

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Thermisches Regime der Erde</b>	<b>1</b>
	Ingrid Stober	
1.1	Aufbau der Erde	2
1.2	Energiedargebot der Erde	5
1.3	Wärmetransport und thermische Parameter	9
1.4	Kurzer Abriss von Methoden zur Bestimmung thermischer Parameter	13
1.5	Temperaturmessungen	13
	Literatur	16
<b>2</b>	<b>Geologische und geophysikalische Untersuchungen</b>	<b>19</b>
	Kord Ernstson	
2.1	Einführung	20
2.2	Geothermische Energie als Lagerstätte	22
2.3	Geologie und Geophysik in der Projektstudie: Stichhaltigkeit und Überprüfung	26
2.4	Geologische Befunde und Modelle	26
2.5	Die für die Geothermie wichtigen geophysikalischen Verfahren	32
2.6	Petrophysikalische Grundlagen der Geologie und Geophysik in der Geothermie	36
2.7	Existierende geophysikalische Daten	42
2.7.1	Gravimetrie und Geomagnetik	42
2.7.2	Reflexionsseismik	44
2.7.3	Refraktionsseismik	45
2.7.4	Tiefengeoelektrik	46
2.7.5	Geothermische Untersuchungen	47
2.8	Neue Messungen der Geophysik in der Vorerkundung	48
2.8.1	2D- und 3D-Reflexions-Seismik	48
2.8.2	Refraktionsseismik	50
2.8.3	Gravimetrie	52
2.8.4	Geomagnetik	60
2.8.5	Verfahren der Geoelektrik	64

---

2.8.6	Eigenpotentialmethode und mise-à-la-masse-Methode . . . . .	69
2.9	Seismizität und geologisch-geophysikalische Untersuchungen . . . . .	71
2.10	Bohrungsbegleitende Geophysik . . . . .	71
2.11	Schlussbemerkungen . . . . .	73
Literatur	. . . . .	75
<b>3</b>	<b>Reflexionsseismische Exploration . . . . .</b>	<b>81</b>
Silke Bißmann und René Kahnt		
3.1	Methodik der seismischen Messung . . . . .	82
3.2	Erkundungsziele . . . . .	83
3.2.1	Projektspezifische Erkundungsziele . . . . .	84
3.3	Planung einer Oberflächenseismik . . . . .	85
3.3.1	Survey Design . . . . .	85
3.3.2	Anpassung der Planung an die Realbedingungen . . . . .	86
3.3.3	Planung der Zeitachse . . . . .	86
3.3.4	Öffentlichkeitsarbeit . . . . .	86
3.4	Durchführung der Messungen . . . . .	87
3.4.1	Permit . . . . .	87
3.4.2	Vermessung . . . . .	88
3.4.3	2D/3D Reflexionsseismik . . . . .	89
3.4.4	Bohrlochseismik (VSP, WSP, etc.) . . . . .	93
3.5	Processing (Datenbearbeitung) . . . . .	93
3.5.1	Arbeitsschritte . . . . .	94
3.5.2	Werkzeuge . . . . .	100
3.6	Interpretation und Modellierung . . . . .	101
3.6.1	Zuordnung wichtiger geologischen Grenzen zu seismischen Reflektoren (Einhängung von Bohrungsergebnissen) . . . . .	102
3.6.2	Zeit-Tiefen Wandlung . . . . .	107
3.6.3	Erzeugung eines 3D Untergrundmodells (3D Zellen-Blockmodell) . . . . .	108
3.7	Festlegung der Bohrtargets und der Bohrpfade . . . . .	109
3.7.1	Zielstrukturen . . . . .	109
3.7.2	Festlegung der Bohrpfade . . . . .	111
3.8	Geohydraulische und geothermische Simulation . . . . .	112
3.8.1	Zielstellungen der Reservoirsimulation in Abhängigkeit von der Projektphase . . . . .	112
3.8.2	Verfügbare Simulatoren . . . . .	112
3.8.3	Modellgebiet sowie Rand- und Anfangsbedingungen . . . . .	115
3.8.4	Parameterbelegung und Sensitivitätsanalyse . . . . .	117
3.8.5	Modellkalibrierung . . . . .	118
3.8.6	Prognose und Wärmebergbaugutachten . . . . .	120
Literatur	. . . . .	122

