

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Neufassung der Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 – erdgekoppelte Wärmepumpen



Dipl.-Phys. Manfred Reuß

ZAE Bayern, Walther-Meißner-Str.6, 85748 Garching
reuss@muc.zae-bayern.de; www.zae-bayern.de

MIT SONNE UND VERSTAND.

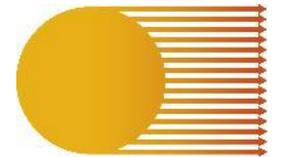
© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Richtlinie VDI 4640



ZAE BAYERN

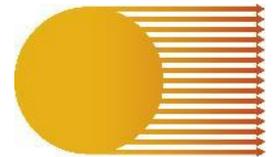
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Ziel der Richtlinie ist es ausgehend vom Stand der Technik

- eine korrekte Auslegung
- geeignete Materialwahl
- richtige Ausführung von Bohrungen, Installation und Systemeinbindung

von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds sicherzustellen

Richtlinie VDI 4640



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

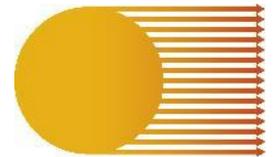
Die Richtlinie VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrunds“ besteht aus 5 Blättern:

- Blatt 1 – „Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte“
- Blatt 2 – „Erdgekoppelte Wärmepumpen“
- Blatt 3 – „Unterirdische thermische Energiespeicher“
- Blatt 4 – „Direkte Nutzungen“
- Blatt 5 – „Thermal Response Test“

Historische Entwicklung:

- 1995** Richtlinienausschuss gegründet - konstituierenden Sitzung 19. Juli 95
- 1998** Gründruck Blatt 1 – „Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte“
und Blatt 2 – „Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“ im Februar 98
- 2000** Weißdruck Blatt 1 => Dezember 2000
- 2001** Weißdruck Blatt 2 => September 2001
Weißdruck Blatt 3 „Unterirdische Thermische Energiespeicher“ Juni 2001
- 2004** Weißdruck Blatt 4 „Direkte Nutzungen“ im September 2004
- 2008** Gründruck Revision Blatt 1
- 2010** Weißdruck Revision Blatt 1
- 2015** Gründruck Revision Blatt 2
- 2015** Gründruck Blatt 5 – „Thermal Response Test“ in Vorbereitung

Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 - NEU



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Inhaltsübersicht:

- Thermische Nutzung des Grundwassers mit Brunnenanlagen
- Nutzung des oberflächennahen Untergrunds mit Erdwärmekollektoren
- Nutzung des Untergrunds mit Erdwärmesonden
- Besonderheiten von Anlagen mit Direktverdampfung
- Besonderheiten weiterer Wärmequellen(-senken)anlagen
- Systemeinbindung
- Wärmenutzungsanlagen
- Materialien für Wärmequellenanlagen
- Verhalten in Störfällen und Rückbau erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen

Generell werden in der aktuell überarbeiteten Version alle Themenbereiche wesentlich detaillierter behandelt als im Weißdruck von 2001, dem Fortschritt der Technik wurde Rechnung getragen.

