

IEA Wärmepumpenprogramm

Annex 32: Ökonomische Heiz- und Kühlsysteme
für Niedrigenergiehäuser (Feldtest von integrierten
Wärmepumpensystemen)

Ergänzung zum Bericht 23/2010

A. Zottl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

32/2012

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Wärmepumpenprogramm

Annex 32: Ökonomische Heiz- und Kühlsysteme
für Niedrigenergiehäuser (Feldtest von integrierten
Wärmepumpensystemen)

Ergänzung zum Bericht 23/2010

DI (FH) Andreas Zottl, Ing. Heinrich Huber, MSc,
DI (FH) Johannes Schnitzer, Ing. Wolfgang Leitzinger
Österr. Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H,
AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department

Wien, März 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

**IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION**

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| KURZFASSUNG | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| EINLEITUNG | 7 |
| AUSGANGSSITUATION/MOTIVATION DES PROJEKTES | 7 |
| STANDES DER TECHNIK IM FORSCHUNGSGEBIET | 8 |
| VORARBEITEN ZUM THEMA | 8 |
| AUFBAUS DES ENDBERICHTS | 8 |
| HINTERGRUNDINFORMATION ZUM PROJEKTINHALT | 9 |
| DARSTELLUNG DES GESAMTEN KOOPERATIONSPROJEKT | 9 |
| ARBEITSPAKETE DES IEA HPP ANNEX 32 | 9 |
| PARTNERLÄNDER IM IEA HPP ANNEX 32 | 10 |
| Inland | 10 |
| International | 10 |
| NATIONALES PROJEKT IM IEA HPP ANNEX 32 | 11 |
| ÖSTERREICHISCHE KOOPERATION..... | 12 |
| PROJEKTZIELE DES ÖSTERREICHISCHEN TEILPROJEKTS | 12 |
| METHODIK..... | 12 |
| Durchführung des Monitorings..... | 13 |
| Systemgrenzen:..... | 13 |
| ERGEBNISSE DES PROJEKTES | 16 |
| ANLAGENÜBERBLICK:..... | 16 |
| ANALYSE DER 9 KONVENTIONELLEN WÄRMEPUMPEN:..... | 16 |
| Ergebnisse Anlagenplanung/Ausführung | 17 |
| Gegenüberstellung der Messergebnisse der Anlagen | 19 |
| Jahresarbeitszahlen..... | 21 |
| Kühlbedarf..... | 22 |
| ANALYSE DER KOMPAKTGERÄTE IN PASSIVHÄUSERN:..... | 24 |
| Funktionsschema der Kompaktgeräte | 24 |
| Anlagenparameter der Systeme mit Kompaktgeräte..... | 25 |
| Anlage 10 - Hitzendorf | 26 |
| Anlage 11 - Judendorf | 27 |
| VERGLEICH DER GEMESSENEN JAHRESARBEITSAHLEN MIT VORHANDENEN STUDIEN: | 32 |
| Vergleich der gewählten Systemgrenzen | 32 |
| Analyse der JAZ..... | 33 |
| DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR (IEA)..... | 34 |
| SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN | 35 |
| AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN..... | 36 |
| LITERATURVERZEICHNIS | 37 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 38 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 38 |
| TASK WEBSITE | 38 |

Kurzfassung

Der Heizenergiebedarf für Neubauten im Wohnbereich ist in den letzten Jahren durch technische Innovationen sowie verbesserte Dämmstandards kontinuierlich gesenkt worden, während gleichzeitig - durch zunehmenden Glasanteil in der Architektur und steigende interne Wärmelasten (Geräte) - die Gefahr der Überhitzung im Sommer gestiegen ist. Damit wird energieeffiziente Gebäudekühlung immer wichtiger. Innovative Multifunktionsgeräte für den kombinierten Heiz-, Kühl-, Warmwasser- und Lüftungsbetrieb mit Wärmepumpen können ein energieeffizientes und umweltfreundliches Haustechniksystem für Niedrigenergie- und Passivhäuser darstellen. Im Rahmen des Forschungsprojekts Annex 32 im Wärmepumpenprogramm (HPP) der Internationalen Energie-Agentur (IEA) sollen multifunktionale Wärmepumpensysteme weiterentwickelt und im Praxistest optimiert werden. Um ihre Effizienz beurteilen zu können, wurden bestehende Wärmepumpen für Niedrig- und Passivhäuser unter realen Bedingungen getestet und die Ergebnisse analysiert. Die Teilnahme des AIT beschränkte sich auf den Task 3, „Feldtest von integrierten Wärmepumpensystemen“. Die wesentlichen Inhalte dieses Arbeitspaketes waren: Festlegung eines geeigneten Messkonzepts, Funktionsüberprüfung der ausgewählten Anlagen und der Messeinrichtung sowie Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse für die Verwendung im Task 4. Es wurden insgesamt 11 Wärmepumpensysteme, 9 konventionelle und 2 Kompaktgeräte in 3 Bundesländern (NÖ, OÖ und STMK) analysiert. Die aufgezeichneten Messdaten dieser Anlagen wurden so ausgewertet, dass die Jahresarbeitszahl (JAZ) als Hauptbeurteilungskriterium im Vordergrund stand und damit eine generelle Beurteilung der Effizienz der Wärmepumpensysteme möglich war. Die untersuchten konventionellen Wärmepumpensysteme erreichten JAZ >4 (erdreichgekoppelten Systeme) bzw. >3 (Luftsysteme). Diese Ergebnisse entsprechen, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Systemgrenzen, den Resultaten der Schweizer FAWA Studie [BFE04] sowie der deutschen „Effizienz“ Wärmepumpenstudie [ISE09]. Eine Analyse der Systemintegration der Wärmepumpensysteme zeigt jedoch einen markanten länderspezifischen Unterschied. Während in Deutschland und der Schweiz die meisten Anlagen mit Heizungspufferspeichern ausgeführt sind, sind die in Österreich vermessenen, erdreichgekoppelten Systeme direkt ohne Heizungspufferspeicher in das Wärmeabgabesystem eingebunden und nutzen damit den Estrich der Fußbodenheizung als Speichermasse. Damit entfallen Heizungsspeicher und Pufferladepumpe; Speicherverluste entfallen; es wird nur die Heizkreispumpe benötigt. Von den untersuchten österreichischen Systemen sind nur die ausgewählten Luft-Wärmepumpensysteme mit Heizungspufferspeichern ausgestattet. Eine Analyse der Innen- und Außentemperaturen der konventionellen Anlagen während der Messsaison, sowie die Berechnung der Kühlgradtage, lassen auf keinen Kühlbedarf der Gebäude schließen. Das lässt sich am Besten mit der Architektur, Lage und Ausrichtung der untersuchten Gebäude begründen. Das Gesamtkonzept der Kompaktgeräte mit Solekollektor im Arbeitsgraben, Vorwärmung der Außenluft über die Wärmepumpe und zusätzliche Regeneration der Wärmequelle mit der Passivkühlung, liefert gute JAZ im Bereich von 4,1 bis 4,3. Damit erreichen sie die Effizienz der konventionellen erdreichgekoppelten Systeme. Weiters zeigt das Monitoring hohe JAZ von bis zu 3,7 für den Brauchwasserbetrieb. Dieses gute Ergebnis lässt sich mit der Anhebung des Temperaturniveaus der Wärmequelle im Sommer durch Passivkühlung erklären. Aufgrund der EU-Gebäuderichtlinie [EUG09], die bis 2018 respektive 2020 Passivhausstandard für Neubauten im öffentlichen und privaten Bereich vorsieht, wird sich der Anteil der Passivhäuser am Neubau zwangsläufig erhöhen. Für diese Anwendungen wird die Nachfrage nach Kleinstwärmepumpen, wie sie in diesem Projekt vermessen wurden, steigen. Der optimale Betrieb von Kompaktgeräten wird in Zukunft eine verstärkte Kooperation zwischen den einzelnen Gewerken bei der Errichtung der Gebäude erfordern, wobei das Gebäude eine wesentliche Determinante für die Effizienz des Heizungssystems darstellt.

Abstract

In the last decades, the heating energy demand for new buildings in residential areas had been reduced continuously through technical innovation and improved standards of insulation, while the risk of overheating during the summer months was rising simultaneously due to an increasing share of glass usage in architecture and increasing internal heat loads. Therefore efficient cooling technologies for buildings improved in importance. Innovative heat pump systems offer the opportunity to combine functions for heating, cooling and domestic hot water production in one device. In the course of the IEA HPP ANNEX 32 project, these heat pump systems were tested under real condition in order to evaluate their efficiency. The participation of AIT at IEA HPP Annex 32 was limited to task 3 – “Field monitoring of integrated heat pump systems”. The main content of this work package was: configuration of an adequate monitoring concept, operation test of the chosen systems and measuring equipment, summary and comparison of the results. Therefore nine conventional heat pump systems and two compact units, which were situated in Upper-, Lower Austria and Styria, had been analyzed. The logged monitoring data of these units had been evaluated and the seasonal performance factor (SPF) was set as the main rating criteria. This offered the opportunity for a general efficiency rating of the different heat pump systems. The analysis of the conventional systems has shown that the SPF of the ground coupled units is above 4, whereas the SPF of the air-systems is above 3. These results are, considering the different system boundaries, similar to those shown in the Swiss FAWA study [BFE04] and the German “efficiency” heat pump study [ISE09] undertaken by ISE Fraunhofer. The main difference to the German and Swiss units observed is the system configuration. These countries favour the usage of heating puffer tanks, while in Austria ground coupled systems are directly integrated into the heat sink. Consequently, the screed of the floor heating can be used as thermal mass of the whole heating system. This configuration is only viable, if the storage mass of the building is huge enough, in order to meet the specified manufacturer’s minimum period of performance. Hence, for the calculation of the SPF the buffer tank pump and the storage losses can be neglected. However, the Austrian air-to-water units are all designed with heating buffer tanks. The analysis of indoor and outdoor temperature of these conventional systems has shown that the cooling demand was non existent. This was caused by the fact, that these buildings had no south- or west- orientated glass areas. The concept of the compact units with the collector laid in the working space of the building, pre-heating of ambient air by the heat pump and additional regeneration of heat source by passive cooling causes a SPF between 4.1 and 4.3. These results are similar to those of the conventional ground coupled systems. Furthermore the SPF for domestic hot water production reaches values up to 3.7, caused by a higher heat source temperature generated by passive cooling. The energy demand of future buildings will lessen more and more and the passive house standard will spread. This development will be reinforced by EU legislation [EUG09] aiming at zero-energy buildings by 2018 and 2020 respectively. Especially for these kinds of buildings the demand for compact units will rise. The optimal operating of these compact units needs a better cooperation between the various lots, because the facilities themselves influence the system configuration and the system efficiency significantly.

Einleitung

Die Energieversorgung in Österreich wird nach wie vor von den fossilen Brennstoffen dominiert. So lag ihr Anteil am Bruttoinlandsverbrauch Ende 2007 bei 73,1%, wobei Öl einen mit 40,8% einen über dem EU-Schnitt liegenden Verbrauchswert aufwies, während der Kohleanteil unter dem EU Durchschnitt liegt. Den größten Anteil am Energieverbrauch hat dabei der Verkehr mit 35%, gefolgt von der Industrie (29%) und den Haushalten (24,3%), wobei die privaten Haushalte Energie primär für Raumheizung und Warmwasserbereitung verbrauchen [BMW09]. Da Treibhausgase (THG) ganz allgemein als der Hauptverursacher der globalen Erderwärmung gelten, wurden in den letzten Jahren vermehrt Anstrengungen auf nationaler, internationaler sowie supranationaler Ebene unternommen, um ihren Ausstoß zu reduzieren. So sehen sowohl das Kyoto Protokoll als auch die so genannte „Erneuerbare-Energien-Richtlinie“ verbindliche THG-Reduktionsziele vor. Im Rahmen des erst genannten Abkommen hat sich die EU völkerrechtlich verbindlich verpflichtet, ihre THG-Emissionen im Zeitraum 2008 bis 2012 im Vergleich zum Basisjahr 1990 um 8% zu senken. Für Österreich gilt aufgrund einer EU-internen Lastenaufteilung ein Reduktionsziel von -13%. Diese Reduktion soll durch eine Forcierung der drei Säulen „Nutzung von Reduktionspotenzialen“, „Förderung der Entwicklung neuer Technologien“ und „Nutzung der flexiblen Instrumente“ erreicht werden. Ein wichtiger Teil kommt dabei, aufgrund der bereits dargestellten Bedeutung, der Steigerung der Energieeffizienz im Sektor Raumwärme zu [BML07]. Die EU hat Ende 2008 in einer Richtlinie zur „Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ den Mitgliedsstaaten konkrete Zielvorgaben gesetzt, um die in einer Ratsitzung im März 2007 beschlossenen so genannten 20-20-20 Ziele bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Für Österreich wurde dabei ein Zielwert von 34 % Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch im Jahr 2020 festgelegt [EUF09]. Österreich kann obige Zielvorgaben nur erreichen, wenn verstärkt auf Energieversorgungstechnologien gesetzt wird, die dauerhaft verfügbar und nachhaltig verträglich für Umwelt und Lebewesen sind, konkret durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern. Energieeffizienz wird dabei als eine wesentliche Voraussetzung gesehen, um einen solchen Energieträgerwechsel zu schaffen. Die Wärmepumpe kann eine der Schlüsseltechnologien bei diesem Energieträgerwechsel sein, da durch sie Umweltwärme, welche in der Erneuerbaren-Energierichtlinie als erneuerbare Energie anerkannt wurde, erschlossen wird.

Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Der Heizenergiebedarf für Neubauten im Wohnbereich ist in den letzten Jahren durch technische Innovationen sowie verbesserte Dämmstandards von durchschnittlich ca. 250 kWh/(m²a) pro Wohngebäude auf ca. 15 kWh/(m²a) bei den so genannten Passivhäusern, und auf etwa 50 kWh/(m²a) bei den im größerem Umfang realisierten Niedrigenergiehäusern kontinuierlich gesenkt worden, während gleichzeitig - durch zunehmenden Glasanteil in der Architektur und steigende interne Wärmelasten (Geräte) sowie durch gesteigerte Komfortansprüche - die Gefahr der Überhitzung im Sommer gestiegen ist. Damit wird energieeffiziente Gebäudekühlung immer wichtiger. Innovative Multifunktionsgeräte für den kombinierten Heiz-, Kühl-, Warmwasser- und Lüftungsbetrieb mit Wärmepumpen vereinen in einem Gerät alle notwendigen Funktion und können ein energieeffizientes und umweltfreundliches Haustechniksystem für Niedrigenergie- und Passivhäuser darstellen. Ihr effizienter Betrieb bedarf einer exakten Planung und Ausführung.

Standes der Technik im Forschungsgebiet

Das AIT führt seit dem Jahr 2001 Monitorings von Wärmepumpenanlagen durch. Ein Großteil der vermessenen Anlagen war in Niedrigenergiehäusern integriert, nachdem das Konzept der Wärmepumpenanlagen auf dieses Gebäudesegment abgestimmt ist. Die steigende Anzahl von Passivhäusern fordert neue, auf diesen Gebäudetyp angepasste Wärmepumpenanlagenkonzepte. Mit den im IEA HPP Annex 32 untersuchten Kompaktgeräten hat das AIT erstmals Wärmepumpenanlagen im kleinen Leistungsbereich, welche die Funktionen Heizen, Brauchwasserbereitung, Passivkühlen und Lüften in einem Gerät vereinen, in Passivhäusern vermessen.

