

Einsatz großer Wärmepumpen im Industrie- und Gewerbebau

Rüdiger Grimm, geoENERGIE Konzept GmbH, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.

1. Marktsituation

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie („Erdwärme“) stellt mit ca. 25.000 errichteten Anlagen pro Jahr in Deutschland mittlerweile einen beachtenswerten Anteil an der Heizung und Klimatisierung von Wohn- und Gewerbeimmobilien dar.

Seit dem „Boom-Jahr“ 2006/07 ist jedoch ein geringfügiger Rückgang der Stückzahlen an verkauften Wärmepumpen zu beobachten.



Abbildung 1: Jährliche Absatzzahlen an geothermischen Wärmepumpen (Quelle: BDH)

Gründe dafür sind neben konjunkturellen Randbedingungen und stark schwankenden Energiepreisen vor allem genehmigungsrechtliche Einschränkungen in einigen Bundesländern, verursacht durch einzelne Problemfälle der Bohrbranche.

Interessant ist jedoch, dass der Rückgang der jährlichen Absatzzahlen nicht einhergeht mit der jährlich zugebauten geothermischen Leistung. So ist der Anteil mittlerer und großer Wärmepumpen (> 20 kW) in den letzten 4 Jahren von 9% auf 13% gestiegen. Das heißt, die

Objekte werden weniger aber größer oder auch: die Erdwärmenutzung hält verstärkt Einzug im Industrie- und Gewerbebau.

Was sind die Gründe dafür? Einerseits weisen die erwähnten Gebäudetypen keine „typischen“ Wärmebedarfskurven auf, denn fast immer erfolgt die zusätzlich erforderliche Gebäudekühlung über die Erdwärmesonden. Gegenüber Anlagen mit reinem Heizbetrieb sind hier deutlich kürzere Amortisationszeiten zu beobachten, da vor allem die natürlich Kühlung deutliche Betriebskostenreduzierungen bringen.

2. Wie funktioniert Geothermie?

Über die fest installierten Erdwärme-Sonden wird dem Untergrund Wärme entzogen, die mittels Wärmepumpe (und Einsatz von ca. ¼ elektrischer Antriebsenergie) auf das erforderliche Temperaturniveau gebracht wird. Die dazu erforderlichen Wärmepumpen sind weitestgehend wartungsfrei und verursachen daher neben dem zum Betrieb erforderlichen Strom keine weiteren Betriebskosten.

Um die Effizienz des Systems langfristig zu wahren, müssen die Erdwärmesonden so dimensioniert werden (Tiefe, Abstand), dass eine natürliche Regeneration des Untergrundes ermöglicht wird. Ist dies gewährleistet, arbeitet das System ohne Abstriche über einen beliebig langen Zeitraum.

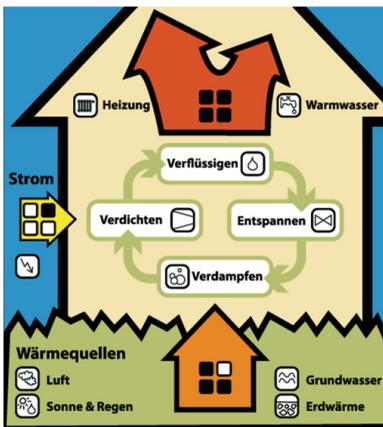


Abbildung 2: Funktionsweise der Wärmepumpe

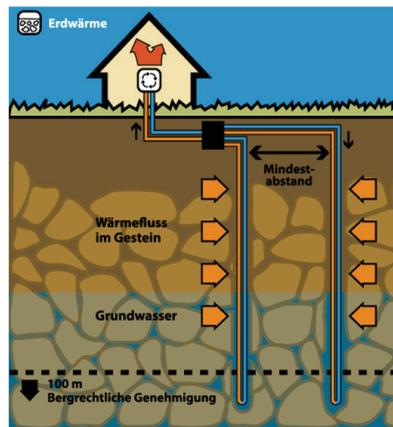


Abbildung 3: Prinzipschema Erdwärmesonden

3. Genehmigungen

Für die Errichtung einer Erdwärmanlage ist grundsätzlich eine wasserrechtliche Genehmigung bei der Unteren Wasserbehörde des Landkreises einzuholen. Bei Bohrtiefen über 100 m ist die Einbeziehung des Landesbergamtes erforderlich. Da es sich bei der

Nutzung von Erdwärme um einen wasserrechtlichen Tatbestand handelt, welcher föderal geregelt wird, sind hier regionale Unterschiede zu beachten. Dazu existieren Leitfäden der einzelnen Bundesländer.