---

<b>4</b>	<b>Mathematische Methoden</b> . . . . .	125
	Willi Freeden und Helga Nutz	
4.1	Einleitung . . . . .	126
4.2	Potentialverfahren . . . . .	131
4.2.1	Klassisches Gravimetrieproblem . . . . .	131
4.2.2	Multiskalen Formulierung des Gravimetrieproblems . . . . .	133
4.2.3	Skalendiskrete Waveletmodellierung des Gravimetrieproblems	136
4.2.4	Spline-Methodik zur Datenvervollständigung gravitativer Dateninformation . . . . .	141
4.2.5	Gravitationssignaturen von Hotspots/Mantelplumes . . . . .	144
4.2.6	Gravito-Magneto kombinierte Inversion . . . . .	152
4.3	Seismische Erkundung . . . . .	153
4.3.1	Seismische Aufzeichnung und Datengewinnung . . . . .	153
4.3.2	Mathematische Grundlagen der Akustischen Wellenmodellie- rung . . . . .	156
4.3.3	Skalendiskrete Waveletmodellierung von Wellenfeldpotentia- len und Geschwindigkeitsstörungen . . . . .	163
4.4	Transportvorgänge . . . . .	174
4.4.1	Grundlegender physikalischer Hintergrund . . . . .	174
4.4.2	Reservoir- und Strömungsmodelle . . . . .	179
4.4.3	Hydrothermale Reservoir . . . . .	180
4.4.4	Petrothermale Reservoir . . . . .	182
4.4.5	Kontinuumsmodelle . . . . .	183
4.4.6	Diskrete Modelle . . . . .	187
4.4.7	Wärmetransport im porösen Medium . . . . .	190
4.4.8	Wärmetransport im geklüfteten Medium . . . . .	191
4.5	Spannungsfeld/Poroelastizität . . . . .	195
4.6	Geomathematik – Ihre Rolle und Ihre Aufgaben in der Tiefen Geothermie . . . . .	204
	Literatur . . . . .	210
<b>5</b>	<b>Hydrothermale Nutzung</b> . . . . .	223
	Johann Goldbrunner	
5.1	Einleitung . . . . .	224
5.2	Regionale Beispiele . . . . .	226
5.2.1	Süddeutsches und Oberösterreichisches Molassebecken . . . . .	226
5.2.2	Beispiel für eine Nutzungsanlage: Geothermische Dublette Simbach-Braunau . . . . .	236
5.3	Bedeutung der Kaskadennutzung . . . . .	239
	Literatur . . . . .	243

<b>6</b>	<b>Petrothermale Nutzung und Stimulationsoptionen</b>	245
	<b>Rolf Bracke</b>	
6.1	Geologische Charakterisierung	246
6.2	Entwicklung der petrothermalen Nutzungen	248
6.3	Stimulationsoptionen	251
6.3.1	Soultz-sous-Forêts	252
6.3.2	Groß Schönebeck	253
6.3.3	Landau/Oberrheingraben	254
6.3.4	GeneSys-Bohrungen in Horstberg und in Hannover	256
6.4	Charakterisierung der zur Stimulation verwendeten Einsatzstoffe	257
6.4.1	Hydraulische Stimulation	257
6.4.2	Chemische Stimulation	257
6.4.3	Stimulation durch Stützmittelfracs	264
6.5	Gesellschaftliche und politische Herausforderungen	265
6.5.1	Schutz des genutzten Grundwassers bei Eingriffen in die Geosphäre	267
6.5.2	Petrothermale Nutzungen für die Energiewende auf dem Wärmemarkt	267
6.5.3	Abgrenzung zum Fracking für die Gewinnung unkonventioneller Kohlenwasserstoffe	268
6.5.4	Pilotprojekte zur weiteren Technologieentwicklung	270
6.5.5	Kommunikation und Information über Risiken und Chancen	271
	<b>Literatur</b>	272
<b>7</b>	<b>Risikomanagement</b>	275
	<b>Hans Jacobi und Thomas Neu</b>	
7.1	Einführung	276
7.2	Risikomanagement: Definition und Methoden	276
7.3	Identifikation potenzieller Risiken in der Tiefen Geothermie	278
7.4	Bewertung der Risiken	280
7.5	Maßnahmen zur Verringerung der Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadensminimierung	282
7.6	Schlussbetrachtung	287
7.7	Anlagen	287
	<b>Literatur</b>	300
<b>8</b>	<b>Bohrtechnik für Tiefbohrung</b>	303
	<b>Catalin Teodoriu und Gioia Falcone</b>	
8.1	Die Tiefbohrung und ihre Definition	306
8.2	Die Bohrplanung	307
8.3	Der Bohrprozess	309
8.4	Mechanismen der Gesteinszerstörung	310