Thermische Nutzung des Grundwassers mit Brunnenanlagen



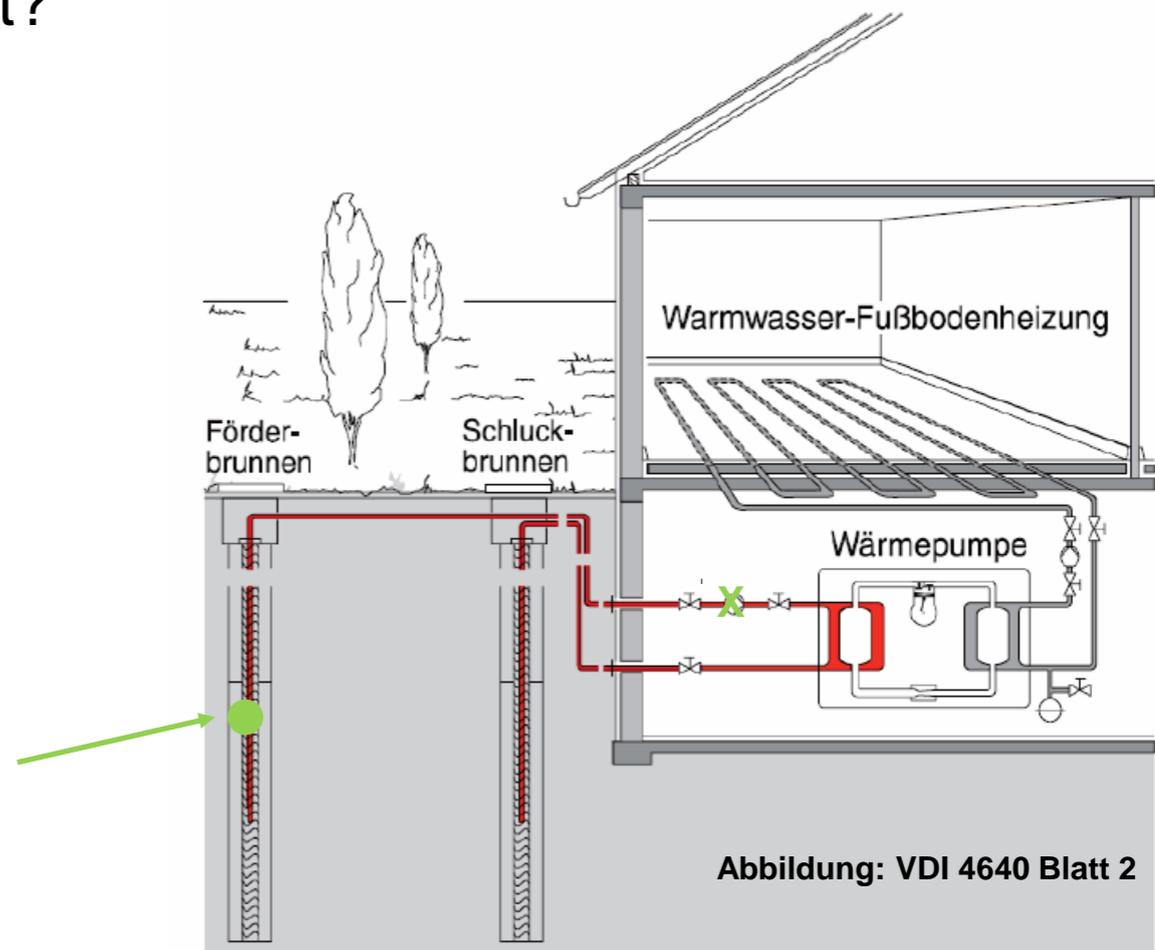
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Die wesentlichen Aspekte der Standortuntersuchung und Auslegung:

- Welche Grundwasser-Fördermenge muss zur Verfügung gestellt werden?
- Bietet der Untergrund am Standort die Voraussetzungen für eine ausreichende Brunnen-Ergiebigkeit?
- Ist das Grundwasser am Standort (vor allem chemisch) für die Nutzung in einer Wärmepumpenanlage geeignet?

Häufiger Förderbrunnen mit Tauchpumpe



Thermische Nutzung des Grundwassers mit Brunnenanlagen



➤ Auslegung:

Berechnung der notwendigen Grundwasser-Fördermenge für gegebene thermische Leistung und Temperaturpreizung

$$\dot{V} = \frac{P}{\Delta T \cdot \rho \cdot c_p} \quad (1)$$

Dabei ist

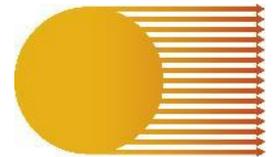
- \dot{V} Nenndurchfluss in m³/h
- P Verdampferleistung in kW
- ΔT Temperaturpreizung oder -änderung des Wassers in der Wärmepumpe in K
- $\rho \cdot c_p$ volumetrische spezifische Wärmekapazität des Wassers in kJ/(m³·K)

