



Schlussbericht vom 10. Juni 2021

Nachhaltiges innerstädtisches Gesamtprojekt Hohlstrasse 100, Zürich



Foto: Corak AG



Nachhaltiges Innerstädtisches
Gesamtprojekt Hohlstrasse 100, Zürich

Datum: 10. Juni 2021

Ort: Zürich

Subventionsgeberin:

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

Ko-Finanzierung:

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL
Walcheplatz 2
8090 Zürich



**Kanton Zürich
Baudirektion**

Subventionsempfänger/innen:

Zentrum für Immobilien AG
Baarerstrasse 12
6301 Zug

Autor:

Im Auftrag des Bauherrn, Zentrum für Immobilien AG

Kristina Djekic	Corak AG, kristina.djekic@corak.ch
David Vischer	Corak AG, david.vischer@corak.ch
Urs Kälin	Corak AG, urs.kaelin@corak.ch

BFE-Projektbegleitung:	Marc Köhli, koehli@enervonom.ch
BFE-Programmleitung:	Men Wirz, Men.Wirz@bfe.admin.ch
BFE-Vertragsnummer:	SI/501254-01

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



Zusammenfassung

Das Bauvorhaben in seinem innerstädtischen Umfeld an der Hohlstrasse in Zürich steht exemplarisch für eine zeitgemässe technisierte und energetisch optimierte Planung für Wohnbauten.

Die auffällig moderne und schöne Architektur (Dietrich Schwarz Architekten AG ETH/SIA), die eine positive Abkehr von der weitverbreiteten Schuhschachtelarchitektur darstellt, lässt unter der Berücksichtigung aller gesetzlichen Lärmschutzauflagen, auch strassenseitige Wohn- und Schlafräume zu. Die gesetzten Ziele an die Materialien und an die Technik sowie an das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten, waren hochgesteckt und anspruchsvoll.

Obwohl bei der Umsetzung des P&D Projektes einige Abstriche vorgenommen werden mussten, sind am Bauprojekt an der Hohlstrasse interessante und beispielhafte sowie nachahmenswerte technische Lösungen umgesetzt worden.

Mit dem nicht brennbaren und wasserabstossenden Wärmedämmmaterial Aerogel konnte eine sehr schlanke Fassaden erstellt werden. 6 cm Aerogeldämmung entsprechen etwa 14 cm EPS-Dämmung. Am Objekt an der Hohlstrasse wurden dadurch sehr schlanke Fassaden möglich, indem die Aerogeldämmung auch in die schmalen Ausfachungen der Fassadenelemente integriert wurde. Dazu wurde Aerogel auch bei den verputzten Fassadenflächen und unter den vorgefertigten Betonelementen verwendet. Die in die Fenster eingesetzten Vakuumisolierverglasungen ergänzen die schlanke hochgedämmte Fassade.

Die Heiz- und Warmwasserproduktion erfolgt über ein Grundwasserwärmepumpensystem im Winter wie auch im Sommer und die elektrische Energie wird zu einem grossen Teil über Solarzellen (PV-Anlage) produziert. Eine zentrale Steuerungsanlage (MSR) regelt die einzelnen Komponenten der Heizungs- und Lüftungsanlage sowie die Warmwasser und Solarstromproduktion.

Mit den, zu Beginn des Betrachtungsraumes noch nicht optimal eingestellten Komponenten der Brauchwarmwasser-Wärmepumpen musste das Brauchwarmwasser während der ersten Monate elektrisch aufgeheizt werden. Trotzdem liegt der Gesamtstromverbrauch mit 222'383 kWh bereits unter dem prognostizierten Verbrauch von 252'151 kWh.

26 % des gesamten Stromverbrauchs inkl. des Stromes für die Auto-Ladestation werden mit der Hauseigenen PV Anlage produziert, der rückgelieferte Anteil der Stromproduktion ist dabei nicht berücksichtigt.

Mit weiteren optimierten Systemeinstellungen insbesondere beim Freecooling und der Wärmepumpe sollte der Energiebedarf weiter gesenkt werden können.



Résumé

Le projet de construction dans son environnement urbain, sur la Hohlstrasse à Zurich, est exemplaire pour une planification contemporaine, techniquement et énergétiquement optimisée des bâtiments résidentiels.

L'architecture remarquablement moderne et belle, qui représente un changement positif par rapport à l'architecture très répandue des boîtes à chaussures, permet également d'aménager des espaces de vie et de repos côté rue, en tenant compte de toutes les exigences légales en matière de protection contre le bruit.

Les objectifs fixés pour les matériaux et la technologie, ainsi que pour l'interaction des différents composants, étaient ambitieux et exigeants.

Bien que certains compromis aient dû être faits dans la réalisation du projet P&D, des solutions techniques intéressantes et exemplaires, dignes d'être imitées, ont été mises en œuvre dans le projet de construction de la Hohlstrasse.

Grâce à l'aérogel, matériau d'isolation thermique incombustible et hydrofuge, il a été possible de créer une façade très mince. 6 cm d'isolant aérogel équivalent à environ 14 cm d'isolant EPS. Dans le bâtiment de la Hohlstrasse, des façades très minces ont été créées en intégrant l'isolation en aérogel dans les remplissages étroits des éléments de façade. L'aérogel a également été utilisé dans les surfaces de la façade enduite et sous les éléments en béton préfabriqué. Le vitrage isolant sous vide inséré dans les fenêtres complète la façade mince et hautement isolée.

Le chauffage et l'eau chaude sont produits par un système de pompe à chaleur à eau souterraine en hiver comme en été, et l'énergie électrique est en grande partie produite par des cellules solaires (système PV). Un système de contrôle central régule les différents composants du système de chauffage et de ventilation, ainsi que la production d'eau chaude et d'énergie solaire.

Avec les composants des pompes à chaleur pour l'eau chaude sanitaire, qui n'étaient pas encore réglés de manière optimale au début de la période considérée, l'eau chaude sanitaire a dû être chauffée à l'électricité pendant les premiers mois. Néanmoins, la consommation totale d'électricité de 222 383 kWh est déjà inférieure à la consommation prévue de 252 151 kWh.

26 % de la consommation totale d'électricité, y compris l'électricité destinée à la station de recharge pour voitures, est produite par le système photovoltaïque du bâtiment ; ce chiffre ne tient pas compte de la part de la production d'électricité qui est réinjectée dans le réseau.

En optimisant davantage les réglages du système, notamment pour le freecooling et la pompe à chaleur, il devrait être possible de réduire encore les besoins en énergie.



Summary

The building project in its inner-city setting on Hohlstrasse in Zurich is exemplary for contemporary, engineered and energy-optimized planning for residential buildings.

The strikingly modern and beautiful architecture, which represents a positive departure from the widespread shoebox architecture, also allows for street-side living and sleeping quarters, taking into account all legal noise protection requirements.

The goals set for the materials and technology, as well as for the interaction of the individual components, were ambitious and demanding.

Although some compromises had to be made in the implementation of the P&D project, interesting and exemplary technical solutions worthy of imitation were implemented in the building project on Hohlstrasse.

With the non-combustible and water-repellent thermal insulation material aerogel, it was possible to create a very slim façade. 6 cm of aerogel insulation correspond to about 14 cm of EPS insulation. At the building on Hohlstrasse, very slim facades were created by integrating the aerogel insulation into the narrow infill panels of the facade elements. Aerogel was also used in the plastered facade surfaces and under the prefabricated concrete elements. The vacuum insulation glazing inserted in the windows complements the slim, highly insulated facade.

Heating and hot water are produced by a groundwater heat pump system in winter as well as in summer, and electrical energy is largely produced by solar cells (PV system). A central control system (M&C) regulates the individual components of the heating and ventilation system as well as the hot water and solar power production.

With the components of the domestic hot water heat pumps, which were not yet optimally adjusted at the beginning of the observation period, the domestic hot water had to be heated electrically during the first months. Nevertheless, the total electricity consumption of kWh 222,383 is already below the forecast consumption of 252,151 kWh.

26 % of the total electricity consumption, including the electricity for the car charging station, is produced with the in-house PV system; the returned portion of the electricity production is not taken into account.

With further optimized system settings, especially for freecooling and the heat pump, it should be possible to further reduce the energy demand.



Take-home messages

- Die Massnahmen in einem P&D Projekt sollten bereits von Anfang an projektiert sein, damit die architektonisch technische Planung auch alle anlagen- und bautechnischen Anforderungen berücksichtigen kann.
Erweiterungen zu einem späteren Zeitpunkt führen zu baulichen Anpassungen, die kaum mehr optimal umgesetzt werden können und zu Mehrkosten führen.
- Ein P&D Projekt sollte überschaubar und technisch nicht überladen sein. Je vielfältiger die einzelnen Themen sind, umso komplexer und aufwendiger wird deren Zusammenspiel, respektive deren Steuerung und Optimierung im Betrieb.
Je höher die Komplexität eines Projektes wird, desto höher wird auch dessen Anfälligkeit und der Aufwand für optimale Systemeinstellungen.
- Bei der Auswahl von Datenerfassungs- und Steuerungskomponenten sollten wenn möglich immer deren eigene Programmierungs- und Datenauswertungsmöglichkeiten genutzt und nicht auf individuelle Softwarelösungen gesetzt werden. Selbstentwickelte Steuerungs- und Auswertungssoftwares sind nicht zu empfehlen Die Steuerung und die Datenauswertung muss über ein zentrales MSR-System erfolgen.
Für die Überwachung und die Optimierung aller Komponenten respektive des Gesamtsystems muss in den ersten 12 Monaten genügend Zeit eingeräumt und ein entsprechendes Budget zur Verfügung stehen.

Bei der Auswahl von Bauteilen sind lokale Lieferanten zu wählen, bei denen die Garantie- und die Gewährleistung sichergestellt sind. Bei kostengünstigeren Produkten aus dem Ausland ist die Durchsetzung der Mängelrechte oftmals schwierig oder gar nicht möglich.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé.....	4
Summary	5
Take-home messages	6
Inhaltsverzeichnis.....	7
1 Ausgangslage.....	10
1.1 Hintergrund	10
1.2 Motivation des Projektes.....	10
1.3 Projektziele	10
1.4 P&D -Massnahmenkatalog	11
1.5 Gesamtenergiekonzept.....	12
2 Projektübersicht.....	13
2.1 Abgrenzung.....	13
3 Fassadenaufbau.....	14
3.1 Aerogeldämmung.....	14
3.1.1 Beschrieb der Massnahme.....	14
3.1.2 Abweichung P&D-Massnahme	15
3.2 Ausführung Fassade.....	15
3.2.1 Statisches System	15
3.2.2 Fassadenaufbau	15
3.2.3 Erdgeschoss	15
3.2.4 Regelgeschoss.....	17
3.2.5 Attikageschoss	19
3.2.6 Schichtdicken und Einsatz von Aerogeldämmung.....	20
3.3 Aerogel.....	20
3.3.1 Stand der Technik.....	20
3.3.2 Eigenschaften Aerogel	20
3.3.3 Eigenschaften Multitherm AERO.....	21
3.3.4 Anwendung AERO Multitherm	21
3.3.5 Eigenschaften Spaceloft Matten.....	21
3.3.6 Anwendung Space Loft Matten.....	21
3.3.7 Aerogel-Materialgruppen	22
3.3.8 EMPA Forschung.....	22
3.3.9 Hochleistungsdämmung im Vergleich	23
3.4 Projektziel	23
3.4.1 Ausführung Vor- und Nachteile Einsatz Aerogel.....	24
3.4.2 Kosten und Effizienz.....	25
3.5 Ergebnis/Empfehlung.....	25



4	Verglasung	26
4.1	Vakuumisolierverglasung	26
4.1.1	Beschrieb der Massnahme	26
4.2	Stand der Technik von VIG	27
4.2.1	Eigenschaften	27
4.2.2	Stand der Technik	27
4.2.3	Herstellung	28
4.2.4	Fineo Gläser	28
4.3	Ausführung VIG Gläser Hohlstrasse	29
4.3.1	Planung der Gläser und Produktion der VIG	29
4.3.2	Vorteile	30
4.3.3	Nachteile	30
4.4	Vergleich mit herkömmlichen Verglasung	30
4.4.1	Bauphysikalische Eigenschaften	30
4.4.2	Zertifizierung	31
4.4.3	Ökobilanz	31
4.4.4	Nutzungszeit	33
4.4.5	Ergebnis/Fazit	33
5	Haustechnik	34
5.1	Warmwassermonitoring Teil 1	34
5.1.1	Beschrieb der Massnahme	34
5.1.2	Umsetzung der Massnahme	35
5.1.3	Abweichung P&D Massnahme	35
5.2	Ausführung Haustechnik	36
5.2.1	Heizsystem	36
5.2.2	Kühlung	37
5.2.3	Warmwasser	38
5.2.4	Lüftung/Komfortlüftung	39
5.2.5	Photovoltaik	40
5.3	Monitoringkonzept	40
5.3.1	Umsetzung der Massnahme	41
5.3.2	Abweichung der Massnahme	41
5.3.3	MSR	41
5.3.4	Liste grosser gebäudetechnischer Verbraucher	42
5.3.5	Liste der wichtigsten Datenpunkte	42
	Wärmepumpe:	42
	Lüftungsgeräte:	42
	Pumpen:	43
	Ventile:	43
	PV-Anlage:	43
5.3.6	Ergebnis/Fazit MSR	43
6	Nicht Umgesetzte P&D Massnahmen	44
6.1	GlassX Elemente	44
6.1.1	Beschreibung der Massnahme	44
6.1.2	Ausstehende Arbeitsschritte	45
6.1.3	Begründung für Nichtrealisation	45
6.1.4	Fazit	46



6.2	Warmwassermonitoring Teil 2	46
6.2.1	Beschrieb der Massnahme.....	46
6.2.2	Begründung	47
6.3	Batteriespeicher	48
6.3.1	Beschrieb der Massnahme.....	48
6.3.2	Begründung	48
6.3.3	Wahl des Batteriespeichers.....	49
6.3.4	Zusammenfassung	50
7	Energiebilanz.....	51
7.1	Produktion PV Anlage	51
7.1.1	Stromverbrauch und Effizienz.....	52
7.2	Jahresarbeitszahl.....	53
7.2.1	Einflussfaktoren.....	54
7.3	Wärme- und Warmwasserverbrauch	54
7.3.1	Heiz-Warmwasserverbrauch und gewichtete Energiekennzahl.....	54
7.3.2	Beurteilung des Heizwärmeverbrauchs.....	56
7.3.3	Beurteilung der gewichteten Energiekennzahl	57
7.3.4	Warmwasserverbrauch	58
7.3.5	Einfluss P&D-Massnahmen.....	58



1 Ausgangslage

1.1 Hintergrund

Das Projekt Neu- und Umbau Hohlstrasse 100 in Zürich umfasst einen sechsgeschossigen Neubau einer Blockrandsiedlung und das zweigeschossige Bestandesgebäude im Innenhof. Auf total 4'376 m² Energiebezugsfläche entstanden 70 Eineinhalb- bis Dreieinhalbzimmerwohnungen für Kurzzeitwohnen und mit Räume für Nebennutzungen. Die beiden Gebäude sind über eine Autoeinstellhalle unterirdisch miteinander verbunden und werden gemeinsam betrieben.

Verdichtetes Wohnen, hohe Komfortansprüche der Bewohner und maximale Nutzung von kleinen innerstädtischen Parzellen sowie strenge Vorschriften hinsichtlich des Energieverbrauchs von Gebäuden verlangen, dass innovative Lösungen gesucht und umgesetzt werden.

Für die Fassaden wurde deshalb ein ultradünnes Fassadensystem mit Aerogel-Dämmung entwickelt, was auf das ganze Gebäude gerechnet zu mehr Wohnfläche führte. Dazu wurden neuartige Fensterverglasungen in Form von Vakuumisoliations-Verglasungen verwendet. An der Südfassade wurde beabsichtigt neuartige lichtdurchlässige Phasenwechselelemente als Energiespeicher einzusetzen, damit der Heiz- und Kühlenergiebedarf zusätzlich reduziert werden kann. Im Wohnungsbau wären solche Elemente erstmalig verwendet worden.

Ein umfassendes Monitoring soll einerseits die Warmwasseraufbereitung und den Verbrauch und andererseits die Anlagen der Gebäudetechnik inkl. Photovoltaikanlage und Batteriespeicher abbilden, damit die Steuerung der Anlage während des Betriebs laufend optimiert werden kann.

1.2 Motivation des Projektes

Der Bauherr konnte überzeugt werden, im Rahmen des Bauprojekts im Zentrum von Zürich neue innovative Technologien, Systeme und Materialien erstmalig zusammen einzusetzen und zu testen.

Das Bauvorhaben in seinem innerstädtischen Umfeld bildet exemplarisch die wichtigsten Themen der modernen Städteentwicklung ab – das verdichtete Bauen und die Reduzierung des Energieverbrauchs und der Emissionen.

1.3 Projektziele

- Die Verdichtung im innerstädtischen Raum erhöhen. Hochleistungswärmedämmung mit minimaler Dämmstärke für schlanke Konstruktionen im mehrgeschossigen Neubau.
- Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfs und Komfortsteigerung durch thermische Energiespeicherung im Tageszyklus über Phasenwechselmaterialien.
- Tatsächlichen Warmwasserbedarf ermitteln und reduzieren und innovative Sanitärprodukte in realer Umgebung testen und bewerten.
- Reduktion des Ressourcenverbrauchs bei der Verglasung bei besserer bauphysikalischer Leistung.



- Erreichen eines maximalen autarken Elektroverbrauchs durch die hauseigene PV-Anlage. Regelung/Glättung der Leistungsspitzen an der Schnittstelle von Verbrauchern und Netz mittels Batteriespeicher und E-Mobilität. Optimierung des Betriebs der Haupt-Energieverbraucher durch Monitoring.