Vorarbeiten zum Thema

VEÖ Monitoring

Aufgabe dieses Projektes war es, ein standardisiertes Monitoring für Wärmepumpenanlagen zu entwickeln und Anlagen zu vermessen. Die Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass sie gleichermaßen für Wärmepumpenhersteller, Anlagenerrichter, Energieversorger, öffentliche Entscheidungsträger bzw. Förderstellen als Arbeitsgrundlage dienen können.

NÖ JAZ

Gegenstand des Projektes ist eine Untersuchung ausgeführter Wärmepumpenanlagen im Neu- und Altbau, welche die Wärmequellen Erreich, Wasser bzw. Luft nutzen, hinsichtlich Effizienz, CO₂ Reduktion und weiterer ökonomischer, energiewirtschaftlicher und ökologischer Faktoren. Die Auswertung der technischen Faktoren soll die tatsächlich erreichbare Effizienz von Wärmepumpenanlagen darstellen. Projektnummer F2157 (www.noewohnbauforschung.at)

klima:aktiv

Im Rahmen von klima:aktiv wärmepumpe hat das AIT Anlagenmonitorings durchgeführt. Dabei wurden die Wärmepumpenanlagen in Objekten unterschiedlicher Natur über ein Jahr lang einem Monitoring unterzogen und eine Fülle von Daten erhoben und im Anschluss ausgewertet. Ziel ist es, die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Wärmepumpen im Betrieb zu bestimmen und zu kontrollieren und daraus Rückschlüsse für die kontinuierliche Verbesserung der Aus- und Weiterbildung sowie einem möglichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu ziehen.

Aufbaus des Endberichts

In den ersten Abschnitten des Endberichts werden die Hintergrundinformationen zum IEA HPP Annex 32, die Ziele sowie die Inhalte des Projektes dargestellt. Im Zuge der Beschreibung wird sowohl auf die Teilnehmer der internationalen Kooperation als auch auf das nationale Teilprojekt eingegangen. Danach werden das methodische Vorgehen und die dadurch ermittelten Ergebnisse beschrieben. Zum Abschluss wird die Verwertung der Projektergebnisse dargestellt sowie die Schlussfolgerungen präsentiert.

Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Darstellung des gesamten Kooperationsprojekts

Das Wärmepumpenprogramm (heat pump program - HPP) der Internationalen Energieagentur (IEA) entwickelt und verbreitet sachliche und ausgewogene Information zu Wärmepumpen, Kühlung und Klimatisierung, mit dem Ziel, die umweltrelevanten und energetischen Potenziale dieser Technologien zu nutzen. Im Rahmen dieses Programms werden gemeinsame Forschungsprojekte, Workshops und Konferenzen sowie ein Informationsservice (IEA-Wärmepumpenzentrum) durchgeführt.

Im IEA HPP Annex 32 werden unterschiedliche Konfigurationen von integrierten Wärmepumpensystemen für Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und Entfeuchtung für die Anwendung in Niedrigenergie- und Passivhäusern untersucht. Durch den optimierten Energieverbrauch können die Emissionen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen reduziert werden.

Arbeitspakete des IEA HPP Annex 32

Der IEA HPP Annex 32 ist in nachfolgende 4 Tasks gegliedert:

Task 1 - Systemuntersuchungen

- Evaluierung der hauptsächlich eingesetzten Systeme an integrierten multifunktionalen Wärmepumpensystemen
- Evaluierung der eingesetzten Wärmequellen (Abluft, Grundwasser, Erdreich, Außenluft)
- Bedarfsstrukturen (Heizung, Kühlung/Entfeuchtung, Lüftung, Warmwasser) von Niedrigenergiehäusern (abhängig vom Gebäude und der Klimazone)
- Möglichkeiten für passive Lösungen (Beschattungseinrichtungen, Nutzung von Speichermassen (Nutzung der Sonne im Winter, Kühlung im Sommer), freie (Nacht-) Kühlung)
- Verteilsysteme (für Luft- und Warmwassersysteme)

Task 2 - Berechnung, Vergleich und Bewertung von Systemlösungen

- Berechnung und Bewertung der am häufigsten eingesetzten Systemlösungen
- Vergleich mit Nicht-Wärmepumpenlösungen im Hinblick auf Energiebedarf und Kosten, wobei zu beachten ist, dass mit derartigen Systemen aktive Kühlung nicht möglich ist.
- Auswertung einer geeigneten Regelungsstrategie für die untersuchten Systeme

Task 3 - Feldtest von integrierten Wärmepumpensystemen

- Festlegung eines geeigneten Messkonzepts
- Funktionsüberprüfung der ausgewählten Anlagen und der Messeinrichtung
- Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse für die Verwendung in den Auslegungsleitlinien

Task 4 - Auslegungsleitlinien für integrierte Wärmepumpensysteme inklusive

- Regelung für Niedrigenergiehäuser
- Ableitung der Auslegungsrichtlinien aus den Ergebnissen von Berechnung, Vergleich und Bewertung von Systemlösungen sowie dem Feldtest von integrierten Wärmepumpensystemen
- Weiterleitung der Ergebnisse an Normungskomitees zur Einarbeitung in die relevanten Normen.

Partnerländer im IEA HPP Annex 32

Zur Erreichung der verfolgten Ziele werden im Rahmen des Annex 32 mit allen Teilnehmern enge Kooperationen in Bezug auf Wissens- und Technologietransfer angestrebt. Nicht zu vernachlässigen ist, dass bei derartigen Kooperationsprojekten i.d.R. zwei Informationsflüsse stattfinden, die direkte Information im Hinblick auf das Projekt, und die Backgroundinformation.

Kooperationspartner im In- und Ausland:

Inland

IWT - TU-Graz

Ao. Univ.- Prof. Dr. René Rieberer
Institute of Thermal Engineering
Graz University of Technology
Inffeldgasse 25/B
Austria

International

Hydro-Québec Research Institute

Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE)
Vasile Minea, Ph.D.
Hydro-Québec Research Institute
Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE)
Chercheur - Utilisation de l'énergie
600, avenue de la Montagne
Shawinigan, G9N 7N5

ISE Fraunhofer

Marek Miara
Institute of Thermal Engineering
Heidenhofstr. 2
D-79110 Freiburg/Breisgau
Germany

Graduate School of Engineering, Hokkaido University

Urban and Environmental Engineering
Prof. Dr. Eng. Katsunori Nagano
N13-W8, Kita-ku
Sapporo 06-8628
Japan

SenterNovem

Onno Kleefkens
SenterNovem
Catharijnesingel 59
P.O.Box 8242
3503 RE Utrecht
The Netherlands

Sintef Energy Research

Dr. Ing. Jorn Stene
Kolbjorn Hejes vei 1 D
7465 Trondheim
Norway

SP Technical Research Institute of Sweden

Svein Ruud
SP Technical Research Institute of Sweden
Industrigatan 4
P.O. Box 857
SE-501 15 BORÅS
Sweden

University of Applied Sciences Northwestern Switzerland

Prof. Dr. Thomas Afjei
Head of building technology group
Institute of Energy in Building
University of Applied Sciences Northwestern Switzerland
St. Jakobs-Str. 84
4132 Muttenz
Switzerland

Residential Building and Equipment Research

Van Baxter
Residential Building and Equipment Research
Engineering Science and Technology Division
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, Building 3147
Oak Ridge, TN 37831-6070

Nationales Projekt im IEA HPP Annex 32

Das nationale Projekt im IEA HPP Annex 32 bearbeitet hauptsächlich die Tasks 1, 2 und 3. Vom österreichischen Konsortium werden im IEA HPP Annex 32 11 Anlagen vermessen um den Kühlbedarf der Gebäude und die Aufteilung Warmwasser und Heizung zu ermitteln. Weiters wurde ein Prototyp mit alternativem Kältemittel am Prüfstand vermessen. Das Ziel war es, optimale Systemkonfigurationen zu finden, unter denen der Energieverbrauch unter den Randbedingungen des thermischen Komforts und der auftretenden Kosten minimiert werden kann.

Österreichische Kooperation

Die österreichischen Teilnehmer im IEA HPP Annex 32 waren das IWT der TU-Graz (National Team Leader) und das AIT mit informeller Kooperation der Wärmepumpenverbände LGWA und BWP. Das AIT ist erst zu einem späteren Zeitpunkt in das Projekt eingestiegen, wobei die Mitarbeit durch die FFG im Rahmen eines eigenständigen Projekts ohne weitere Projektpartner gefördert wurde.

Projektziele des österreichischen Teilprojekts

Die Hauptzielsetzungen des österreichischen Konsortiums im Annex 32 waren:

- ⇒ Analyse ausgeführter Wärmepumpenanlagen im österreichischen Niedrigenergiehaussektor zur Schaffung einer soliden Ausgangsbasis für die weiteren Arbeiten und als Informationsquelle für die Kooperationspartner
- ⇒ Ausarbeitung von Konzepten für integrierte Wärmepumpensysteme (Heizen, Kühlen und Warmwasserbereitung) unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen und Verfügbarkeit der benötigten Komponenten
- ⇒ Realisierung einer integrierten Wärmepumpenanlage zur Demonstration der Funktionsfähigkeit und Effizienz
- ⇒ Verwertung der Ergebnisse in Österreich und Initiierung weiterer Aktivitäten
- ⇒ Durch den Informationsaustausch mit den teilnehmenden Ländern sollen die klimatischen Einflüsse auf die Anlagenkonfiguration ermittelt werden
- ⇒ Der Informationsfluss zwischen den Teilnehmerländern soll national durch Veranstaltungen und die Mitarbeit in Verbänden und Gremien an österreichische Akteure weitergeleitet werden

Die Teilnahme des AIT beschränkt sich im IEA HPP Annex 32 auf den Task 3 – „Feldtest von integrierten Wärmepumpensystemen“. Die wesentlichen Inhalte dieses Arbeitspaktes umfassen:

- ⇒ Festlegung eines geeigneten Messkonzepts
- ⇒ Funktionsüberprüfung der ausgewählten Anlagen und der Messeinrichtung
- ⇒ Zusammenfassung und Vergleich der Ergebnisse für die Verwendung im Task 4

Methodik

Das AIT führte im IEA HPP Annex 32 die Feldmessungen und Analysen von 11 Anlagen nach dem AIT Standard [ZOT02] durch. Im Zuge des Monitorings wurden die Anlagen ausgewählt, das Monitoring aufgebaut, die Anlagen vermessen und analysiert und abschließend das Monitoring wieder abgebaut.

Seit 2001 werden Anlagen nach dem entwickelten AIT- Standardmonitoring vermessen. Das Monitoring ist in drei Stufen gegliedert (Abbildung 1):

1. Um alle erforderlichen Daten aufnehmen zu können, die nicht von der Datenerfassung aufgezeichnet werden, muss vom Installateur ein Fragebogen zu seiner Anlage ausgefüllt werden.

2. Vom Datenlogger werden die Messwerte der Anlage automatisch erfasst und mittels GSM-Modem an den Monitoring - Server im AIT weitergeleitet.
3. Im dritten Schritt werden die Daten mittels einer dafür entwickelten Datenbank ausgewertet, analysiert und anschließend die Ergebnisse interpretiert.

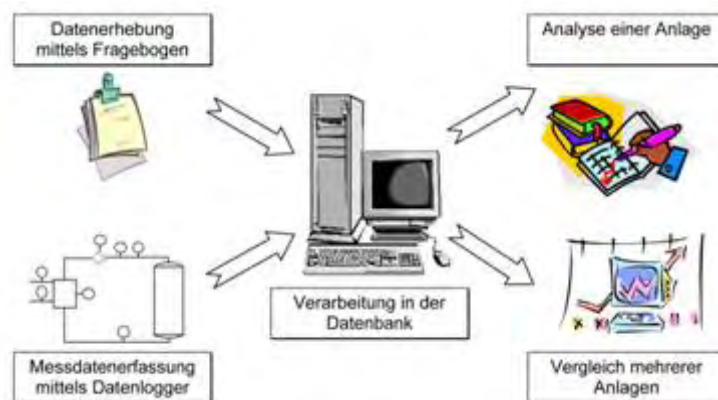


Abbildung 1: Datenfluss von der Datenerhebung bis zur Auswertung

Mit den Daten aus dem Fragebogen, der Messdatenerfassung und den daraus berechneten Messergebnissen, werden die Anlagen in den Objekten charakterisiert. Der Fragebogen gibt Aufschluss über die Art der Wärmepumpe, die Heizleistung, die Art der Wärmequelle, die Art der hydraulischen Einbindung, die Art des Wärmeabgabesystems, die Betriebsweise und die Art der Warmwasserbereitung. An Hand der Messdaten können neben den Verläufen der Temperaturen der Wärmequellen- (WQA) und Wärmenutzeranlage (WNA) auch die Betriebsstunden, die Schalthäufigkeit der Wärmepumpe und die Jahresarbeitszahl der Anlage ermittelt werden. Zusätzlich wurden die Jahresarbeitszahlen (JAZ) in den unterschiedlichen Betriebsmodi, der Kühlbedarf der Gebäude und die Aufteilung Warmwasser und Heizung ermitteln.

Durchführung des Monitorings

Die Anlage wurde gemeinsam mit dem Hersteller der Wärmepumpe und AIT ausgewählt. Dazu musste das Gebäude außen fertig verputzt und bezogen sein. Die Montage des Wärmemengenzählers erfolgte durch den Anlagenbauer. Die ordnungsgemäße Montage des Wärmemengenzählers und die Montage des Messtechnikschrankes wurde durch einen AIT Mitarbeiter durchgeführt. Während des Beobachtungszeitraumes wurden in regelmäßigen Abständen die Daten auf Plausibilität geprüft. Nach Beendigung der Messung wurden die Messdaten ausgewertet, analysiert und zusammengefasst. Die Messwerte der Energie- und Statuszähler wurden alle 15 Minuten ausgelesen und im Datalogger gespeichert.

Systemgrenzen:

Die Effizienz einer Wärmepumpenanlage kann durch die Jahresarbeitszahl dargestellt werden. Das Ergebnis der Berechnung ist abhängig von der Wahl der Systemgrenze. Zur Jahresarbeitszahlberechnung wurde zwischen den folgenden 3 Systemgrenzen unterschieden.

SPF- Systemgrenze 1 ermöglicht die Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ohne Hilfsantriebe und stellt die Effizienz des Kältekreislaufes dar.

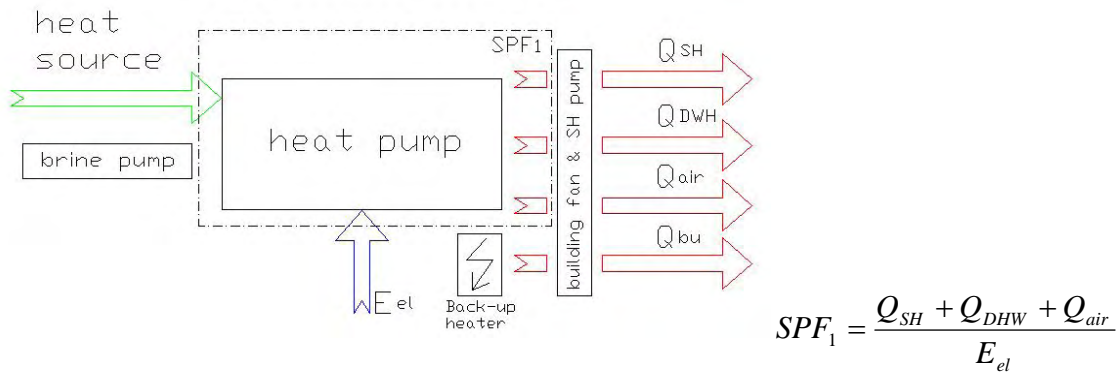


Abbildung 2: Energieflussbild für SPF 1

SPF- Systemgrenze 2 stellt die Jahresarbeitszahl inklusive der Hilfsantriebe für die Erschließung der Wärmequelle und - falls vorhanden - die elektrische Zusatzheizung dar.