Für ausgewählte Werte bietet VDI 4640-2 in Tabelle 1 die benötigte Fördermenge an:

Leistung (grundwasserseitig) in kW	Temperaturpreizung ΔT in K			
	2	3	4	5
	Brunnenleistung in m ³ /h			
1	0,4	0,29	0,22	0,2
4	1,7	1,1	0,9	0,7
6	2,6	1,7	1,3	1,0
8	3,4	2,3	1,7	1,4
10	4,3	2,9	2,2	1,7
20	8,6	5,7	4,3	3,4
30	12,9	8,6	6,5	5,2

Tabelle: VDI 4640 Blatt 2

Nutzung des oberflächennahen Untergrunds mit Erdwärmekollektoren

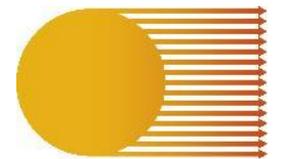


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Auslegung horizontaler Erdwärmekollektoren – Klimazonen
- Installation – Erdarbeiten,
- Materialanforderungen,
- Verlegung,
- Inbetriebnahme und Dokumentation

Erdwärmekollektoren



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

➤ **Erdwärmekollektoren - Definition:**

„... entnehmen dem Untergrund bis in ca. 5 m Tiefe ... saisonal gespeicherte Energie.“ [VDI 4640 Blatt 2, 2015]

➤ **Horizontale Erdwärmekollektoren:**

Außenluft

Solarstrahlung

Niederschläge

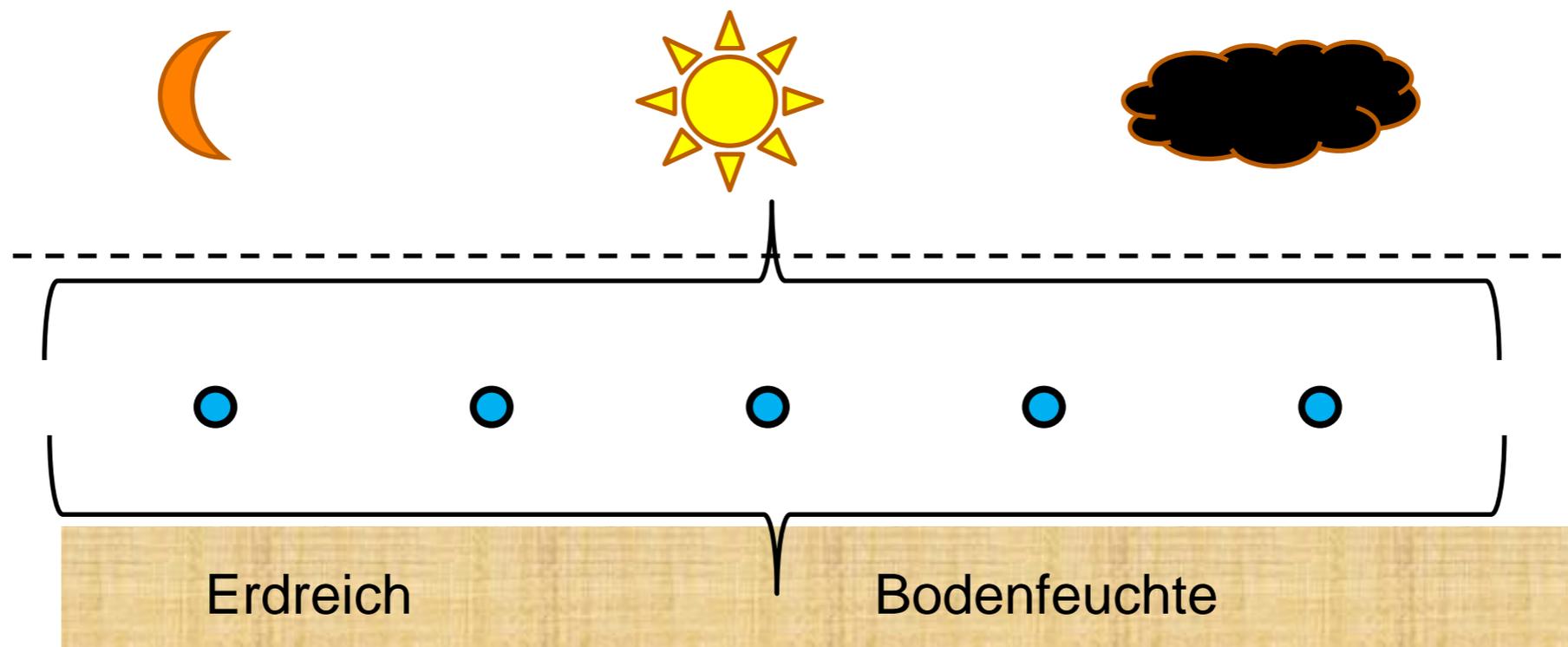
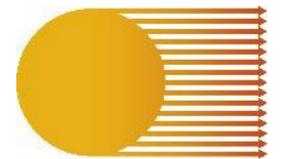