1.4 P&D -Massnahmenkatalog

Zusammenstellung der 6 P&D Massnahmen und der zusätzlichen Massnahmen:

M ^{*1}	Beschreibung	Realisiert
1	Maximierung der Nutzfläche durch Minimierung der Fassadendicke	ja
2	Reduktion der Heizenergie durch Glaselemente mit Phasenwechselmaterialien zur Speicherung der Sonnenenergie	nein
3a	Reduktion Energieaufwand für Warmwasser durch Optimierung der Anlagenseite und Beeinflussung des Benutzerverhaltens – Warmwassermonitoring. Teil 1: Warmwassermonitoring zur Ermittlung des realen Brauchwarmwasserverbrauches.	teilweise
3b	Reduktion Energieaufwand für Warmwasser durch Optimierung der Anlagenseite und Beeinflussung des Benutzerverhaltens – Warmwassermonitoring. Teil 2: Anpassung der Komponenten aufgrund des Monitorings nach Phase 1	nein
4	Reduktion des Ressourcenverbrauchs in der Verglasung bei besserer bauphysikalischer Leistung – Vakuumisolierverglasung	ja
5	Messung Monitoring Konzept für Anlagen der Gebäudetechnik	ja/teilweise
6	Batteriespeicher	nein
Zusätzliche Massnahmen		
Z1	PV-Anlage, in das P&D Projekt integrierte Indachanlage	ja
Z2	E-Mobilität-Ladestationen	ja

Tab. 1 Zusammenstellung P&D Massnahmen inkl. PV-Anlage. ^{*1}M 1 bis 6 = P&D Massnahmen

Ein wichtiger Bestandteil des gesamten Systems ist die PV-Anlage (Zusatzmassnahme), die jedoch nicht Bestandteil des subventionierten P&D Projektes ist.



1.5 Gesamtenergiekonzept



Abb. 1 Gesamtenergiekonzept: Graphik Helion Solar AG, Bouygues E&S InTec Schweiz AG, EK Energiekonzepte AG

Photovoltaikanlage

PV Anlage	System	Indachsystem
	Ausrichtung	2 Dachflächen SO und NW
	Gesamtleistung	109.2 kWp
	Erwarteter Jahresertrag	105'000 kWh

Batterspeicher

Batteriespeicher	nicht umgesetzt
------------------	-----------------



2 Projektübersicht



Abb. 2 Grundriss Rand-und Hofgebäude

Das Bauprojekt wurde von 2015 bis 2019 umgesetzt und umfasst einen sechsgeschossigen Neubau (Randgebäude) sowie die energetische Sanierung und Umnutzung des 1904 erbauten zweigeschossigen Gewerbehbaus (Hofgebäude).

Das Randgebäude besitzt 41 Wohnungen, 1½ bis 3½ Zimmerwohnungen (2'389 m²). Das Erdgeschoss wird als Ladenfläche (Möbel) genutzt.

Dazu kommen 2.Untergeschosse mit Keller und Tiefgarage, welche über eine Erschliessungszone direkt mit dem Hofgebäude verbunden sind.

Das Hofgebäude enthält 28 1½ Zimmerwohnungen (1'424 m²), die eine grosse Ausstellungshalle (166 m²) umschliessen.

2.1 Abgrenzung

Die Anwendung der eingesetzten Technologien werden im Rahmen dieses Berichtes für das Randgebäude aufgezeigt.



3 Fassadenaufbau

3.1 Aerogeldämmung

Massnahme 1: Umgesetzt

Maximierung der Nutzfläche durch Minimierung der Fassadendicke.

3.1.1 Beschrieb der Massnahme

- Optimierung des statischen Systems – Skelettbauweise mit Stützen in der Fassadenebene.
- Die Fassade (Gebäudehülle) erfüllt keine statische Funktion, sondern stellt nur die vertikale Abgrenzung des Gebäudes dar.
- Fassadendicke von 240 mm inkl. Bekleidung und Hinterlüftung mittels Aerogeldämmstoff.
- Dasselbe System wird vom Erdgeschoss bis in das 4. Obergeschoss an der Nordost- und Südwestfassade angewendet.
- Die Betonelemente im Erdgeschoss wie in den Obergeschossen (Betongurten) wurden als hinterlüftete Elemente erstellt.
- Im Attikageschoss wird die Holzständerwand mit 2 cm Aerogeldämmstoff optimiert.
- Der Fassadenwärmedämmung besteht überwiegend aus dem Wärmedämmstoff Aerogel. Obwohl im Mittel nur eine 6 cm Dämmung eingebaut wurde, hat die Fassade einen sehr tiefen U-Wert von $0,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (Planungswert). Der gewählte Aufbau (mehrere dünne, sich überlagernde Schichten) reduziert zudem die Wärmebrücken signifikant.

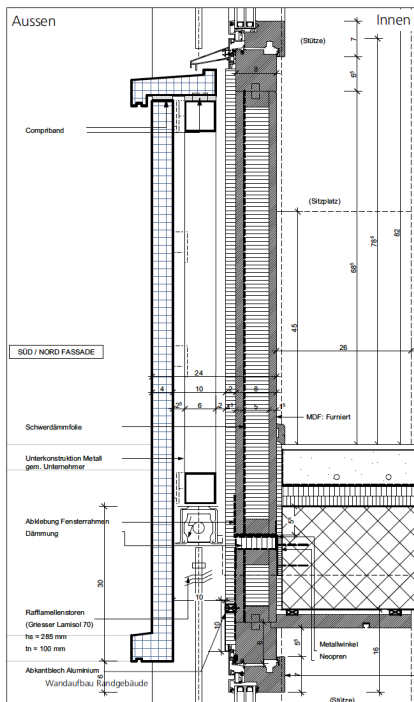


Abb. 3 Abbildung des beschriebenen Fassadensystems im Dokument «Detailliertes Massnahmendossier»



3.1.2 Abweichung P&D-Massnahme

Der ursprünglich geplante Aufbau der Fassade musste im Laufe des Planungs- und Bauprozesses optimiert werden und entspricht nicht mehr vollumfänglich der im P&D-Projekt beschriebenen Konstruktion:

- Im Erdgeschoss wurde die Fassade hinter den grossformatigen Betonelementen mit Swisspor PUR Premium gedämmt.
- Im 1. bis 4. Obergeschoss musste an diversen Stellen punktuell Steinwolle verwendet werden, z.B. im Bereich der Betonstützen zwischen den Fensterkonstruktionen (Funktionsebene).
- Auf der Nordostfassade wurden mit dem vorgesehenen Aerogel-Dämmstoff eine Kompaktfassade erstellt (verputzte Aerogeldämmung).

3.2 Ausführung Fassade

3.2.1 Statisches System

Das Randgebäude wurde im Erdgeschoss in Massivbauweise mit 25 cm dicken Betonwänden erstellt. Vom 1. OG bis 4. OG ist das Gebäude in der Längsseite in Skelettbauweise, mit einem Kern in Form des Treppenhauses bzw. der Aufzugsschächte, ausgebildet, während die Giebelseiten als tragende Wandscheiben erstellt worden sind. Die Dimensionierung der Tragstützen liegen bei 50 x 50 cm und bei den Randstützen bei 25 x 25 cm. Das statische System wurde optimiert, die Randstützen liegen nicht in der Fassadenebene, sondern sind innenseitig dahinter angeordnet, sodass die schlanken Aussenfassaden davor durchlaufend geplant und realisiert werden konnten.

Auf der Nordwest- sowie der Südwestfassade befinden sich die Balkone, wobei die Balkone auf der Südwestfassade mittels zusätzlicher Betonelemente als Erker ausgebildet wurden.

3.2.2 Fassadenaufbau

Der Fassadenaufbau im Erdgeschoss unterscheidet sich von den Zwischengeschossen und dem Dachgeschoss. Das Erdgeschoss wurde als hinterlüftete Betonkonstruktion erstellt, in den Regelgeschossen ist eine WDVS System (WDVS = Wärmedämm-Verbundsystem) eingebaut und das Attikageschoss wurde als Holzständerkonstruktion erstellt, wodurch die Lasten aus dem Eigengewicht optimiert wurden.

3.2.3 Erdgeschoss

Das Erdgeschoss wurde aus hinterlüfteten Glasfaserbetonelementen konstruiert. Vollflächig wurde eine PUR (PIR) Premium Dämmung von 200 mm eingesetzt. Der Aufbau hat eine Schichtdicke von 570 mm. Im Bereich der Verankerung der Betonelemente wurde Steinwolle verwendet. Im Sockelbereich des Erdgeschosses wurde eine XPS-Dämmung von 160 mm verbaut.

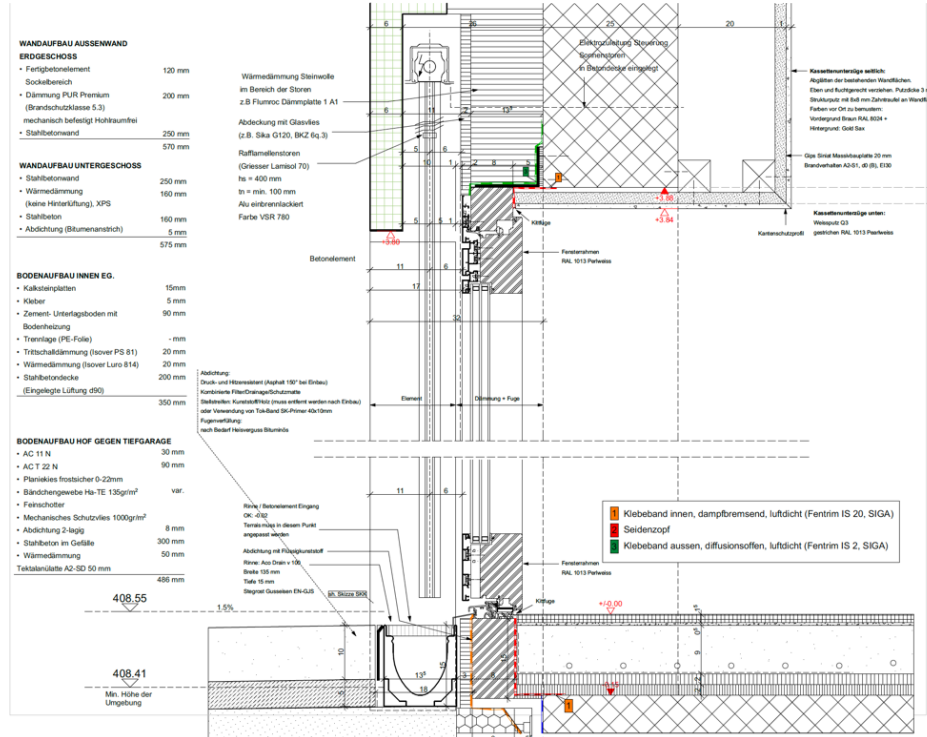


Abb. 4 Wandaufbau Aussenwand Erdgeschoss

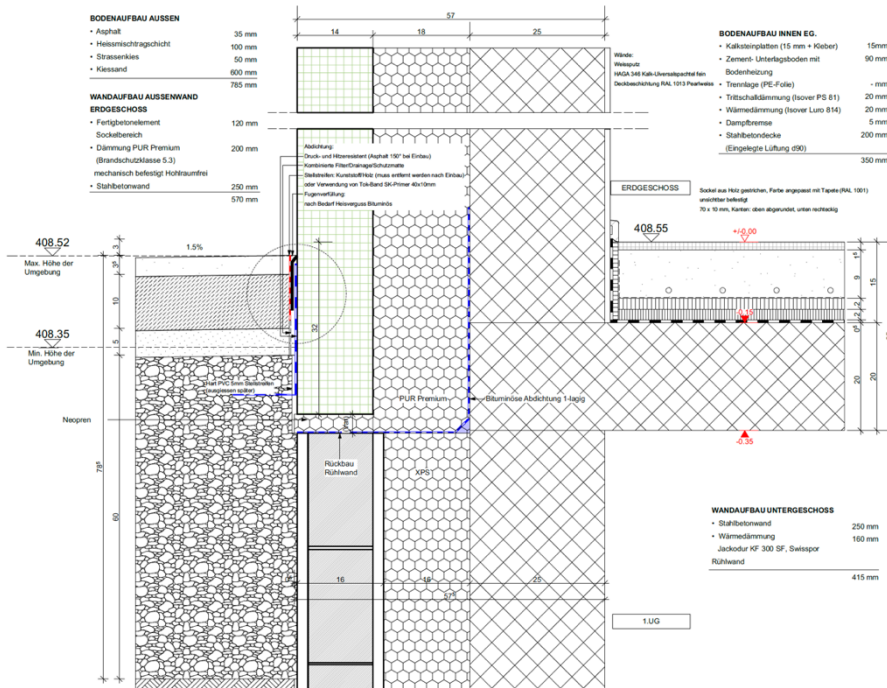


Abb. 5 Wandaufbau Erdgeschoss-Sockeldetail



3.2.4 Regelgeschoss

Die Fassaden der Regelgeschosse vom 1.OG bis 4.OG wurde als verputzte Aussenwärmedämmung mit Mulitherm AERO erstellt.

Auf der Höhe der Geschossdecke verlaufen horizontale Betonelemente in der Fassade als Gurtgesimse. Die Fensterstoren (Verdunklung/Verschattung) wurden in die Gurtgesimse integriert.

Die südwestliche und nordöstliche Fassaden- und Fensterkonstruktion wurden im Form von vorgefertigten Sandwichelementen vor die zurückversetzten, tragenden Fassadenstützen montiert.

Die überraumhohen Sandwichelemente bestehen aus einer Holz-Aerogel-Holz Konstruktion mit einem ca. 60 mm dicken Aerogel-Dämmkern (Spaceloft Matten).

Zusätzlich wurden die Sandwichelemente auf der Aussenseite mit 30 mm Aerogel überdämmt und anschliessend verputzt. Zwischen der Stirnseite der Betondecke und den Gurtgesimsen wurde Steinwolle verbaut und zusätzlich auch mit Aerogel überdämmt.

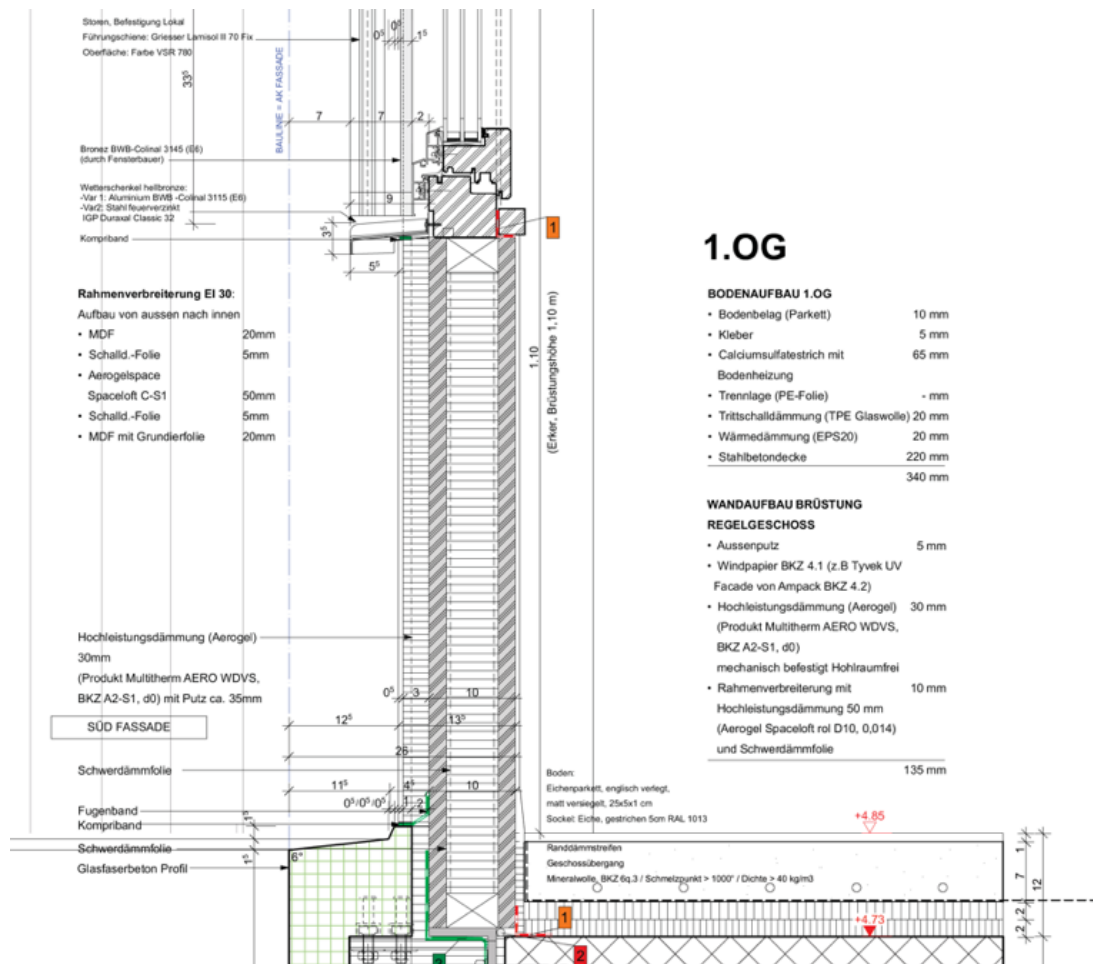


Abb. 6 Wandaufbau Regelgeschoss, Projektänderung von 50 mm auf 60 mm Aerogeldämmung

In der südöstlichen Fassade, Wandscheibe als Lochfassade wurde eine herkömmliche Steinwoll-Dämmplatte verwendet, um die benötigte Schichtdicke zu erreichen. In diesem Teil der Fassade kam Aerogel nur hinter den Gurtgesimsen zum Einsatz. Der gesamte Wandaufbau an dieser Fassade hat eine Dicke von 535 mm.