---

8.5	Die Bohranlage . . . . .	311
8.6	Heben und Senken des Systems (Andruck an Meißel) . . . . .	311
8.6.1	Mast oder Turm . . . . .	311
8.6.2	Grundgerüst . . . . .	311
8.6.3	Arbeitsbühne . . . . .	314
8.6.4	Hebewerk . . . . .	314
8.6.5	Fahrseile . . . . .	314
8.6.6	Flaschenzug (Kronen- und Flaschenzugblock): . . . . .	314
8.6.7	Haken . . . . .	315
8.7	Das Drehsystem (Rotieren) . . . . .	315
8.7.1	Dreh- oder Spülkopf . . . . .	315
8.7.2	Mitnehmerstange . . . . .	316
8.7.3	Drehtisch . . . . .	316
8.7.4	Drehtischeinsatz (Kelly Bushing) . . . . .	317
8.7.5	Abfangkeile . . . . .	317
8.7.6	Top Drive . . . . .	317
8.8	Spülungssystem (Zirkulation) . . . . .	317
8.8.1	Tanks . . . . .	319
8.8.2	Pumpen . . . . .	319
8.8.3	Blow-Out-Preventer (BOP) System . . . . .	319
8.8.4	Das Antriebssystem . . . . .	320
8.8.5	Die Spülungstechnik und Spülungssysteme . . . . .	320
8.8.6	Beherrschung des Bohrlochverlaufs: Navigation und Steuerung langer Bohrstränge . . . . .	321
8.8.7	Navigation . . . . .	323
8.8.8	Steuern . . . . .	323
8.8.9	Bohrmeißel und Wahl des Bohrmeißels . . . . .	324
8.8.10	Der Bohrstrang . . . . .	326
8.8.11	Die Bohrgeschwindigkeit (Rate of Penetration – ROP) . . . . .	326
8.8.12	Bohrlochkonstruktion (Verrohrung) . . . . .	328
8.8.13	Bohrlochkomplettierung . . . . .	332
8.9	Fazit . . . . .	333
	Literatur . . . . .	335
9	<b>Bohrlochgeophysik . . . . .</b>	337
	Olaf Brenner und Hans-Joachim Rübel	
9.1	Geophysikalische Bohrlochmessungen . . . . .	338
9.1.1	Einleitung – Begriffsbestimmungen . . . . .	338
9.1.2	Was sind Bohrlochmessungen? . . . . .	338
9.1.3	Warum Bohrlochmessungen in der Tiefen Geothermie? . . . . .	339
9.1.4	Welche Bohrlochmessungen sind erforderlich? . . . . .	341
9.1.5	Spezielle Messungen . . . . .	341

