

IEA HPP Annex 32 – Economical heating and cooling systems for low energy houses

C. Wemhöner, R. Dott, Th. Afjei
Institut Energie am Bau - Fachhochschule Nordwestschweiz
4132 Muttenz, www.fhnw.ch/iebau, carsten.wemhoener@fhnw.ch

Zusammenfassung

Der Annex 32 im Wärmepumpenprogramm (HPP) der Internationalen Energieagentur (IEA) beschäftigt sich mit der Bewertung und Weiterentwicklung von Wärmepumpenlösungen in Niedrigenergie-Wohngebäuden. Neben der Schweiz als Projektleitung nehmen 8 weitere Länder am Annex 32 teil. Schwerpunkt des Annex 32 sind auf der einen Seite Prototypentwicklungen für den Einsatz natürlicher Kältemittel wie CO₂ und Propan und den Leistungsbereich der Wärmepumpe von 3-5 kW. Auf der anderen Seite dienen Feldtests zur Beurteilung des realen Betriebsverhaltens von marktgängigen Systemen und Neuentwicklungen. Multifunktionale Wärmepumpenlösungen sind aufgrund von Effizienzvorteilen durch interne Wärmerückgewinnung sowie geringen Platzbedarf und niedrige Installationskosten vielversprechend, da in Niedrigenergiegebäuden meist eine mechanische Lüftung notwendig ist und zunehmend auch eine Kühlfunktion nachgefragt wird. Daher stellt die Systemintegration einen weiteren Fokus dar. Erwartete Ergebnisse des Annex 32 bilden neue Systemkonzepte im Prototypenstadium mit Laborergebnissen sowie Feldmessungen von Anlagen mit Bewertung möglicher Optimierungspotenziale (Best-Practice Systeme). Aus den Ergebnissen sollen erprobte Standardsystemlösungen abgeleitet werden und Hinweise und Richtlinien für die Auslegung der Systeme gegeben werden. Zwischenergebnisse der nationalen Beiträge, Veröffentlichungen von Workshops und Informationen zu Teilnehmern, den nationalen Projekten und Links werden unter <http://www.annex32.net> publiziert.

Résumé

L'Annexe 32 au cadre du programme sur la pompe à chaleur (HPP) de l'agence internationale de l'énergie (AIE) traite de l'évaluation et du développement des systèmes avec pompe à chaleur pour l'application dans les bâtiments résidentiels de basse consommation de l'énergie. A part la Suisse comme responsable du projet, 8 pays participent au Annexe 32. Les sujets principaux de l'Annexe 32 sont à l'un côté le développement des prototypes de configuration innovante et à l'autre côté des tests sur site pour évaluer le comportement réel des systèmes commerciaux ou en développement. Le développement concerne les systèmes de une puissance thermique de 3-5 kW et l'emploi de réfrigérants naturels comme CO₂ ou propane. En particulier, les concepts multifonctionnels et très intégrés ont des avantages comme la récupération interne de chaleur et un minimum de besoin d'espace et du coût de l'installation, parce que en bâtiments de basse consommation de l'énergie, souvent un système de ventilation mécanique est requis et de plus en plus une possibilité de réfrigération est demandés par les habitants. Donc l'intégration des fonctions est aussi un sujet. Les résultats escomptés du projet sont des concepts nouveaux au stade prototype, y compris les résultats des tests au laboratoire et les mesures sur site avec l'évaluation des potentiels de optimisation. Des systèmes standards aussi que les règles de dimensionnement doivent être dérivés des résultats. Les résultats des projets nationaux, publications des ateliers et informations sur les participants, les projets nationaux et des liens ont publié à <http://www.annex32.net>.

1. Ausgangslage

In der Schweiz entfallen rund 50% des Energieverbrauchs auf den Gebäudebetrieb [1] und rund 40% der CO₂-Emissionen werden durch den Gebäudebestand verursacht [1]. Mit sukzessiver Verschärfung der Anforderung an den Wärmeschutz und Energieverbrauch von Gebäuden seit Mitte der Neunziger Jahre haben sich Niedrigenergiehäuser (NEH) bis hin zu MINERGIE-P® mit einem Jahresheizwärmebedarf nach SIA 380/1 von ca. 15 kWh/(m²a) entwickelt. MINERGIE®-Häuser sind in der Schweiz mit einem Marktanteil von ca. 30% (davon 15% zertifiziert) und gesamthaft ca. 9'250 zertifizierten Gebäuden gut eingeführt. Die Marktanteile von MINERGIE® in Modernisierungen mit aktuell ca. 800 zertifizierten Gebäuden und MINERGIE-P® mit ca. 210 zertifizierten Gebäuden (Stand Juni 2008, www.minergie.ch) sind dagegen noch geringer.

Auch in anderen europäischen Ländern verzeichnen Niedrigenergiehäuser ein Marktwachstum. In Deutschland gibt es rund 5000 Passivhäuser (Hauptkriterium: Heizwärmebedarf < 15 kWh/(m²a) nach Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) [3], www.passiv.de) und rund 70'000 sog. KfW 40 und KfW 60 Energiesparhäuser (Primärenergiebedarf Heizung und Warmwasser < 40 bzw. 60 kWh/(m²a), thermischer Verlustkoeffizient H_T 45% bzw. 30% geringer als nach EnEV 2007 [4], www.kfw.de). In Österreich wurden bis 2006 ca. 1700 Passivhäuser gebaut, und in Norwegen stieg die Zahl der Niedrigenergiehäuser von 2'000 im Jahr 2006 auf 10'000 in 2007.

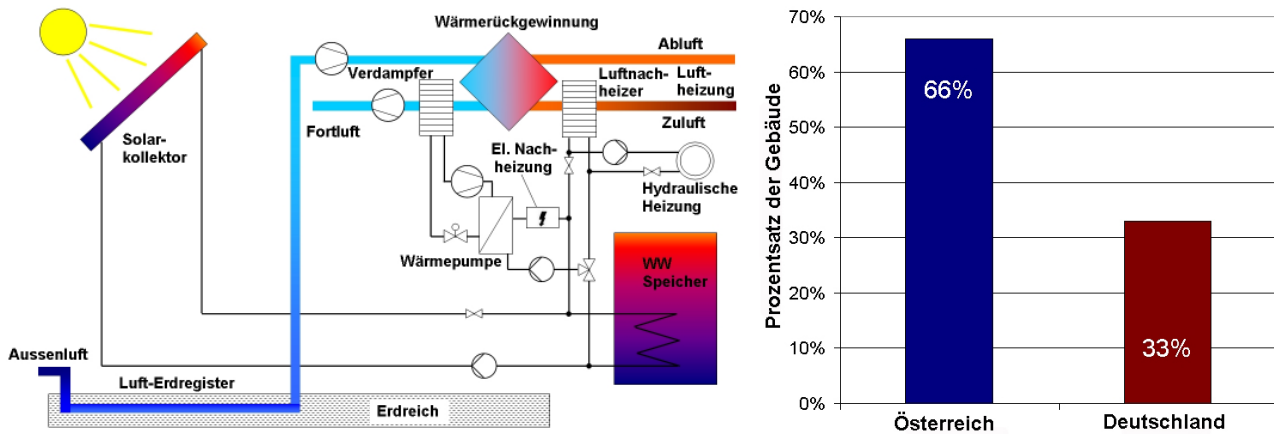


Abbildung 1: Systemintegration bei Lüftungskompaktgeräten mit Fortluft-Wärmepumpe (links) und Marktanteil von Kompaktgeräten in deutschen und österreichischen Passivhäusern (rechts, Quelle: Passivhaus-Institut)

Wärmepumpen haben in MINERGIE®-Wohnhäusern mit einem Anteil von über 50% in der Zeitspanne von 1998-2007 und in Einfamilienhaus-Neubauten mit über 70% in 2007 bereits einen hohen Marktanteil. In deutschen und österreichischen Passivhäusern sind sog. Lüftungs-Kompaktgeräte mit Fortluft-Wärmepumpe das Standardheizsystem. Die Systemintegration von Kompaktgeräten mit verschiedenen Optionen für die Systemanbindung weiterer Erzeuger wie Solarkollektor oder Luft-Erdregister ist in Abbildung 1 links, deren Marktanteil in Abbildung 1 rechts dargestellt.

Trotz dieser Marktentwicklungen fehlen bisher in einigen Teilnehmerländern des Annex 32 noch angepasste Wärmepumpenlösungen für den Niedrigenergiehausbereich. In Ländern mit markt-gängigen Lösungen fehlen teils abgesicherte Ergebnisse zum Verhalten der Geräte im praktischen Einsatz und zur Überprüfung der Funktionalität, der Jahreseffizienz sowie zur Identifikation von Optimierungspotenzialen. Darüber hinaus werden zunehmend auch Funktionen wie Komfort-Kühlung im Sommer und Befeuchtung im Winter in NEH nachgefragt. Daher ist die Systementwicklung für angepasste Niedrigenergiehaustechnologie noch nicht abgeschlossen. Wärmepumpen haben durch den energieeffizienten und umweltfreundlichen Betrieb, die niedrigen marktver-fügbaren thermischen Leistungen sowie der Möglichkeit, mit dem gleichen Aggregat zu heizen und zu kühlen, spezifische Vorteile für eine weitere Verbreitung in Niedrigenergiehäusern. Die Ver-wendung von Ökostrom kann den umweltfreundlichen und nachhaltigen Betrieb weiter verbessern.

2. Vorgehen

Der Annex 32 im Wärmepumpenprogramm (Heat Pump Programme - HPP) der Internationalen Energieagentur (IEA) mit dem Titel "Economical heating and cooling systems for low energy houses" ist im Jahr 2006 gestartet worden. Die neun Länder AT, CA, CH, DE, JP, NL, NO, SE, US nehmen am Annex 32 teil. Die Projektleitung wird vom Institut Energie am Bau (IEBau) der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik (HABG) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) [5] durchgeführt.

Die nationalen Projektbeträge im IEA HPP Annex 32 beziehen sich zum Einen auf die Entwicklung von Prototypen von Wärmepumpensystemen im Leistungsbereich von 3-5 kW und einen Einsatz von natürlichen Kältemitteln wie CO₂ oder Propan. Die Entwicklungen setzen aus den oben genannten Gründen auf eine hohe Systemintegration.

Zum Anderen sollen im Rahmen von Feldtests das reale Betriebsverhalten der Systeme untersucht und bewertet werden sowie Optimierungspotenziale identifiziert werden. Die Feldtests beziehen sich dabei vorwiegend auf marktgängige Produkte, teilweise auch auf neu entwickelte Prototypen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick der Aktivitäten.

Tabelle 1: Teilnehmer und Arbeitsschwerpunkte der einzelnen Länder

| Land | Institution | Nationales Projekt |
|-----------|---|---|
| AT | IWT der TU Graz, arsenal research | Entwurf eines Prototypen einer S/W Wärmepumpe mit dem Kältemittel CO ₂ für den Leistungsbereich 3-5 kW und Heiz-, Warmwasser und Kühlbetrieb Feldmessungen von integrierten Wärmepumpensystemen, u.a. Kompaktgeräte |
| CA | LTE von Hydro Quebec | Planung, Bau, Feldmessung und Optimierung von zwei Nullenergiehäusern inkl. Systemtechnik im Rahmen der kanadischen Equilibrium-Haus-Feldtest-Initiative |
| CH | IEBau der FHNW | Entwicklung von Standardsystemen zum Heizen und Kühlen (SEK) mit Wärmepumpe für Niedrigenergiehäuser nach MINERGIE [®] und MINERGIE-P [®] und Untersuchung von Systemen im Feldtest |
| DE | FhG ISE, Viessmann GmbH | Feldtest von ca. 100 Wärmepumpen der neusten Generation mit Heiz- und Warmwasserbetrieb über 3 Jahre (Schwerpunkt Erdreich, einige Luft und Grundwasser) |
| JP | Uni Hokkaido, TEPCO | Entwurf von Wärmepumpensystemen für Niedrigenergiehäuser in kaltem Klima (erdgekoppelt) und moderatem Klima (Luft-Wärmepumpen mit Umkehrbetrieb) |
| NL | SenterNovem, ECN, TNO, Hersteller und Baufirmen | Überprüfung der Wärmepumpenrechenmodelle von TNO für Niedrigenergiesysteme, Systementwicklung bei ECN und Feldtests im Rahmen von niederländischen NEH-Projekten |
| NO | SINTEF Energy research, NTNU | Vergleich unterschiedlicher Wärmepumpensystemlösungen für norwegische Klimaverhältnisse (kalte Aussentemperaturen im Winter), Systementwicklung und -auslegung sowie Feldtest von Prototypen mit natürlichen Kältemitteln |
| SE | SP, IVT AB, Thermia AB, Nibe AB, Bau-firmen | Untersuchung und Redesign von schwedischen Wärmepumpen für den Niedrigenergiehausbereich, Prototypenentwicklung, 3-4 kleinere Feldtests |
| US | DOE, ORNL | Entwicklung eines multifunktionalen Wärmepumpensystems für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kühlung sowie Be- und Entfeuchtung für Nullenergiehäuser |

3. Resultate

Im Folgenden werden Zwischenergebnisse ausgewählter nationaler Projekte im Annex 32 präsentiert. Der Schweizer Beitrag zum Annex 32 bezieht sich auf die Entwicklung von Standardlösungen zum Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen und wird in BFE-Projekten [6], [7] durchgeführt. Zwischenergebnisse werden im Rahmen eines weiteren Vortrags auf dem Status-Seminar vorgestellt [8]. Als Beispiele für die Entwicklung von Prototypen werden Zwischenergebnisse der nationalen Projekte von Norwegen und Österreich vorgestellt. Als Beispiel für die Projekte im Bereich Feldtests wird ein grosses Feldtestprogramm in Deutschland vorgestellt.

Projekt Norwegen

Im Rahmen des norwegischen Projekts ist unter anderem ein zentraler Wärmepumpen-Warmwassererwärmer (WPWW) für ein Niedrigenergie-Apparthaus ausgelegt worden. Das Apparthaus umfasst 40 Wohnungen, in denen das Warmwasser (WW) auch für die Wasch- und Geschirrspülmaschinen eingesetzt wird, um elektrische Energie zu sparen. Die Berechnung des gesamten WW-Energiebedarfs ergab 170'000 kWh/a. Dies sind 4'220 kWh/(a-Wohnung). Die notwendige Heizleistung des WPWW wurde unter Annahme einer Betriebszeit von 18 h pro Tag, einer Kaltwasser(KW)-Eintrittstemperatur von 5°C bzw. einer WW-Nutztemperaturen von 45°C mit $Q_{\text{dot}} = 26 \text{ kW}$ ermittelt. Das notwendige Speichervolumen ergab unter Annahme der minimalen und maximalen Speichertemperatur von 55°C bzw. 70°C eine Volumen von $V = 3'800 \text{ l}$.

CO₂ als Kältemittel hat sehr gute Umwelteigenschaften (nicht brennbar, nicht toxisch, Global Warming Potential (GWP) = 1) und insbesondere Vorteile für die Erwärmung von Warmwasser (WW) auf hohe Temperaturen. Aufgrund des transkritischen Prozesses wird das CO₂ über einen weiten Temperaturbereich bei superkritischem Druck abgekühlt, ohne dass Kondensation auftritt. Bei richtiger Auslegung kann die Wärme im Gaskühler mit geringer Grädigkeit an das Warmwasser abgegeben werden. Mit konventionellen Kältemitteln kommt in einem optimierten WPWW eine temperaturgestufte Erwärmung des Warmwassers in Unterkühler, Kondensator und Enthitzer zum Einsatz. Abbildung 2 zeigt den Temperaturverlauf für R134a und CO₂ im Vergleich. Die geringeren Temperaturdifferenzen beim Kältemittel CO₂ und die damit verbundenen niedrigeren Exergieverluste bei der Wärmeübertragung sind deutlich zu erkennen.

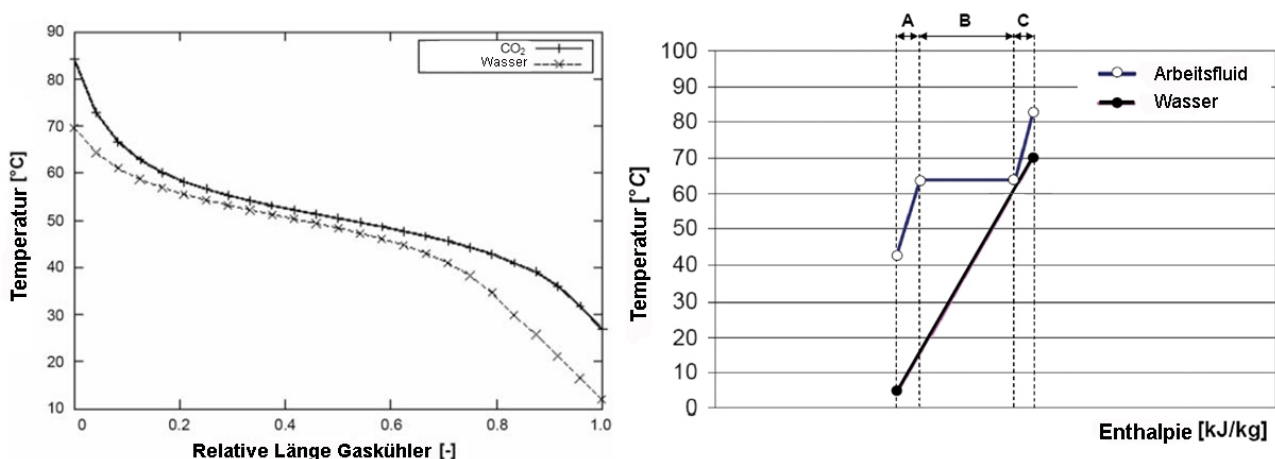


Abbildung 2: Vergleich Temperaturanpassung bei Wasssererwärmung mit CO₂ und R134a (Quelle [10])

Zur Bewertung sind die folgenden Varianten mit R134a und Propan bzw. CO₂ untersucht worden

- System 1 – Wärmepumpen mit Kondensator und Enthitzer
- System 2 - Wärmepumpen mit Kondensator, Enthitzer und Unterkühler
- System 3 - Wärmepumpen mit Kondensator, Enthitzer und internem Sauggaswärmetauscher
- System 4 - CO₂-Wärmepumpe mit einfachem Gaskühler

Abbildung 3 links zeigt die Simulationsergebnisse für die Kältemittel bei unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen t_E . Es zeigt sich, dass das CO₂-System die besten Werte erreicht.

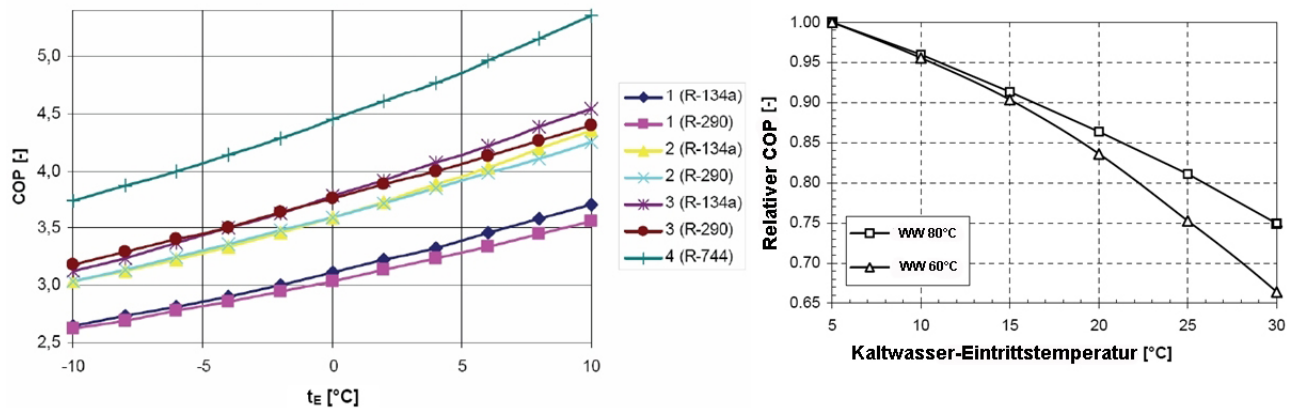


Abbildung 3: Simulationsergebnisse für unterschiedliche Systeme und Kältemittel und Abhängigkeit des COP des Kältemittels CO₂ von der Kaltwassereintrittstemperatur (Quelle [10])

Das CO₂-System hat einen ca. 20% höheren COP im Vergleich zum besten Alternativ-System. Abbildung 3 rechts zeigt die Auswirkungen der Variation der KW-Eintrittstemperatur auf den COP des CO₂-Systems. Die KW-Eintrittstemperatur hat erheblichen Einfluss auf die Effizienz. Je weiter das CO₂ abgekühlt werden kann, desto höher die Nutzenergie, die aus dem Prozess ausgekoppelt wird und desto höher die Effizienz. Eine Änderung der KW-Temperatur von 5°C über 15°C auf 25°C vermindert bei 60°C WW-Temperatur den COP um 10% bzw. 25%. Für die Auslegung des Speichersystems heisst dies, dass die Schichtung im Speicher möglichst gut aufrecht erhalten werden sollte. Systemsimulationen lieferten eine Arbeitszahl des Systems von 3.8 bei 7°C Grundwasser-Wärmequelle. Dies entspricht einer Energieeinsparung von 70-75% verglichen mit elektrischer Direktheizung und 20-25% verglichen mit einer herkömmlichen nordischen Solaranlage mit elektrischer Nachheizung. Auch bezüglich Investitionskosten liegt der CO₂-WPWW mit konservativer Jahresarbeitszahl von 3.5 noch sehr günstig.

Projekt Österreich

Im Rahmen des Beitrags von Österreich wird ein Wärmepumpensystem für den Leistungsbereich 3-5 kW entwickelt. Dazu ist zunächst eine Analyse von den drei Kältemitteln R134a, CO₂ und Propan und den folgenden drei Systemkonfigurationen durchgeführt worden:

- Luft-/Luft-Wärmepumpe für Luftheizung, Warmwasser sowie Kühlung im Umkehrbetrieb
- Sole-/Wasser-Wärmepumpe mit hydraulischer Heizung, Warmwasser und passiver Kühlung über das Erdreich
- Sole-/Wasser-Wärmepumpe mit hydraulischer Heizung, Warmwasser und aktiver Kühlung über Umkehrbetrieb der Wärmepumpe.

Luftheizungssysteme mit hygienisch notwendigem Luftwechsel sind auf eine Heizlast $< 10 \text{ W/m}^2$ und damit auf den Einsatz in MINERGIE-P[®]-Gebäuden beschränkt. Darüber hinaus werden in Österreich Akzeptanzprobleme für eine Luftheizung erwartet, so dass das Luftheizungssystem nicht gewählt wurde. Da der berechnete Kühlbedarf für Gebäude in Österreich begrenzt ist, sollte die Möglichkeit des energieeffizienten passiven Kühlbetriebs gegeben sein, so dass schliesslich das System 2 gewählt wurde. Die Untersuchung der Kältemittel ergab die folgenden Ergebnisse:

- Mit Propan können die höchsten Jahresarbeitszahlen von 3.6 für die Systemkonfigurationen und Randbedingungen erwartet werden. Allerdings ist Propan brennbar, so dass recht strenge Sicherheitsvorschriften in Bezug auf Kältemittelmenge und Luftvolumen im Installationsraum zu beachten sind (EN 378 [12]).
- Mit CO₂ und R134a können ähnliche Jahresarbeitszahlen von 3.3 erwartet werden. Während CO₂ höhere Arbeitszahlen im Warmwasserbetrieb aufweist, hat R134a Vorteile im Heizbetrieb.
- Wegen des sinkenden Heizenergiebedarfs und dem damit steigenden Warmwasseranteil in NEH und der Nachhaltigkeit fiel die Entscheidung auf das natürliche Kältemittel CO₂.

Abbildung 4 zeigt das erweiterte Konzept für den Prototyp der Sole-Wasser-Wärmepumpe mit dem Kältemittel CO_2 . 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 Warmwasser (grüne Linien, 3) wird mit dem externen Wärmetauscher HX_{DHW} erzeugt. Die Regelung des Warmwasserbetriebs sollte möglichst niedrige Rücklauftemperaturen des Heizwassers sicherstellen, um damit tiefe Eintrittstemperaturen in den Gaskühler (GC_1) der Wärmepumpe zu erreichen. Um die Schichtung im Speicher möglichst gut zu erhalten, wird der Heizungsrücklauf mittels Schichtenladung eingekoppelt. Der Gaskühler ist in zwei Teile geteilt, im GC_1 (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 oberen Bereich (violette Linien, 4) wird das vorgeheizte Wasser auf die Warmwassertemperatur ca. 50-55°C nachgeheizt und in den oberen Speicherbereich geladen. Mit dieser Anordnung können die Betriebsmodi nur Heizen (nur GC_1) nur Warmwassererzeugung und simultaner Heiz- und Warmwasserbetrieb (GC_1 und GC_2) umgesetzt werden. Im Simultanbetrieb wird die Menge des Wassers für die Nachheizung in GC_2 mit den Ventilen angepasst.

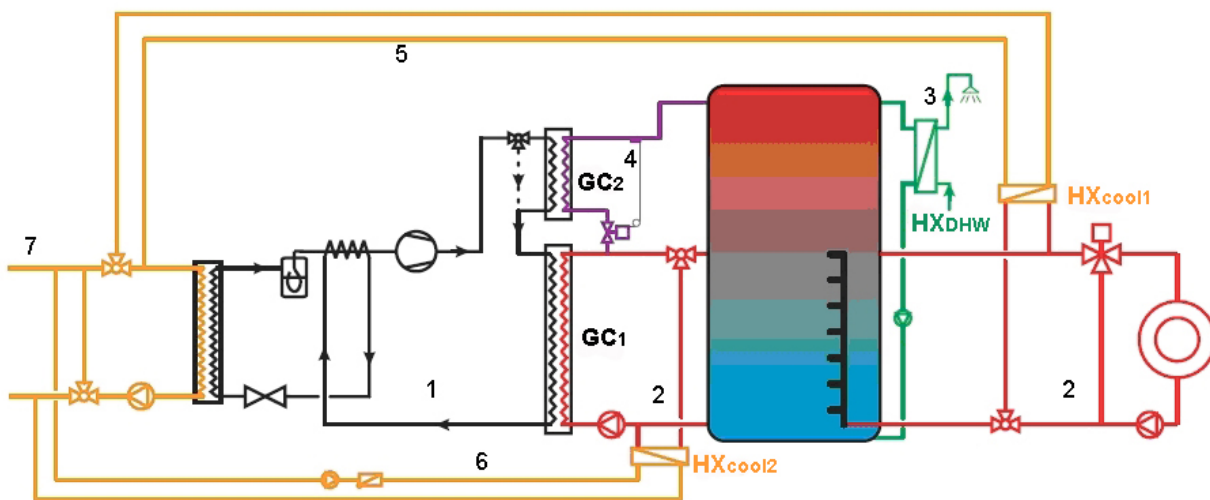


Abbildung 4: Systemkonfiguration des Prototyps im Projekt von Österreich (Quelle [10])

Der Kühlbetrieb kann über eine externe Hydraulik (orange Linien, 5 und 6) realisiert werden. Für den passiven Kühlbetrieb wird ein Kurzschluss zwischen Quelle und Senke über den Wärmetauscher HX_{cool1} hergestellt (orange Linien, 5). Als Abgabesystem dient die FBH. Für aktiven Kühlbetrieb kann die Kondensatorwärme des GC_1 über den Wärmetauscher HX_{cool2} an das Erdreich abgeben, bei simultanen Kühl- und Warmwasserbetrieb wird sie für die Warmwasserproduktion genutzt. Die nächsten Schritte im Projekt sind der Bau des Prototyps und Prüfstands für die Labormessungen, die zur Validierung eines entwickelten stationären Modells benutzt werden. Um die dynamischen Wechselwirkungen mit dem hydraulischen System und dem Gebäude zu untersuchen und zur Bewertung von unterschiedlichen Regelungsstrategien werden im Anschluss dynamische Systemsimulationen durchgeführt.

Projekt Deutschland

Als deutscher Beitrag mit Projektnamen "WP-Effizienz" wird vom Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (FhG-ISE) in Freiburg/Breisgau in Zusammenarbeit mit 7 Wärmepumpenherstellern und 2 Energieversorgungsunternehmen ein Feldtest von ca. 100 aktuellen marktgängigen Wärmepumpen in NEH durchgeführt. Projektziel ist eine Aussage zur Systemeffizienz von Anlagen der neuesten Generation mit Heiz- und Warmwasserbetrieb in NEH. Des Weiteren sollen Verbesserungspotenziale identifiziert werden und Hinweise für die Entwicklung von Wärmepumpen im Leistungsbereich von 3-5 kW gegeben werden. Die Wärmepumpen sind in NEH mit einem Jahresheizwärmebedarf von 20-50 kWh/(m²a) und einer mittleren Energiebezugsfläche von 192.4 m² installiert. Die Wärmepumpenheizleistung liegt zwischen 5-10 kW. Abbildung 5 zeigt die Wärmequellen, die Abgabesysteme und die eingesetzten Kältemittel der ersten 78 Anlagen.

hältnisse im NEH mit hohem Warmwasseranteil Vorteile bringen. Bisher sind allerdings in Europa nur wenige Systeme mit CO₂ für die Anwendung in NEH auf dem Markt.

Zum Anderen werden aus den Feldtests optimierte Musteranlagen (Best Practice Systeme) dokumentiert. Empfehlungen für die einzusetzende Messtechnik für das Anlagenmonitoring sowie Standard-Systemgrenzen und Energie-Kennzahlen für die Anlagenbewertung und Betriebsoptimierung sind weitere Ergebnisse der Feldtests. Auf Grundlage der Ergebnisse sollen Standardsysteme für die einzelnen Anwendungen abgeleitet und dokumentiert werden. Kriterien sind eine möglichst einfache Systemkonfiguration, die die Funktionalität gewährleistet und einen robusten und verlässlichen Praxisbetrieb sicherstellt. Im Rahmen der Dokumentation sollen auch Dimensionierungshinweise und Auslegungsrichtlinien berücksichtigt werden.

Eine Beschreibung der Teilnehmer des Annex 32, der nationalen Beiträge und WP- und NEH-Links sind auf der Annex 32 Website unter <http://www.annex32.net> zu finden. Workshop-Präsentationen sowie nationalen Veröffentlichungen und Artikel in Newslettern und Zeitschriften werden zum Herunterladen angeboten.

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung und die Projektbegleitung des IEA HPP Annex 32 durch das BFE. Der Annex 32 ist ein Gemeinschaftsprojekt, und die Autoren bedanken sich für die konstruktive Zusammenarbeit und die Beiträge aller Teilnehmer.

5. Literatur/Referenzen

- [1] Die Kantone als energiepolitische Schrittmacher, Pressemitteilung Konferenz kantonaler Energiedirektoren (EnDK), April 2008
- [2] Hamschmidt, J.: Marktentwicklungsstrategien für Minergie®-, Minergie-P® und Null-Energiehäuser, Präsentation am 11th Seminar im Rahmen der 5. Schweizer Bau und MINERGIE® Messe, Bern, Dezember 2005
- [3] Passivhaus Projektierung Paket (PHPP), Version 2007 1.2, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2007
- [4] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, ausgegeben zu Bonn am 26. Juli 2007
- [5] Wemhöner, C., Afjei, Th.: Operating Agent IEA HPP Annex 32, Jahresbericht, Muttenz, 2007
- [6] Dott, R., Afjei, Th., Wemhöner, C.: SEK – Standardlösungen zum Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen, Jahresbericht, Muttenz, 2007
- [7] Dott, R., Afjei, Th.: Cosy Place – Standardlösungen zum Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen, Jahresbericht, Muttenz, 2007
- [8] Dott, R., Afjei, Th.: Energieeffizientes Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen im MINERGIE-P® Mehrfamilienhaus Cosy Place, Tagungsband 15. Schweizerisches Status-Seminar 2008, Zürich, 2008
- [9] Stene, J.: IEA HPP Annex 32 – 1) Analysis of CO₂ heat pump system for low-energy and passive houses, 2) Field testing of an integrated propane heat pump system in a passive house, SINTEF Technical report TR A6676, Trondheim, April 2008
- [10] Heinz, A., Rieberer, R.: System assessment and field monitoring, Interim country report Austria IEA HPP Annex 32 Task 2 and Task 3, Graz, April 2008
- [11] Miara, M., Kramer, Th., Wewiór, J.W.: System assessment and field monitoring, Interim country report Germany IEA HPP Annex 32 Task 3, Freiburg/Brsg., April 2008
- [12] EN 378:2008 Refrigerating systems and heat pumps. Safety and environmental requirements, CEN, Brussels, 2008.