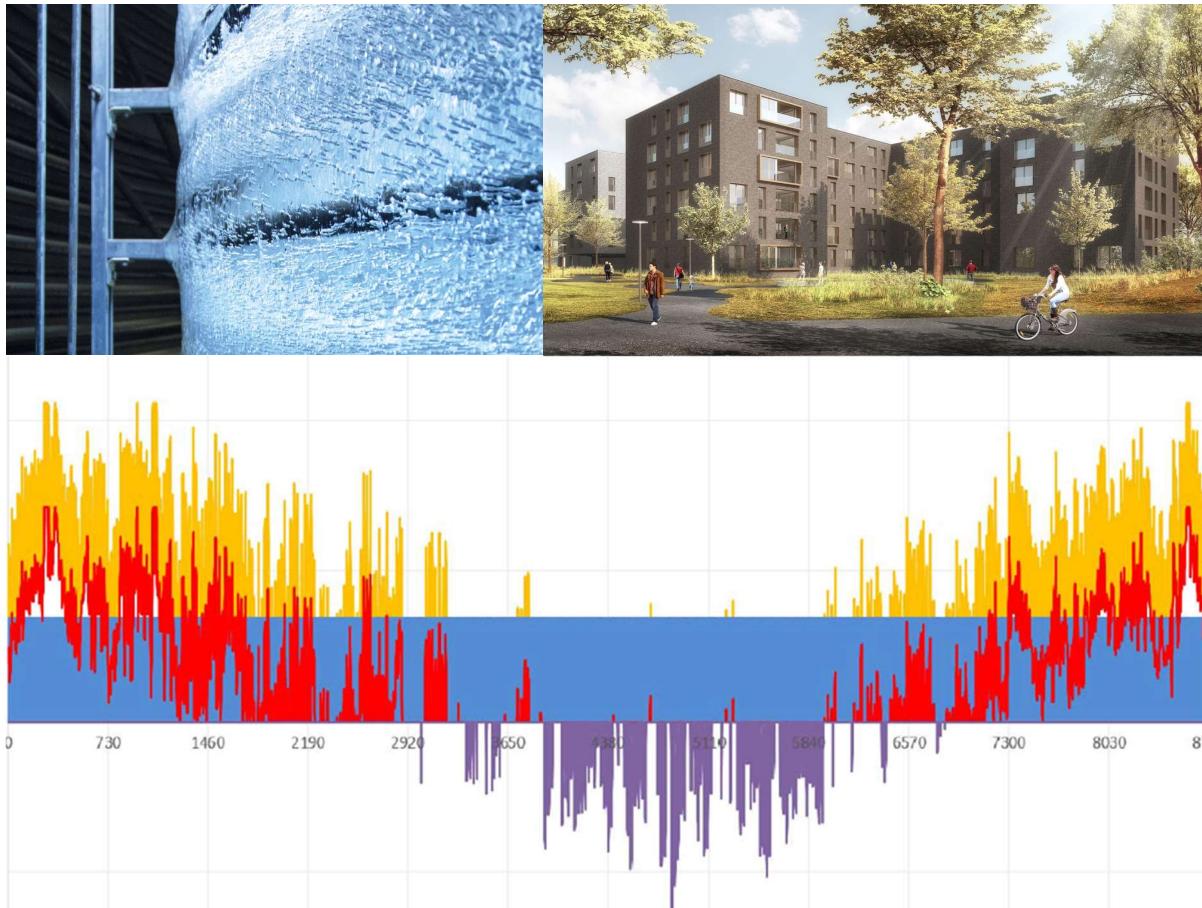
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht

Sichere erneuerbare Wärmeversorgung in hochverdichteter Wohnüberbauung bei fehlenden erneuerbaren Energiequellen

Wärmeversorgung der Überbauung Weltpoststrasse Bern,
mit Eisspeicher-Wärmepumpe System unter Nutzung von
Solar- und Abwasserwärme



Quelle: eicher+pauli Bern AG



eicher+pauli

Energie und Planung

Datum: Oktober 2022

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

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

Subventionsempfänger/innen:

Ursprünglich
Swiss Prime Site Immobilien AG
Frohburgstrasse 1, CH-4601 Olten
www.sps.swiss.ch

übertreten an

Allianz Suisse Immobilien AG
Effingerstrasse 34, Postfach, CH-3001 Bern
www.allianz.ch

Autor:

Beat Nussbaumer, eicher+pauli Bern AG, beat.nussbaumer@eicher-pauli.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, Leiter Pilot- und Demonstrationsprogramm, Bundesamt für Energie BFE

BFE-Vertragsnummer: SI/501685-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Im oberen Murifeld in Bern wurden mit dem Projekt «Weltpostpark» 170 Wohnungen in drei Gebäuden der SSA Architekten im Standard 2000 Watt-Areal nach SIA 2040 / Minergie eco realisiert und umfassen eine Bruttogeschossfläche von rund 19'000 m².

Zur Erlangung des 2000-Watt Standards konnten als erneuerbare Energiequelle weder Erdwärme noch Grundwasser oder Holz genutzt werden. Mit einer Evaluation fiel die Wahl auf eine 100% regenerative und autarke Solarabsorber-Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage mit zusätzlicher Einbindung der Abwasser-Abwärme. Die Planungsarbeiten begannen 2014, ab Sommer 2020 erfolgte der Bezug.

Sowohl Eisspeicher-Solarabsorber als auch Abwasser-Wärmenutzungen sind etablierte Technologien. Mit einer kombinierten Nutzung resultiert ein hoher Effizienzgrad und eine autarke Wärmeversorgung. Mit Unterstützung durch das Bundesamt für Energie wird der Betrieb während zwei Jahren analysiert und optimiert. Die Auswertungen lassen folgende Aussagen und Schlussfolgerungen zu:

1. Die Kombination einer Eisspeicher-Solarabsorber- mit der Abwasser-Abwärmenutzung bei Wohnnutzungen ist **zielführend und wirtschaftlich interessant für autarke, erneuerbare Wärmeversorgungen an Standorten, wo keine lokal gebundenen erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung stehen** oder eingesetzt werden sollen.
2. Alle drei Wärmepumpen-Anlagen erreichen oder übertreffen die prognostizierten Zielwerte, welche in etwa der Effizienz von Sole-Wasser-Systemen entsprechen.
3. Auch mit der Klimaerwärmung kann es weiter im schweizerischen Mittelland noch zu einer längeren Schneeüberdeckung der Solarabsorber kommen. Mit einer transluziden PV-Überdeckung oder einem grösseren Neigungswinkel kann in diesem Fall trotzdem von einem Wärmeeintrag über die Kollektoren ausgegangen werden.
4. Sollte die Abwasser-Abwärmenutzung nicht ausreichend eingebunden werden können, sind weitere **redundante Wärmequellen** in das System einzubinden und/oder entsprechend leistungsfähigere Wärmepumpen vorzusehen.
5. Eine **transparente und nachvollziehbare Auslegung der Systemkomponenten** am besten im Rahmen einer dynamischen Simulation sollte bei nicht standardisierten Grossanlagen vorgegeben werden. Erfolgt diese nicht durch die Systemanbieter sind Annahmen, Leistungsdaten und die Betriebsstrategie zu dokumentieren.
6. Durch die Bauaustrocknung bei Massivbauten kann in den ersten Betriebsjahren eine verfrühte Speicher-Vereisung eintreten. Für diesen Fall soll ein Not-Heizung vorgesehen werden.
7. Eine **klare Schnittstellendefinition** zwischen Planer und Systemanbieter ist unabdingbar und eine System-Leistungsgarantie soll als Grundlage eines sicheren Anlagebetriebes sein.
8. Eine weitere Marktdiffusion von grossen Eisspeicher-Systemen soll durch die Kommunikation erfolgreicher Demonstrationsanlagen vorangetrieben werden. Die Betriebssicherheit soll durch publizierte **Planungsgrundsätze und Systemgarantien** erreicht werden.
9. Vertiefenden Untersuchungen sollen klären, wie weit die Energiequelle Erdreich durch die fehlende Regeneration über die Jahre abnimmt.
10. Mit Planungs-/Auslegungsgrundsätzen und deren Kommunikation z.B. in Form eines **Planungshandbuches und im Rahmen von Kursen** durch Bund und Kantone unter Mitwirkung der Systemanbieter soll dieser Technologie zur weiteren Verbreitung verholfen werden.

Quintessenz

Grosse Eisspeicher-Systeme ermöglichen bei Mangel an erneuerbaren Energiequellen eine **effiziente, erneuerbare und sichere Wärmeversorgung**, in der Regel auch in dicht umbauten Arealen. Die erforderlichen Technologien sind erprobt und erbringen die geplanten Leistungen resp. die erwartete Effizienz. Alle im P&D-Projekt aufgetretenen Ausführungsprobleme waren nicht systembedingt, deren Umfang lag im Bereich von vergleichbaren Projekten. **Eine breite Anwendung vom Eisspeicher-/Solarabsorber-Technologien kann empfohlen werden.**



Résumé

Dans la partie supérieure du Murifeld à Berne, le projet "Weltpostpark" a permis de réaliser 170 logements dans trois bâtiments répondant au standard 2000 Watt-Areal selon SIA 2040 / Minergie eco. Les trois immeubles d'habitation des architectes SSA comprennent une surface brute de plancher d'environ 19'000 m² et sont actuellement nominés pour le prix "Immeubles d'habitation de l'année".

Pour obtenir le standard 2000 Watt, il n'a pas été possible d'utiliser la géothermie, les eaux souterraines ou le bois comme source d'énergie renouvelable pour l'approvisionnement en chaleur. Dans le cadre d'une évaluation, le choix s'est porté sur une installation de pompe à chaleur à absorption solaire et à accumulation de glace 100% régénérative et autarcique, la chaleur résiduelle des eaux usées étant également exploitée. Les travaux de planification ont débuté en 2014 et l'installation a eu lieu à l'été 2020.

L'absorbeur solaire à stockage de glace et l'utilisation de la chaleur des eaux usées sont des technologies bien établies. Une utilisation combinée permet d'atteindre un haut degré d'efficacité et un approvisionnement en chaleur autarcique. Avec le soutien de l'OFEN, l'exploitation sera analysée et optimisée pendant deux ans. Les évaluations permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. La combinaison d'un accumulateur de glace et d'un absorbeur solaire avec l'utilisation de la chaleur des eaux usées dans les habitations est efficace et économiquement intéressante pour un approvisionnement en chaleur autonome et renouvelable dans les endroits où aucune source d'énergie renouvelable locale n'est disponible ou ne doit être utilisée.
2. Les trois installations de pompes à chaleur atteignent ou dépassent les valeurs cibles prévues, qui correspondent à peu près à l'efficacité des systèmes eau glycolée-eau.
3. Même avec le réchauffement climatique, il est possible que les absorbeurs solaires soient recouverts de neige plus longtemps sur le Plateau suisse. Dans ce cas, un recouvrement PV translucide ou un angle d'inclinaison plus important permettent malgré tout d'espacer un apport de chaleur par les capteurs.
4. Si l'utilisation de la chaleur des eaux usées ne peut pas être suffisamment intégrée, d'autres sources de chaleur redondantes doivent être intégrées dans le système et/ou des pompes à chaleur plus puissantes doivent être prévues.
5. Une conception transparente et compréhensible des composants du système, de préférence dans le cadre d'une simulation dynamique, devrait être prescrite pour les grandes installations non standardisées. Si cette simulation n'est pas effectuée par les fournisseurs de systèmes, les hypothèses, les données de performance et la stratégie d'exploitation doivent être documentées.
6. Au cours des premières années d'exploitation, il faut tenir compte des besoins en chaleur plus élevés dans les bâtiments massifs en raison du séchage de la construction. En raison d'une consommation d'eau chaude supérieure à la norme, un givrage prématuré de l'accumulateur peut se produire. Dans ce cas, il convient de prévoir un registre électrique de secours, les besoins en électricité devant être couverts par des panneaux photovoltaïques.
7. Une définition claire de l'interface entre le planificateur et le fournisseur du système est indispensable et une garantie de performance du système doit constituer la base d'une exploitation sûre de l'installation.
8. La diffusion sur le marché de grands systèmes d'accumulation de glace doit être encouragée par la communication d'installations de démonstration réussies. La sécurité d'exploitation doit être assurée par des principes de planification publiés et des garanties de système.
9. Des études approfondies doivent permettre de déterminer dans quelle mesure la source d'énergie que constitue le sol diminue au fil des ans en raison de l'absence de régénération.



10. L'élaboration de principes de planification et de conception et leur communication, par exemple sous la forme d'un "manuel de planification" et dans le cadre de cours organisés par la Confédération et les cantons avec la participation des fournisseurs de systèmes, doivent aider cette technologie à se répandre davantage.

Summary

In the upper Murifeld in Bern, 170 apartments in three buildings were realized with the project "Weltpostpark" in the standard 2000 Watt area according to SIA 2040 / Minergie eco. The three apartment buildings by SSA Architekten comprise a gross floor area of around 19,000 m² and are currently nominated for the "Residential Buildings of the Year" award. To achieve the 2000-watt standard, neither geothermal energy nor groundwater nor wood could be used as renewable energy sources for the heat supply. In the course of a broad evaluation, the choice fell on a 100% renewable and self-sufficient solar absorber ice storage heat pump system, whereby wastewater waste heat was also tapped. Planning work began in 2014, with occupancy starting in the summer of 2020. Both ice storage solar absorbers and wastewater heat utilization are established technologies. Combined use results in a high degree of efficiency and a self-sufficient heat supply. With the support of the Swiss Federal Office of Energy, the operation will be analyzed and optimized during two years. The evaluations so far allow the following statements and conclusions:

1. The combination of an ice storage solar absorber with wastewater waste heat utilisation for residential use is target-oriented and economically interesting for self-sufficient, renewable heat supply at locations where no locally bound renewable energy sources are available or are to be used.
2. All three heat pump systems achieve or exceed the predicted target values, which roughly correspond to the efficiency of brine-water systems.
3. Even with global warming, a longer snow cover of the solar absorbers may still occur in the Swiss Central Plateau. With a translucent PV cover or a larger tilt angle, heat input via the collectors can still be assumed in this case.
4. If the wastewater heat recovery cannot be sufficiently integrated, additional redundant heat sources must be integrated into the system and/or more powerful heat pumps must be provided.
5. A transparent and comprehensible design of the system components, preferably in the context of a dynamic simulation, should be specified for non-standardised large-scale systems. If this is not done by the system supplier, assumptions, performance data and the operating strategy should be documented.
6. In the first years of operation, the higher heat demand of solid buildings due to the drying out of the building must be taken into account. Combined with a hot water consumption above the norm, premature storage tank icing can occur. In this case, an emergency electricity register should be provided, whereby the electricity demand is to be covered by photovoltaics.
7. A clear interface definition between the planner and the system provider is indispensable and a system performance guarantee should be the basis for safe system operation.
8. Further market diffusion of large ice storage systems should be promoted by communicating successful demonstration plants. Operational safety is to be achieved through published planning principles and system guarantees.
9. In-depth investigations should clarify the extent to which the energy source of the ground is diminished over the years by the lack of regeneration.
10. The development of planning/design principles and their communication, e.g. in the form of a "planning manual" and in the context of courses by the federal government and the cantons with the participation of system providers, should help this technology to become more widespread.



Take-home messages

1. Eisspeicher-WP-Anlagen eignen sich vor allem im urbanen, verdichteten Raum wo andere erneuerbare Energiequellen nicht zur Verfügung stehen und lassen sich **effizient und wirtschaftlich** betrieben. Die Schwarzwasser-AWN ist für einen redundanten Betrieb geeignet.
2. Wenn **Systemauslegungen** durch Anbieter nicht offengelegt werden, ist eine **dynamische Simulation** unter Einbezug der spezifischen Energiesenken-Charakteristik unabdingbar. Mit der Initiierung und Förderung von **produktneutralen Planungs- und Simulationstools** soll in der sia-Projektphase 2 eine raschere Systemauslegung möglich werden. Die Anwendung soll nach Möglichkeit in etablierte Simulationsprogramme integriert werden.
3. Durch die **Erarbeitung von Planungs-/Auslegungsgrundsätzen** und deren Kommunikation z.B. in Form eines «Planungshandbuches» und im Rahmen von **Kursen** unter Mitwirkung der Systemanbieter soll dieser Technologie zu einer weiteren Verbreitung verholfen werden.
4. Ein **Monitoring von Eisspeicher-Anlagen** soll klären, welches Potential die Energiequelle Erdreich über die Jahre ausweist und wie eine nachhaltige Nutzung sichergestellt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	4
Summary	5
Take-home messages	6
Inhaltsverzeichnis	6
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.2 Motivation des Projektes	8
1.3 Projektziele	9
2 Anlagenbeschrieb	10
2.1 Prinzip Eisspeicher	13
2.2 Auslegung.....	13
2.3 Betriebsweisen Eisspeicher Weltpostpark	14
2.4 Funktionsbeschrieb Wärmeerzeugung.....	15
2.5 Funktionsbeschrieb Heizgruppe Fußbodenheizung	15
2.6 Funktionsbeschrieb Free-Cooling Wohnungen	16
2.7 Funktionsbeschrieb Wärmeerzeugung BWW	17
2.8 Funktionsbeschrieb BWW- Ladung	18
2.9 Funktionsbeschrieb Schwarzwasser-Abwärmennutzung.....	18
2.10 Eisspeicher und Solar-Absorber.....	19
2.11 Messkonzept.....	20
3 Vorgehen und Methode.....	21
3.1 Betriebsoptimierung, Auswertung.....	21



4	Ergebnisse und Diskussion	23
4.1	Dynamische Simulation	23
4.2	Effizienz Wärmepumpen	24
4.3	Betrieb Wärmesenken	25
4.4	Betrieb Quellen	26
4.5	Historie und Eisspeicherdynamik	27
4.6	Kennzahlen.....	28
4.7	Wirtschaftlichkeit.....	28
4.8	Energiebilanz Beispiel Haus A	29
4.9	Analyse Haus B	30
5	Optimierung und Fazit	31
5.1	Allgemeine Optimierungspunkte.....	31
5.2	Redundante Wärmeversorgung Haus B	31
5.3	Schlussfolgerung	32
6	Ausblick und zukünftige Umsetzung	32
7	Nationale und internationale Zusammenarbeit	33
8	Kommunikation	33
9	Publikationen	33
10	Literaturverzeichnis	33
11	Anhang	34
11.1	Regelbeschrieb.....	34
11.2	Funktion Eisspeicher	38
11.3	Funktion Abwasser-Wärmerückgewinnung.....	39
11.4	Artikel Schweizer Energiefachbuch	40
11.5	Artikel Schweizer Energiefachbuch Weltpostpark Bern	41
11.6	Detail-Betriebsanalysen.....	43
11.7	Detail-Kennzahlen	56



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Im oberen Murifeld am Ortsrand von Bern wird ein neues Stadtstück mit einem hohen Wohnanteil etabliert. An der Weltpoststrasse sind 170 Wohnungen in drei Mehrfamilienhäusern (A, B und C) mit einer BGF von total 19'800 m² (EBF = 14'500 m²) in einem bestehenden Wohnquartier in der Ausführung. Dabei sind die SIA 2040-Anforderungen zu erfüllen.

Das Projekt wird zu 100% regenerativ erstellt. Die Wärmebereitstellung gründet auf solar regenerierte Eisspeicher. Hierbei wird mittels einer Wärmepumpe die Energie aus dem Wasser entnommen, wodurch das Wasser vereist. Mittels Absorberflächen auf dem Dach und einer zusätzlichen Abwasserwärmepumpe wird dieser Speicher auch im Winter regeneriert.

Eine zusätzliche Abwasserwärmepumpe dient auch zur Aushebelung des Performance Gap (Differenz zw. theoretischem und tatsächlichem nutzerbedingten Energiebedarf). Diese Wärmeversorgungsstrategie ist 2000-Watt tauglich und eignet sich in hohem Masse im urbanen Raum, wo erneuerbare Energien vor Ort sowie Fernwärmennetze nicht oder nur beschränkt verfügbar sind.

1.2 Motivation des Projektes

Im Rahmen der strategischen Planung wurden die Optionen zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Zielerreichung 2000-Watt geprüft und wie folgt beurteilt:

- Ein Nah- und Fernwärmeverbund steht aktuell nicht zur Verfügung.
- Grundwasser kann nicht genutzt werden, Erdsonden sind untersagt.
- Eine Holzfeuerung ist wegen der hohen Luftbelastung nach Energierichtplan nicht erwünscht.

Unter diesen Voraussetzungen fiel der Systementscheid auf den Einsatz von Wärmepumpen mit Eispeicher, welche mit unverglasten Kollektoren regeneriert werden. Mittels Wärmepumpe wird dem Speicher solange Wärme entzogen, bis das flüssige Wasser vereist und dadurch die Phasenumwandlungsenthalpie zusätzlich zur Wärmeerzeugung zur Verfügung steht.

Problemstellung

Analog zu Erdspeicher bedingen diese Systeme durch die limitierte resp. endliche Energiezuführung und die fehlende Redundanz für einen nachhaltig effizienten Betrieb eine sorgfältige Auslegung unter Berücksichtigung folgender Einflussfaktoren:

- Eine Systemauslegung bei Systemen mit unbeschränkter Energiezufuhr erfolgt die Auslegung nach Planungsdaten, welche auf Mittelwerten von Erfahrungszahlen beruhen. Wie jedoch Analysen von effizienten Wohngebäuden zeigen, kann der Wärmebezug „Heizen“ und „Warmwasser“ durch das Benutzerverhalten massiv schwanken und auch in der Summe zu einem deutlich höheren Wärmebedarf als projektiert führen. Die deutliche Überschreitung der prognostizierten Wärmebezüge können zu einem Versagen von Energiesystemen mit limitierter Energiezufuhr führen.
- Bei einer anhaltenden Schneebedeckung der Kollektoren kann die Regeneration ausfallen.
- Vorliegende, bisherige Auslegungen sowie bereits analysierte Anlagen zeigen, dass die genannten Extrembedingungen im Allgemeinen nicht berücksichtigt werden, was zu einer unzureichenden Wärmeversorgung führen kann.

Mit einer dynamischen Simulation (Polysun) konnten die aufgeführten Systemmängel aufgezeigt und quantifiziert werden. Als mögliche Ergänzung unter Beibehaltung der Nachhaltigkeitsstrategie wurde



der Effekt der Kombination mit einer Abwasser-Abwärmennutzung geprüft. Die Simulation ergab, dass damit ein möglicher Performance Gap abgefangen und ein nachhaltiger Betrieb möglich wird.

Das System soll in der Wohnüberbauung Weltpoststrasse erstmals eingesetzt und einer Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle unterzogen werden.

1.3 Projektziele

Marktumfeld

Als Grundlage der Marktabschätzung dient das Weissbuch und die GIS Daten vom Verband Fernwärme Schweiz. Die Datenbasis bildet die Wärmenachfrage pro Hektar der ganzen Schweiz, die anhand der statistischen Daten des Gebäude- und Wohnregisters 2010 gebildet wurden. Aus der Gesamtheit der Daten wurden jene ausgewählt, die eine Wärmedichte von mehr als 300 MWh/ha aufweisen und in die Kategorien «Stadt» und «Agglomeration» fielen. Jene der Kategorie «Land» wurden weggelassen. Damit wurde die Bedingung verdichtetes Wohngebiet im urbanen Raum berücksichtigt.

Für das Weissbuch wurden Gebiete bestimmt, die wirtschaftlich mit Wärmeverbünden versorgt werden können. Den Gebieten wurden lokale erneuerbare Wärmequellen zugeordnet (z.B. KVA, Grundwasser, etc.) und bieten damit eine zukunftsfähige Wärmeversorgung. Diese Gebiete wurden aus den oben beschriebenen Daten herausgefiltert.

Übrig bleiben damit verdichtete Wohngebiete im urbanen Raum, die nicht mit einem Wärmeverbund versorgt werden. Das sind total 33'842 Mehrfamilienhäuser. Diese können auf Gebieten liegen, wo Erdsonden oder Grundwasser nutzbar ist. Anhand vom Kanton Bern wurde dies geprüft. Rund 40 % der Gebäude lagen nicht auf einem Erdsonden- oder Grundwassernutzungsgebiet.

Überträgt man das Resultat auf die Schweiz, sind das rund 13'500 Mehrfamilienhäuser für welche das vorgeschlagene Wärmeversorgungssystem in Frage kommt. Das sind nur die bestehenden Gebäude. Nicht berücksichtigt sind Neubauten oder Ersatzbauten in Gebieten wo verdichtet wird.

Die Erfolgschancen können als hoch eingestuft werden, wenn sich das System bewährt. Sie kann zu einer guten Alternative für Holzfeuerungen in den genannten Gebieten werden.

Energetisches Potential

Die 13'500 bestehenden Mehrfamilienhäuser haben einen Wärmebedarf von rund 780 GWh/a. Man kann davon ausgehen, dass ein grosser Anteil davon heute mit fossiler Wärmeerzeugung ausgestattet ist. Mit der Ungenauigkeit der Abschätzung ist somit davon auszugehen, dass mindestens 780 GWh/a fossiler Brennstoffe mit erneuerbarer Energie substituiert werden kann.

Projektumfeld / Mehrwert

Die Innovation liegt in der erstmaligen Abdeckung des Wärmebedarfes zu 100% mit erneuerbarer Energie im dicht umbauten, urbanen Raum mit hoher Ausnutzungsziffer.

Die neue Lösung demonstriert, dass durch die Kombination bekannter Technologien (Eisspeicher, Abwasser-Abwärmennutzung) die Anforderungen der SIA 2040 auch im städtischen, verdichten Raum, wo keine lokalen erneuerbaren Energien nutzbar sind, erfüllt werden können.

Obschon sowohl Eisspeicher als auch Abwasser-Abwärmennutzung seit geraumer Zeit auf dem Markt sind, wurde die Kombination dieser Systeme noch nie demonstriert.

- Die Zielerreichung der Strategie 2050 sowie des SIA-Absenkpfades bedingen die Nutzung der erneuerbaren Energien auch in verdichten Wohngebieten mit weiterhin hohem Wärmebedarf.



- Die Eisspeicher-AWN ermöglicht einen Höchstanteil erneuerbarer Energien in Wohnbauten.
- Verdichtete Wohngebiete können die Nutzung erneuerbarer Energien erschweren oder verhindern:
 - Grundwasser ist nicht verfügbar, bereits genutzt oder mit Altlasten belastet
 - Der Raumbedarf für Luftregister ist nicht vorhanden und/oder die Lärmbelastung wäre zu hoch
 - Für Erdwärmesonden, -register oder -körbe stehen keine Freiflächen zur Verfügung.
 - Ein Nah- und Fernwärmeverbund ist auf absehbare Zeit nicht vorgesehen.
 - Holzfeuerungen sind wegen der bereits hohen Luftbelastung nicht zulässig
 - Der Einsatz eines Eisspeichers verbunden mit einer Abwärmennutzung ist Standortunabhängig und bietet durch den geringen Raumbedarf, das gänzliche Fehlen von Emissionen und die hohe Verbreitung obgenannter Faktoren ein grosses Anwendungspotential auf.

Die vorliegende Problemstellung wurde bisher noch nicht untersucht resp. in keiner Dokumentation erwähnt. Vereinzelt wird jedoch auf die Problematik einer zu geringen Regeneration der Eisspeicher hingewiesen, ohne jedoch auf die Problemlösung einzugehen.

Auf der Grundlage einer detaillierten Langzeiterfassung der relevanten Betriebsparameter soll die Eisspeicher Bewirtschaftung dynamisch untersucht und in der Folge mit den übrigen Anlagekomponenten optimal abgestimmt werden.

Primäres Ziel ist dabei die Evaluation der dynamischen Simulation mit der Beantwortung folgender Kernfragen:

- Bestehen massgebliche Differenzen zwischen den Auslegungsdaten und den Betriebswerten?
- Wenn ja, was sind die Auswirkungen auf zukünftige Anlagedimensionierungen für einen nachhaltigen Anlagebetrieb?
- Können die Resultate der dynamischen Simulationen bestätigt werden?

2 Anlagenbeschrieb

Ein Eisspeicher-System stellt eine attraktive Wärmequelle für Sole/Wasser-Wärmepumpen dar. Das genehmigungsfreie System bündelt die Energie aus Umgebungsluft, solarer Einstrahlung und dem Erdreich.

Das Besondere: Ein Teil der Heizwärme stammt aus Eis, genauer gesagt aus der sogenannten Kristallisierungsenergie. Sie wird frei, wenn Wasser zu Eis gefriert. Im Eisspeicher wird dieser Wechsel des Aggregatzustandes während der Heizperiode durch den Wärmeentzug der Wärmepumpe herbeigeführt. Dabei wird dieselbe Energiemenge bereitgestellt, die benötigt wird, um einen Liter Wasser von 0 °C auf 80 °C zu erwärmen. Wird das Eis im Regenerationsbetrieb wieder aufgetaut, kann dieser Prozess beliebig oft wiederholt werden. Dabei ist die Technik nahezu wartungsfrei.

Am Ende der Heizperiode wird gezielt Eis gebildet. Dieses steht dann an heißen Tagen als Kältequelle für die Gebäudekühlung zur Verfügung. Über die Solar-Luftabsorber können die - auch im Sommer - niedrigeren nächtlichen Außentemperaturen genutzt werden, um das Wasser im Speicher oder das Gebäude selbst abzukühlen. So wird die Phase des sogenannten „natural cooling“ verlängert.



Demonstrationsanlage

An der Weltpoststrasse in Bern ist die Planung von 170 Wohnungen in drei Mehrfamilienhäusern mit einer BGF von insgesamt rund 19'000 m² in einem bestehenden Wohnquartier in Planung. Die SIA 2040-Anforderungen sind zu erfüllen. Im Rahmen der strategischen Planung wurden die Optionen zur Nutzung erneuerbarer Energien geprüft und wie folgt beurteilt:

- Grundwasser kann nicht genutzt werden, Erdsonden sind untersagt.
- Der Raumbedarf für Luftregister ist nicht vorhanden.
- Ein Nah- und Fernwärmeverbund ist auf absehbare Zeit nicht vorgesehen.
- Eine Holzfeuerung ist wegen der bereits hohen Luftbelastung nicht zulässig.

Unter diesen Voraussetzungen fiel der Systementscheid auf den Einsatz von Wärmepumpen mit Eisspeicher, welche mit unverglasten Kollektoren regeneriert werden. Unter Nutzung der Latentwärme wird den Eisspeicher Wärme bis zur Vereisung entzogen.

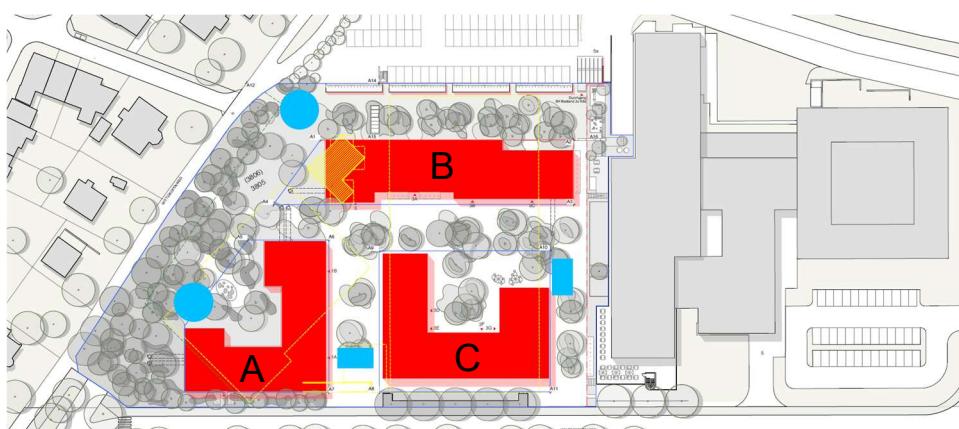


Abbildung 1: Situation der drei MFH ■ mit Erdverlegten Eisspeicher ■

Die Innovation des Projekts Weltpostpark liegt in der gesicherten Abdeckung des Wärmebedarfes zu 100% mit erneuerbarer Energie im dicht umbauten, urbanen Raum mit hoher Ausnutzungsziffer. Die neue Lösung demonstriert, dass durch die Kombination bekannter Technologien (Eisspeicher, Abwasser-Abwärmenutzung) die Anforderungen der SIA 2040 auch im städtischen, verdichten Raum, wo keine lokalen erneuerbaren Energien nutzbar sind, erfüllt werden können.

