

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	11
2	Grundlagen	13
2.1	Geschlossene Erdwärmesysteme	15
2.1.1	Erdwärmesonden	16
2.1.2	Energiepfähle	17
2.1.3	Fundament-/Bodenabsorber	18
2.1.4	Sonstige geschlossene Erdwärmesysteme	19
2.2	Offene Erdwärmesysteme	19
2.3	Wärmepumpe/Kältemaschine	20
2.4	Freier Kühlbetrieb	23
2.5	Geeignete Wärmeübergabesysteme im Gebäude	23
2.5.1	Thermisch aktivierte Bauteile	24
2.5.2	Kapillarrohrmatten	25
2.5.3	Heiz- und Kühlsegel	26
2.5.4	Raumlufttechnische Anlagen	26
3	Planung	27
3.1	Normen und Richtlinien	27
3.2	Gesetzliche Grundlagen	28
3.2.1	Wasserhaushaltsgesetz und Wassergesetze der Länder	29
3.2.2	Bundesberggesetz	29
3.2.3	Lagerstättengesetz	30
3.3	Antrag, Genehmigung und Förderung	30
3.4	Bodengutachten	32
3.4.1	Temperaturverlauf im Erdreich – geothermischer Wärmestrom	35
3.4.2	Thermal Response Test	35
3.4.3	Temperaturtiefenprofil	37
3.5	Geometrie Erdwärmesysteme	37
3.6	Planungskennwerte	38
3.7	Planungswerkzeuge und Simulationsprogramme	39
3.8	Konzeptvarianten und Bausteine für die Erdwärmenutzung	41
3.8.1	Kombinationen von Systembausteinen mit Erdwärmenutzung	43
3.8.2	Umsetzungsbeispiel	46
3.9	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeitsberechnung	51
3.9.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067	52
3.9.2	Beispielgebäude	53

4	Energie- und Betriebsmonitoring	62
4.1	Ganzheitliche Systemerfassung/-aufnahme	63
4.2	Umsetzung eines Energie- und Betriebsmonitorings mittels Gebäudeautomation	64
4.3	Messkonzept	69
4.3.1	Energiemonitoring	69
4.3.2	Betriebsmonitoring	74
4.4	Messdatenauswertung	75
4.4.1	Bildung von Kenngrößen und -zahlen	76
4.4.2	Detaillierte Betriebsanalyse und Optimierung	79
4.4.3	Thermischer Komfort	82
5	Ergebnisse aus dem Betrieb realisierter Projekte	84
5.1	Heiz- und Kühlkonzepte realisierter Beispiele	84
5.1.1	Erdwärmesonden – Rickmers Reederei, Hamburg	87
5.1.2	Erdwärmesonden – Hauptverwaltung der Gelsenwasser AG, Gelsenkirchen	89
5.1.3	Energiepfähle – EnergieForum, Berlin	90
5.1.4	Energiepfähle – VGH Regionaldirektion Lüneburg	93
5.1.5	Bodenabsorber – VW-Bibliothek, Berlin	94
5.1.6	Grundwasser: Schluck- und Entnahmebrunnen – Headquarters Agfa HealthCare, Bonn	96
5.2	Gebäude- und Anlagenperformance im Vergleich	99
5.2.1	Jahresenergieerträge und Anlageneffizienz	100
5.2.2	Energiekosteneinsparungen und CO ₂ -Reduktionen	104
5.2.3	Thermischer Komfort	109
5.2.4	End- und Primärenergieverbrauch der Gebäude	113
6	Betriebserfahrungen und Empfehlungen	117
6.1	Dimensionierung von Erdwärmesystemen	118
6.2	Allgemeine Betriebserfahrungen und -empfehlungen	119
6.2.1	Erdwärmesysteme	119
6.2.2	Energieerzeugung	120
6.2.3	Übergabesysteme	123
6.3	Regelungs- und steuertechnische Einbindung in das Gesamtkonzept ..	125
6.3.1	Primärkreis – Erdwärmesystem	125
6.3.2	Sekundärkreis – Betonkernaktivierung	126
6.3.3	Regelungstechnische Abstimmung kombinierter Systeme	133
7	Zusammenfassung	134

8	Anhang	136
9	Zitierte und sonstige verwendete Literatur, Abbildungs- verzeichnis	143
9.1	Zitierte Literatur	143
9.2	Sonstige, verwendete Literatur	145
9.3	Abbildungsverzeichnis	146
10	Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung	147
10.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	147
10.2	Forschungsberichte	147
11	Weiterführende Literatur	148
11.1	Literatur.	148
11.2	BINE Informationsdienst	151
12	Autoren	152