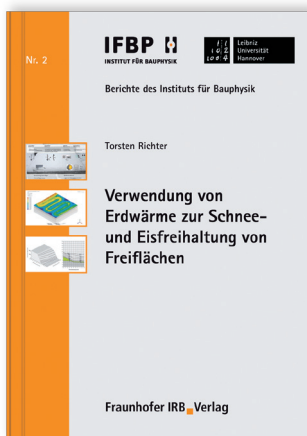


Dieser Text ist entnommen aus dem Fachbuch:



Torsten Richter

## Verwendung von Erdwärme zur Schnee- und Eisfreihaltung von Freiflächen

Berichte des Instituts für Bauphysik der Leibniz Universität Hannover,  
Band 2

2010, 373 S., zahlr. farbige Abbildungen und Tabellen, Kartoniert  
ISBN 978-3-8167-8213-1 | Fraunhofer IRB Verlag

Für weitere Informationen, für die Durchführung von Downloads  
oder zur Buchbestellung klicken Sie bitte hier:

[Richter, Verwendung von Erdwärme ...](#)

Fraunhofer IRB Verlag  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Telefon +49(0)711 / 970 - 25 00  
Telefax +49(0)711 / 970 - 25 08

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Problemstellung und Stand der Technik .....</b>	<b>18</b>
1.1	Einführung und Problemstellung .....	18
1.2	Stand der Technik .....	19
1.3	Ziel der Arbeit.....	28
<b>2</b>	<b>Energiequelle Erdwärme .....</b>	<b>29</b>
2.1	Einführung.....	29
2.2	Thermische Nutzung des Bodens.....	30
2.2.1	Überblick über Wärmespeicher .....	30
2.2.2	Erstellung und Auslegung einer Erdwärmequelle.....	32
2.2.3	Erschließungskosten der Geothermie .....	34
2.3	Oberflächennaher Temperaturverlauf .....	34
<b>3</b>	<b>Ermittlung von Temperaturfeldern.....</b>	<b>38</b>
3.1	Mechanismen der Wärmeübertragung .....	38
3.2	Temperaturfeldberechnung .....	39
3.3	Wärmeübergangsrandbedingungen .....	41
3.3.1	Konvektiver Wärmeübergang an Bauwerksoberflächen.....	41
3.3.2	Konvektiver Wärmeübergang in Rohrströmungen .....	45
3.3.3	Strahlungs-Wärmeübergang .....	51
3.3.3.1	Kurzwellige Strahlung .....	51
3.3.3.2	Langwellige Strahlung.....	51
<b>4</b>	<b>Klimatische Einwirkungen auf Freiflächen .....</b>	<b>60</b>
4.1	Umgebungslufttemperatur, Wind und Bewölkung .....	60
4.2	Berechnung der kurzwelligen Sonneneinstrahlungsintensitäten auf beliebig orientierte und geneigte Flächen .....	65
4.2.1	Berechnung des Sonnenstandes .....	66
4.2.2	Berechnung der Solarstrahlung mit und ohne Berücksichtigung des Bewölkungsgrades.....	73
4.2.2.1	Intensität der extraterrestrischen Bestrahlungsstärke.....	73
4.2.2.2	Trübung der Atmosphäre – Maß der Gesamttextinktion.....	74
4.2.2.3	Berechnung der direkten Sonnenstrahlung auf eine zur Einfallrichtung normalen Ebene für wolkenlosen Himmel .....	76
4.2.2.4	Bestimmung der Sonneneinstrahlung auf horizontale Flächen ....	77
4.2.2.5	Bestimmung der Sonneneinstrahlung auf beliebig orientierte und geneigte Flächen.....	80

4.2.2.6	Gesamt-Strahlungsbilanz aller auf eine beliebig orientierte und geneigte Körperfläche einfallenden kurzwelligen Strahlungsflussdichten.....	85
4.2.3	Berücksichtigung von Verschattungen und Horizontüberhöhungen .....	90
4.2.4	Umrechnung von Strahlungsdaten aus Messwerten oder Daten des Testreferenzjahres auf beliebig orientierte Flächen.....	95
4.3	Langwelliger Strahlungsaustausch.....	100
4.3.1	Vorbemerkungen .....	100
4.3.2	Atmosphärische Gegenstrahlung A .....	100
4.3.2.1	Berechnung der Himmelstemperatur $T_{\text{sky}}$ .....	100
4.3.2.2	Berechnung der fiktiven Himmelstemperatur $T_{\text{fSky}}$ .....	105
4.3.2.3	Langwellige atmosphärische Gegenstrahlung auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche.....	107
4.3.2.4	Reflektierte atmosphärische Gegenstrahlung auf eine geneigte Fläche .....	107
4.3.3	Langwellige Ausstrahlung E .....	109
4.4	Schnee und Eis in Deutschland .....	110
4.4.1	Schneeverhältnisse und -verteilung in Deutschland.....	110
4.4.1.1	Mittleres Andauerverhalten der Schneedecke .....	111
4.4.1.2	Mittleres maximales Wasseräquivalent der Schneedecke .....	113
4.4.1.3	Glatteisbildung und Schneefallintensitäten.....	117
4.4.2	Physikalische Grundlagen der Ablation.....	119
4.4.2.1	Kurzwellige Strahlungsbilanz der Schneefläche.....	122
4.4.2.2	Langwellige Strahlungsbilanz der Schneefläche .....	123
4.4.2.3	Latente Wärmestromdichte $q_{\text{Latent}}$ .....	123
4.4.2.4	Konvektive Wärmestromdichte $q_{\text{Konv}}$ .....	125
4.4.2.5	Wärmezufuhr durch Regen $q_{\text{Regen}}$ .....	126
4.4.2.6	Bodenwärmestrom $q_{\text{Boden}}$ und Wärmestrom durch planmäßige Beheizung $q_{\text{Heiz}}$ .....	127
4.4.3	Schnee- und Eisvorhersagemodelle .....	127
4.4.4	Energiebedarf für beheizte Freiflächen und Grobauslegung eines Erdwärmesonden-Speichers .....	128
<b>5</b>	<b>Versuchstechnische Untersuchung .....</b>	<b>134</b>
5.1	Verwendete Mess-, Steuerungs- und Versuchstechnik .....	135
5.1.1	Messung von Wetterdaten .....	135
5.1.2	Temperaturmesswerte der Versuchsplatten .....	137
5.1.3	Messung von Durchflüssen und Medientemperaturen .....	139
5.1.4	Wärmequelle und -senke, Steuerungstechnik.....	141
5.1.5	Messdatenauswertung und Darstellung.....	142
5.2	Freifeldversuche .....	142
5.2.1	Versuchsaufbauten .....	142
5.2.2	Versuche bei realen Schneefällen.....	146
5.2.2.1	Versuch am 17./18.03.2008 - mäanderförmige Beheizung .....	146
5.2.2.2	Versuch am 22./23.03.2008 - punktuelle Beheizung .....	150
5.2.3	Versuche bei sommerlichen Temperaturen .....	153
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines FE-Modells.....</b>	<b>155</b>

6.1	Simulationsaufbau .....	155
6.1.1	Numerische Modellierung der Beheizung .....	156
6.1.1.1	Mäanderförmige Beheizung.....	156
6.1.1.2	Punktuelle Beheizungen.....	160
6.1.2	Stoffparameter .....	162
6.2	Validierung des FE-Modells .....	163
6.2.1	Numerische Überprüfung durch Berechnungsanalogie zur Fußbodenheizung .....	163
6.2.2	Numerische und versuchstechnische Untersuchung des Aufheiz- und Abkühlungsverhalten beheizter Konstruktionen unter Laborbedingungen .....	168
6.2.3	Numerische und versuchstechnische Untersuchung beheizter und unbeheizter Bodenplatten unter Realbedingungen.....	176
6.2.3.1	Modellabbildung ohne Beheizung.....	176
6.2.3.2	Modellabbildung mit Beheizung .....	181
6.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	190
<b>7</b>	<b>Entwicklung einer numerischen Bewertungsmethode für beheizte Freiflächen .....</b>	<b>191</b>
7.1	Untersuchte Konstruktionsarten .....	191
7.1.1	Randbedingungen bei aufgeständerten, luftumspülten Konstruktionsflächen.....	193
7.1.2	Randbedingungen ebenerdig aufgebauter Freiflächen.....	194
7.2	Untersuchte Einflussparameter.....	195
7.3	Ansatz zur thermischen Dimensionierung und quantifizierten Beurteilung einer Freifläche .....	200
7.3.1	Spezifische Aufheiz-Reaktionszeit $t_A$ .....	200
7.3.2	Bestimmung der zum Schmelzen zur Verfügung stehenden Wärmestromdichte $q_s$ .....	202
7.3.2.1	Vergleichsrechnungen.....	203
7.4	Parametervariationen zur Berechnung geeigneter Konstruktionsaufbauten .....	214
7.4.1	Vorbemerkungen .....	214
7.4.2	Ergebnisse für Freiflächen mit mäanderförmig verlegten Heizrohren .....	214
7.4.2.1	Einfluss des Konstruktionsaufbaus.....	214
7.4.2.2	Einfluss der Vorlauftemperatur .....	226
7.4.2.3	Einfluss der Durchflussmenge .....	233
7.4.2.4	Grenzwertdarstellungen geeigneter Konstruktionen .....	238
7.4.3	Ergebnisse für Freiflächen mit punktuell angeordneten Beheizungselementen .....	254
7.4.3.1	Vorbemerkungen.....	254
7.4.3.2	Einfluss des Konstruktionsaufbaus.....	254
7.4.3.3	Grenzwertdarstellungen geeigneter Konstruktionen .....	262
7.5	Temperaturbeanspruchungen in beheizten Konstruktionsaufbauten.....	268
7.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen .....	268

<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>271</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>276</b>
<b>10</b>	<b>Software .....</b>	<b>283</b>
<b>11</b>	<b>Anlagen .....</b>	<b>284</b>
11.1	Anlage A – Klimatische Regionen und Klimate in Deutschland .....	285
11.2	Anlage B – Dokumentation Versuchsaufbau .....	288
11.3	Anlage C – Versuchsdaten vom 17. bis 18.03.08.....	294
11.4	Anlage D – APDL-Makros für Ansys.....	300
11.5	Anlage E – Wärmeübergang Rohrwendel.....	305
11.6	Anlage F – Versuchsdaten vom 16. bis 18.02.08 .....	307
11.7	Anlage G – Versuchsdaten vom 03. bis 05.03.08 .....	310
11.8	Anlage H – Randbedingungen Variationsrechnungen .....	315
11.9	Anlage I – Versuchsdaten vom 22. bis 23.03.08 .....	318
11.10	Anlage J – Ergebnisse für mäanderförmig verlegte Beheizungen .....	325
11.11	Anlage K – Grenzwertkurven für mäanderförmige Beheizungen.....	340
11.12	Anlage L – Ergebnisse für punktuelle Beheizungen .....	367
11.13	Anlage M – Grenzwertkurven für punktuelle Beheizungen .....	371