Kennzahlen*

Die drei Häuser werden über drei autonome Anlagen mit Wärme versorgt. Im Haus C konnten Solarabsorber und Eisspeicher (zwei) durch die räumliche Ausgangslage leicht grösser ausgelegt werden. Wie noch erläutert wird, hätte diese Auslegung ohne zusätzliche Schwarzwasser-Abwärmenutzung zu einer frühzeitigen Vereisung resp. zu einer Energiemangellage führen können.

	EBF m ²	Solarabsorber m ²	Eisspeicher H ₂ O m ³	Q _h WP (0/35) kW	Q _{ww} WP (0/65) kW	FEKA m ³
Haus A	6'313	231	361	115 (2x 43 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1
Haus B	6'532	231	361	115 (2x 43 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1
Haus C	6'568	252	2x 213	115 (2x 43 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1

Tabelle 1: Baugrösse Komponenten

*) Detail-Kennzahlen: Anhang 11.5



Eisspeicher

Die Hülle des Eisspeicherbehälters ist aus Stahl-Ortbeton. Das Volumen ist bis auf einer Höhe von 4.10 Meter mit Wasser gefüllt. Im übrigen Hohlraum befinden sich die Anschlüsse auf den internen Verteiler, welcher an der Decke montiert ist.

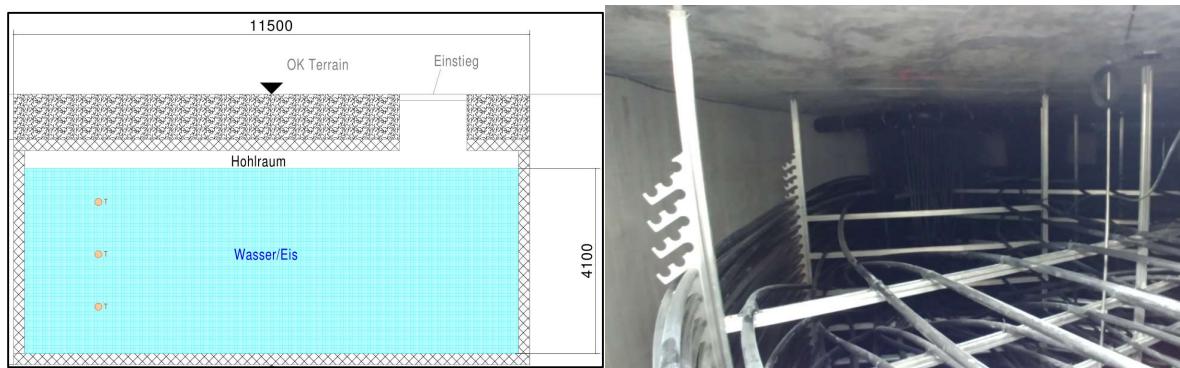


Abbildung 2: System-Schnitt und Foto Ausführung zylinderförmiger Eisspeicher Haus B

Die Anschlussleitungen zu Wärmeerzeugung und von den Absorbern sind seitlich unterhalb der Decke eingeführt. Die Wärmetauscher für die Regeneration (Solar) und Entzug (WP) bestehen aus Polyethylen-Rohren und sind mit Wasser/Ethylenenglykol (ca. 30%)-Gemisch gefüllt. Diese Kreisläufe sind hydraulisch voneinander getrennt.

Die Verbindung der Heizungszentrale und der Eisspeicher im Terrain ausserhalb der Gebäude erfolgt über erdverlegte Polyethylen-Rohre. Im Eisspeicher befinden sich drei Temperaturfühler auf die Höhe verteilt und eine elektronische Niveauüberwachung. Der nachfolgende Systemschnitt ist bezüglich der Höhe für alle Häuser identisch.

Solarabsorber

Die Solare Regeneration besteht aus doppelagigen Polyethylen-Absorbern in den Abmessungen 2.14 x 1.28 x 0.1 m, Medium Wasser/Ethylenenglykol (ca.30%)-Gemisch.

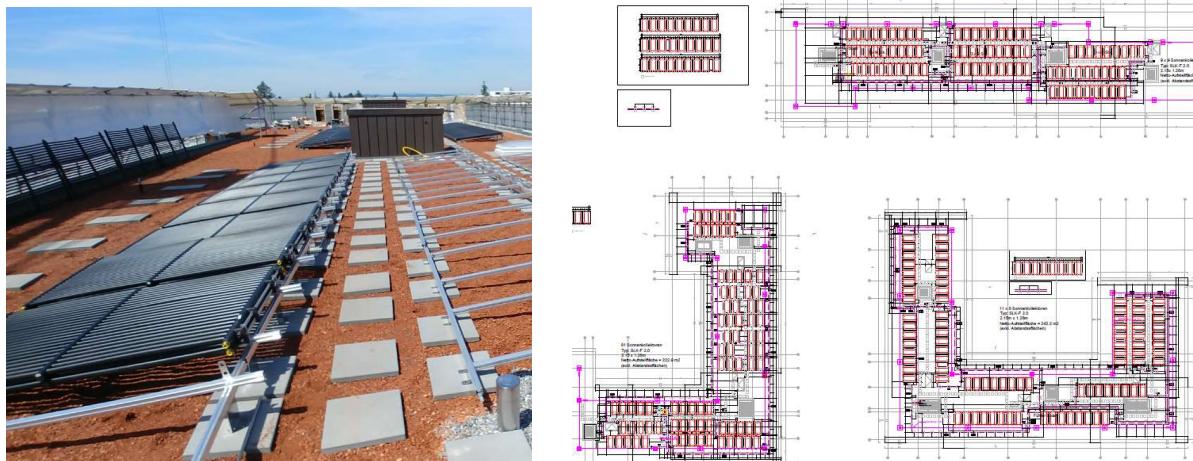
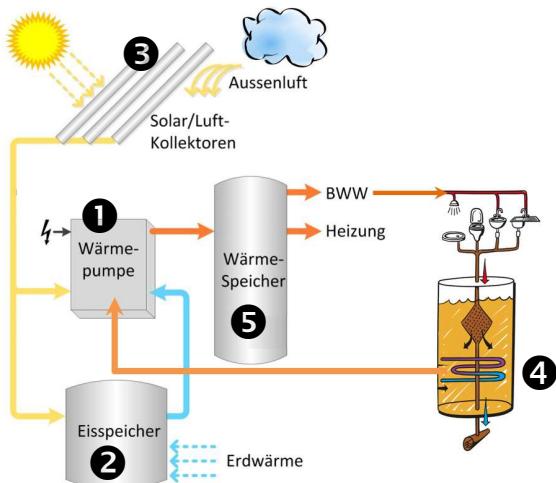


Abbildung 3: Solar-Absorberfeld



2.1 Prinzip Eisspeicher

Eine Eisspeicher-Wärmepumpe ist eine Wärmepumpen-Anlage, welche auf der Quellenseite einen Niedertemperatur-Latentspeicher einbindet. Beim Gefrieren von Wasser wird in etwa gleich viel Wärme frei wie bei der sensiblen Abkühlung von 80°C auf 0°C. Die Hauptkomponenten und die Energieflüsse zeigt nachfolgendes Symbolbild:



Komponenten und Energiefluss

Die Hauptkomponenten sind:

- ① Sole/Wasser-Wärmepumpe
- ② Eisspeicher
- ③ Solarabsorber
- ④ Abwasserwärmevernutzung
- ⑤ Wärme-Speicher

Abbildung 4:

Die Wärme wird für Raumheizung und Brauchwarmwasser-Erwärmung (BWW) genutzt. Im Free-Cooling Betrieb können durch Ladung des Eisspeichers mit Abwärme aus den Fußbodenheizungen im Sommer die Wohnungen leicht temperiert werden.

2.2 Auslegung

Die Komponentenauslegung erfolgte durch den Systemanbieter. In der Praxis bereitet ohne Regeneration 1.0 m³ Speicher pro 1.0 kW Heizleistung rund 1 Woche Speicherkapazität zur Verfügung.

Wie nachfolgend noch dokumentiert, hätte auch die Auslegung des Systemanbieters mit 2.1 m³/kW ohne Regeneration zu einer Mangellage resp. frühzeitigen vollständigen Vereisung führen können. In der Folge wurden die Anlagen jeweils mit einer Schwarzwasser-Abwärmenutzung ergänzt. Eine Erweiterung der Kollektorfläche wäre nicht zielführend resp. in ausreichendem Mass möglich gewesen.

	mit Direktnutzung typisch	nur Regeneration und WP-Quelle typisch 1)	Weltpostpark A	
Kollektorfläche	2.0 bis 4.0	1.5 bis 2.0	1.3	m ² / kW WP-Heizleistung
Eisspeicher			2.1	m ³ / kW WP-Heizleistung

Tabelle 2: Typische Auslegung und Auslegung Weltpostpark

1) Viessmann, Studie Weisskopf, BFE 2014

Die Betriebsweisen sind im Folgenden dargestellt. Nicht aufgeführt ist die Abwasser-Abwärmenutzung. Die Abwärme aus dem Abwasser wird aus dem Abwasserspeicher über die Wärmepumpe dem System zugeführt. Neben der hohen Effizienz ist die Unmittelbarkeit der Abwasser- Wärmenutzung ein grosser Vorteil. Abwasser fällt dann an, wenn viel Brauchwarmwasser und damit viel Energie benötigt wird. Die Wärmepumpe stellt diese Energie mit kurzer Verzögerung wieder bereit.

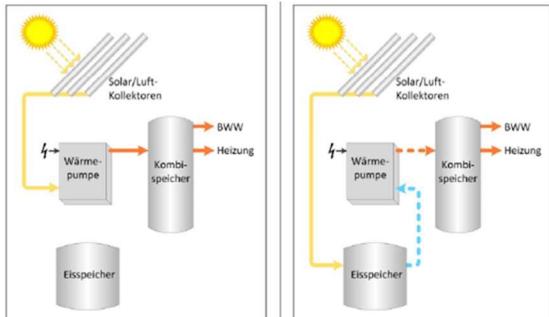


2.3 Betriebsweisen Eisspeicher Weltpostpark

Bei ausreichend hoher Solarstrahlung

Direkte Nutzung der Solarwärme als Quelle der Wärmepumpe (Verdampfer)

Ladung oder Regeneration des Eisspeichers, mit oder ohne Wärmebezug der Wärmepumpe



Wann: Bei passender Austrittstemperatur aus dem Kollektorkreis

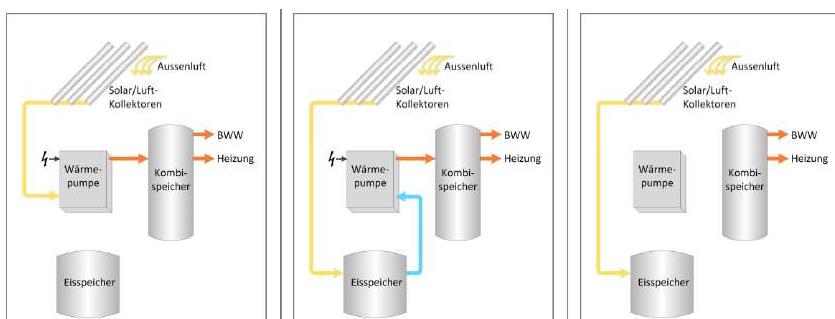
Wann: Bei solarem Wärmeüberschuss (Wärmebedarf geringer als Solareintrag)

Bei geringem oder fehlendem Solareintrag und nutzbarer Außentemperatur

Direkte Nutzung der Außenluft als Quelle der Wärmepumpe (Verdampfer)

Ladung des Eisspeichers bei gleichzeitigem Entzug durch die Wärmepumpe

Ladung oder Regeneration des Eisspeichers



Wann: Wenn Temperatur vom Luftkollektor über jener des Eisspeichers

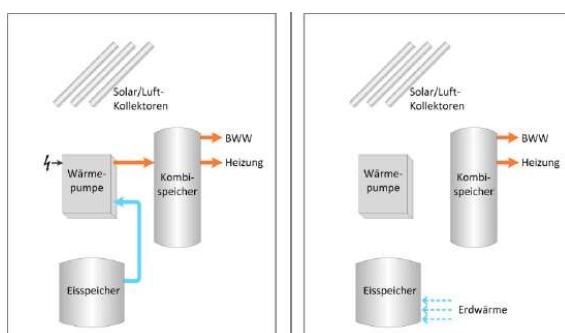
Wann: Wenn Temperatur vom Luftkollektor über Eisspeichertemperatur

Wann: Wenn Temperatur Außenluft über Eisspeichertemperatur und gestoppter Wärmepumpe

Bei fehlendem Solareintrag und tiefen Außentemperaturen

Wärmebezug aus Eisspeicher

Regeneration des Eisspeichers mit Erdwärme



Wann: Bei ausreichender Temperatur im Eisspeicher

Wann: Bei Eisspeichertemperatur unter Erdtemperatur

Abbildungen 5.1-7: Funktionen eisspeicher

Quelle Schemas: BFE-Bericht «Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren, Weisskopf, 2014



2.4 Funktionsbeschrieb Wärmeerzeugung

Die Erzeugung der Wärme erfolgt durch 3 Wärmepumpen. Die Leistungsregelung erfolgt in Stufen, der Durchfluss durch den jeweiligen Verflüssiger und Verdampfer kann mit einer motorisierten Absperreitung aktiviert oder unterbunden werden. Der ausführliche Regelbeschrieb befindet sich im Anhang.

Die Freigabe (Ein / Aus) erfolgt mittels Heizgrenze nach Aussentemperatur einerseits und Heizungsspeichertemperatur (Ladezustand) andererseits. Die Schaltung der Leistungsstufen Wärmepumpe erfolgen nach VL- Temperatur- Regulierung analog der Heizgruppen. Das 3-Wegventil dient der Begrenzung der WP- Eintrittstemperatur nach unten (Einsatzgrenzen) und im geringen Masse der Stabilisierung der VL- Temperatur (Ausgleichen von Schwankungen wegen der Stufenschaltung der Wärmepumpen). Die Wärmeerzeugung für die Heizung verfügt über einen Wärmezähler (Optimierungszwecke).

Das 3-Wegventil auf der Verdampfer-Seite dient der Begrenzung der WP- Verdampfer-Eintrittstemperatur nach oben (Einsatzgrenzen). Die Verdampfer-Seite verfügt über einen Wärmezähler (Optimierungszwecke).

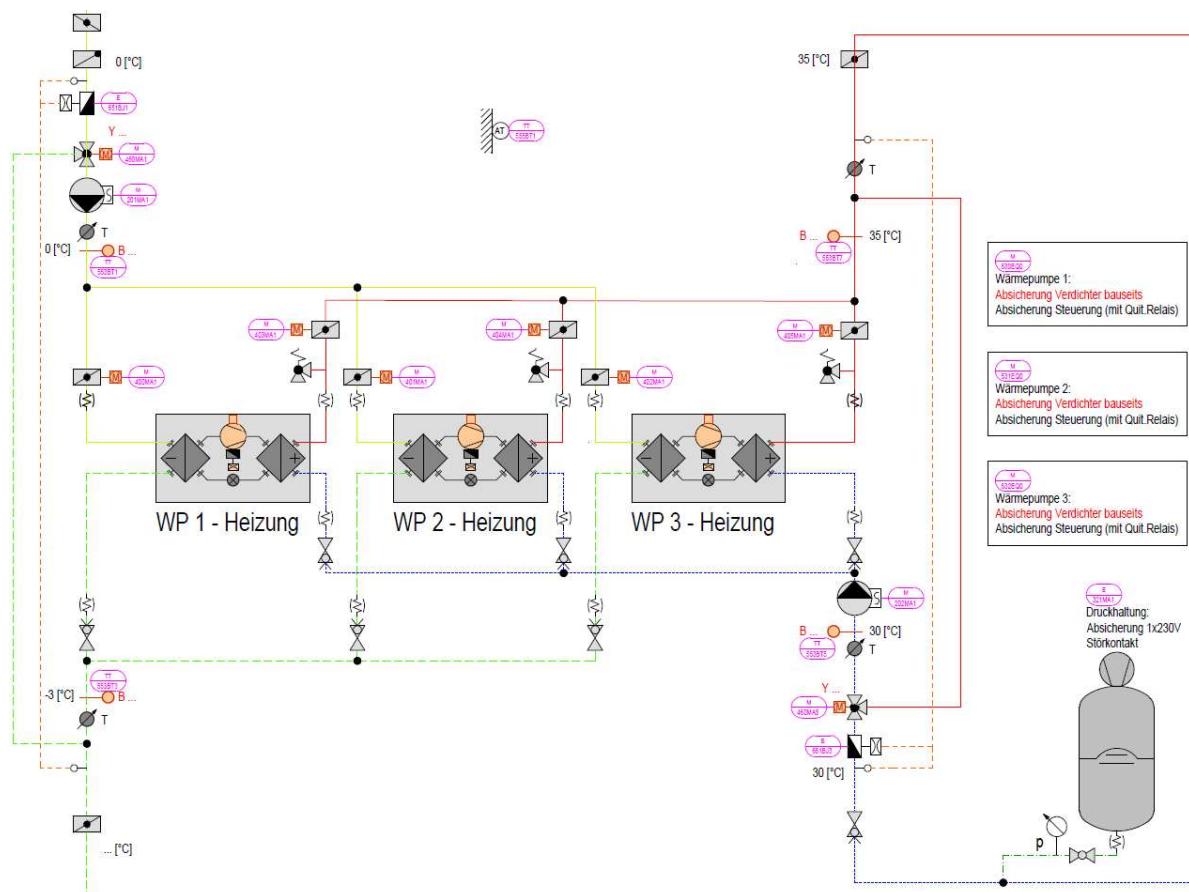


Abbildung 6: Prinzipschema Ausschnitt Heizwärme- Erzeugung mittels WP

2.5 Funktionsbeschrieb Heizgruppe Fußbodenheizung

Das Haus verfügt über eine Heizgruppe für die Raumheizung. Die Heizgruppe versorgt dabei die FBH- Heizverteiler pro Wohnung mit einer vorregulierten VL- Temperatur nach Heizkurve (Aussentemperatur geführt) sowie einer Maximalbegrenzung der VL- Temperatur.

Die Wohnungen sind unabhängig der Wärmeerzeugung geregelt. Die Umschaltung Heizen / Free-Cooling erfolgt allerdings zentral ab der Heizungsanlage an jeden Fußbodenheizverteiler.



2.6 Funktionsbeschrieb Free-Cooling Wohnungen

Über die Fussbodenheizung wird im Sommer bei Bedarf gekühlt. Die Umschaltung Heizen und Free-Cooling erfolgt, wie bereits oben beschrieben, ab der zentralen Steuerung. Die Kühlung erfolgt dabei aus der vorhandenen Kälte des Eisspeichers. Aus diesem Grund wird der Eisspeicher nicht komplett solar regeneriert, es wird stets eine Restkälte für das Free-Cooling vorgehalten.

Im Free-Cooling Betrieb holt sich die Free-Cooling Förderpumpe kaltes Glykol / Wasser-Gemisch und kühlt dabei über einen Umformer das Heizungswasser auf die vorgegebene Solltemperatur «Free-Cooling».

Innerhalb des Hauses kann nicht gleichzeitig gekühlt und geheizt werden, die Umschaltung erfolgt mittels zweier Klappen. Die Heizgruppen-Pumpe bringt schliesslich das kühle Wasser zu den Fussbodenheizungsverteiler. Das Free-Cooling verfügt über einen Wärmezähler (Optimierung).

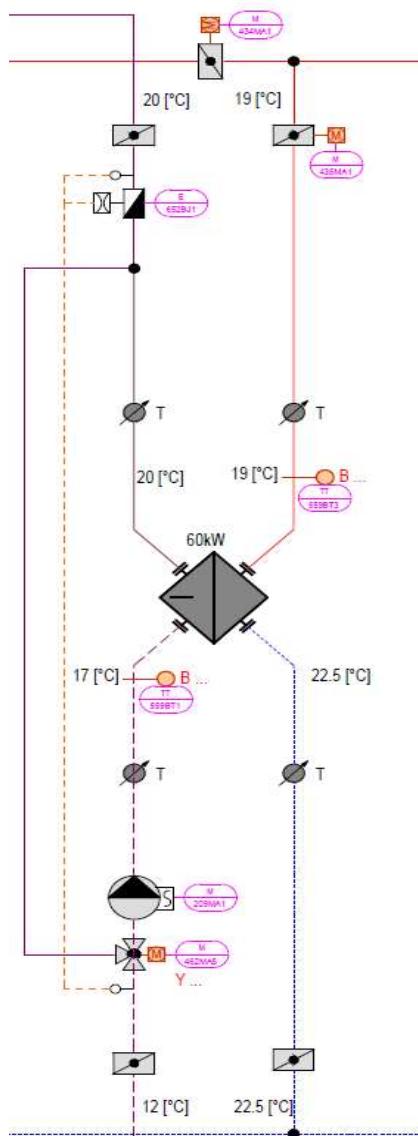


Abbildung 7: Prinzipschema Ausschnitt Free-Cooling mit Umformer und VL-Temperatur-Vorregulierung



2.7 Funktionsbeschrieb Wärmeerzeugung BWW

Die Erzeugung der Wärme erfolgt durch 2 Wärmepumpen. Die Leistungsregelung erfolgt in Stufen, der Durchfluss durch den jeweiligen Verflüssiger und Verdampfer kann mit einer motorisierten Absperreitung aktiviert oder unterbunden werden.

Die Freigabe (Ein / Aus) erfolgt bei Bedarf BWW bzw. BWW-Speichertemperatur (Ladezustand). Die Schaltung der Leistungsstufen Wärmepumpe erfolgen nach VL-Temperatur-Regulierung.

Das 3-Wegventil dient der Begrenzung der WP-Eintrittstemperatur nach unten (Einsatzgrenzen) und im geringen Maße der Stabilisierung der VL-Temperatur (Ausgleichen von Schwankungen wegen der Stufenschaltung der Wärmepumpen). Die Wärmeerzeugung für BWW verfügt über einen Wärmezähler (Optimierungszwecke).

Das 3-Wegventil auf der Verdampfer-Seite dient der Begrenzung der WP-Verdampfer-Eintrittstemperatur nach oben (Einsatzgrenzen). Die Verdampfer-Seite verfügt über einen Wärmezähler (Optimierungszwecke).

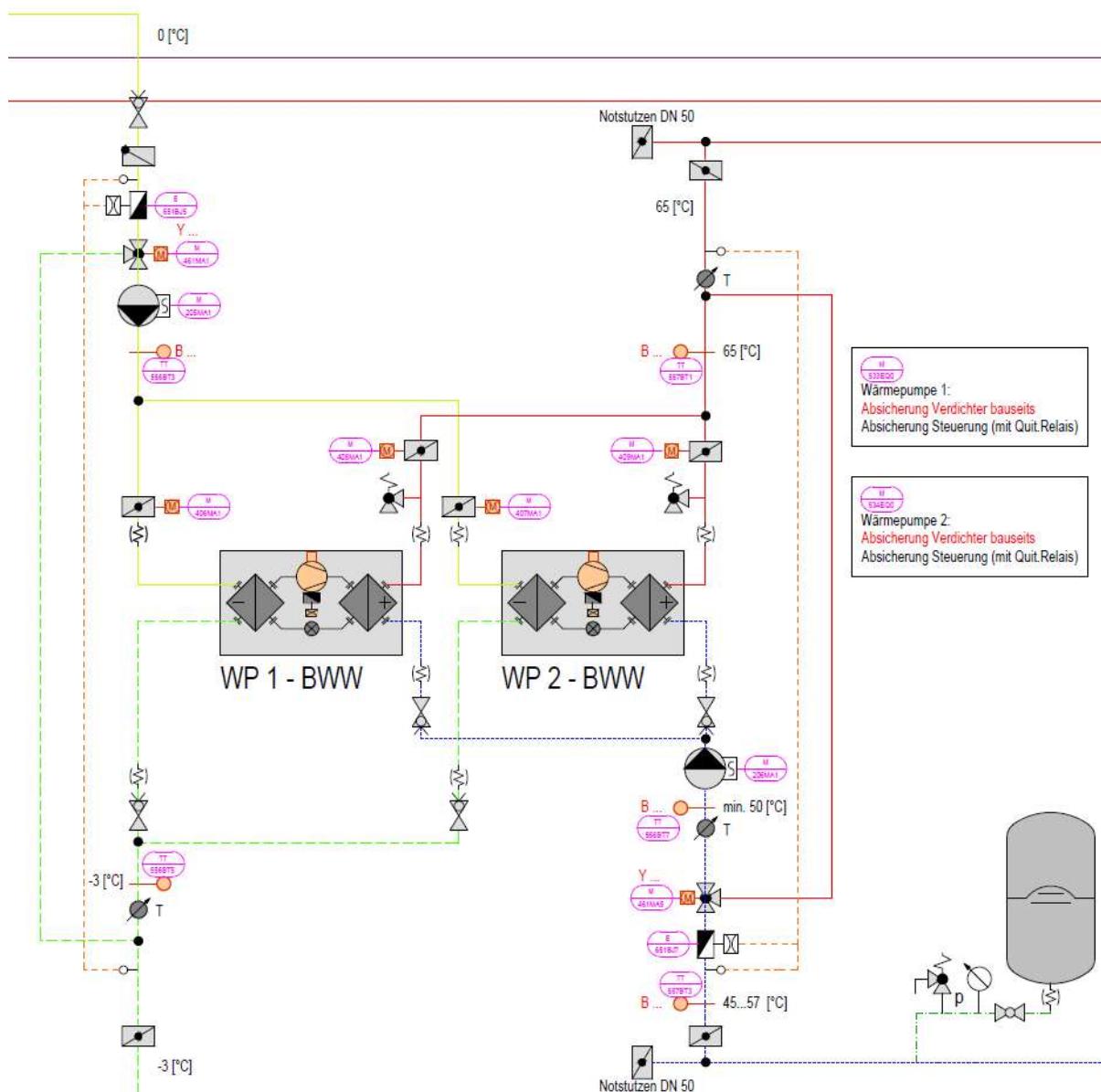


Abbildung 8: Prinzipschema Ausschnitt BWW- Erzeugung mittels WP



2.8 Funktionsbeschrieb BWW- Ladung

Die BWW- Ladung erfolgt mittels Platten- Wärmeaustauscher auf das Trinkwasser. Die Hochhaltung auf die gewünschte Temperatur wird dabei mittels Beimisch-Schaltung gewährleistet.

Für die Zirkulation ist eine Pumpe vorgesehen. Steuerung mittels Zeitschaltprogramm.

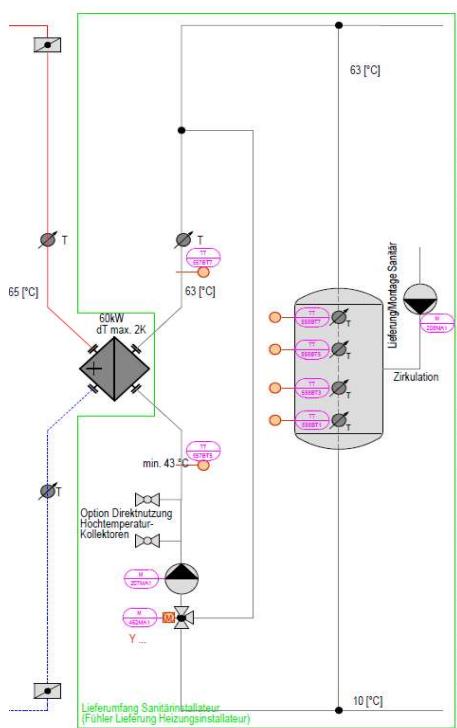


Abbildung 9: Prinzipschema Ausschnitt BWW- Ladung mit Wärmeaustauscher und Beimischregulierung

2.9 Funktionsbeschrieb Schwarzwasser-Abwärmennutzung

Die BWW- Erzeugung kann Wärme direkt ab Solarkollektoren, ab Eisspeicher oder ab der Schwarzwasser-(ungeklärtes Abwasser) AWN- Anlage beziehen. Die Umschaltung erfolgt mittels eines Ventils. Das Herzstück in dem Betonschacht ist das Schwarzwasser-Abwärmennutzungs-Modul, eine Kombination aus Wärmetauscher und ausgeklügelter Filtereinheit. Maximal wird das Abwasser auf 5°C abgekühlt. Der detaillierte Regelbeschrieb von Spül- und Injektorpumpe, Druckregelung sowie auch die Rückmeldung des Ladezustandes ist dem Anhang zu entnehmen.

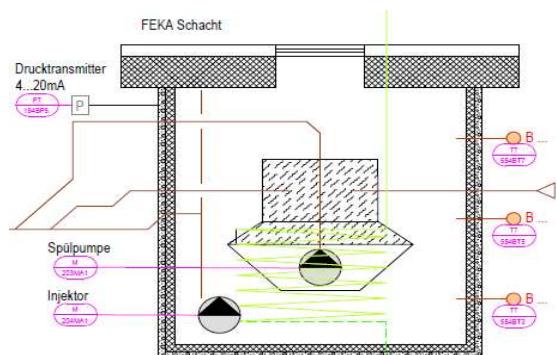


Abbildung 10: Prinzipschema Ausschnitt Schwarzwasser-Abwärmennutzung-Schacht



2.10 Eisspeicher und Solar-Absorber

Im Erdreich ausserhalb des Gebäudes ist ein Eisspeicher betoniert worden. Innerhalb des Eisspeichers dienen zwei getrennte Rohrschlangen als Wärmeaustauscher (1 x Regenerieren und 1 x Entladen).

Im Heizbetrieb bezieht die Wärmepumpe ab Eisspeicher oder direkt ab den Solarkollektoren Wärme. Die Umschaltung erfolgt mittels zweier Klappen aufgrund von Temperaturmessungen bei den Kollektoren und dem Ladezustand des Eisspeichers.

Sobald zusätzliche Wärme vorhanden ist, wird über die Solar- Kollektoren ebenfalls Eis abgetaut und das Wasser erwärmt.

Der Ladezustand des Eisspeicher wird mittels Füllstands- und Temperaturmessung ermittelt (Füllstandsmessung → Ausdehnung vom Speicherinhalt mittels Änderung der Dichte des Wassers und des Eises beim Einfrieren und Abtauen).

Die Entlade-Seite des Eisspeichers verfügt wie auch die Regeneration durch die solaren Absorber über einen Wärmezähler (Optimierungszwecke).

