



# SEK – STANDARDLÖSUNGEN ZUM ENERGIE-EFFIZIENTEN HEIZEN UND KÜHLEN MIT WÄRMEPUMPEN

Jahresbericht 2008

Autor und Koautoren	Ralf Dott, Carsten Wemhöner, Prof. Dr. Thomas Afjei
beauftragte Institution	Institut Energie am Bau, HABG, FHNW
Adresse	St. Jakobs-Str. 84, CH-4132 Muttenz
Telefon, E-mail, Internetadresse	061 / 467 43 49, <a href="mailto:thomas.afjei@fhnw.ch">thomas.afjei@fhnw.ch</a> , <a href="http://www.fhnw.ch/iebau">www.fhnw.ch/iebau</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	101579 / 151922
BFE-Projektleiter	Th. Kopp, externer F&E-Programmleiter Ressortforschungsprogramm Umgebungswärme, WKK, Kälte
Dauer des Projekts (von – bis)	1.4.2006 – 30.6.2010
Datum	1.12.2008

## ZUSAMMENFASSUNG

Kühlen im Wohnbereich ist in der Schweiz bisher noch wenig verbreitet, doch auf dem Markt und in der Forschung sind einige Aktivitäten hinsichtlich der Integration von Kühloptionen festzustellen. Ziel des Projekts ist die Definition von Standardsystemen zum Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen für unterschiedliche Anwendungsfälle (z.B. MINERGIE®- und MINERGIE-P®-Gebäude) und die Ableitung von entsprechenden Auslegungsrichtlinien.

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten im Bereich Literatur- und Marktrecherche, der Vorbereitung und Inbetriebnahme einer Feldanlage und im Bereich Simulationen / Rechenverfahren durchgeführt. In der ergänzenden Literatur- und Marktrecherche wurden die am Markt verfügbaren Geräte und Konfigurationen aktualisiert, die eingesetzten Rechenmodelle auf Aktualität und Weiterentwicklungen geprüft und die aktuellen Marktentwicklungen mit der Planungspraxis auf den neuesten Stand gebracht. Die im Projekt vorgesehene Feldanlage konnte im Berichtsjahr instrumentiert und in Betrieb genommen werden. Im Bereich der Simulationen wurde im Jahr 2008 die Entwicklung der Simulationsmodelle vorangetrieben. Dabei wurde einerseits das verwendete Gebäudemodell validiert und andererseits die Anlagenmodelle gemäss der im Jahresbericht 2007 identifizierten Systeme weiter entwickelt.

Die im BFE-Projekt „Rechenmethode für den Jahresnutzungsgrad von Wärmepumpen-Kompaktgeräten und Validierung“ entwickelte Rechenmethode, welche mit dem Kühlbetrieb ergänzt werden soll, wurde von der europäischen Normenorganisation CEN angenommen und im September 2008 als EN 15316-4-2 publiziert. Durch den verzögerten Beginn der Feldmessung verschob sich den Schwerpunkt der Tätigkeiten im Jahr 2008.

## Projektziele

Kühlung im Wohnbau ist in der Schweiz bisher wenig verbreitet. Gerade bei Niedrigenergie- und Passivhäusern ist ein gut abgestimmtes Konzept aus sommerlichem Wärmeschutz und Reduktion der internen Lasten durch energieeffiziente Geräte wichtig, um ein angenehmes Innenklima zu gewährleisten [1].

Gestiegene Komfortansprüche an das Innenklima, Trends in der Architektur zu erhöhten Glasanteilen - zur Nutzung passiv solarer Gewinne im Winter oder auch aus ästhetischen Gründen – zeigen schon heute einen steigenden Kühlbedarf bei Gebäuden, in denen kein ausreichender Sonnenschutz installiert ist oder hohe interne Lasten vorliegen.

Ziel des Projektes ist es daher, energieeffiziente Systeme zum Heizen und Kühlen zu identifizieren und zu systematisieren, möglichst einfache und robuste Standardsysteme zum Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen für Wohnbauten abzuleiten und Richtlinien zu entwerfen, die eine einfache Auslegung und energieeffiziente Betriebsweise in der Praxis gewährleisten.

Der Projektablauf gliedert sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- **Literatur- und Marktrecherche** zur Charakterisierung des Standes der Technik
- **Bewertung der gefundenen Systeme und Aufstellen von Standardsystemen** zum Heizen und Kühlen für unterschiedliche Anwendungsbereiche (z.B. MINERGIE<sup>®</sup>, MINERGIE-P<sup>®</sup>)
- **Berechnung und Optimierung der Systemkonfigurationen und der Regelstrategien**
- **Feldtest eines Standardsystems** zur Beurteilung des realen Verhalten
- **Umsetzen der Ergebnisse zu Richtlinien und Tools** für die Systemauslegung

