

# Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsbauten

Analysen und Erfahrungen im Kontext des Förderkonzepts Energieoptimiertes Bauen

Teil 2: Energiekonzepte mit Wärmepumpen

**K. Voss, C. Hoffmann,  
S. Herkel, A. Wagner,  
G. Löhnert, Berlin**

Bereits seit 1995 fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des Förderkonzepts „Energie optimiertes Bauen“ Technologieforschung und Demonstrationsprojekte. Der Beitrag berichtet in zwei Teilen über die erreichten Energiekennwerte der Demonstrationsprojekte im Neubau und Erfahrungen mit dem Einsatz von Wärmepumpen.

Im Kontext der Einführung der Energiepässe für Nichtwohngebäude berichtete Teil 1 des vorliegenden Beitrags über die gemessenen Energiekennwerte der Gebäude<sup>1)</sup>. Verglichen mit der üblichen Baupraxis kamen in den Demonstrationsbauten vergleichsweise häufig Wärmepumpen zum Einsatz. Dies war Anlass für eine 2006 mit Unterstützung der mit den Messungen beauftragten Hochschulen durchgeführte Querschnittsuntersuchung. Deren Ergebnisse bilden den zweiten Schwerpunkt dieses Beitrags.

## Gründe für den Einsatz von Wärmepumpen

Bei elf der Gebäude nach Tabelle 1 (in Teil 1 dieses Beitrages) kommen Wärmepumpen zum Einsatz: Als Wärmequellen

wurden die Abluft/Fortluft (5), das Erdreich (4) oder das Grundwasser erschlossen (2). Eine Zusammenstellung der Kenndaten enthält **Tabelle 3**. Drei Gebäude nutzen als Konsequenz Strom als alleinigen Energieträger. Die beiden bereits vermessenen erreichen trotz des hohen Primärenergiefaktors für Strom das Ziel eines Gesamtenergiekennwerts von 100 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. weniger (GMS: 100, BOB: 78 kWh/m<sup>2</sup>a).

Ein „Nur-Strom-Gebäude“ bewirkt zwar lokal keinerlei Emissionen, belastet allerdings im globalen Maßstab das Klima über die dem Kraftwerkspark zugeordneten (CO<sub>2</sub>)Emissionen. Erst wenn mittelfristig dessen Emissionen sinken, wächst auch aus Sicht des Klimaschutzes das Interesse an Wärmepumpen. Allerdings gilt dies nur, wenn wirtschaftlich günstige Voraussetzungen für eine geeignete Wärmequelle und eine Wärmenutzung auf niedrigem Temperaturniveau projektspezifisch vorliegen. In den hier untersuchten Projekten ist dies je nach Wärmequelle in unterschiedlicher Weise gegeben:

**Erdreich/Grundwasser:** In zunehmendem Maße werden heute das Erdreich (Erdsonden, Gründungspfähle) bzw. das Grundwasser (Saug- und Schluckbrunnen) als Wärmesenken für die sommerliche Kühlung in Verbindung mit einer Betonkerntemperierung genutzt (BOB, GMS, Lebenshilfe, Energieforum, TZM, DVZ). Die „Kühlung“ erfolgt mit typischen Vorlauftemperaturen von 18 bis 22 °C im Direktbetrieb [16]. Damit sind die wesentlichen Kosten eines Wärmepumpensystems, nämlich die Erschließung einer geeigneten Wärmequelle, bereits gedeckt und ein wirtschaftlicher Betrieb einer Wärmepumpe möglich. Bei

den Erdsonden stellt die Nutzung für Heizung und Kühlung bei einer ausgeglichenen Bilanz aus Wärmezufuhr (Sommer) und Entnahme (Winter) sicher, dass das winterliche Temperaturniveau langfristig erhalten bleibt (BOB, Energieforum).

