
Mathias Bauer · Willi Freeden · Hans Jacobi ·
Thomas Neu
Hrsg.

Handbuch Oberflächennahe Geothermie

Inhaltsverzeichnis

1	Geothermie – Ein kurzer Abriss	1
	Willi Freeden und Clemens Heine	
1.1	Schalengestalt der Erde	3
1.2	Wärmepotential der Erde	4
1.3	Geschichte der Geothermie	6
1.4	Arten geothermischer Reservoire und Systeme	7
1.4.1	Klassifikation nach der Temperatur	7
1.4.2	Klassifikation nach der Tiefe	8
1.5	Explorationsmethoden und -Datensysteme	12
1.6	Modellierung von Reservoirmodellen	16
1.7	Nutzung der Erdwärme	17
1.8	Vorteile und Nachteile der Geothermie	18
1.9	Fazit	20
1.10	Ausblick	20
	Literatur	21
2	Bedeutung der Oberflächennahen Geothermie für Immobilien	23
	Björn-Martin Kurzrock und Tillman Gauer	
2.1	Immobilienbestand in Deutschland	24
2.1.1	Gebäudearten und -kategorien	25
2.1.2	Gebäudetypologien	27
2.1.3	Energieeffizienz von Gebäuden	27
2.2	Energetische Anforderungen, Vorgaben und Anreize	31
2.2.1	Anforderungen und Vorgaben auf Bundes- und Länderebene	31
2.2.2	Förderprogramme auf Bundesebene	31
2.2.3	Ergänzende Instrumente von Bundesländern und Kommunen	32
2.3	Optimierung der Wärmeversorgung in Gebäuden und Quartieren	34
2.3.1	Wärmebedarf	34

2.3.2	Wärmerzeugung	35
2.3.3	Wärmeverteilung/Wärmeübertragung	37
2.3.4	Wärmespeicher	38
2.3.5	Vom Gebäude zum Quartier	39
2.3.6	Zwischenfazit: Optimierung der Wärmeversorgung in Gebäuden und Quartieren	51
2.4	Potenziale der Oberflächennahen Geothermie für Immobilien	52
2.4.1	Stärken	52
2.4.2	Schwächen	54
2.4.3	Chancen	55
2.4.4	Risiken	58
2.4.5	Zwischenfazit: Potenziale der Oberflächennahen Geothermie für Immobilien	60
2.5	Zusammenfassung und Ausblick	62
	Literatur	63
3	Geologische und geophysikalische Untersuchungen	65
	Kord Ernstson	
3.1	Einführung	67
3.2	Tiefe und Oberflächennahe Geothermie	69
3.3	Geologie und Hydrogeologie in der Oberflächennahen Geothermie ...	72
3.3.1	Kartenwerke	73
3.3.2	Das digitale Geländemodell (DGM)	81
3.3.3	Etwas Wärme-Physik: Heizung, Kühlung, Speicherung von Wärme und Kälte	90
3.3.4	Offene Systeme	92
3.3.5	Geschlossene Systeme	94
3.3.6	GRT (Geothermal Response Test), geologische und hydrogeologische Rechenmodelle und geologische Risiken ...	96
3.3.7	Die Fälle Staufen und Böblingen	98
3.4	Wichtige Prinzipien der geophysikalischen Messverfahren	100
3.4.1	Charakteristische Unterschiede bei den Verfahren	100
3.4.2	Erkundungstiefen	105
3.4.3	Auflösungsvermögen	106
3.4.4	Signal-Rausch-Verhältnis S/R	108
3.4.5	Datenverarbeitung	110
3.4.6	Von der Messung zur (hydro)geologischen Aussage: Mehrdeutigkeit geophysikalischer Messungen	118
3.5	Petrophysikalische Parameter	119
3.5.1	Geoelektrik	120
3.5.2	Seismik	122
3.5.3	Bodenradar (Georadar, GPR, <i>ground penetrating radar</i>)	123
3.5.4	Gravimetrie	123

