

## **Energieeffizientes Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen im MINERGIE-P Mehrfamilienhaus CosyPlace**

R. Dott, T. Afjei

Institut Energie am Bau - Fachhochschule Nordwestschweiz  
CH-4132 Muttenz, [www.fhnw.ch/iebau](http://www.fhnw.ch/iebau), [ralf.dott@fhnw.ch](mailto:ralf.dott@fhnw.ch)

### **Zusammenfassung**

In Basel wurde 2007 das erste Mehrfamilienhaus nach MINERGIE-P<sup>®</sup>-Standard, „CosyPlace“, erstellt. Es wird im Winter mit einer erdgekoppelten Wärmepumpe und einer Niedertemperatur - Fussbodenheizung beheizt und im Sommer mit einer passiven Kühlfunktion über den Fussboden mit den Erdwärmesonden gekühlt. Mit einer messtechnischen Untersuchung sollen im Rahmen eines BFE-Projektes Erkenntnisse über das Praxisverhalten und den Benutzereinfluss gewonnen werden. Ein vorausgehendes Simulations-Projekt mit dem Thema „Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen“ zeigte, dass die thermische Behaglichkeit im Sommer durch den zusätzlichen passiven Kühlbetrieb mit geringem Zusatzaufwand wesentlich gesteigert werden kann. Die Auslegung von Fussbodenheizung und Erdwärmesonde erfolgen dabei für den Heizbetrieb. Die Messperiode am Gebäude „CosyPlace“ begann Anfang November 2007 und dauert bis Herbst 2008. Bisher konnte der Winterbetrieb ausgewertet werden. Die Nutzungsgrade der Wärmepumpe zeigten sich sowohl im Warmwasserbetrieb als auch im Heizbetrieb zufriedenstellend. Die Raumtemperaturen lagen im Bereich von 20°C bis 25°C, die relative Raumluftfeuchte war mit 20% bis 50% zweifelsfrei eher niedrig. Das Gebäude weist einen niedrigen Heizwärmebedarf, allerdings höher als der berechnete Wert, auf. Die Ursachen liegen vermutlich in höheren Raumtemperaturen und einem speziellen Nutzerverhalten, da 2 Wohnungen noch nicht bezogen und Bauarbeiten am Innenausbau während der Messperiode im Gange waren. Vom Kühlbetrieb liegen erst wenige Messwerte vor, aus denen noch keine repräsentative Aussage abgeleitet werden kann.

### **Summary**

The first multi-family apartment house according to MINERGIE-P standard in the city of Basel was built in 2007. The building is heated with a ground coupled heat pump combined with a low temperature floor heating system and cooled in summer by a passive cold generation out of the borehole heat exchanger also combined with the floor heating system. A field monitoring should bring further knowledge about the behaviour in the field application and the user influence. A previous theoretical study about “Heating and cooling with ground coupled heat pumps” showed that if the heat pump and the floor heating system are designed for the heating application an additional passive cooling mode could raise the thermal comfort in summer time with low additional expense. The monitoring period of the CosyPlace building started begin of November 2007 and will go on until autumn 2008. Up to now the winter period could be evaluated. Hereby the heat pump showed a satisfactory efficiency in heating and domestic hot water mode. Room temperatures were in a range of 20°C to 25°C, room air humidity with a range of 20% to 50% in a lower range. The building shows a low energy demand for heating yet higher than the calculated value. The increase is supposed to be caused by higher room temperatures and special user behaviour since not all apartments have been occupied yet and indoor construction work still went on. In the cooling mode only few measurements were recorded which do not allow a meaningful evaluation yet.

## 1. Ausgangslage

Die sommerliche Kühlung von Gebäuden gewinnt zunehmend an Bedeutung. Hauptgründe sind höhere innere thermische Lasten in Verbindung mit modernen Bauweisen, die einen zunehmenden Anteil an transparenten Flächen aufweisen, bis hin zu den populären Glasfassaden. Hinzu kommt ein gestiegener Lebensstandard mit hohen Ansprüchen an die thermische Behaglichkeit. Bei energieeffizienten Gebäuden gewinnt daher der Energiebedarf für die Kühlung immer mehr an Bedeutung.

Eine effiziente Bereitstellung behaglicher Bedingungen in Gebäuden ist also der Kernpunkt der notwendigen Aktivitäten. Dabei gilt es, zuerst die entstehenden thermischen Lasten zu minimieren, beispielsweise durch eine Verschattung zum Schutz vor zu starker solarer Einstrahlung oder Reduktion der Abwärme elektrischer Geräte durch effiziente Technik oder Vermeiden von unnötigem Standby-Betrieb. Der verbleibende Kühlbedarf sollte dann mit möglichst geringem Aufwand gedeckt werden. Systeme, mit denen sowohl geheizt als auch gekühlt werden kann, versprechen einen geringen Investitionsbedarf und können mit einer entsprechenden Regelung eine sehr gute Effizienz erreichen. Wärmepumpen können neben Heizwärme und Warmwasser auch Kühlenergie bereitstellen. Dabei können die für die Wärmepumpe erschlossenen Wärmequellen oft auch zur passiven Kühlung genutzt, und meist einfach in existierende Systemkonfigurationen integriert werden.

