



# Auslegung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren

## 1 Einleitung

Die Wahl der Wärmequelle für eine Wärmepumpe ist vor allem von den örtlichen Gegebenheiten und einer Vielzahl weiterer Parameter abhängig. Ziel ist es, unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen die ökologisch und ökonomisch sinnvollste Wärmequelle zu wählen. Wichtige Kriterien sind die:

- Grundstücksgröße,
- Bodenbeschaffenheit,
- Lage des Grundstücks (eben, Hang-Lage),
- Zugänglichkeit (z. B. für Bohrgeräte),
- Genehmigungsfähigkeit (z. B. bezüglich Grundwassernutzung) und
- Investitionsbereitschaft.

Die richtige Dimensionierung der Wärmequellenanlage spielt für den einwandfreien und wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe eine entscheidende Rolle und ist entsprechend sorgfältig durchzuführen. Eine Unterdimensionierung der Wärmequellenanlage wirkt sich negativ auf die erzielbare Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe aus.

Unabhängig von der Art der Wärmequelle ist zur Dimensionierung der Wärmequellenanlage die Kälteleistung bzw. Wärmeentzugsleistung des Verdampfers der Wärmepumpe maßgebend. Da die Wärmepumpe ihrerseits auf Grundlage der gewählten Wärmequelle festgelegt wird, ist die Wärmequelle ggf. zunächst grob vorzudimensionieren und dann anhand der Leistungsdaten der gewählten Wärmepumpe genau auszulegen. Ist eine aktive Kühlung geplant, so ist die Leistung der Wärmequelle ggf. größer zu wählen.

Inhalt dieser Planungsunterlage ist die Auslegung von Erdwärmekollektoren. Mit Hilfe von Diagrammen und Tabellen können die maximalen Wärmeentzugsleistungen von horizontalen Erdwärmekollektoren, Kapillarrohrmatten und Erdwärmekörpern abgelesen werden. Die Auslegungshilfen sind als Richtwerte zu sehen und ersetzen nicht die fachgerechte, standortbezogene Planung.

## 2 Allgemeine Planungshinweise

Erdwärmekollektoren sind oberflächennahe, horizontal verlegte Wärmerohre im Erdreich, die von einem Wärmequellengemisch durchflossen werden. Voraussetzung für die Nutzung von Erdwärmekollektoren sind:

- ausreichend große, freie Grundstücksflächen,
- kein oder nur geringes Gefälle und
- geeignete Bodenbeschaffenheit (möglichst bindiger, feuchter Boden).

Sind die oben genannten Anforderungen erfüllt, stellen Erdwärmekollektoren eine preisgünstige und effiziente Form der Wärmequelle dar.

Nachfolgende Planungshinweise sollten bei der Verwendung von Erdwärmekollektoren vorab berücksichtigt werden:

- Erdwärmekollektoren dürfen nicht überbaut, die Oberfläche über den Kollektoren darf nicht versiegelt werden.
- Die Verlegetiefe liegt zwischen 1,2 m und 1,5 m (mindestens 0,2 m unter der Frostgrenze).
- Der Verlegeabstand wird üblicherweise zwischen 0,3 m und 0,8 m in Abhängigkeit der Größe der Entzugsrohre und der Bodenart gewählt (Anhaltswert: 0,8 m bei einem Rohrdurchmesser DN 32).

- Im Regelfall werden mehrere Erdwärmekollektorkreise verlegt, die in einem Verteiler zusammengeführt werden. Die einzelnen Kreise sollten nicht länger als 100 m sein und die gleichen Längen aufweisen.
- Der Abstand zur Grundstücksgrenze sollte mindestens 1 m betragen, ggf. fordern lokale Vorschriften einen größeren Abstand.
- Wasser- und Abwasserleitungen sind mit ausreichendem Abstand zum Kollektor zu verlegen.

### 3 Kriterien zur Begrenzung der Entzugsleistung von Erdwärmekollektoren

Für einen sicheren Betrieb, sind die vom Wärmepumpenhersteller angegebenen Betriebsgrenzen unbedingt einzuhalten. Um das maximal mögliche Druckverhältnis sowie die Temperatureinsatzgrenzen des Verdichters nicht zu überschreiten und um das Erstarren der Wärmepumpensole zu verhindern, wird deshalb die minimale Soletemperatur begrenzt. Üblicherweise wird angegeben, dass bei einer Spreizung von 3 K, die Solerücklauftemperatur in die Wärmepumpe  $-5\text{ °C}$  nicht unterschreiten darf.

Standardumwälzpumpen können nur einen begrenzten Druckverlust überwinden. Damit der Druckverlust im Verdampfer sowie der in eventuell langen Anschlussleitungen mit überwunden werden kann, sollte im Kollektor selbst maximal ein Druckabfall von 35 kPa entstehen.

Die Abkühlung des Erdreichs in etwa 1,2 m Tiefe bei einem richtig ausgelegten Erdwärmekollektor wirkt sich in der Regel nicht schädlich auf die Umwelt aus. Es ist lediglich möglich, dass sich das Wachstum der Pflanzen über dem Kollektor um wenige Wochen verzögert.

Die Eisbildung im Winter um die Kollektorrohre herum, ist jedoch aufgrund zweier Effekte zu begrenzen:

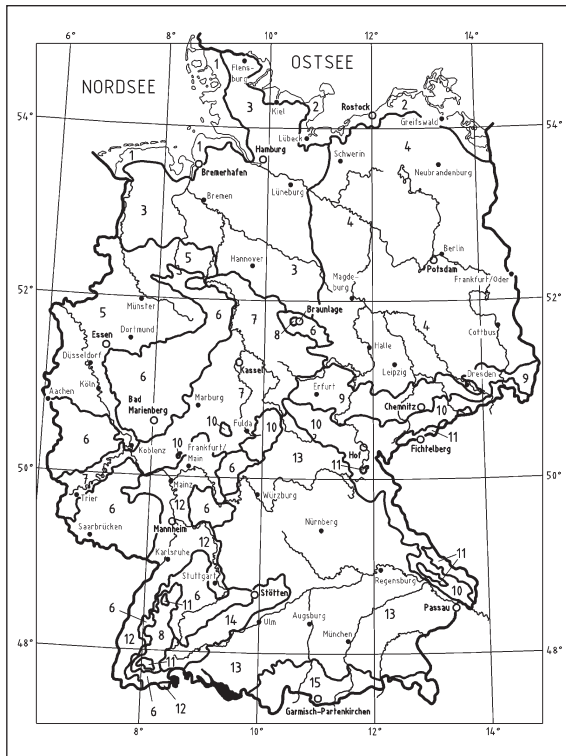
1. Das Eis dehnt sich beim Erstarren aus. Wächst der Eispanzer um die Kollektorrohre herum so weit an, dass er die natürliche Eisschicht des gefrorenen Bodens (Frostgrenze) berührt, so können sich die dabei auftretenden Spannungen im Erdreich nicht abbauen. Es entstehen vor allem bei bindigen Böden Hebungen über den Kollektorrohren. Die natürliche Frostgrenze liegt in Deutschland abhängig von der Bodenart und den Witterungsverhältnissen zwischen 50 und 70 cm. Bei einer Verlegetiefe von ca. 1,2 m sollte sich der Bereich des gefrorenen Bodens um den Kollektor somit maximal 50 cm nach oben ausdehnen.
2. Sind im Frühjahr die Eistradien um benachbarte Kollektorrohre noch so groß, dass sie sich berühren, so ist der vertikale hydraulische Wassertransport im Boden unterbrochen. Das Schmelzwasser und die stärker werdenden Niederschläge können dann nicht versickern, und es bildet sich Staunässe über dem Kollektor. Da der jährliche Temperaturverlauf und der Beginn der Vegetation im Frühjahr regional sehr unterschiedlich sind, ist es nicht zweckmäßig ein festes Grenzdatum festzulegen. Stattdessen wurde bei den Berechnungen angenommen, dass der entsprechende Zeitpunkt erreicht ist, wenn die über mehrere Tage gemittelte Umgebungstemperatur eine Grenztemperatur von ca.  $12\text{ °C}$  erreicht. Dieser Zeitpunkt liegt in der Regel zwischen April und Mitte Mai eines Jahres. Bis dahin sollen die Eistradien so weit zurückgetaut sein, damit sie sich gerade nicht mehr berühren. Das versickernde Wasser beschleunigt danach das weitere Abtauen.

### 4 Abhängigkeit von Klimaregionen

Die Jahresmitteltemperatur und die Temperaturschwankungen (Temperaturamplituden) der Monatsmittelwerte beeinflussen erheblich die Leistungsfähigkeit eines Erdwärmekollektors. Je wärmer eine Region im Durchschnitt ist, desto mehr Wärme strömt von der Erdoberfläche und aus tieferen Erdschichten zum Kollektor. Dies verringert die Eisbildung und beschleunigt das Abtauen im Frühjahr. In wärmeren Regionen können daher die Erdwärmekollektoren auf eine wesentlich höhere spezifische Entzugsleistung ausgelegt werden, bis eines der Auslegungskriterien verletzt wird. Daneben sind auch die durchschnittlichen Niederschlagsmengen innerhalb Deutschlands sehr unterschiedlich. Das führt dazu, dass beim ansonsten



gleichen Bodentyp der Wassergehalt unterschiedlich ausfällt und dadurch sich auch die thermischen Bodeneigenschaften deutlich unterscheiden. In der DIN 4710 wird Deutschland in 15 Klimazonen eingeteilt. Bei den in den Anhängen I bis III dargestellten Diagrammen und Tabellen wurde sich an diese Einteilung angelehnt.



Klimazonen der  
DIN 4710:2003-01\*)

### 5 Auslegung horizontaler Erdwärmekollektoren (Anhang I)

Bei den Auslegungsdiagrammen für horizontale Erdwärmekollektoren ist die maximal mögliche flächenspezifische Entzugsleistung in Abhängigkeit vom Rohrabstand dargestellt, bei dem gerade noch keines der oben genannten Kriterien verletzt wird. Es werden die vier Bodentypen Sand, Lehm, Schluff und sandiger Ton unterschieden, die das breite Spektrum, der in der Natur vorkommenden Böden gut widerspiegeln.

