



Schlussbericht 14. Dezember 2010

Heizen mit der erdgekoppelten Diffusions- Absorptions-Wärmepumpe und Direktkühlung im Kundenzentrum IWB Steinenvorstadt Basel

Schlussbericht zur Messperiode 2009/2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

IWB Industrielle Werke Basel, CH-4008 Basel
SVGW Schweiz. Verein für Gas und Wasser, CH-8603 Schwerzenbach

Auftragnehmer:

Institut Energie am Bau – FHNW
St. Jakobs - Strasse 84
CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch/iebau

Autoren:

Daniel Mollet, FHNW, daniel.mollet@fhnw.ch
Ralf Dott, FHNW, ralf.dott@fhnw.ch
Thomas Afjei, FHNW, thomas.afjei@fhnw.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleiter: Thomas Kopp, tkopp@hsr.ch

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153221 / 101 527

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Resumé	4
Abstract	5
1. Ausgangslage und Zielsetzung	6
1.1. Worin liegt der Nutzen dieser Untersuchungen?	6
1.2. Das neue Kundenzentrum IWB Steinenvorstadt Basel	6
1.3. Beteiligte und Projektumfeld	8
2. Vorgehen und Methodik	9
2.1. Überleitung	9
2.2. Lösungsansatz	9
2.3. Funktionsbeschreibung Heizen-Lüften-Kühlen	9
2.4. Funktionsbeschreibung der Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP)	10
2.5. Thermodynamischer Kreisprozess	11
2.6. Messkonzept des Messprojekts	12
2.7. Auswertung	14
2.8. Kennzahlen	15
2.9. Zeitlicher Ablauf der Installation der Energieversorgung und der Messwerterfassung	16
3. Messergebnisse	18
3.1. Messperiode 2009/2010	18
3.2. Klimatische Rahmenbedingungen	18
3.3. Betriebsverhalten und Kennzahlen der Loganova GWP 102-19	20
3.4. Betriebsverhalten und Kennzahlen der Erdwärmesonden	24
3.5. Auswirkungen auf die Innentemperaturen des Gebäudes	28
3.6. Leistung und Temperaturen des Thermoaktiven Bauteil Systems TABS	30
3.7. Vergleich der gemessenen Verbrauchszahlen mit den Planzahlen	32
4. Konkrete Empfehlungen und Optimierungen	34
5. Diskussion	35
6. Schlussfolgerungen	35
7. Symbolverzeichnis	37
8. Literaturverzeichnis	39
Anhang	40

Zusammenfassung

Das Kundenzentrum der Industriellen Werke Basel IWB wurde gemäss MINERGIE-P®-Standard unter BS-005-P registriert. Um dem SIA-Energie-Effizienzpfad gerecht zu werden, werden moderne Technologien zur Erreichung eines optimalen Raumklimas angewendet. Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt mit einer erdgekoppelten gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe mit integriertem Gas-Brennwertkessel. Die Heizenergie wird über die thermische Bauteilaktivierung (TABS) im Gebäude verteilt. Im Wechselbetrieb kann das Gebäude auch gekühlt werden. Die Raumkühlung erfolgt ebenfalls mit dem TABS und zusätzlich mit der Lüftungsanlage. Die Effizienz des Wärmeerzeugers und der Kühleinrichtungen wird mit einer Erfolgskontrolle überprüft.

Für den Wärmeerzeuger, eine Loganova GWP 102-19, werden die Wärmeerzeugernutzungsgrade und Systemnutzungsgrade für Heizen und Warmwasser-Erzeugung ermittelt. Die gleichen Kennzahlen werden für die passive Kühlung bestimmt.

Im Sommer werden Raumtemperaturen von 22 bis 30 °C und im Winter solche von 20 bis 26 °C gemessen. Die Höchstwerte im Sommer werden in der Dachwohnung gemessen. Sie entstehen wegen der ungenügenden Kühlleistung der Erdwärmesonden.

Mit der Energiezentrale werden für die Gastherme Wärmeerzeugernutzungsgrade zur Warmwasser-Erzeugung von 0.63 im Sommer und 0.74 im Winter gemessen. Der Wärmeerzeugernutzungsgrad der Gastherme für den Heizbetrieb beträgt 0.77 und jener für die passive Kühlung 10.4. Der tiefe Wert für die Warmwasseraufbereitung entsteht durch den tiefen Verbrauch an Warmwasser. Der mässige Wert für die Heizung erklärt sich dadurch, dass die Wärmepumpenfunktion nie funktionierte und somit keine Unterstützung durch die Erdwärmesonden möglich war. Der Wärmeerzeugernutzungsgrad der Kühlfunktion ist mit 10.4 recht gut. Obwohl die Kühlung nicht als Vollklimatisierung angedacht und ausgelegt ist, muss angemerkt werden, dass die Kühlleistung insgesamt nicht ausreichend ist.

Aufgrund dieser Resultate entschieden sich die IWB die gasbetriebene Wärmepumpe durch eine Sole-Wasser-Elektro-Wärmepumpe, eine Dimplex SI11MER, zu ersetzen.

Resumé

Le centre d'information pour les clients d'IWB Industrielle Werke Basel associé à standard MINERGIE-P® est enregistré sous le nom BS-005-P. Pour satisfaire les objectifs de performance énergétique SIA, les technologies modernes sont employées pour générer un climat d'intérieur optimal. Une pompe à chaleur géothermique utilisée comme chauffage à gaz fournit de la chaleur pour le chauffage domestique ainsi que de l'eau chaude. L'énergie de chauffage est distribuée par activation thermique du béton. À la demande, le système d'énergie peut chauffer ou rafraîchir. Le rafraîchissement du bâtiment est fait par activation thermique du béton et ventilation.

L'efficacité du générateur de chaleur et du système de climatisation ont été évalués.

Pour le générateur de chaleur Loganova GWP 102-19, le degré d'efficacité à produire la chaleur et le degré d'utilisation de cette chaleur ont été contrôlés. Les mêmes degrés ont été contrôlés pour le rafraîchissement passif.

Les chambres ont été tempérées de 22 à 30 °C en été et de 20 à 26 °C en hiver, le maximum en été ayant été mesuré en mansarde. Ces mesures se justifient par la performance insuffisante des sondes géothermiques.

Le générateur de chaleur a un degré d'efficacité de 0.63 pour produire de l'eau chaude en été et de 0.74 en hiver. Le degré d'efficacité pour produire de la chaleur est de 0.77 et celui du rafraîchissement passif de 10.4.

La faible valeur mesurée pour l'eau chaude s'explique par une consommation basse. La valeur modérée relevée pour produire la chaleur s'explique par le dysfonctionnement de la pompe à chaleur et l'absence de sonde géothermique.

Le degré d'efficacité mesuré pour le rafraîchissement s'est montré satisfaisant avec une valeur de 10.4. Bien que le système de rafraîchissement ne soit prévu comme véritable climatiseur, la performance s'est avérée insuffisante.

Compte tenu des résultats obtenus, IWB a décidé de remplacer la pompe à chaleur géothermique par une pompe à chaleur saumure/eau de type Dimplex SI11MER.

Abstract

The customer centre of *IWB Industrielle Werke Basel*, is registered according MINERGIE-P®-Standard under BS-005-P. To be compatible with the SIA-energy-efficiency-path modern technologies are used to generate optimal room conditions. A ground-coupled gas powered heat-pump-system combined with a condensing gas-boiler produces heat for space heating and domestic hot water. The heating-energy is distributed via a thermally activated building system which switches on demand between heating and cooling. The cooling-energy is also distributed via the thermally activated building system and the ventilation. The efficiency of the heat generator and the cooling-system will be evaluated.

For the heat generator, a Loganova GWP 102-19, the seasonal performance factor of the generator (SPF-G) and the whole system for heating and hot water are calculated. The same performance factors are calculated for passive cooling.

In summer room-temperatures from 22 to 30 °C are measured and in winter from 20 to 26 °C. The highest values in summer appear in the penthouse because of insufficient cooling capacity of the borehole heat exchanger.

The SPF-G of the Loganova GWP 102-19 for producing hot water is 0.63 in summer and 0.74 in winter. The SPF-G of the same device for heating is 0.77. The SPF-G of the passive cooling system is 10.4. The low values for producing hot water can be explained by the low consumption. The moderate value for heating is caused by the malfunction of the integrated heat-pump of the Loganova GWP 102-19 and therefore no support of the borehole heat exchanger. The SPF-G of the cooling-system of 10.4 is rather high. Although the cooling-system was not planned as a full air-conditioning system the performance is by no means sufficient.

Because of these results IWB decided to replace the gas powered heat-pump with a brine-to-water electrical heat pump, a Dimplex SI11MER.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

1.1. Worin liegt der Nutzen dieser Untersuchungen?

Das Kundenzentrum der Industriellen Werke Basel, kurz IWB, in der Steinenvorstadt ist ein sehr modernes Gebäude, welches nach dem MINERGIE-P® Standard erstellt wurde. In Kombination mit der modernen Bauweise ist eine Energiezentrale installiert, welche im Bedarfsfalle heizt, kühlt und Warmwasser erzeugt.

Durch den Einsatz hocheffizienter Dämmstoffe und Isolierfenster sinkt einerseits der Energiebedarf zur Wärmeerzeugung in den Wintermonaten, andererseits muss die im Innern des Gebäudes anfallende überschüssige Energie in den Sommermonaten separat abgeführt werden. Eine Gastherme, es handelt sich um eine Loganova GWP 102-19, erzeugt Heizwärme und Warmwasser. In der Gastherme ist eine gasbetriebene Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe integriert, welche im Niedertemperaturbereich bis maximal 48°C arbeitet und den Heizgasverbrauch für die Heizung reduziert. Die mit der Wärmepumpe zusätzlich gewonnene Energie wird den angeschlossenen Erdwärmesonden entnommen. Mit den Erdwärmesonden wird in den Sommermonaten direkt gekühlt.

Durch den Einsatz eines Thermoaktiven-Bauteilsystems TABS können die Temperaturen für die Heizung tief und für die Kühlung relativ hoch gehalten werden, wodurch hohe Nutzungsgrade entstehen.

Mit der vorliegenden Untersuchung wird in erster Linie die Effizienz der Loganova GWP 102-19 untersucht und beurteilt. Zusätzlich werden die Arbeitszahlen und Nutzungsgrade für die Heizung, die Warmwassererzeugung und die Kühlung gemessen. Und es wird die Leistungsfähigkeit der Energiezentrale bezüglich des Leistungsbedarfs beurteilt.

Das Konzept einer gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe mit Gastherme als Backup stellt ein noch wenig bekanntes und in der praktischen Anwendung neuartiges Konzept dar. Es könnte als nächste Stufe der nicht weiter optimierbaren Gas-Brennwerttherme angesehen werden.

Die technische Machbarkeit und die grundsätzliche Funktionalität sind in Funktionsmustern fallweise erprobt, jedoch gibt es bisher keine Kenntnisse über das Betriebsverhalten eines solchen Konzeptes in der Praxis. Es gibt keine Hinweise über die optimale Regelstrategie, über die zu erwartende Wirkung, über die Bewertung der Risiken und über die Langzeitstabilität mit diesem Gerät.

Eine messtechnische Untersuchung bietet die Möglichkeit, diese Wissenslücke zu schliessen. Diese Untersuchung stellt eine einzigartige Chance dar, das Wissen über eine neue Wärmepumpentechnologie zu festigen. Die Ergebnisse der Untersuchung können kommende Entscheidungen für oder gegen das System auf eine fundierte Basis stellen sowie erweiterte Kenntnisse über das zu erwartende Betriebsverhalten liefern.

1.2. Das neue Kundenzentrum IWB Steinenvorstadt Basel

Das Kundenzentrum der IWB wurde nach dem MINERGIE-P® Standard sowie den Kriterien des SIA Effizienzpfades Energie geplant, ist kompatibel mit dem Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft und ist im Kanton Basel-Stadt unter der Nummer BS-005-P zertifiziert [1], [3], [5].

Es wurde als Ersatzneubau im Juni 2008 fertig gestellt und kurz darauf bezogen.

Das 7-stöckige Gebäude an der Steinenvorstadt 14 (Abb. 1) ist in Massivbauweise erstellt. Die Tragkonstruktion besteht aus Stahlbeton. Die Fenster sind 3-fach und teilweise 4-fach verglast.

Im Gebäude sind die Energieberatung der IWB, diverse Büros und eine zweigeschossige Wohnung untergebracht.



Abb. 1: Kundenzentrum für Energieberatung der IWB

Der Heizwärmebedarf wird durch die Energiezentrale bereitgestellt, deren Hauptgerät die Loganova GWP 102-19 ist. Die bereitgestellte Wärme wird über das thermoaktive Bauteilsystem TABS verteilt oder in Form von Warmwasser abgegeben. Durch indirekte Umschaltung des TABS auf die Erdwärmesonden kann in den Sommermonaten auch leicht gekühlt werden.

Damit der Passivhaus-Standard erreicht wird, wird das Haus mechanisch belüftet. Die Luftwechselraten richten sich dabei nach dem Bedarf der Nutzung. Ausserhalb der Heizperiode und bei Kundenanlässen lässt sich die Luftmenge erhöhen, letzteres ausschliesslich im Bereich der Energieberatung, nämlich im Erdgeschoss und dem darüber liegenden Obergeschoss, da dieser Bereich durch eine separate Lüftungsanlage versorgt wird.

Im gesamten Gebäude sind moderne energiesparende Leuchtkörper, Leuchtmittel und Haushaltgeräte eingesetzt. Die Leuchtkörper im Treppenbereich und den Nebenräumen sind mit Bewegungsmeldern ausgestattet, um unnötiges brennen lassen zu verhindern.

Nachfolgend sind die Zielwerte des Primärenergiebedarfs aufgeführt (Tabelle 1). Diese basieren auf den Vorgaben des SIA Effizienzpfades Energie [3].

	Zielwert A
Raumklima (Heizen und Kühlen)	94.2 MJ/m²a
Warmwasser	15.8 MJ/m²a
Licht + Apparate	130.0 MJ/m ² a
Baumaterialien	100.0 MJ/m ² a
Mobilität	132.3 MJ/m ² a
Total Primärenergiebedarf	472.3 MJ/m ² a

Tabelle 1: Zielwerte des Primärenergiebedarfs des Energieberatungszentrums der IWB

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich auf den Bereich der Energiezentrale, welcher zur Versorgung des Raumklimas und des Warmwassers dient. Demzufolge werden an dieser Stelle nur die Verbrauchszahlen dieser beiden Themen überprüft.

Gemäss dem gemessenen Verbrauch an Gas und Elektrizität beträgt der Primärenergieverbrauch für Heizen und Kühlen 93 MJ/m²a und für Warmwasser 23 MJ/m²a.

1.3. Beteiligte und Projektumfeld

Das Messprojekt wird im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) ausgeführt. Es wird in Zusammenarbeit bzw. Koordination mit den folgenden, an der Erstellung des Gebäudes und der Installation der Energiezentrale beteiligten Unternehmen durchgeführt:

- | | |
|---|--------------------------------|
| – Industrielle Werke Basel IWB | Bauherrschaft |
| – Schweiz. Verein für Gas und Wasser SVGW | Normung und Gas-Verband |
| – Dr. Eicher & Pauli AG | HLK-Ingenieur |
| – E-Plan AG | Elektroinstallation |
| – Inhouse Control | Gebäudeautomation |
| – Tschantré AG | Heizung & Sanitär Installation |

2. Vorgehen und Methodik

2.1. Überleitung

Mit einer umfangreichen messtechnischen Erfolgskontrolle aufgrund von physikalisch messbaren Grössen werden Energien und Temperaturen für die Bereiche Heizen, Kühlen, Warmwasser und Raumklima erfasst. Die Zusammenhänge beim Energieverbrauch und den Temperaturverläufen sollen erklärt und mit den geplanten Werten verglichen werden.