**Abluft:** Der Einsatz einer Abluftanlage ist speziell bei der Sanierung von Bestandsgebäuden vorteilhaft, da die verfügbaren Geschoßhöhen für die Installation des Kanalnetzes einer Zu-/Abluftanlagen nicht ausreichen (Energieforum, Altbau). Kritisch sind vor allem die Kreuzungspunkte von Zu- und Abluft. Eine direkte Luft-/Luftwärmerückgewinnung ist bei einer Abluftanlage nicht möglich. Mit der Abluft als Wärmequelle einer Wärmepumpe wird die indirekte, zeitlich entkoppelte Wärmenutzung für die Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung ermöglicht. Die Energiebilanz bleibt aber in der Regel hinter der einer in eine Zu- und Abluftanlage integrierten Wärmerückgewinnung zurück. Abluftanlagen weisen geringere Druckverluste und damit einen geringeren elektrischen Betriebsenergieaufwand als Zu-/Abluftanlagen auf. Dies ist dann ein Vorteil, wenn die Anlagen auch zur Ventilator unterstützten Nachtlüftung im Sommer eingesetzt werden (Solvis, Pollmeier).

## Einbindung in die Gebäudetechnik

Mit drei Ausnahmen (BOB, GMS, DVZ) werden alle Wärmepumpen bivalent betrieben, wobei die Wärmepumpe in der

<sup>1)</sup> Teil 1 dieses Beitrages ist erschienen in HLH Bd. 58 (2007) Nr. 7, S. 22-26.

## Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, Dr.-Ing. C. Hoffmann**, Fachgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Bergische Universität Wuppertal

**Dipl.-Ing. S. Herkel**, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Gruppe Solares Bauen

**Prof. Andreas Wagner**, Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau, Universität Karlsruhe (TH)

**Dr. Günter Löhnert**, solidar Architekten & Ingenieure, Berlin

Projekt	Wärmequelle	Elektr. Leistung [kW]	Hersteller	weitere Wärme- erzeuger	Wärme- abgabe	Messperiode	Besonderheiten
Ecotec	FO	9 x 13/2 x 10,9	Nilan	Fernwärme	ZU	1999	Jahresarbeitszahl auf Basis vorhandener Messdaten abgeschätzt
GIT	AB	2 x 2,3	KVS-Klimatechnik	Gas-Brennwertkessel	HK	–	Wärmepumpe nicht in Betrieb
Pollmeier	AB	2,8	Viessmann	Nahwärme (Restholz)	HK, FB	2003	Stromverbrauch WP und Regelung über SZ. exkl. Pumpen. Wärme über WMZ
Solvis	AB	3,15	AI-Ko	BHKW, Kollektoranlage	HK	2004	WP1: defekt ab 3/2004, Stromverbrauch beide WP über SZ inkl. Heizungs-pumpe
TZM	ES (30)	2 x 45	Sulzer-Escher-Wyss	Fernwärme	ZU, BKT	2004	Nur Stromverbrauch WP gemessen über SZ, keine Angaben zum Verbrauch der Solepumpen und MSR
BOB	ES (28)	12,9	Satag, Thermotechnik	Keine	ZU, BKT	2004	Stromverbrauch WP über SZ. Solepumpe über Laufzeiten berechnet. inkl. MSR. Wärme exkl. Verteilverluste
Energie-Forum NA	AB	14,4	Satag, Thermotechnik	Fernwärme		2004	Stromverbrauch WP über SZ. Wärme über WMZ Flächenbezug Altbau
Energie-Forum N	EP (190)	19	Satag, Thermotechnik	Fernwärme	BKT	2004	Siehe NA. Flächenbezug Neubau
Lebenshilfe	WG	8,4	Fa. Weider	Holzpelletkessel	BKT	2006	Jahresarbeitszahl aus 12 Monatsverbrauchswerten errechnet
GMS	WG	74	York	Holzpelletkessel (nicht genutzt)	ZU, BKT	2006	Stromverbrauch WP und Solepumpe über SZ, exkl. MSR. Wärme über WMZ
Ritter	EP (73)	3,4	EAW	Holzpelletkessel	FB, ZU	–	noch keine Messdaten
DVZ	EP (668)	10 Stück, 11–29	Climavenata	Keine	ZU, HK, FB	–	2 Wärmepumpen je Gebäudeteil, seit 6/2007 in Betrieb

Abkürzungen: FO = Fortluft. AB = Abluft. ES = Erdreich über Sonden (Anzahl) EP = Erdreich über Pfähle (Anzahl), WG = Grundwasser, ZU = Zuluft, BKT = Betonkerntemperierung, HK = Heizkörper. FB = Fußbodenheizung. SZ = Stromzähler. WMZ = Wärmemengenzähler

Regel den kleineren Teil der Wärme-erzeugung übernimmt. Fast alle Abluft-wärmepumpen arbeiten auf einen Speicher mit Wärmeabgabe an das Trink-wassersystem und ggf. an Heizkörper. Einzig beim Projekt Ecotec wird die Wärme direkt an die Zuluft weitergegeben. Eine direkte Luft/Luft-Wärmeübertragung wäre energetisch vorteilhafter, hät-

te aber nicht die in diesem Fall gewünschte Option zur aktiven Kühlung über den reversiblen Betrieb der Wärmepumpe.

