



Geothermie

Bauwirtschaft gewinnt wegen Klimawandel und Energieknappheit

5. November 2009

Die globalen Zukunftsaufgaben – Eindämmung des Klimawandels und Vermeidung von Energiepreisschocks – sind nur zu meistern, wenn alle verfügbaren Hebel zu deren Bewältigung betätigt werden. Die Potenziale der Geothermie werden in diesem Zusammenhang bisher noch unterschätzt.

In den letzten Jahren hat die Geothermie ihre Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Energiequellen verbessert. In Deutschland, wo die Geothermie bisher noch ein Nischendasein fristet, hilft die Politik an vielen Stellen, die Technologien zur Nutzung der Erdwärme attraktiver zu machen. So wurden am Anfang des Jahres die Fördergesetze verbessert bzw. neu geschaffen. Dies führt z.B. dazu, dass sich neue Erdwärmesysteme bereits nach wenigen Jahren gegenüber Öl- oder auch Gasheizungen rechnen können. Zur Stromversorgung tragen geothermische Kraftwerke freilich auch 2020 noch <1% bei.

Die Nutzung der Geothermie als Wärmequelle ist ohne eine intelligente Integration in die jeweiligen Wohn-, Lebens- und Arbeitswelten nicht vorstellbar. Insofern sind Geothermie und Bauen quasi „siamesische Zwillinge“. Die Expansion der Geothermie begünstigt deshalb auch die Bauwirtschaft. In Deutschland führt das Wachstum der direkten Geothermie bis 2030 zu einem kumulierten Bauvolumen um EUR 25 Mrd. Dazu tragen – je nach Bausegment – der Neubau und die Sanierung mit unterschiedlichem Gewicht bei. Überdies verspricht die geothermale Stromproduktion, die in Deutschland just startet, etwas mehr Baubedarf.

Nachhaltige Impulse erhalten künftig alle Baubereiche bis hin zur Baustoffindustrie sowie viele Dienstleister. Das Anwendungsspektrum kennt technisch kaum Grenzen. Aussichtsreich sind erstens der Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern, zweitens der Hochhausbau (wo die Integration der Geothermie gerade beginnt und viel mehr möglich ist), drittens größere Wohn- und Gewerbegebäude (eine Spielwiese für innovative Architekturlösungen, die sich für Bauherren häufig bezahlt machen), sowie viertens das vielfältige Spektrum der öffentlichen Bauten.

www.
dbresearch.de

Autor

Josef Auer
+49 69 910-31878
josef.auer@db.com

Editor

Tobias Just

Publikationsassistenz

Sabine Berger

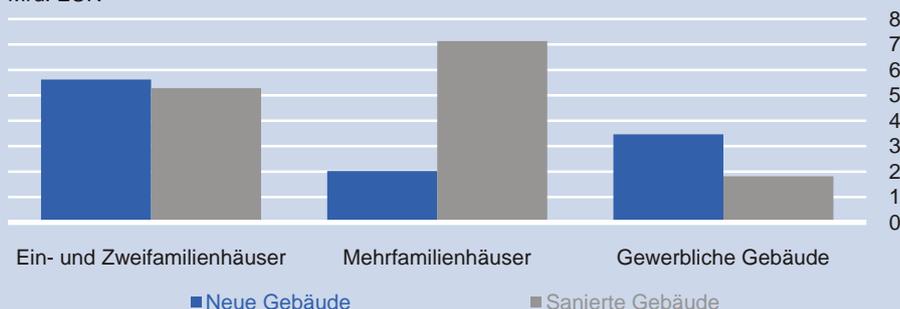
Deutsche Bank Research
Frankfurt am Main
Deutschland
Internet: www.dbresearch.de
E-Mail: marketing.dbr@db.com
Fax: +49 69 910-31877

DB Research Management

Norbert Walter

Direkte Geothermie führt bis 2030 zu kumuliertem Bauvolumen bis zu EUR 25 Mrd.

Mrd. EUR



Quelle: DBR

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Klimawandel und Energieknappheit erfordern neue Lösungen	3
2. Die Geothermie hat viele Vorzüge	3
3. Potenziale und Risiken der Geothermie	5
4. Technische Nutzungsmöglichkeiten der Geothermie	6
5. Situation in Deutschland	8
6. Welche Baubereiche profitieren von einer stärkeren Nutzung der Geothermie?	17
7. Konkrete Anwendungsbeispiele der Geothermie	19
8. Nutzung der Geothermie in Europa und der Welt	22
9. Fazit: Geothermie bietet gute Chancen	24

Diese Studie wurde im Auftrag des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie und des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden erstellt. Die inhaltliche Verantwortung liegt ausschließlich bei Deutsche Bank Research.

1. Klimawandel und Energieknappheit erfordern neue Lösungen

Schon heute verursachen der anthropogen verursachte Klimawandel und die absehbare Verknappung der fossilen Energieträger großes Kopfzerbrechen. Und in den nächsten Jahren dürften sich die Probleme merklich verschärfen.

Energiepreise steigen wieder

- Wenige Tage vor der Klimakonferenz in Kopenhagen besteht in Fachkreisen zwar Einigkeit, dass es mutiger und neuer Lösungen bedarf, damit die Bedrohungen durch den Klimawandel beherrschbar bleiben. Gleichwohl ist ein Erfolg der Konferenz keineswegs eine ausgemachte Sache.
- Gleichzeitig ist offensichtlich, dass die Korrektur der Energiepreise um den Jahreswechsel 2008/09 infolge der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise nur von kurzer Dauer war. Mit der Erholung der Weltwirtschaft sind erneut spürbar höhere Energiepreise programmiert.

Geothermie wird wichtiger

Die globalen Zukunftsaufgaben erfordern viele Lösungsansätze, auch rund um die Geothermie. Diese wird zwar an vielen Stellen in der Welt schon lange genutzt. Ihre Potenziale zur Bewältigung der beiden globalen Herausforderungen – Eindämmung des Klimawandels und Vermeidung von Energiepreisschocks – werden aber auch in Industrieländern wie Deutschland noch unterschätzt.

Neue Chancen für Bauwirtschaft

Die Geothermie hat in den letzten Jahren auf der Kosten- bzw. Preisseite aufgeholt und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessert. Die Politik hilft an vielen Stellen, die Technologie attraktiver zu machen. Da die Nutzung der Geothermie als Wärmequelle ohne eine intelligente Integration in die jeweiligen Wohn- und Lebenswelten nicht sinnvoll ist, sind Erdwärme und Bauen quasi „siamesische Zwillinge“ bzw. zwei Seiten der gleichen Medaille. Deshalb bieten sich rund um die Geothermie gerade für die Bauwirtschaft im Lichte des Klimawandels und der absehbaren Verknappung der fossilen Energiequellen viele neue Chancen. Die jüngsten Markterfolge der Erdwärme lassen erahnen, was künftig alles möglich sein könnte.

2. Die Geothermie hat viele Vorzüge

Geothermie erneuert sich selbst

Die Geothermie zählt per definitionem – z.B. im deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – zu den erneuerbaren Energieträgern. Anders als im Falle der Bioenergie kann der Mensch die genutzte Geothermie aber nicht wirklich „erneuern“. Dass die Geothermie dennoch als erneuerbare Energiequelle eingestuft wird, verdankt sie internationalen Übereinkommen und ihrer Genese. Schätzungen zufolge entstammt die Geothermie zu etwa 50-70% der gespeicherten Energie aus der Entstehungsphase der Erde und zu circa 30-50% aus dem natürlichen Zerfall radioaktiver Isotope; Letzteres also aus einer quasi „natürlichen Erneuerung“.¹

Aus der Perspektive der Ressourcenökonomie ähnelt die Geothermie tatsächlich eher Energiequellen wie Solarenergie, Wasser- und Gezeitenkraft oder Windenergie. Denn aus Ressourcensicht ist ihr größter Pluspunkt, dass es trotz ihrer energetischen Nutzung mög-

¹ In dieser weiten Interpretation von Erneuerbarkeit, die auch die vom Menschen unabhängige Regenerierung einbezieht, wären allerdings dann auch fossile Energien „erneuerbar“, da auch diese sich unter günstigen Bedingungen in sehr langer Frist auf natürliche Weise erneut bilden können.

In vielen Punkten besser als fossile Energiequellen

lich ist, das Energiepotenzial der Ressource dauerhaft aufrechtzuerhalten. In diesem Punkt ist die Geothermie besser als alle fossilen Energieträger, die als gemeinsames Merkmal die Ressourceneigenschaft Erschöpfbarkeit aufweisen, d.h., dass es bei Öl, Erdgas und Kohle stets möglich ist, den Bestand der Ressource zu erschöpfen.

Prinzipiell CO₂-neutral

Im Klimazusammenhang zeigt sich der – neben der in menschlicher Perspektive nahezu unendlichen Verfügbarkeit – zweite große Vorteil der Geothermie gegenüber den fossilen Energien, nämlich ihre prinzipielle CO₂-Neutralität. Zwar sind mit der Herstellung der Technik, der verwendeten Materialien sowie den Bohrungen noch Umweltbelastungen verbunden. Aber die Nutzung der Geothermie bewirkt heute kaum noch Schadstoffemissionen. Deshalb ist die Substitution fossiler Energieträger durch Geothermie ein wirksames Instrument zur Dämpfung der globalen Erwärmung. Der aus Klimasicht evidente komparative Vorteil der Geothermie dürfte künftig noch größere Relevanz erlangen, da die Preise für CO₂-Verschmutzungszertifikate mittel- und langfristig wahrscheinlich anziehen werden.

Weniger Energieimporte

Die Geothermie ist gegenüber den fossilen Quellen überdies auch deshalb im Vorteil, weil sie im Normalfall – jenseits vom Klimaaspekt – frei ist von weiteren negativen externen Umwelteffekten wie Landdegradierung oder Luftkontamination. Hinzu kommt, dass die stärkere Nutzung der heimischen Geothermiepotenziale eine größere Unabhängigkeit von Energieimporten ermöglicht. Diese haben bis 2008 nicht nur die deutsche Energierechnung signifikant verteuert.² Die Energieeinfuhr – insbesondere von Erdgas – erwies sich in den letzten Jahren auch als wesentlich weniger verlässlich als bisher von den Lieferländern versprochen. Die Geothermie ermöglicht – neben der geringeren physischen Abhängigkeit – auch eine größere Gelassenheit gegenüber den volatilen und in der längerfristigen Tendenz mit großer Wahrscheinlichkeit eher steigenden Preisen auf den Märkten für Öl, Gas und Steinkohle.

Für Grundlast geeignet

Die Geothermie hat aber selbst gegenüber anderen erneuerbaren Energien einige Vorzüge. So ist sie im Elektrizitätsbereich besser für die Deckung der Grundlast geeignet als die traditionelle Windkraft oder die sonnenabhängige Photovoltaik. Zeitgenossen, die – aus vielfältigen Gründen – Anstoß an Windmaschinen, Biokraftwerken oder Photovoltaikanlagen nehmen, gibt die eher „unsichtbare“, laut- und geruchlose Geothermie kaum noch Anlass für Aufregungen.

Hoffnungsträger für bessere Energie- und Klimazukunft

Die im Falle der Geothermie stets vom Standort abhängige Wirtschaftlichkeit hat sich in den letzten Jahren – selbst bei uns – merklich verbessert. Gründe dafür sind nicht nur die strukturelle Verteuerung der konkurrierenden fossilen Energiequellen. Die Geothermie profitiert auch vom technischen Fortschritt sowie einer angepassten Gesetzgebung. Dazu zählt nicht zuletzt die vorgeschriebene Erfüllung von gesetzlichen Bauauflagen zur Einbeziehung der regenerativen Energien bei der Gebäudeplanung. All das macht die Geothermie zu einem wichtigen Hoffnungsträger für eine bessere Energie- und Klimazukunft.

² Vgl. Auer, Josef u.a. (2009). Wohlstand durch Handel: Groß- und Außenhandel in Zeiten der Globalisierung. Deutsche Bank Research. Aktuelle Themen 448, Frankfurt am Main. S. 15, 16.

3. Potenziale und Risiken der Geothermie

Mit der Tiefe steigt die Temperatur

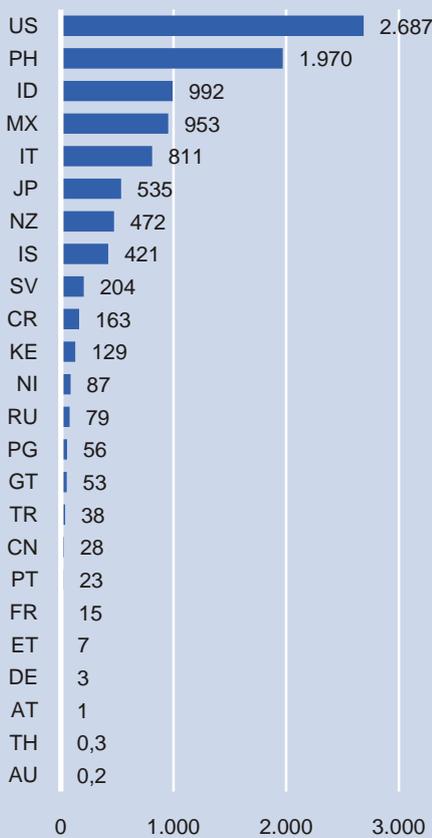
Aufbau der Erde

	km Tiefe	°C
Erdkruste	0-40	<1.000
Erdmantel	40-2.900	1.000-3.000
Äußerer Erdkern	2.900-5.100	3.000-4.500
Innerer Erdkern	5.100-6.370	4.500-4.800

Quelle: GeothermieZentrum Bochum **1**

Weltweite Kapazitäten für geothermalen Strom

2007*, installierte Leistung, MW



*Gesamt: 9727,5

Quelle: Bertani, R. **2**

Die Geothermie ist eine unterschätzte Energiequelle. Früher wurde allenfalls die Erdwärme genutzt, die offen als Thermalquelle zu Tage trat. Zwar war es seit Anbeginn des Bergbaus bekannt, dass es Richtung Erdinneres spürbar wärmer wird. Doch erst in jüngster Zeit haben die Technologien einen derart hohen Reifegrad erreicht, dass eine kommerzielle Nutzung auch in vielen Teilen der Welt möglich ist, die über keine einfachen geologischen Voraussetzungen verfügen. Die Bandbreite der Neuerungen ist breit; sie reicht von moderner Bohrtechnik, über leistungsfähigere Pump- und Nutzsyste-me bis hin zu zeitgemäßen Architektur-lösungen. Dabei geht es keineswegs nur darum, möglichst weit ins Innere der Erde vorzudringen, sondern auch, die Potenziale in Oberflächennähe zu erschließen, welche bei gleicher Raumgröße bekanntlich geringer sind.