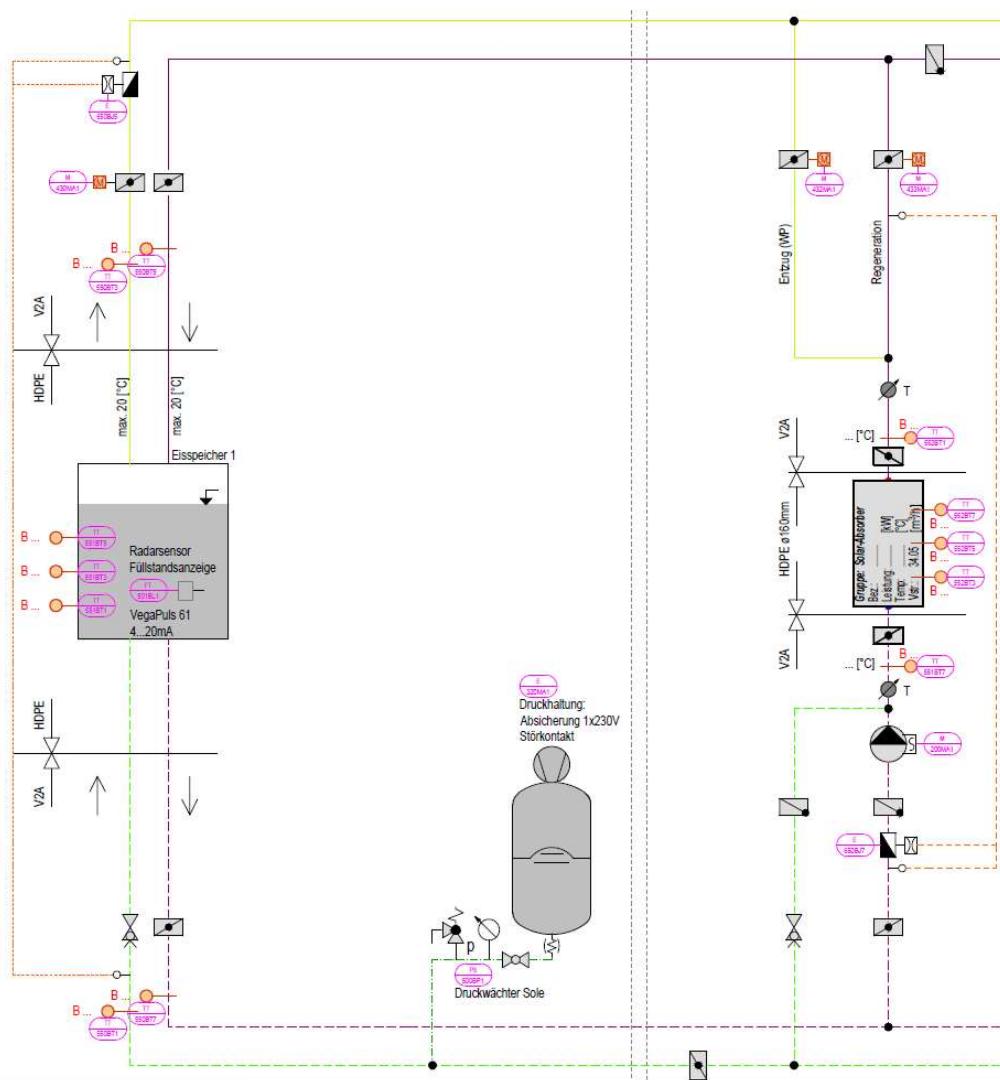


Abbildung 11 Prinzipschema Ausschnitt Eisspeicher und Solarkollektoren für Entzug und Regeneration

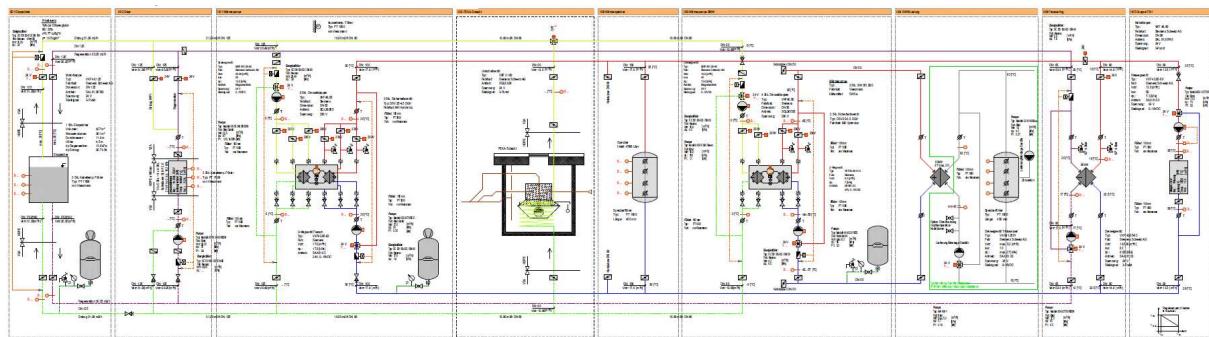


2.11 Messkonzept

Der Energieverbrauch wird nutzungsdifferenziert über Wärmezähler erfasst. Die Wärmezähler «Heizung» wurde vor dem Fußbodenheizungsverteiler eingebaut. Der Energieverbrauch der Luftheritzer wird ebenfalls gemessen. Die Ablesung erfolgt über Funk. Zudem wird die Energie der nachfolgenden Gruppen gemessen und auf ein Leitsystem aufgeschaltet:

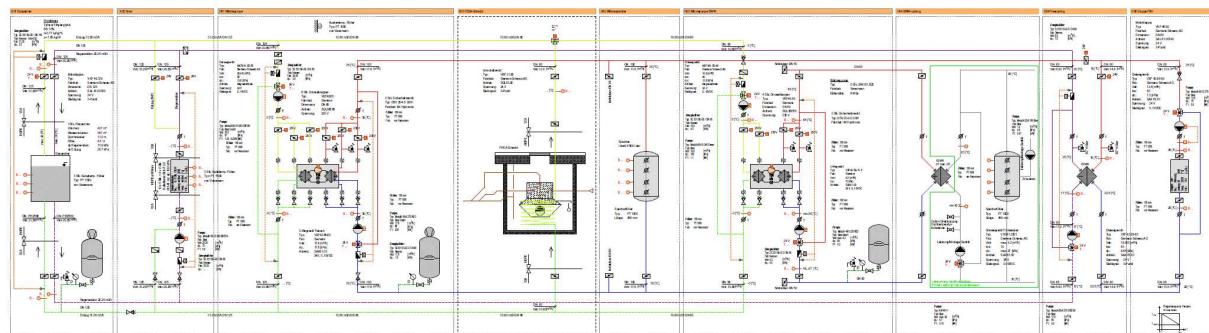
- Solar
- Wärmeerzeugung Heizung Verdampfer und Kondensator
- Wärmeerzeugung Warmwasser Verdampfer und Kondensator
- Freecooling

Haus A



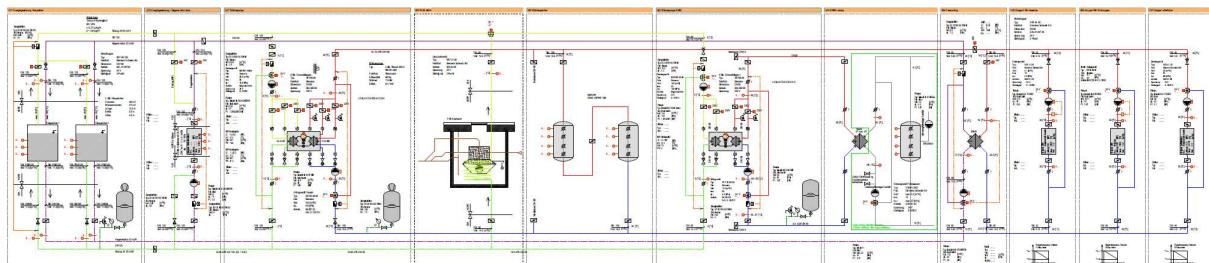
Abbildungen 12: Hydraulik-Prinzipsschema – Messstellen Haus A

Haus B



Abbildungen 13: Hydraulik-Prinzipsschema – Messstellen Haus B

Haus C

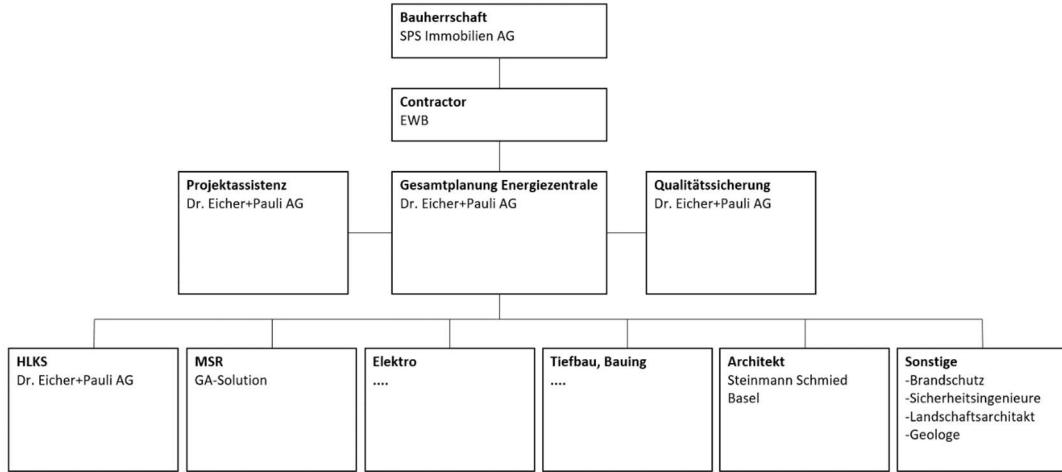


Abbildungen 14: Hydraulik-Prinzipsschema – Messstellen Haus C



3 Vorgehen und Methode

Folgend ist die Organisation des Projekts graphisch dargestellt. In der P&D-Projektphase wurde das Projekt resp. die Liegenschaft mit allen Rechten und Pflichten an die Allianz verkauft. Der Besitzerwechsel verursachte im Rahmen der Verkaufsphase im P&D-Projekt zusätzlichen Aufwand.



3.1 Betriebsoptimierung, Auswertung

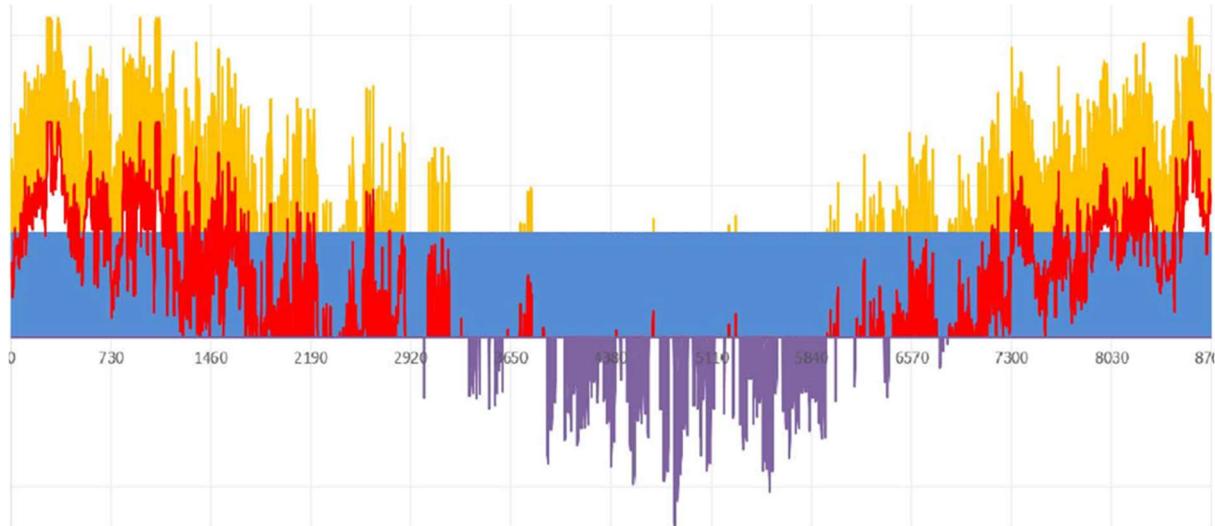
Die Messstellen wurden so in Abstimmung mit dem BFE festgelegt, dass die relevanten Effizienz-Betriebsparameter der Eisspeicher-/AWN-/Wärmepumpensysteme ermittelt werden können. Die im Wesentlichen erfassten Parameter sind nachfolgend aufgeführt:

Messkonzept BFE P&D / Exemplarisch Haus A (in Bearbeitung)											
Weltpostpark Bern											
Haus A - Messpunkte WP / Eisspeicher / FEKA	Aussage →	Effizienz								Optimierung	
Wärmemengenmessungen (WZ)											
Eisspeicherladung solar		kWh				1		1			
Eisspeicherladung Free-Cooling		kWh				1			1		
Eisspeicher- Entladung		kWh				1					
Hgz-Wärmepumpe Verdampferseitig		kWh	1	1							
Hgz-Wärmepumpe Heizungsseitig		kWh	1	1							
BWW-Wärmepumpe Verdampferseitig		kWh	1		1						
BWW-Wärmepumpe Heizungsseitig		kWh	1		1						
Elektro- Energiezähler											
Werksmessung Wärmepumpe Heizung		kWh	1	1							
Werksmessung Wärmepumpe BWW		kWh	1		1						
Temperaturmessungen											
Hgz- Wärmepumpe Eintritt Verdampfer		°C								1	
Hgz- Wärmepumpe Austritt Verdampfer		°C								1	
BWW- Wärmepumpe Eintritt Verdampfer		°C								1	
BWW- Wärmepumpe Austritt Verdampfer		°C								1	
Hgz- Wärmepumpe Eintritt Heizungsseitig		°C								1	
Hgz- Wärmepumpe Austritt Heizungsseitig		°C								1	
BWW- Wärmepumpe Eintritt Heizungsseitig		°C								1	
BWW- Wärmepumpe Austritt Heizungsseitig		°C								1	
Eintritt Solar-Absorber		°C								1	1
Austritt Solar- Absorber		°C								1	1
Eintritt Free- Cooling		°C								1	1
Austritt Free- Cooling		°C								1	1
Eisspeicher Oben		°C			1					1	1
Eisspeicher Mitte		°C			1					1	1
Eisspeicher Unten		°C			1					1	1
Austritt FEKA		°C				1				1	1
Analoge- Werte											
%- Ladung Heizungsspeicher		%								1	1
%- Ladung BWW- Speicher		%								1	1
%- Ladung Eisspeicher		%								1	1
%- Ladung FEKA		%				1				1	1
%- Betrieb WP Heizung		%								1	1
%- Betrieb WP BWW		%								1	1
Digitale- Werte											
solar Ladung Ein / Aus	0/1						1		1	1	
Betrieb FEKA Ein / Aus	0/1					1			1	1	
Betrieb Free- Cooling Ein / Aus	0/1						1	1	1	1	

Abbildung 15: Matrix Messstellen-Auswertung



Die Daten werden auf das Leitsystem aufgeschaltet und vor Ort mit einer hohen zeitlichen Auflösung erfasst. Neben der Ermittlung von Effizienz und Betriebszuständen als Grundlage für die Optimierungsschritte soll die dynamische Simulation plausibilisiert und der redundante Betrieb einem Monitoring unterzogen werden.



Abbildungen 16: Dynamische Simulation Normjahr Eisspeicher-Bewirtschaftung

SIA-Effizienzpfad Energie

Nachfolgend wird der Nachweis in der Rubrik «Betrieb» aufgeführt. Ein weiteres Ziel des P&D-Projektes ist die Plausibilisierung und Verifizierung der SIA 2040 Berechnung resp. der 2000-Watt Nachweis im Betrieb.

Rechenhilfe SIA 2040: Vorstudie / Vorprojekt						Betrieb
Projektinformation						
Weltpoststrasse 1, Bern Geb. A						
Gebäudekategorie			Wohnen	Neubau		
Objekteingaben	GF EBF	m^2	8220	Geschossfläche		
		m^2	6440	Energiebezugsfläche		
					Legende:	
					Eingabefelder	
					Auswahlfelder	
					Übernom. Werte	
					BTF = Bauteilfläche	
					E = Energiekennzahl	
Verwendungszweck Bezeichnung	Bezug	Einheit	Menge	Ausführungsvariante	Info	
Wärme Heizwärmbedarf	Q_H	MJ/m^2	79	Wärmepumpe (Wasser/Wasse)	$\varepsilon_{SPF,H}$	4.10
Wärme für Warmwasser	Q_W	MJ/m^2	50	Wärmepumpe (Wasser/Wasse)	$\varepsilon_{SPF,W}$	2.20
Hilfsenergie für Heiz+WW	E_{aux}	MJ/m^2	2			3.5
Lüftung/Klima Lüftung	E_V	MJ/m^2	6	mit mechanischer Lüftung	ohne Kühlung	10.4
Beleuchtung Beleuchtung	E_L	MJ/m^2	12		effiziente Beleuchtung	20.8
Betriebseinr. Betriebseinrichtungen	E_A	MJ/m^2	25		hocheffiziente Geräte	43.3
Diverse Gebäudetechnik Anz Lift	Stk		3		pro Lift in M.	3'000
Eigenproduktion von Strom: Photovoltaik	BTF	m^2			Deckung	0%
von Wärme: Solarkollektoren	BTF	m^2	0	Wärme für Warmwasser	Deckung	0%
Liefervertrag für zertifizierte Elektrizität	Anteil am Total		35%	LV Wasserkraft	100% in kwh	158'125
					Projektwert	153
					Richtwert	200
						2.5

Abbildungen 17: Bilanzierung 2000-Watt



4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Dynamische Simulation

Die Auslegung bilanzrelevanter Komponenten wurde durch die Anbieter nicht offen gelegt. Zur Sicherstellung des Projektziels eines redundanten Betriebes wurden daher umfangreiche dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt.

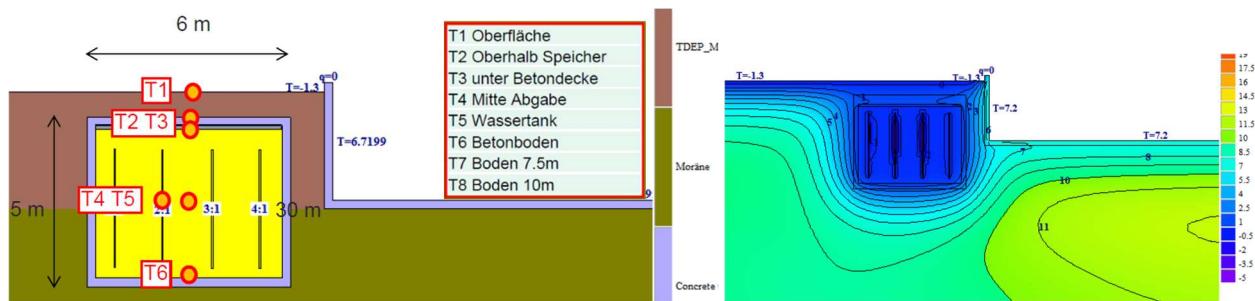


Abbildung 18: Simulationsmodell Eisspeicher

Temperaturen Ende 4. Betriebsjahr

Nachfolgend werden die Temperaturverläufe im vierten Betriebsjahr zuerst ohne, dann mit der Einbindung der Schwarzwassernutzung aufgezeigt:

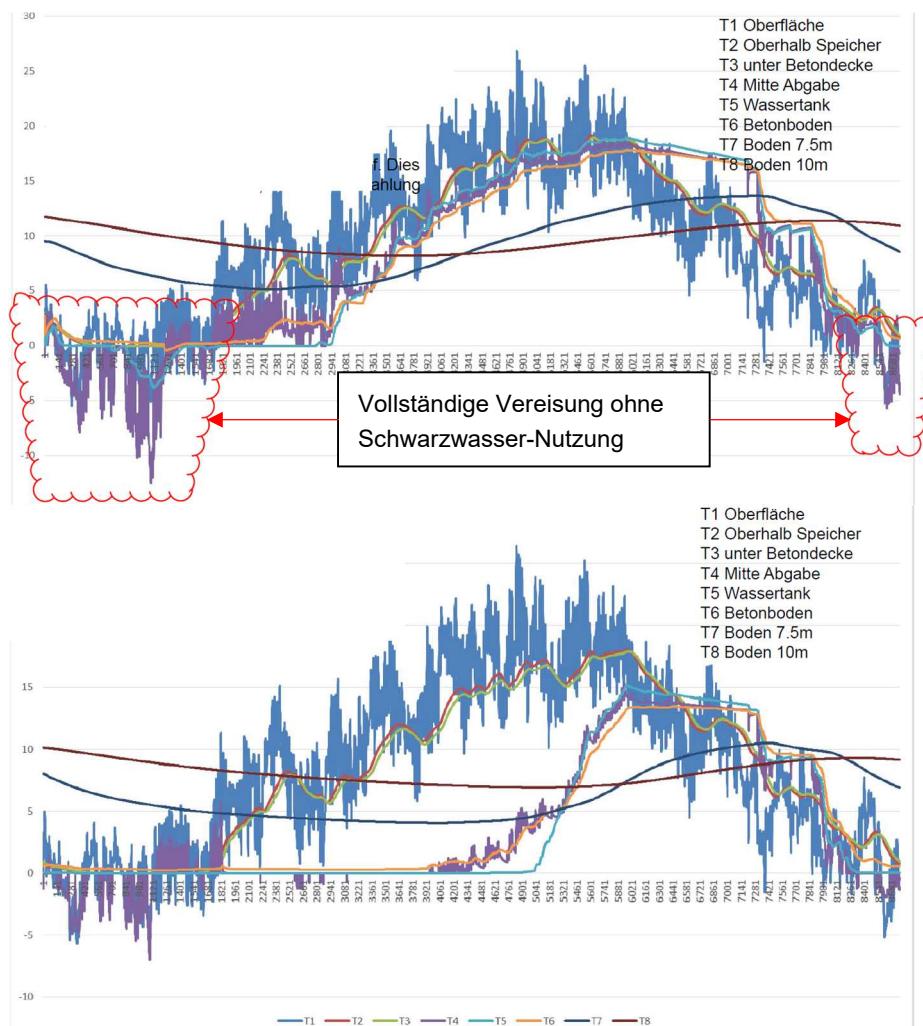


Abbildung 19: Simulation Temperaturen im vierten Betriebsjahr ohne/mit Schwarzwasser-AWN



Aus der Eisspeicher-Simulation ist ersichtlich, dass durch eine fehlende oder nur teilweise Einbindung der Schwarzwassernutzung die Gefahr einer Überbelastung der Eisspeicher besteht. Die Simulation führte zum Schluss, dass mit den Auslegungen der Systemanbieter eine zusätzliche Nutzung der Schwarzwasser-Abwärme unerlässlich ist. Würde davon abgesehen, müsste von einem sporadischen Einsatz einer Notheizung ausgegangen werden.

4.2 Effizienz Wärmepumpen

Der Wärmepumpenbetrieb erfolgt über die Schwarzwasser-AWN, die Eisspeicher sowie die Luft-Solarabsorber womit sich folgende theoretische Wirkungsgrade ergeben. Die aufgelisteten Carnot Wirkungsgrade bilden dabei die möglichen Betriebsweisen der Wärmeerzeugung ab.

$$T_{Warm,Heizbetrieb} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{Warm,BWW-Betrieb} = 63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{Kalt,Eisspeiche} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{Kalt,Luft} = -14 \text{ und } 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$COP_C = \frac{1}{\eta_C} = \frac{T_{Warm}}{T_{Warm} - T_{Kalt}}$$

$$COP_{C,Heizbetrieb \text{ via } Luft-Solarabsorber,Min} = \frac{273 + 35}{(273 + 35) - (273 - 14)} = 6.3$$

$$COP_{C,BWW-Betrieb \text{ via } Luft-Solarabsorber,Max} = \frac{273 + 63}{(273 + 63) - (273 + 10)} = 6.3$$

$$COP_{C,Heizbetrieb \text{ via Eisspeiche}} = \frac{273 + 35}{(273 + 35) - (273 + 0)} = 8.8$$

Die vorgängig ersichtlichen maximal möglichen Carnot-Wirkungsgrade gilt es bestmöglich zu erreichen. Die durchschnittliche monatliche JAZ der Wärmeerzeugung berechnet sich aus den Energiezählermessungen der Senken und Quellen.

$$JAZ_{Monat} = \frac{Q_{Senkeenergie}}{Q_{Senkeenergie} - Q_{Quellenergie}}$$

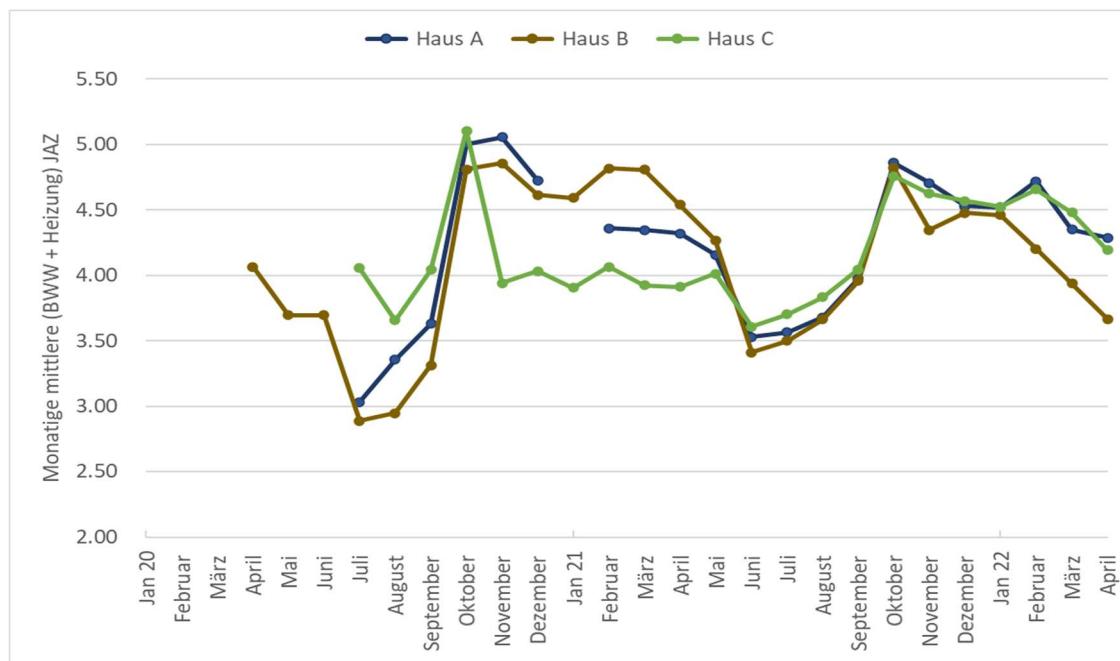


Abbildung 20: Monatliche Jahresarbeitszahl JAZ



Die Betriebsaufnahme erfolgte im Frühjahr 2020. Ab Dezember waren die FEKA-Anlagen in Betrieb. In den Wintermonaten fällt die Schwarzwassernutzung für die BWW-Wärmepumpen weniger ins Gewicht, da mehr Heizenergie benötigt wird.

Die zweite Heizperiode zeigte nun einen **stabilen Wärmepumpenbetrieb mit einer mittleren JAZ von 4.5**, mit einer Ausnahme: Wegen baulich schwierigen Voraussetzungen konnte im Haus C lediglich 1/3 des verfügbaren Schwarzwasser eingebunden werden. Die höhere Belastung der Eisspeicher führte zu einer tieferen Quellentemperatur und in der Folge zu einer deutlich geringeren JAZ. Diese lag zwar mit Beginn der Heizperiode auch bei 4.5, jedoch gegenüber einer vollständigen Schwarzwassernutzung im Frühjahr nur bei 3.5.

4.3 Betrieb Wärmesenken

In der Heizperiode 2021/22 wurde im Haus B leicht mehr Heizenergie als in den Häuser A und C verbraucht. Der Verbrauch an Warmwasser ist über die Betrachtungsperiode konstanter.

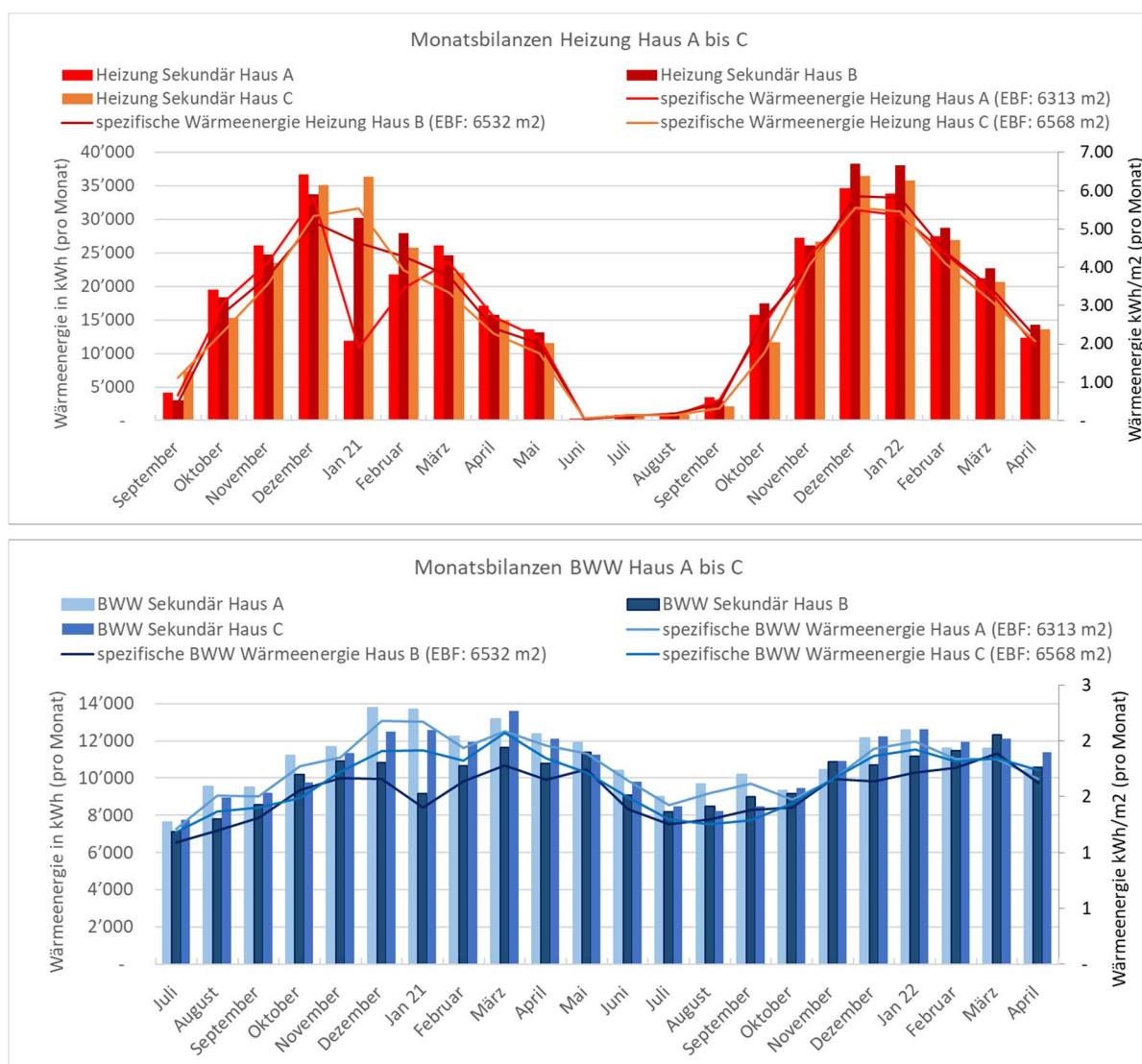


Abbildung 21: Wärmesenken



4.4 Betrieb Quellen

Für Effizienzverbesserungen stehen mehrere Temperatur- und Energiemessungen zur Verfügung. In der ersten Heizperiode 2020/21 ist ein grösserer Wärmeentzug des Eisspeichers erkennbar als in der Heizperiode 2021/22. Aus der Erfolgskontrolle ist der Betriebsanteil der Quellen und die Energiemengen der aufgeführten Quellen ersichtlich. Es ist erkennbar, dass die Anlage einen monatlichen Betriebsanteil der Luft-Solarkollektoren/Schwarzwasser zwischen 50 bis 100% aufweist. Eine grosse Energiemenge der Regeneration ist nach Start des Heizbetriebes erkennbar. Der Eisspeicher wird über die Luft-Solarabsorber aufgetaut und erwärmt.