Bei den meisten Projekten, die Erdwärme oder Grundwasserwärme nutzen, wird die Wärme hauptsächlich über Betonkerntemperierung, kurz BKT, in den Geschoßdecken verteilt (GMS, Energiefo-

Tabelle 3

### Übersicht über die in den Projekten eingesetzten Wärmepumpen

rum-Neubau, BOB, TZM) und zum Teil parallel dazu die Zuluft vorgewärmt (GMS, BOB, TZM). Beim Projekt Lebenshilfe werden zur Wärmeverteilung eine Fußbodenheizung und Deckenstrahlplatten eingesetzt. Vorteil der großflächigen Wärmeabgabesysteme in Verbindung mit einem sehr guten baulichen Wärmeschutz ist die niedrige Vorlauf-temperatur und damit eine potentiell hohe Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe, siehe unten.

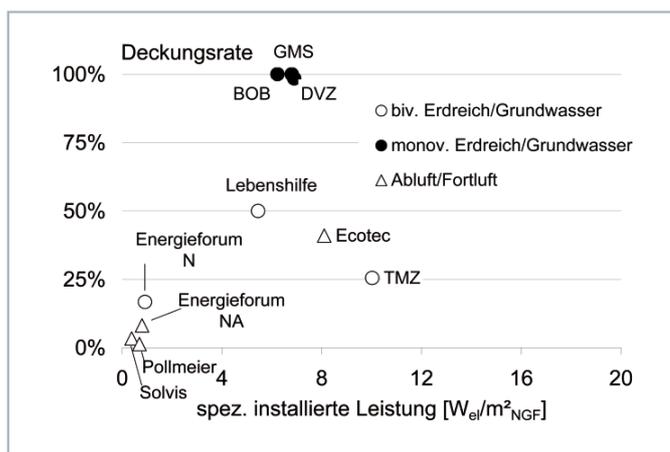


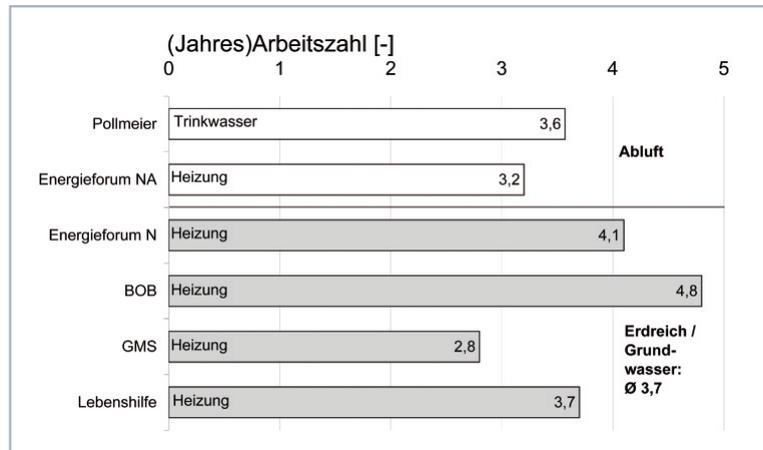
Bild 4

Installierte elektrische Leistung und gemessene Deckungsrate der Wärmepumpe an der Gesamtwärmebereitstellung. Die installierte Leistung wurde auf die Nettogrundfläche bezogen. Energieforum N: Neubau (Wärmequelle Erdreich). Energieforum NA: Neu- und Altbau (Abluftwärmepumpe)

## Dimensionierung

Zur Charakterisierung der Wärmepumpen innerhalb des Gesamtsystems wird die installierte elektrische Leistung pro Fläche in Verbindung mit dem Anteil der erzeugten Wärme und ggf. Kälte herangezogen (Bild 4). Die höchste installierte Leistung pro Fläche weisen die 13 zonenweise installierten Kleinwärmepumpen beim Gebäude Ecotec auf. Die erreichte Deckungsrate an der Gesamtwärmebereitstellung liegt bei einem vergleichsweise hohen Heizwärmeverbrauch von 70 kWh/m<sup>2</sup>a bei 41 %. Eine ähnliche Deckungsrate wird beim Projekt Lebenshilfe erreicht, allerdings bei wesentlich geringerem Heizwärmeverbrauch (37 kWh/m<sup>2</sup>a).