9.1.6	Messprinzipien . . . . .	342
9.1.7	Optionale Messungen . . . . .	354
9.1.8	Messungen, die zusätzlich Informationen liefern für Störungen, Lithologie, Porosität, Hydrologie . . . . .	354
9.1.9	Anwendungsbeispiele . . . . .	354
9.2	Vertical Seismic Profiling (VSP-Messungen) . . . . .	356
9.2.1	Was ist VSP? . . . . .	356
9.2.2	Messgeräte . . . . .	358
9.2.3	Kombination des Vertical-Seismic-Profilings mit der Reflexionseismik . . . . .	361
9.2.4	Kombination der Ergebnisse des VSP-Verfahrens unter Verwendung der Ergebnisse aus der Bohrlochgeophysik	363
	Literatur . . . . .	363
10	<b>Modernes Projektmanagement</b> . . . . .	365
	Peter Böttcher	
10.1	Einführung . . . . .	366
10.1.1	Was ist Projektmanagement? . . . . .	366
10.1.2	Wer benötigt Projektmanagement? . . . . .	366
10.1.3	Projektmanagement für den Auftraggeber . . . . .	367
10.2	Struktur des Projektmanagements . . . . .	368
10.2.1	Die Bau-Beteiligten . . . . .	368
10.2.2	Der Projektablauf . . . . .	369
10.2.3	Aufgaben und Leistungen . . . . .	369
10.3	Management von Projekten . . . . .	375
10.3.1	Verantwortung . . . . .	376
10.3.2	Organisation . . . . .	376
10.3.3	Vergabe und Überwachung von Leistungen . . . . .	376
10.3.4	Kommunikation . . . . .	377
	Literatur . . . . .	377
11	<b>Umweltaspekte</b> . . . . .	379
	Jochen Kubiniok	
11.1	Rechtliche Situation . . . . .	381
11.2	Voruntersuchungen/Vorerkundung und Prospektion . . . . .	381
11.3	Einrichtung einer Geothermieanlage . . . . .	382
11.3.1	Tiefbohrung . . . . .	382
11.3.2	Hydraulische Stimulation (Fracking) . . . . .	384
11.3.3	Einsatz und Entsorgung von aufgeheiztem Wasser bei Probeversuchen . . . . .	388
11.3.4	Einrichtung der Stromgewinnungsanlage . . . . .	388
11.3.5	Einrichtung von Fernwärmemtrasse . . . . .	389

---

11.3.6	Einrichtung von Stromleitungstrassen	389
11.4	Betrieb der Geothermieanlage	389
11.4.1	Stromgewinnungsanlage	389
11.4.2	Normalbetrieb Bohrung	391
11.4.3	Störfall im Kraftwerksbetrieb	391
11.5	Rückbau der Anlage	392
11.6	Fazit	392
	Literatur	394
<b>12</b>	<b>Seismizität</b>	<b>397</b>
	Ralf Fritschen und Horst Rüter	
12.1	Einführung	398
12.2	Natürliche Seismizität	400
12.2.1	Lokalmagnitude nach Richter ( $M_L$ )	402
12.2.2	Gutenberg-Richter-Beziehung	404
12.2.3	Bedeutung der natürlichen Seismizität bei der Betrachtung induzierter Seismizität	405
12.3	Emission oder Immission	406
12.3.1	Intensität	407
12.3.2	Schwinggeschwindigkeit (PGV)	407
12.4	Induzierte Seismizität	409
12.4.1	Fluidinduzierte Ereignisse	412
12.4.2	Das Spannungsfeld	412
12.4.3	Diskriminierung zwischen natürlichen und induzierten Ereignissen	415
12.4.4	Gefährdungsanalysen	415
12.5	Der kontrollierte Betrieb	419
12.5.1	Gutachterliche Begleitung	420
12.5.2	Seismische Überwachung	421
12.5.3	Reaktionsschemata	422
12.5.4	Hochfahren der Anlage	424
12.5.5	Einflussgrößen auf die Beherrschbarkeit (Stellschrauben)	425
	Literatur	426
<b>13</b>	<b>Explorationsstrategie tiefer geothermischer Ressourcen am Beispiel des süddeutschen Oberjuras (Malm)</b>	<b>429</b>
	Ulrich Steiner, Alexandros Savvatis, Franz Böhm und Achim Schubert	
13.1	Einleitung	431
13.2	Zur Geologie im Untersuchungsgebiet	432
13.3	Stand des geothermischen Wissens	433
13.4	Datengrundlage und methodischer Ansatz der integrierten Reservoiranalyse	435

---

13.5	Ergebnisse im Überblick . . . . .	439
13.5.1	Lithofazies . . . . .	439
13.5.2	Strukturgeologie . . . . .	446
13.5.3	Hydraulik . . . . .	450
13.6	Angepasste Explorationsstrategie . . . . .	453
13.7	Ausblick . . . . .	457
13.8	Danksagung . . . . .	457
	Literatur . . . . .	457
<b>14</b>	<b>Explorationsstrategie tiefer geothermischer Ressourcen am Beispiel des Norddeutschen Beckens . . . . .</b>	<b>463</b>
	Markus Wolfgramm, Matthias Franz und Thorsten Agemar	
14.1	Einleitung . . . . .	465
14.1.1	Nutzungsformen . . . . .	465
14.1.2	Explorationsgegenstand und Mindestanforderung an relevante Parameter . . . . .	466
14.2	Regionale Geologie des Norddeutschen Beckens . . . . .	468
14.2.1	Der tiefere Untergrund . . . . .	468
14.2.2	Das Norddeutsche Becken (NDB) . . . . .	469
14.3	Geothermische Aquifere im NDB . . . . .	471
14.4	Geologisch-hydrogeologisches Modell, Numerische Simulation . . . . .	474
14.5	Erkundung mittels regionalgeologischer Daten und Karten . . . . .	474
14.5.1	Verbreitung der potentiellen Aquifere . . . . .	475
14.5.2	Prognose der Mächtigkeit und Durchlässigkeit von Sandsteinen	476
14.5.3	Temperaturprognose . . . . .	477
14.5.4	Prognose wasserchemischer Daten . . . . .	481
14.6	Erkundung mittels Daten von Altbohrungen . . . . .	483
14.6.1	Sedimentologie und Fazies . . . . .	485
14.6.2	Petrographie und Diagenese der Sandsteine . . . . .	490
14.6.3	Stressfeld, Spannungen und gesteinsphysikalische Eigenschaften . . . . .	493
14.7	Geophysikalische Erkundung . . . . .	495
14.8	Risikoabschätzung . . . . .	497
14.9	Erkundungsbohrung . . . . .	498
14.10	Komplettierung und Probetrieb . . . . .	499
14.11	Diskussion zum Stand der Exploration im NDB . . . . .	501
	Literatur . . . . .	501
<b>15</b>	<b>Genehmigungsverfahren von Geothermiekraftwerken . . . . .</b>	<b>507</b>
	Andreas Tschauder, Holsten Hübner und Edna Auer	
15.1	Aufsuchung . . . . .	508
15.1.1	Konzessionsarten . . . . .	509

15.1.2	Berechtsamsbuch und -karte . . . . .	510
15.1.3	Antragsunterlagen für die Erlaubnis . . . . .	511
15.1.4	Konkurrenzanträge . . . . .	511
15.1.5	Schutz des Erlaubnisinhabers . . . . .	512
15.2	Betriebsplanpflicht . . . . .	512
15.3	Betriebsplanarten . . . . .	514
15.3.1	Rahmenbetriebsplan . . . . .	514
15.3.2	Hauptbetriebsplan . . . . .	515
15.3.3	Sonderbetriebsplan . . . . .	516
15.3.4	Abschlussbetriebsplan . . . . .	516
15.3.5	Gemeinschaftlicher Betriebsplan . . . . .	516
15.4	Betriebsplan für die Aufsuchung . . . . .	517
15.5	Festlegung der Bohrstandorte . . . . .	518
15.5.1	Baurechtliche Voraussetzungen . . . . .	518
15.5.2	Beteiligung der Öffentlichkeit . . . . .	519
15.5.3	Bauvoranfrage . . . . .	520
15.6	Privatrechtliche Nutzungsvereinbarung . . . . .	520
15.7	Sonderbetriebspläne für die Aufsuchungsbohrung . . . . .	521
15.8	Gewinnung . . . . .	522
15.8.1	Bewilligung . . . . .	523
15.8.2	Privatrechtliche Nutzung des Oberflächengrundstückes . . . . .	523
15.8.3	Betriebsplanverfahren Gewinnung . . . . .	523
15.8.4	Beweissicherung und Regulierung von Bergschäden . . . . .	525
15.8.5	Baurechtliche Genehmigung . . . . .	525
16	<b>Finanzierung . . . . .</b>	527
	Hanns-Joachim Girms	
16.1	Einleitung . . . . .	528
16.2	Rahmenbedingungen . . . . .	528
16.3	Finanzierungsinstrumente . . . . .	531
16.4	Charakteristik von Tiefengeothermieprojekten . . . . .	532
16.5	Anforderung an die Projektentwicklung . . . . .	537
16.6	Grundlagen für die Strukturierung einer Finanzierung . . . . .	538
16.7	Schlussbemerkung . . . . .	541
17	<b>Fördermöglichkeiten . . . . .</b>	543
	Sonja Stockhausen und Jessica Grünitz	
17.1	Einleitung . . . . .	544
17.2	Förderstrukturen . . . . .	545
17.3	Antragsverfahren . . . . .	547
17.4	Rahmenbedingungen der Innovationsförderung . . . . .	549
17.5	Entwicklung und Potenziale der F & E-Geothermieförderung . . . . .	553

---

17.6	Schlussbemerkung . . . . .	557
	Literatur . . . . .	558
<b>18</b>	<b>Tiefengrundwassercharakteristik und hydrochemische Untersuchung . . . . .</b>	<b>559</b>
	Jochen Schneider, Lena Eggeling und Annalena Hesshaus	
18.1	Einleitung . . . . .	560
18.2	Die Bedeutung der Analytik während des Anlagenbaus . . . . .	561
18.2.1	Vorerkundung . . . . .	561
18.2.2	Reservoirerschließung . . . . .	563
18.2.3	Bau der oberflächigen Installationen . . . . .	566
18.2.4	Betrieb der Anlage . . . . .	567
18.3	Chemische, physikalische und biologische Parameter . . . . .	568
18.3.1	Vor-Ort-Untersuchungen . . . . .	570
18.3.2	Hydrochemie . . . . .	570
18.3.3	Isotopenhydrologische Untersuchungen . . . . .	573
18.3.4	Gasphysikalische Untersuchungen . . . . .	579
18.3.5	Physikalische Parameter . . . . .	580
18.3.6	Mikrobiologische Untersuchungen . . . . .	580
18.4	Zusammensetzung der Tiefengrundwässer in den geothermischen Provinzen in Deutschland . . . . .	581
18.4.1	Bayerisches Molassebecken . . . . .	581
18.4.2	Oberrheingraben . . . . .	584
18.4.3	Norddeutsches Becken . . . . .	588
	Literatur . . . . .	591
<b>19</b>	<b>Schädigung der Verrohrung und der Zementation geothermischer Bohrungen und Werkstoffempfehlungen . . . . .</b>	<b>595</b>
	Carsten David Fichter	
19.1	Einleitung . . . . .	596
19.2	Aufbau des Primärkreislaufs . . . . .	597
19.3	Verrohrungswerkstoffe . . . . .	598
19.4	Zementation . . . . .	601
19.5	Schädigung der Verrohrung und der Zementation . . . . .	601
19.6	Werkstoffwahl . . . . .	605
19.7	Resümee . . . . .	607
	Literatur . . . . .	607
<b>20</b>	<b>Hydraulische Untersuchungen . . . . .</b>	<b>609</b>
	Wolfgang Alt und René Kahnt	
20.1	Einführung . . . . .	611
20.2	Grundsätzliche Betrachtung und Zielsetzung hydraulischer Untersuchungsverfahren . . . . .	612

---

20.3	Testverfahren . . . . .	614
20.3.1	Pumptest . . . . .	614
20.3.2	Injektionstest . . . . .	615
20.3.3	Packertests . . . . .	616
20.3.4	WD-Tests . . . . .	616
20.3.5	Fluid-Logging-Verfahren . . . . .	616
20.3.6	Slug/Bail-Test . . . . .	617
20.3.7	Pulse-Test . . . . .	617
20.3.8	Drill-Stem-Test . . . . .	617
20.4	Genehmigungsrechtliche Aspekte . . . . .	618
20.5	Planung von Testarbeiten . . . . .	619
20.5.1	Fördermengen und Dauer der Fördertests . . . . .	619
20.5.2	Zusammensetzung des geförderten Thermalwassers und Ableitung in das öffentliche Kanalnetz sowie in die Vorflut . . . . .	621
20.5.3	Optimierung des Thermalwassermanagements, der Speicherbecken und Prognose der Zusammensetzung des Thermalwassers . . . . .	622
20.6	Monitoring und Überwachung von Testarbeiten . . . . .	628
20.6.1	Allgemeine Aspekte . . . . .	628
20.6.2	Über Tage-Monitoring . . . . .	629
20.6.3	In-Bohrloch- bzw. Untertage-Monitoring . . . . .	631
20.7	Auswertung von Testarbeiten . . . . .	634
20.7.1	Grundsätzliche Aspekte . . . . .	634
20.7.2	Grundlagen zur Auswertung von Pump- und Wiederansteigstests . . . . .	635
20.7.3	Kurzzeit-Produktivitätsindex . . . . .	641
20.7.4	Identifikation von Zuflusszonen . . . . .	645
20.8	Prognose von Fördertemperatur und Fördermengen . . . . .	648
20.8.1	Prognose Fördertemperatur . . . . .	648
20.8.2	Prognose Fördermenge . . . . .	652
20.9	Zusatzinformationen . . . . .	655
	Literatur . . . . .	656
21	<b>Förderpumpen in der Geothermie . . . . .</b>	659
	Aike van Douwe, Hubert Hegele, Peter Iberl, Ulrich Martin, Andreas Utz und Thorsten Weimann	
21.1	Betrachtung Thermalwasserkreislauf . . . . .	661
21.1.1	Anforderungen . . . . .	661
21.1.2	Auslegungsgrundlagen . . . . .	661
21.1.3	Bauteile . . . . .	662
21.2	Status Quo Pumpentechnik . . . . .	665
21.2.1	Einsatzgebiete . . . . .	665

---

21.3	Technische Anforderungen und Lösungen (Pumpe) . . . . .	667
21.3.1	Gestängepumpen (Line-Shaft-Pumps LSP) . . . . .	668
21.3.2	Tauschkreiselpumpen (Electric-Submersible-Pumps TKP) .	668
21.4	Betrieb . . . . .	669
21.4.1	Ein- und Ausbau . . . . .	669
21.4.2	An- und Abfahren (Teillastbetrieb) . . . . .	671
21.5	Schadensmechanismen . . . . .	672
21.5.1	Mechanische Probleme . . . . .	672
21.5.2	Thermische Probleme . . . . .	672
21.5.3	Elektrische Probleme . . . . .	673
21.6	Korrosion . . . . .	673
21.6.1	Metallische Werkstoffarten . . . . .	674
21.6.2	Korrosionsmechanismen . . . . .	675
21.6.3	Korrosion in den deutschen Geothermieregionen . . . . .	676
21.6.4	Zusammenfassung Korrosion . . . . .	680
21.7	Aufgabenstellung Zukunft . . . . .	681
21.7.1	Forschungsprojekte für Förderpumpen in der Tiefen Geothermie . . . . .	681
21.7.2	Lebensdauer . . . . .	681
21.7.3	Steigerung Wirkungsgrad . . . . .	681
	Literatur . . . . .	683
22	<b>Kraftwerkstechnik</b> . . . . .	689
	Dieter Brüggemann und Florian Heberle	
22.1	Übersicht geothermischer Kraftwerksysteme . . . . .	690
22.2	Systeme für Niederenthalpie-Lagerstätten . . . . .	692
22.2.1	Ausbaustand in Deutschland . . . . .	693
22.2.2	Organic Rankine Cycle in der geothermischen Anwendung .	693
22.2.3	Kalina Cycle . . . . .	706
22.3	Gesellschaftliche und politische Aspekte . . . . .	710
	Literatur . . . . .	711
23	<b>Wärmenutzung</b> . . . . .	715
	Stefan Rothörl	
23.1	Wärmenutzung durch Tiefe Geothermie am Beispiel der Erdwärme Grünwald GmbH, Landkreis München . . . . .	716
23.2	Geothermie hat viele Vorteile . . . . .	726
23.3	Fazit . . . . .	738
24	<b>Kommunikation und Akzeptanz</b> . . . . .	739
	Markus Frey	
24.1	Einleitung . . . . .	740