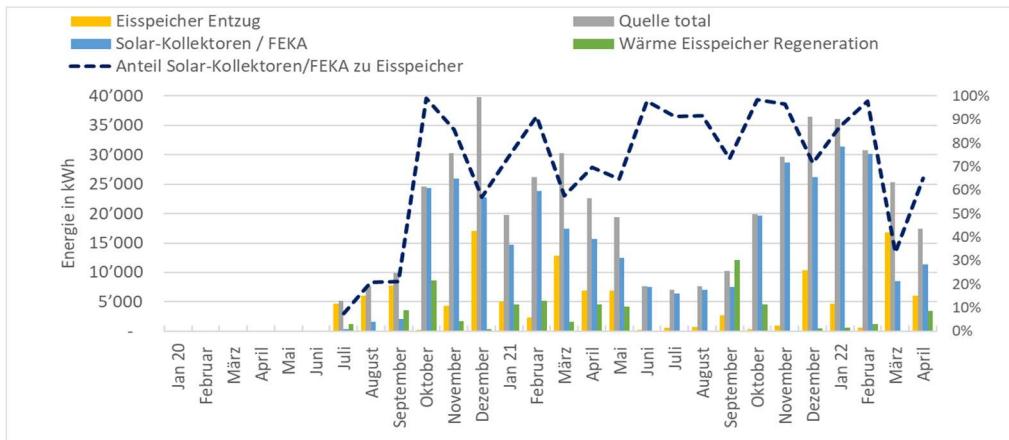


Abbildung 9: Quellenenergie und Anteile, Haus A

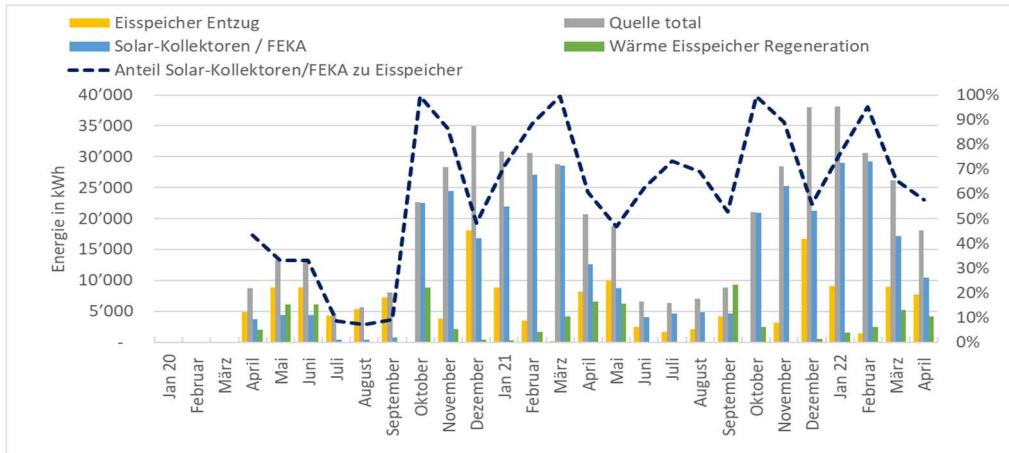


Abbildung 10: Quellenenergie und Anteile, Haus B

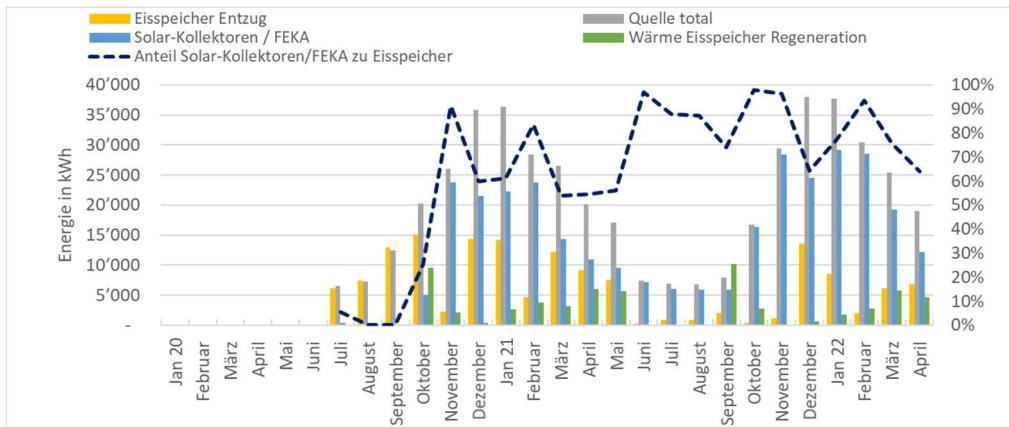


Abbildung 22: Quellenenergie und Anteile, Haus C



4.5 Historie und Eisspeicherdynamik

Bei allen Wärmeerzeugungen kommt es ein bis zweimal jährlich zu einem Ausfall der Wärmepumpen. Als Ursache werden Spannungsschwankungen durch die Ladeinfrastruktur der E-Mobilität vermutet.

Haus A: Die Wärmeerzeugung ist seit März 2020 in Betrieb und das Gebäude seit Mai 2020 bezogen. Da der FEKA-Betrieb während der Heizperiode 20/21 nicht zur Verfügung stand, führte die Überlastung des Eisspeichers und der Luft-Solarkollektoren zu einer frühzeitigen Vereisung. Haus A musste in der Folge mit einer Notheizung versorgt werden. Seit der Zuschaltung der Schwarzwassernutzung ist der Betrieb problemlos. Während der Heizperiode 2021-2022 ist der Eisspeicher mit maximal 20% Eis entladen. Ab März schaltet die Anlage jeweils in den Sommerbetrieb und baut gezielt Eis auf um durch die Sommermonate das Gebäude zu kühlen. Die Vereisung des Eisspeichers wird durch den Sommerbetrieb auf ca. 60% geregelt.

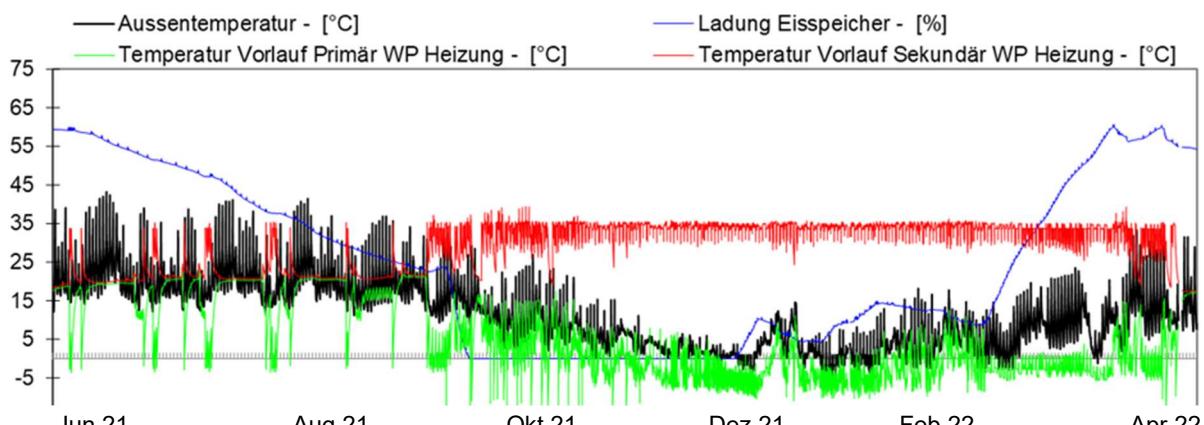


Abbildung 23: Eisspeicher und Temperaturdynamik Haus A

Haus B: Durch einen baulichen Eisspeicherschaden wurde während des Gebäudeeinzugs im Januar 2020 eine Notheizung erforderlich. Die Wärmeerzeugung ist nun seit März 2020 in Betrieb. Aus Platzmangel wurde zudem lediglich ein Drittel der Schwarzwasser-AWN eingebunden, wodurch die restlichen Quellen auf Dauer stärker belastet werden. Es ist auch klar erkennbar, dass im Eisspeicher von Haus B mehr Eis aufgebaut wird. Die anstehende Optimierung wird in Kapitel 5.2 beschrieben.

In der Heizperiode 21/22 wurde der Eisspeicher maximal 70% entladen. Ab März schaltet die Anlage jeweils in den Sommerbetrieb und baut gezielt Eis auf. Die Vereisung des Eisspeichers wird durch den Sommerbetrieb auf ca. 60% geregelt. Die Radarsonden wurden anfangs Heizperiode neu eingestellt.

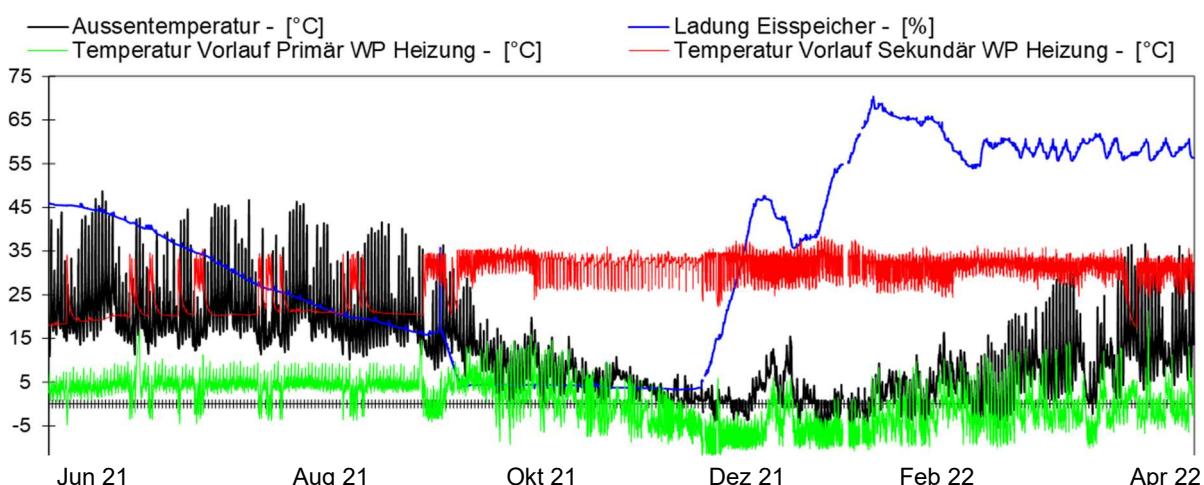


Abbildung 24: Eisspeicher und Temperaturdynamik Haus B



Haus C: Die Historie von Haus C deckt sich mit Haus A ausser, dass es nie zu einer frühzeitigen Vereisung kam. Während der Heizperiode 2021/22 ist der Eisspeicher mit 50% vereist. Ab März schaltet die Anlage in den Sommerbetrieb und baut gezielt Eis auf, um durch die Sommermonate das Gebäude zu kühlen. Die Vereisung des Eisspeichers wird durch den Sommerbetrieb auf ca. 45% geregelt. Durch die Sommermonate ist ausserdem ein zu hoher Vereisungswert von ca. 30% zu erkennen. Die Radarsonden wurden nun neu eingestellt.

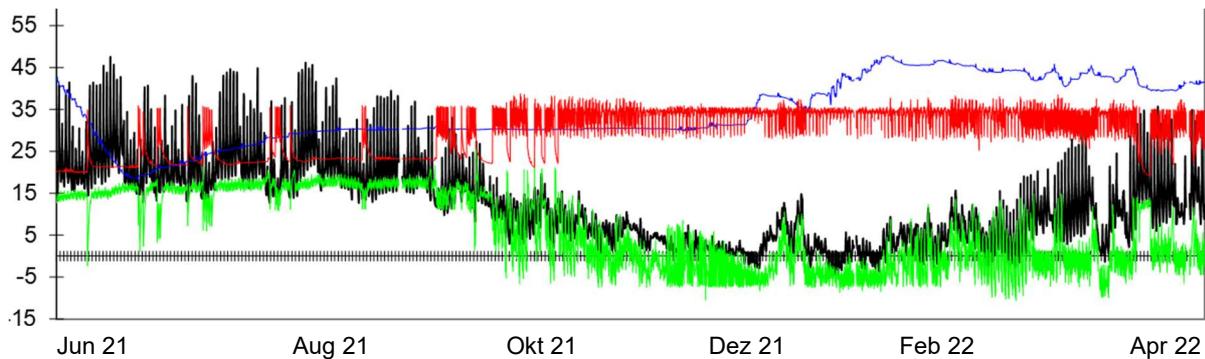


Abbildung 25: Eisspeicher und Temperaturdynamik Haus C

4.6 Kennzahlen

Das Energiejahr 2021/22 ergibt nachfolgende Wärmekennzahlen. Bei einer Gegenüberstellung mit Normkennzahlen gilt es, die noch vorliegende Bauaustrocknung zu beachten.

	Raumwärme kWh	Warmwasser kWh	Raumwärme kWh/m ² .a	Warmwasser kWh/m ² .a
Haus A	191'520	129'352	30.3	20.5
Haus B	203'730	122'410	31.2	18.7
Haus C	187'500	126'920	28.6	19.3

Die Anforderungen wurden bereits im zweiten Betriebsjahr eingehalten. Durch die identische Bauausführung und eine homogene Nutzung ergeben sich keine nennenswerten Differenzen.

4.7 Wirtschaftlichkeit

Die Kosten der Wärmeerzeugung wurden spezifisch weiteren Systemen zur Wärmeerzeugung gegenübergestellt. Die Investitionen beruhen auf Richtpreisen 2020, die Energiekosten basieren auf Tarifen in der Stadt Bern und die Berechnung der Jahreskosten erfolgte nach sia.

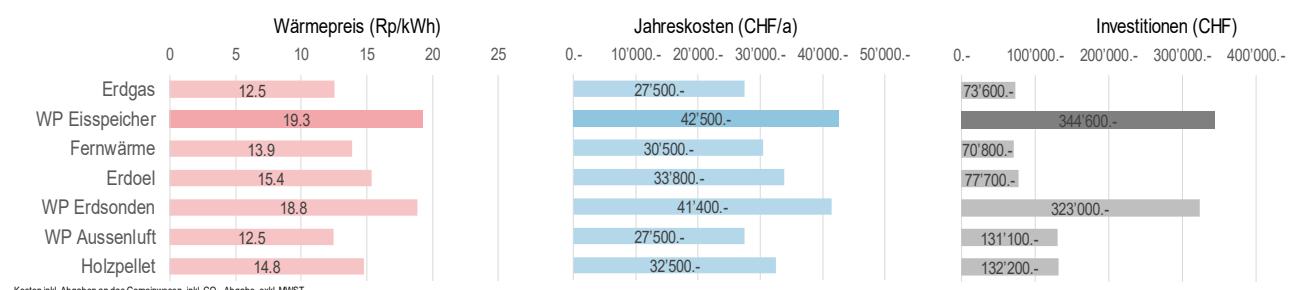


Abbildung 26: Wärmepreis / Jahreskosten / Investition für Heizanlagen 100 kW

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Eisspeicher leicht höhere Investitionen gegenüber Erdsonden ausweisen, jedoch die hohe Effizienz einen nahezu ebenso wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen.



4.8 Energiebilanz Beispiel Haus A

Das nachfolgend exemplarisch für Haus A aufgeführte Energieflussdiagramm 2021/22 lässt folgende Aussagen zu:

1. Lediglich rund 15% der **solaren Einstrahlung** dient der Regeneration der Eisspeicher, der vorwiegende solare Anteil konnte bei den konkreten klimatischen Bedingungen 2021/22 direkt genutzt werden.
2. Die Bilanzierung der messbaren Energieströme führt zu einem Energie-Eintragsanteil (Solar, Abwasser, Erdreich, Free-Cooling) über das **Erdreich der Eisspeicher** von ca. 8%. Eine Plausibilitätsberechnung und die nachfolgend aufgeführten Simulationsberechnungen der Isothermen der Eisspeicher lässt diesen Anteil als realistisch erscheinen.
In welchem Ausmass sich das Erdreich über mehrere Jahre Betrieb nachhaltig auskühlt und in der Folge dieser Wärmeeintrag wegfällt, sollte in einer Vertiefungsstudie untersucht werden.
3. Der Wärmeintrag aus der **Schwarzwasser-Abwärmennutzung** erscheint Energiemengenmäßig im Vergleich zum geschätzten Wärmeintrag über das Erdreich gering, ist jedoch als Stützquelle bei tiefen Außentemperaturen erforderlich.

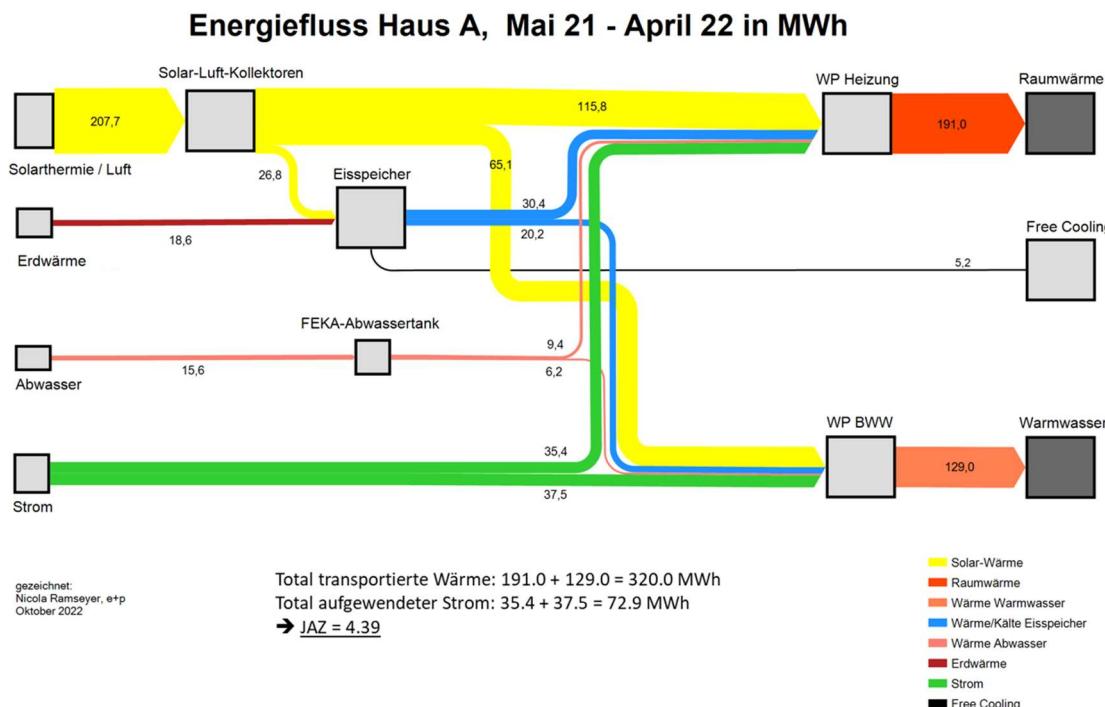


Abbildung 27: Energiefluss Haus A des Energiejahres 2021/22

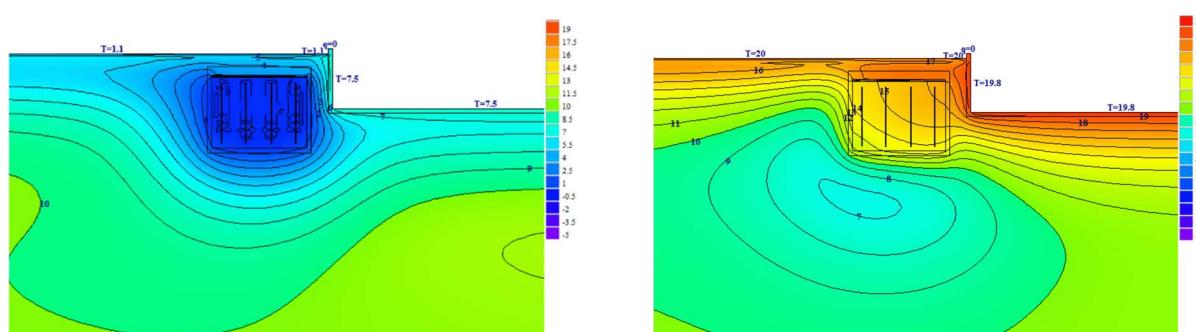


Abbildung 28: Isothermen Simulation Eisspeicher bei «geladenem (September) und entladener (März) Zustand



4.9 Analyse Haus B

Die Wärme-Versorgungssysteme der Häuser A und C erfüllen die Bedürfnisse und weisen gemäss den Analysten genügend Reserven auf. Hingegen kamen die Erfolgskontrollen und Analysen im Haus B zum Schluss, dass

- Die Quellen des Wärmesystems für den realen Wärmebezug der Heizung und des Warmwassers zu knapp bemessen sind. Das heisst, es besteht das Risiko, dass der Eisspeicher eine völlige Vereisung erreicht und damit keine Leistung mehr abgeben kann. Bedingt ist dies durch die Tatsachen, dass weniger als 50% des Warmwassers als Quelle genutzt wird (FEKA) und dass allgemein über 40% weniger Warmwasser anfällt als berechnet wurde.
- Ebenfalls negativ wirkt sich die Tatsache aus, dass der Wärmebezug Heizung um über 90% höher liegt als berechnet. Dies kann durch Nutzereinfluss oder eine Gebäudehülle bedingt sein, welche nicht analog zu den Wärmeberechnungen ausgeführt wurde.
- Auf diese Punkte wird nachfolgend primär fokussiert, in der Kenntnis, dass weitere Themen bestehen, welche ebenfalls behoben werden müssen:
- Hydraulik der Warmwasser-Versorgung, welche zu Temperaturschwankungen führt
- Punktuelle Ausfälle der Wärmepumpe, zu welchen noch keine Erklärung besteht (Elektroseite)
- Übermittlung der Alarne und deren Priorisierung
- Wartungs- und Betriebsorganisation auf Komplexität der Anlage anpassen

Die erfassten Betriebsprobleme durch die nicht ausreichende Abwärmennutzung im Haus B lassen sich wie folgt zusammenfassen:

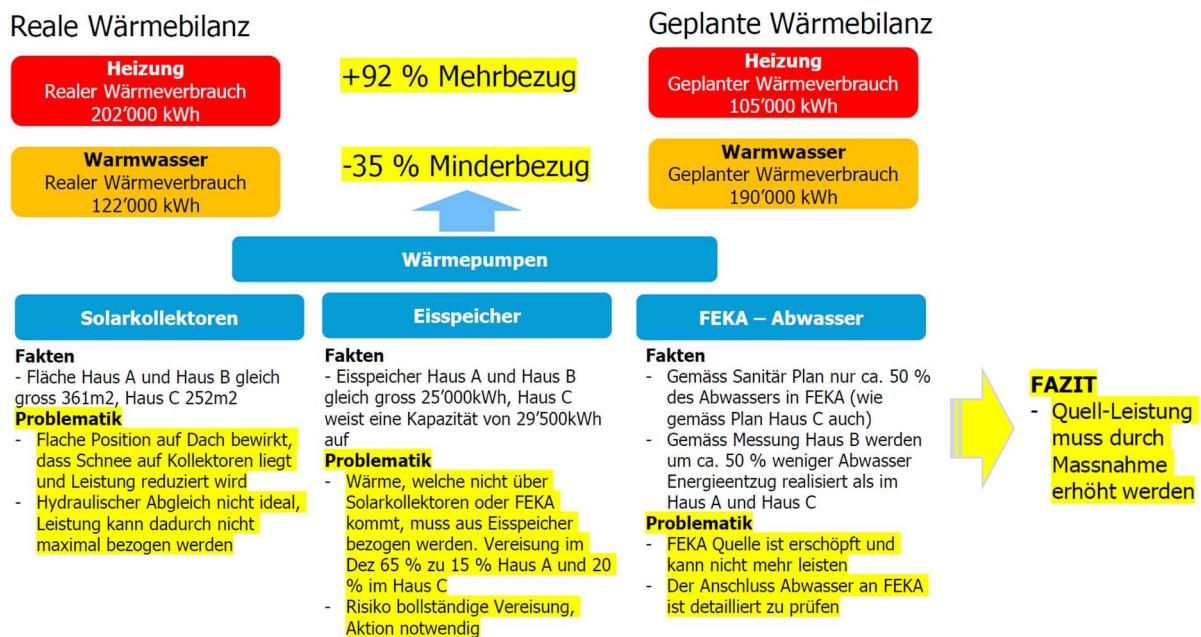


Abbildung 29: Analyse Betrieb Haus B

Die Analyse der Wärmeversorgung Haus B kam zum Schluss, dass eine Erhöhung der Quell-Leistung am zielführendsten ist. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Häuser A und C mit einer wie geplant realisierten Abwärmennutzung zur vollen Zufriedenheit und mit der erwarteten Effizienz betrieben werden können. Die Optimierungs-Optionen werden im Kapitel 5.2 beschrieben.

Weitere Detail-Betriebsanalysen sind im Anhang 11.4 aufgeführt.



5 Optimierung und Fazit

5.1 Allgemeine Optimierungspunkte

Aus der Erfolgskontrolle ergibt sich für die Wärmeerzeugungen eine JAZ (Mai 2021 bis April 2022) von 4.1 bis 4.3, was den Erwartungen entspricht. Nachfolgend sind Optimierungsvorschläge aufgelistet, welche die Effizienz, die Stromversorgung und die Versorgungssicherheit weiter erhöhen sollen:

- Eine bisher praktizierte Vereisung bereits im März (für einen ausreichenden Free-Cooling-Betrieb) wird als zu verfrüh beurteilt. Wir empfehlen für eine grössere, wärmebezogene Betriebssicherheit eine Eisbildung erst ab Mitte April.



- Die Luft-Solarabsorber sollen zur Reduktion der Schneeüberdeckung bei weiteren Anlagen nach Möglichkeit einen grösseren Neigungswinkel aufweisen. Zudem könnten die Luft-Solarabsorber Module mit transluziden PV-Modulen überdeckt werden.
- Die Schwarzwasser-Tanks sollen für eine bessere Anlageneffizienz regelmässig gereinigt werden. Durch die geringere Schwarzwassermenge im Haus B kommt es zu einem pendeln des Wärmepumpen-Betriebes. Eine Korrektur der Regelungsparameter sollte das entschärfen.
- Dem sporadischen Ausfall einzelner Wärmepumpen soll durch eine Netzüberwachung resp. - Steuerung entgegengewirkt werden. Die durch E-Mobilität oder weiteren Verbraucher verursachten Fehlströme werden dadurch eruiert.

5.2 Redundante Wärmeversorgung Haus B

Die nicht wie geplant realisierte resp. nicht ausreichende Abwärmeverwendung im Haus B kann grundsätzlich durch folgende Varianten kompensiert werden:

1. Vollständige Abwasser-Einbindung
 - Zweite FEKA erstellen zur Erfassung beider Abwasserstränge (kostenintensiv)
2. PVT-Kollektoren und Ersatz Wärmepumpen
 - Ergänzung der Solarkollektoren durch einen Rückkübler zur Leistungserhöhung
 - Ersatz Wärmepumpen, so dass tiefere Temperaturen genutzt werden können
3. Photovoltaik-Anlage und zusätzliche Wärmepumpe
 - PV-Elemente als Schneeschutz für Kollektoren
 - Ersatz Wärmepumpen, so dass tiefere Temperaturen genutzt werden können Grobbeurteilung: wie Ansatz 2, jedoch wird die Energieeffizienz ebenfalls erhöht

Ergänzend:

- Nutzer Instruktion für Temperatur-Regulierung und Lüftungsverhalten

Die nachträgliche vollständige Einbindung des Abwassers zur Abwärmeverwendung erwies sich als nicht umsetzbar. Für eine zukünftig redundante Wärmeversorgung auch des Gebäudes B kommt Variante drei zu Umsetzung.



5.3 Schlussfolgerung

Die vorstehend aufgeführten Ergebnisse zum Betrieb der Pilotanlage lassen den Schluss zu, dass sich **kombinierte Solarthermie-Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen effizient betreiben lassen**. Zudem zeigen die Ergebnisse der Erfolgskontrolle, dass die Abwärme-Nutzung aus Schwarzwasser für einen redundanten Betrieb von zentraler Bedeutung ist.

Die Energiebilanzierung der ersten zwei Betriebsjahre verdeutlichen a) die hohe Relevanz **gesicherter und belegter Anlageauslegungen** und bestätigen, dass bei einer limitierten Energiequelle eine **Redundanz zwingend** ist.

Die **Messresultate bestätigen zudem die Simulationsrechnungen** und die Abschätzung der Wärmepumpen-Effizienz.

Die Energiebilanzierung lässt auf einen nicht zu vernachlässigenden **Energieinput über die «Wärmequelle Erdreich/Eisspeicher** schliessen. Mit vertiefenden Untersuchungen sollte geklärt werden, wie weit diese Energiequelle durch die fehlende Regeneration über die Jahre abnimmt.

Wenn die Systemauslegungen durch die Anbieter nicht offengelegt werden, ist eine **dynamische Simulation unter Einbezug der projektspezifischen Energiesenken-Charakteristik von grosser Bedeutung**, ja unabdingbar.

Die Erfahrungen aus den Inbetriebnahmen bestätigen die **hohe Relevanz von umfassenden Funktionsprüfungen** bei Inbetriebnahmen.

6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Für eine betriebssichere, effiziente Auslegung von Eisspeicher-Systemen ist es unabdingbar, dass

- a) die **Systemauslegung** durch die Anbieter transparent offengelegt wird. Die Anbieter sollen System- und nicht nur Komponenten-Garantien vorlegen. Wie z.B. die Minergie Systemgarantie «Wohnungslüftungen» zeigt, sind hierbei klare Anforderungen und Schnittstellen zu definieren. Das dies nicht über einzelne Anbieter individuell erfolgen kann, regen wir an, eine «Systemgarantie Eisspeicheranlagen» unter Federführung des BFE zu erarbeiten.
- b) die **Benutzeranforderungen** bereits in der sia Phase 3 klar festgelegt und als weitere Planungsgrundlage durchgängig durch alle Planungsbeteiligten einbezogen werden.

Die Umsetzung der Energiestrategie ist bei fehlenden erneuerbaren Energiequellen u.A. von wirtschaftlichen und zuverlässigen Eisspeichersystemen abhängig. Durch die **Erarbeitung von Planungs-/Auslegungsgrundsätzen** und deren Kommunikation z.B. in Form eines «**Planungshandbuches**» und im Rahmen von **Kursen** durch Bund und Kantone unter Mitwirkung der Systemanbieter soll dieser Technologie zu einer weiteren Verbreitung verholfen werden.

Das **thermodynamische Verhalten** bei unterschiedlichen Nutzerprofilen und insbesondere die Dynamik des Wärmeeintrages über das Erdreich in die Eisspeicher ist **in vertieften Untersuchungen, Messungen und dynamischen Simulationen zu klären**.



7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Das Projekt wurde mit einem deutschen Systemanbieter umgesetzt und 2020 im Schweizer energiefachbuch vorgestellt.

Ebenso wurde die Anlage im Rahmen einer Begehung an der Schweizer Solarwärme-Tagung im Herbst 2019 vorgestellt.

Die Anlage durfte bereits mehrere Energiepreise wie jenen der Stadt Bern/ewb und Wohnbauten des Jahres/Nachhaltiges Energiekonzept (D) entgegennehmen.

<https://www.callwey.de/blog/wohnbauten-des-jahres-2022-die-award-gewinner/>

8 Kommunikation

Im folgenden Rahmen konnte die Eisspeicher-Anlage bereits kommuniziert werden:

- K 1. Artikel Schweizer Energiefachbuch 2020
- K 2. Besichtigung im Rahmen der Solarwärme-Tagung Herbst 2019
- K 3. Referat Veranstaltung Eisspeicher Stadt Bern, Frühling 2019
- K 4. Referat bei Viessmann Schweiz, Herbst 2018
- K 5. Referat an der 28. Wärmepumpentagung in Burgdorf, 22. Juni 2022

9 Publikationen

Folgende Publikationen wurden bis dato erarbeitet:

- P 1. Schweizer Energiefachbuch 2020
- P 2. Doku im Rahmen der Besichtigung Solarwärme-Tagung Herbst 2019
- P 3. Präsentation Funktion Eisspeicher Stadt Bern, Frühling 2019
- P 4. Präsentation Projekt bei Viessmann Schweiz, Herbst 2018

10 Literaturverzeichnis

Keine Verweise



11 Anhang

11.1 Regelbeschrieb

Betriebsarten

Grundsätzlich wird zwischen folgenden Betriebsarten unterschieden:

1. Heizungsanlage Winterbetrieb
 - a) Heizungsspeicher-Management
 - b) Entzugsbetrieb Eisspeicher
 - c) Kollektordirektbetrieb
 - d) Regenerationsbetrieb Eisspeicher
 - e) Heizgruppen
2. Heizungsanlage Sommerbetrieb
 - f) Heizungsspeicher-Management
 - g) Regenerationsbetrieb Eisspeicher
 - a) Free-Cooling-Betrieb Wohnungen
3. Wärmeerzeugung BWW
 - h) BWW-Speicher-Management
 - i) Entzugsbetrieb Eisspeicher
 - j) Kollektordirektbetrieb
 - a) FEKA-Modul

Heizungsanlage Winterbetrieb

Betrieb 1a: Heizungsspeicher-Management

Die Heizgrenze wird mit der gedämpften Aussentemperatur über 24 Stunden unterschritten und das Heizungsspeicher-Management wird aktiv.

Wärmepumpen

Die Erzeugung der Wärme erfolgt durch drei Sole Wasser Wärmepumpen. Das 3-Wegventil auf der Kondensatorseite dient der Begrenzung der WP-Kondensator-Eintrittstemperatur nach unten (Einsatzgrenzen) und im geringen Masse der Stabilisierung der VL-Temperatur (Ausgleichen von Schwankungen wegen der Stufenschaltung der Wärmepumpen). Die Wärmeerzeugung für die Heizung verfügt über einen Wärmezähler. Das 3-Wegventil auf der Verdampfer-Seite dient der Begrenzung der WP-Verdampfer-Eintrittstemperatur nach oben (Einsatzgrenzen). Die Verdampfer-Seite verfügt über einen Wärmezähler. Die Wärmepumpen sollen eine Mindestlaufzeit von 30 Minuten und eine Startsperrre von 15 Minuten nicht unterschreiten. Für alle Wärmepumpen wird bauseits eine EVU-Sperre geplant. Die Aufschaltung erfolgt zentral auf der SPS mittels Freigabe Allgemein.

