

**Schlüsselwörter:**Klimaanlage · Sorption · Entfeuchtung ·  
Abwärmennutzung · Erdwärmesonde ·  
Erdkälte · Fußbodenkühlung

Es wird ein Klimatisierungskonzept vorgestellt, bei dem eine sorptionsgestützte Lüftung mit einer Fußbodenkühlung und Erdwärmesonden kombiniert wird. Die Fußbodenheizung wird in den Sommermonaten mit kaltem Wasser durchfließen, um so den Hauptteil der Kühllast abzuführen. In der Lüftungsanlage wird die Außenluft aufbereitet und mittels der Abwärme des Mini-BHKW Moduls entfeuchtet. Die Kühlleistung für Lüftung und Fußbodenkühlung wird regenerativ durch Erdkältesonden geliefert. Aus der Untersuchung eines Sommers wurde eine deutliche Primärenergieeinsparung gegenüber einer konventionellen, rein elektrisch betriebenen Nur-Luft-Klimaanlage festgestellt.

### Experiences with a desiccant assisted air conditioning system with geothermal energy for an office building

**Keywords:**

air conditioning · desiccant · dehumidification · waste heat · borehole heat exchanger · radiant cooling

Thermal driven desiccant assisted air conditioning systems offer the possibility to shift energy requirement from electricity to heat, e.g. gas. Within the scope of a research project at Hamburg-Harburg University of Science and Technology (TUHH), a demonstration plant for an office building was built and the operation was evaluated. The plant combines desiccant air conditioning with a small gas driven co-generation plant. Instead of an electric chiller, borehole heat exchangers are used for supplying cooling and radiant floor heating system is used for cooling in summer. In this paper, performance comparisons based on calculations and measurement data and also cost analysis are shown. It was found that the proposed system offers considerable energy savings compared to conventional electric system. The operation of such a system is also cost-effective.

**Autor**

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz

Dr.-Ing. Wilson Casas

Technische Thermodynamik, Heizungs- und Klimatechnik

Technische Universität Hamburg-Harburg

# Bau und Betrieb einer sorptionsgestützten Klimaanlage in einem Bürogebäude in Hamburg

**Einleitung**

In konventionellen Klimaanlagen muss im Sommerfall die warme feuchte Luft deutlich unter die eigentliche Zulufttemperatur abgekühlt werden, weil zur Entfeuchtung die Taupunkttemperatur unterschritten werden muss. Dies führt zu einer hohen erforderlichen Kälteleistung und somit zu einem hohen elektrischen Energiebedarf. Eine Alternative zur Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung stellt die sorptive Trocknung dar (Bild 1). Dabei durchströmt die feuchte Außenluft einen Sorptionsrotor, in dem die Feuchtigkeit zunächst sorbiert und durch Rotation auf einen warmen Luftstrom übertragen wird, den so genannten Regenerationsluftstrom. Die beim Sorptionsvorgang frei werdende Wärme führt zu einer Temperaturerhöhung des getrockneten Luftstroms. Umgekehrt nimmt die Regenerationsluft die Feuchtigkeit auf und kühlt sich dabei ab. Als Sorptionsmittel kommen Materialien wie Silicagel oder Lithiumchlorid zum Einsatz. Die getrocknete, warme Luft muss anschließend wieder gekühlt werden. Durch den Einsatz einer Kälterückgewinnung kann die im Vergleich zur getrockneten Luft kältere Abluft zur passiven Kühlung genutzt werden. Schließlich ist die Prozessluft im letzten Schritt in einem nachgeschalteten Wärmetauscher auf Zulufttemperatur abzukühlen. Im Gegensatz zu den DEC Klimaanlagen, bei denen die Luft durch adiabate Verdunstung weiter abgekühlt wird, wird in dem hier behandelten Prozess auf Wassereindüsung gänzlich verzichtet.

Bei der Nachkühlung ist keine Taupunktunterschreitung und Auskondensation mehr

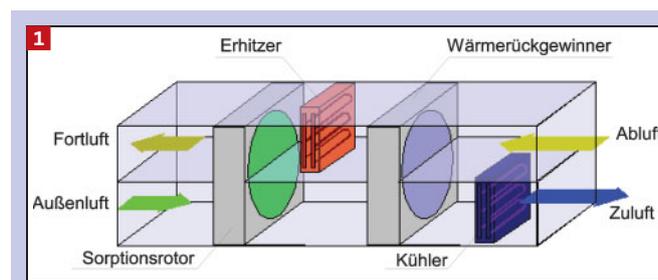
notwendig, sodass entweder die Verdampfungstemperatur der eingesetzten Kältemaschine angehoben werden kann [1], oder Kältequellen höherer Temperatur genutzt werden können, wie z.B. Erdkälte [2,3].

