Inhaltsverzeichnis

1 Der Wärmehaushalt der Erdkruste bei der Erdwärmegewinnung 1
Literatur 5

2 Der Aufbau von Erdwärmeanlagen 7
2.1 Drei Systeme zur Erdwärmegewinnung 7
2.2 Oberflächennahe EWS-Systeme mit Wasserzirkulation 10
2.3 Oberflächennahe EWS-Systeme als Direktverdampfer (Phasenwechselsonden) 13
2.4 Tiefe Erdwärmesonden 18
Literatur 20

3 Wärmepumpen 21
3.1 Arbeitsprinzip der Wärmepumpe 21
3.2 Leistungszahl und Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen 22
Literatur 25

4 Berechnung von Erdwärmeanlagen 27
4.1 Thermo- und fluiddynamische Grundlagen des Wärmetransportes im Erdreich und in Erdwärmesonden 27
4.1.1 Das physikalisch-mathematische Modell des Wärmetransportes im Erdreich 28
4.1.2 Das physikalisch-mathematische Modell des Wärmetransportes in Erdwärmesonden 29
4.2 Mathematisch-analytische Lösungen für die Einzelsonde 32
4.2.1 Zeitlich konstante Temperatur im Inneren der Erdwärmesonde 32
4.2.2 Speicherung von Wärme mit konstantem Wärmestrom 33
4.2.3 Speicherung von Wärme durch Wasserinjektion in eine Schicht 33
4.2.4 Erdwärmesonde mit Wasserzirkulation als U-Rohr oder Koaxialsonde 35

4.2.5 Thermal Response Test 39
4.3 Numerische Simulation der Einzelsonde – ModTherm 41
4.3.1 Örtliche Diskretisierung (Zelleinteilung) 42
4.3.2 Stetigkeit der Eigenschaften 43
4.3.3 Randbedingungen 45
4.3.4 Wärmeübergang zwischen Fließräumen und Feststoff 47
4.3.5 Zeitliche Diskretisierung 47
4.3.6 Steuerung von Wärme- und Kälteleistung 48
4.3.7 Flutpunkt-/Staupunktberechnung beim Direktverdampferverfahren 50
4.3.8 Vergleich der numerischen Lösung mit analytischen Lösungen 51
4.3.9 Speicherung der Ergebnisse für die 3D-Simulation von Sondenfeldern 52
4.3.10 Auswertung von Thermal Response Tests mit numerischen Verfahren 53
4.4 3D-Simulation von Sondenfeldern – ModGeo3D 59
4.4.1 Bilanzverfahren und Zeitschrittbeschränkung 60
4.4.2 Die Denkweise des U.S.G.S. für hydrogeologische Aufgabenstellungen (Modflow/MT3D) 61
4.4.3 Numerische Lösung der Strömungs- und Wärmetransportgleichung 63
4.4.4 Berücksichtigung von Erdwärmesonden (EWS) 65
4.4.5 Eingabe der Daten, die nicht in Modflow/MT3D vorgesehen sind 66
4.5 Software 67
4.6 Berechnungsbeispiele und Vergleiche 68
4.6.1 Erdwärme für ein Einfamilienhaus 68
4.6.2 Beheizung und Klimatisierung eines Geschäftshauses 72
4.7 Optimierung von Erdwärmesonden 79
4.7.1 Tiefe der Sonde 81
4.7.2 Thermische Leitfähigkeit der Rohre und Wärmeübergangszahlen 82
4.7.3 Wärmeleitfähigkeit des Verfüllbaustoffes 84
4.7.4 Einfluss der Zirkulationsrate 85
4.7.5 Einfluss des Sondendurchmessers (großvolumige EWS, GeoKOAX) 86
Literatur 89

5 Bau von Erdwärmesonden 91
5.1 Geologisches Vorprofil, Sondentyp und –eckwerte 92
5.2 Thermal Response Test 95
5.3 Genehmigungsantrag 96

5.4 Bohrverfahren und Technik 97
5.4.1 Bohrverfahren 97
5.4.2 Informationsgewinn aus Bohrungen 99
5.4.3 Bohranlagen 102
5.5 Sondenkomplettierung, Verrohrung, Verfüllung 104
5.5.1 Wasserzirkulationsverfahren 104
5.5.2 DVD-Sonden, Phasenwechselsonden 106
5.5.3 Verfüllung von Erdwärmesonden 107
5.6 Qualitätssicherung 109
Literatur 113

6 Überblick über genehmigungsrechtliche Aspekte für Erdwärmebohrungen 115
6.1 Rechtsverbindliche Regelwerke (Bundesgesetze) 115
6.2 Nicht rechtsverbindliche Regelwerke 117
6.2.1 Arbeitspapier der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA-Papier) 117
6.2.2 VDI-Richtlinie 4640 117
6.2.3 Leitfäden der Bundesländer 119
Literatur 122

7 Anlagen zur Energiespeicherung 125
7.1 Oberflächennahe Wärmespeicher im Erdreich 127
7.2 Oberflächennahe Kältespeicherung im Erdreich 128
7.3 Wärmespeicherung mit Tiefen Erdwärmesonden 128
7.4 Hydrothermale Wärmespeicherung mit Tiefbohrungen 128
Literatur 132

8 Kostenvergleiche 133
8.1 Kosten für die in Abschn. 4.6.1 beschriebene Einfamilienhaus-Heizungsanlage 134
8.2 Kosten für die in Abschn. 4.6.2 beschriebene Geschäftshaus-Anlage 135

9 Ergänzende Informationen 137
9.1 Input-Datei ModTherm für das Beispiel Einfamilienhaus 137
9.2 Zusammenfassung der gesetzlichen Grundlagen, Richtlinien und Vorschriften 139
9.3 Zusammenfassung der wichtigsten Leitfäden der Deutschen Bundesländer 147

Sachverzeichnis 181

http://www.springer.com/978-3-662-48200-1

Bau und Berechnung von Erdwärmeanlagen
Einführung mit praktischen Beispielen
Haefner, F.; Wagner, R.M.; Meusel, L.
2015, XIV, 183 S. 70 Abb., 60 Abb. in Farbe., Hardcover
ISBN: 978-3-662-48200-1