

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XXII
Vorbemerkung	XXV
Formelzeichen und Indizes	XXVII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
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
3 Geothermische Anlagen	39
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

4	Rechtliche Grundlagen	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
5	Grundlagen der Planung	85
5.1	Projektablauf	86
5.2	Erkundungsbedarf für Erdwärmesondenanlagen	90
5.3	Modelle zur Simulation des Wärmetransportes	92
6	Bohrungen und Ausbau	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
7	Planung, Herstellung und Betrieb geschlossener Systeme	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
8	Planung, Herstellung und Betrieb offener Systeme	219
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
9	Risikopotenziale	245
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 setzungsempfindliche 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
Literatur		263
Gesetze, Normen, Regelwerke		269
Leitfäden von Ländern und Kommunen		275
Glossar A bis Z		277