	Sand	Lehm	Schluff	sandiger Ton
Wassergehalt in % Vol.	9,3	28,2	38,1	36,4
Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)	1,22	1,54	1,49	1,76
Spezifische Wärmekapazität in J/(kgK)	805	1 229	1 345	1 324
Dichte kg/m <sup>3</sup>	1 512	1 816	1 821	1 820

Tabelle 1: Bodenbeschaffenheit

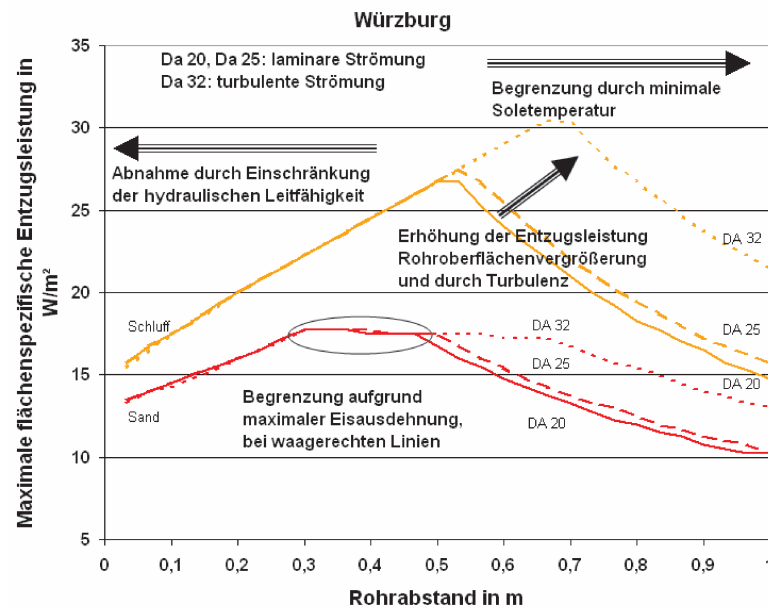
Darüber hinaus sind die Unterschiede bei der Verwendung unterschiedlicher Rohrdurchmesser ersichtlich (DA 20, DA 25 und DA 32).

Bei hohen flächenspezifischen Entzugsleistungen können durch zu kleine oder zu große Rohrabstände die Auslegungskriterien der Betriebssicherheit oder Umweltbeeinflussung verletzt werden. Wie in den Diagrammen ersichtlich ist, gibt es einen Rohrabstand, bei dem die höchste flächenspezifische Entzugsleistung möglich ist, ohne dass eines der Auslegungskriterien verletzt wird.

Links neben diesem Maximum ist das begrenzende Kriterium die Gewährleistung der hydraulischen Leitfähigkeit, um Matsch über dem Kollektor zu vermeiden. Die

\*) Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die beim Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Eisbildung ist relativ unabhängig vom Rohrdurchmesser, weshalb dort die Linien der drei verschiedenen Rohre aufeinander verlaufen.



Rechts neben dem Maximum ist die minimale Soletemperatur das begrenzende Kriterium. Hierbei sind die Unterschiede in der maximalen flächenspezifischen Entzugsleistung zwischen den einzelnen Rohrdurchmessern deutlich ersichtlich. Je größer der Rohrdurchmesser, desto größer ist bedingt durch die größere Wärmeübertragungsfläche die maximale spezifische Entzugsleistung. Bei turbulenter Strömung im Rohr ist bei gleichem Rohrdurchmesser aufgrund des besseren Wärmeübergangs eine höhere maximale spezifische Entzugsleistung zu erreichen als bei laminarer Strömung. Im Rohr DN 32 kann auch bei der Berücksichtigung des maximalen Druckverlusts eine turbulente Strömung immer erreicht werden, sodass auf die Berechnung mit laminarer Strömung verzichtet wurde. Bei den Rohrdurchmessern DA 20 und DA 25 sind die maximalen flächenspezifischen Entzugsleistungen sowohl für eine turbulente als auch eine laminare Strömung im Rohr dargestellt.

Bei Sandboden gibt es kein direktes Maximum, sondern eine „maximale waagerechte Begrenzungslinie“. Hierbei ist die maximal mögliche Eisausdehnung das begrenzende Kriterium.

## 6 Auslegung von Kapillarrohrmatten als Erdwärmekollektoren (Anhang II)

Kapillarrohrmatten entsprechen prinzipiell horizontalen Erdwärmekollektoren mit sehr kleinem Rohrdurchmesser und sehr kleinem Rohrabstand. Hieraus lassen sich auch deren Vor- und Nachteile herleiten.

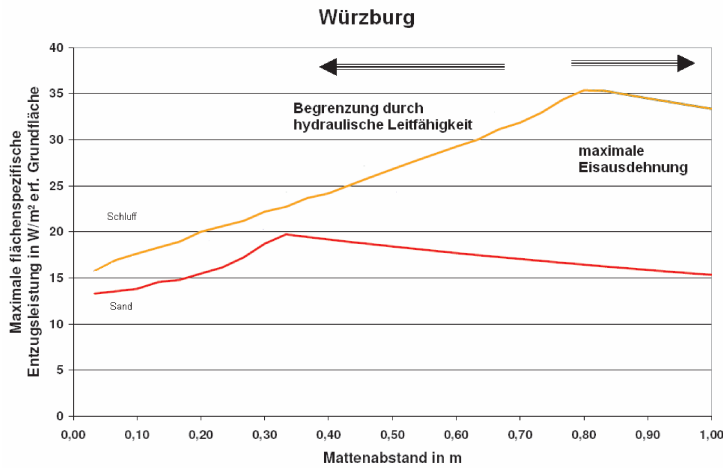
Aufgrund des kleinen Rohrabstandes und somit des flächigen, gleichmäßigen Wärmeentzugs können bei gleichen flächenspezifischen Entzugsleistungen im Vergleich zu Standardkollektoren wesentlich höhere Soletemperaturen erreicht werden. Ein Kollektor mit Kapillarrohrmatten könnte auf eine deutlich höhere flächenspezifische Entzugsleistung ausgelegt werden, bis die minimale Soletemperatur unterschritten werden würde.

Die Nachteile bezüglich der Kriterien der Umweltbeeinflussung verstärken sich jedoch gleichermaßen. Das Eis um den Kollektor muss beinahe vollständig abgetaut werden, bis Zwischenräume frei werden, durch die das Wasser versickern kann. Die Auslegungsdiagramme für horizontale Erdwärmekollektoren sind somit auch für geschlossene Kapillarrohrmatten gültig.

Um das Versickern von Oberflächenwasser im Frühjahr früher zu gewährleisten, ist es möglich, Zwischenräume zwischen den einzelnen Matten zu lassen. Da nur in diesen Zwischenräumen rechtzeitig das Eis so weit zurücktauen kann, damit das Wasser versickert, sollten Kapillarrohrmatten nicht allzu breit sein, um zu ver-



hindern, dass sich trotz ausreichender Mattenabstände direkt über den Matten Matsch bildet. Eine maximale Mattenbreite von 2 m wird hierbei als sinnvoll erachtet.



In den Auslegungsdiagrammen sind die maximale, auf die Mattenfläche bezogene Entzugsleistung für die vier Bodentypen Sand, Lehm, Schluff und sandiger Ton dargestellt. Links neben dem Knick wirkt stets die Gewährleistung der hydraulischen Leitfähigkeit im Frühjahr begrenzend, rechts davon die maximale Eisausdehnung. Bei Sandböden ist die Gewährleistung der hydraulischen Leitfähigkeit auch bei gefrorenem Boden oft gegeben, weshalb zum Teil höhere Entzugsleistungen als bei den bindigen Bodentypen erreicht werden können.

In der Tabelle sind jeweils die maximalen Entzugsleistungen pro Mattenfläche bzw. Gartenfläche und die dafür notwendigen Mattenabstände dargestellt.

### 7 Auslegung von Erdwärmekörpern als Erdwärmekollektoren (Anhang III)

Bei Erdwärmekörpern handelt es sich um zylindrische oder kegelförmige Drahtkörbe, die mit Kollektorröhren umwickelt sind. Sie werden in einer Tiefe von ca. 1 m bis 3,5 m unter der Erdoberfläche vergraben. Die Baugrube wird danach mit dem Aushub bzw. Sand wieder verfüllt. Die Abstände zwischen benachbarten Erdwärmekörpern werden von den Herstellern zwischen 3 m und 6 m angegeben.

In den Tabellen werden für zwei Korbgeometrien die maximalen Entzugsleistungen pro Korb dargestellt, wenn zu vier Seiten jeweils ein Nachbarkorb mit vier Meter Abstand zwischen den Mittelpunkten existiert. Eine adiabate Hauswand in 2 m Abstand hat hierbei den selben Einfluss wie ein Nachbarkorb mit 4 m Abstand.

Korbgeometrie:

1. Durchmesser 1,3 m; Höhe 1,3 m
2. Durchmesser 0,5 m; Höhe 2,0 m

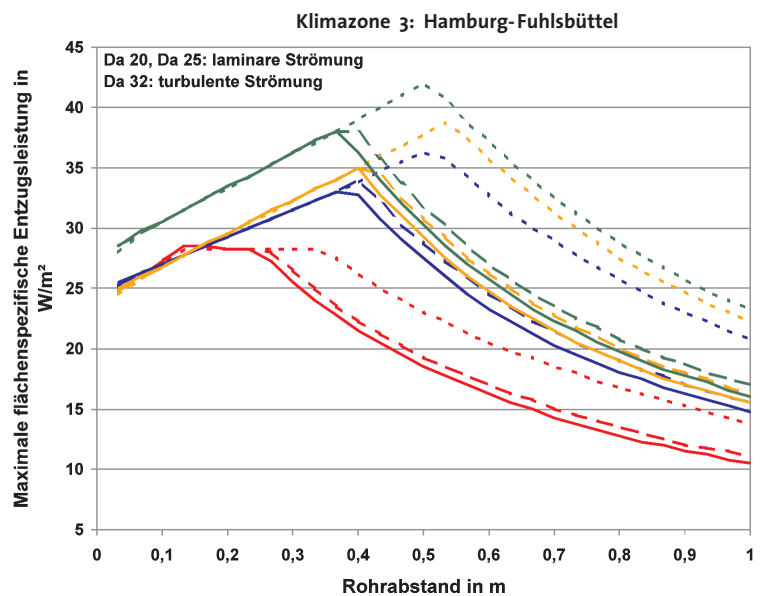
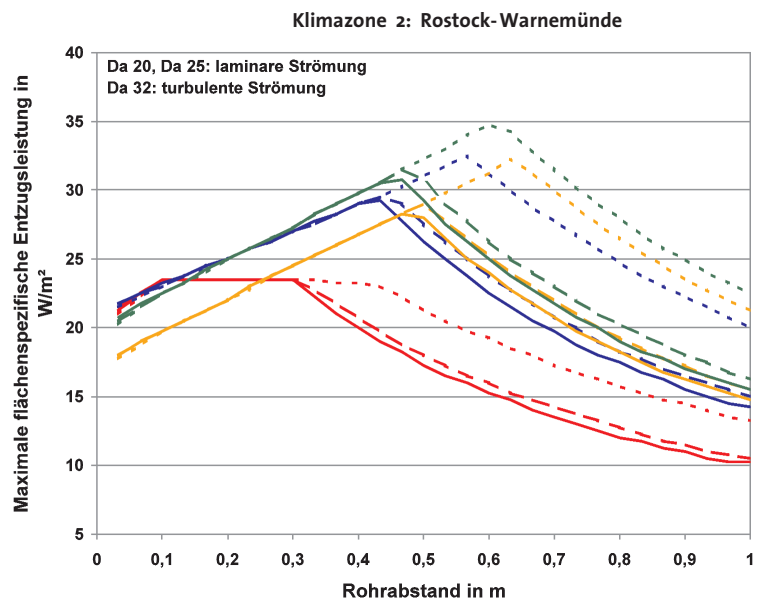
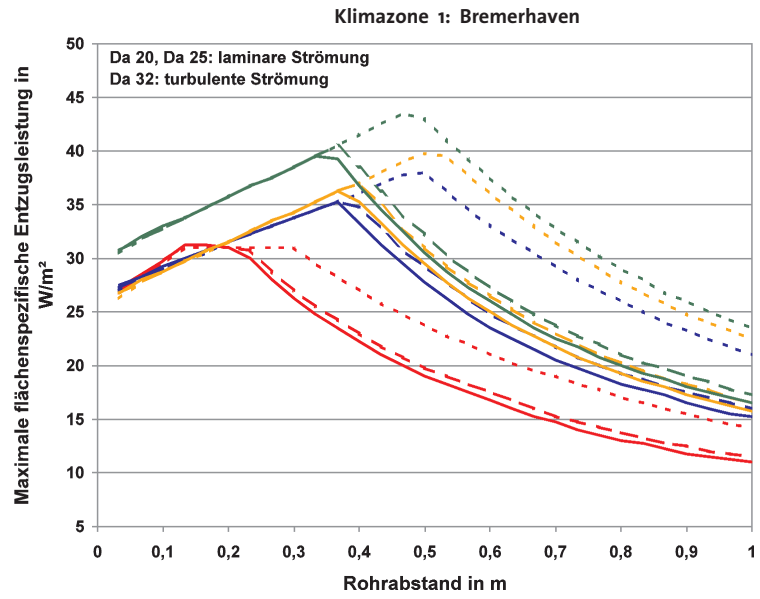
### Anhang 1 Horizontale Erdwärmekollektoren

