



Schlussbericht vom 16.08.2024

ProsumerSkin

Renovation von Mehrfamilienhäuser auf nZEB
Standard durch vorgefertigte Dämmfassade mit
integrierter Energiegewinnung und
Wärmeverteilung



Quelle: © Stapfenackergut Marthaler AG, 2024



Ort: Bern

Subventionsgeberin:

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

Subventionsempfänger/innen:

SPF Institut für Solartechnik
Ostschweizer Fachhochschule
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil
www.spf.ch

Autoren:

Alexander Schmitt, Institut für Solartechnik, alexander.schmitt@ost.ch
Daniel Philippen, Institut für Solartechnik, daniel.philippen@ost.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch
Nadège Vetterli, nadege.vetterli@anex.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501578-01

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



Zusammenfassung

Um die Ziele der Energiestrategie zu erreichen, muss die energiewirksame Renovationsrate von Gebäuden im Bestand deutlich erhöht werden. Sowohl die Mustervorschriften der Kantone (MuKEn) als auch die Europäischen Direktiven fordern zudem nicht nur einen geringen Verbrauch, sondern auch die Produktion von Energie vor Ort. Diese Forderungen schlagen sich nieder in „nearly zero energy“ Konzepten, in welchen Gebäude zu Prosumern werden. Genau hier setzt das Projekt ProsumerSkin mit einer innovativen Komplettlösung an. Dazu wurde ein MFH mit Baujahr 1964 mit einem neuartigen, kostengünstigen Lösungsansatz zu einem „nearly zero energy“ Gebäude renoviert. Die Kernkomponenten dieses Konzeptes sind multifunktionale Fassadenelemente, welche zusätzlich zur Wärmedämmung und Fenstern mit integrierter Komfortlüftung gleichzeitig sowohl Stromerzeugung mit Photovoltaik als auch Bereitstellung und Verteilung der Heizwärme beinhalten. Die Niedertemperatur-Heizwärmeverteilung wurde über die Anbringung einer aussenliegenden Wandheizung auf das bestehende Mauerwerk realisiert. Um die Wandheizung möglichst grossflächig zu installieren und um Wärmebrücken zu reduzieren, wurden die bestehenden Balkone demontiert und über die gesamte Südwestfassade ein thermisch entkoppelter Wintergarten errichtet. Gegenüber dem Zustand vor der Renovation werden Wärmebedarf und Vorlauftemperaturen stark reduziert und mit effizienten Aussenluft-Wärmepumpen kombiniert. Durch die thermische Aktivierung der Aussenwand steht ein grosser Wärmespeicher zur Verfügung, welcher für die Kombination PV und Wärmepumpe einen hohen Eigenverbrauch und damit eine wirtschaftlich attraktive Lösung ermöglicht. Ein weiterer grosser Vorteil dieser Art von Sanierung ist, dass die Bewohner dabei in den Wohnungen bleiben können, was die Akzeptanz steigert.

Aufgrund der Insolvenz der Generalunternehmung sowie sechs weiteren Firmen, welche an der Renovierung beteiligt waren, konnten nicht alle Projektziele erreicht werden. Die endgültige Regelung und das Monitoring gingen im Mai 2024 in Betrieb, weshalb sich nur wenig Detailliertes über die Verbrauchsdaten aussagen lässt. Die Wandheizung ist jedoch seit der Heizsaison 21/22 in Betrieb. Bestehende Radiatoren wurden nicht ausser Betrieb gesetzt, da der Komfort in den Bädern sonst nicht eingehalten werden konnte. Hier wurden zudem Radiatoren mit grösserer Oberfläche installiert, um mit geringer Vorlauftemperatur genügend Wärme an die Räume abzugeben.

Aufgrund der Tatsache, dass alle Radiatoren noch angeschlossen sind, können die Bewohner die Raumtemperaturen, welche im Winter zwischen komfortablen 22 °C und 25 °C liegen, in einem bestimmten Mass individuell anpassen. Die Temperaturregelung der Wandheizung kann von den Bewohnern nicht beeinflusst werden, sondern erfolgt in Abhängigkeit von der Aussentemperatur und der vorgegeben Heizkurve. Sie können jedoch bei Bedarf die Durchflussmenge der Wandheizung durch den Hauswart anpassen lassen. Die Anpassung ist jedoch nicht ganz trivial, da die Heizkreise meist mehrere Räume mit Wärme versorgen und somit die Änderungen gegebenenfalls auch andere Räume beeinflussen.

Die eingesetzten Propan-Wärmepumpen liefen gut, mit Ausnahme von einem Gerät, das wiederholt Probleme bereitete und daher im Frühjahr 2024 getauscht werden musste. Das MFH produziert mit etwa 60'000 kWh PV-Strom etwa netto so viel wie es aus dem Netz bezieht, respektive zweidrittel des Gesamtbedarfs.

Da in einem Gebäudeteil keine zentrale Lüftung vorhanden war, setzte man dort auf innovative Fenster, welche eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung in den Fensterrahmen haben. Das Monitoring zeigte, dass diese Funktion von den Bewohnern selten genutzt wird. Als Grund hierfür werden störende Betriebsgeräusche genannt. Dadurch sind die CO₂-Konzentrationen vor allem nachts deutlich höher als in dem Gebäudeteil mit zentraler Lüftung.



Summary

In order to achieve the goals of the energy strategy, the energy-efficient renovation rate of existing buildings must be significantly increased. Both the model regulations of the cantons (MuKE) and the European directives also require not only low consumption, but also the production of energy on site. These requirements are reflected in 'nearly zero energy' concepts in which buildings become prosumers. This is precisely where the ProsumerSkin project comes in with an innovative complete solution. An apartment block built in 1964 was renovated into a 'nearly zero energy' building using a new, cost-effective approach. The core components of this concept are multifunctional façade elements which, in addition to thermal insulation and windows with integrated comfort ventilation, simultaneously generate electricity with photovoltaics and provide and distribute heating energy. The low-temperature heat distribution was realised by attaching external wall heating to the existing masonry. In order to install the wall heating over as large an area as possible and to reduce thermal bridges, the existing balconies were dismantled and a thermally decoupled conservatory was built over the entire south-west façade. Compared to the situation before the renovation, the heat requirement and flow temperatures were greatly reduced and combined with efficient outside air heat pumps. The thermal activation of the exterior wall provides a large heat store, which enables a high level of self-consumption for the combination of PV and heat pump, making it an economically attractive solution. Another major advantage of this type of refurbishment is that the residents can remain in their flats, which increases acceptance.

Due to the insolvency of the general contractor and six other companies involved in the renovation, not all project goals could be achieved. The final control and monitoring system went into operation in May 2024, which is why little can be said in detail about the consumption data. However, the wall heating has been in operation since the 21/22 heating season. Existing radiators were not taken out of operation, as the comfort level in the bathrooms could not otherwise be maintained. Radiators with a larger surface area were also installed here in order to provide sufficient heat to the rooms with a low flow temperature.

The fact that all radiators are still connected allows the residents to individually adjust the room temperatures, which are between a comfortable 22 °C and 25 °C in winter, to a certain extent. The residents cannot influence the temperature control of the external wall heating, which is regulated depending on the outside temperature. However, they can work with the caretaker to see whether it is possible to adjust the flow rate. This is not entirely trivial, as a heating circuit usually covers several rooms.

The propane heat pumps used ran well, with the exception of one appliance that kept causing problems and therefore had to be replaced in spring 2024. With around 60,000 kWh of PV electricity, the apartment block produces about as much net as it draws from the grid, or two-thirds of the total demand.

As there was no centralised ventilation in one part of the building, innovative windows were used, which have ventilation with heat recovery in the window frames. The monitoring showed that this function is rarely used by the residents. Disturbing operating noises are cited as the reason for this. As a result, the CO₂ concentrations are significantly higher than in the part of the building with centralised ventilation, especially at night.



Résumée

Afin d'atteindre les objectifs de la stratégie énergétique, le taux de rénovation énergétique des bâtiments existants doit être considérablement augmenté. Les règlements types des cantons (MuKE) et les directives européennes exigent non seulement une faible consommation, mais aussi la production d'énergie sur place. Ces exigences se traduisent par des concepts de « quasi zéro énergie » dans lesquels les bâtiments deviennent des prosummateurs. C'est précisément là que le projet ProsumerSkin intervient avec une solution complète et innovante. Un immeuble construit en 1964 a été rénové en un bâtiment à énergie quasi nulle grâce à une nouvelle approche rentable. Les éléments centraux de ce concept sont des éléments de façade multifonctionnels qui, en plus de l'isolation thermique et des fenêtres avec ventilation de confort intégrée, produisent simultanément de l'électricité grâce à l'énergie photovoltaïque et fournissent et distribuent de l'énergie de chauffage. La distribution de chaleur à basse température a été réalisée en attachant un chauffage mural externe à la maçonnerie existante. Afin d'installer le chauffage mural sur une surface aussi grande que possible et de réduire les ponts thermiques, les balcons existants ont été démontés et un jardin d'hiver découplé thermiquement a été construit sur l'ensemble de la façade sud-ouest. Par rapport à la situation qui prévalait avant la rénovation, les besoins en chaleur et les températures de départ ont été considérablement réduits et combinés à des pompes à chaleur efficaces pour l'air extérieur. L'activation thermique du mur extérieur constitue un important réservoir de chaleur qui permet un niveau élevé d'autoconsommation pour la combinaison de l'énergie photovoltaïque et de la pompe à chaleur, ce qui en fait une solution économiquement attrayante. Un autre avantage majeur de ce type de rénovation est que les résidents peuvent rester dans leurs appartements, ce qui augmente l'acceptation.

En raison de l'insolvabilité de l'entrepreneur général et de six autres entreprises impliquées dans la rénovation, tous les objectifs du projet n'ont pas pu être atteints. Le système final de contrôle et de surveillance a été mis en service en mai 2024, c'est pourquoi il n'y a pas grand-chose à dire sur les données de consommation. Cependant, le chauffage mural fonctionne depuis la saison de chauffage 21/22. Les radiateurs existants n'ont pas été mis hors service, car le niveau de confort dans les salles de bains ne pouvait pas être maintenu autrement. Des radiateurs d'une plus grande surface ont également été installés ici afin de fournir suffisamment de chaleur aux pièces à faible température de départ.

Le fait que tous les radiateurs soient encore connectés permet aux résidents de régler individuellement la température des pièces, qui se situe entre 22 °C et 25 °C en hiver, dans une certaine mesure. Les résidents ne peuvent pas influencer le contrôle de la température du chauffage mural extérieur, qui est régulé en fonction de la température extérieure. Ils peuvent toutefois voir avec le concierge s'il est possible d'ajuster le débit. Ce n'est pas une mince affaire, car un circuit de chauffage couvre généralement plusieurs pièces.

Les pompes à chaleur au propane utilisées ont bien fonctionné, à l'exception d'un appareil qui n'a cessé de poser des problèmes et qui a donc dû être remplacé au printemps 2024. Avec environ 60 000 kWh d'électricité photovoltaïque, l'immeuble produit à peu près autant d'électricité nette qu'il n'en tire du réseau, soit deux tiers des besoins totaux.

Comme il n'y avait pas de ventilation centralisée dans une partie du bâtiment, des fenêtres innovantes ont été utilisées, qui disposent d'une ventilation avec récupération de chaleur dans les cadres des fenêtres. Le suivi a montré que cette fonction est rarement utilisée par les résidents. Les bruits de fonctionnement gênants en sont la cause. Par conséquent, les concentrations de CO₂ sont nettement plus élevées que dans la partie du bâtiment dotée d'une ventilation centralisée, surtout la nuit.



Take-home messages

- Die aussenliegende Wandheizung läuft in einem bivalenten Betrieb mit den bestehenden Radiatoren effizient und versorgt das Gebäude mit genügend Wärme. Die Nutzung der Radiatoren erhöht dabei massgeblich den Komfort für die Bewohner, da mit diesen die Räume zu einem gewissen Teil individuell geregelt werden können, während eine Grundwärme durch die Wandheizung gewährleistet wird.
- Eine gut gedämmte Gebäudehülle (U-Wert Wände: $0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$) in Zusammenspiel mit einer PV-Anlage auf dem Dach und der Fassade sowie ein Niedertemperatur-Verteilssystem machen aus einem Mehrfamilienhaus mit 22 Wohnungen und einer Energiebezugsfläche von über $2'000 \text{ m}^2$ ein sehr energieeffizientes Gebäude, welches netto so viel Energie produziert, wie es aus dem Netz bezieht.
- Eine in die Fenster integrierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung scheint von den Bewohnern nicht genutzt zu werden, obwohl diese den Komfort in puncto Raumluftqualität in den Räumen deutlich erhöht. Gründe hierfür sind zum einen die Betriebsgeräusche zum anderen müssen die Vorteile besser kommuniziert werden, um das Interesse zu erhöhen.
- In fast allen Gebäuden wurde das Warmwasser rein elektrisch produziert, da die vorhandenen Schütze für Elektroerwärmungen, welche nur im Notfall laufen sollen, überbrückt wurden. Dies wurde erst im Zuge des Monitorings aufgedeckt und untermauert die Wichtigkeit der Überwachung von modernen Heizsystemen.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Summary	4
Résumé.....	5
Take-home messages	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einleitung	10
1.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	10
1.2 Motivation des Projektes	10
1.3 Projektziele	11
1.4 Insolvenz Generalunternehmung und Auswirkungen auf die Projektziele.....	12
2 Vorgehen und Methode.....	13
3 Anlagenbeschrieb	14
3.1 Energiesystem.....	16
3.1.1 Aussenliegende Wandheizung (aWh) und Dämmfassade.....	17
3.2 PV-Anlage.....	19
3.2.1 PV-Anlage Dach	21
3.2.2 PV-Anlage Fassade und Balkon	21
3.3 Wärmepumpen	22
3.4 Lüftung.....	23
3.5 Hydraulik.....	24
3.6 Monitoringkonzept	26
3.7 Regelbeschrieb.....	29
4 Ergebnisse und Diskussion	31
4.1 Vorgefertigte Elemente.....	31
4.2 Monitoring und übergeordnete Regelung.....	33
4.3 Auswertung erster Messdaten.....	34
4.3.1 Gebäudeparameter	34
4.3.2 Strombedarf, Produktion und NZEB.....	34
4.3.3 Wärmeerzeugung und Bedarf	38
4.4 Effizienz und Wärmepumpe	39
4.5 Raumkomfort.....	40
4.5.1 Raumtemperaturen.....	40
4.5.2 Relative Luftfeuchtigkeit	42
4.5.3 CO ₂ -Gehalt	43



5	Schlussfolgerungen und Fazit	45
5.1	Projekt Allgemein.....	45
5.2	Energieeffizienz	45
5.3	Komfort	46
5.4	Wirtschaftliche Betrachtung.....	47
5.5	Gewonnene Erkenntnisse	49
6	Ausblick und zukünftige Umsetzung	51
7	Publikationen	53
8	Literaturverzeichnis	54
9	Anhang	55
9.1	Grundrisspläne	55
9.2	Konstruktionsplan Fassadenelement	56
9.3	InnoScheck Ergebnisse aWH SPF	57
9.4	Wandheizungspläne	61
9.5	Regelbeschrieb Übergeordnete Regelung	66
9.6	Datenblätter	71



Abkürzungsverzeichnis

aWH	Aussenliegende Wandheizung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient Of Performance
EBF	Energiebezugsfläche
GEAK	Gebäudeenergieausweis der Kantone
JAZ	Jahresarbeitszahl
kWh	Kilowattstunde
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
nZEB	Nearly zero energy building
NZEB	Net-zero energy building
ppm	Parts per million
PV	Photovoltaik
STC	Standard Testing Conditions
T _a	Auslegetemperatur
T _{rl}	Rücklauftemperatur
T _{vl}	Vorlauftemperatur



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Herausforderungen der Energiewende im Gebäudebereich liegen nicht im Neubau, sondern in der Renovation des Bestandes. Die Vorschriften für Neubauten zeigen bereits einen klaren Trend hin zu Niedrigst-Energiebedarf und „nearly zero energy“. Die MukEn 2014 [1] sieht vor, dass Neubauten einen Teil des eigenen Strombedarfes selbst produzieren. Der grösste Teil des Gebäudeparks Schweiz ist jedoch bereits gebaut, so dass insbesondere für die Renovation von Bestandsbauten nach Möglichkeiten gesucht werden muss, um sowohl Hindernisse für „nearly zero energy“-Renovationen zu überwinden als auch gleichzeitig die Kosten zu senken und die Akzeptanz und soziale Verträglichkeit zu erhöhen – letzteres zum Beispiel, indem die Gebäude während der Renovation bewohnbar bleiben. Nur so können die Renovationsraten von heute 1% auf 2 - 3% oder höher gesteigert werden. Ohne diese Steigerung der Renovationsrate können die Ziele der Energiewende im Gebäudebereich nicht rechtzeitig erreicht werden. Genau hier setzt die innovative Komplettlösung der Firma Swissrenova AG aus Bern-Münsingen an, welche ein Mehrfamilienhaus (MFH) aus dem Jahr 1964 mit einem neuartigen, kostengünstigen Lösungsansatz zu einem „nearly zero energy“ Gebäude renoviert hat. Kernstück bildet dabei die Vorgefertigte Dämmfassade und aussenliegende Wandheizung. Diese wird in der gängigen Praxis noch nicht verwendet. Sie wurde energetisch bereits von Luther Gerhard beschrieben [2] einen ersten Feldtest und eine Simulation führte Christoph Wilhelm Schmidt im Zuge einer Doktorarbeit [3] durch, hierbei wurden Kapillarmatten mit der Hauswand verputzt. Eine wichtige Erkenntnis dieser Arbeit war, dass die aussenliegende Wandheizung sich vor allem als bivalentes System zur Grundtemperierung eignet, bei einer guten Gebäudehülle aber auch monovalent genutzt werden kann. Da die Heizung hierbei verputzt wird, sind die Kosten deutlich höher im Vergleich zu einer vorgefertigten Variante, welche mit dem Dämmelement gleichzeitig installiert wird. Ganz neu auf dem Markt ist die österreichische Firma CEPA [4], welche das Ziel hat, vorfertige Elemente mit integrierter Wandheizung zu produzieren. In einem ersten Projekt wurde die aussenliegende Heizung und Dämmfassade in zwei Schritten installiert. Die Firma gab es zu Projektbeginn jedoch noch nicht, somit war das P&D in Bern mit dem Ziel eine vorgefertigte Dämmfassade mit integrierter niedertemperatur-Heizung das erste seiner Art und Fragestellungen zum thermischen Verhalten, und die Machbarkeit wie positiven Einfluss des Konzepts auf den Energieverbrauch noch offen.

1.2 Motivation des Projektes

In der Schweiz sind Gebäude für etwa 40% des gesamten Energieverbrauchs und für rund ein Drittel der CO₂-Emissionen verantwortlich. Um die Klimaziele der Schweiz zu erreichen, besteht in diesem Sektor ein erheblicher Bedarf an energetischen Sanierungen. Der Großteil der Gebäude wird noch mit fossilen Brennstoffen oder elektrisch beheizt und ist oft unzureichend gedämmt [5]. Neben Fernwärme sind Wärmepumpen in der Energiestrategie 2050 der Schweiz die wichtigste erneuerbare Wärmequelle [6]. Wärmepumpen laufen umso effizienter, je geringer die Vorlauftemperatur ist. Daher bieten sich Flächenheizungen an, welche auch bei niedriger Vorlauftemperatur genügend Wärme in die Gebäude bringen. Da in Bestandsgebäuden jedoch meist Radiatoren verbaut sind, welche meist nur eine kleine Wärmeabgabefläche besitzen, wird die Wärmeversorgung zur Herausforderung. Ein Tausch des Heizsystems von Radiatoren hin zu einer Flächenheizung, wie z.B. einer Fussbodenheizung, kann bedeuten, dass Mieter ihre Wohnungen verlassen müssen, oder ist bautechnisch oder finanziell kaum möglich. Eine Aussenwandheizung an der Fassade erlaubt sowohl den Mietern in ihren Wohnungen zu bleiben als auch die Nutzung eines Niedertemperaturverteilsystems und damit die Nutzung effizienter Wärmepumpen. Die alten Heizsysteme können stillgelegt oder demontiert werden. Auch



Herausforderungen und Erkenntnisse anhand einer praktischen Umsetzung waren durch die Erwähnten Arbeiten nur zum Teil gegeben, da das Konzept mit den Kapillarmatten und Verputzung der Heizschicht nur bedingt übertragbar ist.

Wärmepumpen mit dem natürlichen Kältemittel Propan sind aus Sicht der Ziele der Energiewende vorteilhaft: Einerseits verfügen sie über einen höheren COP als die meisten vergleichbaren Wärmepumpen gleicher Leistung, und andererseits ist auch das Kältemittel mit einem GWP von 3 um den Faktor 100 - 1000 klimaschonender als die heute üblicherweise eingesetzten Kältemittel [7]. Trotz dieser Vorteile werden Propan-Wärmepumpen wegen der damit verbundenen Explosionsgefahr und den entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen noch selten eingesetzt (Stand 2017). Die im Projekt verwendeten Propan-Wärmepumpen können komplett ausserhalb des Gebäudes aufgestellt werden. Massnahmen für den Explosionsschutz in Innenräumen können damit vermieden werden.

Eine gute Isolation der Gebäudehülle in Kombination mit qualitativ hochwertigen Fenstern führt zu einer erhöhten Luftdichtheit der Hülle, welche insbesondere im Mietwohnbau ohne mechanisch kontrollierte Lüftung leicht zu Feuchteproblemen führt (Schimmelbildung bei nicht ausreichendem Luftwechsel vor allem im Winter). Deshalb wäre aus Sicht der Luftqualität und der Hygiene der gleichzeitige Einbau einer Komfortlüftung sehr empfehlenswert. Der Einbau einer Komfortlüftung im Bestand ist oft erschwert auf Grund der verfügbaren Raumhöhe und des Platzbedarfs der Lüftungsrohre.

In die vorgefertigten Fassadenelemente werden daher gleichzeitig Fenster eingebaut, welche über rahmenintegrierte Lüftungseinheiten mit Wärmerückgewinnung verfügen. Auch separate Lüftungen, welche in die Fensteröffnungen integriert werden, wären denkbar. Das würde jedoch die Fensterfläche reduzieren, wenn man die Fensteröffnungen in der bestehenden Wand nicht vergrössert.

Während bei Einfamilienhäusern die Dachfläche meist ausreicht um eine Netto-Null-Bilanz für Strom- und Wärme (über eine Wärmepumpe) zu erreichen, und evtl. sogar noch der Haushaltsstrom abgedeckt werden kann, ist dies bei Mehrfamilienhäusern auf Grund der kompakteren und mehrgeschossigen Bauweise oft nur über zusätzliche Photovoltaikflächen auf der Fassade möglich. Dies erfordert jedoch einen Eingriff in die äussere Ansicht (Ästhetik) des Gebäudes. Die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle sollte idealerweise gleichzeitig mit der Isolation der Aussenhülle betrachtet werden.

Bei der grossen Anzahl an Renovierungen, welche in den nächsten Jahren durchgeführt werden müssen, ist es auch wichtig effizienter zu werden, was die Zeit und die benötigten Arbeitskräfte vor Ort angeht. Vorfabrizierte Fassadenelemente ermöglichen es die Renovierungsdauer vor Ort auf wenige Tage zu reduzieren. Solche Systeme können auch ohne Gerüst montiert werden, wie in dem Projekt MoreConnect gezeigt wurde [8]. Somit lassen sich die Kosten senken.

1.3 Projektziele

In diesem P&D-Projekt soll der beschriebene Gesamtansatz im Feld erstmals umgesetzt und demonstriert werden. Zusammengefasst besteht dieses aus:

- Vorgefertigten Dämmfassaden mit integrierter Aussenwandheizung
- Einer Fassaden-, Balkon- und Dach-Solaranlage
- Fenstern mit integrierter Lüftung inkl. Wärmerückgewinnung
- Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Propan als Kältemittel

Das thermische Verhalten der aussenliegenden Wandheizung und deren Effizienz sollen dabei untersucht und optimiert werden. Allfällige Probleme oder Schwachstellen sollen erkannt werden, und Empfehlungen für weitere Umsetzungen erarbeitet werden.



1.4 Insolvenz Generalunternehmung und Auswirkungen auf die Projektziele

Im Frühjahr 2021 ging die Generalunternehmung und mehrere kleine am Projekt beteiligten Firmen insolvent. Das Gebäude war zu diesem Zeitpunkt bereits grösstenteils saniert, die Gebäudetechnik war jedoch nur teilweise installiert. Die Heizungskeller sowie Verteil- und Elektrokästen wurden in einem unüberschaubaren Zustand zurückgelassen und auch jegliche Dokumentation fehlte. Glücklicherweise konnte die Bauherrschaft neue Firmen akquirieren und sie setzte alles daran, die Sanierung wie geplant zu beenden. Dennoch führten die Insolvenzen zu erheblichen Verzögerungen. Die neuen Firmen mussten über das Projekt informiert werden und sich mit der Lage vor Ort vertraut machen. Das SPF übernahm mit der Bauherrschaft die Koordination und Projektleitung.

Da es keinerlei Dokumentation über den damaligen Ist-Zustand gab, sind verschiedene Installationsfehler erst allmählich aufgetaucht, was wiederum zu Verzögerungen und langer Fehlersuche führte. Festgestellte Fehler waren u.a. falsch angeschlossene Boiler und Zähler, falsch beschriftete Zähler sowie ein defektes Register in einem Boiler, was einen Austausch und eine Anpassung der Hydraulik notwendig machte. In fast allen Gebäuden liefen die Heizstäbe in den Boilern zu Beginn im Dauerbetrieb, in den Wärmepumpen fehlten die für die geplante Regelung benötigten Platinen. Hinzu kamen weitere Probleme, wie eine Wärmepumpe, welche immer wieder eine Störung aufwies und schlussendlich 2024 ersetzt werden musste, verbaute Stromzähler mit Produktionsfehlern in der Kommunikationsschnittstelle, sowie ein Kurzschluss, welcher die gesamte Monitoring- und Regeltechnik in einem Haus zerstörte. Ende 2023 war die Installation und Inbetriebnahme der Regelung fast fertig. Aufgrund der verbleibenden Projektlaufzeit und -finanzierung wurde der letzte Winter 23/24 genutzt, um die Heizungsanlagen möglichst abschliessend in Betrieb zu nehmen und mit ersten Messdaten eine Bewertung der Anlageneffizienz vornehmen zu können.



2 Vorgehen und Methode

Das Projekt ist in unterschiedliche Phasen unterteilt, welche nachfolgend beschrieben sind.

Phase 1 – Prototypentest: Aufgrund fehlender Erfahrung mit aussenliegenden Wandheizungen wurde in Absprache mit dem BFE entschieden, eine Vorprüfung mit einem Prototypenaufbau durchzuführen. Das Ziel der Vorprüfung war es, das Feuchteverhalten in der Testfassade für den Winter-/Sommerfall zu analysieren und die energetische Effizienz zu ermitteln.

Phase 2 – Simulationen: Mittels dynamischer Jahressimulationen in IDA ICE wurden die Auslegung des Heizsystems und der Vorlauftemperaturen sowie der Rohrdimensionen unter Berücksichtigung der Resultate aus Phase 1 durchgeführt. Es wurden die Komfortparameter für unterschiedliche Räume beim Betrieb mit der aWH und beim reinen Radiatorbetrieb ermittelt. Weiter wurden mittels Simulationen die optimalen Regelparameter ermittelt, welche es ermöglichen, die thermische Gebäudemasse bestmöglich zu nutzen und damit einen möglichst hohen PV-Eigenverbrauch und einen tiefen Netzstrombezug zu erzielen.

Phase 3 – Feldaufbau: Sowohl die Produktion der Fassadenelemente als auch die HLK-Planung stützen sich auf die Ergebnisse aus der Phase 1 und 2. In der Phase 3 wurden die Aussenwand-Elemente im Werk hergestellt. Da sich die ursprüngliche Idee der Integration der Wandheizung in die vorgefertigten Isolationselemente mit heute verfügbaren Produkten und Know-how als nicht durchführbar erwies, wurde die aussenliegende Wandheizung vor der Montage der Isolationselemente an der bestehenden Wand montiert. Für die Wärmeerzeugung werden Propan-Wärmepumpen eingesetzt. In einem letzten Schritt wurden die PV-Module montiert und die Wechselrichter angeschlossen.

Phase 4 – Betrieb/Monitoring: Ursprünglich war das Ziel die Betriebsphasen für eine Winterperiode mit reinem Radiatorbetrieb und eine Winterperiode mit einem reinem aWH-Betrieb auszuwerten und beide Varianten miteinander zu vergleichen bezüglich Komfort, Wärmebedarf, Endenergiebedarf und PV-Eigenverbrauchsanteil. Die Radiatoren sollten bei aWH-Betrieb nur zugeschaltet werden, wenn die Komfortwerte ohne diese nicht erreicht werden können. Dies war innerhalb des Projektes aufgrund der Insolvenzen und den daraus resultierenden Verzögerungen nicht möglich. Es lassen sich jedoch Teilauswertungen im bivalenten Betrieb der aussenliegenden Wandheizung in Kombination mit den Radiatoren machen. Die auf den vorgängig gemachten Simulationen basierende Regelung der Komponenten wird im laufenden Betrieb optimiert.

Ergebnisse zu Phase I und Phase II sind dem Bericht aus dem Jahr 2018 [9] zu entnehmen, welcher auf Aramis¹ abgerufen werden kann. Dort konnten wichtige Erkenntnisse anhand eines Prototyps bestimmt werden. So zum Beispiel das thermische Verhalten der aussenliegenden Wandheizung und der nötige Dämmfassadenaufbau für einen geringen Heizwärmebedarf und gute Effizienz der Wärmepumpe, mit welcher der Mehrverbrauch eines Heizsystems, welches ausserhalb des zu beheizten Raumes liegt minimiert werden soll. Die Prüfung umfasste die Überwachung des Feuchte- und Temperaturverhaltens sowie die Durchführung von Energiebilanzberechnungen. Weitere wichtige Erkenntnisse konnten anhand dynamischer Simulationen für das Erdgeschoss gewonnen werden. Es zeigte sich, dass eine zusätzliche Dämmung der Kellerdeck nötig ist. Auch müssen bei erhöhten Komfortansprüchen, sprich höheren Raumtemperaturen als 20 °C, welche von der Norm vorgesehen werden, die bestehenden Radiatoren weiterhin in Betrieb bleiben, jedoch mit derselben Vorlauftemperatur wie die aussenliegende Wandheizung. Auch das Dachgeschoss ist kritisch und sollte daher entweder zusätzlich über die Deckenflächen geheizt werden oder gleich wie im Erdgeschoss mit den bestehenden Radiatoren. Da in dem vorliegenden P&D jedoch eine Attikaaufstockung durchgeführt wurde, kann der Komfort ohne die beschriebenen Massnahmen eingehalten werden.

¹ <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40305>



3 Anlagenbeschreibung

In Bern an der Brünnenstrasse 35 - 43/43a (Abbildung 1) wurden insgesamt zwei Mehrfamilienhäuser (MFH) aus dem Jahr 1964 im Auftrag der Stapfenackergut Marthaler AG durch die Swissrenova totalsaniert. Insgesamt beinhalten diese Gebäude 56 Wohneinheiten mit einer Energiebezugsfläche (EBF) von 4'976 m². Die Sanierung beinhaltet eine Dachaufstockung mit sechs zusätzlichen Wohneinheiten (resultierende EBF nach Sanierung: 5'631 m²).

Im Rahmen des vorliegenden P&D-Projektes wurden nur die Objekte 43a und 43 (ein Gebäude) genauer betrachtet, da nur diese mit der aussenliegenden Wandheizung saniert wurden. Obwohl es sich bei dem Objekt um ein Gebäude handelt, wird in dem Text oft von Haus 43 und Haus 43a gesprochen, um die zwei Teilhäuser zu unterscheiden. Die wichtigsten Gebäudeparameter vor und nach der Sanierung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.