In dem BFE-Projekt „Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen“ [1] wurde die Frage untersucht, wie man mit bestehenden Wärmepumpensystemen ohne nennenswerten Mehraufwand auch kühlen kann. Diese auf Simulationen basierende Untersuchung wurde 2007 abgeschlossen. Sie befasste sich mit Niedrigenergie-Wohnbauten mit mechanischer Lüftung und beschränkte sich auf Systemkonfigurationen bei denen:

- Das Erdreich im Heizbetrieb als Wärmequelle für eine Wärmepumpe dient und im Kühlbetrieb als Wärmesenke genutzt wird.
- Die Wärmeabgabe und -aufnahme über eine Fussbodenheizung erfolgt.
- Die gesamte Anlage auf den Heizfall ausgelegt ist, jedoch auch zur Kühlung eingesetzt wird.

Untersucht wurden Fragestellungen zur Hydraulik, zur Komponentenauslegung, zur thermischen Behaglichkeit, dem Aufwand- / Nutzenverhältnis, dem Risiko von Kondensatbildung, der Regelung und den Kosten.

## 2. Vorgehen

Nachdem die Ergebnisse aus [1] die theoretische Machbarkeit und Einsatzgrenzen sowie das Potenzial einer hocheffizienten und einfachen Ergänzungskühlung zeigten, wurde eine reale Anlage gesucht, um Erfahrungen für die Umsetzung zu gewinnen und mögliche Probleme im Praxisbetrieb aufzuzeigen. Dafür bot sich das am Unteren Batterieweg in Basel 2007 erstellte, erste MINERGIE-P®-Mehrfamilienhaus des Kantons Basel-Stadt mit der Bezeichnung „CosyPlace“ an.

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

- Welche Raumtemperaturen und Raumfeuchten werden erreicht?
- Wie viel Wärme wird den Räumen entzogen und welchen Einfluss hat dies auf die Raumtemperierung?
- Wie viel Wärme wird insgesamt für Heizung und Warmwasser erzeugt bzw. je Wohnung genutzt?
- Wie viel Elektrizität wird jeweils für die Erzeugung von Heizwärme, Warmwasser und Kälte aufgewendet?
- Mit welcher Effizienz (Arbeitszahl bzw. Nutzungsgrad) werden Heizwärme, Warmwasser, Raumkühlung in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen erzeugt?
- Sind die Bewohner mit dem Raumklima zufrieden?
- Gibt es oder bestand Gefahr für Kondensation auf der Fussbodenoberfläche?

Das Gebäude wurde im Spätsommer 2007 fertig gestellt. Die Auswertung für die Heizperiode wurde für den Zeitraum 01. November 2007 bis 30. April 2008 vorgenommen. Zurzeit wird die Sommerperiode ausgewertet. Geplanter Projektabschluss ist Frühling 2009.

## Gebäude & Anlage CosyPlace

Das Gebäude „CosyPlace“ (Abbildung 1, sowie [2]) ist ein **massiv gebautes Mehrfamilienhaus mit 5 Wohneinheiten** an einer nordorientierten Hanglage in Basel-Stadt. Die hoch wärmedämmende Gebäudehülle (1) und die Wärmeschutzverglasung (2) sorgen für einen **MINERGIE-P®** entsprechenden geringen Heizwärmebedarf. Das Gebäude verfügt über drei Vollgeschosse mit zusätzlichem Attikageschoss und unterirdischer Einstellhalle. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Niedertemperatur – Fussbodenheizung (6). Eine Wärmepumpe (5) mit 15.5 kW (B0/W35) Nennleistung erzeugt die Wärme für Warmwasser und Raumheizung. Zwei jeweils 130 m tiefe **Erdwärmesonden** werden von der Wärmepumpe als Wärmequelle genutzt. Die erzeugte Wärme wird in einem Pufferspeicher mit 325 Litern Inhalt für die Heizung und einem Trinkwassertank mit 800 Litern zwischengespeichert. Für die passive Kühlung kann die Erdwärmesonde über einen Wärmetauscher direkt an den Fussbodenheizkreis gekoppelt werden. Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (3) und vorgeschaltetem Luft-Erdreichwärmetauscher (4) versorgt die Räume mit vorkonditionierter Frischluft. Für einen niedrigen Strombedarf sind zudem energieeffiziente Leuchten (7) und Geräte (8) vorgesehen. Die Energiebezugsfläche beträgt 1'064 m<sup>2</sup>, die Nettowohnfläche 741 m<sup>2</sup>. Der Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 (2001) beträgt 36 MJ/m<sup>2</sup>a, die Norm-Heizlast nach SIA 384/201 11.8 kW bei einer Auslegungstemperatur von -8°C und 20°C Innentemperatur. Die Fussbodenheizung ist ausgelegt auf 30°C Vorlauf / 25°C Rücklauf. Abbildung 2 zeigt die Messstellen der Feldmessung im Hydraulikschema der Wärmeversorgung.