Abbildung: Prof. R. Koenigsdorff

Erdwärmekollektoren



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Erdwärmekollektoren - Funktion

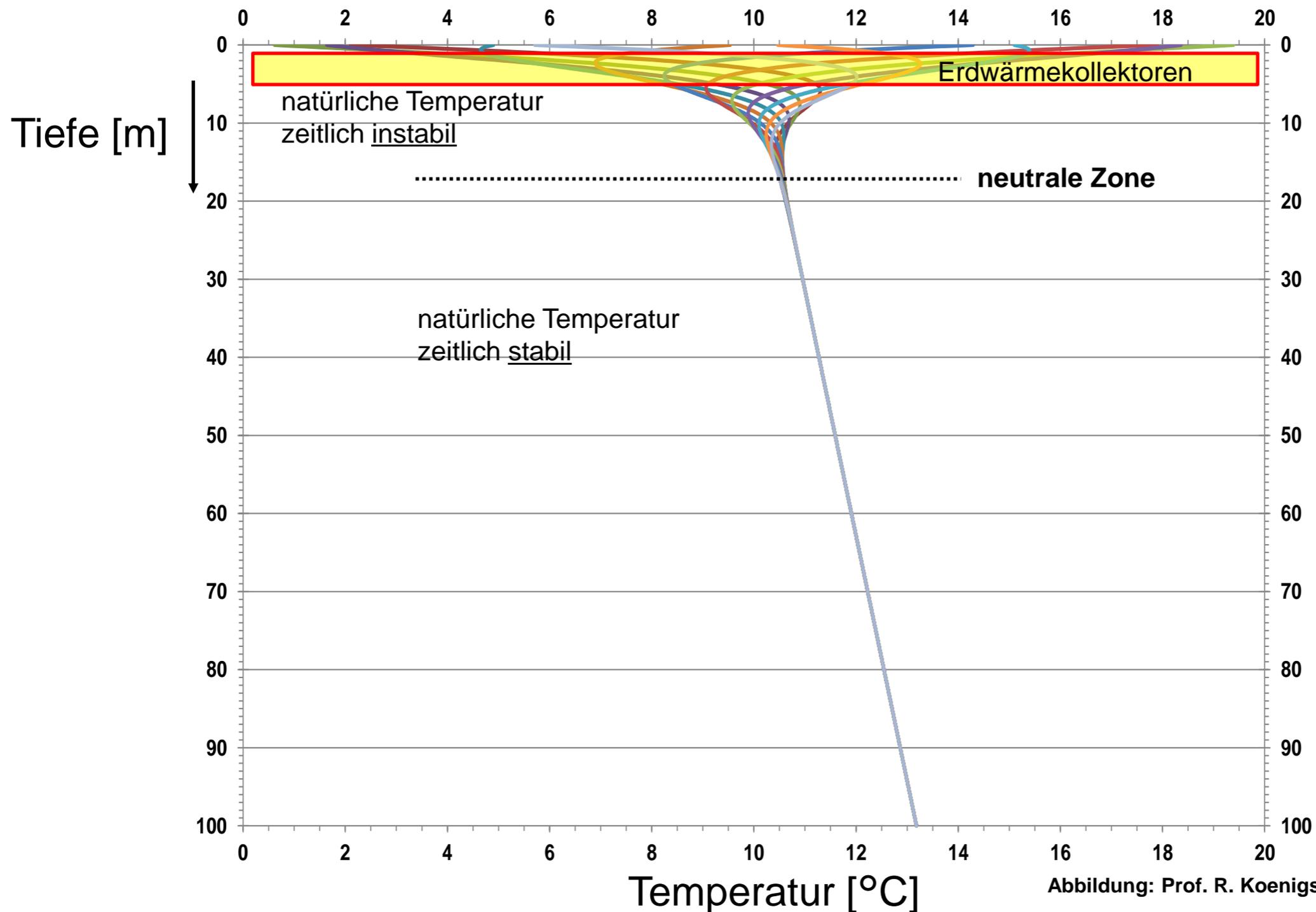
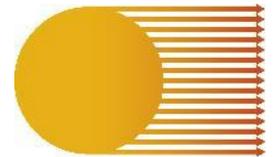