4. Ermittlung der erforderlichen Bohrmeter

Oftmals werden zur Festlegung der erforderlichen Bohrtiefen von Erdwärmesonden Ansätze nach der „Formel“ 50 W/m Bohrungslänge ermittelt. Wesentlich ist jedoch zu wissen, dass diese Zahl einen speziellen Einzelfall darstellt, der von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist.

The screenshot displays the Earth Energy Designer (EED) software interface. The main window is titled "Earth Energy Designer - EED" and shows various input parameters and simulation results.

Input Data (INGABEDATEN (PLANUNG)):

DATEN KURZFASSUNG	
Rosten	48050 EBR
Anzahl Bohrungen	6
Tiefe der Erdwärmesonde	146,00 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	876,00 m

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE:

Sondenanzordnung	24 (6 : 2 x 5, L-configuration)
Tiefe der Erdwärmesonde	146,00 m
Abstand der Erdwärmesonde	10,00 m
Sondentyp	DOUBLE-U
Bohrlochdurchmesser	152,00 mm
Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung	0,0000 (m·K)/W
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung	2,0000 W/(m·K)
U-Rohr	
Außendurchmesser	40,000 mm
Wandstärke	3,700 mm
Wärmeleitfähigkeit	0,420 W/(m·K)
U-Rohr-Mittellabstand	82,000 mm

Flüssigkeitseigenschaften (Fluidtemperatur):

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,900 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,100 kJ/(m³·°C)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	7,70 °C
Geothermischer Wärmeindex	0,0600 W/m²

Simulation Results:

The bottom part of the screenshot shows two graphs. The left graph plots "Jahres-Erdwärmefluss [kW]" against "Jahr" (Year), showing a steady increase from approximately 10 kW in year 10 to 50 kW in year 50. The right graph plots "Fluidtemperatur [°C]" against "Jahr" (Year), showing a seasonal cycle that stabilizes between approximately 5°C and 10°C after year 50.

Abbildung 4: Dateneingabe im Programm EED Earth Energy Designer

Berücksichtigt man allein die unterschiedlichen Gesteine, so können bei diesem Standard-Einfamilienhaus Werte zwischen 20 W/m (trockener Sand) und 80 W/m (fester Granit) angesetzt werden. Zwischen diesen beiden „Extremen“ liegt die vierfache Länge für die erforderliche Erdwärmesonde – und damit auch die vierfache Investitionssumme für die Bohrungen. Daher ist eine fachkundige Beratung von großer Bedeutung für eine erfolgreiche Umsetzung.

5. Untergrundparameter

Die zur Deckung des Energiebedarfs erforderlichen Bohrmeter in einem Erdwärmesondenfeld stellen oftmals eine der wesentlichen Kostengrößen für den Bauherren dar und bedürfen daher einer besonders sensiblen Betrachtung.

Dabei sind die am Standort angetroffenen Untergrundparameter „Wärmeleitfähigkeit“ und „Temperatur“ die entscheidenden Randbedingungen für eine fachgerechte Dimensionierung von geothermischen Anlagen und somit für die hohe Effektivität und nachhaltige Funktionsweise von Wärmepumpensystemen.

In marktüblichen Simulationsprogrammen (wie z.B. EED - Earth Energy Designer) stehen Datenbanken zur Verfügung, die es uns ermöglichen, eine für den jeweiligen Anlagenstandort repräsentative Untergrundtemperatur und die entsprechende Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen auszuwählen.

Auch wenn diese Datenbanken in den letzten Jahren deutlich umfangreicher geworden sind, ergeben sich noch immer lokale Besonderheiten, natürliche Schwankungsbreiten und Regionen mit gewissen Unsicherheiten. Es macht sich daher aus planerischer Sicht erforderlich, diese Parameter ab einer bestimmten Anlagengröße messtechnisch zu ermitteln.