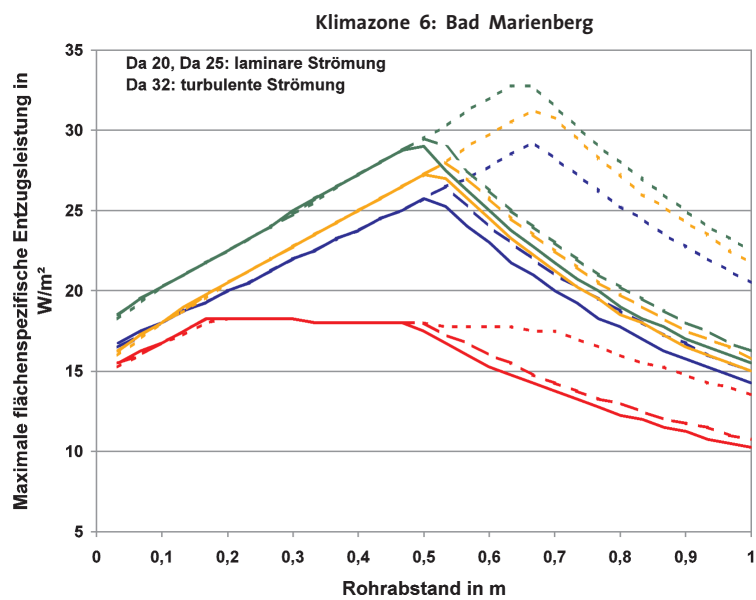
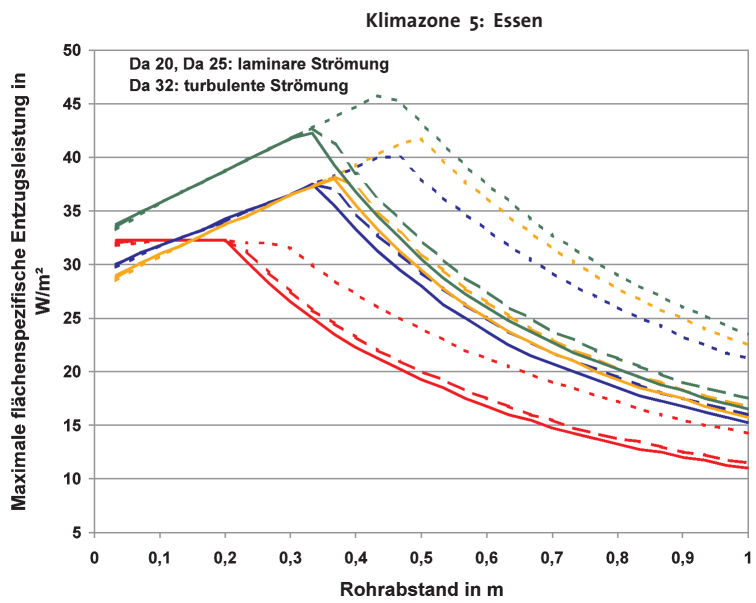
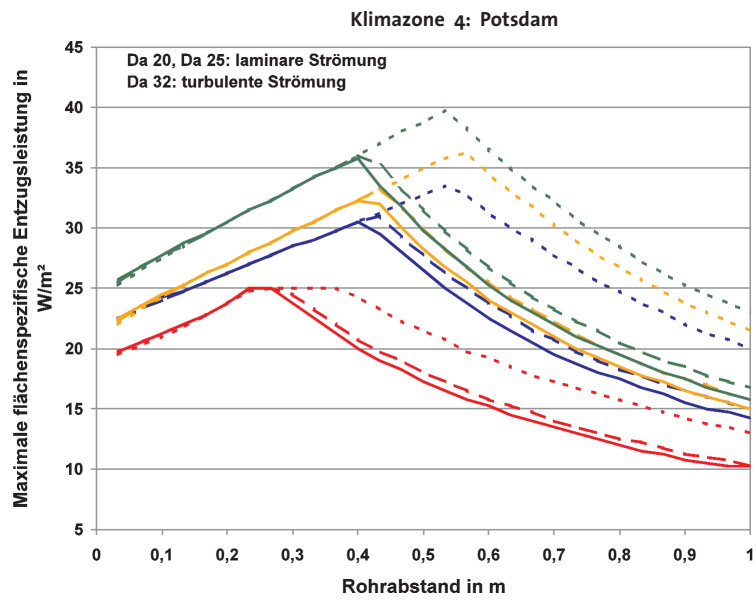
Es wurden die Berechnungen für die DA 20 und DA 25 mit jeweils laminarer Strömung durchgeführt, bei den Durchmessern DA 32 erfolgte die Berechnung mit turbulenter Strömung. Um die Simulationsergebnisse mit den Randbedingungen turbulent oder laminar zu erreichen, wurden die Temperaturspreizung und Rohrlänge variiert, bei der die gewünschte Strömungsform bei Beachtung des maximalen Druckverlustes erreicht wurde.

Bei laminarer Strömung und den betrachteten Durchmessern ist eine Rohrlänge von 100 m möglich, grundsätzlich ist jedoch der maximale Druckverlust nicht zu überschreiten.

Bodenart und Rohrdurchmesser

- Sand Da 20
- - - Sand Da 25
- . . . Sand Da 32
- Lehm Da 20
- - - Lehm Da 25
- . . . Lehm Da 32
- Schluff Da 20
- - - Schluff Da 25
- . . . Schluff Da 32
- sandiger Ton Da 20
- - - sandiger Ton Da 25
- . . . sandiger Ton Da 32





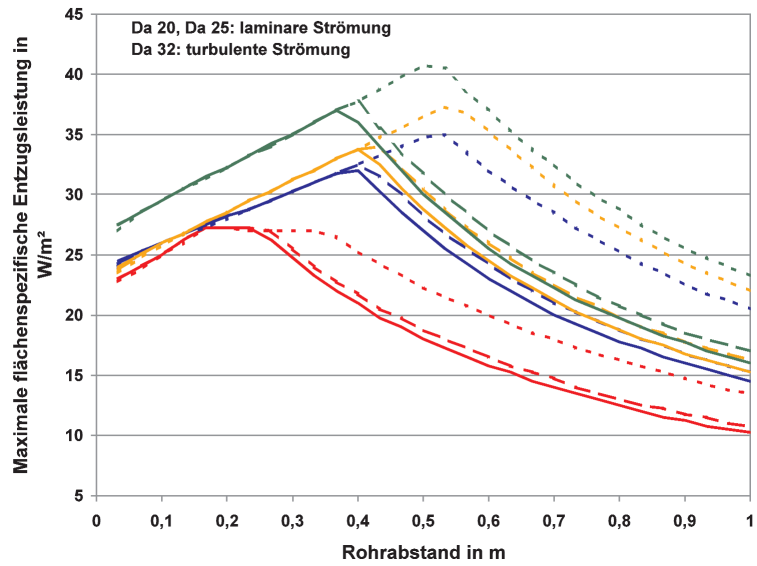
#### Bodenart und Rohrdurchmesser

- Sand Da 20
- - - Sand Da 25
- . . . Sand Da 32
- Lehm Da 20
- - - Lehm Da 25
- . . . Lehm Da 32
- Schluff Da 20
- - - Schluff Da 25
- . . . Schluff Da 32
- sandiger Ton Da 20
- - - sandiger Ton Da 25
- . . . sandiger Ton Da 32

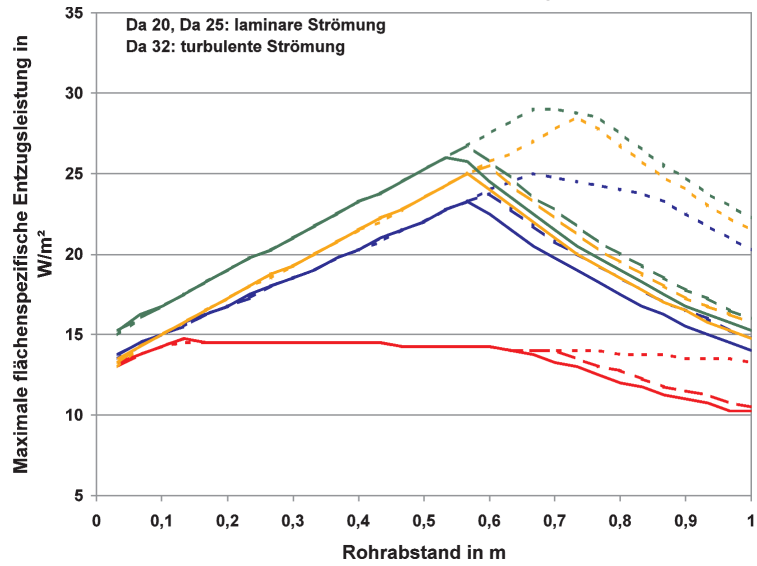
Bodenart und Rohrdurchmesser

<span style="color: red;">—</span>	Sand Da 20
<span style="color: red;">- - -</span>	Sand Da 25
<span style="color: red;">· · ·</span>	Sand Da 32
<span style="color: blue;">—</span>	Lehm Da 20
<span style="color: blue;">- - -</span>	Lehm Da 25
<span style="color: blue;">· · ·</span>	Lehm Da 32
<span style="color: orange;">—</span>	Schluff Da 20
<span style="color: orange;">- - -</span>	Schluff Da 25
<span style="color: orange;">· · ·</span>	Schluff Da 32
<span style="color: green;">—</span>	sandiger Ton Da 20
<span style="color: green;">- - -</span>	sandiger Ton Da 25
<span style="color: green;">· · ·</span>	sandiger Ton Da 32