Das Potenzial der Erde als Energiequelle ist gigantisch. Immerhin sind 99% unseres Planeten heißer als 1.000 °C. Und vom verbleibenden Rest sind immer noch 99% wärmer als 100 °C. Insofern trägt der Blick aus dem Weltall auf die keineswegs kugelförmige Erde mit dem dominierenden Blau und den weißen Polkappen. Tatsächlich ist unser Planet eine recht „heiße Kartoffel“. Daher ist die Dimension des globalen Wärmestroms aus dem Erdinneren überraschend, denn per Saldo strahlt die Erde Tag für Tag etwa das Zweieinhalbfache des weltweiten Energiebedarfs der Menschen ungenutzt in den Weltraum ab.³

Geologen unterscheiden geothermische Tiefenstufen. Für die oberen 5 km gilt die Faustformel, dass pro 100 m Tiefe die Temperatur um etwa 3 °C steigt. Damit kommen in 1 km Tiefe durchschnittliche Temperaturen von 30 bis 40 °C zustande. Im inneren Kern (feste Materie) in 5.100 bis 6.370 km Tiefe sind Schätzungen zufolge Temperaturen bis um die 5.000 °C und mehr wahrscheinlich. Im äußeren Kern (flüssige Materie) ab 2.900 km ist es immer noch 3.000 bis 4.500 °C heiß. Und selbst im Erdmantel von 40 bis 2.900 km sind noch 1.000 bis 3.000 °C zu erwarten. All dies sind Temperaturen, bei denen keinerlei Leben möglich ist. Für den Menschen und die geothermischen Anwendungen entscheidend ist die Erdkruste; diese reicht bis 40 km Tiefe und schützt alle Lebewesen vor der „Höllenglut“, erreicht aber – je nach Lage – im Extrem immer noch bis zu 1.000 °C.

Da sich der Wärmestrom der Erde typischerweise immer in Richtung niedrigerer Temperatur (also der Oberfläche) bewegt, wird die Erdkruste immer wieder neu „aufgetankt“. Hinzu kommt der Energieeintrag der Sonne, der bis wenige Meter unter die Erdoberfläche die Erde wärmt. Auch dieser Beitrag, der stark vom geografischen Standort determiniert wird, kann bei intelligenter Nutzung die Energieversorgung von Gebäuden verbilligen. Die Anwendungsmöglichkeiten gerade auch in der Baubranche in all ihren Facetten werden heute noch keineswegs voll ausgeschöpft. Freilich sind die Potenziale, die einer geothermischen Nutzung zugänglich sind, keineswegs geografisch gleich verteilt.

Bei sachgerechter Handhabung sind Risiken beherrschbar

Mit der Bearbeitung der Erdkruste stellt sich die Umweltfrage. Werden im Vorfeld alle Risiken mittels einer adäquaten Standortunter-

³ Vgl. z.B. Bußmann, Werner (2008). Germany. The geothermal market is expanding. Geeste. S. 2/3.

Wichtig ist eine genaue Untersuchung im Vorfeld

suchung (inklusive Spannungsmessungen) ausgelotet und berücksichtigt, steht einer stärkeren Nutzung der Geothermie nichts im Wege. Allerdings kann infolge mangelnder Technologiefolgenabschätzung und/oder unsachgemäßer Handhabung – wie bei allen anspruchsvollen Technologien – die Umwelt Schaden nehmen. So kann als Folge einer übermäßigen Entnahme von warmem Wasser der Grundwasserspiegel sinken; dieses Problem tritt nicht auf, wenn das genutzte Wasser reinjiziert wird. In sehr ungünstigen Lagen kühlt wegen der Wärmeentnahme lokal der Untergrund aus, weswegen wiederum – ähnlich wie im Falle von Änderungen des Porendrucks – mikroseismische (d.h. die Erde erschütternde) Effekte nicht auszuschließen sind. Da Mikroseismizität in ohnehin gefährdeten Zonen kleine Erdbeben vor ihrem natürlichen Eintritt auslösen kann, ist die Örtlichkeit (z.B. in Teilen Süddeutschlands) im Vorfeld stets sehr genau und umfassend zu prüfen. An getesteten und als geeignet befundenen Standorten ist eine Absenkung der Erdoberfläche und damit Schädigung der Gebäudeinfrastruktur sehr unwahrscheinlich. Freilich kann es auch vorkommen, dass Salze oder giftige Schwermetalle im Wasser gelöst sind; für den Fall, dass dieses Wasser nicht zurückgeleitet wird, ist dann eine Reinigung und gegebenenfalls auch Entsorgung unverzichtbar.

Wichtige Verfahren der Erdwärmennutzung

Oberflächennahe Geothermie (oft 8-25 °C)

- Grundwasserbrunnen mit
1. Wiederversickerung
offenes System
meist weniger als 50 m tief
 2. Erdwärmekollektoren, Energiepfähle
geschlossenes System
bis zu wenige 10 m tief
 3. Erdwärmesonden
geschlossenes System
wenige 10 m bis 400 m tief

Tiefe Geothermie (20-200 °C)

1. Hydrogeothermie
offenes System
einige 100 m bis über 3.000 m tief
z.B. Strom mit ORC- oder Kalinaanlagen
2. Hot-Dry-Rock (HDR)
offenes System
bis über 5.000 m tief

Quellen: Umweltministerium BW, eig. Darst.

3

4. Technische Nutzungsmöglichkeiten der Geothermie

Die Geothermie ist vielfältig nutzbar. Das betrifft sowohl die einsetzbaren Techniken als auch die konkrete Energieverwendung. Grundsätzlich sind zwei Nutzungspfade zu differenzieren:

- Erstens die direkte Nutzung der Erdwärme für die Versorgung mit Wärme bzw. Kälte.
- Zweitens der indirekte Einsatz durch Transformation der thermischen Energie in Elektrizität. Als besonders effizient gilt die gekoppelte Wärme- und Stromversorgung mittels der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), da sie besonders hohe Wirkungsgrade erreicht.⁴ Ein Limit für die geothermale KWK zieht mancherorts allerdings der mangelnde Wärmebedarf.

Künftig muss möglicherweise das Kapitel Haupteinsatzgebiete, das bis dato nur die Segmente Bereitstellung von Wärme/Kälte, Stromerzeugung und KWK enthielt, erweitert werden. Mit der in letzter Zeit nicht nur in Fachkreisen, sondern auch in der medialen Öffentlichkeit sprunghaft gestiegenen Aufmerksamkeit rund um das Zukunftsthema Elektroautomobilität wird nämlich deutlich, dass auch die Geothermie hier einen Beitrag leisten kann. Da die Elektrizität aus Erdwärme prinzipiell emissionsfrei erzeugt wird, macht diese das Elektroauto fit für die steigenden Umweltansprüche und sorgt damit für eine größere gesellschaftliche Akzeptanz als bei Strom fossilen Ursprungs. Überdies gelingt der Geothermie damit die Metamorphose vom reinen Wärmelieferant über die schon anspruchsvollere Bereitstellung der Sekundärenergie Strom zum Multitalent, das alle energetisch bedeutsamen Absatzmärkte – also Wärme/Kälte, Elektrizität und selbst individuelle Mobilität – bedienen kann.

⁴ Zu einem Überblick zur KWK vgl. z.B. Auer, Josef (2008). Die Kraft-Wärme-Kopplung: Ein Eckpfeiler des deutschen Energie- und Klimaprogramms. Deutsche Bank Research. Aktuelle Themen 415. Frankfurt am Main.

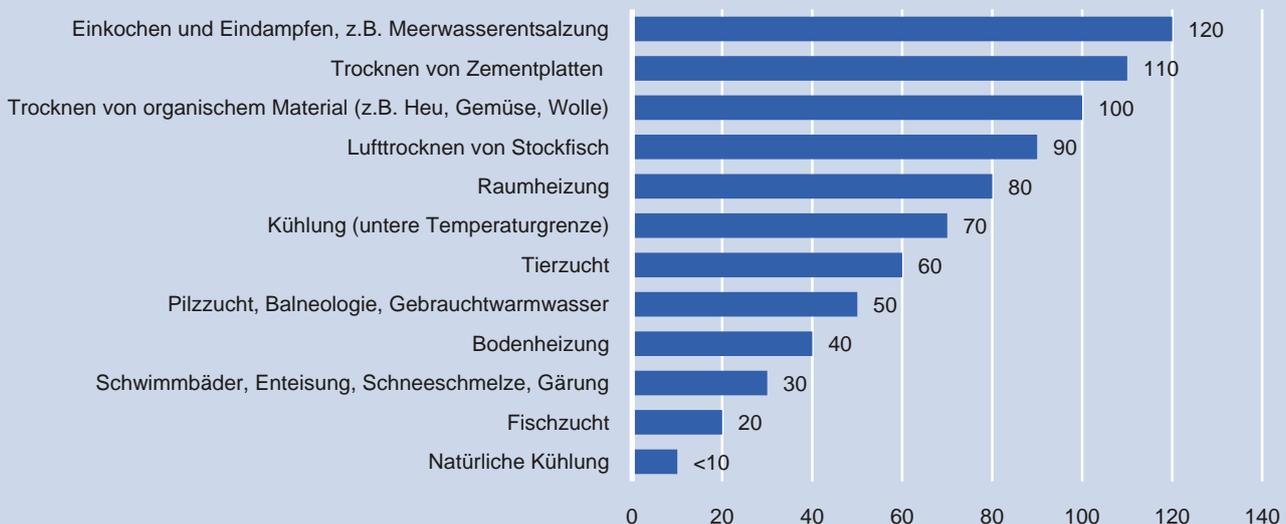


Direkte Nutzung für Wärme- bzw. Kälteversorgung

Die direkte Nutzung der Geothermie ist spätestens seit der Antike überliefert. Schon früh wurden Thermalwasservorkommen zum Heizen, Baden oder Kochen aktiviert. Das erste geothermische Fernwärmenetz, eine beispiellose Basisinnovation zu jener Zeit, wurde allerdings erst im 14. Jahrhundert in Chaudes-Aigues, Frankreich, in Betrieb genommen. Das sog. Lindal-Diagramm gibt einen groben, aber nützlichen Überblick über die erforderlichen Wassertemperaturen für die unterschiedlichsten direkten Anwendungen der Geothermie. Die entscheidende Stellschraube für die Wirtschaftlichkeit ist hierbei die intelligente Kombination von Anwendungsbereichen, so dass die Potenziale der Temperatur-Kaskade möglichst effizient ausgeschöpft werden.

Direkte Nutzung geothermischer Energie, erforderl. Temperatur nach Anwendungen

In °C (Lindal-Diagramm)



Quellen: Baldur Lindal, Bundesverband Geothermie

4

Entnahme der Wärme durch unterschiedliche Verfahren

Weltweit dient die Geothermie direkt vor allem als Wärmequelle. Hierbei ist es keineswegs erforderlich, dass das Thermalwasser selbst der Endnutzung zugeführt wird. So erlauben z.B. Wärmetauscher, dem Thermalwasser die Energie zu entziehen, die dann in ein Fernwärmenetz eingespeist werden kann.

Die oberflächennahe Geothermie wird fast nur direkt genutzt. Die Entnahme der Wärme erfolgt in der Regel über Erdwärmekollektoren (horizontal), Erdwärmesonden (vertikal), Erdwärmekörbe (kegelförmig) oder erdgebundene Betonbauteile. In die thermoaktiven Bauteile ist typischerweise ein Kunststoffrohrsystem eingebaut, das die Zirkulation eines Wärmeträgermediums ermöglicht. Die oberflächennahen Verfahren nutzen oftmals Wärmepumpen zum Heizen im Winter. Im Sommer kann mit Wärmepumpenheizungen aber auch gekühlt werden. Typische Anwendungen der oberflächennahen Geothermie ohne Wärmepumpen sind die natürliche Gebäudekühlung (Fußboden- oder Wandsysteme, die das 8-10 °C kühle Wasser aus dem flachen Untergrund nutzen) sowie immer häufiger auch Eisfreihaltung von z.B. Fahrbahnen, Brücken oder Bahnsteigen (spart Winterdienst und Streusalz).