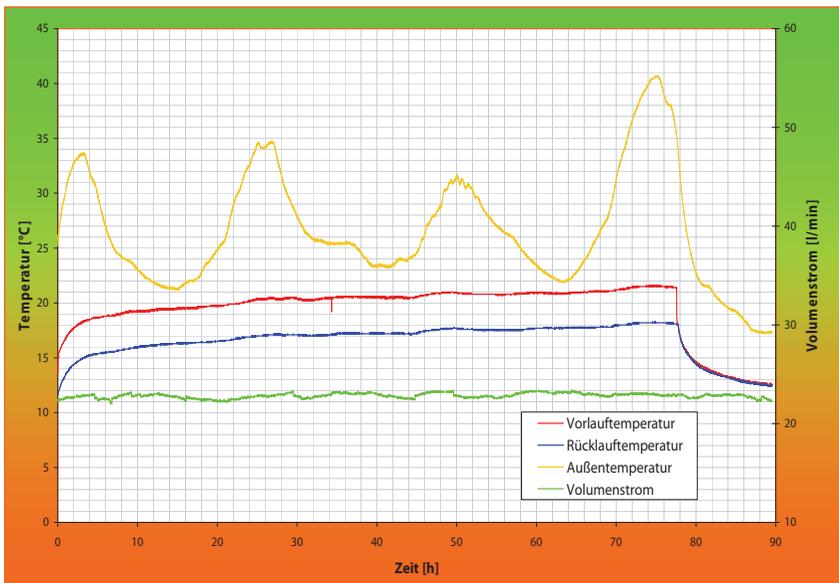


Abbildung 5: Typische Messkurven eines TRT

6. Testverfahren

Im Vordergrund der Messungen steht der sog. „Thermal Response Test“ (TRT) oder auch „Geothermal Response Test“ (GRT), mit dem die Parameter

- mittlere spezifische Wärmeleitfähigkeit,
- ungestörte Untergrundtemperatur und
- spezifischer Bohrlochwiderstand

an einer im Vorfeld zu errichtenden Pilotbohrung als Mittelwert über die Sondentiefe bestimmt werden. Im „Enhanced Geothermal Response Test“ (EGRT) erfolgt dies tiefenabhängig.

Geothermische Testarbeiten liefern weiterhin wichtige Ergebnisse über die Eigenschaften des Untergrundes und die Güte der Bohrarbeiten.

Thermal Response Test stellen mittlerweile weltweit ein Standard bei der Planung von Erdwärmeanlagen dar. In Deutschland wird, auf Grund der Empfehlung der VDI 4640, meist ab einer Leistung von 30 kW ein Test durchgeführt.



Abbildung 6: Durchführung geothermischer Testarbeiten auf einem potenziellen Erdwärmesondenfeld (Trinitatis-Kirche in Leipzig)

Die Wärmeleitfähigkeit kann weiterhin auch laborativ an Gesteinsproben ermittelt werden. Hier ist zu beachten, dass es sich bei den Ergebnissen um selektive Werte handelt und die Übertragbarkeit für die Planung nicht immer gegeben ist.

Bei bisherigen Testarbeiten zeigte sich, dass die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine am Standort oftmals deutlich über den zu erwartenden Werten lagen, was im Ergebnis zu einer Einsparung von Bohrm Metern und damit zu geringeren Investitionskosten führte.

Insgesamt stehen Daten von über 200 eigenen Tests zur Verfügung und bilden somit eine statistisch fundierte Basis für die präsentierten Ergebnisse.