Heizungsspeicher

Die Sollwerttemperatur des Heizungsspeichers wird gleitend mit den Sollwerttemperaturen der Heizgruppen geschoben. Damit keine Unterdeckung der Gruppen auftreten kann, wird der Sollwert des



Speichers um 2K gegenüber der Heizgruppe mit dem höchsten Sollwert erhöht. Die Leistungsregelung erfolgt in Stufen, der Durchfluss durch den jeweiligen Verflüssiger und Verdampfer kann mit einer motorisierten Absperrung aktiviert oder unterbunden werden. Die Schaltung der drei Leistungsstufen (3 Wärmepumpen = 3 Leistungsstufen) erfolgt nach Berechnung über prozentualen Wert der Speicherladung. In diesem Zusammenhang entscheidet die Steuerung wie viele und welche Wärmepumpe läuft.

Betrieb 1b: Entzugsbetrieb Eisspeicher

1. Klappen AUF 430MA1 und 431MA1
2. 3-Wegventil 460MA1: Begrenzung auf max. Eintrittstemperatur von +20°C
3. Wärmepumpen EIN, wenn alle Schritte abgeschlossen und Primär- und Sekundärpumpen in Betrieb sind

Fall 1: Vereisungsgrad

Es wird immer mit wärmerer Quelle gestartet. Bei einer Heizanforderung und einem Vereisungsgrad von 0% wird stets die wärmere Energiequelle zum Heizen genutzt. Dabei wird die höchste Temperatur am Kollektoraustritt mit der höchsten Temperatur im Eisspeicher verglichen. Die andere Energiequelle wird für eine Zeit von 20 Minuten gesperrt. Danach wird wieder die wärmste Quelle ausgewählt, indem die beiden oben erwähnten Temperaturen miteinander verglichen werden. Der Kollektordirektbetrieb ist bis zu einer Eintrittstemperatur in die Wärmepumpe von -4°C möglich. Unterhalb dieser Temperatur wird immer auf den Eisspeicher umgeschaltet.

Fall 2: Vereisungsgrad

Es wird immer mit Kollektordirektbetrieb gestartet.

Bei einer Heizanforderung und einem Vereisungsgrad von grösser 0% dienen primär die Kollektoren als Wärmequelle, solange die höchste Temperatur am Kollektoraustritt über -4°C mit Hysterese 2K liegt. Unterhalb dieser Temperatur findet der Entzugsbetrieb über den Eisspeicher statt. Unterschreitet im Kollektordirektbetrieb die Temperatur am WP-Eintritt -4°C wird immer auf den Eisspeicher umgeschaltet. Nach einer Umschaltung auf den Eisspeicher wird der Kollektordirektbetrieb für 20 Minuten gesperrt. Erst nach Ablauf dieser Zeit ist eine Rückschaltung auf die Kollektoren wieder möglich, insfern die Hysterese von 2K am Kollektoraustritt vorhanden ist.

Fall 3: Vereisungsgrad

Es wird immer mit Kollektordirektbetrieb gestartet.

Da das Benutzerverhalten nicht gesteuert werden kann, muss bei einer zu hohen Belastung des Eisspeichers eine Meldung (E-Mail mit Hinweis) generiert und abgesetzt werden, um den Anlagenbetreiber auf eine mögliche Überbeanspruchung der Quellen hinzuweisen. Grundvoraussetzung für die Meldung ist eine aktive Heizanforderung mit Betrieb der drei Wärmepumpen zur Hezwassererwärmung. Steigt einerseits der Vereisungsgrad des Eisspeichers über 40% und übersteigt die gemessene Energiemenge am Wärmezähler 851BJ3 (Kondensator-WP) über die Zeitspanne von 24 Stunden die berechnete Energiemenge der Heizgruppen bei Auslegungsbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass zu viel Energie verbraucht wird. Folglich wird die Meldung „Energiebezug aus Eisspeicher hoch“ abgesetzt. Bleiben die oben erwähnten Parameter über weitere 24 Stunden vorhanden, kann dies mittelfristig zu einer kompletten Vereisung des Eisspeichers führen. Aus diesem Grund wird zu diesem Zeitpunkt die Meldung „Energiebezug aus Eisspeicher sehr hoch → Gruppenabsenkung abgesetzt. Der Sollwert der Vorlauftemperatur der Heizgruppen soll daraufhin manuell um 1K reduziert werden.

Fall 4: Vereisungsgrad /Schutzschaltung

Im Entzugsbetrieb ist der Betrieb von nur einer WP möglich.



Ab einem Vereisungsgrad von 80% ist der Entzugsbetrieb über den Eisspeicher nur noch mit einer WP (~1/3 Leistung) möglich. Hysteres 5% ab 75% Eis sind wieder mehrere Wärmepumpen möglich. Der Kollektordirektbetrieb kann weiterhin mit drei WP ausgeführt werden.

Umschaltpunkt Kollektor/Eisspeicher

Je grösser der Vereisungsgrad, desto niedriger ist die Eintrittstemperatur in die Wärmepumpen. Damit auch die Kollektoren maximal zum Heizen ausgenutzt werden, wird der Umschaltpunkt von Kollektor auf Eisspeicher in Abhängigkeit des Vereisungsgrads folgendermassen herabgesetzt: Vereisungsgrad 40% bis 70% = Umschaltpunkt -4°C bis -8°C .

Betrieb 1c: Kollektordirektbetrieb

1. Klappen AUF 432MA1
2. 3-Wegventil 460MA1 Begrenzung auf max. Eintrittstemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$
3. Wärmepumpen EIN, wenn alle Schritte abgeschlossen und Prim- und Sekpumpen in Betrieb

Nähtere Informationen siehe Fallbeschreibung Betrieb 1b.

Betrieb 1d: Regenerationsbetrieb Eisspeicher im Winterbetrieb

Im Regenerationsbetrieb wird dem Eisspeicher die Wärmeenergie aus der Umgebung über die Kollektoren zugeführt. Diese Betriebsart ist möglich, wenn kein Kollektordirektbetrieb stattfindet und die höchste Temperatur am Kollektoraustritt 2K oberhalb der niedrigsten Temperatur im Eisspeicher ist, Ausschalthysterese 1K. Die Regeneration ist grundsätzlich bis zu einer mittleren Temperatur im Eisspeicher von $+25^{\circ}\text{C}$ freigegeben. Anschliessende Sperrung der Regeneration bis 3K Abkühlung. Freigabe Regeneration bis max. Temperatur des Eisspeichers: 01.10. – 01.03.

Betrieb 1e: Heizgruppen

Die Häuser verfügen über eine Heizgruppe für die Raumheizung resp. eine Gruppe für die Luftheritzung. Die Heizgruppe versorgt dabei die FBH-Heizverteiler pro Wohnung mit einer Vorregulierten VL Temperatur nach Heizkurve sowie einer Maximalbegrenzung der VL Temperatur. Die Wohnungen sind unabhängig der Wärmeerzeugung geregelt. Die Umschaltung Heizen/Free-Cooling erfolgt zentral ab der SPS mittels Betriebsmeldung Heizen und Betriebsmeldung Free-Cooling.

Heizungsanlage Sommerbetrieb

Betrieb 2a: Heizungsspeicher-Management im Sommerbetrieb

Die Heizgrenze wird mit der gedämpften Außentemperatur über 24 Stunden beendet und das Heizungsspeicher-Management wird deaktiviert. Die Kühlgrenze wird mit der gedämpften Außentemperatur über 24 Stunden unterschritten und das Heizungsspeicher-Management wird aktiv.

Betrieb 2b: Regenerationsbetrieb Eisspeicher im Sommerbetrieb

Im Regenerationsbetrieb wird dem Eisspeicher die Wärmeenergie aus der Umgebung über die Kollektoren zugeführt. Diese Betriebsart ist möglich, wenn kein Kollektordirektbetrieb stattfindet und die höchste Temperatur am Kollektoraustritt 2K oberhalb der niedrigsten Temperatur im Eisspeicher ist bei Ausschalthysterese 1K. Die Regeneration wird im Sommerbetrieb bis zu einer mittleren Temperatur im Eisspeicher von $+13^{\circ}\text{C}$ freigegeben, damit genügend Energie für die Kühlfunktion zur Verfügung steht. Die anschliessende Sperrung der Regeneration folgt bis 3K Abkühlung. Die Freigabe der Regeneration erfolgt bis der Sollwert Eisspeicher Sommerbetrieb erreicht ist.



Betrieb 2c: Free-Cooling-Betrieb Wohnungen

Über die Fussbodenheizung wird im Sommer bei Bedarf gekühlt. Die Umschaltung Heizen und Free-Cooling erfolgt ab SPS mit Einstellung der Heiz- resp. Kühlgrenze. Die Kühlung erfolgt dabei aus der vorhandenen Kälte des Eisspeichers. Aus diesem Grund wird der Eisspeicher nicht komplett mittels Kollektoren regeneriert. Im Free-Cooling-Betrieb holt sich die Free-Cooling-Förderpumpe 209MA1 kaltes Glykol/Wasser-Gemisch und kühlt dabei über einen Systemtrenner das Heizungswasser auf die Solltemperatur. Der Sollwert wird anhand einer Kühlkurve pro Gruppe berechnet. Mit dem Heizungswasser-Austritts-Temperaturfühler wird eine Minimalbegrenzung zur Taupunktüberwachung realisiert. Bei $T \leq 18^\circ\text{C}$ wird das 3-Wegventil soseitig auf Bypass gestellt. Innerhalb des Hauses kann nicht gleichzeitig gekühlt und geheizt werden. Die Heizgruppen-Pumpen bringen schliesslich das kühle Wasser zu den Heizungsverteilern – jede Gruppe hat die Funktion Heizen wie auch Kühlen. Das Free-Cooling verfügt über einen Wärmezähler. Die Umschaltung Heizen/Free-Cooling erfolgt zentral ab der SPS mittels Betriebsmeldung Heizen und Betriebsmeldung Free-Cooling.

Betrieb 3a: BWW-Speicher-Management

Die Bewirtschaftung und somit die Regulierung des BWW-Speicher-Managements sind ganzjährig in Betrieb. Die Quellen werden mit folgenden Prioritäten aktiviert:

- Sommer: Prio1: Betrieb 3b → Entzugsbetrieb Eisspeicher (bis Sollwert „Kühlen“ im Eisspeicher erreicht) Prio2: Quellenvergleich Betrieb 3c / 3d
- Winter: Prio1: Quellenvergleich Betrieb 3d / 3c Prio2: Betrieb 3b → Entzugsbetrieb Eisspeicher

Wärmepumpen

Die Erzeugung der Wärme erfolgt durch zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen. Das 3-Wegventil auf der Kondensator-Seite dient der Begrenzung der WP-Eintrittstemperatur nach unten (Einsatzgrenzen) und im geringen Masse der Stabilisierung der VL Temperatur (Ausgleichen von Schwankungen wegen der Stufenschaltung der Wärmepumpen). Die Wärmeerzeugung für das BWW verfügt über einen Wärmezähler. Das 3-Wegventil auf der Verdampfer-Seite dient der Begrenzung der WP-Verdampfer-Eintrittstemperatur nach oben (Einsatzgrenzen). Die Verdampfer-Seite verfügt über einen Wärmezähler. Die Wärmepumpen sollen eine Mindestlaufzeit von 30 Minuten und eine Startsperrre von 15 Minuten nicht unterschreiten. Für alle Wärmepumpen wird bauseits eine EVU-Sperre geplant. Die Aufschaltung erfolgt zentral auf der SPS mittels Freigabe «Allgemein».

BWW-Speicher

Die Sollwerttemp. des BWW-Speichers ist ganzjährig fixiert auf $+60^\circ\text{C}$, Vorlauftemperatur der Wärmepumpen $+63^\circ\text{C}$. Die Leistungsregelung erfolgt in Stufen, der Durchfluss durch den jeweiligen Verflüssiger und Verdampfer kann mit einer motorisierten Absperrung aktiviert oder unterbunden werden. Die Schaltung der zwei Leistungsstufen erfolgt nach Berechnung über prozentualem Wert der Speicherladung. In diesem Zusammenhang entscheidet die Steuerung wie viele und welche Wärmepumpe läuft. Zusätzlich wird eine pulsierende Zirkulation vorbereitet:

- EIN 5 min
- AUS 10 min

Betrieb 3b: Entzugsbetrieb Eisspeicher siehe Fallbeschreibungen Betrieb 1b.

Betrieb 3c: Kollektordirektbetrieb siehe Fallbeschreibungen Betrieb 1b.

Betrieb 3d: FEKA-Modul (Abwärmevernützung aus Schwarzwasser)

Die BWW- Erzeugung kann Wärme direkt ab den Solarkollektoren, ab dem Eisspeicher oder ab der FEKA-Anlage beziehen. Die Umschaltung erfolgt mittels des 3-Wegventils 436MA1. Das Herzstück in dem Betonschacht ist das FEKA-Modul, eine Kombination aus Wärmetauscher und ausgeklügelter Filtereinheit. Der detaillierte Regelbeschrieb von Spül- und Injektorpumpe, Druckregelung sowie auch die Rückmeldung des Ladezustandes wird in Zusammenarbeit mit FEKA erstellt.



11.2 Funktion Eisspeicher

Mit diesem Infoblatt lernen Sie die Funktionsweise eines Eisspeichers kennen. Insbesondere werden auf die einzigartigen Vorteile des Eisspeichers eingegangen, wie die hohe Wärmegewinnung durch Vereisung, die Nutzung der Umgebungsenergie und das sommerliche «Free Cooling». Das Eisspeichersystem zeichnet sich durch Nachhaltigkeit und einer hohen Flexibilität aus und eignet sich ideal zur Wärmeversorgung in dichten Wohngebieten mit fehlenden alternativen Energiequellen.

Grundlegendes

Bei einem Eisspeicher handelt es sich um einen im Boden versenkten Betontank, der mit Wasser gefüllt wird. Wie bei konventionellen Speichern, dient das Wasser als Zwischenspeicher, dem Wärmeenergie zugeführt oder entzogen werden kann. Dabei beträgt die im Wasser gespeicherte Energie $4.187 \frac{kJ}{kg \cdot K}$. Zusätzlich zur klassischen Speicherfunktion, besteht bei einem Eisspeicher auch noch die Möglichkeit, das Wasser gefrieren zu lassen. Beim Übergang von flüssigem Wasser zu Eis wird die sogenannten Kristallisationswärme frei, die sich auf $334 \frac{kJ}{kg}$ beziffert. Dies entspricht der Energie, die dieselbe Menge Wasser von 0°C auf 80°C heizen würde. Dadurch kann einem Eisspeicher bei Bedarf massiv mehr Wärme entzogen werden als einem klassischen Wärmespeicher.

Versorgt wird der Eisspeicher durch Solar- und Luftkollektoren, die zusammen mit dem Eisspeicher gebaut werden. Die Hauptaufgaben des Eisspeichers bestehen darin, Wärme aus den Sommermonaten für den Winter zu speichern sowie die wetterabhängige Leistung der Solarkollektoren im Winter zu glätten. So kann eine kontinuierliche Wärmeversorgung sichergestellt werden.

Entzug und Regeneration

Die Regeneration und der Entzug von Wärme laufen im Eisspeicher über zwei getrennte Rohrsysteme. Das Regenerationssystem verbindet die Solar/Luftkollektoren mit dem Speicher, während das Entzugssystem Wärmeenergie aus dem Speicher zur Gebäudeversorgung abführt. Damit die Transportrohre nicht einfrieren, wird Sole (Wasser-Glykol-Gemisch) als Zirkulationsmittel verwendet.

Die Wärmeversorgung der Gebäude wird über eine zentrale Wärmepumpeneinheit gesteuert. Die momentane Betriebslage (Wärmebedarf, Wetter, Eisspeicherladung) entscheidet, wie die Wärmepumpen angesteuert werden: Bei Sonnenschein und/oder hohen Lufttemperaturen, wird die Wärme aus den Solar/Luftkollektoren direkt genutzt und allenfalls überschüssige Energie im Eisspeicher gelagert. Bei fehlendem Sonnenschein und tiefen Außentemperaturen wird die nötige Wärmeenergie aus dem Eisspeicher bezogen. Die dynamische Nutzung des Eisspeichers als Wärmeversorger ermöglicht eine optimale Ausbeute aus Solar- und Luftelenergie. Als zusätzliche Wärmequelle wird das Abwasser der Gebäude verwendet, dieser Kreislauf ist jedoch nicht mit dem Eisspeicher verbunden (siehe Infoblatt FEKA).

Free Cooling und Erdwärme

Um das Potential des Eisspeichers zu maximieren, gilt es noch zwei Effekte zu beachten: Erstens hat der Eisspeicher über seine Oberfläche einen thermischen Fluss. Falls die Temperatur im Speicher tiefer gehalten wird als die Bodentemperatur, fliesst kontinuierlich Energie aus der Erde in den Speicher. Wie viel Energie so gewonnen werden kann wird zurzeit durch Monitoring abgeklärt.

Zweitens besteht gegen Ende der Heizperiode die Möglichkeit, den Eisspeicher komplett vereisen zu lassen und die Regeneration durch die Solar/Luftkollektoren zu unterbinden. Dadurch steht für die warme Jahreszeit eine natürliche Kältequelle zur Verfügung, mit der sich durch Free Cooling eine signifikante Menge an Energie einsparen lässt. Dieses Vorhaben ist jedoch nicht ganz ohne Risiko, da im Falle eines kalten und bewölkten Frühlings die Wärmeversorgung nicht mehr gewährleistet ist.

Aus diesem Infoblatt ist ersichtlich, dass ein Eisspeicher grosses Potential birgt und im Zeichen der nachhaltigen und erneuerbaren Energieversorgung steht. Untenstehend fassen zwei Grafiken die erlernten Prinzipien zusammen.



11.3 Funktion Abwasser-Wärmerückgewinnung

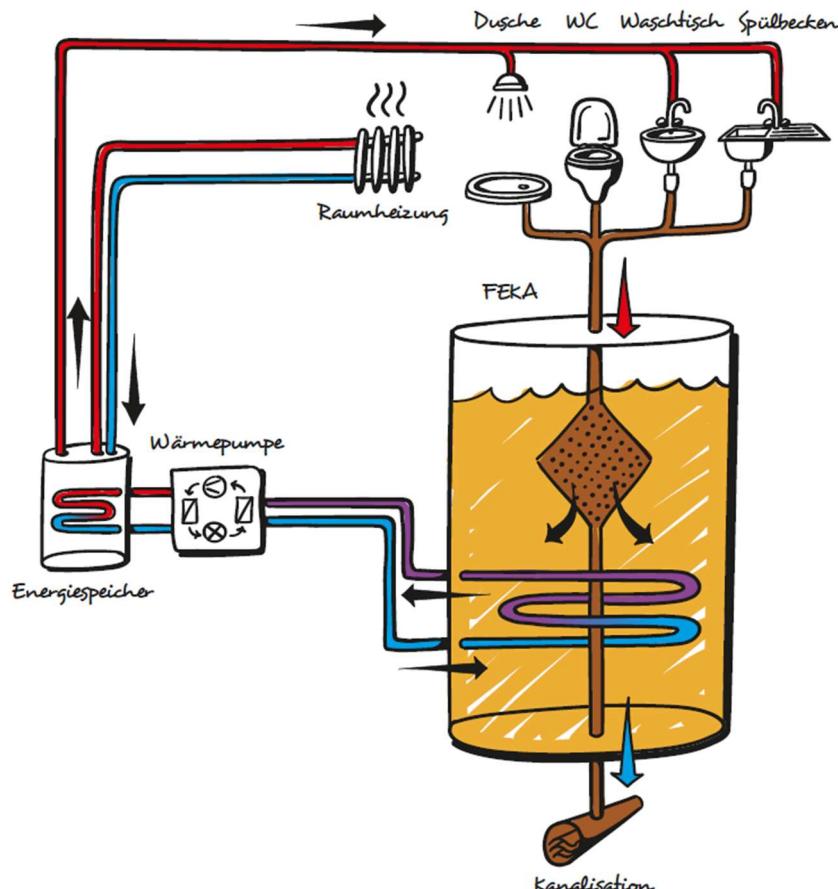
Eine Wärmerückgewinnung aus Abwasser (AWRG) macht dort Sinn wo viel Warmwasser benötigt wird. Die Überbauung Weltpostpark ist diesbezüglich prädestiniert.

Neben dem Energiesparen ist die Energierückgewinnung vermehrt ein Thema. Dank modernen Dämmungs- und Lüftungssystemen konnte in den vergangenen Jahren der Wärmebedarf bei Neubauten massiv gesenkt werden. Das führt dazu, dass die Warmwasserbereitstellung einen immer höheren Anteil vom gesamten Energiebedarf beansprucht. Bei der heutigen Minergie-Bauweise ist das ungenutzte Abwasser die letzte grosse Leckage im modernen Gebäude.

Die im Abwasser enthaltene Wärme definiert sich nicht nur durch die Temperatur sondern auch durch den Volumenstrom. Diese Tatsache wird vielfach unterschätzt. Für den sinnvollen Einsatz einer FEKA-AWRG ist **ein genügend grosses Abwasservolumen wichtig**. Der tägliche Abwasseranfall steht in direktem Zusammenhang mit dem Warmwasserbedarf. Im Wohnungsbau sind die jahreszeitlichen Schwankungen vom Warmwasserbezug marginal.

Abwasser fliesst selten kontinuierlich ab. Das heisst, es sind immer hydraulische Spitzen abzufangen. Das Herzstück im Betonschacht ist das FEKA-Modul, eine Kombination aus Wärmetauscher und ausgeklügelter Filtereinheit. Abwasser stellt hohe Anforderungen an den Wärmetauscher. Da stossen konventionelle Tauschersysteme sehr schnell an ihre Grenzen; die Aufwendungen für Wartung könnten durchaus die ganze Einsparung zu Nichte machen. Darum werden **Wärmetauscher konstruiert, die völlig schmutzunempfindlich sind** und auch unter widrigsten Bedingungen funktionieren.

Mittels Wärmepumpe wird die Energie aus dem Abwasser zurückgewonnen. Neben der hohen Effizienz ist die Unmittelbarkeit ein grosser Vorteil. Fällt Abwasser an, wird häufig auch wieder Energie benötigt. Die Wärmepumpe stellt diese Energie mit kurzer Verzögerung wieder bereit.





11.4 Artikel Schweizer Energiefachbuch

Fakten und Daten Gebäudetechnik Weltpostpark, Bern

Objekt	
Name	Weltpostpark Bern
Ort	3015 Bern (Weltpoststrasse 1-3)
Höhe ü. M.	530 m
Gebäude	
Realisierung (Zeitraum)	02.2018-06.2020 (WBW 2014)
Anzahl Wohnungen	170
Energiebezugsfläche	Haus A/B/C: 6'313 / 6'532 / 6'568 m ²
Gebäudehüllzahl	Haus A/B/C: 0.99 / 0.97 / 1.06
Energieversorgung	
Wärmeversorgung	Heizung: Mehrstufige Sole- Wasser Wärmepumpe monovalent mit Eisspeicher sowie Solar-Luftabsorber zur Regeneration des Eisspeichers Brauchwarmwasser: Mehrstufige Hochtemperatur Sole- Wasser Wärmepumpe monovalent mit Schwarzwasser- Abwärmenutzung oder Eisspeicher (wie Heizung)
Sonnenkollektoren	Auf dem Dach. Ausschließlich für die Erwärmung des Primärkreises der Wärmepumpen. Haus A + B: je 81 Kollektoren à 2.34 m ² Haus C: 88 Kollektoren à 2.34 m ²
Lüftung	Ja
Energieberechnung	
Heizwärmebedarf	Haus A/B/C: 15.8 / 16.1 / 19.2 kWh/m ² a
Wärmebedarf Warmwasser	Je 29.1 kWh/m ² a
Zertifizierung	
	Minergie eco, SIA 2040 Energieeffizienzpfad
Weiteres	
Besonderheiten wie Regenwassernutzung, Dachbegrünung, etc.) Eisspeicher, FEKA Anlagen, 100% regenerativ	

Kontakte

	Firmenname/Name, PLZ Ort, Website
Bauherrschaft	SPS Immobilien AG (Eigentümer: Allianz AG)
Architekt	SSA Architekten AG BSA SIA
Totalunternehmer	Frutiger AG
Energieplaner/Haustechnikplaner	eicher+pauli Bern und Luzern AG
Bauphysik	Kopitsis Bauphysik AG



11.5 Artikel Schweizer Energiefachbuch Weltpostpark Bern

2000-Watt tauglich, innovativ und nachhaltig – in allen Belangen

Im Quartier Murifeld in Bern entstehen 170 neue Wohnungen. Nachhaltig sind nicht nur die Materialisierung und die variabel nutzbaren Grundrisse, sondern auch die Wärmeversorgung mit Solarthermie, einer Abwasserwärmerrückgewinnung und mehreren Eisspeichern.

An der Südostgrenze der Stadt Bern, im Übergang vom Quartier Murifeld zur Gemeinde Muri liegt der Weltpostpark. Es ist ein heterogen bebautes Gebiet aus grossen Dienstleistungs- und Bürobauten im Osten und einer niedrigeren Bebauung mit Wohnhäusern im Westen. Die Autobahn A6 im Norden und die Weltpoststrasse im Süden begrenzen das Areal.

Im Energiebereich gab die SPS die Zielsetzung der 2000-Watt Tauglichkeit vor. Dieser Standard definiert den verfügbaren Energiekonsum in allen Lebensbereichen, damit die Weltbevölkerung mit den Ressourcen der einten, einzigen Erde nachhaltig auskommt. Die Schweizer Bevölkerung bedarf zur Zeit rund drei Erden. Für den Wohnbereich hat die SIA eine entsprechende Wegleitung für die Bereiche Bau, Mobilität und Betrieb definiert.

Im Murifeld sind Erdsonden nicht zugelassen, das Grundwasser ist für eine Nutzung zu wenig mächtig, eine Gasversorgung ist nicht 2000-Watt kompatibel und eine Pelletfeuerung kam wegen der bereits vorhandenen Feinstaubbelastung durch die angrenzende Autobahn nicht in Frage. So wurde ein Energiekonzept entwickelt, das auf vier Eisspeichern beruht, welche aus Absorberflächen auf den Dächern, Erdwärme und der Abwärme des Abwassers Wärme beziehen. Die eigentliche Innovation der Energiespeicherung liegt in den ungewohnt tiefen Temperaturen zwischen null und zwanzig Grad Celsius. Durch die Bildung von Eis wird soviel (latente) Wärme gespeichert, wie zur Erwärmung von Wasser von null auf achtzig Grad benötigt wird. Das Eis gibt diese Kristallisierungsenergie wieder frei, wenn es schmilzt. Im Frühjahr werden die Eisspeicher nicht mehr regeneriert, so dass sie im Sommer zudem zur leichten Klimakühlung genutzt werden können. Es handelt sich dabei um die bisher grösste Eisspeicher-Anlage in der Schweiz. Sie ist monovalent, deckt also den gesamten Wärmebedarf ab und kommt ohne fossile Energie aus. Mit dynamischen Jahressimulationen wurde die Auslegung so geplant, dass die Eisspeicher nie voll vereisen, somit die Speicher erschöpft wären und von extern Wärme zugeführt werden müsste.

Das Bundesamt für Energie hat die Anlage als Demonstrationsprojekt aufgenommen und unterstützt eine Messreihe mit, welche nach der Fertigstellung Aufschluss über das Betriebsverhalten und die technischen Funktionen geben soll.

Die Gebäude sind Minergie-Eco zertifiziert und gemäß dem SIA Energie-Effizienzpfad (SIA 2040) ausgelegt.

Auftraggeber: SPS Immobilien AG (Eigentümer: Allianz Suisse Immobilien AG)

Auftragsdauer: 2014 – 2020

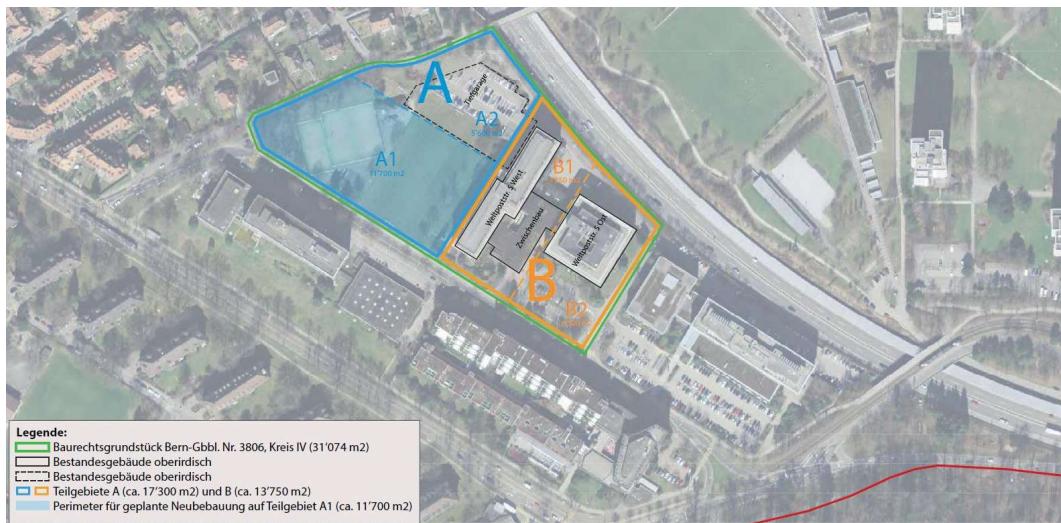
Auftragssumme Gebäudetechnik CHF 2.2 Mio.

Partner: Fontana Landschaftsarchitektur GmbH, Kopitsis Bauphysik AG, Schnetzer Puskas Ingenieure, eicher + pauli AG, WAM Planer und Ingenieure AG

Totalunternehmer: Frutiger AG

Flächen: Areal (1. Etappe) 11'700 m², 170 Wohnungen GF 19'000 m², Dienstleistung GF 500 m²

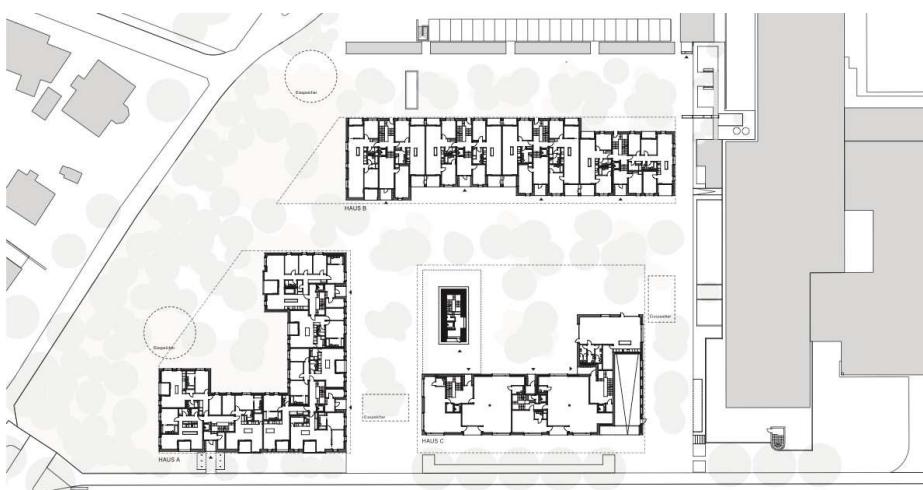
Technik: Minergie eco, SIA 2040 Energieeffizienzpfad, Eisspeicher in Kombination mit Abwasserwärmepumpe. 100% regenerativ



Projektperimeter A und Ideenperimeter A und B (Quelle: Bericht des Preisgerichts)



Ansicht vom Park, Mietwohnungen im höheren Segment (Visualisierung: supervisual, Basel)



Erdgeschoss mit gedecktem Aussenbereich und Mehrzweckraum zum Hof



11.6 Detail-Betriebsanalysen

Übersicht der Häuser A, B und C (Minergie Eco)

Auslegung

Auslegung Mi- nergie Eco	EBF in m ²	Heizwärmebedarf kWh	Heizwärmebedarf kWh/m ²	Wärmebedarf BWW in kWh	spez. Wärmebedarf BWW in kWh/m ²
Haus A	6'313	99'745	15.8	183'708	29.1
Haus B	6'532	105'165	16.1	190'081	29.1
Haus C	6'568	126'106	19.2	191'129	29.1

In der oben ersichtlichen Tabelle ist die Auslegung der drei Häuser zu erkennen. Das Haus A hat die kleinste Energiebezugsfläche und Folge dessen den kleinsten Wärmebedarf.