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die im Jahr 2008 durchgeführten Arbeiten umfassten Tätigkeiten im Bereich Literatur- und Marktrecherche, der Inbetriebnahme einer Feldanlage und der Verbesserung von Simulationen und Rechenverfahren. In der ergänzenden Literatur- und Marktrecherche wurden die am Markt verfügbaren Geräte und Konfigurationen aktualisiert, die eingesetzten Rechenmodelle auf Aktualität und Weiterentwicklungen geprüft und die aktuellen Marktentwicklungen mit der Planungspraxis auf den neuesten Stand gebracht. Die im Projekt vorgesehene Feldanlage konnte im Berichtsjahr in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner festgelegt und instrumentiert werden. Im Bereich der Simulationen wurde im Berichtsjahr die Entwicklung der Simulationsmodelle vorangetrieben. Dabei wurden einerseits das verwendete Gebäudemodell validiert und andererseits die Anlagenmodelle gemäss der identifizierten Systeme, welche im Jahresbericht 2007 beschrieben wurden, weiterentwickelt. Die im BFE-Projekt „Rechenmethode für den Jahresnutzungsgrad von Wärmepumpen-Kompaktgeräten und Validierung“ entwickelte Rechenmethode wurde von der europäischen Normenorganisation CEN angenommen und trat im September 2008 als EN 15316-4-2 in Kraft. Sie wird im Rahmen des BFE-Projekts noch mit einer Option für den Kühlbetrieb ergänzt.

### Recherche und Praxiserfahrungen

Das Themenfeld Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen in Wohnbauten wurde in den letzten Jahren aktiv von der Industrie unterstützt, indem laufend Geräte mit verschiedenen Kühloptionen auf den Markt kommen (z.B. [2]). Von Seiten der klassischen Klimagerätehersteller werden Luft/Wasser-Splittergeräte angeboten, die Heizen entweder als Zusatzoption mit anbieten oder mit dem Schwerpunkt Heizen angeboten werden (z.B. [3]). Bei den klassischen Heizwärmepumpen mit Kühlfunktion sind insbesondere bei erdgekoppelten Wärmepumpen oftmals passive Kühlfunktionen integriert. Die Modelle aus dem Klimagerätebereich sind meist Luft/Wasser-Geräte die nur eine aktive Kühlfunktion anbieten. Eine weitere technische Lösung zur Kühlung stellt ein Zusatzmodul für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung dar, wobei eine integrierte Wärmepumpe die Zuluft abkühlt und die Wärme über die Fortluft abführt (z.B. [4]). Dieses Gerät bietet jedoch nur eine Kühlfunktion, keine Heizfunktion.

Wärmeübergabesysteme mit geringen Temperaturdifferenzen zwischen dem Wärmeträgermedium und dem Raum eignen sich besonders zum Heizen oder Kühlen mit Wärmepumpen bzw. für die

Anwendung passiver Kühlfunktionen. Die Effizienz der Wärmepumpe verbessert sich mit einem geringeren Temperaturhub. Reichweite und Nutzbarkeit der passiven Kühlfunktionen steigen mit einem aus den geringen Temperaturdifferenzen resultierenden höchstmöglichen Temperaturniveau in der Wärmesenke (z.B. einer Erdwärmesonde). Bei relativ kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Oberfläche und Raum ist die Größe der Wärmeübergangskoeffizienten bedeutungsvoll für die Wärmestromdichte. Die Komplexität der Mischkonvektion (freie und erzwungene Konvektion), die Überlagerung mit dem Wärmetransport durch Strahlung und das Vorhandensein von örtlich unterschiedlichen Luft- und Strahlungstemperaturen bezogen auf die thermisch aktiven Bauteiloberflächen führen zu Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Gesamtwärmeübergangskoeffizienten und zu unterschiedlichen Ergebnisinterpretationen. Glück diskutiert das Phänomen in [5] ausführlich und folgert Beziehungen für die Abbildung von Wärmeübergangskoeffizienten bei kleinen Temperaturdifferenzen, die in die Modellierung in diesem Projekt einfließen.

Über die aktuelle Entwicklung in der Praxis geschieht im Projekt ein kontinuierlicher Austausch mit dem Industriepartner [2]. Darüber hinaus wurde mit einem auf dem Gebiet tätigen Planungsbüro ein Interview zum gleichen Thema durchgeführt [6]. In diesem Absatz wird ein Auszug aus den Ergebnissen des Gesprächs wiedergegeben. Von dem Planungsbüro wird seit etwa 2005 eine Nachfrage nach Kühloptionen festgestellt. Diese wird teilweise durch das Angebot im Markt ausgelöst, jedoch von den Kunden offen aufgenommen. Häufig fällt der Entscheid zwischen einer Erdwärmesonde oder Aussenluft als Wärmequelle mit Hilfe der Kühloption zugunsten der Erdwärmesonde, ohne Kühloption würde eher Aussenluft als Wärmequelle realisiert. Besondere Beachtung erfordern gemäss dem Gespräch zurzeit einerseits die Temperaturen im Fussboden aus Gründen der Behaglichkeit und einer möglichen Taupunktunterschreitung und andererseits die Reglerkonfiguration bei einer automatischen Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb. Hinsichtlich Aktivierung und Umfang der Kühlung gibt es keine eindeutige Präferenz für oder gegen eine automatische Umschaltung. Einerseits wird eine ganzjährige Behaglichkeitssteigerung mit einer Komfort – Kühlfunktion begrüsst, andererseits besteht der Wunsch diese Funktion nach Bedarf des Benutzers zeitlich und gegebenenfalls auch örtlich begrenzt manuell zu aktivieren. Für die Betrachtungen kann davon ausgegangen werden, dass eine mechanische Lüftungsanlage in Neubauten im Normalfall vorhanden ist. Eine Kühlung mit einer Nachtlüftung wird in der Praxis als nur sehr bedingt nutzbar angesehen. Die erwähnten Gründe dafür liegen in der durch geringe Volumenströme begrenzten Kühlleistung bzw. bei erhöhten Volumenströmen durch Schall - Anforderungen steigenden Aufwendungen für grössere Leitungsquerschnitte. Typischerweise gekühlte Räume sind Schlafzimmer, Wohnräume, Attikageschosse bzw. obere Stockwerke. Neben den technischen Aspekten liegt eine zentrale Herausforderung in der Praxis im Zusammenbringen und Zusammenarbeiten der Gewerke Haustechnik-Planer, Geräte-Lieferant, Bauunternehmer, Elektro-Planer und Elektro-Installateur damit eine sowohl hinsichtlich erreichter Behaglichkeit als auch Effizienz zufriedenstellende Lösung realisiert werden kann.

