

IEA HPP Annex 32 - Multifunktionale Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern

Carsten Wemhöner, dipl. ing. TH
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Operating Agent IEA HPP Annex 32
Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz

Thomas Afjei, Prof. Dr. sc. techn. ETH
Dozent Gebäudetechnik, Swiss National team leader IEA HPP Annex 32
Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz

Ralf Dott, dipl. ing. TH,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projektleiter Schweizer Beitrag IEA HPP Annex 32
Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz

Zusammenfassung

Abstract

Der IEA HPP Annex 32 mit dem Titel „Economical heating and cooling systems for low energy houses“ wird mit den 10 Teilnehmerländern AT, CA, CH, DE, FR, JP, NL, NO, SE, US unter Schweizer Leitung seit 2006 im Wärmepumpenprogramm (HPP) der Internationalen Energie-Agentur (IEA) durchgeführt. Forschungsschwerpunkte sind die Bewertung und Weiterentwicklung multifunktionaler Wärmepumpen für Niedrigenergie-Wohngebäude im Labor, mit Simulationen und in Feldtests. Multifunktionale Wärmepumpenlösungen sind aufgrund von Effizienzvorteilen durch interne Wärmerückgewinnung sowie geringen Platzbedarf und niedrige Installationskosten vielversprechend. Ein Schwerpunkt des Annex 32 war die Entwicklung von Prototypen multifunktionaler Wärmepumpen, die zum Einen mit Kühl- und Entfeuchtungsfunktion eine erweiterte Funktionalität aufweisen, zum Anderen natürliche Kältemittel, insbesondere CO₂, einsetzen. Simulationsergebnisse der Prototypen zeigen gute Ergebnisse. Der andere Schwerpunkt war die umfangreiche Felderprobung durch Vermessung von über 100 marktgängigen Wärmepumpen über mehrere Jahre. Ergebnis sind mittlere Arbeitszahlen von 3.8 für erdgekoppelte Systeme und 2.9 für Luft-Wasser Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern, womit die Wärmepumpen die Kriterien für Erneuerbare Energie nach der EU RES-Direktive erfüllen. Die Schlussberichte des Annex 32 werden im Herbst 2010 veröffentlicht, weitere Informationen sind auf der Annex 32 Website unter <http://www.annex32.net> zu finden.

The IEA HPP Annex 32 entitled „Economical heating and cooling systems for low energy houses“ has been accomplished with 10 participating countries AT, CA, CH, DE, FR, JP, NL, NO, SE, US with a Swiss Operating Agent in the Heat Pump Programme (HPP) of the International Energy Agency (IEA) since 2006. The assessment and further development of multifunctional heat pumps for the application in residential low energy buildings by lab testing, simulation and in field monitoring was the focus of the research work. Multifunctional heat pumps are promising solutions due to efficiency benefits by internal heat recovery as well as low required installation space and low installation cost. One focus of the Annex 32 was the development of prototypes of new multifunctional heat pumps, on the one hand with extended functionality of a space cooling and dehumidification function, and on the other hand with the application of natural refrigerants, in particular CO₂. Simulation results of the prototypes show good results. The other focus was the extensive field monitoring of more than 100 marketable heat pumps over several years. Results are average SPF values of 3.8 for ground-source heat pumps and of 2.9 for air-source heat pumps in low energy houses, by which the heat pumps fulfill the criteria for the assessment as renewable energy according to the EU RES-Directive. The final reports of Annex 32 will be published in autumn 2010. Further information can be found on the Annex 32 Website at <http://www.annex32.net>.

1. Ausgangslage

In vielen Ländern beträgt der Energieverbrauch von Gebäuden 40%-50% des Gesamtenergieverbrauchs. Daher stellen Niedrigenergiegebäude mit deutlich reduziertem Energieverbrauch eine Schlüsseltechnologie zur Erreichung der Klimaschutzziele dar.

Seit Mitte der 90er Jahre ist der Energiebedarf von Neubauten durch Einführung schärferer gesetzlicher Grenzwerte für den Heizwärmebedarf sukzessive reduziert worden. Durch Wärmedämmung der Gebäudehülle, eine kompakte und luftdichte Bauweise, energieeffiziente Verglasung und konsequenten Wärmeschutz durch externe Verschattung wurden Gebäude mit einem Heizwärmebedarf bis 15 kWh/(m²·a) nach dem deutschen Passivhaus- (www.passiv.de) bzw. dem MINERGIE-P Standard in der Schweiz (www.minergie.ch) eingeführt, die im vergangenen Jahrzehnt ein starkes Marktwachstum verzeichnen. Abb. 1 zeigt die Entwicklung bei deutschen KfW geförderten Energiesparhäuser 40 und 60¹ (www.kfw.de) und der österreichischen Passivhäusern. MINERGIE® hat in der Schweiz bereits einen Marktanteil von 25% bei Wohnneubauten erreicht.