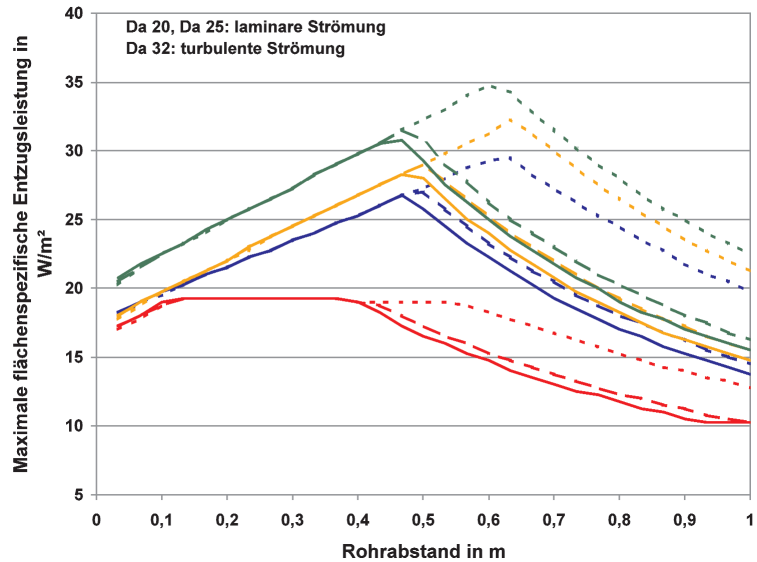
Klimazone 7: Kassel



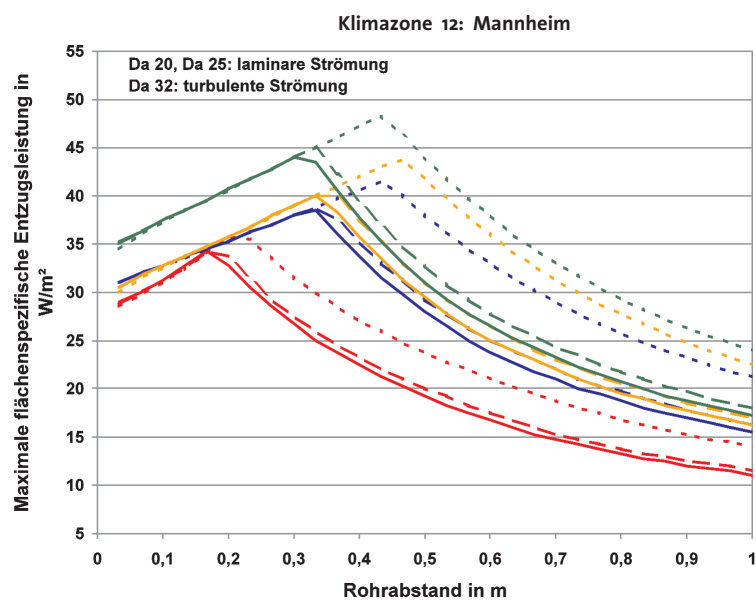
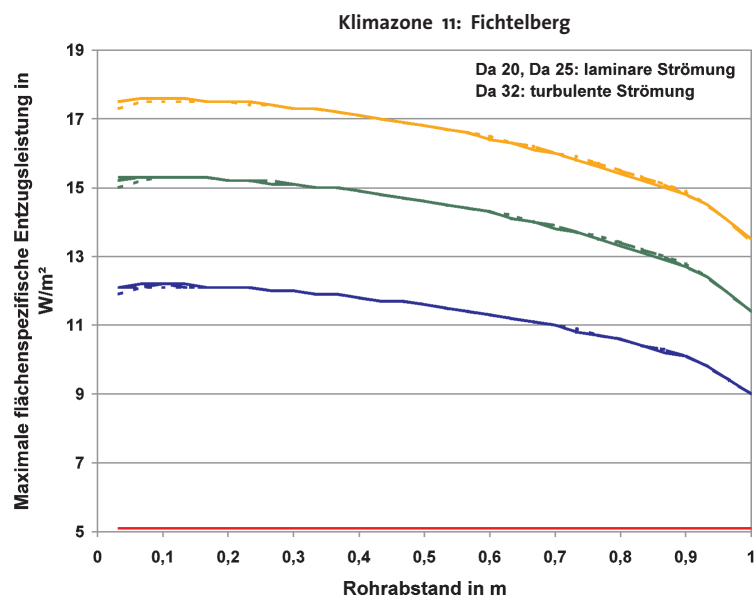
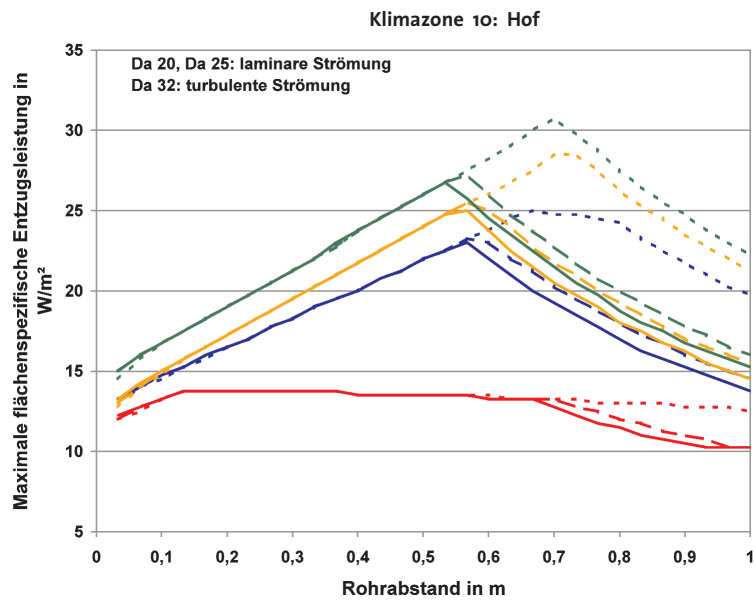
Klimazone 8: Braunlage



Klimazone 9: Chemnitz





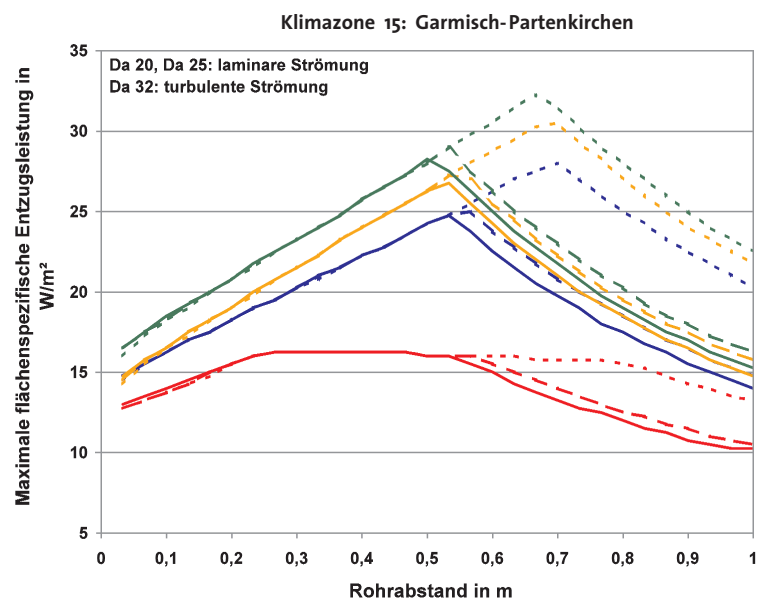
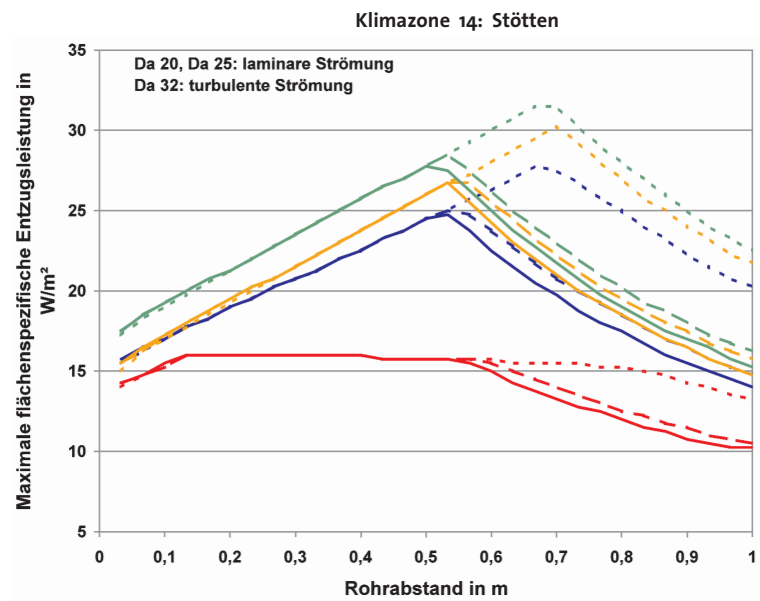
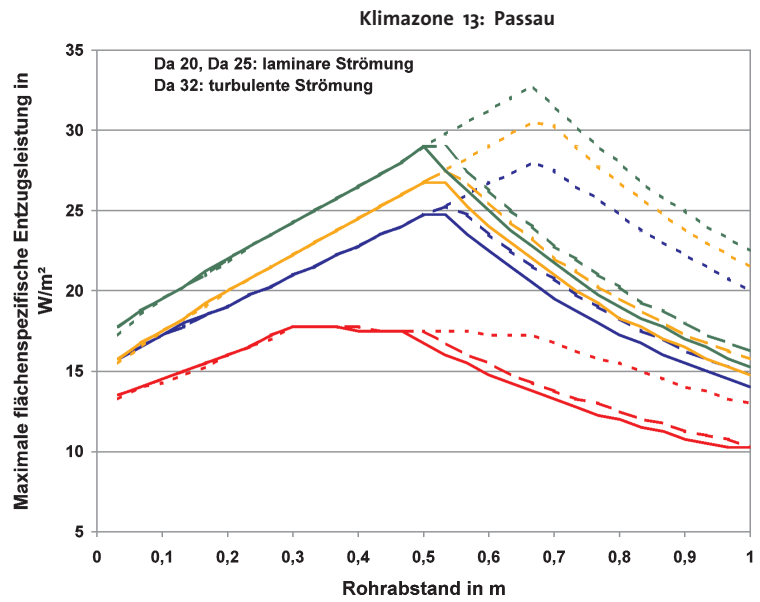