Im Zeitraum Herbst 2007 bis Herbst 2008 wurde im Rahmen eines weiteren Projekts [7] die kontinuierliche energetische Messung des ersten MINERGIE-P<sup>®</sup>-Mehrfamilienhauses „Cosyplace“ im Kanton Basel-Stadt durchgeführt. Dieses Projekt wurde vom Bundesamt für Energie und dem Amt für Umwelt und Energie Basel Stadt gefördert. Eine erdgekoppelte Wärmepumpe erzeugt die Wärme für die Raumheizung und das Warmwasser. Mit den Erdwärmesonden wird im Sommer über die Fussbodenfläche zusätzlich passiv gekühlt. Die Anlage ist so konzipiert, dass im ganzen Gebäude entweder geheizt oder gekühlt werden kann. Dabei muss neben der automatischen zentralen Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb raumweise der jeweilige Betrieb mit umschaltbaren Thermostaten individuell freigegeben werden. Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für die Frischluftzufuhr. Dabei wird die Luft über ein Luft-Erdreich-Wärmetauscher vorkonditioniert. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Immobilien Dienstleister **gribi theurillat AG, Basel**, und in Koordination mit den weiteren an der Erstellung des Gebäudes beteiligten Unternehmen durchgeführt. Die Erfahrungen und Ergebnisse mit der Feldanlage im Gebäude CosyPlace fliessen auch in dieses Projekt mit ein.

### **Feldmessung Muolen SG**

Im August dieses Jahres konnte für die im Projekt SEK vorgesehene Feldmessung zusammen mit dem Industriepartner Viessmann Schweiz AG, Geschäftsbereich SATAG Thermotechnik, ein Objekt gefunden werden. Das Gebäude ist ein Einfamilienhaus-Neubau mit anderthalb Stockwerken nach MINERGIE<sup>®</sup>-Standard in Muolen im Kanton St. Gallen. Es verfügt über eine Energiebezugsfläche von 279 m<sup>2</sup>. In das Gebäude integriert sind eine Garage und drei Kellerräume die ausserhalb der Dämm-

ebene liegen. Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für die Frischluftzufuhr. Eine Wärmepumpe mit Erdwärmesonde erzeugt die für Raumheizung und Warmwasser benötigte Wärme. Die Wärmeübergabe an die Räume erfolgt mit einer auf 30 °C Vorlauf ausgelegten, selbstregelnden Fussbodenheizung, die ohne Raumthermostaten auskommt. Zur Behaglichkeitssteigerung im Sommer kann das Gebäude über eine „natural cooling“ genannte Funktion gekühlt werden. Dabei wird der Fussbodenkreis bei ausgeschalteter Wärmepumpe direkt über einen Wärmetauscher an die Erdwärmesonde gekoppelt.



**Abb. 1: Ansicht der Südfassade des Feldobjektes in Muolen SG**

Ziel der Arbeiten ist die messtechnische Evaluation der Wärme- & Kälteversorgung des Hauses und die erreichte thermische Behaglichkeit über eine Messdauer von einem Jahr. Dabei werden die Wärme- und Kälteerzeugung mit der Wärmepumpe für Raumklima und Warmwasserbereitung, die Frischluftversorgung sowie die Raumluft- und Warmwassertemperatur betrachtet. Die Messdaten werden mit einem Datenlogger fortlaufend im 15min-Takt erfasst.

### Kennzahlen

Die Anlageneffizienz, ein zentrales Element zur Qualifizierung des Systems als gekoppeltes Heiz- und Kühlsystem, soll mit den aufgeführten Kennzahlen aus den Messwerten bestimmt werden.

- Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) Heizung (h) & Warmwasser (ww)  
durch die Wärmepumpe (WP) erzeugte Wärme für Heizung & Warmwasser dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Wärmepumpe in Verdichter (Verd) und Regelung (RGL) inklusive der Umwälzpumpe (UWP) für die Wärmequelle Erdwärmesonde (EWS)

$$WNG_{hww} = \frac{Q_{h-WP} + Q_{ww-WP}}{[E_{Verd} + E_{RGL} + E_{UWP-EWS}]_{hww}}$$

$$WNG_h = \frac{Q_{h-WP}}{[E_{Verd} + E_{RGL} + E_{UWP-EWS}]_h}$$

$$WNG_{ww} = \frac{Q_{ww-WP}}{[E_{Verd} + E_{RGL} + E_{UWP-EWS}]_{ww}}$$

- Systemnutzungsgrad (SNG) Heizung (h) & Warmwasser (ww)  
in der Wohnung genutzte Wärme für Raumheizung & Warmwasser dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Wärmepumpe (WP) mit den Umwälzpumpen (UWP) für die Erdwärmesonde (EWS) und den Kondensator (Kond) welche hier gleichzeitig auch die Pumpe für Wärmeverteilung und -übergabe (WVÜ) ist

$$SNG_h = \frac{Q_h}{[E_{Verd} + E_{RGL} + E_{UWP-EWS} + E_{UWP-Kond}]_h}$$

$$SNG_{ww} = \frac{Q_{ww}}{[E_{Verd} + E_{RGL} + E_{UWP-EWS} + E_{UWP-Kond}]_{ww}}$$

- **Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) Kühlung (k)**  
abgeführte Wärme an die Erdwärmesonde (EWS) für Raumkühlung (k) dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Umwälzpumpe (UWP) für die Erdwärmesonde und die Regelung (RGL). Da mit der Sonde nur passiv gekühlt wird, entspricht der Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) einem elektrothermischen Verstärkungsfaktor (ETV).

$$WNG_k = \frac{Q_{k-EWS}}{[E_{UWP-EWS} + E_{RGL}]_k}$$

- **Systemnutzungsgrad (SNG) Kühlung (k)**  
abgeführte Wärme aus den Wohnungen dividiert durch den elektrischen Energiebezug der Umwälzpumpen für die Erdwärmesonde (EWS), die Wärmeverteilung & -übergabe (NC-box) und den Aufwand für die Regelung (RGL) (nur passive Kühlung mit Erdwärmesonde)

$$SNG_k = \frac{Q_k}{[E_{UWP-EWS} + E_{RGL} + E_{NC-box}]_k}$$

- **Anteile Nutzwärme:** Raumheizung, Warmwasser, Raumkühlung
- **Anteile Elektrizitätsbezug:** Wärmepumpe und Umwälzpumpen für Raumheizung, Warmwasser, Raumkühlung

Die Messpunkte wurden so gewählt, dass die Energieflüsse und Zustandsbeschreibungen der erwähnten Bilanzgrenzen ermittelt werden können. In Abb. 2 sind die Messpunkte im Anlagenschema der Wärmeversorgung dargestellt. Die detaillierte Beschreibung der Messpunkte befindet sich im Anhang. Die Messgrößen werden über speziell installierte Sensoren bzw. Wärmezähler und einen Datenlogger aufgezeichnet.