Energiebilanz HGT korrigiert Juni 2020 bis Mai 2021

Juni 2020 bis Mai 2021	EBF in m ²	Heizwärmebe- darf in kWh	Heizwärmebe- darf in kWh HGT korrigiert	spez. Heizwärme- bedarf kWh/m ² HTG korrigiert	Wärmebe- darf BWW in kWh	spez. Wärmebe- darf BWW in kWh/m ²
Haus A	6'313	178'232	181'849	29	126'678	20
Haus B	6'532	197'126	202'890	31	122'538	19
Haus C	6'568	193'928	199'547	30	121'053	18

In der oben ersichtlichen Tabelle ist die bereinigte Energiebilanz der drei Häuser erkennbar. Haus A hat den geringsten Energiebedarf. Jedoch fehlt in dieser Betrachtung der zugegebene Energiezufluss der Notheizung im Januar 2021. Der Energiewert ist leider weiterhin ausstehend.

Energiebilanz Oktober bis Dezember 2020

Oktober 2020 bis Dezember 2020	Heizwärmebedarf in kWh	Wärmebedarf BWW in kWh
Haus A	82'270	36'670
Haus B	76'830	31'930
Haus C	73'970	33'610

In der oben ersichtlichen Tabelle ist die Energiebilanz der Wintermonaten Oktober 2020 bis Dezember 2020 aufgeführt. Der Wärmebedarf von Haus A ist am grössten. Dieser hohe Energiebezug führte durch eine zu geringe Regeneration zum Ausfall des Eisspeichers. Eisspeicherkapazität aus Tankvolumen 75% Haus A und B = 25'089 kWh. Haus C = 29'568 kWh. Im entsprechendem Zeitraum ist eine unterdurchschnittliche Sonnenscheindauer vorhanden.

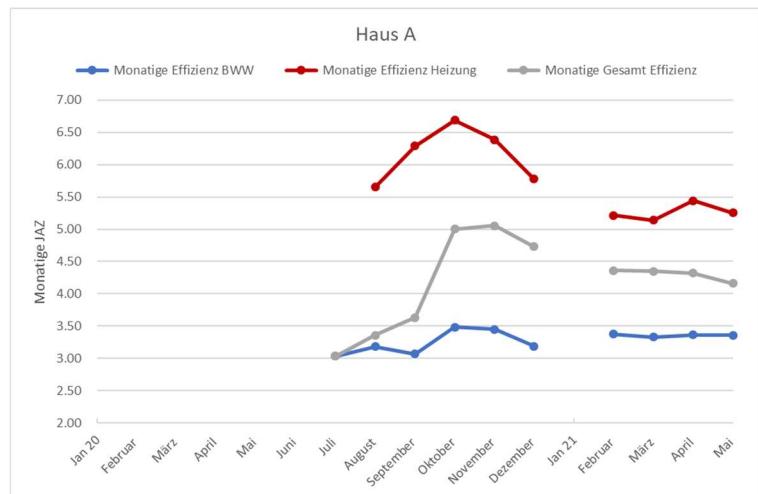


Auswertung und Effizienzen der Häuser A, B und C

Effizienzen der Häuser A, B und C

In der Abbildung 31 werden die Effizienzen in Heizung und BWW aufgeteilt. Der Vergleich zeigt, dass die Systemeffizienz vom Haus B gestiegen ist. Zurückzuführen ist dies auf den fortan möglichen FEKA-Betrieb ab Dez. 2020. Da im Monat Juli im Haus B die Heizung nie betrieben wurde, ist keine Effizienz ersichtlich. Der Ausfall der Heizung im Haus A ist im Januar ersichtlich. Die ersichtlichen Effizienzen sind plausibel.

Bitzer-Tool Ergebnisse	
Haus	Theoretische Effizienz nach Bitzer-Tool
A	BWW = 3.30
A	Heizung = 5.40
B	BWW = 3.53
B	Heizung = 5.16
C	BWW = 3.53
C	Heizung = 4.81



Haus B	Gesamt Effizienz
April 20	4.06
Mai 20	3.70
April 21	4.54
Mai 21	4.27

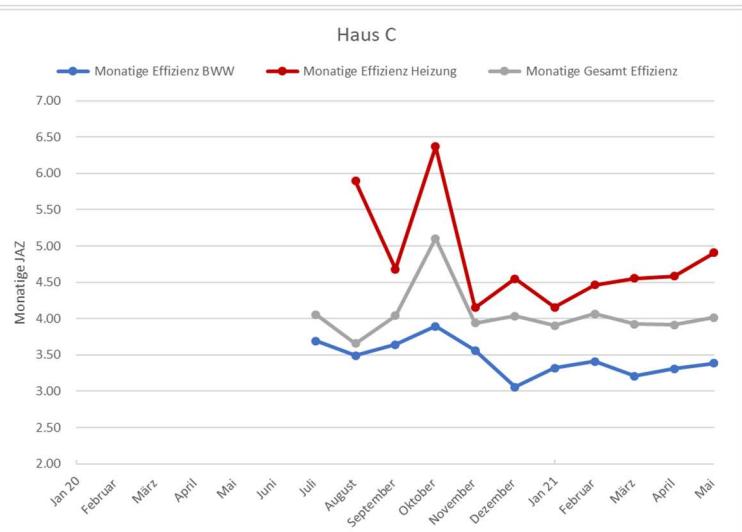
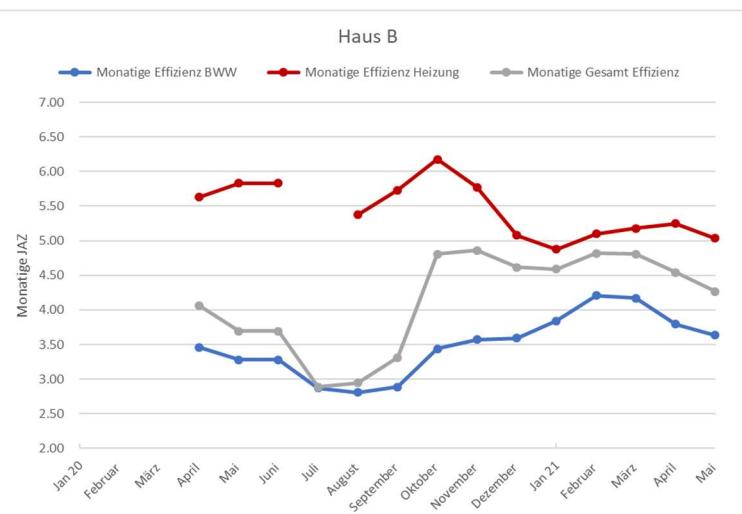


Abbildung 31: Effizienz Haus A, B und C



Wärmeenergie Senke

Um den Verlauf der Effizienz besser zu verstehen, sind die Wärmeenergieströme der TWW und Heizungserzeugung in der Abbildung 32 dargestellt. Es ist ein tieferer aus ausgelegter TWW Verbrauch erkennbar. Der höher als ausgelegte Wärmebedarf ist auf die Bauaustrocknung und höhere Sollwerttemperaturen zurückzuführen. Der Energieverlauf der Heizungswärme ist saisonal. Der Eisspeicher-ausfall vom Haus A im Januar 2021 ist durch eine geringere Heiz-Wärmeenergie ersichtlich.



Abbildung 32: Monatsenergie TWW und Heizungserzeugung Haus A, B und C



Kälteenergie Primärseite/Quelle

Die Belastung der Primärseite (Quelle) ist in Abbildung 33 zu erkennen. Die Komplettvereisung des Eisspeichers ist bei Haus A im Monat Januar 2021 gut erkennbar. Es ist ersichtlich, dass in den Monaten Oktober, November und Dezember 2020 der Energieverbrauch vom Haus A am grössten war.

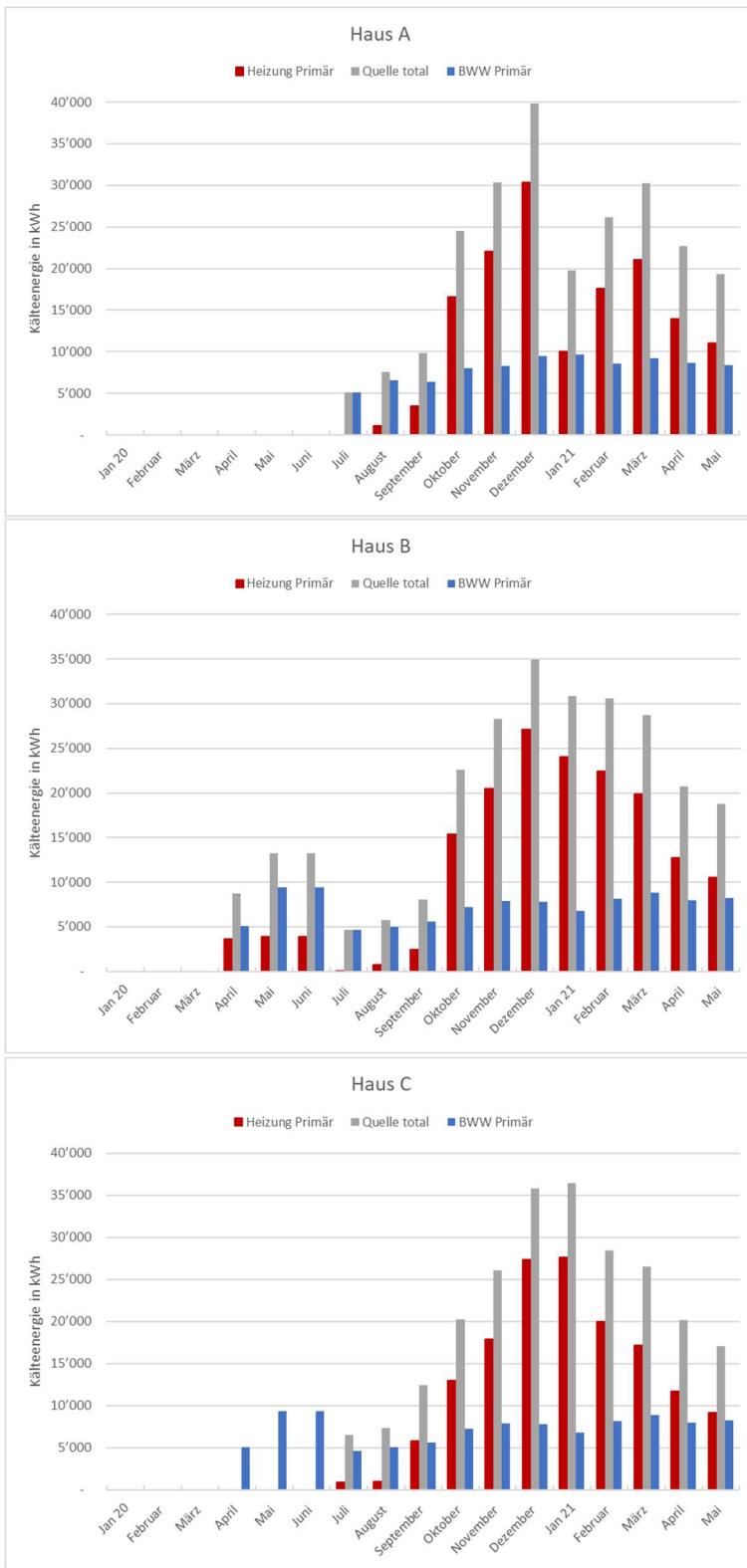


Abbildung 33: Energie Primär, Quelle der Häuser A, B und C



Quellennutzung/ Eisspeicher und Solar-Kollektoren

Die Belastung der Primärseite, sprich der Quelle ist in Eisspeicher Entzug, Solar-Kollektoren/FEKA und Wärme Eisspeicher Regeneration ist in der Abbildung 34 unterteilt. Der Wärmezähler Eisspeicher Regeneration von Haus C liefert keine Messwerte. Die Speicherkapazität (75% Eisgehalt) der Eisspeicher von Haus A und B beträgt 25'089 kWh und von Haus C 29'568 kWh. Der Energiewert Solar-Kollektor/ FEKA berechnet sich aus der Differenz von Quelle Total und Entzug Eisspeicher.

Betrieb	Priorität
Sommer	1. Eisspeicher
	2. Kollektor oder FEKA
Winter	1. Kollektor oder FEKA
	2. Eisspeicher

Vereisung	Priorität
= 0%	Immer wärmere Quelle
> 0%	Immer Kollektorbetrieb, wenn Kollektor unter -4°C auf Eisspeicher
> 40%	Immer Kollektorbetrieb
> 80%	Schutzschaltung Entzugsbetrieb nur eine WP
40 bis 70%	Umschaltpunkt von Kollektor auf Eisspeicher tiefer auf -8°C

Betrieb	Regeneration Eisspeicher
Bedingung	Kollektor Temp. 2K oberhalb niedrigste Eisspeichertemp.
Winter	Bis max. 25 °C
	01.10. bis 31.03.
Sommer	Bis max. 13°C
	01.03. bis 01.10.

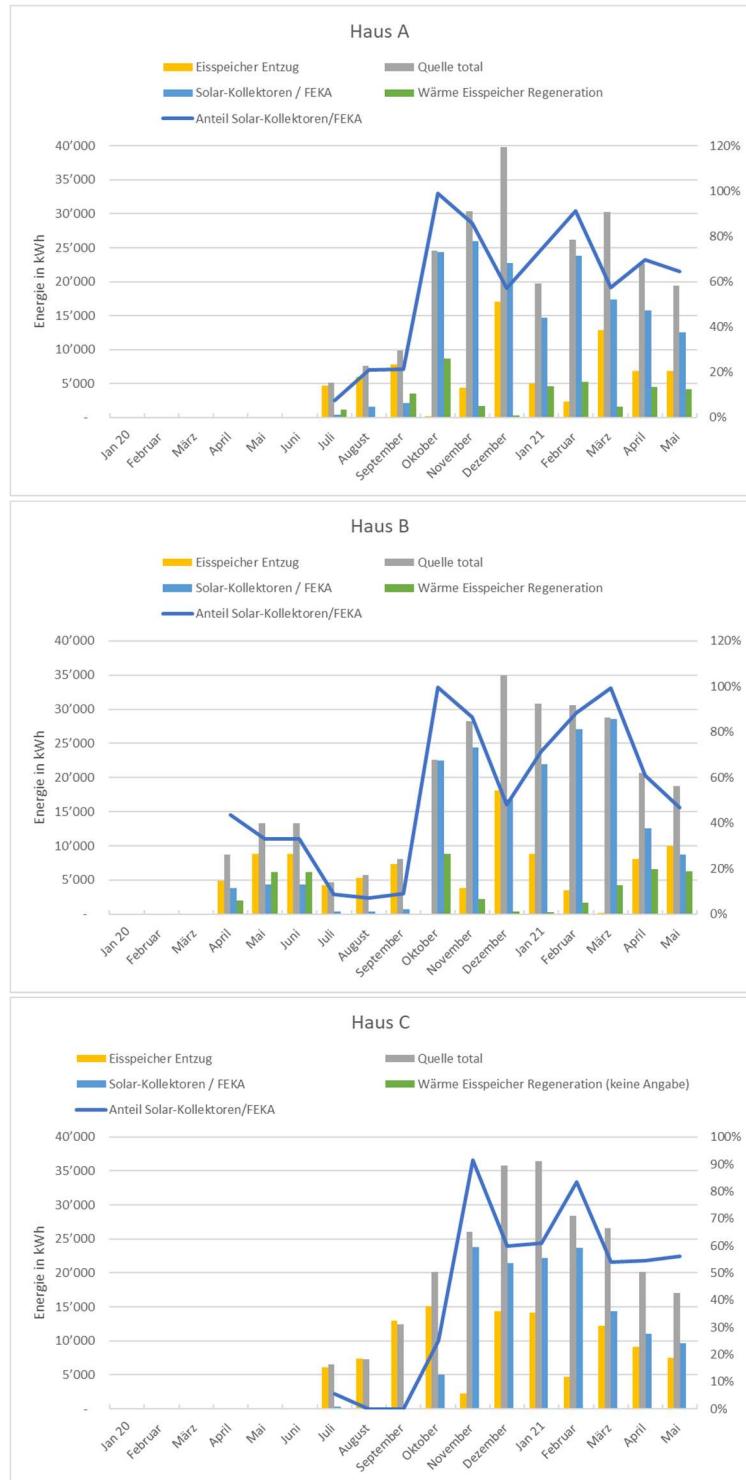


Abbildung 34: Energieflüsse Quelle, Eisspeicher Entzug, Solar-Kollektoren/FEKA, Regeneration Haus A, B und C



Betrieb der Häuser A, B und C

Um den Anlagenbetrieb genauer zu untersuchen, werden Logfiles in ein Monitoring-Excel Tool eingelesen. Die daraus resultierenden Diagramme ermöglichen einen gewinnbringenden Überblick.

Haus A, Wärmeerzeugung Heizung und BWW

In der Abbildung 35 ist unter anderem die Vereisung des Eisspeichers ersichtlich (Ladung Eisspeicher - %). Aus den Darstellungen wird klar, dass in den Wintermonaten viel Wärmeenergie benötigt wurde. Das Haus A hatte einen grösseren Wärmebedarf als die Häuser B und C. Es ist auch erkennbar, dass die Vorlauftemperatur ab November auf ca. -10 °C absinkt und der Eisspeicherladung bis auf 75% steigt. Ab Dez. 2020 FEKA als BWW Quelle. Zudem sind die Vorlauftemperaturen ab Oktober als Trendlinie gemittelt und aufgelistet.

Trendlinie	Quelle/ primär	Senke/ sekundär
BWW	ca. 2°C	ca. 48 °C
Heizung	ca. 0.5°C	ca. 31 °C

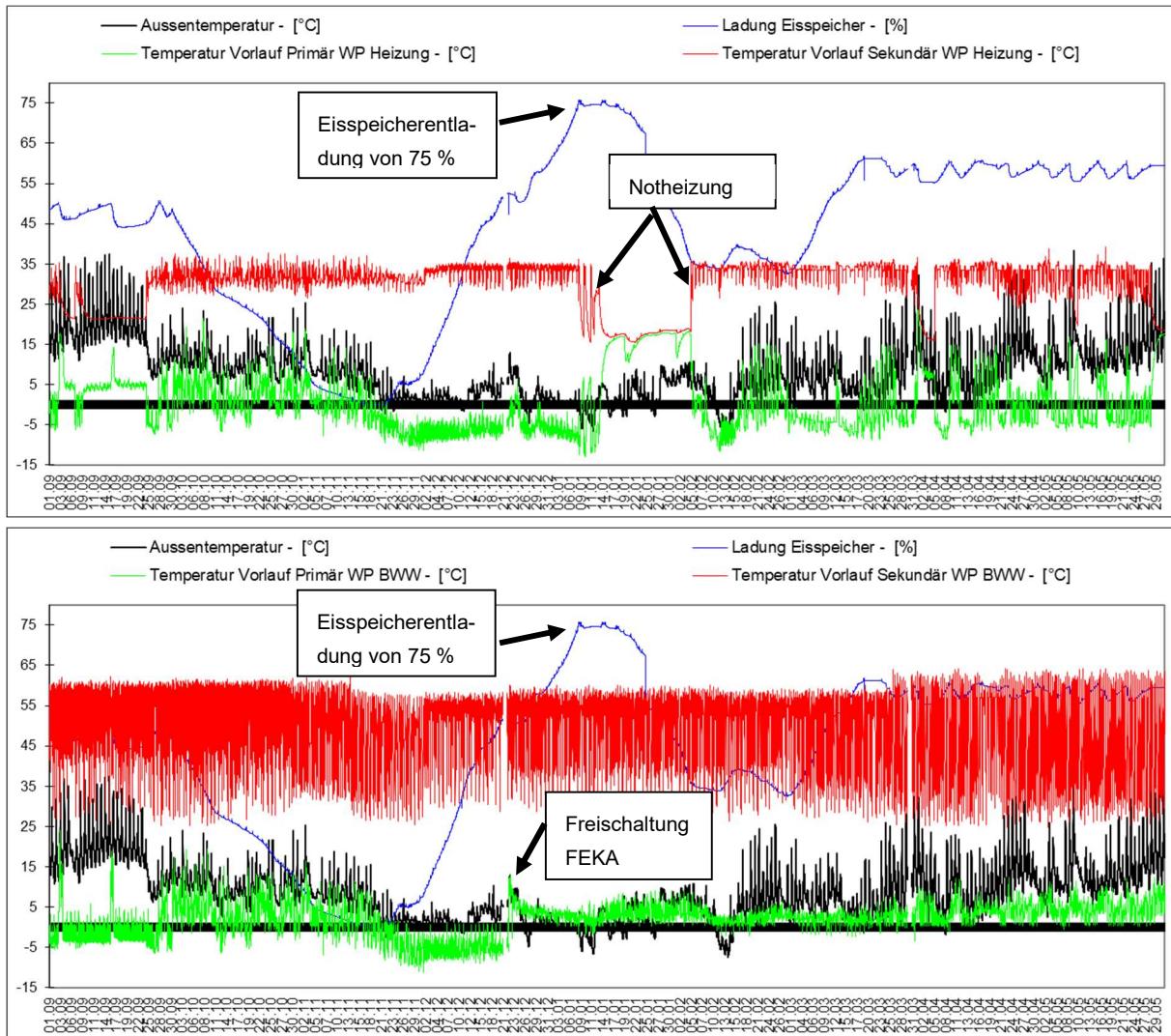


Abbildung 35: Wärmeerzeugung BWW und Heizung Haus A



Wärmezähler Haus A und Betrieb

In der Abbildung 36 sind die Energiezählerstände ersichtlich. Es ist ersichtlich, dass ab unteranderem die Vereisung des Eisspeichers ersichtlich. Keine Regeneration in Haus A ab ca. 20.11.2020 mehr. Dafür steigender Wärme Eisspeicher Entzug MWh bis ca. 75% Ladung Eisspeicher. Ende März bis April ist ein Unterbruch der Energiezähler erkennbar. Dieser ist auf unvollständige Logfiles zurückzuführen. Die fehlenden Temperaturen der FEKA sind von Dezember 2020 bis Januar 2021 auch auf unvollständige Logfiles zurückzuführen.

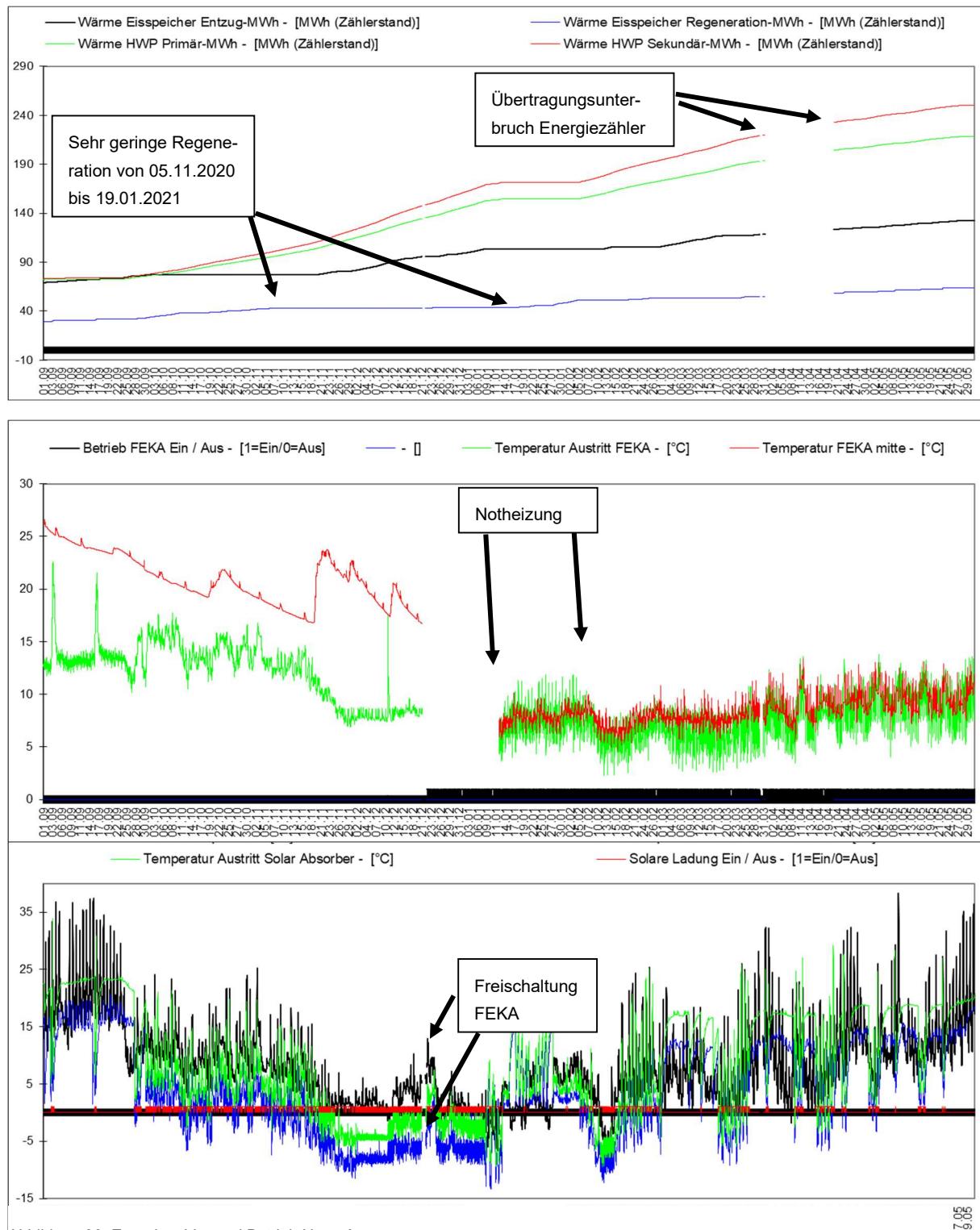


Abbildung 36: Energiezähler und Betrieb Haus A



Haus B, Wärmeerzeugung Heizung und BWW

In der Abbildung 37 ist unter anderem die Vereisung des Eisspeichers ersichtlich (Ladung Eisspeicher - %). Aus den Darstellungen wird klar, dass in den Wintermonaten viel Wärmeenergie bezogen wurde. Es ist auch erkennbar, dass die Vorlauftemperatur ab November auf ca. -10 °C absinkt und der Eisspeicherladung im Februar bis auf 75% geladen wurde. Somit war der Eisspeicher vom Gebäude B an seiner Kapazitätsgrenze. Selber Temperaturverlauf der Quellen ersichtlich. Zudem wenig FEKA Betrieb. Zudem sind die Vorlauftemperaturen ab Oktober als Trendlinie gemittelt und aufgelistet.

Trendlinie	Quelle/ primär	Senke/ sekundär
BWW	ca. 0°C	ca. 43 °C
Heizung	ca. 0°C	ca. 32 °C

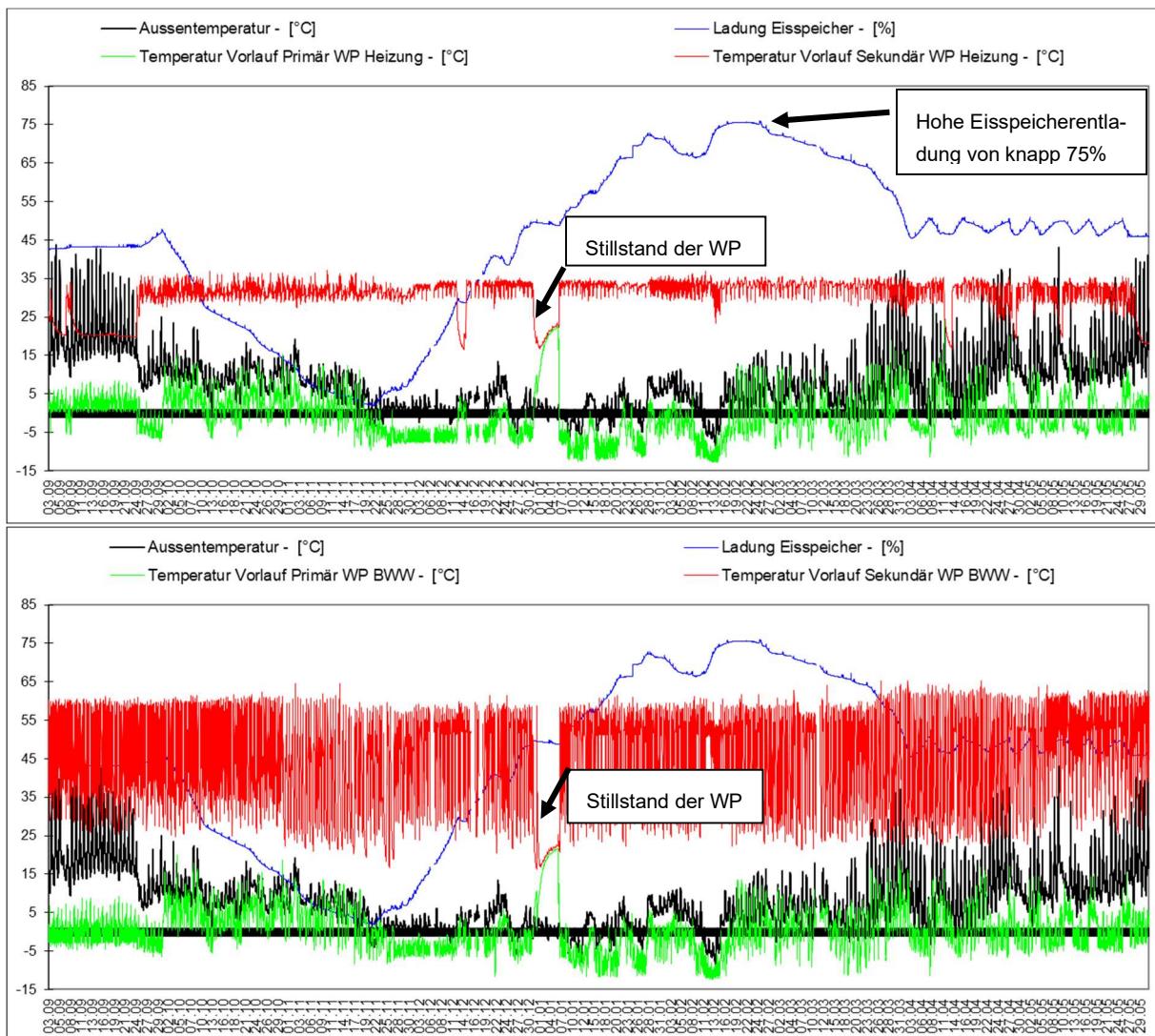


Abbildung 37: Wärmeerzeugung Heizung und BWW Haus B



Wärmezähler und Betrieb Haus B

In der Abbildung 38 sind die Energiezählerstände ersichtlich. Geringe Regeneration in Haus B ab ca. November 2020 bis März 2021. Dafür steigender Wärme Eisspeicher Entzug bis ca. 75% Ladung Eisspeicher. Die fehlenden Temperaturen der FEKA sind von Dezember 2020 bis Januar 2021 auch auf unvollständige Logfiles zurückzuführen.