Abbildung: Prof. R. Koenigsdorff

Erdwärmekollektoren - Auslegung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Detaillierte Auslegungsrichtlinien auf der Basis von Simulationsrechnungen
- Tabellarisch wird die Entzugsleistung, die Entzugsarbeit, die Vollaststunden und der Rohrabstand für die 15 Klimazonen in Deutschland und unterschiedliche Gesteinseigenschaften angegeben
- Beispiel zur Vorgehensweise zur Veranschaulichung
- Analog für Kapillarrohrmatten

Erdwärmekollektoren - Auslegung

➤ **Leistung:**

Temperaturdifferenz und Wärmeübertragung zwischen Wärmeträgerfluid in den Kollektorrohren & dem umgebenden Erdreich

➤ **Energie:**

Abkühlung des Erdreichs, Nutzung sensibler & latenter Speicherwärme, Regeneration

➤ **Leistungs- & Energiegrenzen** sind bei der Auslegung einzuhalten

➤ **Es gibt nicht die Entzugsleistung!**

Erdwärmekollektoren - Auslegung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

➤ Neue Auslegung: Auszug aus Tabelle 2 [VDI 4640 Blatt 2, 2015]:

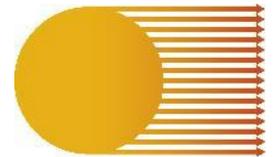
- Basis: Simulationen
- Optimierungsrechnungen für 15 Klimazonen & jeweils 2 Bodenarten
- Beispielgebäude 12 °C Heizgrenztemperatur
- linear von der jeweiligen Außentemperatur abhängige Heizlast
- Kollektorrohr 32 x 2,9 mm mit turbulenter Durchströmung
- Einbettung der Kollektorrohre in das vorhandene Bodenmaterial

Klimazonen	Entzugsleistung in W/m ² Entzugsarbeit in kWh/a Volllaststunden in h/a	Sand	Lehm	Schluff	sandiger Ton
Klimazone 1	Entzugsleistung in W/m ²	28	34	36	39
	Entzugsarbeit in kWh/a	46	56	59	64
	Volllaststunden in h/a	1650	1650	1650	1650
	Rohrabstand in m	0,2 - 0,3	0,45-0,55	0,45-0,55	0,45-0,55
Klimazone 2	Entzugsleistung in W/m ²	21	29	29	31
	Entzugsarbeit in kWh/a	37	52	52	55
	Volllaststunden in h/a	1800	1800	1800	1800
	Rohrabstand in m	0,3 - 0,4	0,5 - 0,6	0,55 - 0,65	0,55 - 0,65
Klimazone 3	Entzugsleistung in W/m ²	25	32	35	38
	Entzugsarbeit in kWh/a	41	52	57	62
	Volllaststunden in h/a	1650	1650	1650	1650
	Rohrabstand in m	0,25 - 0,35	0,45-0,55	0,45-0,55	0,45-0,55