Abbildung 1: Situationsplan der sanierten Gebäude. In rot markiert: Haus 43 (unten) und 43a (oben) welchen zum P&D-Projekt gehören. Schräg davor liegt das zweite Mehrfamilienhaus, mit den Eingängen 35 – 41, welches ebenfalls saniert wurde, jedoch ohne aussenliegende Wandheizung. Quelle: <https://map.geo.admin.ch>

Vor der Sanierung ergeben sich aufgrund der Verbrauchswerte ein Wärmebedarf von 128 kWh/m²a sowie ein Bedarf an elektrischer Energie für die dezentralen Warmwasser-Boiler von 36 kWh/m²a. Der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand betrug 266 kWh/m²a.



Abbildung 2: Brünnenstrasse 43a / 43 vor der Sanierung (Südwest-Fassade).



Abbildung 3: Brünnenstrasse 43a / 43 nach der Sanierung.

Das Haus wurde vollständig saniert. Die thermische Hülle wurde durch vorgefertigte Fassadenmodule der Firma Kühni komplett erneuert und gedämmt. Eine Konstruktionszeichnung ist zur Veranschaulichung im Anhang beigefügt. Alle alten Fenster wurden dabei entfernt und durch neue in den vorgefertigten Modulen integrierte dreifachverglaste Fenster ersetzt. Eine Besonderheit für das



Haus 43 sind in den Fenstern integrierte Lüftungen mit Wärmerückgewinnung, da dieser Teil des Gebäudes im Vergleich zu Gebäudeteil 43a keine zentrale Lüftung besitzt. Die Balkone an der Südwest-Fassade wurden rückgebaut und durch einen thermisch vom Gebäude getrennten Wintergarten ersetzt.

Eine PV-Anlage auf dem Dach, der NW- und SO-Fassade sowie an dem Wintergarten auf der SW-Seite sorgen für eine hohe Stromproduktion.

Das alte Öl-Heizsystem wurde durch Luft/Wasser-Propan-Wärmepumpen ersetzt. Auf dem Dachgeschoss erfolgte eine Aufstockung durch Attikawohnungen, welche über eine Fussbodenheizung geheizt werden, die restlichen Wohnungen werden über die aussenliegende Wandheizung geheizt, sowie durch die bestehenden Radiatoren, welche jedoch mit niedriger Vorlauftemperatur (Tvl) betrieben werden (Tvl Radiatoren = Tvl Wandheizung).

Tabelle 1: Wichtige Gebäudeparameter vor und nach der Sanierung.

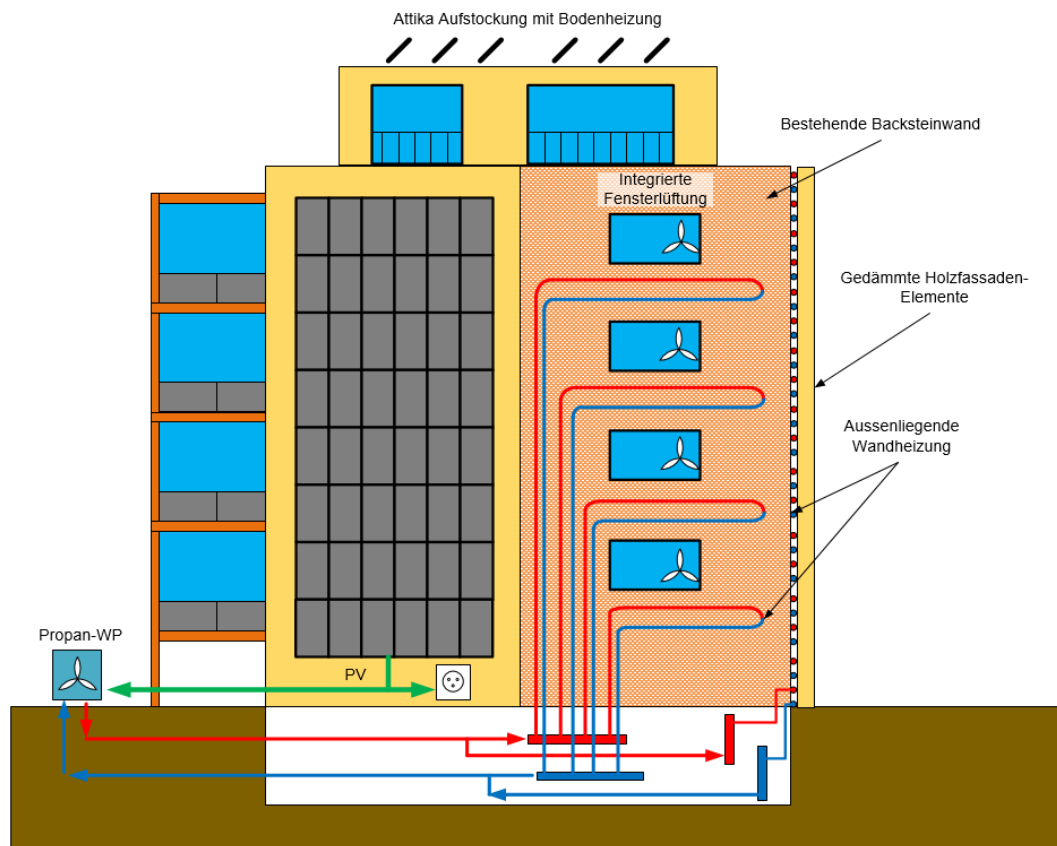
	Vor Sanierung	Nach Sanierung
Baujahr/Sanierungsjahr	1964	2018
Energiebezugsfläche [m ²]	1'708	2'023
Wohnungen	20	22
Strombedarf [MWh/a]	56	42
Heizbedarf [MWh/a]	228	36
Warmwasserbedarf [MWh/a]	62	59
PV-Ertrag [MWh/a]	0	30
U-Wert Aussenwände [W/(m ² K)]	1.0	0.13 / 0.17 (Attika)

Ein Grundrissplan kann dem Anhang, Kapitel 9.1 Grundrisspläne, entnommen werden.

3.1 Energiesystem

Das Energiesystem steht bei der Sanierung der Gebäude im Vordergrund, weshalb im folgenden Abschnitt die einzelnen Komponenten genauer beschrieben werden. Ziel ist es, die Gebäude auf den nearly-zero energy building (nZEB) Standard zu bringen. Das bedeutet, den Energiebedarf zu minimieren und viel der benötigten Energie selbst zu produzieren. Für Mehrfamilienhäuser ist dies eine Herausforderung, da das Verhältnis Dachfläche zu Energiebezugsfläche im Vergleich zu Einfamilienhäusern in der Regel deutlich kleiner ist. Entsprechend steht nicht viel Fläche für die Solarstromproduktion zur Verfügung. Effiziente Wärmeerzeugungs- und Verteiltechnologien, sowie eine PV-Anlage an den Fassaden und an den Balkonen der Wintergärten sollen helfen den nZEB-Status zu erreichen. Abbildung 4 zeigt in einem vereinfachten Prinzipschema der verwendeten Technologien zu denen u.a. folgende Komponenten gehören:

- Aussenliegende Wandheizung
- Sehr gute Dämmfassade
- Dreifachverglaste Fenster mit integrierter Lüftungseinheit mit Wärmerückgewinnung
- PV-Anlage auf Dach und Fassaden
- Luft/Wasser Propan-Wärmepumpen



3.1.1 Aussenliegende Wandheizung (aWh) und Dämmfassade

17/82

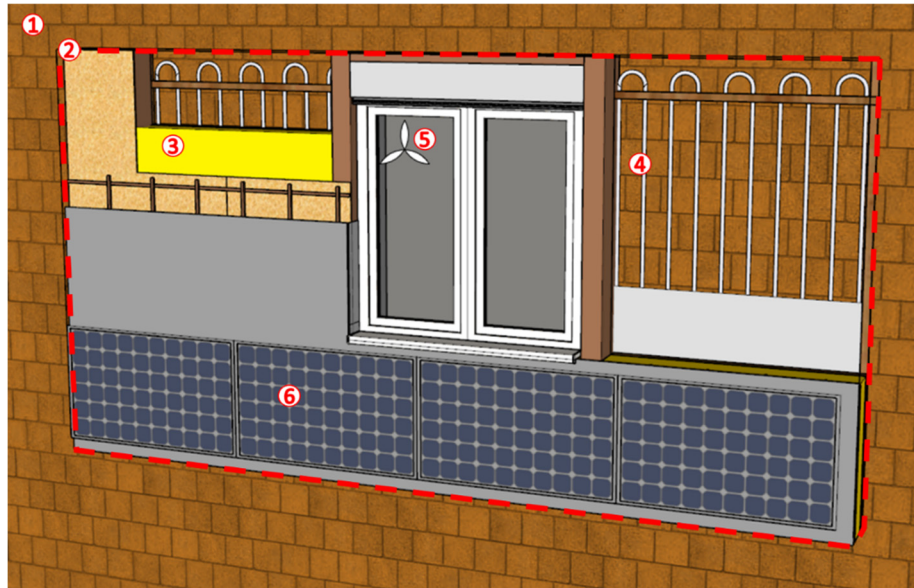


Abbildung 5: Mögliche Funktionen der vorgefertigten Aussenwandelemente (ProsumerSkin): Auf die bestehende, ungedämmte Hauswand (1) wird das vorgefertigte Element (2) montiert, welches neben einer ökologischen Dämmung (3), eine Flächenheizung integriert hat (4), mit Fenstern inkl. Lüftung + Wärmerückgewinnung ausgestattet ist (5) und dank PV-Paneeelen auch Strom produziert (6).

Durch die grosse Fläche der Heizung, kann im Vergleich zu den bestehenden Radiatoren die Vorlauftemperatur gesenkt werden, was zu einem effizienten Betrieb der Wärmepumpe führt. Eine Verminderung der mittleren Heiztemperatur um 1 K führt dabei zu elektrischen Energieeinsparungen zwischen 2 bis 4 % bei modernen Wärmepumpen [10]. Unter der Annahme, dass diese Zahlen auch für grosse Temperaturdifferenzen von 15 K gelten (Vorlauftemperatur bei einer Flächenheizung 40 °C im Vergleich zu herkömmlichen Radiatoren mit 55 °C) bedeutet dies, dass ein Minderverbrauch von mind. 30% elektrischer Energie zu erwarten ist. Gleichzeitig steigt der Verbrauch, da im Vergleich zu den bestehenden Radiatoren durch das alte Mauerwerk hindurchgeheizt werden muss.

Der Mehrbedarf an Heizwärme kann über die stationäre Betrachtung der Wärmeleitung der Wand mit folgender Gleichung berechnet werden [2,11]:

$$Q_{aWH,Mehrbedarf} = \frac{U_{Fassade}}{U_{Mauer}} \cdot 100\% \quad \text{Gl. 1}$$

$U_{Fassade}$ = Wärmedurchgangskoeffizient des neuen Wandelementes (W/(m²K))

U_{Mauer} = Wärmedurchgangskoeffizient der bestehenden Wand (W/(m²K))

Um Heizvarianten energetisch zu Vergleichen, muss also nicht nur der Heizwärmeverbrauch angeschaut werden, welcher unabhängig von dem verwendeten Heizsystem ist, sondern auch der Energiebedarf der Wärmeerzeugungsanlage (in diesem Fall Luft/Wasser-WP).



Mehr zur Effizienz und Funktionsweise der aWH ist in der Vorstudie zu diesem Projekt zu entnehmen welche unter gleicher BFE-Vertragsnummer (SI/501578-01) ebenfalls auf <https://www.aramis.admin.ch/> zu finden ist.

Damit ein hoher Anteil der von der aussenliegenden Wandheizung abgegeben Wärme durch die Fassade in die Wohnung geleitet wird, ist es wichtig, nach aussen hin gut zu dämmen. Der U-Wert der neuen Aussenhülle sollte wesentlich kleiner sein als derjenige der bestehenden Wand.

Abbildung 6 zeigt einen Querschnitt der Fassade nach der Sanierung und die verwendeten Materialien. Der Fassadenaufbau hat einen U-Wert von $0.158 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da das bestehende Mauerwerk einen U-Wert von $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ hat, ergibt sich gemäss Gleichung 1 ein Mehrverbrauch durch die aWH im Vergleich zu einer innenliegenden Heizung von etwa 16%.

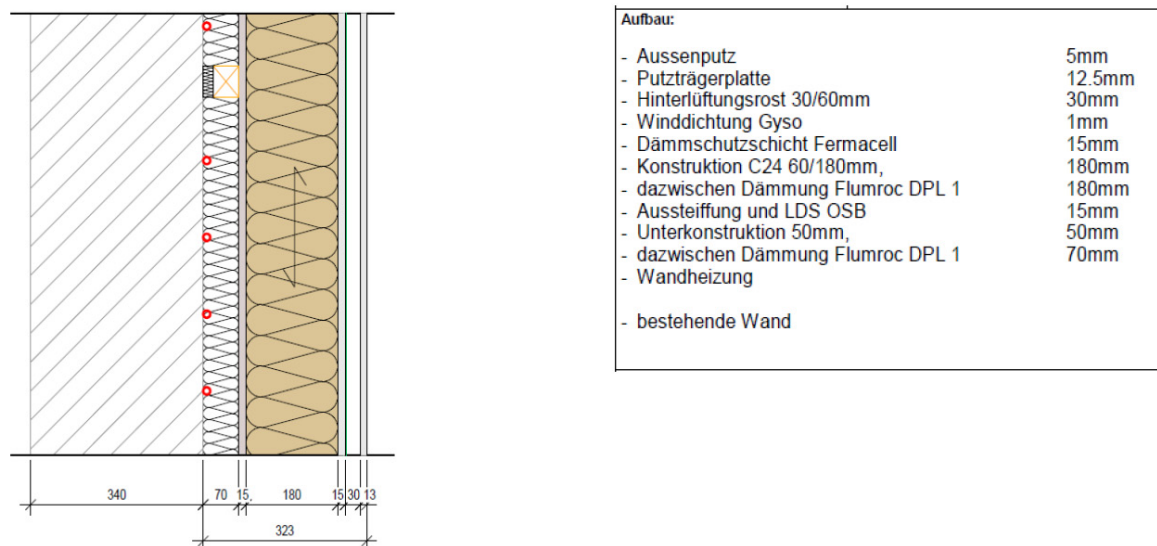


Abbildung 6: Schnitt durch altes Mauerwerk und neuem Fassadenteil mit Angabe der Schichtdicke und Schichtart (Quelle: Kühni AG).

3.2 PV-Anlage

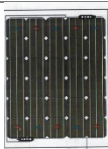
Alle Seiten der Aussenfassade und das Dach werden zur Stromerzeugung genutzt. Dabei sind die zu erwartenden spezifischen Erträge der Photovoltaikanlagen an der Fassade geringer als auf dem Dach. Ziel und Vorteil der Stromerzeugung durch Fassaden ist es, eine homogenere Produktion über den Tag und über das ganze Jahr und damit einen optimalen Eigenverbrauch zu erreichen. Fassadenanlagen sind vor allem im Winter wichtig, wenn die Sonne tief steht und somit der Einstrahlungswinkel von senkrecht installierten Modulen besser ist.



Abbildung 7: Gebäude 43 und 43a mit PV-Anlage Balkon Süd-Ost (1) und Süd-West (2) und auf Fassade Süd-Ost(3)

Die gesamte installierte PV-Leistung der Häuser 43 und 43a beträgt etwa 90 kWp. Aus ästhetischen Gründen wurden 3 verschiedene Arten von Solarmodulen installiert, die in den nächsten zwei Unterkapiteln zusammengefasst sind. Auf Abbildung 7 lässt sich die Nutzung der Fassaden, der Balkongeländer und des Daches für die Installation der PV-Anlage erkennen. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Parameter der verwendeten PV-Module zusammen. Detaillierte technische Spezifikationen sind im Anhang zu finden. An den Fassaden wurden *Avancis*-Solarmodule in verschiedenen Farben installiert. Jedes Panel hat daher unterschiedliche technische Spezifikationen, da nur ein Datenblatt des schwarzen Moduls zur Verfügung steht, wird hier dieses repräsentativ verwendet, die technischen Unterschiede zu den farbigen sind minimal.

Tabelle 2: Verwendete PV-Module.

	Dach	Fassade	Balkon
			
Hersteller	Trina Solar	Avancis	BIG SUN Energy
Modul Typ	TSM-DD05A.05	Skala (Schwarz)	Mono_6S_3BB_5dash
Nominal Leistung (STC)	315 Wp	135 Wp	140 Wp
Modul-Wirkungsgrad (STC)	19.2 %	12.8 %	13.3 %
Orientierung und Anzahl Module	SO: 65 Stk. NW: 66 Stk.	NO: 48 Stk. SO: 48 Stk. NW: 86 Stk.	SW: 80 Stk. SO: 4 Stk. NW: 4 Stk.
Installierte Leistung	SO: 20,5 kWp NW: 20.8 kWp	NO: 6.5 kWp SO: 6.5 kWp NW: 11.6 kWp	SW: 25.2 kWp SO: 1.26 kWp NW: 1.26 kWp
Neigung	10°	90°	90°



3.2.1 PV-Anlage Dach

Auf dem Dach wurden insgesamt 131 Module (Trina Solar - TSM-DD05A.05) mit einer Gesamtleistung von 41,3 kWp installiert. Die Module wurden mit einer Neigung von 10° installiert und sind zu 50% nach Südwesten und 50% nach Nordwesten ausgerichtet.

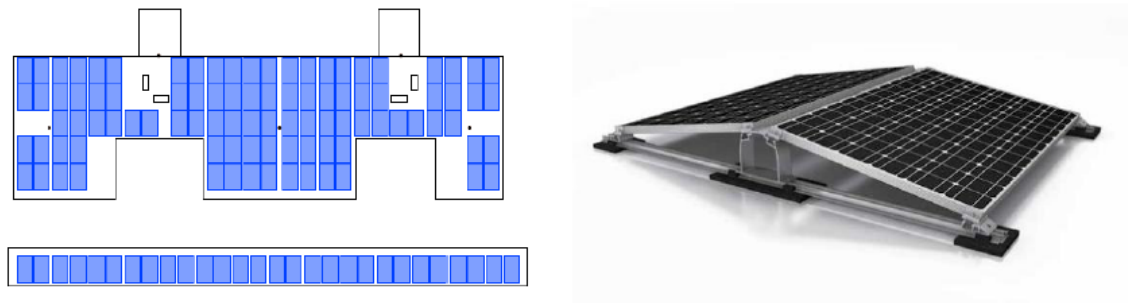


Abbildung 8: Dach Plan PV-Anlage Gebäude 43 und 43a, Flachdach Montage System (D-Dome System).

3.2.2 PV-Anlage Fassade und Balkon

Auf dem nächsten Bild ist zu erkennen, dass zwei weitere unterschiedliche Arten von Photovoltaikmodulen an den Fassaden installiert wurden. Insgesamt 88 Module (grün) mit einer Gesamtleistung von 27,7 kWp wurden an den Geländern der Wintergärten installiert. Diese sind bräunlich texturiert und haben somit einen geringeren Wirkungsgrad. Die Module sind eine Sonderanfertigung und bestehen aus Wafern der Firma BIG SUN Energy. Weitere 182 Module wurden an den Fassaden installiert (total 24,6 kWp). Diese Module sind aus ästhetischen Gründen eingefärbt und haben daher auch einen geringeren maximalen Wirkungsgrad als herkömmliche Module.



Abbildung 9: Übersicht Fassaden- und Balkonphotovoltaikanlage



3.3 Wärmepumpen

Raumwärme und Brauchwarmwasser wird im Haus 43 durch zwei parallel arbeitende 7,5 kW (A-7/W35) Propan Luft/Wasser-Wärmepumpen bereitgestellt. In Haus 43a sind drei Wärmepumpen verbaut, zwei parallel für das Brauchwarmwasser und eine für die Raumwärme.

Tabelle 3: Auszug Eigenschaften und Regelung der Wärmepumpe

Hersteller	CTA (AG)
Wärmepumpentyp	AH CN 9a
Regler Typ	CTA AeroPlus 2.0
Heizkurve Parallelverschiebung	Nacht / Tag möglich
Heizgrenze	24 h-Tagesmittelwert
Keine Leistungsregelung	On/Off
Zeitschaltprogramm Warmwasserbereitung	Möglich
Einschaltpriorität durch Betriebsstunde	Möglich
Maximal ein und aufschalten	3 mal/Stunde
Normleistungsdaten (nach EN 14511)	Qn / COP
Bei A-7/W35	7.5 kW / 3.12
Bei A-7/W50	9.6 kW / 2.4
Bei A-7/W65	5.7 kW / 1.4
Betriebsbereich Heizwasser	+20 °C bis +70 °C
Betriebsbereich Luft	-20 °C bis +70 °C

Wie bereits erwähnt sind Wärmepumpen mit dem natürlichen Kältemittel Propan vorteilhaft. Trotz der Vorteile werden Propan-Wärmepumpen wegen der damit verbundenen Explosionsgefahr und den entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen noch selten eingesetzt. Die Propan-Wärmepumpen in Bern werden komplett ausserhalb des Gebäudes aufgestellt. Massnahmen für den Explosionsschutz in Innenräumen können damit vermieden werden.

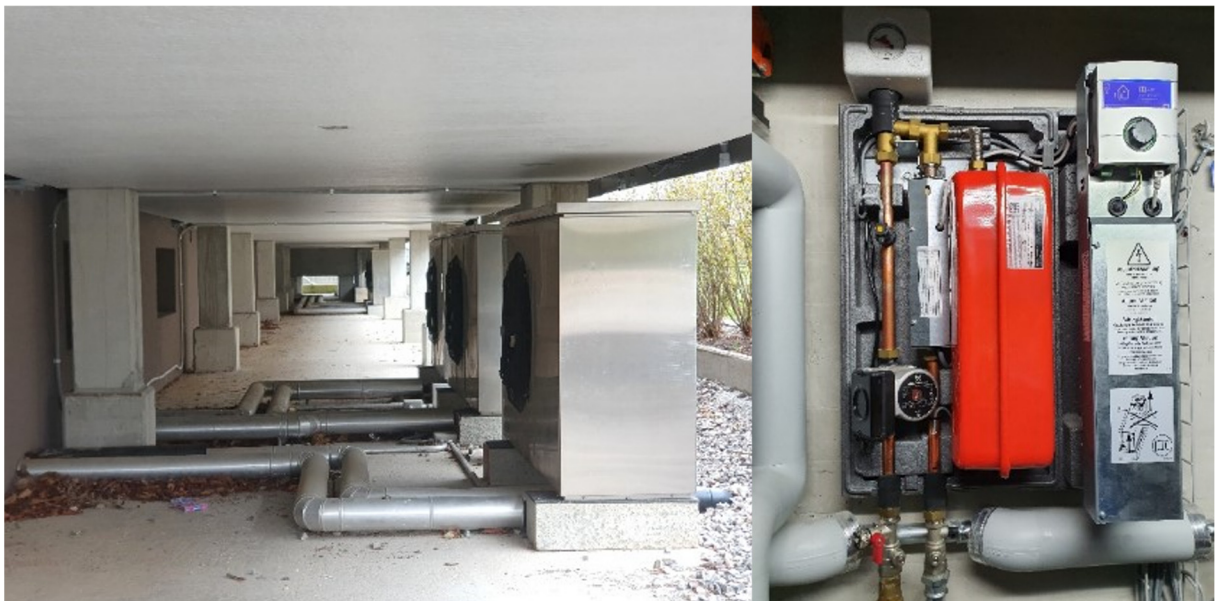


Abbildung 10: Links: Aussen aufgestellte Wärmepumpen unter den Wintergärten. Rechts: Wärmepumpenregler mit Pumpe und elektrischen Nacherhitzer.



3.4 Lüftung

Die Innensanierung im Haus 43a erfolgte 2013, die des Gebäudeteils 43 bereits 2004. Dies wirkte sich auch die Lüftungskonzepte aus, welche im Jahr 2004 noch kein Thema waren. Daher gab es

Der Einbau einer zentralen Lüftungsanlage samt Luftverteilungen im gesamten Gebäude würde es den Bewohnern nicht erlauben, in ihren eigenen Wohnungen zu bleiben. Daher wurde beschlossen, auf Fenster mit integrierten mechanischen Belüftungseinheiten zu setzen (Produkt des Unternehmens Internorm). Die Fenster wurden bei der Produktion der Fassadenelemente in der Werkhalle montiert.

Jeder Fensterrahmen ist mit einem Ventilator, einer Einheit zur Wärmerückgewinnung und einem Luftfilter ausgestattet. Die Lüftung kann in drei Stufen (plus eine Turbostufe) manuell oder automatisch über einen integrierten Feuchtigkeitssensor und einen Temperaturfühler im Luftstrom gesteuert werden. Der automatische Modus ermöglicht es, die Luftfeuchtigkeit in den Räumen in einem angenehmen Bereich zu halten. Falls die Temperatur der Zuluft niedriger ist als die Temperatur im Raum, schaltet sich der automatische Modus selbsttätig ab. In der folgenden Abbildung ist zu erkennen, wie die Lüftung geregelt wird:

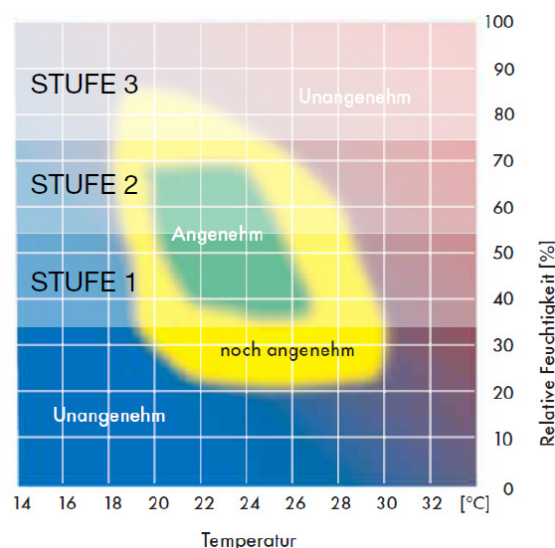


Abbildung 11: Regelung der Lüftung im Automatikmodus der Stufen in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit.

Tabelle 4 fasst die wichtigsten Parameter der Lüftung zusammen. Es ist zu erkennen, dass durch den Fensterlüfter Lärmemissionen verursacht werden. Eine Erhöhung von 10 dB wird vom menschlichen Gehör als Verdoppelung der Lautstärke empfunden. 20 dB lassen sich mit Blätterrauschen vergleichen, 30 dB mit Flüstern².

Tabelle 4: Lüftungsstufen der Fensterlüftung von Internorm.

	Volumenstrom	Nennleistung	Wirkungsgrad	Schalldruckpegel
Stufe 1	9 m ³ /h	6 W	93.2 %	≤ 22,1 dB
Stufe 2	15 m ³ /h	8 W	86.9 %	33,4 dB
Stufe 3	31 m ³ /h	24 W	77.4 %	49,3 dB
Stufe 4 (Turbo)	39 m ³ /h	36 W	73.9 %	

² <https://www.akustikform.ch/raumakustik/dezibel-skala>



Es gibt die Möglichkeit, entweder den Zuluft- oder den Abluftventilator abzuschalten. Dadurch wird der Wärmetauscher ausser Betrieb gesetzt und frische Außenluft gelangt direkt in den Raum (Nachtauskühlung durch Zuluft) oder warme Raumluft wird nach draussen geleitet (Nachtauskühlung durch Abluft). Die effektivste Methode ist, zwei Ventilatoren auf gegenüberliegenden Seiten des Hauses so zu konfigurieren, dass einer im Zuluft- und der andere im Abluftbetrieb läuft. Dies erzeugt eine Querlüftung durch das Gebäude, ohne dass Fenster gekippt oder geöffnet werden müssen. Wenn nur ein Ventilator zur Verfügung steht, empfiehlt es sich, ein Fenster auf der gegenüberliegenden Seite des Hauses zu kippen, um den gewünschten Luftaustausch zu erreichen.

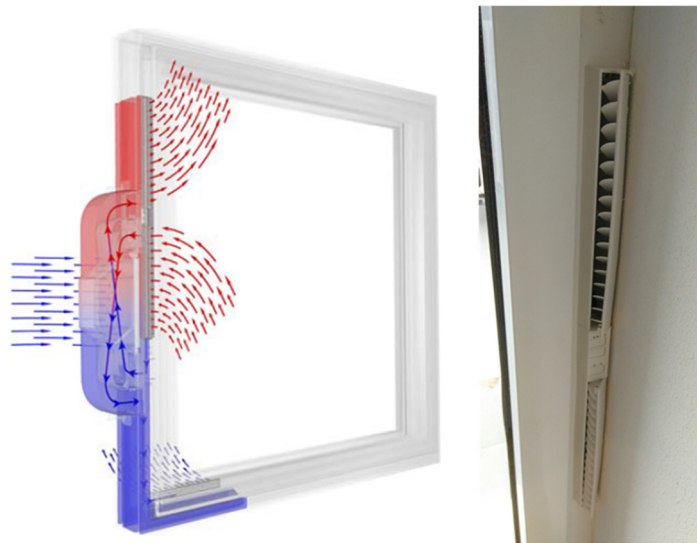


Abbildung 12: I-Tec Fenster mit Funktionsschema der integrierten Fensterlüftung (links), und eine Aufnahme vor Ort der innen Ein- und Auslassöffnung (rechts).

Das Haus 43a hat eine zentrale Lüftung. Diese ist via CO₂-Konzentration in der Abluft geregelt. Die Aussenluftvorwärmung erfolgt über einen Wärmetauscher, der an das Heizsystem gekoppelt ist. Die Umwälzpumpen werden abhängig von der Temperatur der Aussenluft ein- bzw. ausgeschaltet.

3.5 Hydraulik

Abbildung 13 zeigt die Leitungsführung der Heizungsrohre auf der Aussenwand des Demonstrationsobjektes auf der Nord-Ost Fassade. Die einzelnen Module sind jeweils 1 Stockwerk hoch und erstrecken sich über maximal drei Fenster. Jedes Modul ist mit einer horizontalen oder vertikalen mäanderförmigen Rohrleitung versehen, welche über die unteren Module bis zum Kellergeschoss geführt wird. Es gibt keine Verbindungsstücke oder Ventile in diesen Rohrleitungen, so dass Leckagen an Fittings ausgeschlossen werden können. Sämtliche Verbindungen und Regel-Einrichtungen sind im Keller angeordnet. Die Pläne für die übrigen Fassaden sind dem Anhang zu entnehmen.

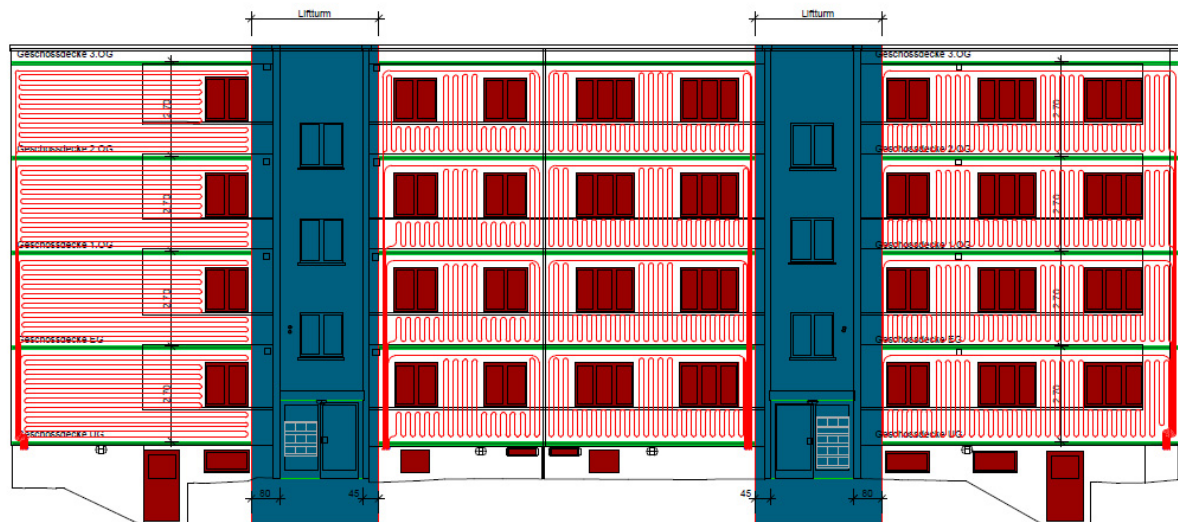


Abbildung 13: Leitungsplanung in der aWH für die Nord-Ost Fassade (Gebäudeansicht ohne Attika).