Statt elektrischer Energie für die Kältebereitstellung in einer Kältemaschine muss bei diesem Klimatisierungsprozess mehr thermische Energie zur Erwärmung der Regenerationsluft zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist sowohl die direkte Nutzung von z.B. Solarwärme oder eines konventionellen Gaskessels, aber auch die Abwärmennutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen möglich. Letzteres ist insofern interessant, als es im Sommer möglich wird, solche Anlagen weiter zu betreiben und die dabei entstehende Abwärme sinnvoll auszunutzen.

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und von der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (DVGW) geförderten Forschungsvorhabens wurde dieses sorptionsgestützte Klimatisierungsverfahren zuerst im Labor untersucht und anschließend in einer Demonstrationsanlage erprobt.

**Demonstrationsanlage**

Die Demonstrationsanlage ist in das Bürogebäude der Firma Hoppe Bordmesstechnik in Hamburg-Stellingen eingebaut worden. Das Gebäude hat eine Grundfläche von 650 m<sup>2</sup> und eine Höhe von 9,9 m. Die Gesamtfläche von 1992 m<sup>2</sup> ist auf 3 Stockwerke aufgeteilt. Die klimatisierte Fläche von etwa 1300 m<sup>2</sup> besteht aus 15 Büros im



**1** Sorptionsgestützte Klimaanlage



**KI** Kälte · Luft ·  
**Klimatechnik**  
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
[ki-portal.de](http://ki-portal.de)!

**Hier klicken & informieren!**

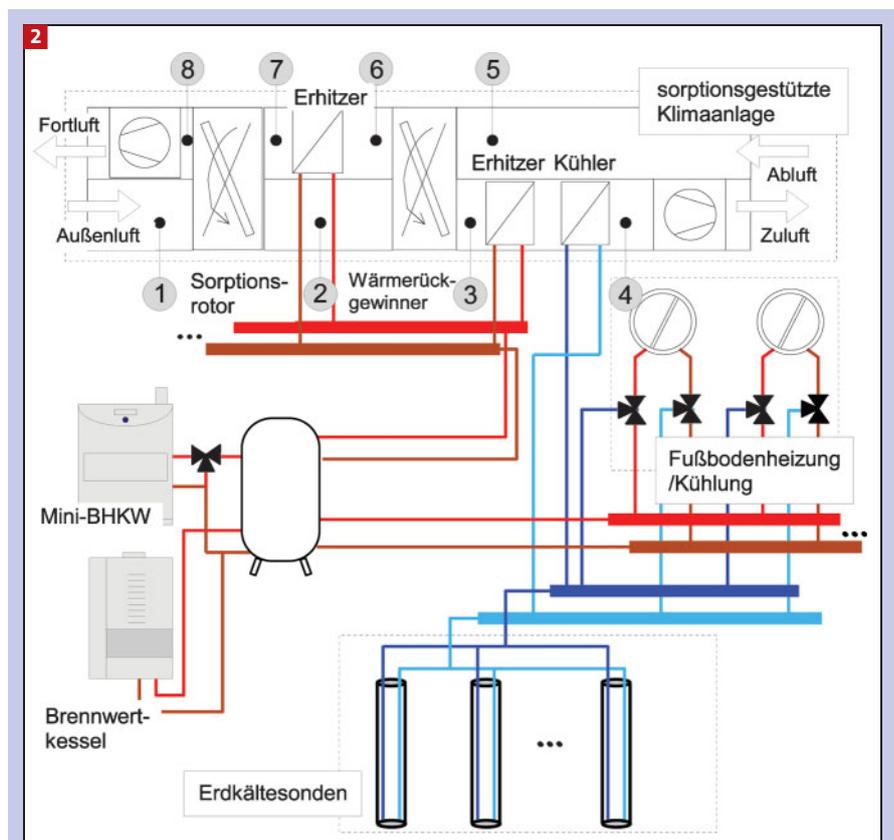


Obergeschoss und Fertigungshallen im Erdgeschoss. Es wurde ein Normheizwärmeleistungsbedarf von 70 kW ermittelt, der von einem Brennwertkessel und einem Mini-Blockheizkraftwerk (4,7 kWel/12,5 kWth) der Firma Ecopower gedeckt wird. Beide Geräte befüllen einen Warmwasserspeicher (1000 l), aus dem im unteren Bereich die Fußbodenheizung (Niedertemperaturverbraucher) und aus dem oberen Bereich andere Heizkörper, Trinkwassererwärmer und Lüftung (Hochtemperaturverbraucher) gespeist werden (Bild 2). Die Lüftung sorgt für den notwendigen Frischluftbedarf von 2500 m<sup>3</sup>/h, die auf die Büros im Obergeschoss und die Werkstatt- und Lagerhallen im Erdgeschoss verteilt werden. Im Sommerbetrieb wird die Luft sorptiv entfeuchtet, die dafür benötigte Heizenergie von 10 bis 12 kW wird vom Mini-BHKW zur Verfügung gestellt. Bei der Umschaltung auf Kühlbetrieb im Sommer wird die Fußbodenheizung von kaltem Wasser durchflossen, um so die sensiblen Lasten in den Räumen abzuführen.