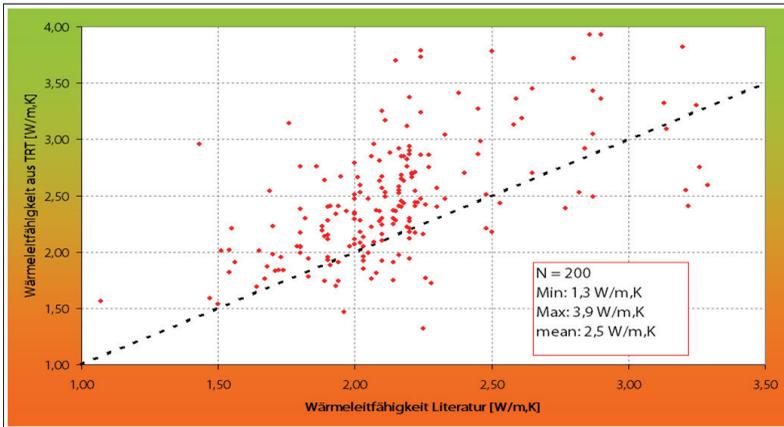


Abbildung 7: Ergebnisse von Thermal Response Tests im Vergleich mit Literaturwerten

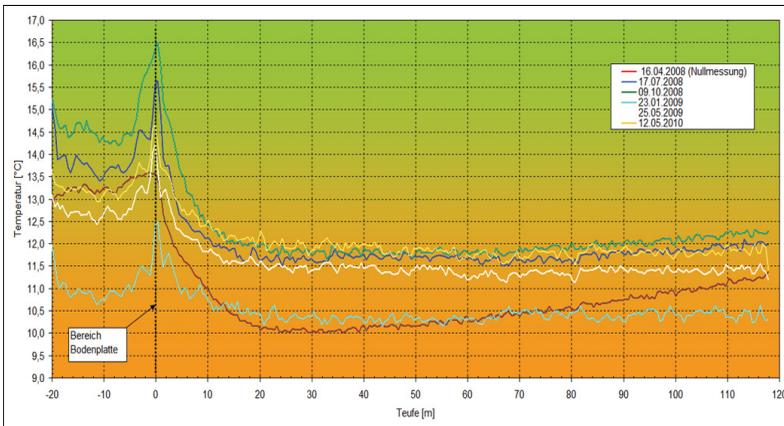


Abbildung 8: Messkurven eines faseroptischen Kabels an einem Wärmespeicher

7. Temperatur-Messungen

Verschiedene vor-Ort-Messverfahren wie

- Temperatur-Logs mit externen Messsonden am offenen Bohrloch bzw. in der Erdwärmesonde selbst
- Installation faseroptischer Kabel im Bereich der Verfüllung bzw. reversibel in einem Leerrohr
- thermisch nicht angeregter Umlauf an einem Thermal Response Test ermöglichen mit relativ geringem Aufwand die Erfassung von teufenabhängigen Temperaturdaten und bilden somit die Grundlage für die Planung, ein fundiertes Monitoring bzw. die Optimierung der Anlagen.

Auch für die Erfassung der Beladungszustände von Erdwärmespeichern (Heizen & Kühlen) ist die Kenntnis der Temperaturverteilung im Untergrund wichtig.

8. Wie funktioniert Kühlung mittels Geothermie?

Im normalen Heizbetrieb während des Winters entziehen die Erdwärmesonden dem Untergrund Wärme. Es bildet sich eine Wärmesenke, welche durch den natürlichen Wärmestrom - bei richtiger Dimensionierung - im Sommer dazu führt, dass sich das Sondenfeld natürlich regeneriert. Die Regeneration kann verstärkt werden, indem zusätzliche Wärme in den Untergrund eingebracht wird, was beim Kühlen der Fall ist. Erfolgt diese Aufheizung über das natürliche Temperaturniveau des Untergrundes hinaus, so muss die Wärmepumpe während der nächsten Heizperiode eine geringere Temperaturdifferenz ausgleichen, arbeitet effizienter und verbraucht weniger elektrische Antriebsenergie. Die Amortisationszeit einer solchen Anlage sinkt gegenüber einer Anlage im reinen Heizbetrieb.

Letztlich handelt es sich dabei um einen großen natürlichen Untergrundspeicher.

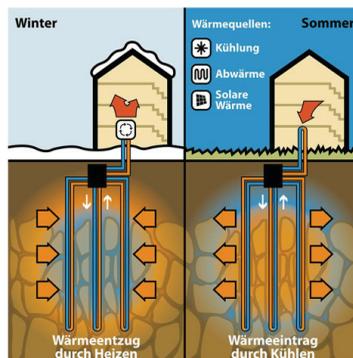


Abbildung 9: Prinzip Heizen & Kühlen mit Geothermie

Im Unterschied zu klassischen Wärmeerzeugungen und Klimatisierungen sind bei geothermischen Anlagen ohnehin eine Reihe von Randbedingungen zu beachten. Eine optimale und effiziente Anlage funktioniert nur in engem Zusammenspiel zwischen Haustechnik, Fachplaner und Bohrtechnik.

Besondere Berücksichtigung beim Heizen & Kühlen ist zusätzlich auf die folgenden Randbedingungen zu legen:

- Sinnhaftigkeit einer Gebäudesimulation als Eingangsgröße für die Dimensionierung des Sondenfeldes
- Beachtung von Grenztemperaturen (v.a. für Kühlung)
- Berücksichtigung der Bohrtiefe und der damit einhergehenden mittleren Untergrundtemperatur
- Beachtung der Sondenabstände und der Feldeskonfiguration in Abhängigkeit vom Verhältnis Heizen/Kühlen
- Berücksichtigung des Startzeitraums der Gebäudeversorgung (Kühlung oder Heizung)
- Einsatz von thermisch verbesserten Verfüllbaustoffen zur Verbesserung der Speichergeschwindigkeit (unter Berücksichtigung der Spitzenlast)
- Mögliche Unterteilung des Erdwärmesondenfeldes in Subfelder mit unterschiedlichem Betriebsregime
- Berücksichtigung des nachbarschaftlichen Einflusses und dessen Nachweis über Finite-Elemente-Simulation
- Monitoring während der ersten Betriebsjahre zur weiteren Optimierung der Kosten

9. Objektbericht „Cityliving XXL – Feuerwehrstraße“ in Frankfurt a.M.

Mit dem nachfolgenden Objektbereich soll beispielhaft der Ablauf eines Großprojektes vom Erstkontakt bis zur abschließenden Überwachung der laufenden Anlage beschrieben werden. Nur unter Beachtung dieser gesamten Wirkungskette sind hochwertige geothermische Energieversorgungsanlagen, nachhaltige Funktionsweise und schließlich zufriedene Kunden erzielbar.



Abbildung 10: Ansicht des sanierten Gebäudes (Quelle: www.citylivingxxl.de)

Bei dem Objekt handelt es sich um die hochwertige Sanierung mehrerer ehemaliger Kasernengebäude.

Wichtig für den reibungslosen Projektablauf war die frühzeitige integrative Planung unter Einbeziehung der Haustechnik, des Tiefbaus und der Geothermie. Unter strenger Beachtung der „7 Schritte zur Geothermie“ wurde im Jahr 2008 mit den ersten Planergesprächen zur prinzipiellen wasserrechtlichen und technischen Machbarkeit begonnen. Bereits ein Jahr später konnte der Bauabschnitt 1 in Betrieb gehen.

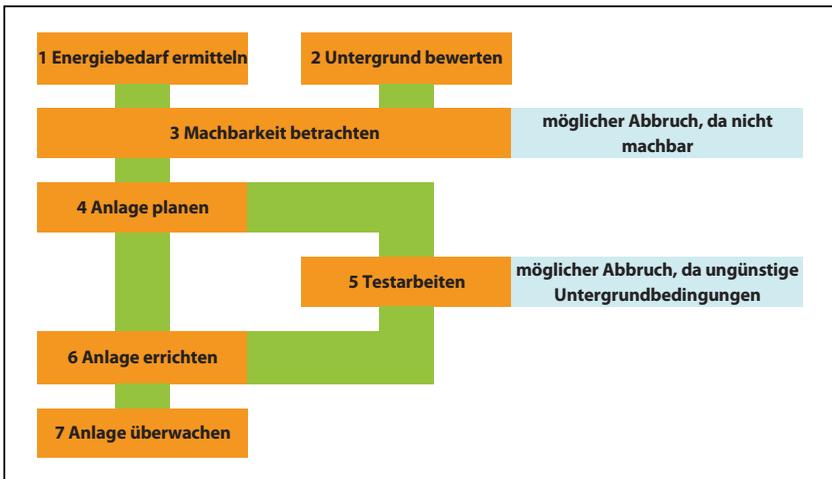


Abbildung 11: 7 Schritte zur Geothermie (Schema)

Grundlage für die ersten Berechnungen zur erforderlichen Sondenzahl bildete die Schätzung des Wärme- und Kühlbedarfs und deren monatliche Verteilung auf der Basis einer Funktionalbeschreibung oder aus Erfahrungswerten bereits existierender Gebäude.

Zu den Besonderheiten des Gebäudes zählt neben der Herausforderung der Altbausanierung die Kombination und Integration verschiedener regenerativer Energieformen (hier Solarthermie). Für die beiden ersten Bauabschnitte wurden Erdwärmesondenfelder von insgesamt 1.000 m (BA 1) und 1.800 m (BA 2) Bohrungslänge errichtet. 7 Wärmepumpen á 20 kW und ein Spitzenlast-Brennwertkessel decken den Wärmebedarf. Die Warmwasserbereitung erfolgt vorrangig über Solarthermie. Solare Überschüsse im Sommer werden in den Untergrund eingespeichert und sorgen für eine schnellere Regeneration des Untergrundes und somit für eine höhere Effizienz der Wärmepumpe. Diese liegt derzeit bei einer Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems von ca. 5,3 d.h. mit 1 kWh Strom werden 5,3 kWh Wärme erzeugt.

Im zweiten Schritt mussten anhand der zu erwartenden geologischen Verhältnisse zwingende Randbedingungen für das spätere Feld definiert werden. Auf der Basis dieser Vorberechnungen wurden die Baukosten für das Sondenfeld incl. der horizontalen Anbindung bis zur Schnittstelle Wärmepumpe geschätzt und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Abhängigkeit von verschiedenen Szenarien der Energiepreisentwicklungen durchgeführt. Auf der Basis dieser Zahlen erfolgte die Entscheidung des Bauherren für die Technologie Heizen mit Wärmepumpen und Solarthermie.

In einer nächsten Phase des Projekts wurden Testarbeiten - Thermal Response Tests und Temperatur-Logs zur Bestimmung der Untergrundeigenschaften durchgeführt.

Bei den Testarbeiten zeigte sich, dass die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine und die Untergrundtemperaturen am Standort deutlich über den zu erwartenden Werten liegen, was im Resultat zu einer Einsparung von Bohrm Metern und damit zu geringeren Investitionskosten führte.

Über die nunmehr 1,5jährige Betriebszeit des Gebäudes konnten durch den Nutzer positive Erfahrungen gesammelt werden. Die Technologie wird bei den nächsten in der Planung befindlichen Objekten des Kunden erneut eingesetzt.

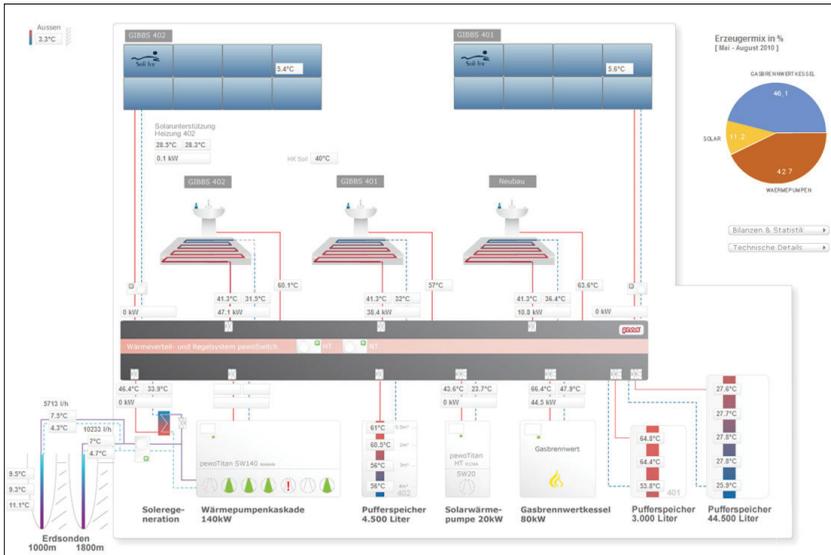


Abbildung 12: Energiemonitoring der Fa. ENWERK GmbH

Eine weitere Optimierung der Anlage erfolgt gegenwärtig über die Auswertung der Betriebsdaten und die Installation zusätzlicher Messtechnik. Auch aus anderen

vergleichbaren Objekten ist diese Vorgehensweise bewährt und führt in der Regel zur Möglichkeit deutlicher Kostenreduzierungen innerhalb der ersten 3 Betriebsjahre.

