

Endbericht TAG1-NIR-0510-E-02:

Energieversorgungskonzept für das
Nullenergiewohnheim mit Werkstätten
in Heitersheim

Auftraggeber:

Stadt Heitersheim

Hauptstraße 9

79423 Heitersheim

Auftragnehmer:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Abteilung Thermische Anlagen und Gebäudetechnik

Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel

Dipl.-Ing. Nicolas Réhault

Freiburg, 12. Mai 2010

Dieser Bericht enthält 25 Seiten zzgl. Anhang.

Fraunhofer ISE
Gruppe Solares Bauen

Freiburg, 12. Mai 2010

Sebastian Herkel

Gruppenleiter
Solares Bauen

Nicolas Réhault

Projektleiter
Solares Bauen

Inhalt

1	Einführung	1
2	Datenbasis, Berechnungsverfahren	2
2.1	Arbeitsunterlagen	2
2.2	Heizwärme und Raumklima	2
2.3	Klimadaten	2
2.4	Gebäudekenndaten	2
2.5	Gebäudenutzung / Personentransport	3
2.6	Nullenergiekonzept	4
2.6.1	Gebäudehülle	4
2.6.2	Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungskonzept, Sommerlicher Wärmeschutz	6
2.6.3	Heizwärme- und Kühlbedarf	8
2.6.4	Warmwasserbedarf	8
2.6.5	Strombedarf	9
2.6.6	Energieversorgungskonzept	11
2.6.7	Varianten	13
2.6.8	Ergebnisse	17
3	Wissenschaftliches Messprogramm	20
3.1	Ziele des Monitorings	20
3.2	Performance Metrics und notwendige Messtechnik	20
3.3	Anforderungen an die Datenerfassung	25
4	Fazit	26
5	Anhänge	27

1 Einführung

Die Stadt Heitersheim ist ein Zentrum für Wohnen und Arbeiten von Menschen mit Behinderungen. Dieses soll durch den Neubau eines Wohnheimes mit Werkstätten für 24 geistig behinderte Menschen in der Poststraße 16, im Ortszentrum von Heitersheim weiter ausgebaut werden. Das Gebäude mit einer Nettogrundfläche von ca. 1650 m² soll als „Nullenergiegebäude“ errichtet werden. Träger des Wohnheims ist der Caritasverband. Das Wohnheim soll auch hinsichtlich des Ressourceneinsatzes einen Vorbildcharakter für ähnliche Einrichtungen haben,

Vorliegender Bericht beschreibt das vom Fraunhofer ISE entworfene Energiekonzept des Gebäudes, das drei innovative Strategien verfolgt, die umgesetzt und wissenschaftlich analysiert werden sollen:

- (1) einen vollständigen Ausgleich des Primärenergiebezugs des Gebäudes. Der verbleibende Energiebedarf des Gebäudes soll mit Gutschriften aus einer Eigenstromerzeugung mit Netzeinspeisung mittels einer Photovoltaik-Anlage kompensiert werden.
- (2) eine Wärmeversorgung mit dem Einsatz einer Absorptions-Wärmepumpe auf Basis von Erdgas, um die potentielle Vorteile dieser Technologie gegenüber Gasbrennwerttechnik und Kompressions-Wärmepumpen in der Anwendung zu verifizieren.
- (3) die Einbeziehung des Themas Mobilität in die Energiebilanzierung des Gebäudes durch den Einsatz eines mit dem Gebäude gekoppelten Elektroautos

2 Datenbasis, Berechnungsverfahren

2.1 Arbeitsunterlagen

Als Planungsunterlagen wurden die übermittelten Vorentwurfs- und Entwurfspläne des Architekturbüros Huller Architekten GbR aus Freiburg sowie die Daten aus unterschiedlichen Besprechungen und dem E-Mail Verkehr verwendet.

2.2 Heizwärme und Raumklima

Die Bilanzierung des Jahresheizwärmebedarfs und die Ermittlung der Raumtemperaturen erfolgt mit einem jahreszeitlichen, stationären Energiebilanzverfahren zur Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs nach PHPP mit nutzungsspezifischen Anpassungen der internen Wärmelasten und der Bezugsfläche.

2.3 Klimadaten

Für den Standort Heitersheim erfolgt die Berechnung mit Klimadaten aus Freiburg.

2.4 Gebäudekenndaten

Tabelle 1 Gebäudekenndaten

Wohnheim Heitersheim	
Geographische Lage:	47.883 ° nördl. Breite
	7.667 ° östl. Länge
Energiebezugsfläche	1648 m ²
Bruttovolumen	4.614 m ³
AV-Verhältnis	0.57 m ² /m ³

2.5 Gebäudenutzung / Personentransport

Das Gebäude wird in zwei unterschiedlichen Arten genutzt:

- Tagsüber werden ca. 12 ArbeiterInnen und 2 bis 3 BegleiterInnen in den Werkstätten im EG für die Herstellung und Verpackung von Bonbons tätig sein. Durch das vorhandene Platzangebot, das sich durch die Größe des Erdgeschosses ergibt, können jedoch bis zu 20 Mitarbeiter die Werkstätte benutzen.
- Nachts werden bis zu 24 Einwohner und 4 BegleiterInnen untergebracht.

Wohnheimnutzung:

- Das Wohnheim wird ganzjährig betrieben
- Die Küchen werden täglich benutzt, um Mittag- und Abendessen zu erwärmen oder vorzubereiten.

Werkstattnutzung:

- Die Werkstätte werden ganzjährig (52 W/J) betrieben
- In der Bonbonwerkstatt ist die Herstellung von Bonbons zweimal pro Woche geplant. Während einem Produktionsvorgang werden zwei Elektroherdplatten à 4 kW ca. 6 Std. betrieben. Die Luft über den Herdplatten soll mittels einer Ablufthaube abgesaugt und abgeführt werden. Für die Bonbonproduktion ist geplant 3 bis 4 Mitarbeiter zu beschäftigen.
- In der anderen Werkstatt werden Verpackungsmaschinen mit einer elektrischen Anschlussleistung von ca. 7 kW ca. 8 Std./Tag betrieben.

Tabelle 2 Gebäudenutzung

Nutzung Wohnheim	Täglich von 0 ^{oo} Uhr bis 24 ^{oo} Uhr 365 T/J
Nutzung Werkstätte	Montag bis Freitag von 7 ^{oo} Uhr bis 18 ^{oo} Uhr 52 W/J
Nutzung Küche	Wohngruppe: Frühstück: 7 x wöchentlich Kochen: 1 x wöchentlich Warmhaltung von Mittagessen Mo-Fr. und So. Tagesgruppe: Frühstück: 5 x wöchentlich Backen: 2 x wöchentlich Warmhaltung von Mittagessen Mo-Fr

Personentransport:

Das Fahrzeug für den Personentransport soll über 7 bis 8 Sitzplätze verfügen. Die Fahrleistung beträgt ca. 20.000 km/a. Üblicherweise werden Kurzstrecken bis zu 50 km gefahren werden. Bei Ausflügen sind Strecken bis 250 km möglich.

2.6 Nullenergiekonzept

2.6.1 Gebäudehülle

Bauteileigenschaften:

In der Tabelle 3 sind die Bauteileigenschaften und –Bauteilaufbau zusammengestellt. Die Berechnungsgrundlage der Transmissionskoeffizienten befindet sich im Anhang 1.

Tabelle 3 Bauteileigenschaften

Bauteilbezeichnung	Bauteilaufbau	U-Wert
Außenwand EG	WDVS 24 cm, $\lambda = 0,035$ W/m.K Beton 20 cm	0.14 W/m²K
Außenwand 1.OG	WDVS 24 cm, $\lambda = 0,035$ W/m.K Mauerwerk 20 cm	0.14 W/m²K
Perimeterdämmung	WDVS 20 cm, $\lambda = 0,035$ W/m.K Beton 20 cm	0.17 W/m²K
Flach geneigtes Dach	Abdichtungslage Aufsparrendämmung z.B PIR 6 cm, $\lambda = 0,024$ W/m.K OSB Schalung 2 cm Sparren Fichte HxB 20 x 10 cm t, Sparrenabstand 60 cm, $\lambda = 0,13$ W/m.K Zwischensparrendämmung MW 20 cm, $\lambda = 0,035$ W/m.K Dampfsperre Gipskartonplatte	0.12 W/m²K
Terrassendach	Abdichtungslage Dämmung z.B EPS 20 cm, $\lambda = 0,035$ W/m.K Dampfsperre Beton 20 cm	0.17 W/m²K

Bodenplatte	Beton 20 cm Dämmung EPS 16 cm, $\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ Thermische Trennung im Bereich der Gründung mit gleichwertigem Dämmmaterial	0.229 W/m ² K
Fenster	3-fach Verglasung, g-Wert = 0,52, U-Wert: 0,74 W/m ² K Holzrahmen 0,74 W / m ² K	

Die beschriebenen Aufbauten sind Empfehlungen, um die Zielwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten erreichen zu können. Abweichungen unter Einhaltung dieser Zielwerten sind möglich. Diese sollen zwischen Architekt und Bauphysiker abgestimmt werden.

Wärmebrücken:

Grundsätzlich soll die Gebäudehülle wärmebrückenfrei konstruiert werden. Alle Anschlusspunkte an First, Traufe, Ortgang, und Bodenplatte sowie Fenstereinbau ist mit höherer Sorgfalt zu planen und auszuführen. Die Balkone sollen als völlig eigenständige Konstruktion vor das Gebäude gestellt werden. Für die Ermittlung des Wärmebrückeneinflusses auf den Heizwärmebedarf wurde ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von $\psi = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ auf der gesamten Fläche der thermischen Hülle einberechnet.

Luftdichtheit:

Die Luftdichtheit des Gebäudes soll mit einem Drucktest nach DIN EN 13829 nachgewiesen werden können. Der Drucktestkennwert n_{50} bei 50 Pa Über- und Unterdruck darf 0.6 h^{-1} nicht überschreiten.

2.6.2 Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungskonzept, Sommerlicher Wärmeschutz

Die Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme werden so ausgewählt und dimensioniert, dass sie für den Raumnutzer ein angenehmes Raumklima erzeugen und obendrein auch noch energieeffizient arbeiten.

2.6.2.1 Heizung / Kühlung

Die Heizwärmelast des Gebäudes beträgt 21,15 kW bzw. 13 W/m². Bei deren Ermittlung wurden interne Lasten in Höhe von 1,6 W/m² entsprechend dem Standardwert vom PHPP berücksichtigt. Die Wärmeübergabe soll mit Niedertemperatursystemen mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35°C erfolgen. Dies stellt das Erreichen einer hohen Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe sicher,

Im Sommer sollen die Werkstattbereiche aufgrund der durch die Geräte und Kochstellen verursachten internen Lasten gekühlt werden. Im Wohn- und Aufenthaltsbereich eignet sich der Einsatz einer Fußbodenheizung. In der Werkstätten soll die Fußbodenheizung im Sommer zur Kühlung eingesetzt werden. Somit können Wärmelasten bis zu 20 W/m² abgeführt werden. Der Tisch für die Bonbonherstellung soll mit Kaltwasser mit einer abgeschätzten Leistung zwischen 2,0 und 3,0 kW gekühlt werden.