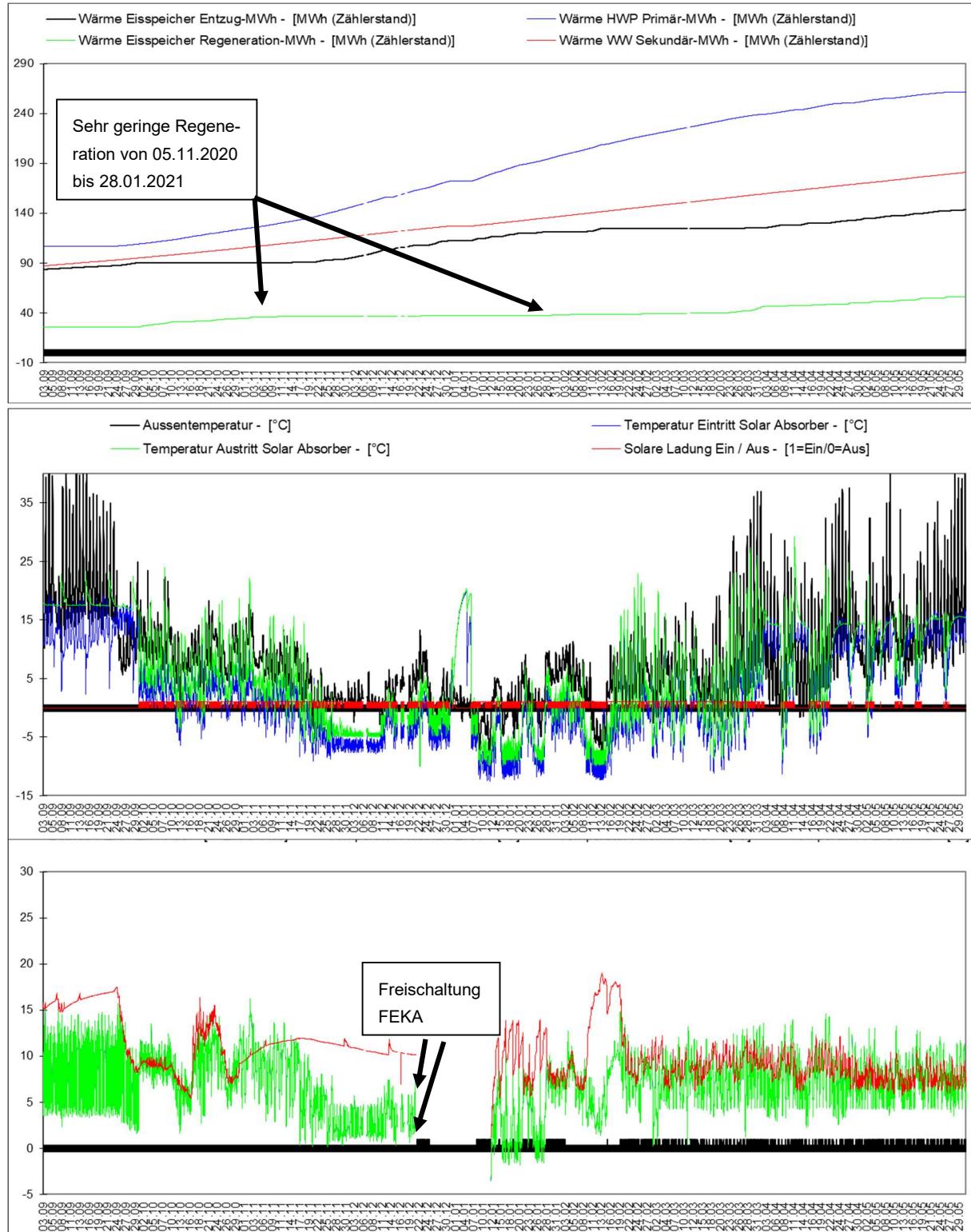


Abbildung 38: Energiezähler und Betrieb Haus B



Haus C, Wärmeerzeugung Heizung und BWW

In der Abbildung 39 ist unter anderem die Vereisung des Eisspeichers ersichtlich (Ladung Eisspeicher - %). Aus den Darstellungen wird klar, dass in den Wintermonaten viel Wärmeenergie benötigt wurde. Es ist auch erkennbar, dass die Vorlauftemperatur nicht wie bei den anderen beiden Häusern auf ca. -10°C absinkt. Auch der Eisspeicher erzielt eine maximale Kapazität von ca. 50%. Vorlauf BWW leicht höher durch FEKA-Betrieb. Zudem sind die Vorlauftemperaturen ab Oktober als Trendlinie gemittelt und aufgelistet.

Trendlinie	Quelle/ primär	Senke/ sekundär
BWW	ca. $+4^{\circ}\text{C}$	ca. 50°C
Heizung	ca. -1°C	ca. 33°C

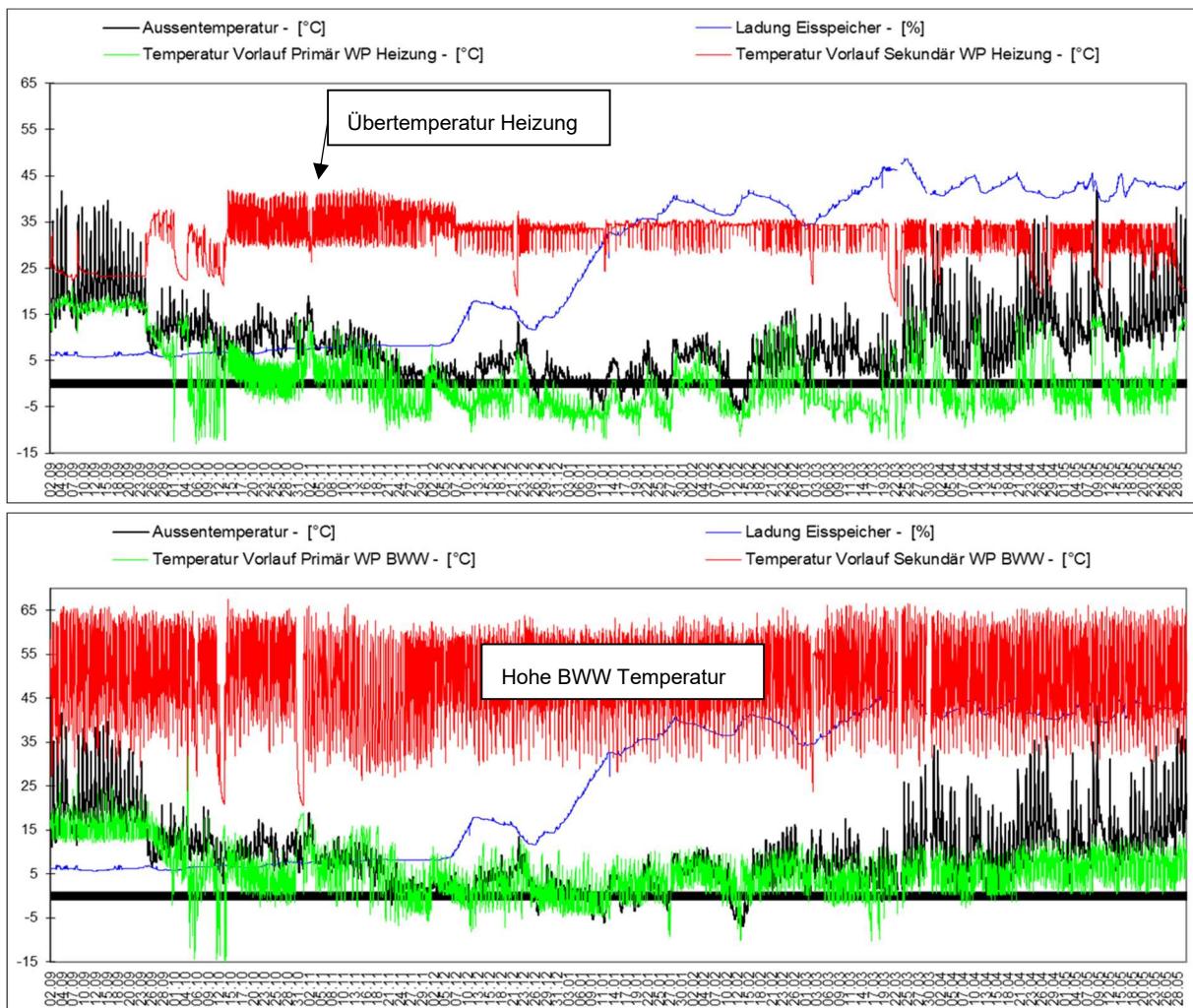


Abbildung 39: Wärmeerzeugung Heizung und BWW Haus C



Wärmezähler und Betrieb Haus C

Leider ist der Energiezähler der solaren Regeneration nicht funktionstüchtig. Es zeigt einen Energiezählerwert von 0 MWh an. Die Solare-Regeneration funktioniert, dies ist aus dem Ladungsverlauf des Eisspeicher erkennbar. Ausserdem funktioniert die Temperaturübertragung der FEKA nicht.

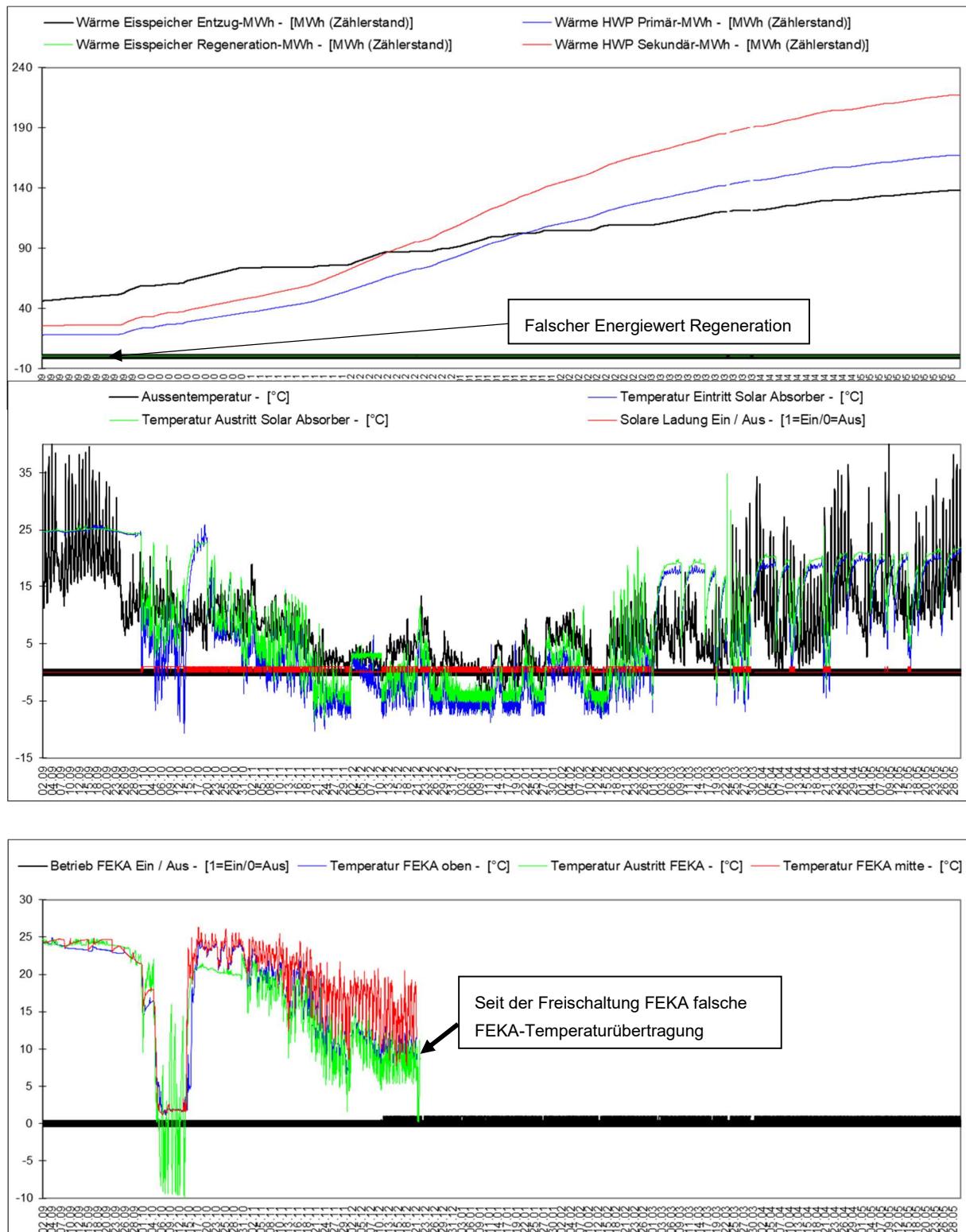


Abbildung 40: Energiezähler und Betrieb Haus C



Eisspeicher Haus A, B und C

Die Geometrie und das Volumen der Eisspeicher des Hauses C sind anders als die von Haus A und B. Die Temperaturfühler von den Eisspeicher im Haus C zeigen einen falschen Zahlenwert an. Der falsche Zahlenwert liegt wohl 5 K oberhalb der korrekten Ist-Wert Temperatur.

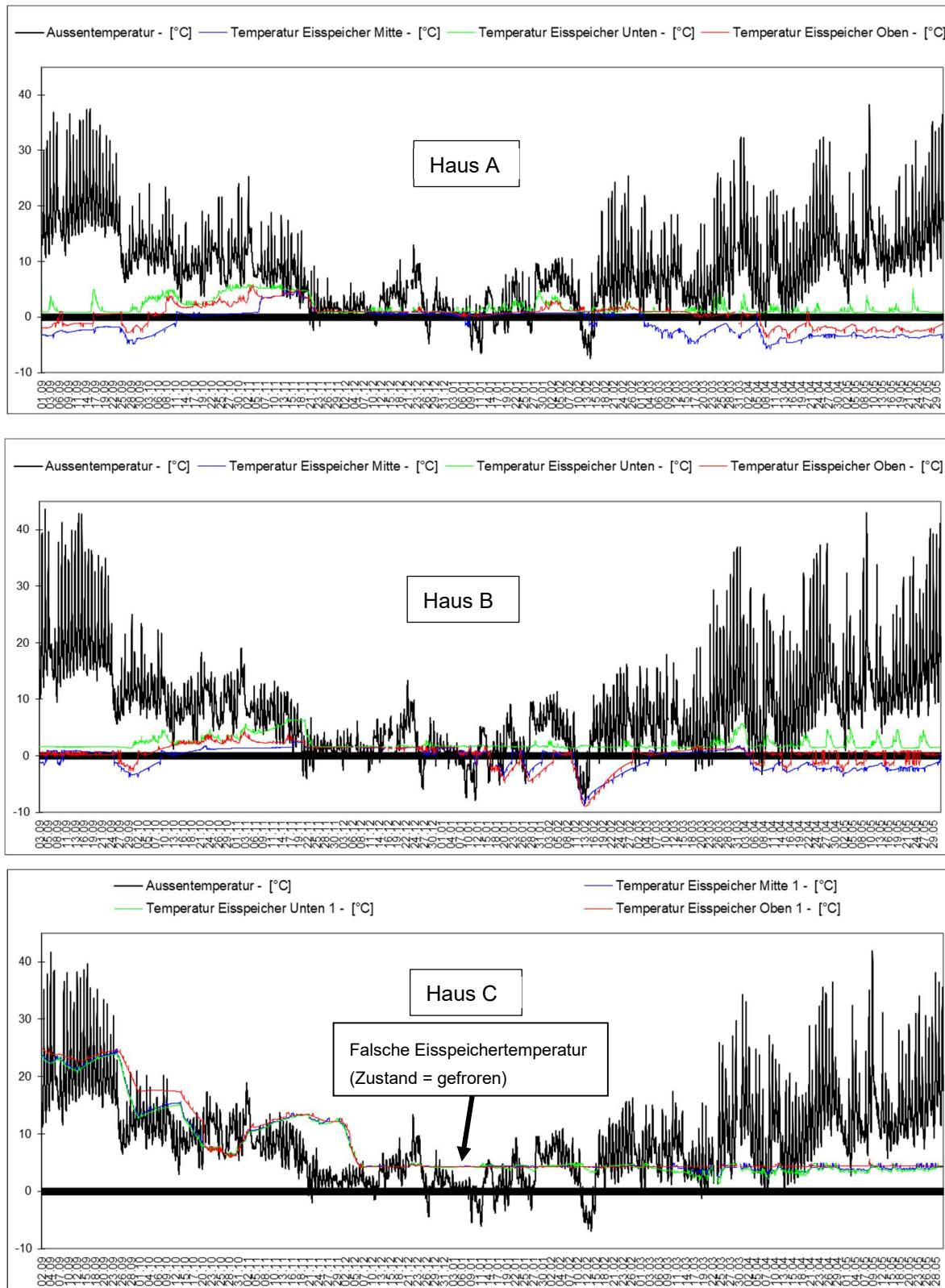


Abbildung 41: Temperaturverlauf Eisspeicher A, B und C



Erkenntnisse 1. Betriebsphase, Optimierungspotential

Mit dem aktuellen Arbeitsstand lassen sich folgende Optimierungsansätze ableiten,

1. Je tiefer die Temperatur Sekundär/Senke und je höher die Temperatur Primär/Quelle, desto besser ist die Anlageneffizienz. Es soll darauf geachtet werden, dass der Temperaturhub so klein wie möglich ist. Nach Rücksprache mit Viessmann Schweiz sind die Sollwerttemperaturen höher eingestellt als ausgelegt. Die hohen Sollwerte verursachen einen grösseren Wärmebedarf und senken die Effizienz des Systems. Bis zu der nächsten Erfolgskontrolle soll geprüft werden, ob die Sollwerte gesenkt werden können.
2. Die drei Anlagen wurden erst im Dezember 2020 mit der Zuschaltung der FEKA endgültig in Betrieb genommen. Die FEKA entlastet den Eisspeicher und ermöglicht einen effizienteren Anlagenbetrieb. Im Funktionsbeschrieb ist vermerkt, dass die Anlage ohne den FEKA-Tank nicht betriebsfähig sei. Um die Gefahr eines kompletten Vereisen der Eisspeicher zu verringern muss die FEKA zwingend in Betrieb sein. (Keine Heizbetrieb via FEKA möglich, FEKA nur als BWW Quelle und somit indirekte Entlastung der restlichen Quellen).

Zitat Funktionsbeschrieb FEKA.:

„Ein FEKA-Tank gilt als Wärmegewinnung der gesamten Anlage, ist dieser Tank nicht bereit gilt die Wärmepumpe als nicht Betriebsfähig“

“Wenn Verdampfer-Eintrittstemperatur unter einstellbaren Sollwert (+3°C) fällt, ist FEKA-Tank gesperrt. Ein gesperrter Tank schaltet die WP aus <-- aber keine Störmeldung. Freigabe über einstellbaren Sollwert (+13°C).”

3. Ein Softwareupdate der Wärmepumpen ist im September 2021 geplant. Durch das Update werden die falschen Messwerte verbessert und neue Sollwerte programmiert. Informativ wäre auch die zukünftige Übertragung Anzahl Schaltungen und Betriebsstunden der Anlage.

Folgearbeiten für Bericht:

Reicht der FEKA-Betrieb um Eisspeicher Ausfall zu verhindern. Wie viel Energie wird aus der FEKA gewonnen?

Wie lange lief die Notheizung und wie viel Energie wurde zugeführt? Jörg Bauer Fragen. Nur Heizung über Notheizung? Januar 2021.

Pendenzen für Viessmann:

- Das Softwareupdate der Wärmepumpensteuerung folgt im September 2021. Zusätzlich sollen die folgenden Punkte korrigiert werden.
 - Energiezähler Solare Regeneration Haus C liefert keine Messwerte.
 - FEKA Temperaturmessung prüfen Haus C
 - Temperaturmessung Eisspeicher Haus C
 - Übertragung wenn Quelle Eisspeicher (Betrieb 0/1) genutzt wird (Haus A, B, C)
 - Übertragung von Betriebsstunden und Schaltungen der WP (Haus A, B, C)
 - Radarsonden Vereisung der Eisspeicher überprüfen



11.7 Detail-Kennzahlen

	Eisspeicher-Wärmetauscher	Solarkollektoren	Schwarzwasser-Abwärmenutzung	Wärmepumpen
Hersteller / Anbieter	Viessmann	Viessmann #1	FEKA Neuenschwander-Neutair #3	Viessmann #3
Modell/Typ	Viessmann #8	Solar/Luft-Absorber SLK F #1	FEKA Modul #15 FEKA Schacht Typ 14 #16	Haus A+B: 2x Vitocal 350-G BW301.A29 und 1 x Vitocal 300-G BW301.A45 #22 Haus C: 3x Vitocal 300-G Sole BW301.A45 #19
Dimensionen (L x B x H)	Durchmesser i.L. 11 m Wandhöhe i.L. 4.5 m #10 Haus A: 361 m3 B: 361 m3 C: 2 x 213 m3 #20 Volumen des Speicherbehälters 427.65 m3 #9	ca. 2.12m x 1.3 m Höhe inkl. Aufständerung: ca. 0.2 m #1 Haus B: 211.4 m2 #3 2.1 x 1.3 x 0.1 m #4 Haus A: 231 m2 B: 231 m2 C: 252 m2 #20	Inhalt: 1'100 Liter Gewicht: ca. 700 kg #15 Nutzvolumen Abwasserschacht: 18 m3 #15 Nutzvolumen Abwasserschacht: 14 m3 #17 Haus A: 1.1 m3 B: 1.1 m3 C: 1.1 m3 #20	Vitocal 300-G BW301.A45 1.1 x 0.8 x 1.3 m #21 Vitocal 350-G BW301.A29



Leistungszahlen (Input/Output, Nominal-/Spitzenlast, etc.) einzeln und total	kWh Speicherkapazität Haus A: 25'089 kWh Haus B: 25'089 kWh Haus C: 29'568 kWh #27	kW thermisch ca. 160 W/K und 2 m/s Wind #1 1.3 m ² /kW WP-Heizleistung #2 Kollektorfeldertrag zur Beheizung 187'643 kWh/a #6		kW thermisch Haus B: 100 kW #3 Haus A+B: Qh WP (0/35): 114 kW (2x 43 + 1x 29) = 115 #20 Und Qww WP (0/65): 60 kW (2x 30) #20 Haus C: Qh WP (0/35): 114 (2x 44 + 1x 29) = 117 #20 Qww WP (0/65): 60 kW (2x 30) #20
Flussraten	37 m ³ /h = 37000 l/h = 616 l/min #5	250 l/h im Regenerationsbetrieb #1 37 m ³ /h #5	Fäkalien-Spülspumpe: 18.5 l/s #15 Durchschnittliche Abwassermenge: 6'250 l/d während 14 h → 446.4 l/h = 0.124 l/s #17 Kälte Vorlauf 12 m ³ /h = 3.33 l/s #19	
Temperaturbereich Auslegung	Max 20°C Vorlauf #5 Kälteschutz bis -19°C #11 Minimale Speichertemperatur: 0°C Maximale Speichertemperatur: 13,3°C #12 Die Regeneration ist bis zu einer mittleren Temperatur im Eisspeicher von [+25°C] freigegeben. #13	Vorlauf max 20°C , Rücklauf 12°C #5 Umgebungstemperatur: 0 – 40°C #7 Mediumtemperatur: -10°C ..110°C #7 Der Kollektordirektbetrieb ist bis zu einer Eintrittstemperatur in die Wärme pumpe von [-4°C] möglich. Unterhalb dieser Temperatur wird immer auf den Eisspeicher umgeschaltet. #13	Durchschnittliche Abwassertemperatur: 23°C #17 Maximal wird das Abwasser auf 5°C abgekühlt #18	Primärseitig: Kälte Vorlauf: 0°C Kälte Rücklauf: -3°C #19 Sekundärseitig: Heizung Vorlauf: 35°C Heizung Rücklauf: 30°C #19



Energetische Kennzahlen	Kollektorfeldertrag zur Beheizung 187'643 kWh/a #6 Bei Haus B: Absorberfläche: 211.4 m ² #3 187'643 kWh/a / 211.4 m ² = <u>887.6 kWh/(m²*a)</u>	JAZ 4.1 – 4.3 #26
-------------------------	--	-------------------------

#1

40 SEi Regenerationssystem Flachdach

Solar/Luft-Absorber SLK F für Flachdachmontage

Offener Kollektor zur Nutzung der Umweltwärme aus Luft, Regen, diffuser und direkter Sonneneinstrahlung sowie Reibbildung.

Regeneration des Eisspeichers sowie direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe.

Der SLK-F besteht aus 2 hydraulisch unabhängigen Ebenen, die übereinanderliegend auf einem Leichtmetallrahmen montiert werden. Die unteren und oberen Ebenen werden jeweils mittels Kollektorverbinder hydraulisch untereinander verbunden. Am Anfang und Ende jedes Feldes wird über ein Anschlussstück die obere mit der unteren Ebene zusammengeführt. Jeweils beide Ebenen sind aus einem Guss PE – Polyethylen hergestellt und haben keine Schweiß- oder Klebeverbindungen.

Um eine optimale Effizienz der Kollektoren zu gewährleisten muss bei der Befüllung mit dem Frostschutzmittel auf den Ausschluss von Luft aus dem System und auf die Dichtigkeit der Systemkomponenten geachtet werden.

Der Kollektor wird als Bausatz geliefert bestehend aus 2 Absorberlagen pro Kollektor, Aufständerung fürs Flachdach (5°Neigung zur Entlüftung), Anschlussatz mit Fühlertauchhülse.

Absorberanlage bestehend aus 81 SolarLuft-Kollektoren Typ SLK F

Benötigte Aufstellfläche ca. 231 m²

Kollektorgewicht (gefüllt, inkl. Aufständerung) gesamt: 7290 kg

Spezifische Angaben je Kollektor:

Maße (LxB): ca. 2,12m x 1,29 m

Höhe inkl. Aufständerung: ca. 0,2 m

Material: Polyethylen 100%

Wasser/Soleinhalt: ca. 45l

Gewicht gefüllt inkl. Aufständerung: ca. 90 kg

Gewicht (gefüllt) je m² 29 kg

Nenndurchfluss (Regenerationsbetrieb): 250l/h

Entzugsleistung: ca. 160 W/K und 2 m/s Wind

Leistungen



#2

2.2 Auslegung

Die Komponentenauslegung erfolgte durch den Systemanbieter. In der Praxis bereitet ohne Regeneration 1.0 m³ Speicher pro 1.0 kW Heizleistung rund 1 Woche Speicherkapazität zur Verfügung.

Wie nachfolgend noch dokumentiert, hätte auch die Auslegung des Systemanbieters mit 2.1 m³/kW ohne Regeneration zu einer Mangellage resp. frühzeitigen vollständigen Vereisung führen können. In der Folge wurden die Anlagen jeweils mit einer Schwarzwasser-Abwärmennutzung ergänzt. Eine Erweiterung der Kollektorfläche wäre nicht zielführend resp. in ausreichendem Mass möglich gewesen.

	mit Direktnutzung typisch	nur Regeneration und WP-Quelle typisch 1)	Weltpostpark A	
Kollektorfläche	2.0 bis 4.0	1.5 bis 2.0	1.3	m2 / kW WP-Heizleistung
Eisspeicher			2.1	m3 / kW WP-Heizleistung

Tabelle 2: Typische Auslegung und Auslegung Weltpostpark 1) Viessmann, Studie Weisskopf, BFE 2014

Die Betriebsweisen sind im Folgenden dargestellt. Nicht aufgeführt ist die Abwasser-Abwärmennutzung. Die Abwärme aus dem Abwasser wird aus dem Abwasserspeicher über die Wärmepumpe dem System zugeführt. Neben der hohen Effizienz ist die Unmittelbarkeit der Abwasser-Wärmenutzung ein grosser Vorteil. Abwasser fällt dann an, wenn viel Brauchwarmwasser und damit viel Energie benötigt wird. Die Wärmepumpe stellt diese Energie mit kurzer Verzögerung wieder bereit.

#3

VDMA	Gewerk	Anzahl	Standort/e	Hersteller	Baujahr	Leistungswerte 1	Leistungswerte 2	Leistungswerte 3
Heizungstechnische Systeme								
Wärmeerzeugung Heizung								
		1	Heizungszentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Vieessmann - Wärmepumpenanlage (3-Stufig) BW301/B29 (2 Stk.) BW301/B45 (1 Stk.) Kältemittel: R134a	Heizleitung WP: 100 kW Verdampferpumpe WP: 1 x 230V / 1.3 kW Kondensatorpumpe WP: 1 x 230V / 0.5 kW	
		1	Heizungszentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Vieessmann - Wärmepumpenanlage (2-Stufig) BW301/B27 (2 Stk.) Kältemittel: R134a	Heizleitung WP: 60 kW Verdampferpumpe WP: 1 x 230V / 1.3 kW Kondensatorpumpe WP: 1 x 230V / 0.3 kW	
		1	Aussen	Neuenschwander-Neutair	2019			
						- Volumen: 427 m ³ - Wasserinhalt: 361 m ³	- Vieessmann - betrieben D = 11m H = 4.5m	Wasserstandmessung Temperatursensoren (3 Stk.)
		1	Dach Haus B	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Art: Absorber-Kollektoren HDPE - Modul 1'100 L.	- Vieessmann (FEKA) - 81 Stk SLK-F20	Absorberfläche: 211.4 m ²
		1	Aussen	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Art: Heizgruppe: 1 x FBH Wohnungen	Spülpumpe 3x400V / 2.2 kW Injektionspumpe 3 x 400V / 0.75 kW	
		1	Heizungszentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Anzahl Expansionsgefäße: 1 Stk (Kompresso), Volumen pro Gefäß: (200 liter)	Verteilerpumpe 1 x 230 V / 0.5 kW	
		63 Stk	Wohnungen EG - 5.OG	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Einzelraumregelung mit Raumthermostat für Umschaltung Heizen / Kühlung Heizung: 50% Ethylenglykol / 70% Wasser (11300 L)	Pumpe 1 x 230V / 0.5 kW NeoVac Superstatic 749 B-F	
		1	Heizungszentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Anzahl Expansionsgefäße: 1 Stk (Kompresso), Volumen pro Gefäß: (500 liter)	Sole- Pumpe: 1 x 230 V / 0.74 kW	
		1	Heizungszentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair	2019			
						Leistung Plattentauscher: 60 kW	Ladepumpe FC: 1 x 230 V / 0.5 kW	
		1	Technikzentrale B.2.-1.5	R&D	2019			
						ab Plattenrauscher BWB	BWW- Pumpe: 1 x 230V / 0.2 kW Zirk.-Pumpe: 1 x 230V / 0.1 kW	
MSR-Einrichtungen und Gebäudeautomationssysteme								
Anlagenüberwachung								
		1	Technikzentrale B.1.-1.5	Neuenschwander-Neutair			Vieessmann	Anzahl Datenpunkte: 12 Stk.
								Weiterleitung per BUS und Modem / E-Mail ab Haus C (C.2.-1.4)

#4

Solarabsorber

Die Solare Regeneration besteht aus doppelagigen Polyethylen-Absorbern in den Abmessungen 2.14 x 1.28 x 0.1 m, Medium Wasser/Ethylenglykol (ca.30%)-Gemisch.