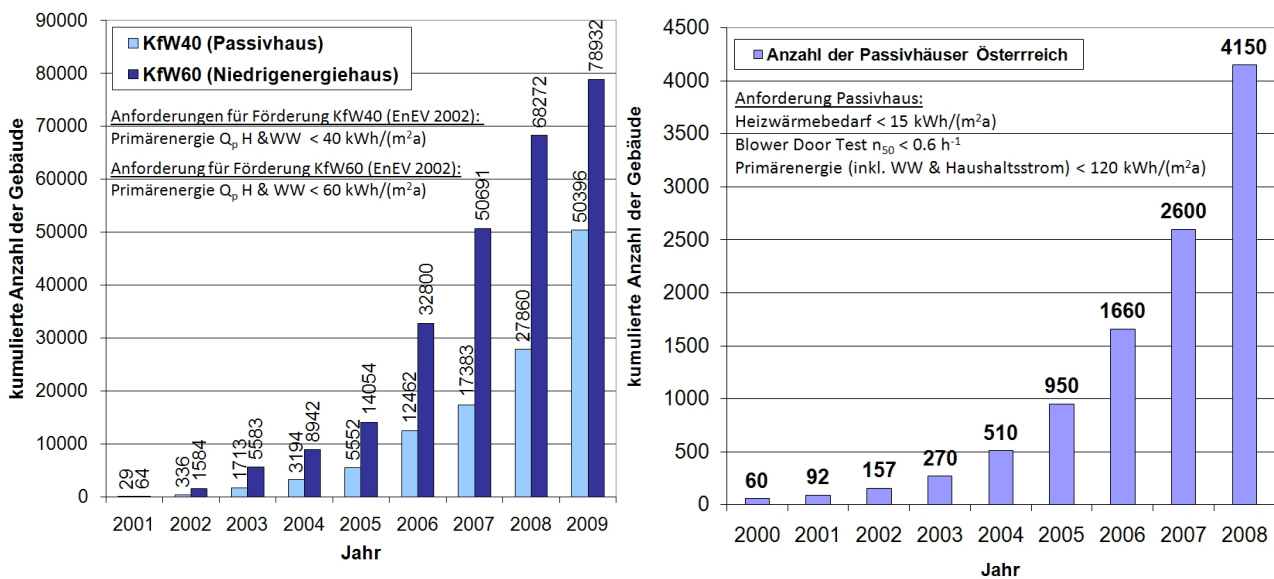


Abb. 1: Marktentwicklung der KfW Energiesparhäuser in Deutschland (links) und der Passivhäuser in Österreich (rechts)

In vielen Ländern gibt es allerdings für Niedrigenergiehäuser noch keine angepasste Gebäudetechnik auf dem Markt, so dass hier noch Entwicklungsbedarf besteht. Da in Niedrigenergiegebäuden neben Heizung (H) und Warmwasser (WW) wegen der luftdichten Bauweise oft eine Komfort-Lüftung notwendig ist und zunehmend auch eine Komfort-Kühlfunktion nachgefragt wird, sind multifunktionale Wärmepumpenlösungen aufgrund von Effizienzvorteilen durch interne Wärmerückgewinnung sowie geringem Platzbedarf und niedrigen Installationskosten vielversprechend.

2. Vorgehen

Der IEA HPP Annex 32 “Economical heating and cooling systems for low energy houses” wird im Wärmepumpenprogramm (HPP) der Internationalen Energie-Agentur (IEA) mit den 10 Teilnehmerländern AT, CA, CH, DE, FR, JP, NL, NO, SE, US durchgeführt. Der Operating Agent (Projektleitung) wird im Auftrag des Bundesamts für Energie vom Institut Energie am Bau (IEBau) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) (www.fhnw.ch/iebau) gestellt. Die Hauptarbeitsgebiete des Annex 32 sind die

- Systementwicklung
 - Konzept-/Prototypentwicklung von Wärmepumpen (WP) im Leistungsbereich 3-5 kW mit Laborprüfung und Systemsimulationen
 - Einsatz von natürlichen Kältemitteln (CO₂ (R744) und Propan (R290))
 - Systemintegration neuer Funktionen (Kühlung, Be-/Entfeuchtung), Standardlösungen

¹ Ab 1.7.2010 gelten neue KfW-Förderbedingungen unter dem Namen KfW-Effizienzhaus, die den energetischen Anforderungen des Gütesiegels Effizienzhaus der Deutschen Energie-Agentur (Dena) entsprechen.

- Anlagenbewertung durch Feldtest
 - Feldtests von Neuentwicklungen und marktgängigen Systemen
 - Bewertung von Funktionalität, Performance und Optimierungspotenzialen

Tab. 1 gibt einen Überblick der Arbeitsschwerpunkte der Teilnehmerländer im IEA HPP Annex 32.

