

Geotechnik II

Erdwärme und Heiztechnik

Heizung – Kühlung – Wärmespeicherung

Claus Roderich Mattmüller



Reihe Geotechnik

Geotechnik II

Erdwärme und Heiztechnik

Heizung – Kühlung – Wärmespeicherung

Claus Roderich Mattmüller

Die Reihe „Geotechnik“ umfasst die folgenden bestehenden oder geplanten Bände:

Geotechnik I

Ingenieurgeologie. Baugrunduntersuchung, Grundbau, Baugruben, Straßenbau, Wasserbau

Geotechnik II

Erdwärme und Heiztechnik. Heizung – Kühlung – Wärmespeicherung

Impressum

Erdwärme und Heiztechnik. Heizung - Kühlung - Wärmespeicherung

Dr. Claus Roderich Mattmüller

Weingartshalde 17

D – 72127 Jettenburg

E-mail: mattmueller@forschung-geotechnik.org

Satz in der Schriftart Times New Roman.

Privatdruck.

Druckdatum/ Druck der letzten Teillieferung: 20.09.2009.

Inhalt

1 Übersicht der Geothermie-Technik	11
1.1 Funktionsweise	12
1.2 Einsatzfelder der Geothermie	13
1.2.1 Tiefenbezogene Einsatzfelder	13
1.2.2 Am Zweck orientierte Einsatzfelder	13
1.2.3 Objektbezogene Einsatzfelder	13
1.2.4 Voraussetzungen der Erdwärmennutzung	13
1.2.4.1 Geologische Voraussetzungen	13
1.2.4.2 Technische Voraussetzungen	14
1.3 Vergleich der Erdwärme mit anderen Wärmequellen	15
1.3.1 Wärmequellen	15
1.3.2 Energieträger	15
1.3.3 Pelletheizung	15
1.3.3.1 Technik	15
1.3.3.2 Umweltrelevanz	15
1.4 Kennzeichen der Erdwärmennutzung	16
2 Mechanische Grundlagen der Geothermik	17
2.1 Strömung	18
2.1.1 Strömungsgeschwindigkeit und Aufenthaltsdauer im Rohr	18
2.1.2 Strömungswiderstand	18
2.1.3 Die Viskosität (Zähigkeit)	18
2.1.4 Strömungscharakteristik	19
2.1.5 Stationäre Strömung und Reynolds-Zahl	20
3 Thermophysikalische Grundlagen der Geothermik	23
3.1 Temperatur und Wärme	24
3.1.1 Der thermische Gradient (grad T)	24
3.1.2 Wärmemenge, Energiemenge (E)	24
3.1.3 Latente Wärme	25
3.2 Stoff und Wärme	26
3.2.1 Aggregatzustände	26
3.2.2 Mischen zweier Flüssigkeiten oder Gase	26
3.2.3 Temperaturdehnung	27
3.2.4 Energiedichte	27
3.2.5 Wärmekapazität (CE) und spezifische Wärmekapazität (c, v)	28
3.2.6 Die Wärmeleitfähigkeit (λ)	28
3.2.7 Wärmeübergangswert (α)	29
3.2.7.1 Örtlicher Wärmeübergangskoeffizient	29
3.2.7.2 Mittlerer Wärmeübergangskoeffizient	30
3.2.8 Wärmedurchgangswert (κ)	30
3.2.9 Die Temperaturleitfähigkeit (a)	30
3.3 Wärmetransport	32
3.3.1 Wärmestrom, Leistung (Φ)	32
3.3.2 Wärmestromdichte, Leistungsdichte (qs)	33
3.3.3 Wärmeleitung	33
3.3.3.1 Rand- und Anfangsbedingungen	34
3.3.3.2 Eindimensionales und zeitlich unveränderliches Temperaturfeld	34
3.3.3.3 Eindimensionales, veränderliches Temperaturfeld	36
3.3.4 Kennzahlen für den Wärmetransport	38
3.4 Messmethoden	40
3.4.1 Thermal Response Test	40
3.4.1.1 Thermal Response Test im Bohrloch	40
4 Geothermik	43
4.1 Wärmequellen und Wärmehalt der Erde	44
4.1.1 Primäre endogene Wärmequellen	45
4.1.1.1 Akkretionswärme	45
4.1.1.2 Wärmeproduktion durch Atomzerfall	45
4.1.2 Primäre exogene Wärmequellen	45