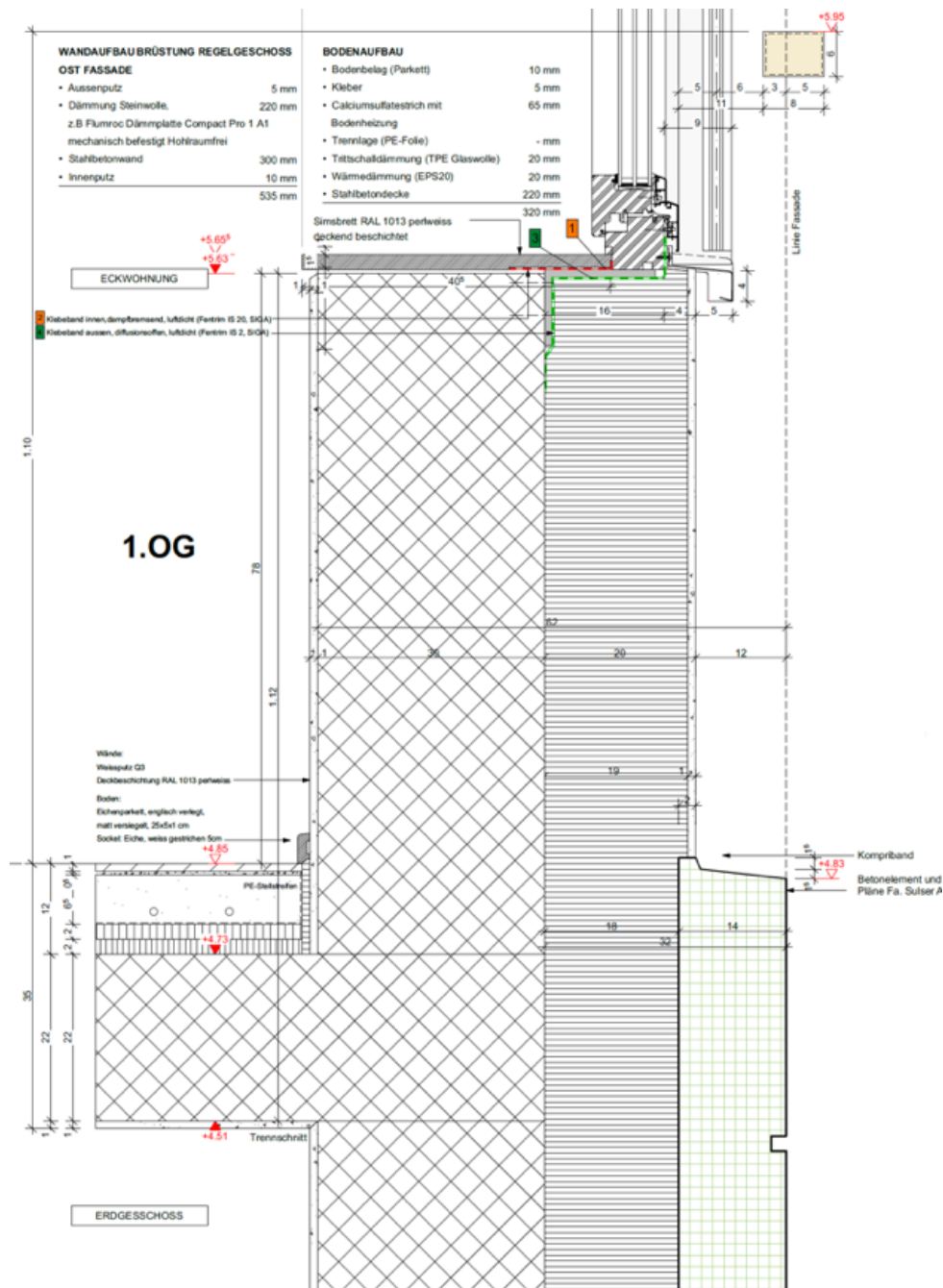


Abb. 7 Wandaufbau südöstliche Fassade

Die Nordwestfassade, die Aussenwand als tragende Konstruktion, wurde jeweils mit Aerogel und Steinwolle vom 1. bis zum 4. Obergeschoss gedämmt.



3.2.5 Attikageschoss

Das Attikageschoss wurde als Holzständerbau erstellt und wurde mit Holz-Weichfaserplatten sowie Glaswolle gedämmt. Aerogel wurde als Überdämmung der Fenstersturzkonstruktion in den Storenkästen eingesetzt. Der Fassadenaufbau hat eine Schichtdicke von 248 mm.

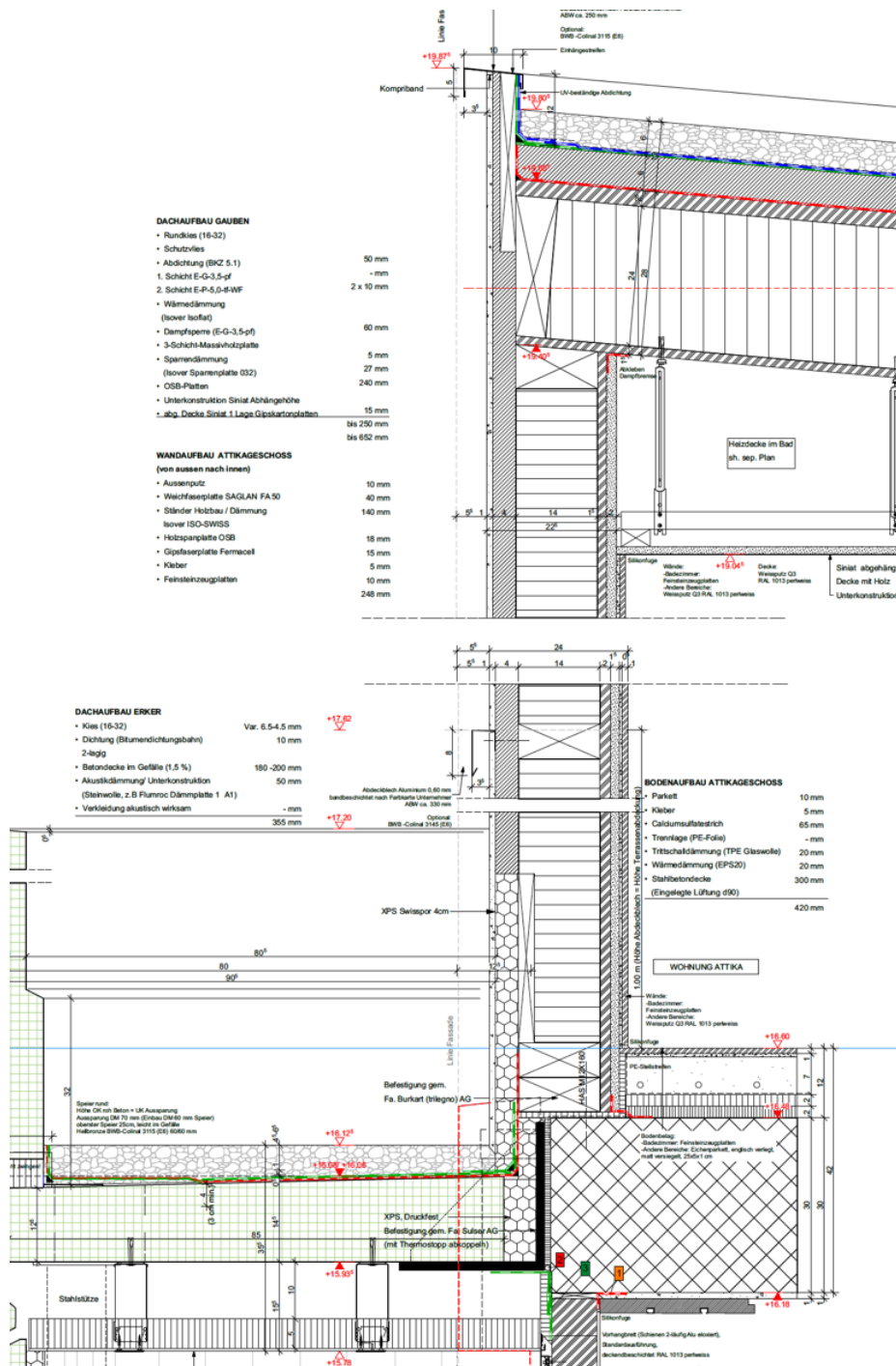


Abb. 8 Wandaufbau Attikageschoss



3.2.6 Schichtdicken und Einsatz von Aerogeldämmung

Geschoss	Schichtdicke	Dämmmaterial	U-Wert gemäss Energie-nachweis (Planungswert)
EG, hinterlüftete Fassade	ca. 570 mm	PUR Premium ca. 200 mm	$> 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Regelgeschoss, Sandwi-chelement Brüstung	ca. 145 mm und inkl. Gurt-gesimsen 240 mm	Dämmkern Aerogel (Spacematten) 60 mm, WDVS (AERO)30 mm	$0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Regelgeschoss, Brüstung Beton	ca. 535 mm	180-220 mm Steinwolle	$> 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Brandmauer NW	ca. 440 mm	60 mm Flumroc Dämm- platte, 120 mm Flumroc Dämmplatte	$< 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Regelgeschoss NW	ca. 295-320 mm	100 -120 mm Flumroc Dämmplatte und Aerogel	$> 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Attikageschoss	ca. 248 mm	40 mm Weichfaserplatte, 140 mm Isover Dämmung	$0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabelle 2 Fassadenaufbau mit Schichtdicken

Auf den Längsseiten des Gebäudes (d.h. nordöstliche und südwestliche Fassade) wurden eine schlanken kompakte Fassade eingebaut. Insgesamt stehen dadurch, verglichen mit einer konventionell gedämmten Fassade, ca. 120 m² mehr Wohnfläche zur Verfügung.

3.3 Aerogel

3.3.1 Stand der Technik

Die erstmalige Synthese gelang 1930 Samuel Stephens Kistler, bei welchem eine Methode entwickelt wurde um Gele zu trocknen ohne, dass die Materie schrumpft. Um 1970 wurde das erste hochwertige Silica-Aerogel hergestellt. In der Schweiz wurde das Material als Dämmung erstmals im Hochbau im Jahre 2006 eingesetzt.

3.3.2 Eigenschaften Aerogel

Aerogel besteht aus einem mikroporösem Feststoff, welches eine hohe Porosität von 99 % besitzt und über ein Sol-Gel Prozess hergestellt wird. Der hochporöse Festkörper kann aus Silikat, Carbon, Metall-Oxid oder aus organischen Polymeren bestehen. Aerogele mit ihren unzähligen Poren mit winzigen Lufteinschlüssen bilden eine grosse Oberfläche, dadurch leiten sie kaum Wärme und isolieren somit sehr gut. Aerogele sind sehr schalldämpfend, die Schallgeschwindigkeit sinkt in der Materie stark ab. Ihre Wärmeleitfähigkeit ist sehr niedrig, zwischen 0,014-0,021 W/(mK), als Vergleich: Luft hat 0,026 W/(mK) und Steinwolle 0,04 W/(mK) (Messwerte). Aerogel können transparent, opak, farbig oder farblos sein und sind dazu sehr leicht, So hat bspw. Carbon-Aerogel ein Raumgewicht von 0,18 kg/m³.



3.3.3 Eigenschaften Multitherm AERO

Die Dämmplatte Multitherm AERO besteht aus mehreren Lagen dünnen und flexiblen Vlies. Die Dämmplatte wird als nicht brennbar deklariert (Baustoffklasse A2) und die Wärmeleitfähigkeit liegt bei ca. 0.018 W/(mK)(Messwert). Diese Dämmplatte wurde als WDVS in der Hohlstrasse verbaut.

3.3.4 Anwendung AERO Multitherm

- Allgemeine Fassaden-Dämmarbeiten
- Dämmungen im Eingangsbereich
- Dämmung von Gebäudeteilen mit Grenzbebauung
- Dämmungen von Fassadenbereichen, angrenzend an Balkone und Terrassen
- Dämmungen in Laubengängen/Fluchtwegen
- Dämmung von Gebäuden mit historischen Fassaden

3.3.5 Eigenschaften Spaceloft Matten

Die Zusammensetzung des Aerogels des Spaceloft Matten besteht zu 94-96 % aus Luft (Luftporen in Nanogrößen im Trägermaterial) und 3-4% amorphe Kieselsäure/Quarzsand und ca. 1% Graphit. Das Trägermaterial wird mit Aerogel getränkt, wobei dadurch das Trägermaterial aufgrund des Porendurchmessers in der Aerogel-Struktur zu einem Isolator gegen Wärme und Kälte wird. Aerogel Spaceloft-Matten haben eine deklarierte Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,014 -0,015 W/(mK) (Messwert). Der Wasserdampfdiffusionswiderstand liegt bei ca. 5. Das Material gilt als hydrophob und im Brandverhalten als schwer entflammbar. Diese Matte ist der Dämmkern des Sandwichelementes.

3.3.6 Anwendung Space Loft Matten

- Eignung für Details, bei welchem wenig Platz zur Verfügung steht
- Denkmalgeschützte und schützenswerte Gebäude für Erhaltung des Gebäudecharakters sowie Detaillösung mit hoher Dämmeigenschaft und geringem Raum
- Sanierungen, bei welcher keine Korrektur der Konstruktion sowie Versäumnis und Fehler in Planung behoben werden können
- Besonders für Fensterlaibungen, Storenkästen und seitliche Dämmungen an Lukarnen geeignet
- Zusätzliche Nutzfläche schaffen bei hohen Bodenpreisen



3.3.7 Aerogel-Materialgruppen

Aerogel-Granulat

- Anwendung: Aussenndämmung von Zweischalenmauerwerk, luftgefüllter Hohlraum wird unter Druck mit Granulat ausgeblasen

Aerogel-Matten ^{*1}

- Anwendung: Aerogel in Trägervlies eingegossen
- Anwendung: Matten können geschnitten, gedübelt, verklebt oder gebogen werden als WDVS oder Innendämmung geeignet

^{*1} Anwendung im P&D Projekt

Aerogel-Platten

- Herstellung: Verklebung mehrerer Aerogelplatten oder durch Verklebung von Aerogel-Granulat
- Anwendung: Kann als Wärmedämmverbundsystem oder als Innendämmung eingesetzt werden

Aerogel-Dämmputz:

- Herstellung: Verbindung Aerogel-Granulat mit anorganischen Bindersystem auf Basis Kalk oder Zement
- Anwendung: Sanierung von historischen Fassaden

Transluzente Aerogel-Elemente:

- Herstellung: Hohlkammer, gefüllt mit Aerogel-Granulat mit transparenten Wänden (Glas oder Kunststoff)
- Anwendung: Einsatz in Büro- und Gewerbegebäude, Sport- oder Fabrikhallen als Oblichter oder Fassadenelemente

3.3.8 EMPA Forschung

Die EMPA führte eine Überprüfung der thermischen Eigenschaften der Aerogel-Fassade durch. Dabei wurde die Wärmeleitfähigkeit des Materials Multitherm AERO gemessen, welches für das Wärmedämmverbund-System (WDVS) verwendet wurde.

Dafür wurden sechs Proben mit 10 und 20 mm Dicke geprüft. Dabei wurde ein Zweiplatten-Messgerät nach Norm EN 12667 verwendet, um eine Komprimierung zu verhindern.

Eine Komprimierung der Dämmplatten würde die Messergebnisse negativ verändern, sodass niedrigere Werte resultieren würden.

Die Prüfung erfolgte daher ohne Kompression, damit gilt das Prüfergebnis als repräsentativ für die Anwendung als WDVS (WDVS = Wärmedämm-Verbundsystem).



Die Messergebnisse ergaben im Median einen Wärmeleitfähigkeitswert von 0.0188 W/(mK), das Ergebnis weicht damit nur geringfügig von den Herstellerangaben ab. Die geprüften Matten waren allesamt leicht dicker als der Nennwert, dadurch ist jedoch kein verringerter Wärmeschutz zu erwarten.

Im Herbst 2016 wurde eine zweite Wärmeleitfähigkeitsmessung für die Spaceloftmatten nach EN 12667 durchgeführt. Der Median lag bei ca. 0.0163 W/(mK), was über dem, vom Hersteller deklarierten Wert von 0.014 - 0.015 W/(mK) liegt.

3.3.9 Hochleistungsdämmung im Vergleich

Zu den Hochleistungsdämmungen gehört auch die Vakuum-Isolation. Die VIP-Paneele bestehen grundsätzlich aus einem Kieselsäurestützkern, welcher von Vlies und einer vakuumdichten Verbundfolie umhüllt sind.

Bauphysikalische Vergleiche der Eigenschaften:

Bauphysikalische Eigenschaften	Aerogel Space Loft Matten/AERO Multitherm (Messwerte)	VIP swisspor (Messwerte)
Wärmeleitfähigkeit	0.014-0.015 / 0.018 W/(mK)	0.007 W/(mK)
Wasserdampfdiffusionswiderstand	5/5	Dicht
Brandklasse	B1 schwer entflammbar / A2 nicht brennbar	B2 normalentflammbar
Lieferdicken	5-10 mm / 10-100 mm	15-40 mm

Tabelle 3 Vgl. Bauphysikalische Eigenschaften Vakuumisoliationspaneelen und Aerogel

Dämmmassnahme:

Dämmmassnahme	Aerogel	VIP
Aussendämmung	Kompaktfassade	Kompaktfassade
Innendämmung	Wand, Decke, Dach, Fussboden, Treppenhaus	Wand, Decke, Dach, Fussboden
Einblasdämmung	Wand, Dach, Fassade	-
Spezialanwendungen	Terrassen	Terrassen, Kälteräume

Tabelle 4 Vgl. Dämmmassnahmen Vakuumisoliationspaneelen und Aerogel

Die Vakuumdämmung und ihre Anwendung sind durch die vorgegebene Abmessung eingeschränkt. VIP-Paneele können vor Ort weder zugeschnitten noch angebohrt werden, dadurch hat dieser Hochleistungsdämmstoff wenig Flexibilität in der Verarbeitung und wäre für das Projekt an der Hohlstrasse nicht geeignet gewesen.

3.4 Projektziel

Das Projektziel definiert «mittels geringer Fassaden-Schichtdicke eine Maximierung der Nutzfläche zu erreichen». Eine maximale Ausnützung des Grundstückes ist aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse und der hohen Bodenpreise eine Voraussetzung bei innerstädtischen Projekten.



Aerogel soll an den Fassadenelementen zum Einsatz kommen, bei denen eine Zunahme an Fläche erreicht werden kann, was beim Bauprojekt Hohlstrasse zu einer Zunahme der Nutzfläche von 120 m² führte.

3.4.1 Ausführung Vor- und Nachteile Einsatz Aerogel

Vorteile

Vorfabrizierte Sandwichelemente mit Aerogeldämmkern:

- Geringe Schichtdicke und geringeres Gewicht
- Produktion im Werk, Bauteil wird als Ganzes angeliefert und eingebaut.
- Höhere Produktionsgenauigkeit
- Die Arbeitsschritte auf der Baustelle werden minimiert, weniger Ausführungsmängel

WDVS mit Aerogeldämmplatten:

- Flexible Materialeigenschaften, einfache Handhabung in Zuschnitt und Einpassung für komplizierter Geometrien
- Kleineres Volumen für die Materiallagerung
- Geringe Schichtdicke, robuste und flexible Vliesteppiche möglich
- Optimale bauphysikalische Eigenschaften bezüglich Wärmeschutz, Schallschutz und Brandschutz bei geringer Schichtdicke
- Wasserabweisend und wasserdampfdurchlässig

Nachteile:

Vorfabrizierte Sandwichelemente:

- Vorfabrizierte Elemente mit genauen Aufbauhöhen erfordern erhöhte Anforderungen an die Bautoleranzen

WDVS mit Aerogeldämmmatten:

- Geringe Schichtdicke zwingt zu Präzision und erfordern erhöhte Anforderungen an die Bautoleranzen
- Technische Einlagen können bei der dünnen Schichtdicke nicht in den Fassadenaufbau integriert werden.