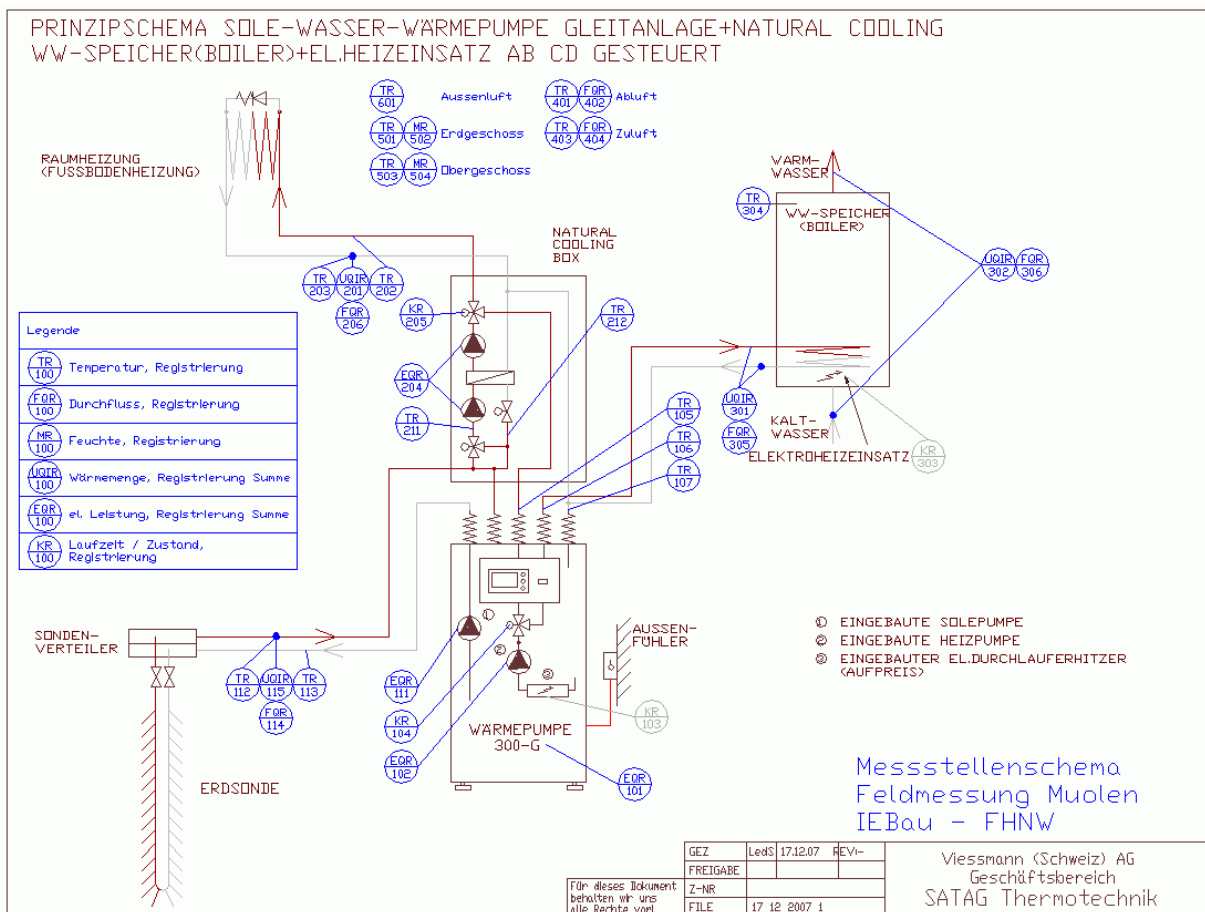


Abb. 2: Messpunkte der Feldmessung Muolen dargestellt im Prinzipschema

## Fragestellungen

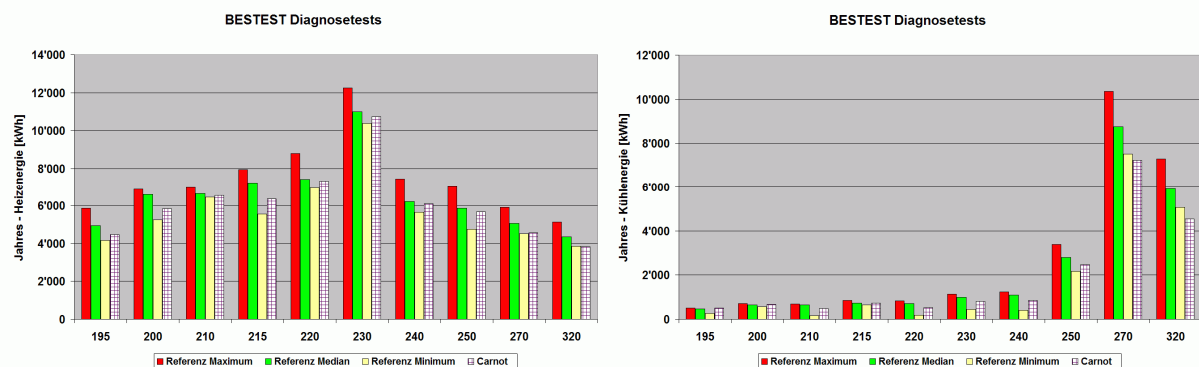
- Welche Raumtemperaturen und Raumfeuchten werden erreicht? Wie gross ist der Einfluss der Komfortfunktion Kühlung?
- Wie viel Kälte wird zur Raumtemperierung bereitgestellt? Wie oft wird die Kühlfunktion benutzt?
- Wie viel Wärme wird insgesamt von der Wärmepumpe bereitgestellt (Fussbodenheizung und Warmwasser)?  
Wie gross sind die mit den realen Innen- und Aussentemperaturen Klima-korrigierten Werte im Vergleich zu anderen Anlagen und zum Nachweis SIA 380/1?
- Wie viel Elektrizität wird jeweils für die Erzeugung von Heizwärme, Warmwasser und Kühlung aufgewendet?
- Mit welcher Effizienz (Arbeitszahl) werden Heizwärme, Warmwasser, Raumkühlung in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen erzeugt?
- Sind die Bewohner mit dem Raumklima zufrieden?

## Simulationen

Das für die Simulationen verwendete Gebäudemodell entstammt der CARNOT-Toolbox [8], welche als Erweiterung auf Matlab/Simulink aufbaut. Das Modell umfasst das thermische Verhalten der Räume und statischen Bauteile sowie die Abbildung einer Fussbodenheizung oder Bauteilaktivierung mit dem dynamischen Verhalten des Wärmeträgermediums im Wärmeübergabesystem. Die Simulation rechnet mit variabler Zeitschrittweite abhängig von der zeitlichen Änderung der Zustandsgrössen. Das Gebäudemodell wurde anhand der Testverfahren nach VDI 6020 [10] und dem BESTEST [9] validiert.