2.2. Lösungsansatz

Die auf Basis der Messergebnisse zu untersuchenden Fragestellungen im Projekt umfassen:

- Klimatische Bedingungen (Aussentemperatur)
- Welche Raumtemperaturen (thermische Behaglichkeit) werden erreicht?
- Welche Temperaturen werden bei Erdwärmesondeneintritt und – austritt gemessen?
- Welche Kühlleistungen werden mit den Erdwärmesonden erreicht?
- Wie viel Wärme wird den Räumen entzogen und welchen Einfluss hat dies auf die Raumtemperierung?
- Wie viel Wärme wird insgesamt für Heizung und Warmwasser erzeugt und genutzt?
- Wie viel Elektrizität wird jeweils für die Erzeugung von Heizwärme, Warmwasser und Kälte aufgewendet?
- Mit welcher Effizienz (Arbeitszahl bzw. Nutzungsgrad) werden Heizwärme, Warmwasser und Raumkühlung in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen erzeugt?

2.3. Funktionsbeschreibung Heizen-Lüften-Kühlen

Anlagebeschrieb, Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

Die Wärmeerzeugung erfolgt mittels der gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe mit integriertem Gasheizkessel Fabrikat Buderus Loganova GWP 102-19 [8].

Die Wärmepumpe deckt den Grundlast-Wärmebedarf des Gebäudes ab. Der Gasheizkessel wird zur Spitzenlastabdeckung und für die Aufbereitung des Warmwassers zugeschaltet.

Als Wärmequelle dient der Wärmepumpe ein Anschluss an zwei Erdwärmesonden (EWS) mit einer vorgesehenen EWS-Austrittstemperatur von ca. 8°C. Die den Erdwärmesonden entzogene Energie wird mittels Wärmezufuhr (Erdgas) in einem Absorptionskreislauf auf eine für Heizzwecke nutzbare Temperatur angehoben.

Die Verbrennungsluft wird mit separatem Ventilator über die Haustechnik-Steigzone vom Dach zugeführt. Die Abgase werden in der gleichen Steigzone mit einem Kamin über Dach ins Freie gebracht.

Die Wärmeabgabe für das komplette Gebäude erfolgt mit einem thermoaktiven Bauteilsystem (TABS). Mit dem gleichen System wird im Sommer das Gebäude sanft

gekühlt. Die im Beton eingelassenen TABS Register sind über Etagenverteiler angeschlossen.

Die Wärmeerzeugung befindet sich im Technikraum im Untergeschoss. Die Anschlussschächte der zwei Erdwärmesonden befinden sich westlich des Gebäudes im Steinenbachgässlein.

Die sicherheitstechnischen Einrichtungen der Heizungs- und Kühlanlage, wie Expansionsgefäß und Sicherheitsventile befinden sich ebenfalls im Technikraum.

Warmwasser

Das Warmwasser wird zentral im Untergeschoss aufbereitet. Ein Speicher mit 400 dm³ Wasserinhalt wird mit dem Gasheizkessel geladen.

Um lange Ausstosszeiten zu verhindern, ist ein Einrohr-Zirkulationssystem integriert.

Kühlung (Freecooling)

Während den heissen Sommertagen wird das Gebäude mit den Erdwärmesonden über TABS sanft und passiv gekühlt. Dadurch können Spitzenwerte bei den Raumtemperaturen gebrochen werden.

Zusätzlich wird die Zuluft der Lüftung des Erdgeschosses und des 1. Obergeschosses im Eventbetrieb mit den Erdwärmesonden gekühlt.

Technische Daten

Heizleistung Wärmepumpe	bei B0 / W 35 °C	2.7 kW
Heizleistung Brennwertkessel	bei Volllast	18.2 kW
	bei Teillast	6.9 kW
Abmessungen der Erdwärmesonden	Sondenlänge	130 m
	Bohrtiefe	136 m
	Sondendurchmesser	32 mm
Erdwärmesonden (Auslegung Heizen)	EWS Austritt	8 °C
	EWS Eintritt	5 °C
Erdwärmesonden (Auslegung Kühlen)	EWS Austritt	14 °C
	EWS Eintritt	17 °C
Geplante Übertragungsleistung	EWS Kühlen	10 kW
	EWS Heizen	1 kW
Systemtemperaturen	Im Heizfall	30/27 °C
	Im Kühlfall	17/20 °C
Warmwassertagesbedarf		400 Liter/Tag

Tabelle 2: Technische Daten der Energiezentrale

2.4. Funktionsbeschreibung der Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP)

Die Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) ist ein Wärmepumpen-Aggregat (Sorbens: Wasser, Kältemittel: Ammoniak, Inertgas: Helium). Das Wärmepumpenaggregat benötigt keine mechanische Pumpe oder Kompressoren. Stattdessen setzt sich der DAWP-Prozess bei Wärmezufuhr selbstständig in Bewegung. Die Arbeitsmedien zirkulieren im Gerät aufgrund der sich durch Wärmezufuhr automatisch einstellenden Dichte- und Konzentrationsunterschiede. Beim Kreisprozess verdunstet das Kältemittel Ammoniak (NH₃) im Verdampfer und diffundiert in eine Heliumatmosphäre (He). Das Helium (He) dient dabei

ausschliesslich als druckausgleichendes Hilfsgas, ohne an dem primären Stoffaustauschvorgang teilzunehmen. Aufgrund des in der Heliumatmosphäre niedrigeren Partialdruckes des Ammoniaks verdampft dieses und nimmt dadurch Umgebungsenergie auf. Anschliessend strömt der Mischdampf aus Ammoniak und Helium über einen Wärmetauscher in den Absorber. Eine an Ammoniak arme Wasser/Ammoniak-Lösung absorbiert hier das Ammoniak, so dass das verbleibende Helium wieder über den Wärmetauscher in den Verdampfer zurückgeführt werden kann. Bei dem Absorptionsprozess wird nutzbare Wärme frei. Nach dem Absorber gelangt die nunmehr an Ammoniak reiche Lösung in den Austreiber. Dort wird dem Wasser/Ammoniak Gemisch mittels Gasbrenner Wärme zugeführt. Aufgrund des niedrigeren Siedepunktes verdampft das Ammoniak und trennt sich vom Wasser. Das Wasser strömt in den Absorber zurück. Im Absorber wird die wässrige Lösung erneut mit Kältemittel angereichert. Der ausgetriebene Ammoniakdampf steigt in den Kondensator auf und gibt dort infolge von Kondensation weitere Wärme ab. Das Kondensat gelangt anschliessend wieder in den Verdampfer, wo es erneut verdunstet und Umweltwärme aufnimmt (Abb. 2).

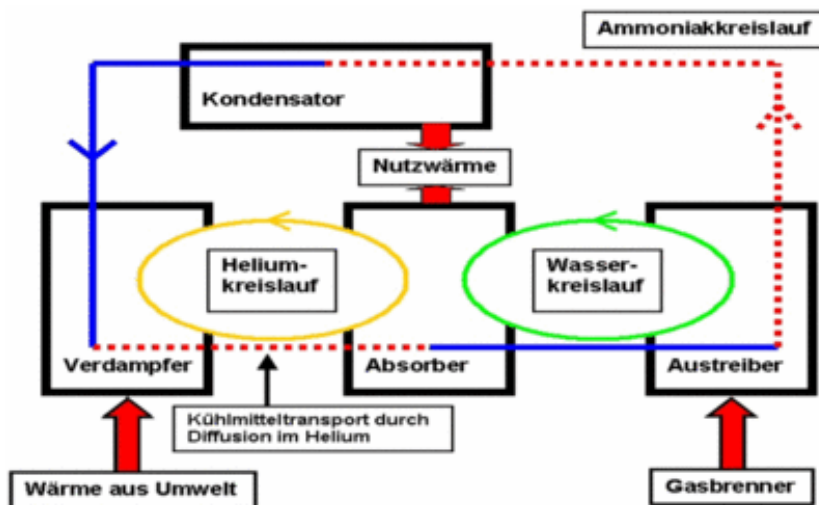


Abb. 2: Kreisprozess der Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe [2]

2.5. Thermodynamischer Kreisprozess

Gemäss Angaben des Geräteherstellers erreicht die gasbetriebene Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) einen Jahresnutzungsgrad von ca. 130 Prozent und einen Teillastwirkungsgrad von bis zu 150 Prozent. Neben der Wärmepumpe besteht die Loganova GWP zusätzlich aus einem Brennwertgerät als Spitzenlastkessel. Mit dem Wärmepumpen-Aggregat wird der größte Teil des Wärmebedarfs zur Raumbeheizung abgedeckt. Der Brennwertkessel kommt zur Trinkwassererwärmung oder als zusätzlicher Wärmeerzeuger zum Einsatz, falls die Wärmeleistung der Wärmepumpe nicht ausreicht. Der Spitzenlastkessel ist dabei auf die Trinkwassererwärmung ausgelegt. Da das Wärmepumpen-Aggregat ohne bewegliche Teile auskommt und vollständig verschweisst ist, arbeitet es besonders geräuscharm und praktisch verschleißfrei.

Die Kombination von Wärmepumpe und Brennwertgerät ermöglicht die Trinkwassererwärmung ohne eine zeitliche Unterbrechung der Wohnraumbeheizung. (Abb. 3, [6], [7])



Abb. 3: links Bestandteile der Wärmepumpe, rechts Wärmepumpe mit Gastherme [7]

2.6. Messkonzept des Messprojekts

Die Messpunkte werden so gewählt, dass die Energieflüsse und Zustandsbeschreibungen der erwähnten Bilanzgrenzen ermittelt werden können. In Abb. 4 sind die Messpunkte im Anlagenschema der Energieversorgung dargestellt. Die detaillierte Beschreibung der Messpunkte befindet sich in Tabelle 3 und Tabelle 4. Die Messwerte des Messkonzepts Stufe 1 werden wöchentlich manuell erfasst, die Messwerte des Messkonzepts Stufe 2 werden pro Minute vom Datenlogger (Modell compact Fieldpoint cFP) der Firma National Instruments (NI) einmal erfasst. Daraus wird der arithmetische Mittelwert pro $\frac{1}{4}$ Stunde berechnet und gespeichert.

Messst. Nr.	Messgrösse	Erfassung	Symbol	Einheit
123	bezogene Energie Gas WE	IWB 1	$V_{hww,WE,Gas}$	m^3
	bezogene Energie Gas WP	rechn.	$V_{h,WP,Gas}$	m^3
124	bezogene Wärme WE-EWS	IWB 5	$Q_{h,WE-EWS}$	kWh
	bezogene Energie Gas Heizkessel	rechn.	$Q_{h,Hk,Gas}$	kWh
125	bezogene Energie Erdsonden Kühlen	IWB 3	$Q_{c,EWS}$	kWh
126	erzeugte Wärme Warmwasser	IWB 4	$Q_{ww,WE}$	kWh
127	bezogene Wärme Warmwasser total	IWB 7	$V_{ww,USE}$	m^3
128	bezogene Wärme Heizen total	IWB 9	$Q_{h,WE-TABS}$	kWh
209	bezogene Wärme Kühlen TABS (Bü/Woh)	IWB 10	$Q_{c,TABS}$	kWh
210	bezogene Wärme Kühlen Lüftung	IWB 11	$Q_{c,AC}$	kWh
129	bezogene Energie Elektrizität WE	IWB 19	$E_{hww,WE,el}$	kWh
211	bezogene Energie Elektrizität Steuerung	IWB 20	$E_{chww,CTR,el}$	kWh
305	bezogene Energie Elektrizität Zuluftventilator	IWB 21	$E_{hww,ZL,el}$	kWh

100/300: Wärme- & Kälteerzeugung

200: Wärmeverteilung & -übergabe

Tabelle 3: Messpunkte aus Messkonzept Stufe 1

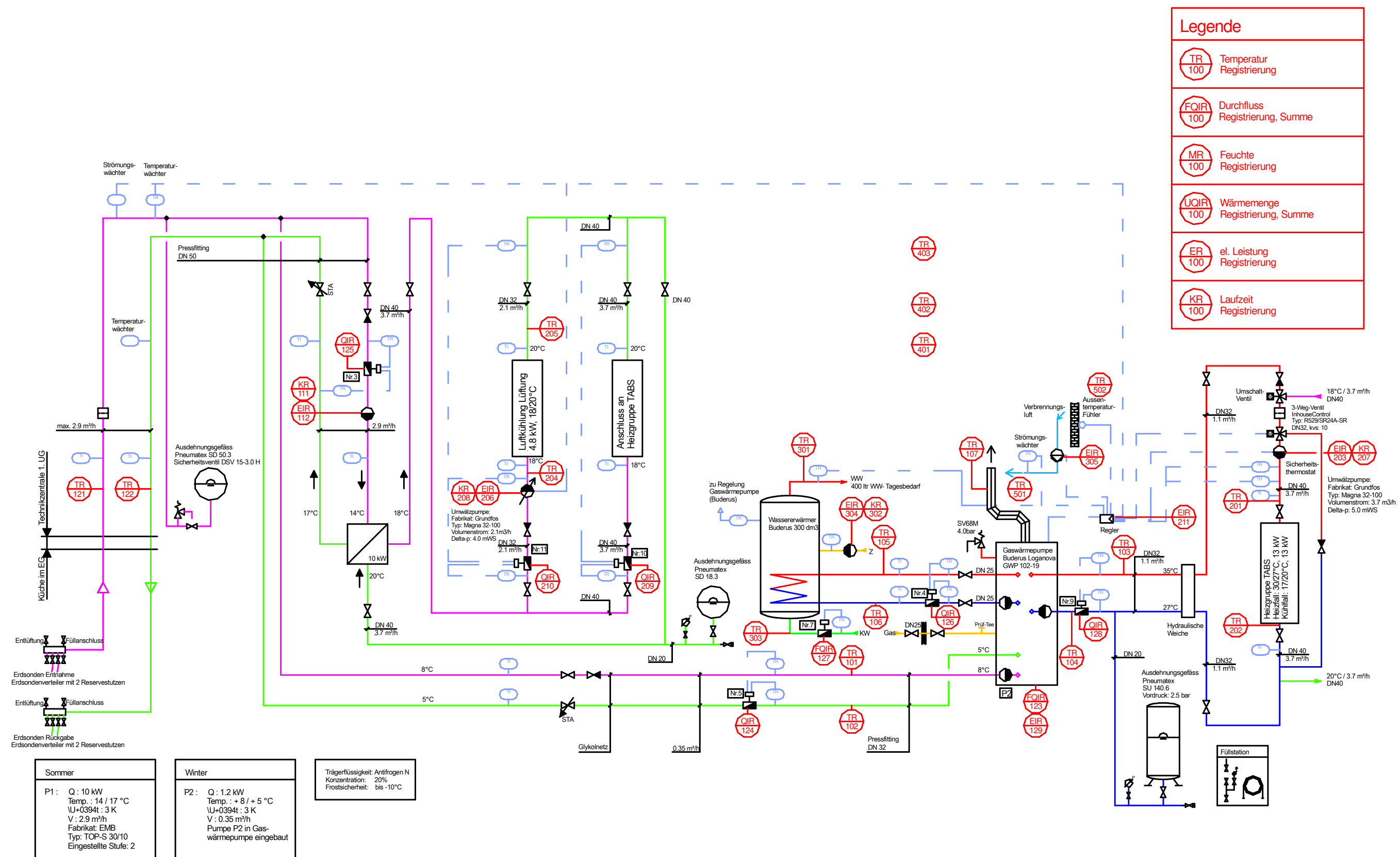


Abb. 4: Messpunkte der Wärme-/Kälteerzeugung dargestellt im Prinzipschema Wärmeerzeugung und -Verteilung

Messst. Nr.	Prinzip	Messgrösse	Erfassung	Symbol	Einheit
101	PT100	Temperatur von Erdsonde zu WE (Vorlauf)	cFP	$\theta_{h,WE-EWS,vl}$	°C
102	PT100	Temperatur von WE zur Erdsonde (Rücklauf)	cFP	$\theta_{h,WE-EWS,rl}$	°C
103	PT100	Temperatur WE Heizen Vorlauf	cFP	$\theta_{h,WE-TABS,vl}$	°C
104	PT100	Temperatur WE Heizen Rücklauf	cFP	$\theta_{h,WE-TABS,rl}$	°C
105	PT100	Temperatur WE WW-Ladekreis Vorlauf	cFP	$\theta_{w,WE-ww,vl}$	°C
106	PT100	Temperatur WE WW-Ladekreis Rücklauf	cFP	$\theta_{w,WE-ww,rl}$	°C
107	PT100	Temperatur Abgas	cFP	$\theta_{hw,WE,ex}$	°C
108	Status	Laufzeit Umwälzpumpe WE-Grundwasserkreis	-	$K_{h,WE-EWS,el}$	0/1
109	Status	Laufzeit Umwälzpumpe WE-Heizkreis	-	$K_{h,WE-TABS,el}$	0/1
110	Status	Laufzeit Umwälzpumpe WE-WW-Ladekreis	-	$K_{w,WE-ww,el}$	0/1
111	Status	Laufzeit Umwälzpumpe Erdsonden	cFP	$K_{c,EWS,el}$	0/1
112	Stromz.	El. Energiebezug Umwälzpumpe Erdsonden	cFP	$E_{c,EWS,el}$	kWh
121	PT100	Temperatur Erdsonden Austritt	cFP	$\theta_{c,EWS,vl}$	°C
122	PT100	Temperatur Erdsonden Eintritt	cFP	$\theta_{c,EWS,rl}$	°C
201	PT100	Temperatur Wärmeübergabe TABS Vorlauf	cFP	$\theta_{ch,TABS,vl}$	°C
202	PT100	Temperatur Wärmeübergabe TABS Rücklauf	cFP	$\theta_{ch,TABS,rl}$	°C
203	Stromz.	el. Energiebezug Umwälzpumpe TABS	cFP	$E_{ch,TABS,el}$	kWh
204	PT100	Temperatur Wärmeübergabe Luft Vorlauf	cFP	$\theta_{c,AC,vl}$	°C
205	PT100	Temperatur Wärmeübergabe Luft Rücklauf	cFP	$\theta_{c,AC,rl}$	°C
206	Stromz.	el. Energiebezug Umwälzpumpe Luftkühler	cFP	$E_{v,AC,el}$	kWh
207	Status	Laufzeit Umwälzpumpe TABS	cFP	$K_{ch,TABS,el}$	0/1
208	Status	Laufzeit Umwälzpumpe Luftkühler	cFP	$K_{v,AC,el}$	0/1
301	PT100	Temperatur Warmwasser	cFP	$\theta_{w,ww-USE}$	°C
302	Status	Laufzeit Umwälzpumpe WW-Zirkulation	cFP	$K_{w,ww,el}$	0/1
303	PT100	Temperatur Kaltwasser	cFP	$\theta_{w,ww}$	°C
304	Stromz.	el. Energiebezug Umwälzpumpe WW-Zirkulation	cFP	$E_{w,ww,el}$	kWh
401	Ni1000	Raumtemperatur EG (ab SAIA Steuerung)	cFP	$\theta_{ch,RT}$	°C
402	Ni1000	Raumtemperatur 2. OG (ab SAIA Steuerung)	cFP	$\theta_{ch,RT}$	°C
403	Ni1000	Raumtemperatur Wohnung (ab SAIA Steuerung)	cFP	$\theta_{ch,RT}$	°C
501	PT100	Temperatur Zuluft	cFP	$\theta_{ch,ZL}$	°C
502	Ni1000	Temperatur Aussenluft (ab SAIA Steuerung)	cFP	$\theta_{ch,AL}$	°C

100: Wärme- & Kälteerzeugung

200: Wärmeverteilung & -übergabe

300: Trinkwasser

400: Gebäude

500: Wetter / Umgebungsbedingungen

600: Lüftung

Tabelle 4: zusätzliche Messpunkte Stufe 2

2.7. Auswertung

Die Datenerfassung ist in zwei Stufen unterteilt. Die Daten der Stufe 1 Tabelle 3 werden wöchentlich manuell erfasst. Diese manuell erfassten Daten werden einerseits zur Bestimmung der Kennzahlen nach dem SIA Effizienzpfad Energie, welche von Viriden + Partner AG ermittelt werden, verwendet, andererseits werden sie für die Berechnungen im hier vorliegenden Messprojekt verwendet. Die Daten der Stufe 2 Tabelle 4 werden mit einem Datenlogger cFP erfasst. Diese Daten werden einerseits zur Berechnung von Kennzahlen in

diesem Messprojekt verwendet. Andererseits werden die Temperaturen der Räume, der Aussenluft, der Erdwärmesonden und des Wärmeerzeugers aufgezeichnet und interpretiert.

Die Auswertung der Messdaten erfolgt auf Basis der Definitionen der Kennzahlen zur energetischen Bewertung. Die Schrittwerten der Summenbildungen beträgt eine Woche und ist durch die manuelle Ablesung bedingt.

2.8. Kennzahlen

- Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) Heizung (h) & Warmwasser (ww).
Durch die Wärmepumpe und den Gaskessel erzeugte Wärme für Heizung & Warmwasser dividiert durch den Gasbezug und den elektrischen Energiebezug des Wärmeerzeugers (WE)

$$WNG_{hww} = \frac{\sum Q_{h,WE-TABS} + \sum Q_{ww,WE-ww}}{\left[\sum (V_{hww,WE,Gas} \times H_o) + \sum E_{hww,WE,el} \right]} \quad (\text{Gl. 1})$$

- Systemnutzungsgrad (SNG) Heizung (h) & Warmwasser (ww).
In den Räumen genutzte Wärme für Raumheizung & Warmwasser dividiert durch den Gasbezug und den elektrischen Energiebezug der Wärmeerzeugung (WE) sowie dem elektrischen Energiebezug der Umwälzpumpen Heizung (TABS) und der Warmwasserzirkulation (ZIRK)

$$SNG_{hww} = \frac{\sum Q_{h,WE-TABS} + \sum (V_{ww,USE} \times \rho \times cp \times \Delta T)}{\left[\sum (V_{hww,WE,Gas} \times H_o) + \sum E_{hww,WE,el} + \sum E_{h,TABS,el} + \sum E_{hww,CTR} + \sum E_{ww,Zirk,el} \right]} \quad (\text{Gl. 2})$$

- Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) Kühlung (c).
Abgeführte Wärme an die Erdsonden (EWS) für Raumkühlung (c) dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Umwälzpumpe der Erdsonden und der Regeleinrichtung (CTR). Da mit den Erdsonden nur passiv gekühlt wird, entspricht der Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) einem elektrothermischen Verstärkungsfaktor (ETV).

$$WNG_c = \frac{\sum Q_{c,AC} + \sum Q_{c,TABS}}{\left[\sum E_{c,EWS,el} + \sum E_{c,CTR} \right]} \quad (\text{Gl. 3})$$

- Systemnutzungsgrad (SNG) Kühlung (k).
Über Luftregister und TABS aus den Räumen und der Wohnung abgeführte Wärme dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Umwälzpumpen der Erdwärmesonden (EWS), die Wärmeverteilung & -übergabe sowie für die Regelung (nur passive Kühlung).

$$SNG_c = \frac{\sum Q_{c,AC} + \sum Q_{c,TABS}}{\left[\sum E_{c,EWS,el} + \sum E_{c,TABS,el} + \sum E_{c,AC,el} + \sum E_{c,CTR} \right]} \quad (\text{Gl. 4})$$

Die bildliche Beschreibung der Nutzungsgrade ist Abb. 5 zu entnehmen.

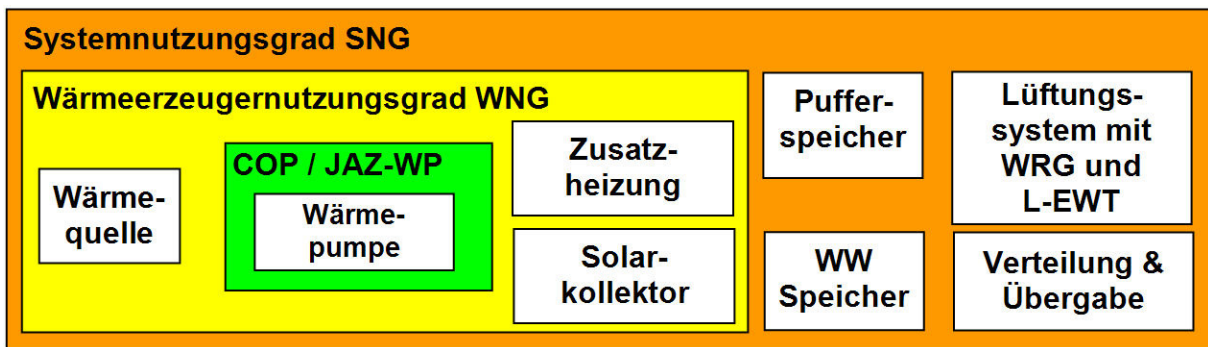


Abb. 5: Bildliche Beschreibung der Nutzungsgrade

Die Berechnung der mittleren Messunsicherheit ist im Anhang beschrieben.

2.9. Zeitlicher Ablauf der Installation der Energieversorgung und der Messwerterfassung

In der Steinenvorstadt 14 in Basel wurde das neue Kundenzentrum der *IWB Industrielle Werke Basel* erstellt und im Juli 2008 in Betrieb genommen. Das Gebäude wurde gemäss MINERIGE-P®-Standard unter BS-005-P registriert. Im neu erstellten Kundenzentrum werden moderne Technologien zur Erreichung eines optimalen Raumklimas angewendet. Für ein angenehmes Raumklima sollen die thermische Bauteilaktivierung (TABS) und die Komfortlüftung sorgen. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einer gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) mit integriertem Gas-Brennwertkessel (Buderus Loganova GWP 102-19). Die Heizenergie für die Wärmepumpe sowie die Kühlenergie für die passive Kühlung sollten ursprünglich dem unter dem Gebäude vorhandenen Grundwasserstrom entnommen werden respektive übergeben werden. Nach dem Bezug des Gebäudes im Sommer 2008 wurde jedoch sehr schnell klar, dass dies nicht funktioniert. Das aus dem Untergrund umgepumpte Wasser wurde sehr schnell aufgeheizt und eine Kühlung des Gebäudes war nicht möglich. In der Folge wurden zwei Erdwärmesonden von 32mm Durchmesser und einer Bohrtiefe von 136 m installiert. Die Inbetriebnahme erfolgte im April 2009.

Die Messwerterfassung der Messgeräte der Stufe 1 (siehe Tabelle 3) ist seit Sommer 2008 installiert und wurde bis Ende 2009 über M-Bus ausgelesen. Parallel dazu erfolgt die Erfassung im Wochenrhythmus manuell. Die Messgeräte für den Energiebezug der Erdwärmesonden mussten ersetzt werden, da die Erdwärmesonden mit einem Gemisch von Wasser und Glykol betrieben werden und die ursprünglich montierten Messgeräte nur für Wasser eingesetzt werden können. Die Ersatzgeräte sind seit Mai 2009 in Betrieb.

Die Messwerterfassung des Messkonzepts der Stufe 2 (siehe Tabelle 4) wurde wie folgt in Betrieb genommen. Der Datenlogger (Modell compact Fieldpoint cFP) und die dazugehörigen Temperaturfühler vom Typ PT100 in Vierleiter-Technik, sind seit März 2009 installiert. Die Energiezähler der Zirkulationspumpen sind seit Mai 2009 installiert und mit dem Datenlogger verbunden. Die Erfassung und Speicherung der mit der zentralen Steuerung verbundenen Temperaturen der Aussenluft sowie der Stockwerkstemperaturen EG, 2. OG und Wohnung sind seit Oktober 2009 ebenfalls über den Datenlogger realisiert.

Seit dem 27. September 2010, also nach Abschluss der in diesem Projekt vorgenommenen Messungen, ist eine Wärmepumpe Buderus Dimplex SI 11 MER installiert. Diese Wärmepumpe heizt, kühlt und erzeugt Warmwasser im Wechselbetrieb und ist der Ersatz für die gasbetriebene Wärmepumpe.

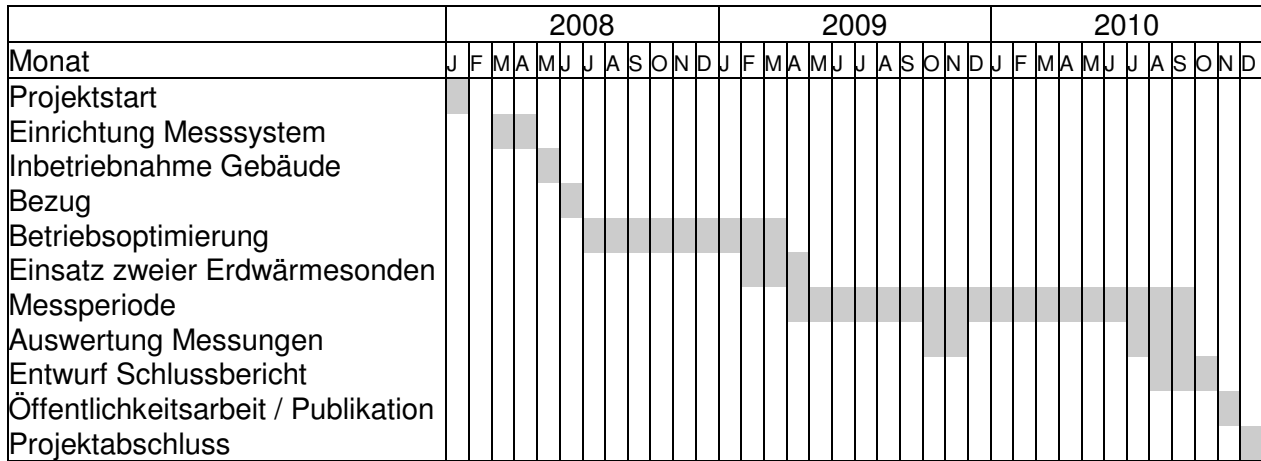


Abb. 6: Gant-Diagramm des Messprojekts

3. Messergebnisse

3.1. Messperiode 2009/2010

Mit der Installation der Messwerterfassung Stufe 2 wurde Anfang 2009 begonnen. Sie wurde bis in der zweiten Hälfte desselben Jahres vervollständigt. Die Auswertungen wurden bis im Herbst 2010 durchgeführt und ausgewertet werden.

3.2. Klimatische Rahmenbedingungen

Als Referenz für die klimatischen Rahmenbedingungen wird die Messung der Aussentemperatur verwendet. Der Aussentemperaturfühler ist an der nord-nord-östlichen Fassade des Gebäudes etwa drei Meter oberhalb des Durchgangsweges zum Steinengässlein angebracht (Abb. 7). Um nicht eine all zu starke Verfälschung aufgrund der Sonneneinstrahlung zu erhalten, ist der Fühler mit Isolationsmaterial und Alufolie beschattet. Ansonsten würde dieser NI1000-Fühler zwischen 8:00 Uhr und 9:00 Uhr in den Sommermonaten direkt beschienen. Ohne Beschattung wären die Messwerte während dieser Zeit um etwa 5 K zu hoch.



Abb. 7: Temperaturfühler mit Beschattung

Sommer 2009

Der Verlauf der Aussentemperatur (arithmetischer Mittelwert pro ¼ Stunde) im Sommer 2009 kann als gemässigt bezeichnet werden (Abb. 8). Der Mittelwert der Messperiode beträgt 21.1 °C, der Minimalwert 11.7 °C und der Maximalwert 35.2°C. Die Grenze von 30°C wird an insgesamt 11 Tagen erreicht. Während 13 Nächten wird die 20°C Marke nicht unterschritten. Während dieser Tage ist die Kühlanforderung entsprechend hoch.

Gut erkennbar sind die Schwankungen zwischen Tag und Nacht. Die Tagesschwankungen erreichen bei sonnigem Wetter über 10 K. Bei Regen oder ausgesprochener Bewölkung liegen sie unter 5 K. Ebenfalls gut erkennbar sind die Tendenzen über mehrere Tage. Diese Tendenzen sind wichtig bei der Überprüfung der Gebäudeinnentemperaturen und der Beurteilung der Kühl- und Heizleistung der Energiezentrale.

Verlauf der Aussentemperatur Sommer 2009

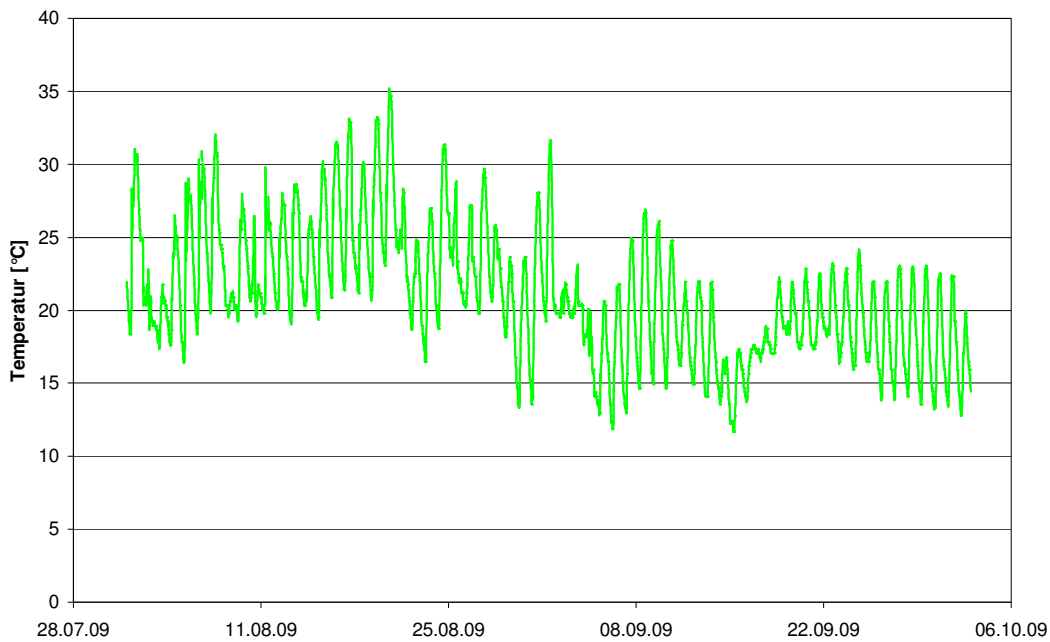


Abb. 8: Aussentemperatur Sommer 2009, 1.8.2009 bis 2.10.2009

Winter 2009/2010

Der Verlauf der Aussentemperatur im Winter 2009/2010 ist durch tiefe Temperaturen und eine lange Kälteperiode von Mitte Dezember bis Mitte März geprägt (siehe Abb. 9). Der Mittelwert von Anfang Oktober 2009 bis Anfang Juni 2010 beträgt 9.1 °C, der Minimalwert -10.6 °C und der Maximalwert im Monat Mai 30.3 °C. Die Tagesschwankungen liegen wiederum im Bereich von 1 bis 10 K.

Verlauf der Aussentemperatur Winter 2009/2010

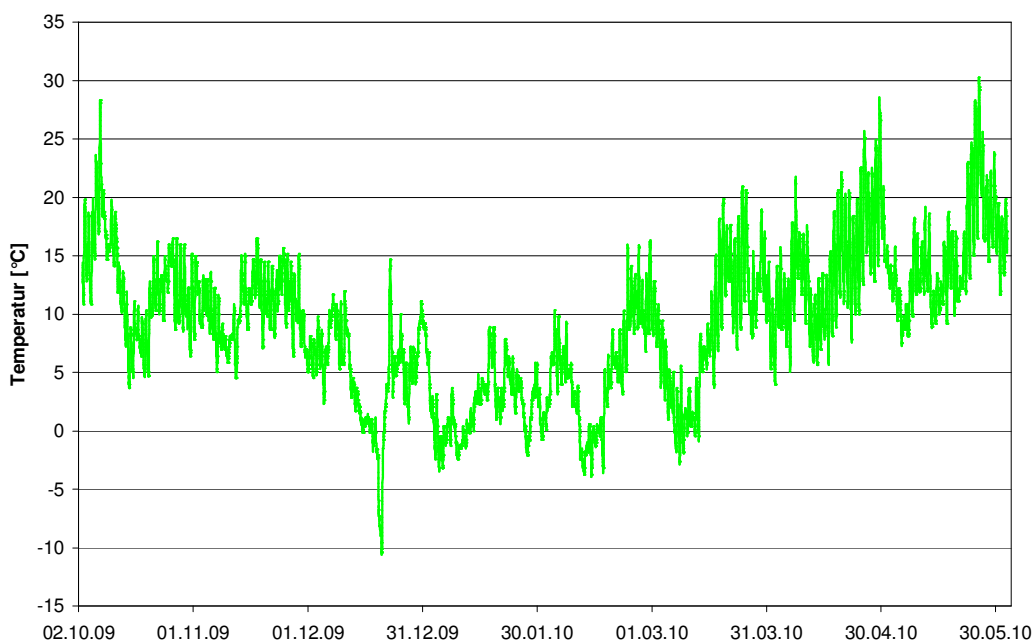


Abb. 9: Aussentemperatur Winter 2009/2010, vom 3.10.2009 bis 1.6.2010

Sommer 2010

Im Vergleich zum Sommer 2009 ist der Sommer 2010 wesentlich wärmer (siehe Abb. 10). Der Mittelwert von 22.2 °C, der Minimalwert 11.9 °C und der Maximalwert 36.6°C sind wohl nur unwesentlich höher. Die Grenze von 30°C wird aber an 21 Tagen überschritten, doppelt so viele Tage, wie im Vorjahr. Und während 24 Nächten wird die 20°C Grenze nicht unterschritten.

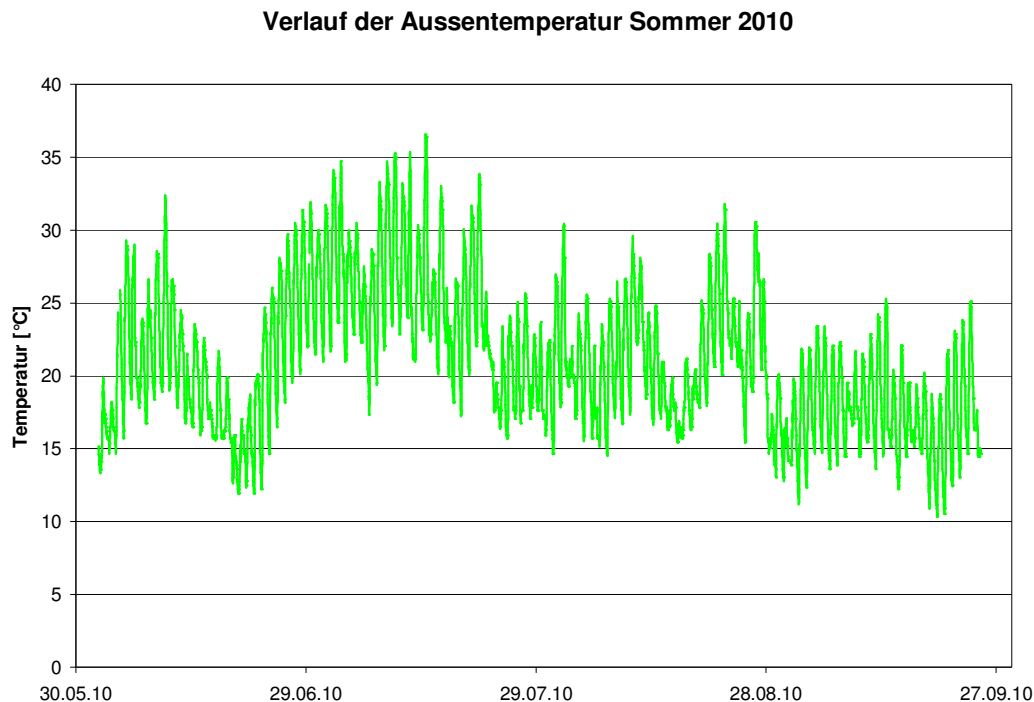


Abb. 10: Aussentemperatur Sommer 2010, vom 2.6.2010 bis 24.9.2010

3.3. Betriebsverhalten und Kennzahlen der Loganova GWP 102-19

Die Gaswärmepumpe der Loganova GWP 102-19 wurde insgesamt dreimal gestartet. Nach kurzer Zeit ging die Anlage jeweils in Störung, da im Gaswärmepumpen-Kreislauf eine Überhitzung entstand. Gemäss den Angaben des Gerätelieferanten war kein Helium im Kreislauf dieses Prototypen-Gerätes. Bei der Demontage des Gerätes stellte sich heraus, dass die Wärmepumpe undicht war und sich deren Inhalt mit dem der Erdwärmesonden vermischte.

Da die Gaswärmepumpe der Loganova GWP 102-19 während des gesamten Messprojekts nicht funktionierte und vom Lieferanten nicht repariert werden konnte, gelten die nachfolgenden Messwerte ausschliesslich für die Gastherme dieses Gerätes.

Für die Gaswärmepumpe können deshalb keine Messwerte, Kenndaten oder Aussagen über das Langzeit-Betriebsverhalten angegeben werden.

Bis am Ende des Messprojekts stand kein verbessertes und zuverlässig funktionierendes Nachfolgemodell zur Verfügung.

Sommer 2009

Die Auswertung im Sommer, vom 7.8.2009 bis 2.10.2009, bezieht sich in erster Linie auf die Warmwassererzeugung. Die Auswertung der Heizleistung alleine ergibt im Sommer keine sinnvollen Werte und wird an dieser Stelle nicht aufgeführt.

			Warmwasser- erzeugung (Boiler)	Heizung und Warmwasser- erzeugung	Warmwasser (Verbrauch)
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	78	93	78
	ΣQ_{Gas}	kWh	1'161	1'161	1'161
	ΣQ_{total}	kWh	1'239	1'255	1'239
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	768	768	640
Kennzahlen	WNG_w	[-]	0.65	0.65	
	SNG_w	[-]		0.61	0.52

Tabelle 5: Kennzahlen der Loganova GWP 102-19 im Sommer 2009

Der Wärmenutzungsgrad bei der Warmwassererzeugung ist mit 0.65 tief (Tabelle 5). Die Begründung liegt darin, dass die gesamte Gastherme und die Leitungen von und zum Warmwasserspeicher bei jeder Aufbereitung des Warmwassers mit aufgeheizt werden müssen. Diese Teile sind nicht optimal isoliert und verlieren entsprechend viel Energie.

Der Verlauf der Temperaturen der Loganova GWP 102-19 in den Sommermonaten ist durch den Ladevorgang des Warmwasserspeichers geprägt. Im Diagramm Abb. 11 wird lediglich ein dreitägiger Ausschnitt aus der Sommerperiode dargestellt, welcher repräsentativ für die gesamte Periode ist. Dies wird getan, um den Verlauf der einzelnen Temperaturen besser erkennen zu können. Während dem Ladevorgang steigen die Vorlauftemperatur TIR105 und die Rücklauftemperatur TIR106 auf 65 bis 75 °C. Die gerätenah gemessenen Temperaturen für Vorlauf Heizen, Rücklauf Heizen steigen und sinken im entsprechenden Zeitrahmen stark, jene des Vorlauf EWS und Rücklauf EWS steigen und sinken im entsprechenden Zeitrahmen merklich mit.

Die Spitzen der Messwerte entstehen bei der Erzeugung des Warmwassers. Es könnte der Eindruck entstehen, dass in der Sommerperiode geheizt wurde. Dem ist natürlich nicht so. Was aber durch diese Darstellung zum Ausdruck kommt ist, dass die Verluste bei der Warmwassererzeugung nicht zu vernachlässigen sind. Es wird nicht nur der ganze Wärmeerzeuger auf Temperatur gebracht. Auch die angeschlossenen Leitungen und ein beträchtlicher Teil des Leitungsinhaltes werden mit aufgeheizt und kühlen sich nach jedem Ladevorgang wieder ab. Unter der Annahme, dass ein Equivalent von 50 kg Wasser jeweils um 5 Kelvin erwärmt und abgekühlt werden, entspricht dies einem Verlust von ca. 3% bezogen auf den Energieverbrauch zur Erzeugung des Warmwassers.

Verlauf der Temperaturen der Loganova im Sommer 2009

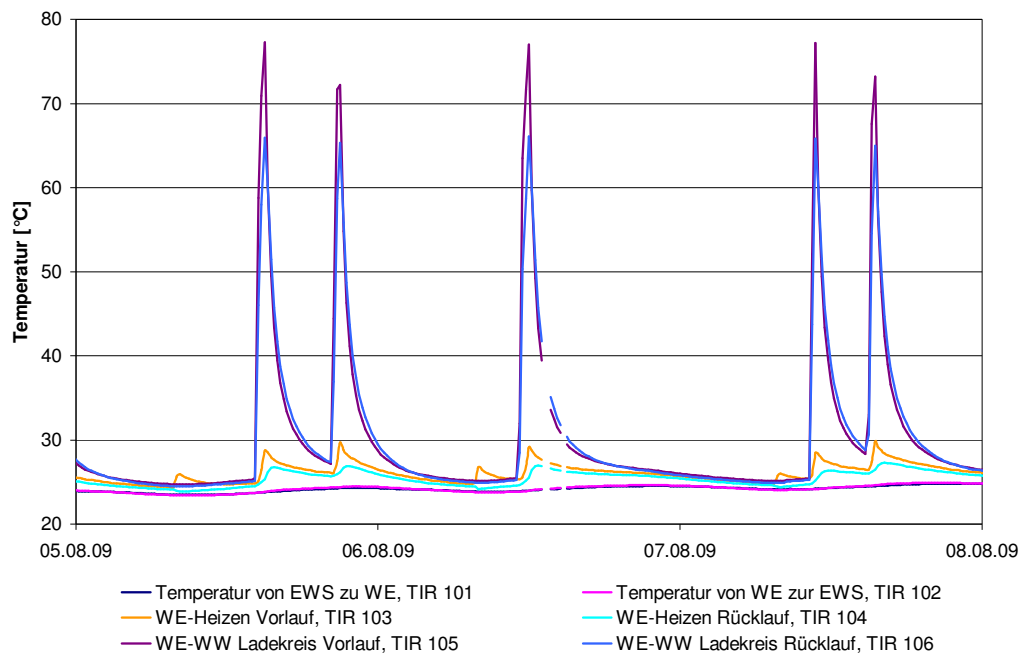


Abb. 11: Temperaturen der Loganova GWP 102-19 im Sommer 2009

Winter 2009/2010

			Heizung	Warmwasser (Boiler)	Warmwasser (Verbrauch)	Heizung und Warmwasser
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	933	152	211	1'085
	$MWUS E$	kWh	5	2	2	5
	ΣQ_{Gas}	kWh	27'983	4'298	4'298	32'281
	$MWUS Q_{Gas}$	kWh	904	176	176	1'029
	ΣQ_{total}	kWh	28'916	4'450	4'509	33'366
	$MWUS Q_{Total}$	kWh	904	176	176	1'029
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	21'977	3'246	2'233	25'223
	$MWUS Q_{Nutz}$	kWh	499	74	1'124	505
Kennzahlen	AZ	-	0.77			
	$MWUS AZ$	-	0.030			
	WNG	-		0.74		0.76
	$MWUS WNG$	-		0.033		0.028
	SNG	-	0.76		0.50	0.76
	$MWUS SNG$	-	0.029		0.250 ¹	0.028

Tabelle 6: Kennzahlen der Loganova GWP 102-19 Winter 2009/2010, gemittelt über die Periode vom 3.10.2009 bis 1.6.2010 (MWUS = Messwertunsicherheit)

¹ Der Fehle beim Verbrauch des Warmwassers beruht auf einer Schätzung, die besagt, wie viel Energie vom Verbraucher tatsächlich genutzt wird.

Der Wärmenutzungsgrad bei der Warmwassererzeugung ist mit 0.74 (Tabelle 6) etwas besser als im Sommer 2009. Da im Winter die Gastherme oft in Betrieb ist, ist deren Temperatur schon wesentlich höher als im Sommer. Die Verluste machen sich aber immer noch bemerkbar und der ermittelte Wert des Wärmeerzeugernutzungsgrades von 0.74 für Warmwasser muss schon fast als ungenügend bezeichnet werden.

Der Wärmeerzeugernutzungsgrad der Heizung von 0.77 und der Systemnutzungsgrad der Heizung von 0.76 sind ebenfalls als mässig zu bezeichnen. Die Verluste der Anlage und die fehlende Funktion der Wärmepumpe sind der Grund für diese Werte.

Der Systemnutzungsgrad des Warmwassers ist mit 0.50 schlecht. Der Wert liegt so tief, weil das Gebäude hauptsächlich als Bürogebäude genutzt wird. Der Verbrauch des Büropersonals ist im Vergleich zum Verbrauch der Bewohner der Wohnung sehr gering. Die Hälfte der Energie wird also nur dazu verwendet, die Verluste zu decken. Eine lokale Warmwassererzeugung in der Dachwohnung und Durchlauferhitzer in den Büros wären dem vorhandenen Warmwassersystem im Keller des Gebäudes vorzuziehen.

Die berechneten Unsicherheiten der einzelnen Kennzahlen liegen in der Regel unter 5% ausser bei der Betrachtung des Warmwasserverbrauchs. Dort muss mit einem Fehler von bis zu 50% gerechnet werden. Der effektive Verbrauch an Warmwasser, also das, was von den Verbrauchern wirklich genutzt wurde, kann nur abgeschätzt werden. Dies, weil der eingesetzte Volumenstrommesser in Relation mit dem tiefen Verbrauch, eine sehr grobe Auflösung aufweist und eine genaue zeitliche Zuordnung der Warmwassertemperaturen nicht möglich ist.

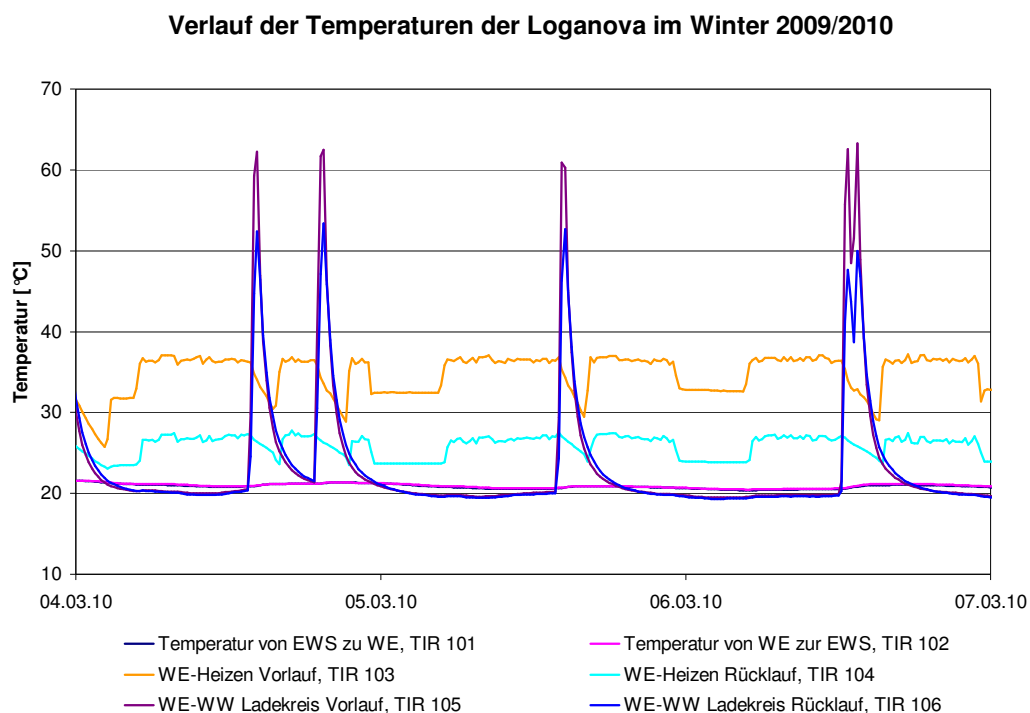


Abb. 12: Temperaturen der Loganova GWP 102-19 im Winter 2009/2010

In Abb. 12 sind die Phasen der Warmwassererzeugung und die dazwischen liegenden Heizphasen gut zu erkennen. Während der Warmwassererzeugung wurde die gesamte Leistung der Gastherme hierzu verwendet. Da die Wärmepumpe nicht funktionierte und deren Zirkulationspumpe nicht in Betrieb war, wurde während dieser Zeit keine Heizenergie an die hydraulische Weiche weitergeleitet. Zwischen den Phasen der Warmwassererzeugung ist der Heizbetrieb dadurch erkennbar, dass der Mittelwert des Heizvorlaufs im Bereich von 33 bis 37 °C liegt. Die tieferen Werte stellen die Nachtabenkung dar.

Sommer 2010

Auch während der Messperiode vom 2.6.2010 bis 24.9.2010 beziehen sich die Kennzahlen hauptsächlich auf die Warmwassererzeugung. Während dieser Betrachtungszeit waren der Wärmeerzeugernutzungsgrad und der Systemnutzungsgrad des Warmwassers etwas schlechter als im vorhergehenden Sommer. Im Sommer 2009 wurde praktisch gleich viel Warmwasser in der Hälfte der Zeit verbraucht.

			Warmwasser- erzeugung (Boiler)	Heizung und Warmwasser- erzeugung	Warmwasser (Verbrauch)
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	62	78	101
	ΣQ_{Gas}	kWh	2'688	2'688	2'688
	ΣQ_{total}	kWh	2'750	2'766	2'789
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	1'543	1'543	1'056
Kennzahlen	WNG	[-]	0.56	0.56	
	SNG	[-]		0.56	0.38

Tabelle 7: Kennzahlen der Loganova GWP 102-19 im Sommer 2010

3.4. Betriebsverhalten und Kennzahlen der Erdwärmesonden

Ursprünglich sollte der Grundwasserstrom unter dem Gebäude für die passive Direktkühlung genutzt werden. Nachdem das Gebäude gebaut war zeigte sich aber schnell, dass die geforderte Leistung nicht erreicht werden konnte. Das Wasser wärmte sich nach kurzer Zeit auf und es konnte keine Kühlleistung genutzt werden.

Aufgrund dieses Sachverhaltes entschied sich die Bauherrschaft zwei Erdwärmesonden von 136 Meter Tiefe zu installieren, um die passive Kühlung im Sommer und die Speisung der Gaswärmepumpe im Winter zu gewährleisten. Die Sonden wurden im Januar 2009 installiert und im April 2009 an das System angeschlossen.

Sommer 2009

			Kühlung
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	413
	ΣQ_{Gas}	kWh	0
	ΣQ_{total}	kWh	413
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	3'213
Kennzahlen	WNG	[-]	10.4
	SNG	[-]	7.8

Tabelle 8: Kennzahlen der Kühlung im Sommer 2009, vom 1.8.2009 bis 2.10.2009

Der Wärmeerzeugernutzungsgrad der Kühlung von 10.4 und der Systemnutzungsgrad von 7.8 sind eigentlich recht gut. Hingegen entspricht die Nutzenergie von 3'213 kWh einer mittleren Leistung von 2 kW, was für den betrachteten Zeitraum viel zu wenig ist.

Verlauf der Erdwärmesondentemperaturen Sommer 2009

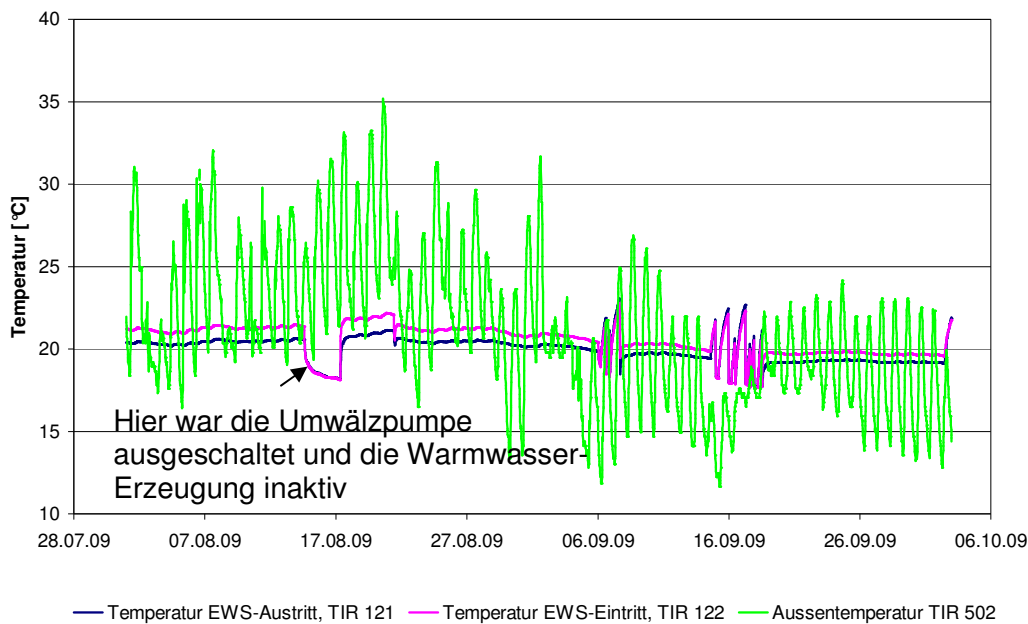


Abb. 13: Temperaturen der Erdwärmesonden im Sommer 2009

In den Bereichen in Abb. 13, in denen sich die Werte des Erdsondenaustritts mit denen des Erdsondeneintritts überlagern, war die Zirkulationspumpe der Erdwärmesonden nicht in Betrieb. Auffallend ist auch, dass gegen Ende der Kühlperiode das Niveau um ca. 2 Kelvin abnimmt und, abgesehen von den Tagesschwankungen, tendenziell der Aussentemperatur folgt.

Winter 2009/2010

			Kühlung
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	303
	ΣQ_{Gas}	kWh	0
	ΣQ_{total}	kWh	303
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	405
Kennzahlen	WNG	[-]	1.7
	SNG	[-]	1.3

Tabelle 9: Kennzahlen der Kühlung im Winter 2009/2010, vom 2.10.2009 bis 1.6.2010

In der Winterzeit sollte eigentlich nicht gekühlt werden. Die Ermittlung des Wärmenutzungsgrades und des Systemnutzungsgrads machen deshalb wenig Sinn, was auf Grund der ermittelten Zahlenwerte plausibel ist. Die Nutzenergie von 405 kWh ist entsprechend sehr gering.

Entgegen dem Verhalten im Sommer stellt sich im Winter eine Temperaturdifferenz zwischen Erdwärmesondeneintritt und –austritt ein, wenn die Zirkulationspumpe der Erdwärmesonden abgeschaltet ist. Mit den Energiemessgeräten werden jedoch keine Energieflüsse registriert. Abb. 14 veranschaulicht während drei Tagen das Verhalten bei ausgeschalteter Umwälzpumpe der Erdwärmesonden. Die Temperaturen sind entsprechend sehr hoch und folgen tendenziell der Aussentemperatur.

Verlauf der Erdwärmesondentemperaturen im Winter 2009/2010

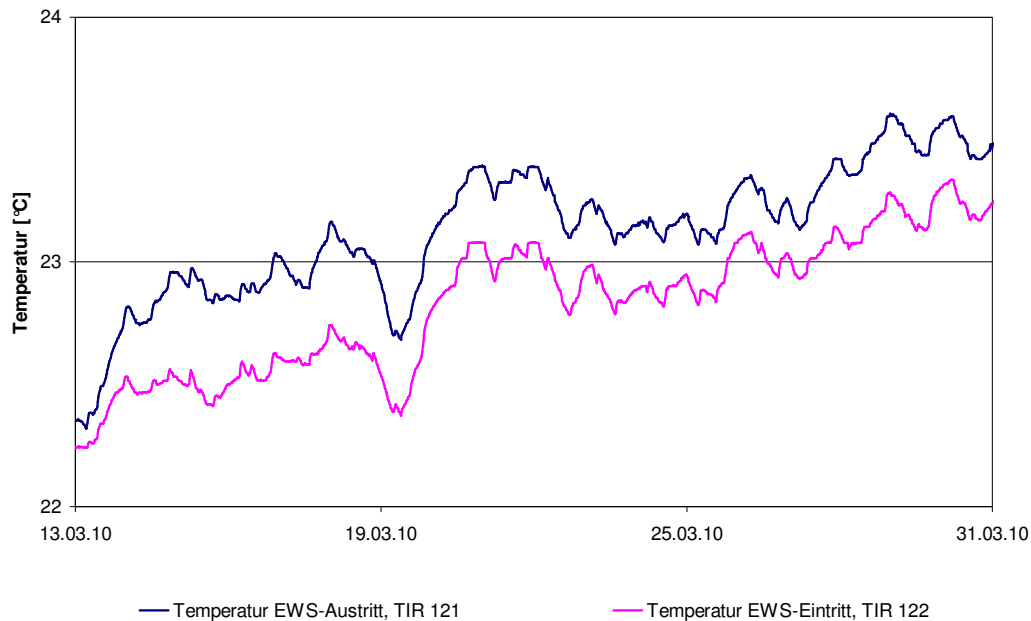


Abb. 14: Temperaturen der Erdwärmesonden im Winter 2009/2010

Sommer 2010

			Kühlung
Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	840
	ΣQ_{Gas}	kWh	0
	ΣQ_{total}	kWh	840
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	5'963
Kennzahlen	WNG	[-]	7.9
	SNG	[-]	7.1

Tabelle 10: Kennzahlen der Kühlung im Sommer 2010, vom 2.6.2010 bis 24.9.2010

Die Werte im Sommer 2010 entsprechen nicht mehr ganz den Werten vom Sommer 2009. Die Leistung des Vorsommers wird nicht mehr ganz erreicht, obwohl die Temperaturen in diesem Sommer höher und der Kühlbedarf grösser ist. Das negative Verhalten könnte von der Leckage der Wärmepumpe herrühren.

In Abb. 15 ist der Temperaturverlauf von Erdwärmesondeneintritt und –austritt, sowie TABS-Vorlauf und TABS-Rücklauf im Verlaufe des Sommerhalbjahres 2010 aufgezeigt. Wenn die Kühlung aktiv ist, ergibt sich eine ausgeprägte Temperaturspreizung zwischen Eintritt und Austritt beziehungsweise Vorlauf und Rücklauf. Die Temperaturspreizung bei den Erdwärmesonden beträgt 1 bis 1.2 Kelvin, jene beim TABS 2.5 bis 3 Kelvin. Die Grädigkeit des Wärmetauschers (mittlere logarithmische Temperaturdifferenz ΔT_{log}) beträgt im Juli 2010 ca 2 Kelvin, 1 Kelvin höher als in der gleichen Messperiode im Vorjahr. Dieses Verhalten ist auf die länger anhaltenden hohen Aussentemperaturen zurückzuführen. Grundsätzlich muss jedoch angemerkt werden, dass die Auslegungstemperaturen von 14 °C für die Austritts- und 17°C für die Eintrittstemperatur im Stadtgebiet während der Kühlperiode zu optimistisch bzw. zu tief ist.

Realistisch wären Werte von 17 bzw. 19 °C. Aufgrund des Defektes der Wärmepumpe und dem Eintritt des Ammoniak- und Heliumgases in den Erdwärmesondenkreislauf liegt die Vermutung nahe, dass dieser Defekt die Leistung der Erdwärmesonden erheblich beeinflusste. Weitere Messungen würden darüber Aufschluss geben.

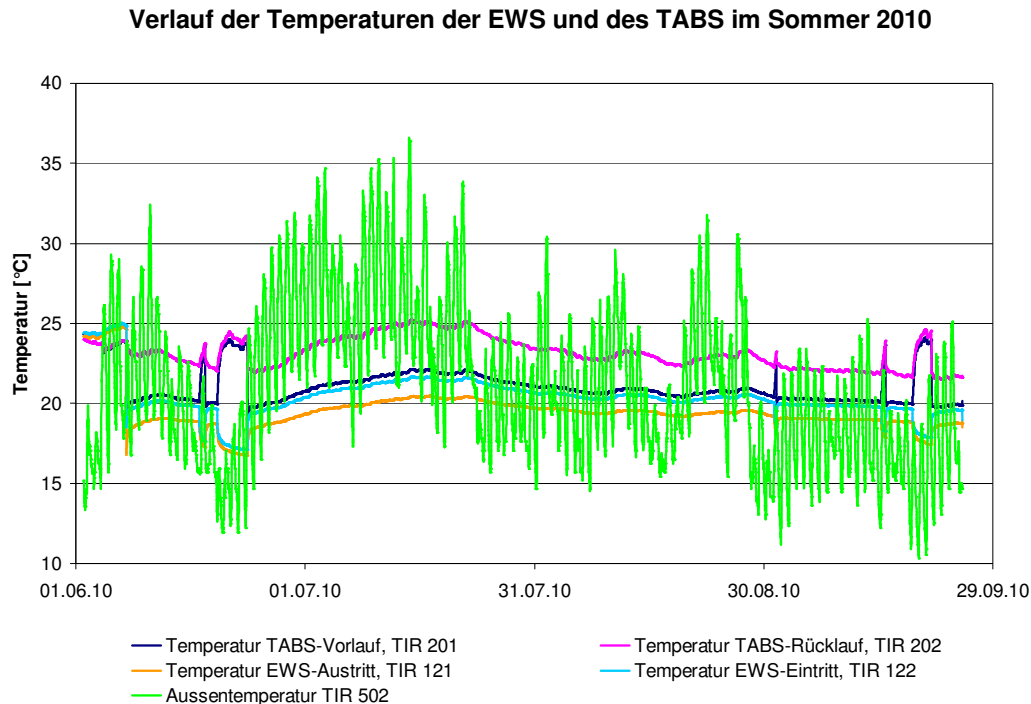


Abb. 15: Temperaturen der Erdwärmesonden im Sommer 2010

Bestimmung der Kühlleistung der Erdwärmesonden

Im Zeitraum vom 19.6.2010 bis am 16.7.2010 herrschte sonniges und warmes Wetter. In dieser Zeit lief die Gebäudekühlung ununterbrochen. Dies kann anhand der Einschaltdauer und der Energieaufnahme der Umwälzpumpe KR111 gezeigt werden (Erfassung des Einschaltzustandes KR111 und der Leistungsaufnahme EIR112). In diesem Zeitraum betragen die vom TABS abgeführte Leistung 2.45 kW und die von den Erdwärmesonden aufgenommene Leistung 2.69 kW. Die Leistungen wurden von den Messgeräten 10 (Messstellennummer 209) und 3 (Messstellennummer 125) gemessen. Die Temperaturdifferenz zwischen Erdwärmesondeneintritt und Erdwärmesondenaustritt beträgt ca. 1.2 Kelvin. Sowohl die abgeführte Leistung wie auch die Temperaturdifferenz entsprachen nicht den Auslegungsdaten. Gemäss diesen sollte die Kühlleistung bis 10 kW und die Temperaturdifferenz 3 Kelvin betragen. Der Grund dafür liegt darin, dass mit der Austrittstemperatur von über 20 °C die Vorlauftemperatur des TABS 22 °C beträgt und die Rücklauftemperatur des TABS 25 °C beträgt. Würden Ein- und Austrittstemperatur der Erdwärmesonden tiefer liegen, wären die Temperaturdifferenz und die aufgenommene Leistung grösser.

Energieverbrauch	ΣE_{el}	kWh	210
Nutzenergie	ΣQ_{Nutz}	kWh	1'645
Kennzahlen	WNG	[-]	8.5
	SNG	[-]	7.8

Nutzleistung	q_{Nutz}	kW	2.4
abgeführte Leistung	q_{EWS}	kW	2.7

Tabelle 11: Kennzahlen und Nutzleistung der Erdwärmesonden Juni bis Juli 2010

3.5. Auswirkungen auf die Innentemperaturen des Gebäudes

Sommer 2009

Während der Zeit vom 1.8.2009 bis 2.10.2009 wurden lediglich die Zulufttemperatur der Energiezentrale (TIR 501) und die Aussentemperatur (TIR 502) gemessen. Die Innentemperaturmessstellen wurden erst im Verlaufe der nachfolgenden Heizperiode von der übergeordneten Steuerung mit dem Datenlogger verbunden.

Winter 2009/2010

Von Oktober 2009 bis Mitte Februar 2010 war die Temperatur in der Wohnung sehr tief. Auch im 2. OG war die Temperatur ca. 3 K tiefer als im Erdgeschoss. Aufgrund von Luft im Zirkulationskreislauf des TABS war die Zirkulation in den oberen Geschossen bis Anfang März 2010 ungenügend. Nachdem der Kreislauf entlüftet wurde, erreichten die Temperaturen in den oberen Geschossen akzeptable Werte. Die Tagesschwankungen in den Büros und der Wohnung betrugen ein bis zwei Kelvin; das ist recht gut. Die Aussentemperatur schwankte sehr viel stärker. Aus Abb. 16 ist zudem ersichtlich, dass die Innentemperaturen dem Verlauf der Aussentemperatur leicht folgten. Die Abhängigkeit ist aber nicht gross, das bedeutet, dass die Heizleistung genügend hoch war, um die Sollwerttemperatur des Gebäudeinneren gut halten zu können. Aus dem Diagramm kann weiter entnommen werden, dass die Tagesschwankungen in den genutzten Büros der Energieberatungsstelle während den Arbeitstagen etwa 2 Kelvin betrugen und an den Wochenenden unter 1 Kelvin lagen. Die höheren Werte während der Arbeitszeit sind auf die Energieabstrahlung von Geräten und Personen zurückzuführen.

Auffallend ist, dass auch nach der Entlüftung des Systems die Temperatur im 2. OG und der Dachwohnung etwa zwei Kelvin tiefer liegen als im Erdgeschoss. Um allen Benützern gerecht zu werden wäre zu erwägen, für die Dachwohnung eine von den anderen Benützern separate Temperaturregelung zu installieren.

	TIR 502	TIR 401	TIR 402	TIR 403	
	Aussen- temperatur	Raum- temperatur EG	Raumtemperatur 2. OG	Raumtemperatur Wohnung	
Mittelwert	9.1	22.8	21.5	20.1	°C
Minimalwert	-10.6	20.8	19.0	16.3	°C
Maximalwert	30.3	25.9	25.0	25.6	°C

Tabelle 12: Innentemperaturen im Vergleich zur Aussentemperatur im Winter 2009/2010

Verlauf der Aussentemperatur und der Innentemperaturen Winter 2009/2010

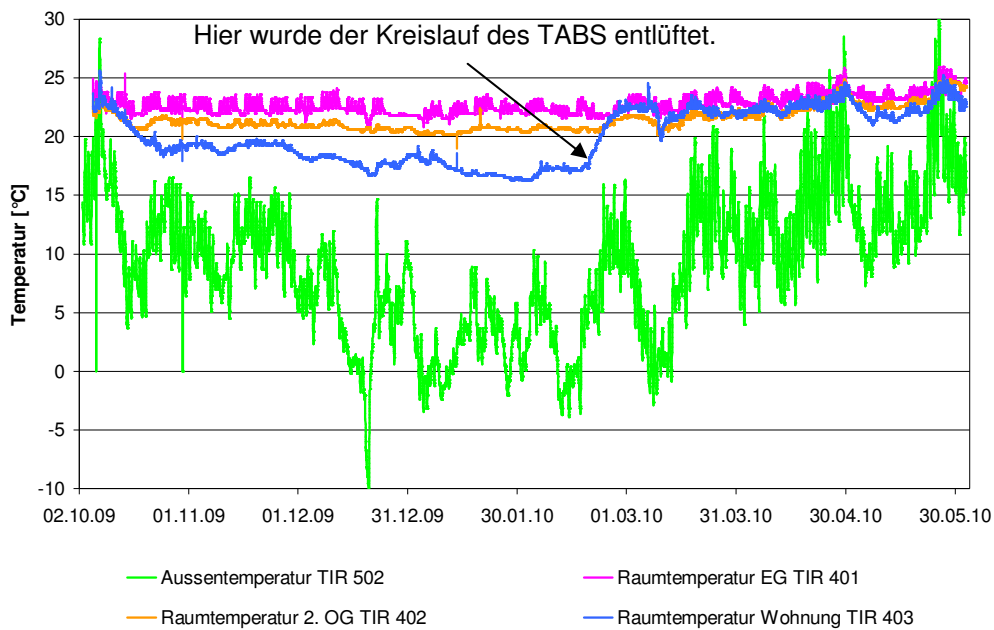


Abb. 16: Innentemperaturen im Winter 2009/2010, vom 2.10.2009 bis 1.6.2010
Sommer 2010

Die Erfassung der Innentemperaturen zeigt, dass diese, anders als im Winter, der Aussentemperatur tendenziell stark folgen. In der Wohnung wurden Temperaturen von 22 bis 30 °C gemessen. Aufgrund der ungenügenden Kühlleistung der Erdwärmesonden ist es also nicht möglich das Gebäude und insbesondere die Dachwohnung mit der direkten passiven Kühlung auf ein behagliches Niveau zu bringen (Abb. 17).

	TIR 502	TIR 401	TIR 402	TIR 403	
	Aussen- temperatur	Raum- temperatur EG	Raumtemperatur 2. OG	Raumtemperatur Wohnung	
Mittelwert	22.2	25.6	25.1	25.6	°C
Minimalwert	11.2	22.5	22.4	22.2	°C
Maximalwert	36.6	28.5	27.7	30.1	°C

Tabelle 13: Innentemperaturen im Vergleich zur Aussentemperatur im Sommer 2010

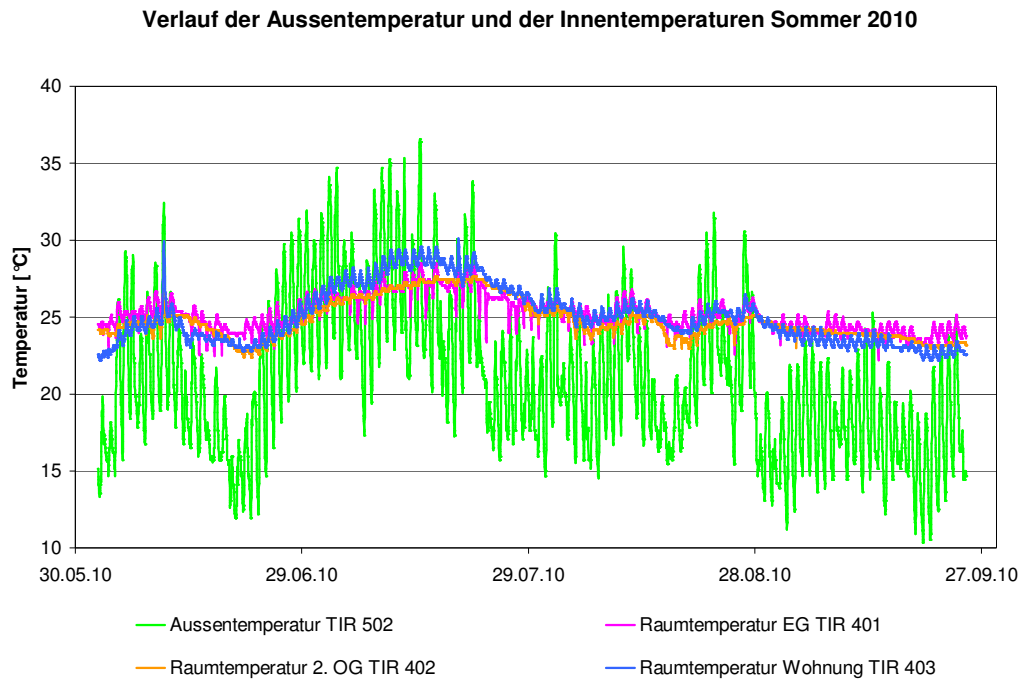


Abb. 17: Innentemperaturen im Sommer 2010, vom 2.6.2010 bis 30.9.2010

3.6. Leistung und Temperaturen des Thermoaktiven Bauteil Systems TABS

Sommer 2009

Während der Kühlphasen liegt die Vorlauftemperatur des TABS unter der Rücklauftemperatur. Dort, wo sich die Kurven in Abb. 18 decken, liegt keine Zirkulation vor, das heisst es wird weder gekühlt noch geheizt.

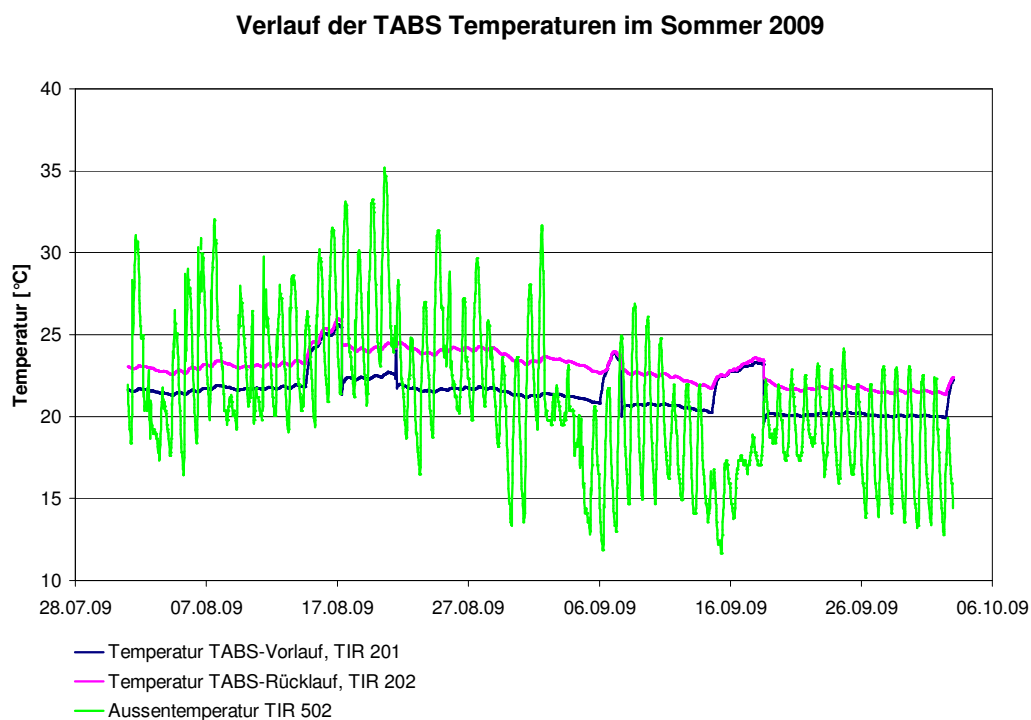


Abb. 18: Temperaturen TABS im Sommer 2009, vom 1.8.2009 bis 2.10.2009

Sowohl die Tagesschwankungen wie auch die längerfristigen Änderungen der Aussentemperatur zeigen sich in abgeschwächter Form in den Temperaturen des TABS wieder. Dies macht bis zu einem gewissen Grad Sinn, da die überschüssige Wärme vom TABS abgeführt werden musste. Um aber eine genügende Kühlleistung zu erreichen müssten die Temperaturdifferenz wesentlich grösser und die Vorlauftemperatur tiefer liegen. Die maximale gemessene Temperaturdifferenz liegt bei maximal 2.5 K, sollte aber bei knapp 6 K liegen!