Rohbau und Betonfertigteile:

- An den Rohbau, wie auch an Betonfertigteile werden höchste Anforderungen gestellt, was Massabweichungen (Toleranzen) anbelangt, um die Ebenheit der Oberfläche bzw. einen sauberen Anschluss der Aerogel-Dämmung an die angrenzenden Bauteile zu gewährleisten.



3.4.2 Kosten und Effizienz

Die zusätzlich geschaffene Nutzfläche von 120 m², entspricht ca. 5.4 % der Gesamtfläche und ist pro Geschoss ca. 24 m². Das entspricht der Grundfläche von 6 Studios.

Der Gewinn der Nutzfläche von 120 m², welcher ein erheblichen Mehrwert an Wohnfläche darstellt muss im Vergleich mit den Mehrkosten des eingesetzten Aerogeldämm-Materials bewertet werden. Um einen U-Wert von 0.2 W/(m²K) zu erreichen, ist eine Schichtdicke von 75 mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von 15 mW/(mK) und bei 90 mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von 18 mW/(mK) mit Aerogel und mit Steinwolle eine Schichtdicke von 170 mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von 34 mW/(mK) notwendig. Die südwestliche und nordöstliche Fassade ist, mit einer Fassadenfläche von ca. 0.67x 4 x 2.93 m² gedämmt (33 % Fensteranteil und h= 2.93 m). (Aerogel 6'000 CHF/m³ und Steinwolle 270 CHF/m³) Der Mehrpreis pro m² Fläche beläuft sich auf ca. 500 CHF/m². Durch die zusätzliche gewonnene Wohnfläche wurde ein Mehrwert der Wohnfläche von ca. CHF ≤ 1'000'000 generiert.

Zu beachten ist, dass hier die Verarbeitung der beider Dämmmaterialien gleich bewertet wird. Im Vergleich liegt der Verkaufspreis einer mittleren Wohnung in der Stadt Zürich 2014 bei knapp 12'000 CHF/m², wobei der Verkaufspreis für die Hohlstrasse höher eingestuft werden kann.

Demzufolge kann der Einsatz von Aerogel-Dämm-Material bei grossen Fassadenflächen durchaus wirtschaftlich Sinn machen, wenn der zusätzlich zur Verfügung stehende Raum einen entsprechenden Mehrwert abbildet.

3.5 Ergebnis/Empfehlung

Mit der nicht brennbaren und wasserabweisenden Aerogel-Wärmedämmung konnte eine sehr schlanke, hocheffiziente, gedämmte Aussenwand erstellt werden.

Einerseits wurde die Aerogeldämmung in den vorfabrizierten Fassaden-Holzelementen mit den Fenstern verwendet und andererseits wurde mit der Aerogeldämmung eine verputzte Kompaktfassade (Wärmedämmverbundsystem) erstellt.

Die Handhabung und das Zuschneiden der leichten und dünnen Matten bieten insbesondere bei komplexen Geometrien Vorteile, was dazu führen kann, dass die zurzeit vorherrschende Architektur wieder verspielter werden kann, und andere Geometrien entworfen werden können, als das bei der zurzeit vorherrschenden Schuhschachtel-Architektur der Fall ist.

Durch die Aerogeldämmung konnte keine zusätzliche Energieeinsparung erreicht werden, was jedoch auch nicht zu erwarten war.

Interessant ist das relativ teure Dämmmaterial bei innerstädtischen Bauvorhaben auf engen Parzellen, bei denen eine möglichst grosse Ausnutzung erreicht werden soll.

Das statische System, die architektonische Ausbildung und Haustechnikinstallationen in den Fassaden müssen schon in der Entwurfsphase das Projektziel «Maximierung der Nutzfläche» berücksichtigen.



Aerogel sollte an den Fassaden eingesetzt werden, bei denen eine Erweiterung der Nutzfläche erreicht werden kann.

Am Projekt Hohlstrasse konnte dadurch ein Wohn-Flächenzuwachs von ca. 120 m² gegenüber einer herkömmlichen Fassade erreicht werden. Dieser Flächenzuwachs kann bewertet und ausgewiesen werden, sodass sich das relativ teure Material als wirtschaftlich interessante Investition darstellt. Aerogel-Dämm-Material ist bei allen Bauteilen und Projekten interessant, bei denen schlanke Bauteile erforderlich sind. Nicht geeignet ist Aerogel bei Flachdachaufbauten, weil keine Komprimierung des Materials stattfinden darf.

4 Verglasung

4.1 Vakuumisolierverglasung

Massnahme 4: Umgesetzt

Reduktion des Ressourcenverbrauchs in der Verglasung bei besserer bauphysikalischer Leistung durch die Verwendung von Vakuumisolierverglasung.

4.1.1 Beschrieb der Massnahme

Ein hoher Glasanteil an Fassaden ist nach wie vor ein Trend, jedoch stehen transparente Bauteile auch für hohe Wärmetransmissionsverluste. Die Anforderung des angestrebten Minergie-A-P Standards sind bezüglich Wärmeschutz hoch, daher ist der Einsatz von 3-fach Isolierverglasung mit Beschichtung und Gasfüllung unabdingbar.

Die schweren 3-fach Isolierverglasungen fordern starke Rahmenprofile und sind bezüglich der Handhabung schwer. Daher wurde ein Produkt gesucht, welche gleichwertige oder sogar bessere bauphysikalische Eigenschaften bezüglich Wärme- und Schallschutz aufweist, weniger Ressourcen benötigt und wenn möglich leichter ist. Mit dem Einsatz von VIG (VIG = Vakuumisolierverglasung) soll die Anwendung in der Schweiz an einem Neubau getestet werden.

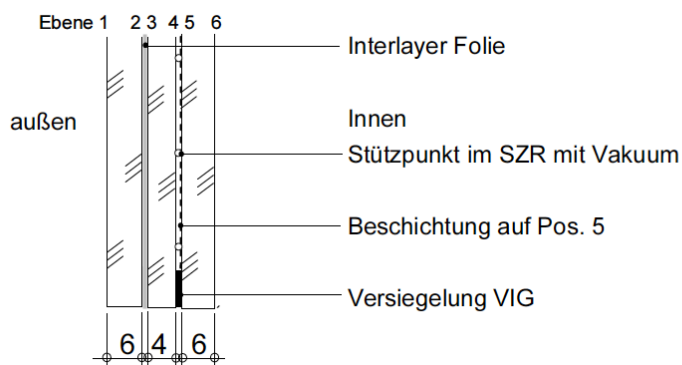


Abb. 9 Glasaufbau Seite Hohlstrasse



4.2 Stand der Technik von VIG

4.2.1 Eigenschaften

Eine Vakuumverglasung kann auch als Bestandteil einer Isolier-Verbundverglasung Verwendung finden.

Eine Isolierverglasung besteht aus mehreren Schichten von Gläsern, die durch Luft-, Edelgas- oder Folienlagen voneinander getrennt sind.

Eine Vakuumverglasung besteht ebenfalls aus mehreren Scheiben, wobei die Scheibenzwischenräume nahezu luft- und gasfrei sind. Durch das fehlende Medium, welches für Transport von Schall und Wärme verantwortlich ist, wird die Übertragung zwischen den Scheiben unterbunden. Aufgrund des Vakuums im Zwischenraum besteht ein erheblicher Druck auf die Glasscheiben, der durch Stützkörper, die in einem regelmässigen Raster zwischen den beiden Glasscheiben angeordnet sind, abgetragen wird. Als Abstandshalter stabilisieren diese Stützkörper den Aufbau, damit durch das Vakuum die Scheiben nicht zueinander gezogen werden. Pro m² müssen die Stützkörper, bei Durchmessern von ca. 0,5 mm, einem Druck von ca. 10 Tonnen standhalten und dazu eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen dazu dürfen sie die Durchsicht nicht beeinträchtigen.

Durch Beschichtung zwischen den Gläsern können höhere Werte für Gesamtenergiedurchlass (g- und u-Wert) und Lichttransmission erreicht werden, dies schlägt sich auch in einem besseren Wärmedurchgangskoeffizient nieder.

Bei kleinformatigen Fenstern wird der Randverbund als starrer Glasrandverbund mit bleihaltigem Glaslot erstellt. Bei zunehmender Scheibengrösse steigt jedoch die Spannung im Randverbund. Bei grösseren Fenstern mit hohen Temperaturdifferenzen zwischen der Innen- und der Aussen-scheibe bestand daher die Gefahr von Glasbruch. Die Entwickler lösten das Problem dadurch, indem eine dünne Metallfolie für den Randverbund verwendet wird. Die dünne Metallfolie ist elastisch und kann temperaturbedingte Spannung aushalten und wird durch Ultraschall- und Laserschweissen mit dem Glas fest verbunden, sodass eine vakuumdichte Verbindung besteht. Der gesamte Produktionsprozess wird in einer Druckkammer unter Vakuum ausgeführt.

4.2.2 Stand der Technik

Bis im Jahre 2007 wurden Vakuum Isoliergläser ausschliesslich im asiatischen Raum (Japan&China) von zwei Hersteller produziert.

Eine Forschungsgemeinschaft in Deutschland und in der Schweiz untersuchten die Schwächen im Randverbund der Vakuumisolierverglasung, um das Produkt zur Serienreife zu entwickeln (2004 bis 2006). Im Rahmen dieses Projektes wurden von 2006 bis 2016 die Produktionstechniken zur Herstellung von Vakuumisolierverglasung untersucht und weiterentwickelt. Im Jahr 2019 hat ein belgisches Unternehmen die Produktion für VIG aufgenommen und nennt sein Produkt «Fineo».



4.2.3 Herstellung

Folgende Produktionsschritte wurden im Rahmen des Forschungsprojekt entwickelt und sind für die Herstellung notwendig:

- Reinigen der randentschichteten und unbeschichteten Einzelscheiben
- Aufbringen und Vorbereiten der Randabdichtungen
- Positionieren und Fixieren der Stützen
- Entfeuchten der Gläser
- Zusammenbau der Einheit unter Vakuum und gasdichten Abdichten des Randverbundes
- Überprüfung des Vakuums und der Dichtigkeit

4.2.4 Fineo Gläser

Das Produkt ist folgendermassen aufgebaut:

- 2-3 mm dicke Glasscheiben mit jeweils einer hochisolierenden Beschichtung
- Zwischenraum 0.1 mm dicke Vakuumschicht
- U_g -Werte zwischen 0.4- 0.7 W/m²K (Messwerte)
- Wärmeschutzbeschichtung iplus 0.1
- Sonnenschutzbeschichtungen sind zusätzlich einsetzbar
- Randbereich wird Glas auf Glas anorganisch verschmolzen, herkömmliches Randverbundsystem kommt nicht zum Einsatz
- Uneingeschränkte Sicht ohne Evakuierungsöffnungen (bei herkömmlichen VIG sind diese Öffnungen eingebaut, um die Luft im Scheibenzwischenraum zu evakuieren)
- Transparente Pillars als Abstandhalter welche kaum wahrnehmbar sind
- 15% mehr Tageslichttransmission als Dreifachisolierverglasung mit zwei low-E-Schichten
- Solarer Energieeintrag steigt um rund 30%



U_g-Wert:	 0,4 – 0,7 W/m ² K
Tagelichttransmission:	.. ca. 15 % > Dreifach-Isolierglas
Schalldämmung:	 Ø 3 Dezibel über Dreifach-Iso
Glasdicke:	 im Standardaufbau (2 x 4 mm) < 1 cm
Glasgewicht:	 bei 2 x 3 mm Glasdicke ca. 16 kg/m ²
Aktuell max. Größe:	 1,6 x 2,4 Meter oder 1,5 mal 2,5 Meter (unterhalb Maximalgrößen frei konfigurierbar)
Aktuell min. Größe:	 0,20 x 0,20 Meter
besonderes Feature:	 keine Evakuierungsöffnung
Lieferfähigkeit:	 ab Mitte Juni 2019

Abb. 10 Angaben Fineo Gläser

Die Grundlage für die VIG-Produktion in Europa der AGC Glass Europe ist ein Entwicklungsabkommen zwischen dem japanischen Asahi Glass C. (AGC) und dem Elektronikkonzern Panasonic. Die Zusammenarbeit dieser Unternehmer vereint Know-How von Bildschirmentwicklung und die Veredelung von Glas. Ab Juni 2019, und somit nach der Fertigstellung des Projektes Hohlstrasse startete die Vermarktung dieser Fenster.

4.3 Ausführung VIG Gläser Hohlstrasse

4.3.1 Planung der Gläser und Produktion der VIG

Vor der Bauausführungen wurden im Vorfeld die Machbarkeit der Gläser geprüft:

- Messung und Validierung aller wichtigen bauphysikalischen Eigenschaften der VIG durch Mustergläser.
- Bestätigung der Anforderung für die Zulassung und Verwendung im Schweizer Markt.
- Berechnung der Eigenschaften von kombinierten VIG und Optimierung der eingesetzten Verglasungstypen.
- Messung der VIG (Wärmedämmung, strahlungstechnische Kennwerte, Schallschutz) nach europäischer Normen durch Institute in Europa (Fraunhofer-Institut für Bauphysiker IBP, Schall- und Wärmemessstelle Aachen).
- Aufbau und Test der Fertigung (Herstellung von Prototypen) von kombinierten Vakuum-Isolierverglasung.
- Aufbau einer Zulieferbeziehung zum Hersteller der Vakuumisolierverglasung.
- Schallmessung der Gläser vor Ort.

Die Firma Beijing Synergy, welche im Jahre 2001 durch Prof. Tang in Beijing gegründet wurde, produziert seit 2004 VIG. Die zweiten Produktionsanlage, welche 2013 den Betrieb aufnahm, wurden die Vakuumisolierverglasungen für das Projekt Hohlstrasse produziert. In dieser Anlagen werden Gläser bis zu 2.8 x 1.8 m hergestellt.



Die Fenster im Randgebäude sind vom 1. bis zum 5. Obergeschoss mit 3-fach-Vakuum-Isolierverglasungen ausgestattet und verfügen auf der Strassenfassade zusätzlich über einen erhöhten Schallschutz. Insgesamt wurden 4 verschiedene Vakuumisolierverglasungen eingebaut, welche bezüglich des Schallschutzes für unterschiedliche Anforderungen konzipiert worden sind.

4.3.2 Vorteile

- Schlankeres Fenstersystem als mit herkömmlichen Isolierverglasungen
- Bessere bauphysikalische Eigenschaften als herkömmliche Isolierverglasung
- U_g -Wert ist neigungsunabhängig
- Vakuumglas ist unabhängig von Höhenlage
- Hohe Lebensdauer erwartet (+/- 50 Jahre)
- Kann auch verwendet werden um Einfachgläser zu ersetzen

4.3.3 Nachteile

- Fehlende Zertifikate in Europa
- Fehlende Erfahrungswerte gegenüber Dauerhaftigkeit
- Bis 2019 keine Produktionsstätte (bis Abschluss Ausführung) in Europa, Lieferung aus China
- VIG ist teuer
- Bei Verbundsystem mit Schallschutzglas, um hohe Schallschutzanforderung zu erfüllen, wurde ein hohes Gewicht erreicht, Transport via Luftfracht undenkbar, Einglasungen auf der Baustelle nicht zu empfehlen. (Das Ziel einer leichten Fensterkonstruktion wurde strassenseitig nicht erreicht.)
- Die Interlayer-Folie könnte die Ursache der Vermilchung des Glases am Projekt Hohlstrasse sein

4.4 Vergleich mit herkömmlichen Verglasung

4.4.1 Bauphysikalische Eigenschaften

Die Anforderung an die Qualität mit den vielfältig möglichen Materialeigenschaft ist bei Isolierverglasungen hoch. Das bedeutet Multifunktionalität: hoher Wärmeschutz, hoher interner Solargewinn, hoher Schallschutz und hohe Sicherheit.

Herkömmliche Schalldämm 3-fach Isolierverglasungen erfüllen die normativen Vorschriften mit einer grösseren Scheibendicke und sind dadurch auch schwerer.

Bei der VIG-Verglasung werden bereits mit dem Zweischalenaufbau gute Wärmeschutz- und Schallschutzeigenschaften erreicht. Bei Sanierungen, insbesondere im Altbau und bei historischen Gebäuden sind VIG Gläser als Ersatz von zweifach Isolierverglasung sehr interessant, da diese in der Regel in die bestehenden und auch in alte Flügelrahmen eingesetzt werden können.



Eigenschaften	nur VIG (Messwerte)	VIG mit Zusatzscheibe (schwer) (Messwerte)	Schalldämm Isolierverglasung 2-fach, Füllung Argon (Glas Trösch) (Messwerte)	Schalldämm Isolierverglasung 3-fach, Füllung Argon (Glas Trösch) (Messwerte)
Stärke Glaspaket	11 mm	32 mm	24 mm	44 mm
Ug-Wert	< 0.5 W/m ² K	< 0.4 W/m ² K	1.1 W/m ² K	0.7 W/m ² K
g-Wert	> 0.5	> 0.4	0.63	0.49
Gewicht	25 kg/ m ²	> 35 kg/ m ²	25 kg/ m ²	50 kg/ m ²
Schallschutz	Rw 37 dB	Rw 49 dB	Rw 36 dB	Rw 40 dB
Glasrandverbund	> 0.04 je nach Einstand	0.04	unbekannt	unbekannt

Tabelle 5 Vgl Isolierverglasung und VIG

Vergleicht man die VIG Gläser mit einer 3-fach Isolierverglasung, können bei vergleichbarem Schallschutz besser Wärmedämmeigenschaften erzielt werden. Signifikante Unterschiede findet man bei der Schichtdicke und beim Gewicht; VIG benötigt rund ¼ der Schichtdicke und das Gewicht halbiert sich.

Durch das stark verringerte Gewicht sind die Anforderungen an den Rahmen und die Beschläge bezüglich Belastung und tragende Unterkonstruktion geringer und der Montageaufwand vereinfacht sich.

4.4.2 Zertifizierung

Das Produkt Vakuum-Isolierverglasung ist im europäischen Regelwerk zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Mehrscheibenisolierverglasung (MIG) noch nicht gelistet.

VIG ist ein noch wenig geregeltes und noch kein harmonisiertes Bauprodukt. Eine CE-Kennzeichnung^{*1} liegt aufgrund des fehlenden Nachweises der Verwendbarkeit noch nicht vor. Das IFT Rosenheim entwickelt zurzeit ein Prüfverfahren, um den Nachweis der Dauerhaftigkeit zu prüfen und ein Schlussentwurf der ISO Norm bezüglich VIG und Bewertungsmethode für Wärme- und Dämmleistung (2018) wurde bereits veröffentlicht.