Der BESTEST ist ein Test-, Analyse- und Diagnosewerkzeug für Gebäudesimulationsprogramme, das im Rahmen des Gebäudeprogramms "Energy Conservation in Building and Community Systems (ECBCS)" der Internationalen Energieagentur (IEA) entwickelt wurde. Methodisch wird ein Programm - Benchmark durchgeführt, bei dem für eine einfache Raumgeometrie die unterschiedlichen physikalischen Effekte durch Testfälle geprüft werden. Die einzelnen Tests sind dabei so strukturiert, dass anhand von aufeinanderfolgenden Tests systematisch die Modellierung der einzelnen physikalischen Eigenschaften getestet werden kann und so anhand der Tests sukzessive Schwachstellen in der Modellierung aufgedeckt und verbessert werden können.

Die Basistests des BESTEST für ein Gebäude in Massivbauweise und eines in Leichtbauweise zeigten für den Jahres - Heizenergiebedarf eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Referenzprogramme. Der Jahres - Kühlenergiebedarf wurde für fast alle Basistests etwas zu gering berechnet. Demzufolge wurden nach Ablaufschema des BESTEST weitere Diagnosetests durchgeführt.



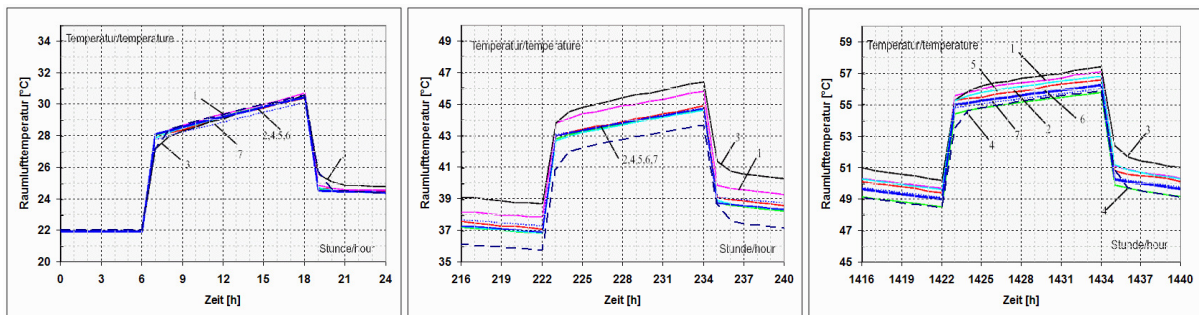
**Abb. 3: Ergebnisse der BESTEST Diagnosetests: Jahres-Heizenergie (links); Jahres-Kühlenergie (rechts)**

Die Diagnosetests prüfen in einer Abfolge die einzelnen Wärmeübertragungsmechanismen der Wände sowie den Einfluss von inneren Wärmelasten, Ventilation und der Einstrahlung durch Fenster auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf im Raum. Dabei wird das Gebäude in Leichtbauweise angewendet, bei dem die in den Basistests vorhandenen Fenster durch opake Bauteile, die sogenannten „high conductance walls“, ersetzt werden. In allen diesen Tests wurde die Modellierung des Gebäudes in CARNOT bestätigt. Erst mit der Einführung der transparenten Eigenschaften des Fensters (Test 270 &

320 in Abb. 3) zeigt sich die schon beschriebene Abweichung, dass der Betrag der solaren Wärme-gewinne augenscheinlich zu gering bewertet wird. Die Analyse des Fenstermodells zeigte einen Programmierfehler bei dem die Absorption der solaren Einstrahlung im Glas falsch bewertet wurde. Dies kommt umso stärker zum tragen je grösser die Differenz zwischen Gesamtenergie-transmissionswert (g-Wert) und der solaren Transmission ( $\tau$ ) ist. Mit der Korrektur ergibt sich eine Verbesserung der Ergebnisse an den unteren Rand der Vergleichsprogramme.

Die VDI 6020 ist eine Richtlinie, die Anforderungen an die der Modellierung zugrundeliegenden Rechenverfahren für Gebäudesimulationsprogramme definiert. In der Richtlinie werden gängige Modellierungsansätze für die unterschiedlichen physikalischen Effekte dargestellt und hinsichtlich ihrer Eignung diskutiert. Die dargestellten Verfahren werden vorbehaltlich einer korrekten Implementierung für die Gebäudesimulation empfohlen. Es werden einzelne Testbeispiele zur Qualifizierung von eigenen Gebäudesimulationsprogrammen gegeben, die sich auf einen Typraum beziehen, der auch in der VDI 2078 für die Kühllastberechnung benutzt wird.

Im Rahmen der Tests nach VDI 6020 kann auch die Kurzzeitdynamik der Wand überprüft werden, so dass über die Ergebnisse des BESTEST hinaus auch die Raumlufttemperaturverläufe, die im Rahmen der Regelungstechnik das entscheidende einzuhaltende Kriterium darstellen, überprüft werden. Die Raumlufttemperatur charakterisiert bei den VDI 6020-Tests darüber hinaus auch die Kapazitätseffekte der Wände, die den entscheidenden Einfluss auf die Dynamik der Raumlufttemperatur haben. Die Tests zeigen, dass für konvektive und strahlende Lasten sowohl für den Fall Leichtbau (Typraum L) als auch den Massivbau (Typraum S) die Dynamik der Raumtemperatur und der Wärmelast im Bereich der Referenzprogramme liegt, womit die Wandmodellierung hinsichtlich der Kapazität und Wärmedurchgänge gut bestätigt wird. In Abb. 4 sind exemplarisch die Ergebnisse für eine konvektive Last im Typraum S dargestellt. Die Dynamik der Temperaturverläufe am 10. von 60 Tagen weicht geringfügig ab, was aber die Eignung nicht beeinträchtigt. Auch die Bilanzierung bei internen konvektiven Quellen und Solltemperatursprüngen wird mit den Tests bestätigt.



**Abb. 4: Ergebnisse des Tests nach VDI 6020 Beispiel 1 – Typraum S mit konvektiver innerer Last; Tag 1 (links); Tag 10 (mitte); Tag 60 (rechts) (CARNOT gestrichelte Linie)**

### Präsentationen und Veröffentlichungen

Zwischenergebnisse des Projekts wurden auf verschiedenen Konferenzen und Arbeitstreffen von IEA-Annex-Projekten vorgestellt

- Präsentation auf der IEA Heat Pump Conference [11] (Mai 2008)
- Präsentation auf dem IEA HPP Annex 32-Arbeitstreffen [12] (Mai 2008)
- Präsentation auf den IEA ECBCS Annex 48-Arbeitstreffen in Münster & Lyon [13] (April & Oktober 2008)

### **Nationale Zusammenarbeit**

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Firma **Viessmann (Schweiz) AG, Geschäftsbereich SATAG Thermotechnik**, durchgeführt, die ein Objekt für einen Feldtest zur Verfügung gestellt hat. Die Feldanlage wurde im Herbst 2008 in Betrieb genommen.

Im Zeitraum Herbst 2007 bis Herbst 2008 wurde im Rahmen eines weiteren BFE-Projekts die kontinuierliche energetische Messung der Wärmeerzeugung des ersten MINERGIE-P<sup>®</sup>-Mehrfamilienhauses „Cosyplace“ im Kanton Basel-Stadt durchgeführt.

## Internationale Zusammenarbeit

Das Projekt stellt den nationalen Schweizer Beitrag zum **IEA HPP Annex 32** mit dem Titel "**Economical heating and cooling systems for low energy houses**" dar [12].

Mit dem **IEA ECBCS Annex 48** mit dem Titel "**Heat pumping and reversible air conditioning**" ist ein enger Informationsaustausch etabliert worden [13].

## Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Die Schwerpunkte der Tätigkeiten im Berichtsjahr 2008 lagen einerseits auf den Praxiserfahrungen aus den Feldanlagen und andererseits auf der Weiterentwicklung und dem Aufbau der Simulationsmodelle und des Rechenverfahrens. Die im Projekt integrierte Feldanlage konnte im Berichtsjahr in Betrieb genommen werden. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt CosyPlace konnten in diesem Projekt ergänzend genutzt werden. Die Entwicklung und Anwendung der Simulationsmodelle wurde vorangebracht. Dabei wurde einerseits das verwendete Gebäudemodell validiert und an die spezifischen Anforderungen angepasst und andererseits wurden die Anlagenmodelle gemäss der identifizierten Systeme weiterentwickelt.

Durch den verzögerten Beginn der Feldmessung verschob sich den Schwerpunkt der Tätigkeiten im Jahr 2008. Hierdurch liegen die durchgeführten Arbeiten und erreichten Ergebnisse im Bereich Rechenverfahren und Auslegungsrichtlinien hinter der ursprünglichen Planung.

Das Projekt wurde vom ursprünglichen Schlusstermin Ende Januar 2009 auf Juni 2010 verlängert. Dies korreliert mit dem IEA HPP Annex 32, zu dem das Projekt den nationalen Beitrag der Schweiz darstellt, der aufgrund von Verzögerungen mehrerer nationaler Projekte ebenfalls verlängert wurde.

Schwerpunkte für das Jahr 2009 sind ein Vergleich der Systemvarianten durch Parametervariation und Sensitivitätsanalysen mit Hilfe der thermischen Gebäude- und Anlagensimulation, die Durchführung und Auswertung der Feldmessung Muolen, ein Abgleich der Simulationsergebnisse mit den Praxiserfahrungen, die Weiterentwicklung der Rechenmethode und eine Ableitung der Auslegungsregeln für den Leitfadern.