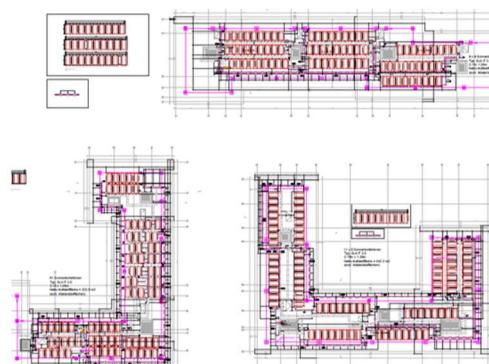
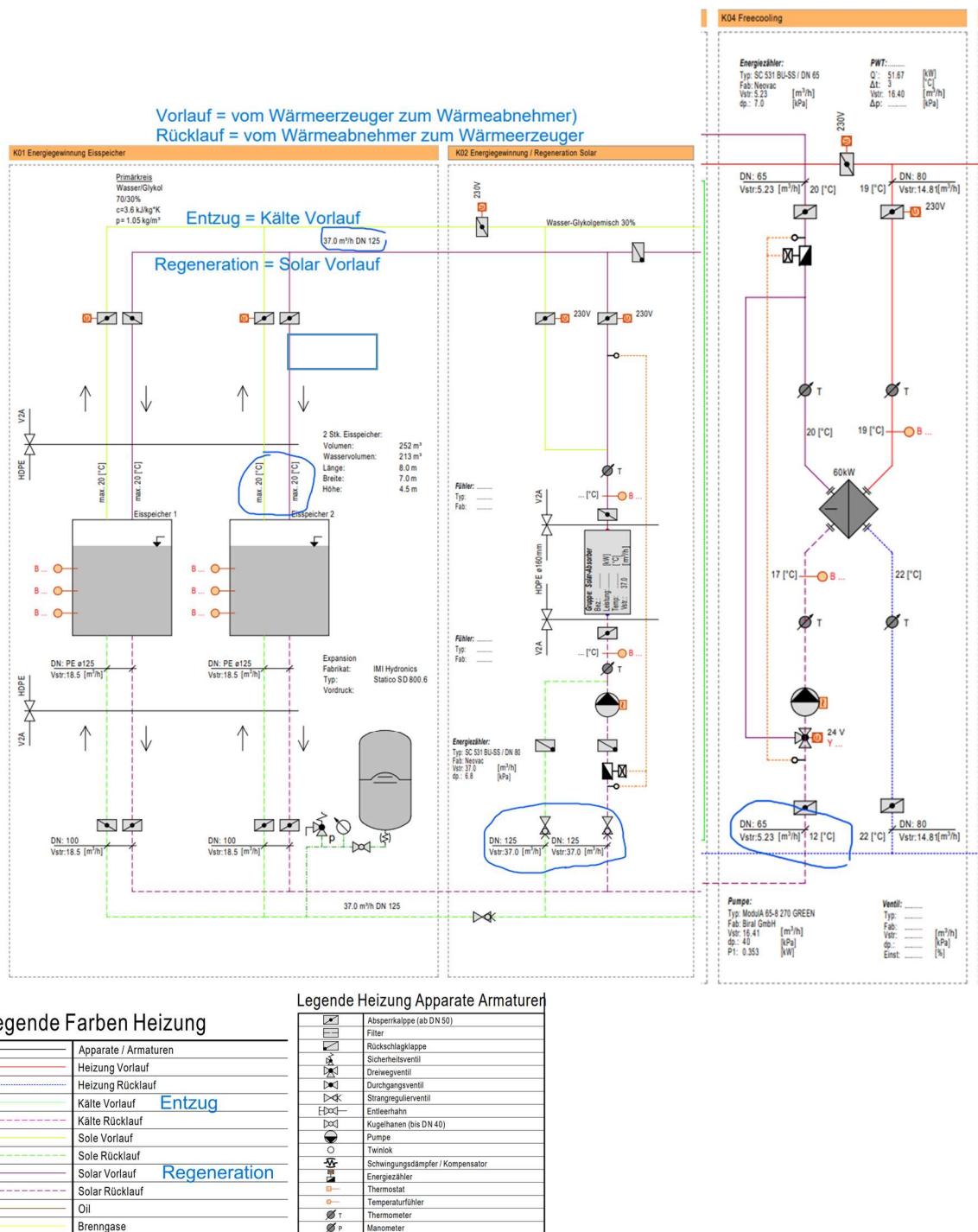


Abbildung 3: Solar-Absorberfeld

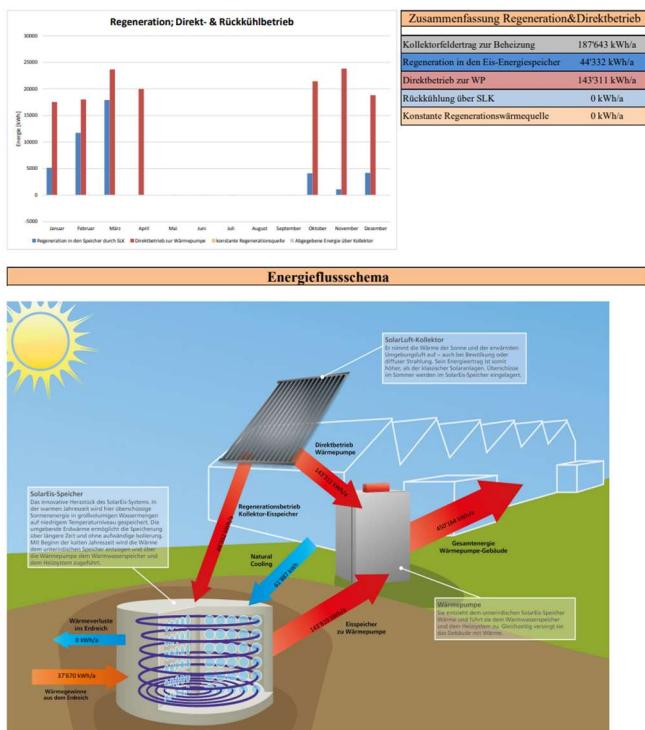


#5





#6



Quelle: «Simulationsauswertung_Weltpostpark_Bern_Haus_B»
 \\file01\\projects\\2015.3016.00_Wohnüberbauung_Weltpoststrasse_Bern\\04-Projekt_Grundlagen\\Tabelle_für_BFE\\Simulationsauswertung_Weltpostpark_Bern_Haus_B.pdf
 Seite 4

#7

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 45 Datum: 25.10.2016			
Artikel	Text	Menge	ME	Preis (CHF)	Betrag (CHF)
UMWÄLZPUMPE					
Gruppe Solar-Absorber					
Biral Kaltwasser-Umwälzpumpe					
ModulA 80-12 360 GREEN PN 6					
EEI <=0,17; 1x230V					
Die Elektronik ist für die abgesetzte Montage vormontiert					
Hocheffiziente Rohrreinbaumpumpe					
mit Permanentmagnetmotor zur Förderung von Kaltwasser					
mit stufenloser Drehzahlregelung für:					
-Proportionaldruck pp					
-Konstantdruck cp					
-Konstantdrehzahl cs					
Fördermedium : Wasser/Glycol 75:25					
Förderhöhe : 7,50 m					
Fördermenge : 37,00 m ³ /h					
Mediumtemperatur : -10...110 °C					
Umgebungstemperatur : 0 - 40°C					
Betriebsdruck max. : 600 kPa					
Nennweite : DN 80					
Einbaulänge : 360 mm					
Flanschanschluss : PN 6					
Spannung : 1~230 V					
Frequenz: 50 / 60 Hz					
Leistung P1 : 0,035...1,282 kW					
Nennstrom : 0,32...5,56 A					
Schutzart (IEC 34-5) : IP 44					
Isolationsklasse : F (155°C)					
Motorschutz : integriert					
-Pumpengehäuse : Grauguss					
-Laufrad : PES 30%GF					
-Stör- oder Betriebsmeldung (umschaltbar)					
-Extern AUS/EIN (umschaltbar)					
-Power Limit (aktivierbar)					
-Anzeige der Betriebszustände					
Gewicht : 31,1 kg		1	Stk		
Total 241.2.0 Apparate					



#8

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 26 Datum: 25.10.2016
Artikel	Text	Menge ME Preis (CHF) Betrag (CHF)
	<p>241 Energiegewinnung</p> <p>241.1 Eisspeicher</p> <p>241.1.0 Apparate</p> <p>EISSPEICHER EIS-ENERGIESPEICHERANLAGE</p> <p>Fabrikat: Viessmann gemäss Offerte Nr.6220275145 vom 07.10.2016</p> <p>SEi Wärmetauscher-System WT 361</p> <p>Wärmetauschersystem zur Nutzung der sensiblen und latenten Wärme des internen Wasservolumens des Speicherbehälters als Wärmequelle für Wärme pumpen sowie als saisonaler Kältespeicher. Nutzung des energetischen Inhalts des Eises zum Kühlen und Klimatisieren. Rückführung und Speicherung von Abwärme in den Speicher. Optimierte Systemabstimmung in Verbindung mit einer Wärme pumpe. Wärmetauscher system bestehend aus 2 hydraulisch getrennten Einheiten, die in einen vorgefertigten erdverlegten Speicher eingebaut werden. Entzugs wärmetauscher zur Nutzung des sensiblen und latenten Wärmeanteils des Wassers während der Heizperiode in Verbindung mit der Umwandlung des Wassers zu Eis.</p> <p>Regenerations wärmetauscher zur Zufuhr von Wärme aus Solar/Luft-Kollektoren oder Gebäude abwärme in den Speicher. Hydraulisch unabhängige Wärmetauscherebenen. Patentierte temperatur- und ladungsorientierte Ansteuerung der einzelnen Kreise und Ebenen zur optimierten Entladung (Nutzung der Kristallisationsenergie) und Vermeidung von Kraftübertragung auf die Speicherkonstruktion (Ausschluss der Sprengwirkung).</p> <p>Rahmenkonstruktion zur horizontalen Aufnahme der Wärmetauscherebenen. Das Solar/Eis Wärmetauscher-System ist für eine Elektrowärme pumpe mit 139.8 kW Wärmeleistung ausgelegt. Das Heizsystem muss wärme pumpe tauglich sein. Vorlauftemperatur ca. 35°C. Das Eisspeicher system ist für folgende Wärme pumpe n ausgelegt:</p> <p>2 Stk. Vitocal 350-G BW351.B27 2 Stk. Vitocal 300-G BW301.B29 1 Stk. Vitocal 300-G BW301.B45 Die technischen Daten der Wärmetauscher systeme können dem technischen Datenblatt entnommen werden.</p> <p>Zugrunde liegende Daten für die</p>	

#9

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 27 Datum: 25.10.2016
Artikel	Text	Menge ME Preis (CHF) Betrag (CHF)
	<p>Auslegung des Wasservolumens und der Wärmetauscher: PLZ des Bauvorhabens: CH-3000 Bern Klimaregion TRY6 Wärme pumpe leistung 139.8 kW (B-5/W35) Entzugsleistung 126.4 kW (B-5/W35) Heiztage ohne Regeneration: 22 Tage bei 12 h durchschnittlicher Wärme pumpe laufzeit/d max. Kühl last über den Regenerations wärmetauscher: 57 kW bei Kühltemperaturniveau 16/19°C</p> <p>Behälterform: zylinderförmig Höhe (Innenmaß): 4.5 m Durchmesser (Innenmaß): 11.0 m Volumen des Speicherbehälters: 427.65 m³ Wasservolumen: 361.21 m³ Speichermedium: Wasser; Übertragungsmedium: Wasser/Glykol</p>	



#10

	Projekt-Nr.: Projekt-Titel:	15.5021 Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: Datum:	28 25.10.2016	
Artikel	Text	Menge	ME	Preis (CHF)	Betrag (CHF)
	<p>EISSPEICHER BETONBEHÄLTER</p> <p>Fabrikat: Viessmann gemäss Offerte Nr.6220275145 vom 07.10.2016</p> <p>1 Stk. SEi Füllstandssensor Montage des Sensors im Speicher sowie Verkabelung bis zur vereinbarten Schnittstelle. Inbetriebnahme des Sensor nach anklammern an die MSR. Vegapuls WL61 Radarsensor Einbindung des Messsignals erfolgt über ein 4-20 mA Signal</p> <p>1 Stk. SEi Betonbehälter Monolith-Stahlbeton-Behälter "System Wolf" - Eisspeicher Durchmesser i.L. 11,00 m Wandhöhe i.L. 4,5 m Gesamtinhalt ca. 427,5 m³ Der Leistungsumfang ist der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen: 1 Stk Zusatzarmierung für Fülltemperaturen +25°C 1 Stk Decke, Stahlbeton, ohne Stütze, belastbar mit 100 cm Erdüberdeckung 1 Stk Wand, Stahlbeton rund 4 Stk Distanzhalter an jeder Seite</p>	1			

#11

	Projekt-Nr.: Projekt-Titel:	15.5021 Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: Datum:	29 25.10.2016	
Artikel	Text	Menge	ME	Preis (CHF)	Betrag (CHF)
	<p>EISSPEICHER FÜLLUNG</p> <p>Fabrikat: Viessmann gemäss Offerte Nr.6220275145 vom 07.10.2016</p> <p>SEi SolarEis Fluid</p> <p>Frost- und Korrosionsschutzmittel auf Basis von Ethylenglykol. Keine Entmischung der Gemische aus TYFOCOR® und Wasser, sowie keinen Einfluss auf die Wirkung bzw. Ausfällung des Produktes durch Härtebildner des Wassers. Korrosionsinhibitoren des TYFOCOR® schützen Metallwerkstoffe auch in Mischinstallation lange und zuverlässig vor Korrosion, Alterung und Inkrustierung. Produkt enthält kein Borax, Nitrit, Phosphat und Amin; greift im Heizungs und Kälteanlagenbau übliche Dichtungsmaterialien nicht an. Phenol-, Harnstoff-Formaldehydharze, Weich-PVC und Polyurethan-Elastomere sind nicht beständig, außerdem ist eine Eignungsprüfung bei der Verwendung von Elastomeren empfohlen. Infolge der geringen Oberflächenspannung von TYFOCOR® / Wassergemischen kann es bei der Verwendung von Dichtungsbändern aus Polytetrafluorethylen (PTFE) fallweise zu Undichtigkeiten kommen. Hohe Temperaturstabilität bei Dauertemperaturen bis zu 140°C. Bei der Handhabung sind die für den Umgang mit Chemikalien empfohlenen Maßnahmen des Sicherheitsdatenblatt zu beachten.</p> <p>Gelieferte Solemenge 11'300 Liter Anteil Ethylenglykol 30 % Kälteschutz bis -19 °C, Eisflockenpunkt bei -16,1°C</p> <ul style="list-style-type: none">- Dichte (20°C): 1,120-1,125 g/cm³- pH-Wert (20°C): 8-8,5 (Konzentrat), 7,5-8,5 (33 Vol.-%)- Flammpunkt: >100°C- Reservealkalität: >10ml 0,1 m HCl	1			



#12

Zusammenfassung Vereisungsgrad	
maximaler Vereisungsgrad	75%
minimale Speichertemperatur	0 °C
maximale Speichertemperatur	13,3 °C

#13

5.1.2.1 Fall 1: Vereisungsgrad = [0%]

→ immer mit wärmerer Quelle starten

Bei einer Heizanforderung und einem Vereisungsgrad von [0%] wird stets die wärmere Energiequelle zum Heizen genutzt. Dabei wird die höchste Temperatur am Kollektoraustritt mit der höchsten Temperatur im Eisspeicher verglichen. Die andere Energiequelle wird für eine Zeit von [20min] gesperrt. Danach wird wieder die wärmste Quelle ausgewählt, indem die beiden o.e. Temperaturen miteinander verglichen werden. Der Kollektordirektbetrieb ist bis zu einer Eintrittstemperatur in die Wärmepumpe von [-4°C] möglich. Unterhalb dieser Temperatur wird immer auf den Eisspeicher umgeschaltet.

5.1.2.2 Fall 2: Vereisungsgrad > [0%]

→ immer mit Kollektordirektbetrieb starten

Bei einer Heizanforderung und einem Vereisungsgrad von größer [0%] dienen primär die Kollektoren als Wärmequelle, solange die höchste Temperatur am Kollektoraustritt über [-4°C] mit Hysterese [2K] liegt. Unterhalb dieser Temperatur findet Entzugsbetrieb über den Eisspeicher statt. Unterschreitet im Kollektordirektbetrieb die Temperatur am WP-Eintritt [-4°C] wird immer auf den Eisspeicher umgeschaltet.

Nach einer Umschaltung auf den Eisspeicher wird der Kollektordirektbetrieb für [20min] gesperrt. Erst nach Ablauf dieser Zeit ist eine Rückschaltung auf die Kollektoren wieder möglich, insofern die Hysterese von [2K] am Kollektoraustritt vorhanden ist.

#14

5.1.4 Betrieb 1d → Regenerationsbetrieb Eisspeicher im Winterbetrieb

Im Regenerationsbetrieb wird dem Eisspeicher die Wärmeenergie aus der Umgebung über die Kollektoren zugeführt. Diese Betriebsart ist möglich, wenn kein Kollektordirektbetrieb stattfindet und die höchste Temperatur am Kollektoraustritt [2K] oberhalb der niedrigsten Temperatur im Eisspeicher ist, Ausschalthysterese [1K]. Die Regeneration ist grundsätzlich bis zu einer mittleren Temperatur im Eisspeicher von [+25°C] freigegeben. Anschließende Sperrung der Regeneration bis [3K] Abkühlung.

Freigabe Regeneration bis max. Temperatur des Eisspeichers: 01.10. – 01.03.



#15

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 58 Datum: 25.10.2016
Artikel	Text	Menge ME Preis (CHF) Betrag (CHF)
	<p>241.3.0 Apparate</p> <p>ABWASSERWAERMERUECKGEWINNUNG</p> <p>Fabrikat: Viessmann gemäss Offerte Nr.6220275145 vom 07.10.2016</p> <p>FEKA Modul Abwasserwärmerrückgewinnung AWRG Abwasserfilter mit Wärmetauscher Zylindrische Ausführung auf 6 Füßen, werkgeschweisst, inkl. <ul style="list-style-type: none"> - Stutzen für Zulauf - Sockel für Fäkalien-Spülspumpe - Wärmetauscher <p>Halterungsschiene für Temperatur- und Niveaustellung Werkstoff Filter: V2A Werkstoff Wärmetauscher: V2A Inhalt: ca. 1'100 l Gewicht: ca. 700 kg Durchmesser Filter: 1'600 mm</p> <p>Fäkalien-Spülspumpe Fabrikat: Lechner Förderstrom: ca. 18.5 l/s</p> <p>Elektroanschlüsse Modul Sämtliche Führer und Niveauschalter sowie die Rückspülspumpe sind im Modul integriert und werden mit einer konfektionierten GIAS Dose IP65 geliefert.</p> <p>Standrohr und Schachtleiter Im Lieferumfang sind eine Schachtleiter sowie ein Standrohr für den Abfluss enthalten. Der Übergang in die Kanalisationsleitung erfolgt mit einer bündigen Muffe in der Betonwand. (Position und Dimension gemäss Ausführungsplänen FEKA-Schacht) Podeste für Schacht-tiefe von über 5m sind bauseitig vorzusehen.</p> <p>Transport der kompletten Anlage und Zubehör franko Baustelle. Einbringung des Moduls in FEKA-Schacht per Lastwagenkran.</p> <p>Inbetriebnahme und Einregulierung der Anlage sowie Instruktion des Bedienungspersonals, inkl. Abnahme und Messprotokoll und Abgabe der Betriebsunterlagen.</p> <p>Technische Grundlagen: Jährliche Betriebszeit: 365 d Durchschnittliche Abwassermenge: 17'750 l/d Durchschnittliche Abwassertemperatur 23°C Hauptabwasseranfall während: 14 h Abwasserqualität: Häusliches Abwasser Nutzvolumen Abwasserschacht: 18 m³ Warmwassertemperatur: 60°C Warmwasserspeicher total: 6'000 l Durchschnittlicher Warmwasserverbrauch: 8'520 l/d Kaltwassertemperatur: 10 °C Verluste (Zirkulation, Speicher usw.): 10 %</p> </p>	

#16

Angebot: 6220275171 vom 10.10.2016
Kunde: 0628902104
Projekt: Weltpostpark Bern HAUS B
Projekt-Nr.:

VIESSMANN

Pos. Materialbezeichnung	Gesamtpreis
- Die genau Lage, Höhe und Achsen des Behälters sind in der Baugrubenfestzulegen und anzugeben.	
Bauseitige Leistungen Regenerationssystem:	
- Montage der Kollektoren und Aufstellen auf dem Dach	
- Füllen und Spülen des Regenerationssystems mit Wasser/Glykol-Gemisch	
- Verrohrung der Kollektoren	
Bauseitige Leistungen Abwasserwärmerrückgewinnung:	
- Abwasserschacht inkl. Anschlüsse - FEKA Schacht Typ 14	
- Versetzen mit Kran (falls Einbringung mit Lastwagenkran nicht möglich ist)	
- UWP Verdampferkreis, z.B. Grundfos TPE mit Glykol-Gleitring	
- Fäkalien-Spülspumpendruckleitung zur Kanalisation	
- Sole-Verbindungsleitungen vom Wärmetauscher im Abwasserschacht zur	



#17

Angebot: 6220275171 vom 10.10.2016		VIESSMANN
Kunde: 0628902104		
Projekt: Weltpostpark Bern HAUS B		
Projekt-Nr.:		
Pos.	Materialbezeichnung	Gesamtpreis
	Transport Transport der kompletten Anlage und Zubehör franko Baustelle. Einbringung des Moduls in FEKA-Schacht per Lastwagenkran. (Bedingung: Zufahrt gewährleistet und Hinweise Einbringung Modul erfüllt). Zusätzliche Aufwände für die Einbringung infolge fehlender, bauseitiger Leistungen werden separat verrechnet oder sind Sache des Kunden.	
	Inbetriebnahme Inbetriebnahme und Einregulierung der Anlage sowie Instruktion des Bedienungspersonals, inkl. Abnahme und Messprotokoll und Abgabe der Betriebsunterlagen. Zusätzliche IBS infolge fehlender, bauseitiger Leistungen werden separat verrechnet.	
	Technische Grundlagen: Jährliche Betriebszeit: 365 d Durchschnittliche Abwassermenge: 6'250 l/d Durchschnittliche Abwassertemperatur 23°C Hauptabwasseranfall während: 14 h Abwasserqualität: Häusliches Abwasser Nutzvolumen Abwasserschacht: 14 m ³ Warmwassertemperatur: 60°C	

#18

2.9 Funktionsbeschrieb Schwarzwasser-Abwärmennutzung

Die BWW- Erzeugung kann Wärme direkt ab Solarkollektoren, ab Eisspeicher oder ab der Schwarzwasser-(ungeklärtes Abwasser) AWN- Anlage beziehen. Die Umschaltung erfolgt mittels eines Ventils. Das Herzstück in dem Betonschacht ist das Schwarzwasser-Abwärmennutzungs-Modul, eine Kombination aus Wärmetauscher und ausgeklügelter Filtereinheit. Maximal wird das Abwasser auf 5°C abgekühltd. Der detaillierte Regelbeschrieb von Spül- und Injektorpumpe, Druckregelung sowie auch die Rückmeldung des Ladezustandes ist dem Anhang zu entnehmen.

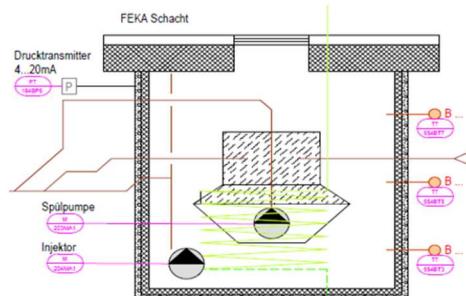
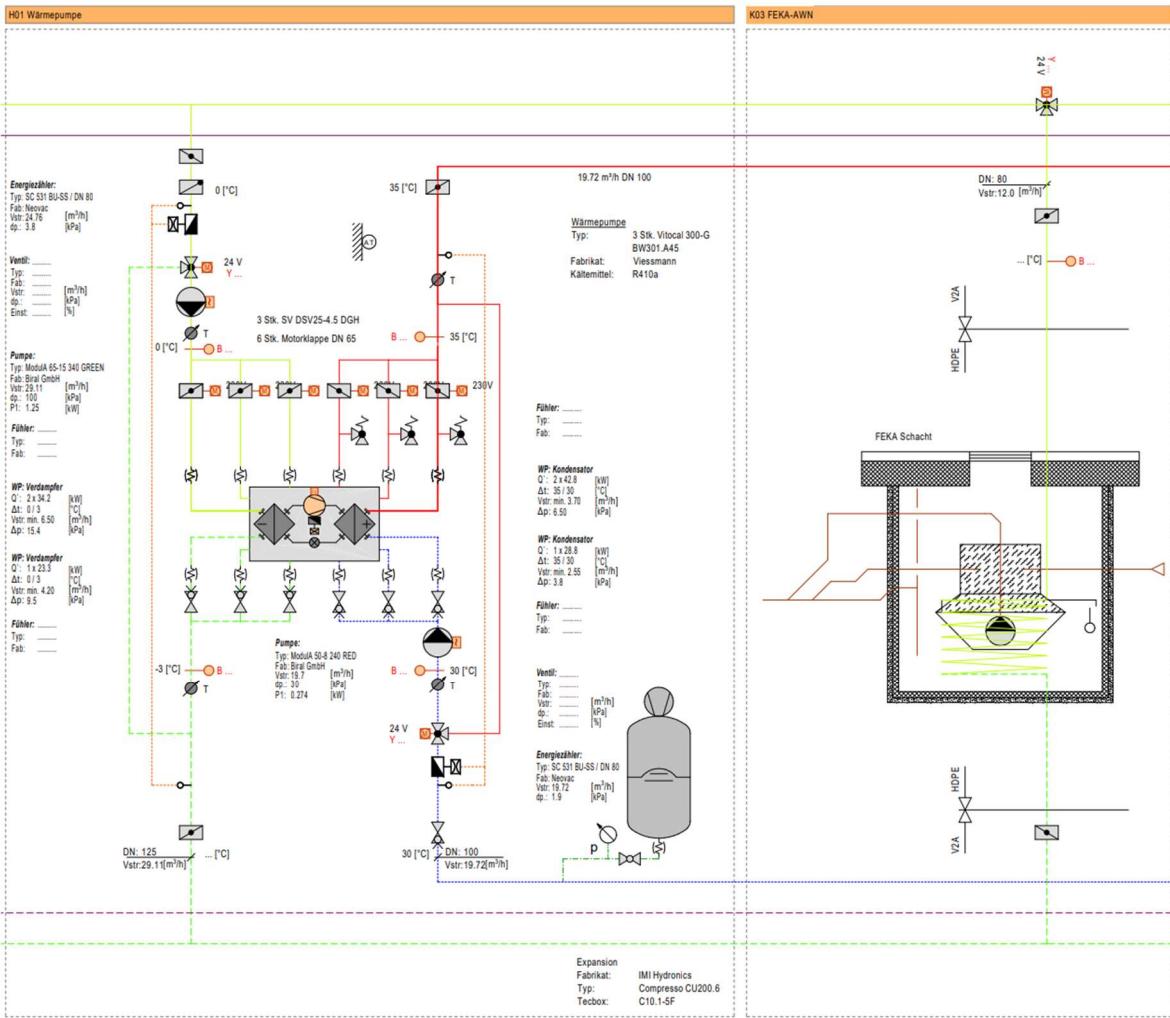


Abbildung 10: Prinzipschema Ausschnitt Schwarzwasser-Abwärmennutzung-Schacht



#19



#20

Baugrössen

Die drei Häuser werden über drei autonome Anlagen mit Wärme versorgt. Im Haus C konnten Solarabsorber und Eisspeicher (zwei) durch die räumliche Ausgangslage leicht grösser ausgelegt werden. Wie noch erläutert wird, hätte diese Auslegung ohne zusätzliche Schwarzwasser-Abwärmemutzung zu einer frühzeitigen Vereisung resp. zu einer Energiemangellage führen können.

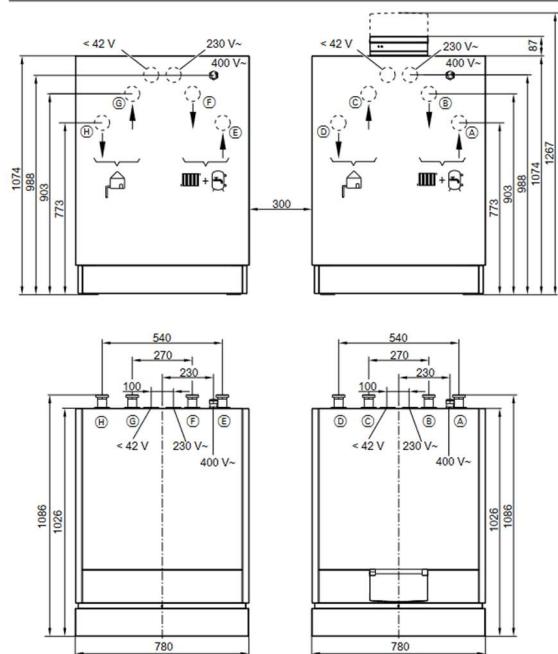
	EBF m ²	Solarabsorber m ²	Eisspeicher H ₂ O m ³	Q _h WP (0/35) kW	Q _{ww} WP (0/65) kW	FEKA m ³
Haus A	6'313	231	361	114 (2x 43 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1
Haus B	6'532	231	361	114 (2x 43 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1
Haus C	6'568	252	2x 213	114 (2x 44 + 1x 29)	60 (2x 30)	1.1



#21

Technische Angaben Vitocal 300-G (Fortsetzung)

Abmessungen Typ BW 301-A21 bis A45, BWS 301-A21 bis A45

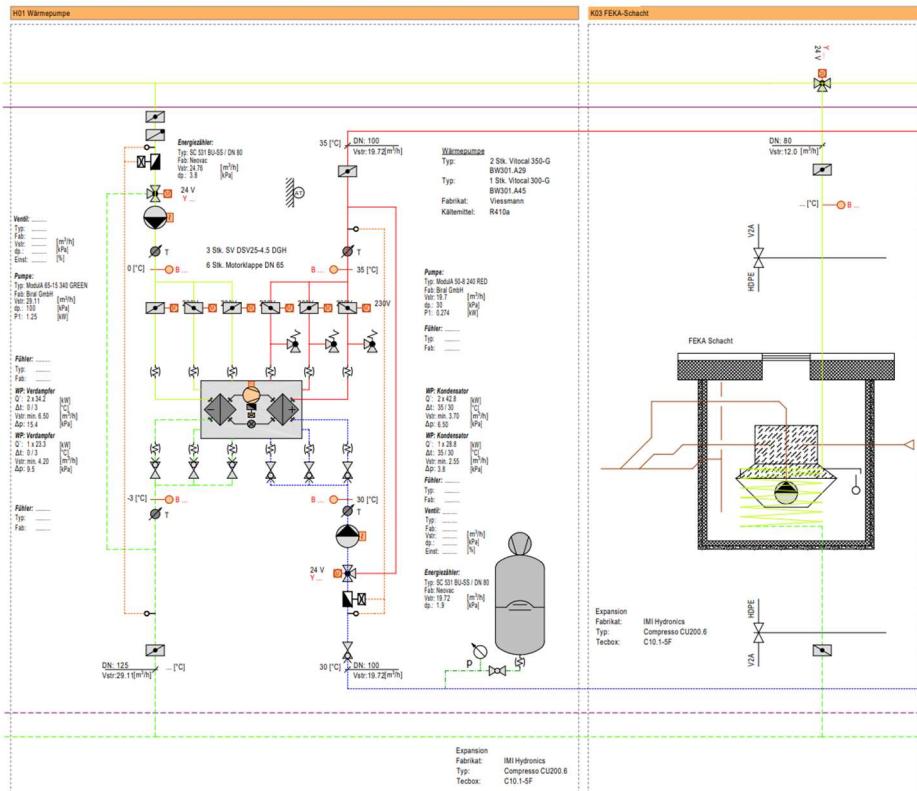


Links Typ BWS, rechts Typ BW

A/E Rücklauf Sekundärkreis
 B/F Vorlauf Sekundärkreis

©/G Vorlauf Primärkreis (Soleeintritt Wärmepumpe)

#22





#23

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 77 Datum: 25.10.2016			
Artikel	Text	Menge	ME	Preis (CHF)	Betrag (CHF)
	DATEN WÄRMEPUMPE Typ BW 301 A45 Nennspannung Verdichter 3/N/PE 400 V/50 Hz Regelung/Elektr. 1/N/PE 230 V/50 Hz Anlaufstrom 47 A Absicherung Regelung 1xB16 A Verdichter 1xC40 A Sekundärkreis Min. Heizwasser-Volumenstrom 3700 l/h Durchflusswiderstand 65 mbar Max. Vorlauftemperatur 60 °C Zul. Betriebsdruck 3 bar Primärkreis Min. Sole-Volumenstrom 6500 l/h Durchflusswiderstand 154 mbar Sole-Eintrittstemperatur max. 25 °C Sole-Eintrittstemperatur min. - 10 °C Zul. Betriebsdruck 3 bar Anschlüsse Heizungsvor- und -rücklauf G 2 Primärvor- und -rücklauf G 2 Abmessungen Länge (Tiefe) 1085 mm Breite 780 mm Höhe 1267 mm Gewicht 345 kg Leistungsdaten bei Betriebspunkt B0/W35 nach EN 14511 (5 K Spreizung) Nenn-Wärmeleistung 42,8 kW Kälteleistung 34,2 kW Elektr. Leistungsaufnahme 9,28 kW Leistungszahl (COP) 4,6 Schall-Leistungspegel 46 dB(A)	1			

#24

	Projekt-Nr.: 15.5021 Projekt-Titel: Wohnüberbauung Weltpostpark, Bern	Seite: 223 Datum: 25.10.2016			
Artikel	Text	Menge	ME	Preis (CHF)	Betrag (CHF)
	DATEN WÄRMEPUMPE Typ BW 351 B27 Nennspannung Verdichter 3/N/PE 400 V/50 Hz Nennspannung Verdichter 3/N/PE 400 V/50 Hz Regelung/Elektr. 1/N/PE 230 V/50 Hz Anlaufstrom 39 A Absicherung Regelung 1xB16 A Verdichter 1xC32 A Sekundärkreis Min. Heizwasser-Volumenstrom 2050 l/h Durchflusswiderstand 10 mbar Max. Vorlauftemperatur 70 °C Zul. Betriebsdruck 3 bar Primärkreis Min. Sole-Volumenstrom 5400 l/h Durchflusswiderstand 30 mbar Sole-Eintrittstemperatur max. 25 °C Sole-Eintrittstemperatur min. - 10 °C Zul. Betriebsdruck 3 bar Anschlüsse Heizungsvor- und -rücklauf G 2 Primärvor- und -rücklauf G 2 Abmessungen Länge (Tiefe) 1085 mm Breite 780 mm Höhe 1267 mm Gewicht 285 kg Leistungsdaten bei Betriebspunkt B0/W35 nach EN 14511 (5 K Spreizung) Nenn-Wärmeleistung 28,7 kW Kälteleistung 23,0 kW Elektr. Leistungsaufnahme 5,90 kW Leistungszahl (COP) 4,9 Schall-Leistungspegel 52 dB(A)	1			