Tabelle: VDI 4640 Blatt 2

- Sehr detaillierte Auslegungsrichtlinien auf der Basis von Simulationsrechnungen für Kleinanlagen bis 30 kW
- Ergebnistabellen mit Entzugsleistungen (W/m) für Wärmeleitfähigkeit 1, 2, 3, 4 W/mK, bei turbulentem und laminarem Durchfluss für 5 verschiedene Volllaststunden (1200 – 2400 h/a) und variabler Sondenanzahl (von 1-5)
- Ergebnistabellen für minimale Temperaturgrenzen 0 °C, -3 °C und -5 °C
- Ergebnistabellen für reines Heizen sowie Heizen und Trinkwarmwasserbereitung
- Hinweis zum Vorgehen bei sommerlicher Kühlung
- Ausführliche hydraulische Auslegung
- Herstellung und Einbau von Erdwärmesonden
- Ringraumverfüllung – Anforderungen an Verfüllbaustoffe und Verarbeitung

Erdwärmesonden - Auslegung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Auslegung für Kleinanlagen bis 30 kW

Wesentliche Größen:

- Thermischer Bohrlochwiderstand R_b
- Eigenschaften des Untergrunds λ , ρ , c_p
- Wärmeträger möglichst turbulente Strömung

Ziel:

- Fluid- und Sondentemperaturen innerhalb vorgegebener Grenzen für:
 - Bestimmtes Lastprofil
 - Gegebenen Betriebszeitraum

Weg:

- Minimierung von R_b

Erdwärmesonden - Auslegung



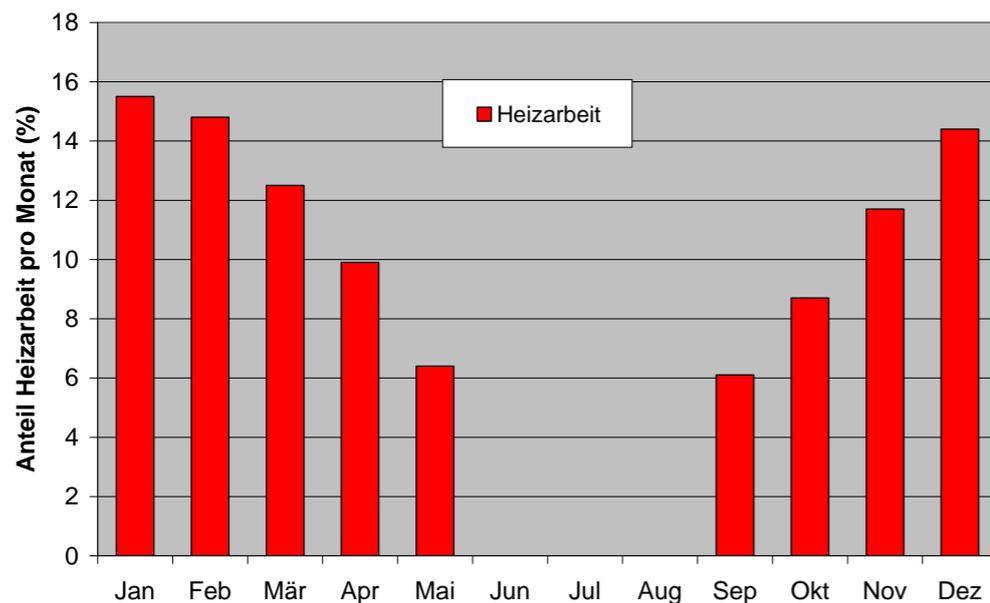
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Auslegungsbeispiel: EWS reiner Heizbetrieb ohne BWB

Entzugsleistung bei $T_{WP\text{-Austritt}} \geq -3 \text{ °C}$ für:

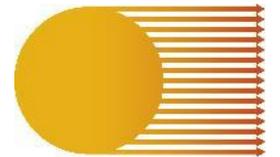
- Jahresvolllaststunden 1200, 1500, 1800, 2100, 2400 h/a
- 1 – 5 EWS in Linie
- Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds: 1, 2, 3 und 4 W/(m·K)
- Turbulenter und *laminarer* Durchfluss



Jahres-volllast-stunden	Anzahl Son- den	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds in W/(m·K)			
		Entzugsleistung in W/m bei turbulentem / laminarem Durchfluss			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
1200 h/a	1	32,2 / 27,4	44,7 / 36,6	52,8 / 42,2	58,6 / 46,1
	2	29,4 / 25,2	41,6 / 34,4	49,9 / 40,3	55,9 / 44,3
	3	27,4 / 23,7	39,4 / 32,9	47,8 / 38,9	53,9 / 43,1
	4	26,0 / 22,7	37,7 / 31,9	46,1 / 37,9	52,2 / 42,2
	5	25,2 / 22,0	36,8 / 31,0	45,3 / 37,1	51,6 / 41,4
1500 h/a	1	27,8 / 23,9	40,3 / 33,4	48,8 / 39,4	55,0 / 43,6
	2	25,1 / 21,7	37,1 / 31,1	45,6 / 37,3	51,9 / 41,6
	3	23,3 / 20,3	34,9 / 29,6	43,4 / 35,8	49,7 / 40,2
	4	22,0 / 19,3	33,3 / 28,4	41,6 / 34,6	48,0 / 39,2
	5	21,3 / 18,6	32,4 / 27,6	40,7 / 33,8	47,1 / 38,4
1800 h/a	1	24,5 / 21,2	36,9 / 30,8	45,4 / 37,0	51,8 / 41,5
	2	22,0 / 19,1	33,6 / 28,4	42,1 / 34,7	48,5 / 39,2
	3	20,3 / 17,7	31,5 / 26,8	39,8 / 33,1	46,2 / 37,3
	4	19,1 / 16,8	29,9 / 25,7	38,0 / 31,9	44,4 / 36,6
	5	18,4 / 16,2	28,9 / 24,8	37,0 / 31,0	43,4 / 35,7

Abbildung und Tabelle: VDI 4640 Blatt 2

Erdwärmesonden - Auslegung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Größere Anlagen > 30 kW

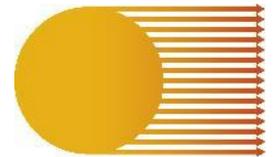
Auslegung durch Berechnung / Simulation ist erforderlich bei:

- Heizleistung > 30 kW
 - Größere Anzahl von Einzelanlagen
 - Mehr als 2400 h/a Jahrevolllaststunden geplant
 - Anlagen mit zusätzlichen Wärmequellen/-senken
- Berechnung der sich aus dem Heizbedarf ergebenden mittleren Temperaturen des Wärmeträgermediums im Jahresverlauf über den vorgesehenen Betriebszeitraum

Notwendige Daten:

- Thermischer Bohrlochwiderstand R_b (z.B. aus TRT)
 - Eigenschaften des Untergrunds λ , ρ , c_p (z.B. aus TRT)
 - Lastprofil (mind. Monatsmittelwerte, Spitzenlast)
- Analytische Lösungen
- Nomogramme und vereinfachte Berechnungsverfahren (z.B. GEO-Hand^{light})
- Simulation mit Näherungsfunktionen
- Numerische Simulation (FD-/FE-Verfahren)