#### Bodenart und Rohrdurchmesser

- Sand Da 20
- - Sand Da 25
- - - Sand Da 32
- Lehm Da 20
- - Lehm Da 25
- - - Lehm Da 32
- Schluff Da 20
- - Schluff Da 25
- - - Schluff Da 32
- sandiger Ton Da 20
- - sandiger Ton Da 25
- - - sandiger Ton Da 32

Bodenart und Rohrdurchmesser

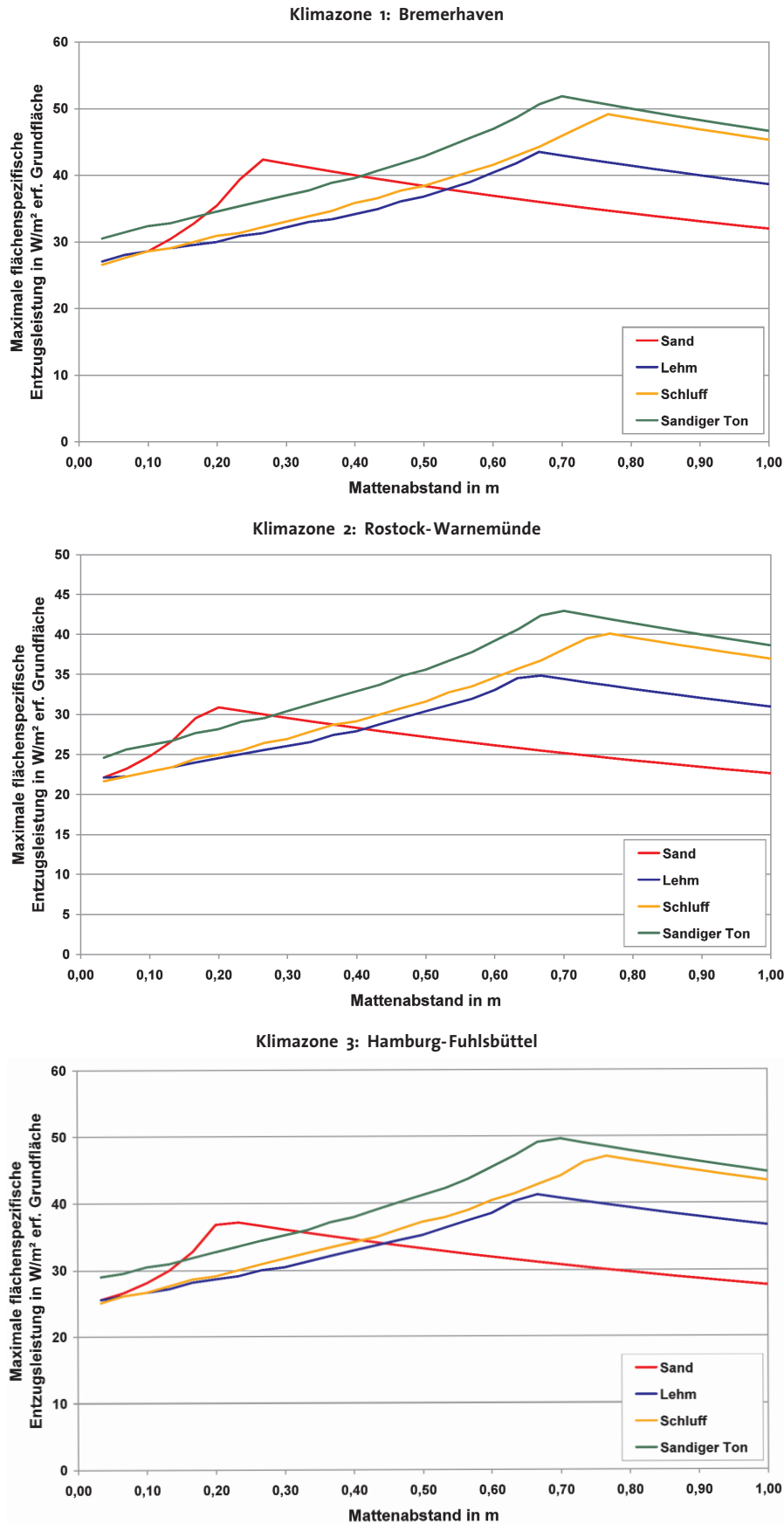
- Sand Da 20
- - - Sand Da 25
- . . . Sand Da 32
- Lehm Da 20
- - - Lehm Da 25
- . . . Lehm Da 32
- Schluff Da 20
- - - Schluff Da 25
- . . . Schluff Da 32
- sandiger Ton Da 20
- - - sandiger Ton Da 25
- . . . sandiger Ton Da 32

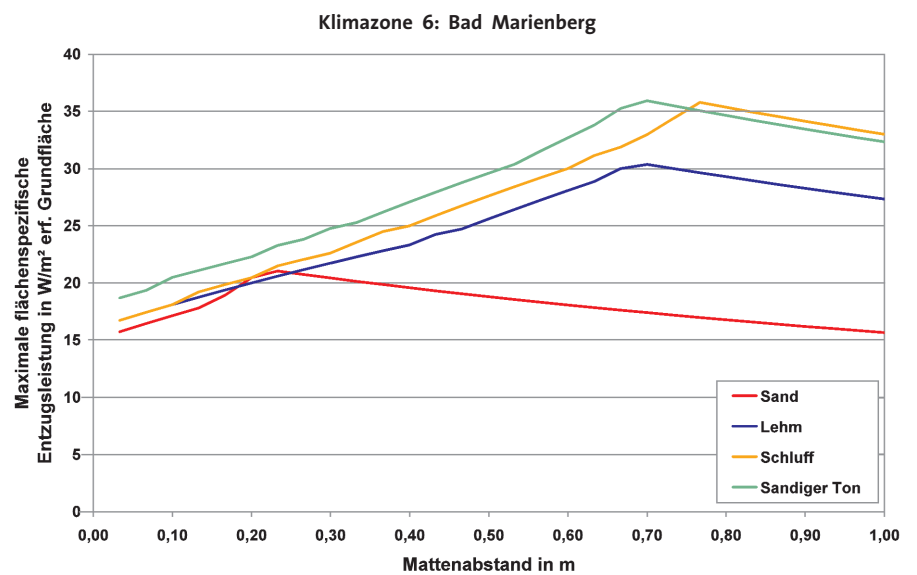
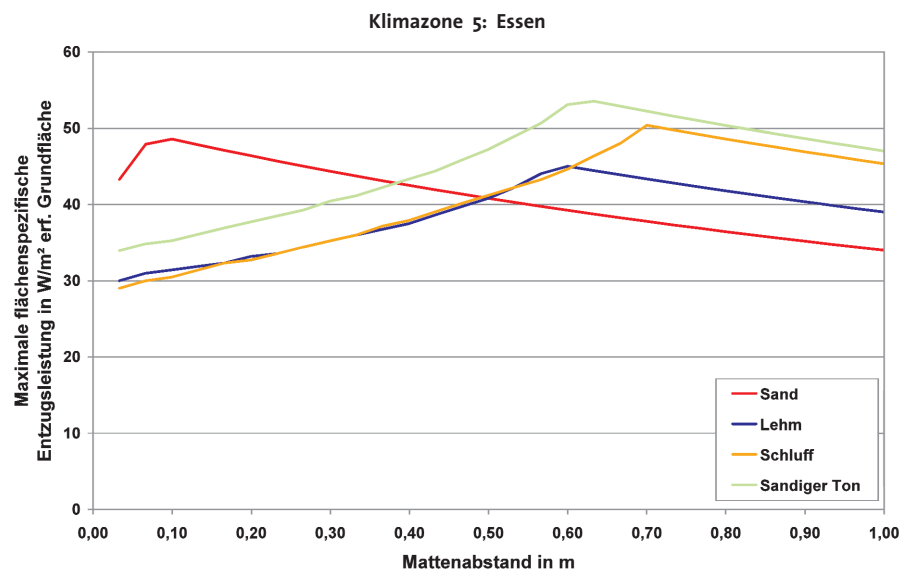
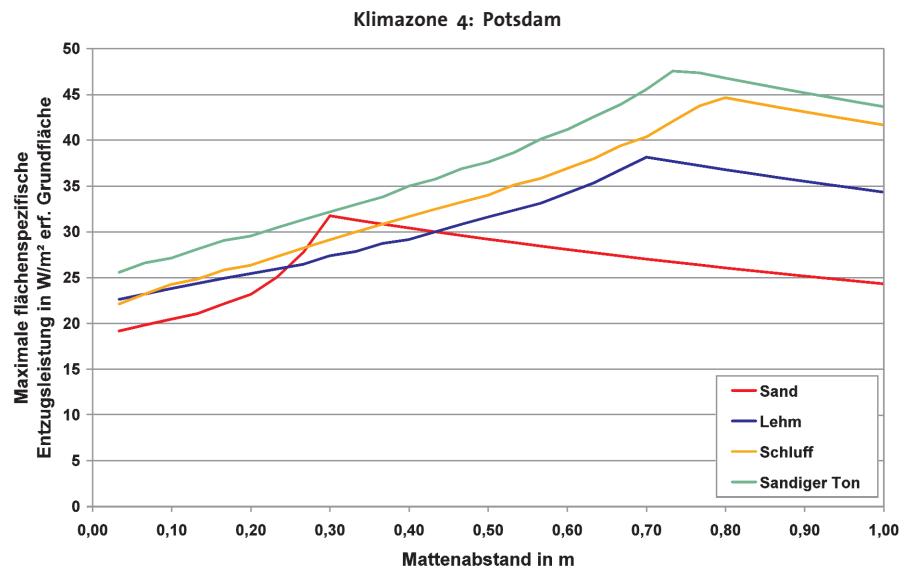