Nutzung unterschiedlicher Temperaturvorkommen

Typisch für Niedenthalpie

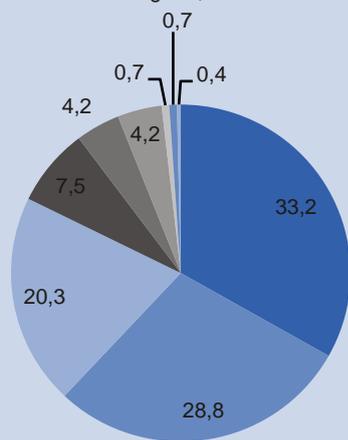
keine vulkanische Tätigkeiten
niedrige Temperaturen (unter 100 °C)
Nutzung für Wärmebereitstellung

Typisch für Hochenthalpie

Wärmeanomalien wegen vulkan. Tätigkeit
hohe Temperaturen (200 °C u. mehr)
Nutzung zur Stromerzeugung

Global dominiert Wärme die direkte Nutzung der Geothermie

Anteil der Nutzungsart, %



*Gesamt: 8,3 GW

- Erdgekoppelte Wärmepumpen
- Bäder, Balneologie
- Fernwärme
- Gewächshäuser, Gartenbau
- Industrielle Nutzung
- Aquakulturen
- Landwirtschaftliche Trocknungsprozesse
- Schneesmelze, Klimakälte
- Sonstige

Quellen: J. Lund u.a., Bundesverband Geothermie **5**

Indirekte Nutzung zur Stromerzeugung

Die tiefe Geothermie (> 400 m) nutzt die mit der Entfernung zur Erdoberfläche steigende Temperatur. Die in der Erdkruste existierenden, starken Wärmeanomalien sind zumeist Ergebnis vulkanischer Aktivität:

- Gerade die Hochenthalpie-Lagerstätten, dies sind die Gebiete mit Vulkanaktivität, sind prädestiniert für die Stromerzeugung. Der Vorteil dieser Standorte ist, dass bereits in relativ geringer Tiefe einige hundert Grad heiße Fluide (Dampf, Wasser) vorkommen, die mit moderner Technik vergleichsweise günstig „geerntet“ werden können. Kein Wunder also, dass die Länder mit hoher vulkanischer Aktivität den Schwerpunkt der Elektrizitätserzeugung aus Geothermie bilden.
- Mangels vulkanischer Tätigkeit sind in Niedenthalpie-Lagerstätten tiefe Bohrungen vorzunehmen, um ausreichende Temperaturen (i.d.R. >100 °C) zur Elektrizitätserzeugung zu erhalten. Existiert ein Aquifer (auch Grund- bzw. Thermalwasserspeicher bzw. -leiter genannt), so kann das Wasser zur Oberfläche befördert, die Energie entnommen und danach das erkaltete Wasser in den Untergrund reinjiziert werden (hydrothermale Geothermie). Im Gegensatz dazu kann die Wärme von nicht-permeablem (also undurchlässigem) Gestein erschlossen werden, indem systematisch Risse in der Gesteinsformation erzeugt werden, in die dann Wasser eingebracht und zirkuliert wird (Experten bezeichnen dies als petrothermale Geothermie). Ein dritter Weg der Wärmeentnahme ist die Nutzung einer tiefen Erdwärmesonde. Dabei wird das Wärmeträgermedium, oft Wasser (auch mit Zusätzen wie Ammoniak), in einem geschlossenen System (durchaus in Tiefen von 2.000 bis 3.000 m) zirkuliert. Ein Nachteil dabei ist jedoch die vergleichsweise geringe Energieausbeute. In Deutschland werden aufgrund der geologischen Gegebenheiten hydrothermale Systeme präferiert.

5. Situation in Deutschland

Regionale Potenziale der Geothermie in Deutschland

Die nachfolgenden Potenzialschätzungen für Deutschland zeigen, dass die Geothermie eine grundsätzlich unerschöpfliche Energiequelle ist. Allerdings bedürfen die Schätzungen einer kritischen Evaluierung, zumal die Potenziale erheblich differieren, je nachdem, ob man sie aus theoretisch-physikalischer, technischer und/oder wirtschaftlicher Sicht abschätzt.

In Deutschland liegt das theoretisch-physikalische Gesamtpotenzial der Geothermie⁵, das ökonomische und technische Aspekte unberücksichtigt lässt, bei 1.200.000 EJ (Exajoule).⁶ Unter der zusätzlichen Restriktion der Wahrung der ökologischen Nachhaltigkeit bleiben aber immer noch allein für die Elektrizitätserzeugung für einen Nutzungszeitraum von 1.000 Jahren 1.200 EJ pro Jahr übrig. Diese Menge entspräche dem 85-fachen des jährlichen deutschen Primärenergieverbrauchs (2008: 14 EJ).

⁵ Basisannahmen sind dabei, dass die Bohrtiefe maximal 10 km erreicht und die Wärme des Gesteins bis auf 20 °C entzogen werden kann.

⁶ Zu den theoretischen Potenzialen vgl. Kaltschmitt, Martin u.a. (2006). Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin. S. 527.

Sechs Bundesgesetze spielen eine Rolle

Dazu zählen neben dem Baugesetzbuch (BauGB), welches die Bauplanung regelt, das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), das für die oberirdisch gelegenen Teile der Geothermieanlagen gilt, und das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG). Für Anlagen mit überörtlicher Bedeutung ist das Raumordnungsgesetz (ROG) zu beachten. Von besonderer Relevanz sind zudem das Bundesberggesetz (BBergG) sowie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG):

- Das BBergG regelt die Nutzung des Grundstücks mittels Bohrungen je nach Tiefe (über bzw. unter 100 m). Es enthält einen Katalog an Versagungsgründen, die einer Genehmigung ohne Ermessensspielraum entgegenstehen können. Hier spielen Kriterien wie die Beachtung des öffentlichen Interesses bei Natur- und Gewässerschutz sowie die Landschaftspflege wichtige Rollen.
- Nach dem WHG ist für geothermische Anlagen, die ohne die Nutzung des Grundwassers auskommen, keine wasserrechtliche Bewilligung bzw. Erlaubnis erforderlich. Dagegen sind Anlagen mit Grundwassernutzung grundsätzlich zu genehmigen; ausgenommen davon ist lediglich die Grundwassernutzung im landwirtschaftlichen oder häuslichen Bereich. In der Regel entscheiden die Wasser- und die Bergbehörde im Einvernehmen.

Die technischen Angebots- und Nachfragepotenziale sind weniger eindeutig, denn diese hängen letztlich von den konkreten Umsetzungsmöglichkeiten ab.⁷ Dazu zählen die realisierbaren Bohrtiefen, die Wirkungsgrade der Verstromungstechniken, die zur Anwendung kommenden Technologien, der technische Fortschritt, aber auch das unterstellte Nutzerverhalten.⁸

Für die Praxis entscheidend ist die Unterscheidung zwischen oberflächennaher und tiefer Geothermie. Die Oberflächennutzung ist in Deutschland nahezu überall möglich, wenn auch naturgemäß die Temperaturen von Ort zu Ort variieren. Dagegen sind die Heißwasseraquifere für die geothermale Elektrizitätserzeugung regional keineswegs gleichverteilt. Geeignete günstige geothermale Vorkommen finden sich im süddeutschen Molassebecken (hier liegt z.B. Unterhaching), im Oberrheingraben (bis über den Raum Frankfurt hinaus) sowie im Norddeutschen Becken, das räumlich am größten ist und wo auch etwa zwei Drittel der in Aquiferen gespeicherten Energie ruhen. In diesen Regionen hat auch die Direktwärmenutzung bereits eine längere Tradition. Überdies finden sich nördlich des Molassebeckens und in Teilen von Thüringen und Sachsen-Anhalt umfangreiche Gebiete mit potenziellen hydrothermalen Vorkommen.

Der Ordnungsrahmen rund um die Geothermie

Der Ordnungsrahmen ist deshalb sehr breit gesteckt, weil ins Erdreich eingegriffen wird und damit grundsätzliche Zuständigkeiten des Bundes und der Länder tangiert werden. Hinzu kommt, dass teilweise spezielle kommunale Vorgaben zu berücksichtigen sind.

Relevanz für geothermische Vorhaben haben zusätzlich zu den einschlägigen Fördergesetzen wie dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) mindestens sechs Bundesgesetze (s. Kasten).

Zusätzlich finden sich in vielen Bundesländern historisch gewachsene landesspezifische Sonderregelungen, die das Wasser- und Bergbaurecht akzentuieren.

Die große Komplexität des Ordnungsrahmens war in der Vergangenheit oft eine (zu) hohe Hürde für ansonsten aussichtsreiche Projekte. Aus diesem Grunde wurden mittlerweile Standardlösungen formuliert und etabliert, die den bürokratischen Aufwand mindern und damit den Trend zur Erdwärme unterstützen.

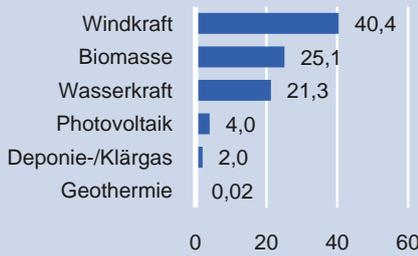
Die Förderinstrumente: EEG, MAP und EEWärmeG

Die wichtigsten Förderinstrumente für die Geothermie in Deutschland sind das EEG, das Marktanreizprogramm (MAP) sowie das EEWärmeG.

⁷ Zu den technischen Potenzialen vgl. Paschen, Herbert u.a. (2003). Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Sachstandsbericht. Berlin. Purkus, Alexandra (2008). Geothermische Stromerzeugung im Energiemarkt der Zukunft. Oldenburg. S. 36-39.

⁸ Die Ergebnisse variieren zudem, je nachdem, ob nur die effizientesten Technologien wie moderne KWK zur Anwendung kommen; in diesem Falle ist auch die (Ab-)Wärme einzurechnen. Überdies sind wichtige Technologien wie das Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) noch nicht für den Massenmarkt geeignet, würden aber erhebliche Geothermiepotenziale erschließen. Dies ist unmittelbar einsichtig, wenn man sich vergegenwärtigt, dass in Deutschland die mittels der Hydrogeothermie angezapften Aquifere lediglich 1% des Geothermiepotenzials repräsentieren. Die 95% in kristallinem Gestein schlummernden Potenziale bedürfen nämlich zur Aktivierung innovativer Technologien wie HDR.

Geothermale Stromerzeugung noch sehr gering Deutschland, 2008*, TWh



*Gesamt: 92,8

Quelle: AGEE **6**

Mehr geothermale Elektrizität in Deutschland seit 2004

Jahr	Stromerzeugung GWh	Installierte Leistung MW
2004	0,2	0,2
2005	0,2	0,2
2006	0,4	0,2
2007	0,4	3,2
2008	18,0	6,6

Quelle: AGEE **7**

EEG 2009 brachte Bonussystem

EEG fördert tiefe Geothermie zur Stromerzeugung

In Deutschland bekam die tiefe Geothermie entscheidende Impulse durch erste Pilotprojekte sowie die Neufassung des EEG im Jahr 2004, die erstmals stabile Einspeisetarife über 20 Jahre hinweg garantierte.⁹ Die Förderung entsprach in etwa der für Windenergie, lag aber merklich unter jener für Photovoltaik. Dies ist der Hauptgrund für den Durchbruch der Stromerzeugung mittels der tiefen Geothermie auch in Deutschland.

Die Geothermie liefert nach wie vor die absolut niedrigsten Mengen zur Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Quellen in Deutschland. Aber das Mengenwachstum kann sich sehen lassen. Im Jahr 2008 kam zu den beiden geothermischen Kraftwerken in Landau und Neustadt-Glewe eine dritte Anlage in Unterhaching hinzu. Dadurch verdoppelte sich die installierte elektrische Leistung auf insgesamt 6,6 MW und die Elektrizitätserzeugung expandierte sogar von 400.000 kWh im Jahr 2007 auf 18 Mio. kWh im Jahr 2008. Damit kam die Geothermie auf 0,003% des Stromverbrauchs (zum Vergleich Windkraft: 6,6%).

Laut BMU waren Ende 2008 15 Projekte zur kombinierten geothermischen Strom- und Wärmeenergie in Planung. Überdies lagen Anträge für Aufsuchungserlaubnisse für 150 Standorte vor. An mehreren Standorten in Bayern (z.B. Garching, Sauerland, Feldkirchen) sind die Planungen bzw. Bohrungen recht weit fortgeschritten. Im Oberrheingraben sind nahe des Kraftwerks in Lindau zwei zusätzliche Anlagen (Bruchsal, Ischheim) geplant.

Die Ausbauprognosen sind insgesamt sehr optimistisch. So erachtet die BMU-Leitstudie für regenerative Energien in Deutschland bis 2020 ein Anwachsen der installierten Leistung der geothermischen Kraftwerke auf 280 MW für realistisch, die dann eine Elektrizitätserzeugung von 1,8 Mrd. kWh ermöglichen würde. Zu geradezu euphorischen Resultaten kommt die Elektrizitäts-Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche; die derzeitigen Rahmenbedingungen lassen nach ihrer Kalkulation eine Expansion auf sogar gut 560 MW zu (also doppelt so hoch wie gemäß der BMU-Prognose), die dann eine Stromproduktion um 3,8 Mrd. kWh gestatten sollen. Auch wenn diese Vorhersagen aufgrund der vielfältigen Fallstricke rund um Bürgerbefindlichkeiten, Zuständigkeiten und Bürokratie überaus optimistisch anmuten, so wird doch deutlich, dass die Geothermie in Zukunft spürbar mehr zur heimischen Stromversorgung beitragen dürfte als bisher. Allerdings bliebe der Anteil selbst in der optimistischen Prognose noch <1%.

Die Politik hat die Aktualisierung des EEG ab 2009 genutzt, die Förderung für Projektplaner und -partner noch attraktiver zu gestalten. Rund um die Basisvergütung wurde absichtsvoll eine Art Bonussystem etabliert:

- So stieg die Basisvergütung für Anlagen bis 10 MW auf 16 Cent/kWh (also um 2 Cent/kWh gegenüber 2004) und die ab einer Größe von 10 MW auf 10,5 Cent/kWh (also 1,55 Cent/kWh mehr).
- Um dem Markt einen zusätzlichen Impuls zu geben, wird für Anlagen, die bis 1. Januar 2016 in Betrieb genommen werden, ein (neuer) zusätzlicher Frühstarterbonus von 4 Cent/kWh gewährt – und dies unabhängig vom Leistungsumfang. Damit werden also

⁹ Mit Inkrafttreten der EEG-Novelle betrug die Basisvergütung für Anlagen bis 10 MW Leistung 14 Cent/kWh, die für Anlagen über 10 MW immerhin 8,95 Cent/kWh.

