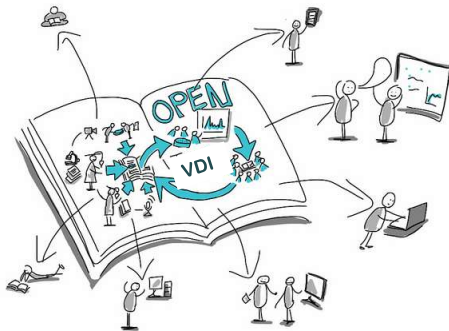




Auswirkung der neuen VDI 4640, Blatt 2, auf die Planung



Ingo Schäfer

1

Geschichte und Entwicklung der Richtlinie



Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
(LAWA)

Im LAWA-Papier von 1980 wurden erstmals
Erdwärmesondenanlagen erwähnt:

3.4.2 Vertikale Erdwärmesonden

Die Gewinnung von Wärmeenergie aus dem Untergrund ist auch mittels senkrecht oder schräg in den Boden eingebrachter Erdwärmesonden möglich (Bild 3.4.8). Die Sonden bestehen aus einem am unteren Ende verschlossenen Außenrohr, in das ein unten offenes Innenrohr mit geringerem Durchmesser eingebaut ist. Die Länge der

wasserwirtschaftlicher Sicht

Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten von Erdwärmesonden werden in Finnland, Schweden, Belgien und den Niederlanden durchgeführt. Auch in der Bundesrepublik Deutschland sind mehrere Erdwärmesonden in Betrieb. Dabei werden Kälteleistungen zwischen 60 und 100 W/m erreicht.

Da bei den meist tieferreichenden vertikalen Erdsonden verschiedene Grundwasserstockwerke durchstoßen werden können, sind die baulichen Maßnahmen nach den allgemein anerkannten Regeln der Brunnenbautechnik auszuführen. Besonderer Wert kommt hierbei der Abdichtung der jeweiligen Grundwasserstockwerke gegeneinander zu.

2

Geschichte und Entwicklung der Richtlinie



- Anfang der 1990er Jahre wurden Fördermaßnahmen für Wärmepumpen eingeführt durch Stromversorger wie RWE oder regionale Stellen
- Große Erwartungen an die Leistung von Erdwärmesonden, aber keine Vorgaben und Regelungen für die Auslegung
- 1992: Studie veröffentlichter Anlagendaten ergab für Erdwärmesonden einen Durchschnitt von 62 W/m und eine Bandbreite von 27-119 W/m
- 1994 erste Gespräche zwischen GtV und VDI mit der Anregung einer entsprechenden Richtlinie
- 1995 Richtlinienausschuss VDI 4640 konstituiert
- ab 1995 erstes Marktanzreizprogramm (MAP) des Bundes für WP



Sanner-geo.de

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

Geologischer Dienst NRW

3

Geschichte und Entwicklung der Richtlinie



Die Richtlinienreihe VDI 4640 besteht aus fünf Blättern:

Blatt 1	Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte	1998-02/2000-12/2008-06/2010-06
Blatt 2	Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen	1998-02/2001-09/2015-03/2019-07
Blatt 3	Unterirdische thermische Energiespeicher	2000-03/2001-06
Blatt 4	Direkte Nutzungen	2002-12/2004-09
Blatt 5	Thermal-Response-Test	2016-08
Blatt 6	Verfüllbaustoffe	in Vorbereitung

Die Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Reihe ist abrufbar unter www.vdi.de/4640.

Als **Gründruck** wird ein VDI-Richtlinien-Entwurf bezeichnet, der einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterzogen wird. Erst nach der Prüfung von eingegangenen Einsprüchen wird die endgültige Fassung, der sogenannte Weißdruck, einer VDI-Richtlinie verabschiedet. Dieses Vorgehen gewährleistet Neutralität gegenüber wirtschaftlichen Einzelinteressen sowie Akzeptanz und Praxisnähe.

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

Geologischer Dienst NRW

4

Was ist neu?