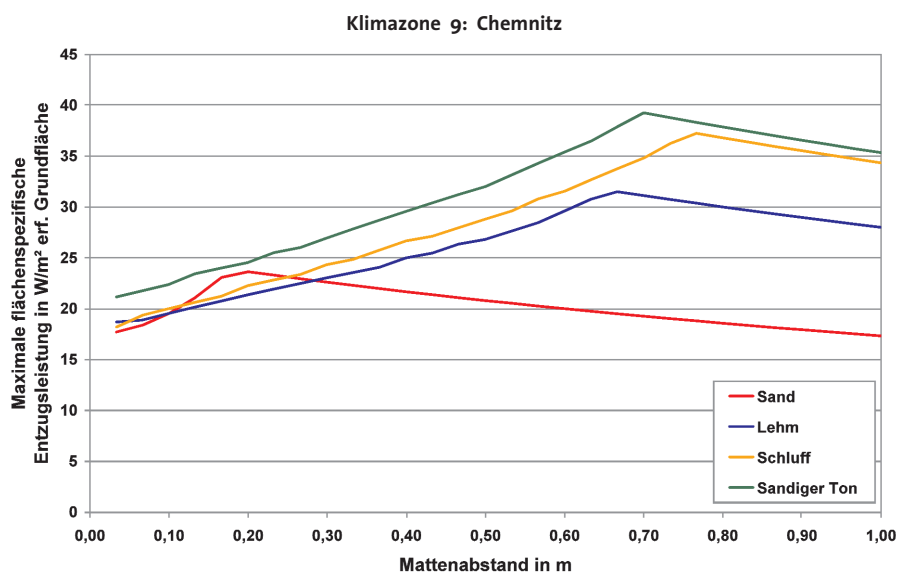
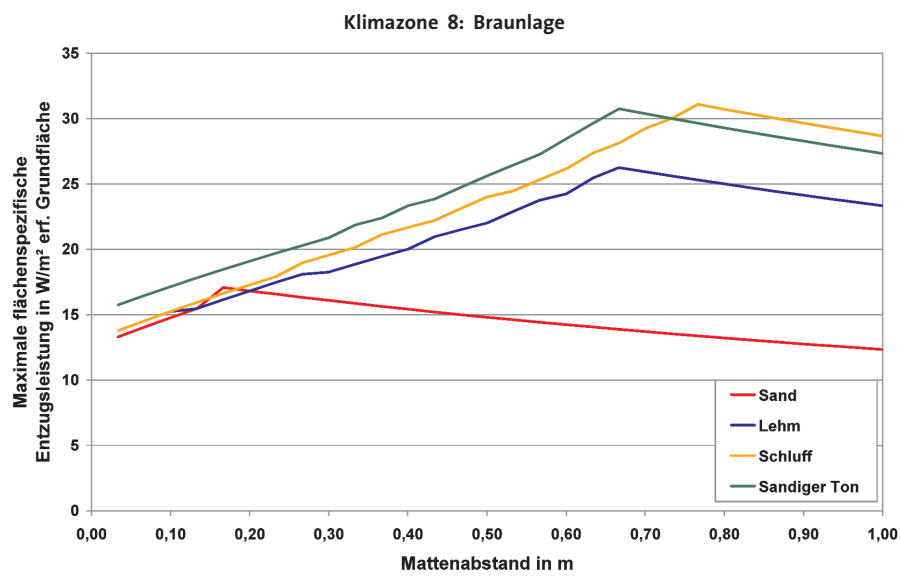
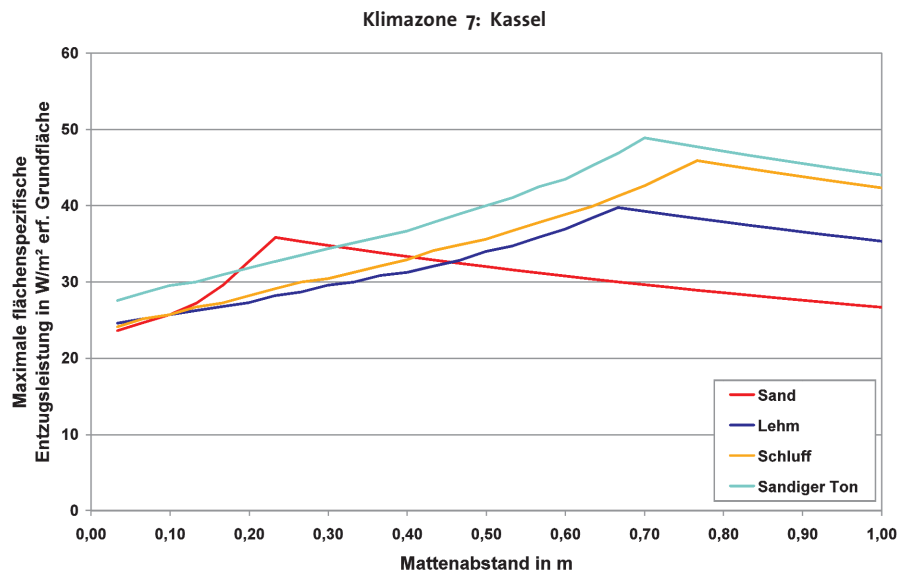


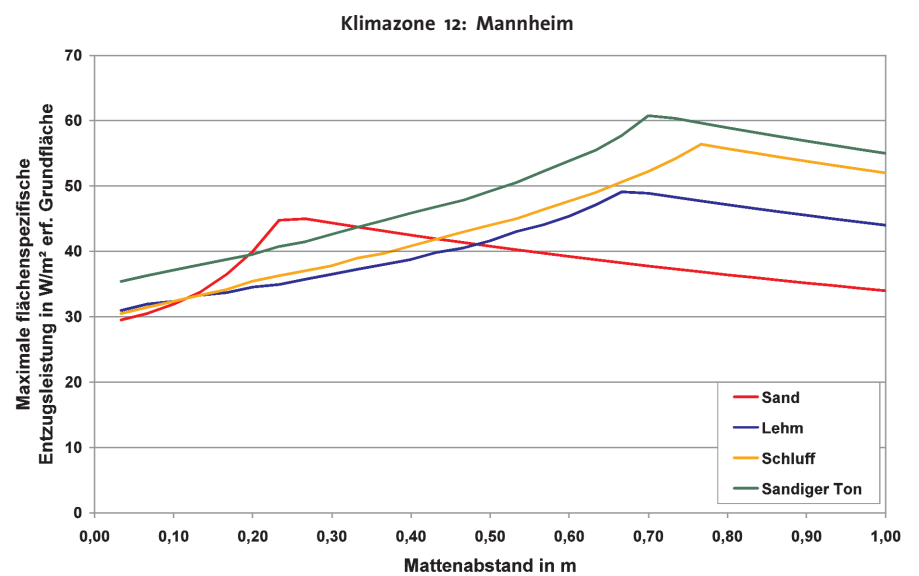
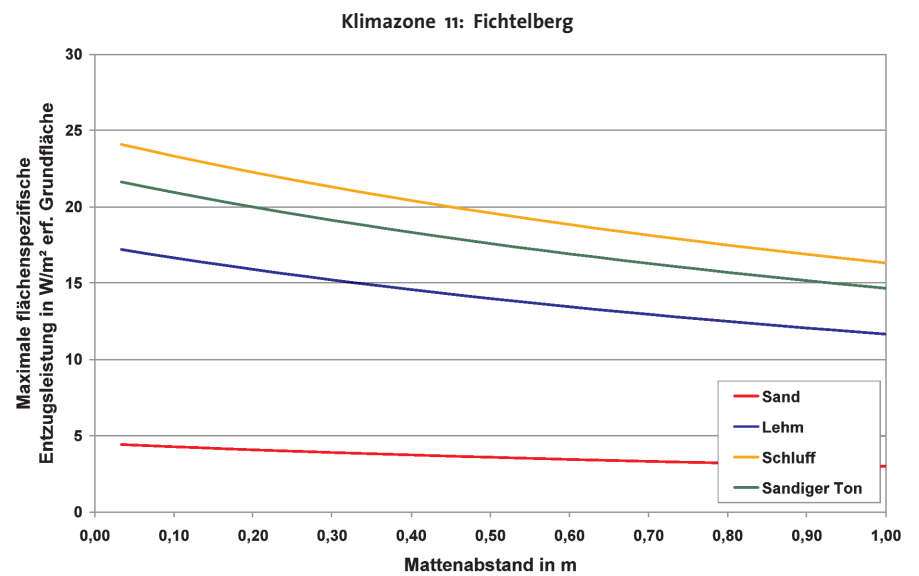
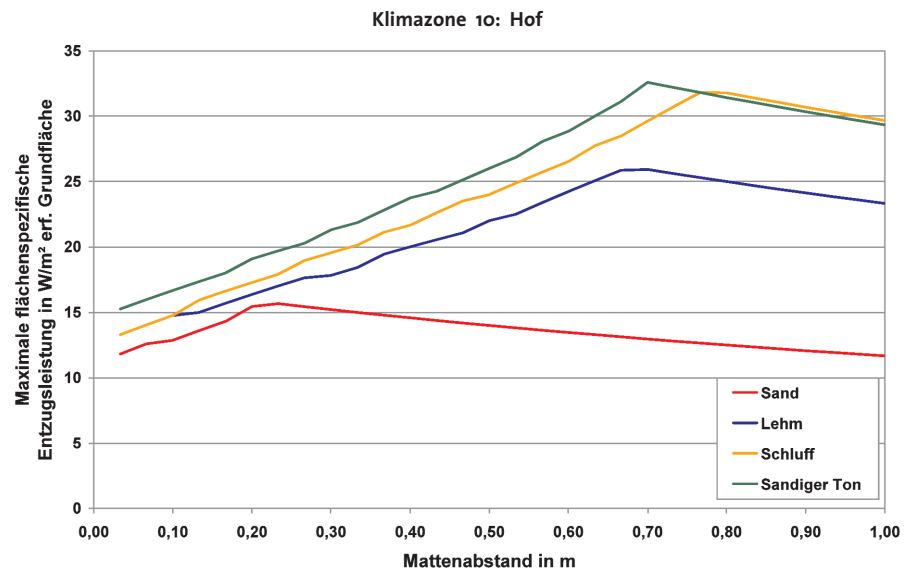
## Anhang 2 Kapillarrohrmatten als Erdwärmekollektoren