## Referenzen

- [1] Feist W.: **Passivhaus Sommerklima Studie**, Fachinformation PHI 1998/10, Passivhausinstitut Darmstadt, Dez. 1998
- [2] Viessmann Schweiz AG, Geschäftsbereich SATAG Thermotechnik:  
<http://www.satagthermotechnik.ch/de/Produkte/Kuehlen.html>
- [3] Daikin Europe N.V.: <http://www.daikineurope.com> oder <http://www.altherma.ch>
- [4] Zehnder Comfosystems AG: <http://www.comfosystems.ch> → Produkte → Lüftungsgeräte Comfoair → Artic500
- [5] Glück B.: **Wärmeübergangskoeffizienten an thermisch aktiven Bauteiloberflächen und der Übergang zu Basis-kennlinien für die Wärmestromdichte**; gi Gesundheits-Ingenieur; 128. Jahrgang 2007, Heft 1, Seiten 1-10
- [6] Gespräch mit Heinz Etter, **Neukom Engineering AG**, Muttenz, Sep.2008
- [7] Dott R., Afjei Th.: **Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im MINERGIE-P® Mehrfamilienhaus CosyPlace**, Jahresbericht BFE Forschungsprogramm REN, Muttenz, Dez. 2008
- [8] **CARNOT Blockset**, Version 1.64; 2002; Bezugsquelle: Solar-Institut Jülich
- [9] Judkoff R., Neymark J.; **Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnosis Method**; NREL; Colorado; Februar 1995, USA
- [10] **VDI 6020 Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation – Gebäudesimulation**, Technische Regel, VDI Verlag, Düsseldorf, Mai 2001
- [11] Afjei Th., Dott R., Wemhöner C.: **Generic system solutions for heating and cooling of residential dwelling**, IEA Heat Pump Conference, Zürich, Mai 2008
- [12] Wemhöner C., Afjei Th.: **Operating Agent IEA HPP Annex 32**, Jahresbericht BFE Forschungsprogramm UAW, Muttenz, Dez. 2008
- [13] **IEA ECBCS Annex 48 "Heat pumping and reversible air conditioning"**, <http://www.ecbcs.org/annexes/annex48.htm>



## Anhang

Tab. 1: Liste der Messpunkte der Feldmessung Muolen

Pos.	Messgrösse	Einheit	Messprinzip / -gerät
101	el. Energiebezug der Wärmepumpe gesamt	kWh	EMU 32.x4
102	el. Energiebezug der Heizpumpe	kWh	EMU 12.x1m
103	el. Energiebezug des el. Durchlauferhitzers	kWh	deaktiviert
104	Betriebszustand der WP Heiz- oder Warmwasserbetrieb	0/1	Relais
105	Vorlauftemperatur Wärmepumpe Heizbetrieb	°C	PT100
106	Vorlauftemperatur Wärmepumpe Warmwasserbetrieb	°C	PT100
107	Rücklauftemperatur Wärmepumpe	°C	PT100
111	el. Energiebezug der Solepumpe Erdwärmesonde	kWh	EMU 12.x1m
112	Austrittstemperatur der Erdwärmesonde	°C	PT100 (aus WMZ 115)
113	Eintrittstemperatur der Erdwärmesonde	°C	PT100 (aus WMZ 115)
114	Volumenstrom Erdwärmesonde	m <sup>3</sup> /h	USD
115	Wärmebezug Erdwärmesonde	kWh	WMZ Wärme & Kälte
201	Nutzwärme Raumheizung & -kühlung	kWh	WMZ Wärme & Kälte
202	Vorlauftemperatur Fussbodenheizung	°C	PT100 (aus WMZ 201)
203	Rücklauftemperatur Fussbodenheizung	°C	PT100 (aus WMZ 201)
204	el. Energiebezug der Kühlpumpen	kWh	EMU 12.x1m
205	Status Kühlbetrieb	0/1	Relais
206	Durchfluss Fussbodenheizkreis	m <sup>3</sup> /h	USD
211	Vorlauftemperatur Kühlen Sole	°C	PT100
212	Rücklauftemperatur Kühlen Sole	°C	PT100
301	erzeugte Wärme Warmwasser	kWh	WMZ
302	Nutzwärme Warmwasser	kWh	WMZ
303	el. Energiebezug des Elektroheizeinsatzes WW	kWh	deaktiviert
304	Warmwassertemperatur	°C	PT100
305	Durchfluss Ladekreis Warmwasserspeicher	m <sup>3</sup> /h	USD
306	bezogene Menge Warmwasser	m <sup>3</sup>	USD
401	Temperatur Abluft	°C	PT100
402	Volumenstrom Abluft	m <sup>3</sup> /h	Anemometer
403	Temperatur Zuluft	°C	PT100
404	Volumenstrom Zuluft	m <sup>3</sup> /h	Anemometer
501	Temperatur Raumluft Erdgeschoss	°C	NTC
502	relative Luftfeuchte Raumluft Erdgeschoss	% <sub>r.H.</sub>	kap. Feuchtfühler
503	Temperatur Raumluft Obergeschoss	°C	NTC
504	relative Luftfeuchte Raumluft Obergeschoss	% <sub>r.H.</sub>	kap. Feuchtfühler
601	Temperatur Aussenluft	°C	PT100
602	relative Luftfeuchte Aussenluft	% <sub>r.H.</sub>	kap. Feuchtfühler

WP: Wärmepumpe

WW: Warmwasser

WMZ: Wärmemengenzähler

USD: Ultraschall Durchflussmesser

PT100: Platin Widerstandsthermometer

EMU...: elektrische Energiezähler

NTC: temperaturabhängiger elektrischer Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizient