

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Geothermie – Ein kurzer Abriss</b> .....	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 Reservoirs 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
<b>2</b>	<b>Bedeutung der Oberflächennahen Geothermie für Immobilien</b> .....	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
<b>3</b>	<b>Geologische und geophysikalische Untersuchungen</b>	<b>65</b>
	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 Wümschelrute, Erdstrahlen und Verwandtes . . . . .	213
3.10	Schlussbemerkungen . . . . .	215
	Literatur . . . . .	216
<b>4</b>	<b>Innovative Explorationsmethoden in der Gravimetrie und Reflexionsseismik . . . . .</b>	<b>221</b>
	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
<b>5</b>	<b>Mathematische Lösungspotentiale, Strategien und Dilemmata</b> . . . . .	<b>257</b>
	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
<b>6</b>	<b>Auswirkungen der Grundwasserbeschaffenheit auf Bau und Betrieb Oberflächennaher Geothermieanlagen</b> . . . . .	<b>281</b>
	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

<b>7</b>	<b>Risikomanagement bei Planung, Bau und Betrieb von Geothermieranlagen</b>	<b>295</b>
	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
<b>8</b>	<b>Rechtliche und politische Rahmenbedingungen für oberflächennahe Geothermieprojekte</b>	<b>323</b>
	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 Marktanreizprogramm (MAP) . . . . .	329
	8.4.3 Marktanreizprogramm (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
<b>9</b>	<b>Oberflächennahe Geothermie und Bergrecht</b>	<b>335</b>
	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
<b>10</b>	<b>Anforderungen an ein Geothermieprojekt aus der Sicht eines</b>	
	<b>Bauherren</b> . . . . .	<b>353</b>
	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	Projektablauf . . . . .	359
10.3.1	Grundlagenermittlung, Machbarkeitsprüfung . . . . .	359
10.3.2	Vorplanung . . . . .	360
10.3.3	Entwurfsplanung . . . . .	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
<b>11</b>	<b>Bohrtechnik für oberflächennahe geothermische Energiequellen</b> . . . . .	<b>371</b>
	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 Kompaktmisanlage . . . . .	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
<b>12</b>	<b>Die Anforderungen der Wärmepumpe an die Wärmequelle . . . . .</b>	<b>395</b>
	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
<b>13</b>	<b>Geothermische Phasenwechselsonden als Wärmeentzugssystem . . . . .</b>	<b>409</b>
	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

<b>14</b>	<b>Ausbau der Bohrung zu geothermischen Quellen</b> .....	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
<b>15</b>	<b>Thermisch aktivierte Bauteile</b> .....	477
	Sylvia Kürten, David Koppmann und Renate Pechinig	
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
<b>16</b>	<b>Nutzung oberflächennaher Erdwärme aus einem erdgedeckten Flüssiggastank mit einer Wärmepumpe, angetrieben durch ein Blockheizkraftwerk</b> .....	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



<b>17 Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken . . . .</b>	<b>523</b>
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
<b>18 Geophysikalische Bohrlochmessungen in Geothermiebohrungen und -sonden . . . . .</b>	<b>587</b>
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
<b>19 Geothermische Messungen für die oberflächennahe Geothermie . . . . .</b>	<b>613</b>
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
<b>20</b>	<b>Messmethoden für Monitoring, Qualitätskontrolle und Beweissicherung bei Erdwärmesonden .....</b>	<b>637</b>
	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
<b>21</b>	<b>Qualitätssicherung und Zertifizierung .....</b>	<b>653</b>
	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

<b>22</b>	<b>Risikopotenziale der Oberflächennahen Geothermie</b> .....	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
<b>23</b>	<b>Kommunikation und Akzeptanz</b> .....	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

<b>24</b>	<b>Arbeits- und Gesundheitsschutz</b> .....	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
<b>25</b>	<b>Oberflächennahe Geothermie in Österreich</b> .....	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
<b>26</b>	<b>Oberflächennahe Geothermie in der Schweiz</b> .....	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
<b>27</b>	<b>Oberflächennahe Geothermienutzung weltweit: regionale Trends und Innovationen .....</b>	<b>779</b>
	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
<b>28</b>	<b>Ausblick: Schlüsselemente, Herausforderungen, Chancen und Perspektiven .....</b>	<b>797</b>
	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
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>807</b>