Land	Arbeitsschwerpunkt
AT	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Prototyps einer 3-5 kW CO₂-S/W-WP mit Labortest und Simulation • Feldtest von 10 WP für Heizung & WW und 2 Kompaktgeräte mit passiver Kühlung
CA	Entwurf und Feldtest von 2 Equilibrium™ Netto-Nullenergiehäusern (NZEB) in Ostkanada
CH	<ul style="list-style-type: none"> • Energieeffiziente Wärmepumpensysteme zum Heizen und Kühlen • Feldtest von 2 WP mit passiver Kühlung in Niedrigenergiehäusern
DE	Feldtest von ≈100 Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern und ≈80 Wärmepumpen in Bestandsgebäuden in Zusammenarbeit mit 7 Herstellern und 2 Energieversorgern
FR	Entwicklung und Feldtest von L/L-Wärmepumpen für Niedrigenergiehäuser
JP	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung der Auslegungsleistung und des Betriebs von WP-Splitgeräten zum Heizen und Kühlen • Machbarkeitsstudien und Feldtest von erdgekoppelten WP für kaltes Klima
NL	Systemlösungen mit Wärmepumpe für die Markteinführung in Niedrigenergiehäusern
NO	<ul style="list-style-type: none"> • Machbarkeitsstudien von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln (CO₂) in norwegischen Niedrigenergiehäusern (kaltes Klima) • Feldtest eines 3 kW W/W-WP-Prototyps mit dem Kältemittel Propan für Passivhäuser
SE	Berechnung und Vergleich von Wärmepumpenlösungen für schwedisches Klima
US	Prototypentwicklung, Labortests und Simulation einer hochintegrierten multifunktionalen WP für Heizung, Kühlung, WW, Lüftung inkl. Entfeuchtung in NZEB

Tab. 1: Überblick über die Beiträge der Teilnehmerländer im IEA HPP Annex 32

3. Resultate

Die Ergebnisse des Annex 32 sind in 4 Schlussberichten zusammengefasst worden:

- einem **Umbrella Bericht**, der neben einer Einführung in die Thematik von Niedrigenergiehäusern die Zertifizierung und den Markt in den einzelnen Ländern zusammenfasst, die Beiträge der Teilnehmerländer beschreibt und einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse des Annex 32 gibt.
- einem **Marktüberblicksbericht**, der neben Wärmequellen- und Übergabesystemen eine Kategorisierung von marktverfügbaren multifunktionalen Wärmepumpensystemen für Niedrigenergiehäuser umfasst. Die Kategorisierung der Systeme erfolgt anhand der integrierten Funktionen.
- einem **Prototypbericht**, der die Beschreibung der Konzepte, der Ergebnisse von Labormessungen und Systemsimulationen der Prototypentwicklungen multifunktionaler Wärmepumpen für Niedrigenergiehäuser enthält.
- einem **Feldtestbericht**, in dem die Ergebnisse der umfangreichen Feldtests, die im Annex 32 durchgeführt wurden, gesamthaft dargestellt werden. Einzelne Systeme, die gute Feldergebnisse erzielten, werden in "Best Practice Sheets" detaillierter beschrieben. Des Weiteren werden Anlagenkonzepte, deren Feldtest noch nicht abgeschlossen ist, in "System Concept Sheets" beschrieben. Darüber hinaus werden Optimierungspotenziale und Auslegungsempfehlungen gegeben.

Im Folgenden werden einzelne Ergebnisse der Arbeitsschwerpunkte "Prototypentwicklung" und "Feldtest" beschrieben. Der Schweizer Beitrag zum Annex 32 wird detailliert in [1] vorgestellt, daher wird in dieser Veröffentlichung auf Beiträge der anderen Teilnehmerländer eingegangen.

3.1 Prototypentwicklung

Die Prototypentwicklung umfasst Wärmepumpen im kleinen Leistungsbereich, die

- zum Einen mit Zusatzfunktionen wie einer Kühlfunktion oder sogar einer Entfeuchtung, die in Japan und vor allem den USA eine grosse Bedeutung hat, ausgestattet sind
- zum Anderen natürliche Kältemittel nutzen, die weder ein Ozonabbaupotenzial (Ozone Depletion Potenzial - ODP) aufweisen noch klimaaktiv sind (Global Warming Potenzial - GWP).

Als Beispiel eines Prototyps wird die österreichische Entwicklung einer multifunktionalen CO₂-S/W Wärmepumpe im Leistungsbereich von 5 kW für die Funktionen Heizung, Warmwasser (auch simultan) sowie passives und aktives Kühlen gegeben [2].

Das Kältemittel CO₂ (R744) hat den Vorteil, dass es nicht toxisch, nicht brennbar und nicht ozon-schichtabbauend ist, sowie ein vernachlässigbares GWP von 1 (CO₂ ist Referenzwert) aufweist. Aufgrund der niedrigen kritischen Temperatur werden die Prozesse meist transkritisch betrieben, wobei eine Abkühlung des CO₂-Dampfes in einem Gaskühler anstelle der Kondensation in herkömmlichen Wärmepumpenprozessen tritt. Dadurch lässt sich in den Gaskühlern insbesondere für den Warmwasserbetrieb durch eine gute Temperaturanpassung eine hohe Effizienz bei hoher Warmwassertemperatur von 70°C und mehr erreichen. CO₂ als Kältemittel ist daher insbesondere für einen hohen Warmwasseranteil interessant.

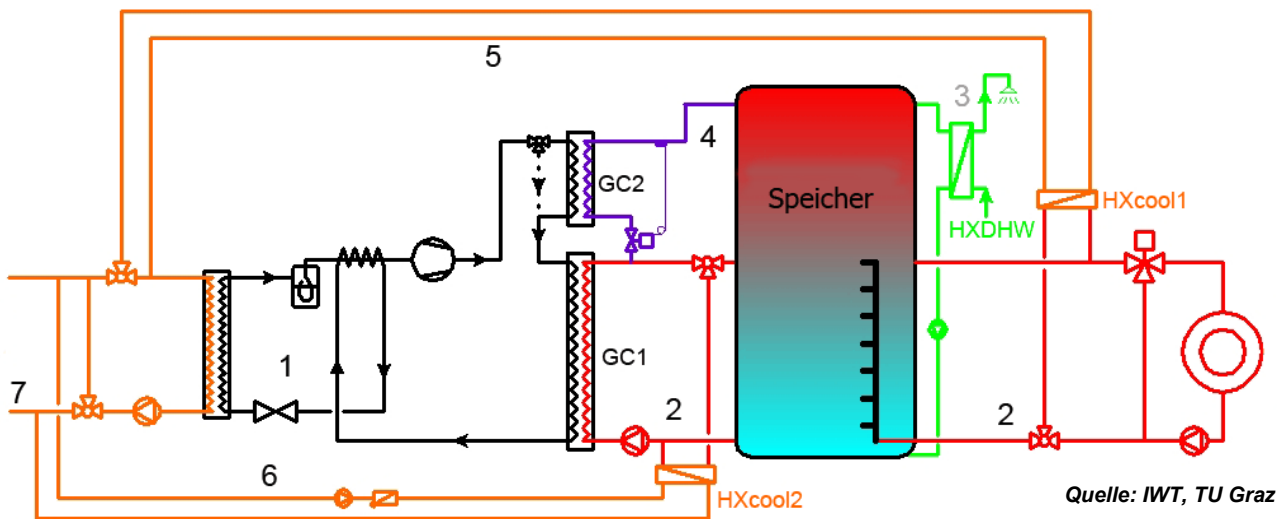


Abb. 2: Hydraulikschema des österreichischen Prototyps einer 5 kW CO₂-S/W Wärmepumpe

Abb. 2 zeigt ein Hydraulikschema des österreichischen Prototyps. Ein zentraler Pufferspeicher, der von der Wärmepumpe geladen wird, dient als hydraulische Entkopplung des Heizsystems (rote Linien, 2) von der Wärmepumpe (schwarze Linien, 1). Das Warmwassersystem ist als Frischwassersystem ausgeführt (grüne Linien, 3) und wird im Durchlauf mit dem externen Wärmeübertrager HX_{DHW} erzeugt, so dass keine Legionellenprobleme auftreten. Weiterhin kann die Speichertemperatur bis fast auf das Temperaturniveau des Kaltwassereintritts abgekühlt werden. Da der COP von CO₂-Wärmepumpen stark von der Eintrittstemperatur des kalten Fluids in die Gaskühler abhängt, sollten tiefe Eintrittstemperaturen in den Gaskühler (GC₁) der Wärmepumpe angestrebt werden. Daher wird der Heizungsrücklauf mittels Schichtenladung eingekoppelt, um die Schichtung im Speicher möglichst gut zu erhalten und Temperaturen des Warmwasserrücklaufs nicht zu durchmischen. Der Gaskühler ist in zwei Teile geteilt, im GC₁ (rote Linien, 2) wird das Wasser aus dem unteren Speicherbereich auf das Temperaturniveau der Fussbodenheizung (FBH) von 30-35°C aufgeheizt und in die Speichermitte geladen, im GC₂ (violette Linien, 4) wird das vorgeheizte Wasser auf die Warmwassertemperatur von 50-55°C nachgeheizt und in den oberen Speicherbereich geladen. Mit dieser Anordnung können die Betriebsmodi nur Heizen (nur GC₁), nur Warmwassererzeugung und simultaner Heiz- und Warmwasserbetrieb (GC₁ und GC₂) umgesetzt werden. Im Simultanbetrieb wird die Menge des Wassers für die Nachheizung in GC₂ mit den Ventilen angepasst.