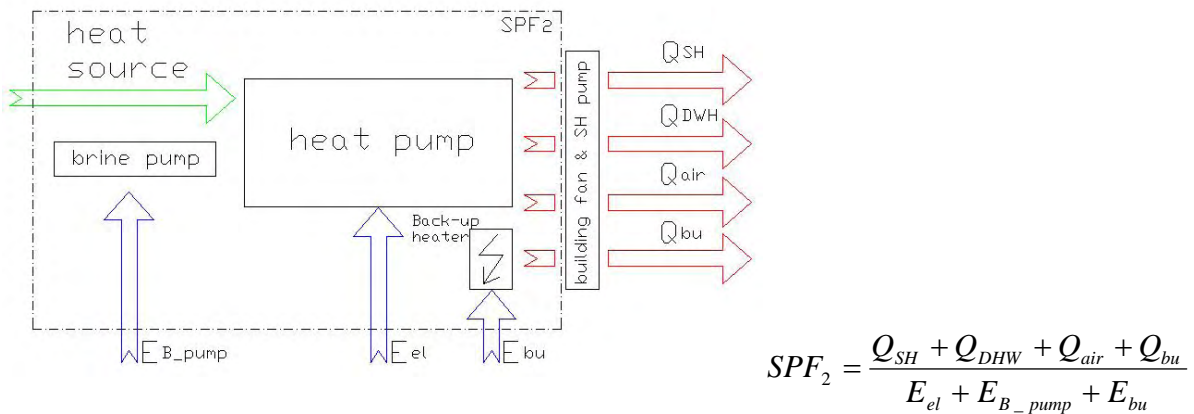


Abbildung 3: Energieflussbild für SPF 2

SPF- Systemgrenze 3 ermöglicht die Berechnung der Jahresarbeitszahl mit der gesamten produzierten thermischen Energie dividiert durch den Energieverbrauch der Wärmepumpe und allen Hilfsantrieben.

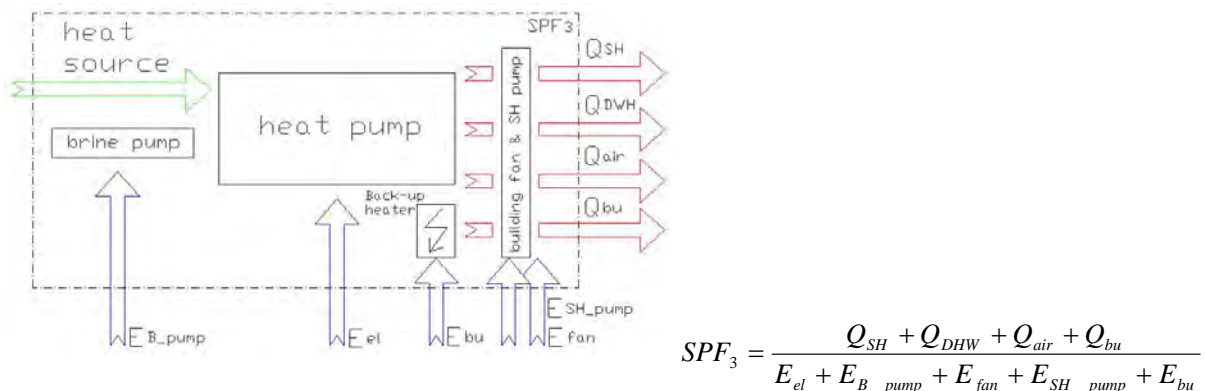


Abbildung 4: Energieflussbild für SPF 3

Legende:

| | | |
|----------------------|--|-------|
| SPF | Jahresarbeitszahl | [-] |
| Q _{SH} | Monatliche Wärmeabgabe für Heizung | [kWh] |
| Q _{DHW} | Monatliche Wärmeabgabe für Brauchwasser | [kWh] |
| Q _{air} | Monatliche Wärmeabgabe für Lüftung ¹⁾ | [kWh] |
| Q _{bu} | Monatliche Wärmeabgabe für Back-up | [kWh] |
| E _{el} | Monatliche elektrische Energie für Kompressor | [kWh] |
| E _{SH pump} | Monatliche elektrische Energie für Heizkreispumpe (ohne Kühlung) | [kWh] |
| E _{B pump} | Monatliche elektrische Energie für Sole-Pumpe (ohne Kühlung) | [kWh] |
| E _{fan} | Monatliche elektrische Energie für Ventilator | [kWh] |
| E _{bu} | Monatliche elektrische Energie für Back-up | [kWh] |

¹⁾ nur für die Berechnung der Kompaktgeräte

Für den Vergleich der untersuchten Anlagen wurde die Systemgrenze SPF 2 gewählt, da dadurch ein Vergleich mit herkömmlichen Heizungssystemen wie Gas- und Ölkessel möglich ist. Sollte beispielsweise eine Sole/Wasser-Wärmepumpe direkt ohne einen Heizungspufferspeicher in das Heizsystem eingebunden sein, so wird von den Hilfsantrieben nur die Sole-Pumpe in der Berechnung berücksichtigt.

Die Berechnung für die 9 konventionellen Wärmepumpen wurde mittels SPF 2 durchgeführt. Für die zwei Kompaktgeräte wurden zusätzlich die Ergebnisse anhand der Systemgrenzen SPF 1 und SPF 2 dargestellt.

SPF- Systemgrenze für Kühlung wird nur bei den Kompaktgeräten verwendet. In diesem Fall wird die gesamte produzierte thermische Kühlenergie durch den Energieverbrauch der Sole-Pumpe und Heizkreispumpe dividiert.

$$SPF_{cool} = \frac{Q_{cool}}{E_{pumps}}$$

Legende:

| | | |
|---------------------|--|-------|
| SPF _{cool} | Jahresarbeitszahl (Kühlen) | [-] |
| Q _{cool} | Monatliche Wärmeabgabe an das Erdreich (Kühlen) | [kWh] |
| E _{pumps} | Monatliche elektrische Energie für Sole-Pumpe und Heizkreispumpe | [kWh] |

Ergebnisse des Projektes

Im Zuge des IEA HPP Annex 32 wurden 11 Anlagen für die Messperiode von einem Jahr messtechnisch erfasst. In den folgenden Auswertungen wird zwischen 9 konventionellen Anlagen und 2 Anlagen mit Kompaktgeräten unterschieden. Anschließend werden die gesammelten Ergebnisse der 11 untersuchten Anlagen bereits durchgeführten Wärmepumpenfeldmessungen in der Schweiz und in Deutschland gegenübergestellt.

Anlagenüberblick:

In der unten angeführten Grafik sind die 11 analysierten Wärmepumpenanlagen dargestellt. Diese befinden sich in Niederösterreich, Oberösterreich und in der Steiermark und vertreten die, in Österreich gängigen, Wärmepumpensysteme. Dabei handelt es sich um vier Sole/Wasser-Wärmepumpensysteme, drei Luft/Wasser-Systeme, ein Wasser/Wasser-System, ein Direktverdampfersystem und zwei Sole/Wasser-Kompaktgeräte.



| Nr. | Ort | Personenanzahl | Heizleistung [kW] | System |
|-----------------|----------------|----------------|-------------------|--------|
| Standardanlagen | | | | |
| 1 | Weinzierl | 4 | 11,8 | BW |
| 2 | Lengenfeld | 5 | 11,8 | BW |
| 3 | Felling | 4 | 11,8 | BW |
| 4 | Behamberg | 4 | 8,0 | BW |
| 5 | St. Peter/Au | 6 | 19,4 | WW |
| 6 | Bad Vöslau | 4 | 10,3 | AW |
| 7 | Klein Meisdorf | 5 | 33,0 | AW |
| 8 | Ohlsdorf | 4 | 15,1 | DXW |
| 9 | Rutzenmoos | 2 | 8,3 | AW |
| Kompaktgeräte | | | | |
| 10 | Hitzendorf | 4 | 3,3 | BW |
| 11 | Judendorf | 4 | 3,3 | BW |

Abbildung 5: Anlagenüberblick

Analyse der 9 konventionellen Wärmepumpen:

Alle 9 Anlagen werden in Einfamilienhäusern eingesetzt. Je nach Systemausführung wurde das Brauchwasser mit der Heizungswärmepumpe oder mit einem separaten Wärmebereitstellungssystem erwärmt. Für die energetische Betrachtung wurde nur die Wärmeabgabe durch das Wärmepumpensystem, wie im Kapitel „Systemgrenzen“ beschrieben, erfasst. Die folgende Tabelle 1 zeigt eine Auflistung aller relevanten Daten der untersuchten Wärmepumpensysteme. Die Rubriken Objekt, Wärmepumpe, Wärmequelle und Wärmesenke geben einen Überblick über die Daten der Anlagenplanung, die mit Hilfe eines Fragebogens erhoben wurden. Zum Abschluss werden die Monitoring-Resultate unter den Temperaturbedingungen unter denen die Anlagen betrieben wurden, die Wärmeabgabe der einzelnen Betriebsmodi und die erreichten Jahresarbeitszahlen dargestellt.

| Objekt | Nr. | - | No. 1: BW | No. 2: BW | No. 3: BW | No. 4: BW | No. 5: W/W | No. 6: AW | No. 7: AW | No. 8: DX/W | No. 9: AW | |
|----------------------|--|----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|--------------|------------|------------------|-------------|------------|---|
| | Standort | - | Weinzierl | Lengenfeld | Felling | Behamberg | St. Peter/Au | Bad Vöslau | Klein Meiseldorf | Ohlsdorf | Rutzenmoos | |
| | Heizlast | kW | 12,7 | 10,6 | 9,3 | 7,0 | 16,2 | 9,3 | 23,0 | 8,0 | 6,7 | |
| | beheizte Fläche | m ² | 295 | 210 | 272 | 190 | 264 | 160 | 500 | 189 | 309 | |
| | spez. Heizlast | W/m ² | 43 | 50 | 34 | 37 | 61 | 58 | 46 | 42 | 22 | |
| | spez. Heizenergiebedarf | kWh/m ² a | | | | 45 | 50 | | | | 28 | |
| | Bewohner | - | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 5 | 4 | 2 | |
| | Gebäudekonstruktion | - | mittel | mittel | mittel | leicht | mittel | mittel | mittel | mittel | mittel | |
| | Inbetriebnahme | - | 2006 | 2004 | 2004 | 2004 | 2004 | 2004 | 2007 | 2001 | 2006 | |
| Wärmepumpe | Leistung der WP | kW | 11,8 | 11,8 | 11,8 | 8,0 | 19,4 | 10,3 | 33,0 | 15,1 | 8,3 | |
| | A/W | - | | | | | | x | x | | x | |
| | B/W | - | x | x | x | x | | | | | | |
| | W/W | - | | | | | x | | | | | |
| | DX/W | - | | | | | | | | x | | |
| Wärmequelle | Horizontaler Kollektor | - | x | | | x | | | | x | | |
| | Vertikaler Kollektor | - | | x | x | | | | | | | |
| Wärmesenke | Fußbodenheizung | m ² | 295,0 | 207,0 | 272,0 | 145,0 | 241,0 | 115,0 | | 154,3 | 309,0 | |
| | Wandheizung | m ² | | 10,0 | | | | | | | | |
| | Radiator | - | | | | | | | x | | | |
| | Brauchwasser mit Wärmepumpe | - | | | x | | x | x | | | x | |
| | Brauchwasser mit separater WP | - | x | x | | x | | | x | x | | |
| | Komfortlüftung | - | x | x | - | - | - | - | - | - | - | x |
| Monitoring Resultate | Wärmeabgabe | | | | | | | | | | | |
| | Wärmeabgabe Gesamt | kWh | 16840 | 11308 | 15191 | 11318 | 19250 | 22835 | 54008 | 11821 | 13036 | |
| | Wärmeabgabe Heizung | kWh | 16840 | 11308 | 13624 | 11318 | 16273 | 11871 | 50511 | 11821 | 10567 | |
| | Wärmeabgabe Brauchwasser | kWh | | | 1567 | | 2977 | 10964 | 3497 | | 2469 | |
| | Jahresarbeitszahl (SPF- seasonal performance factor) | | | | | | | | | | | |
| | SPF 2 | - | - | - | 4,0 | - | 4,2 | 3,0 | 3,1 | - | 3,5 | |
| | SPF Heizung (SPF 2) | - | 4,6 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 3,6 | 3,2 | 4,1 | 3,4 | |
| | SPF Brauchwasser (SPF 2) | - | - | - | 2,4 | - | 3,1 | 2,5 | 2,6 | - | 3,6 | |
| | Temperaturen | | | | | | | | | | | |
| | mittlere VL-Temp. im Heizbetrieb (WP) | °C | 28,6 | 30,4 | 33,7 | 30,7 | 36,9 | 31,6 | 34,3 | 35,1 | 31,2 | |
| | mittlere VL-Temp. im Heizbetrieb (WQA) | °C | 6,0 | 5,9 | 8,5 | 4,1 | 13,8 | - | - | - | - | |
| | mittlere Außentemperatur an Heiztagen | °C | 4,4 | 5,2 | 3,8 | 4,1 | 4,6 | 4,9 | 4,0 | 5,4 | 5,6 | |
| | mittlere Innentemperatur an Heiztagen | °C | 23,2 | 20,9 | 22,5 | 23,7 | 21,6 | 23,3 | 18,4 | 23,2 | 21,8 | |

Tabelle 1: Daten der konventionellen WP- Anlagen

Ergebnisse Anlagenplanung/Ausführung

Tabelle 2 zeigt die Systemeinkbindung der Wärmepumpen der 9 untersuchten Anlagen. Auffällig ist, dass bei allen erdreichgekoppelten Anlagen der Heizungsspeicher entfällt. Bei diesen Anlagen wurde das Heizungsabgabesystem als Fußbodenheizung ausgeführt, wodurch der Estrich als Speichermasse genutzt und somit auf eine zusätzliche Speicherladepumpe und den Heizungspufferspeicher verzichtet werden konnte. Die Anlagen mit Luftwärmepumpen wurden trotz Fußbodenheizungen mit Pufferspeicher im Heizungssystem ausgeführt. Der Pufferspeicher verhindert

im Abtaubetrieb mittels Kreislaufumkehr, dass direkt dem Gebäude beim Abtauzyklus Wärme entzogen wird.

Die Brauchwasserbereitung erfolgte bei 4 der 9 untersuchten Anlagen mit der Heizungswärmepumpe; bei den Anlagen 1 und 2 mit einem kontrollierten Wohnraumlüftungsgerät mit aktiver Wärmerückgewinnung und bei den Anlagen 4, 7 und 8 mit Brauchwasserwärmepumpen.

| | Heizbetrieb | Brauchwasser- betrieb | Heizungspuffer- speicher | Brauchwasser- speicher |
|-------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| No. 1: B/W | X | - | - | - |
| No. 2: B/W | X | - | - | - |
| No. 3: B/W | X | X | - | X |
| No. 4: B/W | X | - | - | - |
| No. 5: W/W | X | X | - | X |
| No. 6: A/W | X | X | X | X |
| No. 7: A/W | X | - | X | - |
| No. 8: DX/W | X | - | - | - |
| No. 9: A/W | X | X | X | X |

Tabelle 2: Systemeinbindung der Wärmepumpen

In Abbildung 6 werden die bei der Anlagenplanung berechneten Heizlasten den vom Installateur gewählten Wärmepumpenheizleistungen gegenübergestellt. In allen Fällen, ausgenommen Anlage Nr. 1, wurde eine Wärmepumpe mit größerer Heizleistung, als es der berechneten Heizlast des Gebäudes entspricht, gewählt. Als Gründe für die „Überdimensionierung“ sind zu nennen: die Wärmepumpe übernimmt zusätzlich zur Heizfunktion die Brauchwasserbereitung; die Energieversorgung der Wärmepumpe ist mit Sperrzeiten verbunden. Eine andere Erklärung wäre schlicht die „Überdimensionierung“ aus Sicherheitsgründen. Eine Überdimensionierung wirkt sich auf Wärmepumpen negativ aus, da höhere Ein-/Auszyklen des Verdichters auftreten, wodurch die Effizienz der Anlage abnimmt und die Lebensdauer des Verdichters verkürzt wird.

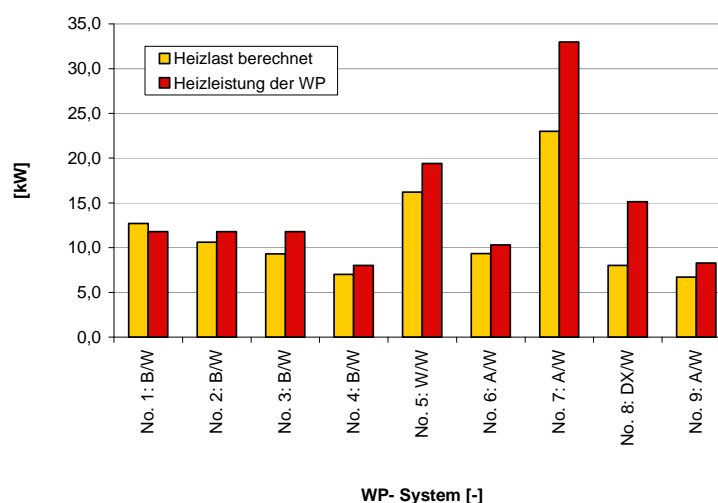


Abbildung 6: Vergleich von Heizlast zu gewählter Wärmepumpenleistung

Gegenüberstellung der Messergebnisse der Anlagen

Für die Qualifizierung als Niedrigenergiehaus muss der jährliche spezifische Energiebedarf ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) kleiner $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ sein. Nachdem während der Planung der untersuchten Wohnobjekte eine solche Berechnung nur für die Anlagen 4, 5 und 9 durchgeführt worden ist, konnte auch nur für diese drei Anlagen ein Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Werten durchgeführt werden. Für die anderen Systeme wurde nur der gemessene jährliche spez. Energiebedarf in Abbildung 7 dargestellt. Vergleicht man den berechneten mit dem, durch das Monitoring ermittelten, spezifischen Energiebedarf, so zeigt sich, dass der gemessene Wert stets höher ist als der Berechnete. Nachdem die Messungen die Wärmeabgabe an das System erfassen und somit die Verteilverluste im Gebäude enthalten sind, entsprechen die gemessenen Werte nicht dem Heizwärmebedarf des Gebäudes. Zusätzlich lässt sich die Tendenz zu höheren Messwerten durch den Einfluss des Nutzerverhaltens erklären. Während die Berechnung auf einer Innentemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ basiert, weisen die untersuchten Anlagen eine mittlere Raumtemperatur an Heiztagen von $22 \text{ }^\circ\text{C}$ auf.

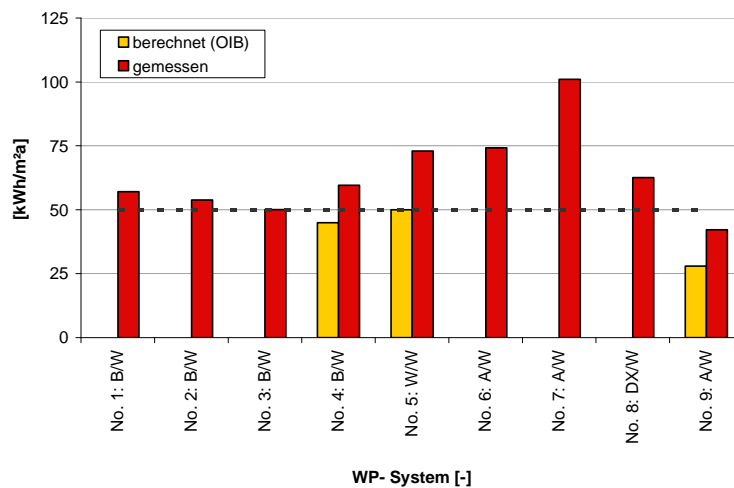


Abbildung 7: spezifischer Wärmebedarf der betrachteten Objekte

Bei den Wärmepumpensystemen Nr. 3, 5, 6 und 9 wurde die Heizungswärmepumpe - neben dem Heizbetrieb - auch für die Brauchwasserbereitung eingesetzt. Bei der Anlage 7 erfolgte die Brauchwasserbereitung mit einer Brauchwasserwärmepumpe, welche zusätzlich messtechnisch erfasst wurde. Abbildung 8 stellt die Wärmeabgabe der Systeme während der Messperiode dar. Der rote Teil des Balkens repräsentiert dabei die Wärmeabgabe für die Brauchwasserbereitung.

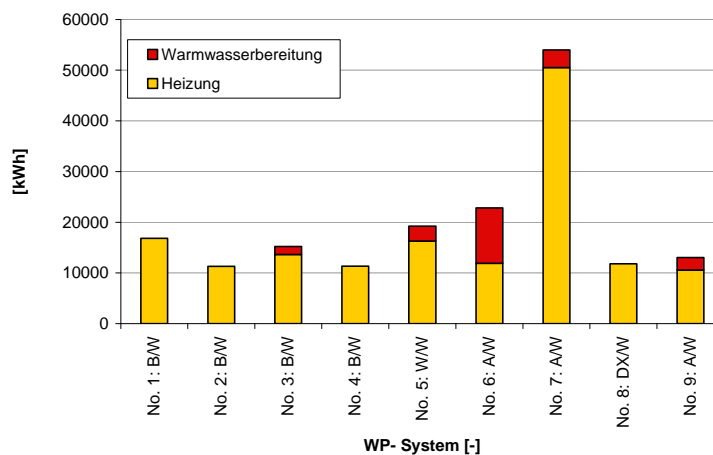


Abbildung 8: Wärmeabgabe der konventionellen Systeme

Abbildung 9 zeigt die anteilmäßige Verteilung des Energiebedarfs zur Raumheizung und Brauchwasserbereitung. Wie ersichtlich, weist der Brauchwasserbedarf der untersuchten Anlagen mit Werten zwischen 6,5 % und 48 % am gesamt Wärmebedarf eine große Streuung auf. Abgesehen von den Anlagen 6 und 7, liegen die Ergebnisse der untersuchten Anlagen in einem vergleichbaren Bereich von 10 % bis 19 % Brauchwasseranteil. Dies entspricht in etwa den im Zuge des ISE Monitorings [ISE09] erhobenen Anteilen, die für den Neubau bei 22 % sowie im Gebäudebestand bei 12 % Brauchwasseranteil lagen. Bei der Anlage 7 beträgt der Anteil für Brauchwasser für 5 Personen nur 6,47 %. Diese Abweichung lässt sich am Besten durch die große Wohnfläche von 500 m² in einem sanierten Altbau sowie den dadurch höheren Wärmebedarf im Heizbetrieb erklären. Die Anlage Nr. 6 hingegen hat mit 48 % einen relativ hohen Warmwasseranteil. Dieser erhöhte Warmwasserbedarf lässt sich auf das Benutzerverhalten der Hausbewohner zurückführen, die angaben, täglich mehrmals zu duschen.

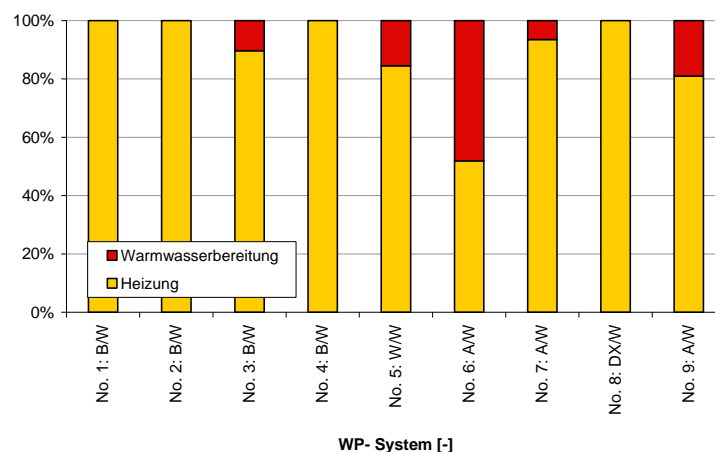


Abbildung 9: Anteilmäßige Verteilung der Wärmeabgabe (konventionelle Systeme)

Jahresarbeitszahlen

Die Berechnung der JAZ der 9 untersuchten konventionellen Anlagen erfolgte gemäß der Definition der Systemgrenzen für SPF 2. In Abbildung 10 sind die JAZ in den Betriebsmodi Heizung und Brauchwasserbereitung dargestellt. Da nicht alle untersuchten Systeme das Brauchwasser mit der Heizungswärmepumpe bereitstellen, wurde der Vergleich der JAZ nur im Heizungsbetrieb durchgeführt. Während der Feldmessungen erreichten die erdreichgekoppelten Anlagen eine JAZ zwischen 4,1 und 4,8, während die drei Luft/Wasser-Systeme in einem Jahresarbeitszahlbereich zwischen 3,2 und 3,6 lagen. Für die Brauchwasserbereitung wurden JAZ zwischen 2,4 und 3,6 ermittelt. Die anteilmäßige Verteilung zwischen Heizung und Warmwasser hat einen großen Einfluss auf die JAZ des Gesamtsystems. So hat beispielsweise das System Nr. 3 die geringste JAZ mit 2,4 für die Brauchwasserbereitung, durch den anteilmäßig hohen Wärmebedarf der Heizung wirkt sich dies nur gering auf die Gesamt-JAZ aus.

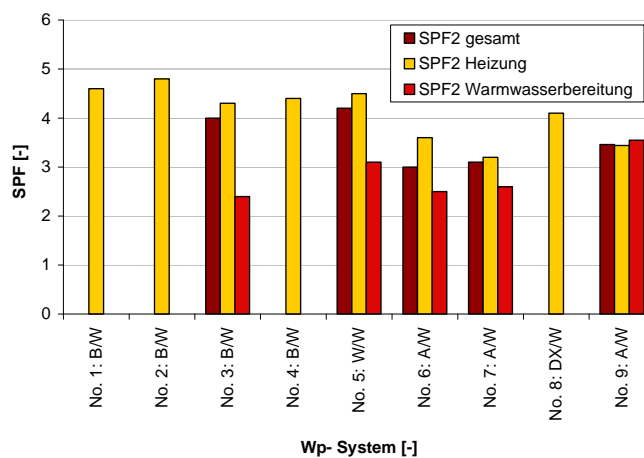


Abbildung 10: Jahresarbeitszahlen in verschiedenen Betriebsmodi

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Gebäudestandard und JAZ konnte nicht nachgewiesen werden, da alle untersuchten Wärmepumpensysteme als Niedertemperaturheizungssysteme konzipiert wurden. Die mittleren Heizungsvorlauftemperaturen im Betrieb der Anlagen bewegten sich zwischen 28,6°C (Anlage 1) und 36,9°C (Anlage 5).

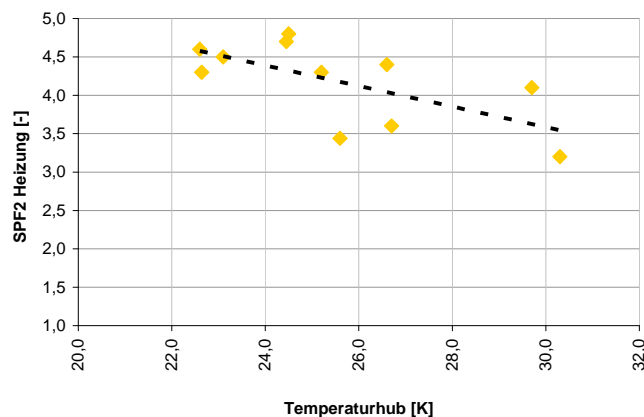


Abbildung 11: Abhängigkeit der JAZ zu Temperaturhub

Bei Betrachtung der JAZ in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellen- und Wärmenutzerseite ist ersichtlich, dass die Jahresarbeitszahl mit steigender Temperaturdifferenz

abnimmt (Abbildung 11). Die Temperaturdifferenz wird aus mittlerer Wärmequellen- und Wärmenutzertemperatur im Betrieb berechnet.

Kühlbedarf

Im IEA HPP Annex 32 wurden wirtschaftliche Heiz- und Kühlsysteme für Niedrigenergiegebäude untersucht. Die Betrachtung des Kühlbedarfes der 9 untersuchten konventionellen Anlagen erfolgte mit Hilfe der Berechnung der Kühlstage (KT) und Kühlgradtage (KGT). Eine direkte Messung war nicht möglich, da die untersuchten Systeme für die reine Wärmebereitstellung konzipiert wurden.

In Österreich sind im Moment die Heiztage (HT) und Heizgradtage (HGT) in der OIB Richtlinie 6 [OIB07] definiert. Die Bezeichnung HT (12) und HGT (12/20) für die Heiztage respektive Heizgradtage ist in Österreich üblich. Heiztage (HT) sind jene Tage, an denen die durchschnittliche Außentemperatur kleiner 12°C ist. Für die weitere Berechnung der HGT wurde die Innentemperatur gemäß Richtlinie mit 20 °C angenommen.

Die Berechnung der KGT ist bis jetzt in Österreich normativ nicht festgehalten. In der internationalen Literatur dominiert die „amerikanische“ Definition der KGT [SMC07]. Dabei wird der „Balancepunkt“ bei 18,3°C (65°F) angesetzt. Sobald die durchschnittliche Außentemperatur 18,3°C unterschreitet, werden die HGT berechnet; bei Überschreiten der Temperatur werden die KGT kalkuliert. Da es in Österreich nicht üblich ist, die Innentemperatur während der Sommer- bzw. Kühlsaison unter 20°C zu halten, wurden die KT (25) und KGT (25/23) berechnet, um die Auswirkung der gewählten Temperaturen auf die Resultate der Berechnung sehen zu können. Zur Darstellung der HGT und KGT der Systeme wurden folgende Temperaturen gewählt:

- HT (12) / HGT (12/20):
 - Durchschnittliche Außentemperatur ≤ 12 °C
 - Innentemperatur 20°C
$$HGT(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (20 - \theta_t)$$

für Tage an denen: $\theta_t \leq 12^\circ\text{C}$

- KT (18,3) / KGT (18,3/18,3):
 - Durchschnittliche Außentemperatur $\geq 18,3$ °C
 - Innentemperatur 18,3°C
$$KGT(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (\theta_t - 18,3)$$

für Tage an denen: $\theta_t \geq 18,3^\circ\text{C}$

- KT (25) / KGT (25/23):
 - Durchschnittliche Außentemperatur ≥ 25 °C
 - Innentemperatur 23°C
$$KGT(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (\theta_t - 23)$$

für Tage an denen: $\theta_t \geq 25^\circ\text{C}$

Abbildung 12 zeigt die Heiz- und Kühlstage der untersuchten Anlagen. Bei der Berechnung der KT (18,3) liegen die Werte der Anlagen im Untersuchungszeitraum zwischen 44 und 92 Kühltagen. Die Berechnung der KT (25) liefert Resultate im Bereich zwischen 1 und 6 Tagen. Der Vergleich von KT (18,3) und KT (25) zeigt, dass die Wahl der Außentemperatur großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Die Beurteilung des Kühlbedarfes der Gebäude in Österreich mit KT (25) lässt somit auf einen nicht vorhandenen Kühlbedarf der Objekte schließen. Im Gegensatz dazu liefern die Heiztage Werte in einem Bereich zwischen 190 und 229 Tagen.