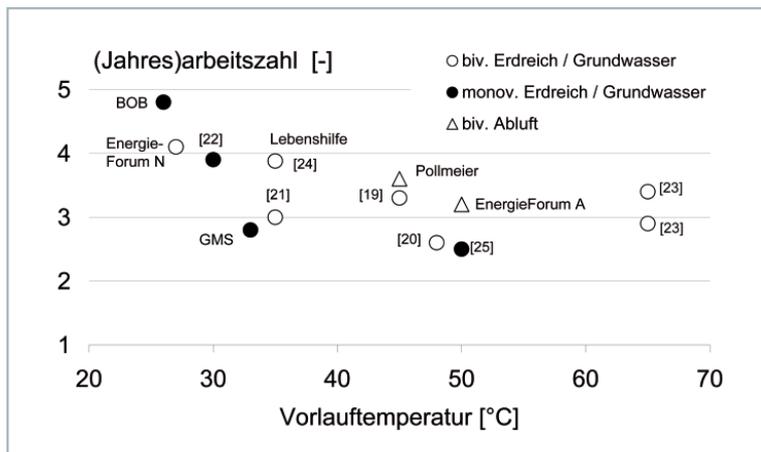
Die Wärmepumpe im TZM hat ebenfalls eine hohe installierte Leistung, deckt aber nur 25 % des Wärmeverbrauchs ab (42 kWh/m<sup>2</sup>a). Weitere Anlagen mit einer – im Zusammenhang der hier betrachteten Projekte – hohen installierten Leistung pro Fläche sind die monovalent betriebenen



**Bild 5**

**Gemessene Arbeitszahlen für diejenigen Projekte, für die konsistente Angaben ermittelt werden konnten. Zur Interpretation der Ergebnisse ist Tabelle 3 heranzuziehen. Energieforum N: Neubau, Energieforum NA: Neu- und Altbau**

Wärmepumpen bei den Gebäuden BOB, DVZ und GMS. Hier liegt der Heizwärmeverbrauch zwischen 26 (BOB) und 32 kWh/m<sup>2</sup>a (GMS). Alle übrigen Projekte weisen bei niedrigen installierten Leistungen auch niedrige Deckungsraten auf. Die Wärmepumpen ergänzen eine anderweitige Wärmeversorgung.



## Energiebilanzierung

Wärmepumpen werden herstellerseitig durch eine Leistungszahl (englisch COP: coefficient of performance) bei festen Betriebspunkten durch entsprechende Prüfstandsmessungen charakterisiert (DIN EN 14511:2004–07, vormals DIN EN 255:1997–07, [17]). Der COP stellt das Verhältnis der bereitgestellten Wärmeleistung zur elektrischen Leistungsaufnahme dar. Im dynamischen Betrieb innerhalb der Wärmeversorgung eines Gebäudes sind diese Werte nur näherungsweise verifizierbar: Die Wärmepumpe wird je nach Anforderung in nach Anzahl und Zeitdauer unterschiedlichen Betriebspunkten betrieben; Anfahr- und Stillstandszeiten kommen hinzu. Für die nachfolgend vorgestellten Analysen wird daher die so genannte Jahresarbeitszahl gewählt. Anstelle der Leistung wird der Quotient der Jahresenergiemengen betrachtet. Im Falle kürzerer Bilanzzeiträume werden ergänzende Angaben gemacht.

Die DIN V 4701–10:2003–08 und DIN EN V 15316–4–2:2006–03 [18] machen Angaben darüber, welche Hilfsenergien bei der Energiebilanzierung als Aufwand einbezogen werden:

□ **Alle Wärmepumpentypen:** bei einer hydraulischen Entkoppelung von Erzeugungs- und Verteilsystem z.B. über einen Pufferspeicher geht die Primärpumpe als Hilfsenergieaufwand in die Berechnung ein.

□ **Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen:** Der Hilfsenergiebedarf für die Sole- bzw. Grundwasserpumpe wird berücksichtigt.

□ **Luft-Wasser-Wärmepumpen:** Der Hilfsenergiebedarf für den Abluftventilator wird nicht berücksichtigt, da er bei der Bewertung der Lüftungsanlage bilanziert wird.

Die entsprechenden Bilanzgrenzen wurden bei der Ermittlung der nachfol-

**Bild 6**

**Gemessene Arbeitszahlen und Vorlauftemperatur der untersuchten Wärmepumpen. Zusätzlich aufgenommen und mit Literaturverweisen gekennzeichnet sind die Ergebnisse von Demonstrationsprojekten in der Schweiz. Zur Interpretation und Merkmale wird auf die Angaben in Tabelle 3 hingewiesen.**

gend vorgestellten Arbeitszahlen zu Grunde gelegt (Bild 5). Dabei war in einigen Projekten festzustellen, dass eine entsprechend abgestimmte Datenerfassung nicht erfolgte und somit keine oder nur abgeschätzte Werte ermittelt werden konnten. Wenngleich in vielen Fällen gute Betriebsergebnisse erreicht wurden, bleiben die gemessenen Arbeitszahlen angesichts der potentiell günstigen Temperaturverhältnisse hinter den Erwartungen einer an den Leistungszahlen der jeweiligen Aggregate orientierten Betrachtung zurück. Der Mittelwert lag bei den vier Erdreich- bzw. Grundwassersystemen bei 3,7.

Folgende einflussreiche Faktoren auf die Arbeitszahl wurden jeweils projektspezifisch beobachtet:

□ **Das Zusammenwirken zwischen Wärmepumpe und Speicher bewirkt kurze Laufzeiten der Wärmepumpe:** Grund dafür können eine zu niedrig eingestellte Speichersolltemperatur (EnergieForum) oder andere Erzeuger sein, die ein höheres Temperaturniveau in den Speicher einspeisen (Solvis: Solaranlagen, BHKW), Takten der Wärmepumpenanlage durch zu schnelles Be- und Entladen des Pufferspeichers (GMS).

□ **Luftmengenregelung:** Bei Vorhandensein einer CO<sub>2</sub>-orientierten Volumenstromregelung erlauben die erreichten Luft-

volumenströme nicht immer den Betrieb einer Abluftwärmepumpe in einem günstigen Betriebspunkt (Pollmeier).

□ **Hoher Hilfsenergieverbrauch:** Beim Projekt GMS reduziert ein hoher Hilfsenergieverbrauch für die Grundwasser- und die Verteilpumpe die Jahresarbeitszahl erheblich (sehr hohe installierte Leistung).

□ **Die Regelung über Referenzräume bewirkt eine ungleiche Temperaturverteilung zwischen Räumen:** Ursache für die Probleme mit der Regelungsstrategie war eine wechselnde Belegung der Referenzräume (BOB). Eine neu implementierte Regelstrategie der Pumpenschaltung benutzt die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur. Dies führt zu einer gleichmäßigeren Temperaturverteilung zwischen den Räumen und zu einer Verringerung der Betriebszeiten der Wärmepumpe.

□ **Einregulierungsphase:** Fehleinstellungen in der Einregulierungsphase führten bei einigen Projekten anfänglich zur Minderung der Arbeitszahlen. Diese Fehleinstellungen konnten Dank des Monitoring frühzeitig identifiziert und korrigiert werden, wären aber in Projekten ohne Betriebsdatenanalysen nicht erkannt und beseitigt worden.

□ **Der Betrieb der Wärmepumpe erweist sich primärenergetisch als nachteilig:** Beim Projekt Ecotec dient die Wärmepumpe primär zum Kühlen. Das zusätzliche Heizen mit der Wärmepumpe ist als Kompromiss zu werten. Primärenergetisch entspricht die Nutzung der Wärmepumpe einer Beheizung ohne Wärmerückgewinnung. Ein geringerer Primärenergieverbrauch wäre daher über ein System mit direkter Luft-/Luft-Wärmerückgewinnung und erhöhter Fernwärmeinspeisung möglich. Beim Projekt Pollmeier war vorgesehen, während des Sommers die Trinkwassererwärmung über die Wärmepumpe zu realisieren und so die Nahwärmeversorgung gänzlich abzuschalten. Wegen eines geringen Wärmebezugs im Sommer lag die Arbeitszahl der Wärmepumpe jedoch unter drei. Zusätzlich kann das Gebäude günstig über die werkseigene Holzfeuerung mit Nahwärme versorgt werden. Ein Betrieb der Wärmepumpe ist daher wirtschaftlich und ökologisch nicht vorteilhaft.

□ **Konzeptionelle Voraussetzungen beschränken das Leistungspotential:** Konzeptionell bedingte Anlageneigenheiten, Fehleinstellungen und Differenzen zwischen Planung und Ausführung verringern beim Projekt TZM den Energieeintrag in das Gebäude erheblich. Die Wärmeverteilung wird über die BKT (Niedertem-

peratur: Wärmepumpe) und statische Heizkörper (Hochtemperatur: Fernwärme) realisiert. Der Selbstregelungseffekt führt zu einer geringen Wärmeabfrage bei der BKT. Zur Zulufterwärmung stehen Hochtemperatur- und nachgeordnet Niedertemperaturluftwärmer zur Verfügung. Bedingt durch die Anordnung wird auch hier beim Niedertemperaturheizkreis weniger Wärme nachgefragt (NT: 5 %. HT: 95 %). Weitere Gründe sind ein aus Kostengründen verringertes Erdsondenfeld und ein nicht erfolgter hydraulischer Abgleich.

## Vergleichsprojekte

Um die Ergebnisse der Wärmepumpenprojekte in einen größeren Kontext zu stellen, wurden vergleichbare Projekte mit mittelgroßen Wärmepumpen recherchiert [7]. Dabei wurde deutlich, wie wenige, gut dokumentierte Projekte offenbar existieren.

Die Tatsache, dass in der Schweiz in der Vergangenheit Wärmepumpenanlagen gefördert wurden, begünstigte dort eine Verbreitung der Technologie besonders im Bereich der Kleinanlagen. Durch den hohen Anteil erneuerbarer Energie im Verbundnetz der Schweiz (ca. 60 % Wasserkraftstrom), ist der Einsatz von Wärmepumpen derzeit ökologisch vorteilhafter als in Deutschland. Die in **Bild 6** zusätzlich aufgeführten Beispiele mittelgroßer Wärmepumpenanlagen mit Erdreich oder Grundwasser als Wärmequellen waren alle Gegenstand einer Evaluationsförderung [19–25]. Viele der dargestellten Beispielanlagen wurden als Nahwärmeverbund für Neu- und Altbauten geplant. Erfolgte nicht unmittelbar eine Sanierung der Altbauten, so blieben nach wie vor mittlere bis hohe Vorlauftemperaturen notwendig. Dies wirkt sich besonders bei monovalent betriebenen Anlagen ungünstig aus. Daher werden die meisten Anlagen bivalent betrieben. Verglichen mit den Schweizer Projekten sind die Jahresarbeitszahlen der deutschen Projekte günstiger. Dies liegt hauptsächlich an den niedrigeren Vorlauftemperaturen. Ein gelungenes saisonales Energiegleichgewicht zwischen Wärmeentnahme und -abgabe kann ein weiterer Grund für die vergleichsweise guten Jahresarbeitszahlen sein.

## Fazit Teil 2

Projekte mit Wärmepumpen finden sich ebenso bei den Bauten mit niedrigen aber auch mit höheren Energiekennwerten. Der Energiekennwert von

derart versorgten Gebäuden reagiert empfindlicher auf Konzept-, Planungs- oder Betriebsfehler als bei fossil versorgten Gebäuden: Temperaturniveaus, Regelung, Pumpenleistungen, Hydraulik, ... beeinflussen in Verbindung mit dem hohen Primärenergiekennwert von Strom die Bilanz erheblich. Die physikalisch möglichen Leistungszahlen bei den hier meist günstigen Temperaturniveaus der Wärmequellen und -senken wecken hohe Erwartungen, die sich in den erreichten Arbeitszahlen meist noch nicht wieder finden. Die Ergebnisse sind verglichen mit anderen Projekten dennoch günstig.