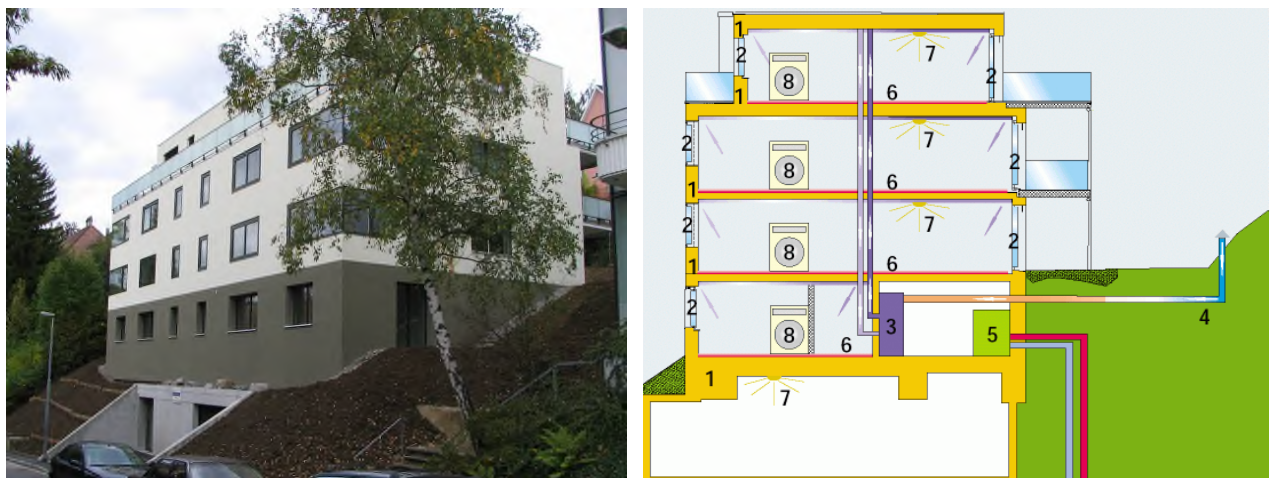


Abbildung 1: links: Ansicht des Gebäudes CosyPlace zum Erstbezug im Spätsommer 2007  
rechts: Schematische Darstellung des Gebäudes mit technischem Konzept