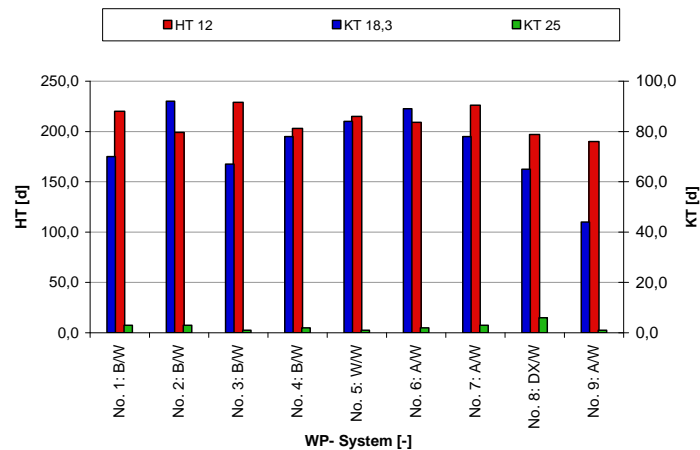


Abbildung 12: Heiz- und Kühltage der konventionellen Anlagen

In der folgenden Abbildung 13 werden die WP-Systeme betreffend ihrer Heiz- und Kühlgradtage verglichen. Wie auch in Abbildung 12 werden die Resultate maßgeblich von der gewählten Außentemperatur für die Berechnung beeinflusst. Die Berechnung der Kühlgradtage KGT (25/23) ergibt sehr kleine KGT zwischen 3 und 20 Kd. Dies bestätigt die Interpretation der KT(25), dass kein Kühlbedarf vorhanden war.

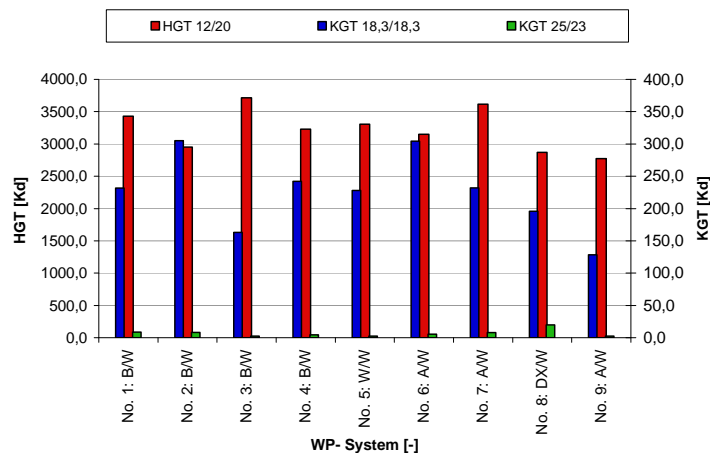


Abbildung 13: Heiz- und Kühlgradtage der konventionellen Systeme

Die Berechnung der KT (25) und KGT (25/23) zeigt, dass es bei den 9 untersuchten Gebäuden, die mit konventionellen Systemen ausgestattet sind, keinen Kühlbedarf gibt. Dieses Ergebnis lässt sich damit begründen, dass zum einen die untersuchten Gebäude keine großzügigen Glasflächen mit südlicher oder westlicher Ausrichtung aufweisen. Zum anderen sind, abgesehen Anlage 4, alle Gebäude als Massivhäuser ausgeführt, wo die Speichermasse der Gebäudesubstanz der sommerlichen Überwärmung entgegenwirkt.

Analyse der Kompaktgeräte in Passivhäusern:

In diesem Kapitel wird das Gesamtkonzept der erdreichgekoppelten Kompaktgeräte für Heizung, Brauchwasserbereitung, Lüftung und Passivkühlung für Passivhäuser betrachtet und die Messergebnisse aus der Messperiode 2008 bis 2009 dargestellt. Die Resultate der Anlagen 10 und 11 werden einzeln untersucht; bei der Anlage 11 wird noch zusätzlich die Vorwärmung durch den Unterkühler, die Wärmequellentemperatur in der Heizperiode und der Passivkühlbetrieb genauer betrachtet.

Funktionsschema der Kompaktgeräte

Die Kompaktgeräte sind für eine maximale Heizleistung von 4 kW konzipiert. Durch die niedrige Leistung der Geräte und den damit verbundenen geringen Entzugsleistungen aus dem Erdreich kann der Solekollektor direkt im Arbeitsgraben rund um das Gebäude errichtet werden. Der Solekollektor wird üblicherweise als 200 m Rohrleitung mit 1" Durchmesser ausgeführt. Er dient im Heizbetrieb als Wärmequelle und im Sommer als Wärmesenke zur Passivkühlung. Abbildung 14 zeigt das Schema der beiden „Drexel und Weiss“ Kompaktgeräte. Der Wärmeübertrager WT2 ist der Kondensator der Wärmepumpe und gibt die Wärme je nach Betriebsmodi an das Flächenheizungssystem oder den Brauchwasserspeicher ab. Für den Passivkühlbetrieb wird über den Wärmeübertrager WT3 die Wärme im Gebäude an den Solekollektor abgegeben. Die Verbindung der Wärmepumpe und der kontrollierten Wohnraumlüftung erfolgt über den in Abbildung 14 rot markierten „Unterkühler“. Dieser Wärmeübertrager ist in die Lüftungseinheit vor dem Kreuzstromwärmeübertrager integriert und gewährleistet die Unterkühlung des Kältemittels im Kältekreislauf vor dem Expansionsventil. Zusätzlich dient dieser Wärmeübertrager zur Vorwärmung der Außenluft und zur Eisfreihaltung des Kreuzstromwärmeübertragers.

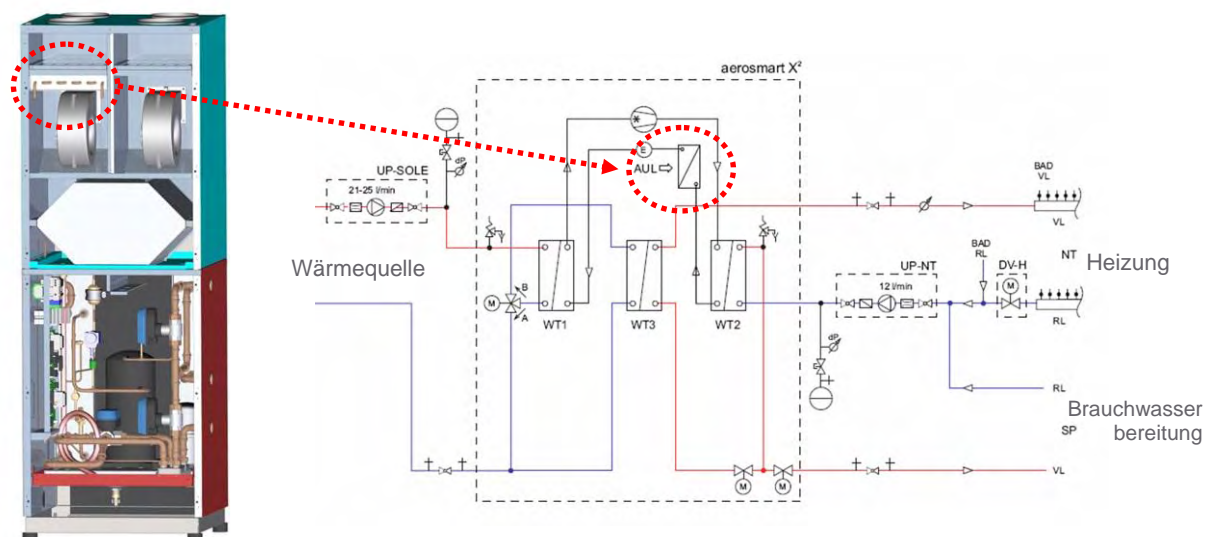


Abbildung 14: Schema des Kompaktgerätes, Quelle: [DUW10]

Anlagenparameter der Systeme mit Kompaktgeräte

Die Ergebnisse aus den Fragebögen zu den zwei untersuchten Anlagen mit Kompaktgeräten und die wichtigsten Resultate aus den Messungen sind in der folgenden Tabelle 3 zusammen gestellt. In den Rubriken Objekt, Wärmepumpe, Wärmequelle, Wärmesenke können die Kenndaten der beiden Anlagen verglichen werden. Im Abschnitt Monitoring-Resultate werden die Effizienz und die Rahmenbedingungen für den Wärmepumpenbetrieb dargestellt.

| | | | | |
|---------------------------------------|--|------------------|-------------|-------------|
| Objekt | Nr. | - | No. 10: B/W | No. 11: B/W |
| | Standort | - | Hitzendorf | Judendorf |
| | Heizlast | kW | 3,8 | 3,5 |
| | beheizte Fläche | m ² | 180 | 210 |
| | spez. Heizlast | W/m ² | 21 | 17 |
| | Bewohner | - | 4 | 4 |
| | Gebäudekonstruktion | - | mittel | mittel |
| | Inbetriebnahme | - | 2008 | 2008 |
| Wärmepumpe | Leistung der WP | kW | 6,3 | 6,3 |
| | A/W | - | | |
| | B/W | - | x | x |
| | W/W | - | | |
| | DX/W | - | | |
| Wärmequelle | Horizontaler Kollektor | - | x | x |
| | Vertikaler Kollektor | - | | |
| Wärmesenke | Fußbodenheizung | m ² | | 130,0 |
| | Wandheizung | m ² | 80,0 | |
| | Brauchwasser mit Wärmepumpe | - | x | x |
| | Brauchwasser mit separater Wärmepumpe | - | | |
| | Komfortlüftung | - | x | x |
| Monitoring Resultate | Wärmeabgabe | | | |
| | Wärmeabgabe Gesamt | kWh | 12700 | 9369 |
| | Wärmeabgabe Heizung | kWh | 6302 | 5823 |
| | Wärmeabgabe Lüftung | kWh | 1804 | 918 |
| | Wärmeabgabe Brauchwasser | kWh | 3511 | 1539 |
| | Wärmeabgabe an das Erdreich (Kühlen) | kWh | 1083 | 1089 |
| | Jahresarbeitszahl (SPF- seasonal performance factor) | | | |
| | SPF 1 | | 4,8 | 4,6 |
| | SPF 2 | - | 4,3 | 4,1 |
| | SPF Heizung (SPF 2) | | 4,7 | 4,3 |
| | SPF Brauchwasser (SPF 2) | - | 3,6 | 3,7 |
| | SPF 3 | - | 3,7 | 3,4 |
| | SPF (Kühlung) | | 4,7 | 9,0 |
| | Temperaturen | | | |
| | mittlere VL-Temp. im Heizbetrieb (WP) | °C | 35,4 | 29,2 |
| | mittlere VL-Temp. im Heizbetrieb (WQA) | °C | 6,6 | 2,9 |
| | mittlere Außentemperatur an Heiztagen | °C | 4,4 | 4,7 |
| mittlere Innentemperatur an Heiztagen | °C | 23,2 | 21,9 | |

Tabelle 3: Daten der Kompaktgeräte

Anlage 10 - Hitzendorf

Die vermessene Anlage 10 befindet sich in Hitzendorf in der Nähe von Graz. Das Passivhaus, in der die Anlage integriert ist, wird von zwei Erwachsenen und zwei Kindern bewohnt. Das Wärmeabgabesystem wurde als Wandheizungssystem ausgeführt und wird mit mittleren Vorlauftemperaturen von 32 °C betrieben. In Abbildung 15 ist die Betriebsstundenverteilung der Vorlauftemperaturen im Heizungssystem dargestellt. Die grün markierte Häufung der Betriebstunden rund um 40 °C entstand durch die Aktivierung der „Badezimmerfunktion“. Diese Funktion ermöglicht die Beheizung des Badezimmers in der Übergangszeit, wenn der Heizbetrieb der Wärmepumpe für die Beheizung nicht mehr ausreicht. Dazu entnimmt der Badezimmerheizkörper Wärme aus dem Brauchwasserspeicher. Die Aktivierung dieser Funktion ist auch in Abbildung 16 gut zu sehen, da hier durch die Badezimmerfunktion die Wärmeabgabe an den Brauchwasserspeicher im grün markierten Bereich angestiegen ist.

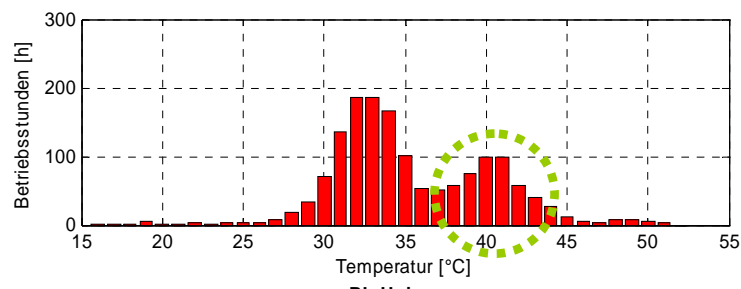


Abbildung 15: Betriebsstundenverteilung der VL- Temperaturen

In der folgenden Abbildung 16 sind die monatlichen Wärmeabgaben an die Heizung, Brauchwasserbereitung, Lüftung und die Passivkühlung den elektrischen Energieaufnahmen für die Wärmepumpe und die Hilfsantriebe gegenübergestellt. An den roten Balken für die Wärmeabgabe an die Heizung ist gut zu erkennen, dass die Monate Dezember und Jänner den höchsten Wärmebedarf aufweisen. Vernachlässigt man die zuvor beschriebene Badezimmerfunktion in den Monaten Februar bis Mai verhält sich der Wärmebedarf für die Brauchwasserbereitung annähernd konstant. Die Wärmeabgabe an die Lüftung durch den „Unterkühler“ zeigt einen Zusammenhang mit der Außentemperatur. In den kältesten Monaten Dezember und Jänner sind die Wärmeabgaben an die Lüftung am höchsten. Für die Passivkühlung zeigt sich der höchste Kühlwärmebedarf in den Monaten Juli und August, wo Außentemperaturen von bis zu 35 °C gemessen wurden.

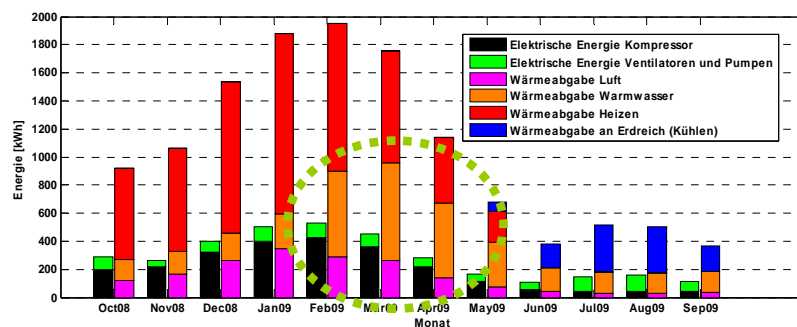


Abbildung 16: Vergleich des Energieeintrages bzw. Energieaustrages (Anlage Nr. 10)

In Abbildung 17 werden die monatlichen Arbeitszahlen gemäß den Systemgrenzen SPF_1 , SPF_2 und SPF_3 wie im Kapitel „Systemgrenzen“ beschrieben dargestellt. Für die Systemgrenze SPF_1 ohne

Hilfsantriebe beträgt der SPF im Messzeitraum 4,8. Die Jahresarbeitszahl SPF_2 wurde für den Vergleich mit den konventionellen Systemen in den SPF_2 für Heizung und SPF_2 für Brauchwasserbereitung aufgeteilt. Das gesamte System erreicht einen SPF_2 von 4,3. Bei der Aufteilung auf die Betriebsmodi betragen der SPF_2 -Heizung 4,7 und der SPF_2 -Brauchwasser 3,6. Der hohe SPF für die Brauchwasserbereitung lässt sich durch die hohen Wärmequellentemperaturen im Sommer erklären, wo durch die Passivkühlung der Solekollektor zusätzlich regeneriert und dadurch das Temperaturniveau der Wärmequelle angehoben wird. Unter Berücksichtigung aller Hilfsantriebe, wie in der Systemgrenze SPF_3 beschrieben, erreicht die Anlage einen SPF von 3,7. Der Verlauf der Monatsarbeitszahlen in Abbildung 17 zeigt, dass in den Sommermonaten Juni bis September durch den reinen Brauchwasserbetrieb die Monatsarbeitszahlen niedrigere Werte erreichen wie in den Monaten mit Heizbetrieb.