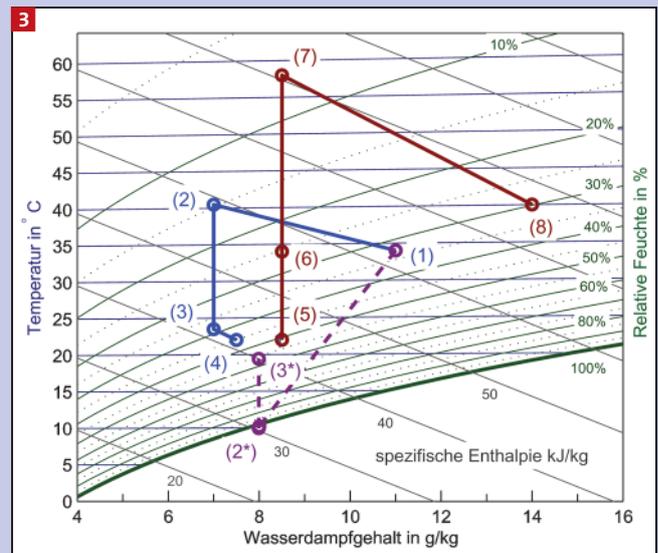
Zur Bereitstellung der gesamten Kühlleistung für die Klimatisierung (Lüftung und Fußbodenkühlung) wird das Erdreich genutzt. Um das Gebäude herum sind mehrere Erdwärmesonden platziert (8 Sonden, je 98 m tief), in denen das Wasser aus Flächenkühlung und Lüftung zurückgekühlt wird. Bei den Sonden handelt es sich um die aus dem Betrieb mit erdgekoppelten Wärmepumpen bekannten Sondenbauarten, die aus Doppel-U-Kunststoffröhren bestehen [4]. Die Röhre, die mit einer Schutzkappe als Gewicht versehen sind, werden senkrecht in die 100 Meter tiefe Bohrlöcher versenkt. Die Erdkältesonden liefern insgesamt eine Kühlleistung von 30 kW.

### Energiebedarf

Die gemessenen Zustandsänderungen der Luft in der Klimaanlage für einen Betriebspunkt sind in einem Mollier-h,x-Diagramm aufgetragen (Bild 3). Die warme Außenluft (1) wird beim Durchströmen des Sorptionsrotors entfeuchtet und erwärmt sich auf ca. 40 °C (2). Dabei wird die Luft um 4 g/kg entfeuchtet. Theoretisch müsste diese Zustandsänderung mit einem leichten Anstieg der Enthalpie verbunden sein. Zum einen bewirken jedoch Leckageströme, zum anderen Ungenauigkeiten bei der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit eine scheinbare Verringerung der Enthalpie. Im nachgeschalteten Wärmerückgewinner wird die trockene Luft auf etwa 24 °C gekühlt (3). Mit der Erdkälte wird schließlich eine Zulufttemperatur von 22 °C erreicht (4). Die Messdaten zeigen dabei eine geringe Feuchtigkeitszunahme der Luft. Dies ist auf eine



**2** Konzept der Demonstrationsanlage  
**3** Gemessene Zustandsänderungen im h,x-Diagramm



Mischung mit Leckageströmen aus der feuchteren Abluft am rotierenden Wärmetauscher zurückzuführen. Die Abluft (5), die zunächst im Wärmerückgewinner vorgewärmt wurde (6), erreicht im Erhitzer 58 °C (7) und nimmt im Sorptionsrotor die gespeicherte Feuchtigkeit auf (8). Bei den Messwerten ist anzumerken, dass die für den Sommerbetrieb ausgelegte Zulufttemperatur (4) von 19 °C nicht erreicht wird. Dies liegt daran, dass eine niedrigere Kaltwassertemperatur für die Auslegung

des Wärmetauschers (15 °C) zugrunde gelegt wurde, als tatsächlich beim Dauerbetrieb der Erdkältesonden (18 °C) erreicht werden konnte. Somit war hier eine Vergrößerung des Wärmetauschers notwendig, um die gewünschte Temperatur einstellen zu können.