Über die aWH wurde keine Zonenregelung vorgesehen, es wird eine gleichmässige Temperatur über die gesamte Wand angestrebt. Auf Grund der hohen thermischen Masse der Aussenwände und in der Folge einer ausserordentlich hohen Trägheit des Systems erscheint eine Regelung, welche die aktuelle Raumtemperatur berücksichtigt, für die aWH wenig sinnvoll. Eine Einzelraumregelung über die aWH wurde nicht realisiert, da die Wände wie Wärmetauscher über das ganze Gebäude fungieren und ein sektorielles Aufwärmen oder Abkühlen der Wand aufgrund der Konduktion nur schwer realisierbar ist. Eine individuelle oder zonenentsprechende Temperaturänderung kann jedoch über die bestehenden Radiatoren durchgeführt werden.

Die Heizkreise wurden derart geplant (Abbildung 13), dass sie sich z.T. über mehrere Räume erstrecken, was zum Beispiel dazu führt, dass Küche und Schlafzimmer durch ein Verteilventil geregelt werden oder auch Räume benachbarter Wohnungen. Des Weiteren gibt es Räume, mit sehr geringer Aussenwandfläche und Räume mit sehr viel Aussenwandfläche, vor allem in den Eckbereichen. Diese werden zudem mit zwei separaten Heizkreisen versorgt.

Für beide Gebäudeteile gibt es insgesamt sechs Verteilbalken, an dem je vier Heizkreise angeschlossen sind (jeweils EG bis OG). Das hat den Vorteil, dass pro Verteilbalken die Heizkreise dieselben Eigenschaften haben und daher jeder Kreis voraussichtlich gleich eingestellt werden kann. Für das Erdgeschoss und das Obergeschoss wurde zusätzlich eine Sicherheitszuschlag von 10 % gerechnet.

Um den Durchfluss zu berechnen, wurde die nötige Heizleistung von 5.3 kW, welche im Zuge einer Masterarbeit [12] in IDA-ICE simuliert wurde, anteilmässig auf die Aussenwandflächen abzüglich der Fensterflächen verteilt. Als Annahme wurde dabei eine Spreizung von 5 K zwischen Vor- und Rücklauf angenommen.

Die nötige Heizleistung pro Heizkreis P_{HK} berechnet sich dabei wie folgt:

$$P_{HK} = \frac{A_{HK} \cdot P_{HT}}{A_{HT}} \quad \text{Gl. 2}$$

Dabei ist A_{HK} die Wandfläche pro Heizkreis, A_{HT} die gesamte beheizte Wandfläche und P_{HT} die nötige Heizleistung für das gesamte Gebäudes. "



Der nötige Durchfluss $\dot{V}_{HK}$ pro Heizkreis ergibt sich wie folgt.

$$\dot{V}_{HK} = \frac{P_{HK}}{(T_{VI} - T_{RI}) \cdot c_{p_{H2O}} \cdot \rho_{H2O}} \quad \text{Gl. 3}$$

Weitere hydraulische Komponenten sind pro Gebäudeteil ein 500 l Pufferspeicher, welcher auch als hydraulische Weiche dient und das Takten der Wärmepumpen verringert, sowie zwei Brauchwarmwasserspeicher. In Haus 43 wird standardmässig nur einer beladen, wenn genügend PV-Strom vorhanden ist wird auch der zweite geladen. In Haus 43a werden aufgrund der vier weiteren Wohnungen im Vergleich zu Gebäude 43 beide Boiler ständig erwärmt. Bei PV-Überschuss werden diese mit maximaler Temperatur geladen (etwa 60 °C anstatt 55 °C). Ein vereinfachtes HLK-Schema ist in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt.

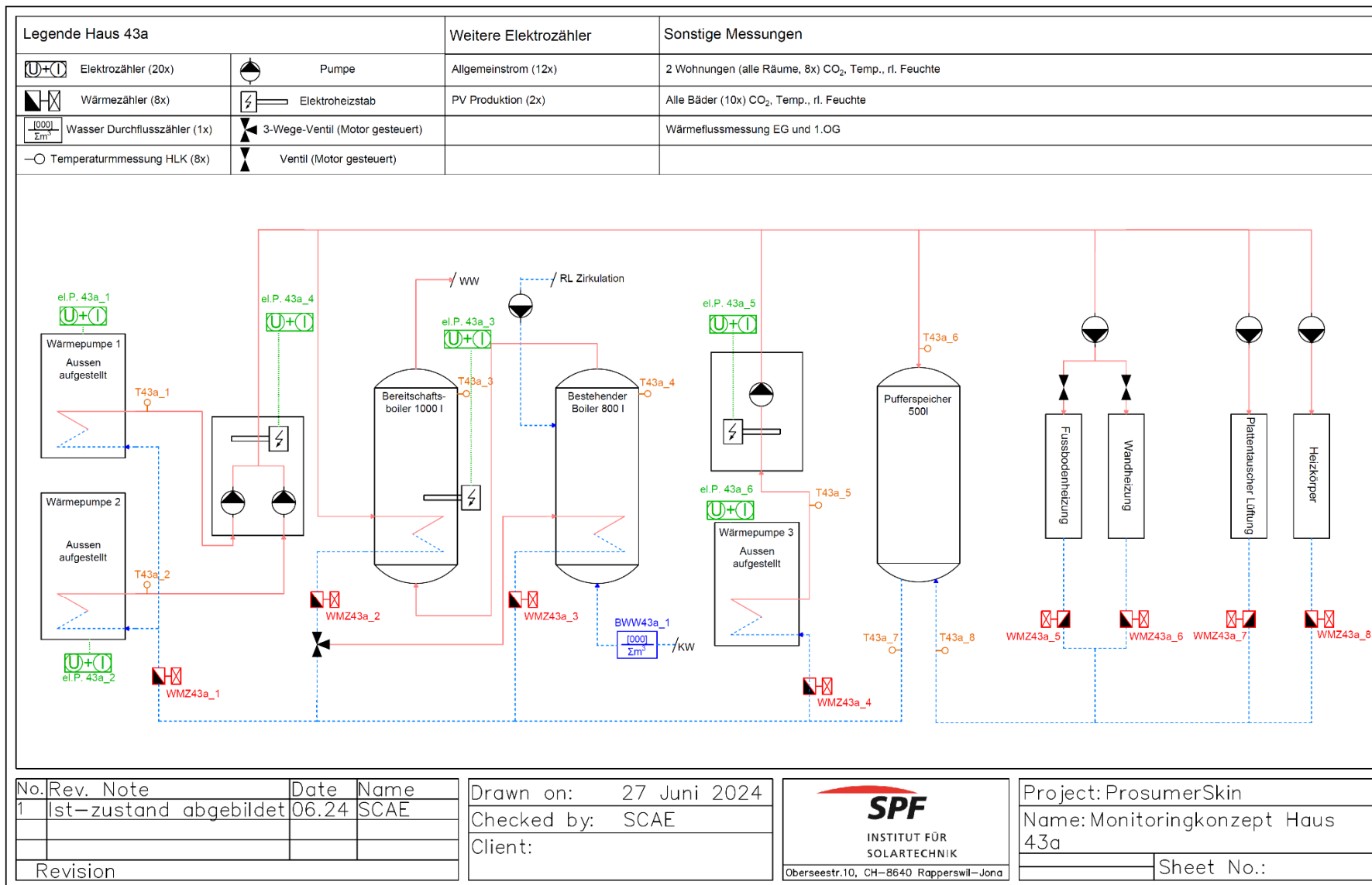
3.6 Monitoringkonzept

In dem Projekt wurde ein umfangreiches Monitoring vorgesehen, welches alle wichtigen HLK- und Gebäudeparameter erfasst. Auf den nachfolgenden Seiten sind die Monitoringkonzepte getrennt für beide Gebäudeteile (43, 43a) aufgeführt. In Haus 43a gibt es wie bereits erwähnt eine zusätzliche zentrale Lüftungseinheit, welche von der Wärmepumpe versorgt wird. Des Weiteren sind drei Wärmepumpen verbaut, da in Gebäudeteil 43a dreizehn Wohnungen vorhanden sind, in Gebäudeteil 43 sind es neun Wohnungen. In Haus 43 sind zusätzlich an den Umwälzpumpen der Radiatoren, der Wandheizung und der Fussbodenheizung Stromzähler angeschlossen. In beiden Gebäuden wird der Ertrag der PV-Module gemessen. Dabei wird unterschieden zwischen Dach und Balkon- / Fassaden-Anlage. Da die Bäder kritische Räume bzgl. Komfort sind, wurden diese separat mit Temperaturfühlern ausgestattet. Des Weiteren werden Lufttemperatur, relative Feuchte und CO₂ in zwei Wohnungen gemessen, um den Komfort zu überprüfen.

Für Messungen des elektrischen Energieverbrauchs wurden Messgeräte vom Typ EMU Professional II mit einer Fehlergrenze von $\pm 1\%$ verwendet. Die Wärmeströme wurden mittels Wärmemengenzählern des GWF CF-Echo-II gemessen, welche eine Fehlergrenze (ϵ) von $< \pm 5\%$ aufweisen (EN 1434 – Klasse C).

Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration wurden mit Geräten des Typs Wisely AllSense 3.2 von Avelon gemessen. Die Genauigkeit der Temperaturmessung liegt bei $\pm 0.2\text{ °C}$, bei der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit bei $\pm 2\%$ und bei der CO₂-Konzentration bei $\pm 30\text{ ppm} + 3\%$ des Messwerts. Ein herzlicher Dank geht an Avelon³, welche die Messdaten kostenlos an die Cloud übertragen und gespeichert haben.

³ <https://avelon.com/>



No.	Rev.	Note	Date	Name
1		Ist-zustand abgebildet	06.24	SCAE
Revision				

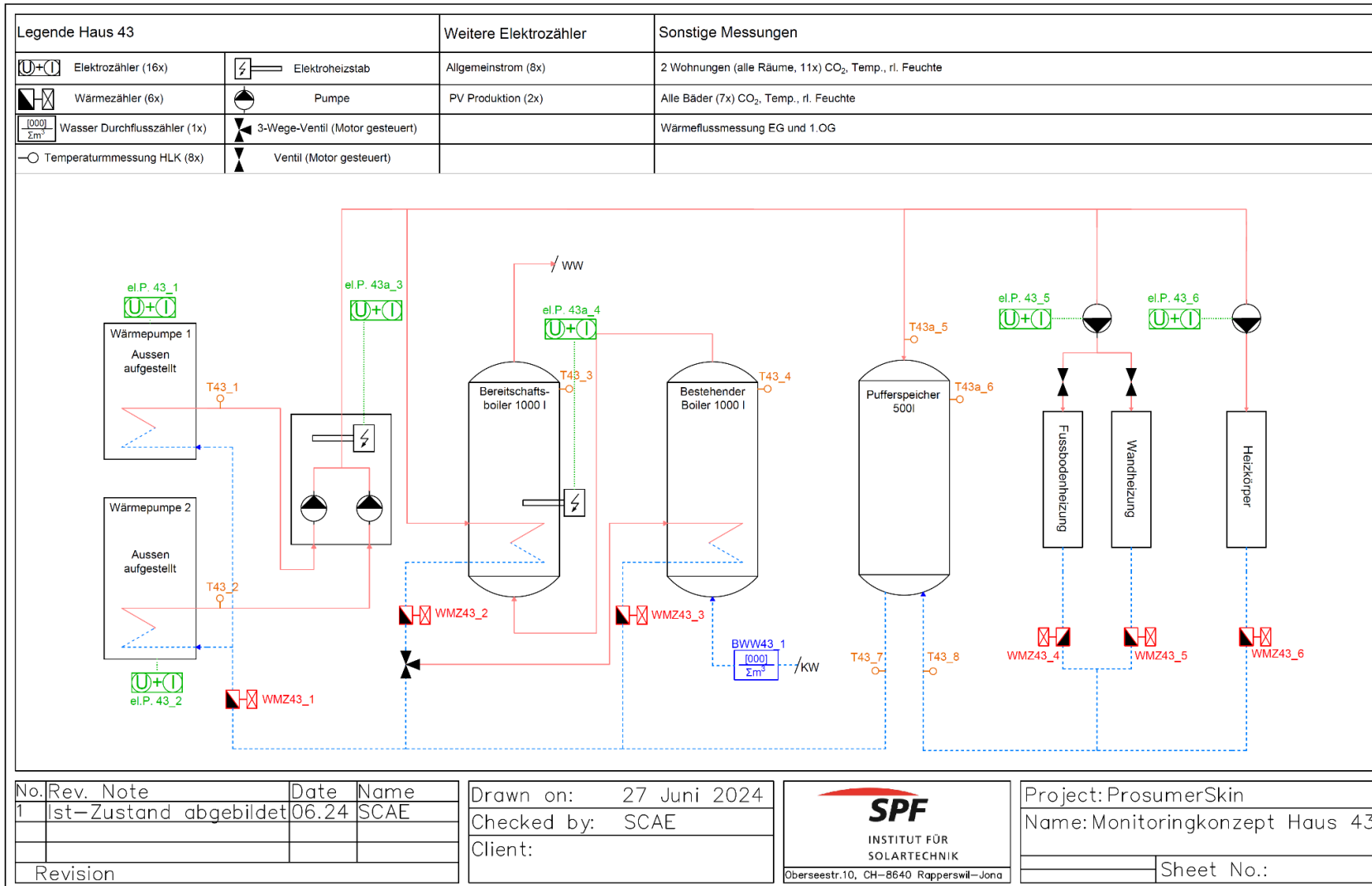
Drawn on:	27 Juni 2024
Checked by:	SCAE
Client:	



SPF
INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK
Oberseestr.10, CH-8640 Rapperswil-Jona

Project: ProsumerSkin
Name: Monitoringkonzept Haus 43a
Sheet No.:

Abbildung 14: Vereinfachtes Hydraulikschema und Monitoringkonzept für Gebäude 43a.



No.	Rev.	Note	Date	Name	Drawn on:	27 Juni 2024	 INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK Oberseestr.10, CH-8640 Rapperswil-Jona	Project: ProsumerSkin
1		Ist-Zustand abgebildet	06.24	SCAE	Checked by:	SCAE		Name: Monitoringkonzept Haus 43
					Client:			
Revision								Sheet No.:

Abbildung 15: Vereinfachtes Hydraulikschema und Monitoringkonzept für Gebäude 43



3.7 Regelbeschrieb

Da es für Wandheizungen keine standardisierten Regelungen gibt, werden mit Hilfe einer selbstentwickelten übergeordneten Regelung gewisse Aktoren und Funktionen gesteuert. Dabei soll beispielsweise die Trägheit des bestehenden Systems besser ausgenutzt werden, der PV-Eigenverbrauch erhöht werden und ein Heizkreis-Spülmodus realisiert werden. Ein externes Regelungs- und Monitoringsystem, welche von der Firma GoZmart umgesetzt wurde, kann online für beide Häuser über das Internet aufgerufen werden. Auf der Seite lassen sich unter anderem die Heizgrenze einstellen und die minimale PV-Stromproduktion, ab welcher gemäss Regelbeschrieb die Boiler beladen werden. Ferner lässt sich ein Spülbetrieb für die aWH aktivieren, ein Elektroeinsatz in den Boilern aktivieren, sowie sämtliche Strom- und Wärmezähler und Temperatursensoren ablesen. Um schnell auf eventuelle Störungen reagieren zu können, wird eine E-Mail verschickt, wenn die Wärmepumpe eine Störung hat oder die Speichertemperatur einen einstellbaren Wert unterschreitet. Das Regelungs- und Monitoringsystem wird aktuell vom Hersteller noch getestet und verbessert. Aus diesem Grund können in diesen Bericht keine umfassenden Auswertungen aller geplanten Funktionen des Heizsystems einfließen.

Da durch die alte Fassade des Gebäudes geheizt wird, ist das Heizsystem träge und die Erwärmung der Räume erfolgt verzögert. Dies soll die Heizungsregelung ausnutzen, indem beispielsweise das Gebäude vorzeitig geheizt wird oder das Heizen vorzeitig beendet wird. Dabei wird anhand der Wetterprognose für die nächsten 24 h beobachtet, ob eine Unter- oder Überschreitung der Heizgrenze vorausgesagt wird. Steht zudem genügend PV-Strom zur Verfügung, wird frühzeitig angefangen zu heizen.

Auch der Eigenverbrauch an PV-Strom soll erhöht werden. Dabei gibt es zwischen den beiden Gebäudeteilen geringfügige Unterschiede in der Regelung. In Haus 43 wird bei einer genügend hohen PV-Produktion das 3-Wege-Ventil aus Abbildung 15 zwischen den beiden Boilern geöffnet und der zweite Boiler beladen. In Haus 43a werden immer beide Boiler geladen (da mehr Wohneinheiten versorgt werden). Sind PV-Überschüsse vorhanden, laden die Wärmepumpen die Boiler bis zur maximalen Temperatur von etwa 60 °C statt 55 °C. Um die Wärmepumpen zu schonen, laufen diese Betriebsmodi nach Aktivierung für zwei Stunden und sind auf eine einmalige Aktivierung pro Tag begrenzt.

Um auszuschliessen, dass sich an den Hochpunkten der Rohre der aWH über die Zeit Luftbläschen ansammeln, wird im Sommer ein Spülbetrieb gefahren. Dazu werden die Durchflussventile an den Verteilbalken der aWH manuell ganz geöffnet. Motorgesteuerte Strangventile (6 Stück pro Gebäude) werden dann von der Regelung separat angesteuert und pro Gebäude jeweils zwei Ventile geöffnet, welche mit vollem Durchfluss durchströmt werden. Durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit werden Luftblasen, welche sich potentiell angesammelt haben, mitgerissen.

Für die Heizungssteuerung wird eine klassische On/Off-Regelung verwendet, welche ab einer Heizgrenze von unter 15 °C die Heizkreispumpe einschaltet. Die Vorlauftemperatur ist via Heizkurve abhängig von der Aussenlufttemperatur und ist für die Radiatoren sowie für die aWH gleich. Abbildung 16 zeigt die verwendete Heizkurve. Die Vorlauftemperatur bei Auslegetemperatur (T_a von -8 °C) beträgt 35 °C.

Um möglichst effizient zu laufen, haben alle Verbrauchergruppen (aWH, Fussbodenheizung, Radiatoren und Lüftung) dieselben Vorlauftemperaturen. Die aussenliegende Wandheizung und die Fussbodenheizung liegen dabei auf demselben Mischkreis, die Radiatoren sind separat. Diese Umsetzung erfolgte, damit ein reiner Radiatorbetrieb mit hohen Vorlauftemperaturen möglich ist, die Fussbodenheizung aber weiterhin mit tiefer Vorlauftemperatur betrieben werden kann.

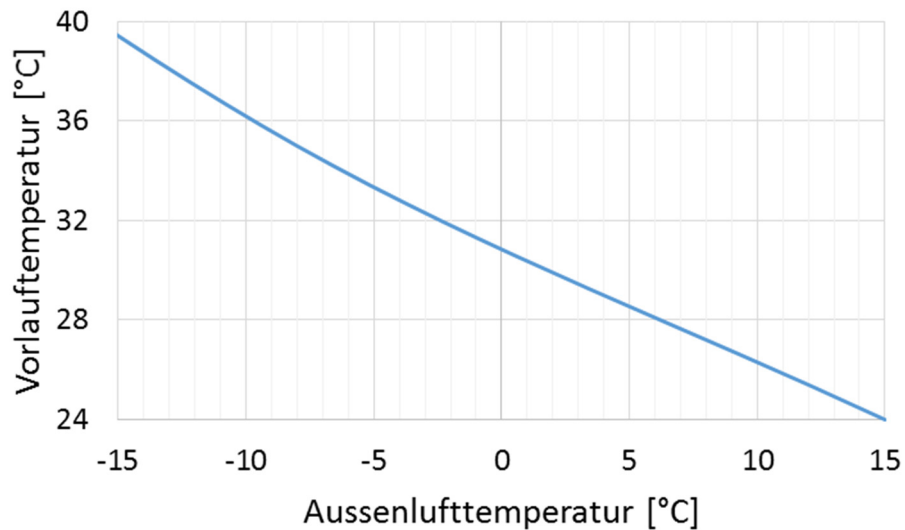


Abbildung 16: Heizkurve für aWH und die Radiatoren ($T_a = -8^\circ\text{C}$; $T_{vl} = 35^\circ\text{C}$).

Um die Herstellergarantie der Wärmepumpen nicht zu gefährden, werden folgende Funktionen und Entscheidungen vom Regler der Wärmepumpe ausgeführt: BWW-Produktion, Heizwärmeproduktion, Schaltzeiten sowie Mischkreissteuerung. Eine erweiterte Steuerung via SG-Ready, welche unter anderem die Verschiebung der Heizkurven nach oben und unten vorsah, stellte sich im Nachhinein seitens des Wärmepumpenherstellers als nicht machbar heraus, weshalb die ursprüngliche Regelung (siehe Anhang Kapitel 9.5 Regelbeschrieb Übergeordnete Regelung) etwas vereinfacht wurde.



4 Ergebnisse und Diskussion

Die aussenliegende Wandheizung ist seit der Heizsaison 21/22 in Betrieb und sorgt in Kombination mit den bestehenden Radiatoren für genügend Wärme in den Wohnungen. Aufgrund der Insolvenz der Generalunternehmung sowie weiterer kleinerer, an der Bauausführung beteiligter Firmen und dem undokumentierten Zustand, in welchem der Heizungskeller übergeben wurde, kam es zu Verzögerungen, welche bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht aufgeholt werden konnten. Die übergeordnete Regelung sowie das komplette Monitoring gingen im Mai 2024 für Haus 43 in Betrieb und im Juni 2024 für Haus 43a. Es liegen daher kurz vor Projektabschluss noch nicht viele Messdaten vor. Dennoch werden im folgenden Kapitel die wichtigsten Komponenten/Messgrössen ausgewertet, soweit das bereits möglich ist.

4.1 Vorgefertigte Elemente

Auf Grund einiger Herausforderungen hatte sich der Bauherr entschieden, in Abweichung vom ursprünglichen Plan auf die Vorinstallation der Rohre in den vorgefertigten Fassadenelementen und somit auf ein Aufbringen zusammen mit den Elementen auf die Wand zu verzichten.

Die Gründe für diesen Entscheid sind nachfolgend zusammengefasst:

- Da es sich bei der aWH um ein neuartiges Konzept handelt, fehlt in der Holzverarbeitungsindustrie bisher das Knowhow bezüglich der Integration einer Flächenheizung im vorgefertigten Fassadenelement. Um dieses Knowhow aufzubauen, wäre ein umfassenderes Vorprojekt mit Fokus auf eine Produktentwicklung nötig gewesen.
- Der Umstand, dass auf jeden Fall Fittings innerhalb der Fassadenmodule vermieden werden mussten (Reduktion des Leckage-Risikos), führt dazu, dass sehr lange Verbindungsleitungen im Speziellen für die oberen Stockwerke benötigt werden. Da die Fassadenmodule aufeinandergestellt werden, hätten die Verbindungsleitungen jeweils durch die schon montierten Fassadenelemente (unten) durchgeschlauft werden müssen. Hier konnte keine praxistaugliche Lösung im Rahmen der Planung gefunden werden.
- Die Fassaden des Bestandsbaus vor der Sanierung wiesen einen Versatz auf. Der grösste Versatz in der Süd-Fassade, beträgt 50 mm. Um diesen Versatz zu kompensieren, wäre eine massgeschneiderte Anpassung aller Module nötig, damit der benötigte Anpressdruck auf die Heizungsrohre gewährleistet werden könnte (Verbindung Heizebene zu bestehender Wand). Dies konnte durch die beteiligten Industriepartner nicht gewährleistet werden.

Daher wurden die Rohre in einem ersten Schritt direkt auf die bestehende Wand montiert und dann mit den vorgefertigten Fassadenelementen abgedeckt. Dadurch entfällt auch ein nachträgliches Durchschlaufen der Rohre aus oberen Elementen durch untere Elemente. Abbildung 6 zeigt den Querschnitt und den Aufbau der Fassadenmodule. Abbildung 17 zeigt, wie die Fassadenheizung an der Wand installiert wurde. Die Wärmeleitbleche wurden direkt mit der Wand verschraubt, um eine gute Wärmeübertragung zu garantieren. Der Einfluss von Luftspalten zwischen der Heizschicht und der bestehenden Hauswand wurden innerhalb eines InnoScheck-Projektes untersucht. Ein Luftspalt von 1 cm sorgt dabei für eine Erhöhung des Wärmewiderstands in Richtung Innenraum um 44%. Ein Auszug des InnoSchecks kann dem Anhang, Kapitel 9.3 (InnoScheck Ergebnisse aWH SPF) entnommen werden.



Abbildung 17: Installierte aussenliegende Wandheizung auf der Fassade, links: inkl. Wanddurchbruch mit Verteilungen, rechts: Heizmäander mit Wärmeleitblechen.

Bei nachträglichen Arbeiten an einem Fenster wurde ein Rohr der aWH beschädigt. Dies konnte glücklicherweise repariert werden, ohne das Fassadenmodul zu entfernen. Es ist wichtig, alle Gewerke und die Bewohner über die Eigenheiten der Wandheizung zu informieren, damit beim Bohren in die Aussenwand kein Heizregister zerstört wird.

Auf ein Gerüst konnte nicht verzichtet werden, da gewisse elektrotechnische Arbeiten an den Modulen erst vor Ort beendet wurden. Die Verkleidung und die PV-Module an den Fassaden wurden in einem letzten Schritt angebracht.



Abbildung 18: Die vorgefertigten Fassadenmodule müssen noch verkleidet werden.



4.2 Monitoring und übergeordnete Regelung

Ein Monitoringsystem, in welchem sich auch Regelparameter einstellen lassen, wurde im Mai 2024 fertiggestellt. Es lassen sich verschiedene Ist-Werte ablesen, wie Temperatur, Stellung der Ventile und die Wetter-, Verbrauchs- und Produktionsdaten. Des Weiteren lassen sich verschiedene Einstellungen durchführen wie z.B. der Spülbetrieb im Sommer, bei dem die Heizstränge jeweils paarweise angesteuert werden und mit maximalem Durchfluss eventuell angesammelte Luftblasen rausgespült werden. Alle Werte, welche gemäss Regelbeschrieb während einer Monitoringphase optimiert werden sollen, lassen sich hier einstellen.

Brünnenstrasse 43

System Status

Hauptschalter

ON(1)

Alarm Temperatur Boiler

OFF(0)

WP Störung

OFF(0)

Version

0.9

Links

Manuelle Aktivierung

Go

Erweiterte Einstellungen

Standard / Smart Heizung

Standard

Smart

Smart Grid

Aus

Ein

Heizgrenze (HG)

15

PV Lim

5

12h / 24h

12h

24h

Alarm Temp. Boiler (C)

38

PV Heizung Smart (kW)

6

PV Warmwasser Smart(kW)

10

Puffer min. Temp. Smart (C)

20

Wetter

Stadt

Berne

Temperatur (C)

21.76

Druck (hPa)

1014

Feuchtigkeit (%)

51

Windgeschwindigkeit (km/h)

3.58

Timestamp

1719839154

Pumpen und Ventile

Pumpe Wand- und Fussbodenheizung (#9)

OFF(0)

Pumpe Heizkörper (#10)

OFF(0)

Ventil Fussbodenheizung (#11)

Ventil 14 Keller 30GR (#6)

AUF

Ventil 14 Solar/Keller 3L (#7)

AUF

Ventil 14 43/2 und 43/3 (#8)

AUF

Ventil Boiler SG (#10)

ZU

Stromzähler (kWh)

WP 1 (#43_1)

6475.095

WP 2 (#43_2)

6196.07

Elektroeinsatz WP1&2 (#43_3)

1052.193

Boiler

5741.114

Pumpe Wandheizung

0

Pumpe Radiatoren

0

Wärmezähler (MWh)

Wärmepumpen

146.47

Warmwasser WP

27.91

Warmwasser Boiler 2

2.24

Fussbodenheizung

17.79

Radiatoren

39.72

Wandheizung

65.8

PV-Anlage

Summe Stromproduktion PV1 (kW)

3.684

Summe Stromproduktion PV2 (kW)

-0.011

Summe Stromproduktion (kW)

3.673

Parameter

Elektroheizstab 8 kW (#2)

OFF(0)

Heizung Status

OFF(0)

Heizung Mode

STANDARD

Temp Amb next 12h

17.235

Temp Amb next 24h

21.08

12h / 24h

24h

Temp Amb next

21.08

Smart Grid

OFF(0)

Temperatursensoren

Vorlauf Wärmepumpe - T43_1 (#25)

47.0625

Vorlauf Wärmepumpe - T43_2 (#27)

47.5

Boiler 1 oben - T43_3 (#15)

56.5625

Boiler 2 oben - T43_4 (#17)

18.25

Vorlauf Puffer - T43_8 (#20)

47.125

Puffer oben - T43_5 (#21)

45

Rücklauf Puffer - Wärmepumpe - T43_9 (#24)

47.0625

Rücklauf Heizen - Puffer - T43_7 (#23)

41.8125

Abbildung 19: Screenshot der online einsehbaren Monitoring- und Regelseite.



4.3 Auswertung erster Messdaten

4.3.1 Gebäudeparameter

In folgender Tabelle sind die wichtigsten Gebäudeparameter zusammengefasst. Die Verbrauchswerte ergeben sich dabei aus Annahmen und Extrapolationen der Messdaten, die in den nächsten Kapiteln näher beschrieben werden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass das Monitordaten nur für die ersten fünf Monaten des Jahres 2024 gesammelt werden konnten. Des Weiteren beziehen sich die Daten auf das Gebäude inkl. Attikawohnungen, welche nicht Teil des P&D-projekts sind, aufgrund der verfügbaren Messdaten aber nicht immer exkludiert werden konnten.

*Tabelle 5: Parameter der Gebäudeteile 43 und 43a. Die mit * markierten Werte beruhen auf Extrapolationen und Annahmen.*

Parameter	Einheit	Haus 43	Haus 43a
EBF	m ²	937	1086
Wohnungen	[-]	9	13
Heizwärmebedarf*	[kWh/m ²]	34.5	34.6
Warmwasserbedarf*	[kWh/m ²]	33.8	25.0
Strombedarf*	[kWh/m ²]	38.3	38.3

4.3.2 Strombedarf, Produktion und NZEB

Der Strombedarf für die Wärmeherzeugung in den ersten fünf Monaten im Jahr 2024 ist in Abbildung 20 zu sehen. Da im Januar und Februar in Gebäude 43 eine der Wärmepumpen defekt war, ist hier der Stromverbrauch sehr hoch, da zu grossen Teilen direkt elektrisch geheizt und Warmwasser produziert wurde. Zusätzlich wurde fast während des gesamten Monats Januar eine mobile elektrische Zusatzheizung installiert, damit während des Austauschs der Wärmepumpe geheizt werden konnte. Der Stromverbrauch dieser Zusatzheizung ist nicht erfasst. Für die Monate März bis Mai ist der Stromverbrauch für die Wärmeherzeugung in beiden Gebäudeteilen ähnlich, was, trotz unterschiedlicher Anzahl Wohnungen, aufgrund der ähnlichen EBF zu erwarten ist. Die Wärmepumpen liefen hier störungsfrei. Es ist anzunehmen, dass auch der Stromverbrauch im regulären Betrieb in Gebäudeteil 43 im Januar und Februar nahe an dem Wert von Haus 43a liegt.