4.1.2.1	Sonnenstrahlung	45
4.1.3	Sekundäre Wärmequellen	46
4.2	Der Wärmestrom aus dem Erdinneren	47
4.3	Temperaturen	49
4.3.1	Temperaturen im Untergrund	49
4.3.2	Geothermischer Gradient und geothermische Tiefenstufe	51
4.3.3	Die Bodentemperatur	51
4.3.3.1	Das zeitliche Wandern der Bodentemperatur im Modell	52
4.3.3.2	Frostgrenze und Dauerfrostboden	57
4.3.4	Die Grundwassertemperatur	57
4.4	Regionale Geothermik	59
4.4.1	Geothermische Anomalien in Mitteleuropa	64
4.4.1.1	Anomalie im Oberrheingraben	64
4.4.1.2	Anomalie von Urach-Boll	64
4.4.1.3	Anomalien im schwäbischen Molassebecken	64
4.4.1.4	Anomalien im bayerischen Molassebecken	65
4.4.1.5	Anomalie S von Bremen	65
4.4.1.6	Anomalie von Bentheim/Emsland	65
4.4.2	Thermalquellen in Mitteleuropa	65
4.4.3	Geothermische Anomalien außerhalb Mitteleuropas	65
4.4.3.1	Geothermisches Feld Larderello/Toskana	65
4.4.3.2	The Geysers/Kalifornien	65
4.4.3.3	Olkaria/Kenia	66
4.4.3.4	Nesjavellir/Island	66
5	Anlagensysteme für die tiefe Geothermie	67
5.1	Hot Dry Rock-Anlagen	68
5.1.1	Die Hot Dry Rock-Technik	68
5.1.1.1	Arbeitsprinzip	68
5.1.1.2	Tiefbohrphase und Fracking	68
5.1.1.3	Nutzung	68
5.1.2	Los Alamos/New Mexiko	68
5.1.3	Urach	69
5.1.4	Sulz unterm Wald (Soulz sous forêts)/Elsass	69
5.1.5	Basel	69
5.2	Hydrogeothermische Anlagen	71
5.2.1	Technik der hydrogeothermischen Anlagen	71
5.2.1.1	Planung	71
5.2.1.2	Bau	71
5.2.1.3	Betrieb	71
5.2.2	Geothermisches Kraftwerk Neustadt-Glewe/Mecklenburg	71
5.2.3	Geothermisches Kraftwerk Erding/Bayern	71
6	Untiefe Geothermie	73
6.1	Thermische Nutzung des Grundwassers	74
6.1.1	Thermalquelle, Thermalwasserbrunnen	74
6.1.2	Tunnel-Entwässerungssysteme	74
6.1.3	Wärmegewinnung aus nur einem Bohrloch	74
6.1.4	Förderbrunnen-Schluckbrunnen-System („Doublette“)	74
6.2	Anlagen zur thermischen Nutzung des Gesteins	76
6.2.1	Erdwärmesonden	76
6.2.1.1	Die Solesonde	76
6.2.1.2	Propansonde	79
6.2.1.3	Ammoniaksonde	80
6.2.1.4	CO ₂ -Sonde	81
6.2.1.5	Versuchsanlage Burgdorf/CH	81
6.2.2	Energiepfähle und unterirdische Energiewände	82
6.2.2.1	Aufbau der Energiepfähle	82
6.2.2.2	Funktion	83
6.2.2.3	Planung	83
6.2.2.4	Ausführung	84
6.2.3	Massivabsorber	84