3.5.5	Geomagnetik	125
3.5.6	Radiometrie	126
3.5.7	Geothermische Parameter	127
3.6	Die Messverfahren	128
3.6.1	Geoelektrik	130
3.6.2	Seismik	149
3.6.3	Bodenradar	164
3.6.4	Gravimetrie	166
3.6.5	Geomagnetik	170
3.6.6	Radiometrie	173
3.6.7	Geothermie	175
3.6.8	Neuentwicklungen	179
3.6.9	Bohrlochgeophysik	180
3.7	Geophysik und der Aquifer	180
3.7.1	Porosität	181
3.7.2	Permeabilität/Transmissivität	181
3.7.3	Kluftporosität und Permeabilität/Transmissivität im Festgestein	184
3.7.4	Grundwasserspiegel	186
3.7.5	Grundwasserfließrichtung und Fließgeschwindigkeit	189
3.7.6	Generelle Grundwasserbewegungen – indirekter Zugang	190
3.8	Geophysik und geologisch-geotechnische Risiken bei der Oberflächennahen Geothermie	191
3.8.1	Tektonik	191
3.8.2	Karst, Verkarstung	194
3.8.3	Salinar: Anhydrit und Gips	196
3.8.4	Hangrutsche	198
3.8.5	Hohlraumortung	199
3.8.6	Altlasten	202
3.9	Geophysik als Dienstleistung	206
3.9.1	Ingenieurgeophysik	206
3.9.2	Unzulänglichkeiten – ein geophysikalisches Beispiel	207
3.9.3	Fehlerquellen und Fehler	209
3.9.4	Ausschreibungen, Berichte und Gutachten	211
3.9.5	Geophysik und Bohrungen	211
3.9.6	Zum Thema Wünschelrute, Erdstrahlen und Verwandtes	213
3.10	Schlussbemerkungen	215
	Literatur	216
4	Innovative Explorationsmethoden in der Gravimetrie und Reflexionsseismik	221
	Christian Blick, Willi Freeden und Helga Nutz	
4.1	Einleitung	222

4.2	Grundlagen der gravimetrischen Exploration	225
4.3	Grundlagen der seismischen Tomographie	226
4.4	Multiskalentechniken mittels Wavelets	228
4.5	Postprocessing im Explorationsgebiet E	232
4.6	Dekorrelation von Signaturen in E	239
4.7	Tiefendetektion geologischer Formationen lokal in E	246
4.8	Lokale Multiskalenverbesserung in der Bohrlochumgebung	249
4.9	Inverses Problem der Ermittlung der Dichte in E aus Potentialdaten des Komplements von E	251
4.10	Zusammenfassung und Ausblick	253
	Literatur	255
5	Mathematische Lösungspotentiale, Strategien und Dilemmata	257
	Willi Freeden und Helga Nutz	
5.1	Einleitung	258
5.2	Grundgleichungen in der Exploration	259
5.2.1	Gravimetrie	260
5.2.2	Geomagnetfeldbestimmung	260
5.2.3	Akustisch basierte seismische Tomographie (Helmholtz-Ansatz)	261
5.2.4	Akustisch basierte seismische Tomographie (d'Alembert-Ansatz)	262
5.3	Strategien und Dilemmata	264
5.3.1	Regularisierung und Fehlerspezifikation	267
5.3.2	Stetige und diskrete Regularisierung	270
5.3.3	Dilemmata und Methodologien	271
5.3.4	Grobe Eingruppierung der Regularisierungsmethoden	272
5.4	Zusammenfassung und Ausblick	276
	Literatur	278
6	Auswirkungen der Grundwasserbeschaffenheit auf Bau und Betrieb Oberflächennaher Geothermieranlagen	281
	Lena Eggeling und Jochen Schneider	
6.1	Einleitung	282
6.2	Offene Systeme	283
6.2.1	Probenahme und Analytik	283
6.2.2	Einfluss der Wasserqualität auf den Betrieb	284
6.3	Geschlossene Systeme	286
6.3.1	Analysenkonzepte zur Charakterisierung sulfathaltiger Gesteine	286
6.3.2	Chemische Zusammensetzung von Wärmeträgerfluiden	289
6.3.3	Temperaturinduzierte Änderungen der Chemie	290
	Literatur	292

7	Risikomanagement bei Planung, Bau und Betrieb von Geothermieranlagen	295
	Hans Jacobi und Thomas Neu	
7.1	Einführung	296
7.2	Risikomanagement: Definition und Methoden	296
7.3	Identifikation potenzieller Risiken in der Oberflächennahen Geothermie	298
7.4	Bewertung der Risiken	300
7.5	Maßnahmen zur Verringerung der Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit und zur Schadensminimierung	312
7.6	Schlussbetrachtung	321
	Literatur	321
8	Rechtliche und politische Rahmenbedingungen für oberflächennahe Geothermieprojekte	323
	André Deinhardt und Gregor Dilger	
8.1	Rechtliche Bestimmungen	325
	8.1.1 Wasserrechtliche Genehmigung	325
	8.1.2 Bergrecht	326
8.2	Technische Regelwerke	326
	8.2.1 DVGW W120-2	326
	8.2.2 VDI 4640	326
8.3	Wärmemarkt als Rahmen	327
	8.3.1 Was bewegt den Markt?	328
8.4	Förderung der Geothermie als Erneuerbare Energie	328
	8.4.1 Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz	329
	8.4.2 Marktanzreizprogramm (MAP)	329
	8.4.3 Marktanzreizprogramm (MAP) – KfW-Teil	330
	8.4.4 Energieeinsparverordnung (EnEV)	330
	8.4.5 Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)	331
	8.4.6 Anreizprogramm Energieeffizienz	331
	8.4.7 Erneuerbare-Energien-Richtlinie	332
8.5	Wahrnehmung von Geothermie in der Öffentlichkeit	332
	Literatur	333
9	Oberflächennahe Geothermie und Bergrecht	335
	Walter Frenz	
9.1	Problemaufriss	336
9.2	Relevanz des Bergrechts	337
	9.2.1 Nur bei nicht grundstücksbezogener Gewinnung	337
	9.2.2 Gewerbliche und wissenschaftliche Aufsuchung	338
	9.2.3 Speicherung und Entnahme von Wärmeenergie	339
	9.2.4 Grundwasser als Trägermedium	339
	9.2.5 Bohrungen	339

9.3	Bergrechtliche Haftung für Schäden aus Geothermiebohrungen	342
9.3.1	Reichweite	342
9.3.2	Bohrbezug	342
9.3.3	Kausalität	344
9.3.4	Sozialadäquanz	345
9.3.5	Schutzzweck	346
9.3.6	Zwischenergebnis	347
9.4	Betriebsplanpflicht	347
9.5	Verbindung zu Fracking	349
9.6	Gesamtfazit	350
	Literatur	350
10	Anforderungen an ein Geothermieprojekt aus der Sicht eines Bauherren	353
	Klaus Bücherl und Simone Walker-Hertkorn	
10.1	Einführung	354
10.2	Auswahl und Beauftragung eines geothermischen Fachplaners	355
10.2.1	Zeitpunkt der Beauftragung	355
10.2.2	Vergabe und Vertragsgestaltung	357
10.3	Projekttablauf	359
10.3.1	Grundlagenermittlung, Machbarkeitsprüfung	359
10.3.2	Vorplanung	360
10.3.3	Entwurfspannung	363
10.3.4	Genehmigungsplanung	364
10.3.5	Ausführungsplanung	364
10.3.6	Vergabe der Leistungen	364
10.3.7	Ausführung	365
10.3.8	Dokumentation	366
10.3.9	Zusammenfassung	367
10.4	Optimale Einsatzgebiete der Oberflächennahen Geothermie	367
	Literatur	369
11	Bohrtechnik für oberflächennahe geothermische Energiequellen	371
	Reiner Homrighausen	
11.1	Oberflächennahe Bohrungen und ihre Definition	373
11.2	Die Projekte gestern, heute und morgen	374
11.3	Die heutige moderne Technik	375
11.3.1	Das Bohrgerät, die Bohranlage	375
11.3.2	Das Bohrzubehör	378
11.3.3	Das Spülungstanksystem	382
11.3.4	Das Verpresssystem/die Kompaktmischanlage	383
11.3.5	Benötigter Platzbedarf	384
11.3.6	Die Logistik während der Bohrarbeiten	386
11.4	Die Bohrverfahren	386
11.4.1	Das Rotary-Druckspülbohrverfahren ohne Hilfsverrohrung	387