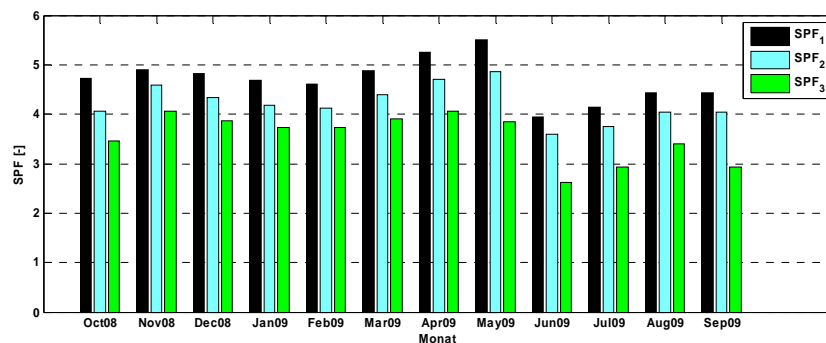


Abbildung 17: Vergleich der Monatsarbeitszahlen (Anlage Nr. 10)

Anlage 11 - Judendorf

Die Anlage 11 befindet sich in Judendorf und damit wie Anlage 10 in der Nähe von Graz. Das Gebäude ist ebenfalls als Passivhaus ausgeführt und wird von zwei Erwachsenen und zwei Kindern bewohnt. Das Anlagenkonzept ist ident mit Anlage 10, jedoch wird die Badezimmerfunktion nicht verwendet. Die Auswertung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen im Heizbetrieb zeigt, dass bei einer Gesamtbetriebsstundendauer von 1450 h in diesem Betriebsmodus die Vorlauftemperatur für rund 1000h im Bereich von 29°C und 30°C lag (Abbildung 18). Die Rücklauftemperatur schwankte für rund 900 Betriebsstunden in einem Bereich von 26°C bis 27°C.

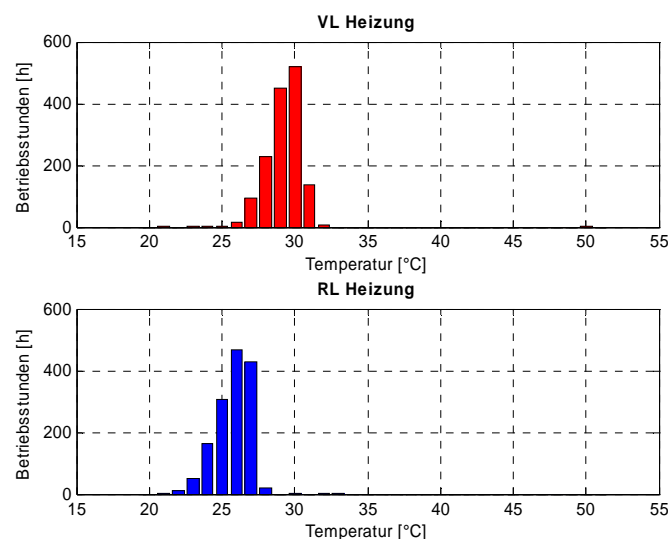


Abbildung 18: Verteilung der Temperaturen im Heizbetrieb (VL und RL)

Abbildung 19 stellt die Temperaturverteilung im Brauchwasserbetrieb dar. Für den Brauchwasserbetrieb wurden 360 h ermittelt. Am häufigsten traten die Vorlauftemperaturen im Betriebsmodus Brauchwasserbereitung im Bereich von 45°C bis 50°C auf.

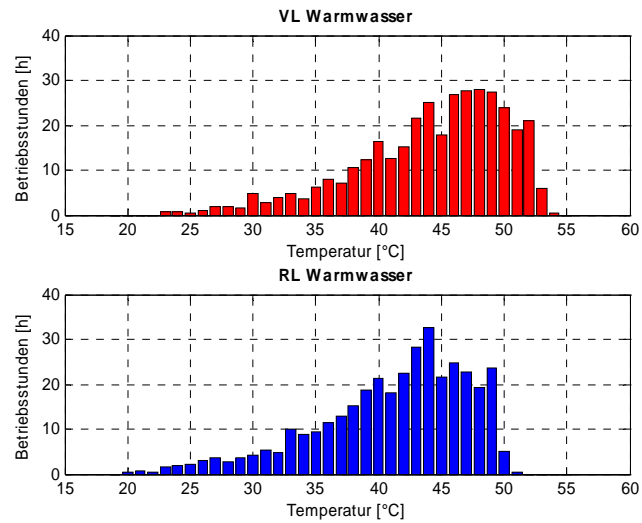


Abbildung 19: Verteilung der Temperaturen im Brauchwasserbetrieb (VL und RL)

Abbildung 20 zeigt den Betrieb des „Unterkühlers“ zur Vorwärmung der Außenluft exemplarisch an einem Wintertag, 09.01.01, 12 Uhr, bis zum 10.01.01, 12 Uhr. Die blau gepunktete Linie stellt den Temperaturverlauf der Außenluft vor dem Wärmeübertrager zur Vorwärmung dar und entspricht der Außentemperatur. Die blaue Linie zeigt die Temperatur nach der Vorwärmung durch den „Unterkühler“. Mit der rosaroten Linie wird der Betriebsstatus des Heizbetriebes dargestellt; mit der rosarot gepunkteten Linie der Brauchwasserbetrieb. Der Verlauf der Zuluft wird durch die rote Linie repräsentiert. Die grüne Linie wiederum zeigt die Ablufttemperatur und entspricht der Innenraumtemperatur, die auf Grund der Speichermasse des Gebäudes über den betrachteten Zeitraum konstant blieb und somit von den unterschiedlichen Betriebszuständen der Anlage nicht beeinflusst wurde.

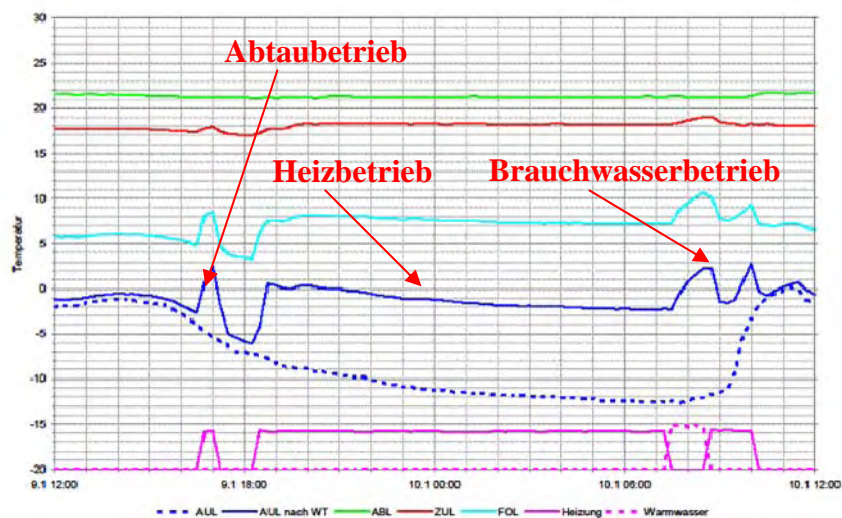


Abbildung 20: Außenluft-Vorwärmung durch Unterkühler (09.01.09-10.01.09)

Da der „Unterkühler“ im Kältekreislauf die Außenluft nur während des Betriebs der Wärmepumpe vorwärmt, muss bei Außenlufttemperaturen unter 0 °C der Heizbetrieb der Wärmepumpe für kurze Zeit aktiviert werden, um die Eisfreihaltung des Kreuzstromwärmeübertrager durch den Abtaubetrieb zu gewährleisten. Dieser Betrieb ist in Abbildung 20 durch den kurzen Anstieg der Temperatur nach dem „Unterkühler“ und der kurzen Betriebszeit im Heizungsmodus gut erkennbar. Im Heizbetrieb wird die Außenluft durch die Vorwärmung um ca. 10 K erhöht. Der Brauchwasserbetrieb der Anlage zeigt, dass durch das höhere Temperaturniveau im Kältekreislauf der Wärmepumpe bei der Brauchwasserbereitung auch die Temperatur nach dem „Unterkühler“ ansteigt.

Der Verlauf der Soletemperaturen im Heizbetrieb von November 2008 bis Mai 2009 und die Verteilung der Soletemperaturen auf die Betriebsstunden werden in Abbildung 21 dargestellt. Der Temperaturverlauf der Soletemperaturen (orange und hellblaue Linie) zeigt, dass sich in den Wintermonaten bis Ende März eine Temperatur von 0 °C beim Austritt aus dem Solekollektor einstellt. Anhand der Verteilung der Soletemperaturen kann diese Beobachtung bestätigt werden, da die Häufung der Temperaturen am Austritt des Solekollektors mit 900 h Betriebsstunden bei 0 °C liegt. Zum Ende der Heizperiode regeneriert sich die Wärmequelle innerhalb eines Monats auf das Temperaturniveau vor der Heizsaison. Dies lässt auf eine ausreichend dimensionierte Wärmequellenanlage schließen.

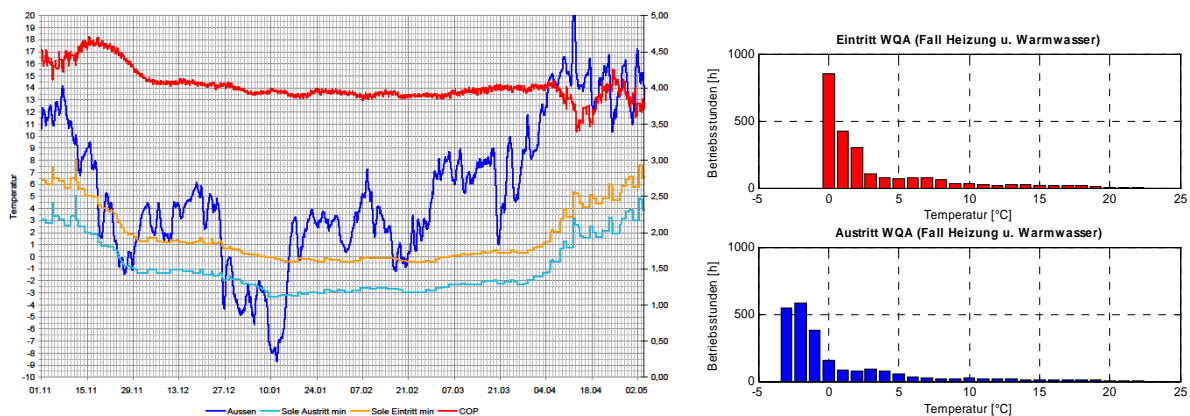


Abbildung 21: Soletemperatur (Dezember 08 bis April 09) und Verteilung der Soletemperatur

Abbildung 22 zeigt die Arbeitszahlen für den Kühlbetrieb inklusive der Verteilung der Vorlauftemperaturen. Der Kühlbetrieb war in den Monaten Mai bis September aktiv, wobei 50% des gesamten Kühlbedarfs (1089 kWh) im Juli auftraten. Die Anlage wurde 850 h für die Passivkühlung betrieben, wobei die Anlage für rund 500 h mit einer Vorlauftemperatur von 21 °C gelaufen ist. Die Tendenz zu abnehmenden Arbeitszahlen während der Kühlperiode kann durch den Temperaturanstieg im Solekollektor - hervorgerufen durch die zusätzliche Regeneration mittels der Passivkühlung - erklärt werden. Mit sinkender Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (Gebäude) und Wärmesenke (Solekollektor) nimmt auch die Effizienz des Kühlbetriebs ab. Laut der Schweizer Studie „Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen“ [BFE07] liegt der Systemnutzungsgrad von Erdwärmesondenkühlungen im Bereich zwischen 10 und 25. Betrachtet man die Ergebnisse des vorliegenden Anlagenmonitorings, so liegen die Arbeitszahlen im Kühlmodus zwischen 7 und 12,5 und somit deutlich im unteren Bereich der oben zitierten Studie. Diese Abweichung kann durch das höhere Temperaturniveau des Solekollektors im Arbeitsgraben des Gebäudes in den Sommermonaten gegenüber dem Temperaturniveau einer Erdwärmesonde erklärt werden.

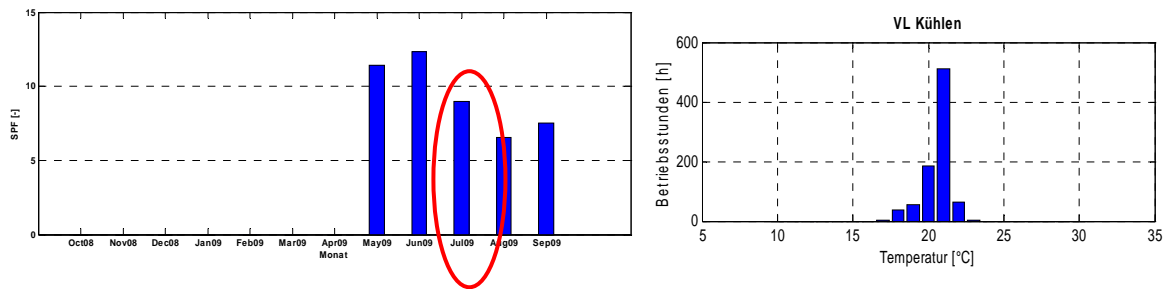


Abbildung 22: Arbeitszahlen und VL- Temperaturen der passiven Kühlung

Betrachtet man die Passivkühlung für den Monat Juli genauer, so lassen sich, wie in der nachstehenden Abbildung 23 dargestellt, einige wesentliche Informationen generieren. Die dünnen Linien zeigen die viertelstündlichen Mittelwerte der Außenluft, Zuluft, „Abluft und Fortluft. Um die Verläufe der Temperaturen besser darstellen zu können, sind die Trendlinien der Messgrößen als dicke Linien ausgeführt. Der Verlauf der Außenlufttemperatur zeigt, dass im Juli 2009 an 50 % der Tage die Tagesmaximaltemperatur über 30 °C lag. Durch den Kühlbetrieb konnte die Raumtemperatur (grüne Linie) konstant auf 23 °C gehalten werden. Die Spitzen der Zuluft (roten Linien) entstehen durch die Vorwärmung der Außenluft im Brauchwasserbetrieb. Wie der Verlauf der Ablufttemperatur (grüne Linie) zeigt, wird die Innenraumtemperatur aber durch diesen zusätzlichen Wärmeeintrag im Sommer nicht negativ beeinflusst.