^{*1} Eine CE-Kennzeichnung ist kein Qualitätssiegel, sondern deklariert ausschliesslich Produkte, welche der Bauprodukte-Richtlinie (BPR) bzw. der Verordnung entsprechen. Die BPR stellt sicher, dass die Produkte EU weit ohne Einschränkungen in Verkehr gebracht werden können.

4.4.3 Ökobilanz

Rohmaterial

Für die 3-fach Isolierverglasung ist Krypton notwendig. Dieses Edelgases ist rar und seine Gewinnung aufwändig. Argon gehört ebenfalls zu den seltenen Elementen, ist jedoch das am häufigst vorkommende Edelgas in der Atmosphäre und in geringfügiger Menge auch in Gesteinen vorzufinden. Die Gewinnung beider Edelgase erfolgt aus der Luft mit fraktionierter Destillation von verflüssigter Luft.

Hingegen sind die Scheibenzwischenräume der Vakuumisolierverglasung luft- und gasfrei.



Der Hauptrohstoff der Flachglasherstellung besteht auf Siliciumoxid oder sogenanntem Quarzsand, welche Hauptbestandteile von Gesteinen und Sanden ist.

Die Ökobilanz der 3-fach Isolierverglasung ist aufgrund der teuren und energieintensiven Gewinnung der Edelgase deutlich schlechter als die von VIG Gläsern.

Produktion

Es wird davon ausgegangen, dass die Produktionsprozesse für die VIG Gläser mit grösseren Aufwendungen verbunden sind und mehr Energie dafür verwendet wird als für Isolierverglasung. Für die VIG Gläser gibt es noch keine zertifizierten Produkte, wobei sich die Produktion und ihre Prozesse zu unterschiedlichen Produktionsstätten noch stark variieren können. Je nach Produktionsstätte und Standort hängt die Umwelteinwirkungen von Energiebezug (Elektrizität) respektive von der Produktion des Stromes ab.

Nutzungszeit

Bei einer 3-fach Isolierverglasung wird von einer Lebensdauer von ca. 20 bis 30 Jahren ausgegangen werden. Bei VIG Gläsern wird eine Lebensdauer von ca. 50 Jahren erwartet, jedoch hat noch keine Langzeitstudie diese Erwartung bestätigt.

Transport

Für Gläser aus europäischer Produktion kann von gleichen Transportweg und Transportkosten für VIG und Isolierverglasung ausgegangen werden. Für Verglasungen aus dem asiatischen Raum, z. B. China fällt als Folge von längeren Transportwegen auch eine höhere Umweltbelastung an.

Recycling

Alte Gläser, ob VIG oder Isolierverglasung lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht wieder in die Flachglasproduktion zurückführen, dies aufgrund der hohen Reinheitsanforderungen. Der Recyclingprozess kann für beide Produkte ähnlich bewertet werden. Abfälle von Wärmeschutz- und Isolierverglasungen werden auf Bauschuttdeponien gelagert, jedoch müssen die Glasbeschichtungen, bestehend aus den unterschiedlichsten Metallen, vor der Endlagerung vollständig vom Glas getrennt werden.

Fazit

Der Mehraufwand für die Herstellung und die Verwendung der VIG Gläser kann mit der langen Nutzungszeit und dem Fehlen von Edelgasen und durch den hohen Wärmeschutz respektive die dadurch erzielten Energieeinsparung gut begründet werden. Dazu wirken sich sekundäre Faktoren z. B. das geringeren Gewicht ebenfalls positiv aus.

Anhand der vorliegenden Unterlagen und den im P&D Projekt bis anhin gemachten Erfahrungen kann mit den verbauten VIG Gläsern aus europäischer Produktion von einer positiveren Ökobilanz ausgegangen werden.

Die Ökobilanz fällt ins Negative, wenn rasch Ersatzgläser mit dem Flugzeug aus Fernost angeliefert werden müssen.



4.4.4 Nutzungszeit

3-Fach Isolierverglasungen haben eine Nutzungszeit von ca. 20 bis 30 Jahren, bei nahezu unveränderten Leistungsdaten. Faktoren, welche die Nutzungszeit beeinflussen:

- Der Gasaustausch im Randverbundsystem der organischen Komponenten kann nicht vollständig unterbunden werden. Wasserdampf kann in die Zwischenräume eintreten und ausdifferenzieren. Im Randverbund integrierte Trocknungsmittel fängt den Wasserdampf auf, jedoch reduziert sich das Reservoir des Trocknungsmittel auf eine wirksame Nutzungszeit auf ca. 25 Jahre.
- Bei mehreren Scheibenzwischenräume verstärken sich die Temperaturschwankungen, die im Randverbund Pumpbewegung auslösen und die aussenseitige Scheibe stark bewegt. Dadurch werden die elastischen Komponenten des Randverbundes stärker beansprucht und reduzieren die Lebensdauer.
- Bei Vakuumisolierverglasungen wird eine Nutzungszeit von 50 Jahre erwartet. Eine belegbare Aussage zur Nutzungszeit kann nicht gemacht werden. Dazu liegen zurzeit jedoch weder eine ausreichende Datengrundlage noch entsprechende Erfahrungsbericht vor.

Faktoren, welche die Lebensdauer beeinflussen:

- Im Vakuum „gasen“ alle Materialoberflächen aus. Ein Getter, als chemisch reaktives Material erhält das Vakuum möglichst lange und die Wahl des passenden Getters bestimmt auch die effektive Nutzungszeit.

4.4.5 Ergebnis/Fazit

Durch den Einsatz von Vakuum-Isolierverglasungen konnte beim P&D Projekt mit einem schlanken Aufbau und dem ursprünglich geringen Gewicht ^{*1}, gute Dämmwerte erreicht werden.

^{*1} Das Gewicht der Gläser wurde aufgrund von Zusatzmassnahmen im Zusammenhang mit dem Schallschutz deutlich erhöht. Die hohen Anforderungen an Schallschutz konnten nur durch ein Verbundsystem VIG mit einer zusätzlichen Schallschutzverglasung gelöst werden. Dadurch erhöhen sich wieder die Anforderung an die Rahmenkonstruktion und an die Beschläge sowie an den Einbau. Das Verhalten im Randverbundsystem aufgrund der unterschiedlich eingesetzten Medien im Scheibenzwischenraum muss die Nutzungszeit wieder neu bewertet werden.

Mögliche Anwendungsbereich der gut wärmedämmenden Verglasungen eignen sich besonders für Niedrigenergie- und Passivhäuser im Neubau sowie aber auch für energetisch und schallschutzverbessernde Massnahmen in der Altbausanierung.

Der Gesamtgebäudebestand ist vorherrschend, der direkte Austausch von Einfachgläser durch Vakuumgläser hat sehr grosses Marktpotential.

Die aktuelle Forschung befasst sich mit den Produktionstechniken zur Herstellung von Vakuumisolierverglasung, sodass heute von einer serienreifen Produktion der Gläser ausgegangen werden kann, wobei die Erfahrungen mit der Anwendung zum heutigen Zeitpunkt noch klein sind.



In den Fachverbänden nimmt die Forderungen nach Konzepten, Lösungen und zur Verfügbarkeit der technischen Informationen wie Prüfergebnisse Erfahrungsberichte zu. Derweil ist der Erfahrungsaustausch und über den Stand der Technik sowie die Marktanforderung Gegenstand der Diskussionen.

Bezüglich Wirtschaftlichkeit steht die, noch erhebliche grosse Preisdifferenz zum Mehrscheiben-Isolierverglas und VIG der breiten Anwendung im Neubaubereich noch im Weg.

Es ist zu erwarten, dass mit der Inbetriebnahme weiterer Produktionsstätten und einer Massen-Serienfertigung die Kosten sinken werden.

2019 wurde eine erste Produktionsstätte in Belgien für den Europäischen Markt in Betrieb genommen, was die Anwendung und die Lieferung von Ersatzgläsern deutlich vereinfacht und die Ökobilanz sowie den wirtschaftlichen Aspekt deutlich positiv bewertet.

P&D Projekt

Die ausschliessliche Verwendung von VIG-Gläser, unterschiedlicher Konfiguration, in einem Neubausprojekt bietet die Möglichkeit wertvolle Erkenntnisse über die Anwendung und die Nutzungszeit sowie über notwendige Verbesserungen zu erhalten und leistet mit den realen Anwendungserfahrungen in der Innenstadt einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung.

5 Haustechnik

5.1 Warmwassermonitoring Teil 1

Massnahme 3a: Teilweise umgesetzt

Reduktion des Energieverbrauchs für Warmwasseraufbereitung durch Optimierung der Anlagenseite und Beeinflussung des Benutzerverhaltens – Warmwassermonitoring Teil 1: Warmwassermonitoring zur Ermittlung des realen Brauchwarmwasserverbrauchs.

5.1.1 Beschrieb der Massnahme

Der Energiebedarf für Brauchwarmwasser ist in den letzten zweieinhalb Jahrzehnten in der Normenbearbeitung vernachlässigt worden und wird auch im Zuge der aktuellen Überarbeitung nicht angepasst, obwohl sich in dieser Zeit sowohl das Benutzerverhalten verändert als auch die technischen Anlagen deutlich verbessert haben.

In modernen Gebäuden macht der Energiebedarf für Brauchwarmwasser mittlerweile einen wichtigen Anteil des Gesamtenergieaufwandes aus, doch weder den Nutzern noch den Fachleuten ist klar, wie gross der Energieaufwand für das Brauchwarmwasser tatsächlich ist. Das geplante Warmwasser-Monitoring an der Hohlstrasse soll wichtige Erkenntnisse liefern, um die Nutzer zu sensibilisieren und Grundlagen für Normenanpassungen zu schaffen.



Auszug aus Lösungsansatz, Zitat: «Zum Beispiel ist es wichtig, dass die Brauchwarmwassererzeuger möglichst genau auf die Bedarfssituation ausgelegt sind. Mit dem Beginn der Betriebsphase der beiden Gebäudeteile sollen auf der Grundlage eines 4-jährigen Warmwassermonitoring, unter Nutzung, der Energiebedarf mittels drei Lösungsansätzen reduziert werden:

- Aktuelle Standardwerte der SIA-Normen hinterfragen
- Nutzerverhalten und den Versuch dieses zu beeinflussen analysieren
- Anlagen und Systeme optimieren

Auszug aus Nutzen, Zitat: «Die im Lösungsansatz mit dem Monitoring aufgezeigten Ziele der Hinterfragung normativer Kennwerte, dem Analysieren des Nutzerverhaltens und der Betriebsoptimierung der Warmwassererzeugung sollen realen Nutzen in einem realen Projekt generieren, denn die Überprüfung normativer Kennwerte für den Warmwasserverbrauch wäre in einem Laborversuch nicht zu leisten. ... Ausserdem soll durch die Überprüfung der Normwerte ein projektübergreifender Beitrag geleistet werden. Je nach Ausgang des Monitorings können die normativen Werte bestätigt oder was wahrscheinlicher ist, fundiert in Frage gestellt werden.»

Entsprechend dem Massnahmenbeschrieb braucht es für ein aussagekräftiges Monitoringkonzept Wärmepumpenzählern sowie Zähler für Warmwasser deren Werte über Datenlogger erfasst werden. (Dies entspricht heutigem Stand der Technik, wird aber in Wohnbauten selten verbaut).

5.1.2 Umsetzung der Massnahme

- Die Daten der Wärmepumpen werden aufgezeichnet.
- Die Warmwasserzähler in den Wohnungen sind vorhanden und deren Daten werden aufgezeichnet.
- Nebst diesen Messdaten werden im MSR noch diverse andere Messpunkte aufgezeichnet (z.B. Sensoren Warmwasserspeicher, Leistungen, Ventilstellungen, etc.).
- Das Auslesen und Auswerten der Daten erfolgt durch E360° AG und dient der Anlagenoptimierung im Rahmen des Contracting-Vertrages sowie der Heizkostenabrechnung.
- Die Messdaten zum Thema Brauchwarmwasser werden ebenfalls von E360° AG erfasst und ausgelesen.

5.1.3 Abweichung P&D Massnahme

- Die externe Auswertung der Daten durch EK Energiekonzepte AG ist im Rahmen der Projektarbeit entfallen.
- Einzelne Systemkomponenten wurden durch modernere Komponenten ersetzen.
- Die laufende Optimierung der Warmwasseraufbereitung wird nicht umgesetzt.
- Der Abgleich mit den Normwerten hat noch nicht stattgefunden (es besteht kein Projekt dazu).
- Von der Realisation einer individuellen Monitoringsoftware wurde im Laufe der Projektarbeit abgesehen.
- Die erfassten Daten werden nicht laufend ausgewertet und das System realtime optimiert (es besteht kein Projekt dazu). Durch E360° AG wird die Anlagenoptimierung im Rahmen des Contracting-Vertrages vorgenommen.

5.2 Ausführung Haustechnik

5.2.1 Heizsystem

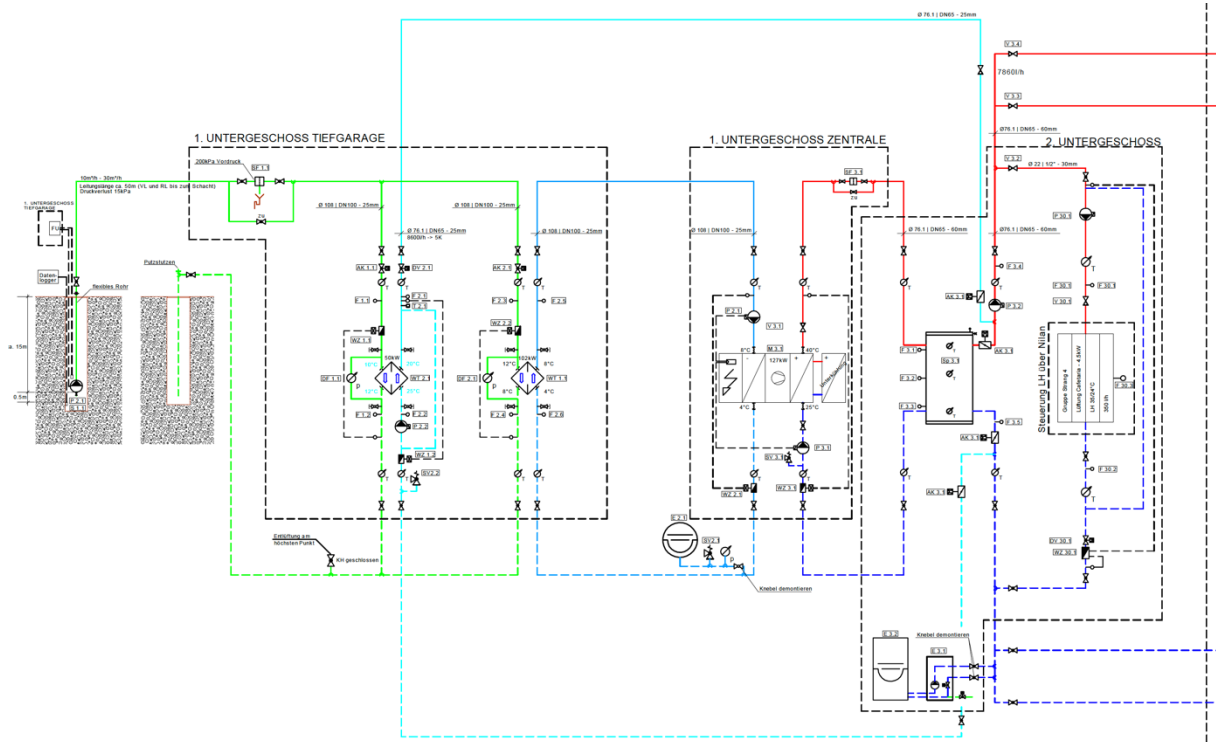


Abb. 11 Heizkreislauf

Die Heizwärmeproduktion wird mittels einer Grundwasser-Wärmepumpe erzeugt, welche sich im 1. Untergeschoss befindet. Eine Pumpe, die sich in einem Pumpenschacht ca. 14 m unter dem Terrain befindet, versorgt die Wärmepumpe mit der nötigen Kälte resp. Wärme. Die Steuerung der Pumpe befindet sich in der Tiefgarage bei den Plattentaucher.

Die Wärmepumpe wurde für den gesamten Wärmebedarf, d.h. für das Hofgebäude sowie für das Randgebäude dimensioniert. Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe wird nach den Aussentemperaturen gesteuert.

Die maximale Vorlauftemperatur ergibt sich durch das Temperaturniveau des Lufterhitzers, welches für 35/26°C ausgelegt ist. D. h. diese Temperatur ist notwendig, um den Lufterhitzer mit der nötigen Wärme zu versorgen. Die Fussbodenheizung wird mit einem Temperaturniveau von 30/26° C geführt, d. h. sie wird bei -8° C mit einer max. Vorlauftemperatur von 30° C betrieben. Die max. Vorlauftemperatur von 38° C kann nicht überschritten werden.

Das Hofgebäude mit 28 1 ½ Zimmerwohnungen (1'424 m²), wird über Fussbodenheizung geheizt und der Eventraum (166 m²), wird über die Lüftungsanlage beheizt.

Die Wohnungen im Randgebäude mit 41 Wohnungen, vorwiegend 1 ½ Zimmerwohnungen (2'389 m²) werden über Fussbodenheizung beheizt.



Im Untergeschoss befindet sich eine Gewerbefläche (397 m²), welche durch die kontrollierte Wohnlüftung beheizt wird. Die Raumtemperatur wird über Raumthermostate gesteuert.

Sinkt die Aussentemperatur unter einen Mittelwert von 14 °C über einen Zeitraum von 12 h, wird die Heizung in Betrieb genommen. Die Vorlauftemperatur wird danach witterungsgeführt gesteuert. Ausserhalb der Heizperiode wird die Primärwärmepumpe abgestellt.

Mit der Wärmepumpe wurde ein Heizungsspeicher eines sogenannten Pufferspeichers mit einem Volumen von 1'500 Liter eingebaut.

Rahmenbedingung Winter:

Max. Wasserentnahme:	500 l/min
Wassertemperatur vor Nutzung:	12° C
Min. Rückgabetemperatur:	6° C
Max. Abkühlung	4 K
Max. Wärmeeinzugsleistung	102 kW
Jährlicher Wärmeentzug	255 MWh/a

Rahmenbedingung Sommer:

Max. Wasserentnahme:	250 l/min
Wassertemperatur vor Nutzung:	12 °C
Min. Rückgabetemperatur:	14° C
Max. Abkühlung	2 K
Max. Wärmeeinzugsleistung	50 kW
Jährlicher Wärmeentzug	6 MWh/a

5.2.2 Kühlung

Zur Kühlung in der Sommerperiode wird das Grundwasser genutzt; die Leistung wurde auf 50 kW begrenzt. Die Kälteproduktion erfolgt über das Grundwasser, in dem über einen Plattenwärmetauscher der Kältekreis gekühlt wird.