11.4.2	Das Rotary-Druckspülbohrverfahren mit gleichzeitiger Verrohrung	390
11.4.3	Das Im-Loch-Hammer-Bohrverfahren mit Luft als Spülungsmedium	392
	Literatur	394
12	Die Anforderungen der Wärmepumpe an die Wärmequelle	395
	Martin Sabel und Alexander Sperr	
12.1	Die Wärmepumpe	396
12.2	Energieeffizient Heizen und Kühlen	398
12.2.1	Energieeffizienz – was ist das?	398
12.2.2	Energieeinsparverordnung (EnEV)	398
12.2.3	Energieeffizienz von Wärmepumpen	400
12.2.4	Kühlen mit Wärmepumpen	404
	Literatur	408
13	Geothermische Phasenwechselsonden als Wärmeentzugssystem	409
	Thomas Storch, Thomas Grab und Ulrich Groß	
13.1	Einleitung	410
13.2	Funktionsweise einer geothermischen Phasenwechselsonde	411
13.2.1	Aufbau und Funktionsweise von Heat Pipes und Thermosiphons	411
13.2.2	Aufbau und Funktionsweise einer Phasenwechselsonde	413
13.2.3	Vor- und Nachteile im Vergleich zu Flüssigkeitszirkulationssonden	414
13.3	Anwendungsbereiche von Thermosiphons bzw. Fallfilmverdampfern	415
13.3.1	Geschichtliche Entwicklung von Thermosiphons in der Oberflächennahen Geothermie	416
13.3.2	Anwendungsbeispiele von Thermosiphons und Fallfilmverdampfern	417
13.4	Auslegungsgrundlagen und physikalische Grundlagen	420
13.4.1	Arbeitsstoffe	420
13.4.2	Leistungsgrenzen und Arbeitsbereich	421
13.4.3	Anfahrverhalten und zyklischer Wärmeentzug	427
13.4.4	Temperaturverteilung entlang der Sonde	430
13.4.5	Füllmenge und statische Dampfdrucksäule	432
13.4.6	Sondeninterne Regeneration	435
13.4.7	Energetische Betrachtung	438
13.4.8	Simulationen zum Einfluss des Benetzungsgrades auf den übertragbaren Wärmestrom	441
13.5	Schlussbemerkung und Ausblick	444
	Literatur	445

14	Ausbau der Bohrung zu geothermischen Quellen	451
	Frank Burkhardt	
14.1	Einleitung	452
14.2	Offene Systeme	452
14.2.1	Brunnenanlagen	452
14.3	Geschlossene Systeme	458
14.3.1	Erdwärmesonden Duplex und Koaxial	458
14.3.2	Koaxiale Speichersonden	470
14.3.3	Direktverdampfersonden	473
	Literatur	476
15	Thermisch aktivierte Bauteile	477
	Sylvia Kürten, David Koppmann und Renate Pechnig	
15.1	Einleitung	478
15.2	Typen thermisch aktivierter Bauteile	479
15.2.1	Energiepfähle	479
15.2.2	Energiewände und Bodenplatten	484
15.2.3	Thermische Aktivierung von Tunnelbauwerken	487
15.2.4	Spezialsysteme thermisch aktivierter Bauteile	491
15.3	Besondere Randbedingungen bei thermisch aktivierten Bauteilen	494
15.3.1	Randbedingungen für den Anlagenbetrieb	494
15.3.2	Randbedingungen für die Bemessung	495
15.3.3	Urban Heat Island Effect	498
15.3.4	Einfluss des Grundwassers	499
15.4	Auslegung und Bemessung thermisch aktivierter Bauteile	500
15.4.1	Berechnungsansätze für Energiepfähle	501
15.4.2	Berechnungsansätze für flächige thermisch aktivierte Bauteile	504
	Literatur	507
16	Nutzung oberflächennaher Erdwärme aus einem erdgedeckten Flüssiggastank mit einer Wärmepumpe, angetrieben durch ein Blockheizkraftwerk	513
	Thomas Heinze	
16.1	Einleitung	514
16.2	Aufbau des Demonstrators	515
16.2.1	Komponentenauswahl	515
16.2.2	Inbetriebnahme und Einfahren der Wärmepumpe mit Wasser	516
16.2.3	Erster Testlauf mit Regenwasserzisterne als Erdwärmesonde	516
16.2.4	Zweiter Testlauf mit Luft-Wärmetauscher	517
16.2.5	Sicherheitstechnik	517
16.2.6	Kondensatrückführung in den Gastank	518
16.3	Erste Versuchsläufe mit Flüssiggas aus dem Erdtank	518
16.3.1	Optimierung der Gasentnahme am Erdtank	518
16.4	Ausblick	522

17 Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken	523
Thomas Grab, Thomas Storch und Ulrich Groß	
17.1 Einleitung und geschichtliche Entwicklung	524
17.2 Aufbau und Funktionsweise einer Grubenwasseranlage	525
17.2.1 Nutzungsarten	526
17.2.2 Vor- und Nachteile im Vergleich zu alternativen Heiz- und Kühlkonzepten	530
17.3 Planung, Umsetzung und Betrieb einer Grubenwasseranlage	532
17.3.1 Planung	533
17.3.2 Umsetzung und Betrieb einer Grubenwasseranlage	539
17.3.3 Bergrecht	540
17.3.4 Wasserchemie	542
17.3.5 Öffentlichkeitswirksame Darstellung	547
17.4 Übersicht zur weltweiten geothermischen Grubenwassernutzung	548
17.4.1 Entwicklung und aktueller Stand von Grubenwasseranlagen . . .	548
17.4.2 Ausgewählte Beispiele	561
17.5 Fazit	575
Literatur	576
18 Geophysikalische Bohrlochmessungen in Geothermiebohrungen und -sonden	587
Karl-Norbert Lux	
18.1 Einleitung	588
18.2 Bohrlochmesstechnische Kontrollen – Zielsetzung	589
18.3 Messtechnische Kontrollmöglichkeiten	590
18.3.1 Allgemeines	590
18.3.2 Nachweis der physischen Existenz von Abdichtungen	594
18.3.3 Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Abdichtungen . .	602
18.4 Optimierung der Kontrollmöglichkeiten	610
Literatur	611
19 Geothermische Messungen für die oberflächennahe Geothermie	613
Jens-Uwe Kühl und Clemens Lehr	
19.1 (Geo-)Thermal Response Test (GRT/TRT)	614
19.1.1 Was ist ein GRT/TRT?	614
19.1.2 Messtechnik/Apparatur	615
19.1.3 Vorbereitung/Voraussetzungen	616
19.1.4 Messdurchführung	617
19.1.5 Auswertung der Messdaten	619
19.1.6 Ergebnisdarstellung/-Verwendung	625
19.2 Spezial-GRT/TRT	626
19.2.1 Enhanced (Geo-)Thermal Response Test (EGRT, ETRT)	626
19.2.2 GRT/TRT für Energiepfähle	628

19.2.3	GRT/TRT für horizontale Erdwärmekollektoren	630
19.3	Temperaturprofilmessungen	631
19.3.1	Allgemeines	631
19.3.2	Messtechnik	631
19.3.3	Verwendung und Interpretation der Ergebnisse	632
	Literatur	634
20	Messmethoden für Monitoring, Qualitätskontrolle und Beweissicherung bei Erdwärmesonden	637
	Johannes Gottlieb, Marc-Alexander Tilg, Daniel Fischer, Roman Zorn und Simeon Meier	
20.1	Einleitung	638
20.2	Schadensvermeidung im Rahmen der geologischen Bewertung und EWS-Planung	639
20.3	Komponenten der Qualitätssicherung während und nach EWS-Installation	641
20.3.1	Erfassung geometrischer Parameter der EWS	641
20.3.2	Qualitätsprüfung der Zementierung	642
20.3.3	Ermittlung von Temperatur und Entzugsleistung	643
20.4	Methoden der Informationsgewinnung	645
20.4.1	Messsonden	645
20.4.2	Messmolche und Messkugeln	648
20.4.3	Langzeitmonitoring und erweiterter Thermal Response Test mit Messkugeln als neue Qualitätssicherungskonzepte	650
	Literatur	651
21	Qualitätssicherung und Zertifizierung	653
	Christine Buddenbohm	
21.1	Einleitung	654
21.2	Mittel der Qualitätssicherung	655
21.3	Qualitätssicherung bei Wärmepumpenherstellern	656
21.3.1	Gütesiegel	656
21.4	Qualitätssicherung bei Bohrunternehmen	659
21.4.1	Grundlagen	659
21.4.2	Zertifizierung von Bohrunternehmen nach W 120	660
21.4.3	Zeichen „Fremdüberwachtes Bohrunternehmen für Erdwärmesonden“	665
21.5	Qualitätssicherung bei Wärmepumpeninstallateuren	667
21.6	Qualitätssicherung bei Architekten und Fachplanern	668
	Literatur	669

22 Risikopotenziale der Oberflächennahen Geothermie	671
Ingo Sass	
22.1 Die 5-M-Methode	673
22.1.1 Mensch	673
22.1.2 Methode	674
22.1.3 Material	675
22.1.4 Maschinen	676
22.1.5 Medium	676
22.1.6 Fazit	677
22.2 Geologische Risiken	677
22.2.1 Quellfähige und setzungsempfindliche Gesteine	677
22.2.2 Lösliche Gesteine	678
22.2.3 Überkonsolidierte und porenwasserdruckanfällige Gesteine ...	679
22.2.4 Tektonik	679
22.2.5 Massenbewegungen	680
22.2.6 Erdfall-, Senkungs- und Bergsenkungsgebiete	680
22.2.7 Gasaustritte	680
22.3 Hydrogeologische Risiken	681
22.3.1 Gespanntes und artesisch gespanntes Grundwasser	681
22.3.2 Stockwerke	682
22.3.3 Hydrochemische Gradienten	682
22.3.4 Entgasung	683
22.3.5 Wasserqualität	684
22.4 Umwelttechnische Risiken	684
22.4.1 Altlasten und Altablagerungen	684
22.4.2 Bergbau, Bergbaufolgeschäden	685
22.5 Risiken beim Sondeneinbau	685
22.6 Betriebsrisiken	687
Literatur	688
23 Kommunikation und Akzeptanz	691
Anna Borg, Eva-Maria Jakobs und Martina Ziefle	
23.1 Handlungsbedarf	692
23.2 Akzeptanz innovativer/neuer Technologien	695
23.3 Kommunikation	699
23.3.1 Kommunikationsansätze für Geothermie	699
23.3.2 Kommunikationsstrategien für Geothermieprojekte	700
23.3.3 Kommunikationsgrundsätze	702
23.3.4 Kommunikationstools	703
23.3.5 (Digitale) Medien	706
23.3.6 Krisenkommunikation	707
23.4 Fazit	708
Literatur	709

24	Arbeits- und Gesundheitsschutz	715
	Mathias Bauer	
24.1	Vorbemerkungen zu Arbeits- und Gesundheitsschutz	716
24.2	Gründe/Argumente für Arbeits- und Gesundheitsschutz	719
24.3	Grundlagen der Arbeits- und Sicherheitswissenschaft	720
24.4	Arbeits- und Gesundheitsschutzrecht	723
24.5	Gefährdungen und Belastungen bei Oberflächennaher Geothermie ...	731
24.6	Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagementsystem	735
	Literatur	737
25	Oberflächennahe Geothermie in Österreich	739
	Johann Goldbrunner	
25.1	Einleitung	740
25.2	Rechtliche Grundlagen	741
25.3	Probleme bei der Herstellung von Erdwärmesonden	741
	25.3.1 Geologisch bedingte Ursachen	741
	25.3.2 Technisch bedingte Ursachen	743
25.4	Konflikt mit wasserwirtschaftlichen Interessen	744
25.5	Anzahl der Erdwärmesonden in Österreich	745
	25.5.1 Erdgekoppelte Heizungs-WP nach Leistungssektoren	746
	Literatur	752
26	Oberflächennahe Geothermie in der Schweiz	755
	Katharina Link und Roland Wyss	
26.1	Einleitung	756
26.2	Bevölkerung	757
26.3	Geologie, Auswirkung auf Nutzung	758
26.4	Historische Entwicklung der Oberflächennahen Geothermie	759
26.5	Vollzugshilfen, technische Normen	759
	26.5.1 BAFU-Vollzugshilfe «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund»	762
	26.5.2 SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden	762
	26.5.3 SIA-Norm 384/7 Grundwasserwärmenutzung	763
26.6	Qualitätssicherung: Prüf- und Anlaufstellen, Zertifikate, Gütesiegel ...	764
	26.6.1 Qualitätssicherung in der Schweiz	764
	26.6.2 Schweizer Wärmepumpen-Testzentrum	765
	26.6.3 Wärmepumpendoktor	765
	26.6.4 FWS Fachpartner mit Zertifikat	766
	26.6.5 Wärmepumpen-Gütesiegel	766
	26.6.6 Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen	766
	26.6.7 Wärmepumpen-System-Modul	767
	26.6.8 Workshops Qualitätskontrolle, Informationsaustausch	768
26.7	Rechtsgrundlagen	770

26.8	Fördermaßnahmen	771
26.9	Geothermische Energienutzung	771
26.10	Aktueller Stand der Oberflächennahen Geothermiebranche	774
26.11	Forschung	774
26.12	Nachhaltigkeit im urbanen Bereich	775
26.13	Künftige Entwicklung	776
	Literatur	777
27	Oberflächennahe Geothermienutzung weltweit: regionale Trends und Innovationen	779
	Marietta Sander	
27.1	Einführung	780
27.2	Oberflächennahe geothermische Nutzungsformen weltweit	781
27.3	Markt- und Technologietrends – regionale Schlaglichter	783
	27.3.1 Afrika	784
	27.3.2 Amerika	784
	27.3.3 Südamerika, Zentralamerika und Karibik	787
	27.3.4 Europa	789
	27.3.5 Asien	791
27.4	Herausforderungen und Lösungen	793
27.5	Schlussbemerkung	794
27.6	Danksagung	794
	Literatur	795
28	Ausblick: Schlüsselemente, Herausforderungen, Chancen und Perspektiven	797
	M. J. Bauer, W. Freeden, H. Jacobi und T. Neu	
28.1	Arten der Nutzung in der oberflächennahen Geothermie	799
28.2	Vorteile oberflächennaher Geothermie	800
28.3	Geothermische Energie als erneuerbare Energiequelle	800
28.4	Herausforderungen an oberflächennahe/tiefe Geothermie	801
28.5	Schlüsselemente bei der Entwicklung der oberflächennahen/tiefen Geothermie	803
	Literatur	804
	Stichwortverzeichnis	807