Erdwärmesonden - Installation

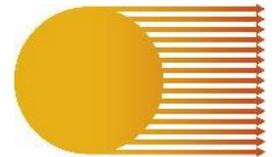


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Genehmigung nach Wasserrecht
- Planung erfolgt analog Brunnenanlagen
- Vorab ist zu klären:
 - Entzugsleistung/-arbeit (Last)
 - Geologie
 - Anzahl, Art und Lage der Bohrungen
- Bohrarbeiten analog Brunnenanlagen
 - Stand der Technik einhalten (DVGW W120 Teil 2)

Erdwärmesonden - Installation

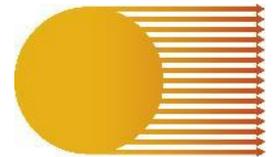


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Herstellung der EWS
 - Werkseitige Herstellung und Prüfung
 - Dokumentation
- Einbau und Inbetriebnahme von EWS
 - Verfüllrohr mit einbauen, verbleibt im Bohrloch
 - Sicht-, Druck- und Durchflussprüfung (nach DIN EN 805)
 - Verfüllung des Ringraums mit Fertigbaustoffen
 - Anschluss an Verteilleitungen (stoffschlüssig, unlösbar)
 - Druck- und Durchflussprüfung (nach DIN EN 805)
 - Einregulieren
 - Dokumentation
 - Einweisung des Betreibers in Bedienung, Wartung und Verhalten im Störfall

Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 - NEU



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

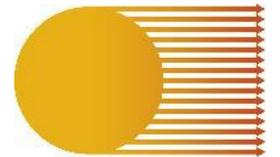
➤ **Besonderheiten von Anlagen mit Direktverdampfung**

- Auslegung
- Installation
- Inbetriebnahme

➤ **Besonderheiten weiterer Wärmequellen(-senken)anlagen**

- Gründungspfähle
- Tunnelbauwerke
- kompakte Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe, Grabenkollektoren
- Speichersonde

Wesentliche Änderungen



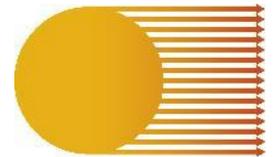
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

➤ Besonderheiten weiterer Wärmequellenanlage

- Energiepfähle in ihren verschiedenen Bauformen mit Hinweisen zur Auslegung
- Geothermische Nutzung von Tunnelbauwerken und Planungshinweise
- Kompakte Erdwärmekollektoren – Erdwärmekörbe und Grabenkollektoren
- Auslegungstabellen auf der Basis von Simulationsrechnungen für unterschiedliche Klimaregionen und Untergrundeigenschaften analog zu Erdwärmekollektoren

Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 - NEU



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

➤ **Systemeinbindung**

- Verteiler und Sammler
- Armaturen und Pumpen
- Anschlussleitungen
- Dimensionierung

➤ **Wärmenutzungsanlagen**

- Betriebsweisen erdgekoppelter Wärmepumpen
- Bauaustrocknung
- Austausch von Wärmepumpen

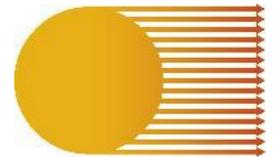
➤ **Materialien für Wärmequellenanlagen** – Definition der Anforderungen und Charakterisierung möglicher Materialien

- Eigenschaften polymerer Werkstoffe
- Eigenschaften nicht polymerer Materialien

➤ **Verhalten in Störfällen und Rückbau erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen**

- Hinweise zur Vorgehensweise im Fall von Leckagen
- Hinweise zum Rückbau einzelner Komponenten und ihre Entsorgung

Schlussfolgerungen



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Alle Kapitel wurden grundlegend überarbeitet
- Die Auslegungsverfahren wurden erheblich erweitert und verbessert
- Anforderungen an die handwerkliche Ausführung wurde genauer spezifiziert
- Ausführliche Dokumentation aller Komponenten und Arbeiten ist notwendig

Damit soll die Richtlinie erheblich zur Qualitätssicherung beitragen!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fragen?

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung