

Bürogebäude und Umweltenergie

KÜHLEN UND HEIZEN MIT OBERFLÄCHENNAHER GEOTHERMIE

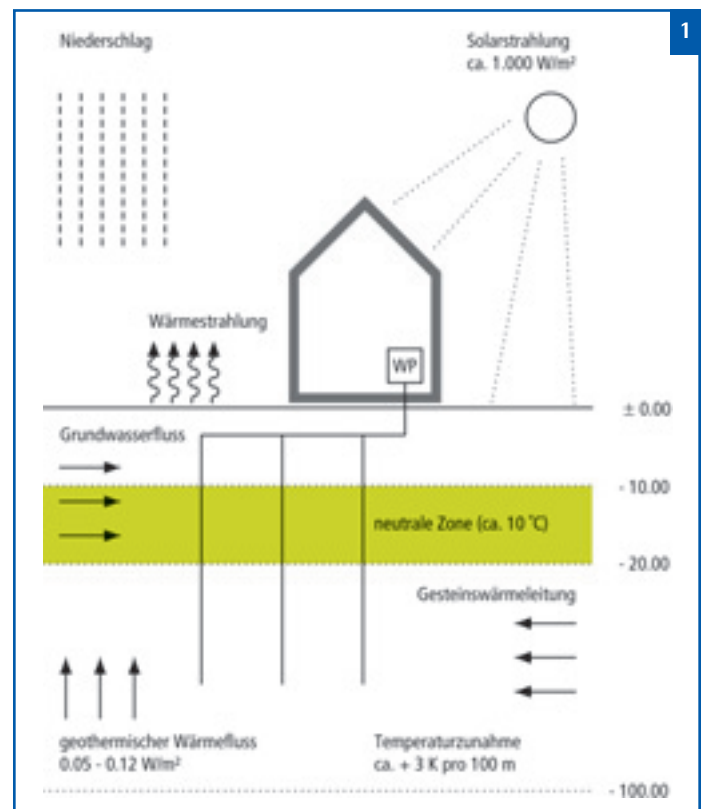
Steigende Energiepreise, Unsicherheiten des Energie-Imports und die ersten sichtbaren Auswirkungen eines globalen Klimawandels verstärken das Interesse an erneuerbaren Energien. Die Forderung eines flächendeckenden Einsatzes rückt verstärkt in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Drei Wissenschaftler vom Institut für Entwerfen und Konstruieren der Leibniz Universität Hannover untersuchen den Einsatz von oberflächennaher Geothermie zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden.

Zum 01.01.2009 ist das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärmeG] in Kraft getreten. Der Gesetzgeber schreibt erstmalig die anteilige Verwendung von erneuerbaren Energien zur Gebäudebeheizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung bei Neubau von Gebäuden vor. Es ist zu erwarten, dass der seit vier Jahren stark gestiegene Absatz von Wärmepumpen- und Geothermieanlagen zur Gebäudetemperierung in diesem Zusammenhang weiter zunehmen wird.

Energie aus oberflächennaher Geothermie

Die Nutzung von oberflächennaher Geothermie zählt unter anderem im Sinne der aktuellen Gesetzes-Definitionen zu den erneuerbaren Energien. Dabei soll im Erdreich vorliegende Wärme (oder Kälte) durch möglichst geringen Einsatz von Antriebsenergie, meistens elektrischem Strom, nutzbar gemacht werden. Die Wärme/Kälte wird auf direktem Wege oder in Verbindung mit Wärmepumpen zur Gebäudetemperierung verwendet.

Je höher der erneuerbare Energieanteil an der Bereitstellung von Heiz-/Kühlenergie (einerseits durch verbesserten Strommix, andererseits durch hohen Anteil an Umweltenergie innerhalb der Geothermieanlage) desto ressourcen- und klimaschonender ist die Nut-



zung der oberflächennahen Geothermie. Für eine Effizienzbewertung der Anlage an einem definierten Arbeitspunkt wird die Leistungszahl, kurz COP (Heizfall) oder EER (Kühlfall) [DIN EN 14511] festgelegt. Die Leistungszahl (vergleichbar dem Wirkungsgrad) definiert das Verhältnis von Heiz- oder Kühlleistung zur eingesetzten Antriebsleistung (hier elektrische Leistung für Wärmepumpe und Erdsonden-/Brunnenpumpen). Für die energetische Bewertung wird die Jahresarbeitszahl

formuliert. Sie beschreibt das Verhältnis aus bereitgestellter Nutzenergie (Heiz- oder Kühlenergie) zu eingesetzter Hilfs- und Antriebsenergie über einen Jahreszeitraum.

Um primärenergetisch effizienter zu arbeiten als eine Gasbrennwertheizung, mit einem Wirkungsgrad von etwa 1, muss eine Wärmepumpenanlage im Betrieb eine Leistungszahl von mindestens 3 erreichen. Da der Antrieb vorwiegend elektrisch erfolgt, muss der schlechte Wirkungsgrad der Stromerzeugung

(etwa 1/3) kompensiert werden. Viele, jedoch längst nicht alle, kleineren Wärmepumpenanlagen im Einfamilienhaussektor erreichen diesen Wert. Größere, gut ausgelegte Anlagen mit Heiz- und Kühlfunktion können Werte bis ungefähr 6 erreichen.

Oberflächennahe Geothermieanlagen nutzen den thermischen Untergrund in einer Tiefe von in der Regel bis zu 100 Metern in Form von geschlossenen oder offenen Systemen. Die geschlossenen Systeme bestehen aus Erdsonden, waagerechten Kollektoren oder anderen Kollektortypen, die über ein Wärmeträgermedium, meist Wasser-Glykolgemisch, das Erdreich als Wärmesenke oder -quelle benutzen. Bei der Verwendung von Grundwasser als Wärmesenke beziehungsweise Wärmequelle

Primärenergiebedarf. Beim Bau von modernen Gebäuden oder der Sanierung bestehender Gebäude hat sich inzwischen die Reduktion des Heizwärmebedarfs durch verbesserte Wärmedämmung als erste und wichtigste Maßnahme etabliert. Darüber hinaus setzt sich aus ökologischen und monetären Aspekten verstärkt die Erkenntnis durch, dass die bereitzustellende Wärme möglichst aus Umweltwärme und nicht aus hochwertiger Primärenergie geschöpft werden sollte.

Bei Nichtwohngebäuden tritt der Heizwärmebedarf häufig in den Hintergrund, der Primärenergiebedarf wird durch andere Faktoren wesentlich bestimmt. Bei konventionellen Bürogebäuden oder Shoppingcentern überwiegt ein hoher Kühlenergiebedarf meist den Heizenergiebedarf.

flächennahen Erdreich steht direkt, ausreichend und kostengünstig zur Verfügung.

Dabei werden die Gebäude mit Flächenheiz- und Kühlsystemen ausgestattet. Ebenfalls kann eine Kälteversorgung der raumluftechnischen Anlagen erfolgen.

Das hohe Speicherpotenzial der sogenannten Bauteilaktivierung, in Form von in Betondecken eingegossenen Heiz-/Kühlrohren als Flächenheiz- oder Kühlsystem, kann die oberflächennahe Geothermienutzung durch eine Dämpfung von Lastspitzen und die Ermöglichung geringer Temperaturhübe sehr sinnvoll unterstützen [GLÜCK 1999]. Durch den Wärmeabtrag des Trägermediums der Bauteilaktivierung, meist Wasser, werden in den Nachtstunden die durch die Kühllast des Raumes tags-

Abbildung 1
Wärmeregime im oberflächennahen Untergrund nach [VDI 4640]: $W/m^2 = \text{Watt pro Quadratmeter}$, WP = Wärmepumpe, K = Kelvin
Quelle: VDI, Berlin

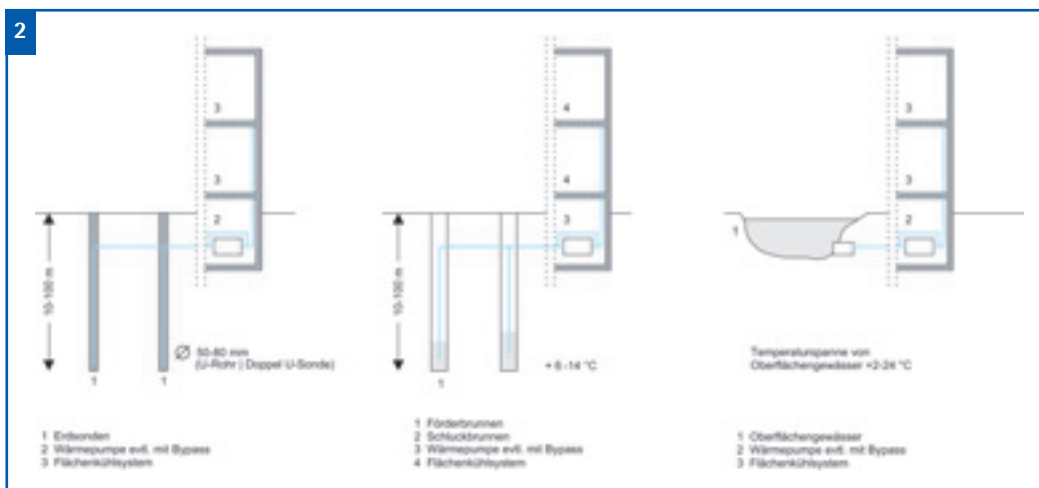


Abbildung 2
Nutzung verschiedener Wärmesenken (Erdsonden, Grundwasserbrunnen, Flusswasser) zur Kühlung durch Bauteilaktivierung
Quelle: Institut für Entwerfen und Konstruieren, Leibniz Universität Hannover

mit Saug- und Schluckbrunnen, spricht man von einem offenen Kreislauf. Die Verbindung zwischen Erdreich und Gebäude geschieht entweder direkt (über einen Wärmetauscher) oder über ein aktives Element (Wärmepumpe/Kältemaschine).

Oberflächennahe Geothermie im Architekturkontext

Der Heizwärmebedarf hat im konventionellen Wohnungsbau den größten Anteil am

Großzügige Verglasungsflächen, interne Lasten durch Büro- und Beleuchtungstechnik, Personenabwärme sowie eine geringe Speicherfähigkeit der Baumaterialien durch Skelettbauweise bedingen hohe Kühllasten. Bei modernen Bürogebäuden sowie Shoppingcentern zeigt sich eine stetige Zunahme der Verwendung von erneuerbaren Energien in Form von oberflächennaher Geothermie. Die notwendige Energie zur anteiligen Deckung, insbesondere von Kühllasten, im ober-

über erwärmten Betondecken wieder heruntergekühlt. So wird ein Kältepotenzial für den nächsten Betriebstag bereitgestellt. Umgekehrtes gilt für den Heizbetrieb. Aufgrund der thermischen Trägheit des Systems wird die Bauteilaktivierung meist mit schnell regelbaren Systemen für Spitzenlasten ergänzt.

Voraussetzung für die Nutzung dieser niedertemperierten Systeme ist eine ausreichend gut gedämmte und optimierte Fassade. Hohe sola-

re Wärmeeinträge, etwa durch Ganzglasfassaden können den Effekt der Bauteilaktivierung erheblich schmälern. Der Trend geht zum ganzheitlich energieoptimierten Gebäude.

energieeffizienten Nutzung von oberflächennaher Geothermie mit Brunnen-/Erdsondenanlagen (Direktkühlung und Wärmepumpen zwischen 150 und 1500 Kilowatt thermischer

oder -Quelle. Um dauerhaft die Qualität des Grundwassers sicherzustellen unterliegen solche Anlagen strengen behördlichen Auflagen. Für den Fall der Nutzung von Grundwasser als Wärmesenke (Brunnenanlage) sehen die Behörden in der Regel insbesondere eine Beschränkung der Temperaturerhöhung auf 6 bis 8 Kelvin, entsprechend 18 °C Rückleitungstemperatur des »thermisch verbrauchten« Wassers vor. Vom Betreiber wird ein kontinuierliches »behördliches Monitoring« gefordert.

Bei Gebäuden, die etwa gleich hohen Heiz- als auch Kühlenergiebedarf haben, ist der Pendelbetrieb zwischen Heizen und Kühlen mit der damit verbundenen Regeneration der Untergrundumgebung ökologisch sinnvoll und kann energetisch besonders effizient sein. Vornehmlich in dicht besiedelten Gebieten ist eine nachbarschaftliche thermische Beeinflussung nicht ausgeschlossen und muss im Vorfeld durch Simulationen untersucht werden [SANNER 1992].

Das behördlich vorgeschriebene Monitoring liefert zugleich wertvolle Daten bezüglich der Energieeffizienz der Anlage. Bisherige Erfahrungen im Forschungsprojekt haben jedoch gezeigt, dass das Monitoringkonzept seitens der Behörden in der Bauphase und während der Bauabnahme eher selten durchgeführt oder überprüft wird. Die Umsetzung der erforderlichen Messungen weist oftmals starke Lücken auf. Da aufgrund der behördlichen Reglementierung relativ geringe Temperaturerhöhungen zugelassen werden (Temperaturdifferenz $\Delta T \leq 8$ Kelvin, technisch häufig sogar nur $\Delta T \leq 2$ K), ist eine hinreichend genaue Temperaturerfassung für eine genaue Aufstellung einer Wärmeertragsbilanz unabdingbar. Ungenaue Standard-Temperaturmesswertgeber der Regelungstechnik (übliche Fehler-toleranz ± 1 Kelvin), die



Abbildung 3
Hauptverwaltung Deutsche Flugsicherung Langen
Low Energy Office – Schema-schnitt zum Energiekonzept der Kombibüros; darunter: Außenansicht der Hauptverwaltung Deutsche Flugsicherung Langen
Quellen: Deutsche Flugsicherung Langen

Thermisches Monitoring von Nichtwohngebäuden mit Nutzung von oberflächennaher Geothermie

Ein Forschungsschwerpunkt der Abteilung Gebäudetechnik am Institut für Entwerfen und Konstruieren ist die Untersuchung von gewerblich genutzten Gebäuden, die durch Einsatz regenerativer Energien geheizt und gekühlt werden. Trotz der herausragenden Publicity (Veröffentlichungen/Vermarktung) einiger »energieeffizienter Bauprojekte« ist eine objektive Überprüfung der Gebäudeplanung auch für »energieeffiziente Gebäude« nach der Bauausführung eher unüblich.

In einem aktuellen Forschungsprojekt werden bundesweit neun Gebäude hinsichtlich der

Leistung) durch ein Monitoringprogramm erfasst.

Neben der Verbrauchswertermittlung werden Leistungswerte, Temperaturen sowie Regelungsparameter der Gebäudeleittechnik aufgezeichnet und bewertet. Die Kennwertbildung soll den Vergleich der verschiedenen Gebäude und technischen Anlagen ermöglichen. Zudem werden gezielte Optimierungsmaßnahmen entwickelt, die unter anderem das Wärme/Kälteverteilungssystem, die Nutzungs- und Lastprofile, den Nutzerkomfort sowie die Energieeffizienz des Gebäudes betreffen.

Als effektivste Methode für das Heizen und Kühlen mit oberflächennaher Geothermie gilt die direkte Nutzung von Grundwasser als Wärmesenke

Abbildung 4
Beispiele für energieeffiziente Gebäude in Deutschland
Quelle: Mit freundlicher Genehmigung der dargestellten Firmen, Foto Continental Regensburg; Stefan Hanke

meistens für die behördlich geforderte Temperaturmessung Verwendung finden, stellen eine große Fehlerquelle dar. Dies verdeutlicht die folgende Abschätzung:

Die im Erdreich jährlich umgesetzte Wärmeenergie E_{therm} ist proportional zur »durchschnittlichen« Temperaturdifferenz ΔT zwischen Vorlauf und Rücklauf des Geothermiekreises ($\Delta T = T_1 - T_2$). Nimmt man eine tatsächliche Temperaturdifferenz (ΔT) von 2,0 Kelvin an und einen Messfehler (interpretiert als Standardabweichung) von 0,5 Kelvin für jeden Sensor, so ergibt sich für die Temperaturdifferenz ΔT ein Fehler von etwa 0,7 Kelvin. Der relative Fehler (Abweichung zwischen tatsächlicher Energie E_{therm} und der aus fehlerhaften Messwerten errechnete Energie E_{Fehler}) für die jährliche Energie beträgt dementsprechend $(E_{\text{therm}} - E_{\text{Fehler}}) / E_{\text{therm}} = 0,7 \text{ Kelvin} / 2,0 \text{ Kelvin} = 35 \text{ Prozent}$. Ein solcher Fehler ist inakzeptabel hoch, jedoch bei den meisten Geothermieanlagen nur durch sorgfältige Auswahl und Kalibrierung der relevanten Temperatursensoren zu vermeiden.



Prof. Dr.-Ing. Dirk Bohne

Jahrgang 1956, ist seit 2005 Professor für Gebäudetechnik am Institut für Entwerfen und Konstruieren der Leibniz Universität Hannover. Forschungsschwerpunkte: Oberflächennahe Geothermie, Ganzheitliche Gebäudesysteme, Energieeffiziente Retail-Gebäude/Shopping-Center, Gebäudebewertungssysteme, Energetische Begleitforschung. Kontakt: dirk.bohne@iek.uni-hannover.de

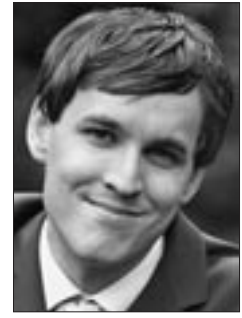
Nicht zuletzt ist dieser Aspekt Bestandteil eines der Kernziele des Forschungsprojekts: Erstellung von praktikablen Planungsregeln und Definition entscheidender mess-



Dipl.-Phys. Gunnar Harhausen

Jahrgang 1972, ist seit 2007 am Institut für Entwerfen und Konstruieren als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter des Forschungsprojekts »Thermisches Monitoring an Nichtwohngebäuden mit Einsatz von oberflächennaher Geothermie und Validierung von Wärmeeintrag- und Entzug in den Untergrund« tätig. Kontakt: gunnar.harhausen@iek.uni-hannover.de

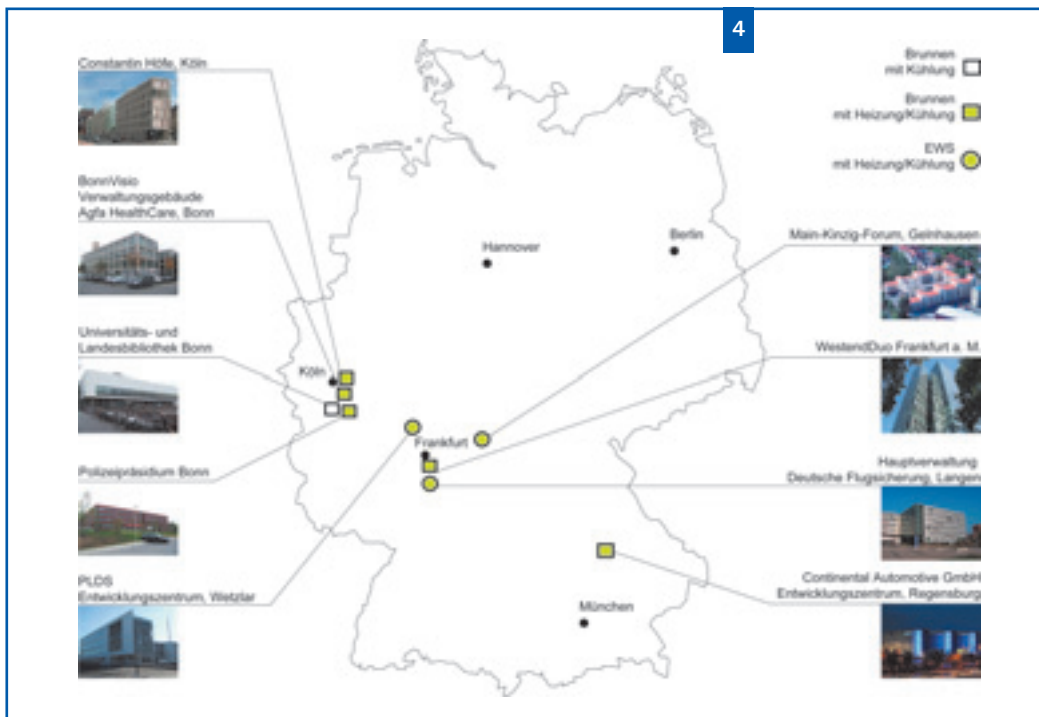
und regelungstechnischer Details für Geothermieanlagen. Es wäre schade, wenn eine unzureichende Detailplanung im Bereich der potenziell sehr effizienten Geothermie/Wärme-



Dipl.-Ing. (FH), M. Sc. Matthias Wohlfahrt

Jahrgang 1980, ist seit 2007 am Institut für Entwerfen und Konstruieren als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter des Forschungsprojekts »Thermisches Monitoring an Nichtwohngebäuden mit Einsatz von oberflächennaher Geothermie und Validierung von Wärmeeintrag- und Entzug in den Untergrund« tätig. Kontakt: matthias.wohlfahrt@iek.uni-hannover.de

pumpenanlagen zu einem Misserfolg führte und somit die Forderung und Förderung dieser erneuerbaren Energie durch den Gesetzgeber ins Leere lief.



Literaturquellen

- DIN EN 14511: 2008-02 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und Kühlung. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag.
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich vom 07.08.2008 (BGBl. I S. 1658)
- Glück, Bernd. Thermische Bauteilaktivierung. Nutzen von Umweltenergie und Kapillarrohren. Heidelberg: C. F. Müller, 1999.
- Sanner, Burkhard. Erdgekoppelte Wärmepumpen. Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. IZW-Berichte 2/92. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1992.
- VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Berlin: Beuth-Verlag.