Der Kühlbetrieb kann über eine externe Hydraulik (orange Linien, 5 und 6) realisiert werden. Als Übergabesystem dient auch im Kühlfall der Fussboden. Für den passiven Kühlbetrieb wird ein

Kurzschluss zwischen Quelle und Übergabe über den Wärmeübertrager HX_{cool1} hergestellt (orange Linien, 5). Für aktiven Kühlbetrieb kann die abgegebene Wärme des GC_1 über den Wärmeübertrager HX_{cool2} in den Erdkollektor geleitet werden, bei simultanem aktivem Kühl- und Warmwasserbetrieb wird sie für die Warmwasserproduktion genutzt.

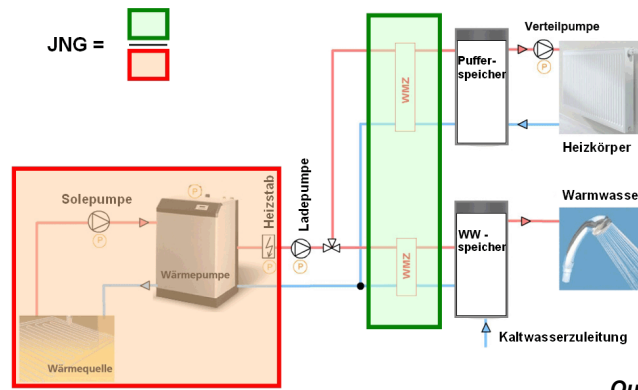
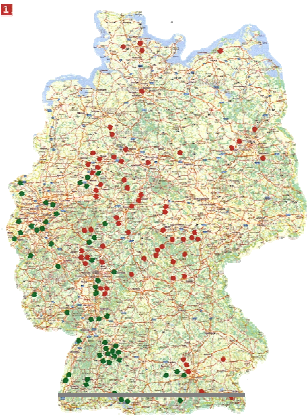
Mittels Labortests des Prototyps ist das Kennfeld ermittelt worden, was zur Anpassung von Simulationsmodellen genutzt wurde. Mittels einer sog. Performance Map ist das Wärmepumpenverhalten des Prototyps in ein TRNSYS-Modell implementiert worden, mit dem im Anschluss Systemsimulationen zur Beurteilung der Performance und Untersuchung der Regelung durchgeführt wurden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sowohl Warmwasser als auch Heizbetrieb des betrachteten Niedrigenergiehauses monovalent gedeckt werden können. Zur Bewertung sind drei Jahresnutzungsgrade (JNG) ausgewertet worden. Der JNG_1 entspricht den Systemgrenzen des COP und berücksichtigt die abgegebene Wärme in den Gaskühlern GC_1 und GC_2 sowie die Verdampferenergie im aktiven Kühlbetrieb. JNG_2 berücksichtigt zusätzlich die Quellenenergie für die Solepumpe. JNG_3 bezieht sich auf Nutzenergie und damit auf die abgegebene Wärme an die Fussbodenheizung und das Warmwassersystem, stellt also ein Art Systemnutzungsgrad dar, wobei die Verteilpumpe nicht enthalten ist. Zusätzlich umfasst er den passiven Kühlbetrieb. Simulationen ohne Kühlbetrieb ergeben Werte für die $JNG_1/JNG_2/JNG_3$ von 3.20/3.08/2.84. Im Fall ohne passive Kühlung liegt die Nutzenergie also wegen der Speicherverluste unter der erzeugten Energie. Simulationen mit regulärem Kühlbetrieb von $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Kühlenergie führt auf höhere Nutzungsgrade von 3.29/3.16/3.21, d.h. die Speicherverluste werden durch die hohe Effizienz des passiven Kühlbetriebs egalisiert. Ohne Kühlbetrieb überschreiten die sommerlichen operativen Temperaturen die Grenzen nach DIN 1946-2 [3] während 150 h, mit passivem und aktivem Kühlbetrieb bei simultaner WW-Erzeugung dagegen können die Grenzen eingehalten werden. Als Variante mit Kühlung wurde der Extremsommer 2003 in Graz mit und ohne Kühlbetrieb betrachtet, in dem sich die Kühlenergie auf $17 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ verdoppelt. Ohne Kühlbetrieb werden die Grenzen der operativen Temperatur für 1600 h/a überschritten, während die operativen Temperaturen mit Kühlbetrieb eingehalten werden können. Da der passive und simultane aktive Kühlbetrieb mit WW-Erzeugung sehr effizient sind, ergeben sich bei diesem Extremfall sehr gute JNG von 3.64/3.44/3.85, d.h. die Speicherverluste werden durch die Effizienz des Kühlbetriebs überkompensiert.

Zusammenfassend erreicht das System einen Gesamt-System-JNG von 3.2 für Heiz-, Warmwasser und Kühlbetrieb, der niedriger als optimierte marktverfügbare Anlagen mit herkömmlichen H-FKW Kältemitteln und Niedertemperaturübergabesystem liegt. Allerdings bestehen verschiedene Optimierungspotenziale, die in einer Verbesserung des Kältekreis (Kompressoreffizienz, bessere Anpassung des Kompressors an den Leistungsbereich, Ejektor für die Rückgewinnung der Drosselverluste) und in der Optimierung der Systemintegration (Einbindung des Speichers, optimierte Regelung) liegen. Das System ist daher vielversprechend für den Einsatz in zukünftigen Niedrigenergiehäusern, die ein umweltfreundliches Kältemittel mit guter Warmwassereffizienz für den steigenden Warmwasseranteil am Gesamtwärmebedarf nutzen und die aufgrund steigender Aussentemperaturen im Zuge des Klimawandels einen Kühlbedarf aufweisen.

3.2 Anlagenbewertung durch Feldtests

Im Rahmen des Annex 32 wurden umfangreiche Feldtests von marktgängigen Wärmepumpen hauptsächlich für Heiz- und Warmwasserbetrieb durchgeführt. Als Systemgrenze wurde bei den meisten Feldtests der Wärmezeugernutzungsgrad (WNG) zugrunde gelegt, der in Abb. 3 rechts dargestellt ist und das Verhältnis aus produzierter Wärme der Wärmepumpe und einer allfälligen elektrischer Nachheizung zu der notwendigen elektrischen Energie für Wärmezeuger und Quelle beschreibt.

Eine umfangreiche Analyse der Nutzungsgrade von über 100 Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern ("WP-Effizienz", <http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de>) wird am Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem (FhG-ISE) in Zusammenarbeit mit 7 Wärmepumpenherstellern und 2 Energieversorgern durchgeführt [4]. Zusätzlich wurden ca. 80 WP in bestehenden Gebäuden als Ersatz für Kessel (<http://wp-im-gebaeudebestand.de>) in Zusammenarbeit mit dem deutschen Energieversorger E.ON vermessen [5]. Abb. 3 links zeigt die Anlagenstandorte in ganz Deutschland, grün für "WP-Effizienz" und rot für "WP im Gebäudebestand".



Quelle: FhG-ISE

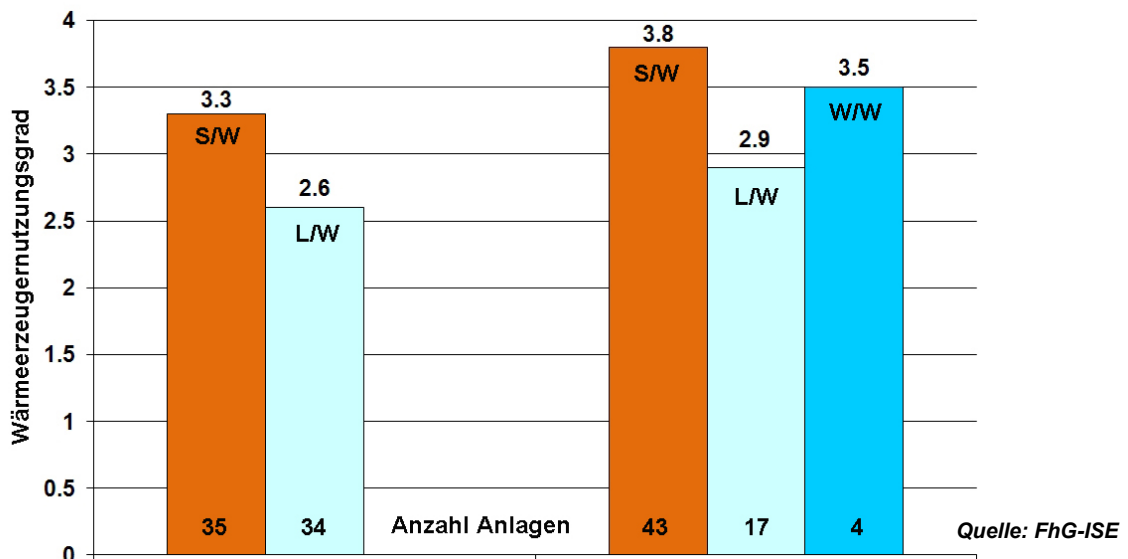
Abb. 3: Standorte (links) der Feldtests WP-Effizienz (grün) und WP-Gebäudebestand (rot) und Systemgrenze (rechts)

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Feldobjekte in den beiden Feldtests. Beide Feldtests umfassen Häuser mit einer durchschnittlichen Wohnfläche von 190 m². Während in den Neubauten des WP-Effizienz Projekts im Wesentlichen Niedertemperaturfussbodenübergabesysteme (FBH) zum Einsatz kommen, wurden im Projekt WP im Gebäudebestand hauptsächlich höhere Leistung mit Radiatorsystemen angetroffen, die mit entsprechend höherer Vorlauftemperatur im Heizbetrieb arbeiten.

Projekt	Fläche	Heizwärmebedarf/ bzw. -verbrauch	WP Leistung	Temperaturen
WP Effizienz (≈100 WP)	Ø 192 m ²	20-50 kWh/(m ² a) (Rechenwert)	5-10 kW	30-35 °C (FBH) 45-65 °C (Radiator) ≈50 °C (WW)
WP Gebäude- bestand (≈80 WP)	Ø 190 m ²	Ø 182 kWh/(m ² a) (Brennstoffverbrauch)	Ø13.8 kW (S/W) Ø14.5 kW (L/W)	40-45 °C (FBH) 45-65 °C (Radiator) 45-60 °C (WW)

Tab. 2: Überblick über Häuser und Systeme in den deutschen Feldtests

Abb. 4 zeigt einen Vergleich der mittleren Gesamt-WNG Heizung & WW für das Jahr 2008.



Quelle: FhG-ISE

Projekt	WP Gebäudebestand		WP Effizienz		
	S/W	L/W	S/W	L/W	WW
WW-Anteil	14%	12%	22%	28%	18%
Nachheizanteil	2%	1%	2%	2%	2%
Hilfsenergieanteil	5%	3%	6%	7%	15%

Abb. 4: Mittlere Gesamt-WNG Heizung & WW und weitere Messresultate in den Feldtestprojekten des Jahres 2008.

Die Ergebnisse für die Heizperiode 2009/2010 liegen zurzeit noch nicht vollständig vor, fließen aber in die Schlussberichte ein. Deutlich ist der Einfluss der höheren Vorlauftemperaturen in den Bestandsgebäuden zu erkennen. Die mittleren WNG für Sole-Wasser (Luft-Wasser) liegen 0.5 (0.4) unter den in den Niedrigenergiehäusern gemessenen Werten, trotz des höheren Warmwasseranteils von 18%-28% im Vergleich zu 12%-14%. Die Auslegung der Systeme erfolgte mono-energetisch. Der Heizstabanteil ist bei allen Systemen mit max. 2% vernachlässigbar. Auffällig ist weiterhin, dass die mittleren Jahresnutzungsgrade der 4 Wasser-Wasser Systeme unter den Sole-Wasser Werten liegen, was trotz der besseren Quelltemperatur auf den Hilfsenergieaufwand von 15% zurückzuführen ist. Die Hilfsenergieanteile liegen aufgrund des niedrigeren Wärmebedarfs in den Niedrigenergiehäusern mit 6% für Sole- und 7% für Luft-Wasser etwas höher als in den Bestandsgebäuden mit 5% bzw. 3%.

Die mittleren WNG des deutschen Feldtests werden auch von einem österreichischen Feldtest mit insgesamt 10 Anlagen bestätigt. Die Jahresmessungen wurden im Zeitraum von 2005-2008 durchgeführt. Die Auslegungslast der Häuser lag zwischen 20 W/m²-60 W/m², was wegen teils grosser Wohnflächen trotzdem zu installierten Wärmepumpenleistungen im Bereich von 8–33 kW führt. Die Mehrzahl der Wärmeübergabesysteme sind Fussbodenheizungen, doch in zwei Objekten sind Heizkörper installiert. Allerdings liegen auch hier die mittleren Senktemperaturen mit 29°C und 36°C sehr niedrig. Tab. 3 gibt einen Überblick über die Resultate des österreichischen Feldtests. Hier liegt der Gesamt-WNG der vermessenen Wasser-Wasser Wärmepumpe über leicht über den durchschnittlichen Sole-Wasser Werten.

WP Typ	L/W	S/W	W/W
WNG Heizen	3.2-3.6	4.3-4.8	4.5
WNG WW	2.5-2.6	2.4	3.1
WNG Heizen & WW	3.0-3.1	4.0	4.2

Tab. 3: Wärmeerzeugernutzungsgrade im österreichischen Feldtest

In zwei Schweizer und zwei österreichischen Feldtests wurden auch Systeme mit erdgekoppeltem passivem Kühlbetrieb gemessen, der teils auch als "free cooling", "direct cooling" oder "natural cooling" bezeichnet wird und für die Kühlfunktion nur Hilfsenergie für die Zirkulation des Quellfluids nutzt. Die Schweizer Anlagen sind mit Erdwärmesonden ausgestattet, während im österreichischen Projekt horizontale Erdkollektoren installiert sind. Die Anlagen sind bis auf Muolen nach MINERGIE[®] in Passiv- bzw. MINERGIE-P[®]-Häusern installiert. Tab. 4 gibt einen Überblick über die WNG der einzelnen Betriebsarten und dem Gesamt-WNG. Es zeigt sich, dass der passive Kühlbetrieb mit WNG Kühlung bis 9.0 sehr effizient ist. Die hohe Spanne der WNG im Kühlbetrieb entsteht durch die stark variable abgeführte Wärme bzw. die Pumpendimensionierung, da die Pumpenenergie relativ konstant ist und keine direkte Abhängigkeit zur abgeführten Wärme aufweist. Durch die Kühlung können mittlere Raumtemperaturreduktionen von 3 K erreicht werden. Details zum passiven Kühlen in den Schweizer Feldtests werden in [1] vorgestellt.

Standort	Heizen	WW	Kühlen	Gesamt
Hitzendorf, AT	4.7	3.6	4.7	4.3
Judendorf-Straßengel, AT	4.3	3.7	9.0	4.1
Basel, CH	4.3	2.7	8.1	3.8
Muolen, CH	3.8	3.0	7.3	3.8

Tab. 4: Wärmeerzeugernutzungsgrade für Einzelbetriebsarten und Gesamt für Systeme mit passivem Kühlbetrieb

4. Zusammenfassung und Ausblick

Niedrigenergiehäuser zeigen hohes Marktwachstum, haben aber deutliche andere Lasten als konventionelle Gebäude. Hinsichtlich der klassischen Gebäudetechnikfunktionen im Wohnbau verschieben sich die Verhältnisse von Heizwärme hin zu höheren Warmwasseranteilen und es treten

eine Komfortlüftung und zunehmend auch eine Komfortkühlung hinzu. Diese geänderten Anforderungen lassen sich gut über eine multifunktionale Gebäudetechnik mit der Kernkomponente Wärmepumpe abdecken.

Im Rahmen des Annex 32 sind daher neue Prototypen von multifunktionalen Wärmepumpen entwickelt worden, die im Gegensatz zu marktgängigen Lösungen weitere Funktionen wie eine Kühlfunktion und sogar eine Entfeuchtung umfassen und natürliche Kältemittel nutzen. Mit Labormessungen kalibrierte Systemsimulationen und erste Feldergebnisse der Prototypen zeigen vielversprechende Resultate für den Einsatz in Niedrigenergiehäusern.

Die im Rahmen des Annex 32 durchgeführten umfangreichen und teils mehrjährigen Feldtests bestätigen, dass marktgängige Wärmepumpen in Niedrigenergiehäusern gute WNG erreichen, die die Kriterien der EU-RES Direktive [6] eines Mindestnutzungsgrades von 2.63 für die Deklaration als Erneuerbare Energie überschreiten. Damit tragen die vermessenen Wärmepumpen verglichen zu den besten fossilen Wärmeerzeugern, kondensierenden Gas-Brennwertkesseln, effektiv zur Primärenergieeinsparung und der Reduktion von CO₂-Emissionen bei. Eine Kühlfunktion, die zukünftig verstärkt aufgrund der Klimaerwärmung nachgefragt werden könnte, lässt sich für erdgekoppelte Systeme als passive Kühlung leicht integrieren und erreicht in den Feldtests sehr hohe WNG. Ein Systemvergleich verschiedener Kühloptionen wird in [1] dargestellt.

Der Annex 32 ist im Juni 2010 abgeschlossen worden. Die Schlussberichte befinden sich zurzeit in Vernehmlassung durch das Executive Committee (ExCo) des IEA Wärmepumpenprogramms und werden nach Abschluss der Vernehmlassung im Herbst 2010 unter <http://www.annex32.net> auf der Annex 32 Website zum Download angeboten. Weiterhin ist eine Vorstellung der Endergebnisse des IEA HPP Annex 32 im Rahmen eines Workshops auf der 10. IEA Wärmepumpenkonferenz (<http://www.hpc2011.org>) im Mai 2011 in Tokio vorgesehen.

5. Verdankungen

Die Autoren bedanken sich beim Bundesamt für Energie, insbesondere dem Programmleiter des BFE Programms Wärmepumpen, Kühlung, Wärme Kraft Kopplung Prof. Dr. Th. Kopp, für die finanzielle Unterstützung und die Projektbegleitung der Projektleitung und des Schweizer Beitrags des Annex 32.

Der Annex 32 ist als Gemeinschaftsprojekt in Kosten- und Aufgabenteilung durchgeführt worden, und der Dank der Autoren gilt weiterhin allen Teilnehmerländern für die Beiträge, die erreichten Ergebnisse und die gute Zusammenarbeit über die Projektlaufzeit.

6. Literatur/Referenzen

- [1] Dott, R., Genkinger, A., Lederle, N. und Afjei, Th. **Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen in Wohngebäuden - Theorie und Praxis**. 16. Status-Seminar, Zürich, 2./3. September 2010, CH
- [2] Heinz, A., Rieberer, R. **System assessment and field monitoring**. Country report Austria IEA HPP Annex 32 Task 2, Graz, März 2010, AT
- [3] DIN 1946-2. **Raumluftechnik - Gesundheitliche Anforderungen (VDI Lüftungsregeln)**. Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, 1994, DE
- [4] Miara, M. **System assessment and field monitoring**. Country report Germany IEA HPP Annex 32 Task 3, Freiburg/Brsg., Juni 2010, DE
- [5] Russ, Chr. **Monitoring - Wärmepumpen im Gebäudebestand**, Präsentation 3. Anwenderforum, Staffelstein, 26./27. März 2009, DE
- [6] 2009/28/EC. **Directive on the promotion of the use of energy from renewable energy sources and amending and subsequently repealing the Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (RES-Directive)**. Official Journal of the European Union, L140/16- L140/62, 5.6.2009, EU