Im Monat Mai ist der Stromverbrauch im Gebäudeteil 43 höher. Dies liegt vermutlich daran, dass hier die Brauchwarmwasserladung des zweiten Boilers mit PV-Strom getestet wurde, was in den Monaten zuvor noch nicht funktionierte.

Ferner sieht man, dass in Teilhaus 43 die Wärmepumpe (WP) 3 kaum gebraucht wird. Diese ist mit WP2 für die Warmwasserbereitung zuständig und wird nur hinzugeschaltet, wenn WP2 ausgelastet ist.

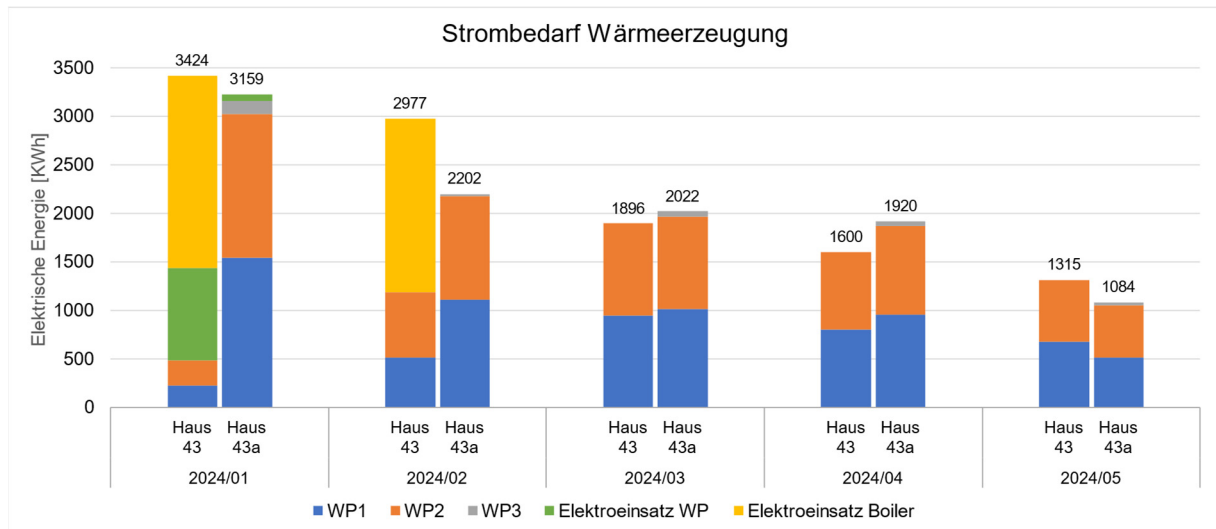


Abbildung 20: Strombedarf für die Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen und elektrische Heizstäbe. In den Monaten Jan und Feb 24 wurde zusätzlich mit einem externen Gerät Heizwärme produziert, welches hier nicht abgebildet ist.

In Abbildung 21 sieht man die solare Stromproduktion auf beiden Häusern für die Monate Januar bis Mai 2024. Diese ist in den Monaten Februar bis Mai in beiden Häusern annähernd identisch, im Januar produzieren beide Anlagen in Teilhaus 43a weniger Strom, vor allem die Balkon- und Fassadenanlage, was mutmasslich auf unterschiedliche Verschattung zurückzuführen ist.

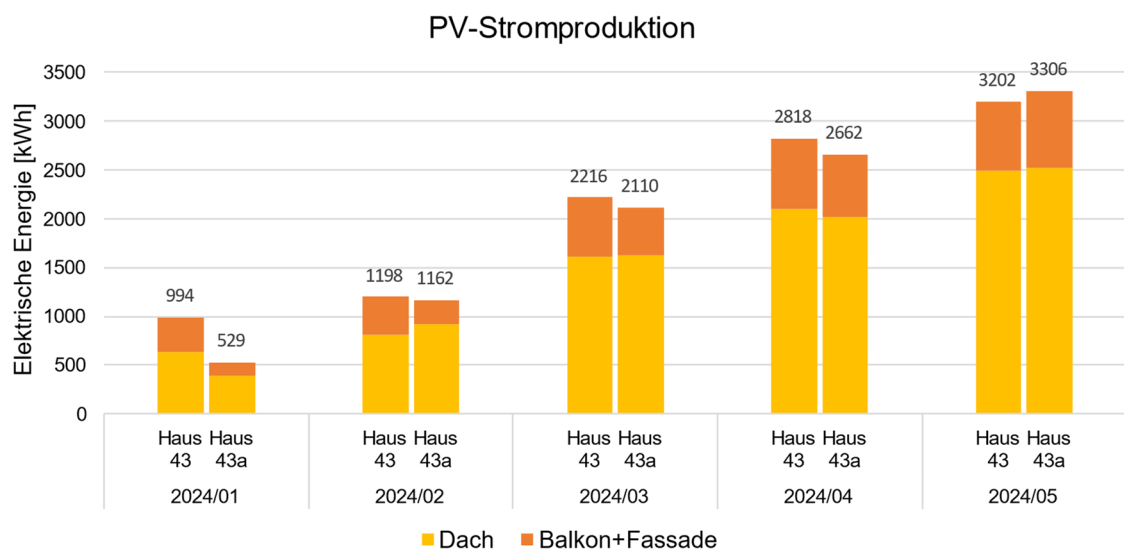


Abbildung 21: Solarstromproduktion in beiden Häusern, aufgeteilt nach Dachanlage sowie Balkon- und Fassadenanlage.

Als nearly energy zero building (nZEB) sind gemäss der Europäischen Gebäuderichtlinie [13] Gebäude definiert, welche eine sehr hohe Energieeffizienz aufweisen, wenig oder keinen Strom aus dem Netz beziehen und die Energie überwiegend aus vor Ort produzierten erneuerbaren Energiequellen beziehen. Die Definitionen sind weit gefasst und es ist den Mitgliedstaaten überlassen, ihre eigenen nZEB-Standards festzulegen. In der Schweiz gilt ein Bestandsgebäude als nZEB, wenn es gemäss GEAK die Gebäudehülleneffizienz-Klasse C und Gesamtenergieeffizienz-Klasse B erreicht [1]. Das



Gebäude in der Brünnenstrasse 43/43a erreicht in beiden Kategorien Klasse A und ist somit gemäss Definition ein nZEB-Gebäude.

Eine Verwechslungsgefahr gibt es mit dem sehr ähnlichen Begriff net energy zero building (**NZEB**). Diese Netto-Null-Gebäude erzeugen gemäss Definition mindestens so viel erneuerbare Energie, wie sie aus allen Energiequellen beziehen [13]. Es sind noch nicht genügend Daten zum Gesamtstromverbrauch vorhanden, um definitiv sagen zu können, dass das Gebäude nicht nur nearly energy zero sondern auch net energy zero ist.

Anhand historischer Abrechnungsdaten des Energieversorgers ewb für das Jahr 2022, welche den Gesamtstrombedarf und PV-Eigenbedarf der ganzen Liegenschaft (zwei MFH mit sechs Gebäudeteilen) ausweisen, kann jedoch eine grobe Abschätzung bezüglich net-zero getroffen werden. Dafür werden die ewb Werte durch die Anzahl Hauseingänge geteilt, da die gesamte Überbauung mit Ausnahme des Heizverteilsystems gleich aufgebaut ist. Es ist aber davon auszugehen, dass der Verbrauch in dem MFH 43+43a in der Heizperiode deutlich geringer ist, da hier mit einer Niedertemperatur aWH geheizt wird, im Vergleich zu dem anderen MFH mit den Gebäudeteilen 35, 37, 39 und 41, in dem mit Radiatoren bei hoher Vorlauftemperatur geheizt wird.

Wie in Abbildung 22 zu sehen, überschreitet die Solarstromproduktion in den Monaten April bis September den Strombedarf, in den restlichen Monaten übersteigt der Bedarfsanteil zum Teil jedoch deutlich den Produktionsanteil. Der anhand der oben erwähnten Annahmen berechnete Gesamtnetzbezug liegt für das Jahr 2022 bei 62'500 kWh und der PV-Eigenverbrauch etwa bei 15'000 kWh. Dies ergibt einen Bedarf von ca. 77'500 kWh/a. Die gemessene solare Stromproduktion liegt bei 61'000 kWh/a und macht somit etwa 80% des Gesamtstrombedarfs aus. Ein Erreichen des net-zero Standards scheint auch mit besseren Verbrauchswerten schwierig.

Da in dem Jahr 2022 das Brauchwarmwasser in fast der gesamten Liegenschaft aufgrund ungeklärter Umstände zum grossen Teil elektrisch produziert wurde und aufgrund der erwähnten Unterschiede im Heizsystem sollten die Werte in Bezug auf den Gesamtstrombedarf geringer ausfallen.

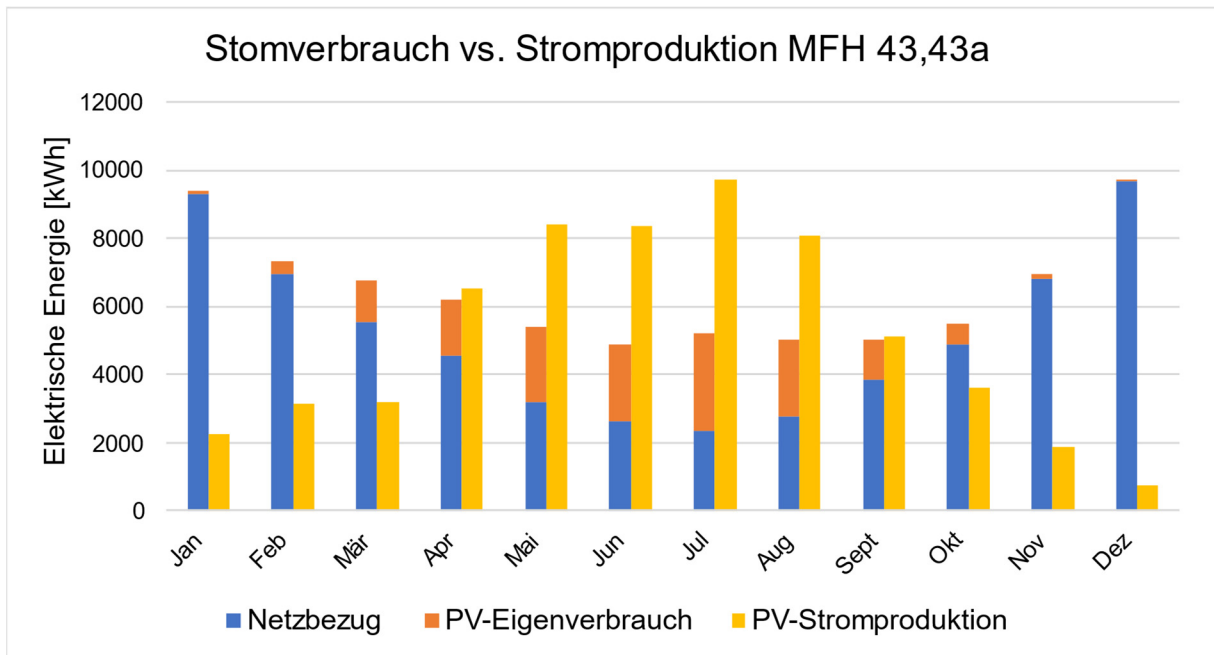


Abbildung 22: Strombedarf und Produktion im Jahr 2022. Die Werte des Netzbezugs und des Eigenverbrauchs für die beiden Gebäudeteile 43 und 43a sind Durchschnittswerte von insgesamt zwei Mehrfamilienhäusern mit insgesamt sechs Gebäudeteilen.

In Abbildung 22 ist die gemessene PV-Stromproduktion aus dem Jahr 2022 zu sehen. Diese lag bei 32'600 kWh/a und im Jahr 2023 bei 30'500 kWh/a. Eine Simulation mit dem Standardwetterdatensatz für die Station Bern-Liebelfeld in Polysun ergab für das Teilgebäude 43/43a eine jährliche Stromproduktion abzüglich Systemverluste in Höhe von 29'551 kWh [12]. Damit liegen die erzielten Werte in dem zu erwartenden Bereich.



4.3.3 Wärmeerzeugung und Bedarf

Der Heiz- und Warmwasserbedarf ist in Abbildung 23 dargestellt. Wie schon in vorherigem Kapitel beschrieben, ist aufgrund des Defekts einer Wärmepumpe in Gebäudeteil 43 im Januar der Wärmebedarf nicht vollständig abgebildet (wegen Einsatz einer Bauheizung). Im März gab es für fünf Tage einen Messdatenausfall im Gebäude 43a, was den niedrigeren Messwert erklären kann. Ansonsten liegen die Verbrauchswerte der beiden Gebäudehälften nahe beisammen. Die zentrale Lüftung benötigte lediglich im Januar Wärme für die Luftvorwärmung.

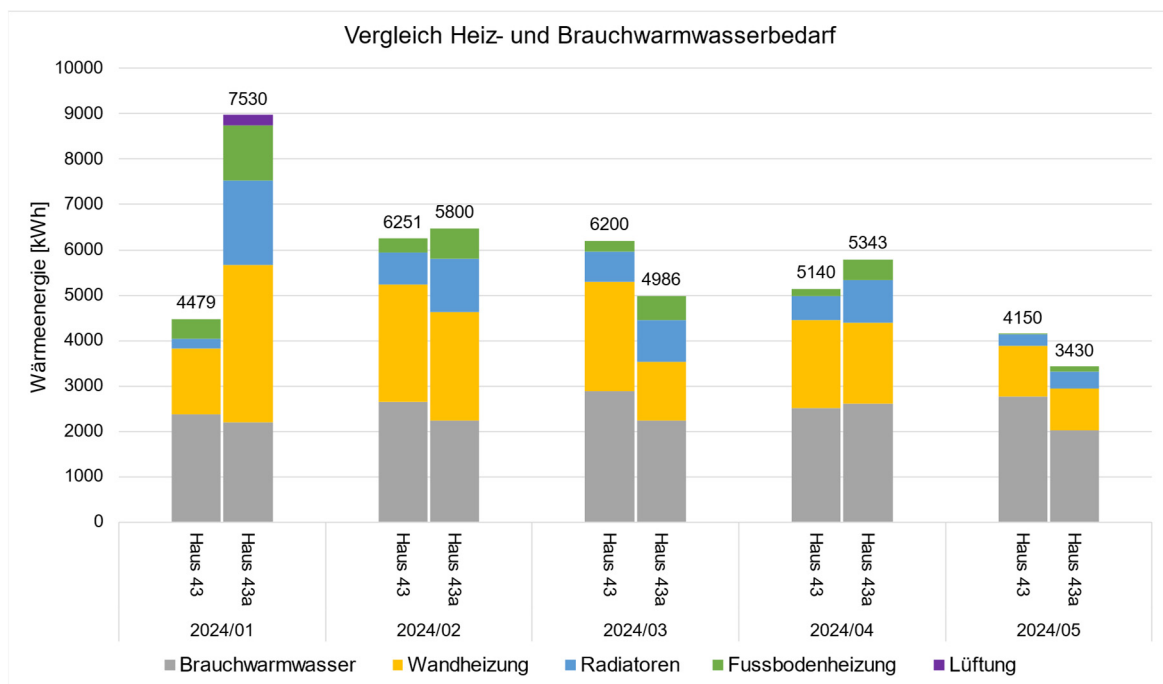


Abbildung 23: Heiz und Brauchwarmwasserbedarf für die Häuser 43 und 43a (fehlende Messdaten für Haus 43 im Januar aufgrund Einsatzes einer externen, nicht vermessenen Notheizung und in Haus 43a im März aufgrund Ausfalls des Messsystems).

Für die Untersuchung der Verbrauchsdaten der Heizung sind in Tabelle 65 die Werte für die Wandheizung und die Radiatoren zusammengefasst; dies ohne Attika, da sie nicht Teil des P&D-Projekts ist. Wegen dem Fehlen von Messdaten im Januar für das Haus 43 wird als Näherung davon ausgegangen, dass in diesem Monat der gleiche Verbrauch wie in Haus 43a vorgelegen hat. Der Gesamtbedarf an Heizwärme ist mit dieser Annahme in den ersten fünf Monaten in beiden Gebäuden mit etwa 15'000 kWh gleich (siehe Tabelle). Nimmt man an, dass dies etwa 50% des Jahresbedarfs entspricht, kommt man bei einer EBF von 1'708 m² (ohne Attikas) auf einen spezifischen Heizwärmeverbrauch von 35 kWh/m² und Jahr.

Einen Unterschied gibt es in den Verhältnissen zwischen eingebrachter Wärme mit Radiatoren zu aussenliegender Wandheizung. Dieses Verhältnis liegt in Haus 43 bei etwa 25%, in Haus 43a bei etwa 50%. Der hohe Wärmeanteil der Radiatoren zeigt, dass die Bewohner die Radiatoren nicht nur für die Bäder nutzen, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. Dies liegt an der Strategie der Bauherrschaft, mit der Wandheizung eine Grundwärme in den Gebäuden einzustellen, die eine Mindesttemperatur in jedem Raum sicherstellen soll. Die Bewohner können dann durch die Radiatoren die Temperaturen individuell anpassen. Ein Grund für die unterschiedlichen Verhältnisse liegt in den leicht unterschiedlichen Heizkurven in den Gebäuden, welche auf Wunsch der Bewohner der Attikawohnung (Fussbodenheizung) in Gebäude 43a leicht höher ist. Dadurch wurde hier der Durchfluss



für die Wandheizung Vergleich zu Haus 43 weiter reduziert, um ein überhitzen der Räume mit aWH zu verhindern.

Wollte man den Anteil der Radiatoren an der Heizwärmeversorgung verkleinern, müsste man Durchfluss oder Vorlauftemperatur in der Wandheizung erhöhen, was aber dazu führen kann, dass einige Räume, in welchen man geringere Temperaturen haben möchte, überhitzen, da die Heizverteilung in der vorliegenden Umsetzung so ausgeführt wurde, dass keine Einzelraumregelung möglich ist.

Tabelle 6: Verbrauchsdaten der beiden Häuser (im Januar fiel die Wärmepumpe in Haus 43 aus und im März vielen für einen Zeitraum von sechs Tagen die Wärmezähler in Haus 43a aus, weshalb die gemessenen Werte hier zu gering sind).

Haus 43				Haus 43a		
2024	aWH	Radiator	Verhältnis Rad./aWH	aWH	Radiator	Verhältnis Rad./aWH
Jan	1460 kWh*	220 kWh*	15%	3480 kWh	1860 kWh	53%
Feb	2590 kWh	710 kWh	27%	2390 kWh	1180 kWh	49%
März	2410 kWh	670 kWh	28%	1287 kWh*	928 kWh	72%
April	1940 kWh	530 kWh	27%	1787 kWh	943 kWh	53%
Mai	1130 kWh	250 kWh	22%	920 kWh	370 kWh	40%
Total	9530 kWh	2380 kWh	25%	9864 kWh	5281 kWh	54%
Summe	11'910 kWh			15'145 kWh		

4.4 Effizienz und Wärmepumpe

Anhand des Strombedarfs und der erzeugten Wärmemenge wurde die Monatsarbeitszahl der WP berechnet (siehe Tabelle 7). Der Wert ergibt sich aus dem Verhältnis der erzeugten Wärme zu dafür benötigten elektrischen Energie pro Monat. Der Strombedarf umfasst dabei die kompletten Wärmepumpen mit Regelung, Kompressor und Primärkreispumpe und entspricht daher der Definition zur Berechnung der Jahresarbeitszahl gemäss Energie Schweiz [7].

Da die Regelung vollumfänglich erst seit Mai 2024 laufen, sind die Werte als Indikation zu betrachten. Vor allem im Januar wurde in Haus 43, wie in Abbildung 20 zu sehen, der Elektroeinsatz der Wärmepumpe benötigt, weshalb hier die Monatsarbeitszahl geringer ausfällt. Im März 2024 gab es bei den Wärmezählern in Haus 43a einen Messdatenausfall, weshalb hier der Wert für die Wärmeerzeugung geringer ist und damit auch der Wert der Monatsarbeitszahl.

*Tabelle 7: Monatsarbeitszahlen der Wärmepumpen in Haus 43 und Haus 43a. Bei dem mit * markierten Wert lief aufgrund eines Defektes einer WP der Elektroeinsatz, bei dem mit ** markierten Wert gab es einen Messdatenausfall bei der Wärmezeugung. Daher ist in beiden Fällen die Monatsarbeitszahl geringer.*

2024	Wärmeerzeugung [kWh]		Strombedarf [kWh]		Monatsarbeitszahl	
	Haus 43	Haus 43a	Haus 43	Haus 43a	Haus 43	Haus 43a
Jan	1430	9420	696	3159	2.05*	2.98 ± 0.18
Feb	4550	6860	1538	2202	2.96 ± 0.17	3.12 ± 0.18
März	6390	5075	1896	2022	3.37 ± 0.20	2.5**
April	5350	5881	1600	1920	3.34 ± 0.20	3.06 ± 0.18
Mai	4450	3480	1315	1084	3.38 ± 0.20	3.21 ± 0.19



In der Auswertung wurde die zweifache Standardabweichung (2σ , Vertrauensintervall $\pm 95\%$) verwendet, die Messunsicherheiten ergeben sich gemäss folgender Gleichung:

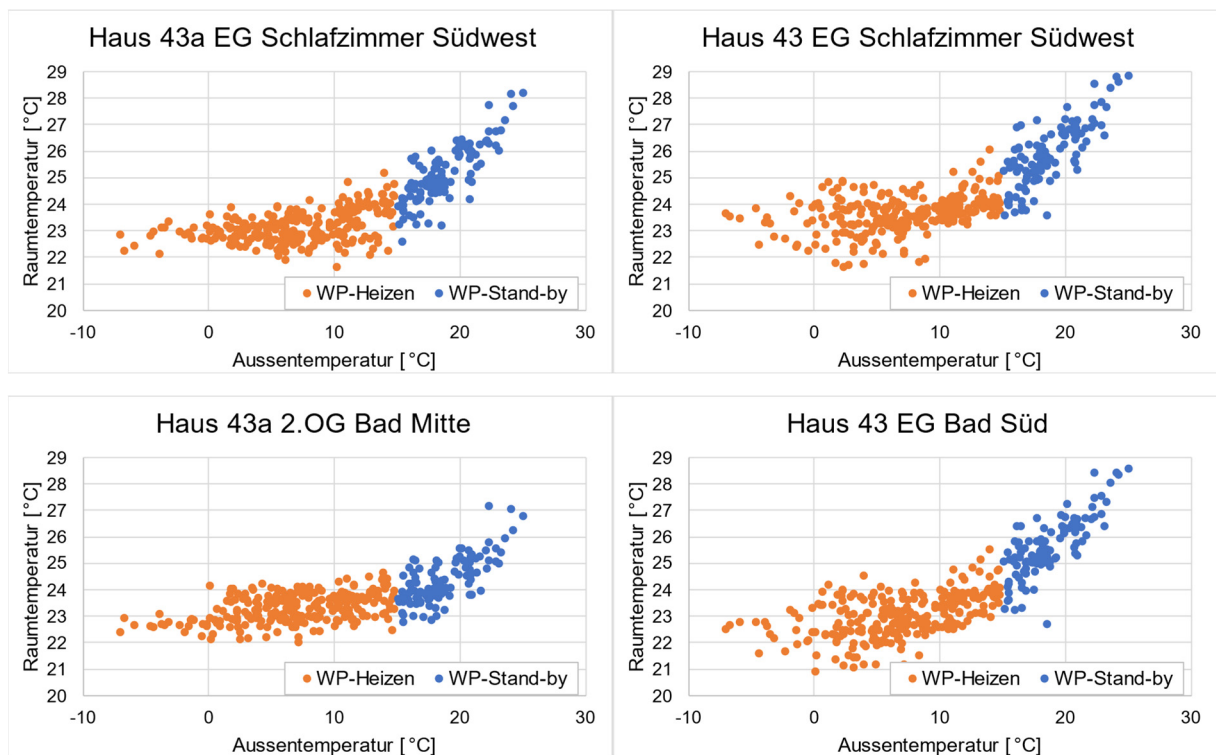
$$\sigma = \sqrt{\varepsilon^2/3}$$

Gl. 4

4.5 Raumkomfort

4.5.1 Raumtemperaturen

Eine Auswertung der Raumtemperaturen ausgewählter Zimmer für die ersten Monate im Jahr 2024 ist in Abbildung 24 zu sehen.



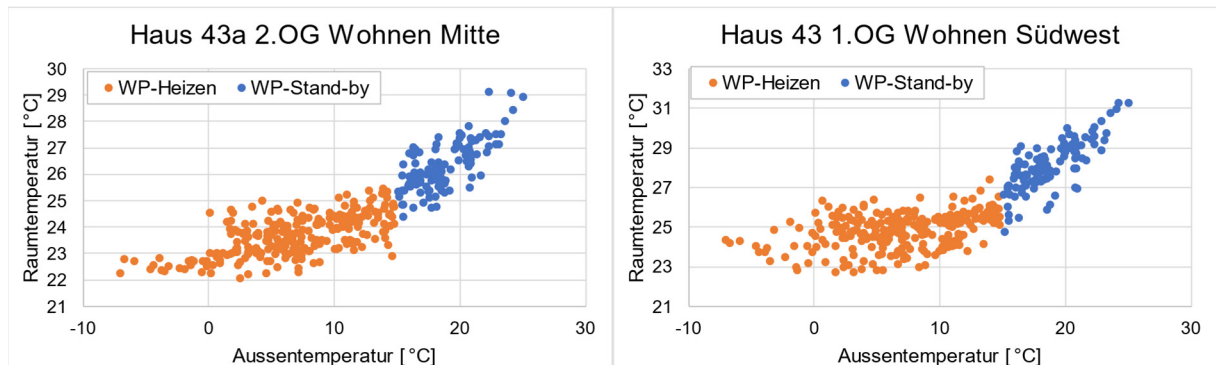


Abbildung 24: Auswertung der Lufttemperaturen (über 24 h gemittelt) ausgewählter Räume in den Gebäuden 43 und 43a vom 01.06.2023 bis 31.05.2024 (orange bei eingeschalteter Heizung, blau bei ausgeschalteter Heizung).

Wie in Abbildung 24 ersichtlich, ist die Raumtemperatur in allen ausgewerteten Räumen im Winter in einem komfortablen Bereich. Mit ein Grund für die Streuung der Raumtemperaturen bei gleicher Aussentemperatur ist, dass über den Zeitraum immer wieder die Heizkurve geändert wurde und auch die Durchflüsse angepasst wurden. Das Erdgeschoss und die Bäder wurden vorgängig als die kritischsten Bereiche angesehen, was den Komfort betrifft. Sie sind jedoch ausreichend warm. Im Sommer sind die Räume vermutlich durch die solaren Gewinne der Wintergärten zu warm. Am wärmsten ist das Wohnzimmer in Haus 43, welches keine zentrale Lüftung besitzt. Die Verschattung durch die Storen (von den Bewohnern bedient) wurde nicht gemessen oder überprüft.

Die Heizgrenze für die Wandheizung, welche momentan bei 15 °C liegt, kann vermutlich noch etwas herabgesetzt werden, da die Innentemperaturen im Bereich dieser Aussentemperatur hoch sind. Die Radiatoren sollten aber laufen, damit es in den Bädern warm genug ist.

In den Attikawohnungen, welche über eine Fussbodenheizung geheizt werden und nicht Teil des Monitorings sind, waren die Raumtemperatur mit den geplanten Heizkurven zu tief, weshalb die Heizungsvorlauftemperaturen auf Wunsch der Bewohner erhöht wurden. Da jedoch auch die Wandheizung am selben Mischkreis angeschlossen ist, führte dies zu überhitzten Wohnungen mit Wandheizung. Daher wurden die Durchflussventile an den Verteilbalken in der Heizperiode 23/24 auf minimalen Durchfluss gesetzt. Die hier gemessenen Temperaturwerte liegen in der Heizsaison zwischen 22 °C und 25 °C und bestätigen, was bereits in der Studie ImmoGap [14] herausgefunden wurde. Hierbei wurde ein Mehrfamilienhaus mit 26 Wohnungen bezüglich Raumtemperaturen im Detail ausgewertet. Die Auswertung zeigte, dass 50% der Wohnungen eine Raumsolltemperatur von 24 °C oder mehr aufweisen und im Schnitt über alle Wohnungen die Raumtemperatur bei 23 °C lag.



4.5.2 Relative Luftfeuchtigkeit

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Komfort ist die relative Luftfeuchtigkeit. Da Haus 43a über eine zentrale Lüftung verfügt, sollten hier die Werte in einem komfortablen Bereich liegen. In Haus 43 hängen die Werte davon ab, ob die Bewohner die Fensterlüftung mit Wärmerückgewinnung nutzen.

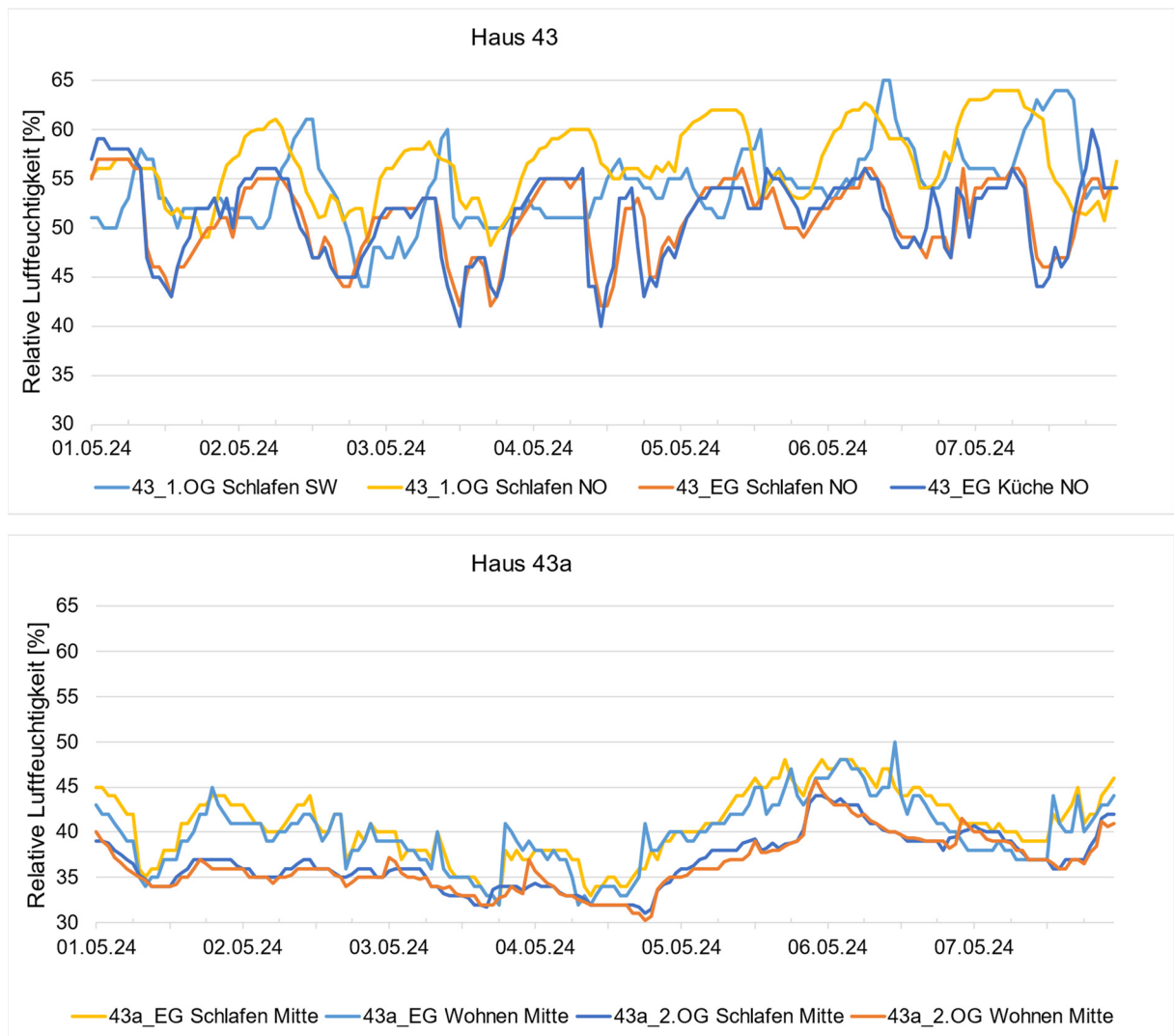


Abbildung 25: Auswertung der relativen Luftfeuchtigkeit für je zwei Räume aus zwei Wohnungen pro Gebäudeteil.