Bei einem konventionellen Klimatisierungsprozess wäre eine Abkühlung mit gleichzeitiger Entfeuchtung auf Zustand (2\*) mit anschließender Nacherwärmung notwendig gewesen. Dabei ist die spezifische Kühlener-

gie zur Luftaufbereitung als spezifische Enthalpiedifferenz ( $h_2^* - h_1$ ) viel größer als die des sorptionsgestützten Prozesses ( $h_4 - h_3$ ), selbst dann, wenn eine weitere Kühlung der Zuluft auf die gewünschten  $19\text{ °C}$  stattfindet. Dagegen beträgt die spezifische Heizenergie ( $h_7 - h_6$ ) etwa das Doppelte von der einer konventionellen Prozessführung ( $h_4 - h_2^*$ ). Der Energiebedarf für die Luftaufbereitung wird also von der elektrischen Seite (zum Antrieb einer Kompressionskältemaschine) zur thermischen Abwärmenutzung verlagert. Für den behandelten Luftmassenstrom wären so  $26,8\text{ kW}$  Kühlleistung von einer Kältemaschine aufzubringen, die ihrerseits bei einem COP von 3 einen elektrischen Leistungsbedarf von  $8,9\text{ kW}$  zufolge hätte. Bei einem angenommenen Kraftwerkwirkungsgrad von 40% ergibt sich ein Primärenergie-Leistungsbedarf von  $22,4\text{ kW}$ . Wird die Nacherhitzung auf Zustand ( $3^*$ ) berücksichtigt, ergibt sich insgesamt ein Primärenergie-Leistungsbedarf von  $29,5\text{ kW}$ . Für die sorptionsgestützte Anlage werden andererseits  $15,3\text{ kW}$  Wärmeleistung benötigt, die bei einer Erzeugung im Mini-BHKW etwa  $23,9\text{ kW}$  Primärenergie-Leistung (Gas) erfordern. Weil die Kühlung in dieser Anlage über die Erdkälte erzielt wird, ist hier kein weiterer Energieeinsatz notwendig (die Leistung des geschlossenen Pumpenkreislaufs wird vernachlässigt). Wird aber noch die dabei erzeugte elektrische Leistung im BHKW (etwa  $4,7\text{ kW}$ ) mit einem Kraftwerkwirkungsgrad bewertet und dem Prozess als Gutschrift ( $11,8\text{ kW}$ ) angerechnet, so beträgt der effektive Primärenergie-Leistungsbedarf  $12,1\text{ kW}$ , was 40% des Primärener-

gie-Leistungsbedarfs eines vergleichbaren Prozesses mit Taupunktunterschreitung entspricht. Selbst bei Nicht-Berücksichtigung der Nachwärmung beim konventionellen Prozess kann die Primärenergie-Leistung um 50% verringert werden.

Es sei noch einmal betont, dass von entscheidender Bedeutung für die Realisierung dieser Energieeinsparungen die Beachtung der Druckverhältnisse in der Zu- und Abluft und damit der Position der Ventilatoren ist. Ein Überströmen der Abluft oder Umgebungsluft in die Zuluft sollte nach Möglichkeit vermieden werden.

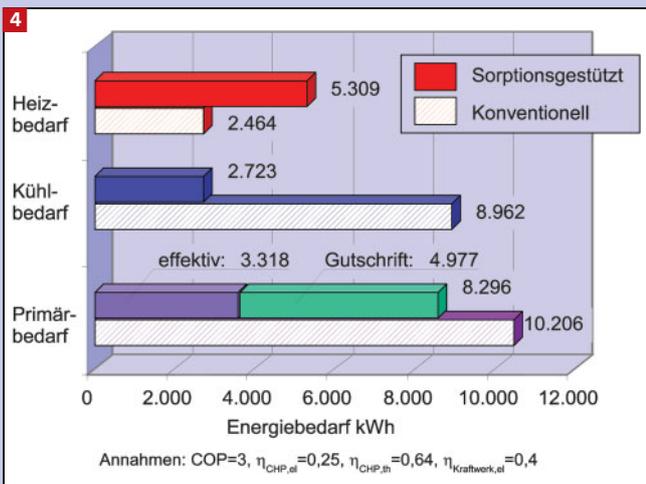
Basierend auf halbstündigen Mittelwerten der gemessenen Außenluft- und Abluftzuständen wurde der Energiebedarf der Lüftungsanlage mit Hilfe eines Simulationsprogramms [5] berechnet und der daraus resultierende Energiebedarf in den Sommermonaten Juli und August 2002 dargestellt (Bild 4).