EEG-Bonussystem für Geothermie

Anlagengröße	bis 10 MW Cent/kWh	ab 10 MW Cent/kWh
EEG 2004		
Grundvergütung	14	8,95
EEG 2009		
Grundvergütung	16	10,5
Frühstarterbonus vor 1.1.2016	4	4
Wärmenutzungsbonus	3	nein
Technologiebonus	4	nein

Quellen: EEG 2004, EEG 2009

8

Wichtige MAP-Stellschrauben sind*:

- Förder- und Injektionsbohrungen können mit bis zu EUR 750 je Meter vertikaler Tiefe unterstützt werden (die Limits liegen bei 2,5 Mio. pro Bohrung und maximal EUR 5 Mio. je Projekt); zusätzlich werden unvorhersehbare Mehrkosten bis zu 50%, aber maximal EUR 1,25 Mio. pro Bohrung gedeckt.
- Förderung der Einrichtung von Anlagen der Tiefengeothermie, wobei je kW Nennleistung bis zu EUR 200 gewährt werden, aber ein Deckel je Anlage von maximal EUR 2 Mio. eingezogen ist.
- Unterstützung der Tiefengeothermie durch Tilgungszuschüsse und zinsgünstige Darlehen. Die Darlehenssumme kann bis zu 80% der Bohrkosten abdecken. Stellt sich unerwartet eine Nichtfündigkeit heraus, so sind ab diesem Zeitpunkt keine Mittel mehr zurückzuzahlen. De facto wird der Kreditnehmer damit vom Risiko zu einem großen Teil freigestellt.
- Überdies wird die Einrichtung von Wärmenetzen unter bestimmten Voraussetzungen (u.a. wenn eine Förderung im Rahmen des KWK-Gesetzes abgelehnt oder gekürzt wurde) mit maximal EUR 1,5 Mio. unterstützt. Für die Bewilligung ist allerdings erforderlich, dass 50% oder mehr der Wärme mit regenerativen Energien erzeugt werden.

*Zu Details vgl. z.B. Dorß, Werner (2009). Rechtliche Rahmenbedingungen der Geothermie in Deutschland. FPS Rechtsanwälte & Notare. Frankfurt am Main.

für Anlagen bis 10 MW immerhin 20 Cent pro eingespeister Kilowattstunde vergütet.

- Für Anlagen bis 10 MW, die mindestens ein Fünftel der bei der geothermalen Stromerzeugung anfallenden Wärmeleistung auskoppeln und der Nutzung zuführen, wird zusätzlich ein Wärmenutzungsbonus von 3 Cent/kWh für den erzeugten Strom gewährt.
- Eine strategisch hohe Bedeutung kommt dem Technologiebonus zu. Dieser beträgt 4 Cent/kWh, wird aber nur bei Anlagen bis zu 10 MW vergütet. Voraussetzung ist, dass die Stromerzeugung mittels einer petrothermalen Technik erfolgt. Damit wird also die Nutzung besonders innovativer und künftig aussichtsreicher Geothermietechniken belohnt. Hierzu zählen Hot-Dry-Rock-Projekte (HDR), bei denen z.B. Wasser in künstlich erzeugte Granitfessspalten gepresst wird, die aufgrund ihrer Tiefe sehr heiß sind.¹⁰

Aus dem Bonussystem folgt, dass für Anlagen, deren Leistung 10 MW übersteigt, und damit der Wärme- und der Technologiebonus nicht gewährt werden, eine maximale Förderung von 14,5 Cent/kWh erreichbar ist. Günstiger sieht es für Anlagen bis zu 10 MW aus. Bei gleichzeitiger Nutzung des Frühstarter- und des Wärmebonus ist hier eine Gesamtvergütung von 23 Cent/kWh realisierbar. Für termingerechte HDR-Anlagen sind zwar theoretisch sogar 27 Cent/kWh möglich; solche Anlagen dürften aber zunächst noch die Ausnahme bleiben. Gleichwohl sind die theoretischen Potenziale immens. Da die innovative Technik nicht vom Vorhandensein von Thermalwasser im Untergrund abhängig ist, kann sie nämlich prinzipiell an jedem Ort eingesetzt werden. Schätzungen zufolge kommen etwa vier Fünftel der Landoberfläche in Frage, sodass der Einsatzbereich für die relativ saubere Technik nahezu grenzenlos ist.

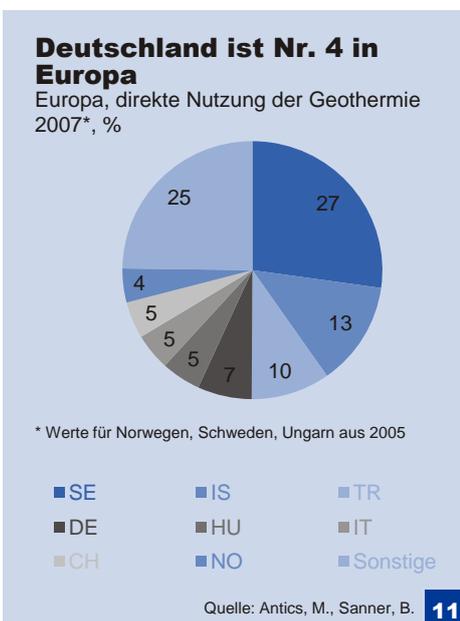
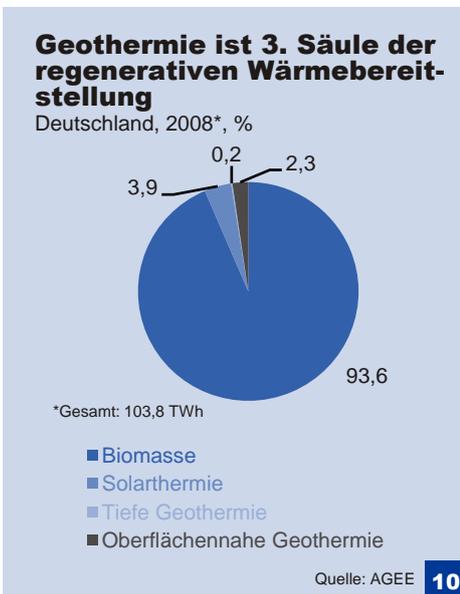
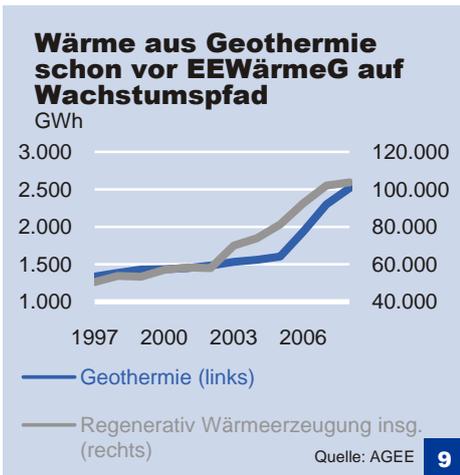
Nach dem EEG 2009 beträgt die Degression im Falle der Geothermie 1% pro Jahr auf Vergütung und Boni. Die Förderung wird für 20 Jahre garantiert.

Marktanreizprogramm als zusätzlicher Impuls für Geothermie

Als sich Anfang 2009 abzeichnete, dass die Anreizwirkung des EEG 2009 für die noch junge Tiefengeothermie aufgrund noch relativ hoher Risiken (z.B. Bohr-, Fündigkeits- und damit Wirtschaftlichkeitsrisiken) hinter den Erwartungen zurückbleiben könnte, reagierte die Politik und schuf als zusätzliches Förderinstrument das MAP. Dieses soll den entscheidenden Impuls für die Realisierung von bis zu 40 Geothermieprojekten mit einem Investitionsvolumen von immerhin EUR 400 Mio. geben. Zur Erleichterung des Procédere rund um das MAP werden die KfW-Mittel direkt von dem jeweiligen Kreditinstitut beantragt.

Trotz der beträchtlichen Förderung der tiefen Geothermie in Deutschland sind der Expansion schon aus organisatorischen Gründen gewisse Grenzen gesetzt. Denn um die anspruchsvolle Technologie voranzubringen, bedarf es nicht zuletzt auch gut ausgebildeter und erfahrener Fachkräfte, die freilich in dem noch jungen Marktsegment noch nicht in hinreichendem Maße verfügbar sind. Überdies ist die Bohrtechnologie aufgrund der Vielzahl neuer Projekte bzw. Vorhaben derzeit ein Flaschenhals und damit teuer. Zu-

¹⁰ HDR-Projekte können durchaus Risiken bergen. Dies zeigt das Beispiel Basel, wo der hohe Wasserdruck in den artifiziellen Fessspalten für kleinere Erdbeben verantwortlich gemacht wurde, was zum Projektstopp führte. Im Frühjahr 2010 soll nach neuen Untersuchungen eine Entscheidung fallen, ob und wie es weitergeht.



sätzlich bremst die Tatsache, dass die Projekte je nach Standortbedingungen variieren.

EEWärmeG gibt Impulse für mehr Wärmebereitstellung

Die Geothermie stellte 2008 mit rund 2,5 Mrd. kWh merklich mehr Wärme bereit als im Vorjahr (2,3 Mrd. kWh). Diese Menge entspricht etwa 61% der Solarthermie, aber nur 2,4% der gesamten regenerativen Wärmeenergie. Zur geothermalen Wärme steuert die Tiefengeothermie 0,16 Mrd. kWh und die oberflächennahe Geothermie den großen Rest von rd. 2,3 Mrd. kWh bei.

Die meisten der 167 Anlagen der Tiefengeothermie versorgten Gebäudekomplexe und Thermalbäder mit Wärme. 13 geothermale Heizkraftwerke speisen Wärme in Nahwärmenetze ein; darunter auch die drei oben zitierten geothermalen Kraftwerke, die in KWK-Anlagen neben Strom eben auch Wärme erzeugen. Laut BMU wurden im letzten Jahr 20 neue Tiefengeothermieprojekte angestoßen (Investitionsvolumen rd. EUR 200 Mio.). Und 2009 sind 15 geothermische Heizkraftwerke in Planung. Auch der Dynamik der Wärmeerzeugung mittels Tiefengeothermie wirken die oben ausgeführten organisatorischen Bremsfaktoren entgegen. Hinzu kommt, dass bei Anlagen zur reinen Wärmeerzeugung mittels Tiefengeothermie wesentlich höhere Kosten für die Wärmeverteilung anfallen als bei KWK-Anlagen. So machen die Kosten für Bohrung und Heizkraftwerk nur noch 30% der Investitionskosten aus, wohingegen die Infrastruktur der Wärmeverteilung (z.B. Nahwärmenetz) den Hauptteil von 70% verschlingt. Deshalb sind Standorte mit existierendem Nahwärmenetz besonders begehrt. Um das Netzproblem zu lindern, wurde die Förderung – wie bereits oben ausgeführt – im Rahmen des MAP und des KWK-Gesetzes verbessert.

Zweifelsohne steuern Erdwärmepumpen den Löwenanteil zur geothermalen Wärmebereitstellung bei, dabei sind sie kleiner und dezentraler als die zuvor angesprochenen Technologien. Sie erfreuen sich in Deutschland steigender Beliebtheit in Ein- und Mehrfamilienhäusern, wo sie der Warmwasserbereitung und Raumwärme dienen. 2008 erhöhte sich die Zahl der Gebäude, die mit Erdwärmekollektoren, -sonden und ähnlichen Systemen der oberflächennahen Geothermie versorgt werden, auf rund 150.000. Allein in den beiden letzten Jahren kam es zu über 61.000 Neuinstallationen. 2008 erreichte der Umsatz der Branche der oberflächennahen Geothermie EUR 850 Mio. Laut Bundesverband Geothermie kommt die Branche auf mindestens 7.000 Arbeitsplätze.

Schon 2008 kam die Wärmepumpe im Neubausegment auf 10 bis 20% der Gebäude. Künftig dürften die Themen Wärmespeicher und Klimatisierung im Neubau an Gewicht gewinnen. Beim Gebäudebestand limitieren die gängigen Heizkörper, die auf hohe Vorlauftemperaturen angewiesen sind, die Absatzpotenziale. Der nachträgliche Einbau z.B. von Fußbodenheizungen ist oft zu teuer.

Einen zusätzlichen Schub für die Wärmepumpe verspricht das EEWärmeG, das nach langer Diskussion Anfang 2009 in Kraft trat. In dem neuen Gesetz wurde für Neubauten eine Pflicht zur quotalen Wärmeerzeugung mittels regenerativer Energien festgeschrieben. Im Falle der Geothermie muss diese zumindest 50% des Wärmeenergiebedarfs decken. Der Bund stellt zwischen 2009 und 2012 bis zu EUR 500 Mio. pro Jahr für die Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Quellen bereit. Zusätzlich können besonders effiziente Erdwärmepumpen über das MAP gefördert werden.

Erdwärme hat Potenzial in Deutschland

Die Dimension beachten

Keineswegs zu vernachlässigen ist auch die mancherorts gewährte Förderung von Wärmepumpenanlagen durch die Elektrizitätsversorger (oft Stadtwerke); durchaus gängig sind direkte Zuschüsse in der Investitionsphase und/oder indirekte Vergünstigungen mittels reduzierter Stromtarife für Privathaushalte und Mittelständler. Die Förderung seitens der Stromlieferanten rechnet sich unter dem Strich, da die Pumpensysteme mehr Elektrizität verbrauchen als z.B. Ölheizungen.

Wärme aus Geothermie hat ein erhebliches Potenzial in Deutschland. Dieses liegt allein für die hydrothermale Geothermie bei etwa 300 Mrd. kWh pro Jahr, für die oberflächennahe Geothermienutzung bei rund 260 Mrd. kWh, wenn alle geeigneten Flächen einbezogen werden.¹¹ Dies bedeutet selbst für die schon verbreitete oberflächennahe Nutzung noch ein theoretisches Wachstumspotenzial von mehr als den Faktor 100.

Bei solch phantastischen Aussichten ist allerdings ein Blick auf die absoluten Zahlen ratsam, der die Dimensionen ins rechte Licht rückt: Immerhin können beide geothermalen Wärmezweige zusammen – selbst bei Vollausschöpfung ihrer Wachstumspotenziale, aber ohne additive Maßnahmen – noch keineswegs so viel Wärme bereitstellen wie in Deutschland derzeit tatsächlich benötigt wird. Den heimischen Bedarf für Warmwasser, Raumwärme sowie sonstige Prozesswärme veranschlagt die Agentur für Erneuerbare Energien nämlich auf immerhin rund 1.400 Mrd. kWh im Jahr. Deshalb wird die geothermale Wärme – trotz ihrer großen Potenziale – immer nur im Mix mit anderen Energiequellen den heimischen Wärmebedarf decken können. Gleichwohl schmälert dies keineswegs ihre positiven Beiträge zu den Zielen der Energiepolitik.

Was kostet die direkte Wärmenutzung in Gebäuden in Deutschland?

Typischerweise werden für die oberflächennahe Geothermie Tiefen bis etwa 200 m genutzt, teilweise jedoch geht es auch doppelt so tief. Während die Luft in unseren Breiten erhebliche jahreszeitliche, aber auch tageszeitliche Temperaturschwankungen aufweist, sind die Temperaturen ab 10 m Tiefe unter der Erdoberfläche relativ stabil. Dagegen folgt die Erdtemperatur bis 10 m Tiefe dem jahreszeitlichen Muster. Es liegt deshalb nahe, im Winter die oberflächennahe Erde als Wärme- und im Sommer als Kältereservoir zu nutzen, um die gewünschte Wärme- bzw. Kälteenergie zu generieren.

In Deutschland erfreuen sich Erdwärmeeinrichtungen in den letzten Jahren steigender Beliebtheit. Nun bekommen regenerative Energiequellen wie die Geothermie zusätzliche Impulse, da für Neubauten ab 2009 die Pflicht besteht, die Wärmeversorgung verstärkt mit regenerativen Energien zu organisieren. Besonders interessant sind in diesem Zusammenhang Wärmepumpen, mittels derer die ursprüngliche Temperatur in Oberflächennähe (z.B. 12°C) auf eine nutzbare Temperatur von oft 38-45°C gesteigert werden kann. Die Effizienz der Wärmepumpen misst die Leistungszahl (Wärmebereitstellung zu Inputenergie, in der Regel Strom), die nicht selten bei 3 bis 5 liegt. Bei einer angenommenen Leistungszahl von 5 heißt dies, dass mittels 2kW Inputenergie für den Kompressor 10kW Heizenergie bereitgestellt werden können. Üblicherweise wird die Wärmepumpe mit Betonkernaktivierung oder Fußbodenheizung kombiniert, da die

Vergleich Erdwärmesonde zu Ölheizung

	Erdwärmesonde	Ölheizung
	Euro	Euro
Investitionskosten	18.000	12.500
Höhere EWS-Investitionen		5.500
Betriebskosten/Jahr	680	2.000
EWS-Ersparnis/Jahr		1.320
Jahre für Amortisation		
- ohne Zins		knapp 5
- mit 6% Zins		gut 5

Quellen: Golder Associates, DBR **12**

¹¹ Vgl. Agentur für Erneuerbare Energien (2009). Marktentwicklung Geothermie in Deutschland 2008.

Vergleich Erdwärmesonde zu Gasbrennwertheizung

	Erdwärmesonde	Gasbrennwertheizung
	Euro	Euro
Investitionskosten	18.000	8.800
Höhere EWS-Investitionen		9.200
Betriebskosten/Jahr	680	1.720
EWS-Ersparnis/Jahr		1.040
Jahre für Amortisation		
- ohne Zins		9
- mit 6% Zins		13

Quellen: Golder Associates, DBR

13

Vorlauftemperaturen nicht das Niveau traditioneller Heizungen erreichen.

Fragt sich, was die direkte Nutzung der Erdwärme in Deutschland kostet. Die Antwort ist zwar prinzipiell auch abhängig vom Standort, der Architektur und den Baumaterialien. Noch viel entscheidender sind aber die sehr unterschiedlichen Investitions- und Brennstoffkosten, die mit den relevanten Heizsystemen verbunden sind, da diese letztlich die Rentabilität determinieren.

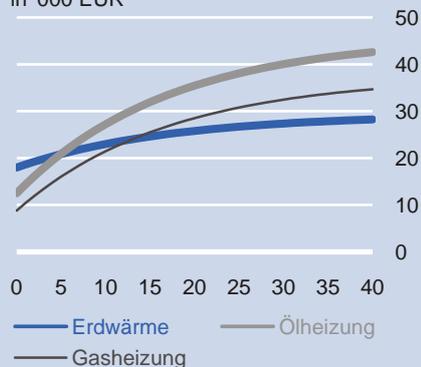
Für den Vergleich wird ein standardisiertes Einfamilienhaus mit 150 m² Wohnfläche, eine Heizanlage mit 7,5 kW installierter Leistung (Wärmebedarf) und ein jährlicher Energiebedarf von 18.000 kWh bei 2.400 Heizstunden pro Jahr untersucht. Fraglich ist, ob und wann sich eine Erdwärmesonde im Vergleich zu einer Ölheizung und einer Gasbrennwertheizung rechnet. Folgende Ergebnisse dokumentieren eindrucksvoll die hohe Attraktivität der Erdwärme für Familienhäuser:¹²

- Gegenüber der Ölheizung amortisiert sich die Erdwärmesonde schon nach 5 Jahren, obwohl die Investitionskosten für die Wärmesonde, die die Ausgaben für die Montage, Speicher sowie die Wärmepumpe beinhalten, mit EUR 18.000 deutlich höher als bei der Ölheizung liegen (Investitionskosten: EUR 12.500). Auch die Betriebskosten pro kWh sind bei der Erdwärmesonde mit 13,5 Cent höher als bei der Ölheizung (9 Cent/kWh). Dennoch liegen aber die jährlichen Betriebskosten (v.a. Brennstoffkosten für Pumpe, Wartung, Zählergebühr) mit insgesamt EUR 680 um EUR 1.320 niedriger als die EUR 2.000 für die Ölheizung (Hauptkostenblock: Heizöl). Die viel niedrigeren Betriebskosten finanzieren die teurere Investition also schon in knapp 5 Jahren. Berücksichtigt man zusätzlich den Zeitwert des Geldes, was sinnvoll ist, so hat dies freilich Auswirkungen auf die Amortisationszeit. Mit der Höhe des Diskontierungssatzes verändert sich auch die Amortisationszeit. So amortisiert sich die Erdwärmesonde bei einem unterstellten Diskontierungssatz von 6% p.a. nach gut 5 Jahren, also nur wenig später als ohne Diskontierung.
- Gegenüber der Gasbrennwertheizung amortisiert sich die Erdwärmesonde nach etwa 13 Jahren. Da die Gasbrennwertheizung nur EUR 8.800 kostet, hat sie gegenüber der Wärmepumpe sogar EUR 9.200 niedrigere Investitionskosten. Auch bei den jährlichen Betriebskosten pro kWh liegt die Gasheizung mit 7,5 Cent pro kWh vor der Erdwärme. Aber auch in diesem Falle spart die Wärmesonde dank der höheren Gesamtbetriebskosten der Gasheizung von EUR 1.720 pro Jahr EUR 1.040. So gesehen, würde sich die Erdwärme nach 9 Jahren rechnen. Berücksichtigt man jedoch – realitätsnäher – auch bei dieser Amortisationsrechnung zusätzlich einen Diskontierungssatz von 6%, so amortisiert sich die Erdwärmesonde allerdings erst nach 13 Jahren.

Da Erdwärmeeinrichtungen normalerweise für eine Zeitspanne von mindestens 20 Jahren angeschafft werden, belegen die Vergleiche die grundsätzliche Attraktivität der Erdwärme. Erwartet man, dass die Preise für Heizöl und Erdgas in den kommenden Jahren eher steigen werden, macht sich eine Investition in Erdwärme noch eher bezahlt. Überdies macht die Kostendegression Investitionen in

Investition in Erdwärme rechnet sich mit der Zeit

Gesamtkosten im Laufe der Jahre in '000 EUR



Quelle: DBR

14

¹² Zu ähnlichen Planungswerten für die Erdwärmepumpe vgl. auch dena (2007). Wärme aus Erneuerbaren Energien. Kosten sparen, Wohnwert steigern, Umwelt schonen. S. 32-35. Zu Details vgl. auch Golder Associates (2009). Oberflächennahe Geothermie in Deutschland. Aktuelle Themen.

Planungswerte Holzpellettheizung*

Investitionskosten (EUR)	10.000-14.000
Jahreswärmebedarf (kWh)	16.000
Kesselleistung (kW)	9
Pelletsverbrauch (t/Jahr)	3-6
Energiekosten/Jahr (EUR)	900
Pelletslagerraum (m ²)	8-14

* Einfamilienhaus, 150 m² Wohnfläche

Quelle: dena **15**

Erdwärme künftig noch interessanter.

Naturgemäß muss sich die Erdwärme aber auch gegenüber anderen alternativen Heizsystemen durchsetzen. Dazu zählen z.B. Solarthermie oder Holzpelletanlagen. Zu den Vorteilen gegenüber vergleichbaren Pelletanlagen, die etwa EUR 12.000 kosten, zählt die Platzersparnis, denn die Pelletbevorratung und die Brennvorrichtung benötigen mindestens einen Raum. Hinzu kommt, dass die Pelletpreise im Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage schwanken. In städtischen Gebieten kann überdies die geballte Häufung von Pelletanlagen auch zu Konflikten mit Nachbarn führen (z.B. wegen Feinstaubemissionen bei schlechter Verbrennung), was bei Erdwärme nicht zu erwarten ist. Weitere Vorteile der Erdwärme gegenüber Pelletanlagen und Heizsystemen mit fossilen Brennstoffen sind dank der Nicht-Existenz eines Verbrennungsvorgangs Zeitersparnisse sowie geringere Nebenkosten; diese resultieren daraus, dass der Schornsteinfeger nicht kommen muss und die sonst obligatorische TÜV-Abnahme obsolet ist.

Wie hoch ist das Baupotenzial, das aus der direkten Nutzung der Geothermie resultiert?

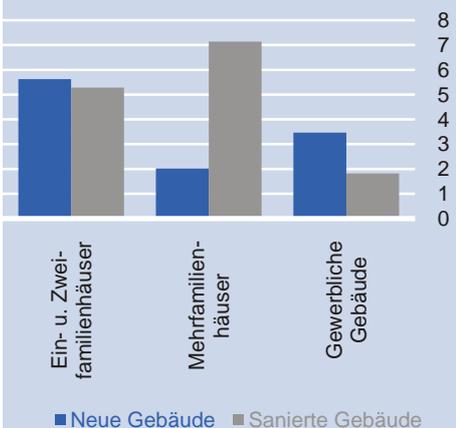
Zur Berechnung des Baupotenzials bis 2030, das die Expansion der direkten Geothermie in Deutschland mit sich bringt, haben wir Einzelschätzungen bezüglich des Neubaus und der Sanierung von Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie von gewerblichen Gebäuden vorgenommen und diese dann aggregiert.

Im Segment der Ein- und Zweifamilienhäuser wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass der Sanierungsfall anteilmäßig immer wichtiger wird, wohingegen die Zahl der Neubauten sogar im Vergleich zum niedrigen Ausgangsniveau schrumpft. So dürften um 2030 nur noch knapp 110.000 neue Ein- und Zweifamilienhäuser entstehen, während wir über 180.000 Sanierungsfälle erwarten. In beiden Bereichen wird die Geothermie stärker genutzt als heute. Bei Neubauten könnte 2030 jedes dritte Einfamilienhaus Erdwärme nutzen. Und auch bei Sanierungen könnte jede vierte Wohnung darauf zurückgreifen. Dabei haben wir berücksichtigt, dass heute Geothermielösungen bei jedem fünften neuen Einfamilienhaus gewählt werden, während der Anteil bei Sanierungen noch deutlich unter 10% liegt.

Im Segment Mehrfamilienhäuser haben wir ebenfalls den relativen Bedeutungsverlust der Neubauten gegenüber den Sanierungen eingerechnet. 2030 rechnen wir mit 20.000 Sanierungsfällen, während wir nur noch 7.600 Neubauten erwarten. Überdies sind die Baukosten, die mit einer Sanierung eines durchschnittlichen Mehrfamilienhauses in Richtung Erdwärmesystem verbunden sind, sehr viel höher als jene bei Neubauten. Alte Mehrfamilienhäuser sind nämlich typischerweise nicht für Niedertemperatursysteme ausgelegt. Dies bedeutet, dass mit der Nachrüstung mit Erdwärmesystemen in der Regel eine ganze Reihe zusätzlicher Baumaßnahmen zu ergreifen sind. Dazu zählen Themen wie die Wärmedämmung der Gebäudehülle (Dämmung von Dach, Außenfassade, Keller) und gegebenenfalls die Modernisierung des Verteilsystems. Die bauspezifischen Sanierungskosten rund um den nachträglichen Einbau in Mehrfamilienhäusern können so durchaus EUR 100.000 erreichen (im Vergleich zu EUR 8.000 für Einfamilienhäuser).¹³ Wie bei Ein-

Direkte Geothermie führt bis 2030 bis zu kumuliertem Bauvolumen bis EUR 25 Mrd.

Mrd. EUR



Quelle: DBR **16**

¹³ Die Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpen zu den Sanierungskosten für den Fall der Mehrfamilienhäuser sind im Vergleich zu dem Wert der Einfamilienhäuser überzeichnet, denn bei Mehrfamilienhäusern macht nur eine Komplettsa-

Bei Gewerbebauten dominiert auch künftig der Neubau

und Zweifamilienhäusern dürfte auch beim Neubau von Mehrfamilienhäusern die Erdwärme 2030 in jedem dritten Haus zum Einsatz kommen, bei den Sanierungen in jedem vierten Objekt.

Im Unterschied dazu dominiert im Segment der Gewerbebauten auch im Jahr 2030 noch der Neubau und nicht die Sanierung. Dies hängt z.B. bei Industriebauten damit zusammen, dass mit sich ändernden Anforderungen der Fertigungsprozesse auch die Bauten teilweise völlig neu konzipiert und neu gebaut werden müssen. Der Bereich der Industriebauten ist freilich auch aufgrund seiner schieren Größe für die Bauwirtschaft und neue Energiesysteme von erheblicher Bedeutung, ist er doch in Quadratmeter merklich größer als der Bürokomplex. Doch selbst in Bürohäusern haben sich die Anforderungen rund um die neuen Techniken, z.B. den neuen Informations- und Kommunikationssystemen, so verändert, dass oft der Neubau günstiger ist als eine Sanierung. Gleichwohl haben wir unseren Potenzialabschätzungen neben Annahmen zur Entwicklung der Neubauten auch Erwartungen hinsichtlich der Sanierung von Gewerbeimmobilien in Richtung Geothermie zugrunde gelegt. Mit unserer Schätzung, dass die Zahl der Neubauten die der Sanierungen merklich übertrifft, tragen wir auch der seit Jahren zu beobachtenden Entwicklung z.B. im Handel Rechnung, wo nach wie vor – trotz scharfem Wettbewerb und demografisch eingetrübten Geschäftsaussichten – eine bemerkenswerte Flächenexpansion stattfindet. Wie wir im Kapitel mit konkreten Anwendungsbeispielen zeigen, gibt es in letzter Zeit vermehrt auch Gewerbegebäude, die bereits so ausgelegt werden, dass eine nachträgliche Umrüstung auf moderne Niedrigenergiesysteme wie Geothermie oder auch Solarenergie möglich wird. Ausgehend von den noch sehr niedrigen Zahlen heute ist vorstellbar, dass 2030 bereits jedes zehnte gewerbliche Gebäude (auch) auf ein Niedrigenergiekonzept wie Erdwärme setzt.

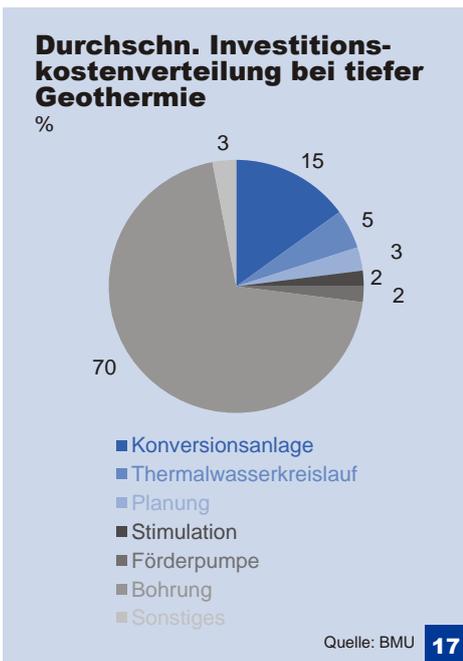
Niedrigenergiekonzepte kommen

Insgesamt dürfte sich das Bauvolumen, das aus der direkten Nutzung der Geothermie resultiert, auf EUR 25 Mrd. summieren. Die drei Hauptbereiche tragen zu dieser Entwicklung unterschiedlich bei. Mit EUR 11 Mrd. erbringen Ein- und Zweifamilienhäuser den Löwenanteil, wobei die Verteilung auf Neubau und Sanierung in etwa gleich ist. Mehrfamilienhäuser steuern EUR 9 Mrd. bei; hier wird das Bauvolumen zunehmend von den Sanierungsfällen ausgelöst. Bei den gewerblichen Bauten, die immer öfter ebenfalls auf Geothermie setzen, ist dagegen mit dem größeren Bauvolumen seitens der Neubauten zu rechnen. Die Größenordnung wird deutlich, wenn man das durch die Geothermienutzung bis 2030 generierte Bauvolumen von zusammen EUR 25 Mrd. in Relation zum deutschen Bauvolumen in 2008, also EUR 282,5 Mrd. setzt. Der kumulierte Anstieg des Bauvolumens macht immerhin rund 9% des heutigen Bauvolumens aus.

9% des heutigen Bauvolumens**Was kostet die Elektrizitätserzeugung mittels Geothermiekraftwerk in Deutschland?**

Der Förderung der Energiebereitstellung auf Basis Geothermie müssen deren Kosten gegenüber gestellt werden, um einen Eindruck von der Rentabilität zu bekommen. Hierbei wird bereits auf den ersten Blick deutlich, dass die Geothermie eine prinzipiell ande-

nierung ökonomischen Sinn. Bei Einfamilienhäusern ist dagegen oft ein flexibleres Vorgehen mit weniger umfassenden Baumaßnahmen zu beobachten. Die direkt mit der Geothermie verbundenen Baumaßnahmen dürften auch bei Mehrfamilienhäusern (im Durchschnitt rund 7 Wohnungen) deutlich geringer ausfallen als EUR 100.000.

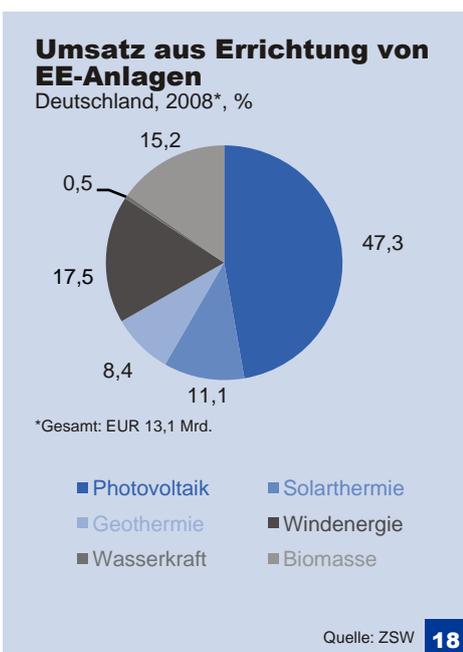


re Kostenstruktur aufweist als die Energiebereitstellung auf Basis fossiler Energieträger. Sind bei den fossilen Elektrizitätsquellen die Brennstoffkosten für Kohle, Erdöl oder Gas von erheblicher Relevanz, so fallen diese bei der Geothermie allenfalls indirekt an, wenn man den Stromverbrauch für die Pumpen einbezieht. Sehr viel wichtiger sind die Investitionskosten. Je nach Bonität des Investors könnte ein großes Projekt zu hohen Zinskosten führen. Dies verlängert dann automatisch den Amortisationszeitraum. Das kann dazu führen, dass die Investitionsentscheidung doch zugunsten einer alternativ (z.B. traditionell fossil) befeuerten Energieanlage ausfällt. Dem versucht die Politik – wie dargestellt – mittels ihres Anreizsystems entgegenzuwirken.

Die Investitionskosten eines Geothermieprojekts determinieren folgende Kostenblöcke:

- Die Vorerkundungskosten beinhalten seismische Untersuchungen und Erkundungsbohrungen. Sie legen die Grundlage für spätere Injektions- und Förderbohrungen.
- Etwa 70% der Kosten verschlingen die Bohrkosten, die abhängig sind vom Gestein und dem jeweiligen geothermischen Temperaturgradient; je niedriger dieser ist, desto tiefer muss gebohrt werden. Als Daumenregel gilt, dass die spezifischen Bohrkosten zwischen EUR 1.000 und 2.000 je Bohrlochtieftmeter betragen. Dabei sind die Ausgaben für die Bohrplatzerrichtung, Vermessungen, Anlagenmieten, Energie und Personal einbezogen.
- Zu den Kosten der übertägigen Anlagen zählen auch die Ausgaben für die Förderpumpe und den Thermalwasserkreislauf. Im Falle der alleinigen Wärmenutzung kommen bei Nichtexistenz eines Nahwärmenetzes die Ausgaben für die Wärmeverteilung hinzu. Und im anderen Falle, dass neben der Wärme auch Elektrizität produziert werden soll, kommen zu den Kraftwerkskosten die Aufwendungen für ein Nebenaggregat hinzu (z.B. Kühlturm für ORC-Anlage).
- Die Betriebskosten sind mangels Brennstoffkosten niedrig. Der Eigenstrombedarf der Pumpen und der Kondensationsanlagen liegt bei 20 bis 40% der gesamten Betriebskosten. Naturgemäß fallen auch Kosten für Wartung, Inspektionen, Verwaltung und Versicherungen an. Der Personalaufwand beschränkt sich auf Überwachung und Steuerung der Anlagen, ist also relativ gering.¹⁴

Unter dem Strich wird die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu einem großen Teil von Faktoren wie Standort, der eingesetzten Technik sowie den Fördergesetzen bestimmt.



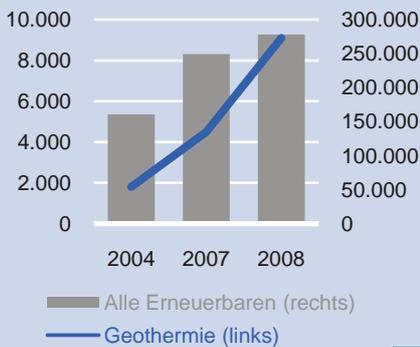
6. Welche Baubereiche profitieren von einer stärkeren Nutzung der Geothermie?

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) hat den Gesamtumsatz mit erneuerbaren Energien in Deutschland für 2008 ermittelt, wobei es zwischen Umsätzen im Zusammenhang mit der eigentlichen Investition und solchen im Rahmen des Betriebs der Anlagen differenziert:

- Die Errichtung der Geothermieanlagen (Wärmepumpen und Großanlagen) löste demnach Umsätze in Höhe von EUR 1.100

¹⁴ Zu Details vgl. auch BMU (2007). Tiefe Geothermie in Deutschland. S. 20-22.

Beschäftigtenzahl rund um die Geothermie seit 2004 verfünffacht



Mio. aus. Dies entspricht immerhin 8,4% aller Investitionskosten rund um die regenerativen Energien in diesem Jahr (rund EUR 13,1 Mrd.).

- Im Gegensatz dazu generiert der eigentliche Anlagenbetrieb kaum Umsätze. Den Betriebserlös der Geothermiebranche beziffert das ZSW auf EUR 3 Mio. In Relation zu den Umsätzen mit dem Anlagenbetrieb aller Erneuerbaren (EUR 15,7 Mrd.) ist dies verschwindend gering. Dies ist aber auch ein Beleg für die Attraktivität der Geothermieanlagen, wenn sie erst aufgestellt sind.

Aus Sicht der Bauwirtschaft interessant ist, dass der weitaus größte Umsatzblock in der Investitionsphase liegt. Freilich könnte in Zukunft die Betriebsphase interessanter werden. Dafür spricht, dass die meisten Geothermieanlagen in Deutschland noch sehr jung sind, insbesondere die zur Elektrizitätserzeugung. Hinzu kommt das spürbare Volumenwachstum, das sich mit der Zeit quasi automatisch seine Märkte schafft; z.B. für Wartung, Maintenance, Reparaturen und Ersatz. Hier entstehen neue Betätigungsfelder, nicht zuletzt für aufgeschlossene Dienstleister und qualifizierte Handwerker.

Impulse für alle Baubereiche, Baustoffe und viele Dienstleister

In der Planungsphase von Geothermieprojekten sind Bauingenieure, Architekten und Planungsbüros mit geothermischer Expertise besonders gefordert. In der Praxis hat sich zudem gezeigt, dass der Projekterfolg umso größer ausfällt, je früher sachkundige Installateure hinzugezogen werden. Unverzichtbar ist natürlich, dass die Installateure die geologischen Zusammenhänge und die Architekten und Geologen die Funktionsweise der Geothermieanlagen (z.B. Wärmepumpen) verstehen, sonst kann ein fruchtbarer Know-how-Austausch nicht gelingen.

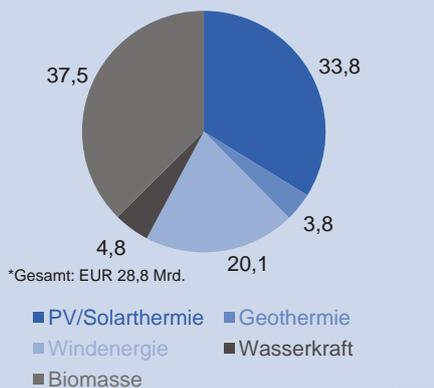
Ein entscheidender Erfolgsfaktor jedes Erdwärmeprojekts ist die richtige Auslegung der Anlage. Dabei kommt es auf die geeignetste Tiefe und Zahl der Bohrungen an. Überdies ist die optimale Dimensionierung sehr wichtig, denn eine zu große (kleine) Auslegung induziert zu hohe Investitionskosten (Betriebskosten). Wichtig sind auch die Abstände zu anderen Sonden oder Nachbarschaftssystemen. Per Saldo ist das zielgenaue Zusammenspiel der technischen Projektpartner hier unverzichtbar.

Die Bohraktivitäten sind von qualifizierten Bohrunternehmen vorzunehmen, die – wenn möglich – schon vergleichbare und erfolgreiche Projekte vorweisen können. Eine oft unterschätzte Herausforderung rund um die Bohrlochaktivitäten ist die adäquate Verfüllung der Bohrlöcher nachdem die Erdwärmesonde installiert wurde. Nur wenn diese Verfüllung gelingt, wird nämlich die gewünschte gute thermische Verbindung zwischen dem Bohrloch und der Sonde hergestellt, die letztlich auch dem Schutz des Grundwassers zugutekommt. Naturgemäß werden die Hersteller und Lieferanten von Baumaterialien wie Beton durch die Verfüllungsnotwendigkeiten begünstigt.

Die Baustoffindustrie reagiert mittlerweile auf die vielfältigen Anforderungen an die Verfüllungsbaustoffe durch intelligente Materialinnovationen. Insbesondere im Fall tiefer Erdwärmesonden ist es erforderlich, dass die Lebensdauer der Verfüllungsmaterialien möglichst lang ist, denn nur so kann die Funktionsdauer der gesamten Sonde weit über die Amortisationsdauer ausgedehnt werden. Einen hohen Qualitätsstandard erreicht der aus natürlichen Rohstoffen gefertigte Trockenbaustoff ThermoCem, der bei günstigen Verarbei-

Gesamtumsatz mit Investitionen u. Betrieb von EE-Anlagen

Deutschland, 2008*, %



Baustoffindustrie mit Innovationen

tungseigenschaften im Vergleich zu herkömmlichen Verfüllungsbau-
stoffen eine doppelt so hohe Wärmeleitfähigkeit erreicht. Die Leis-
tungssteigerung der Erdwärmesonde eröffnet Einsparmöglichkeiten
bei der Sondenlänge und erhöht die Systemsicherheit.

In der Vergangenheit hat sich mancherorts auch die Verpressung
der Bohrlöcher als problematisch erwiesen. Erfahrene Bauunter-
nehmen können solche Probleme heute allerdings dank des Auf-
baus entsprechender Kompetenzen und Lernerfolge ausschließen.

Der heimische Maschinen- und Anlagenbau profitiert durchaus un-
terschiedlich vom Trend zur Geothermie. Grundsätzlich haben
deutsche Unternehmen alle Technologien rund um die Erdwärme im
Angebot. Auf dem Massenmarkt für kleinere Serienpumpen stehen
die deutschen Hersteller natürlich in scharfem Wettbewerb mit aus-
ländischen (Billig-)Anbietern. Dagegen sind bei maßgeschneiderten
Großpumpen, die mehr Know-how erfordern, die Margen in der
Regel etwas günstiger. Der Markt für Anlagen der Tiefengeothermie
ist dagegen in Deutschland noch nicht sehr entwickelt. Gleichwohl
fertigen und beherrschen deutsche Unternehmen die erforderlichen
Technologien (z.B. Bohren in großen Tiefen, Verlegen von Rohrsys-
temen), da sie gern gesehene Zulieferer der globalen Öl- und Gas-
gesellschaften sind, die immer öfter Öl- und Gasfelder in größeren
Tiefen – in den letzten Jahren sogar offshore – erschließen.

**Planungs- und Beratungsbüros so-
wie Installateure profitieren**

Die Zahl der Planungs- und Beratungsbüros ist in den letzten Jah-
ren stetig gestiegen. Überdies gibt es immer mehr Installateure, die
mit den anspruchsvollen Fragestellungen rund um die Energie aus
der Tiefe umgehen können. Und nicht zuletzt wurde der administra-
tive Zugang dank vereinfachter und pauschalierter Genehmigungs-
verfahren spürbar erleichtert.

**Neue Möglichkeiten für
Finanzinstitute**

Auch jenseits des Bausektors bieten sich im Zuge der zunehmen-
den Diffusion der neuen Technologien zusätzliche Geschäftsmög-
lichkeiten für Dritte; die Palette reicht hier von den Kredit gebenden
Finanzinstituten, über die Risiken abdeckenden Versicherungen bis
hin zur Fachanwaltschaft für Streitigkeiten bei Bau oder Betrieb der
Anlagen, die vereinzelt unvermutet aufkommen können.

**7. Konkrete Anwendungsbeispiele der
Geothermie**

Das Anwendungsspektrum der Geothermie kennt technisch kaum
Grenzen. Das hängt damit zusammen, dass die Erdwärme sowohl
direkt als auch indirekt nutzbar ist. Über die Transformation in die
Sekundärenergie Strom ist sie praktisch überall einsetzbar. Die
Restriktionen sind eher wirtschaftlicher Natur, denn der Transport
und Verbrauch der geothermalen Stromerzeugung rechnet sich, wie
dargelegt, keineswegs an jedem Ort.

**Vier Anwendungsfelder für
Geothermie**

Die nachfolgende Auflistung konkreter Anwendungen soll eine Idee
von dem breiten Spektrum vermitteln, sie kann nicht umfassend
sein. Es lassen sich grob vier Anwendungsfelder differenzieren:
Erstens der schon als traditionell zu bezeichnende Bau von Ein- und
kleineren Mehrfamilienhäusern. Zweitens der Hochhausbau, wo die
Integration der Geothermie gerade beginnt. Drittens größere Wohn-
und Gewerbegebäude. Und viertens das vielfältige Spektrum öffent-
licher Bauten.

Im bisherigen Haupteinsatzgebiet, jenem für Ein- und kleinere Mehr-
familienhäuser mit Fußbodenheizung, sind Erdsonden oder Horizon-
talkollektoren interessant und werden auch schon relativ breit ge-

Bei Hochhäusern – nicht nur in Frankfurt – ist mehr möglich

nutzt. In der Schweiz werden etwa vier Fünftel der neuen Einfamilienhäuser mit Wärmepumpen versorgt. Für die Verlegefläche der Erdkollektoren ist vor allem die erforderliche Heizlast relevant, weniger die Leistung der Wärmepumpe.

Im zweiten Anwendungsgebiet, den Hochhäusern, ist ein Blick auf Frankfurt aufschlussreich. Frankfurt gilt in Deutschland als die Stadt der Wolkenkratzer. Gerade diese sind bisher aber nicht ein Muster für Energieeffizienz. Allerdings tut sich gerade hier nun etwas Zukunftweisendes: Die Stadt setzt sich mit dem neuen Hochhausrahmenplan ehrgeizige Ziele. So benennt der Plan 15 Standorte, an denen maximal 22 neue Hochhäuser errichtet werden dürfen. Konkret intendiert Frankfurt ein merkliches Übertreffen energetischer Bauvorschriften. So soll der Primärenergiebedarf der neuen Hochhäuser unter 150 kWh pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche im Jahr liegen. Die Dimension des Vorhabens wird deutlich, wenn man vergegenwärtigt, dass der erste Tower in Deutschland mit explizit ökologischem Anspruch noch pro Quadratmeter jährlich etwa 500 kWh verbraucht.

Dass die Ziele in der Wolkenkratzerstadt keineswegs unerreichbar sind, beweist – neben der Rundumsanierung der Deutschen Bank-Zwillingstürme – derzeit auch das geplante neue KfW-Hochhaus (15 Geschosse, 57 m Höhe), die Westarkade. Diese wird – insbesondere dank der intelligenten Integration von Geothermie – beim Primärenergiebedarf unter 100 kWh pro qm/Jahr bleiben; das ist immerhin ein Drittel weniger als das neue Mainhattan-Ziel.

Immer mehr Bauherren entdecken die Vorteile der Geothermie

In den letzten Jahren entdecken immer mehr Bauherren großer Neubauten die Vorteile der Geothermie. Dank der Nutzung statisch ohnehin notwendiger Bauteile wie Ortbetonpfählen der Gründung oder der Verbauung als Energiepfähle können die Investitionskosten für die Nutzung der Energie gering gehalten werden. Dabei werden in die Ortbetonpfähle Wärmetauscherrohre eingebaut, die am Bewehrungskorb befestigt sind. Die Rohre verbinden die Innenräume mit dem Erdspeicher, in dem ein Wärmeträger zum Temperaturnausgleich fließt. Grundsätzlich dient der Untergrund als Speicher für Kälte und Wärme, die je nach Jahres- und Tageszeit unterschiedlich benötigt werden. Nachdem in Frankfurt schon vor Jahren an den Hochhäusern Mainforum, Main Tower und Gallileo energetische Bohrpfehlgründungen angebracht wurden, ist das PalaisQuartier das neueste Projekt mit einer Fläche von 17.400 qm. Freilich nutzen mittlerweile auch Großbauten an anderen Orten wie Köln (Vorhaben Rheinauhafen) und Wien (U-Bahnlos U 2/1) Energiepfähle.

Viele Kombinationen bei Gewerbegebäuden

Im dritten Anwendungsgebiet, dem der größeren Wohn- und Gewerbegebäude, finden sich vielfältige Kombinationsmöglichkeiten mit weiteren Technologien und Maßnahmen.¹⁵

- So wurde im Schwarzwald ein Neubaugebiet mit 14 Häusern ausgewiesen. Die Nutzung der Erdwärme beschränkt sich dabei keineswegs nur auf eher traditionelle Anwendungen wie Heizen und Kühlen von Gebäuden. Sie dient darüber hinaus auch dazu, die Straßen (teilweise auch Treppen) im Sommer zu kühlen und im Winter schnee- und eisfrei zu halten. Im Winter entfällt damit der Winterdienst, im Sommer wird der (weniger weiche) Asphalt weniger abgenutzt, was die Lebensdauer erhöht.
- Im Zusammenhang mit der energetischen Sanierung von Wohn- und Gewerbegebäuden ist ein Gebäude (neue Hauptverwaltung

¹⁵ Zu den ersten drei Beispielen vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (2009). Bauen und Klimaschutz. Was die Bauindustrie leisten kann. Berlin.

Top 15 der direkten geothermischen Nutzung
2005, GWh/Jahr



Quelle: Fridleifsson, I., Bertani, R. u.a. **21**

Top 15 der geothermalen Stromerzeugung
2005, GWh/Jahr



Quelle: Fridleifsson, I., Bertani, R. u.a. **22**

der Rainer Brach GmbH & Co. KG) in Bremen mit 100%iger Beheizung und Kühlung durch Geothermie bemerkenswert. Damit ist es das erste deutsche Gebäude in seiner Größenklasse, das von einer Fremdversorgung autark ist. Kern ist eine Sol-Wasser-Wärmepumpenanlage, die über ein Verbundnetz 54 Erdwärmesonden, die bis zu 75 m in die Tiefe reichen, nutzt. Während das Betonkernaktivierungssystem die Grundheizung verkörpert, deckt eine Konvektorheizung die Spitzenlast.

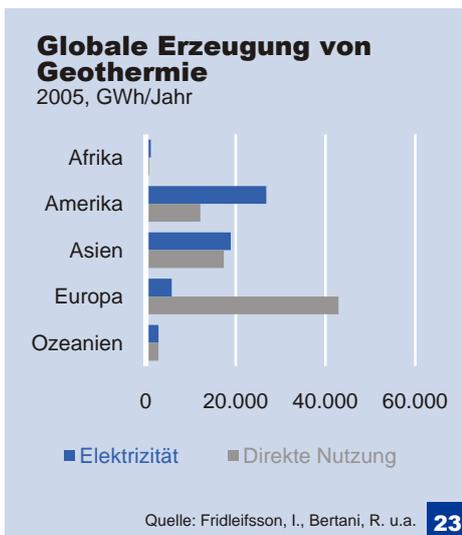
- In Bietigheim-Bissingen kombiniert der neue Dürr-Campus gleich fünf nachhaltige Energiequellen. Neben einer PV-Anlage, Prozesswärme aus dem benachbarten Technologiezentrum sowie zwei erdgasbasierten Blockheizkraftwerken dienen Erdwärmetauscher der Gebäudebelüftung und 30 Erdsonden der Gebäudetemperierung. Das Leuchtturmprojekt könnte moderner Energie-, Umwelt- und Bautechnologie zum Durchbruch verhelfen.
- Die Verwaltungszentrale des Süddeutschen Verlags, die als eine der ersten deutschen Bürogebäude für die LEED-Zertifizierung (Leadership in Energy and Environmental Design) angemeldet wurde, setzt auf die thermische Betonteilaktivierung von Bodenplatte, tragenden Säulen sowie 36 Bohrpfählen. Die Betonbohrpfähle reichen bis zu 25 Meter in die Tiefe und machen über die thermische Aktivierung die Bodentemperatur von 13°C nutzbar.
- Die Neumann Architekten GmbH hat gerade in Bonn-Hangelar das weltweit erste integrierte Trainingszentrum für Hubschrauberpiloten, Notärzte und Rettungsassistenten im Luftrettungsdienst fertiggestellt. Den gesamten Gebäudekomplex, also das ADAC-Schulungsgebäude für die Helikopter-Ausbildung mittels zweier Flugsimulatoren sowie das Ausbildungszentrum für Sanitäter und Ärzte mit Medizinsimulator, versorgen 30 Erdsonden mit Wärme und Kühlung. Dies ist ein gutes Beispiel für moderne flugbetriebliche bzw. Sonderbauten mit Geothermienutzung.

Bei vielen Bauten für die Industrie und den Mittelstand verhindern derzeit Budgetrestriktionen in der Investitionsphase, dass moderne Niedrigenergiekonzepte sofort zur Anwendung kommen. Deshalb haben innovative Architekten dafür eine Lösung in zwei Schritten kreiert: Im ersten Anwendungsschritt wird zwar die technische Gebäudeeinrichtung auf zukünftige Niedrigenergiekonzepte ausgerichtet, es kommen jedoch zunächst noch konventionelle Energieträger wie Heizöl oder Erdgas zum Einsatz. Erst in einem zweiten Schritt werden dann, wenn die Zeit reif ist (also wenn keine Budgetrestriktionen mehr vorhanden sind und/oder die traditionellen Energien sich verteuert haben) die Energiesysteme auf- bzw. nachgerüstet mit Geothermie (gegebenenfalls auch Solarenergie). Zwei aktuellere Fertigstellungen zeigen, dass die Idee bereits Anklang gefunden hat. So sind der neue Wartungshangar der Lufthansa Technik sowie der neue Verwaltungsbau der Helvetia-Versicherung (beide in Frankfurt) so gebaut, dass sie relativ einfach auf eine Energieversorgung mittels Geothermie auf- bzw. nachrüstbar sind. Denn bereits in der Planungsphase wurde die haustechnische Konzeption schon für diese zukünftige Energienutzung ausgelegt.

Durch große Vielfalt ist auch das vierte Anwendungsfeld öffentliche Bauten im weiteren Sinne gekennzeichnet.

- So zeigt der Bau einer Gesamtschule in Köln-Rodenkirchen eindrucksvoll das kleine Einmaleins der Energieeffizienz, denn Geothermie (Wärmepumpe zapft Erdwärme aus Grundwasser an), Photovoltaik und Wärmedämmung werden sinnvoll kombiniert.