---

24.2	Verhalten und Einstellung zu Tiefer Geothermie . . . . .	741
24.2.1	Annahmen zu Akzeptanzfaktoren Tiefer Geothermie . . . . .	743
24.2.2	Bedeutung des wahrgenommenen Nutzens . . . . .	744
24.2.3	Risikowahrnehmung . . . . .	745
24.2.4	Risiko-Kommunikation Tiefe Geothermie: Vertrauen als Ergebnis von Positionierung und Transparenz . . . . .	745
24.3	Exkurs: Wahrnehmung von Ängsten in einer Krise . . . . .	747
24.4	Vertrauensvolle Kommunikation von Anfang an . . . . .	749
24.5	Akzeptabilität als Vorstufe gesellschaftlicher Akzeptanz? . . . . .	751
24.5.1	Aktive Bürgerbeteiligung . . . . .	752
24.5.2	Regionale Wertschöpfung als möglicher Baustein zur Verbesserung der Akzeptanz Tiefer Geothermie? . . . . .	753
24.5.3	Power-to-Gas (EE-Gas) . . . . .	754
24.5.4	Private Beteiligungsmodelle . . . . .	756
24.6	Medienarbeit 2.0: Neue Instrumente für die Öffentlichkeitsarbeit . . . . .	757
24.7	Kommunikationsanlässe . . . . .	760
24.7.1	Web 2.0: Mit RSS Feeds Informationen zur Holschuld machen . . . . .	761
24.7.2	Podcasts . . . . .	762
24.8	Wissenschaftliche Forschung: Akzeptanz . . . . .	762
24.9	Zusammenfassung Kommunikation in Kürze . . . . .	763
	Literatur . . . . .	764
25	<b>Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz . . . . .</b>	767
	Mathias Bauer	
25.1	Vorbemerkungen zu Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz . . . . .	768
25.2	Gründe/Argumente für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz . . . . .	770
25.3	Grundlagen der Arbeits- und Sicherheitswissenschaft . . . . .	771
25.4	Arbeits- und Gesundheitsschutzrecht . . . . .	774
25.5	Gefährdungen und Belastungen bei Tiefer Geothermie . . . . .	780
25.6	Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagementsystem . . . . .	785
	Literatur . . . . .	787
26	<b>Geothermiebranche Deutschland . . . . .</b>	791
	Hubert Hegele und Erwin Knapik	
26.1	Einleitung . . . . .	792
26.2	Grundzüge der Geothermiebranche in Deutschland . . . . .	793
26.3	Evaluierung der Geothermiebranche . . . . .	793
26.4	Analyse der Unternehmen . . . . .	795
26.4.1	Unternehmensgröße und Beschäftigte . . . . .	795
26.4.2	Brancheneintritte und Unternehmensverteilung . . . . .	797
26.5	Wert der Tiefen Geothermie für Unternehmen . . . . .	799
26.6	Forschung und Entwicklung . . . . .	802

---

26.7	Zukunftsansicht . . . . .	804
26.8	Resümee . . . . .	809
26.9	Perspektiven der Tiefen Geothermie . . . . .	810
	Literatur . . . . .	811
<b>27</b>	<b>Geothermie weltweit . . . . .</b>	<b>813</b>
	Marietta Sander	
27.1	Einleitung . . . . .	814
27.2	Erneuerbare Energien Daten und Fakten weltweit . . . . .	814
27.3	Geothermie Entwicklung weltweit . . . . .	815
27.4	Regionale Entwicklungstrends . . . . .	818
27.4.1	Afrika . . . . .	818
27.4.2	Nordamerika . . . . .	820
27.4.3	Lateinamerika . . . . .	821
27.4.4	Asien, Ozeanien, Pazifik . . . . .	824
27.4.5	Europa . . . . .	826
27.5	Technologische Entwicklungstrends . . . . .	828
27.6	International Geothermal Association . . . . .	830
	Literatur . . . . .	832
<b>28</b>	<b>Ausblick: Herausforderungen, Chancen und Perspektiven . . . . .</b>	<b>835</b>
	Mathias Bauer, Willi Freeden, Hans Jacobi und Thomas Neu	
	Literatur . . . . .	841
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>843</b>