Zur Weiterentwicklung der Systemtechnik und Markterschließung für mittelgroße Wärmepumpen erscheint ein konsequentes Monitoring des Anlagenbetriebs – unter konsequenter Berücksichtigung der Hilfsenergien – in Verbindung mit der Dokumentation und Verbreitung der Betriebserfahrungen besonders wichtig. Die wenigen bisher durchgeführten Demonstrationsprojekte genügen dafür nicht, stellen aber eine gute Ausgangsbasis für weitere Forschungstätigkeiten dar.

## Dank

Die Autoren bedanken sich bei den Projektteams der Demonstrationsprojekte für die gute Zusammenarbeit, sie-

he Tabelle 1 in Teil 1 dieses Beitrages. In Bezug auf den Schwerpunkt dieses Beitrags gilt dies insbesondere für die Projekte mit Einsatz von Wärmepumpen:

- Ecotec: Institut für Technik und Bildung, Universität Bremen
- Pollmeier: Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.B. (ZUB), Kassel
- Solvis: Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel in Zusammenarbeit mit dem Trainings- und Weiterbildungszentrum der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
- TZM: FH Erfurt/Fachbereich Gebäudetechnik und Informatik
- BOB: Fachhochschule Köln/Fakultät für Architektur
- Energieforum: TU Braunschweig Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS)
- GMS: Hochschule Biberach (Studiengang Gebäudeklimatik)
- DVZ: Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Angewandte Physik, Hochschule Sachsen-Anhalt
- Lebenshilfe: TU München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik

## Förderung

Das Begleitforschungsprojekt EnBau: MONITOR wird unter dem Förderkennzeichen 0335007c vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

## Literatur

- [16] Kalz, D.: *Thermoaktive Bauteilsysteme*, BINE Themeninfo Nr. 1, 2006, Bezug: [www.bine.info](http://www.bine.info)
- [17] DIN EN 14511:2004–07: *Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und -kühlung (Teil 1–4)*. Berlin: Beuth Verlag.
- [18] DIN V 4701–10:2003–08: *Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*. DIN EN V 15316–4–2:2006–03: *Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 4–2: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Wärmepumpensysteme (Normentwurf)*. Berlin: Beuth Verlag.
- [19] Kuhn, P.: *EWS – WP des Studienzentrums Gerzensee/BE – Zwischenbericht*. DIS-Projekt Nr. : 44714, *Umgebungswärme, WKK, Kälte Pilot- und Demonstrationsanlagen*, Bundesamt für Energie, Bern, CH, 2004.
- [20] Morath, M.: *Erweiterung Dividella AG, Grabs; Energiefahlanlage, Messperiode von März 2003 bis März 2005 – Schlussbericht*. DIS-Projekt Nr. : 46'914, *Geothermie*, Bundesamt für Energie, Bern, CH, 2005.
- [21] Borel, J.-P.: *Renovation und Betriebsoptimierung der Wärmepumpenanlage des Sportzentrums Bachtla in Bettmeralp – Schlussbericht*. DIS-Projekt Nr. : 34305, *Pilot- und Demonstrationsanlagen*, Bundesamt für Energie, Bern, CH, 2004.
- [22] Zürcher, D.: *Grosswärmepumpe für Nahwärmeverbund Rebenstrasse Nord Etappe C, Arbon – Schlussbericht erstes Betriebsjahr*. DIS-Projekt-Nr. : 47056, *Umgebungswärme, WKK, Kälte*, Bundesamt für Energie, Bern, CH, 2004.
- [23] Eggen, B.: *Stadt Bern nutzt Wärme aus der Aare*. In: *Wärmepumpen: Wo sind die Grossen?*, 9. Tagung des BFE-Forschungsprogramms *Umgebungswärme*, S. 73–80, Bern Juni 2002.
- [24] Hubacher, P.: *Nahwärmeverbund mit Wärmepumpe und Erdwärmesondenfeld MZH Rorschacherberg: Erfolgskontrolle und Betriebserfahrungen*. Bundesamt für Energie, Bern, CH, 2000.
- [25] Presetschnik, A.; Huber, H.: *Analysis of a ground coupled heat pump heating and cooling system for a multi-story office building*. 8th IEA Heat Pump Conference 2005, 30.05.-02.06.2005 Las Vegas, USA