Das Freecooling ist in Betrieb, wenn die Hauptpumpe der Fussbodenheizung im UG in Betrieb ist. Ausserhalb der Heizperiode speist das Freecooling-System das Temperaturniveau des Grundwassers über einen Trenntauscher im Heizsystem.

Durch eine Regulierung auf der sekundären Seite, kann das Grundwasser um 2° C aufgeheizt werden, um den notwendigen Temperaturunterschied des Grundwassers zu erreichen.

Steigt die Aussentemperatur unter einen Mittelwert von 26°C über einen Zeitraum von 12 h wird das Freecooling in Betrieb genommen. Danach wird die Vorlauftemperatur konstant auf 20° C Vorlauf gehalten.



5.2.3 Warmwasser

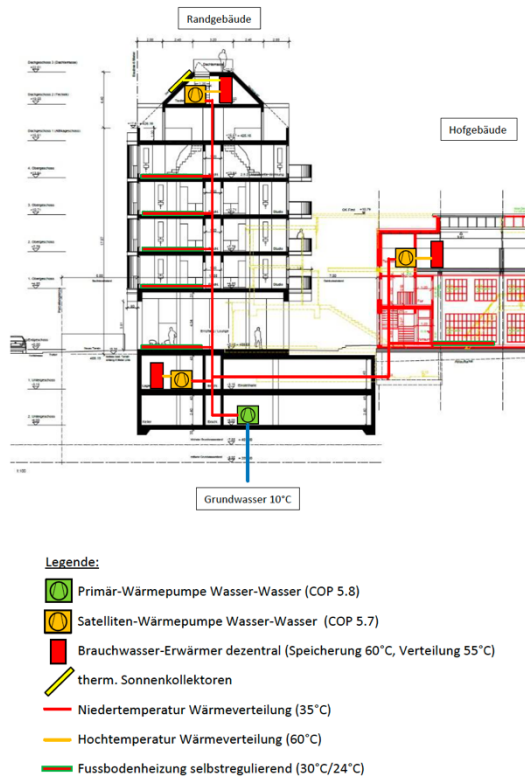


Abb. 12 Wärmepumpen und dezentrale Erwärmer

Für die Aufbereitung von Warmwasser wurde 3 Satelliten- Wärmepumpe in der Nähe der Verbraucher, d.h. für das Rand- und das Hofgebäude im Dachgeschoss und eine in der Cafeteria installiert. Eine Hauptpumpe leitet das Wasser in die Wärmepumpen. Dezentrale Brauchwasser-Erwärmer stehen in unmittelbarer Nähe der Satelliten-Wärmepumpen und pro Gebäude wurde 2 Boiler, in Serie angeschlossen, installiert.

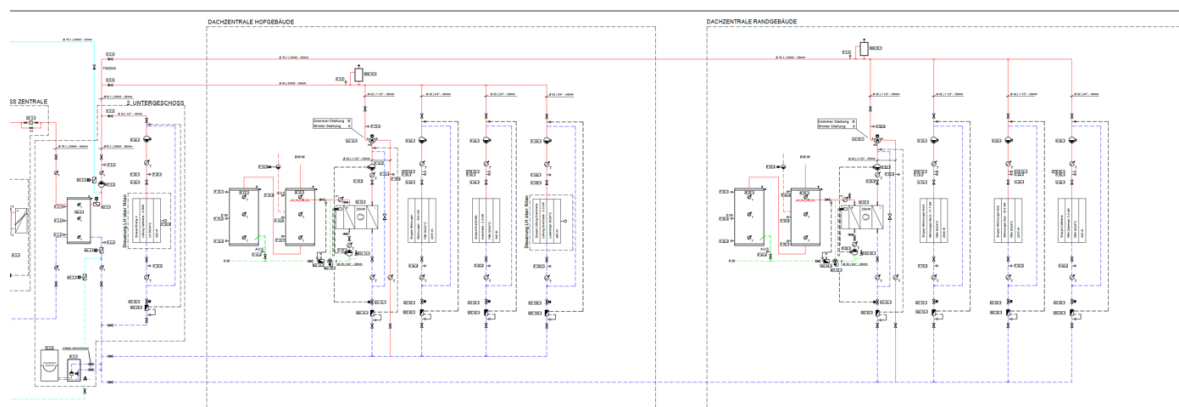


Abb. 13 Warmwasserkreislauf



Die Energie für die Warmwasserbereitung wird innerhalb der Heizperiode aus dem Rücklauf der Fussbodenheizung gewonnen. Ausserhalb der Heizperiode erhalten die Satelliten-Wärmepumpen ihre Energie wieder aus der Fussbodenheizung, welche im Sommer nicht Heizwecken, sondern Kühlwecken dient. Warmwasser kann im optimalen Fall mit der Abwärme der FBH und im schlechtesten Fall mit der Grundwassertemperatur von 10 °C einem hohen COP herstellen (COP= Kennzahl, welches das Verhältnis von Nutzwärme zur aufgewendeten elektrischen Energie angibt-jedoch nur eine Momentaufnahme für normative Bestimmungen).

5.2.4 Lüftung/Komfortlüftung

Bei der Lüftungsanlage (Komfortlüftung/Hygienelüftung) handelt es sich um eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Wärmerückgewinnung erfolgt über einen Gegenstrom-Wärmetauscher und wird zur Vorwärmung der Zuluft genutzt.

Sämtliche Wohnräume erlauben den minimal notwendigen, hygienischen Luftwechsel. Das Öffnen der Fenster ist trotzdem jederzeit möglich und beeinträchtigt die Funktion der Anlage nicht.

In allen Mietbereichen/Wohnungen wird die Raumluft aktiv mit einer Komfortlüftung von 5 Zentrallüftungsgeräten ausgetauscht. Im Randgebäude befindet sich ein 1 ZLG für die Lüftungen der Wohnungen, je 1 ZLG für Verkaufsfläche und Cafeteria. Im Hofgebäude sind 2 ZLG, für die Wohnungen und für die Eventhalle installiert.

Die Zuluft wird in den Wohn- und Schlafzimmern eingeblasen und die Fortluft wird in den Bereichen Küche und Bad abgesaugt. Die Komfortlüftung ist mit einem Nachwärmer ausgerüstet, sodass die Zuluft nach der WRG soweit aufgewärmt ist, dass sie mit ca. 2 °C über der Raumtemperatur eingeblasen werden kann.

In sämtliche Kellerräume, ausserhalb des Dämmperimeters, wurden eine Abluftanlage mit natürlicher Nachströmung installiert.

Für die Verkaufsfläche, EG-Randgebäude, und die Eventhalle (Hofgebäude) wurde die Lüftungsanlage für eine Grundlüftung ausgelegt, bei welchem eine Luftmengenregelungen möglich ist.



mehrjährigen anlagentechnischen und anlagenspezifischen Monitoring mit darauf aufbauender Auswertung und Analyse erreicht werden. Die hocheffiziente Anlage mit ihren Komponenten wie Lüftungsanlagen, Photovoltaikanlage und Brauchwasserspeicher sowie weitere Gebäudetechnikkomponenten sollen so aufeinander abgestimmt werden, dass immer weniger Primärenergie verbraucht wird sowie der Eigenverbrauch und der Stromverbrauch insgesamt reduziert werden.

5.3.1 Umsetzung der Massnahme

Das ursprünglich beschriebene Mess- und Monitoring-Konzept wurde nicht mit allen Details umgesetzt. Die notwendige Sensorik resp. die Mess- und Datenpunkte sind aber grösstenteils vorhanden und liefern die Daten ins MSR-System. Somit können diese Daten resp. Zähler und Sensoren im MSR-System erfasst und ausgelesen sowie ausgewertet werden. Die Aufzeichnungsintervalle sind für Monatsverbräuche optimiert. Die Art der Datenübergabe und der Auswertung wird zurzeit mit der Firma E360° AG (Anlagen-Contracting) abgestimmt.

Das Messkonzept enthält die physische Erfassung von Messgrössen, welche für das Monitoring der gebäudetechnischen Anlagen notwendig sind.

Das geplante MSRL-System beinhaltet Standardschnittstellen/Standardprotokolle, welches die Daten an eine Datenloggingstation weiterleitet und die erfassten Daten speichert.

5.3.2 Abweichung der Massnahme

Die vorgesehene individuelle, nur für das P&D Projekt entwickelte Softwarelösung für das Monitoring und die Optimierungsprozesse der Anlagesteuerung wurden nicht entwickelt.

Die Anlagensteuerung kann somit die erfassten Daten nicht real time auswerten und die Gesamtanlagensteuerung optimieren.

5.3.3 MSR

MSR ist ein Mess-, Steuer- und Regelungssystem für die Gebäudetechnik.

Für die Realisierung von Steuerungs- bzw. Regelungsfunktionen sowie die Gewährleistung der Sicherheit der Anlagen von Heizung-, Lüftung-, Klima-, Sanitär- und Elektroanlagen ist die Erfassung der beeinflussenden Größen von grosser Bedeutung. Dabei werden die elektrischen Messgrössen wie Strom-, Spannung und Widerstandsmessung gemessen.

Nicht elektrische Messgrössen wie Temperatur-, Druck-, Feuchte-, Durchfluss-, Wärme- und Schallpeilmessungen gehören ebenfalls zu den wichtigen Basisgrössen in der Versorgungstechnik.

Die Steuerung erfolgt über ein Steuergerät, welche Prozessgrössen als Eingangsgrössen messen und durch festgelegte Gesetzmässigkeiten die Ausgangsgrössen definieren.

Die Steuerung, z. B. die Raumtemperatursteuerung wird in Abhängigkeit der Aussentemperatur als Prozessgrösse über einen Temperaturfühler gemessen.



Bei der Regelung werden diejenigen Prozessgrössen gemessen und mit einem Vorgabewert verglichen, welche beeinflusst werden sollen. Dadurch kann z. B. bei einer zu hohen Raumlufttemperatur eine Hubverringering der Bodenheizung mit einem bestimmten zeitlichen Verhalten programmiert werden.

Mithilfe der Steuerungs- und Regelungstechnik wird die Sicherheit der Anlage deutlich erhöht und der Betrieb aufrechterhalten. Durch gesetzte Sicherheitskriterien können Gefahrenzustände frühzeitig erkannt und Schäden oder ein Ausfall der Anlage verhindert werden. Die Technik ermöglicht eine optimale Energieausnutzung und dabei die Kosten und die Umweltbelastungen signifikant reduziert.

5.3.4 Liste grosser gebäudetechnischer Verbraucher

- Wärmepumpe Grundwasser für Fussbodenheizung
- Wärmepumpe Warmwasser RL FBH Randgebäude und Hofgebäude
- Unterwasserpumpe 1 und 2 (Grundwasserentnahme)
- Schwimmpumpe Entwässerung Schacht Autolift
- Abwasserpumpe
- Monoblock (NILAN) und Lüftung Mieter Gewerbe (Eventhalle) Hofgebäude
- Monoblock (NILAN) Lüftung Mieter Wohnungen Hofgebäude und Randgebäude
- Monoblock (NILAN) Lüftung Mieter Gewerbe (Erdgeschoss) Randgebäude
- Photovoltaikanlage
- 3 Abluftventilatoren Lüftung Kellerräume
- Zuluftventilatoren Lüftung Einstellhalle
- Abluftventilatoren Lüftung Einstellhalle

5.3.5 Liste der wichtigsten Datenpunkte

Wärmepumpe:

- Betriebsstunden und -zustand Kompressoren
- Betriebsmodus Heizung, BWB, Lüftung (AN/AUS/Zeitplan)
- Leistungsbedarf WP (elektrisch, JAZ möglich)
- Leistungsbedarf Hilfsenergien WP
- Wärmeproduktion
- Temperaturen Vor- und Rücklauf primär- und sekundärseitig
- Anforderung Kompressoren durch GLT

Lüftungsgeräte:

- Betriebsmodus Ventilatoren
- Temperaturen Heizregister (Nur Cafeteria und Eventhalle)
- Betriebsmodus WRG



Pumpen:

- Betriebsmodus (AN/AUS/Zeitplan)

Ventile:

- Ventileinstellung (Kellerlüftung ABL, Verteiler Fussbodenheizungen, WT Freecooling, Heizregister, Verkaufsfläche und Eventhalle)

PV-Anlage:

- Leistung pro Wechselrichter
- Stromertrag pro Wechselrichter
- Einstrahlung auf die PV-Anlage (Messung auf Dach Randgebäude)

5.3.6 Ergebnis/Fazit MSR

Die MSR ist eine sogenannte Schaltzentrale der Haustechnik. Die gesamte verbaute Gebäudetechnik, alle Verbraucher, Energieerzeuger werden über dieses System gesteuert und sind miteinander vernetzt und verbunden.

Eine solche Anlage vereinfacht die Bedienung sowie die Wartung einzelner Komponenten der Haustechnik und stellt die Versorgungssicherheit stetig sicher. So können einzelne Komponenten und Einstellwerte gemäss Kapitel 4.4.2 verändert werden und die Anlagenkomponenten aufeinander abgestimmt, optimiert und gesteuert werden.

Eine zentrale Überwachung und Fernzugriff ermöglicht die Steuerung und das rasche Eingreifen (Fernwartung) durch versierte Fachspezialisten und ist eine Vereinfachung des Betriebs, was die Gebäudeautomation wirtschaftlich und effizient macht.

Aus den aufgezeichneten Daten können wertvolle Erkenntnisse über den Verbrauch von Warmwasser und Heizwärmebedarf sowie über die Effizienz der Wärmepumpe gezogen werden.

Die Aufzeichnung des Stromverbrauchs geben Aufschluss über die Stromproduktion der PV-Anlage, ihren Autarkiegrad und den Netzbezug.



6 Nicht Umgesetzte P&D Massnahmen

6.1 GlassX Elemente

Massnahme 2a: Nicht umgesetzt (nach Planungsphase gestoppt)

Reduktion der Heizenergie durch Phasenverschiebung Glaselemente zur Speicherung der Sonnenenergie.

6.1.1 Beschreibung der Massnahme

In der Architektur ist seit Jahren ein Trend zu hohem Glasanteil unübersehbar. An Südfassaden ist dies bis zu einem gewissen Grad energetisch sinnvoll, da die in der Planungsphase solare Einstrahlung im Winter zur Heizung des Gebäudes beiträgt. Im Sommer neigen solche Gebäude jedoch zur Überhitzung, da sie einen zu hohen solaren Energieeintrag zulassen und die Erwärmung wegen fehlender thermischer Speichermasse nicht auffangen können.

Die Firma GLASSX bietet eine passive Lösung, um ein angenehmes Raumklima und Energieeinsparungen erzielen zu können, wenn traditionelle Ansätze (Dämmung, Verschattung, HLK-System) ausgeschöpft sind oder aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht eingesetzt werden können.

Im Projekt war vorgesehen, GLASSX-Elemente als bewegliche Komponenten raumseitig der Fassadenfester umzusetzen. Im Gegensatz zur Projekteingabe musste im Laufe der Planung allerdings anstelle von automatisch schliessenden Schiebefenstern auf manuell bedienbare Drehfenster umgestellt werden. Schiebefenster würden hinter den schallschutztechnisch notwendigen Drehflügel-Aussenfenstern nicht funktionieren.

Auszug aus Hintergrund / Problematik, Zitat: *«Allerdings lässt sich der U-Wert dieser Komponenten zu vertretbaren Kosten nicht mehr unendlich weit senken. Gleichzeitig haben sehr gut gedämmte Gebäude oft Überhitzungsprobleme oder können den thermischen Komfort nur durch den Einsatz einer aktiven Kühlung gewährleisten. Um den Energieverbrauch für Heizen und Kühlen in Gebäuden trotzdem weiter senken zu können, bieten sich gerade in leichten Gebäuden passive Lösungen basierend auf thermischer Masse und Nachtauskühlung an.»*

Auszug aus Nutzen, Zitat: *«Die GlassX-Elemente nutzen Phasenwechselmaterialien als transluzente thermische Masse, welche eingestrahlte solare Wärme direkt absorbiert und für eine zeitverzögerte Abgabe speichert. Im Winter kann so ein Maximum an solarer Wärme in den Innenraum gelassen werden, ohne eine Überhitzung zu riskieren. Diese Wärme wird am Abend zeitverzögert abgegeben und kann dadurch die Heizung entlasten.*

Im Sommer reduziert die thermische Masse in Kombination mit der Nachtauslüftung den Kühlbedarf und die Stunden ausserhalb der Komfortzone stark, ohne dafür zusätzliche Energie zu benötigen. ..., dass im Projekt Hohlstrasse durch den Einsatz von GlassX Elementen zusammen mit einer optimierten Verschattungssteuerung 20-30% der Heizenergie und bis zu 70% der Kühlenergie eingespart werden können. Gleichzeitig verbessert sich der thermische Komfort innerhalb der Wohnung stark.»

Auszug aus den Arbeitsschritten, Zitat: *«Abweichend von bisherigen Anwendungen wird für das Projekt Hohlstrasse neu ein Kastenfenster mit beweglicher Lagerung der Elemente hinter der Fassade*



entwickelt werden. Zusätzlich werden die Aussenfenster so angepasst, dass eine passive Nachtauskühlung durch geöffnete Fenster jederzeit einfach möglich wird. Um ein optimales Funktionieren des Systems und damit maximale Energieeinsparung zu gewährleisten, werden Fensteröffnung, Verschattung und Position der GlassX-Elemente durch Automatisierung direkt für das Steuerungssystem des Gebäudes beeinflussbar gemacht. ... Dabei werden neben Innenraumtemperaturen auch interne Lasten und Energieverbrauch für Heizung und Kühlung aufgezeichnet werden, um so mit hoher Genauigkeit die Energieeinsparwirkung der GlassX-Produkte feststellen zu können.»