139 Seiten
anstatt 43 Seiten
der Vorgänger
ausgabe

Auslegung von
Erdwärmesonden
grundsätzlich
mittels
Berechnungs-
verfahren

Auslegungs-
tabellen für
Erdwärmekörbe

Beschreibung der
Rahmenbedingungen
für Untersuchungen
zur Frost-Tau-
Beständigkeit

Auslegungstabellen
für EWS-
Kleinanlagen
(< 8 kW)

Regionale
klimatische
Verhältnisse werden
bei der Auslegung
von EW-Kollektoren
berücksichtigt

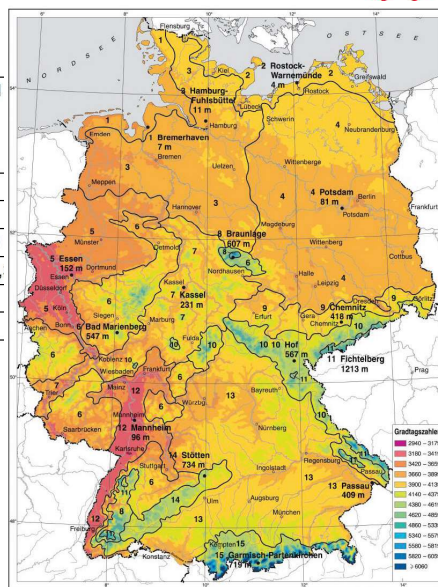
Neben der
thermischen
Auslegung werden
Aspekte zur
hydraulischen
Auslegung
thematisiert

Thema „Verfüllung“
erhält deutlich
größere Relevanz

VDI 4640-2, was ist neu? - Berechnung Kollektoren -

Klimazonen	Entzugsleistung in W/m ² Entzugsarbeit in kWh/a Volllaststunden in h/a Rohrabstand in m	Sand
neu		
Klimazone 1	Entzugsleistung	28
	Entzugsarbeit	46
	Volllaststunden	1650
	Rohrabstand	0,2...0,3
Klimazone 2	Entzugsleistung	21
	Entzugsarbeit	37

Untergrund alt	spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 h	bei 2400 h
Trockener, nichtbindiger Boden	10 W/m ²	8 W/m ²
Bindiger Boden, feucht	20–30 W/m ²	16–24 W/m ²
Wassergesättigter Sand/Kies	40 W/m ²	32 W/m ²



Auswirkung der neuen VDI 4640, Blatt 2, auf die Planung

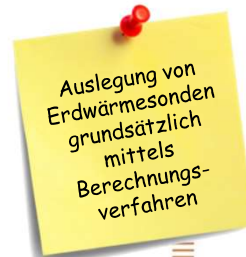
- Was ist neu? -



Abschnitt 7.1 – Thermische Auslegung

7.1.1 Berechnungs- und Simulationsverfahren für Erdwärmesonden

„Die korrekte Anlagenauslegung muss durch Berechnungen nachgewiesen werden (s. Abschnitt 7.1.1). Dazu ist in der Regel jeweils im Einzelfall eine Berechnung der sich aus dem Heiz- und Kühlbedarf ergebenden Temperaturen des Wärmeträgermediums im Jahresverlauf über den vorgesehenen Betriebszeitraum hinweg erforderlich.“



Auswirkung der neuen VDI 4640, Blatt 2, auf die Planung

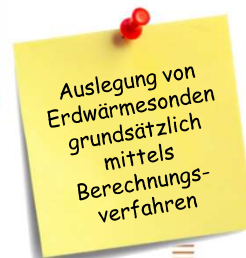
- Was ist neu? -



Abschnitt 7.1 – Thermische Auslegung

7.1.2 Einzelanlagen mit Heizleistung bis zu 30 kW

„Für Einzelanlagen bis maximal 30 kW Wärmepumpen-Heizleistung (Kleinanlagen) wurden solche Berechnungen unter definierten Randbedingungen durchgeführt (s. Abschn. 7.1.2). Diese Randbedingungen betreffen sowohl das Gebäude als auch die Erdwärmesondenanlage“



VDI 4640-2, was ist neu?

- kleine EWS-Anlagen -



Randbedingungen für die Anwendung der mit dem Blatt bereitgestellten spezifischen Entzugsleistungen (siehe Abschnitt 7.1.1)

Kleinanlagen können mit tabellarisch dargestellten Kennwerten („spezifischen Entzugsleistungen“) ausgelegt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Heizleistung ≤ 30 kW
- vorgesehene Sondertiefen von **50 m** bis 200 m
- **≤ 5 Erdwärmesonden**
- turbulente Stömungsverhältnisse
- keine thermische Wechselwirkung mit anderen in der unmittelbaren Nachbarschaft befindlichen Erdwärmesonden-Anlagen zu erwarten
- ≥ 6 m Sondenabstand und **keine deutliche Abweichung von einer Linienanordnung**
- Jahresvolllaststunden betragen zwischen **1.200 h (bzw. 1.500 h)** und 2.400 h
- die Sondereigenschaften entsprechen einer Doppel-U-Sonde: **kein wesentlich davon abweichender Bohrlochwiderstand**
- die Annahmen der spezifischen Entzugsleistungen sollen für einen Zeitraum **von 50 Jahren gelten**