Dabei dienten Messwerte aus dem Betrieb zur Kalibrierung des Modells. In der Rechnung wurde ein Mehrleistungsbedarf zur Kühlung berücksichtigt, um die vorgesehene Zulufttemperatur von  $19\text{ °C}$  zu erreichen. Als Vorgabe für die Zuluftfeuchte wurde  $8,3\text{ g}$  Wasser pro  $\text{kg}$  trockene Luft ( $19\text{ °C}/60\%$ ) definiert, was im August 2002 eine Entfeuchtung um etwa  $4\text{ g/kg}$  bedeutete, also von  $12,13\text{ g/kg}$  (Außenluft) auf  $8,9\text{ g/kg}$  (Zuluft). Dies diente auch als Berechnungsgrundlage für eine konventionelle Referenzanlage mit Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung.

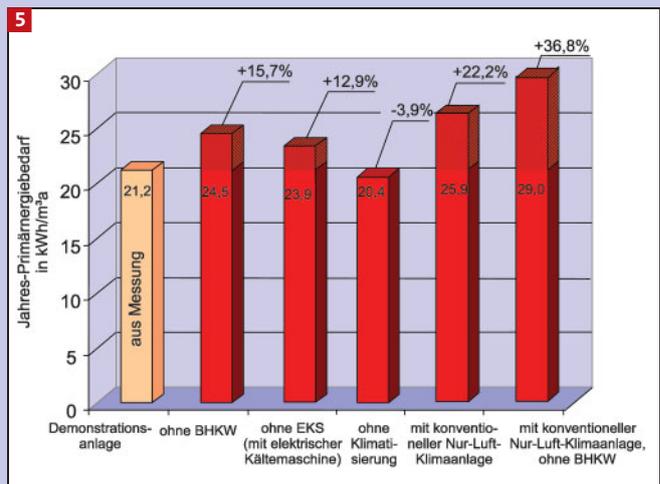
Der Gesamtkühlbedarf für die betrachteten Sommermonate beträgt für die sorptionsgestützte Anlage  $2723\text{ kWh}$ , während

$5309\text{ kWh}$  Heizenergie zur Erwärmung der Regenerationsluft benötigt werden. Für eine konventionelle Anlage wären dagegen  $8962\text{ kWh}$  Kühl- und  $2464\text{ kWh}$  Heizenergie notwendig. Anhand von Wirkungs- bzw. Nutzungsgraden für die Energiebereitstellung kann der Primärenergiebedarf bestimmt werden. Für die sorptionsgestützte Anlage liegt dieser bei  $8296\text{ kWh}$ . Wenn allerdings die erzeugte elektrische Energie als Gutschrift angerechnet wird, beträgt der Primärenergiebedarf effektiv  $3318\text{ kWh}$ . Dies sind 33% des Primärenergiebedarfs einer konventionellen Referenzanlage ( $10206\text{ kWh}$ ). Selbst wenn keine Erdkälte sondern eine Kältemaschine mit der sorptionsgestützten Klimaanlage eingesetzt wird, wirkt sich die drastische Reduzierung des Kühlbedarfs positiv auf die Primärenergiebilanz aus. Dann fiel die Primärenergiegutschrift kleiner aus, weil elektrische Energie vom BHKW für die Kältemaschine benötigt würde, im Endergebnis würde aber der Primärenergiebedarf  $5588\text{ kWh}$  betragen, was 55% des Primärenergiebedarfs eines konventionellen Systems entspricht.

Basierend auf den gemessenen Gas- und Stromverbräuche für Heizung und Klimatisierung wurde der Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes ermittelt, Bild 5. Dabei zeigte sich, dass dieser trotz Klimatisierung den Grenzwert ( $21,39\text{ kWh/m}^3\text{h}$ ) nach Energieeinsparverordnung EnEV 2002 unterschreitet. Würde die Wärme zur Regeneration des Sorptionsrotors nicht durch ein BHKW, sondern durch einen gewöhnlichen Gaskessel bereitgestellt, erhöht sich der Primärenergiebedarf um 15,7%. Ohne Erdkältesystem (aber mit BHKW) liegt der Primär-



4 Energiebedarf für die Luftaufbereitung während einer Klimatisierungsperiode



5 Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes der Demonstrationsanlage

energiebedarf der Anlage um 12,9% höher. Wird aus dem Gas- bzw. Wärmebedarf der Anteil der Wärme zur Regeneration des Sorptionsrotors herausgenommen, sinkt dagegen der Jahresprimärenergiebedarf um 3,9%. Eine konventionelle Klimatisierung mit Kältemaschine für das gleiche Gebäude hätte einen Mehrbedarf von 22,2% zufolge. Wird dann auch hier auf die Kraft-Wärme-Kopplung verzichtet, steigt der Jahresprimärenergiebedarf um 36,8%.

### Fußbodenkühlung und Erdkälte

Beim Einsatz der Fußbodenheizung zu Kühlzwecken ist unbedingt darauf zu achten, dass es nicht zur Tauwasserbildung wegen zu tiefer Vorlauf- bzw. Oberflächentemperatur kommen darf. In der Demonstrationsanlage wurde die Fußbodenkühlung mit einer Vorlauftemperatur von 18 bis 19 °C (Bild 6) betrieben.

Es stellte sich eine Oberflächentemperatur von 21 °C ein. Allerdings reichte die Vorlauftemperatur nicht aus, um bei extremen Außenlufttemperaturen behagliche Zustände in allen Räumen zu gewährleisten. In einigen thermisch zu hoch belasteten Räumen lag die Temperatur bei Tageshöchsttemperaturen von 32 bis 33 °C oberhalb der Behaglichkeitsgrenze (27 °C). In anderen Räumen dagegen konnte auch an diesen warmen Tagen die Raumtemperatur bei maximal 26 °C gehalten werden. Eine Erhöhung der spezifischen Kühlleistung, um noch die thermisch hoch belasteten Räume auf behagliche Zustände konditionieren zu können, ließe sich nur durch eine Absenkung der Vorlauftemperatur erreichen. Für die Behaglichkeit bzw. die Oberflächentemperatur stellt dies in diesem Fall noch keine Schwierigkeit dar, da Letztere bei

21 °C hoch genug ist. Allerdings konnte aufgrund der Eigenschaften des Untergrundes am Standort mit den Erdkältesonden keine tiefere Vorlauftemperatur erreicht werden.

Eine im Zusammenhang mit der Kühlung über den Fußboden oft gestellte Frage ist, ob sich ein starkes vertikales Temperaturprofil ausbildet und damit die von Menschen empfundene Behaglichkeit beeinträchtigt wird. DIN EN ISO 7730 [6, 7] schlägt je nach geforderter Qualitätskategorie einen maximalen Lufttemperaturunterschied zwischen 1,1 und 0,1 m über dem Fußboden (Kopf- und Knöchelhöhe) von 2 bis 4 K (Qualitätskategorie A bzw. C) vor. Die Oberflächentemperatur des Fußbodens sollte dabei mindestens 19 °C betragen. In Kopfhöhe (180 cm) wurde eine Temperatur von 25,7 °C gemessen. In Sitzhöhe (120 cm) ist die Temperatur um einen halben Grad niedriger, 25,2 °C. Im unteren Bereich wurde eine Temperatur von 24,4 °C ermittelt, erst ein Temperatursensor im direkten Kontakt mit der Fußbodenoberfläche zeigte eine Temperatur von 21 °C. Damit wird selbst für die Kategorie A, die den kleinsten vorausgesagten Prozentsatz unzufriedener (PPD Wert < 6%) vorsieht, der Grenzwert für den vertikalen Lufttemperaturunterschied eingehalten.

Beim Einsatz der Erdwärmesonden ist die Regeneration des Erdreichs von Interesse. Bild 7 zeigt den Verlauf der Erdreichtemperaturen, gemessen in unmittelbarer Umgebung einer Erdwärmesonde in 20 und 60 m Tiefe. Vor der Inbetriebnahme lag die Temperatur bei 11 °C. Nach Beendigung des Kühlbetriebs dauerte es etwa 3 Monate, bis der Ausgangszustand wieder erreicht war.

### Wirtschaftlichkeit

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden zunächst verschiedene Anlagen definiert, die dann hinsichtlich Investitions- und Betriebskosten gegenübergestellt werden:

System 1: Sorptionsgestütztes System mit Fußbodenkühlung und Erdkältesonden (Demonstrationsanlage)

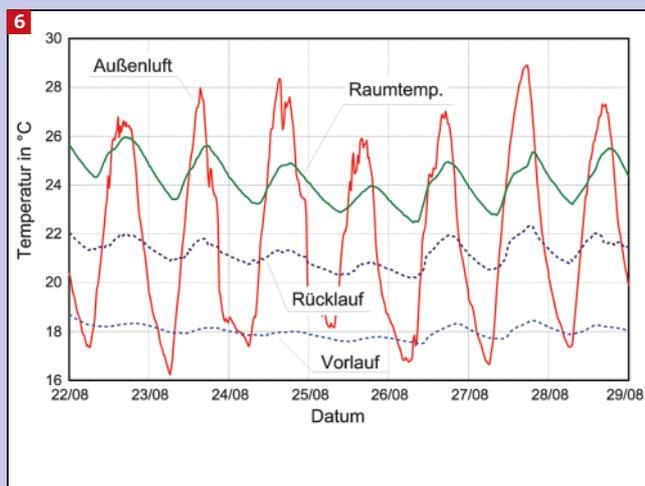
System 2: Sorptionsgestütztes System mit Fußbodenkühlung und Kaltwassersatz anstelle der Erdreichwärmeübertrager