In Abbildung 25 ist die relative Luftfeuchtigkeit für je zwei Räume aus zwei Wohnungen pro Gebäudeteil dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die relative Luftfeuchtigkeit in Haus 43a mit zentraler Lüftung etwa 20% geringer ist als in Haus 43 mit dezentralen Fensterlüftungen. Dabei sind beide Gebäude, bei einer angenommenen Raumtemperatur von 24 °C, noch knapp in einem komfortablen Bereich (siehe Abbildung 11). Haus 43 bewegt sich dabei mit 30% nahe an der unteren Grenze, Haus 43a mit 60% an der oberen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Bewohner die Fensterlüftung nicht nutzen, sondern manuell mit Fensteröffnen lüften. Anhand der hohen Luftfeuchtigkeit kann zudem davon ausgegangen werden, dass zu wenig manuell gelüftet wird. Dies kann vor allem im Winter kritisch sein, wenn sich aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit Schimmel in den Wohnungen bildet. Der gemessene



Maximalwert im Januar betrug dabei 70%, im Schnitt lagen die Werte 50% und 60% und damit in einem Akzeptablen Bereich.

4.5.3 CO₂-Gehalt

Als weiterer Komfortindikator wird der CO₂-Gehalt in den Räumen herangezogen. Auch dieser Indikator zeigt, ob die Lüftungen für einen genügenden Luftwechsel in den Räumen sorgen. Der Wert sollte, wie in Tabelle 8 zu sehen, idealerweise unter 800 ppm liegen.

Tabelle 8: Raumlufte-Qualität in Abhängigkeit der CO₂-Konzentration in parts per million (ppm) nach SIA 382/1:2014 [15].

CO ₂ -Konzentration	Raumlufte-Qualität
≤ 1000 ppm	gut bis mittel
≤ 1400 ppm	mässig
≥ 1400 ppm	niedrig

Abbildung 26 zeigt die CO₂-Konzentrationen für je zwei Räume aus zwei Wohnungen pro Gebäude. Anhand der Auswertungen wird ersichtlich, dass die Bewohner im Gebäudeteil 43 die Fensterlüftung nicht ausreichend nutzen, sondern manuell Lüften. In der Nacht führt dies bei geschlossenem Fenster zu hohen CO₂-Konzentrationen und die untersuchten Räume liegen alle im Bereich niedriger Raumqualität (Tabelle 8).

In Haus 43a liegen alle Räume in einem guten, nachts mit 900 ppm auch mal in einem mittleren Bereich. Die Werte für Haus 43 «1.OG Schlafen SW» sind teils fehlerhaft, da die Aussenluft bereits eine CO₂-Konzentration von etwa 420 ppm aufweist und somit die Werte nicht darunter liegen können, wie bspw. am 03.05. und 05.05. in Abbildung 26 zu sehen.

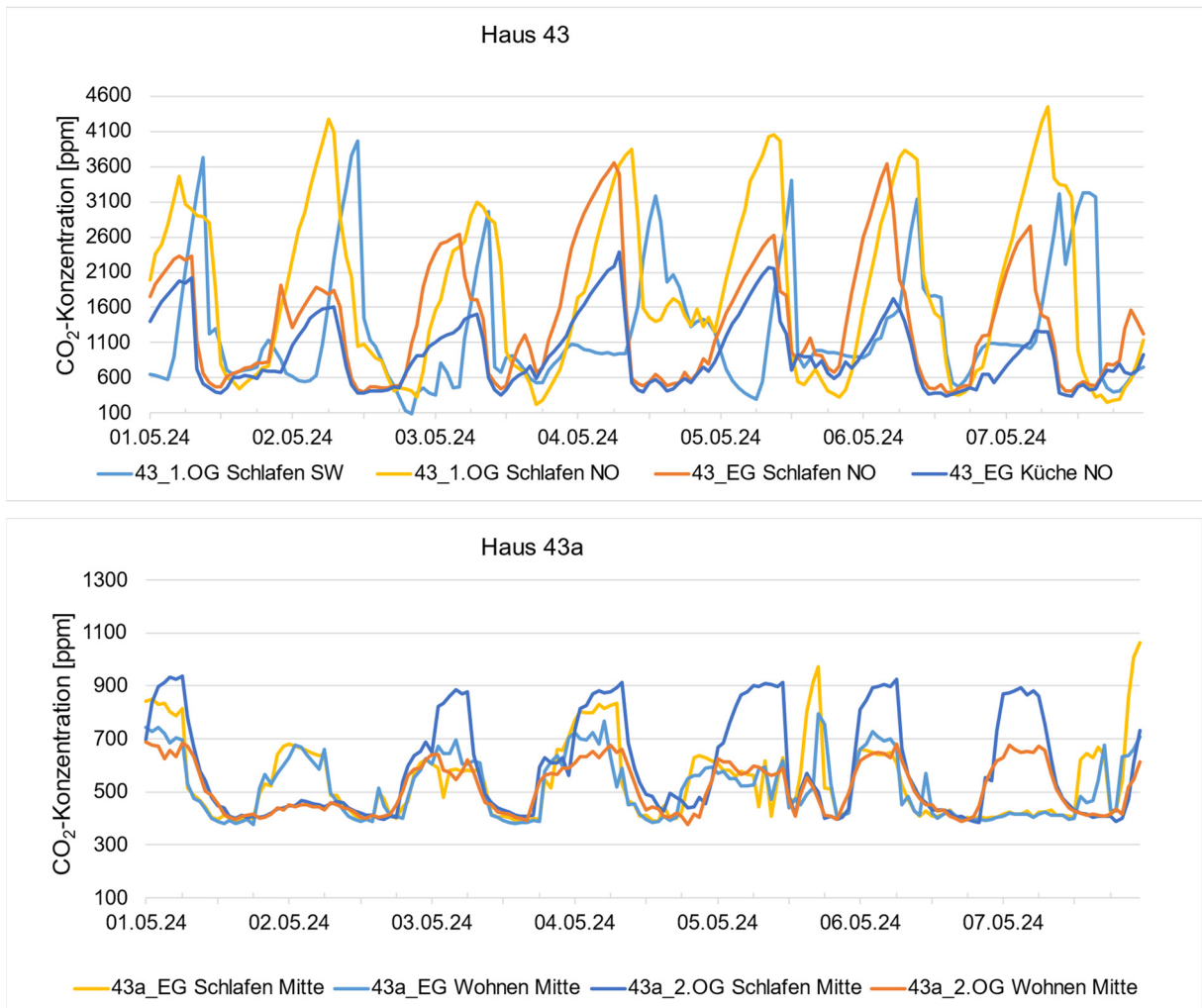


Abbildung 26: Auswertung der CO₂-Konzentrationen für je zwei Räume aus zwei Wohnungen pro Gebäudeteil. Haus 43 mit integrierter Fensterlüftung, einstellbar durch die Bewohner, Haus 43a mit zentraler Lüftung.



5 Schlussfolgerungen und Fazit

5.1 Projekt Allgemein

Mit dem P&D-Projekt ProsumerSkin konnte ein Mehrfamilienhaus auf nZEB-Standard renoviert werden. Dabei wurde aufgezeigt, dass mit einer aussenliegenden Wandheizung in Kombination mit Radiatoren mit geringer Vorlauftemperatur (Vorlauftemperatur 35 °C bei Auslegtemperatur -8 °C) genügend Raumwärme in ein Wohngebäude gebracht werden kann und dass ein guter Komfort erreicht wird. Durch den Verzicht auf eine Fussbodenheizung konnten die Bewohner während den Sanierungsarbeiten in den Wohnungen verbleiben, was die Akzeptanz für Sanierungen erhöhen kann, zudem entfielen so für die Bauherrschaft keine Mieteinnahmen. Die Vorfabrikation der Fassadenmodule inklusive der Heizschicht der Aussenwandheizung konnte nicht wie geplant umgesetzt werden. Stattdessen wurde die Heizschicht vor Ort an die bestehende Fassade montiert und anschliessend die vorgefertigten Fassadenmodule installiert.

Durch die Insolvenzen von Generalunternehmung und weiteren ausführenden Firmen gab es Schwierigkeiten bei der Fertigstellung der Installationen in den Heizungskellern. Die nach den Insolvenzen beteiligten Firmen hatten vor allem mit dem nicht dokumentierten Ist-Zustand zu kämpfen. Viele Fehler, welche aus den vorherigen Bauphasen stammten, wurden erst Stück für Stück entdeckt und führten zu weiteren Verzögerungen. Die Verkabelung der elektrischen Komponenten der Haustechnik war zum grossen Teil fehlerhaft oder nicht beschriftet. Nichtsdestotrotz zeigten die Firmen Motivation und starkes Interesse an dem Projekt. Vor allem der Bauherrschaft ist es zu verdanken, dass am Ende dennoch ein Monitoring realisiert wurde und die aussenliegende Wandheizung regelungstechnisch optimiert werden kann.

Auch wenn nicht alles wie gewünscht umgesetzt werden konnte und die Regelung erst zum Ende des Projekts fertiggestellt wurde, konnten einige interessante Aspekte betreffend der Energieversorgung und des Komforts des Gebäudes ausgewertet werden.

5.2 Energieeffizienz

Der Strombedarf der Gebäude 43 und 43a wurde anhand der Annahme bestimmt, dass alle sechs Gebäude der Liegenschaft (35 bis 43a) den gleichen Bedarf haben. In Realität sollte der Strombedarf aber niedriger sein. Erstens, da in dem untersuchten Objekt eine Niedertemperaturverteilung realisiert wurde (Rest: Radiatoren mit hoher Vorlauftemperatur), wodurch die Wärmepumpen effizienter laufen. Zweitens stammen die Zahlen aus dem Jahr 2022. Zu dieser Zeit wurde in fast allen Gebäuden das Warmwasser rein elektrisch produziert, was auf einen Fehler in der Verschaltung zurückzuführen ist, resp. auf die Situation bedingt durch die Insolvenz.

Anhand der getroffenen Annahme lässt sich abschätzen, dass die PV-Anlagen netto in etwa gleich viel Strom produzieren, wie für die Wärmezeugung und den Haushaltsstrom aus dem Netz bezogen wird. Rechnet man den selbstverbrauchten PV-Strom (gleich bestimmt wie der Gesamtstrombedarf) mit in den Bedarf rein, entspricht der produzierte PV-Strom etwa zweidrittel des Gesamtbedarfes.

Durch die unterschiedlichen Bedürfnisse in der Attikawohnung mussten in Haus 43a die Vorlauftemperaturen etwas erhöht werden, was dazu führte, dass der Durchfluss der aWH auf ein Minimum reduziert werden musste. Ein Trennen auf zwei Mischkreise wäre aus regelungstechnischer Sicht besser gewesen, hätte aber zu weiteren Kosten geführt.

Dadurch, dass die Radiatoren weiterhin laufen, können die Bewohner jeden Raum noch zusätzlich heizen. Die aWH ermöglicht dabei eine Mindesttemperatur im gesamten Gebäude. Leider konnte diese nicht ermittelt werden, da dafür in mindestens einer Wohnung alle Radiatoren ausgeschaltet sein



müssen. Aufgrund der vielen Störungen während der Bauzeit und der Tatsache, dass das Monitoring und die Regelung noch nicht abgeschlossen sind, wollte man vorerst keine Versuche mehr durchführen, welche den Komfort der Bewohner gefährden könnten. Daher wurde anhand des Monitorings der Raumtemperaturen die Leistung der aWH geregelt. Da die Bewohner auf die Leistung der Radiatoren Einfluss nehmen können, ist nicht klar, inwieweit das Reduzieren der Wärmeabgabe der aWH mit einer Erhöhung der Abgabetemperatur der Radiatoren kompensiert wurde. Möchte man ganz auf Radiatoren verzichten, sollte man die Heizkreisverteilung der aWH so anpassen, dass Einzelraumregelung möglich ist, und in dem vorliegenden Fall in den Bädern mit elektrischen Handtuchradiatorn heizen.

Der Wärmebedarf ist trotz aussenliegender Wandheizung, welche im Vergleich zu einer innenliegenden Heizung, durch das bestehende Mauerwerk heizen muss, mit etwa 35 kWh pro m² Energiebezugsfläche und Jahr in einem guten Bereich. Die am Anfang des Projekts durchgeführte Simulationen in IDA-ICE ergeben für einen bivalenten Betrieb etwa 20 kWh/m² und Jahr (EG etwa 25 kWh/m²) für eine Sollraumtemperatur von 20.5 °C. Im Jahresbericht 2018 wurde bereits ermittelt, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur auf 24 °C (was in etwa den gemessenen Temperaturen entspricht) einen Mehrbedarf von 64% mit sich bringt [9]. Dies entspricht einem jährlichen Heizwärmebedarf von 32.8 kWh/m² und liegt nahe an den gemessenen Werten.

Der rechnerische Mehrverbrauch gegenüber einer innenliegenden Heizung gemäss Gleichung 1 beträgt 16%. Da jedoch auch Radiatoren genutzt werden, stellt sich die Frage wie hoch der Bedarf ohne Radiatoren ausfällt. Bezogen auf die Wärmemenge liefern diese in Gebäudeteil 43 etwa 30% der Wärme und in Gebäudeteil 43a 50% der Wärme. Der Wärmebedarf rein über die aussenliegende Wandheizung kann über den Radiatoranteil und den Mehrbedarf von 16% bestimmt werden. Damit würde der jährliche Bedarf in Gebäudeteil 43 von 34.5 kWh/m² auf 35.6 kWh/m² um 3.2% steigen und in Gebäude 43a von 34.6 kWh/m² auf 35.6 kWh/m² um 4.3 %. Die Unterschiede sind kleiner als die Messunsicherheit der Geräte mit $\pm 5\%$ und zeigen, dass der minderverbrauch von 16% des Radiatoranteils für die energetische Betrachtung keine grosse Bedeutung hat.

Die Monatsarbeitszahlen der Wärmepumpen liegen in dem untersuchten Zeitraum zwischen 3.0 und 3.4 (± 0.2), was zeigt, dass die Wärmepumpen effizient laufen. Daraus kann aber nur bedingt ein Rückschluss auf die Jahresarbeitszahl getroffen werden, da in den Sommermonaten nicht geheizt wird, sondern nur Brauchwarmwasser mit hoher Vorlauftemperatur produziert wird. Da die Wärmepumpen bei der Brauchwarmwasser-Bereitstellung weniger effizient laufen, verschlechtern sich damit auch die Monatsarbeitszahlen in den Sommermonaten. Leider konnte aufgrund fehlender Daten noch kein Vergleich zu anderen Gebäuden der Liegenschaft gezogen werden, in welchen das gleiche Wärmeerzeugungssystem installiert ist, die Wärmeverteilung aber mit Radiatoren bei höheren Vorlauftemperaturen erfolgt. Damit hätte die Performance der aWH, resp. des Niedertemperatur-Verteilsystems weitergehend bewertet werden können.

5.3 Komfort

Der Raumkomfort ist, was die Temperatur betrifft, in allen Räumen sehr gut. Deutliche Unterschiede sieht man zwischen den beiden Häusern 43 und 43a was die relative Luftfeuchtigkeit und die CO₂-Konzentration betrifft. Die dezentralen Lüftungen in den Fenstern in Haus 43 werden mehrheitlich nicht genutzt. Als Gründe wurden hierfür u.a. störende Betriebsgeräusche genannt. Laut Siedlungswart fehle es auch an der nötigen Sensibilisierung für dieses Thema, um das Interesse zu erhöhen. Die Folgen sind zum Teil sehr hohe CO₂-Werte, vor allem nachts. Auch die Luftfeuchtigkeit ist erhöht, was eine Schimmelbildung begünstigen kann. Ein Infoschreiben im Jahr 2022 mit beiliegender Anleitung sowie Telefonnummern und E-Mailadressen vom Siedlungswart und SPF bei Fragen zum Thema Lüftung brachten keinen Erfolg. Hier sollte versucht werden, die Bewohner mit weiteren Gesprächen zu informieren und ihnen die Vorteile, welche sie durch den gesteigerten Komfort ziehen, verdeutlicht werden.



Aufgrund von Bauverzögerungen und technischen Schwierigkeiten, welche teils nichts mit dem P&D zu tun hatten, wurden auch die Bewohner auf eine Geduldsprobe gestellt. Das führte dazu, dass der Komfort der Bewohner in den Vordergrund gerückt wurde und auf Tests wie das temporäre Abschalten oder Verplomben der Radiatoren verzichtet wurde.

5.4 Wirtschaftliche Betrachtung

Aufgrund der Insolvenzen, der kurzen Monitoringperiode und der noch ausstehenden Optimierung, ist es schwer, eine wirtschaftliche Betrachtung zu ziehen. Dennoch sollen im folgenden Kapitel die Punkte beschrieben werden, die einen wichtigen Einfluss auf die Kosten haben. Tabelle 9 zeigt die realen Mehrkosten des P&D-Projekts für die Sanierung mit aussenliegender Wandheizung im Vergleich zu einer Sanierung ohne aWH. Der Punkt weitere Mehrkosten umfasst dabei Punkte, welche aufgrund von Fehlern und oder unzureichender Fertigstellung der Generalunternehmung entstanden sind.

Ergänzend wurde ein Einsparpotential abgeschätzt, welches sich bei einer Serienfertigung ergeben könnte und unter der Voraussetzung, dass die Heizkreise in die Fassade integriert und vorgefertigt werden. Die Planungskosten für Hydraulik und Elektroarbeiten wurden hier zum ersten Mal für eine aWH durchgeführt, zudem musste die Messtechnik für das P&D eingeplant werden. Daher wird von einem Einsparpotential von 50% ausgegangen. Müssen die Heizkreise nicht auf der Baustelle installiert werden, wozu u.a. ein Gerüst benötigt wird resp. länger aufgestellt bleiben muss, kann etwa ein Drittel gespart werden. Hat man die Regelung einmal geplant und funktionsreif, entfallen die Entwicklungskosten wodurch hier das prozentual grösste Einsparpotenzial gesehen wird. Neue Radiatoren in den Bädern sind im Idealfall nicht nötig, für unvorhergesehenes ist ein Puffer in Höhe von 10'000 CHF eingepreist. Dadurch halbieren sich in etwa die Gesamtkosten im idealen Szenario.

Tabelle 9: Kostenparameter des Heizsystems der ProsumerSkin im P&D-Projekt (ohne Förderung) sowie Abschätzung für einen ideales Kostenszenario

Leistung	Kosten Real	Geschätztes Einsparpotential	Kosten Ideal
Planung Hydraulik	11'000 CHF	50 %	5'500 CHF
Planung Elektroarbeiten	12'500 CHF	50 %	6'250 CHF
Installation Heizkreise	112'000 CHF	33 %	74'000 CHF
Regelung	33'000 CHF	80 %	6'600 CHF
Neue Radiatoren Bäder	18'000 CHF	100 %	0 CHF
Weitere Mehrkosten	60'000 CHF	83%	10'000 CHF
Gesamt	213'500 CHF	52 %	102'325 CHF

Die spezifischen Kosten im Idealfall betragen etwa 60 CHF/m² Energiebezugsfläche (Zum Vergleich: Die Kosten einer nachträglichen Installation einer Fussbodenheizung liegen bei etwa 200 CHF/m² Raumfläche)⁴.

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, sind die Kosten für PV-Anlage und Fenster mit integrierter Lüftung nicht beinhaltet. Daher soll sich der Vergleich rein auf das Heizsystem beziehen. Die benötigten 102'325 CHF müssen durch die Stromeinsparung durch den effizienten Betrieb der Wärmepumpe über die

⁴ <https://bodenheizung-nachrueten.ch/>



Lebensdauer amortisiert werden, um ein wirtschaftliches System im Vergleich zu einem reinen (bestehenden) Radiatorbetrieb zu ergeben. Fassaden haben eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren. Als Mittelwert wird mit 40 Jahren gerechnet. Unter der Annahme, dass die Investitionskosten mit einem Kredit (Zinsen 5%) über 10 Jahre abbezahlt werden, steigen die Gesamtkosten auf 130'000 CHF.

Auf die Lebensdauer von 40 Jahre bezogen ergeben sich Kosten in Höhe von 3'250 CHF/a.

Um dies durch Stromeinsparungen zu amortisieren, müssen bei einem Strompreis von 0.32 CHF/kWh⁵ etwa jährlich mind. 10'000 kWh eingespart werden.

Bei einem Strombedarf für das aWH Heizsystem von etwa 20'000 kWh/a muss ein System mit Radiatoren und hohen Vorlauftemperaturen etwa 30'000 kWh/a verbrauchen. Das benutzte aWH sorgt also für eine Einsparung in Höhe von 30% gegenüber dem Radiatorbetrieb. Diese liegt somit laut einer Abschätzung aus dem ProsumerSkin Jahresbericht 2018 an der zu erwartenden Einsparung durch einen effizienteren Betrieb der Wärmepumpe bei niedrigen Vorlauftemperaturen [9].

Das ist jedoch nur eine grobe Abschätzung und kann ohne Messdaten, welche die Einsparungen belegen, nicht endgültig berechnet werden. Des Weiteren müssen folgende Punkte noch beachtet werden:

- Der Strompreis wird hier über 40 Jahre als konstant angenommen. Steigenden Strompreise führen zu einer schnelleren Amortisation der ProsumerSkin. In einer Studie von Prognos ist eine Verdreifachung der Strompreise bis 2050 realistisch (Grosshandelspreise, ausgehend von dem Preis 2020) [16]. Fallende Preise führen jedoch zu einer längeren Amortisationszeit. Mit aktuell 0.32 CHF/kWh ist der Strompreis zurzeit hoch (2020 betrug der Strompreis nur etwa 0.20 CHF/kWh).
- Durch den Betrieb bei geringeren Vorlauftemperaturen kann sich die Lebensdauer der Wärmepumpe erhöhen.
- Eine aWH aktiviert die Gebäudefassade, welche als Wärmespeicher dient. So können bei einer Einführung flexibler Strompreise Zeiten mit hohen Preisen überbrückt werden und Lastspitzen geglättet werden.
- Modernere und effizientere Wärmepumpen verlängern die Amortisationszeit, da sich dadurch der Strombedarf verringert.
- Für die Annahme werden in beiden Varianten (aWH/Radiatoren) eine Sanierung mit vorgefertigten Fassadenelementen gerechnet. Diese Lösung ist meist noch teurer als eine herkömmliche Sanierung, da diese Technologie noch nicht weit verbreitet ist. Die Kosten hängen dabei unter anderem von der Gebäudegrösse und Geometrie ab.

Abschliessend lässt sich sagen, dass die aWH im Szenario 'Ideal' finanziell gleichauf mit der Lösung der bestehenden Radiatoren liegt. Die Unsicherheit ist aber hoch, da sowohl Messdaten fehlen als auch die Kosten für eine etwaige Serienproduktion nur auf einer Abschätzung beruhen. Da hier ein Zeitraum von 40 Jahren beobachtet wird, gibt es viele Variablen, die sich ändern können.

Der Strompreis korreliert direkt mit der Amortisationszeit und könnte kurzfristig sinken, langfristig deutet jedoch vieles auf eine deutliche Verteuerung hin. Flexible Strompreise sind ein realistisches Szenario in der Zukunft, wo die aWH ihre Stärken ausspielen kann, da die Fassade zum Wärmespeicher wird und Perioden mit hohen Strompreisen überbrückt werden können. Dies ermöglicht auch ein netzdienliches Verhalten, was bei zunehmender Elektrifizierung der Wärmeversorgung immer wichtiger wird. Das Projektteam ist daher von der aussenliegenden Wandheizung zur Sanierung von schlecht gedämmten Mehrfamilienhäusern überzeugt und untersucht diese in weiteren Projekten (siehe Kapitel 6 Ausblick und zukünftige Umsetzung).

⁵ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-97619.html>



5.5 Gewonnene Erkenntnisse

Aus dem Projekt ProsumerSkin konnten wertvolle Informationen generiert werden, welche für künftige Anwendungen der aussenliegenden Wandheizung inklusive der weiteren Technologien berücksichtigt werden sollten und in folgendem Kapitel zusammengefasst werden.

Heizungsregelung: Entwicklung und Umsetzung aus einer Hand

Ein innovatives Heizkonzept wie die aussenliegende Wandheizung erfordert eine neuentwickelte Steuerung und Regelung, um optimal funktionieren zu können. Aus mehreren Gründen ist es dabei von grossem Vorteil, wenn sowohl die Entwicklung der Regelung als auch deren Umsetzung aus einer Hand kommen, was im vorliegenden Projekt wiederum nicht der Fall war.

Zunächst ist das Verständnis für das gesamte System bei einem einheitlichen Entwicklerteam in der Regel grösser. Wenn sowohl die Regelstrategie wie auch die Umsetzung und Monitoring aus einer Hand kommen, gibt es ein umfassendes Wissen über die Komponenten und die spezifischen Anforderungen, zudem können alle Aspekte besser aufeinander abgestimmt werden.

In der Praxis zeigen sich häufig erst nach der Implementierung Unklarheiten zwischen beiden Parteien, die eine Anpassung der Regelung erforderlich machen. Wenn die Entwicklung der Regelstrategie und deren Umsetzung von unterschiedlichen Firmen entwickelt werden, kann dies zu Verzögerungen und erhöhtem Aufwand führen. Die Kommunikation zwischen den verschiedenen Parteien kann komplex und zeitaufwendig sein, was die Anpassung und Optimierung der Regelung erschwert.

Zudem ermöglichen es neue Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Betrieb des Systems, kontinuierliche Verbesserungen vorzunehmen. Diese Optimierungsideen müssen dann an den Regelungsumsetzer weitergegeben werden. Ist dieser jedoch eine externe Partei, muss zunächst die Machbarkeit geprüft und anschliessend ein Auftrag an die Bauherrschaft erteilt werden. Dieser Prozess ist nicht nur langwierig, sondern auch kostenintensiv. Eine einheitliche Entwicklungsfirma kann hingegen schnell und flexibel auf neue Anforderungen reagieren, da die internen Kommunikationswege kürzer und die Verantwortlichkeiten klarer sind.

AWH: Einzelraumregelung oder rein witterungsgeführte Temperaturregelung

Eine Besonderheit der Umsetzung in dem vorliegenden P&D-Projekt ist, dass die Temperaturregelung in den Räumen rein witterungsgeführt ist und dabei einzelne Heizkreise Schlafzimmer zusammen mit Küchen oder Wohnräumen umfassen. Dadurch wird der Regelaufwand reduziert, da es weniger Heizkreise gibt und es müssen weniger Leitungen durch die Wände geführt werden. Auf der anderen Seite macht dies die Temperaturregelung besonders anspruchsvoll. Wie die Erfahrung im vorliegenden Projekt zeigt, ist es ohne eine Einzelraumregelung schwierig, ein komfortables und gleichmäßiges Raumklima zu gewährleisten, da die Temperaturanforderungen in den verschiedenen Räumen unterschiedlich sind. Eine Einzelraumsteuerung wäre in dem Sinn vorteilhafter, da sie den Komfort und die Zufriedenheit der Bewohner erheblich steigern kann, indem sie die individuellen Temperaturbedürfnisse berücksichtigt.

Um die Regelung besser umsetzen zu können respektive zu vereinfachen sind elektronisch einstellbare Ventile an den Verteilbalken von Vorteil um ein manuelles Einstellen, hier im Keller des Gebäudes, zu umgehen.



Fensterlüftung mit Wärmerückgewinnung

Im Rahmen der Sanierung des Hauses wurden neue Fenster mit integriertem Lüftungsgerät inklusive Wärmerückgewinnung installiert. Diese modernen Fenster sind darauf ausgelegt, die Luftfeuchtigkeit und den CO₂-Gehalt in den Räumen zu regulieren und somit ein gesundes Raumklima zu gewährleisten. Trotz der wiederholten Hinweise auf die Vorteile dieser Lüftungssysteme hat das Monitoring jedoch gezeigt, dass die Bewohner diese integrierte Lüftung kaum nutzen. Stattdessen lüften sie in der Regel manuell, was teilweise negative Auswirkungen auf das Raumklima hat.

Ein wesentlicher Grund für die mangelnde Akzeptanz und das Nutzen der integrierten Lüftung sind die störenden Betriebsgeräusche, vor allem nachts in den Schlafzimmern, die von den Systemen ausgehen. Diese Geräusche werden von den Bewohnern als unangenehm empfunden und tragen dazu bei, dass sie das automatische Lüftungssystem ausschalten und stattdessen die Fenster öffnen, um frische Luft hereinzulassen. Diese manuelle Lüftung führt jedoch nicht nur zu einem unkontrollierten Luftaustausch, sondern kann auch die Effizienz der Heizungsanlage beeinträchtigen und zu einem höheren Energieverbrauch während der Heizperiode führen. Da die Lüftung in den Fenstern nicht genutzt wird, sollte für weitere Realisationen, wenn möglich, ein alternatives Lüftungskonzept erarbeitet werden, bspw. schallisolierte Lüftungen welche separat in den Fassadenmodulen installiert werden.

Alternative dezentrale Lüftungsmöglichkeiten, bieten beispielsweise das System von Heltly, auf welches in Kapitel 6 detaillierter eingegangen wird. Eine weitere Alternative bietet die Schweizer Firma Fentech⁶, die Lüftungseinheit wird ähnlich wie bei Heltly separat in die Fassaden installiert. Ein Unterschied ist die Installationsgrösse, welche sich bei Fentech funktionsbedingt über fast die komplette Raumhöhe erstreckt, um eine gute Konvektion zwischen Raumboden und Decke zu erreichen, während die Module von Heltly darauf abzielen möglichst unscheinbar zu sein.

Vorfertigungsgrad

Eine Fassade inklusive Heizschicht vorzufabrikieren, erwies sich mit der zur Verfügung stehenden Zeit vor der Sanierung als schwierig, weswegen darauf verzichtet werden musste. Die Kombination des starren Elements mit einer flexiblen Heizschicht, welche sich an die Geometrie und Versätze in der Hauswand anpasst, war im Zuge dieses Projekts nicht möglich. Hier bedarf es eines intensiven Produktdesigns, in welcher die Dimensionen der Elemente idealerweise an die Heizkreise resp. Räume angepasst werden. Horizontale oder vertikale Verteilkanäle ermöglichen ein einfaches Anschliessen der Heizkreise pro Modul mit dem Heizsystem, ohne hydraulische Verbindungen der Module untereinander bewerkstelligen zu müssen. Die Geometrie des Gebäudes sollte möglichst einfach sein, um mit möglichst wenig Elementen das Haus sanieren zu können. Eine Weiterentwicklung des Systems erfolgte bereits in dem Projekt Plural (siehe Kapitel 6 Ausblick und zukünftige Umsetzung).