Auszug aus Rückmeldung auf die 10 Fragen von Herrn B. Lehmann vom AWEL vom 12.02.2015
Frage 3a, Zitat: *«Die normativ geforderten Raumklimabedingungen werden auch ohne GlassX-Elemente erreicht».*

Auszug aus Rückmeldung auf die 10 Fragen von Herrn B. Lehmann vom AWEL vom 12.02.2015
Frage 8a, Zitat: *«Es besteht kein Kühlbedarf in den Wohnungen. Demzufolge ist keine aktive Kühlung des Gebäudes vorgesehen. Technisch wäre eine Kühlung mittels Kaltwasserzirkulation aus dem Grundwasserbrunnen möglich».*

6.1.2 Ausstehende Arbeitsschritte

- Entwicklung der Kastenfenster mit beweglicher Lagerung der Elemente hinter der Fassade.
- Anpassung der Aussenfenster für passive Nachtauskühlung durch geöffnete Fenster.
- Automatisierung und Steuerung der Fensteröffnung, Verschattung und Position der GlassX-Elemente.
- Umfangreiche Sensorik zur Auswertung von internen Lasten sowie Energieverbrauch für Heizen und Kühlen.
- Installieren der technischen Anlage, um die Abluft aus den Elementen in die bestehende Anlage einspeisen zu können.

6.1.3 Begründung für Nichtrealisation

Im Rahmen des Projektfortschrittes und der Planung bezüglich der Automation und der GlassX-Fenster sowie der Aussenfenster wurde erkannt, dass der Nutzen dieser lichtdurchlässigen GlassX-Elemente die Nachteile der fehlenden Durchsicht in Wohnbauten mit nur einer kurzen Fensterfront nicht wettmachen konnte und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zu Ertragseinbussen geführt hätte.

Die durchsichtige Fensterfläche hätte sich erheblich reduziert respektive wäre bei den nach Süden orientierten Wohnungen mehrheitlich weggefallen, in den Kleinwohnung wäre nur noch die Balkontüre dafür zur Verfügung gestanden und der Wohnraum hätte sich zusätzlich auf der Fassadenseite in der Breite um ca. 1 m verringert.

Dazu kommt die Tatsache, dass die Strassenfassade hohe Anforderung an den Schallschutz und insbesondere bei Schlafräumen stellt. Im Zusammenhang mit den GlassX-Elementen hätten u. U. auch die Aussenfenster zur Nachtauskühlung geöffnet werden müssen – eine Anforderung, die bei gleichzeitigem Schallschutz nicht zu erfüllt werden konnte.



Als Variante hätten die einzelnen Kastenfenster über eine eigene Belüftung verfügt. Die Nutzung der Abwärme wurde bereits früh in der Planungsphase verworfen, sodass die Lüftung nur durch eine Zirkulation mittels eines elektrisch betriebenen Ventilators durch die Kastenfenster sichergestellt gewesen wäre, was für ein P&D Projekt jedoch keinen Sinn ergibt.

Aufgrund der diversen nicht beantworteten Fragen des energetischen Nutzens der Phasenverschiebenden Verglasung ohne Bedarf einer Kühlung, sowie die offenen Fragen bezüglich des Schallschutzes, der räumlichen wie lichttechnischen Einschränkung für die Nutzer sowie diverser Unklarheiten bezüglich der Konstruktion und der Ausführung wurde entschieden, die diesbezügliche Planung zu stoppen und auf diese Massnahme ganz zu verzichten.

6.1.4 Fazit

Die Grundlagenarbeit in der Planungsphase führte jedoch zu wichtigen Erkenntnissen für weitere Projekte mit ähnlicher Aufgabenstellung.

Die Verfasserin zieht die Erkenntnis aus der Planungsarbeit, dass phasenverschiebende, energiespeichernde Glaselemente im Industriebau - bzw. Gewerbebau eine sinnvolle Ergänzung zu den herkömmlichen Fassaden darstellen könnten und dass diese Anwendung im Industrie- und Gewerbebau weiterverfolgt werden sollte.

6.2 Warmwassermonitoring Teil 2

Massnahme 3b: Nicht umgesetzt

Reduktion Energieaufwand für Warmwasser durch Optimierung der Anlagenseite und Beeinflussung des Benutzerverhaltens – Warmwassermonitoring Teil 2: Anpassung der Komponenten aufgrund des Monitorings nach Phase 1.

6.2.1 Beschrieb der Massnahme

Diese Massnahme stützt sich auf die Massnahme 3a). Mit dieser Zusatzmassnahme soll das Gebäude anhand der erfassten Daten durch Anpassung der Anlagekomponenten Energieeffizienter ertüchtigt werden.

Mit den neuen Erkenntnissen können Normwerte zusätzlich hinterfragt werden und die Anlage selbst optimiert werden. Nach zwei Jahren Monitoring werden die ersten Messresultate ausgewertet, wobei ein Teil der Wohnungen im Ursprungszustand verbleiben. Ein anderer Teil der Wohnung wird mit anderen Komponenten (Prototypen) nachgerüstet und sollen mit der Erfahrung am Objekt zur Marktreife weiterentwickelt werden und weitere Erkenntnisse über die Anwendung liefern. Dabei war angedacht, dass Produkte eingesetzt werden, welche den Wasser- und Energieverbrauch durch neu entwickelte Armaturen weiter senken.

Als Beispiel ist die wassersparende Armatur von Swiss Eco Tao, welches den Wasserbedarf auf ein absolutes Minimum senkt und dabei lediglich Kaltwasser abgibt. Mit der Pilotanwendung hätte dieses Produkt zur Marktreife geführt werden können.

Es war vorgesehen, dass die zweite Phase des Warmwassermonitoring während je zwei Jahren durchgeführt wird. Nach 4 Jahren Monitoring wird die Testphase offiziell abgeschlossen.



6.2.2 Begründung

Folgende Massnahmen wurden nicht umgesetzt:

- Die Akzeptanz der Mieter wurde bei den Kleinwohnungen negativ bewertet.
- Die vorgesehene individuelle, nur für das P&D Projekt entwickelte Softwarelösung für das Monitoring und die Optimierungsprozesse der Anlagesteuerung wurden nicht entwickelt.
- Keine Externe Auswertung der Daten.
- Kein Aktives Monitoring während Betriebsphase.
- Es wurden keine Systemkomponenten durch (Prototypen) neue Komponenten ersetzen.
- Keine Überprüfung der Normwerte.
- Keine Optimierung der Warmwasseraufbereitung.



6.3 Batteriespeicher

Massnahme 6: Noch nicht umgesetzt, wird allenfalls noch realisiert

Durch den Einsatz eines Batteriespeichers für die PV-Anlage wird der eigenproduzierte Strom zwischengelagert und der Eigenverbrauch maximiert.

6.3.1 Beschrieb der Massnahme

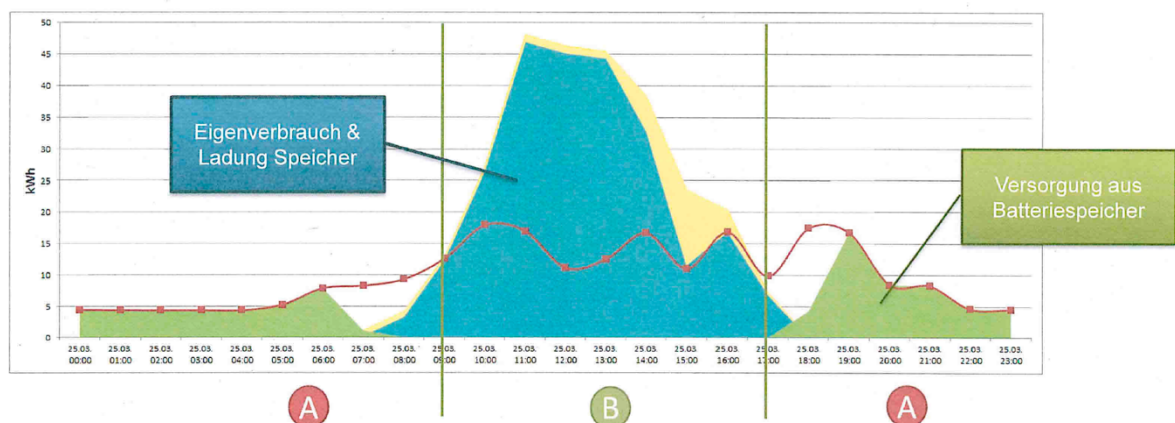


Abb. 15 Ladungskurve Batteriespeicher

Geplant war ein Lithium-Batteriespeichersystem mit einer Speicherkapazität von 104 kWh, die Leistung liegt bei 55 kW. Der Speicher ist ausreichend dimensioniert um die Hohlstrasse von 17:00 Uhr abends bis 09:00 morgens (Abschnitte A) mit der nötigen Energie zu beliefern. Dadurch wäre ein teilautarker Betrieb während dem Frühling, Sommer und Herbst möglich.

Während wenige Wintermonate kann aufgrund unzureichender Sonneneinstrahlung nicht genügend Energie mit der PV-Anlage für den Eigenverbrauch und für die Ladung des Batteriespeichers produziert werden. Die Speichersteuerung soll durch verschiedene Modi wählbar, flexibel und erweiterbar sein.

6.3.2 Begründung

Der Batteriespeicher wurde zu einem späten Zeitpunkt und weit fortgeschrittener Planung und bereits erstelltem Rohbau in das P&D-Projekt aufgenommen.

Dabei stellten sich planerische Fragen bezüglich des Standortes, den Brandschutzanforderungen und den notwendigen Löscheinrichtung. Für die Umsetzung hätten zusätzliche bauliche Massnahmen geplant und umgesetzt werden müssen und diese hätte zu räumlichen Einschränkungen und zu erheblichen Mehrkosten geführt.



Die Energie 360°C prüft die Umsetzung eines Batteriespeichers, um den Eigenbedarf und das Peakshaving und Loadshifting zu verbessern und damit die Wirtschaftlichkeit zu steigern. Zurzeit werden die Brandschutzanforderung sowie die löschtechnischen Fragen geklärt. Ein definitiver Entscheid sowie Zeitpunkt und Zeitrahmen der Umsetzung liegt zum augenblicklichen Moment nicht vor.

6.3.3 Wahl des Batteriespeichers

Blei- oder Lithium-Ionen Speicher sind die gängigsten Batteriespeicher, seit kurzem sind auch Redox-Flow oder auch Wasserstoffspeicher auf dem Markt erhältlich.

Blei-Akkus, mit Blei-Säure oder Blei-Gel-Technik sind bekannt aus der Automobiltechnik und werden dort als Startbatterie eingesetzt. Ihr Einsatz ist erprobt, jedoch liegt ihr Wirkungsgrad bei 82% und die Entladetiefe bei ca. 60 % und ihre Nutzungszeit liegt bei ca. 10 Jahren.

Eine trockene und kühle Lagerung, bei konstanten ca. 15 °C, ist eine Voraussetzung und Zündquellen müssen min. 1 m entfernt sein. Aufgrund der Brandgefahr sind hohe Luftwechselraten notwendig, da beim Laden Knallgas entsteht, das explosiv wirken kann. Die Rückgabe der Batterie erfolgt beim Hersteller, der ist auch für das Recycling verantwortlich.

Lithium-Akkus haben ihren Ursprung aus der Unterhaltungsindustrie. Im Vergleich zu den Blei-Batteriespeicher liegt ihr Wirkungsgrad bei 95 % und die Entladetiefe bei 80 % und ihre Nutzungszeit liegt bei ca. 20 Jahren. Somit diese Batterien bezüglich Speicherkapazität, Reichweite und Lebensdauer effizienter als Blei-Batterien.

Die Batterien dürfen keiner direkte Sonneneinstrahlung oder andere Wärmequelle ausgesetzt sein. Ist keine Löschanlage vorhanden muss eine bauliche und räumliche Trennung von mind. 2.5 m zu anderen brennbaren Materialien eingehalten werden.

Die Entsorgung und der Transport erfolgt nur in zugelassenen Behälter mit Druckentlastungsöffnungen. Bei der Beschädigung besteht Brandgefahr durch austretende Gase.

Redox-Flow-Batteriespeicher entspricht im Funktionsprinzip einer wieder aufladbaren Brennstoffzelle. Das System ist so aufgebaut, dass zwei separate Flüssigkeitskreisläufe durch eine verbundene Batteriezelle strömen. Die Speicherkapazität hängt von der nachfüll- und erweiterbaren Flüssigkeit ab. Ihr Wirkungsgrad liegt bei ca. 80-90 % und hat eine Entladetiefe bis 100 % und die Nutzungszeit liegt bei ca. 15 bis 20 Jahre.

Die Lagerung erfolgt in Tanks, durch die Brandsicherheit kann der Batteriespeicher an kritischen Orten gelagert werden. Durch die intrinsischen Brandsicherheit kann die Lagerung an kritischen Orten erfolgen.



6.3.4 Zusammenfassung

Bei der Wahl der Solarbatterie müssen folgende Aspekte beachtet werden:

- Speicherkapazität
- Wirkungsgrad
- Maximale Entladetiefe
- Lebensdauer und Anzahl der Ladezyklen
- Ankopplung
- Lagerung
- Brandgefahr und Brandschutzvorkehrungen
- Entsorgung

Vorteile eines Batteriespeichers:

- Höherer Eigenverbrauchsanteil der PV-Anlage, Solarstrom kann zu jeder Tageszeit möglich
- Mehr Unabhängigkeit von Stromversorger und Strompreisen
- Netzbelastung sinkt
- Notstromversorgung steigt
- Stromspeicher kann CO₂-Emissionen einsparen

Nachteile eines Batteriespeichers:

- Hohe Anschaffungskosten
- Hoher Platzbedarf
- Keine vollständige Autarkie
- Je nach Batterie kurze Nutzungszeit und somit regelmäßiger Austausch notwendig
- Je nach Batterie hohes Schutzkonzept bezüglich Brandschutzes und Löschrategie
- Grosse Unterschiede in Effizienz
- Je nach Batterie schwierige Entsorgung



7 Energiebilanz

7.1 Produktion PV Anlage

In den Tabellen ist der Energiebezug im Vergleich zwischen der PV-Anlage und dem Netzbezug abgebildet.

12 Monate	Produktion PV	Netzbezug
Okt 19	4'218 kWh	16'639 kWh
Nov 19	2'126 kWh	18'853 kWh
Dez 19	1'636 kWh	20'386 kWh
Jan 20	2'270 kWh	22'149 kWh
Feb 20	3'608 kWh	19'005 kWh
Mär 20	7'277 kWh	15'365 kWh
Apr 20	11'970 kWh	8'819 kWh
Mai 20	13'699 kWh	8'695 kWh
Jun 20	12'089 kWh	8'240 kWh
Jul 20	14'467 kWh	7'498 kWh
Aug 20	10'987 kWh	8'520 kWh
Sep 20	7'939 kWh	9'923 kWh

Tabelle 6 Energiebezug vergleich PV mit Netzbezug

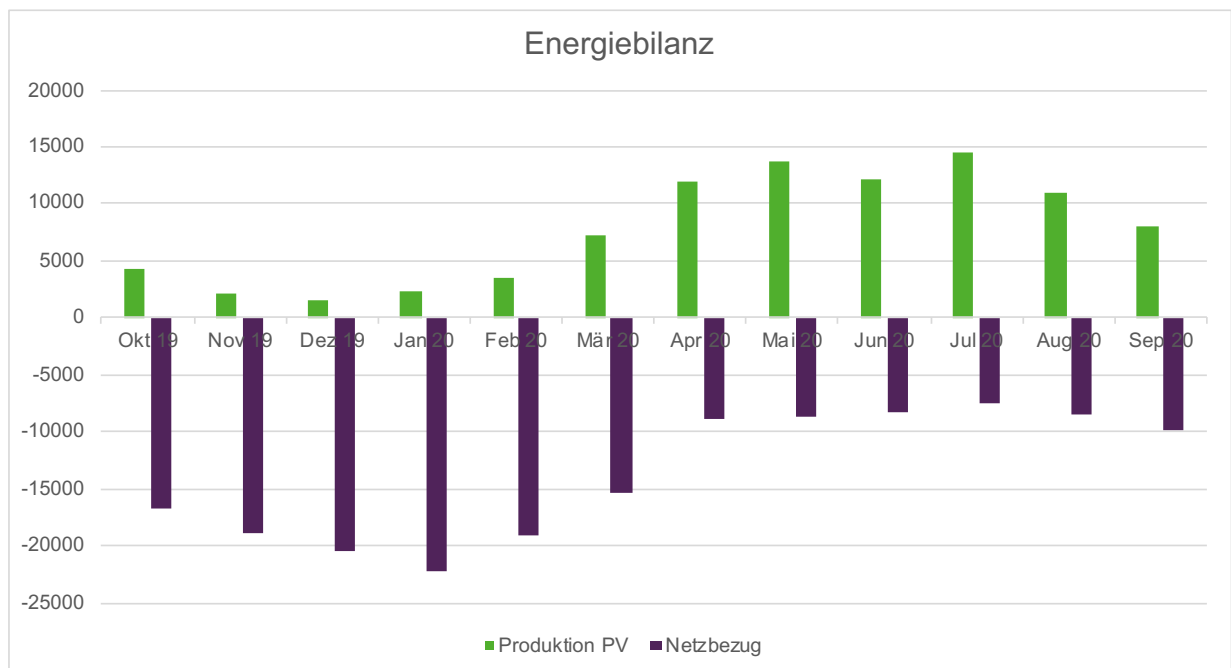


Tabelle 7 Energiebilanz – Eigenproduktion und Netzbezug



Stromsystem		
Produktion PV	92'286	kWh
Netzbezug	164'093	kWh
Eigenverbrauch	58'290	kWh
Rücklieferung	33'996	kWh
Gesamtstromverbrauch Areal (Wohnungen, Allgemein, Haustechnik, Ladestationen öffentlich/privat)	222'383	kWh
Stromverbrauch aller Wohnungen (nur Wohnungsstrom)	85'251	kWh
Eigenverbrauchsgrad	63	%
Autarkiegrad	26	%
Leistungsbezugsspitze Dez. 2019 (Wert aus Abrechnung EWZ)	75	kW

Tabelle 8 PV-Anlage Produktion

Die PV-Anlage produziert 92'286 kWh im Betriebsjahr Oktober 2019 bis September 2020. Der Eigenverbrauchsanteil lag bei 63 %. Die erwartete Stromproduktion wird während 5 Monaten, von April bis August 2020 übertroffen. Die Überproduktion der Sommermonate wurde ins öffentliche Netz eingespeist, das bedeutet pro Monat durchschnittlich ca. 6'700 kWh.

Der Deckungsgrad der PV-Anlage zum Gesamtstromverbrauch liegt bei 41 %.

Der Deckungsgrad gibt den Anteil der Energie an, welche durch die Solarenergie für Heizzwecke und Warmwasseraufbereitung und zur Deckung des Strombedarfs bereitsteht.