NEU

VDI 4640-2 (Entwurf 2015)

- Spezifische Entzugsleistungen -



Spezifische Entzugsleistungen der VDI 4640-2 (2001)

Untergrund (Auszug der VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2)	spez. Entzugsleistung (W/m)	
	für 1.800 h	für 2.400 h
Allgemeine Richtwerte:		
Schlechter Untergrund (trockenes Sediment (< 1,5 W/mK))	25	20
Norm. Festgestein u. wassergesättigtes Sediment (1,5 - 3,0 W/mK)	60	50
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit (> 3,0 W/mK)	84	70
Einzelne Gesteine:		
Kies, Sand, trocken	< 25	< 20
Kies, Sand, wasserführend	65 – 80	55 – 65
Kies, Sand, starker W. aus	80 – 100	80 – 100
Ton, Lehm, feucht	35 – 50	30 – 40
Kalkstein, mäßig	55 – 70	45 – 60
Sandstein	65 – 80	55 – 65
saure Magmatite	65 – 85	55 – 70
basische Magmatite	40 – 65	35 – 55
Gneis	70 – 85	60 – 70



VDI 4640-2, was ist neu?

- kleine EWS-Anlagen -

Anlagenbetrieb „nur Heizen“ (keine Trinkwassererwärmung); TWP-Austritt $\geq -5^\circ \text{C}$



Jahresvolllaststunden	Anzahl Sonden	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds W/(m·K)			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
Entzugsleistung in W/m bei turbulentem Durchfluss					
1200 h/a	1	37,5	52,0	61,5	68,3
	2	34,3	48,6	58,3	65,3
	3	32,1	46,3	56,1	63,2
	4	30,6	44,4	54,3	61,5
	5	29,7	43,4	53,4	60,8
1500 h/a					
1800 h/a					
2100 h/a					
2400 h/a	1	23,7	37,4	47,3	
	2	21,0	33,6	43,3	
	3	19,3	31,2	40,6	
	4	18,0	29,5	38,5	
	5	17,3	28,3	37,3	

Tabellen mit Ergebnissen aus Simulationen dienen lediglich als Hilfestellung.

VDI 4640-2, was ist neu?

- kleine EWS-Anlagen -

Anlagenbetrieb „nur Heizen“ (keine Trinkwassererwärmung); TWP-Austritt $\geq -5^\circ \text{C}$



Jahresvolllaststunden	Anzahl Sonden	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds W/(m·K)			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
Entzugsleistung in W/m bei turbulentem Durchfluss					
1200 h/a	1	37,5	52,0	61,5	68,3
	2	34,3	48,6	58,3	65,3
	3	32,1	46,3	56,1	63,2
	4	30,6	44,4	54,3	61,5
	5	29,7	43,4	53,4	60,8
Anlagenbetrieb „nur Heizen (ohne Trinkwassererwärmung)“					
Anlagenbetrieb „Heizen und Trinkwassererwärmung“					
Minimaltemperaturen TWP-Austritt		2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)		
von -5°C (alte VDI),		37,4	47,3		
von -3°C (Ländervorgaben und SIA)		33,6	43,3		
von $\geq 0^\circ \text{C}$		31,2	40,6		
		29,5	38,5		
		28,3	37,3		

Tabellen mit Ergebnissen aus Simulationen dienen lediglich als Hilfestellung.

VDI 4640-2, was ist neu?

- kleine EWS-Anlagen -



„Wenn die Voraussetzungen für eine Auslegung nach Kennwerten gemäß Abschnitt 7.1.2 nicht vorliegen oder eine genauere Auslegung und/oder Optimierungs- und Variantenrechnungen (Sondenanordnung, Verfüllmaterial usw.) durchgeführt werden sollen, kommen Rechen- und Simulationsverfahren zum Einsatz.“

(Abschnitt 7.1)

Achtung!

Die Randbedingungen der bereitgestellten spezifischen Entzugsleistungen sind detailliert vorgegeben. Abweichungen (z. B. bei der Anordnung der EWS oder dem Bohrlochwiderstand) erfordern den rechnerischen Nachweis der Auslegung!

Auslegung von Erdwärmesonden grundsätzlich mittels Berechnungsverfahren

Geologischer Dienst NRW

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

13

VDI 4640-2, was ist neu?

- Systemdurchlässigkeit / Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit -



Der Verfüllbaustoff muss bei Ermittlung der Durchlässigkeit an einer Materialprobe in Anlehnung an DIN 18130-1 einen Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $\leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s aufweisen. Dieser Durchlässigkeitsbeiwert des Materials darf nicht mit dem Durchlässigkeitsbeiwert des **Systems Erdwärmesonde** (nach Abschnitt 7.3.4) verwechselt werden.

„Ein Durchlässigkeitsbeiwert der Materialprobe von $k_f > 1 \cdot 10^{-10}$ m/s bis $k_f \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s ist zulässig, wenn der Verfüllbaustoff nur in nachweisbar frostfrei zu betreibenden Anlagen eingesetzt wird...“

NEU

Thema „Verfüllung“ erhält deutlich größere Relevanz

Geologischer Dienst NRW

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

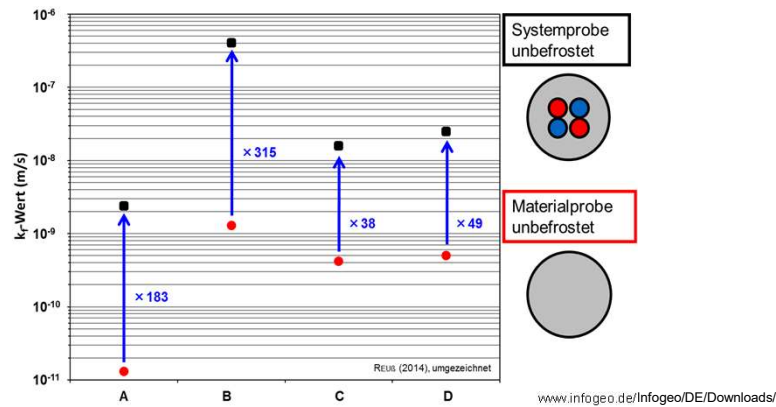
14

VDI 4640-2, was ist neu?

- Systemdurchlässigkeit / Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit -



Hintergrund für die Empfehlung:



VDI 4640-2, was ist neu?

- Systemdurchlässigkeit / Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit -



Bohrdaten	
Bohrzeitraum Datum Uhrzeit (von/bis):	Verrohrungsdurchmesser: mm
Geräteleiter:	Verrohrungstiefe: m
Bohrverfahren:	Bohrerdurchmesser: mm
Spülmedium:	Erreichte Endteufe: m
Wetter (Temperatur, Witterung):	Wasserzutritt bei: m u GOK
Klüftigkeiten:	Wasserspiegel vor Sondeneinbau: m u GOK
Kein Bohrgutaustrag ab:	
Besonderheiten (z. B. Spülungsverluste):	
Sondeneinbau	
Datum Sondeneinbau:	Einbau, wassergefüllt:
Sondentyp (1-U, 2-U, koaxial):	Einbau mit Gewicht:
Hersteller:	Druckdicht verschlossen:
Fabrikationsnummer:	Eingebaute Sondenlänge:
Rohrbezeichnung (Material, Ø, SDR-Klasse, PN):	Einbaulänge Injektionsrohr: m
Injektionsrohr (Material, Ø):	

Thema „Verfüllung“ erhält deutlich größere Relevanz

VDI 4640-2, was ist neu?

- Systemdurchlässigkeit / Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit -



Angaben zur Ringraumverfüllung			
Datum Verfüllung:	Beginn Uhrzeit :	Dauer:	min
Hersteller der Verfüllung:		Typ der Verfüllung :	
Bei mehrstufiger Verfüllung:	Anz. der Injektionsrohre	W/F-Wert laut Datenblatt:	
Einbautiefen von GOK	m	m	m
<input type="checkbox"/> Durchlaufmischer, Typ:	<input type="checkbox"/> Chargenmischer, Typ:		
Menge Verfüllbaustoff:	kg	Aufbereitung <input type="checkbox"/> kolloidal oder <input type="checkbox"/> niedertourig	
Menge Mischwasser:	ℓ	Verfüllbaustoff Menge pro Charge:	kg
Gemessene Suspensionsdichte am Mischer:	kg/ℓ	Wassermenge pro Charge:	ℓ
Gesamtverfüllung (Suspension):	ℓ	Gemessene Suspensionsdichte im Mischer:	kg/ℓ
Nachverfüllung: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein; wenn ja, mit Verfüllbaustoff <input type="checkbox"/> Sand <input type="checkbox"/> Kies <input type="checkbox"/> Tonpellets		Anzahl Chargen:	
Menge ℓ oder Menge		Gesamtverfüllung (Suspension):	
Theoretische Verfüllmenge (berechnet):	ℓ	Tatsächliche Verfüllmenge:	
Gemessene Suspensionsdichte bei Austritt aus dem Bohrloch:			
Maximaler Verfülldruck:			
Anforderungen Genehmigungsbescheid eingehalten:			
Bemerkungen: (z. B. Einsatz von Stopfmittel):			

Thema „Verfüllung“ erhält deutlich größere Relevanz

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

Geologischer Dienst NRW

17

VDI 4640-2, was ist neu?

- Systemdurchlässigkeit / Frost-Tau-Wechsel-Widerstandsfähigkeit -



Anhang E Randbedingungen für Prüfverfahren zur Bestimmung des Einflusses von Verfüllbaustoffen bei Frost-Tau-Wechseln

Nachfolgend sind die Grundlagen für Prüfverfahren beschrieben, die für die in Abschnitt 7.3.4.2.4 genannte Prüfung des Verhaltens bei Frost-Tau-Wechsel geeignet sind.

a) Herstellung von zylindrischen Prüfkörpern

(nach Möglichkeit gleichzeitige Herstellung von mehreren Prüfkörpern für Parallelversuche)

- Bei der Herstellung der Prüfkörper ist in diese jeweils mindestens ein Sondenrohrabschnitt zentriert einzubauen und der verbleibende Ringraum zu verfüllen. Die Durchmesser von Sondenrohrabschnitt(en) und Probenzylinder müssen Werte aufweisen, die in möglichst gleichem Verhältnis zur Geometrie einer typischen Erdwärmesonde stehen.
- Die Zeitdauer der Aushärtung der Prüfkörper ist abhängig von der Lagertemperatur. Bei 10 °C (untere Grenze) beträgt sie 56 Tage, bei 20 °C (obere Grenze) 28 Tage. Während dieser Zeit ist eine verdunstungsgeschützte Lagerung, z. B. unter Wasser, bei gleichbleibenden Bedingungen erforderlich.

b) Messdurchführung

- Einbau der Prüfkörper in eine Messzelle mit folgenden Mindestanforderungen:
 - axial: Möglichkeit zur Durchlässigkeitsmessung
 - radial: seitliche Begrenzung der Ausdehnung (radiale Spannungs- oder Dehnungsrandbedingung)
- Durchführung von mindestens drei Parallelversuchen
- Während des gesamten Prüfablaufs muss für die Prüfkörper ununterbrochen eine allseitige Dehnungsbegrenzung gegeben sein.

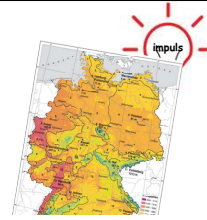
Beschreibung der Rahmenbedingungen für Untersuchungen zur Frost-Tau-Beständigkeit

5. Willicher Praxistage – Geothermie, 06. Nov. 2019

Geologischer Dienst NRW

18

VDI 4640-2, was ist neu? - Auslegungstabellen Erdwärmekörbe -



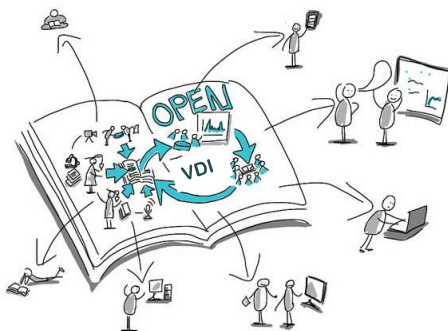
Klimazone	Entzugsleistung in W/Korb Entzugsenergie in kWh/a Volllaststunden in h/a	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Klimazone 1	Entzugsleistung	330	510	540	590
	Entzugsenergie	540	840	890	970
	Volllaststunden	1650	1650	1650	1650
Klimazone 2	Entzugsleistung	280	450	480	530
	Entzugsenergie	500	810	860	860
	Volllaststunden	1800	1800	1800	1800

Voraussetzungen:

- ✓ Geometrie 1,3 m x 1,3 m oder 2,0 m x 0,5 m
- ✓ 4 m Mittelpunktsabstand
- ✓ 4 Nachbarkörbe



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Ingo Schäfer