

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	XIII
Tabellenverzeichnis .....	XXII
Vorbemerkung .....	XXV
Formelzeichen und Indizes .....	XXVII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlagen der Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik ..	5
2.2 Grundlagen der Geothermie .....	12
2.3 Solarspeicherzone .....	27
2.4 Geosolarer Übergangsbereich .....	31
2.5 Terrestrische Zone .....	34
2.6 Anthropogene thermische Beeinflussung .....	34
2.7 Wechselwirkungen geothermischer Anlagen mit dem Untergrund .....	35
2.7.1 Hydrochemische Wechselwirkungen .....	36
2.7.2 Wechselwirkungen zwischen geothermischen Systemen und Grundwasserorganismen .....	37
<b>3 Geothermische Anlagen .....</b>	<b>39</b>
3.1 Geschlossene Systeme .....	40
3.1.1 Erdwärmesonden (Geothermiesonden) .....	40
3.1.2 Verdampfersonden .....	48
3.1.3 Erdwärmekollektoren .....	49
3.1.4 Energiepfähle und erdberührende Betonbauteile .....	53
3.2 Offene Systeme (direkte Grundwassernutzung) .....	58
3.2.1 Brunnenanlagen .....	60
3.2.2 Geothermie Nutzung im Bergbau und Hohlraumbau .....	64
3.3 Geothermische Speicher .....	68
3.3.1 Aquiferspeicher (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES) ..	68
3.3.2 Erdwärmesondenspeicher (Borehole Thermal Energy Storage, BTES) .....	70
3.3.3 Kavernenspeicher (Cavernous Thermal Energy Storage, CTES)	71

<b>4</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b> .....	73
4.1	Wasserrecht .....	76
4.1.1	Europäische Regelungen .....	76
4.1.2	Deutsches Recht .....	77
4.2	Bergrecht .....	78
4.3	Lagerstättenrecht .....	80
4.4	Naturschutz und Landschaftspflege .....	81
4.4.1	Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz .....	81
4.4.2	Schutzausweisungen in Landschaftsplänen .....	82
4.4.3	Europäisches ökologisches Netz „Natura 2000“ .....	82
4.5	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung .....	84
<b>5</b>	<b>Grundlagen der Planung</b> .....	85
5.1	Projektablauf .....	86
5.2	Erkundungsbedarf für Erdwärmesondenanlagen .....	90
5.3	Modelle zur Simulation des Wärmetransportes .....	92
<b>6</b>	<b>Bohrungen und Ausbau</b> .....	97
6.1	Bohrverfahren .....	97
6.2	Hinweise zum Ausbau von Bohrungen .....	100
6.3	Bohrlochabweichung .....	103
6.4	Geologische und hydrogeologische Einflüsse .....	111
6.5	Response Test Verfahren .....	116
6.5.1	Grundlagen und Messprinzip eines Geothermal Response Tests .....	118
6.5.2	Auswertung .....	119
6.5.3	Thermischer Bohrlochwiderstand .....	122
6.5.4	Qualitätssicherung mit Hilfe des GRT .....	123
6.5.5	Auswertung instationärer GRT-Daten .....	125
6.5.6	Zylinderquellen-Verfahren .....	127
6.5.7	Enhanced Geothermal Response Test .....	144
<b>7</b>	<b>Planung, Herstellung und Betrieb geschlossener Systeme</b> .....	151
7.1	Erdwärmesondenanlagen .....	151
7.1.1	Planung und Dimensionierung .....	151
7.1.2	Verfüllung des Ringraums .....	163
7.1.3	Anforderungen an den Verfüllbaustoff .....	166
7.1.4	Nicht vollständig abgedichtete Erdwärmesonden .....	184
7.1.5	Druck- und Durchflussprüfung an Erdwärmesonden .....	190
7.1.6	Wärmeträgermedien .....	197

7.1.7	Horizontale Anschlussleitungen und Schnittstelle zur Haustechnik .....	200
7.1.8	Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung .....	202
7.1.9	Dokumentation .....	205
7.1.10	Rückbau und Stilllegung .....	207
7.2	Erdwärmekollektoren (EWK) .....	207
7.2.1	Planung und Bemessung von Kollektoranlagen .....	208
7.2.2	Bauausführung von Flächenkollektoren .....	211
7.2.3	Bauausführung von Erdwärmekörpern .....	212
7.2.4	Verlegung der Leitungen .....	212
7.2.5	Füllen und Entlüften .....	213
7.2.6	Wärmeträgermedien .....	213
7.2.7	Druckprüfung .....	213
7.2.8	Inbetriebnahme .....	213
7.2.9	Dokumentation .....	214
7.2.10	Betrieb der Erdwärmekollektoren .....	215
7.2.11	Auswirkungen des Betriebes der Erdwärmekollektoren ....	215
7.2.12	Rückbau / Stilllegung .....	217
<b>8</b>	<b>Planung, Herstellung und Betrieb offener Systeme .....</b>	<b>219</b>
8.1	Brunnenanlagen .....	219
8.1.1	Planung und Dimensionierung .....	226
8.1.2	Bauausführung, Qualitätssicherung, Dokumentation .....	228
8.1.3	Pumpversuch und Brunnentest .....	228
8.1.4	Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung .....	228
8.1.5	Hydrochemische und mikrobiologische Einflüsse .....	232
8.1.6	Dokumentation .....	237
8.1.7	Stilllegung und Rückbau .....	237
8.1.8	Praxisbeispiel Brunnenanlage .....	238
8.2	Aquiferspeicher .....	242
<b>9</b>	<b>Risikopotenziale .....</b>	<b>245</b>
9.1	Die 5-M-Methode .....	245
9.1.1	Mensch .....	246
9.1.2	Methode .....	246
9.1.3	Material .....	247
9.1.4	Maschinen .....	248
9.1.5	Medium .....	248
9.1.6	Fazit .....	249
9.2	Geologische Risiken .....	250
9.2.1	Quellfähige und setzungempfindliche Gesteine .....	250

9.2.2	Lösliche Gesteine .....	251
9.2.3	Überkonsolidierte und porenwasserdruckanfällige Gesteine .....	251
9.2.4	Tektonik .....	252
9.2.5	Massenbewegungen .....	252
9.2.6	Erdfall-, Senkungs- und Bergsenkungsgebiete .....	252
9.2.7	Gasaustritte .....	253
9.3	Hydrogeologische Risiken .....	254
9.3.1	Gespanntes und artesisch gespanntes Grundwasser .....	254
9.3.2	Stockwerke .....	254
9.3.3	Hydrochemische Gradienten .....	256
9.3.4	Entgasung .....	256
9.3.5	Wasserqualität .....	256
9.4	Umwelttechnische Risiken .....	257
9.4.1	Altlasten und Altablagerungen .....	257
9.4.2	Bergbau, Bergbaufolgeschäden .....	257
9.5	Risiken beim Sondeneinbau .....	258
9.6	Betriebsrisiken .....	260
	<b>Literatur</b> .....	263
	<b>Gesetze, Normen, Regelwerke</b> .....	269
	<b>Leitfäden von Ländern und Kommunen</b> .....	275
	<b>Glossar A bis Z</b> .....	277