Der Deckungsgrad hängt von der Anlagegrösse, dem Standort und der Ausrichtung der Sonnenkollektoren ab. Ab einem Deckungsgrad von 35% wird zumal im Sommer mehr Energie geliefert als benötigt wird, was auch im Sommer 2020 der Fall war. Betrachtet man nur den Deckungsgrad des verwendeten Stroms zum Gesamtverbrauch würde ein Deckungsgrad von 26 % resultieren und ist gleichwertig mit der Autarkie der Anlage.

7.1.1 Stromverbrauch und Effizienz

Gesamtstromverbrauch Areal (Wohnungen, Allgemein, Haustechnik, Ladestationen öffentlich/privat)	222'383	kWh
Stromverbrauch aller Wohnungen (nur Wohnungsstrom)	85'251	kWh
Stromverbrauch GW-WP und -BWW-WP	55'452	kWh
Strom für Lüftung, Hilfsbetriebe und alle weiteren Verbräuche	81'680	kWh

Tabelle 9 Stromverbrauch

Das gesamte Areal verbraucht 222'383 kWh pro Jahr resp. 50.8 kWh/m². Werden die Verbräuche gesplittet betrachtet, werden rund 25 % für die Wärmepumpen, für die Heizleistung und für Warmwasser und 38 % für den Wohnungsstrom verbraucht. Die restlichen 37 % des Stromes wird für Lüftung, Beleuchtung in Allgemeinräumen, und für das Gewerbe sowie die Ausstellungshalle verbraucht.



Gemäss Energienachweis wurde für die gewichtete Endenergie Strom von 57.6 kWh/m² inkl. der Produktion aus der PV-Anlage berechnet. Es wird weniger Strom verbraucht als geplant, folgende Faktoren können diesen positiven Effekt ausgelöst haben:

- Energieeffiziente Haushaltsgeräte
- Effiziente Wärmepumpen (hohe Jahresarbeitszahl)
- Wohnungen sind nicht ständig bewohnt, somit weniger Energieverbrauch für Elektrizität und Beleuchtung
- Optimale Einstellwerte der haustechnischer Anlagekomponenten
- Photovoltaikstromproduktion höher als anfänglich geplant
- Hoch dämmende Gebäudehülle

7.2 Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl steht für die Effizienz einer Wärmepumpe. Sie ist das Verhältnis zwischen zugeführte Energie und der tatsächlich erzeugte Heizungswärme über die Dauer eines Jahres. Die tatsächliche JAZ Zahl ist für jede Wärmepumpe individuell und hängt vom Gebäude und deren Nutzungssituation ab. Der Wirkungsgrad der Wärmepumpe hängt vom Temperaturdelta zwischen Wärmequelle und Heizung ab und vergrössert sich bei sinkender Temperaturdifferenz.

In Tabelle 2 sind sämtliche verfügbaren Jahreskennzahlen aufgeführt.

Kennzahlen Wärme und Warmwassersystem		
JAZ *1 Grundwasser-Wärmepumpe	5.14	-
JAZ *1 Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Randgebäude (Hohlstrasse 104)	3.28	-
JAZ*1 Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Hofgebäude (Hohlstrasse 100)	4.21	-
JAZ *1 gesamt	3.46	-
Wärmebedarf Heizgruppen	116'520	kWh
Wärmebedarf BWW	75'370	kWh
Wärmeverlust von GW-WP bis zu den Dachzentralen	5'410	kWh

Tabelle 10 JAZ Zahl

Anforderung JAZ	Minergie /P/A
Grundwasser direkt Heizung	3.20
Grundwasser direkt Warmwasser	2.90

Tabelle 11 Minergie-Anforderung JAZ

Vergleich man die aus dem Energienachweis erwartete Jahresarbeitszahl mit der effektiv berechneten, so liegt die JAZ der Grundwasser-Wärmepumpe direkt nur für Heizung effektiv mit 5.14 über dem geplanten Wert von 4.71. Für die Wärmepumpe, direkt nur Warmwasser wurde eine JAZ für das



Randgebäude von 3.28 und für das Hofgebäude von 4.21 gemessen, wobei diese Werte auch über der geplanten JAZ von 2.63 liegen. Vergleicht man die Anforderungen mit der Minergieanforderungen, so werden diese jedoch vollständig und mit Reserven eingehalten.

7.2.1 Einflussfaktoren

Folgende Einflussfaktoren beeinflussen die Effizienz der Wärmepumpenanlage:

- Nutzerverhalten
- Klima, Standort und Gebäudetyp
- Planung, Installation

7.3 Wärme- und Warmwasserverbrauch

Messdaten Wärme und Warmwassersystem		
Stromzähler Grundwasser-Wärmepumpe	34'232	kWh
Wärmezähler Grundwasser-Wärmepumpe	176'080	kWh
Wärmezähler Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Randgebäude (Hohlstrasse 104) primär	34'140	kWh
Wärmezähler Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Randgebäude (Hohlstrasse 104) sekundär	49'120	kWh
Wärmezähler Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Hofgebäude (Hohlstrasse 100) primär	20'010	kWh
Wärmezähler Brauchwarmwasser-Wärmepumpe Hofgebäude (Hohlstrasse 100) sekundär	26'250	kWh
Wärmebedarf Heizgruppen	116'520	kWh

Tabelle 12 Wärme- und Warmwasserverbrauch

7.3.1 Heiz-Warmwasserverbrauch und gewichtete Energiekennzahl

Der Heizwärmeverbrauch der Heizgruppen des Rand- und Hofgebäudes beläuft sich im Jahre 19/20 um 116'520 kWh, was ein Verbrauch von $Q_h = 26.6 \text{ kWh/m}^2$ ist. Der Wärmeverbrauch für Brauchwasser liegt bei 75'370 kWh resp. 17.22 kWh/m^2 und die gewichtete Energiekennzahl liegt bei 37.49 kWh/m^2 . Im Vergleich zu den Planungswerten, welche nach Angaben der Fachplaner zum Zeitpunkt der Erstellung des Energienachweises (2014) nach Minergie A-P liegen diese Werte bei $Q_{\text{mittel}} = 24.1 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{\text{WW}} = 20.8 \text{ kWh/m}^2$, die gewichtete Energiekennzahl bei 34.8 kWh/m^2 und der Heizwärmebedarf $Q_{\text{heff}} = 14 \text{ kWh/m}^2$.

Dabei handelt es sich um Mittelwerte von beiden Gebäuden, d. H. für den Neubau sowie den Umbau. Betrachtet man den Neubau alleine, liegen die Planungswerte bei $Q_h = 20.7 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{\text{WW}} = 20.8 \text{ kWh/m}^2$, die gewichtete Energiekennzahl bei 34.8 kWh/m^2 und der Heizwärmebedarf $Q_{\text{heff}} = 14 \text{ kWh/m}^2$



Die Planungswerte des Umbaus liegen bei $Q_h = 30.3 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{WW} = 20.8 \text{ kWh/m}^2$, die gewichtete Energiekennzahl bei 35 kWh/m^2 und Heizwärmebedarf $Q_{heff} = 14.2 \text{ kWh/m}^2$.

Der gemessene Heizwärmeverbrauch sowie die gewichtete Energiekennzahl verzeichnen eine geringe Abweichung gegenüber den Planungswerten. Der Wärmeverbrauch für Warmwasser wird gegenüber den Planungswerten unterschritten.

Nachfolgend die Auflistung der normativen Anforderungen für Neubauten und die Erneuerungen:

Anforderungen	SIA 380/1:2009	Muken 2014 (2014)	Minergie (2013)	Minergie P (2013)	Minergie A (2013)
Gewichtete Energiebedarf Neubau	-	35 kWh/m^2	-	-	-
Gewichtete Energiebedarf Erneuerung	-	60 kWh/m^2	-	-	-
Minergie-Kennzahl des Gesamtenergie-gewichtete Enden-energie Neubau	-	-	55 kWh/m^2	50 kWh/m^2	35 kWh/m^2
Minergie-Kennzahl des Gesamtenergie-gewichtete Enden-energie Erneue-rung	-	-	90 kWh/m^2	80 kWh/m^2	35 kWh/m^2
Heizwärmebedarf Neubau	$15.2 - 18 \text{ kWh/m}^2$	16 kWh/m^2	16 kWh/m^2	11.2 kWh/m^2	16 kWh/m^2
Heizwärmebedarf Erneuerung	$19 - 22.5 \text{ kWh/m}^2$	24 kWh/m^2	Keine Anforderung	21.6 kWh/m^2	Keine Anforderung
Wärmebedarf für Warmwasser	20.8 kWh/m^2	20.8 kWh/m^2	-	-	-

Tabelle 13 normative Anforderung



7.3.2 Beurteilung des Heizwärmeverbrauchs

Der Heizwärmebedarf ist davon abhängig wie gross die Wärmeverluste sind und wie viel Wärmegewinne maximal vorliegen. Folgende Aspekte der Gebäudehülle müssen dabei betrachtet werden:

- Dämmung
- Bauschwere
- Form
- Aussenhaut
- Transparenz
- Orientierung des Gebäudes
- Fassade
- Sonnenschutz

Dämmung Energieeffiziente Gebäude können nur mit einer guten Wärmedämmung funktionieren. Das Randgebäude erreicht bezüglich Fassadenaufbauten U-Werte um $\pm 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die verbauten Bauteile erreichen tiefe U-Werte, somit kann von einer sehr gut gedämmten Gebäudehülle ausgegangen werden. Die vorwiegend verbaute Aerogeldämmung mit seiner ausserordentlich niedrigen Wärmeleitfähigkeit und herausragenden bauphysikalischen Eigenschaften erreicht eine gute Dämmleistung und trägt wesentlich zum tiefen Heizwärmeverbrauch bei.

Bauschwere Bauteile mit einer hohen Wärmekapazität, können Wärme im Gebäude gezielt speichern. Die Gewinnnutzung im Winter durch transparente Bauteile, führen zu längerer Wärmespeicherung im Gebäude und somit zur längeren Beheizung. Im Sommer wirkt sich die Bauschwere durch eine Dämpfung des Temperaturgangs und Speicherung von Nachtkühlung aus.

Um die Massnahme 1a für das Randgebäude optimal umzusetzen, wurde eine Skelettbauweise gewählt. Die hohe Wärmekapazität wird jedoch durch die Aerogeldämmung kompensiert.

Form Durch eine kompakte Bauweise werden Transmissionsverluste vermindert, indem durch das gleiche Volumen weniger Oberfläche entsteht und sich proportional zu den Wärmeverlusten verhält. Die Gebäudehüllzahl ist für das Randgebäude 1.28 und für das Hofgebäude 1.50, wobei für das Randgebäude weniger Oberfläche pro Volumen besitzt und somit einen tieferen Wärmebedarf benötigt wird.

Aussenhaut Eine luftdichte Gebäudehülle ohne unzulässige Luftwechsel reduzieren Heizwärmeverluste aufgrund von Luftundichtigkeiten vollständig.

Die eingebaute Komfortlüftung im Rand- und im Hofgebäude verringert durch den manuellen Wärmeverlust zusätzlich. Beide Gebäudehülle erfüllt die normativen Vorschriften bezüglich Luftdichtheit.

Transparenz Eine hohe Transparenz der Fassade vergrössert die externen Solargewinne, die opaken Gewinne vermindern den Heizwärmebedarf wesentlich. In Kombination mit einer guten Wärmedämmung können die Gewinne länger im Gebäude gehalten werden und einen Teil des Heizwärmebedarf abdecken.

Die Südwest- und Nordostfassade des Randgebäudes haben einen hohen Anteil an transparenten Bauteilen, der Fensteranteil beläuft sich auf ca. 32 %. Die eingebauten VIG Fenster weisen sehr gute



bauphysikalische Eigenschaften auf, wobei die Wärmeverluste verringert und der Heizwärmebedarf gesenkt wird.

Gebäudeausrichtung und Orientierung In den Wintermonaten soll möglichst viel Einstrahlung auf die transparenten Bauteile treffen, um so hohe solare Gewinne zu erzielen. Die Gebäudeausrichtung ist durch die Parzelle und dem vorhandenen Platz vorgegeben.

Sonnenschutz Der Sonnenschutz in Form von Raffstoren, dämpft den täglichen Temperaturgang. Der sommerliche Wärmeschutz ist für die Vermeidung von hohen Wärmelasten und der Raumüberhitzung im Sommer zuständig. Das eingebaute Verschattungssystem, als aussenliegender Raffstoren, hat gemäss Energienachweis einen g-Wert zwischen 0.46 bis 0.5.

Die Gebäudetechnik kann durch aktive Massnahmen die passiven Massnahmen aus der Gebäudehülle kompensieren, sodass eine Gesamtoptimierung erfolgt. In diesem Projekt wurden energieeffiziente Wärmepumpen eingesetzt, welche eine ausgezeichnete JAZ-Zahl ausweisen.

7.3.3 Beurteilung der gewichteten Energiekennzahl

Die Energiekennzahl berücksichtigt alle Messdaten für Heizung, Warmwasser und Lüftung und wurde in diesem Projekt mit dem Energiegewichtungsfaktor jeweils mit Strom von 2.0 gewichtet. Der Verbrauch lässt sich durch den Strombezug berechnen und ist somit die gesamthafte zugeführte Endenergie. Gemäss Kapitel 8.3.1 wird die gewichtete Endenergie leicht gegenüber der Planung leicht überschritten.

Folgende Faktoren können Einfluss auf die gewichtete Energiekennzahl haben:

- Konstruktionsweise
- Luftdichtheit
- Heizsystem,
- Lüftungssystem
- Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit

Um die Einflussfaktoren realitätsgetreu beurteilen zu können, müssten die erfassten Daten der jeweiligen Gebäude vorliegen und nur eine statistische Auswertung kann eine Beurteilung und Einschätzung der Komponenten und deren Einwirkung geben. Zurzeit können nur Tendenzen und Einschätzungen auf Grundlage der vorliegenden Daten abgegeben werden.

Luftdichtheit Die Luftdichtheit der Gebäudehülle ist gemäss Minergie-Vorschriften erfüllt. Während der Bauphase wurden Fensteranschlüsse, jeweilige Stossstellen der Sandwichelemente in die Skelettbauweise sowie Durchdringungen von Haustechnikinstallationen wirksam abgedichtet. Warmluftverluste durch unzulässige Luftwechsel sind keine vorhanden.



Heizsystem Die eingesetzten Wärmepumpen sind energieeffizienter als erwartet, wodurch sich dies positiv auf die gewichtete Energiekennzahl auswirkt. Durch die maximale Vorlauftemperatur von 38 °C arbeitet die Wärmeerzeugung effizient und der Stromverbrauch bleibt tief.

Die Fussbodenheizung der Wohnungen ist für eine optimale Wärmeverteilung verantwortlich. Der Heizwärmeverbrauch ist jedoch höher als rechnerisch geplant und erwartet, wodurch sich der Strombedarf erhöht (Einflussfaktoren siehe Kapitel 8.3.2).

Die Warmwasserverteilverluste von der Wärmepumpe bis zur Dachzentrale liegt unter 10 % des Wärmeverbrauchs und liegt somit sehr tief. Das eingesetzte Heizsystem wirkt sich positiv auf die gewichtete Energiekennzahl aus.

Lüftungssystem Die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung reduziert die Lüftungswärmeverluste gegenüber Fensterlüftung erheblich.

Warmwasser Die Wärmepumpe erfüllt eine höhere JAZ als geplant und der Warmwasserverbrauch unterschreitet den Planungswert, somit ist der Energiebedarf bezüglich Warmwassers kleiner als erwartet. Der Energiebedarf zur Wassererwärmung hängt einerseits von der Gebäudetechnik und deren Anlagekomponenten und andererseits vom Benutzerverhalten ab.

7.3.4 Warmwasserverbrauch

In der Periode 2019/20 wurde ein Warmwasserverbrauch von 1'061 m³ für alle Wohnungen aufgezeichnet. Dies entspricht einem Verbrauch von ca. 41.5 l pro Tag und pro Wohnungen resp. pro Person. Der Nutzwarmwasserverbrauch (Planungswert) pro Person liegt nach SIA 385/2 für ein Mehrfamilienhaus bei 35 l pro Person und Tag, für ein Apartmenthaus Mittelklasse von 50 l pro Person und Tag. Somit liegt der Warmwasserverbrauch im regulären Rahmen.

Vergleicht man den dafür notwendigen Wärmeverbrauch, $Q_{ww}=17.22 \text{ kWh/m}^2$, für beide Häuser, so liegt der Warmwasserverbrauch bei 240 l/m². Der Warmwasserverbrauch und die dafür aufgewendete Energie sind plausibel.

7.3.5 Einfluss P&D-Massnahmen

Massnahme 1: Wärmedämmung

Die eingesetzte Aerogelwärmedämmung kann keine zusätzliche Energieeinsparung bewirken, jedoch erfüllt sie die Anforderungen an Wärmeschutz der Gebäudehülle. Durch den geringen U-Wert des Fassadenaufbaus sind die Transmissionswärmeverluste gering, die thermische Behaglichkeit gewährleistet und die Bausubstanz ist durch das eingesetzte WDVS System optimal vor Feuchteschäden und kritischen Oberflächentemperaturen geschützt. Die Wahl des Wärmedämmstoffes hat eine zentrale Bedeutung für den Wärmeschutz. Die geringe Wärmeleitfähigkeit der Aerogeldämmung mit ihren weiteren hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften trägt wesentlich zum tiefen Heizwärmebedarf bei.



Massnahme 3a: Warmwassermonitoring

Die Aufzeichnung geben Auskunft über die Verbräuche, jedoch kann durch die nicht vollständig umgesetzte Massnahme 3b kein wesentlicher Beitrag zur Optimierung der Warmwasseraufbereitung und damit verbundenen Energieeinsparung erreicht werden.

Massnahme 4: VIG Gläser

Gläser sind ein zentrales Bauteil, um die Energieeffizienz eines Gebäudes zu beurteilen. Die VIG Gläser besitzen einen geringen Ug-Wert sowie g-Wert im Vergleich zu herkömmlichen Isolierverglasungen, wodurch die Transmissionswärmeverluste reduziert werden und der Heizwärmebedarf tief gehalten wird.

Massnahme 5: MSR-Technik

Die MSR Technik kann durch das Monitoring der haustechnischen Anlagen Einfluss über die einzelnen Anlagekomponenten nehmen und durch abgestimmte Einstellwerte kann die Energieausnutzung optimiert werden. Dadurch kann durch Anpassung der Vorlauftemperatur der Wärmepumpe auch die Effizienz gesteigert und durch die Regelung der Heizregister der Verkaufsfläche der Wärmeverbrauch reduziert werden. Durch angepasste Einstellwerte der PV-Anlage kann ein höherer Stromertrag erwirtschaftet werden. Somit kann durch geeignete Einstellwerte der Heizwärmeverbrauch reduziert werden.