Ein umfangreiches Monitoring ermöglicht die Erfassung der Betriebsdaten und die Steuerung bzw. Optimierung des Erdwärmesondenfeldes.

Unter Berücksichtigung nachhaltiger Denkansätze und mittelfristiger Finanzplanungen bei den Endkunden ist zu erwarten, dass sich der Anteil von Lösungen, bei denen Heizen & Kühlen über Geothermie realisiert, also saisonale Zwischenspeicher für Energie errichtet werden, in den nächsten Jahren noch deutlich erhöht.

Dipl.-Geol. Rüdiger Grimm
geoENERGIE Konzept GmbH
Am St. Niclas Schacht 13
D-09599 Freiberg/Sa.
grimm@geoenergie-konzept.de
www.geoenergie-konzept.de
Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.
Charlottenstraße 24
D-10117 Berlin
www.waermepumpe.de

Deutsche Physikalische Gesellschaft  DPG

Arbeitskreis Energie



Energie

Perspektiven und Technologien

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2011

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Energie

Perspektiven und Technologien

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2011

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Bad Honnef, April 2012

Frühjahrstagung des Arbeitskreises Energie
in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
Dresden, 13. bis 16. März 2011

Hauptvorträge

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	7
Übersicht über die Fachsitzungen.....	8
Abstracts aller Vorträge.....	9
Electrolytes in lithium-ion batteries: state of the art and future trend (presented by A. Balducci).....	27
Das Energiekonzept der Bundesregierung und andere Optionen für die Energiezukunft Deutschlands (vorgetragen von M. Popp).....	37
Vergleichende Bewertung von Stromerzeugungssystemen (vorgetragen von R. Friedrich).....	47
Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen - internationaler Stand und Perspektiven (vorgetragen von H. Geckeis).....	64
Nuclear Waste Transmutation: Status and Perspectives for Accelerator Driven Systems (ADS) in Europe (presented by A. C. Mueller).....	81
Der Stellarator - Ein alternatives Einschlusskonzept für ein Fusionskraftwerk (vorgetragen von R. Wolf).....	97
Production and conversion of liquid fuels and hydrogen from biomass and natural gas using microreactor technology (presented by P. Pfeifer).....	105
Physik der Windparkoptimierung (vorgetragen von S. Emeis).....	120

Geothermie für Grundlaststrom und Wärmeversorgung - internationale Nutzung, Potenzial, technologische Entwicklungen (vorgetragen von D. Bruhn).....	130
Einsatz großer Wärmepumpen im Industrie- und Gewerbebau (vorgetragen von R. Grimm)	140
Anforderungen an einen Wärmepumpentarif zur Überwindung diskriminierender Steuern und Abgaben beim thermodynamisch optimierten Heizen (vorgetragen von G. Luther).....	151
Clean Power from Deserts (presented by M. Düren).....	164
Hochkonzentrierende Photovoltaik: Stand der Entwicklungen und Perspektiven (vorgetragen von A. Bett)	182
Das Aufwindkraftwerk – Funktionsweise und aktueller Stand (vorgetragen von G. Weinrebe)	200

Direkter Link zum AKE - Archiv:

<http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/index.htm>

Direkter Link zum AKE - Archiv, Tagung 2011 -Dresden:

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2011-AKE_Dresden/Links_DPG2011.htm

Der vorliegende Band fasst schriftliche Ausarbeitungen der Hauptvorträge der AKE Tagung des Jahres 2011 in Dresden zusammen. Leider ist es nicht gelungen, von allen Vortragenden Manuskripte zu erhalten. Die Präsentationsfolien der Hauptvorträge können auf der Webseite des Arbeitskreises über:

<http://www.dpg-physik.de/dpg/organisation/fachlich/ake.html>

(von dort gelangt man zum Archiv des AKE) eingesehen werden. Allen, die zu diesem Sammelband beigetragen haben, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.