

Werner Bußmann u.a.

Geothermie – Energie aus dem Innern der Erde



Fraunhofer IRB  Verlag

 **BINE**
Informationsdienst

BINE-Fachbuch

Werner Bußmann, Stephanie Frick, Ralf Fritschen, Ernst Huenges, Reinhard Jung,
Frank Kabus, Martin Kaltschmitt, Oliver Kohlsch, Stefan Kranz, Inga Moeck,
Horst Rüter, Ali Saadat, Angela Spalek, Helmut Tenzer, Günter Zimmermann

Geothermie

BINE-Fachbuch

Geothermie

Energie aus dem Innern der Erde

Die Autoren:

Werner Bußmann

Stephanie Frick

Ralf Fritschen

Ernst Huenges

Reinhard Jung

Frank Kabus

Martin Kaltschmitt

Oliver Kohlsch

Stefan Kranz

Inga Moeck

Horst Rüter

Ali Saadat

Angela Spalek

Helmut Tenzer

Günter Zimmermann

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **BINE**
Informationsdienst

BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: Neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen und Lerneffekte beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungsweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Systeme.

Weitere Informationen finden Sie unter: www.bine.info

Für weitere Fragen stehen Ihnen zur Verfügung:

Uwe Milles

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstr. 185–197, 53113 Bonn

Tel. 02 28 9 23 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-8167-8321-3

ISBN Printausgabe: 978-3-8167-8321-3 | ISBN E-Book: 978-3-8167-8363-3

Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer | Herstellung: Katharina Kimmerle
Satz: Mediendesign Späth, Birenbach | Druck: DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Titelbild: BMU-Bilddatenbank

© by FIZ Karlsruhe

Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum

Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon (0711) 9 70-25 00

Telefax (0711) 9 70-25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

<http://www.baufachinformation.de>

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen von den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Ein Planet voller Energie	11
<i>Werner Bußmann</i>	
2 Ideen – Innovationen – Technologien: Es gibt viele Möglichkeiten, geothermische Energie zu nutzen	16
<i>Werner Bußmann</i>	
2.1 Weltweit ein Hoffnungsträger	19
2.2 Den Vulkan anzapfen: heißer Dampf und heißes Wasser	23
2.3 Geothermische Potenziale in Deutschland	26
3 Geologische Rahmenbedingungen und untertägige Erschließung	35
<i>Helmut Tenzer</i>	
3.1 Generelle Abfolge der Vorerkundung und Erschließungsarbeiten	36
3.2 Durchführung einer Machbarkeitsstudie und geologische Vorerkundung	38
3.3 Geophysikalische Vorerkundung	39
3.4 Erschließung mittels Bohrung	40
3.5 Erkundung mittels Bohrlochmessungen	43
3.6 Hydraulischer Anschluss der Bohrung an das Reservoir	46
3.7 Erschließung über Doubletten und Triplettten	47
3.8 Innovative Erschließungsmethoden tiefer heißer Gesteine	49
4 Hydrothermale Energie – Wärme und Strom aus Thermalwasser	51
<i>Werner Bußmann</i>	
4.1 Aquifertypen	51
4.2 Der Untergrund ist heiß	52
4.3 Rückblick	53
4.4 Thermalwasserregionen in Deutschland	55
4.5 Strom und Wärme aus Thermalwasser	60
4.6 ORC-Turbinen und Kalina-Maschinen	66
4.7 Hydrothermale Geothermie und Fernwärme: Konkurrenzfähig? <i>Frank Kabus</i> ..	68
4.8 GeotIS	78
5 Petrothermale Geothermie	80
<i>Reinhard Jung , Helmut Tenzer</i>	
5.1 Petrothermale Ressourcen in Deutschland	80
5.1.1 Geologie-Tektonik	83
5.1.2 Untergrundtemperaturen	85

5.1.3	Gebirgsspannungen und Seismizität	86
5.1.4	Formationsfluide	87
5.2	Erschließungstechnik und Forschungsprojekte	88
5.2.1	Schlüsseltechniken: Risserzeugung, seismische Rissortung und Richtbohrverfahren	89
5.2.2	Projekte	90
5.3	Installation eines petrothermalen Systems	93
5.3.1	Bohren	94
5.3.2	Bohrlochmessungen	95
5.3.3	Schaffung des untertägigen Wärmetauschers	96
5.3.4	Untersuchung des untertägigen Wärmetauschers	97
5.4	Betrieb	98
5.5	Anlagenbeispiel – Europäisches Forschungsprojekt Soultz-sous-Forêts	100
6	Umweltbilanz tiefer Geothermie	105
	<i>Horst Rüter, Martin Kaltschmitt, Stephanie Frick</i>	
6.1	Methodik	105
6.2	Untersuchte Referenzanlagen	106
6.3	Bilanzergebnisse	108
7	Exkurs Seismizität	114
	<i>Horst Rüter, Ralf Fritschen</i>	
7.1	Erdbeben – Skalen und Begriffe	115
7.2	Natürliche Seismizität, Statistik der Erdbeben, Makroseismizität, Erdbebenzonen, Spannungsfeld der Erdkruste	116
7.3	Induzierte Seismizität	120
7.4	Induzierte Seismizität in der Geothermie	122
7.5	Zusammenhang mit Betriebsparametern	123
7.6	Schadenswirkung und seismisches Risiko	123
7.7	Seismologische Gutachten	125
7.8	Handlungsvorschläge	126
8	Forschungsbedarf Tiefe Geothermie	128
	<i>Ernst Huenges, Inga Moeck, Günter Zimmermann, Ali Saadat, Stephanie Frick, Stefan Kranz und Angela Spalek</i>	
8.1	Ziele der Forschung	129
8.2	Fündigkeit, Reservoirgestaltung, Systemverlässlichkeit – Hauptkriterien auf dem Weg zur Wirtschaftlichkeit geothermischer Systeme	129
8.3	Effiziente Systemlösungen – Von der Erkundung des Reservoirs bis zur Energiewandlung im Kraftwerk	131
8.3.1	Fündigkeitsprognose: Für oder Wider ein Projekt	131

8.3.2	Reservoiringenieur – Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit	133
8.3.3	Systemverlässlichkeit für einen nachhaltigen Anlagenbetrieb	134
9	Oberflächennahe Geothermie	138
	<i>Oliver Kohlsch</i>	
9.1	Allgemeine Systembeschreibung oberflächennaher Geothermiesysteme	138
9.2	Erdwärmesonden	139
9.2.1	Heizbetrieb	142
9.2.2	Heiz- und Kühlbetrieb	143
9.2.3	Dimensionierung einer Erdwärmesondenanlage	144
9.3	Erdwärmekollektoren	147
9.4	Brunnenanlagen	150
9.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	152
10	Zitierte und sonstige verwendete Literatur, Abbildungsverzeichnis	153
10.1	Zitierte Literatur	153
10.2	Sonstige verwendete Literatur	154
10.3	Abbildungsverzeichnis	155
11	Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung	157
11.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	157
11.2	Forschungsberichte	160
12	Weiterführende Literatur	163
12.1	Literatur	163
12.2	Zeitschriften	166
12.3	BINE Informationsdienst	167
13	Autoren	168

Vorwort

Die meisten erneuerbaren Energietechnologien nutzen direkt (Solarthermie, Photovoltaik und passive Systeme) oder indirekt (Windenergie, Wasserkraft, Biomassenutzung) die Sonnenenergie. Mit der Wärme der Erde, der Geothermie, existiert eine zweite erneuerbare Energiequelle unabhängig von der Sonne. Diese Wärme unter unseren Füßen kann zur Wärmeversorgung von Gebäuden und Siedlungen sowie für die geothermische Stromerzeugung genutzt werden. Ihr Vorteil: Sie steht unabhängig von Tages- und Jahreszeiten zur Verfügung.

In Deutschland spricht man von tiefer Geothermie, wenn Bohrungen geothermische Energie in einer Tiefe von über 400 m und einer Temperatur von über 20 °C erschließen. Die tiefe Geothermie nutzt entweder natürliche Warmwasservorkommen (hydrothermale Anlagen) oder die im Gestein gespeicherte Wärme (petrothermale Anlagen). Beide können zur Wärmeversorgung und zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Bislang sind in Deutschland (Stand: 2010) 17 größere Geothermieanlagen in Betrieb, darunter 4 Kraftwerke. Für 150 weitere geplante Projekte wurde eine bergrechtliche Aufsuchungserlaubnis erteilt.

Deutschland verfügt über weitaus mehr geothermische Ressourcen als bisher genutzt werden. Dieses BINE-Fachbuch stellt die geologischen Grundlagen und die Erschließungstechnologien vor, gibt einen Überblick über die hydrothermalen und petrothermalen Anlagenkonzepte und diskutiert die Umweltbilanz. Weitere Themen sind die aktuellen Forschungsziele und ein knapper Überblick über die oberflächennahe Geothermie. Diese wird in den BINE-Fachbüchern »Erdwärme für Bürogebäude nutzen« und »Wärmepumpen – Heizen mit Umweltenergie« ausführlicher vorgestellt. Beide Formen der Erdwärmennutzung werden in der künftigen Energieversorgung Deutschlands einen wachsenden Beitrag leisten.

FIZ Karlsruhe
BINE Informationsdienst