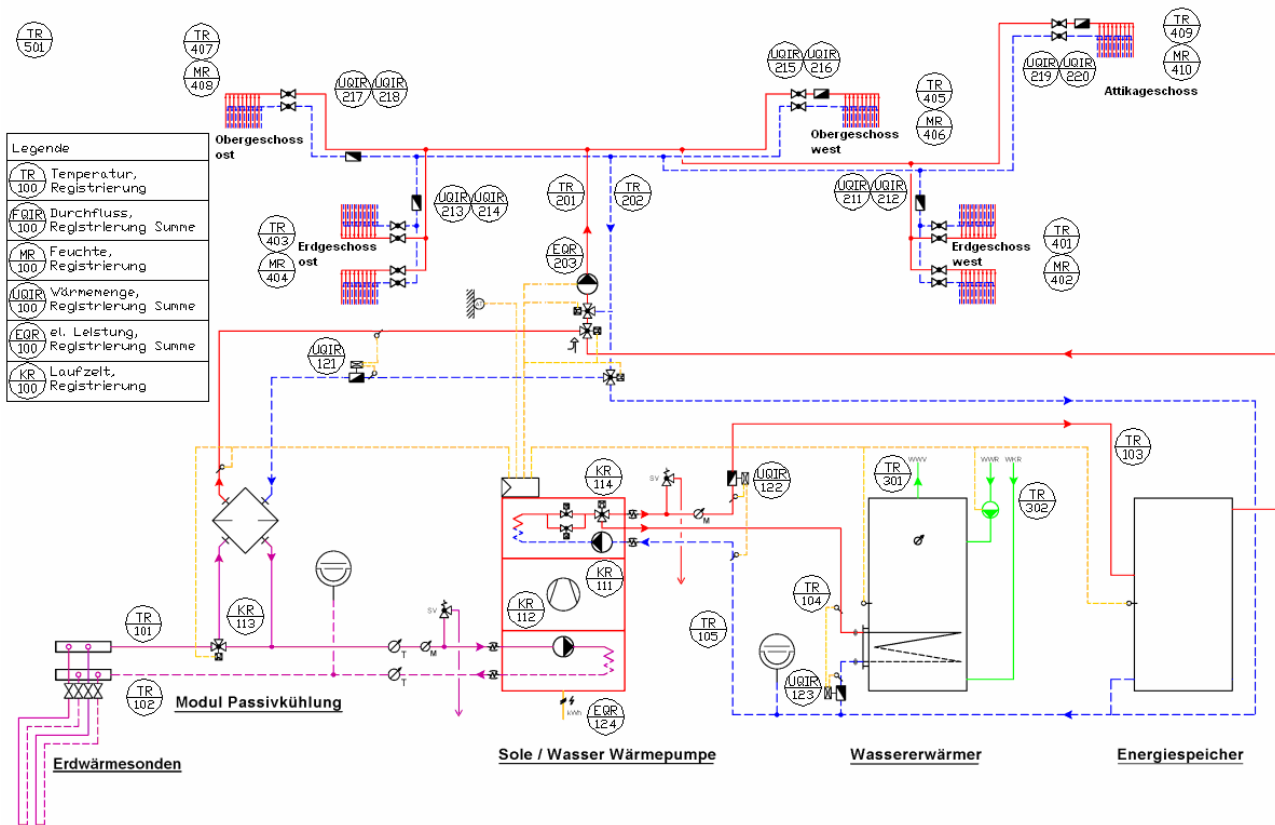


Abbildung 2: Messpunkte der Feldmessung dargestellt im Anlagenschema

### 3. Resultate

#### Ergebnis Winterperiode

Die Auswertung der Winterperiode wird für den Zeitraum 01. Nov. 2007 bis 30. Apr. 2008 vorgenommen, wobei 3 von 5 Wohnungen von zusammen 5 Erwachsenen und 1 Kleinkind bewohnt waren.

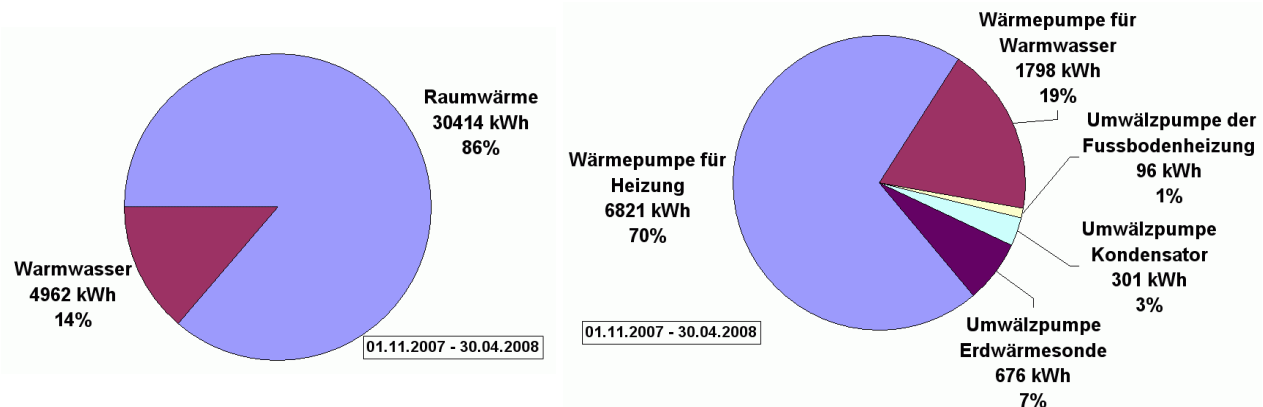


Abbildung 3: links: erzeugte Wärme für Winterperiode, rechts: bezogene Elektrizität für Winterperiode

Abbildung 3 zeigt links die **erzeugte Wärme** der Wärmepumpe sowie rechts die zur Erzeugung der Wärme bezogene Elektrizität. Für Warmwasser wurden von der Wärmepumpe 4962 kWh Wärme erzeugt. Daraus ergibt sich eine spezifische Warmwasserbereitstellung von 4.96 kWh/Person/Tag bzw. ein Verbrauch von 29.8 l/Person/Tag, was einem typischen Bedarf entspricht. Die erzeugte Wärme für Warmwasser beträgt in der Winterperiode 14% der insgesamt erzeugten Wärme. Für Raumheizung wurden 30'414 kWh oder 86% der Wärme erzeugt. Die daraus resultierende spezifi-

sche erzeugte Raumwärme liegt mit  $103 \text{ MJ/m}^2/\text{a}$  verglichen mit dem rechnerischen Heizwärmebedarf gemäss SIA380/1 von  $36 \text{ MJ/m}^2/\text{a}$  deutlich höher. Mögliche Ursachen dafür sind die höheren Raumtemperaturen ( $23^\circ\text{C}$  statt  $20^\circ\text{C}$ ), die Gebäudeaustrocknung in der ersten Heizperiode und ein spezielles Nutzerverhalten, da zwei Wohnungen noch nicht bezogen und die Bauarbeiten am Innenausbau bei geöffneten Fenstern während der Messungen weiterliefen. Eine fundierte Aussage über den Heizwärmebedarf kann somit noch nicht getroffen werden. Dies könnte erst die zweite Heizperiode zeigen, wenn das Gebäude sinngemäss genutzt wird und das Messprojekt fortgeführt würde.

Die **bezogene Elektrizität** zur Erzeugung der Wärme verteilt sich zu 70% bzw. 6821 kWh auf die Wärmepumpe im Heizbetrieb, zu 19% bzw. 1798 kWh auf die Wärmepumpe im Warmwasserbetrieb und zu 11% auf die Umwälzpumpen. Die Umwälzpumpe der Fussbodenheizung hat mit nur 1% einen sehr geringen Anteil am Elektrizitätsbezug. Diese Pumpe ist im Gegensatz zu den anderen Umwälzpumpen eine elektronisch geregelte hocheffiziente Synchronmotor-Pumpe.

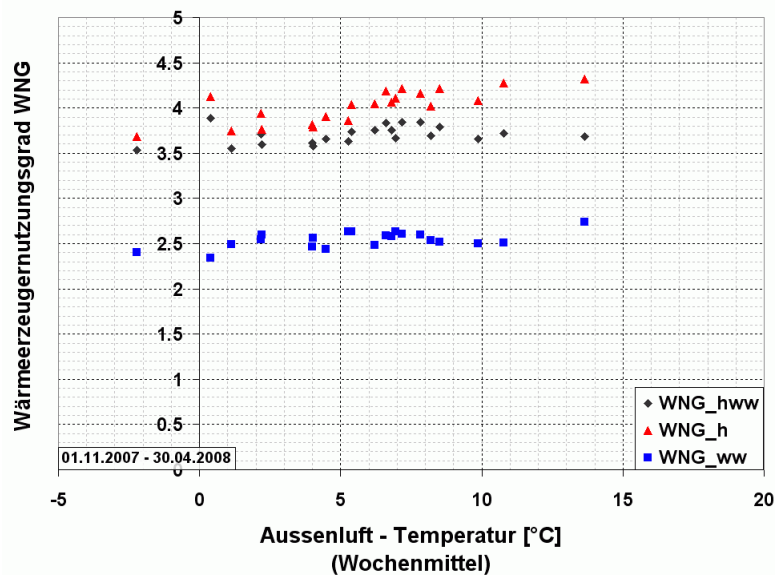


Abbildung 4: Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) der Wärmepumpe im Heiz- und Warmwasserbetrieb

Abbildung 4 zeigt Wochenmittelwerte des **Wärmeerzeugernutzungsgrades** für Heizung und Warmwasser. Der Wärmeerzeugernutzungsgrad ist das Verhältnis aus erzeugter Wärme durch die Wärmepumpe und dem dafür notwendigen elektrischen Aufwand der Wärmepumpe inklusive Umwälzpumpen für die Erdwärmesonde sowie den Kondensator, da ein Pufferspeicher vorhanden ist. Der Wärmeerzeugernutzungsgrad im Warmwasserbetrieb liegt bei ungefähr 2.5, im Heizbetrieb bei 3.7 bis 4.3 und über beide Betriebsarten gewichtet bei 3.5 bis 3.9.

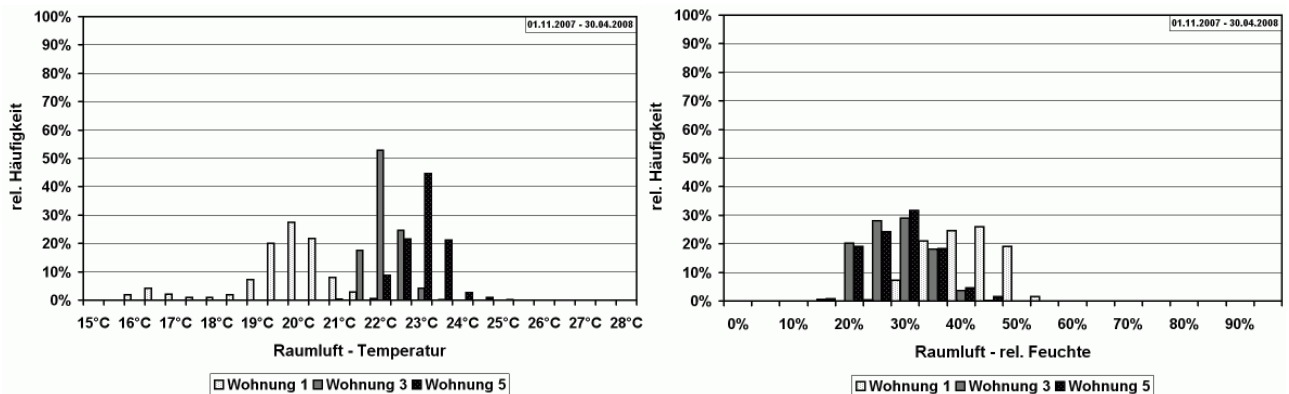


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung in der Winterperiode für die Wohnungen 1, 3 & 5  
links: Temperaturen der Raumluft  
rechts: rel. Feuchte der Raumluft

Die Häufigkeitsverteilung der **Raumtemperaturen** in der Winterperiode, dargestellt in Abbildung 5 links, zeigt, dass die Raumtemperaturen in den Wohnungen grösstenteils deutlich höher liegen als die in der Norm – Rechnung angesetzten 20°C. Die Temperaturen in Wohnung 1 variieren mit 16°C bis 22°C am stärksten, wobei allerdings mehr als 88% im Bereich 19 – 22°C liegen. In Wohnung 3 wurden Temperaturen zwischen 21.5°C und 23°C registriert, in Wohnung 5 zwischen 22°C und 25°C.

Die **relative Feuchte der Raumluft**, dargestellt in Abbildung 5 rechts, liegt für Wohnung 1 zwischen 30%<sub>r.F.</sub> und 55%<sub>r.F.</sub>, für Wohnung 3 zwischen 20%<sub>r.F.</sub> und 45%<sub>r.F.</sub> und für Wohnung 5 zwischen 20%<sub>r.F.</sub> und 50%<sub>r.F.</sub>. Dabei liegen die Werte für Wohnung 3 & 5 zu jeweils etwa 45% der Zeit unterhalb von 30%<sub>r.F.</sub> und sind damit eher niedrig.

Der Heizungspufferspeicher wird in dieser Anlage gleitend mit der Aussentemperatur gefahren. Über eine Beimischschaltung wird dann die **Vorlauftemperatur** im Fussbodenkreis (FBH) aussentemperaturgeführt geregelt. Die gemessenen Vorlauftemperaturen im Fussbodenkreis zeigten sich mit knapp 39°C bei einer Aussentemperatur von -8°C deutlich höher als die ursprünglich auf 20°C Raumtemperatur ausgelegte Vorlauftemperatur von 30°C. Aus den Messdaten der Winterperiode zeigte sich weiter, dass die Wärmepumpe (WP) pro Einschaltung im Heizbetrieb (RH) nur auf eine mittlere Laufzeit von 21 min kommt und zu oft ein- und wieder ausschaltet (siehe Abbildung 6, unten). Dies wird vermutlich durch den kleinen Pufferspeicher mit zu kleiner Hysterese hervorgerufen. Mit der Beimischschaltung zum Fussbodenkreis könnte der Pufferspeicher mit einer grösseren Hysterese betrieben werden. Die Wärmepumpe erreicht dank einer Hochtemperaturschaltung im Warmwasserbetrieb (WW) recht hohe Vorlauftemperaturen von bis zu 64°C.

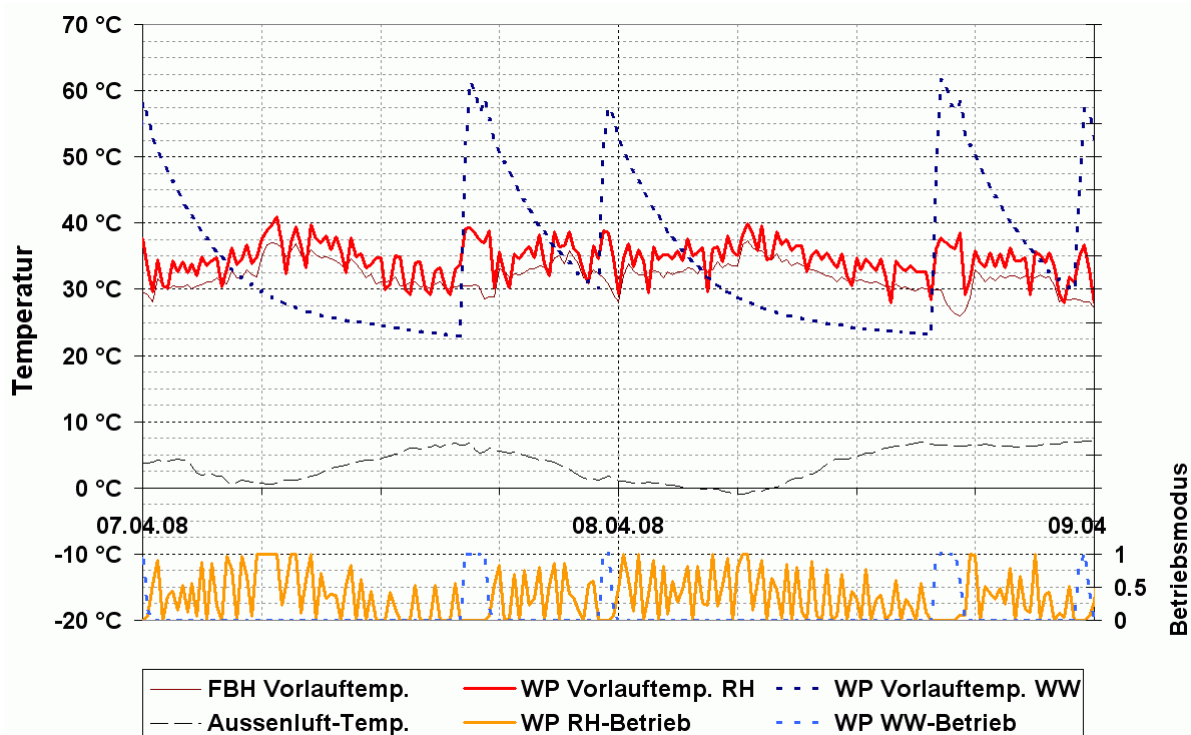


Abbildung 6: Charakteristischer Verlauf Heiz- und Warmwasserbetrieb in der Winterperiode

### Erste Ergebnisse Sommerperiode

Die ersten Ergebnisse der Sommerperiode beziehen sich auf den Zeitraum 01. Mai 2008 bis 25. Juni 2008. Die Belegung der Wohnungen entspricht mit 5 Erwachsenen und 1 Kleinkind derjenigen der Heizperiode. Zurzeit werden die Innenausbauarbeiten für die verbleibenden 2 Wohnungen zum Bezug im Spätsommer fertig gestellt.