System 3: Konventionelle Nur-Luft-Klimaanlage mit Kaltwassersatz

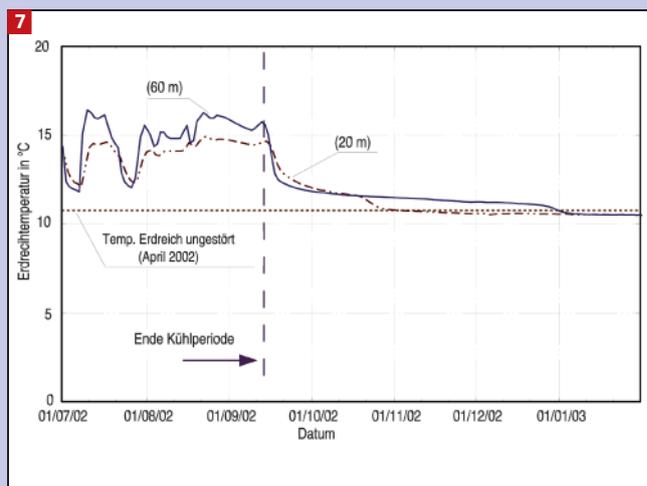
Für alle Systeme wurde die gleiche Frischluft rate (2500 m<sup>3</sup>/h) zugrunde gelegt. Für das Nur-Luft-System 3 muss aber ein hoher Umluftanteil (12 500 m<sup>3</sup>/h) vorgesehen werden, um die Fußbodenkühlung zu ersetzen. Somit ist eine größere Anlage (z.B. Luftkanäle und Ventilatoren) notwendig sowie auch eine größere Kälteleistung, um die Frischluft durch Taupunktunterschreitung zu trocknen.

Die Investitionskosten für die Demonstrationsanlage beliefen sich auf 89 578 EUR. Eine Klimaanlage für das gleiche Gebäude mit einer Kältemaschine statt Erdkältesonden (System 2) ist um ca. 12 000 EUR deutlich günstiger. Beim konventionellen System 3 steigen die Investitionskosten aufgrund der größeren Geräte und Kanäle stark an. Das System weist Investitionskosten von 93 000 EUR aus und ist somit sogar etwas teurer als die ausgeführte Anlage.

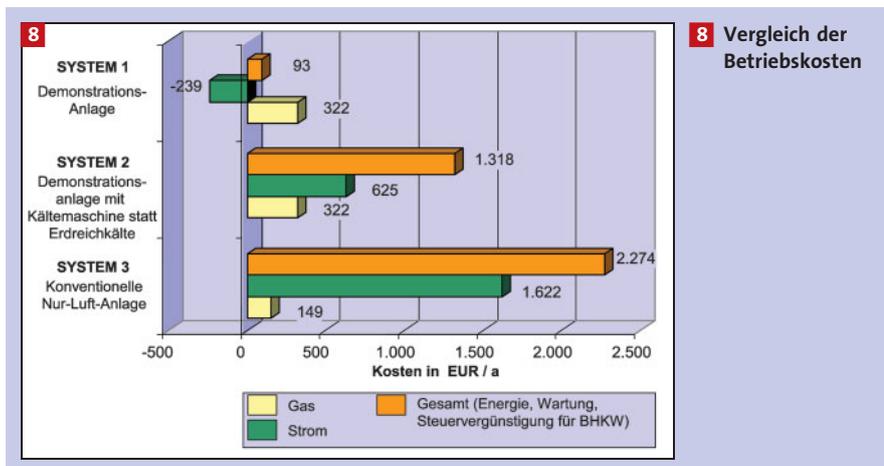
Die Betriebskosten (Bild 8) setzen sich aus Kosten für Gas, Strom und Wartung zusammen. Für die Berechnung des Gas- und Strombedarfs wird das Simulationsprogramm herangezogen, mit dem bereits der Energiebedarf der sorptionsgestützten



6 Temperaturverlauf beim Einsatz der Erdkältesonden und Fußbodenkühlung



7 Temperaturen im Bohrloch der Erdkältesonde



Anlage und der Referenzanlage berechnet wurde. Dabei wurden die gemessenen Klimadaten aus dem untersuchten Zeitraum im Sommer 2002 zugrunde gelegt.