6.2.4	Horizontal- und Grabenkollektoren	85
6.2.5	Energiekörbe	85
6.2.6	Unterirdische Energiespeicher	85
6.2.6.1	Fahrbahntemperung	86
6.3	Kombi-Nutzungen	88
6.3.1	Kombinationen verschiedener Energiequellen und Energieformen	88
6.3.1.1	Kombination Geothermie – Solarthermie	88
6.3.1.2	Kombination Geothermie – Photovoltaik	88
6.3.2	Kombinationen verschiedener Anwendungen	88
6.3.2.1	Heizen und Kühlen	88
6.3.2.2	Heizen und Warmwasserbereiten	89
6.4	Baumaterialien, Wärmeträger und Kältemittel	90
6.4.1	Rohrmaterial	90
6.4.1.1	PE-Rohre	90
6.4.1.2	Rohre aus wärmeleitfähigen Kunststoffen	91
6.4.2	Zemente	91
6.4.3	Wärmeträger	92
6.4.3.1	Wasser-Salz-Lösungen	92
6.4.3.2	Wasser-Alkohol-Lösungen	93
6.4.3.3	Wasser-Aminosäure-Lösungen	94
6.4.4	Kältemittel	95
6.4.4.1	Bezeichnung	95
6.4.4.2	Wirkungen auf die Umwelt	95
6.4.5	Wärmedämmstoffe	95
6.5	Oberirdische Anlagen	96
6.5.1	Setter, Verteiler, Anschlüsse	96
6.5.2	Manometer, Druck-Ausgleichsgefäß, Umwälzpumpen (UP)	96
6.5.3	Wärmepumpe (WP)	97
6.5.3.1	Arten von Wärmepumpen	97
6.5.3.2	Die Kompressions-Wärmepumpe	97
6.5.3.3	Die Absorptions-Wärmepumpe	99
6.5.4	Pufferspeicher	99
6.5.5	Latentwärmespeicher	100
6.5.6	Regler, Wärmezähler	102
6.5.7	Wärmeübertrager (Wärmetauscher)	102
6.5.7.1	Plattenwärmetauscher	102
6.5.7.2	Spiralwärmetauscher	103
6.5.7.3	Rohrwärmeübertrager bzw. Rohrbündelwärmeübertrager	103
6.5.7.4	Rotationswärmeübertrager	103
6.5.8	Klimaanlage	103
6.5.9	Heizkörper	104
6.5.9.1	Fußboden- und Deckenheizung	104
6.5.9.2	Radiatoren, Konvektoren	104
6.5.9.3	Plattenförmige Heiz- und Kühlelemente	105
6.5.10	Lüftungszentralgerät zur Wärme-Rückgewinnung	105
6.5.11	Sonnenkollektoren	105
6.5.11.1	Aufbau und Arbeitsweise	106
6.5.11.2	Absorbertechnik	106
6.5.11.3	Das Solarglas	107
6.5.11.4	Einbau	107
6.6	Dimensionierung geothermischer Anlagen	108
6.6.1	Bemessung des Heizsystems	108
6.6.1.1	Heizleistung und Jahresheizarbeit	108
6.6.1.2	Auslegung der Wärmepumpe	109
6.6.1.3	Wärmeleistung des Pufferspeichers	111
6.6.2	Bemessung der unterirdischen Anlage	111
6.6.2.1	Geologische Beratung	111
6.6.2.2	Materialeigenschaften einer Gesteinsserie	111
6.6.2.3	Dimensionierung von Förderbrunnen-Schluckbrunnen-Systemen	112
6.6.2.4	Dimensionierung von Erdwärmesonden	112

7	Installation der Sondenanlage	119
7.1	Bohr- und Anschlussarbeiten	120
7.1.1	Installation (Überblick)	120
7.1.2	Bohrung und Sondenbau	121
7.1.3	Hausanschluss	121
7.1.3.1	Leitungsgraben und Hausanschluss	121
7.1.3.2	Verbinden und Zusammenfassen von Rohren, Sondenverteiler	122
7.1.3.3	Wand-Durchbrüche	122
7.1.3.4	Isolierarbeiten	124
7.1.4	Befüllen der Sonde	124
7.1.4.1	Planung	124
7.1.4.2	Füllmenge	125
7.1.4.3	Vorgang	125
7.2	Installation, Anlagenbetrieb, Umbau, Rückbau	127
7.2.1	Anlagenbetrieb	127
7.2.2	Umbau	127
7.2.2.1	Ändern der Zusammensetzung des Wärmeträgers	127
7.2.2.2	Wechsel des Wärmeträgers	128
8	Recht und Verwaltung	129
8.1	Recht und Verwaltung in Deutschland	130
8.1.1	Nutzung der Erdwärme	130
8.1.2	Erschließung der Erdwärme	130
8.1.2.1	Entscheidungsphase	130
8.1.2.2	Anlagen auf fremden Grundstück	130
8.1.2.3	Wasserrechtlicher Antrag	130
8.1.3	Gewährleistungsfrist	133
9	Energiewirtschaft und Umweltaspekte	134
9.1	Erdwärme und Energieumsatz	135
9.2	Energie und Schadstoffe	136
9.3	Wirkungen von Erdwärmeanlagen auf den Boden	137
9.3.1	Wirkungen von Erdwärmesonden auf den Boden	137
9.4	Kosten und Einsparungen	138
9.4.1	Geothermische Anlage	138
9.4.1.1	Kosten	138
9.4.1.2	Fördermittel in Deutschland	139
9.4.1.3	Einsparungen und Rentabilität	140
9.4.2	Photovoltaik-Anlage	140
10	Fachbegriffe	141
10.1	Glossar	142
10.2	Fachwörter deutsch – englisch – französisch	148
11	Materialeigenschaften	149
11.1	Dichte, Korn- und Porengrößen	150
11.2	Mechanische Eigenschaften	156
11.2.1	Viskosität von Gasen und Flüssigkeiten	156
11.3	Temperaturdehnung	157
11.4	Wärmekapazität	159
11.5	Wärmeleitfähigkeit	161
11.6	Temperaturleitfähigkeit	166
12	Verzeichnisse	167