⁶ https://fentech.ch/images/pdfs/Technisches_Datenblatt_RL50-02.pdf



6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Die Insolvenz der Generalunternehmung (GU) war ein grosser Rückschlag in dem Projekt. Es ist vor allem der motivierten Bauherrschaft zu verdanken, dass die Regelungsentwicklung und -optimierung und das Monitoring vorangetrieben wurden. Dennoch konnten die Verzögerungen nicht wieder aufgeholt werden und einige spannende Fragestellungen sind bis dato noch offen, wie zum Beispiel das Erreichen des Komforts ohne Radiatoren (resp. mit stark reduzierter Verwendung) und der Vergleich mit Haus 35-41 (siehe Abbildung 1), welches dieselben Wärmepumpen nutzt, jedoch Radiatoren mit hoher Vorlauftemperatur beinhaltet.

In den nächsten Monaten findet eine Übergabe des Monitorings und der Regelung an die Bauherrschaft statt, wobei das SPF noch eine Zeit lang involviert bleibt. Ziele sind dabei, den Heizbetrieb einzuregulieren und den PV-Eigenverbrauch zu erhöhen. Die Messdaten des Energie-Monitorings können helfen, das System weitergehend energetisch zu bewerten und zu optimieren und offene Fragen zu beantworten.

Bei der Optimierung wird es wichtig sein, die Heiztemperatur so weit wie möglich zu senken, um die Energieeffizienz der Wärmepumpe zu steigern. Da der Volumenstrom überall minimal eingestellt ist sollte es möglich sein 1 bis 3 K runterzugehen, dafür den Volumenstrom zu erhöhen. Jedes Kelvin höhere Heizmitteltemperatur bedeutet bei aktuellen Wärmepumpen ein Mehrverbrauch von 4% [10].

Es muss aber sichergestellt werden, dass der Komfort in den Attikas erhalten bleibt, welche eine höhere Temperatur benötigen als die Wandheizung. Eine Aufteilung in zwei separate Mischkreise erscheint im energetischen Sinn wenig sinnvoll, da die Wärmepumpe immer die Temperatur des Verbrauchers mit den grössten Anforderungen liefern muss.

Aufgrund der guten Dämmung kann etwas später angefangen werden zu heizen, zum Beispiel bei einer Aussentemperatur von 13 °C anstelle von 15 °C. Zudem sollte der Eigenverbrauch an Solarstrom erhöht werden. Dadurch könnte sich der Energiebedarf nochmals um 5% bis 10% senken lassen. Da das Monitoring jedoch noch am Anfang steht, können sich auch noch weitere Einsparpotential ergeben.

Idealerweise sollte ein Jahr das Monitoring der aWH im optimierten Betrieb erfolgen und ein Jahr nur mit Radiatoren und hoher Vorlauftemperatur im selben Gebäude. Damit kann sowohl die ProsumerSkin energetisch und wirtschaftlich besser bewertet werden als auch mehr Erkenntnisse zum Thema Wärmepumpen im Bestand und dem energetischen Vorteil von Niedertemperaturheizungen allgemein gewonnen werden. Es wird vom Projektteam nach weiteren Finanzierungsmöglichkeiten geschaut.

Die Idee der aussenliegenden Wandheizung in Kombination mit einem vorgefertigten Fassadenelement hat das Projektteam überzeugt. Sie ermöglicht nicht nur eine Beschleunigung von Renovierungen, sondern auch die Bereitstellung eines effizienten Heizsystems. Die gewonnenen Erkenntnisse sind eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung dieses Konzepts.

Mittlerweile wurde in dem EU-Projekt *Plural* [17] (www.plural-renovation.eu) das System anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt ProsumerSkin weiterentwickelt. Dabei wurde zum ersten Mal mit komplett vorgefertigten Elementen inklusive Heizschicht ein Gebäude in Tschechien saniert. Dafür wurde auf das Fassadenmodul eine weitere Schicht aus Dämmwolle angebracht, welche bei Bedarf partiell komprimiert werden und sich an Unebenheiten der Aussenwand anpassen kann. Auf diese wurden ebenfalls flexible Platten mit vorgefrästen Kanälen für die Heizkreise gelegt. Das Ganze wird mit Bändern an dem starren Fassadenmodul fixiert, da eine Verschraubung kleine Flexibilität ermöglicht.



Anstatt einer Lüftung im Fensterrahmen wurden separate Lüftungseinheiten, Helti Flow 70⁷, installiert. Diese werden in die Fassade in einem Schallisolierten Gehäuse installiert, welches nicht nur die Betriebsgeräusche minimiert, sondern auch den Schall von aussen um 54 dB reduziert.

Die Aufteilung der Heizkreise erlaubt hier eine Einzelraumregelung mithilfe von motorgesteuerten Ventilen an den Verteilbalken und Raumthermostaten. Auf eine Integration einer PV-Fassade wurde verzichtet, da die Dachfläche genügend Platz bietet, das Doppel Einfamilienhaus mit Strom zu versorgen. Die ersten Messdaten werden in der nächsten Heizperiode erfasst. Der Schlussbericht wird voraussichtlich Anfang 2025 zu Verfügung stehen.

Des Weiteren wird in dem Innosuisse Projekt *RENOWAVE* [18] (www.renowave.ch) ein weiteres Umsetzungsprojekt in der Schweiz gesucht, bei welchem mit einer Schweizer Holzbaufirma und einem Schweizer PV-Systemanbieter, welche sich u.a. auf Gebäudehüllen spezialisiert hat, zusammengearbeitet wird. Ziel ist es die ProsumerSkin, wie in Abbildung 5 gezeigt, komplett als vorgefertigtes Element in der Schweiz zu entwickeln und als Produkt der Holzbaufirma zu etablieren.

⁷ <https://www.heltiyair.com/en/products/built-in-recessed-hrv/flow-70/>



7 Publikationen

Das Konzept der aussenliegenden Wandheizung wurde an folgenden Veranstaltungen präsentiert:

- BRENET Status Seminar 2018
- SPF Industrietag 2019
- Renowave Konsortium-Meeting 2023

Publikationen erfolgten an folgender Stelle:

- HSR EEU Newsletter [9]
- Faktor Verlag Architektur Technik Energie « Mit der Fassade Heizen » 2023 [19]



8 Literaturverzeichnis

- [1] Konferenz kantonalen Energiedirektoren, „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEEn 2014)“, 2016.
- [2] G. Luther, H. Altgeld, Die aussenliegende Wandheizung, Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik (2002) 8–15.
- [3] S. Christoph Wilhelm, Feldtest und dynamische Simulation der aussenliegenden Wandtemperierung, UNIVERSITÉ DU LUXEMBOURG, 2019.
- [4] CEPA, Der Energiefassade der Zukunft, (2024). <https://www.cepa-solutions.com/>.
- [5] Das Gebäudeprogramm, „Wichtiger Pfeiler der Schweizer Energie- und Klimapolitik, Das Gebaeudeprogramm (n.d.). <https://www.dasgebaeudeprogramm.ch/de/das-gebaeudeprogramm/ziele/>.
- [6] Bundesamt für Energie, Energieperspektiven 2050+, (2023). <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>.
- [7] R. Dott, A. Genkinger, R. Kobler, Z. Alimpic, P. Hubacher, T. Afjei, Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung, 5. vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage, Faktor, Zürich, 2018.
- [8] Peter Op 't Veld, Martina Carrabs, John van Oorschot, MORE-CONNECT Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for Modular Retrofitting and smart Connections, European Commission, 2019.
- [9] M. Haller, I. Mojic, ProsumerSkin: Neue Wege der Gebäudesanierung über eine Heiz-Fassade, (2018).
- [10] L. Keller, M. Heigele, Leitfaden für Wärmepumpenanlagen, 1. Auflage, ITM InnoTech Medien GmbH, Kleinau, 2021.
- [11] C. Schmidt, H. Altgeld, B. Gross, G. Luther, D. Schmidt, LEXU II - Einsatz von Aussenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung, in: Proceedings of CESBP BauSim, Dresden, Germany, 2016: pp. 843–850.
- [12] S. Crameri, Optimierte Regelung einer aussenliegenden Wandheizung, Hochschule Luzern, Technik und Architektur, 2020.
- [13] Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR), (2023).
- [14] I. Mojic, M. Luzzatto, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, S. Van Velsen, ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser, SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2018.
- [15] Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, SIA 382/1:2014, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, (2014).
- [16] A. Kemmler, A. Kirchner, S. Kreidelmeyer, Energieperspektiven 2050+, Gesamtdokumentation der Arbeiten, Prognos, Bundesamt für Energie (BFE), 2021.
- [17] PLURAL Plug-and-use renovation with adaptable lightweight systems, EU Projekt (2024). <https://www.plural-renovation.eu/>.
- [18] RENOWAVE - Decarbonization of the Buildingstock, Flagship Innosuisse (2024). <https://www.renowave.ch/>.
- [19] Modulare Gebäudetechnik, 1. Auflage, FAKTOR Verlag AG, Zürich, 2023.



9 Anhang

9.1 Grundrisspläne

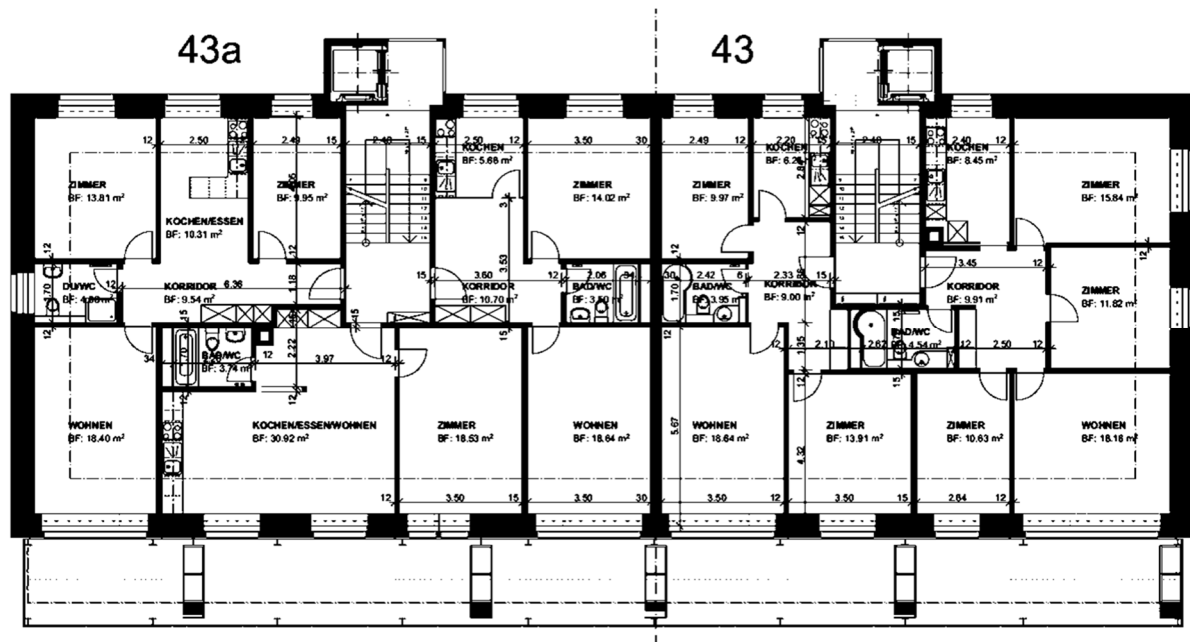


Abbildung 27: Grundriss EG, 1.OG, 2.OG, 3.OG

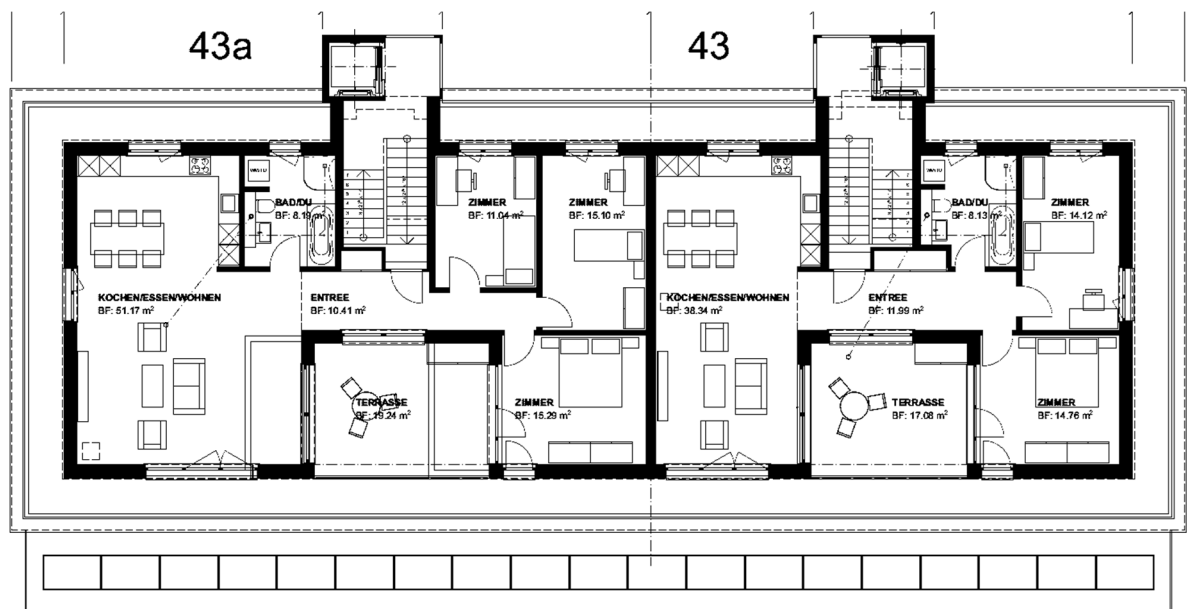


Abbildung 28: Grundriss Attika

9.2 Konstruktionsplan Fassadenelement

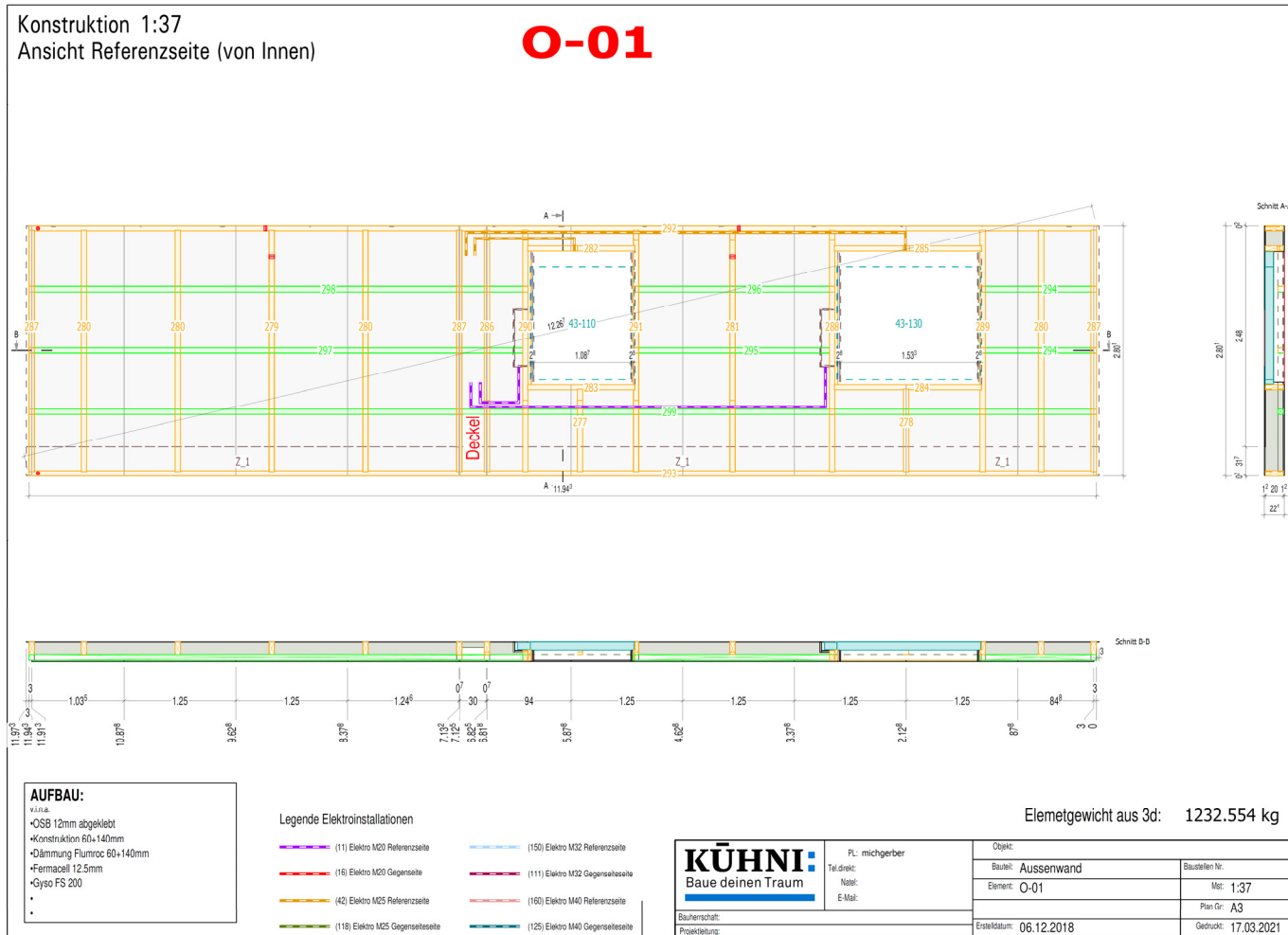


Abbildung 29: Konstruktionsplan für ein vorgefertigtes Fassadenelement an der Südost-Fassade



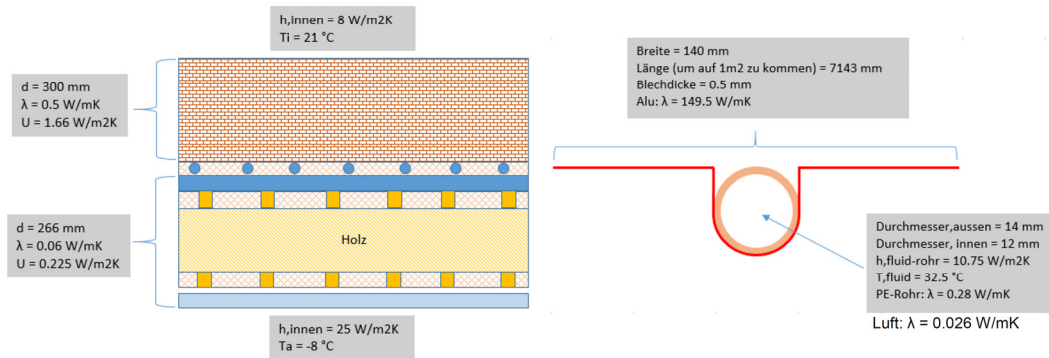
9.3 InnoScheck Ergebnisse aWH SPF

FEM Analyse

- Mittels FEM Simulationen wurde untersucht was für einen Einfluss ein Aluminium Blech (Finne) auf den Wärmestrom zwischen Heizung und Innenwand hat
- Weiter wurde untersucht inwiefern ein Luftspalt zwischen Blech und Wand den Wärmestrom nach Innen negativ beeinflusst
- Vier verschiedene Varianten wurden simuliert:
 - Mit Alufinne (Blech) und ohne Luftspalt
 - Mit Alufinne und mit Luftspalt (3 mm)
 - Ohne Alufinne und ohne Luftspalt
 - Ohne Alufinne und mit Luftspalt

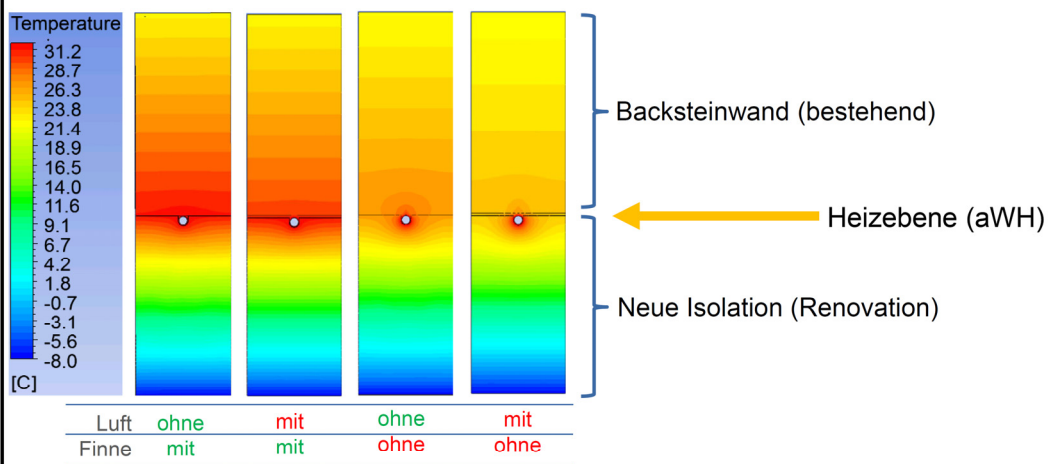


FEM Analyse: Annahmen

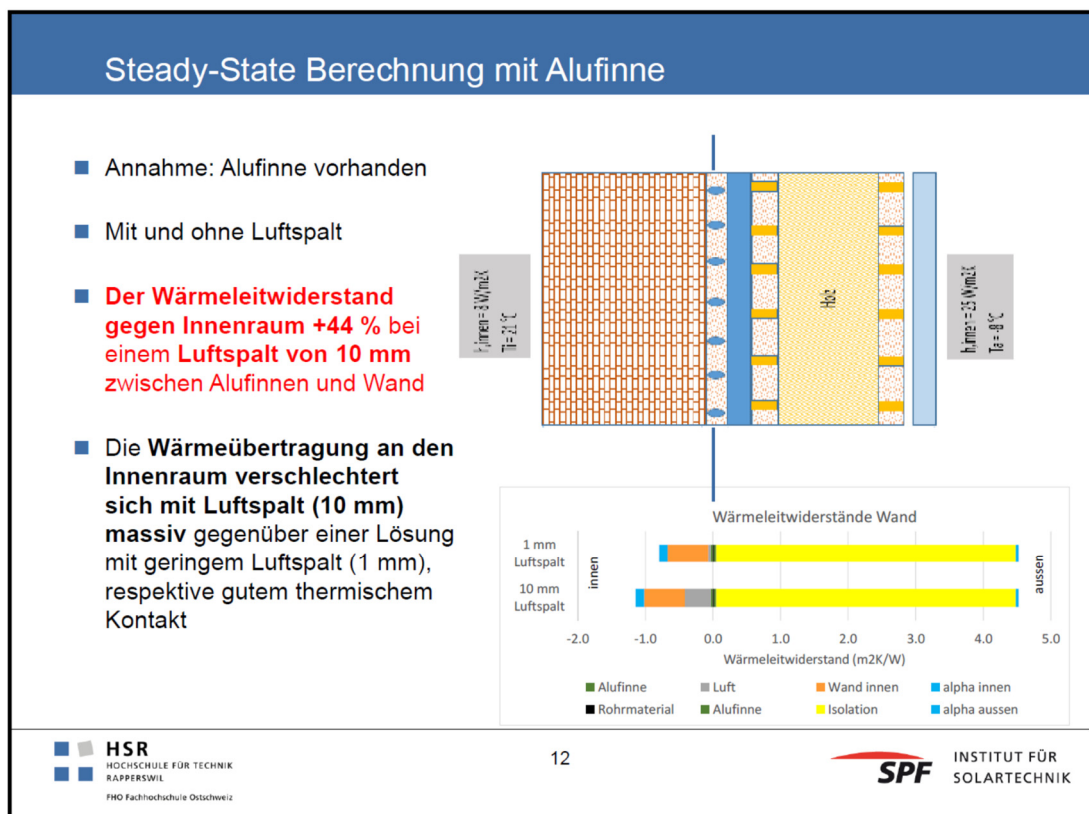
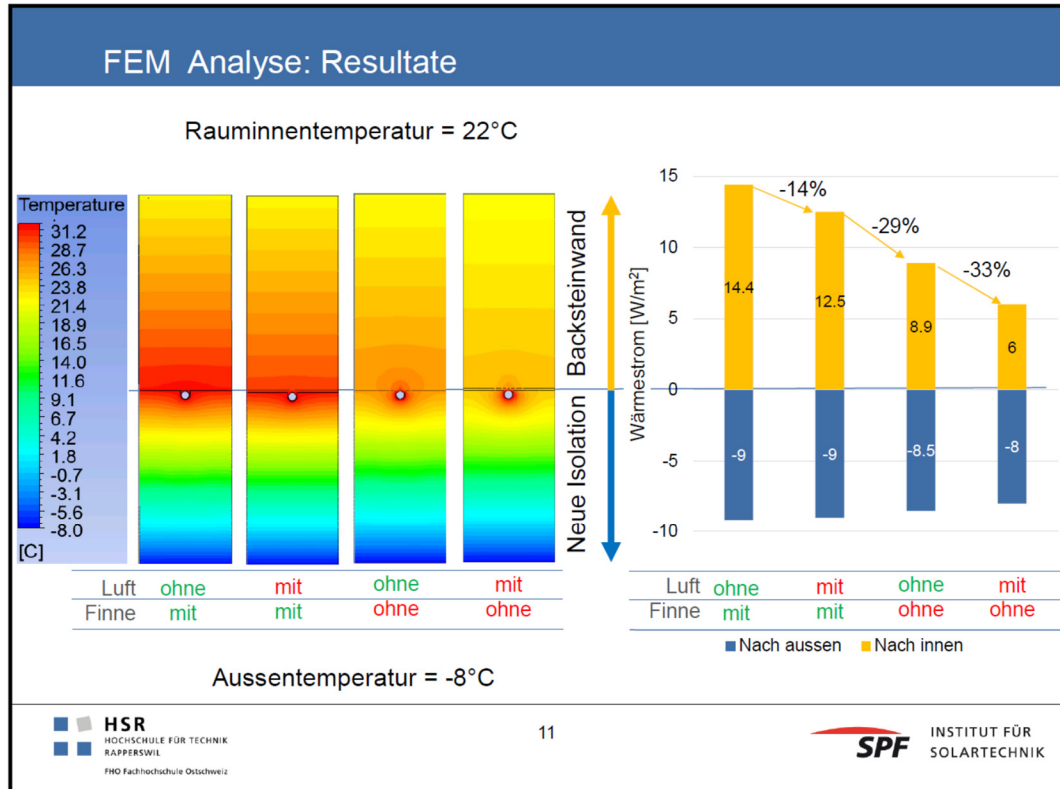


FEM Analyse: Resultate

Rauminnentemperatur = 22°C



Aussentemperatur = -8°C





Steady-State Berechnung mit Alufinne: Auswirkungen auf Betrieb

- Annahme: Alufinne vorhanden, mit (10 mm) und ohne (1 mm) Luftspalt
 - Luftspalt = Luftspalt zwischen Alufinne und bestehender Wand
 - Taussen = Assentemperatur
 - Heizleistung = Erforderliche Heizleistung pro m^2 Innenwandfläche
 - Tfluid = erforderliche Fluidtemperatur
 - Zusatzwärmeleistung: im Vergleich zu einer Innenheizung (Fussbodenheizung) erhöhter Heizwärmebedarf

Parameter		Resultate		
Luftspalt [mm]	Taussen [°C]	Heizleistung [W/m ²]	Tfluid	Zusatz- wärmeleistung
1	0	5.6	25.6	17%
1	-8	10.9	30	17%
10	0	5.6	27.6	25%
10	-8	10.9	33.7	25%

- Fazit: die erforderliche Wärmeleistung steigt ohne Luftspalt um 17%, mit Luftspalt um 25% gegenüber einer Beheizung von innerhalb der Mauern (zum Beispiel Fussbodenheizung)



9.4 Wandheizungspläne

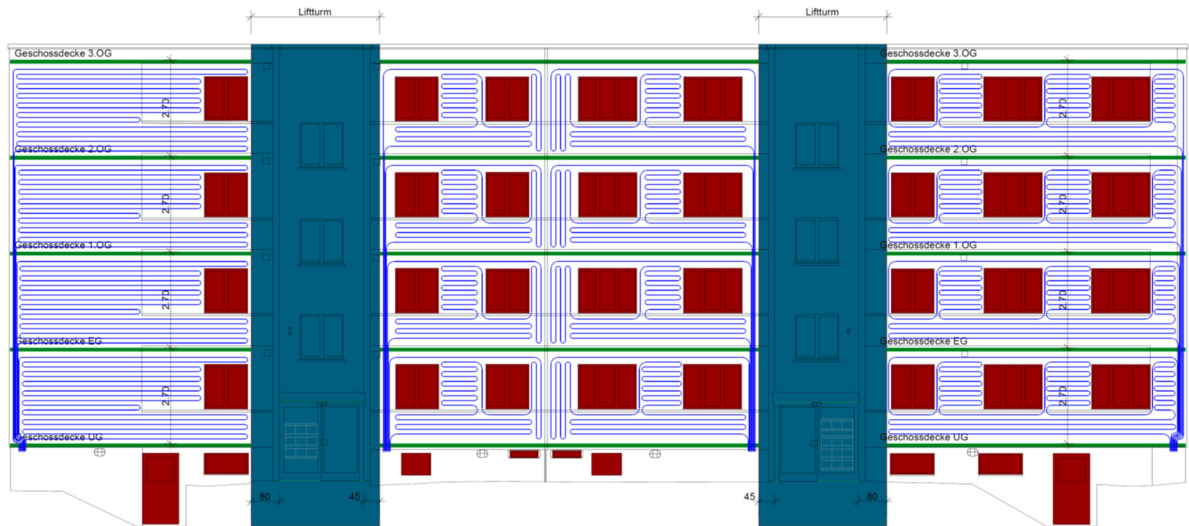


Abbildung 30: Wandheizung Ansicht NO

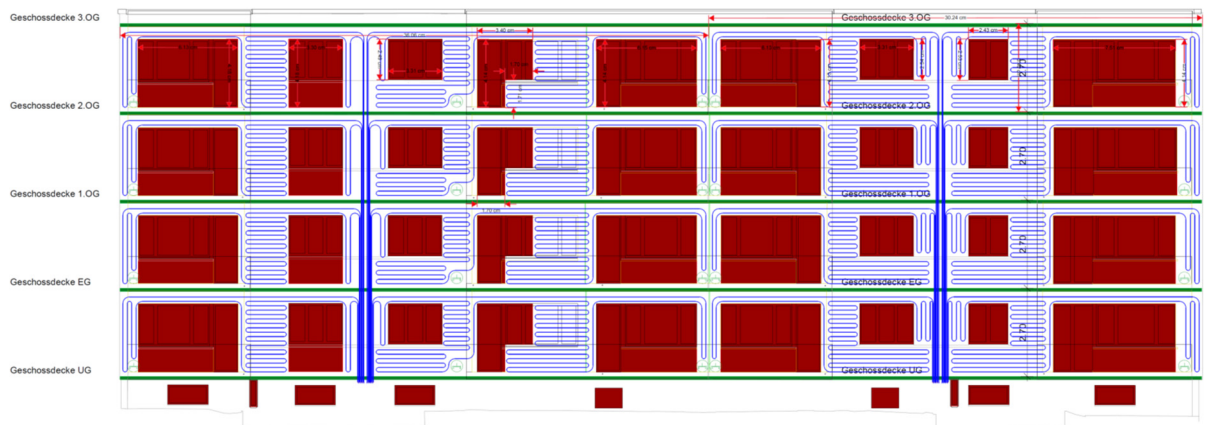


Abbildung 31: Wandheizung Ansicht SW

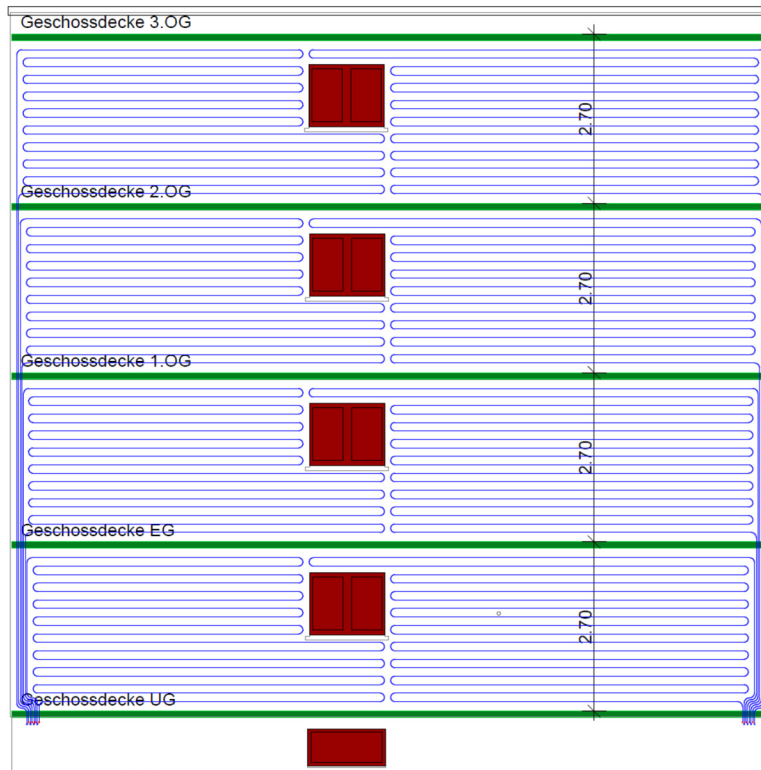


Abbildung 32: Wandheizung, Ansicht NW

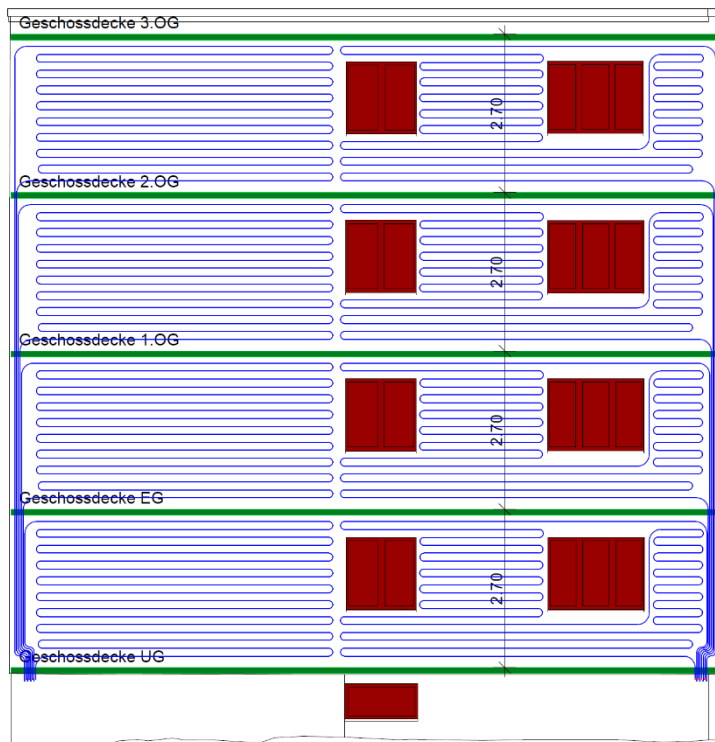


Abbildung 33: Wandheizung Ansicht SO

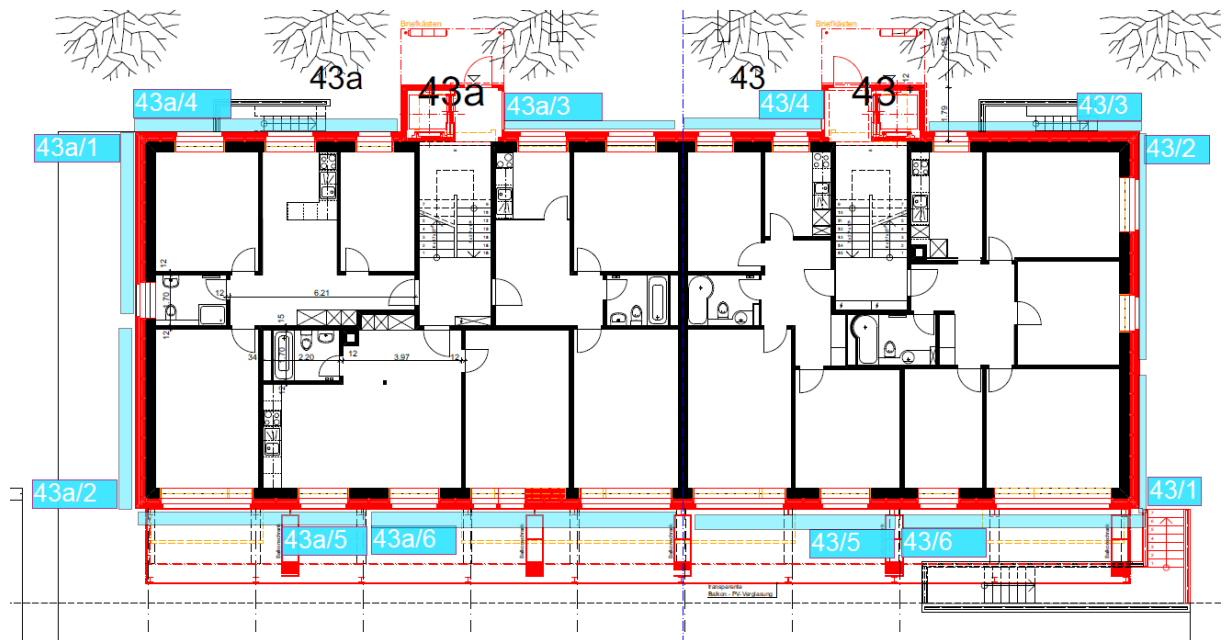


Abbildung 34: Ort und Nummerierung Verteilbalken (Verteilbalken liegen innen)



Gebäude 43					
Heizkreis 43/1	Fläche tot [m ²]	Fläche ohne Fenster [m ²]	Heizleistung EG und 3OG +10%	Volumenstrom (l/h)	Einstellung Topmeter [l/min]
43/1(EG)	15.1	15.1	256.2	44.2	0.74
43/1(1OG)	15.1	15.1	248.6	42.9	0.71
43/1(2OG)	15.1	15.1	248.6	42.9	0.71
43/1(3OG)	15.1	15.1	256.2	44.2	0.74
Tot				174.0	
Heizkreis 43/2					
43/2(EG)	18.4	14.9	252.8	43.6	0.73
43/2(1OG)	18.4	14.9	245.3	42.3	0.70
43/2(2OG)	18.4	14.9	245.3	42.3	0.70
43/2(3OG)	18.4	14.9	252.8	43.6	0.73
Tot				171.7	
Heizkreis 43/3					
43/3(EG)	18.36	16.86	286.0	49.3	0.82
43/3(1OG)	18.36	16.86	277.6	47.9	0.80
43/3(2OG)	18.36	16.86	277.6	47.9	0.80
43/3(3OG)	18.36	16.86	286.0	49.3	0.82
Tot				194.3	
Heizkreis 43/4					
43/4(EG)	12.54	9.54	161.8	27.9	0.47
43/4(1OG)	12.54	9.54	157.0	27.1	0.45
43/4(2OG)	12.54	9.54	157.0	27.1	0.45
43/4(3OG)	12.54	9.54	161.8	27.9	0.47
Tot				110.0	
Heizkreis 43/5					
43/5(EG)	19.17	10.56	179.1	30.9	0.51
43/5(1OG)	19.17	10.56	173.8	30.0	0.50
43/5(2OG)	19.17	10.56	173.8	30.0	0.50
43/5(3OG)	19.17	10.56	179.1	30.9	0.51
Tot				121.7	
Heizkreis 43/6					
43/6(EG)	21.6	12.32	209.0	36.0	0.60
43/6(1OG)	21.6	12.32	202.8	35.0	0.58
43/6(2OG)	21.6	12.32	202.8	35.0	0.58
43/6(3OG)	21.6	12.32	209.0	36.0	0.60
Tot				142.0	
Total	420.68	317.12	5300.0	913.8	

Abbildung 35: Berechneter Durchfluss Gebäude 43



Gebäude 43/a					
Heizkreis 43a/1	Fläche tot [m ²]	Fläche ohne Fenster [m ²]	Heizleistung EG und 3OG +10%	Volumenstrom (l/h)	Eingstellung Topmeter [l/min]
43a/1(EG)	15.72	14.5	252.2	43.5	0.72
43a/1(1OG)	15.72	14.5	244.7	42.2	0.70
43a/1(2OG)	15.72	14.5	244.7	42.2	0.70
43a/1(3OG)	15.72	14.5	252.2	43.5	0.72
Tot				171.4	
Heizkreis 43a/2					
43a/2(EG)	16.95	16.95	294.8	50.8	0.85
43a/2(1OG)	16.95	16.95	286.1	49.3	0.82
43a/2(2OG)	16.95	16.95	286.1	49.3	0.82
43a/2(3OG)	16.95	16.95	294.8	50.8	0.85
Tot				200.3	
Heizkreis 43a/3					
43a/3(EG)	16.038	14	243.5	42.0	0.70
43a/3(1OG)	16.038	14	236.3	40.7	0.68
43a/3(2OG)	16.038	14	236.3	40.7	0.68
43a/3(3OG)	16.038	14	243.5	42.0	0.70
Tot				165.4	
Heizkreis 43a/4					
43a/4(EG)	22.8	17.27	300.4	51.8	0.86
43a/4(1OG)	22.8	17.27	291.5	50.3	0.84
43a/4(2OG)	22.8	17.27	291.5	50.3	0.84
43a/4(3OG)	22.8	17.27	300.4	51.8	0.86
Tot				204.1	
Heizkreis 43a/5					
43a/5(EG)	20.38	11.44	199.0	34.3	0.57
43a/5(1OG)	20.38	11.44	193.1	33.3	0.55
43a/5(2OG)	20.38	11.44	193.1	33.3	0.55
43a/5(3OG)	20.38	11.44	199.0	34.3	0.57
Tot				135.2	
Heizkreis 43a/6					
43a/6(EG)	20.35	15.46	268.9	46.4	0.77
43a/6(1OG)	20.35	15.46	260.9	45.0	0.75
43a/6(2OG)	20.35	15.46	260.9	45.0	0.75
43a/6(3OG)	20.35	15.46	268.9	46.4	0.77
Tot				182.7	
Total	448.952	358.48	6142.8	1059.1	

Abbildung 36: Berechneter Durchfluss Gebäude 43a

Gebäude 43	
EBF [m ²]	Heizleistung bei -8 °C [W] (Simulation MAS)
937	5300
Gebäude 43a	
EBF [m ²]	Heizleistung (EBF Skaliert)
1086	6142.8
Spreizung [K]	5
Dichte H ₂ O [Kg/l]	1
c H ₂ O [Wh/kgK]	1.16

Abbildung 37: Annahmen zur Berechnung des nötigen Durchflusses. Die Heizleistung in Gebäude 43 wurde im Zuge einer Masterarbeit simuliert. Dieser Wert wurde anhand der EBF auf Gebäude 43a umgerechnet



9.5 Regelbeschrieb Übergeordnete Regelung

Regelungsbeschrieb – P&D – ProsumerSkin (Brünnenstrasse 43/43a)

Allgemeine Bedingungen und Anmerkungen

Eine übergeordnete Regelung übernimmt folgende Funktionen:

- Ein/Aus Heizkreispumpe (abhängig von Heizsaison und Wetterprognose)
 - o Wetterprognose (max 24h) → Aussentemperatur
 - o PV-Überschussstrom
- Keine Überladung des WW-Speichers, da über 60°C kaum erreicht wird über die Wärmepumpe. Einsatz vom Heizstab nicht sinnvoll!
- Alle gelb markierten Variablen und Werte sollten im Verlauf des Projektes veränderbar sein, da das SPF noch Simulationen bezüglich optimaler Regelung durchführen wird

Detaillierter Beschrieb Gebäude 43 (Gebäude 43a sehr ähnlich, einfach BWW-WP separat)

T_{vl} = Vorlauftemperatur

T_{rl} = Rücklauftemperatur

WMZ = Wärmemengenzähler

EZ = Elektrozähler

Heizsaison (HS):

Allgemein

Die Heizsaison ist aktiv, wenn das Gebäude aktuell Wärme benötigt oder in naher Zukunft benötigen wird.

Heizsaison, HS = 1 wenn:

$HS_{Standard} = 1$

Standard (HS_{st})

Die Standard Heizsaison bezieht sich auf die sonst übliche Heizgrenze (HG). Wenn die Aussentemperatur diese unterschreitet, wird ein Wärmebedarf vom Gebäude erwartet. Die Heizgrenze wird in einem ersten Schritt mit 15°C angenommen.

$HS = 1 = HG (15^{\circ}C) > Tamb_{12/12}$

Tamb_{12/12} ist der Mittelwert der Aussentemperatur aus den letzten 12h und den zukünftigen 12h.

$HS = 0 = HG (15^{\circ}C) < Tamb_{12/12}$



Wärmepumpe – Allgemeine Infos:

Die Wärmepumpe regelt den Kühlmittelkreis, Elektroheizstab, das Umschaltventil (WW) und die Umwälzpumpen selbst.

Die Wärmepumpen haben grundsätzlich zwei Betriebsmodi: Heizungsmodus und Warmwassermodus. Diese werden in der übergeordneten Regelung noch feiner unterteilt, da der Heizungs- und WW-Modus auch forciert werden können auf Grund der Wetterprognose oder des PV-Überschussstromes.

Die Regelung der Wärmepumpe, entscheidet autonom ob innerhalb einer Gruppe beide Wärmepumpen laufen oder nur eine, die übergeordnete Regelung hat keinen Einfluss darauf (Kompressor, Expansionsventil, Umwälzpumpen, Umschaltventil WW&Heizung und minimale Laufzeiten werden von der WP internen Regelung überwacht und geregelt).

Da über die SG-Ready Einstellungen lediglich die Modi Aus/Ein/Kann laufen verfügbar sind, werden über die übergeordnete Regelung die Pumpen für die Entladegruppen gesteuert sowie die Ventilstellung in Haus 43, um den zweiten Boiler zu beladen.

Heizungsmodus

Standard

Die Regelung aktiviert die Entladegruppen, wenn:

- Heizsaison ON (**HS=1**)

In Haus 43 werden folgende Relais aktiviert:

- Relais **9**: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (**9**)
- Relais **10**: Pumpe Radiatoren (**10**)

In Haus 43a werden folgende Relais aktiviert:

- Relais **14.1**: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (**11**)
- Relais **13**: Pumpe Radiatoren (**13**)

Smart

Die Regelung aktiviert die Entladegruppen, wenn:

- Heizsaison OFF (**HS=0**) und **Überschussstrom** (**6 kW**) vorhanden ist und Wetterprognose einen hohen Bedarf für die nächsten Tage erwarten lässt
- Wetterprognose schlecht = $T_{amb,24h+} < 15\text{ °C}$

Die Regelung deaktiviert die Entladegruppen, wenn:

- Heizsaison ON (**HS=1**) und Wetterprognose keinen Bedarf für die nächsten Tage erwarten lässt
- Wetterprognose gut = $T_{amb,24h+} > 15\text{ °C}$

Aus

Der Heizungsmodus wird deaktiviert, wenn:

- Heizsaison OFF (**HS=0**)

In Haus 43 werden folgende Relais deaktiviert:

- Relais 9: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (5)
- Relais 10: Pumpe Radiatoren (10)



In Haus 43a werden folgende Relais deaktiviert:

- Relais 14.1: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (11)
- Relais 13: Pumpe Radiatoren (13)

Bemerkung: die Heizgrenze kann sich während des Monitorings noch ändern, je nach Nutzerverhalten und Komfortansprüche der Nutzer

BWW-Modus

Standard

Die BWW-Produktion wird hauptsächlich durch die Wärmepumpe geregelt. Es lässt sich jedoch die Eigennutzung an PV-Strom optimieren. Aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen gibt es für die beiden Häuser dafür zwei unterschiedliche Strategien:

Haus 43

In Haus 43 kann bei Überschuss-PV (Überschuss wird nicht erfasst, daher bei einer Gesamtproduktion von (15 kW)) der zweite Speicher beladen werden, dafür wird das Umschaltventil Nummer 4 geschaltet und die Wärmepumpe bekommt über SG-Ready das Signal, das jetzt eine BWW-Ladung erfolgen kann (Bedingt durch die niedrige Temperatur im Speicher wird diese dann auch ausgeführt). Dafür werden folgende Relais geschaltet:

- Relais 9 (löst ebenfalls Relais 10 aus): Ventil (4) und Wärmepumpe werden gleichzeitig geschaltet
- Um Takten der WP zu verhindern und den Speicher zu beladen, muss das Relais mindestens 2h geschaltet sein und darf nur einmal am Tag erfolgen. Das Relais muss daher nach einer Ladung bis zum nächsten Tag gesperrt werden.

Haus 43a

In Haus 43a sollte der 2te Boiler nicht separat gesteuert werden, da der Vorlauf der Zirkulation aus Boiler 1 als Rücklauf in Boiler 2 läuft.

Um hier den PV-Eigenverbrauch zu erhöhen, wurde im März 23 eingestellt, dass eine BWW-Beladung nur zwischen 10 und 15 Uhr möglich ist.

Bei einer PV-Stromproduktion von 15 kW werden über SG-Ready die Speicher mit maximaler Vorlauftemperatur geladen.

- Um Takten der WP zu verhindern und den Speicher zu beladen, muss das Relais mindestens 2h geschaltet sein und darf nur einmal am Tag erfolgen. Das Relais muss daher nach einer Ladung bis zum nächsten Tag gesperrt werden.



Heizkreispumpe Wandheizung + Fussbodenheizung:

Normalbetrieb	Pumpen schalten wie oben beschrieben
Spülbetrieb	In den Monaten Juli/August geht die Heizkreispumpe und das Ventil 14 auf Spülbetrieb (siehe nächstes Kapitel) In Haus 43 werden folgende Relais aktiviert: - Relais 9: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (9) - Relais 5: Ventil Fussbodenheizung schliesst (11) In Haus 43a werden folgende Relais aktiviert: - Output 4: Relais 14.1: Pumpe Fussbodenheizung/Wandheizung (11) - Output 7: Relais 36: Ventil Fussbodenheizung schliesst (34)

Spülbetrieb Verteilerbalken (14):

Normalbetrieb	Alle Ventile offen
Spülbetrieb	Heizkreispumpe im Spülbetrieb 2 Jahre, dann diese Funktion abschalten voraussichtlich Zwei Heizkreisverteiler öffnen, Rest schliessen (Durchfluss sollte 150 L/h sein) Alle zwei Stunden Heizkreisverteilerbalken wechseln In Haus 43 werden 2 Relais geschaltet - Relais 6 und 7 (Relais 8 deaktiviert) für 2h, dann - Relais 7 und 8 (Relais 6 deaktiviert) für 2h, dann - Relais 8 und 6 (Relais 7 deaktiviert) für 2h, dann wieder von vorne In Haus 43a werden 2 Relais geschaltet - Relais 11 und 14.2 (Relais 14.3 deaktiviert) für 2h, dann - Relais 14.2 und 14.3 (Relais 11 deaktiviert) für 2h, dann - Relais 14.3 und 11 (Relais 14.2 deaktiviert) für 2h, dann wieder von vorne

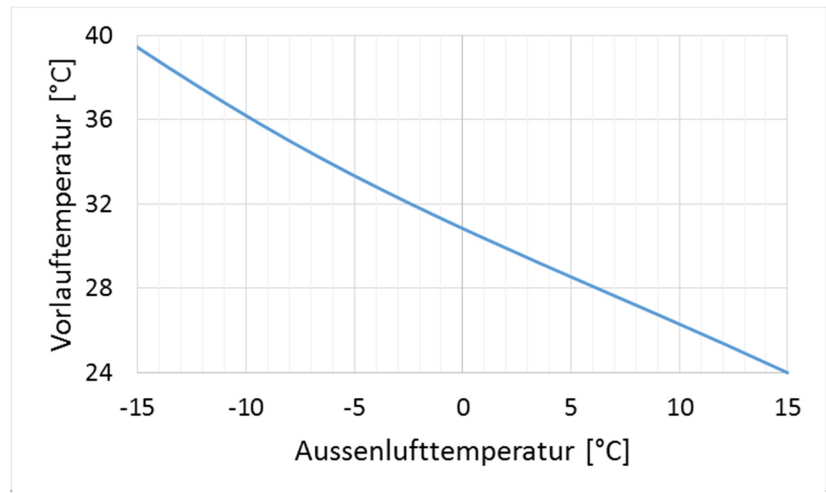
Heizkreispumpe Lüftung (12) nur Haus 43a:

Bleibt bei der Wärmepumpensteuerung

Heizkurve:



Allgemein



Aussenlufttemperatur

Wird von der Wärmepumpe separat erfasst, keine direkte Beeinflussung möglich

Heizstab Heizung:

Grundsätzlich

Wird über die WP geregelt und nur bei Unterschreitung der Auslegungstemperatur dazu geschaltet oder bei Ausfall der Wärmepumpe.

Heizstab Warmwasser-Speicher:

Grundsätzlich

Wird zu Sicherheit nur manuell geschaltet, damit dieser nicht dauerhaft an ist. Kann remote über das Web interface gesteuert werden. Siedlungswart und GoZmart bekommen Alarmmail, wenn die Boilertemp. 38°C unterschreitet.

Ein/Aus

Nur im Notfall, wenn WP defekt oder gesperrt sind und WW-Bedarf dringend ist

Mischventile Heizkreis (Nr: 5 & 6 → 43 / 9 & 10 → 43a):

Grundsätzlich

Steuerung bleibt bei der Wärmepumpe, da wir keine Heizkurve in übergeordneter Regelung nutzen können.

Ein/Aus

Bleiben eingeschaltet, da Wärmepumpe keine konstante Temperatur liefern kann.

Wärmepumpenstörung:

Grundsätzlich

Bei Störung kann ein Signal an die übergeordnete Regelung geschickt werden und ein Mail an den Siedlungswart geschickt werden.



9.6 Datenblätter

SPEZIFIKATIONEN FÜR STANDARDGRÖSSE IN SCHWARZ

MECHANISCHE SPEZIFIKATIONEN

PowerMax® SKALA	Wert
Außenabmessungen	1587 x 664 mm ²
Dicke	38 mm
Gewicht	17 kg
Zelltyp	CIGS
Rahmen	ohne
Frontabdeckung	3,2 mm gehärtetes Glas
Anschlussdosentyp	IP65
Abmessungen der Anschlussdosen	70 x 64 x 13 mm ³
Kabelängen (⊖ Stecker ⊕ Buchse)	180 310 mm
Kabelquerschnitt	2,5 mm ²
Steckertyp	LC4

ELEKTRISCHE SPEZIFIKATIONEN

Daten gemessen unter Standard-Testbedingungen (STC)*:

PowerMax® SKALA	Wert
Nominalleistung P_{nom}	135 W
Toleranz der Nominalleistung ΔP_{nom}	-0/+4%
Modul-Wirkungsgrad η	12,8 %
Apertur-Wirkungsgrad η	14,2 %
Leerlaufspannung U_{oc}	59,2 V
Kurzschlussstrom I_{sc}	3,35 A
Spannung im mpp U_{mp}	44,9 V
Stromstärke im mpp I_{mp}	3,01 A
Rückstrombelastbarkeit I_r	5,0 A
Max. Systemspannung U_{sys} (IEC)	1000 V
Max. Systemspannung U_{sys} (UL)	600 V

* Bestrahlungsstärke 1000 W/m² in der Modulebene, Modultemperatur 25 °C und eine Spektralverteilung der Bestrahlung gemäß der atmosphärischen Masse (AM) 1,5.

Daten gemessen bei Zellen-Nennbetriebstemperatur (NOCT)** und AM 1,5:

PowerMax® SKALA	Wert
NOCT	40 °C
Nominalleistung P_{nom}	101 W
Leerlaufspannung U_{oc}	56,2 V
Kurzschlussstrom I_{sc}	2,68 A
Spannung im mpp U_{mp}	42,3 V

** NOCT: Modultemperatur bei 800 W/m² Bestrahlungsstärke in der Modulebene, Lufttemperatur 20 °C, Windgeschwindigkeit 1 m/s und Leerlaufzustand.

Temperaturkoeffizienten:

PowerMax® SKALA	Wert
Temperaturkoeffizient P_{nom}	-0,39 %/°C
Temperaturkoeffizient U_{oc}	-170 mV/°C
Temperaturkoeffizient I_{sc}	0 mA/°C

Daten gemessen bei geringer Strahlungsintensität:

Die relative Verringerung des Modulwirkungsgrads bei einer Strahlungsintensität von 200 W/m², bezogen auf 1000 W/m² bei 25 °C Modultemperatur und Spektrum AM 1,5, beträgt 6 %. Bei 500 W/m² beträgt die relative Steigerung des Modulwirkungsgrads +1 %.

Die Messgenauigkeit von P_{nom} beträgt ±3,5 %. Aufgrund der kontinuierlichen Forschung und Produktverbesserung unterliegen die Spezifikationen in diesem Produktdatenblatt Veränderungen ohne vorherige Veröffentlichung. Alle Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis. Aus diesem Datenblatt lassen sich keine Rechte ableiten. Montagehilfsmittel sind im Lieferumfang nicht enthalten.



- Bauartzulassung, IEC 61646
- Sicherheitsqualifikation, IEC 61730
- Ammoniak-Korrosionsprüfung, IEC 62716
- Salznebel-Korrosionsprüfung, IEC 61701



AVANCIS GmbH
Solarstraße 3, 04860 Torgau, Deutschland
Telefon +49 (0) 3421 7388-0
info@avancis.de
www.avancis.de

AVANCIS CNBM

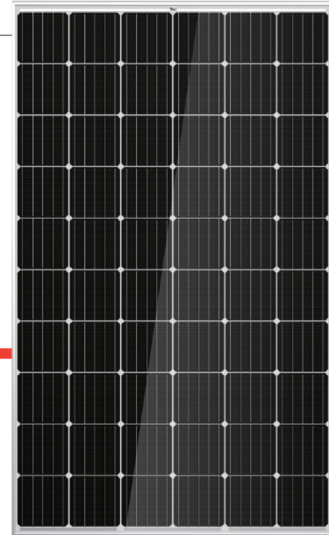
Abbildung 38: Datenblatt PV-Modul Fassade



Mono Multi Solutions

THE Honey^M plus⁺

FRAMED 60-CELL MODULE



60 CELL
MONOCRYSTALLINE MODULE

275-315W
POWER OUTPUT RANGE

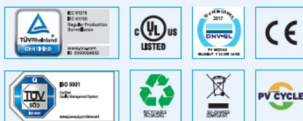
19.2%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

Comprehensive Products And System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703/IEC62716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse gases Emissions Verification
OHSAS 18001: Occupation Health and Safety Management System



Trinasolar



Excellent low light performance on cloudy days, mornings and evenings

- Advanced surface texturing
- Back surface field
- Selective emitter



Maximize limited space with top-end efficiency

- Up to 192W/m² power density
- Low thermal coefficients for greater energy production at high operating temperatures



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 100% EL double inspection

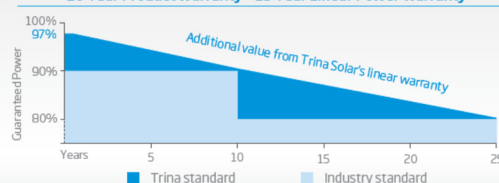


Certified to withstand the most challenging environmental conditions

- 2400 Pa wind load
- 5400 Pa snow load
- 35 mm hail stones at 97 km/h

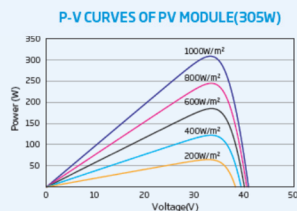
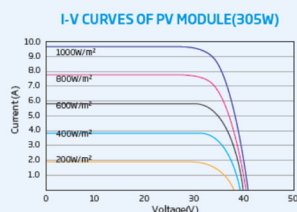
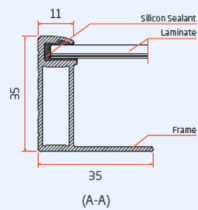
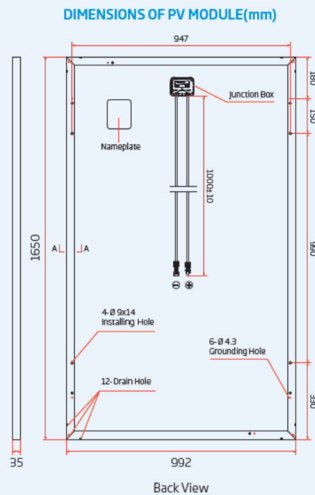
LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 25 Year Linear Power Warranty





PRODUCTS	POWER RANGE
TSM-DD05A(II)	280-315W
TSM-DD05A.08(II)	280-315W
TSM-DD05A.05(II)	275-310W

**ELECTRICAL DATA (STC)**

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	275	280	285	290	295	300	305	310	315
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5								
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	31.4	31.7	31.8	32.2	32.5	32.6	32.9	33.1	33.3
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	8.76	8.84	8.97	9.01	9.08	9.19	9.28	9.37	9.46
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	38.4	38.4	38.5	38.9	39.6	39.8	40.0	40.2	40.5
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.24	9.42	9.51	9.66	9.68	9.77	9.85	9.94	10.0
Module Efficiency η_m (%)	16.8	17.1	17.4	17.7	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: $\pm 3\%$.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	205	209	212	216	220	223	227	231	235
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	29.1	29.4	29.5	29.9	30.1	30.2	30.5	30.7	30.9
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	7.04	7.10	7.21	7.24	7.30	7.38	7.46	7.53	7.60
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	35.7	35.7	35.8	36.2	36.8	37.0	37.2	37.4	37.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	7.46	7.61	7.68	7.80	7.82	7.89	7.95	8.03	8.10

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline 156.75 × 156.75 mm (6 inches)
Cell Orientation	60 cells (6 × 10)
Module Dimensions	1650 × 992 × 35 mm (65.0 × 39.1 × 1.38 inches)
Weight	18.6 kg (41.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Backsheet	White [DD05A(II), DD05A.08(II)]; Black [DD05A.05(II)]
Frame	Silver Anodized Aluminium Alloy [DD05A(II)]; Black Anodized Aluminium Alloy [DD05A.08(II), DD05A.05(II)]
J-Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), 1000 mm (39.4 inches)
Connector	MC4/UTX/TS4/QC4*

* Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	44°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	- 0.39%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	- 0.29%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC) 1000V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	15A (Power $\leq 285\text{W}$) 20A (Power $\geq 290\text{W}$)

(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 840 pieces



Combo-Cell™



6" Mono-Crystalline Silicon Solar Cell

3 busbar / Alkaline

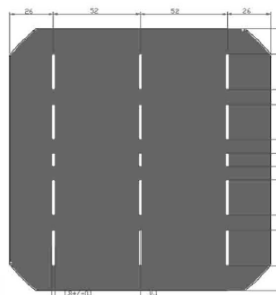
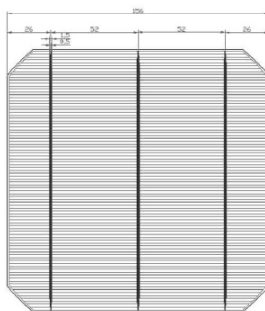
Features of BIG SUN's Cells



The know-how on "Combo-Cell™" leads the industry with more than average conversion efficiency of mono-crystalline silicon cells with average efficiencies of 19.4% in mass production.
By incorporating an optimal electrode layout, the output power of solar module with 60pcs of "Combo-Cell™" can surpass 265W then.

- | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| ■ High Output Power | ■ Low Breakage Rate | ■ Strict LID Control |
| ■ High Shunt Resistance | ■ Low Reverse Current | ■ PID Resistance |
| ■ Low CTM Loss | | |

Pattern



Physical Characteristics

- Dimension : 156mm x 156mm $\pm$ 0.5mm
- Diagonal : 200mm $\pm$ 1.0mm (round chamfers)
- Thickness (Si) : 200 μ m $\pm$ 30 μ m
- Front : Anisotropically texturized surface
 - Dark blue / others silicon nitride antireflection coating
 - Silver busbars
- Back : Full face aluminum BSF
 - Silver / Aluminum busbars

Typical Temperature Coefficients

- Voltage : -2.15 mV/K
- Current : +4.4mA/K
- Power : -0.43 %/K



BIG SUN Energy Technology Inc.
The professional solar energy manufacturer
www.bigsun-energy.com

No. : 4-RC01-0000-12

Ver. : 04



6" Mono-Crystalline Silicon Solar Cell (3 busbar / Alkaline)

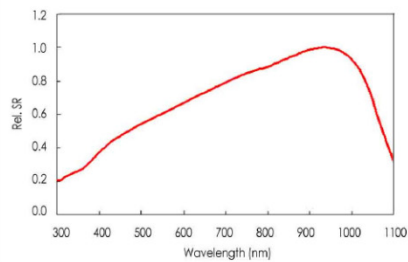


Electrical Characteristics

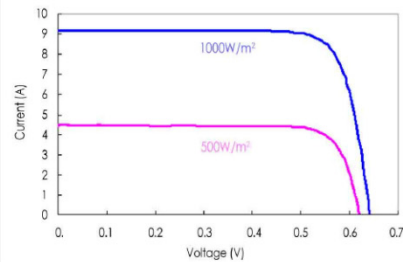
Efficiency Code	Efficiency(%)	Pmax(W)	Vmpp(V)	I _{mp} (A)	Voc(V)	I _{sc} (A)
1970	≥ 19.7	≥ 4.706	0.542	8.677	0.642	9.195
1960	19.6	4.682	0.541	8.670	0.641	9.194
1950	19.5	4.658	0.539	8.663	0.641	9.193
1940	19.4	4.634	0.537	8.654	0.640	9.191
1930	19.3	4.610	0.535	8.641	0.639	9.185
1920	19.2	4.586	0.534	8.624	0.638	9.178

- Data under standard testing conditions (STC) : 1,000 W/M², AM1.5, 25°C.
- All figures bear ±3% of tolerance.
- The measurement of cell is calibrated by Fraunhofer ISE.
- Model name = Product code + Efficiency code. example: B156S1D2B-1950

Spectral Response



IV-Curve of Cell : 1950



太陽光電能源科技股份有限公司
BIG SUN Energy Technology Inc.

新竹 FABI (Hsinchu FABI) : 303 新竹縣湖口鄉新興路458-9號 (唐榮科技園區內)
No.458-9, Sinsing Rd., Hukou Township, Hsinchu County 303, Taiwan (R.O.C.)
TEL : +886 3 598-0288 FAX : +886 3 598-0299

台中 FABI (Taichun FABI) : 421 台中市后里區后科南路36號
No.36, Houke S. Rd., Houli Dist., Taichung City 42152, Taiwan (R.O.C.)
TEL : +886 4 2557-7699 FAX : +886 4 2557-7136



BIG SUN Energy Technology Inc.
The professional solar energy manufacturer
www.bigsun-energy.com

No. : 4-RC01-0000-12

Ver. : 04

Abbildung 40: Datenblatt PV-Anlage Balkon



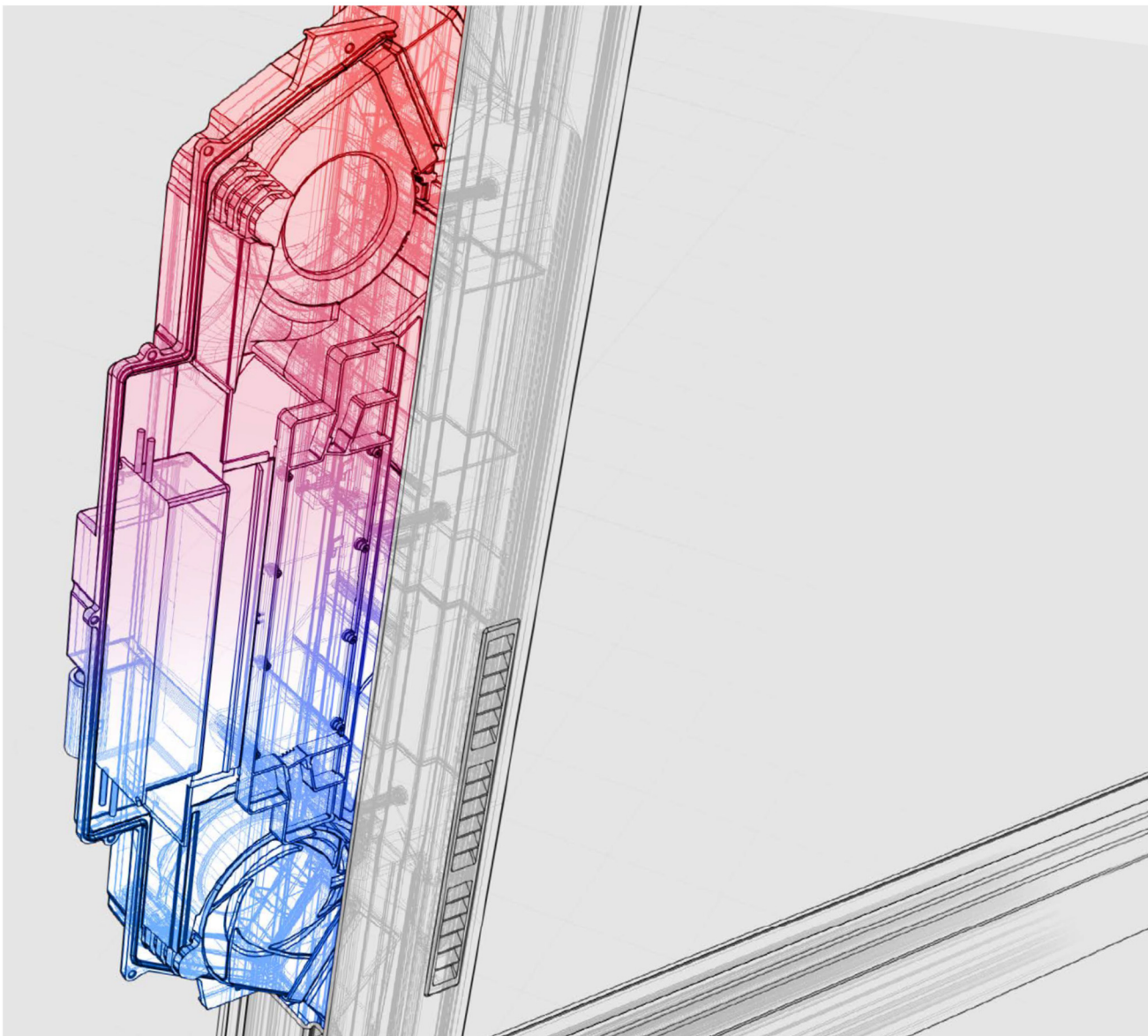
Internorm



LÜFTEN DER ZUKUNFT

Individuell. Automatisch. Gesund.

I-tec Lüftung



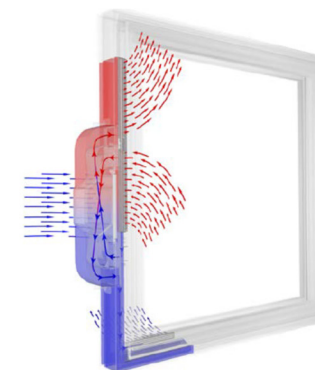
SIE MÖCHTEN MEHR ERFAHREN?

HIER BIETEN WIR IHNEN ALLE
INFORMATIONEN ÜBER DIE TECHNIK
IM DETAIL.

Energieeffiziente Häuser müssen eine hohe Luftdichtheit erreichen. Durch diese veränderten Bauweisen sowie neue Heizsysteme wird das Entstehen von Kondensation gefördert. Richtiges Lüften ist die einzige Möglichkeit dem entgegenzuwirken und ein gesundes Raumklima für Ihr Wohlbefinden zu schaffen. Dezentrale Wohnraumlüftungen sind in der Anschaffung meist kostengünstig und aufgrund von kurzen Luftleitungen besser für die Hygiene.

Mit dem IV 40 bietet Internorm eine Lüftung an, die direkt im Fensterrahmen integriert ist. Dies bietet zahlreiche Vorteile:

- jeder Raum kann bedarfsgerecht gelüftet werden
- die Intensität des Luftaustausches kann je Raum geregelt werden
- kurze Luftleitungen für bessere Hygiene
- bei Sanierungen kann der Lüfter problemlos eingebaut werden
- die Optik der Fassade bleibt ungestört
- einfache und kostengünstige Installation





Gute, gesunde Luft setzt sich aus verschiedenen Qualitätskriterien zusammen. Die wichtigsten Eigenschaften sind die Luftfeuchte, die Raumtemperatur und der CO₂-Gehalt. Aber auch Pollen und Staub tragen dazu bei, ob die gute Luft auch wirklich gesund für den Körper ist.

Speziell der CO_2 -Gehalt in geschlossenen Räumen wird schnell überschritten. Die Folgen sind Kopfschmerzen, Schwindel, Konzentrationsschwäche.

Wie schnell der CO_2 -Gehalt über 1.500 ppm (Innenraumrichtwert in parts per million) überschritten wird, veranschaulichen diese drei Beispiele (lt. eigenen Berechnungen):

Wohnzimmer, 25m ² , 3 Personen	< 2 h
Klassenzimmer, 70m ² , 20 Personen	< 1 h
Büro, 30m ² , 4 Personen	< 1,5 h

Durch zu hohe Feuchtigkeit im Raum kann Schimmel entstehen. Und eine hohe Luftfeuchte ist schnell erreicht. Eine vierköpfige Familie zum Beispiel gibt pro Tag rund 12 Liter Feuchtigkeit ab. Die stärksten Feuchtigkeitsquellen sind das Kochen, Duschen und die Hausarbeit. Richtiges und konsequentes Lüften ist daher extrem wichtig.

Zwei- bis viermal täglich für mind. fünf Minuten Stoßlüften

gilt als alte Hausregel für einen guten Luftaustausch. Doch auf diese Weise können Sie nie sicher sein, ob genügend Luft ausgetauscht wurde.

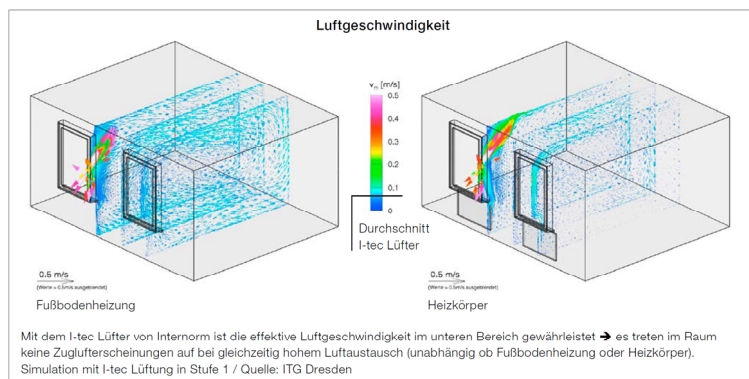
Der I-tec Lüfter von Internorm misst ständig die Luftfeuchte im Raum und aktiviert automatisch bei Bedarf die Lüftung. Damit können Sie sicher gehen, dass permanent eine perfekte Luftfeuchtigkeit im Raum herrscht.

Unsere Gebäudehüllen werden immer dichter. Egal ob Sanierung oder Neubau – unsere Häuser werden aufgrund von neuen Wandaufbauten, Wärmedämmungen oder hochwertigen Verglasungen bei Fenstern immer dichter.

Der Vorteil: dadurch ist es gelungen, die Energieverluste zu senken und somit Heizkosten zu sparen.

Der Nachteil: die Luft, die früher über schlechte Dämmung oder Verglasungen ständig zirkulierte, wird abgehalten.

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung hilft beim Energiesparen. Mithilfe der abgesaugten warmen Raumluft erwärmt ein Wärmetauscher die angesaugte Frischluft von außen. Bei der I-tec Lüftung von Internorm ist mit diesem Vorgang eine Wärmerückgewinnung von bis zu 93 % möglich.



LÜFTUNGSSYSTEME

Ein großer Vorteil ist, dass jeder Raum einzeln gesteuert werden kann. Diese raumbezogene Lüftung ist auch eine Grundvoraussetzung für unterschiedliche Temperaturniveaus der Räume. Ein weiterer Vorteil sind die kurzen Wege zwischen innen und außen. Dadurch müssen keine schwer zu reinigenden Rohrlösungen verlegt werden.

Es wird empfohlen in jedem Raum einen Lüfter einzubauen. Speziell in Räumen wie Schlafzimmer, Bad, Küche und Wohnzimmer ist eine ausreichende Frischluftzufuhr wichtig. Bei größeren Räumen oder höherem Bedarf an Frischluft sollten zwei Lüfter eingebaut werden.

In der I-tec Lüftung von Internorm ist ein Wärmetauscher integriert, der die Energie der verbrauchten Luft nutzt. Dieser erreicht einen Wirkungsgrad von bis zu 93 %. Bei einer klassischen Stoßlüftung würde diese Energie verloren gehen. Gegenüber der konventionellen Lüftung können damit bis zu 20 kWh/m² Energie eingespart werden.

Nein. In der Software des Lüfters ist ein Vereisungsschutz integriert. Besteht die Gefahr, dass der Wärmetauscher vereist, schaltet sich automatisch der Vereisungsschutz ein. Die Luftmengen werden dabei so geregelt, dass ein Vereisen ausgeschlossen werden kann. Notfalls wird auch der Lüfter abgestellt.

Nein. Der Wärmetauscher kann jedoch ausgebaut werden und mit Wasser durchgespült werden. Es dürfen jedoch keine aggressiven Reinigungsmittel verwendet werden. Vor dem Einbau ist darauf zu achten, dass der Wärmetauscher wieder vollständig trocken ist.

Die Luftführung erfolgt durch im Fensterrahmen integrierte Luftkanäle. Dadurch sind keine Mauerdurchbrüche in Wänden oder Fassaden nötig. Auch das entstehende Kondensat wird kontrolliert über die Luftkanäle abgeführt.

Zur Verbesserung der Luftströmung und zur Vermeidung von Verschmutzungen der Luftkanäle wurden die Kanäle so kurz wie möglich und sehr glatt ausgeführt. Änderungen der Luftführung sind strömungstechnisch optimiert ausgeführt.

Die beiden Innengitter können verschlossen werden. Dadurch kann verhindert werden, dass von außen Luft in den Raum strömt, wenn der Lüfter ausgeschaltet ist. Damit wird auch vermieden, dass Zuglufterscheinungen auftreten.

Schließt man die Lüftungsgitter bei eingeschaltetem Lüfter, schaltet sich der Lüfter automatisch aus und schaltet sich wieder in die vorher eingestellte Stufe sobald die Klappen wieder geöffnet werden.



PLANUNG

Was ist bei der Planung in Bezug auf den Bauanschluss zu berücksichtigen?

Es ist auf die Maueröffnung und Verblendung auf der Seite des Lüfters zu achten. Weiters soll das Gehäuse keinen direkten Kontakt zur Mauer haben um die Schallübertragung zu minimieren.

Was passiert bei einem Stromausfall?

Kein Problem. Die I-tec Lüftung von Internorm schaltet sich automatisch wieder ein, sobald der Strom wieder verfügbar ist und stellt die vorher eingestellte Lüfterstufe ein.

Kann ich den Lüfter an eine Haussteuerung anbinden?

Ja. Der I-tec Lüfter IV40 ist in die Internorm Gebäudesteuerung I-tec SmartWindow integriert und kann damit gesteuert werden.

Durch die Gebäudesteuerung können folgende Funktionen manuell oder zeitgesteuert geregelt werden:

- Lüfterstufe erhöhen
- Lüfterstufe senken
- Lüfterstufen direkt aufrufen aus Szenen od. Tasks
- Automatikmodus ein bzw. ausschalten
- Turbomodus einschalten
- Lüfter komplett ausschalten

Kann es aufgrund der nebeneinanderliegenden Lüftungsgitter zu einem Lüftungstechnischen Kurzschluss kommen?

Das Verhalten der Luftströmung wurde am Institut für

Technische Gebäudeausrüstung Dresden untersucht. Die Wahrscheinlichkeit ist sehr gering.

Entsteht ein Über- oder Unterdruck im Gebäude wenn der Lüfter eingeschaltet ist?

Grundsätzlich arbeitet die Lüfterregelung so, dass im Raum ein geringfügiger Unterdruck entsteht (lt. Auslegung der DIBt-Richtlinie für Wohnraumlüftungen). Dieser wird jedoch massiv von den Druckverhältnissen im Gebäude bzw. den Druck-/Sog-Verhältnissen aufgrund von Windlasten überlagert.

Bei Betrieb einer offenen Feuerstätte oder Gastherme sollte mit einem Rauchfangekehrer Kontakt aufgenommen werden. Zur vollständigen Absicherung muss gegebenenfalls beim Betrieb einer Feuerstätte zusätzlich ein Druckwächter im Raum installiert werden.

Ist ein nachträglicher Einbau des Lüfters in ein bestehendes Fenster möglich?

Nein. Der Lüfter muss bereits bei der Bestellung des Fensters mitbestellt werden. Ein nachträglicher Einbau des Lüfters ist aufgrund der komplexen Ausfräsung im Kunststoffprofil nicht möglich.

Ist der I-tec Lüfter IV40 auch in der Sanierung einsetzbar?

Ja, gerade in der Sanierung ist der IV40 ideal, da man mit wenig Aufwand (nur durch den Kauf mit dem Fenster) einen dezentralen Lüfter integrieren kann.

FILTER

Gibt es einen Pollenfilter?

Ein Pollenfilter der Klasse M5 ist bereits als Standardfilter in der I-tec Lüftung von Internorm eingesetzt.

Sind die Filter waschbar?

Nein, die Filter sind nicht waschbar und müssen bei Aufleuchten der roten LED durch neue Filter ersetzt werden.

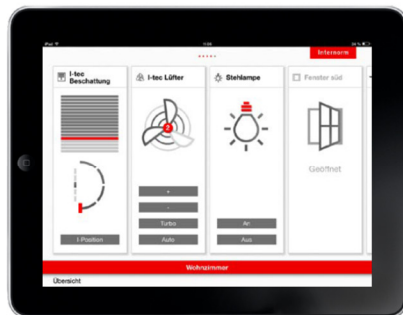
Wie oft muss der Filter getauscht werden?

Ein Filtertausch wird durch eine durchgehend leuchtende rote LED am Bedienteil angezeigt. Der Filter muss ca. 1x jährlich getauscht werden.

Die Erfahrungen zeigen, dass in den Frühlingsmonaten die Filter schneller verschmutzt sind als in den Sommermonaten.

Warum muss der Filter 1x jährlich getauscht werden?

Der Filter ist aus hygienischen Gründen mindestens 1x jährlich zu tauschen. Ein weiterer Grund ist die geringere Luftdurchlässigkeit bei zu großer Staubablagerung auf dem Filter.





STEUERUNG

Warum gibt es einen Turbo-Modus?

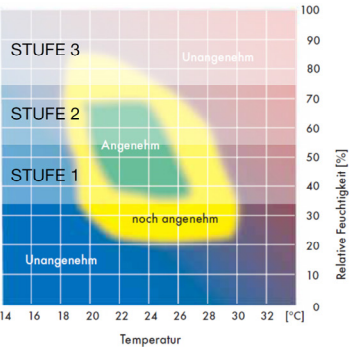
Das lässt sich am einfachsten anhand eines Beispiels erklären:
Sie gehen am Morgen duschen. Dadurch entsteht im Raum eine hohe Luftfeuchtigkeit. Da Sie in die Arbeit müssen, bleibt keine Zeit mehr zu lüften und die Feuchtigkeit bleibt im Raum. Durch den Turbomodus – der Turbomodus läuft für 1 Stunde auf höchster Stufe – wird ein hoher Luftaustausch sichergestellt und die Feuchtigkeit rasch beseitigt. Wenn Sie am Abend von der Arbeit nach Hause kommen haben Sie frische Luft im Raum. Durch das Zurückschalten auf die vorher gewählte Stufe wird nicht unnötig viel Luft ausgetauscht, und damit Energie gespart.

Ist eine Zeitsteuerung des Lüfters möglich?

Durch eine Anbindung des Lüfters an die Gebäudesteuerung I-tec SmartWindow kann eine zeitliche Steuerung des Lüfters durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit der Zeitsteuerung bietet eine Zeitschaltuhr in der Zuleitung.

Ist eine Steuerung des Lüfters nach Luftqualität möglich?

Die Steuerung nach Luftqualität (CO₂, VCO) ist im Moment noch nicht möglich.



Im Automatikmodus schaltet der Lüfter selbständig über die aus der Abluft ermittelte Feuchte die notwendige Leistungsstufe ein. Bei einer Zulufttemperatur über der Raumtemperatur wird die Automatikfunktion ausgeschaltet.

Eine automatische Steuerung über die Luftfeuchtigkeit im Raum ist auch ohne externe Steuerung möglich, da entsprechende Feuchtesensoren im Lüftungsgerät verbaut sind – siehe Automatikmodus.

Wie funktioniert der Automatik-Modus?

Der Automatikmodus steuert die Lüfterstufen über die Raumluftfeuchte. Die relative Feuchtigkeit wird über einen Feuchtigkeitssensor im Lüftergehäuse gemessen. Dabei wird darauf geachtet, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Raum lt. Diagramm immer im angenehmen Bereich bleibt.

Warum deaktiviert sich der Automatikmodus wenn die Außentemperatur höher ist als die Raumtemperatur?

Ist die Außentemperatur höher als die Raumtemperatur schaltet der Automatikmodus ab und der Lüfter schaltet sich auf STANDBY. Dadurch wird verhindert, dass bei gewissen Wetterlagen (hohe Außentemperatur und hohe Luftfeuchte) die Luftfeuchte im Raum erhöht wird. Eine manuelle Steuerung ist jederzeit möglich.

Warum schaltet sich der Lüfter unter 8°C Raumtemperatur ab?

Unter 8°C Raumtemperatur kann ein sicherer Betrieb des Lüfters nicht mehr gewährleistet werden, da der Frostschutzmodus unter 8°C nicht mehr korrekt arbeitet.



TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEIN

	Luftaustausch	Leistungs- aufnahme	Wirkungsgrad	Standard- schalldruckpegel
Standby		1,5 W		
Stufe 1	9 m³/h	6 W	93,2 %	≤ 22,1 dB
Stufe 2	15 m³/h	8 W	86,9 %	33,4 dB
Stufe 3	31 m³/h	24 W	77,4 %	49,3 dB
Stufe 4 (Turbo)	39 m³/h	36 W	73,9 %	

Quelle: Institut HKL Stuttgart

Schalldämmung D_{n,w} (C ; C_n):

Klappen geöffnet: 50 (-1; -3) dB

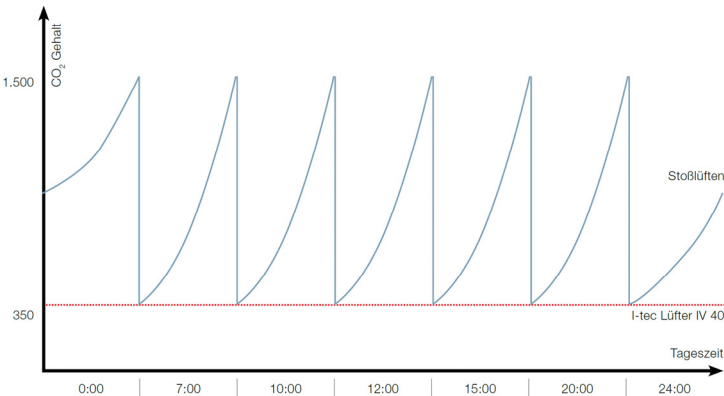
Klappen geschlossen: 52 (-1; -3) dB

Quelle: Ift Rosenheim

Die Energieeinsparung durch das Lüften mit Wärmetauscher ist größer als der Energiebedarf des Lüfters. Die durchschnittlichen Stromkosten betragen pro Lüfter pro Jahr ca. € 10,-

Mindesthöhe Fensterelement

Die I-tec Lüftung kann in Fensterelemente ab einer Höhe von 982 mm eingebaut werden.



Internorm

Abbildung 41: Auszug Datenblatt Internorm

Technische Daten Aeroheat CN Aussengeräte

1/2

AH CN 5a bis AH CN 9a Luft/Wasser-Ausführung mit Aeroplus Regler

Wärmepumpentyp	AH CN 5a	AH CN 7a	AH CN 9a
Aufstellung	Wand/Boden		
Regler Aeroplus	in Inneneinheit		
EHPA-Zertifikat	CH-HP-00309		

Normleistungsdaten (nach EN 14511)

Bei A7 / W35	Qh/COP	kW /-	7.1 / 4.8	8.5 / 4.3	10.1 / 4.12
Bei A7 / W50	Qh/COP	kW /-	6.6 / 3.3	8.3 / 3.2	9.6 / 3.1
Bei A2 / W35	Qh/COP	kW /-	5.6 / 3.8	7.7 / 3.8	9.0 / 3.6
Bei A10 / W35	Qh/COP	kW /-	7.5 / 5.0	10.5 / 5.1	11.3 / 4.5
Bei A-7 / W35	Qh/COP	kW /-	4.6 / 3.2	6.3 / 3.2	7.5 / 3.12
Bei A-7 / W50	Qh/COP	kW /-	4.0 / 2.1	5.8 / 2.2	7.3 / 2.4
Bei A-15 / W65	Qh/COP	kW /-	2.7 / 1.4	4.2 / 1.4	5.7 / 1.4

Energieklasse / Leistungsdaten (durchschnittliche Klimaverhältnisse)

Energieeffizienzklasse 35 °C / 55 °C		A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++
Wärmenennleistung Prated 35 °C / 55 °C	kW	6.0 / 5.0	9.0 / 8.0	10.0 / 10.0
Energieeffizienz η_s 35 °C / 55 °C	%	163 / 125	158 / 127	150 / 126
SCOP (nach EN 14825) 35 °C / 55 °C		4.15 / 3.20	4.03 / 3.25	3.83 / 3.23

Schall

Schalldruckpegel in 1 m ¹⁾	LpA	dB(A)	45	45	50
Schalleistungspegel Aussen	LwA	dB(A)	57	57	62

Einsatzbereich

Betriebsgrenzen Heizwasser	°C	+20 bis +70	+20 bis +70	+20 bis +70
Betriebsgrenzen Luft	°C	-20 bis +35	-20 bis +35	-20 bis +35
Zusätzlicher Betriebspunkt	°C	A-7/W70	A-7/W70	A-2/W70
Zusätzlicher Betriebspunkt	°C	-	-	A-7/W67

Luftdurchsatz / Anschlüsse

Luftdurchsatz bei max. externer Pressung	m³/h	3000	3000	3500
--	------	------	------	------

Heizwasser / Verflüssiger

Heizwasser Volumenstrom minimal / nominal	m³/h	0.9 / 1.2	1.2 / 1.6	1.6 / 2.0
Druckabfall bei Volumenstrom nominal	kPa	6.6	5.5	7.6
Temperaturpreizung bei A7/W35	°C	5.1	4.6	4.3

Heizkreis / Hydraulik zu hydraulische Inneneinheit

Heizwasser Volumenstrom minimal / nominal	m³/h	0.9 / 2.0	0.9 / 2.0	0.9 / 2.0
Max.freie Pressung Heizkreispumpe bei Volumenstrom nom.	kPa	65	53	41
Heizungspumpe eingebaut (HM1)		Grundfos UPM2 15-75	Grundfos UPM2 15-75	Grundfos UPM2 15-75

Anschlüsse / Diverses zu Wärmepumpe Ausseneinheit

Abmessungen (Tiefe x Breite x Höhe) ²⁾	mm	505 x 1320 x 930	505 x 1320 x 930	505 x 1320 x 930
Gewicht Gesamt	kg	141	146	149
Heizwasseranschluss (Aussengewinde)	Zoll	1"	1"	1"
Anzahl Verdichter	-	1	1	1
Kältemitteltyp / Füllmenge	- / kg	R-290 / 0.95	R-290 / 1.1	R-290 / 1.17
GWP / CO ₂ -e	-- / t	3 / 0	3 / 0	3 / 0
Kondensatwasseranschluss (Stutzen im Beipack)	DN	40	40	40
Steuer- und Fühlerleitung ³⁾	m	8	8	8

Anschlüsse / Diverses zu hydraulische Inneneinheit

Abmessungen (Tiefe x Breite x Höhe)	mm	330 x 550 x 955	330 x 550 x 955	330 x 550 x 955
Gewicht Gesamt	kg	25	25	25
Heizwasseranschluss (Innengewinde)	Zoll	1"	1"	1"
Ausdehnungsgefäß	L	12	12	12
Vordruck	bar	1.5	1.5	1.5
Max. zulässiger Betriebsüberdruck	bar	3	3	3
Durchflusswächter 8.0 l/min. / 480 l/h		integriert	integriert	integriert

1) Schalldruckwert (LpA) in 1 m um Wärmepumpe gemittelt (mit Richtwert Q=2 für Freifeld)

2) Aussenmasse. Für Montage auf Konsole, siehe Aufstellungsplan.

3) Kabel für Leistung, Steuerung und Bus, Länge 8 m ab Ausseneinheit



Technische Daten Aeroheat CN Aussengeräte

2/2

AH CN 5a bis AH CN 9a Luft/Wasser-Ausführung mit Aeroplus Regler

Wärmepumpentyp	AH CN 5a	AH CN 7a	AH CN 9a
Aufstellung	Wand/Boden		
Regler Aeroplus	in Inneneinheit		
EHPA-Zertifikat	CH-HP-00309		

Elektrische Daten Wärmepumpen Ausseneinheit

Betriebsspannung Kraft	für alle Modelle 3~ / N / PE / 50Hz / 400V			
Externe Absicherung Kraft	A	allpolig 16 "C"	allpolig 16 "C"	allpolig 16 "C"
Maschinenstrom innerhalb der Einsatzgrenze	A	4	5,5	7,0
Anlaufstrom direkt (LRA) / mit Sanftanlasser ⁵⁾	A	- / 20	- / 22	- / 24
Schutzart	IP	24	24	24
Max. mögliche Anläufe pro Std.	--	3	3	3
Leistungsaufnahme bei A7 / W35 (ohne EZ)	kW	1,5	2	2,5
Stromaufnahme bei A7 / W35 (ohne EZ)	A	3,2	4,1	5
Cos φ bei A7 / W35	--	0,66	0,71	0,72

Elektrische Daten hydraulische Inneneinheit

Baugröße Innenteil	zu AH CN 5a + 7a + 9a		
Steueranschluss	1~ / N / PE / 50Hz / 230V		
Externe Absicherung Steueranschluss	A	16 "B"	16 "B"
Externe Absicherung Kraft	A	siehe Angaben in Wärmepumpe Ausseneinheit	
Externe Absicherung Elektrozusatz (EZ)	A	10 "B"	10 "B"
Elektrozusatz 3 Phasen 400 V (2 Ph./ 1 Ph.)	kW	6 (4 / 2)	6 (4 / 2)
Betriebsstrom Elektrozusatzheizung (je Phase)	A	8,7	8,7
Schutzart	IP	20	20
max. Leistungsaufnahme Heizkreispumpe	kW	0,07	0,07
max. Stromaufnahme Heizkreispumpe	A	0,31	0,31

5) Geräte sind mit Sanftanlasser ausgerüstet

Örtliche Gegebenheiten und Vorschriften beachten.