- Mittels der Nutzung von Erdwärme in Verbindung mit einer Wärmepumpe entsteht in Schleswig-Holstein (bei Berkenthin) gerade die erste beheizbare Brücke in Deutschland. Das Bauwerk, das den Elbe-Lübeck-Kanal auf 59 m Länge überquert, nutzt im Winter die Erdwärme und hält damit die Fahrbahn eis- und schneefrei. Im Sommer kann die hohe Temperatur der Fahrbahndecke abgeleitet werden, was deren Lebensdauer erhöht.
- Innovative Anwendungen zeigen sich im Bereich der Verkehrsinfrastruktur. Die Beheizung von Bahnsteigen und innovative Weichenheizsysteme stehen noch am Anfang, aber es gibt schon erste konkrete Projekte. So existiert bereits eine DB-Station mit durch Erdwärme beheiztem Außenbahnhaltepunkt (Bad Lauterbach-Barbis, Harz). Hier werden – wie im Falle der Straßen – Salz, Räumgerät und Personaleinsatz gespart. Gleichzeitig steigt der Komfort für die Wartenden. Das Prinzip folgt der Fußbodenheizung, ist also ein integriertes, geschlossenes Rohrleitungssystem.
- Innovativ ist auch der Ansatz, das Energiepotenzial von Tunneln zu heben. Auf der Bahnstrecke München-Verona wird in der Gemeinde Jenbach ein Teil einer Tunnelröhre mit Energietübbings ausgebaut und mit einer Wärmepumpe verbunden. Damit gelingt es, die Wärme des erdberührenden Bauwerks anzuzapfen und nach oben zu führen. Die dem Tunnel entnommene Heizenergie versorgt sodann einzelne Gebäude wie den Bauhof der Gemeinde. Bei ohnehin anstehenden Infrastruktur- und Baumaßnahmen bekommt man sozusagen eine Extradividende.



8. Nutzung der Geothermie in Europa und der Welt

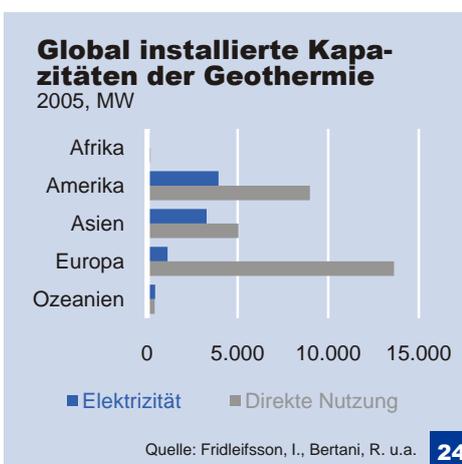
Alle fünf Jahre veranstaltet die International Geothermal Association (IGA) einen geothermischen Weltkongress (WGC), zu dem die Daten für weltweit alle Länder aktualisiert werden. Die letzte globale Aktualisierung fand für den WGC 2005 (Türkei, Antalya) statt. Etwas aktueller ist die Datenlage für Europa, denn alle drei Jahre wird ein europäischer Kongress (EGC) ausgerichtet; zuletzt 2007 (Deutschland, Unterhaching). Die Statistik rund um die Geothermie ist also verbesserungsfähig.

Weltweit ist Geothermie auf Wachstumskurs

Seit 1913 erstmals die Elektrizitätserzeugung mittels des heißen Wasserdampfes der Erde gelang, haben sich die Nutzungsgrenzen praktisch aufgelöst.

- Weltweit ist Europa führend bei der direkten Nutzung der geothermalen Wärme. Das gilt sowohl für die installierte Leistung, wo Europa vor Amerika und Asien rangiert, als auch für die tatsächliche direkte Nutzung, wo Asien auf Platz zwei und Amerika auf Platz drei folgen.
- Im Unterschied dazu dominiert Amerika die indirekte Nutzung der Erdwärme zur Elektrizitätserzeugung. Sowohl bei der installierten Kapazität als auch bei der Stromproduktion folgen Asien und Europa auf den Rängen.

Dank des technischen Fortschritts entwickelte sich die globale geothermale Stromproduktion in den letzten Dekaden sehr dynamisch. Waren 1975 weltweit erst 1.300 MW elektrische Leistung installiert, so erreichte die Kapazität 2007 bereits über 9.700 MW. Dies ist

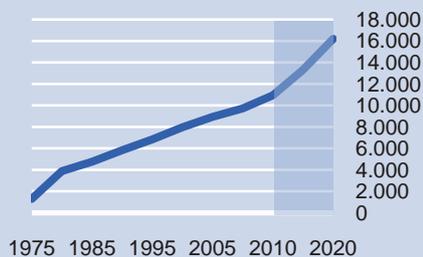




Hoher Anteil der Geothermie in Regionen mit Vulkanen

Dynamisches Wachstum der geothermischen Stromkapazität

Weltweit installierte Leistung, MW



Quellen: Bertani, R., DBR **25**

Direkte Geothermie expandiert weiter

immerhin eine Steigerung um mehr als 600%. Derzeit nutzen 24 Länder die Geothermie zur Stromproduktion. Gemessen an der installierten Kapazität führen die USA vor den Philippinen, Indonesien, Mexiko und Italien.

Einen besonders großen Anteil an der Stromerzeugung erreicht die Geothermie in Ländern und Regionen mit hoher vulkanischer Aktivität, da dort sehr heiße Erdwärme relativ einfach verfügbar ist. In den sechs Ländern El Salvador, Kenia, den Philippinen, Island, Costa Rica und Nicaragua fußen 10 bis 22% der nationalen Stromproduktion auf Geothermie. Auch in Indonesien, das als das Land mit dem größten geothermalen Potenzial gilt, soll die Erdwärme künftig große Teile des bisher fossil dominierten Stromerzeugungsmix ersetzen (Anteil heute 7%).¹⁶

Bis 2020 dürften die Kapazitäten für die geothermale Elektrizitätserzeugung weltweit um 4% p.a. zulegen, so dass dann global gut 16.000 MW verfügbar wären. Das Kapazitätswachstum im Zeitraum 2007 bis 2020 erreicht damit rund zwei Drittel. Impulse bekommt die neue Form der Stromerzeugung auf mittlere Sicht durch den tendenziellen Kostenanstieg der konkurrierenden fossilen Stromerzeugung.

Für die direkte Geothermie sind bis 2020 aufgrund des leichteren Zugangs etwas höhere Wachstumsraten als bei der Nutzung zur Stromerzeugung zu erwarten. Eine künftig noch größere Rolle dürfte hierbei der Abnahmebereich Gebäude spielen, wo in den Industrieländern allein dort etwa 35-40% der Primärenergie verbraucht werden. Die Bereitstellung von Warmwasser und Heizung erfordert in Europa etwa 30% des Energiebedarfs. Und ihr Anteil am Energieverbrauch der Gebäude kommt auf 75%. Wie bereits gezeigt wurde, ist die stärkere Nutzung der Geothermie sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll.

Die beiden Haupteinsatzgebiete der direkten Geothermie werden sich bis 2020 weltweit mit unterschiedlicher Dynamik entwickeln:

- Die Kapazitäten des Segments Geothermie unter Einsatz der Wärmepumpen dürften um 10% p.a. zulegen. Die Wärmepumpentechnik ist mittlerweile gut erprobt und geradezu prädestiniert für das Wärme- bzw. Kältemanagement in vielen Teilen der Welt.
- Die direkte Geothermie ohne Wärmepumpe dürfte mit 5% p.a. etwa halb so stark zulegen. Viele Länder wie z.B. China haben noch große Potenziale, da sie über weitflächige Niedrigtemperaturvorkommen verfügen. Diese Ressourcen werden nun wegen der in der letzten Dekade spürbar gestiegenen Preise für Energieträger zunehmend der Nutzung zugeführt.

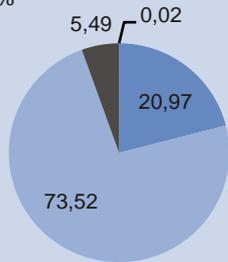
Per Saldo dürften die Kapazitäten der direkten Geothermie damit im Zeitraum von 2005 bis 2020 von 28.239 MW auf fast 91.000 MW zulegen, was einer Expansion um rund 220% entspricht.¹⁷ Dank des überdurchschnittlichen Wachstums erhöht sich in dieser Zeit der Anteil der geothermalen Wärmepumpen von ursprünglich 54% auf 71%. Dem steht ein relativer Bedeutungsverlust der direkten Geothermie ohne Wärmepumpe gegenüber (von 46% auf 29%); dies ist freilich für diesen Einsatzbereich verkraftbar, da auch er in absoluten Zahlen merklich expandiert.

¹⁶ Vgl. Fridleifsson, Ingvar, Bertani, Ruggero u.a. (2008). The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. S. 10.

¹⁷ Zu einer noch optimistischeren Einschätzung vgl. z.B. Fridleifsson, Ingvar, Bertani, Ruggero u.a. (2008). S. 23/24.

Italien dominiert geothermale Stromerzeugung in Europa

2007*, %



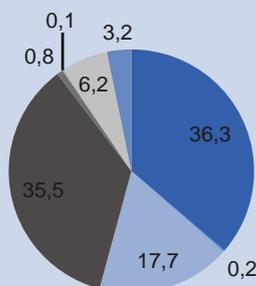
*Werte für Deutschland und Island aus 2005

■ DE ■ IS ■ IT ■ Sonstige

Quelle: Antics, M., Sanner, B. **26**

Anwendung der direkten Geothermie

Europa, direkte Nutzung 2007, %



■ Raumwärme ■ Raumkühlung
 ■ Gewächshaus ■ Baden, Schwimmen
 ■ Industrielle Nutzung ■ Trocknen Getreide
 ■ Aquakultur ■ Sonstige

Quelle: Antics, M., Sanner, B. **27**

Auch in Europa wird die Geothermie breit genutzt

In Abhängigkeit von den geologischen Voraussetzungen wird die Geothermie in Europa in praktisch allen Anwendungsbereichen genutzt.

- Die geothermale Stromerzeugung wird europaweit klar dominiert von Italien und Island. Zusammen kommen beide Länder auf um die 90% der Kapazitäten und der tatsächlichen Erzeugung; und dies selbst dann, wenn Russland in der europäischen Statistik aufgeführt wird, dessen Anlagen in Kamtschatka (also eigentlich Asien) stehen.
- Direkt wird die Erdwärme dagegen in sehr viel mehr Ländern genutzt. Europaweit führend sind Schweden, Island und die Türkei, die summiert 50% der Kapazitäten vereinen. Deutschland liegt hier dank zuletzt starker Expansion auf einem respektablem Platz vier vor Ungarn, Italien, der Schweiz und Norwegen.

Die Erdwärme wird in Europa direkt zunehmend auch zu Heizwecken eingesetzt. Mittlerweile hat dieser Nutzungszweig in etwa das gleiche Gewicht wie das eher traditionelle Segment Baden und Schwimmen. Beide kommen zusammen auf 72%. Verbreitet sind auch die Nutzung in Gewächshäusern (18%) und Aquakulturen (6%).

9. Fazit: Geothermie bietet gute Chancen

Im Lichte des Klimawandels und der absehbaren Energieknappheit bietet die Geothermie neue Chancen für die Bauwirtschaft. Das durch die regenerative Energiequelle ausgelöste Bauvolumen bis zu EUR 25 Mrd. bis 2030 ist beachtlich. Die stärkere Nutzung der Erdwärme ist überdies sowohl volks- als auch betriebswirtschaftlich sinnvoll; gesamtwirtschaftlich ist ihr Beitrag zur Minderung der Klimaprobleme positiv zu bewerten. Einzelwirtschaftlich sind moderne Konzepte, die auch die Potenziale der Geothermie heben, nicht zuletzt für Bauherren eine intelligente Antwort auf den künftig zu erwartenden Energiepreisanstieg.

Josef Auer (+49 69 910-31878, josef.auer@db.com)

© Copyright 2009. Deutsche Bank AG, DB Research, D-60262 Frankfurt am Main, Deutschland. Alle Rechte vorbehalten. Bei Zitaten wird um Quellenangabe „Deutsche Bank Research“ gebeten.

Die vorstehenden Angaben stellen keine Anlage-, Rechts- oder Steuerberatung dar. Alle Meinungsäußerungen geben die aktuelle Einschätzung des Verfassers wieder, die nicht notwendigerweise der Meinung der Deutsche Bank AG oder ihrer assoziierten Unternehmen entspricht. Alle Meinungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Meinungen können von Einschätzungen abweichen, die in anderen von der Deutsche Bank veröffentlichten Dokumenten, einschließlich Research-Veröffentlichungen, vertreten werden. Die vorstehenden Angaben werden nur zu Informationszwecken und ohne vertragliche oder sonstige Verpflichtung zur Verfügung gestellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Angemessenheit der vorstehenden Angaben oder Einschätzungen wird keine Gewähr übernommen.

In Deutschland wird dieser Bericht von Deutsche Bank AG Frankfurt genehmigt und/oder verbreitet, die über eine Erlaubnis der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht verfügt. Im Vereinigten Königreich wird dieser Bericht durch Deutsche Bank AG London, Mitglied der London Stock Exchange, genehmigt und/oder verbreitet, die in Bezug auf Anlagegeschäfte im Vereinigten Königreich der Aufsicht der Financial Services Authority unterliegt. In Hongkong wird dieser Bericht durch Deutsche Bank AG, Hong Kong Branch, in Korea durch Deutsche Securities Korea Co. und in Singapur durch Deutsche Bank AG, Singapore Branch, verbreitet. In Japan wird dieser Bericht durch Deutsche Securities Limited, Tokyo Branch, genehmigt und/oder verbreitet. In Australien sollten Privatkunden eine Kopie der betreffenden Produktinformation (Product Disclosure Statement oder PDS) zu jeglichem in diesem Bericht erwähnten Finanzinstrument beziehen und dieses PDS berücksichtigen, bevor sie eine Anlageentscheidung treffen.

Druck: HST Offsetdruck Schadt & Tetzlaff GbR, Dieburg