Winter 2009/2010

Aufgrund der Darstellung in Abb. 19 ist gut ersichtlich, wann geheizt und wann gekühlt wird. Während der Heizphase ist die Vorlauftemperatur des TABS 2 bis 6 Kelvin höher als der Rücklauf. Die angeforderte Heizleistung konnte von der Gastherme problemlos geliefert werden.

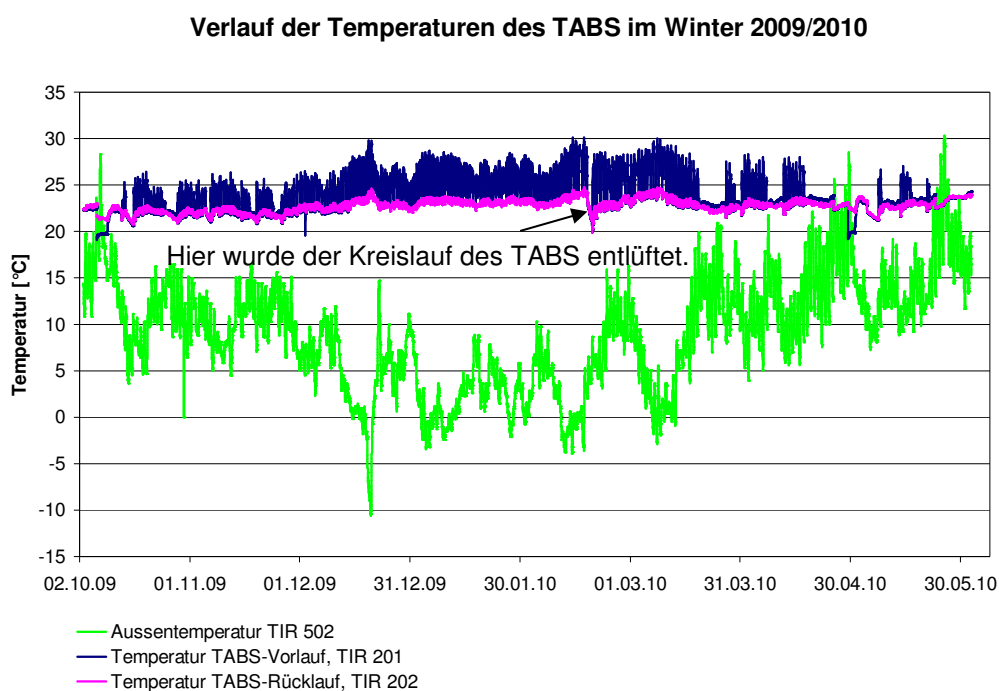


Abb. 19: Temperaturen TABS im Winter 2009/2010, vom 2.10.2009 bis 1.6.2010

Sommer 2010

Der Mai und der Juni im Sommer 2010 waren recht regnerisch und kühl. Die Anforderung für die Kühlung ist in diesen Monaten mehrheitlich nicht erfüllt (24h-Mittelwert über Kühlgrenze von 18°C und gleichzeitig mittlere Raumtemperatur von 3 Raumfühlern über 25°C). Erst ab Ende Juni stiegen die Temperaturen konstant auf hohe Werte, was dazu führte, dass die Kühlung dauernd in Betrieb war (Abb. 20).

Verlauf der Temperaturen des TABS im Sommer 2010

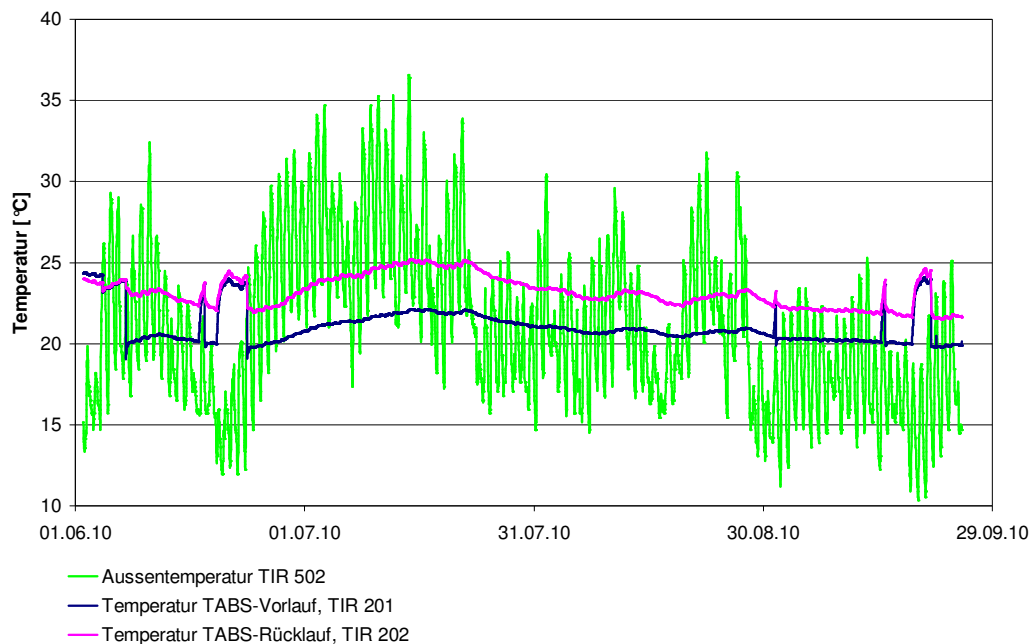


Abb. 20: Temperaturen TABS im Sommer 2010, vom 2.6.2010 bis 30.9.2010

3.7. Vergleich der gemessenen Verbrauchszahlen mit den Planzahlen

Mit den im Messprojekt definierten Messstellen lassen sich die Primärenergiewerte für Raumklima und Warmwasser ermitteln und mit den Planzahlen vergleichen. Ausgewertet werden die Messwerte vom 1.8.2009 bis 1.8.2010. Beim Raumklima werden die Verbrauchswerte für Heizung und Kühlung verrechnet, beim Warmwasser ausschliesslich der Energiebedarf zur Erzeugung und Verteilung desselben. Umgerechnet wird das Total auf die Energiebezugsfläche EBF von 1'168 m².

			Messwert Heizung	Messwert Kühlung	Total Messwert	Zielwert A
Energieverbrauch Raumklima	ΣE_{el}	kWh/a	959	1'128		
	ΣQ_{Gas}	kWh/a	27'983	0		
	ΣQ_{total}	kWh/a			30'071	
		MJ/a			108'255	
		MJ/m ² a			93	94.2
Messwert Warmwasser						
Energieverbrauch Warmwasser	ΣE_{el}	kWh/a	350			
	ΣQ_{Gas}	kWh/a	7'051			
	ΣQ_{total}	kWh/a			7'401	
		MJ/a			26'644	
		MJ/m ² a			23	15.8

Tabelle 14: Vergleich der gemessenen Verbrauchszahlen mit den Planzahlen

Der Planwert des Energieverbrauchs für das Raumklima liegt leicht über dem Messwert in der vorgegebenen Messspanne. Der Messwert für die Warmwassererzeugung liegt jedoch 50% über dem Planwert. Dies lässt sich gut mit den recht hohen Verlusten begründen (Tabelle 14).

Der 24 Stunden Mittelwert der Heizleistung aufgetragen über dem 24 Stunden Mittelwert der Aussentemperatur weist grob betrachtet einen linearen Verlauf auf. Die Werte sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da sie aufgrund der Temperaturdifferenz des TABS, der Wärmekapazität von Wasser und einem geschätzten Wert für den Durchfluss erstellt wurden.

Heizleistung in Funktion der Aussentemperatur

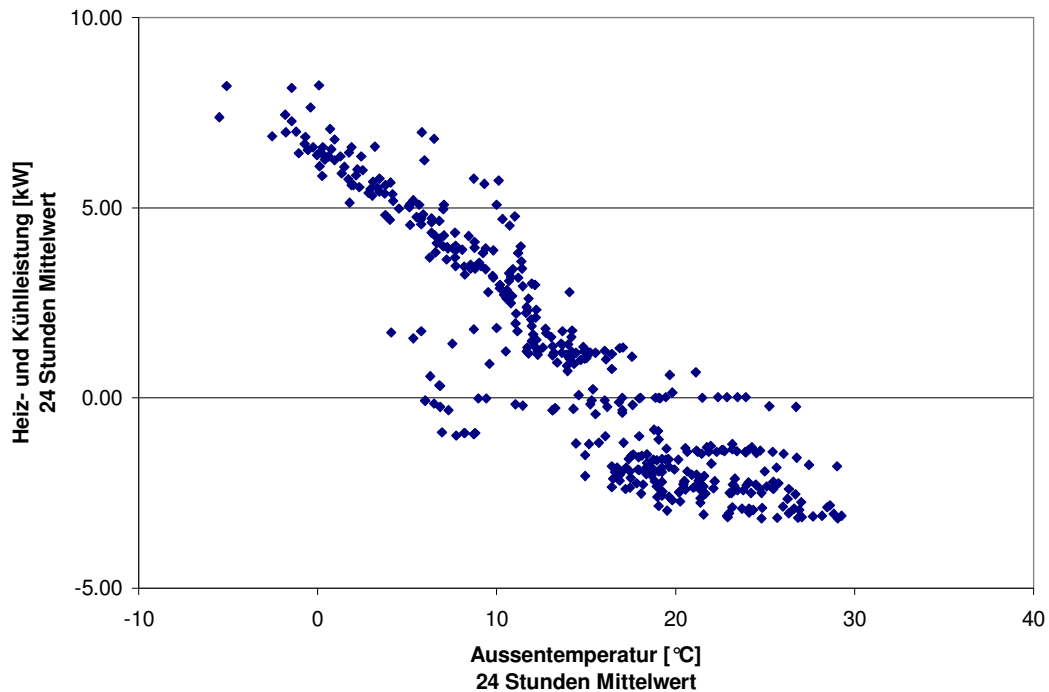


Abb. 21: Heizleistung in Funktion der Aussentemperatur

4. Konkrete Empfehlungen und Optimierungen

Funktionen der Steuerung

Die Steuerung funktioniert gemäss Funktionsbeschreibung [4]. Im Heizbetrieb laufen zwei Umwälzpumpen im Kreislauf der Erdwärmesonden. Sowohl die interne Umwälzpumpe der Loganova GWP 102-19 als auch die grosse Umwälzpumpe KR111 werden freigegeben. Da die Loganova GWP 102-19 im Heizbetrieb nominal nur ca. 1 kW Leistung von den Wärmesonden bezieht, genügt die Förderleistung der internen Umwälzpumpe. Die grosse Umwälzpumpe KR 111 sollte ausschliesslich für den passiven Kühlbetrieb eingeschaltet werden.

Die neue elektrische Wärmepumpe Dimplex SE 11 MER besitzt keine interne Umwälzpumpe. Sie nutzt einen grossen Anteil an Umweltwärme sowohl beim Heizen, beim Kühlen und bei der Warmwasser-Erzeugung. In einem neuen Funktionsbeschreibung ist deshalb vorzusehen, dass die Umwälzpumpe KR111 während all dieser Phasen in Betrieb ist.

Hinweise zur Warmwassererzeugung

In einem Neubau der gleichen Nutzungsphilosophie, d.h. fünf Stockwerke für Büroräume und zwei Stockwerke für eine Dachwohnung, sollte das Warmwasser für die Wohnung vor Ort in einem separaten Warmwasserspeicher erzeugt werden. Die Benutzer der Wohnung sind die Hauptverbraucher des Warmwassers in diesem Gebäude. Auch wenn hier ein neuartiges isoliertes Zirkulationssystem eingesetzt wird, ist der Weg vom Keller in die Wohnung zu lang. Zu den Konvektionsverlusten entlang der Zirkulationsleitung kommen Verluste durch die Aufheizung des gesamten Wärmeerzeugers und der benachbarten Leitungen. Es wäre wesentlich sinnvoller eine kleine Warmwassererzeugungsanlage, ev. kombiniert mit Solarkollektoren, in der Wohnung zu platzieren. Für die Sanitärbereiche der Bürozone sollten kleine Durchlauferhitzer installiert werden. Ein grosses Speichermodul im Keller ist energetisch eher ungünstig.

Information für den Anlagenbetreiber und den Planer

Die installierte Heizleistung der Gastherme von 7 bis 18 kW (Teillast bis Volllast) ist zum Erreichen der geforderten Raumtemperaturen gut bemessen. Dies wurde im Winterhalbjahr 2009/2010 bestätigt. Dieses Winterhalbjahr ist von tiefen Temperaturen und langen Kältephasen geprägt (Abb. 9). In der Zeit vom 2. Januar 2010 bis 18. Januar 2010 beträgt die gemittelte Heizleistung 7 kW.

Hingegen hat die Kühlleistung in den Sommermonaten in keiner Weise genügt. Geplant ist eine Kühlleistung von 10 kW. Aufgrund der zu hohen Austrittstemperaturen der Erdwärmesonden wird im Sommer 2010 eine mittlere Kühlleistung von weniger als 3 kW gemessen, dies bei ununterbrochener Kühlung. Deshalb sind die Temperaturen in den Räumen zu hoch. Sie erreichen in den Büros im Maximum 28 °C und in der Wohnung sogar 30 °C! Gemäss den Behaglichkeitsanforderungen sollten die Temperaturen im Sommer 22 °C bis 26.5 °C und im Winter 19 °C bis 24 °C betragen. Weshalb die Austrittstemperaturen der Erdwärmesonden zu hoch sind ist noch nicht abschliessend geklärt.

Weiter fällt die Temperaturschichtung im Gebäude auf. Im Winter ist die Temperatur in den unteren Stockwerken 1 bis 2 Kelvin höher als in der Dachwohnung. In den Büros ist es eher zu warm. Umgekehrt ist es im Sommer. In der Dachwohnung sind die Temperaturen 2 bis 3 Kelvin höher als in den Büros. Da die Kühlleistung ungenügend ist, ist es an beiden Orten zu warm.

5. Diskussion

Ursprünglich sollte ein Grundwasserstrom zur passiven Kühlung genutzt werden. Diese erbrachte jedoch die geforderte Kühlleistung nicht, weshalb zwei Erdwärmesonden von 136 Metern Bohrtiefe und einer Sondenlänge von 130 Metern eingesetzt wurden. Aber auch diese konnten die geforderte Kühlleistung nicht erbringen. Einerseits liegt die Vermutung nahe, dass im Stadtgebiet die Erdreichtemperatur bis in einige Meter Tiefe sehr hohe Werte aufweisen. Diese hohen Werte können unter anderem vom Fernwärmenetz der Stadt herrühren. In der Nähe ist eine Fernwärmeleitung verlegt. Andererseits kann das Vorhandensein von Ammoniak- und Heliumgas im Erdwärmesondenkreislauf dessen Verhalten negativ beeinflussen. So gesehen stellt sich die Frage, ob der Einsatz von Erdwärmesonden in der Innenstadt von Basel weiter zu empfehlen ist. Aufgrund der vorhandenen Messergebnisse kann diese Frage nicht abschliessend beantwortet werden. Gemäss dem Bohrprotokoll der Erdwärmesonden wäre der Untergrund dazu geeignet. Hingegen liegen keine Informationen zur Temperaturschichtung im Boden der Innenstadt vor.

Die Genauigkeit der Messgeräte zur Messung der Energien hat sich als geeignet herausgestellt. Die Messgeräte der Stufe 1 sind offiziell kalibriert. Im Vergleich mit Messungen der Stufe 2 und Umrechnung auf Energiewerte erhält man die gleichen Resultate. Einzig das Durchflussmessgerät zur Erfassung des Warmwasserverbrauchs hat eine ungenügende Auflösung. Dies führt u.a. dazu, dass die Angabe der genutzten Energie beim Warmwasser mit einem sehr hohen Unsicherheitswert von 50% behaftet ist (Tabelle 6).

In dieser Untersuchung zeigt sich, dass die Thematik der Kühlung gegenüber der Wärmeerzeugung wesentlich interessanter ist. In einem im MINERGIE-P®-Standard erstellten Gebäude ist die Kühlung mindestens so wichtig wie die Heizung. In dieser Untersuchung überschreiten die Raumtemperaturen in den Sommermonaten den Behaglichkeitsbereich um bis zu 4 Kelvin. Im Winter wird der Behaglichkeitsbereich seit der Entlüftung des TABS nicht mehr unterschritten. Mit der passiven Kühlung können hohe Wärmeerzeugernutzungsgrade und Systemnutzungsgrade erreicht werden. Allerdings ist der Nutzen nur gegeben, wenn die Kühlleistung genügend hoch ist.

Bei der installierten Anlage entstanden im Heizbetrieb Verluste über die Erdwärmesonden, da gemäss Funktionsbeschreibung die Zirkulationspumpe KR111 auch während dem Heizbetrieb im Programm der Steuerung aktiviert war. Erst nachdem die Zirkulationspumpe ausgeschaltet wurde, waren keine messbaren Verluste mehr zu verzeichnen.

Können die Messergebnisse aus dieser Untersuchung auf andere Gebäude übertragen werden? Diese Frage kann sicher mit ja beantwortet. Die Kühlleistung ist dabei ebenso wichtig wie die Heizleistung. Wird ein passives Kühlsystem auf Basis Erdwärmesonden eingesetzt, muss genau abgeklärt werden, wie gross der Kühlbedarf ist und ob der Untergrund die geforderte Leistung bringen kann. Insbesondere wenn es sich um städtisches Gebiet handelt ist Vorsicht geboten. Die Heizleistung bietet in der Regel keine grossen Probleme. Wird mit dem Wärmeerzeuger gleichzeitig Warmwasser erzeugt, wird die maximale Leistung des Gerätes eher nach dieser Aufgabe ausgelegt. Die angeforderte Heizleistung wird in der Regel im Teillastbetrieb erzeugt.

6. Schlussfolgerungen

Insgesamt benötigt das Gebäude mit maximal 8 kW Heizleistung recht wenig Energie zum Heizen in den Wintermonaten. Die Heizleistung der eingebauten Gastherme von 7 bis 18 kW (Teillast bis Vollast), zusammen mit der Einstrahlungsenergie, der Energie durch die installierten elektrischen Geräte und die abgegebene Körperwärme von Bewohnern und dem Personal in den Büros ist ausreichend, um das Gebäude im Winter auf einem behaglichen Temperaturniveau von 22 bis 24 °C zu halten. Die tiefen Temperaturen in der Wohnung und den oberen Geschossen zu Beginn des Winters 2009/2010 sind durch Luft im Thermoaktiven Bauteilsystem begründet. Seitdem das System richtig entlüftet ist, ist diese Fehlfunktion behoben. Dennoch sind die Temperaturen auch nach der Entlüftung in den oberen

Stockwerken etwas tiefer als darunter. In der Dachwohnung werden Temperaturen von 19.6 °C bis 25.6 °C und ein Mittelwert von 22.4 °C gemessen und im Erdgeschoss 21.6 ° bis 26 °C und ein Mittelwert von 23.4 °C. Die Entkopplung der Wohnung von den Büroräumlichkeiten wäre empfehlenswert, um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Bewohner und des Personals in den Büros gerecht zu werden.

Bei der installierten Loganova GWP 102-19 handelt es sich um ein Vorserien-Modell. Nach dieser Vorserie wurde die Produktion gestoppt. Da die gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe nie funktionierte, können die erwarteten Arbeitszahlen und Systemnutzungsgrade nicht bestätigt werden. Die Gastherme der Anlage funktionierte und konnte die geforderte Wärme für Warmwasser und Heizung liefern.

Da die Erdwärmesonden den Bedarf der Kühlleistung mittels Freecooling nicht decken können, hat der Bauherr beschlossen eine elektrische Wärmepumpe einzusetzen, welche im Wechselbetrieb heizen, kühlen und Warmwasser erzeugen kann. Da mit dem TABS ein Übertragungssystem verwendet wird, welches sehr geringe Temperaturdifferenzen sowohl für die Heizung wie auch die Kühlung benötigt, sind für den elektrischen Energiebedarf niedrige Werte und für die Systemnutzungsgrade hohe Werte zu erwarten.

Ausblick / weiteres Vorgehen

Es wäre nahe liegend die neue Anordnung gemäss dem in diesem Bericht beschriebenen Messkonzept, welches immer noch installiert ist, auszumessen, zu charakterisieren und weiter zu optimieren.

Die neu gemessenen Resultate sind vergleichbar mit solchen ähnlicher Objekte, wie im MINERGIE-P® Mehrfamilienhaus CosyPlace [9]. Dort konnte mit der passiven Kühlung mit Erdwärmesonde und Fussbodenheizung eine gute thermische Behaglichkeit im Sommer bereitgestellt werden. Die Anlage zeigte gute Effizienzen und eine ausreichende Leistungsfähigkeit im rein passiven Kühlbetrieb.

7. Symbolverzeichnis

Variablen

Variable	Beschreibung	Einheit
AZ	Arbeitszahl	[-]
C_p	Wärmekapazität bei konst. Druck	[J/kgK]
E	Elektrische Energie	[kWh]
F	Durchfluss	[m ³ /h]
H	Heizwert	[kWh/m ³]
JAZ	Jahres-Arbeitszahl	[-]
K	Zeitgrösse	[h]
MWUS	Messwertunsicherheit	[Messwert]
NG	Nutzungsgrad	[-]
Q	Als Erstbuchstabe Wärme-Energie, als Zweitbuchstabe Summe	[kWh], [MJ]
SNG	Systemnutzungsgrad	[-]
V	Volumen	[m ³]
WNG	Wärmeerzeugernutzungsgrad	[-]
ρ	Dichte	[kg/m ³]
ΔT	Temperaturdifferenz	[K]
θ oder T	Temperatur	[°C] oder [K]

Tabelle 15: Variablen

Indizes

Index	Beschreibung
c	Kälte
h	Heizung
p	Primärenergie
v	Lüftung
ww	Warmwasser
AC	Lüftung
AL	Aussenluft
CTR	Regelung
EWS	Erdwärmesonde
HK	Heizkessel
RL	Raumluft
RT	Raumtemperatur
TABS	Thermoaktives Bauteilsystem
USE	Verbrauch
WE	Wärmeerzeuger
WP	Wärmepumpe
Zirk	Zirkulation
ZL	Zuluft
el	Elektrische Energie
ex	Fortluft Wärmeerzeuger
Gas	Gas
o	Index für Brennwert
vl	Vorlauf
rl	Rücklauf
Tot	Total

Tabelle 16: Indizes

8. Literaturverzeichnis

- [1] Verein MINERGIE®; Bern; **Reglement zur Nutzung der Qualitätsmarke MINERGIE®**; <http://www.minergie.ch>
- [2] <http://www.erdgas.ch/de/anwendungen/gaswaermepumpe/wie-funktioniert-eine-gaswaermepumpe/diffusions-absorptions-waermepumpe.html>
- [3] **SIA Effizienzpfad Energie, SIA Dokumentation D 0216**, Zürich, Juni 2006; <http://www.sia.ch>
- [4] Funktions- und Regelbeschrieb HLK, Dr. Eicher + Pauli Planergrundlagen IWB Kundenzentrum
- [5] <http://www.aue.bs.ch/iwb-minergie-p.pdf>
- [6] Presseinformation, Marktreife für innovative Heiztechnik, Buderus Heiztechnik AG
- [7] <http://www.ikz.de/1996-2005/2001/07/0107112.php>
- [8] Montage- und Wartungsanweisung Gasbetriebene Wärmepumpe Loganova GWP 102-11/19, Buderus Heiztechnik AG
- [9] A. Genkinger, R. Dott, Th. Afjei, A. Witmer; Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im Minergie-P® Wohngebäude Cosy Place, Schlussbericht BFE, Muttenz, Februar 2010

Anhang

Mittlere Messunsicherheit gemäss Gauss'scher Fehlerfortpflanzung

Als Beispiel wird an dieser Stelle die Berechnung der Unsicherheit des Warmwasserverbrauchs aufgeführt.

Die allgemeine Formel nach Gauss für die mittlere Unsicherheit lautet:

$$\Delta \bar{k} = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial G} \cdot \Delta G\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial H} \cdot \Delta H\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial k}{\partial M} \cdot \Delta M\right)^2} \quad (\text{Gl. 5})$$

Die durch Wärmezufuhr genutzte Energie beim Verbrauch des Warmwassers berechnet sich wie folgt:

$$Q_{ww,USE} = V \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (\text{Gl. 6})$$

Die allgemeine Form der Messwertunsicherheit lautet:

$$\Delta \overline{Q_{ww,USE}} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{ww,USE}}{\partial V} \Delta V\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{ww,USE}}{\partial \rho} \Delta \rho\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{ww,USE}}{\partial c_p} \Delta c_p\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{ww,USE}}{\partial \Delta T} \Delta \Delta T\right)^2} \quad (\text{Gl. 7})$$

Folgende Einzelfehler werden eingesetzt:

Variable	Wert	Fehler	Begründung
ΔV	Messwert	5%	Herstellerangabe des Volumenstromzählers. Das Gerät ist eingangsseitig montiert, die Wassertemperatur beträgt ca. 15°C.
ρ Wasser	999 kg/m ³	1%	Aufgrund der Temperatur 15°C +/- 5K
c_p Wasser	4.18 kJ/kgK	1%	Aufgrund der Temperatur 15°C +/- 5K
ΔT	35 K	50%	Der Wert von 35 K ist geschätzt. Die Austrittstemperatur beim Verbraucher wäre dann 50°C. Es liegen keine Messergebnisse vor und die Gewohnheiten der Verbraucher sind nicht bekannt, deshalb wird eine sehr grosse Unsicherheit angenommen.

Bei einem Verbrauch von 55 m³, bzw. 2'233 kWh ergibt sich eine Messunsicherheit von 1'124 kWh gemäss nachfolgender Rechnung.

$$\Delta \overline{Q_{ww,USE}} = 55 \times 999 \times 4.18 \times 35 \times \sqrt{(0.05)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2 + (0.5)^2} \text{ kWh} = 1'124 \text{ kWh} \quad (\text{Gl. 8})$$

Regel- und Funktionsbeschreibung der Energiezentrale

Die folgende Beschreibung ist dem Regel- und Funktionsbeschreibung der Anlage gemäss dem Haustechnik-Planer entnommen [4].

Wärmeerzeugung und Verteilung

Die Freigabe der Wärmeerzeugung erfolgt durch die übergeordnete Steuerung (Saia PCD3.M3230) über die mittlere Aussentemperatur oder durch die Anforderung der Wassererwärmung.

Die Raumheizung resp. die Heizgruppe TABS wird freigegeben, wenn der 24h-Mittelwert der Aussentemperatur unter die Heizgrenze von 12°C fällt.

Die Freigabe für die Warmwasser-Erzeugung erfolgt durch einen im Warmwasserspeicher platzierten Temperaturfühler (Ni1000), welcher an der übergeordneten Steuerung angeschlossen ist. Die übergeordnete Steuerung erteilt der Loganova GWP 102-19 die Freigabe zur Warmwassererzeugung. Die Einschaltung erfolgt, wenn die Boilertemperatur 60°C unterschreitet und die Ausschaltung erfolgt, wenn diese 70°C erreicht hat.

Sind die Kriterien für den Heizfall (Raumheizung oder WW) gegeben, wird durch die übergeordnete Steuerung zuerst die Verbrennungsluftversorgung in Betrieb gesetzt und die Loganova GWP 102-19 verzögert eingeschaltet. Die Freigabe an die Loganova GWP 102-19 erfolgt erst, wenn die Luftströmung, gemessen mittels Strömungswächter, garantiert ist. Liegt keine Strömung vor, wird die Loganova GWP 102-19 nicht ein- resp. ausgeschaltet und eine Alarmmeldung freigegeben.

Der Sollwert der Vorlauftemperatur TABS wird in Abhängigkeit der Aussentemperatur geschoben (witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung). Wird die maximale Vorlauftemperatur überschritten, wird durch den Sicherheitstemperaturwächter die Loganova GWP 102-19 ausgeschaltet.

Bei Aussentemperaturen unter 5°C wird die Heizgruppe TABS als Frostschutzmassnahme stets freigegeben.

Steigt die mittlere Aussentemperatur (24 h-Mittelwert) über 13°C, wird die Umwälzpumpe der Heizgruppe TABS täglich während 5 Minuten in Betrieb genommen, um ein Festsitzen der Pumpe zu verhindern.

Im Heizbetrieb ist die Raumkühlung über TABS immer inaktiv.

Die in der Loganova GWP 102-19 integrierte Regelung übernimmt die komplette heizungsseitige Steuerung und Regelung der Wärmepumpe und des Gaskessels.

Kühlung (Freecooling)

Die Freigabe der Kühlung erfolgt durch die übergeordnete Steuerung über die Aussen- und Raumtemperatur für die Gebäudekühlung sowie über den Kühlbefehl der Lüftungsanlage IWB im Eventfall.

Die Gebäudekühlung resp. die Kühlgruppe TABS wird freigegeben, wenn die Aussentemperatur (24h-Mittelwert) über die Kühlgrenze steigt (Kühlgrenze 18°C) und gleichzeitig die mittlere Raumtemperatur von 3 Raumfühlern über 25°C steigt. Die Raumfühler sind im Erdgeschoss, im 2. Obergeschoss und im Dachgeschoss platziert.

Die Gebäudekühlung wird deaktiviert, wenn die mittlere Raumtemperatur unter 24°C sinkt oder die Aussentemperatur (24h-Mittelwert) unter 17°C sinkt.

Der Sollwert der Vorlauftemperatur TABS wird im Kühlfall in Abhängigkeit der Aussentemperatur geschoben.

Die Kühlung für die Lüftung IWB wird freigegeben, wenn im Eventbetrieb die Zulufttemperatur über den Sollwert von 18°C steigt. Die Kühlbedarfsmeldung erfolgt von der Regelung des Monoblocs (Seven-Air) an die übergeordnete Regelung.

Die Ladung des Warmwasser-Speichers mit der Loganova GWP 102-19 kann auch parallel zum Kühlbetrieb erfolgen.

Beschreibung der Messwerterfassung für das Messkonzept der Stufe 2

Datenlogger Modell compact Fieldpoint cFP

Der Datenlogger, Modell compact Fieldpoint von National Instruments, setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Der Controller cFP-2120 ist realtime-fähig und wird mit einem PC programmiert, auf dem die Entwicklungsumgebung LabVIEW, in diesem Falle Version 8.5 2008, installiert ist.

Die Daten werden von insgesamt vier Eingangsmodulen erfasst, zwei PT100-Module (cFP-RTD-124), ein Counter-Modul (cFP-CTR-500) und ein binär-Eingangsmodul (cFP-DI-300).

Messprogramm

Bei den Daten der Messtechnik Stufe 1 handelt es sich ausschliesslich um über die Messperiode aufsummierte Werte.

Die Daten der Messtechnik Stufe 2 bestehen aus Temperaturen, Schaltzuständen und Impulsen für die Energiemessung. Diese Werte werden jede Minute im Datenlogger erfasst, aufsummiert oder, im Falle der Temperaturen, als 1/4h-Mittelwert im Textformat als CSV-Dateien gespeichert. Pro Datei werden Daten von maximal einer Woche gespeichert. Die Datenauslesung und die Programmanpassung erfolgt über eine Modemverbindung.