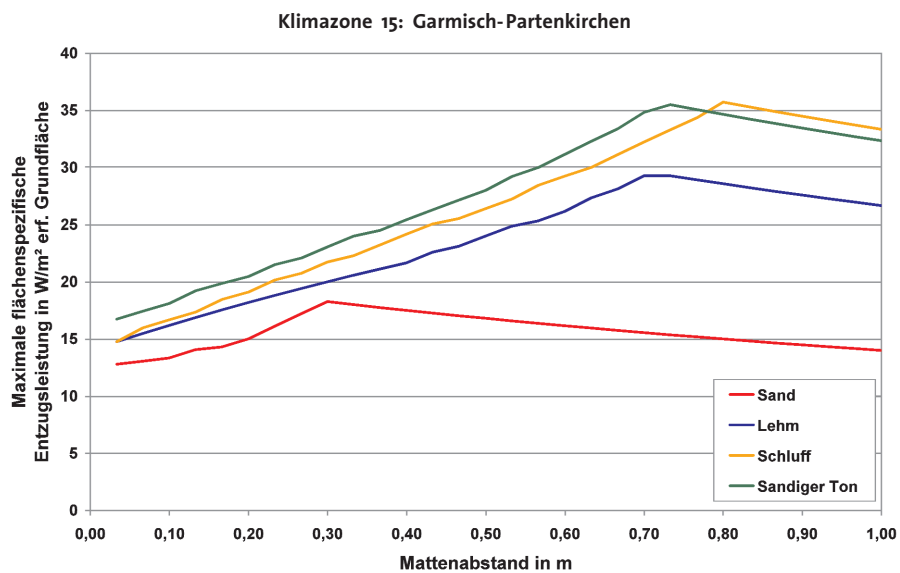
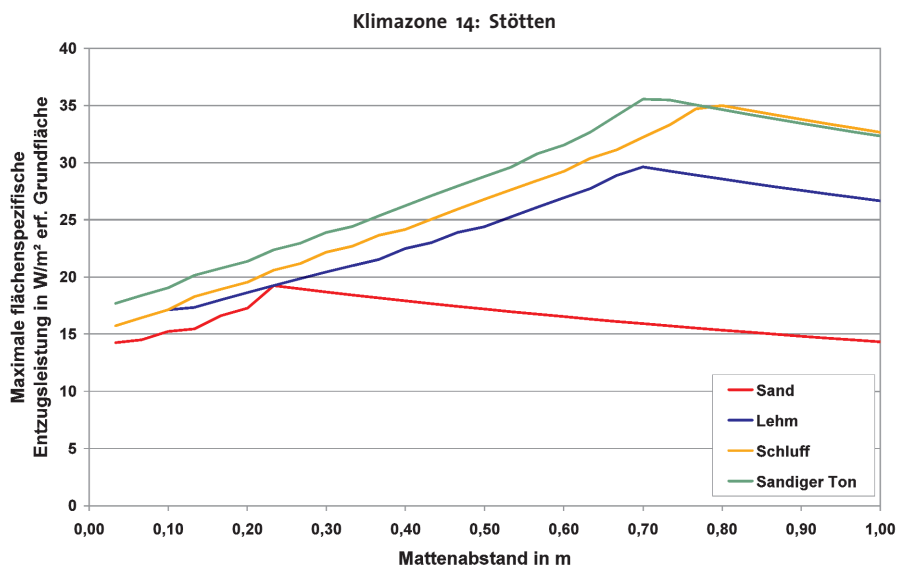
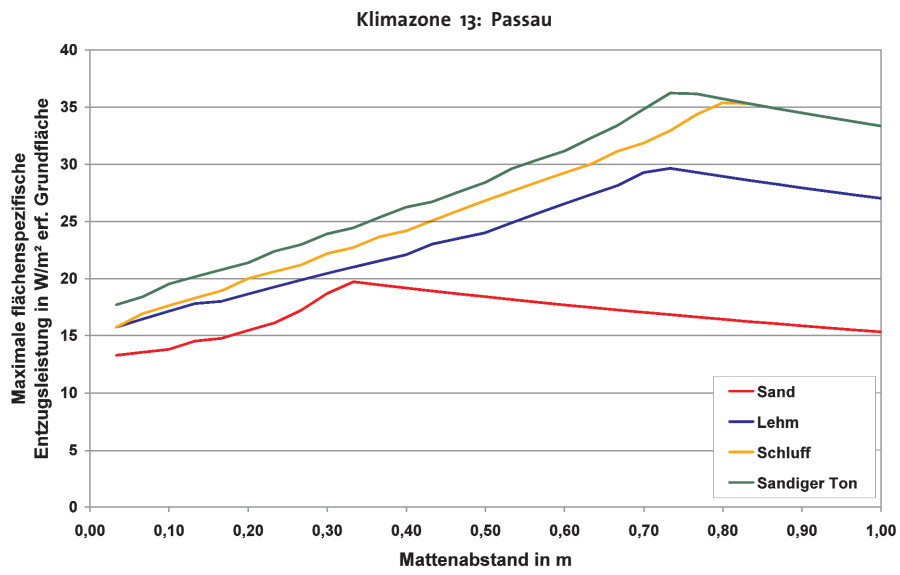
Die Diagramme stellen die maximalen Entzugsleistungen pro m<sup>2</sup> erforderliche Grundfläche dar.











**Die folgende Tabelle gibt die maximalen Entzugsleistungen für die Kapillarrohrmatten an.**

Auslegung von Kapillarrohrmatten als Erdwärmekollektoren

Maximale Entzugsleistung pro erf. Grundfläche bei einer Mattenbreite von 2 m und optimierten Mattenabstand

Nr:	Klimazone	Entzugsleistung	Sand	Lehm	Schluff	sandiger Ton
		Mattenabstand				
1	Bremerhaven	W/m	43,2	43,4	49,1	51,9
		m	0,27	0,67	0,77	0,70
2	Rostock-Warnemünde	W/m	30,9	34,8	40,1	43,0
		m	0,20	0,67	0,77	0,70
3	Hamburg-Fuhlsbüttel	W/m	37,2	41,2	46,9	49,6
		m	0,23	0,67	0,77	0,70
4	Potsdam	W/m	31,7	38,1	44,6	47,3
		m	0,30	0,70	0,80	0,77
5	Essen	W/m	48,6	45,0	50,4	53,6
		m	0,10	0,60	0,70	0,63
6	Bad Marienberg	W/m	23,0	30,4	35,7	35,9
		m	0,23	0,70	0,77	0,70
7	Kassel	W/m	35,8	39,7	45,8	48,9
		m	0,23	0,67	0,77	0,70
8	Braunlage	W/m	17,1	26,2	31,0	30,7
		m	0,17	0,67	0,77	0,67
9	Chemnitz	W/m	23,6	31,5	37,2	39,3
		m	0,20	0,67	0,77	0,70
10	Hof	W/m	15,7	25,9	31,8	32,6
		m	0,23	0,70	0,80	0,70
11	Fichtelberg	W/m	4,4	17,4	24,6	21,9
		m	0,01	0,01	0,01	0,01
12	Mannheim	W/m	44,9	48,9	56,3	60,4
		m	0,27	0,70	0,77	0,73
13	Passau	W/m	19,7	29,7	35,3	36,1
		m	0,33	0,73	0,83	0,77
14	Stötten	W/m	19,3	29,3	35,0	35,5
		m	0,23	0,70	0,80	0,73
15	Garmisch-Partenkirchen	W/m	18,3	29,3	35,7	35,5
		m	0,30	0,73	0,80	0,73





### Anhang 3 Erdwärmekörbe

Maximale Entzugsleistung eines Erdwärmekorbs mit 1,3 m Durchmesser und 1,3 m Höhe bei einem Korbabstand von 4 m bei 4 Nachbarkörben

Nr:	Klimazone	Sand	Lehm	Schluff	sandiger Ton
1	Bremerhaven	332	514	546	590
2	Rostock-Warnemünde	288	454	484	532
3	Hamburg-Fuhlsbüttel	326	506	540	582
4	Potsdam	302	484	522	572
5	Essen	342	526	558	602
6	Bad Marienberg	292	458	484	516
7	Kassel	314	494	528	574
8	Braunlage	274	432	458	486
9	Chemnitz	282	450	482	528
10	Hof	274	440	472	512
11	Fichtelberg	108	226	280	272
12	Mannheim	364	564	600	658
13	Passau	284	452	484	522
14	Stötten	296	468	498	534
15	Garmisch-Partenkirchen	300	476	508	542

Maximale Entzugsleistung eines Erdwärmekorbs mit 0,5 m Durchmesser und 2 m Höhe bei einem Korbabstand von 4 m bei 4 Nachbarkörben

Nr:	Klimazone	Sand	Lehm	Schluff	sandiger Ton
1	Bremerhaven	184	300	324	350
2	Rostock-Warnemünde	158	264	288	316
3	Hamburg-Fuhlsbüttel	182	300	324	350
4	Potsdam	170	288	314	348
5	Essen	188	306	330	356
6	Bad Marienberg	162	272	294	310
7	Kassel	174	292	316	344
8	Braunlage	152	256	276	290
9	Chemnitz	156	266	292	320
10	Hof	152	264	290	314
11	Fichtelberg	102	166	210	194
12	Mannheim	204	338	366	402
13	Passau	160	272	298	320
14	Stötten	166	284	308	328
15	Garmisch-Partenkirchen	170	292	318	338

## Anhang 4 Beschreibung des Rechenmodells

Zunächst wurden Kriterien definiert, die als Abbruchkriterien die maximale Entzugsleistung beschränken:

- Betriebssicherheit
- Minimale Solerücklauftemperatur in die Wärmepumpe von  $-5\text{ °C}$
- Maximaler Druckverlust im Kollektor von 35 kPa
- Umweltbeeinflussung
- Gewährleistung der hydraulischen Leitfähigkeit des Erdreichs im Frühjahr (Vermeidung von Matschbildung an der Erdoberfläche)
- Begrenzung der maximalen Eisbildung (Vermeidung von Hebungen und Setzungen)

Im entwickelten analytischen Rechenmodell werden die wesentlichen Wärmeströme und Temperaturverläufe im Erdreich beschrieben und überlagert (siehe Bild 1 und Bild 2).

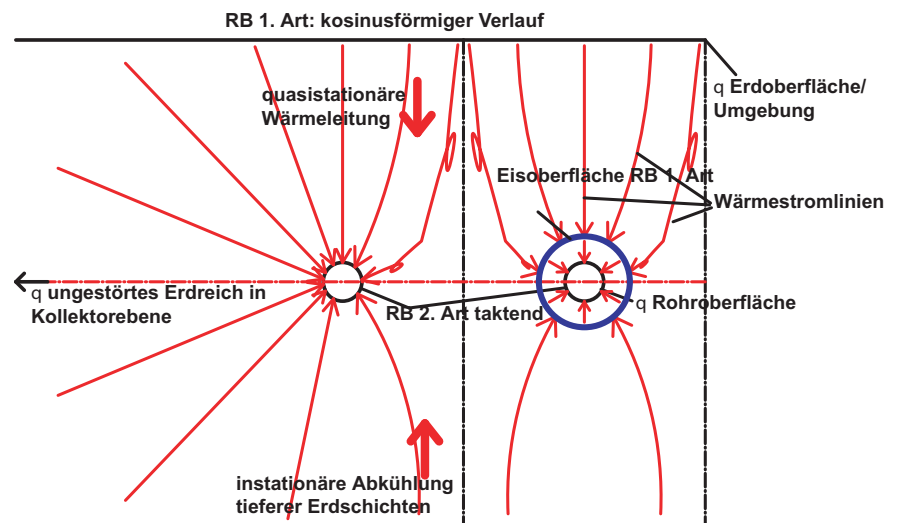


Bild 1: Berücksichtigte Wärmeströme

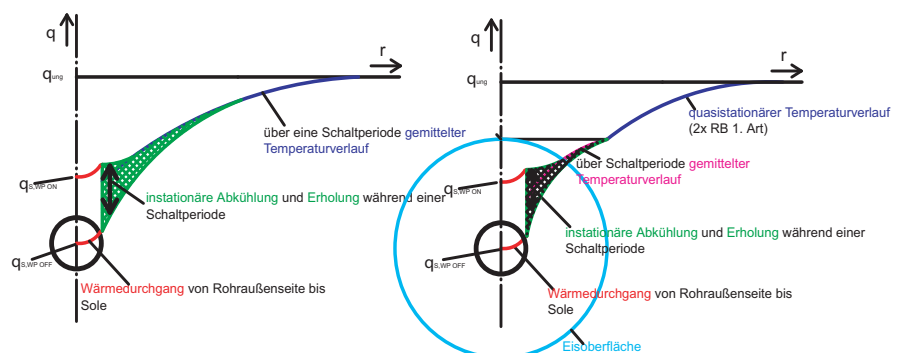


Bild 2: Beispielhafte Temperaturverläufe im Erdreich aufgrund des Wärmeentzugs ohne und mit Eisbildung