2.6.2.2 Lüftung

Wohn- und Aufenthaltsbereich:

Das Gebäude wird mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Nacherhitzer be- und entlüftet. Die Gesamtluftmenge beträgt 1.900 m³/h. Die Lüftungsanlage wird im Sommer betrieben, um Übertemperaturen zu vermeiden. Eine Regelung sorgt dafür, dass ein konstanter Außenluftwechsel stattfindet, solange die Außentemperatur unter der Innentemperatur liegt. Eine Bypass-Klappe an dem Wärmetauscher ermöglicht die freie Kühlung über die Lüftungsanlage. Die Zusammenstellung der Luftmengen je nach Raum befindet sich im Anhang 3. Der Wärmebereitstellungsgrad des Wärmeübertragers η_{WRG} soll einen Wert von mindestens 0,82 erreichen. Die Elektroeffizienz der Anlage soll den Wert von 0,4 Wh/m³ nicht übersteigen.

Werkstätte:

Die Räume für die Bonbonproduktion und die Bonbonverpackung werden so belüftet, dass sich aus hygienischen Gründen ein leichter unregelmäßiger Überdruck zu den umliegenden Räumen einstellen lässt.

Um die Zuckermasse zu schmelzen werden zwei elektrische Herdplatten à 4 kW ca. 6 Stunden lang benutzt. Die warme und zuckerhaltige Luft oberhalb der Herdplatten soll mit einer Luftmenge von ca. 2.000 m³/h (LW = 19 h⁻¹) über eine Ablufthaube abgeführt werden, um die potentielle zahnschädliche Wirkung einer regelmäßigen Luft-einatmung zu vermeiden. Der Druckausgleich wird mit der Einführung von Frischluft mittels einer separaten Zuluftanlage mit Nacherhitzer gewährleistet. Der Einsatz einer Wärmerückgewinnung als Kreislaufverbundsystem zwischen Ab- und Zuluftanlagen erweist sich aufgrund der Zuckerhaltigkeit der Luft als nicht sinnvoll, da sie hohe Investitionskosten und eine intensive Wartung erfordern würde und sich daher eine sehr hohe Amortisationszeit einstellen würde. Der Wärmebedarf für die Lüftung der Bonbonproduktion wurde unter Berücksichtigung der geplanten Nutzung und der oben angegebene Luftmenge auf 1,4 kWh/(m²a) errechnet.

2.6.2.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Wohn- und Aufenthaltsbereich:

Für den sommerlichen Wärmeschutz sind Sonnenschutzmaßnahmen wie Jalousien und Rollläden vorgesehen. Der Betrieb der Lüftungsanlage im Sommer ermöglicht die Einschränkung der Übertemperaturhäufigkeit im Wohnbereich von ca. 9%. Dabei wurde eine Übertemperaturgrenze von 26°C und einem Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes von 50% zu Grunde gelegt.

Werkstätte:

Der Einsatz von Jalousien ist hier ebenfalls geplant. In den Werkstätten 014 und 025 werden Werkzeuge mit einer elektrischen Anschlussleistung von ca. 8 kW benutzt. Unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors von 0,7, eines durchschnittlichen Wirkungsgrads von 0,7 und einer Belastung von 80 % sind es ca. 1,5 kW die abgeführt werden sollen. In der Bonbonwerkstatt wird die Abwärme zum großen Teil über eine separate Abluftanlage abgeführt. Die Fußbodenheizung soll zur Kühlung eingesetzt werden.

Der Werkstattbereich soll im Sommer mit der Hauptlüftungsanlage mit einem Luftwechsel von ca. 0,5 1/h be- und entlüftet werden.

2.6.3 Heizwärme- und Kühlbedarf

Der mit PHPP errechnete Heizwärmebedarf beträgt $12,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ bzw. 19.635 kWh/a . Der Wärmebedarf für die Belüftung der Bonbonproduktion wurde auf $1,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ errechnet und Verteilverluste auf $1,4 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ abgeschätzt. Somit beträgt der gesamte Heizwärmebedarf $15,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Der Kältebedarf des Gebäudes aus der PHPP-Berechnung beträgt $3,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Im vorliegenden Konzept wird ausschließlich der Werkstattbereich mit einem Kaltwassersystem aktiv gekühlt. Aufgrund des schwer abschätzbaren Kältebedarfs der Tischkühlung in der Bonbonproduktion wird der oben genannte Wert hierfür angesetzt.

Die detaillierte Berechnung des Heizwärme- und des Kältebedarfs befindet sich im Anhang 4 und 5.

2.6.4 Warmwasserbedarf

Der durchschnittliche Warmwasserverbrauch je Person und Tag wurde auf 35 Liter bei einer Temperatur von 60°C angenommen. Dies entspricht einer Nutzwärme von $2,03 \text{ kWh}/\text{Pers.d.}$ Für den Warmwasserbedarf für die an das Verteilnetz angeschlossenen Wasch- und Spülmaschinen wurde ein Wert von $10,6 \text{ kWh/t}$ ermittelt. Insgesamt beträgt der tägliche Warmwasserbedarf $67,44 \text{ kWh}$. Die Ermittlung der erforderlichen Wärmeleistung für die Trinkwassererwärmung nach DIN 4708-2 ergibt eine Leistung von ca. 15 kW .

Die entsprechenden Nutzwärmebedarfe werden in der Tabelle 4 aufgeführt:

Tabelle 4 Warmwasserbedarf

Bedarfsfall	Warmwasserverbrauch (Liter/T)	Anzahl Verbraucher	Wärmebedarf (kWh/T)	Wärmebedarf (kWh/a)
Bewohner	35	28	2	20746
Geschirrspüler	13	3	1,3	1420
Waschmaschinen	8	3	0,9	1032

Der resultierende jährliche Nutzwärmebedarf für Warmwasser beträgt 23.198 kWh/a und der spezifische Nutzwärmebedarf $14,1 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$. Verteil- und Speicherverluste des Warmwassersystems wurden auf $1,5 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ermittelt worden. Es ergibt sich eine gesamte spezifische Wärmenachfrage des Warmwassersystems von $15,6 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$.

Die Bereitstellung von Warmwasser soll so weit wie möglich mit einer solarthermischen Anlage gedeckt werden. Mit einer 40 m² Solaranlage, bestehend aus effizienten Flachkollektoren gekoppelt mit einem 2800 Liter Speicher, kann ein jährlicher Deckungsgrad bis zu 64 % erreicht werden (Siehe Berechnungsblatt „Solare Warmwasserbereitung“ im Anhang 6). Bei mäßiger Sonneneinstrahlung im Sommer oder an Wintertagen erzeugt die Gas-Wärmepumpe das Warmwasser. Die solarthermische Anlage ermöglicht eine Deckung der gesamten Wärmenachfrage des Warmwassersystems bis zu 9,9 kWh/m².a, so dass nur ein Restbedarf von 5,7 kWh/m².a mit dem gasbefeuerten Wärmeerzeuger gedeckt werden muss.

Für die Aufstellung der Module soll eine Variante gewählt werden, die gleichzeitig eine gute architektonische Integration und den energieeffizienten Betrieb der Solaranlage ermöglicht. Die Leitungswege zwischen dem Speicher und den Kollektoren sollen optimiert und die Isolationsdicke um 200% gegenüber den EnEv Anforderungen erhöht werden, um die Wärmeverluste zu reduzieren.

2.6.5 Strombedarf

2.6.5.1 Haushaltsstrom

Der Haushaltsstrombedarf wurde auf ca. 600 kWh/P.a abgeschätzt. Dieser Wert liegt unterhalb des deutschen Mittelwerts von 750 kWh/P.a und erfordert deswegen den Einsatz von sehr effizienten Haushaltsgeräten und einen bewussten Umgang in der Nutzung von elektrischen Geräten. Die detaillierte Berechnung des Haushaltstroms befindet sich im Anhang .

Haushaltsgeräte:

Jedes Haushaltsgerät soll in der Energieeffizienzklasse A mit dem EU-Label gekennzeichnet sein.

Gerätetyp.	Energieeffizienzklasse	Bemerkung
Geschirrspüler	A	Warmwasseranschluß
Waschmaschinen	A	Warmwasseranschluß
Wäschetrocknern	A	Kondensationstumbler mit Wärmepumpe
Kochen	A	Mikrowellen zum Aufheizen Induktionsherde zum Kochen

Armaturen: In Küche und Bad Einhebel-Wassermischer mit Mengen und Warmwasserbremse verwenden. In der Dusche Sparbrausen und Thermostatmischer montieren.

Beleuchtung:

Auf dem Einsatz von Energiesparlampen soll geachtet werden.

2.6.5.2 Betriebsstrom

Der Strombedarf für den Betrieb der Bonbonproduktion und der Werkstätte wurde wie folgt ermittelt:

Bonbonproduktion:

- 2 Herdplatten à 4 kW Anschlussleistung
- 2 x Nutzung pro Woche
- Kochzeit 4 Std./Tag bei voller Leistung

Der resultierende jährliche Strombedarf für die Bonbonproduktion beträgt 3328 kWh.

Werkstätte:

- Elektrogeräte mit 7 kW Anschlussleistung
- 5 x Nutzung pro Woche
- Nutzungsdauer 8 Std./Tag
- Gleichzeitigkeitsfaktor 60 %
- Belastung 70 %

Der resultierende jährliche Strombedarf für die Werkstätte beträgt 6115 kWh.

Für den gesamten Werkstattbereich ergibt sich ein jährlicher Strombedarf von 9443 kWh / 5,7 kWh/m².a

2.6.5.3 Hilfsstrom

Die Berechnung des Hilfsstrombedarfs für die Wärmeerzeugung und -verteilung sowie für die Lüftungsanlage ist in der Tabelle im Anhang 5 dargestellt. In der Berechnung des Hilfsstrombedarfs wurde der Betrieb der Lüftungsanlage im Winter und Sommer, die Brunnenwasserpumpe mit einer spezifischen Leistung von $25W_{el}/kW_{therm}$

sowie die notwendigen Hilfsenergien für die Heizungsanlage und die Trinkwarmwasseranlage berücksichtigt. Es ergibt sich ein spezifischer Hilfsstrom von $6,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.6.5.4 Elektromobilität

Der Personentransport der Bewohner wird in das Nullenergiekonzept für Wohnen & Mobilität einbezogen. Die Batterie des Fahrzeugs soll die Basis des zu entwickelten Systems darstellen, das einerseits die fluktuierende Solarenergie speichern kann, andererseits durch den Netzverbund im liberalisierten Strommarkt am Energiehandel teilnehmen kann. In einem ersten Schritt wird Strom wahlweise aus dem Netz oder der Eigenstromerzeugung in die Batterie des Autos gespeichert.

Die Caritas plant eine jährliche Fahrleistung von 20.000 km (siehe 2.5), was einem Endenergiebedarf von 6.000 kWh bei einem Verbrauch von 30 kWh/100 km entspricht. Der Flächenbedarf an PV-Modulen um den Stromverbrauch des Fahrzeugs zu kompensieren beträgt ca. 49 m².

Der Energiespeicher soll aus Lithium-Ionen Batterien aufgebaut werden. Diese besitzen aufgrund ihrer hohen Energie- und Leistungsdichten das höchste Potential für den Einsatz in Elektrofahrzeuge. Die maximale Reichweite beträgt zur Zeit ca. 130 km und die Höchstgeschwindigkeit ca. 80 km/h. Aufgrund der begrenzten Reichweite und der langen Aufladezeiten können Elektrofahrzeuge bisher nur für kurze Fahrstrecken in der Stadt und im stadtnahen Bereich eingesetzt werden. Die Aufladung der Fahrzeuge soll an einer dafür vorgesehenen Ladesäule stattfinden.

Folgende Hersteller bieten schon heute marktgängige Modelle oder entwickeln Modelle, die in einer Zeitspanne von 1 bis 2 Jahren verfügbar sein sollen:

Smithedlectrics: www.smithedlectricsvehicles.com, Fahrzeugtyp. Edison Minibus

Bright automotive: www.brightautomotive.com

Mercedes: Transporter Vito in Kleinserie verfügbar

Generell kann jedes Fahrzeug umgerüstet werden. Das Fraunhofer ISE wird Fahrzeughersteller anfragen, die das gewünschte Fahrzeug anfertigen können.

2.6.6 Energieversorgungskonzept

Das Energieversorgungskonzept soll durch eine Kombination unterschiedlicher Technologien den Heizungs- und Kältebedarf des Gebäudes decken, sowie eine vollständige bilanzielle Deckung des Primärenergiebedarfs erreichen. Es ist deswegen wichtig diesen soweit wie möglich zu reduzieren. Dies ist nur möglich durch den Einsatz von effizienten Wärme- und Kälteerzeuger. Im Rahmen dieses Projekts soll der Einsatz einer Gas-Wärmepumpe (GAWP) gemessen und analysiert werden. Die Gasversor-

gungswirtschaft sieht diese Technologie als hocheffizientes und regeneratives Heizsystem auf Erdgasbasis richtungweisend. Die Gründe für die GAWP sind:

- Eine Reduktion des Erdgasverbrauchs um bis zu 30% gegenüber einem Brennwertkessel und der dadurch verbundenen Betriebskosten und Kohlendioxidemissionen.
- Gegenüber einer Kompressionswärmepumpe benötigen GAWP ca. 1/3 weniger Umweltwärme. Die Investitionskosten sind daher geringer. GAWP haben weniger Verschleißteile und generieren dadurch geringere Instandhaltungskosten

Zur Zeit bieten mehrere Wärmepumpenhersteller gasbefeuerte Wärmepumpen mit dem Einsatz unterschiedlichen Technologien:

- Fa. Robur: Modulierende Brennwert-Absorptionswärmepumpe mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Ammoniak. Nennleistung ca. 43 kW bei W10/W35. Einsetzbar als Wasser-Wasser, Luft-Wasser oder Erdreich-Wasser-Wärmepumpe
- Fa. Vaillant: Gas-Adsorptionswärmepumpe mit festem Zeolit-Adsorbens. Eine 8 m² solarthermische Anlage bildet die Wärmequelle. Nennleistung von ca. 8 kW in WP-Betrieb und bis zur 16,0 kW in Brennwertkesselbetrieb.
- Fa. Bosch Thermotechnik: Entwicklung einer Diffusions-Absorptionswärmepumpe zum Serienprodukt, bei der eine Blasenpumpe eingesetzt wird. Nennleistung bis 10,0 kW
- Fa. Viessmann: Entwicklung einer Gas-Adsorptionswärmepumpe mit einer Nennleistung bis 10,0 kW

Für dieses Vorhaben eignet sich die Gas-Absorptionswärmepumpe der Fa. Robur aufgrund ihrer Leistungsklasse am besten. Die anderen Wärmepumpen sind eher für den Einsatz in Ein- oder Zweifamilienhäuser bestimmt. Aus wissenschaftlichen Gründen ist aber eine Kombination von zwei bis drei Wärmepumpen in Kaskade denkbar und sollte weiter verfolgt werden. Diese Kombination wird als Variante 4 dargestellt.

Durch Feldmessungen und Analysen sollen die Potentiale dieser Technologie in der Praxis aufgezeigt werden. Das Monitoring und die Begleitforschung des Projekts werden vom Fraunhofer ISE durchgeführt. Die zusätzlichen notwendigen Installationen an Messtechnik sind in Kapitel 3 erläutert. Das Projekt wird vom Innovationsfond Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG gefördert.

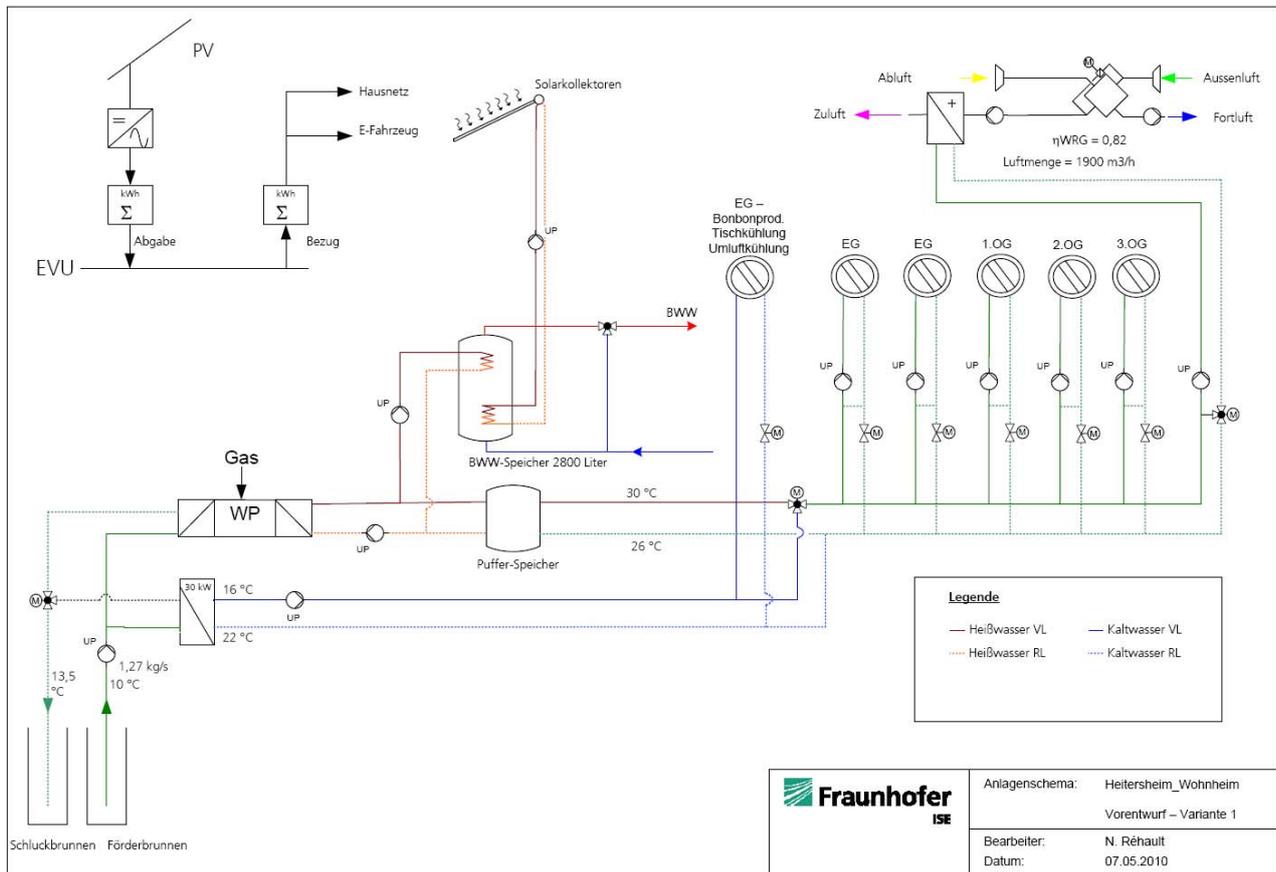
2.6.7 Varianten

Der Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen sowie die notwendige Fläche an Photovoltaik-Elemente für die Kompensierung des Primärenergiebedarfs von sechs Varianten wurden berechnet und verglichen. Die Varianten werden weiter unten kurz beschrieben. Die Variante 2 mit der Grundwasser-Gas-Absorptionswärmepumpe ist in *Abbildung 1* schematisch dargestellt. Die Ergebnisse über den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen jeder Variante sind in der *Abbildung 3 bis 4* dargestellt. Im *Anhang 8* sind die detaillierte Berechnungen nach Energiedienstleistung zusammengestellt.

- Variante 1: Gas-Brennwertkessel
 - Kesselleistung 35 kW - Jahresnutzungsgrad Gas-Brennwertkessel 0,96
 - solarthermische Anlage 40 m²
 - luftgekühlte elektrische Kompressionskältemaschine mit 6 kW Kälteleistung - Jahresarbeitszahl = 3,0
- Variante 2: Grundwasser-Gas-Absorptionswärmepumpe
 - Gas-Absorptionswärmepumpe Typ. GAHP-E³WS der Fa. Robur, Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 1,4
 - solarthermische Anlage 40 m²
 - Grundwasserkühlung mit einer Jahresarbeitszahl von 10,0
- Variante 3: Grundwasser-Kompressionswärmepumpe mit elektrischem Antrieb
 - Wärmepumpenleistung ca. 35 kW, Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 4,0
 - solarthermische Anlage 40 m²
 - Grundwasserkühlung mit einer Jahresarbeitszahl von 10,0
- Variante 4: Kombination von mehreren Gas-Wärmepumpe
 - Kaskadenschaltung von mehreren kleinen Gas-Absorptionswärmepumpen - Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 1,2
 - solarthermische Anlage 40 m²
 - luftgekühlte elektrische Kompressionskältemaschine mit 6 kW Kälteleistung - Jahresarbeitszahl = 3,0

- Variante 5: Aussenluft-Kompressionswärmepumpe mit elektrischem Antrieb
 - Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 3,0
 - solarthermische Anlage
 - luftgekühlte elektrische Kompressionskältemaschine mit 6 kW Kälteleistung - Jahresarbeitszahl = 3,0
- Variante 6: Gasmotor-Blockheizkraftwerk
 - Wirkungsgrad thermisch 0,6, Wirkungsgrad elektrisch 0,3
 - luftgekühlte elektrische Kompressionskältemaschine mit 6 kW Kälteleistung - Jahresarbeitszahl = 3,0
 - Bei dieser Variante wurden keine Solarkollektoren vorgesehen, um die Betriebsdauer und dann die Wirtschaftlichkeit des BHKW's zu erhöhen

Abbildung 1 Schema des Energieversorgungssystems



2.6.7.1 Photovoltaik-Anlage

Die Photovoltaikanlage soll aus Modulen mit monokristallinen Solarzellen geplant und ausgeführt werden. Diese werden auf dem Süd-West Dach parallel zum flach geneigten Dach mit einem Winkel von 9° aufgestellt. Die Module sollen so ausgewählt werden, dass sie mit einer Fläche von 8 m^2 eine Leistung von 1 kWp generieren. Die PV-Anlage ist netzgekoppelt d.h. die gewonnene Energie wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Abschätzung des spezifischen Anlagenenertrages für den Standort Heitersheim wurde mit dem Simulationsprogramm Zenit 0.3.6 unter folgenden Randbedingungen berechnet:

- Globalstrahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes aus Bad Krozingen
- Keine Fremdverschattungen und Reihenverschattungen

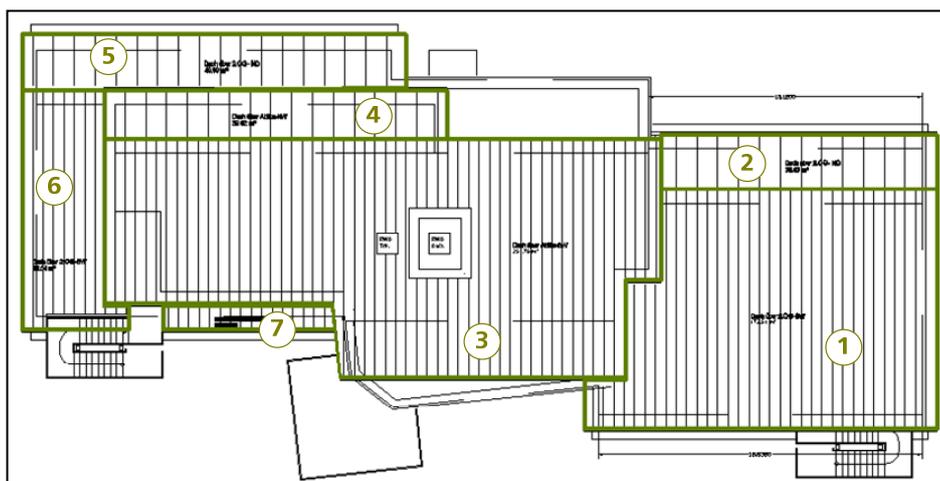
- Netzgekoppelte Anlage ohne Transformator
- Modulübertemperatur von 30 K bei 1000 W/m²

Es ergibt sich einen Wert von 974 kWh/kWp. Die benötigte Fläche an PV-Modulen, um den Primärenergiebedarf des Gebäudes und des Fahrzeugs komplett zu decken, ist für jede Variante in der Tabelle 1 angegeben. Die Tabelle 5 zeigt die Zusammenstellung der verfügbaren Fläche, die sich für den Einsatz einer PV-Anlage eignen.

Tabelle 5 Zusammenstellung der Dachfläche für die Installation von PV-Anlage

Dachbezeichnung	Flächennr.	PV geeignete Fläche [m ²]
Dach über 2.OG SW	1	≈ 165
Dach über Attika SW	3	≈ 265
Dach über 2.OG SW	6+7	≈ 45
Verschattungselemente Dachtraufe		≈ 15
Gesamt		≈ 490

Abbildung 2 Dachansicht mit nummerierten Dachflächen



Eine Gesamtfläche von ca. 490 m² steht für PV- und Solarthermieanlagen zur Verfügung. Abzüglich dem Flächenbedarf für die solarthermische Anlage von 40 m² ergibt

sich eine Fläche für die Installation von PV-Modulen von 450 m², was einer maximal erreichbaren Gesamtleistung von ca. 56 kWp entspricht.

2.6.8 Ergebnisse

Die Abbildung 3 zeigt, dass Haushalts-, Betriebs-, Hilfs- und Autostrom ca. 80 % des Primärenergiebedarfs des Wohnheims verursachen. Der Einfluss des Energieversorgungssystems auf die gesamten Bilanz ist demzufolge relativ gering. Wie in 2.6.5 schon erwähnt ist es daher sehr wichtig bei allen Stromdienstleistungen hoch energieeffiziente Geräte einzusetzen und jedem Wohnheim-Nutzer und Bewohner auf einen sparsamen Umgang mit Strom zu schulen. Der Vergleich des Primärenergiebedarfs zeigt jedoch, dass die Variante 2 mit Erdgaswärmepumpe in Kombination mit einer solarthermischen Anlage:

- um ca. 10% energieeffizienter als die Variante 1 mit Brennwerttechnik ist
- mit der Variante 3 mit Elektrowärmepumpe und der Variante 6 mit Erdgas-BHKW gut konkurrieren kann

Die verfügbare Dachfläche für die Installation von PV-Elemente ist bei der Varianten 2, 3 und 6 ausreichend. In dem Fall, dass eine Grundwassernutzung nicht möglich wäre, sollte die Variante 4 eingesetzt werden. Der Defizit von ca. 4 m² an PV-Fläche könnte z.B. durch die Abdeckung eines Fahrrad- oder Autostellplatzes mit PV-Elemente kompensiert werden.

Abbildung 3 End- und Primärenergiebedarf

Nutz/Primärenergie [kWh/m².a]

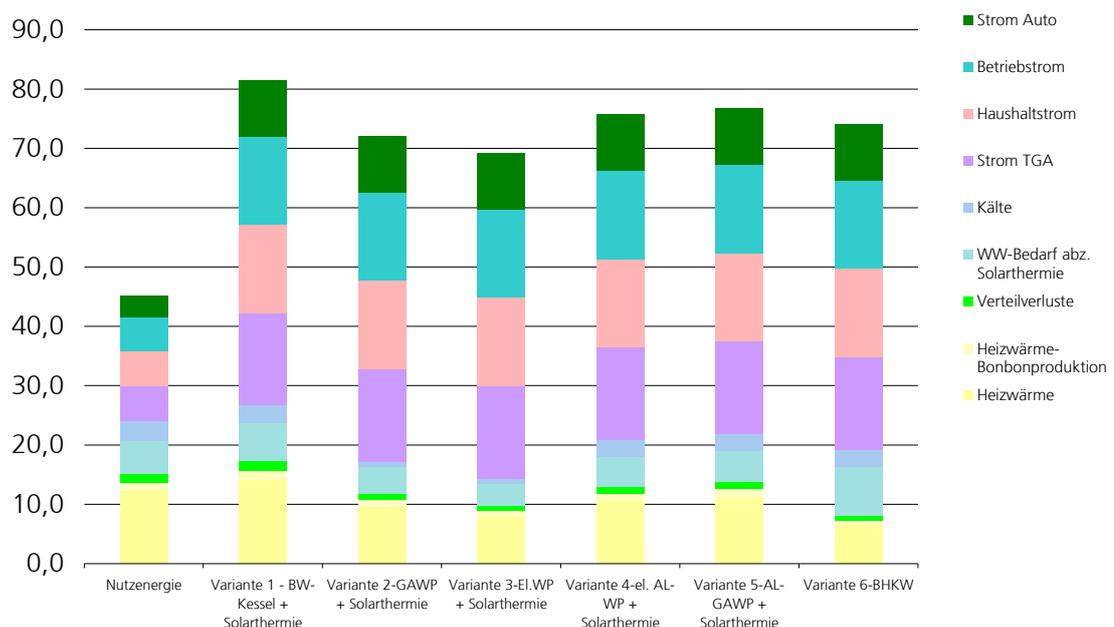


Abbildung 4 PE-Bedarfs und PV-Fläche der 6 Varianten

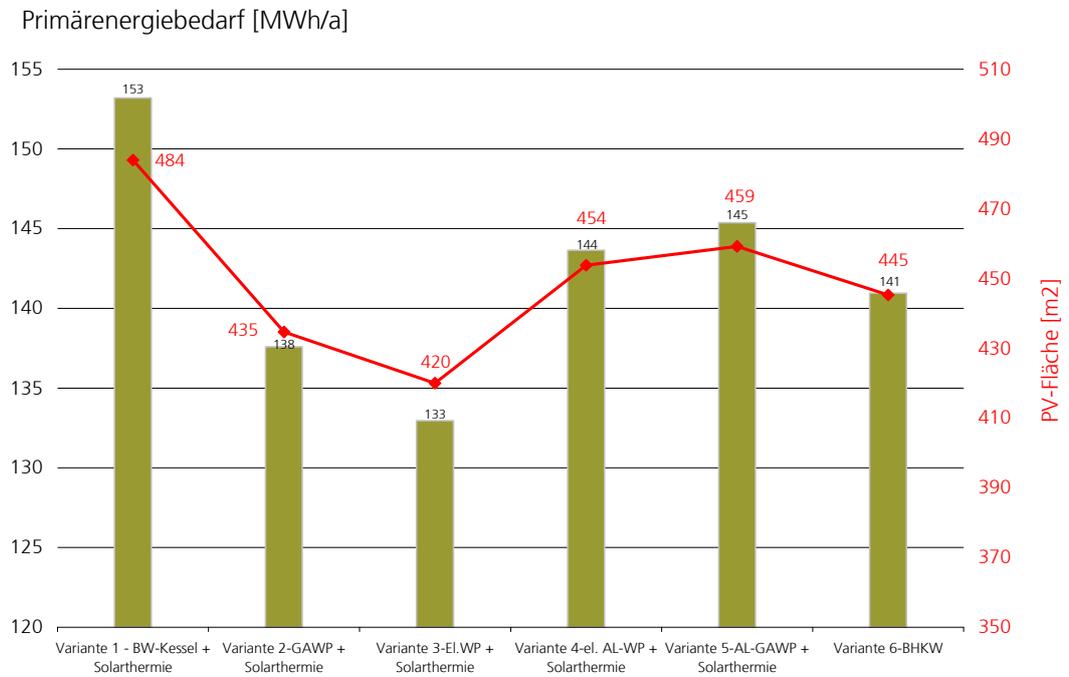
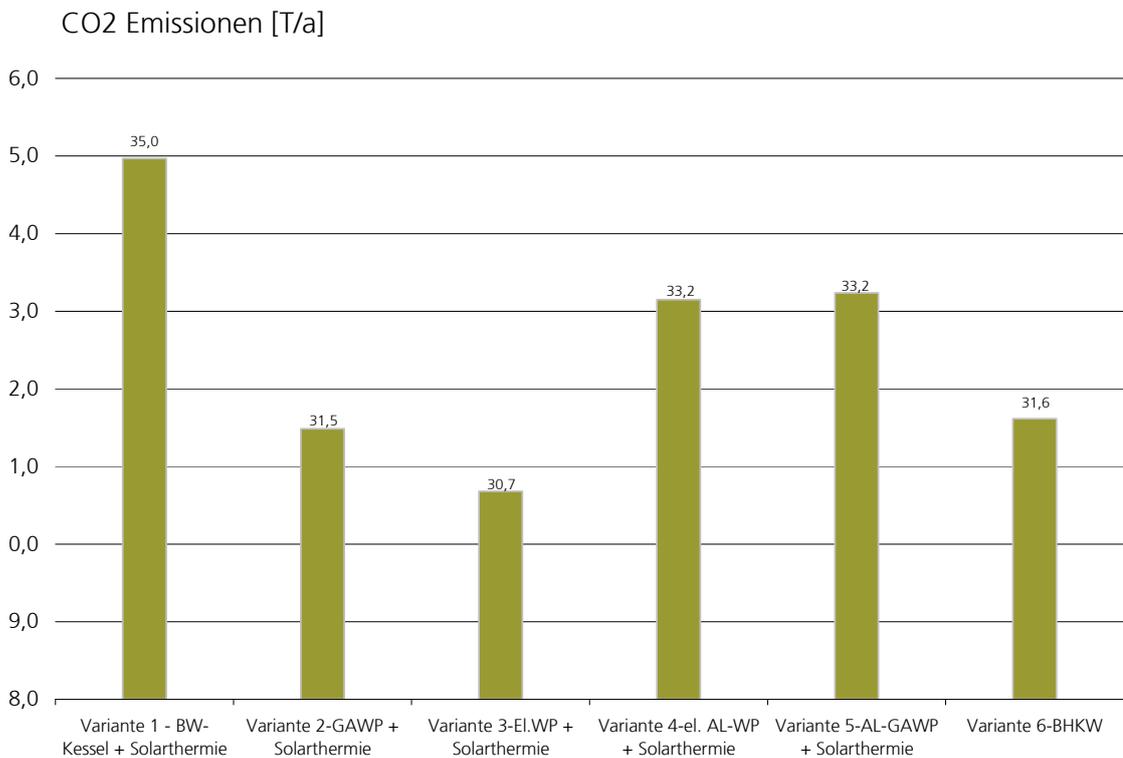


Abbildung 5 CO₂-Emissionen der 6 Varianten



Der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen hängt von der Ergiebigkeit des Grundwassers ab. In dem betrachteten geographischen Gebiet können Wassermengen zwischen 1,5 bis 2 l/s erwartet werden. Mit einer Temperaturdifferenz von 3,5 K ergibt sich eine Entzugsleistung zwischen 20 und 29 kW, die für den geplanten Bedarf ausreichend wäre. Die Machbarkeit der Grundwassernutzung soll aber durch Erkundungsbohrungen und eine Kältefahneberechnung überprüft werden. Es ist auch wichtig darauf hinzuweisen, dass Brunnenbohrung und -bau inklusiv Wasserrechtverfahren Mehrkosten bei der Investition in Höhe von 20.000 bis 30.000 € gegenüber der Lösung mit Außenluft als Wärmequelle verursachen. Im Rahmen dieses Konzepts werden diese Mehrkosten aber durch die resultierende Erhöhung der Energieeffizienz und die Reduzierung der PV-Fläche schon bei der Investition zum größten Teil kompensiert.

Die Annahmen der Jahresarbeitszahlen auf 4,0 für die elektrische Wärmepumpe und 1,4 für die Gas-Absorptionswärmepumpe führen dazu, dass diese beiden Varianten in unserer Berechnung sehr nah aneinander liegen. Feldmessungen am ISE haben gezeigt, dass Jahresarbeitszahlen über 4,0 bei elektrischen Grundwasser-Wärmepumpen erreicht werden können. Dieses Ergebnis würde diese Variante gegenüber dem Einsatz einer GAWP begünstigen. Aufgrund der wenigen Erfahrungen aus Feldmessungen mit der Gas-Absorptionswärmepumpen ist es wichtig, diese Anlagen einem wissenschaftlichen Monitoring zu unterziehen. Damit können die Annahmen auf Richtigkeit geprüft werden.

3 Wissenschaftliches Messprogramm

3.1 Ziele des Monitorings

Der energetische Betrieb des Gebäudes soll während der Nutzung gemessen, optimiert und analysiert werden. Die Ziele des wissenschaftlichen Monitorings können wie folgt zusammengefasst werden:

- Überprüfen, ob die Zielwerte bezüglich des Endenergieverbrauchs erreicht werden
- Überprüfen, ob die Zielwerte bezüglich der Effizienz der Gas-Absorptions-Wärmepumpe sowie der haustechnischen Systeme erreicht werden
- Fehlererkennung / Optimierung des Betriebs

Neben der Überprüfungsfunktion soll das Monitoring im allgemeinen dazu dienen, den Anlagenbetrieb zeitnah zu überwachen und anhand von vordefinierten Performance-Indikatoren Fehler und Optimierungspotenziale zu identifizieren. Ziel ist die kontinuierliche Überwachung des energetischen Gebäudebetriebs, dessen Optimierung und die Sicherstellung eines langfristig effizienten Gebäudebetriebs.

Notwendige Voraussetzung ist das Vorhandensein einer vollständigen und funktionsfähigen Messwerterfassung sowie die Möglichkeit, Daten mit hoher zeitlicher Auflösung daraus zu exportieren.

3.2 Performance Metrics und notwendige Messtechnik

Die folgende Tabelle zeigt die *Performance Metrics* für die einzelnen Bereiche des Anlagen-Energiemonitoring im Überblick.

Bereich / System	Erläuterungen Auswertung / Messtechnik*	Level 1 Metrics	Level 2 Metrics
Endenergieverbrauch	<p>Auswertung: Hier wird der Gesamt-Stromverbrauch als einziger Endenergiebezug bewertet.</p> <p>Messtechnik: Gesamtstromzähler</p>	Spezifischer Verbrauch (kWh/m ²) oder Spezifische Leistung (W/m ²)	Signatur Leistung
Gas-Absorptionswärmepumpe	<p>Auswertung: Es soll die Effizienz der Bereitstellung der Heizwärme und des Warmwasser bewertet</p>	Nutzungsgrad (evtl. je Betriebsmodus)	Energiebilanz Kennlinie Teillastwirkungsgrad Signatur Leistungen

Bereich / System	Erläuterungen Auswertung / Messtechnik*	Level 1 Metrics	Level 2 Metrics
	<p>werden.</p> <p>Hierfür muss sowohl der Gasbezug der Wärmepumpe als auch der Strombezug der Hilfsenergien (Taucherpumpe im Fall von Grundwassernutzung, Wärmepumpe, Umwälzpumpen sowie die Heizwärme und die Wärme zur Warmwasserbereitung erfasst werden.</p> <p>Messtechnik:</p> <p>Gaszähler für GAWP</p> <p>Stromzähler für Wärmepumpe und Pumpen</p> <p>Vor- und Rücklauftemperaturen der Wasserkreise</p> <p>Stellsignale der Antriebe und Regeleinrichtungen</p>		<p>Signatur</p> <p>Temperaturen</p>
Photovoltaik-Anlage	<p>Auswertung:</p> <p>Die Effizienz der PV-Anlage soll bewertet werden.</p> <p>Messtechnik:</p> <p>Stromzähler</p> <p>Globalstrahlungssensor</p>	<p>Spezifischer Ertrag (kWh/kWp)</p>	<p>Signatur Leistung</p>
Lüftungsanlage	<p>Auswertung:</p> <p>Die Effizienz und der Betrieb der Lüftungsanlage soll bewertet werden. Dafür müssen der Strombezug, die Lufttemperaturen (speziell vor und nach dem Register und der WRG) und die Stellsignale der Antriebe und Regeleinrichtungen erfasst werden.</p> <p>Messtechnik:</p> <p>Stromzähler Lüftungsanlage</p> <p>Wärmezähler Register</p>	<p>Effizienz Luftförderung (SFP)</p>	<p>Energiebilanz</p> <p>Kennlinie Teillastwirkungsgrad</p> <p>Signatur Leistungen</p> <p>Signatur Raumluftkonditionen</p>

Bereich / System	Erläuterungen Auswertung / Messtechnik*	Level 1 Metrics	Level 2 Metrics
	<p>Temperaturen luftseitig (Sollwerte/Istwerte)</p> <p>Temperaturen wasserseitig (Sollwerte/Istwerte)</p> <p>Raumluftkonditionen (Temperaturen / Luftqualität , Sollwerte/Istwerte)</p> <p>Stellsignale der Antriebe und Regeleinrichtungen</p>		
Kälteanlage	<p>Auswertung:</p> <p>Es soll die Effizienz der Bereitstellung der Kälte bewertet werden.</p> <p>Hierfür muss sowohl der Strombezug der Kälteanlage als auch die Nutzkälte erfasst werden.</p> <p>Messtechnik:</p> <p>Stromzähler</p> <p>Kältemengezähler</p> <p>Temperaturen des Wasserkreis</p>	<p>Spezifischer Verbrauch (kWh/m²) oder Spezifische Leistung (W/m²)</p> <p>Effizienz</p>	<p>Energiebilanz</p> <p>Kennlinie Teillastwirkungsgrad</p> <p>Signatur Leistungen</p>
Raumheizung/Kühlung	<p>Auswertung:</p> <p>Die Aufteilung und Effizienz der Bereitstellung von Wärme und Kälte zu Zwecken der Raumkonditionierung soll bewertet werden. Dafür müssen Wärme- und Kältemengen je nach Übergabesystem und Stromverbrauch der Antriebe erfasst werden. Zur Beurteilung des Betriebs müssen weiterhin Vor und Rücklauftemperaturen sowie die Stellsignale der Antriebe und Stalleinrichtungen erfasst werden. Dies betrifft die Fußbodenheizung und die Register der RLT.</p>	<p>Spezifischer Verbrauch (kWh/m²) oder Spezifische Leistung (W/m²)</p> <p>Effizienz</p>	<p>Energiebilanz</p> <p>Kennlinie Teillastwirkungsgrad</p> <p>Signatur Leistungen</p> <p>Signatur Raumluftkonditionen</p>

Bereich / System	Erläuterungen Auswertung / Messtechnik*	Level 1 Metrics	Level 2 Metrics
	<p>Messtechnik:</p> <p>Stromzähler (alle Pumpen)</p> <p>Wärme/Kältemengenzähler</p> <p>Temperaturen wasserseitig (Sollwerte/Istwerte)</p> <p>Raumlufttemperaturen (Sollwerte/Istwerte)</p> <p>Stellsignale der Antriebe und Regeleinrichtungen</p>		
Solarthermische Anlage	<p>Auswertung:</p> <p>Bei der solarthermischen Anlage soll neben dem Solarwärmeertrag vor allem Temperatur-, Speicher- und Regelverhalten bewertet werden. Dafür ist es notwendig die Wärmemenge, die wasserseitigen Temperaturen, die Globalstrahlung und den Stromverbrauch sowie die Betriebsmeldung der Pumpe zu erfassen.</p> <p>Messtechnik:</p> <p>Stromzähler Pumpe(n)</p> <p>Wärmemengenzähler</p> <p>Temperaturen wasserseitig</p> <p>Speichertemperatur</p> <p>Globalstrahlung</p> <p>Aussenlufttemperatur</p> <p>Stellsignale der Antriebe und Regeleinrichtungen</p>	spezifischer Kollektor-ertrag (kWh/m ²)	<p>Signatur Leistung</p> <p>Signatur Temperaturen</p>
Raumklima/Raumluftqualität	<p>Auswertung:</p> <p>Es soll die Einhaltung und die Abhängigkeiten des Raumklimas und der Raumluftqualität bewertet werden.</p> <p>Messtechnik:</p>	-	<p>Signatur Raumlufttemperatur/Feuchte</p> <p>Signatur Raumluftqualität</p> <p>Behaglichkeitskennfeld</p>

Bereich / System	Erläuterungen Auswertung / Messtechnik*	Level 1 Metrics	Level 2 Metrics
<p>Raumtemperaturen/-Feuchten Luftqualität</p>			
<p>Betriebstrom</p>	<p>Auswertung: Es soll den Stromverbrauch der Werkstätte bewertet werden. Messtechnik: Stromzähler</p>	<p>Spezifischer Stromverbrauch (kWh/m²)</p>	
<p>Haushaltstrom</p>	<p>Auswertung: Es soll den Stromverbrauch der Haushaltsgeräte und der Beleuchtung bewertet werden. Messtechnik: Stromzähler</p>	<p>Spezifischer Stromverbrauch (kWh/m²)</p>	
<p>Autostrom</p>	<p>Auswertung: Es soll den Stromverbrauch der Elektromobilität bewertet werden. Messtechnik: Stromzähler</p>	<p>Spezifischer Stromverbrauch (kWh/km)</p>	

3.3 Anforderungen an die Datenerfassung

Die Anforderungen an die Datenerfassung sind wie folgt:

- Die Datenerfassung soll für alle Messwerte äquidistante Zeitreihen liefern mit einer zeitlichen Auflösung von mindestens **5 Minuten**
- Die Daten sollen jeweils als **Aktualwerte** ohne vorherige Prozessierung durch die Gebäudeautomation (GA) erfasst werden (außer es wird ausdrücklich etwas anders vereinbart).
- **Wärme- und Kältemengenzähler** müssen eine **Netzstromversorgung** erhalten.
- Die **Auflösung** der erfassten Energiemengen sollte mindestens **1 kWh** betragen.
- Sollten die wasserseitigen Temperaturen ebenfalls über die Wärme- und Kältemengenzähler erfasst werden (z.B. mit M-Bus Zählern) ist darauf zu achten, dass die Temperaturen und auch die Temperaturdifferenz mindestens(!) eine Genauigkeit von 0,1 K haben

Eine Datenfernabfrage für mehrere Parteien per Internet über einen gesicherte VPN-Tunnel muss ermöglicht werden.

4 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen haben gezeigt, dass:

- das Ziel, ein Nullenergiewohnheim mit dem Einsatz einer Erdgas-Absorptionswärmepumpe und der Einbeziehung aller Stromdienstleistungen und der Elektromobilität zu konzipieren, erreicht werden kann
- die Varianten mit dem Einsatz von Gas-Absorptionswärmepumpen eine Reduktion des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen von ca. 10 % gegenüber eine Variante mit Brennwerttechnik ermöglichen
- die Kombination einer Gas-Absorptionswärmepumpe mit einer solarthermischen Anlage eine gute Alternative zum Erdgas-BHKW hinsichtlich der Reduktion des Primärenergiebedarfs darstellt
- der Primärenergiebedarf vom Strombedarf des Gebäudes dominiert wird. Daher ist der Einsatz von sehr energieeffizienten Geräten und die Durchführung eines Monitorings hinsichtlich der energetischen Optimierung der Anlagen und Komponenten erforderlich

Diese Studie soll mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung ergänzt werden. Dafür fehlen noch Erkenntnisse zu den tatsächlichen Kosten, die mit einer eventuellen Grundwassernutzung verbunden sind.

5 Anhänge

Anhang 1 Berechnungsblatt U-Werte der Bauteile

Passivhaus-Projektierung U-WERTE DER BAUTEILE

Objekt: Wohnheim Keilförmige Bauteilschichten (Gefäldämmung) und ruhende Luftschichten -> Hilfsmittel rechts

1 Aussenwand EG						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : 0,13						
außen R _{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Spachtelputz	0,700					Dicke [mm]
2. Beton	2,100					6
3. Dämmung	0,035	EPS				200
4.						240
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						44,6 cm
U-Wert: 0,140 W/(m ² K)						

2 Aussenwand OG						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : 0,13						
außen R _{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Spachtelputz	0,700					Dicke [mm]
2. Mauerwerk	0,990					6
3. Dämmung	0,035					200
4.						240
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						44,6 cm
U-Wert: 0,138 W/(m ² K)						

3 Dach 1						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : 0,10						
außen R _{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Dämmung	0,035					Dicke [mm]
2.		Sparr Fichte 20x10	0,130			200
3. Aufsparrendämmung	0,024					200
4.						60
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
		16,0%				46,0 cm
U-Wert: 0,118 W/(m ² K)						

4 Dach 2 über Terrasse						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]		innen R _{si} :	0,17	
				außen R _{sa} :	0,00	
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Beton	2,100					200
2. Dämmung	0,035	EPS				200
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						40,0 cm
				U-Wert:	0,167	W/(m ² K)

5 Perimeterdämmung						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]		innen R _{si} :		
				außen R _{sa} :		
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Dämmung	0,035					200
2. Beton	2,100					200
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						40,0 cm
				U-Wert:	0,172	W/(m ² K)

6 Bodenplatte						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]		innen R _{si} :	0,17	
				außen R _{sa} :	0,00	
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Beton	2,100					200
2. Dämmung	0,039	XPS				160
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						36,0 cm
				U-Wert:	0,229	W/(m ² K)

Anhang 3 Raumdatentabelle Lüftung

Raumdatentabelle Lüftung

Nullenergiewohnheim Heitersheim



Autor: N. Réhault nicolas.rehault@ise.fraunhofer.de

Geschoss	Raumnummer	Raumbezeichnung	Fläche m ²	Höhe m	Volumen m ³	LW-ABL h ⁻¹	LW-ZUL h ⁻¹	Luftmenge ABL	Luftmenge ZUL
EG	000a	Flur	24,96	3,3	82,4	0,0	1,1	0	90
EG	000b	Flur	47,85	3,3	157,9	0,0	0,0	0	0
EG	001	Aufzug	5,02	3,3	16,6	0,0	0,0	0	0
EG	002	Treppe	49,28	3,3	162,6	0,0	0,0	0	0
EG	003	Schmutzw., Leergut	9,04	3,3	29,8	1,0	0,0	30	0
EG	004	Beh. WC	5,34	3,3	17,6	1,1	0,0	20	0
EG	005	WC H	3,48	3,3	11,5	1,7	0,0	20	0
EG	006	WC D	3,5	3,3	11,6	1,7	0,0	20	0
EG	007	Lager	21,95	3,3	72,4	0,4	0,4	30	30
EG	008	Technik	56,35	3,3	186,0	0,2	0,2	30	30
EG	009	Bespr./Pers. Aufenthalt	13,42	3,3	44,3	0,7	0,7	30	30
EG	010	Pausenr.	34,06	3,3	112,4	0,7	0,7	80	80
EG	011	Pers. WC	2,64	3,3	8,7	2,3	0,0	20	0
EG	012	Putzr.	2,89	3,3	9,5	2,1	0,0	20	0
EG	013	Sozialraum	5,97	3,3	19,7	0,0	1,0	0	20
EG	014	Werkstätte	22,5	3,3	74,3	1,0	1,0	75	75
EG	015	Bonbonproduktion	31,96	3,3	105,5	0,5	0,7	50	75
EG	016	Bonbonverpackung	24,53	3,3	80,9	0,5	1,7	40	140
EG	017	Waschraum D	2,39	3,3	7,9	2,5	0,0	20	0
EG	018	WC D	2,14	3,3	7,1	2,8	0,0	20	0
EG	019	Umkl. D	7,91	3,3	26,1	0,0	0,0	0	0
EG	020	Dusche	2,11	3,3	7,0	2,9	0,0	20	0
EG	021	Umkl. H	5,09	3,3	16,8	0,0	0,0	0	0
EG	022	Waschraum H	2,51	3,3	8,3	2,4	0,0	20	0
EG	023	WC H	2,6	3,3	8,6	2,3	0,0	20	0
EG	025	Werkstätte	97,82	3,3	322,8	0,6	0,4	200	135
EG	026	Lager offen	6,01	3,3	19,8	0,0	0,0	0	0
EG	027	Büro	12,03	3,3	39,7	0,0	0,5	0	20

1.OG	100a	Flur	27,63	2,95	81,5	0,0	0,0	0	0
1.OG	100b	Flur	31,63	2,95	93,3	0,0	0,0	0	0
1.OG	100c	Flur	27,63	2,95	81,5	0,0	0,0	0	0
1.OG	101	Aufzug	5,02	2,95	14,8	0,0	0,0	0	0
1.OG	102	Treppe	15,42	2,95	45,5	0,0	0,0	0	0
1.OG	103	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	104	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
1.OG	104a	Vorraum	3,45	2,95	10,2	0,0	0,0	0	0
1.OG	105	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	106	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	107	Du/WC	6,01	2,95	17,7	2,3	0,0	40	0
1.OG	107a	Vorraum	5,12	2,95	15,1	0,0	0,0	0	0
1.OG	108	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	109	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	110	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
1.OG	110a	Vorraum	3,52	2,95	10,4	0,0	0,0	0	0
1.OG	111	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	112	Hilfsmittel	13,96	2,95	41,2	0,0	0,0	0	0
1.OG	113	Wäsche	7,2	2,95	21,2	1,9	0,0	40	0
1.OG	114	Büro	13,62	2,95	40,2	0,0	0,5	0	20
1.OG	114a	Nachtbre.	4,23	2,95	12,5	0,0	1,6	0	20
1.OG	115	Pers. WC	2,61	2,95	7,7	2,6	0,0	20	0
1.OG	116	Bad	12,47	2,95	36,8	1,1	0,0	40	0
1.OG	117	Putzr.	2,92	2,95	8,6	2,3	0,0	20	0
1.OG	118	Vorrat	4,43	2,95	13,1	1,5	0,0	20	0
1.OG	119	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	120	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
1.OG	120a	Vorraum	3,52	2,95	10,4	0,0	0,0	0	0
1.OG	121	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	122	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	123	Du/WC	6,01	2,95	17,7	2,3	0,0	40	0
1.OG	124	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	125	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
1.OG	126	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
1.OG	126a	Vorraum	3,45	2,95	10,2	0,0	0,0	0	0
1.OG	127	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20

Geschoss	Raumnummer	Raumbezeichnung	Fläche m ²	Höhe m	Volumen m ³	LW-ABL h ⁻¹	LW-ABL h ⁻¹	Luftmenge ABL	Luftmenge ZUL
2.OG	200a	Flur	27,63	2,95	81,5	0,0	0,0	0	0
2.OG	200b	Flur	31,63	2,95	93,3	0,0	0,0	0	0
2.OG	200c	Flur	27,63	2,95	81,5	0,0	0,0	0	0
2.OG	201	Aufzug	5,02	2,95	14,8	0,0	0,0	0	0
2.OG	202	Treppe	15,42	2,95	45,5	0,0	0,0	0	0
2.OG	203	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	204	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
2.OG	204a	Vorraum	3,45	2,95	10,2	0,0	0,0	0	0
2.OG	205	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	206	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	207	Du/WC	6,01	2,95	17,7	2,3	0,0	40	0
2.OG	207a	Vorraum	5,12	2,95	15,1	0,0	0,0	0	0
2.OG	208	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	209	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	210	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
2.OG	210a	Vorraum	3,52	2,95	10,4	0,0	0,0	0	0
2.OG	211	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	212	Hilfsmittel	13,96	2,95	41,2	0,0	0,0	0	0
2.OG	213	Wäsche	7,2	2,95	21,2	1,9	0,0	40	0
2.OG	214	Büro	13,62	2,95	40,2	0,0	0,5	0	20
2.OG	214a	Nachtbre.	4,23	2,95	12,5	0,0	1,6	0	20
2.OG	215	Pers. WC	2,61	2,95	7,7	2,6	0,0	20	0
2.OG	216	Bad	12,47	2,95	36,8	1,1	0,0	40	0
2.OG	217	Putzr.	2,92	2,95	8,6	2,3	0,0	20	0
2.OG	218	Vorrat	4,43	2,95	13,1	1,5	0,0	20	0
2.OG	219	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	220	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
2.OG	220a	Vorraum	3,52	2,95	10,4	0,0	0,0	0	0
2.OG	221	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	222	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	223	Du/WC	6,01	2,95	17,7	2,3	0,0	40	0
2.OG	224	Zimmer	16,01	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	225	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	226	Du/WC	5,84	2,95	17,2	2,3	0,0	40	0
2.OG	226a	Vorraum	3,45	2,95	10,2	0,0	0,0	0	0
2.OG	227	Zimmer	16	2,95	47,2	0,0	0,4	0	20
2.OG	228	Küche	13,3	2,95	39,2	1,5	0,0	60	0
2.OG	229	Aufenthalt	60,55	2,95	178,6	0,0	1,1	0	200
DG	300a	Flur	19,47	3,05	59,4	0,0	0,0	0	0
DG	300b	Flur	9,58	3,05	29,2	0,0	0,0	0	0
DG	301	Aufzug	5,02	3,05	15,3	0,0	0,0	0	0
DG	302	Treppe	15,42	3,05	47,0	0,0	0,0	0	0
DG	303	Physio	16,06	3,05	49,0	0,0	1,2	0	60
DG	304	Ruheraum	16,06	3,05	49,0	0,0	0,8	0	40
DG	305	Abst.	4,47	3,05	13,6	0,0	0,0	0	0
DG	306	Pers.WC	2,16	3,05	6,6	3,0	0,0	20	0
DG	307	Beh. WC	4,94	3,05	15,1	1,3	0,0	20	0
DG	308	Du/WC	4,38	3,05	13,4	3,0	0,0	40	0
DG	309	Putzr.	2,12	3,05	6,5	3,1	0,0	20	0
DG	310	Büro	10,42	3,05	31,8	0,6	0,6	20	20
DG	311	Aufenthalt	60,11	3,05	183,3	0,5	0,5	100	100

Anhang 4 Berechnungsblatt Heizwärmebedarf

Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: Freiburg Innentemperatur: 20,0 °C
 Objekt: Wohnheim Gebäudetyp/Nutzung: Wohnheim, Werkstätte
 Standort: Heitersheim Energiebezugsfläche A_{EB}: 1648,3 m²

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Temp.-faktor f _t	G _t kKh/a	kWh/a	pro m ² Energie- bezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	947,2	0,139	1,00	70,2	9229	
2. Außenwand Erdreich	B	120,5	0,172	0,59	70,2	862	
3. Dach/Decken Außenluft	A	569,6	0,125	1,00	70,2	5003	
4. Bodenplatte	B	593,4	0,229	0,59	70,2	5647	
5.	A			1,00			
6.	A			1,00			
7.	X			0,75			
8. Fenster	A	394,4	0,896	1,00	70,2	24807	
9. Außentür	A			1,00			
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A	2625,0	0,050	1,00	70,2	9217	
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P			0,59			
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B			0,59			
Summe aller Hüllflächen		2625,0					

Transmissionswärmeverluste Q_T

Summe 54764 kWh/a 33,2 kWh/(m²a)

Lüftungsanlage:
 wirksames Luftvolumen V_L A_{EB} lichte Raumhöhe m³
 effektiver Wärmebereitstellungsgrad η_{eff} 81% 1648,3 2,80 4615,1
 der Wärmerückgewinnung
 Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmeübertr. η_{EWÜ} 0%
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_L n_{L,Anlage} Φ_{WRG} n_{L,Rest}
 0,425 (1 - 0,81) + 0,042 = 0,124

Lüftungswärmeverluste Q_L

V_L n_L c_{L,luft} G_t
 m³ 1/h Wh/(m³K) kKh/a kWh/a kWh/(m²a)
 4615 0,124 0,33 70,2 13286 8,1

Summe Wärmeverluste Q_V

Q_T Q_L Reduktionsfaktor
 kWh/a kWh/a Nacht-/Wochenend-
 absenkung
 (54764 + 13286) 1,0 = 68049 kWh/a 41,3

Ausrichtung der Fläche Abminderungsfaktor g-Wert Fläche Globalstr. Heizzeit
 vgl. Blatt Fenster (senkr. Einstr.) m² kWh/(m²a) kWh/a

1. Nord	0,51	0,52	26,81	148	1042
2. Ost	0,55	0,52	150,37	163	7056
3. Süd	0,62	0,52	44,61	359	5155
4. West	0,51	0,53	172,60	325	15080
5. Horizontal	0,40	0,00	0,00	349	0

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

Summe 28334 kWh/a 17,2 kWh/(m²a)

Interne Wärmequellen Q_I

kh/d Länge Heizzeit spezif. Leistung q_i A_{EB}
 0,024 d/a W/m² m² kWh/a kWh/(m²a)
 * 205 * 3,00 * 1648,3 = 24271 14,7

Freie Wärme Q_F Q_S + Q_I = 52605 kWh/a 31,9 kWh/(m²a)

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q_F / Q_V = 0,77

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G (1 - (Q_F / Q_V)⁵) / (1 - (Q_F / Q_V)⁶) = 92%

Wärmegewinne Q_G

η_G * Q_F = 48415 kWh/a 29,4 kWh/(m²a)

Heizwärmebedarf Q_H

Q_V - Q_G = 19635 kWh/a 12 kWh/(m²a)

Grenzwert kWh/(m²a) Anforderung erfüllt? (ja/nein)
15 ja

Für Gebäude mit einem Gewinn-Verlust-Verhältnis über 0,7 sollten Sie das Monatsverfahren verwenden (vgl. Handbuch).

Anhang 5 Berechnungsblatt Kältebedarf

Passivhaus-Projektierung ENERGIEKENNWERT NUTZKÄLTE MONATSVVERFAHREN

(auf dieser Seite dargestellt werden die Kühlzeitsummen des Monatsverfahrens)

Klima: Freiburg Innentemperatur Sommer: 26 °C
 Objekt: Wohnheim Gebäudetyp/Nutzung: Wohnheim, Werkstätte
 Standort: Heitersheim Energiebezugsfläche A_{EB}: 1648,3 m²
 spez. Kapazität: 132 Wh/(m²K) (Eingabe im Blatt "Sommer")

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Red.Fak.	Mon.	G _i kWh/a	pro m ² Energiebezugsfläche	
1. Außenwand Außenluft	A	947,2	0,139	1,00	54	7041		
2. Außenwand Erdreich	B	120,5	0,172	1,00	66	1369		
3. Dach/Decken Außenluft	A	569,6	0,125	1,00	54	3817		
4. Bodenplatte	B	593,4	0,229	1,00	66	8969		
5.	A			1,00				
6.	A			1,00				
7.	X			0,75				
8. Fenster	A	394,4	0,896	1,00	54	18925		
9. Außentür	A			1,00				
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A	2625,0	0,050	1,00	54	7032		
11. Wbrücken Perimeter (Länge/l)	P			1,00				
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B			1,00				
Summe							47152	28,6

Transmissionswärmeverluste Q_T (negativ: Wärmelasten)

wirksames Luftvolumen V _L	A _{EB} m ²	lichte Raumhöhe m	
	1648	2,80	= 4615 m ³
außen	Lüftungsleitwert WK	G _i kWh/a	kWh/(m ² a)
	703,6	54	= 37695
Erdreich		66	= 0
			22,9
			0,0

zusätzliche Sommerlüftung

ankreuzen: nächtliche Fensterlüftung, manuell
 mechanische, automatisch geregelte Lüftung

zugehöriger Luftwechsel 0,42 1/h
 (für Fensterlüftung: bei 1 K Temperaturdifferenz innen - außen)
 minimal zulässige Innentemperatur 22,0 °C

Wärmeverluste Sommerlüftung

kWh/a **27604** kWh/(m²a) **16,7**

Lüftungswärmeverluste Q_L

Q_{L,ausen} kWh/a **37695** + Q_{L,erde} kWh/a **0** + Q_{L,sommer} kWh/a **27604** = **65299** kWh/a **39,6**

Summe Wärmeverluste Q_V

Q_T kWh/a **47152** + Q_L kWh/a **65299** = **112451** kWh/a **68,2**

Ausrichtung der Fläche	Abminderungsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstrahlung kWh/a	kWh/a
1. Nord	0,56	0,52	26,8	385	2983
2. Ost	0,61	0,52	150,4	438	20873
3. Süd	0,66	0,52	44,6	600	9159
4. West	0,28	0,53	172,6	587	14854
5. Horizontal	0,40	0,00	0,0	906	0
6. Summe opake Flächen					0

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S

Summe **47869** kWh/a **29,0**

Innere Wärmequellen Q_I

kh/d 0,024 * Länge Heizzeit 214 d/a * spezif. Leistung q_i 3,0 W/m² * A_{EB} m² 1648,3 = **25396** kWh/a **15,4**

Summe Wärmelasten Q_F

Q_S + Q_I = **73265** kWh/a **44,5**

Verhältnis Verluste zu freier Wärme

Q_V / Q_F = **1,53**

Nutzungsgrad Wärmeverluste η_L

= **60%**

nutzbare Wärmeverluste Q_{V,n}

η_G * Q_V = **67822** kWh/a **41,1**

Nutzkältebedarf Q_K

Q_G - Q_{V,n} = **5443** kWh/a **3**

Grenzwert

kWh/(m²a) **1,5**

Anforderung erfüllt? **ja**

Anhang 6 Auslegung der solaren Warmwasserbereitung

Passivhaus-Projektierung SOLARE WARMWASSERBEREITUNG

Objekt: **Wohnheim** Standort: **Heitersheim** Gebäudetyp/Nutzung: **Wohnheim, Werkstätte** Energiebezugsfläche A_{EB} : **1648,3** m²

Solarer Deckungsgrad mit Wärmebedarf WW incl. WW-Bedarf Wasch&Spül

WW-Wärmebedarf	q_{gWW}	25608	kWh/a	aus Blatt WW+Verteil
Geogr. Breite		48,0	°	aus Blatt Klimadaten
Auswahl Kollektor aus Liste (s.u.):		7	Auswahl:	7 verbesserter Flachkollektor
Kollektorfläche		40,00	m ²	
Abweichung zur Nordrichtung		225	°	
Neigung gegen die Horizontale		9	°	
Höhe des Kollektorfelds		1	m	
Höhe des Horizonts	h_{Hori}	0,00	m	
Horizontentfernung	a_{Hori}	200,00	m	
zusätzlicher Abminderungsfaktor Verschattung	f_{so}	100%	%	
Personenbelegung		28,0	Personen	
spezifische Kollektorfläche		1,4	m ² /Pers	

geschätzter solarer Deckungsbeitrag an WW-Bereitung

64%

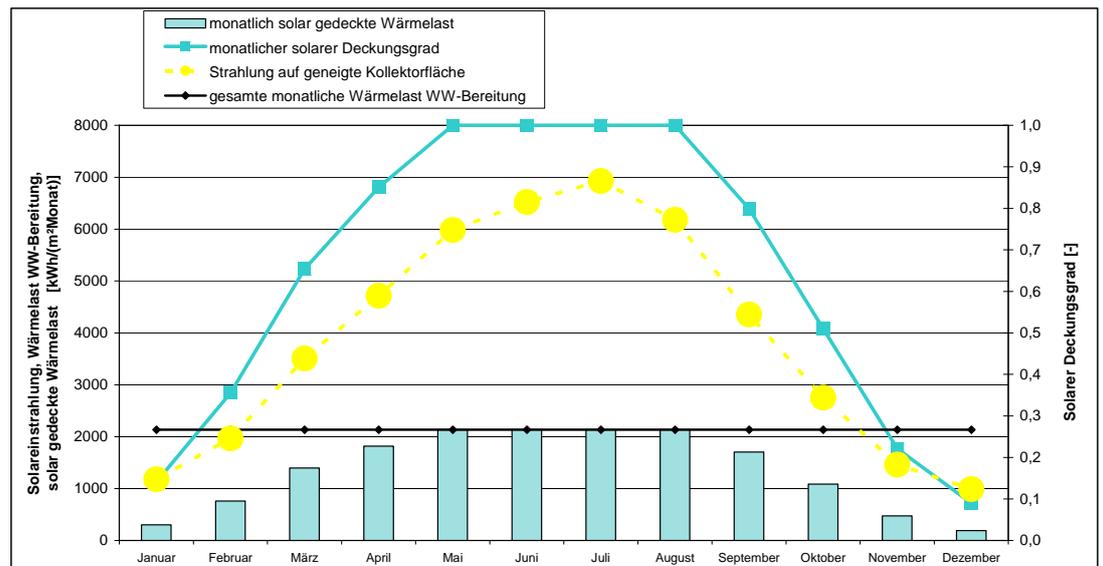
Solarer Wärmebeitrag zur Nutzwärme

16263 kWh/a

9,9 kWh/(m²a)

Nebenrechnung Speicherverluste

Auswahl WW-Speicher aus Liste (s.u.)	1	Auswahl:	Solarspeicher
gesamtes Speichervolumen	2800	Liter	
Volumen Bereitschaftsteil (oben)	840	Liter	
Volumen Solarteil (unten)	1960	Liter	
spezifische Wärmeverluste Speicher (gesamt)	3,1	W/K	
typische Bereitschaftstemperatur WW	35	°C	
Temperatur im Aufstellraum	15	°C	
Wärmeverluste Speicher (nur Bereitschaftsteil, oben)	46	W	
Wärmeverluste Speicher (gesamt)	62	W	



Anhang 7 Ermittlung des Hilfsstrombedarfs

Passivhaus-Projektierung HILFSSTROM

Objekt: **Wohnheim**

Spalte Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																							
Anwendung	vorhanden (1/0)	in wärmetauschender Hülle (1/0)	Normbedarf	Nutzungsfaktor	Betriebsdauer	Bezuggröße	Strombedarf (kWh/a)	Verfügbarkeitsfaktor interne Wärme	genutzt in Zeitraum (kWh/a)	interne Wärmequelle (M)	Primärenergiebedarf (kWh/a)																																							
<table border="1"> <tr> <td>1 Wohnfläche</td> <td>1648</td> <td>m²</td> </tr> <tr> <td>2 Heizzeit</td> <td>205</td> <td>d</td> </tr> <tr> <td>3 Luftvolumen</td> <td>4615</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td>4 Wohnungen</td> <td>3</td> <td>HH</td> </tr> <tr> <td>5 Umbaut. Volumen</td> <td>4614</td> <td>m³</td> </tr> </table>			1 Wohnfläche	1648	m ²	2 Heizzeit	205	d	3 Luftvolumen	4615	m ³	4 Wohnungen	3	HH	5 Umbaut. Volumen	4614	m ³	<table border="1"> <tr> <td>Laufzeit LA im Winter</td> <td>4,91</td> <td>kh/a</td> </tr> <tr> <td>Laufzeit LA im Sommer</td> <td>3,85</td> <td>kh/a</td> </tr> <tr> <td>Luftwechselrate</td> <td>0,42</td> <td>h⁻¹</td> </tr> <tr> <td>Enteisung WT ab</td> <td></td> <td>°C</td> </tr> </table>			Laufzeit LA im Winter	4,91	kh/a	Laufzeit LA im Sommer	3,85	kh/a	Luftwechselrate	0,42	h ⁻¹	Enteisung WT ab		°C	<table border="1"> <tr> <td>Primärenergiefaktor-Strom</td> <td>2,7</td> <td>kWh/kWh</td> </tr> <tr> <td>Heizwärmebedarf</td> <td>12</td> <td>kWh/(m²a)</td> </tr> <tr> <td>Nenn-Wärmeleistung des Kessels</td> <td>22</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Wärmebedarf TW-Erwärmungsanlage</td> <td>25607</td> <td>kWh/a</td> </tr> <tr> <td>Ausleg. Vorlauftemperatur</td> <td>35</td> <td>°C</td> </tr> </table>			Primärenergiefaktor-Strom	2,7	kWh/kWh	Heizwärmebedarf	12	kWh/(m ² a)	Nenn-Wärmeleistung des Kessels	22	kW	Wärmebedarf TW-Erwärmungsanlage	25607	kWh/a	Ausleg. Vorlauftemperatur	35	°C
1 Wohnfläche	1648	m ²																																																
2 Heizzeit	205	d																																																
3 Luftvolumen	4615	m ³																																																
4 Wohnungen	3	HH																																																
5 Umbaut. Volumen	4614	m ³																																																
Laufzeit LA im Winter	4,91	kh/a																																																
Laufzeit LA im Sommer	3,85	kh/a																																																
Luftwechselrate	0,42	h ⁻¹																																																
Enteisung WT ab		°C																																																
Primärenergiefaktor-Strom	2,7	kWh/kWh																																																
Heizwärmebedarf	12	kWh/(m ² a)																																																
Nenn-Wärmeleistung des Kessels	22	kW																																																
Wärmebedarf TW-Erwärmungsanlage	25607	kWh/a																																																
Ausleg. Vorlauftemperatur	35	°C																																																
Lüftungsanlage																																																		
Lüftung im Winter	1	1	0,41	Wh/m ³	0,42	h ⁻¹	4,9	kh/a	4615,1	m ³	= 3944	im Wärmebereitstellungsgrad enthalten kein Sommerbeitrag zu inneren WQ	10650																																					
Lüftung im Sommer	1	1	0,41	Wh/m ³	0,42	h ⁻¹	3,9	kh/a	4615,1	m ³	= 3095		8357																																					
Enteisung WT	0	0	0	W	1,00		0,2	kh/a	1		= 0		0																																					
Heizungsanlage																																																		
gerregelt/ungeregelt (1/0)																																																		
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe																																																		
Umwälzpumpe	1	1	600	W	1		4,9	kh/a	1		= 2124	1,0	4,91	433	5735																																			
et. Leistungsaufnahme des Kessels bei 30% Last																																																		
Hilfsenergie Kessel Heiz.	0	0	66	W	1,00		0,00	kh/a	1		= 0	1,0	4,91	0	0																																			
Trinkwarmwasser-Anlage																																																		
Eingabewert mittl. Leistungsaufnahme d. Pumpe																																																		
Zirkulationspumpe	1	1	39	W	1,00		7,2	kh/a	1		= 278	0,6	8,76	20	751																																			
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe																																																		
Speicherladepumpe WW	1	1	131	W	1,00		1,2	kh/a	1		= 153	1,0	4,91	31	412																																			
et. Leistungsaufnahme des Kessels bei 100% Last																																																		
Hilfsenergie Kessel WW	0	0	198	W	1,00		0,0	kh/a	1		= 0	1,0	4,91	0	0																																			
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Solaspumpe																																																		
Hilfsstrom solar	1	1	104	W	1,00		1,8	kh/a	1		= 182	0,6	8,76	13	491																																			
Hilfsstrom sonst																																																		
Hilfsstrom sonst	1	1	30	kWh/a	1,00		1,0		3	HH	= 90	1,0	8,76	10	243																																			
Summe											9866			506	26638																																			
Kennwert	kWh/(m ² a)		durch Wohnfläche dividieren:								6,0			16,2																																				

Anhang 8 - Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse der Energieversorgungsvarianten

Nutzenenergie	Variante 1 - BW-Kessel + Solarthermie		Variante 2-GAWP + Solarthermie		Variante 3-EI.WP + Solarthermie		Variante 4-el. AL-WP + Solarthermie		Variante 5-AL-GAWP + Solarthermie		Variante 6-BHKW			
	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/a		
Jahresnutzungsgrad bzw. Jahresarbeitszahl th. Anlagenaufwandszahl Wärme	0,96	20174	1,40	23116	1,40	15851	4,00	13113	3,00	20034	1,20	18493	0,60	10760
Jahresnutzungsgrad elektrisch	1,15	2376	0,79	2723	0,79	1867	0,65	1544	0,87	2360	0,92	2178	0,53	1267
PE Faktor elektrisch	2,60	2255	2,60	2584	2,60	1772	2,60	1466	2,60	2239	2,60	2067	2,60	1203
Jahresarbeitszahl Kälte	3,00	25709	10,00	25709	10,00	25709	10,00	25709	3,00	25709	3,00	25709	3,00	25709
th. Anlagenaufwandszahl Kälte	0,87	9394	0,26	10764	0,26	7381	0,26	6106	0,87	9328	0,87	8611	0,87	13711
Nutzenenergiebedarf		Primärenergiebedarf												
Heizwärme	12,2	20174	14,0	23116	9,6	15851	8,0	13113	10,6	20034	11,2	18493	6,5	10760
Heizwärme-Bonbonproduktion	1,4	2376	1,7	2723	1,1	1867	0,9	1544	1,2	2360	1,3	2178	0,8	1267
Verteilverluste	1,4	2255	1,6	2584	1,1	1772	0,9	1466	1,2	2239	1,3	2067	0,7	1203
WW-Bedarf inkl. Verluste	15,6	25709												
WW-Erzeugung thermische Solaranlage	-9,9													
WW-Bedarf abz. Solarthermie	5,7	9394	6,5	10764	4,5	7381	3,7	6106	4,9	9328	5,2	8611	8,3	13711
Kälte	3,3	5438	2,9	4713	0,9	1414	0,9	1414	2,9	4085	2,9	4713	2,9	4713
Strom TGA	6,0	9888	15,6	25709	15,6	25709	15,6	25709	15,6	25709	15,6	25709	15,6	25709
Haushaltstrom	10	16708	26,4	43440	26,4	43440	26,4	43440	26,4	43440	26,4	43440	26,4	43440
Betriebsstrom	5,7	9443	14,9	24552	14,9	24552	14,9	24552	14,9	24552	14,9	24552	14,9	24552
Strom Auto	4	6000	9,5	15600	9,5	15600	9,5	15600	9,5	15600	9,5	15600	9,5	15600
Gesamt			93,0	153	83,5	138	80,7	133	87,2	144	88,2	145	85,5	141
Fläche PV	m ²		484		435		420		454		459		445	
Leistung PV	kWp		60		54		52		57		57		56	
CO ₂	T/a		35,0		31,5		30,7		33,2		33,2		31,6	

Anhang 9 Abschätzung des spezifischen Anlagenenertrages für ein PV-Standardsystem in Heitersheim



Abschätzung des spezifischen Anlagenenertrages für ein PV-Standardsystem

Standort:	Heitersheim, Deutschland
geografische Breite:	47°53' N
geografische Länge:	7°40' O
Modulausrichtung:	233°
Modulneigung:	9°
Annahmen zum verwendeten Standardssystem:	
Module:	kristallines Silicium
TK der Leistung:	0,45 %/K
Modulübertemperatur:	30 K bei 1000 W/m ²
Europäischer Wirkungsgrad des Wechselrichters:	97,0%
Verhältnis von Modul- zu WR-Leistung:	1,0
Fremdverschattung:	keine
Reihenverschattung:	keine
Leistungsverluste:	2,5 % bei maximaler Erzeugung
Transformator:	keiner

Jahreswerte

Rechenschritt	Wert	Einheit	Gew./Verl.	PR
Einstrahlung global horizontal	1140	kWh/m ²		
Einstrahlung auf Modulfläche	1176	kWh/m ²	3,2%	100,0%
Einstrahlung mit Verschattung				
<i>Fremdverschattung</i>	1176	kWh/m ²	0,0%	100,0%
<i>Reihenverschattung</i>	1176	kWh/m ²	0,0%	100,0%
Verschmutzung	1164	kWh/m ²	-1,0%	99,0%
Reflexionsverluste	1124	kWh/m ²	-3,5%	95,5%
Modul-Ganzjahreswirkungsgrad				
<i>Spektrale Verluste</i>	1112	kWh/kWp	-1,0%	94,6%
<i>Einstrahlungsabhängige Verluste</i>	1061	kWh/kWp	-4,5%	90,3%
<i>Temperaturabhängige Verluste</i>	1024	kWh/kWp	-3,6%	87,0%
Verschaltungsverluste	1016	kWh/kWp	-0,8%	86,4%
DC Leistungsverluste	1009	kWh/kWp	-0,7%	85,8%
Wechselrichterverluste	978	kWh/kWp	-3,1%	83,2%
WR-Leistungsbeschränkung	978	kWh/kWp	0,0%	83,2%
AC Leistungsverluste	974	kWh/kWp	-0,4%	82,8%
Transformator	974	kWh/kWp	0,0%	82,8%
Gesamt	974	kWh/kWp		82,8%