In dem betrachteten Zeitraum wurden die Aussenlufttemperaturen alle 15 Minuten aufgezeichnet. Dabei ergaben sich Spitzenwerte von bis zu 32°C, so dass erste Betriebsphasen der Kühlfunktion beobachtet werden konnten. Die Wärmepumpenanlage schaltet automatisch, abhängig von einer über sechs Stunden gemittelten Aussentemperatur zwischen Heiz- und Kühlbetrieb um. Unter 15°C Aussentemperatur wird der Heizbetrieb aktiviert, über 20°C deaktiviert. Oberhalb eines Schwellwerts von 24°C erfolgt die Freigabe für den passiven Kühlbetrieb. Damit einem Raum eine Kühlung zu Gute kommt, muss der Bewohner am Raumthermostaten manuell auf Kühlbetrieb umstellen bzw. wieder auf Heizbetrieb zurückstellen. Im Weiteren kann bei beiden Betriebsarten raumweise eine Solltemperatur eingestellt werden. Die früher durchgeführte theoretischen Studie [1] zeigte, dass die Anlage durch den Selbstregelleffekt auch ohne Raumthermostaten funktionieren würde, vorausgesetzt Heiz- und Kühlkurve sind korrekt eingestellt.

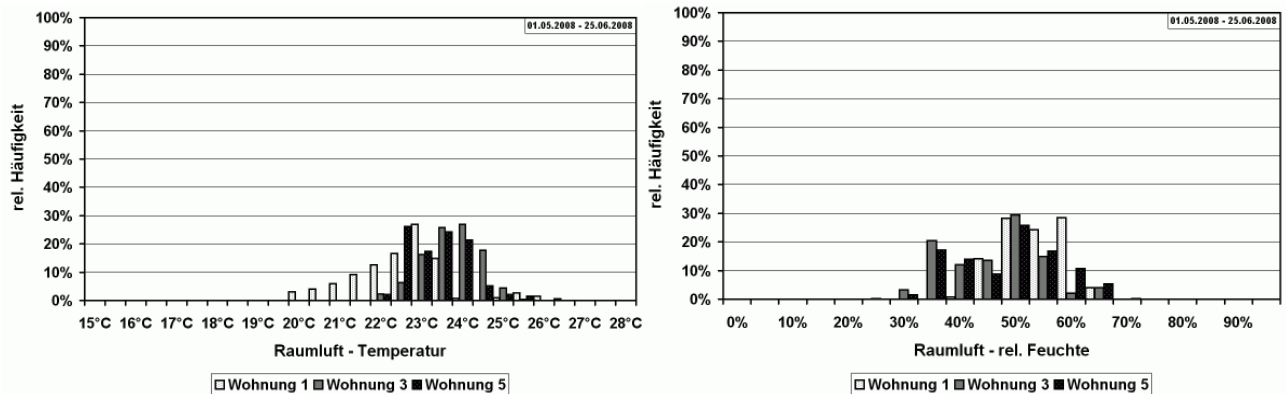


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung im ersten Teil der Sommerperiode für die Wohnungen 1, 3 & 5 links: Temperaturen der Raumluf, rechts: rel. Feuchte der Raumluf

Die Temperaturen in den Räumen liegen hauptsächlich im Bereich 21°C bis 25°C. In wenigen Stunden wurden Temperaturen bis maximal 26.5°C registriert. Die relativen Feuchten liegen mit 35% r.F. bis 70% r.F., bedingt durch die feuchtwarmen Aussenbedingungen, zum Teil am oberen Rand des Behaglichkeitsfeldes. Taupunkttemperaturen von 20°C werden bisher an wenigen Stunden erreicht, aber nicht überschritten.

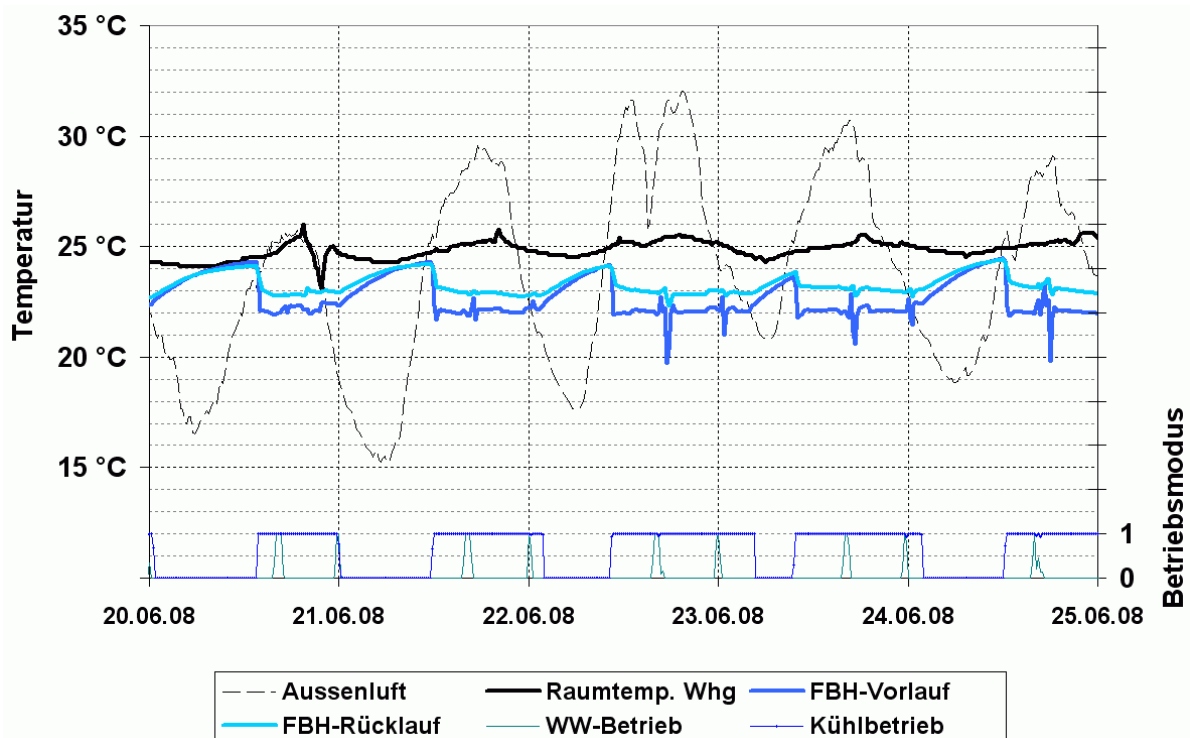


Abbildung 8: Charakteristischer Verlauf Kühlbetrieb im ersten Teil der Sommerperiode

An den ersten Kühltagen wurden, wie in Abbildung 8 dargestellt, im Hauptverteiler für die Fussbodenkreise eine Vorlauftemperatur von 22°C und eine Rücklauftemperatur von 23°C gemessen. Es stellte sich also eine Temperaturdifferenz Vorlauf- / Rücklauf von rund 1 K ein. Mit 24°C bis 26°C blieben die Raumtemperaturen in dem mit der passiven Kühlung ausgestatteten Gebäude im beaglichen Temperaturbereich. Da die Oberflächentemperaturen des Fussbodens zwischen der Raumtemperatur (24°C bis 26°C) und der Heizkreistemperatur (22°C bis 23°C) liegen, bleibt ein ausreichender Abstand zur Taupunkttemperatur.

#### 4. Ausblick

Die Inbetriebnahme und Winterperiode der Messungen brachte erste interessante Ergebnisse und Erfahrungen mit dem System einer erdgekoppelten Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen. Die Messperiode dauert noch bis Herbst 2008 an. Der Schwerpunkt der Auswertungen liegt im Betrieb in der Übergangszeit im Frühling und Herbst sowie in der Wirkung der Kühlfunktion im Sommer. Aus der Übergangszeit im Frühling liegen erste Messwerte vor, die jedoch noch keine qualifizierte Aussage erlauben. Die Auswertungen werden im 2009 erscheinenden Schlussbericht publiziert werden. Von Vorteil wäre die Ausdehnung auf eine weitere Heiz- und Kühlperiode.

Das Projekt liefert einen Beitrag zu Annex 32 im IEA Wärmepumpen - Programm mit dem Titel "Economical Heating and Cooling Systems for low energy houses" [3], der in einer anderen Session vorgestellt wird.

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesamt für Energie, das Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt und der EMB Pumpen AG, sowie für die konstruktive Zusammenarbeit mit den am Bau beteiligten Unternehmen.

#### 5. Literatur/Referenzen

- [1] Th. Afjei, R. Dott, A. Huber: **Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen**, Schlussbericht BFE Forschungsprogramm REN, Muttentz, Aug. 2007
- [2] R. Dott, Th. Afjei: **Sanfte Kühlung mit Erdwärmesonden im MINEGIE-P Wohngebäude CosyPlace**, Jahresbericht 2007, BFE Forschungsprogramm REN, Muttentz, Nov. 2007
- [3] C. Wemhöner, **IEA HPP Annex32 – Economical Heating and Cooling for low energy houses**, Tagungsbeitrag, 15. Statusseminar Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, Zürich, Sep. 2008, <http://www.annex32.net>