### Grobe Beschreibung des analytischen Rechenmodells:

- Vereinfachter Jahresverlauf der Umgebungstemperatur (Kosinusfunktion) in Abhängigkeit von der Klimazone
- Analytische Beschreibung der unterschiedlichen Wärmeströme
- Von der Erdoberfläche zum Erdkollektor
- Aus tieferen Erdschichten zum Erdkollektor
- Instationäre Abkühlung des Kollektornahbereichs aufgrund der Wärmepumpentaktung
- Eisbildung um Erdkollektor und somit zusätzliche Randbedingung 1. Art



- Erdreichseigenschaften wurden entsprechend dem für die jeweilige Klimazone typischen Wassergehalts im Herbst bestimmt.
- Das analytische Rechenmodell wurde mit numerischen Simulationen verglichen. Die Übereinstimmung ist vor allem im Winter, der kritischen Zeit, sehr gut, weshalb es sich für eine Optimierung von Erdwärmekollektoren gut eignet (siehe Bild 3). Mit numerischen Simulationen, bei der die Nachbildung eines Jahresverlaufs mehrere Stunden dauert, wäre hingegen keine Optimierung möglich.

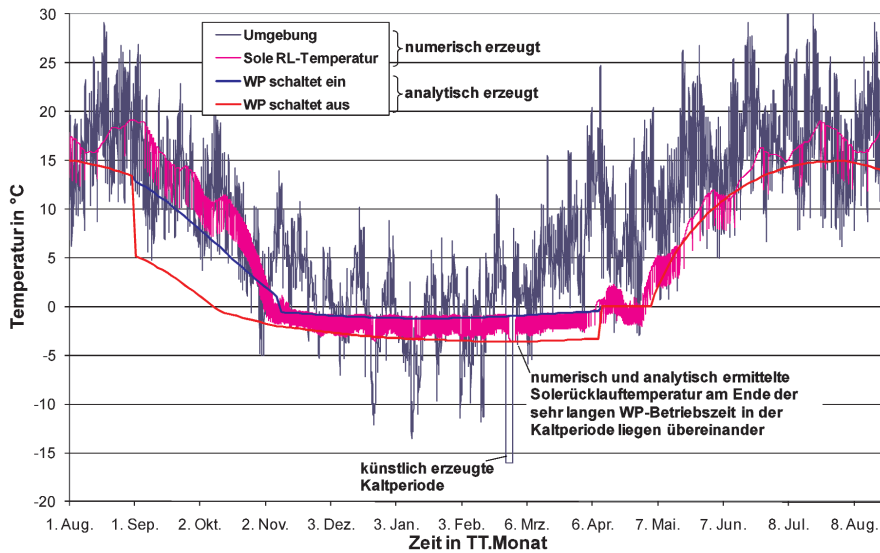


Bild 3: Vergleich eines numerischen mit einem analytisch nachgebildeten Jahresverlauf der Solerücklauftemperatur in die Wärmepumpe.

Anhand der ermittelten Jahresverläufe wird kontrolliert, ob bei der angenommenen flächenspezifischen Entzugsleistung und geometrischen Auslegung eines der Kriterien verletzt wird. Falls dies nicht der Fall ist, ist eine höhere Entzugsleistung möglich. Die maximale Entzugsleistung wurde dann iterativ bestimmt. Anhand der beispielhaften Jahresverläufe der Solerücklauftemperatur (Bild 4) und des Eisradius (Bild 5) ist z. B. zu erkennen, dass bei einer Entzugsleistung von 35 W/m<sup>2</sup> nahezu alle Kriterien verletzt werden.

Beispielhafte Auslegung: Klimazone 13 (Passau), Rohrabstand 0,6 m; DA 32; turbulente Strömung.

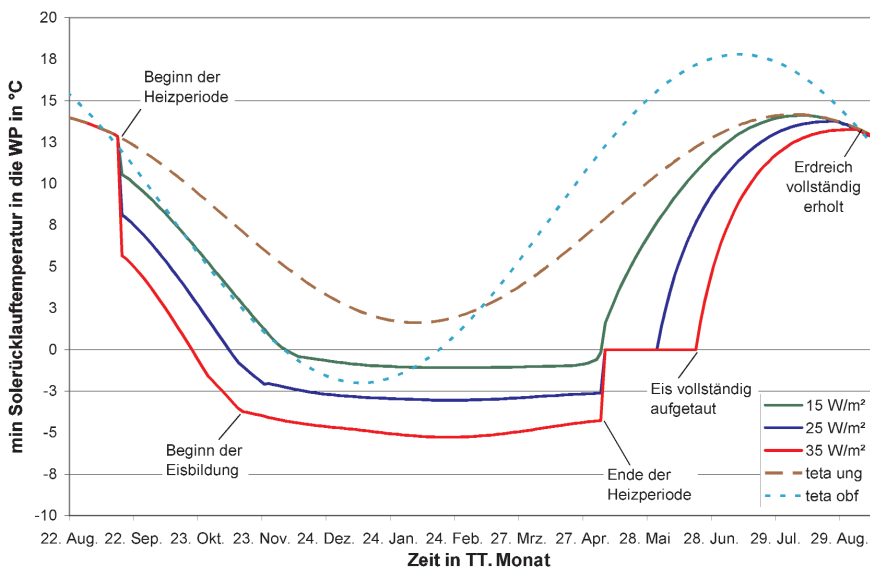


Bild 4: Minimale Soletemperatur wenn zum jeweiligen Zeitpunkt die Wärmepumpe 7 Stunden am Stück gelaufen wäre.

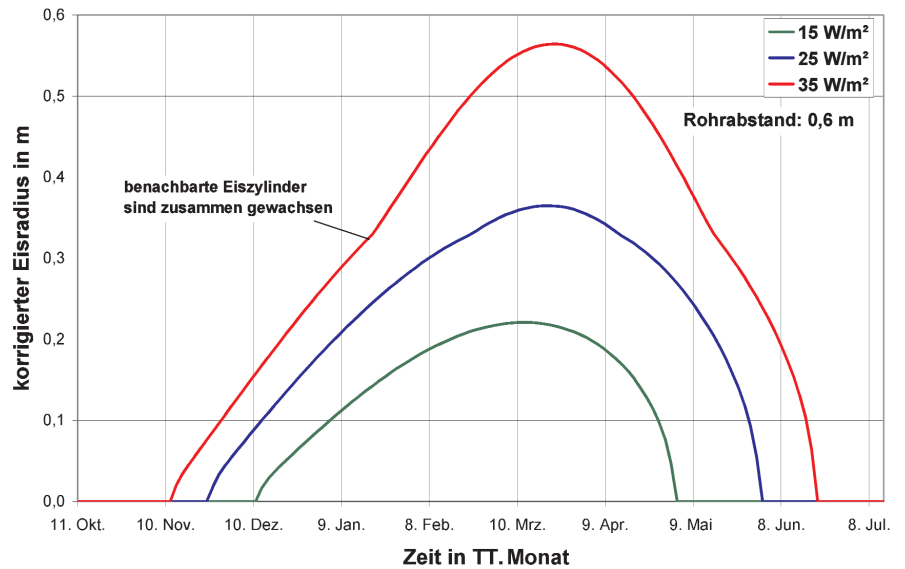


Bild 5: Vertikale Eisausdehnung (Eisradius)

Zur Bewertung der Sonderbauformen Kapillarrohrr Matte und Erdwärmekorb wurden die geometrischen Besonderheiten berücksichtigt und z. B. wie folgt modelliert:

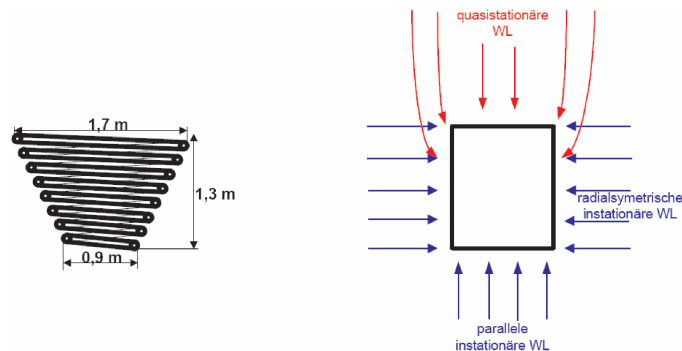


Bild 6: Modellierung der Erdwärmekörbe real <=> Modell

Die Berechnungen erfolgten für eine Heizgrenztemperatur von 12 °C und die damit verbundenen Vollbenutzungsstunden sind abhängig von der Normaußentemperatur und dem Jahresverlauf der Umgebungstemperatur und folglich von der Klimazone. Die Diagramme gelten somit für eine reine Heizungsanlage exakt. Wird Trinkwarmwasser mit bereitet, so ist die Wärmepumpenleistung (um ca. 0,25 kW/Person) zu erhöhen, wodurch auch die Kälteleistung steigt. Legt man den Erdwärmekollektor auf diese erhöhte Kälteleistung aus, hat man die Trinkwarmwasserbereitung pauschal mit der zusätzlichen Leistung und der gleichen Volllaststundenzahl wie die Heizung mit berücksichtigt. Bei Gebäuden, bei denen die Trinkwarmwasserbereitung der entscheidende Wärmeverbraucher ist, bzw. wenn zusätzliche Wärmeverbraucher wie z. B. Swimmingpool angeschlossen sind, so muss dies gesondert berücksichtigt werden.

BDH-Informationen dienen der unverbindlichen technischen Unterrichtung. Eine Fehlerfreiheit der enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht garantiert werden.

Weitere Informationen unter:  
www.bdh-koeln.de

Herausgeber:  
Interessengemeinschaft  
Energie Umwelt Feuerungen GmbH  
Infoblatt 43 März/2011