Erwartungsgemäß sind die Kosten beim sorptionsgestützten System 1 am geringsten, da hier nur die Abwärme des BHKWs zur Regeneration und Strom zum Antrieb der Ventilatoren benötigt wird. Die Gaskosten für den Betrieb der Anlage betragen EUR 322,-. Für den erzeugten aber nicht genutzten Strom kann eine Gutschrift von EUR 239,- berücksichtigt werden. Die Gesamtkosten unter Berücksichtigung von Wartung und Steuererstattung betragen schließlich EUR 93,-. System 2 verursacht wegen des Strombedarfs und zusätzlichem Wartungsaufwand der Kältemaschine höhere Betriebskosten (1318 EUR). Für System 3 sind die Betriebskosten mit EUR 2274,- deutlich am höchsten. Dabei wird auch weniger Strom produziert, da das wärmegeführte BHKW wegen der geringen Wärmeanforderung abgeschaltet werden muss. Es ist aus Investitions- und Betriebskosten ersichtlich, dass die sorptionsgestützte Demonstrationsanlage mit Erdkältesonden gegenüber einer konventionellen Nur-Luft-Anlage wirtschaftlich ist.

Allerdings muss die Frage beantwortet werden, ob dies auch für die Erdkältesonden alleine gilt. Aus der Differenz der Betriebskosten und Investitionskosten für die Systeme

1 und 2 kann von einer Amortisationszeit von 12 bis 13 Jahren ausgegangen werden. Dabei wird jedoch die Lebensdauer der Kältemaschine nicht berücksichtigt, die etwa 15 bis maximal 20 Jahre beträgt. Spätestens dann, wenn eine neue Kältemaschine angeschafft werden muss, würde sich das System mit Erdkälte rechnen, da die Erdwärmesonden eine weit höhere Lebensdauer aufweisen.

#### Fazit

Die sorptionsgestützte Klimaanlage führt zu einer erheblichen Reduzierung der für die Klimatisierung notwendigen Kälteleistung. Der Kühlbedarf kann auf etwa 35 bis 40 % gesenkt werden. Durch die Vortrocknung kann auch eine natürliche Kältequelle zur Klimatisierung eingesetzt werden. Die Kombination von sorptionsgestützter Klimatisierung, Fußbodenkühlung und Erdkältesonden erweist sich in dem hier dargestellten Fall als eine primärenergetisch und auch aus ökonomischer Sicht günstige Alternative zu konventionellen Nur-Luft-Klimaanlagen. Der Energiebedarf zur Luftaufbereitung und somit die Betriebskosten, als auch auf der anderen Seite die Investitionskosten sind erheblich niedriger, da das ohnehin vorhandene Flächenheizungssystem auch im Sommer zur Kühlung eingesetzt werden kann. Auch wenn eine Kältemaschine statt Erdkälte einge-

setzt wird, sind die Betriebskosten immer noch niedriger als bei einer Nur-Luft-Klimaanlage. Die Nutzung von Erdwärmesonden als Kältequelle bereitet für die Planung in der Praxis jedoch einige Schwierigkeiten, da nur eine vorherige aufwendige Untersuchung Klarheit über Leistung und Temperaturniveau bringen kann. In einem laufenden Projekt wird zur Zeit an der Integration der Elemente einer sorptionsgestützten Klimaanlage in einem Gerät gearbeitet. Ein weiterer Anwendungsfall sind PCM-Materialien (PCM: Phase Change Materials). Gelingt es, während der Nacht die PCM-Speicher durch Kühlung mit kalter Nachtluft ausreichend zu beladen, könnte auch ohne Erdreichsonden eine völlig Kältemaschinenfreie Klimatisierung realisiert werden, denn die Luftentfeuchtung würde der Sorptionsrotor übernehmen.

#### Literatur

- [1] Schmitz, G., Möckel, R.: Development of a Small-Scale Directly Gas-Fired Integrated HVAC System Proceedings of the International Gas Research Conference, San Diego, California, USA, 8–11 November 1998, Vol IV, p. 771–777
- [2] Casas, W.: Untersuchung und Optimierung sorptionsgestützter Klimatisierungsprozesse, Dissertation TU Hamburg-Harburg, AB 6-08, 2005
- [3] Casas, W., Schmitz, G.: Experiences with a gas driven, desiccant assisted air conditioning system with geothermal energy for an office building. Energy and Buildings, Vol. 37 (2005), p. 493–501, Elsevier, London
- [4] VDI 4640 Blatt 2, Thermische Nutzung des Untergrundes – Wärmepumpenanlagen. Ausgabe: 2001–09.
- [5] Casas, W., Pröfls, K., Schmitz, G.: Modelling of Desiccant Assisted Air Conditioning Systems. Proceedings of the 4th International Modelica Conference, Hamburg, 7.–11.03.2005, Vol. 2, pp. 487–496, 2005
- [6] (Norm-Entwurf) DIN EN ISO 7730 Ergonomie des Umgebungsclimas – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit. Ausgabe: 2003
- [7] Olesen, Bjarne, W.: Kriterien für ein akzeptables Raumklima, HLH 54 (2003) 10, S. 50–54
- [8] Sanner, B., Reuß, M., Mands, E.: Thermal Response Test – eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden, Geothermische Energie 24/25, S. 29–33, Geeste