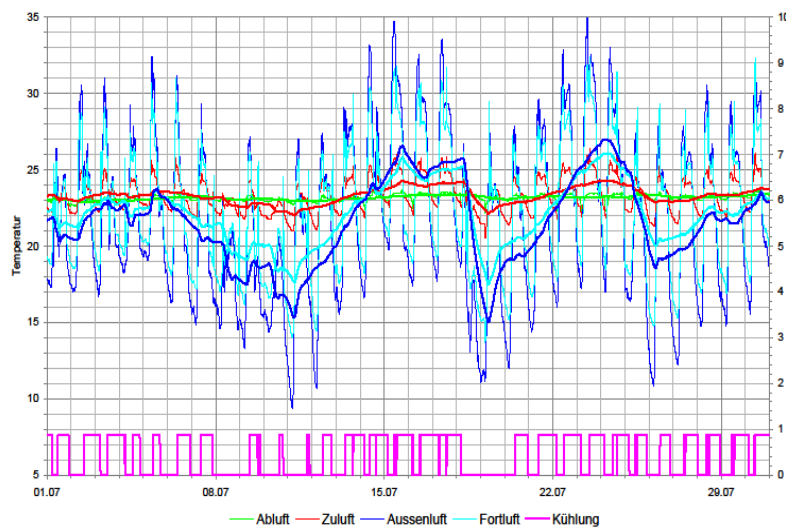


Abbildung 23: Passivkühlung für den Monat Juli 2009

In Abbildung 24 sind die monatlichen Wärmeabgaben an die Heizung, Brauchwasserbereitung, Lüftung und die Passivkühlung, den elektrischen Energieaufnahmen für die Wärmepumpe und die Hilfsantriebe gegenübergestellt. An den roten Balken für die Wärmeabgabe an die Heizung ist gut zu erkennen, dass die Monate Dezember bis Februar den höchsten Wärmebedarf aufweisen. Der Wärmebedarf für die Brauchwasserbereitung verhält sich annähernd konstant. Die Wärmeabgabe an die Lüftung durch den „Unterkühler“ zeigt einen Zusammenhang mit der Außentemperatur, in den kältesten Monaten Dezember bis Februar sind hier die Wärmeabgaben an die Lüftung am Höchsten. Für die Passivkühlung zeigt sich der höchste Kühlwärmebedarf im Monat Juli, mit einem Anteil von 50 % am gesamten Kühlwärmebedarf.

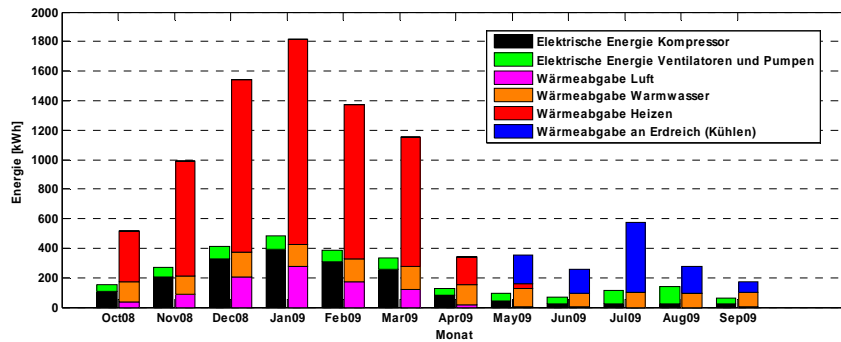


Abbildung 24: Vergleich des Energieeintrages bzw. Energieaustrages (Anlage Nr. 11)

Wie im Kapitel „Systemgrenzen“ beschrieben werden in Abbildung 25 die monatlichen Arbeitszahlen gemäß den Systemgrenzen SPF_1 , SPF_2 und SPF_3 dargestellt. Der SPF_1 ohne Hilfsantriebe beträgt im Messzeitraum 4,6. Die Jahresarbeitszahl SPF_2 wurde für den Vergleich zu den konventionellen Systemen in den SPF_2 für Heizung und SPF_2 für Brauchwasserbereitung aufgeteilt. Bei der Aufteilung auf die Betriebsmodi betragen der SPF_2 -Heizung 4,3 und der SPF_2 -Brauchwasser 3,7. Das gesamte System erreicht einen SPF_2 von 4,1. Der hohe SPF für die Brauchwasserbereitung kann durch die hohen Wärmequellentemperaturen im Sommer erklärt werden die durch die Passivkühlung auftreten. Unter Berücksichtigung aller Hilfsantriebe wie in der Systemgrenze SPF_3 beschrieben erreicht die Anlage einen SPF_3 von 3,7.

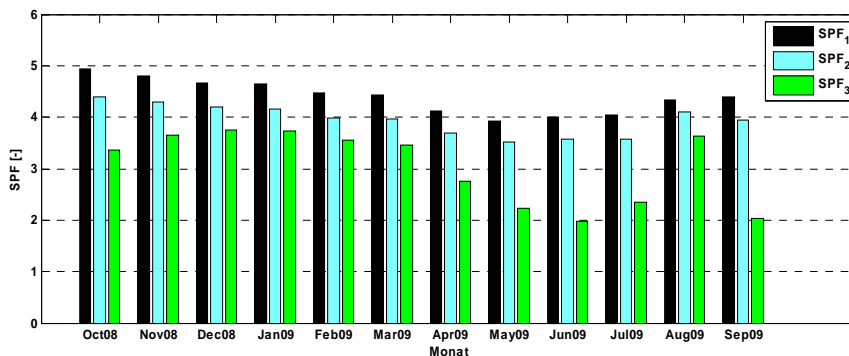


Abbildung 25: Vergleich der Monatsarbeitszahlen (Anlage Nr. 11)

Der Verlauf der Monatsarbeitszahlen in Abbildung 25 zeigt, dass in den Sommermonaten Mai bis Juli durch den reinen Brauchwasserbetrieb die Monatsarbeitszahlen niedrigere Werte erreichen wie in den Monaten mit Heizbetrieb. Der Anstieg der Arbeitszahlen ab August kann durch den verstärkten Passivkühlbetrieb im Juli erklärt werden, wodurch die Wärmequelle zusätzlich regeneriert und auf ein höheres Temperaturniveau angehoben wurde.

Vergleich der gemessenen Jahresarbeitszahlen mit vorhandenen Studien:

Zur Einschätzung der Qualität der ermittelten Jahresarbeitszahlen im Zuge der Feldmessungen im IEA HPP Annex 32 wurden die Ergebnisse mit bereits durchgeführten Feldmessungen in Deutschland und in der Schweiz verglichen.

Vergleich der gewählten Systemgrenzen

In der Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA [BFE04] beinhaltet die Systemgrenze JAZ₂ den elektrischen Energiebedarf der Wärmepumpe, die Hilfsaggregate wie Sole- und Pufferladepumpe, jedoch ohne Heizkreispumpe (siehe Abbildung 26). In dieser Systemgrenze werden die Speicherverluste des Systems berücksichtigt.

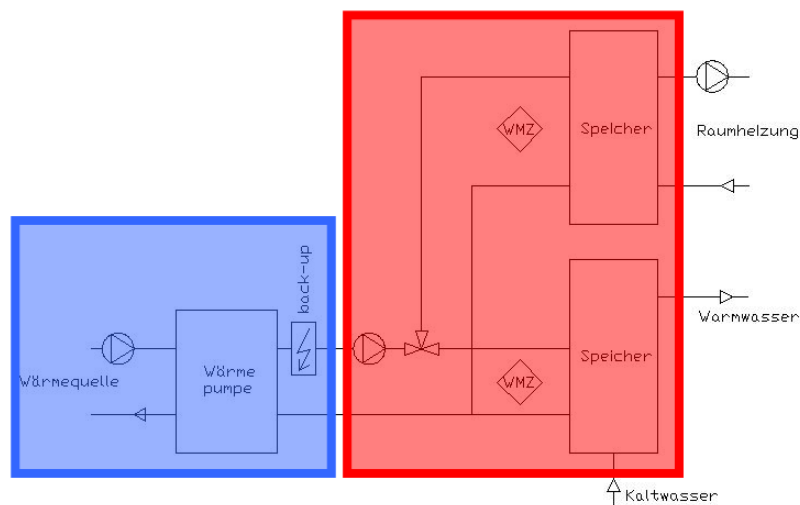


Abbildung 26: Systemgrenze FAWA

Die Studie des Fraunhofer ISE-Instituts [ISE09] berechnet die JAZ unter Berücksichtigung des elektrischen Energiebedarfs der Wärmepumpe und der Hilfsaggregate (siehe Abbildung 27); jedoch ohne Heizkreispumpe und Speicherverluste. Die Systemgrenze SPF₂ in der vom AIT durchgeführten Analyse der Feldmessungen im IEA HPP Annex 32 entspricht der gleichen Definition.

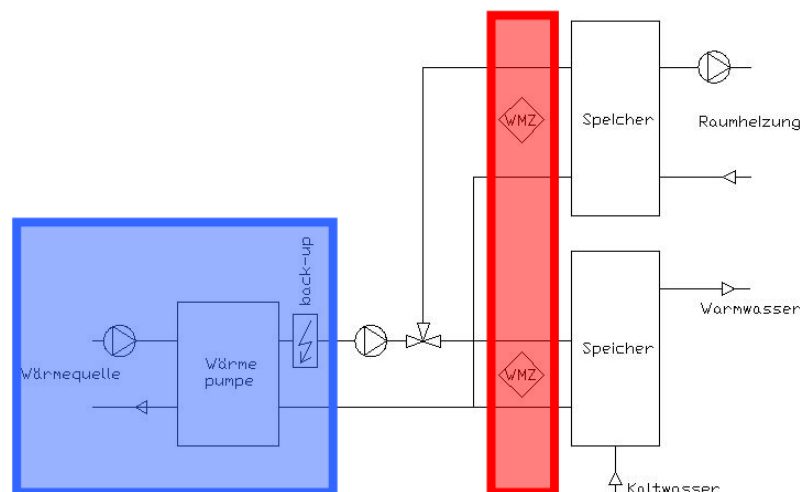


Abbildung 27: Systemgrenze ISE, AIT

Analyse der JAZ

Um die Aussagen der vorhandenen Studien miteinander vergleichen zu können, wurde zwischen Luft- und Erdreichgekoppelten-Wärmepumpensystemen (inklusive Wasser/Wasser-System) unterschieden. Abbildung 28 zeigt die im Rahmen des Projekts gemessenen JAZ der erdreichgekoppelten Systeme im Vergleich zu den Ergebnissen der FAWA [BFE04]- und ISE-Studie [ISE09]. In der ISE-Studie wurden die SPF für den reinen Heizbetrieb sowie für den Heizbetrieb inklusive Brauchwasserbereitung ermittelt, während die FAWA-Studie nur den SPF inklusive Brauchwasserbereitung angibt. Im Diagramm sind die mittleren JAZ aus den Studien mit gepunkteten Linien dargestellt, um sie mit den einzelnen JAZ der österreichischen Feldmessungen im IEA HPP Annex 32 zu vergleichen.

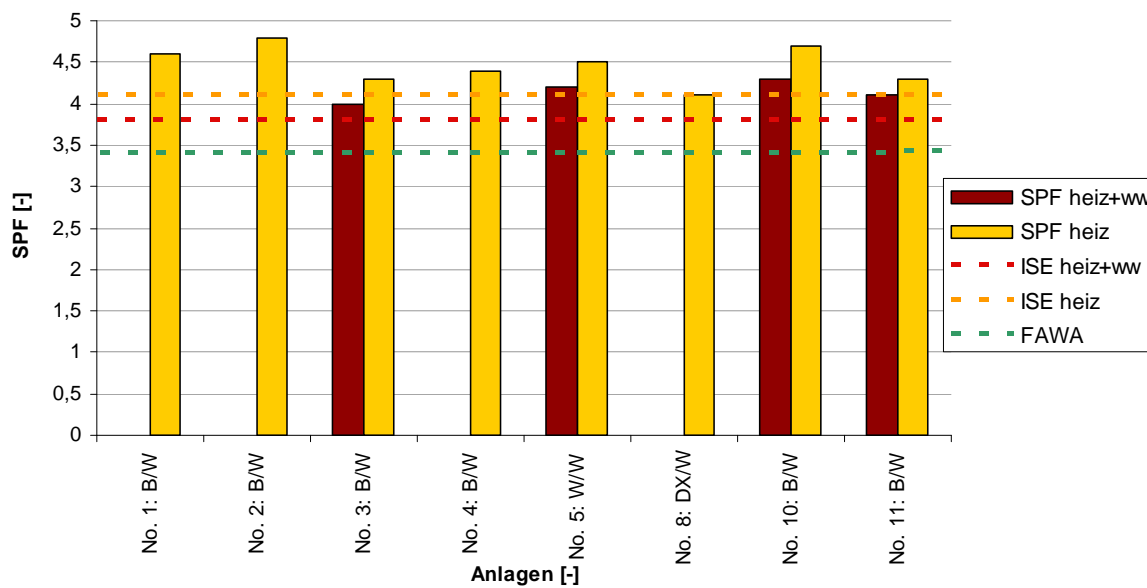


Abbildung 28: Erdgekoppelte Systeme im Vergleich zu vorhandenen Studien

Wie ersichtlich, liefern die im Zuge des IEA HPP Annex 32 untersuchten erdreichgekoppelten Anlagen höhere JAZ als die Anlagen in den beiden anderen Studien, wobei die Abweichungen der Ergebnisse zur schweizerischen FAWA Studie größer sind als jene zur deutschen Studie.

Ein Grund dafür liegt in der bereits beschriebenen ungleichen Wahl der Systemgrenze. Weiters zeigt sich ein wesentlicher länderspezifischer Unterschied in der Systemintegration der Wärmepumpensysteme. Während in den Nachbarländern die meisten Anlagen mit Heizungspufferspeichern ausgeführt sind, sind die in Österreich vermessenen, erdreichgekoppelten Systeme direkt ohne Heizungspufferspeicher in das Wärmeabgabesystem eingebunden und nutzen damit den Estrich der Fußbodenheizung als Speichermasse. Damit erübrigen sich der Heizungsspeicher und die Pufferladepumpe; Speicherverluste entfallen ebenfalls.

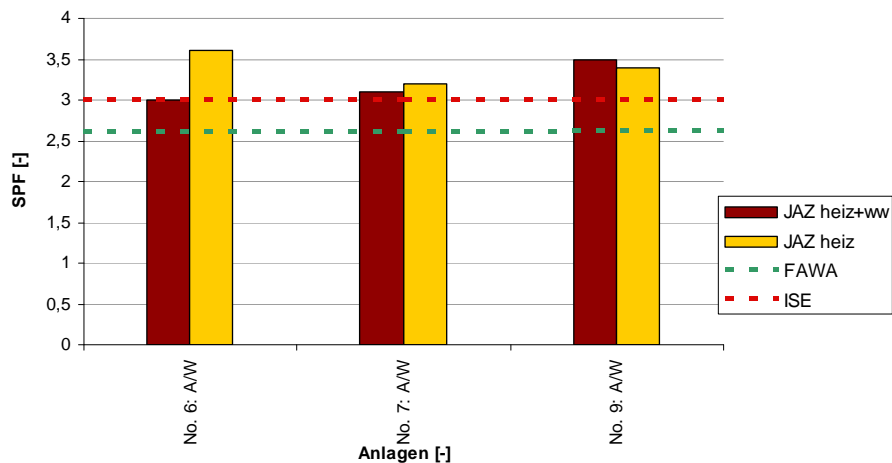


Abbildung 29: Luft/Wasser-Systeme im Vergleich zu vorhanden Studien

Die JAZ der Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen sind in Abbildung 29 gegenübergestellt. Wie ersichtlich, weichen die SPF inklusive Brauchwasserbereitung der österreichischen Erhebung nur geringfügig von jenen der ISE Studie ab. Ein Vergleich der SPF für den reinen Heizbetrieb für Luft-Systeme konnte mangels deutscher Zahlen nicht vorgenommen werden. Im Gegensatz zu den erdreichgekoppelten Systemen, wurden die 3 untersuchten Luft-Wärmepumpenanlagen mit einem Heizungspufferspeicher in das Heizungssystem integriert. Damit erklärt sich die geringe Abweichung der Luftwärmepumpensysteme in den unterschiedlichen Studien. Die größere Abweichung zur FAWA-Studie kann wiederum durch die unterschiedliche Wahl der Systemgrenzen erklärt werden.

Veröffentlichungen im Zuge des Annexes

Die im Rahmen des IEA HPP Annex 32 erarbeiteten Veröffentlichungen werden laufend auf der Projekthomepage www.annex32.net zum Download bereitgestellt. Der Operating Agent fasst bis zum Projektabschluss im Juni 2010 aus den Berichten der nationalen Projekte der teilnehmenden Länder einen Gesamtbericht, welcher aus nachfolgenden Teilbereichen bestehen wird: Systemlösungen, Auslegungsempfehlungen, Entwicklung Prototypen und Ergebnisse der Feldtests/Einzelanlagen. Zusätzlich werden die Berichte der nationalen Beiträge auf der Homepage veröffentlicht werden. Die gesammelten Ergebnisse werden abschließend auf der IEA HPP Konferenz im Mai 2011 in Tokio präsentiert.

Detailangaben in Bezug auf die Forschungsk Kooperation Internationale Energieagentur (IEA)

Ganz allgemein haben alle Unternehmen, die sich an Projekten der Internationalen Energieagentur beteiligen, damit eine ausgezeichnete Plattform zur internationalen Vernetzung sowie zur aktiven Mitgestaltung der internationalen Forschungslandschaft. Des Weiteren finden im Rahmen derartiger Projekte nicht nur der Aufbau von neuem sowie die Verbreitung von nationalem Know-how statt, sondern es besteht auch die Möglichkeit, internationales Know-how ins Land zu holen und der österreichischen Wärmepumpenindustrie zur Verfügung zu stellen. Das AIT hatte im Rahmen des Annexes 32 erstmals die Möglichkeit, Kompaktsysteme in Passivhäusern zu vermessen, um daraus Rückschlüsse auf die Effizienz der derzeitigen eingesetzten Systeme zu gewinnen. Die gewonnenen

Ergebnisse sind vor allem für die Endkunden, das sind die Bewohner von Niedrigenergie- bzw. Passivhäusern, für Installateure sowie die Hersteller von HVAC Anlagen interessant. Erstere können sich darüber freuen, dass die in Österreich untersuchten Systeme sehr effizient arbeiten und damit niedrige Betriebskosten verursachen. Nachdem die Qualität der eingesetzten Wärmepumpen heutzutage üblicherweise durch das EHPA Gütesiegel garantiert ist, sind für die Installateure derartiger Systeme vor allem Aussagen über die optimale Systemintegration von Wärmepumpenanlagen von Relevanz. Es hat sich gezeigt, dass bei der Anlagenplanung und Anlagenausführung ein verstärktes Augenmerk auf die ausgeführte Qualität der Wärmequellen- und Wärmenutzeranlage zu legen ist, um die Effizienz des Gesamtsystems zu gewährleisten. Da die Wärmepumpen im Rahmen der Feldtests dynamischen Betriebsbedingungen unterliegen, welche im Rahmen der für das EHPA Gütesiegel notwendigen Prüfung im Regelfall nicht nachgestellt werden, erlauben die detaillierten, nicht publizierten den beteiligten Installateuren und Herstellern aber zur Verfügung gestellten, Ergebnisse aus den Feldmessungen den Herstellern der HVAC Anlagen Rückschlüsse auf die Wirkweise ihrer Regelstrategien im Wärmepumpenregler, und damit in einem Bereich der Wärmepumpentechnologie, der gemäß vieler Experten noch Optimierungspotenzial bietet. Alle dargestellten Zielgruppen waren im Rahmen des Projekts involviert. So haben die Installateure und Hersteller geeignete Objekte empfohlen; die Installateure waren darüber hinaus bei der Integration der Messtechnik für das Monitoring beteiligt. Bei den Kompaktgeräten war der Gerätehersteller zusätzlich bei der Erstellung des Messkonzeptes eingebunden.

Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Projektergebnisse haben zusammengefasst zum einen einige gängige Annahmen bestätigt; zum anderen wurden neue Erkenntnisse gewonnen. So hat sich gezeigt, dass der Kühlbedarf, wie angenommen, in Niedrigenergiehäusern de facto nicht vorhanden ist, wenn bei der Errichtung gängige Planungskriterien wie z.B. Vermeidung großflächiger Glasfassaden im Süden und Westen eingehalten werden, was bei allen untersuchten Anlagen der Fall war. Die Monitoringergebnisse aus der Untersuchung der Kompaktgeräte bestätigen ferner, dass das Gesamtkonzept der Passivhäuser gut funktioniert. Sie zeigen die Wichtigkeit einer verstärkten Kooperation zwischen den einzelnen Gewerken bei der Errichtung der Gebäude, wobei das Gebäude eine wesentliche Determinante für die Effizienz des Heizungssystems darstellt. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Gebäudestandard und der JAZ konnte nicht nachgewiesen werden, da alle untersuchten Wärmepumpensysteme als Niedertemperaturheizungssysteme konzipiert waren und die Heizungsvorlauftemperatur maßgeblich die Effizienz der Wärmepumpenanlage beeinflusst. Des Weiteren wurde bestätigt, dass in Zukunft bei der Durchführung von Monitorings verstärkt auf eine transparente Darstellung der Systemgrenzen für die Berechnung der Jahresarbeitzahl geachtet werden muss, um unterschiedliche Feldmessungen miteinander vergleichbar zu machen. Das derzeit laufende IEE Projekt SEPemo-Build (www.sepemo.eu), an dem das AIT mitarbeitet, trägt diesem Umstand bereits Rechnung indem einheitliche Systemgrenzen für zukünftige Feldmessungen von Wärmepumpenanlagen erarbeitet werden. Im Zuge des genannten Projektes wird unter anderem auch eine Best Practise Database erstellt werden, in die auch ausgewählten Anlagen der Feldmessungen des IEA HPP Annex 32 integriert werden. Des Weiteren sollen die europäischen Ergebnisse des IEE Projekts auf internationaler Ebene in zwei geplanten Annexen („Field Measurements for residential buildings“, „Harmonized test procedures and calculation method for SPF for residential heat pump applications“) eingebracht und vertieft behandelt werden. Die Ergebnisse der Feldmessungen werden nicht nur den an der Untersuchung teilnehmenden Unternehmen, sondern der gesamten österreichischen Wärmepumpenbranche zur Verfügung gestellt. Aus diesem Grund ist geplant, die Ergebnisse im

Rahmen des nächsten AIT Wärmepumpenherstellertages, welcher einmal jährlich für die Mitglieder der beiden Österreichischen Wärmepumpenverbände LGWA und BWP organisiert wird und an dem im Schnitt 30 Branchenvertreter teilnehmen, zu präsentieren. An weiteren Zielgruppen, für welche die Ergebnisse prinzipiell von Interesse sind, sind zu nennen: die Anbieter von Niedrigenergie- und Passivfertigteilhäusern, auf Passiv- bzw. Niedrigenergiestandard spezialisierte Architekten.

Ausblick und Empfehlungen

Das AIT konnte in seinem Beitrag zum IEA HPP Annex 32 Task 3 „Feldtest von integrierten Wärmepumpensystemen“, neben der Vermessung von konventionellen Systemen im Niedrigenergiehaus, zum ersten Mal erdreichgekoppelte Kompaktgeräte mit hydraulischem Wärmeverteilsystem in Passivhäusern vermessen und hinsichtlich ihrer Effizienz bewerten. Da zum Zeitpunkt der Auswahl der Anlagen erst drei Passivhäuser in ganz Österreich derartige Kompaktgeräte im Einsatz hatten, war die Anzahl der prinzipiell zu Vermessungszwecken zur Verfügung stehenden Anlagen entsprechend gering. Die statistische Aussagekraft der sehr positiven Ergebnisse ist aufgrund des kleinen Samples daher nur sehr beschränkt. Nachdem die EU-Gebäuderichtlinie [EUG09] bis 2018 respektive 2020 Passivhausstandard für Neubauten im öffentlichen und privaten Bereich vorsieht, wird es in den nächsten Jahren einen steigenden Bedarf an effizienten Kompaktgeräten für den Einsatz im Neubau geben. Neben dem Einsatz im energetisch optimierten Neubau, wird diesen Geräten auch eine Bedeutung in der Sanierung der Bestandsbauten zukommen, wo laut Experten der IG Passivhaus [IGP10] 80-90% des Energieverbrauchs eingespart werden kann. Es bedarf in Zukunft, vor allem vor dem Hintergrund der dargestellten EU-Gebäuderichtlinie, weiterer umfassenderer Monitoringaktivitäten, um die Effizienz dieser Systeme in größerer Zahl systematisch zu erfassen und zu dokumentieren. Da der Markt in den letzten 2 Jahren dynamisch gewachsen ist, und nach heutigem Informationsstand bereits zwischen 120 und 150 dieser erdreichgekoppelten Kompaktgeräte mit hydraulischem Wärmeverteilsystem in Österreich im Niedrigenergie- und Passivhaussektor installiert sind, gibt es nun, im Unterschied zum Jahr 2008, einen umfassenderen Pool an geeigneten Monitoringobjekten. Eine Möglichkeit der Finanzierung der Vermessung bietet das derzeit ausgeschriebene nationale Programm klima:aktiv „Erneuerbare Wärme“, wo ein Schwerpunkt auf der Qualitätssicherung von Wärmepumpen- und Lüftungssystemen in Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf liegen wird. Weitere Programme zur Finanzierung derartiger Aktivitäten sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt.

Weiters wird es hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Erfüllung der nationalen klima- und energiepolitischen Ziele wichtig sein, dass die Feldmessungen in den einzelnen Ländern vergleichbar sind. Das derzeit laufende IEE Projekt SEPOMO-Build (www.sepemo.eu), an dem das AIT mitarbeitet, trägt diesem Umstand bereits Rechnung indem in dessen Rahmen einheitliche Systemgrenzen für zukünftige Feldmessungen von Wärmepumpenanlagen erarbeitet werden. Die Ergebnisse dieses IEE Projekts sollen in zwei geplante Annexe („Field Measurements for residential buildings“, „Harmonized test procedures and calculation method for SPF for residential heat pump applications“) eingebracht und vertieft behandelt werden. Es wird empfohlen, dass sich Österreich aufgrund der Bedeutung der Wärmepumpenbranche in Österreich auch an diesen Annexen beteiligt, um weitere relevante Erkenntnisse zu gewinnen und der österreichischen Industrie zur Verfügung stellen zu können.

Literaturverzeichnis

- [BFE04] BUNDESAMT FÜR ENERGIE: Feldanalyse vom Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003, Schlussbericht April 2004
- [BFE07] BUNDESAMT FÜR ENERGIE: Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen, Schlussbericht August 2007
- [BML07] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008 – 2012, Wien 2007
- [BMW09] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT FAMILIE UND JUGEND: Energiestatus Österreich 2009, Mai 2009
- [DUW10] DREXEL UND WEISS: http://www.drexel-weiss.at/HP/Upload/Dateien/9008257_00_KA_aerosmart_x2_DE.pdf (letzter Zugriff am: 10.03.2010)
- [EUF09] EUROPÄISCHE UNION: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. 2008/0016 (COD), 2009 Richtlinie 2009/28/EG
- [EUG09] EUROPÄISCHE UNION: Richtlinie zur Gesamteffizienz von Gebäuden, 2009
- [IGP10] INTERESSENSGEMEINSCHAFT PASSIVHAUS: www.igpassivhaus.at (letzter Zugriff am: 10.03.2010)
- [ISE09] RENEWABLE ENERGY WORLD: Heat pumps in action (page 74-78), September - October 2009
- [OIB07] OIB RICHTLINIE 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2007
- [SMC07] SMARTCLIM2006.F: Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- Kühlenergiebedarf in Österreich, Graz Juli 2007
- [ZOT02] ZOTTL A. DIPLOMARBEIT: Monitoring und Analyse der Qualität von Wärmepumpenanlagen, FH Pinkafeld 2002

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Datenfluss von der Datenerhebung bis zur Auswertung..... | 13 |
| Abbildung 2: Energieflussbild für SPF 1..... | 14 |
| Abbildung 3: Energieflussbild für SPF 2..... | 14 |
| Abbildung 4: Energieflussbild für SPF 3..... | 14 |
| Abbildung 5: Anlagenüberblick..... | 16 |
| Abbildung 6: Vergleich von Heizlast zu gewählter Wärmepumpenleistung..... | 18 |
| Abbildung 7: spezifischer Wärmebedarf der betrachteten Objekte..... | 19 |
| Abbildung 8: Wärmeabgabe der konventionellen Systeme..... | 20 |
| Abbildung 9: Anteilmäßige Verteilung der Wärmeabgabe (konventionelle Systeme)..... | 20 |
| Abbildung 10: Jahresarbeitszahlen in verschiedenen Betriebsmodi..... | 21 |
| Abbildung 11: Abhängigkeit der JAZ zu Temperaturhub..... | 21 |
| Abbildung 12: Heiz- und Kühltag der konventionellen Anlagen..... | 23 |
| Abbildung 13: Heiz- und Kühlgradtage der konventionellen Systeme..... | 23 |
| Abbildung 14: Schema des Kompaktgerätes..... | 24 |
| Abbildung 15: Betriebsstundenverteilung der VL- Temperaturen..... | 26 |
| Abbildung 16: Vergleich des Energieeintrages bzw. Energieaustrages (Anlage Nr. 10)..... | 26 |
| Abbildung 17: Vergleich der Monatsarbeitszahlen (Anlage Nr. 10)..... | 27 |
| Abbildung 18: Verteilung der Temperaturen im Heizbetrieb (VL und RL)..... | 27 |
| Abbildung 19: Verteilung der Temperaturen im Brauchwasserbetrieb (VL und RL)..... | 28 |
| Abbildung 20: AUL- Vorwärmung durch Unterkühler (09.01.09-10.01.09)..... | 28 |
| Abbildung 21: Soletemperatur (Dezember 08 bis April 09) und Verteilung der Soletemperatur..... | 29 |
| Abbildung 22: Arbeitszahlen und VL- Temp. der passiven Kühlung..... | 30 |
| Abbildung 23: Passivkühlung für den Monat Juli 2009..... | 30 |
| Abbildung 24: Vergleich des Energieeintrages bzw. Energieaustrages (Anlage Nr. 11)..... | 31 |
| Abbildung 25: Vergleich der Monatsarbeitszahlen (Anlage Nr. 11)..... | 31 |
| Abbildung 26: Systemgrenze FAWA..... | 32 |
| Abbildung 27: Systemgrenze ISE, AIT..... | 32 |
| Abbildung 28: Erdgekoppelte Systeme im Vergleich zu vorhandenen Studien..... | 33 |
| Abbildung 29: Luft/Wasser-Systeme im Vergleich zu vorhanden Studien..... | 34 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Daten der konventionellen WP- Anlagen..... | 17 |
| Tabelle 2: Systemeinbindung der Wärmepumpen..... | 18 |
| Tabelle 3: Daten der Kompaktgeräte..... | 25 |

Task Website

www.annex32.net