

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Thermisches Regime der Erde</b>	<b>1</b>
1.1	Erneuerbare Energien, Globaler Status	2
1.2	Aufbau der Erde	2
1.3	Energiedargebot der Erde	7
1.4	Wärmetransport und thermische Parameter	9
1.5	Kurzer Abriss von Methoden zur Bestimmung thermischer Parameter	14
1.6	Temperaturmessungen	15
<b>2</b>	<b>Geschichte geothermischer Energienutzung</b>	<b>19</b>
2.1	Frühe geothermische Nutzungen	20
2.2	Geothermische Nutzungen in der späteren Neuzeit	25
<b>3</b>	<b>Geothermische Energie-Ressourcen</b>	<b>29</b>
3.1	Energie	30
3.2	Bedeutung der Erneuerbaren Energien	31
3.3	Status der Nutzung der geothermischen Energie	33
3.4	Geothermische Energiequellen	35
<b>4</b>	<b>Geothermische Nutzungsmöglichkeiten</b>	<b>37</b>
4.1	Oberflächennahe geothermische Energienutzung	38
4.2	Tiefe geothermische Energienutzung	46
4.3	Wirkungsgrad	56
4.4	Bedeutende Geothermie-Felder, Hochenthalpie-Felder	58
<b>5</b>	<b>Potentiale und Perspektiven geothermischer Energienutzung</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>Erdwärmesonden</b>	<b>69</b>
6.1	Planungsgrundsätze	70
6.2	Bau von Erdwärmesonden	70
6.3	Auslegung von Erdwärmesonden	78
6.3.1	Wärmepumpen	78

6.3.2	Thermische Parameter und Programme für die Auslegung von Erdwärmesonden . . . . .	83
6.4	Bohrverfahren für Erdwärmesonden . . . . .	90
6.4.1	Direktspülverfahren . . . . .	93
6.4.2	Imlochhammerbohrverfahren . . . . .	95
6.4.3	Abschließende Hinweise, Bohrrisiken . . . . .	96
6.5	Hinterfüllung/Verpressung von Erdwärmesonden . . . . .	100
6.6	Bau von Erdwärmesonden mit Überlänge . . . . .	105
6.7	Potentielle Risiken, Fehler und Schäden bei Erdwärmesonden . . . . .	107
6.8	Spezielle Nutzungssysteme und Weiterentwicklungen . . . . .	109
6.8.1	Erdwärmesonden-Felder . . . . .	109
6.8.2	Erdsonden und Kühlung . . . . .	111
6.8.3	Kombination Solarthermie/Erdwärmesonden . . . . .	112
6.8.4	Vermessung von Erdwärmesonden, Qualitätskontrolle . . . . .	113
6.8.5	Erdwärmesonden mit Phasenwechsel . . . . .	119
7	<b>Geothermische Brunnenanlagen</b> . . . . .	123
7.1	Bau von Grundwasserbrunnen . . . . .	125
7.2	Wasserqualität . . . . .	127
7.3	Thermischer Einflussbereich, Modellrechnungen . . . . .	128
8	<b>Hydrothermale Nutzung, Geothermische Dublette</b> . . . . .	133
8.1	Geologischer und tektonischer Bau . . . . .	134
8.2	Thermische und hydraulische Eigenschaften des Nutzhorizontes . . . . .	137
8.3	Hydraulische und thermische Reichweite geothermischer Dubletten . . . . .	145
8.4	Hydrochemie heißer Wässer aus großer Tiefe . . . . .	149
8.5	Ertüchtigungsmaßnahmen, Stimulation . . . . .	152
8.6	Fündigkeit, Risiko, Wirtschaftlichkeit . . . . .	154
8.7	Beispiele hydrothermalen Anlagen . . . . .	161
8.8	Projektierung hydrothermalen Anlagen . . . . .	167
9	<b>Enhanced-Geothermal-Systems (EGS), Hot-Dry-Rock Systeme (HDR), Deep-Heat-Mining (DHM)</b> . . . . .	171
9.1	Verfahren, Vorgehen, Ziele . . . . .	173
9.2	Geschichte, erste HDR-Verfahren . . . . .	174
9.3	Vorgehen bei der Stimulation . . . . .	175
9.4	Erfahrungen und Umgang mit der Seismizität . . . . .	181
9.5	Empfehlungen, Hinweise . . . . .	182
10	<b>Potentielle Umweltauswirkungen bei der Tiefen Geothermie</b> . . . . .	187
10.1	Seismizität und Tiefe Geothermie . . . . .	189
10.1.1	Induzierte Erdbeben . . . . .	191
10.1.2	Erdbebenskalen . . . . .	193
10.1.3	Die Ereignisse von Basel . . . . .	195
10.1.4	Seismische Beobachtungen bei EGS-Projekten . . . . .	198

10.1.5	Folgerungen und Empfehlungen für hydrothermale und petrothermale Nutzungen (EGS) . . . . .	202
10.2	Auswirkungen durch und auf den Untergrund . . . . .	205
10.3	Übertägige Auswirkungen . . . . .	208
11	<b>Bohrtechnik für Tiefbohrungen . . . . .</b>	<b>211</b>
12	<b>Geophysikalische Untersuchungen . . . . .</b>	<b>229</b>
12.1	Geophysikalische Vorerkundung, Seismik . . . . .	230
12.2	Geophysikalische Bohrlochmessungen und Interpretation . . . . .	236
13	<b>Hydraulische Untersuchungen, Tests . . . . .</b>	<b>241</b>
13.1	Grundlagen . . . . .	242
13.2	Testarten, Planung und Durchführung, Auswerteverfahren . . . . .	250
13.3	Tracerversuche . . . . .	256
13.4	Temperaturauswerteverfahren . . . . .	259
14	<b>Hydrochemische Untersuchungen . . . . .</b>	<b>261</b>
14.1	Probennahme und Analytik . . . . .	262
14.2	Wichtigste Untersuchungsergebnisse und Interpretationen . . . . .	264
14.3	Ausfällungen, Korrosion . . . . .	272
✓	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>281</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>299</b>