

Luft-Erdwärmetauscher L-EWT

Planungsleitfaden Teil 2



Anhang

Version 0.9 November 2004

Der zweite Teil des Planungsleitfadens für Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) befasst sich vorwiegend mit der Auslegung von großen L-EWT für Nichtwohngebäude.

Der Planungsleitfaden besteht aus mehreren Modulen.

Das Anwendungsziel der einzelnen Module ist in der Datei LEWT_PLF2_EINLEITUNG_09.pdf detailliert beschrieben. Insgesamt existieren folgende Module:

LEWT_PLF2_LIESMICH_09.pdf	Übersicht
LEWT_PLF2_EINLEITUNG_09.pdf	Einleitung
LEWT_PLF2_SIMULATION_09.pdf	Numerisches Simulationsprogramm
LEWT_PLF2_BENCHMARK_09.pdf	Überschlägiges Abschätzverfahren
LEWT_PLF2_KENNZAHLE_09.pdf	Qualitätsbewertung
LEWT_PLF2_DATENBLATT_09.pdf	Standardisierte Datenblätter
LEWT_PLF2_TECHNISCHEDETAILED_09.pdf	Planungshinweise, Mathematik und Details
LEWT_PLF2_PROJEKTE_09.pdf	Projektberichte
LEWT_PLF2_ANHANG_09.pdf	Tabellen, Simulationsergebnisse, Literaturstellen

Jedes Modul kann unter www.ag-solar.de als PDF-Version einzeln geladen werden.

Der erste Teil, der die Basisinformationen und Auslegungshinweise für einfache Kleinsysteme bei Wohngebäuden enthält, ist erhältlich über www.ag-solar.de und www2.dlr.de/ET/sonnenofen/nesa sowie als Druckversion vom DLR, Köln.

Hauptautor dieses Moduls:

Dr.-Ing. Gerd Dibowski

Kontakt: gerd.dibowski@dlr.de

Inhaltsverzeichnis

1	STANDARDEERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER MUSTERANLAGEN	3
2	VARIATIONSPARAMETER VON MUSTERLÖSUNGEN	4
2.1	DIE TEMPERATURLEITFÄHIGKEIT A ALS ERSTER VARIATIONSPARAMETER BEI DER AUSLEGUNGSBERECHNUNG.....	4
2.2	DER METEOROLOGISCHE STANDORT ALS ZWEITER VARIATIONS- PARAMETER BEI DER AUSLEGUNGSBERECHNUNG.....	5
3	MUSTERERGEBNISSE AUSGEWÄHLTER KONFIGURATIONEN.....	7
3.1	MUSTERLÖSUNGEN FÜR KLEINE L-EWT MIT NENN-LUFTVOLUMENSTRÖMEN BIS 600 M ³ /H.....	8
3.2	MUSTERLÖSUNGEN UND SENSITIVITÄT FÜR NENN-LUFTVOLUMENSTRÖME BIS 3000 M ³ /H.....	11
4	ZUSAMMENGEFASSTE ERGEBNISSE WESENTLICHER L-EWT-KONFIGURATIONEN.....	18
5	UNTERSUCHUNGSMETHODEN DER LUFTHYGIENISCHEN MESSUNGEN	47
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	51
6.1	WEBADRESSEN.....	66

Anhang

1 Standardergebnisse ausgewählter Musteranlagen

Nachfolgend werden umfangreiche Ergebnisse numerischer Simulationen mit den wichtigsten Betriebsparametern zusammengefasst dargestellt. Des weiteren werden Ergebnisse gezeigt, die die Sensitivität einer Systemleistung oder eines Ertrags bei Änderung der wesentlichen Randbedingungen, Ort, Tiefe und Bodenkennwerte darstellen.

Es ist aufgrund der konstruktiven Systemeigenschaften eines L-EWT naheliegend, dass die Bodeneigenschaften einen wesentlichen Einfluss auf das Betriebsergebnis haben. Wie aus der Fourier'schen Wärmeleitungsgleichung [Baehr1], die den Wärmetransport in (homogenen) festen Körpern beschreibt, hervorgeht, bestimmen einige wichtige Bodenkennzahlen dieses Verhalten. Es zeigt sich allerdings, dass die Bestimmung der Dichte ρ_E , besonders aber der spezifischen Wärmekapazität c_E und der Wärmeleitfähigkeit λ_E zum Einen sehr aufwändig und kostenintensiv ist und zum Anderen keine sehr genauen Ergebnisse liefert. Hat man den Eindruck, diese Stoffkennzahlen für "seinen" Boden dennoch gut zu kennen, fehlen immer noch ganz wichtige Informationen darüber, wie der schwankende Feuchtegehalt des Bodens über ein Jahr verläuft und welchen Einfluss er auf Veränderungen der aufgeführten Stoffwerte hat [Dibo+Ritt]. Nur wenn man diese Informationen vorliegen hat, kann streng genommen eine Auslegungsberechnung durchgeführt werden.

Tabelle A1 Typische Bodenkennwerte nach Sanner

Bodenart	Korndichte	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Spezif.Wärmekap. [kJ/kg/K]
Torf	n.a.	0,2 – 0,7	n.a.
Kies, fein, trocken	2,73	0,39 – 0,41	n.a.
Kies, mittel, trocken	2,77	0,41 – 0,43	n.a.
Kies, grob, trocken	2,71	0,47 – 0,52	n.a.
Sand, div.	n.a.	0,2-2,3	n.a.
Sand, trocken	2,66	0,27-0,57	0,84
Sand, feucht	2,66	0,58-1,75	0,91-1,0
Sand, gesättigt	2,66	1,73-5,02	1,36
Sand, gesättigt, gefroren	2,66	2,94	1,03
Sand/Kies	2,7	1,54	0,95
Sand/Kies, gefroren	2,7	1,25	0,86
Sand/Kies, tonig, trocken	2,71	0,52	n.a.
Sand/Kies, tonig, gesättigt	2,71	2,46	n.a.
Sand, verdichtet	n.a.	1,11-1,25	n.a.
Schluff, div.	n.a.	1,0-2,3	n.a.
Schluff, div. Trocken	n.a.	0,38	n.a.
Ton	2,64	< 1,7	n.a.
Lehm, tonig	2,39	< 1,4	n.a.
Ton, div.	n.a.	0,9-2,22	0,93 (für 2,22)
Ton, feucht	n.a.	1,11-1,25	n.a.
Erde, tonig, feucht	n.a.	1,51-2,5	n.a.
Erde, trocken	n.a.	0,34-0,36	n.a.

2 Variationsparameter von Musterlösungen

Wie bereits im Modul EINLEITUNG beschrieben wird, führt der Quotient $\lambda_E/(\rho_E \cdot c_E)$ zu der Temperaturleitfähigkeit a_E , die das Berechnungsergebnis wesentlich beeinflusst. Die Temperaturleitfähigkeit ist hierbei ein Maß, wie schnell das Erdreich auf Temperaturänderungen reagiert. Unabhängig von der Vielfalt der möglichen Wertekombinationen aller Bodenzusammensetzungen kann festgestellt werden, dass für ALLE Bodenarten die Temperaturleitfähigkeit nur ganz bestimmte Grenzwerte annehmen kann. Berechnet man nun einen vordefinierten L-EWT mit den beiden Grenzwerten von a_E , liegt ein richtiges Ergebnis auf jeden Fall innerhalb dieser Spanne. In einem zweiten Schritt muss der Planer dann aufgrund der ihm vorliegenden Informationsdetails entscheiden, ob er "sein" Ergebnis eher am oberen oder unteren Rand der beiden Ergebnisse vermutet.

Der vorsichtige Planer liegt auf jeden Fall immer mit dem kleineren Wert von Ertrag und maximaler Temperaturspanne richtig und kann davon ausgehen, dass das tatsächliche Ergebnis wahrscheinlich etwas besser ist, was ihm eine "stille Reserve" einbringt.

Aufgrund dieser Überlegungen werden Resultate von numerischen Systemberechnungen zusammengefasst dargestellt, die u.a. neben den Ergebnissen für einen Boden mit mittleren Stoffeigenschaften auch die Schwankungsbreite darstellt, die sich aus den oben ableitbaren Erläuterungen ergeben. Die Ergebnisse beinhalten bereits den Einfluss von Ermüdungseffekten bei Dauerbetrieb und die Störeinflüsse durch Interferenzen bei der Registeranordnung.

2.1 Die Temperaturleitfähigkeit a als erster Variationsparameter bei der Auslegungsberechnung

Hinzuweisen ist darauf, dass die Bodeneigenschaften feucht und schwer nicht zwangsläufig auf einen hohen Wert für a_E hindeuten. So liegt der Wert für z.B. wassergesättigten Ton bei ca. $3,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, also eher am unteren Grenzwert der Temperaturleitfähigkeit a_E .

Aus der Literatur lassen sich für die Grenzen der Temperaturleitfähigkeit a_E für insgesamt alle Bodenarten folgende Grenzwerte annehmen.

a hoch	1,09	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
	0,28	

Diese Werte stellen die theoretischen Grenzwerte dar, die bei absoluter Sättigung bzw. bei vollständiger Trocknung des Bodens erreicht werden können. Für realistische Fälle bewegen sich diese Werte aufeinander zu, da auch ein gesättigter Boden noch Lufteinschlüsse und ein trockener Boden noch Restfeuchte besitzt. Die daraus ableitbaren realistischen Grenzwerte liegen dann bei etwa:

a hoch	0,9	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
a niedrig	0,45	

Da über ein vollständiges Jahr betrachtet weder ständig Sättigung oder Trockenheit vorliegt, sind diese Werte für praktische Berechnungen noch weiter eingrenzbare, was die Schwankungsbreite der möglichen Ergebnisse in den meisten Fällen noch etwas verkleinert, wobei allerdings zu beachten ist, dass a_E eben nicht nur vom Feuchtegehalt des Bodens abhängt (s.o.). Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse beziehen sich somit auf die Werte in Tabelle A3.

2.2 Der meteorologische Standort als zweiter Variationsparameter bei der Auslegungsberechnung

Ein weiterer zu beachtender Einfluss auf das Betriebsergebnis ist der meteorologische Standort an dem ein L-EWT betrieben werden soll. Es ist zu erwarten, dass ein baugleiches System an zwei unterschiedlichen Standorten nicht zu gleichen Ergebnissen führen wird. Wie in [Dibo+Ritt] gezeigt werden konnte, sind die meteorologischen Unterschiede innerhalb aller erfassten deutschen Standorte i.a. nicht erheblich. Allerdings kann von Interesse sein, wie sich ein bestimmter L-EWT in einer schattigen Tallage am Alpenrand oder an der windigen Küste zu einem warmen Standort wie z.B. im Badischen unterscheidet. Insofern werden ebenfalls zu den Bodenart-bedingten Ergebnisbereichen gegenüber einem Standort mit mittleren meteorologischen Parametern auch zwei extreme Standorte (wärmer, kälter) berücksichtigt.

Als meteorologischer Mittelwert gilt der Referenz-Standort Giessen. Nach DIN 4710 "Meteorologische Daten" [DIN 4710] entspricht die mittlere Jahres-Umgebungstemperatur von Giessen dem Mittelwert der Jahres-Umgebungstemperaturen aller in [DIN 4710] aufgeführten Standorte innerhalb der Bundesrepublik. Dieser Wert liegt bei **8,93 °C**.

Tabelle A2 Monatliche Temperatureckwerte für verschiedene Standorte nach DIN 4710

	DIN 4710 Meteorologische Daten	Tagesmitteltemperaturen nach DIN 4710 °C	Amplitudenminima und -maxima zum Jahresmittelwert °C		
			Min °C	Max °C	Mittelwert Amplitude
1	Essen	9,47	7,87	7,53	7,7
2	Berlin	9,03	9,73	9,47	9,6
3	Braunschweig	8,57	8,77	8,43	8,6
4	Bremerhaven	8,73	7,83	7,78	7,8
5	Frankfurt/Main	10,04	8,94	8,86	8,9
6	Gießen	8,94	8,74	8,66	8,7
7	Hamburg-Fuhlsbüttel	8,39	7,89	8,01	7,95
8	Mannheim	10,16	8,96	9,04	9,00
9	München	8,12	9,62	9,38	9,5
10	Nürnberg-Flughafen	8,48	9,48	9,33	9,4
11	Regensburg	8,06	10,16	9,64	9,9
12	Stuttgart-Hohenheim	8,58	8,88	8,73	8,8
13	Trier-Petrisberg	9,03	8,13	8,18	8,15

Für die Bestimmung des Betriebsverhaltens eines L-EWT ist bei Wohn- bzw. Niedrigenergie- oder Passivhäusern –im Gegensatz zu L-EWT für große Bürogebäude- die winterliche Heizperiode von entscheidender Bedeutung bei der Anlagenplanung. Daher reicht die Betrachtung der Jahresmitteltemperatur eines Standortes für die Auslegung, speziell für den Vorwärmfall, nicht aus. Einem, gegenüber den Durchschnittswerten der Wintermonate, relativ kalter Standort folgt nicht zwangsläufig auch ein relativ kalter Sommer. So folgt z.B. dem eher kalten Winter in Freiburg i.Brsg. ein vergleichsweise sehr warmer Sommer, was in etwa zu einem Jahresmittelwert der Außenlufttemperatur führt. Für die Heizperiode als ausschließlichen Betrachtungszeitraum gilt gegenüber Giessen als besonders kalter Standort Oberstdorf im Allgäu, als relativ milder Standort Köln, in der rheinischen Tiefebene. Bild A1 bestätigt diese Feststellung anhand von Meteorologischen Daten.

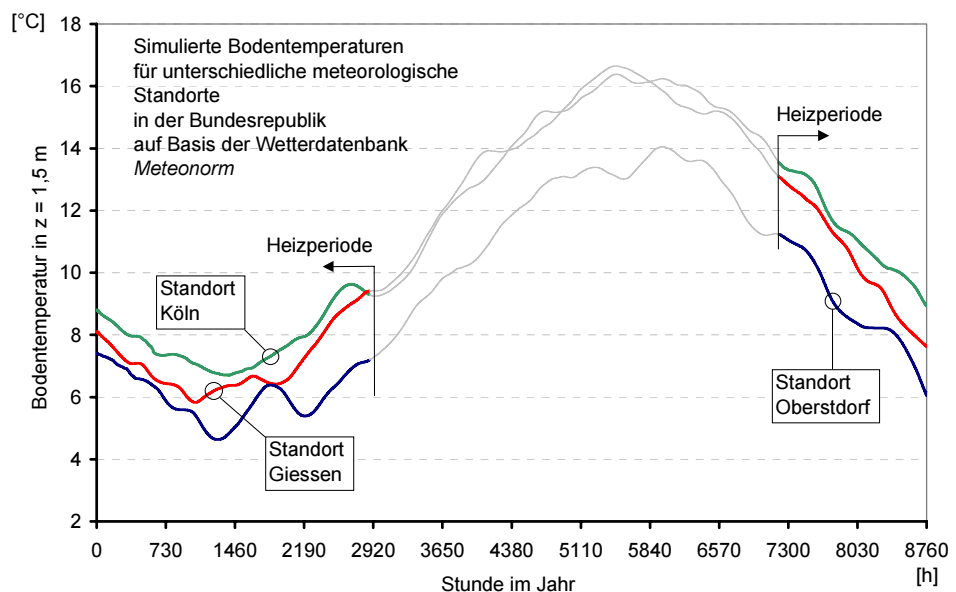
Tabelle A3 Mittlere Monats-Außenlufttemperaturen der Referenzstandorte

Mittlere Monats-Außenlufttemperaturen der Referenzstandorte in °C			
Geographische Lage	Oberstdorf	Giessen	Köln
Nördliche Breite	51,29	50,35	50,47
Östliche Länge	-7,12	-8,42	-7,18
Höhe über NN [m]	843	xxx	50
November	2,3	4,4	6,2
Dezember	-0,4	1,3	4,0
Januar	-1,7	0,5	2,3
Februar	-1,0	1,6	2,9
März	1,8	4,7	6,2

Quelle: Meteonorm

Innerhalb dieser Werte befinden sich die meisten Standorte in Deutschland. Entsprechend bilden sich zum Teil deutliche Unterschiede der Bodentemperaturprofile aus.

Bild A1
Bodentemperaturen der verschiedenen Standorte



3 Musterergebnisse ausgewählter Konfigurationen

Die nachstehenden Angaben beruhen auf Ergebnissen numerischer Simulationsverfahren, die das dynamisch Verhalten thermischer Austauschprozesse von L-EWT im Prinzip gut abbilden können. Die aufgeführten Erträge gelten für eine Standard-Verlegetiefe von 1,5 Metern.

Die Rohrdurchmesser werden durch den geforderten Volumenstrom bestimmt, wobei zu beachten ist, dass sich mit der Reduzierung des Durchmessers die Ertragsleistung nur unwesentlich verbessert, allerdings die Druckverluste deutlich. Die Höhe der Druckverluste bestimmen dabei den Wirkungsgrad und die Arbeitszahl des L-EWT und damit die Primärenergieeinsparung bzw. die CO₂-Einsparung. Eine eher langsame Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von etwa 2 m/s kann bei richtiger konstruktiver Ausführung die angestrebten Ziele gewährleisten, wobei bei dieser Geschwindigkeit auch nicht schalltechnischen Problemen zu rechnen ist. Nachfolgend werden die aufgeführten Ergebnisse nach den Luftvolumina unterteilt (Tabelle A4). Bild A2 beschreibt die Positionen der Einzelergebnisse für die nachfolgend gerechneten Musteranlagen.

Tabelle A4

L-EWT-Musterergebnisse für Luftvolumenströme in m ³ /h		
150	300	600
1000	1500	3000

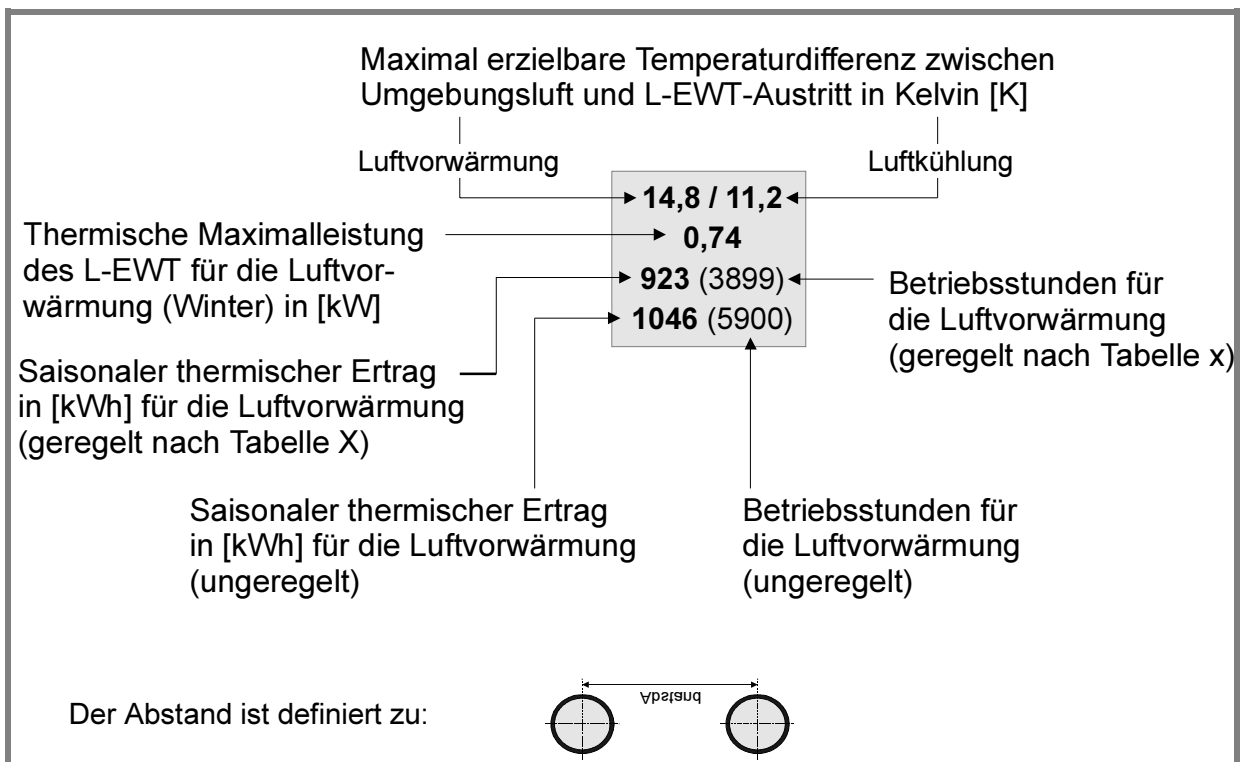


Bild A2 Erläuterungen der Ergebnispositionen in den Musterdiagrammen

Die maximalen Temperaturdifferenzen und die thermische Maximalleistung für die Luftvorwärmung werden unabhängig von einer Regelung erzielt, da unter solchen Maximalsituationen der L-EWT immer eingeschaltet wäre. Anhand der thermischen Erträge kann der regelungsbedingte Unterschied gezeigt werden, wobei erst über die Differenz der Betriebsstunden der unnötige Energieinput bei nichtgeregelten Anlagen deutlich wird. Die thermischen Erträge (Kühllastsenken) im sommerlichen Kühlfall sind im Wohnhausbereich im Gegensatz zu großen (Büro-) Gebäuden nicht von Bedeutung. Die hier wichtige maximal erreichbare Temperaturdifferenz für kurzfristige Kühleffekte ist allerdings aufgeführt. Die Geometrien der nachfolgend aufgeführten Beispielanlagen sind so gewählt, dass bei geregelter Betrieb eine positive Primärenergiebilanz gewährleistet ist. Allerdings wurden ökonomische Zwänge insofern beachtet, dass man auf "die letzten 10 Meter Rohr" verzichtet hat, in Kenntnis, dass damit das Betriebsverhalten, trotz des abflachenden Lufttemperaturprofils entlang der Strömungsrichtung im Rohr, dennoch verbessert worden wäre.

3.1 Musterlösungen für kleine L-EWT mit Nenn-Luftvolumenströmen bis 600 m³/h

Die Ergebnistabellen spiegeln quasi eine Sensitivitätsanalyse wider. Das Betriebsverhalten eines meteorologisch mittleren Standortes mit einem Boden mit mittleren Leitungseigenschaften befindet sich im Zentrum der Tabelle, deutlich umrahmt. Die benachbarten Felder zeigen, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn man den Standort, oder den Boden, oder beides verändert.

Tabelle A5 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 150 m ³ /h Ø DN200 Länge: 30 m v _{L,max} = 1,33 m/s				Verlegetiefe 1,5 m
Temperaturleitfähigkeit a des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	14,8 / 11,2	13,7 / 10,8	13,6 / 12,3	K/K	
		0,74	0,7	0,68	kW	
		923 (3899)	762 (3530)	618 (3000)	kWh/h	
	0,6	1046 (5900)	884 (5431)	748 (5083)	kWh/h	
		16,1 / 11,7	15,1 / 11,5	14,6 / 13,0	K/K	
		0,81	0,76	0,73	kW	
	0,9	1083 (4224)	899 (3857)	723 (3282)	kWh/h	
		1188 (6072)	1007 (5692)	842 (5282)	kWh/h	
		16,5 / 11,9	15,8 / 12,0	14,9 / 13,2	K/K	
0,8	0,84	0,8	0,75	kW		
	1154 (4266)	960 (3901)	765 (3298)	kWh/h		
	1266 (6128)	1078 (5834)	894 (5395)	kWh/h		
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

Des weiteren lässt sich aus den Ergebnissen schließen, mit welchen Veränderungen bei Änderung der Geometrie ungefähr zu rechnen ist. Für diese Standardfälle liefert kein Simulationsprogramm bessere Ergebnisse.

Das erste Beispiel in Tabelle A6 verdeutlicht, dass ein L-EWT bei der Luftvorwärmung am kältesten Standort (Oberstdorf) das beste Betriebsergebnis liefert. Dies liegt u.a. daran, dass das Bodentemperaturprofil dem mittleren Außenlufttemperaturprofil nur stark gedämpft folgt und dieser Effekt durch die generell größeren Temperaturunterschiede zwischen Luft- und Erdreich an diesem Standort stärker ausgeprägt sind, als an den "wärmeren" Orten. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass Änderungen des inhomogenen Feuchteprofils des Erdreichs nur indirekt über die Temperaturleitfähigkeit erfasst werden können. Daher sollte mit Ergebnisschwankungen von etwa 30% gerechnet werden. Wer hier "auf Nummer Sicher gehen" will, rechnet immer mit dem schwächsten Ergebnis der jeweiligen Tabelle.

Tabelle A6 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 300 m ³ /h Ø DN250 Länge: 35 m v _{L,max} = 1,7 m/s				Verlegetiefe 1,5 m
Temperaturleitfähigkeit a des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	12,3 / 9,74	11,4 / 9,44	11,4 / 10,6	K/K	
		1,23	1,15	1,15	kW	
		1368 (3358)	1120 (2974)	906 (2473)	kWh/h	
	0,6	13,8 / 10,4	12,8 / 10,2	12,7 / 11,45	K/K	
		1,39	1,29	1,28	kW	
		1719 (3856)	1413 (3454)	1146 (2927)	kWh/h	
	0,9	14,7 / 10,8	13,9 / 10,9	13,3 / 11,9	K/K	
		1,48	1,4	1,34	kW	
		1953 (4139)	1622 (3769)	1304 (3175)	kWh/h	
		2166 (6108)	1848 (5818)	1549 (5389)	kWh/h	
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

Ab einem Volumenstrom von etwa 600 m³/h kann über den Einsatz eines Registers an Stelle eines Einzelrohres nachgedacht werden.

Weniger aus energetischer Sicht, als mehr aufgrund der Tatsache, dass Rohre mit sehr kleinen Durchmessern (d <150mm) gegenüber dem entsprechenden Einzelrohr kostengünstiger sein können (z.B. Kabelschutzrohr, siehe PLANUNGSHINWEISE).

Bei größeren Systemen kommt bei richtiger Auslegung auch der energie-technische Vorteil eines Registers zum Tragen.

Tabelle A7 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 600 m ³ /h \varnothing DN400 Länge: 60 m $v_{L,max} = 1,33$ m/s				Verlegediefe 1,5 m
Temperaturleitfähigkeit α des Erdreichs in 10^{-6} m ² /s	0,4	12,8 / 10,14 2,58 2851 (3392) 3440 (5770)	12,0 / 9,9 2,41 2340 (2999) 2922 (5275)	12,0 / 11,1 2,41 1909 (2525) 2505 (4940)	K/K kW kWh/h kWh/h	
	0,6	14,2 / 10,7 2,85 3493 (3851) 3989 (5958)	13,2 / 10,6 2,7 2890 (3462) 3405 (5568)	13,0 / 11,8 2,62 2342 (2933) 2877 (5159)	K/K kW kWh/h kWh/h	
	0,9	14,8 / 11,4 3 3904 (4150) 4326 (6091)	14,0 / 11,2 2,82 3247 (3742) 3714 (5812)	13,5 / 12,14 2,71 2608 (3157) 3111 (5373)	K/K kW kWh/h kWh/h	
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

Tabelle A8 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Register		Volumenstrom 600 m ³ /h \varnothing DN200 Länge: 30 m $v_{L,max} = 1,33$ m/s				Verlegediefe 1,5 m 4 Rohre Abstand: 0,7 m
Temperaturleitfähigkeit α des Erdreichs in 10^{-6} m ² /s	0,4	11,5 / 11,2 2,32 1913 (2317) 2451 (4391)	11,4 / 11 2,3 1500 (1824) 2071 (3999)	11,6 / 12,6 2,33 1419 (1746) 2021 (3951)	K/K kW kWh/h kWh/h	
	0,6	12,7 / 12,1 2,56 2294 (2605) 2756 (4613)	12,5 / 11,8 2,52 1800 (2088) 2368 (4290)	12,6/13,3 2,53 1683 (1976) 2280 (4195)	K/K kW kWh/h kWh/h	
	0,9	15,5 / 11,54 3,12 3769 (3895) 4211 (5921)	14,4 / 11,6 2,9 3066 (3491) 3556 (5681)	14,3 / 12,5 2,87 2592 (3055) 3085 (5220)	K/K kW kWh/h kWh/h	
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

3.2 Musterlösungen und Sensitivität für Nenn-Luftvolumenströme bis 3000 m³/h

Mit den Musterergebnissen bis zu einem Volumenstrom von 3000 m³/h lassen sich auch über Ergebnisaddition Abschätzungen sehr großer Anlagen vornehmen, da sie i.d.R. eine konstruktive Wiederholung der hier betrachteten Modelle darstellen. Da gerade bei großen Systemen die Vielfalt in Frage kommender Auslegungsvarianten besonders groß ist, sind die hier aufgeführten Angaben eine komfortable Hilfe zur Eingrenzung geeigneter Systeme.

Dennoch sei darauf nochmal darauf hingewiesen, dass die nach der Vorauswahl noch übrig gebliebenen Auslegungsvarianten über das numerische Simulationsprogramm LEWTSim einzeln mit den konkreten Randparametern gerechnet werden müssen.

Tabelle A9 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 1000 m ³ /h Ø DN400 Länge: 60 m v _{L,max} = 2,21 m/s				
Temperaturleitfähigkeit a des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	10,8 / 9,25	10,4 / 8,8	10,3 / 9,76	K/K	Verlegetiefe 1,5 m
		3,62	3,48	3,44	kW	
		3491 (2826)	2884 (2409)	2338 (2019)	kWh/h	
	0,6	4613 (5581)	3987 (5102)	3435 (4763)	kWh/h	
		12,6 / 10,0	10,7 / 9,0	11,8 / 10,8	K/K	
		4,24	3,6	3,96	kW	
	0,9	4690 (3404)	3388 (2804)	3157 (2529)	kWh/h	
		5655 (5809)	4439 (5417)	4163 (5010)	kWh/h	
		13,8 / 10,5	11,53 / 9,7	12,7 / 11,5	K/K	
	4,62	3,87	4,25	kW		
	5621 (3837)	4070 (3242)	3806 (2921)	kWh/h		
	6433 (6003)	5000 (5725)	4711 (5304)	kWh/h		
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

Tabelle A10 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 1000 m ³ /h Ø DN400 Länge: 100 m $v_{L,max} = 2,21$ m/s					
Temperaturleitfähigkeit α des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	14,7 / 11,7	12,9 / 10,8	13,8 / 12,7	K/K	Verlegetiefe 1,5 m	
		4,94	4,34	4,62	kW		
		5490 (3540)	4245 (3095)	3766 (2716)	kWh/h		
		6477 (5735)	5207 (5240)	4742 (4888)	kWh/h		
	0,6	16,5 / 12,4	14,3 / 11,6	15,2 / 13,6	K/K		
		5,55	4,8	5,1	kW		
		6866 (4018)	5253 (3548)	4677 (3126)	kWh/h		
		7679 (5945)	6111 (5547)	5550 (5146)	kWh/h		
	0,9	17,4	15,2 / 12,2	15,8 / 14,0	K/K		
5,86		5,12	5,3	kW			
7744 (4279)		5921 (3825)	5209 (3292)	kWh/h			
	8455 (6094)	6702 (5810)	6070 (5374)	kWh/h			
		Oberstdorf	Giessen	Köln			
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung		

Tabelle A11 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Register		Volumenstrom 1000 m ³ /h Ø DN200 Länge: 30 m $v_{L,max} = 1,77$ m/s					
Temperaturleitfähigkeit α des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	12,3 / 9,86	11,65 / 9,76	11,7 / 10,6	K/K	Verlegetiefe 1,5 m	
		4,12	3,91	3,93	kW		
		4160 (2984)	3285 (2528)	2825 (2225)	kWh/h		
		5201 (5466)	4361 (5041)	3874 (4682)	kWh/h		
	0,6	11,9 / 11,4	11,68 / 11,14	11,8 / 12,5	K/K		
		3,98	3,92	3,95	kW		
		3500 (2525)	2747 (2009)	2554 (1881)	kWh/h		
		4280 (4624)	3697 (4316)	3551 (4211)	kWh/h		
	0,9	14,4 / 11,0	13,5 / 11,1	13,4 / 11,84	K/K		5 Rohre Abstand: 0,9 m
4,83		4,51	4,48	kW			
5587 (3661)		4532 (3254)	3854 (2844)	kWh/h			
	6358 (5796)	5391 (5576)	4729 (5152)	kWh/h			
		Oberstdorf	Giessen	Köln			
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung		

Tabelle 12 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 1500 m ³ /h Ø DN500 Länge: 100 m v _{L,max} = 2,12 m/s				
Temperaturleitfähigkeit a des Erreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	11,8 / 9,9	11 / 9,5	11,2 / 10,6	K/K	Verlegetiefe 1,5 m
		5,96	5,6	5,63	kW	
		6060 (3085)	4901 (2640)	4053 (2218)	kWh/h	
	0,6	7665 (5640)	6508 (5136)	5668 (4813)	kWh/h	
		13,4 / 10,5	12,4 / 10,3	12,5 / 11,5	K/K	
		6,76	6,27	6,28	kW	
	7706 (3565)	6324 (3165)	5190 (2672)	kWh/h		
	9119 (5862)	7769 (5455)	6672 (5049)	kWh/h		
	0,9	14,4 / 10,9	13,4 / 11,0	13,2 / 12,0	K/K	
7,24		6,75	6,63	kW		
8988 (3958)		7437 (3556)	6065 (3004)	kWh/h		
10158 (6023)	8704 (5762)	7412 (5319)	kWh/h			
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

Tabelle A13 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Register		Volumenstrom 1500 m ³ /h Ø DN300 Länge: 35 m v _{L,max} = 1,18 m/s					
Temperaturleitfähigkeit a des Erreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	10,9 / 9,2	10,4 / 9,0	10,6 / 10,2	K/K	Verlegetiefe 1,5 m	
		5,5	5,25	5,34	kW		
		4786 (2512)	3710 (1993)	3338 (1830)	kWh/h		
	0,6	6357 (5123)	5356 (4671)	4920 (4387)	kWh/h		
		12,3 / 9,8	11,7 / 9,7	11,73 / 10,7	K/K		
		6,2	5,87	5,91	kW		
	6071 (2926)	4763 (2435)	4227 (2219)	kWh/h			
	7560 (5486)	6390 (5077)	5760 (4710)	kWh/h			
	0,9	13,3 / 10,2	12,4 / 10,2	12,4 / 11,0	K/K		5 Rohre Abstand: 0,8 m
6,68		6,25	6,25	kW			
7295 (3391)		5866 (2962)	5042 (2606)	kWh/h			
8592 (5771)	7294 (5506)	6456 (5107)	kWh/h				
		Oberstdorf	Giessen	Köln			
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung		

Tabelle 14 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Einzelrohr		Volumenstrom 3000 m ³ /h Ø DN800 Länge: 150 m v _{L,max} = 1,66 m/s				
Temperaturleitfähigkeit a des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	10,4 / 9,27	9,7 / 8,9	9,92 / 9,83	K/K	Verlegetiefe 1,5 m
		10,46	9,74	10	kW	
		10026 (2769)	8087 (2332)	6661 (1939)	kWh/h	
	0,6	13557 (5550)	11572 (5059)	10102 (4746)	kWh/h	
		11,4 / 9,62	10,5 / 9,34	10,7 / 10,43	K/K	
		11,4	10,54	10,75	kW	
	0,9	12045 (3149)	9792 (2706)	7949 (2225)	kWh/h	
		15311 (5745)	13170 (5305)	11364 (4955)	kWh/h	
		12,2 / 9,9	11,0 / 10,0	11,3 / 11,0	K/K	
0,9	12,25	11,1	11,37	kW		
	13492 (3409)	11127 (2978)	9047 (2461)	kWh/h		
	16492 (5870)	14354 (5571)	12374 (5181)	kWh/h		
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung	

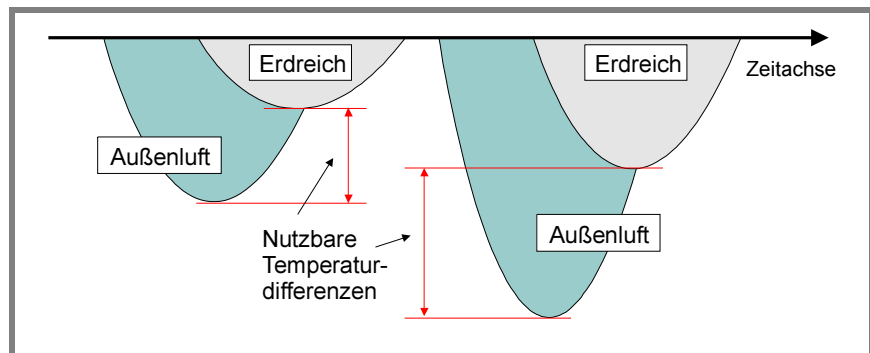
Tabelle 15 Numerische Simulationsergebnisse; Ergebnisabweichungen als Funktion von Bodenart und Standort bezogen auf einen Standort mit mittleren Basisparametern

Register		Volumenstrom 3000 m ³ /h Ø DN250 Länge: 35 m v _{L,max} = 1,7 m/s				
Temperaturleitfähigkeit a des Erdreichs in 10 ⁻⁶ m ² /s	0,4	10,9 / 9,3	10,4 / 9,1	10,6 / 10,2	K/K	Verlegetiefe 1,5 m
		10,94	10,46	10,7	kW	
		9473 (2495)	7361 (1980)	6623 (1814)	kWh/h	
	0,6	12631 (5100)	10664 (4654)	9805 (4372)	kWh/h	
		12,4 / 9,9	11,7 / 9,8	11,8 / 10,9	K/K	
		12,45	11,82	11,9	kW	
	0,9	12143 (2915)	9553 (2429)	8494 (2215)	kWh/h	
		15128 (5453)	12812 (5059)	11572 (4691)	kWh/h	
		13,4 / 10,4	12,6 / 10,4	12,6 / 11,21	K/K	
13,5	12,7	12,7	kW			
14727 (3396)	11853 (2962)	10205 (2605)	kWh/h			
0,9	17305 (5746)	14714 (5479)	13057 (5091)	kWh/h		
		Oberstdorf	Giessen	Köln		
	Musterstandorte der Heizperiode					Luftvorwärmung

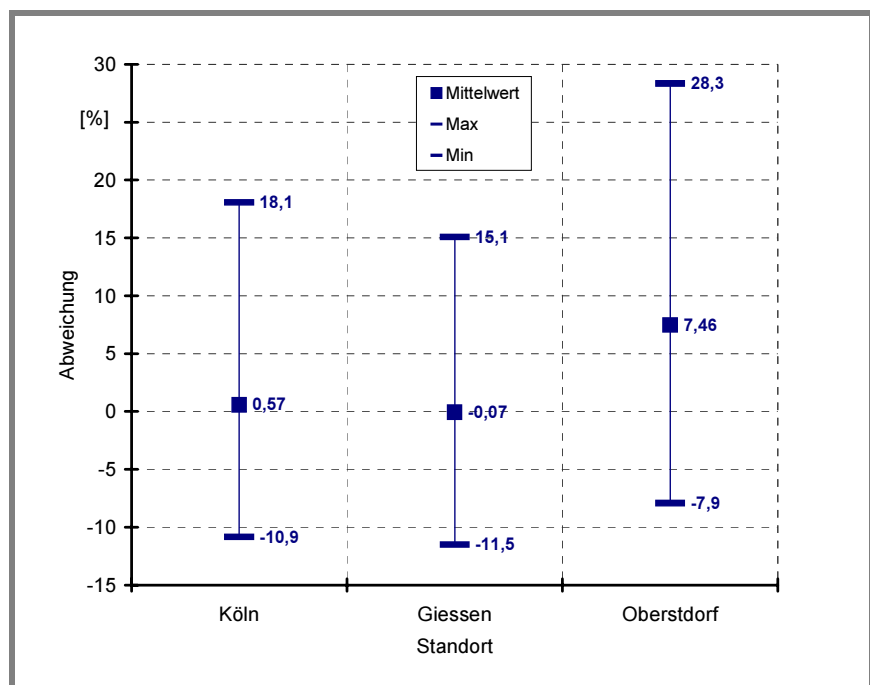
Geht man in der jeweiligen Ergebnismatrix bei der zentralen Position (Giessen; Temperaturleitfähigkeit $a = \dots$) von einem Referenz-Mittelwertergebnis aus, ist die Schwankungsbreite der Abweichungen um diese Konfiguration in Abhängigkeit von der Bodenart und dem Standort von Interesse, da die Bodenkennwerte nie genau bestimmt werden können. Es kann gezeigt werden, dass der Standort innerhalb der Bundesrepublik deutlich weniger Einfluss auf ein Betriebsergebnis hat, als die Bodenzusammensetzung. Für gemäßigte Orte wie Köln oder Giessen kann kein wesentlicher Unterschied herausgearbeitet werden. Für Oberstdorf als Ort mit besonders kühlem Winter ergeben sich generell bessere Ergebnisse im Vergleich zu den Vergleichstandorten. Dies liegt im Kern daran, dass die Dämpfung der Amplitude der Bodentemperaturwelle in bezug auf tiefere Umgebungslufttemperaturen größere ausnutzbare Temperaturdifferenzen erzeugt, als an gemäßigten Standorten (Bilder A3 und A4).

Bild A3

Nutzungspotenzial des L-EWT über Idealisierte Temperaturverläufe von Außenluft und Erdreich an unterschiedlichen meteorologischen Standorten

**Bild A4**

Mittelwert und maximale Abweichungen der Systemleistungen in Bezug auf die Referenzanlage Giessen bei mittlerer Temperaturleitfähigkeit a (0,6 ...) der Bodenart



Deutlich ausgeprägter, als durch Standorte, sind die Ergebnisunterschiede die sich aufgrund der Bodenzusammensetzung ergeben. In Bild A5 ist zu erkennen, dass eine hohe Temperaturleitfähigkeit zu deutlich besseren Ergebnissen, auch an gemäßigten Standorten geführt.

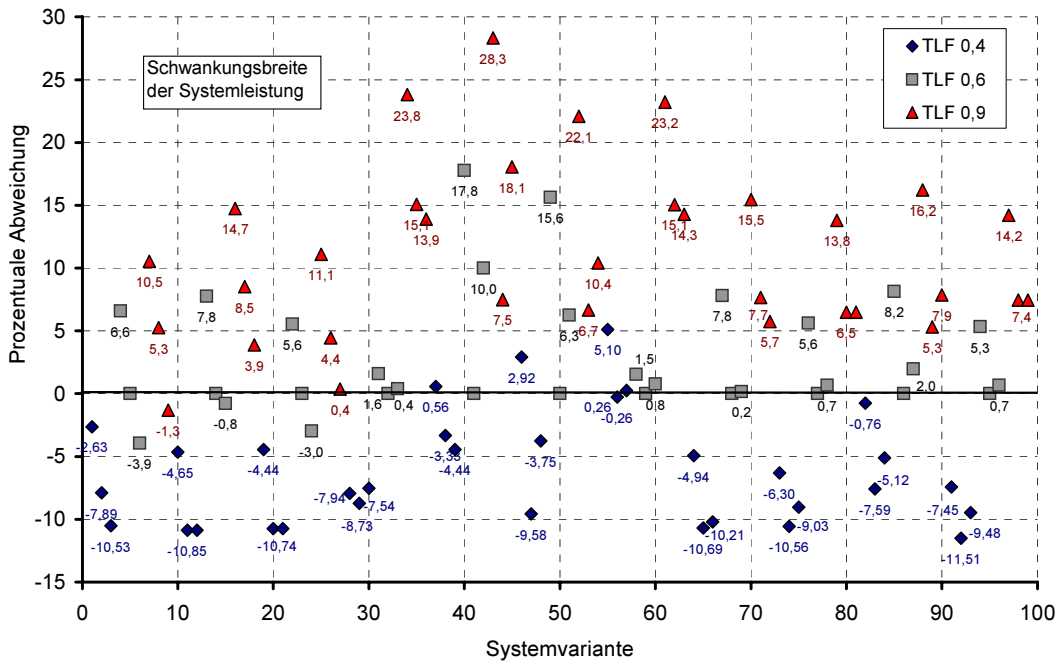


Bild A5 Ergebnisabweichungen als Funktion der Bodenart

Ein "guter" Boden (a hoch) führt auch an wintergemäßigten Orten, wie Köln zu besseren Resultaten, als ein "schlechter" Boden (a niedrig) in Oberstdorf. Der an sich günstigere Standort kann dieses Defizit nicht ausgleichen. Die Mittelwerte der Abweichungen gegenüber dem Referenzsystem steigen deutlich mit der Temperaturleitfähigkeit (Bild A6). Die größten absoluten Abweichungen fallen dennoch (mit 28,33 %) recht moderat aus.

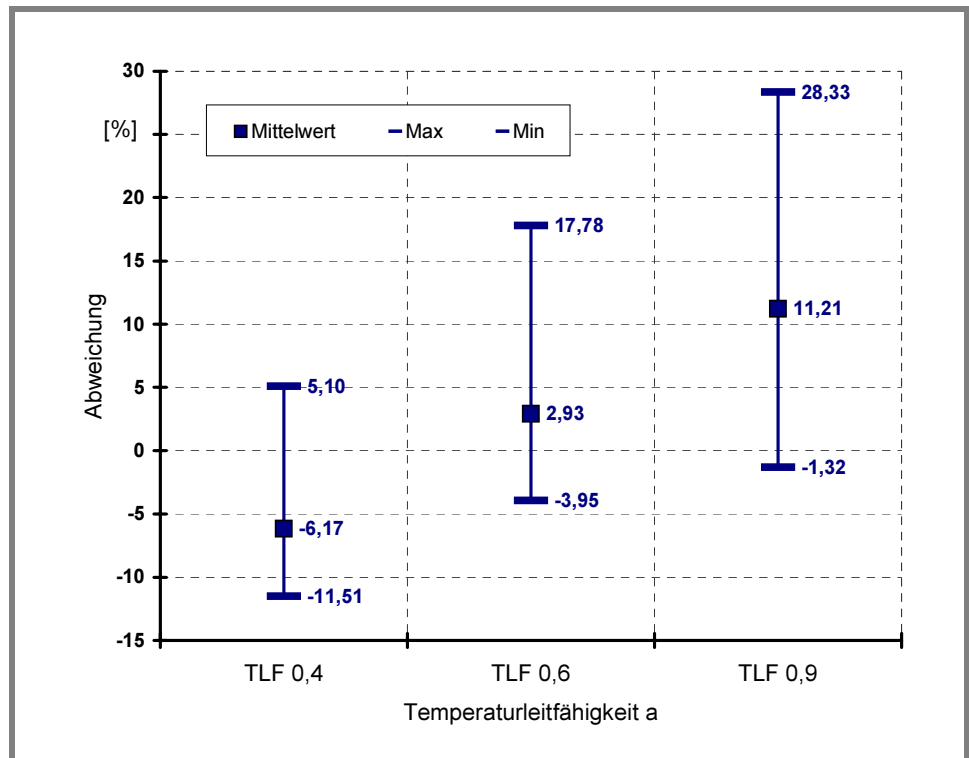


Bild A6 Abweichungen gegenüber dem Referenzsystem

Deutlicher Anstieg der Abweichung mit der Temperaturleitfähigkeit

Der hier gezeigte Zusammenhang zwischen Ertragsaussicht und Temperaturleitfähigkeit ist nur auf den ersten Blick offenkundig. Ein durchaus unerwünschter Effekt bei hoher Temperaturleitfähigkeit des Erdbodens ist, dass die Dämpfung der Bodenwelle schwächer ausfällt und damit folglich der ausnutzbare Temperaturhub zwischen Boden und Umgebungsluft.

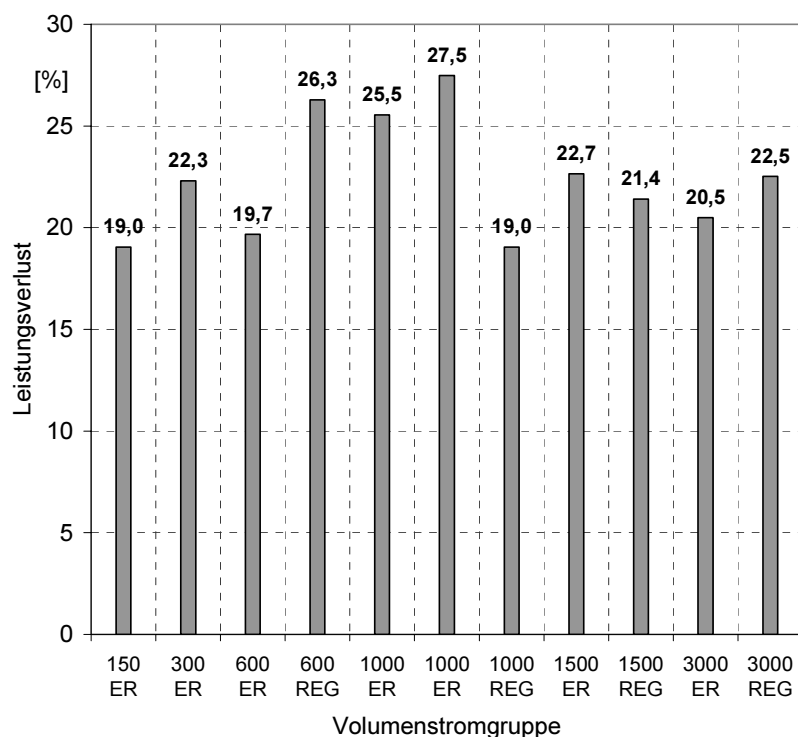
Ein "günstiger" meteorologischer Standort kann das Systemverhalten bei einen "schlechten" Boden nicht ausgleichen

Aus den bisherigen Erläuterungen könnte sich bei der Auslegung ein bestimmter Fehler ergeben, wenn die Annahmen oder Schätzungen bezüglich des Bodens und des Standortes zugleich falsch getroffen würden. Dies wäre ein Fehler, der sich in der Ergebnismatrix quasi als Diagonale zwischen einem guten Standort mit gutem Boden (Oberstdorf mit einer Bodentemperaturleitfähigkeit von $a = 0,9\dots$) und einem Standort mit den entgegengesetzten Eigenschaften ergeben würde (Köln; $a = 0,4\dots$).

Bild A7 zeigt die jeweils größten Verluste bezüglich der Systemauslegung und den tatsächlichen Betriebswerten für die dargestellten Volumenstromgruppen für den Fall, dass fälschlicherweise ein zu guter Standort/Boden angenommen wurde. Dieser Fall ist natürlich kritischer zu sehen, als die gegenteilige Annahme, da bei einer Auslegungsgrundlage, die von einem schlechteren Boden/Standort ausgeht, als tatsächlich vorhanden ist, die Betriebsleistung besser sein wird, als erwartet.

Bild A7

Leistungsverluste (in Prozent) bei fehlerhafter Annahme zu günstiger Randbedingungen bezüglich Boden und Standort für die betrachteten Muster-volumenstromgruppen



4 Zusammengefasste Ergebnisse wesentlicher L-EWT-Konfigurationen

Es werden für drei grundlegende Nenn-Volumenströme, basierend auf 168 gezielt durchgeführten Simulationsrechnungen, alle wesentlichen Systemergebnisse im Detail zusammengefasst dargestellt. Dies sind die Volumenstromgruppen V1000, V5000 und V10000.

Je Konfiguration werden 6 Varianten als Funktion der Verlegetiefen 1,5, 3,0 und 4,5m und Temperaturleitfähigkeit a (Leitungsmerkmal der Bodenart) zwischen $0,44 \cdot 10^{-6}$ (sehr trocken) und $0,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (gesättigt) gerechnet. Mit den Ergebnissen aus den nachfolgend aufgeführten Tabellen werden Direkteinschätzungen von Betriebseigenschaften dieser oder ähnlicher Planungsvarianten (wie auch mit den dargestellten Simulationsergebnissen der zuvor behandelten Fragestellungen) ermöglicht.

Tabelle 15
Musteranlagen für die Volumenstromgruppe V1000
(Tabelle 18 bis 29)

Zweckmäßige Innendurchmesser

Einzelrohr: 0,3 bis 0,5 m

Register: 0,15 bis 0,2 m

Bezeichnung der Abkürzung:
[Durchmesser_Länge_Typ]

V1000

ER		REG	
	03_30_1		015_20_5
	03_60_1		015_30_5
	03_100_1		02_20_5
	05_30_1		02_30_5
	05_60_1		Register 015: 0,075/0,08/0,1
	05_100_1		Register 02: 0,1/0,105/0,12

Tabelle 16
Musteranlagen für die Volumenstromgruppe V5000
(Tabelle 30 bis 35)

Zweckmäßige Innendurchmesser

Einzelrohr: 0,7 bis 1,0 m;

Register: 0,3 bis 0,5 m

V5000

ER		REG	
	07_100_1		03_50_5
	07_200_1		03_100_5
	1_100_1		05_50_5
	1_200_1		05_100_5
	Einzelrohr 07: 0,35/0,4/0,5		Register 03: 0,15/0,155/0,16
	Einzelrohr 1: 0,5/0,55/0,6		Register 05: 0,25/0,26/0,27

Tabelle 17
Musteranlagen für die Volumenstromgruppe V10000
(Tabelle 36 bis 45)

Zweckmäßige Innendurchmesser

Einzelrohr: 1,0 bis 1,5 m;

Register: 0,5 bis 0,8 m

Reg: 0,5 Abstand: 1,2 m 0,8: Abstand: 1,5 m

V10000

ER		REG	
	1_200_1		05_50_5
	1_300_1		05_100_5
	15_200_1		05_150_5
	15_300_1		08_50_5
	Einzelrohr 15: 0,75/0,95/1,0		08_100_5
	Register 08: 0,4/0,45/0,5		08_150_5

Tabelle 18 Volumenstromgruppe V1000, System 03_30_1

Volumenstromgruppe V1000		03_30_1					03_30_1					03_30_1						
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele						
v_{luft}	L/d	$V_{\text{max, ges}}$	$\Delta s_{\text{Luft}}^{\text{pot}}$	$\dot{Q}_{\text{Luft}}^{\text{pot}}$	Q_{Ges}	$t_{p,h}$	ϵ_e	E_p	β_e	QV_e	ME	K_{Ges}	LP	$d_{R, LR}$	Rohranzahl:	$[m/m^2]$	$z = 1,5 m$	Betriebsart B ¹
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	KWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W					
H			7,3	2,45	1716	1708	44,92	0,163	18,42	8,23	47,89		1,720					
K	100	33,3	5,27	1,77	641	712	32,46	0,182	16,51	5,78	17,48		2,381					
K_{18}			6,33	2,12	1069	1053	38,87	0,161	18,61	7,04	29,89	140,50	1,988					
			5,06	1,7	843	1117	31,17	0,217	13,84	5,53	22,01		2,479					
			6,33	2,12	719	625	38,87	0,142	21,09	7,04	20,56		1,988					
			5,06	1,7	513	500	31,17	0,159	18,81	5,53	14,37		2,479					
03_30_1																		
H			7,95	2,67	2079	1996	48,96	0,157	19,10	9,02	58,41		2,569					
K	100	33,3	6,73	2,26	829	913	41,44	0,180	16,65	7,55	22,65		3,024					
K_{18}			6,52	2,19	1293	1288	40,16	0,163	18,41	7,30	36,08	227,79	3,120					
			5,23	1,76	980	1204	32,27	0,201	14,92	5,75	26,10		3,883					
			6,52	2,19	918	763	40,16	0,136	22,06	7,30	26,44		3,120					
			5,23	1,76	670	639	32,27	0,156	19,23	5,75	18,85		3,883					
03_30_1																		
H			8,44	2,83	2470	2290	51,89	0,152	19,78	9,60	69,84		3,438					
K	100	33,3	7,03	2,36	901	981	43,27	0,178	16,84	7,91	24,68		4,123					
K_{18}			6,93	2,33	1460	1330	42,72	0,149	20,13	7,80	41,41	324,33	4,176					
			5,4	1,81	1007	1193	33,19	0,194	15,48	5,93	27,06		5,376					
			6,93	2,33	1097	873	42,72	0,130	23,04	7,80	31,81		4,176					
			5,4	1,81	724	683	33,19	0,154	19,44	5,93	20,41		5,376					

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 19 Volumenstromgruppe V1000, System 03_60_1

Volumenstromgruppe V1000		03_60_1					03_60_1					03_60_1					03_60_1				
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele									
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δθ _{Luft} ^{max}	Q̇ _{Luft} ^{max}	Q _{ges}	t _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{fix}	LP	Betriebsart B ¹							
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m	€/m							
H			11,85	3,98	4209	3299	63,40	0,148	20,32	13,65	59,79	137,24		2,069							
			9,0	3,02	2366	2145	48,11	0,171	17,57	10,19	32,70			2,727							
K	200	16,67	9,87	3,31	1811	1226	52,73	0,127	23,53	11,24	26,34	137,24		2,488							
			8,15	2,73	1537	1286	43,49	0,158	19,04	9,15	21,58			3,016							
K ₁₈			9,87	3,31	1235	579	52,73	0,088	33,98	11,24	18,77			2,488							
			8,15	2,73	1056	744	43,49	0,133	22,61	9,15	15,26			3,016							
03_60_1																					
H			12,9	4,33	4689	3361	68,97	0,135	22,22	14,91	67,60			3,056							
			10,1	3,39	2786	2403	54,00	0,162	18,47	11,53	38,89			3,904							
K	200	16,67	10,07	3,38	2255	1535	53,84	0,128	23,40	11,49	32,77	220,56		3,915							
			8,54	2,87	1855	1456	45,72	0,148	20,29	9,65	26,35			4,611							
K ₁₈			10,07	3,38	1606	941	53,84	0,110	27,19	11,49	23,81			3,915							
			8,54	2,87	1320	875	45,72	0,125	24,03	9,65	19,25			4,611							
03_60_1																					
H			13,75	4,62	5223	3461	73,59	0,125	24,04	15,95	76,19			4,061							
			10,6	3,55	2973	2515	56,55	0,159	18,83	12,10	41,66			5,285							
K	200	16,67	10,9	3,66	2646	1703	58,30	0,121	24,75	12,50	38,75	312,71		5,126							
			8,87	2,97	1932	1472	47,31	0,143	20,91	10,01	27,58			6,317							
K ₁₈			10,9	3,66	1891	1020	58,30	0,102	29,53	12,50	28,32			5,126							
			8,87	2,97	1411	908	47,31	0,121	24,75	10,01	20,67			6,317							

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 20 Volumenstromgruppe V1000, System 05_30_1

Volumenstromgruppe V1000		05_30_1				05_30_1				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft} m/s	L/d	V _{max} /A _{ges} m ³ /h	Δs _{Luft} ^{max} K	Q _{Luft} ^{max} kW	Q _{max} kWh	t _{b,h} h	ε _e	E _p	β _e	QV _e kWh/m ³	ME kWh/m	K _{max} €/m	LP	€/W	
H	-	-	7,1	2,38	1638	1644	50,65	0,141	21,20	8,06	46,87	223,27	-	2,814	-
			5,67	1,9	807	880	40,43	0,154	19,52	6,33	22,76			3,525	
			6,1	2,04	1020	1042	43,41	0,144	20,83	6,84	29,10			3,283	
K	60	33,3	5,15	1,73	879	1122	36,82	0,180	16,67	5,72	24,03	-	-	3,872	-
			6,1	2,04	676	603	43,41	0,126	23,86	6,84	19,70			3,283	
K ₁₈			5,15	1,73	550	536	36,82	0,137	21,84	5,72	15,81			3,872	
05_30_1 z = 3,0 m															
H	-	-	7,75	2,6	2030	1967	55,33	0,137	21,96	8,85	58,42	327,62	-	3,780	-
			6,5	2,17	1042	1112	46,18	0,150	19,94	7,30	29,51			4,529	
			6,24	2,1	1234	1261	44,69	0,144	20,83	7,05	35,21			4,680	
K	60	33,3	5,4	1,81	1034	1211	38,52	0,165	18,17	6,01	28,78	-	-	5,430	-
			6,24	2,1	880	752	44,69	0,120	24,90	7,05	25,80			4,680	
K ₁₈			5,4	1,81	718	674	38,52	0,132	22,67	6,01	20,77			5,430	
05_30_1 z = 4,5 m															
H	-	-	8,25	2,77	2443	2286	58,95	0,132	22,74	9,46	70,69	443,03	-	4,798	-
			6,78	2,28	1132	1193	48,52	0,149	20,19	7,70	32,13			5,829	
			6,68	2,24	1404	1308	47,67	0,131	22,84	7,56	40,65			5,933	
K	60	33,3	5,6	1,88	1064	1194	40,01	0,158	18,96	6,26	29,86	-	-	7,070	-
			6,68	2,24	1065	870	47,67	0,115	26,05	7,56	31,41			5,933	
K ₁₈			5,6	1,88	781	722	40,01	0,130	23,02	6,26	22,64			7,070	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 21 Volumenstromgruppe V1000, System 05_60_1

Volumenstromgruppe V1000		05_60_1				05_60_1				z = 1,5 m				Betriebsart B)	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	\dot{V}_{max}/A_{ges}	Δs_{Levt}^{max}	\dot{Q}_{Levt}^{max}	Q _{max}	t _{b,h}	ϵ_e	E _p	β_e	QV _e	ME	K _{max}	LP		
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/kW		
H			11,6	3,9	4128	3281	81,71	0,114	26,36	13,52	60,97		3,375		
			9,6	3,21	1642	2319	67,25	0,202	14,83	11,04	21,83		4,100		
K	1,42	120	9,54	3,2	1752	1226	67,04	0,100	29,94	11,00	26,27	219,38	4,113		
			8,22	2,76	1580	1299	57,82	0,118	25,48	9,42	23,23		4,769		
K ₁₈			9,54	3,2	1193	756	67,04	0,091	33,06	11,00	18,08		4,113		
			8,22	2,76	1091	768	57,82	0,101	29,76	9,42	16,35		4,769		
05_60_1 z = 3,0 m															
H			12,61	4,23	4646	3373	88,62	0,104	28,86	14,71	69,38		4,525		
			10,45	3,51	3137	2586	73,54	0,118	25,41	12,12	46,11		5,453		
K	1,42	120	9,72	3,26	2194	1533	68,30	0,100	29,98	11,22	32,91	318,98	5,871		
			8,74	2,93	1921	1462	61,39	0,109	27,53	10,03	28,53		6,532		
K ₁₈			9,72	3,26	1566	942	68,30	0,086	34,83	11,22	23,85		5,871		
			8,74	2,93	1389	907	61,39	0,094	32,08	10,03	20,99		6,532		
05_60_1 z = 4,5 m															
H			13,47	4,52	5191	3470	94,70	0,096	31,34	15,76	78,24		5,697		
			10,83	3,63	3361	2713	76,05	0,116	25,95	12,55	49,54		7,093		
K	1,42	120	10,59	3,55	2587	1703	74,37	0,094	31,83	12,26	39,05	429,14	7,253		
			9,12	3,06	2019	1490	64,11	0,106	28,39	10,50	30,09		8,415		
K ₁₈			10,59	3,55	1856	1025	74,37	0,079	37,94	12,26	28,49		7,253		
			9,12	3,06	1500	951	64,11	0,091	33,05	10,50	22,73		8,415		

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 22 Volumenstromgruppe V1000, System 03_100_1

Volumenstromgruppe V1000		03_100_1				03_100_1				03_100_1				03_100_1				
		d _{R_L-R} Rohranzahl: [m/m ²]				z = 1,5 m				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹				
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele								
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δg _{Levt}	Q _{Levt}	Q _{max}	t _{b,h}	H	ε _e	e _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP				
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	-	KWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W				
H			15,6	5,22	6049	3842	3842	70,74	0,141	21,33	18,00	51,98		2,604				
			12,5	4,2	4048	3010	3010	56,91	0,165	18,22	14,32	33,82		3,237				
K	333,3	10	12,4	4,15	2292	1248	1248	56,24	0,121	24,89	14,14	20,16	135,93	3,276				
			10,6	3,56	2128	1387	1387	48,24	0,144	20,79	12,02	18,21		3,818				
K ₁₈			12,36	4,15	1574	784	784	56,24	0,110	27,21	14,14	14,00		3,276				
			10,6	3,56	1476	839	839	48,24	0,126	23,84	12,02	12,90		3,818				
03_100_1																		
H			16,8	5,65	6771	3862	3862	76,56	0,126	23,76	19,54	59,16		3,853				
			13,7	4,61	4676	3191	3191	62,47	0,151	19,86	15,80	39,70		4,722				
K	333,3	10	12,6	4,23	3042	1731	1731	57,32	0,126	23,81	14,43	26,59	217,67	5,146				
			11,33	3,8	2640	1625	1625	51,49	0,136	22,01	12,88	22,80		5,728				
K ₁₈			12,6	4,23	2114	1005	1005	57,32	0,105	28,50	14,43	18,92		5,146				
			11,33	3,8	1878	980	980	51,49	0,116	25,97	12,88	16,61		5,728				
03_100_1																		
H			18,05	6,06	7491	3876	3876	82,12	0,115	26,19	21,02	66,33		5,084				
			14,2	4,77	4931	3257	3257	64,64	0,146	20,52	16,38	42,10		6,458				
K	333,3	10	13,85	4,65	3717	2052	2052	63,01	0,122	24,55	15,94	32,63	308,06	6,625				
			11,84	3,97	2782	1667	1667	53,80	0,133	22,61	13,50	24,13		7,760				
K ₁₈			13,85	4,65	2419	1042	1042	63,01	0,095	31,46	15,94	21,88		6,625				
			11,84	3,97	2018	1011	1011	53,80	0,111	27,05	13,50	17,94		7,760				

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 23 Volumenstromgruppe V1000, System 05_100_1

Volumenstromgruppe V1000		05_100_1					05_100_1					z = 1,5 m			Betriebsart B ¹⁾	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele				
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δg _{LWR}	Q _{LWR}	Q _{max}	t _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP			
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W			
H	200	10	15,3	5,14	5982	3846	105,64	0,094	31,97	17,98	54,21	217,82	4,238			
			13,2	4,42	4391	3161	90,84	0,105	28,55	15,39	39,30			4,928		
			12,07	4,05	2238	1248	83,24	0,081	36,86	14,05	20,56			5,378		
K ₁₈	200	10	10,75	3,61	2183	1421	74,19	0,095	31,57	12,47	19,76	217,82	6,034			
			12,07	4,05	1539	784	83,24	0,074	40,34	14,05	14,25			5,378		
			10,75	3,61	1506	852	74,19	0,083	36,33	12,47	13,82		6,034			
05_100_1 z = 3,0 m																
H	200	10	16,6	5,56	6725	3874	114,27	0,084	35,68	19,49	61,60	315,52	5,675			
			14,5	4,87	5118	3335	100,09	0,095	31,54	17,01	46,31			6,479		
			12,36	4,15	2990	1734	85,29	0,085	35,44	14,41	27,37			7,603		
K ₁₈	200	10	11,6	3,9	2751	1673	80,15	0,089	33,79	13,51	25,07	315,52	8,090			
			12,36	4,15	2079	1007	85,29	0,071	42,43	14,41	19,32			7,603		
			11,6	3,9	1956	1002	80,15	0,075	40,12	13,51	18,10		8,090			
05_100_1 z = 4,5 m																
H	200	10	17,8	5,97	7457	3885	122,69	0,076	39,45	20,97	68,90	409,63	6,961			
			15,0	5,04	5409	3398	103,58	0,092	32,71	17,62	49,13			8,128		
			13,6	4,57	3672	2057	93,92	0,082	36,69	15,93	33,72			8,963		
K ₁₈	200	10	12,15	4,08	2935	1745	83,85	0,087	34,57	14,16	26,80	409,63	10,040			
			13,6	4,57	2451	1042	93,92	0,062	48,34	15,93	22,99			8,963		
			12,15	4,08	2112	1029	83,85	0,071	42,18	14,16	19,62		10,040			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
 Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 24 Volumenstromgruppe V1000, System 015_20_5

Volumenstromgruppe V1000			015_20_5					z = 1,5 m			Betriebsart B'		
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele			Kostenrelevante Ziele		
V _{luft}	L/d	V _{max} /L _{ges}	ΔS _{luft} ^{max}	Q _{luft} ^{max}	Q _{gas}	t _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W
H			10,7	3,6	3077	2539	56,10	0,159	18,89	12,27	25,88		2.157
			8,37	2,81	1741	1585	43,79	0,175	17,12	9,42	14,36		2.764
K	133,3	10	9,04	3,03	1640	1197	47,22	0,141	21,35	10,22	14,10	77,66	2.563
			7,51	2,52	1369	1266	39,27	0,178	16,86	8,38	11,17		3.082
K ₁₈			9,04	3,03	1093	733	47,22	0,129	23,24	10,22	9,52		2.563
			7,51	2,52	905	693	39,27	0,147	20,35	8,38	7,72		3.082
015_20_5													
H			11,35	3,81	3158	2458	59,38	0,150	20,02	13,02	26,85		3.799
			9,4	3,15	1806	1566	49,09	0,167	17,97	10,65	15,05		4.595
K	133,3	10	9,0	3,02	1812	1422	47,06	0,151	19,86	10,18	15,38	144,76	4.793
			7,76	2,6	1508	1347	40,52	0,172	17,45	8,67	12,49		5.568
K ₁₈			9,0	3,02	1269	847	47,06	0,128	23,35	10,18	11,06		4.793
			7,76	2,6	1054	775	40,52	0,142	21,19	8,67	9,05		5.568
015_20_5													
H			12,0	4,03	3546	2648	62,81	0,144	20,87	13,82	30,36		5.196
			9,8	3,3	1910	1664	51,43	0,167	18,00	11,19	15,92		6.345
K	133,3	10	9,32	3,13	2060	1496	48,78	0,140	21,46	10,58	17,72	209,38	6.690
			7,76	2,6	1541	1336	40,52	0,167	17,98	8,67	12,84		8.053
K ₁₈			9,32	3,13	1484	931	48,78	0,121	24,84	10,58	13,05		6.690
			7,76	2,6	1124	810	40,52	0,139	21,63	8,67	9,68		8.053

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁵ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
 Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste
 Abstand: 0,8 m/G015

Tabelle 25 Volumenstromgruppe V1000, System 015_30_5

Volumenstromgruppe V1000		015_30_5					z = 1,5 m			Betriebsart B ¹			
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele			Kostenrelevante Ziele			
V _{Luft}	L/d	V _{max} /L _{ges}	ΔQ _{low} ^{no}	Q _{low} ^{no}	Q _{max}	t _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{me,s}	LP
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W
H			13,44	4,51	4454	3197	65,82	0,148	20,33	15,50	25,31		2,503
K	200	6,67	10,9	3,68	2751	2163	53,71	0,162	18,56	12,51	15,38		3,068
K ₁₈			11,12	3,73	2058	1241	54,44	0,124	24,20	12,69	12,02	75,26	3,026
			9,6	3,22	1805	1348	46,99	0,154	19,54	10,85	10,19		3,506
			11,12	3,73	1382	773	54,44	0,115	26,09	12,69	8,15		3,026
			9,6	3,22	1204	767	46,99	0,131	22,91	10,85	6,98		3,506
015_30_5													
H			14,63	4,91	4746	3124	71,66	0,135	22,17	16,94	27,36		4,260
K	200	6,67	11,7	3,93	2902	2173	57,36	0,154	19,49	13,41	16,37		5,322
K ₁₈			11,27	3,78	2408	1552	55,17	0,132	22,64	12,87	13,93	139,44	5,533
			9,81	3,29	2036	1466	48,02	0,148	20,27	11,10	11,56		6,357
			11,27	3,78	1669	823	55,17	0,101	29,60	12,87	10,00		5,533
			9,81	3,29	1426	867	48,02	0,125	24,00	11,10	8,32		6,357
015_30_5													
H			15,3	5,14	5128	3221	75,02	0,129	23,24	17,76	29,77		5,873
K	200	6,67	12,06	4,05	3031	2235	59,11	0,152	19,79	13,84	17,14		7,454
K ₁₈			11,6	3,9	2723	1663	56,92	0,126	23,90	13,30	15,87	201,26	7,741
			9,9	3,32	2091	1459	48,45	0,143	20,92	11,21	11,94		9,093
			11,6	3,9	1929	998	56,92	0,106	28,21	13,30	11,49		7,741
			9,9	3,32	1528	906	48,45	0,122	24,61	11,21	8,95		9,093

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
 Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste
 Abstand 0,8m/G15_07 bis 11

Tabelle 26 Volumenstromgruppe V1000, System 02_20_5

Volumenstromgruppe V1000		02_20_5					02_20_5					02_20_5					02_20_5				
		dr_L_R_Rohranzahl: [m/m ²]					z = 1,5 m					z = 3,0 m					z = 4,5 m				
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele									
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{gas}	Δθ _{Levt}	Q _{Levt}	Q _{max}	t _{0,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP								
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W								
H			10,62	3,56	3070	2548	61,66	0,144	20,87	12,19	26,29		2,304								
			8,57	2,87	1812	1632	49,71	0,156	19,23	9,71	15,29		2,857								
K	100	10	8,88	2,98	1610	1195	51,62	0,129	23,34	10,10	14,03	82,01	2,752								
			7,6	2,54	1361	1252	44,00	0,159	18,83	8,52	11,44		3,229								
K ₁₈			8,88	2,98	1075	734	51,62	0,118	25,37	10,10	9,48		2,752								
			7,6	2,54	907	695	44,00	0,133	22,61	8,52	7,87		3,229								
02_20_5																					
H			11,28	3,8	3167	2474	65,82	0,135	22,17	13,06	27,39		3,847								
			9,2	3,08	1888	1614	53,35	0,148	20,26	10,46	16,08		4,746								
K	100	10	8,86	2,97	1788	1427	51,45	0,138	21,70	10,07	15,41	146,19	4,922								
			7,75	2,6	1519	1345	45,04	0,153	19,56	8,74	12,86		5,623								
K ₁₈			8,86	2,97	1249	844	51,45	0,117	25,63	10,07	11,03		4,922								
			7,75	2,6	1064	780	45,04	0,127	23,63	8,74	9,29		5,623								
02_20_5																					
H			11,96	4,0	3577	2678	69,29	0,130	23,14	13,78	31,13		5,200								
			9,61	3,23	1986	1686	55,95	0,147	20,40	11,00	16,94		6,440								
K	100	10	9,18	3,08	2033	1489	53,35	0,127	23,65	10,46	17,75	208,01	6,753								
			7,76	2,6	1553	1330	45,04	0,148	20,23	8,74	13,23		8,000								
K ₁₈			9,18	3,08	1471	934	53,35	0,110	27,28	10,46	13,09		6,753								
			7,76	2,6	1146	828	45,04	0,125	23,97	8,74	10,03		8,000								

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s

Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 27 Volumenstromgruppe V1000, System 02_30_5

Volumenstromgruppe V1000		02_30_5				02_30_5				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max} /L _{ges}	Δθ _{Luft} ^{FW}	Q _{Luft} ^{FW}	Q _{max}	t _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP	€/m	€/W
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	KW/m ³	kWh/m	-	-		
H			13,37	4,49	4464	3224	76,37	0,127	23,55	15,53	25,97			2.686	
			11,2	3,76	2830	2199	63,95	0,137	21,89	12,90	16,28			3.208	
K	150	6,67	11,0	3,68	2030	1243	62,59	0,108	27,78	12,61	12,07	80,41		3.278	
			9,64	3,24	1806	1347	55,11	0,132	22,80	11,03	10,46			3.723	
K ₁₈			11,0	3,68	1365	775	62,59	0,100	29,96	12,61	8,19			3.278	
			9,64	3,24	1207	773	55,11	0,113	26,56	11,03	7,14			3.723	
02_30_5															
H			14,3	4,8	4603	3679	81,64	0,141	21,28	16,65	26,36			4.458	
			11,96	4,0	3010	2226	68,03	0,130	23,00	13,77	17,45			5.349	
K	150	6,67	10,92	3,67	2312	1526	62,42	0,116	25,77	12,58	13,62	142,65		5.830	
			9,8	3,3	2052	1472	56,13	0,127	23,71	11,25	11,95			6.484	
K ₁₈			10,92	3,67	1618	918	62,42	0,100	29,98	12,58	9,71			5.830	
			9,8	3,3	1440	874	56,13	0,107	28,02	11,25	8,57			6.484	
02_30_5															
H			15,3	5,12	5174	3255	87,08	0,111	27,03	17,80	30,67			5.935	
			12,3	4,14	3163	2309	70,41	0,129	23,30	14,27	18,37			7.340	
K	150	6,67	11,48	3,85	2706	1666	65,48	0,109	27,63	13,23	16,08	202,59		7.893	
			9,92	3,33	2111	1463	56,64	0,122	24,54	11,35	12,35			9.126	
K ₁₈			11,48	3,85	1920	1002	65,48	0,092	32,59	13,23	11,62			7.893	
			9,92	3,33	1548	915	56,64	0,104	28,77	11,35	9,24			9.126	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 28 Volumenstromgruppe V5000, System 07_100_1

Volumenstromgruppe V5000		07_100_1				07_100_1				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹⁾	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δg _{LWR}	Q _{LWR}	Q _{max}	t _{b,h}	ε _e	e _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP		
ms	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m		
H			6,08	10,2	6234	1306	36,48	0,176	17,07	6,74	51,38			2,949	
K	143	50	5,96	10,0	3062	684	35,76	0,187	16,01	6,60	24,88			3,008	
K ₁₈			6,58	11,04	5479	1040	39,48	0,159	18,84	7,34	46,07	300,76		2,724	
			5,48	9,2	4543	1149	32,90	0,212	14,14	6,02	35,79			3,269	
			6,58	11,04	3726	607	39,48	0,137	21,95	7,34	32,17			2,724	
			5,48	9,2	2934	542	32,90	0,155	19,36	6,02	24,79			3,269	
07_100_1 z = 3,0 m															
H			7,55	12,7	6602	1367	45,42	0,174	17,27	8,54	54,55			3,361	
K	143	50	7,7	12,9	3459	765	46,13	0,186	16,17	8,68	28,17			3,299	
K ₁₈			6,75	11,3	6524	1316	40,41	0,169	17,73	7,53	54,20	425,59		3,766	
			5,63	9,45	5290	1268	33,79	0,201	14,92	6,20	42,26			4,504	
			6,75	11,3	4504	722	40,41	0,134	22,31	7,53	38,98			3,766	
			5,63	9,45	3609	653	33,79	0,152	19,76	6,20	30,61			4,504	
07_100_1 z = 4,5 m															
H			8,56	14,36	7671	1577	51,35	0,172	17,40	9,74	63,48			3,806	
K	143	50	8,1	13,54	3694	807	48,42	0,183	16,37	9,14	30,17			4,036	
K ₁₈			6,85	11,5	7172	1358	41,13	0,159	18,89	7,68	60,33	546,53		4,752	
			5,69	9,55	5387	1253	34,15	0,195	15,37	6,27	43,36			5,723	
			6,85	11,5	5059	785	41,13	0,130	23,05	7,68	44,00			4,752	
			5,69	9,55	3803	677	34,15	0,149	20,09	6,27	32,35			5,723	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauperluste

Tabelle 29 Volumenstromgruppe V1000, System 07_200_1

Volumenstromgruppe V5000			07_200_1				07_200_1				z = 1,5 m			Betriebsart B ¹		
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	ΔS _{low} ^{no}	Q _{low} ^{no}	Q _{max}	t _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{fix}	LP			
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	KWs/m ³	kWh/m	€/m	€/m			
H	-		10,0	16,83	15903	2666	51,38	0,165	18,21	11,41	66,42	311,67	3,704			
			8,6	14,42	10684	1949	44,02	0,179	16,74	9,67	43,84			4,323		
			9,7	16,3	8755	1163	49,76	0,131	22,98	11,03	38,06			3,824		
K	285	25	8,61	14,45	8031	1289	44,12	0,158	19,02	9,70	33,82	3,824	4,314			
			9,7	16,3	6015	719	49,76	0,117	25,54	11,03	26,54					
K ₁₈			8,61	14,45	5624	731	44,12	0,130	23,07	9,70	24,03	4,314				
07_200_1																
H			10,85	18,21	17160	2762	55,60	0,158	18,97	12,40	72,23	412,48	4,530			
			11,1	18,62	12227	2178	56,85	0,175	17,14	12,70	50,43			4,430		
			10,0	16,8	10543	1456	51,29	0,136	22,11	11,39	45,56			4,910		
K	285	25	8,9	14,92	9581	1466	45,55	0,150	19,95	10,03	40,70	5,529	4,910			
			10,0	16,8	7460	872	51,29	0,115	26,12	11,39	33,02					
K ₁₈			8,9	14,92	6720	851	45,55	0,124	24,11	10,03	29,42	5,529				
07_200_1																
H			11,78	19,8	19031	2925	60,45	0,151	19,86	13,55	80,78	538,10	5,435			
			11,63	19,52	13079	2295	59,59	0,172	17,40	13,35	54,12			5,513		
			10,25	17,2	11858	1546	52,51	0,128	23,42	11,68	51,69			6,257		
K	285	25	9,3	15,32	9913	1478	46,77	0,147	20,48	10,32	42,30	7,025	6,257			
			10,25	17,2	8447	936	52,51	0,109	27,55	11,68	37,64					
K ₁₈			9,13	15,32	7085	872	46,77	0,121	24,81	10,32	31,14	7,025				

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 30 Volumenstromgruppe V5000, System 1_100_1

Volumenstromgruppe V5000		1_100_1				1_100_1				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{luft}	L/d	V _{max} /L _{ges}	Δθ _{Levt} ²	Q _{Levt} ²	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{meis}	LP		
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m		
H			5,5	9,21	4997	1082	38,44	0,156	19,28	6,11	42,19		5,392		
			5,76	9,66	3050	682	40,32	0,161	18,67	6,44	6,44	25,60		5,141	
K	100	50	6,12	10,27	5002	1021	42,87	0,147	20,45	6,88	42,68	496,59	4,835		
			5,46	9,16	4571	1149	38,23	0,181	16,60	6,08	6,08	37,45		5,421	
K ₁₈			6,12	10,27	3367	579	42,87	0,124	24,27	6,88	29,51		4,835		
			5,46	9,16	2999	561	38,23	0,134	22,31	6,08	6,08	25,96		5,421	
1_100_1															
H			7,1	11,84	5183	1106	49,42	0,153	19,56	8,01	43,88		5,312		
			7,45	12,51	3487	772	52,22	0,159	18,85	8,49	8,49	29,32		5,028	
K	100	50	6,3	10,56	5947	1287	44,08	0,156	19,29	7,09	50,22	628,97	5,956		
			5,64	9,47	5341	1262	39,53	0,170	17,66	6,30	6,30	44,34		6,642	
K ₁₈			6,3	10,56	4056	683	44,08	0,121	24,79	7,09	35,65		5,956		
			5,64	9,47	3664	662	39,53	0,130	23,10	6,30	6,30	31,88		6,642	
1_100_1															
H			8,0	13,43	6060	1287	56,06	0,153	19,65	9,15	51,35		5,828		
			7,8	13,13	3773	826	54,80	0,157	19,07	8,94	8,94	31,79		5,962	
K	100	50	6,38	10,71	6554	1328	44,70	0,146	20,60	7,19	56,00	782,75	7,309		
			5,7	9,55	5487	1255	39,86	0,164	18,25	6,36	6,36	45,85		8,196	
K ₁₈			6,38	10,71	4598	754	44,70	0,118	25,45	7,19	40,56		7,309		
			5,7	9,55	3898	693	39,86	0,128	23,48	6,36	6,36	34,00		8,196	

¹Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 31 Volumenstromgruppe V5000, System 1_200_1

Volumenstromgruppe V5000			1_200_1			d _{R_LR} _Rohranzahl: [m/m/°]			z = 1,5 m			Betriebsart B ¹		
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele			CO ₂ -relevante Ziele			Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δs _{LWT} ^{max}	Q̇ _{LWT} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{fix}	LP	
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	KWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W	
H	-	-	9,2	15,46	14005	2449	62,36	0,130	23,07	10,60	60,92	-	6,386	
			8,35	14,01	10700	1967	56,51	0,137	21,94	9,55	46,19		7,047	
K	200	25	9,17	15,4	8120	1135	62,12	0,104	28,86	10,55	36,38	493,65	6,411	
			8,48	14,23	7930	1281	57,40	0,120	24,97	9,71	34,89		6,938	
K ₁₈			9,17	15,4	5595	698	62,12	0,093	32,33	10,55	25,38		6,411	
			8,48	14,23	5507	740	57,40	0,100	30,02	9,71	24,78		6,938	
1_200_1														
H			9,96	16,72	15235	2586	67,44	0,126	23,76	11,50	66,56		8,008	
			10,82	18,15	12490	2235	73,21	0,133	22,54	12,53	54,14		7,377	
K	200	25	9,47	15,9	9848	1438	64,13	0,109	27,62	10,91	43,89	669,43	8,421	
			8,8	14,77	9608	1471	59,58	0,114	26,35	10,10	42,57		9,065	
K ₁₈			9,47	15,9	6953	851	64,13	0,091	32,96	10,91	31,60		8,421	
			8,8	14,77	6744	856	59,58	0,094	31,78	10,10	30,54		9,065	
1_200_1														
H			11,3	18,97	17065	2780	76,52	0,121	24,76	13,12	74,99		8,061	
			11,36	19,1	13497	2377	77,04	0,131	22,90	13,22	58,65		8,006	
K	200	25	9,64	16,18	11076	1520	65,26	0,102	29,39	11,11	49,73	764,57	9,451	
			9,07	15,22	9998	1487	61,39	0,111	27,12	10,42	44,46		10,047	
K ₁₈			9,64	16,18	7869	913	65,26	0,086	34,77	11,11	35,95		9,451	
			9,07	15,22	7159	883	61,39	0,092	32,70	10,42	32,51		10,047	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 32 Volumenstromgruppe V5000, System 03_50_5

Volumenstromgruppe V5000		03_50_5					03_50_5					03_50_5				
Voraussetzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele				
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δθ _{Luft} ^{max}	Q _{Luft} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP			
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W			
H			9,52	15,98	11614	2014	46,11	0,180	16,64	10,76	38,08		1,675			
			7,51	12,62	7317	1409	36,42	0,200	14,99	8,34	23,41		2,121			
K	166,7	20	8,4	14,1	7413	1142	40,69	0,160	18,73	9,40	24,90	107,09	1,899			
			7,1	11,9	6318	1237	34,34	0,204	14,74	7,82	20,13		2,250			
K ₁₈			8,4	14,1	4893	683	40,69	0,145	20,67	9,40	16,73		1,899			
			7,1	11,9	4181	659	34,34	0,164	18,31	7,82	13,98		2,250			
03_50_5																
H			9,9	16,62	11351	1878	47,96	0,172	17,44	11,22	37,59		2,541			
			9,23	15,5	7701	1429	44,73	0,193	15,55	10,41	24,86		2,725			
K	166,7	20	8,41	14,11	8020	1363	40,72	0,177	16,98	9,41	26,41	168,94	2,993			
			7,34	12,32	7078	1336	35,55	0,196	15,29	8,12	22,76		3,428			
K ₁₈			8,41	14,11	5577	781	40,72	0,146	20,61	9,41	19,06		2,993			
			7,34	12,32	4897	744	35,55	0,158	18,99	8,12	16,49		3,428			
03_50_5																
H			10,4	17,39	12293	1981	50,18	0,168	17,91	11,77	40,93		3,348			
			9,7	16,23	8149,3	1505	46,84	0,192	15,63	10,94	26,34		3,588			
K	166,7	20	8,56	14,37	8887	1413	41,47	0,165	18,15	9,60	29,67	232,91	4,052			
			7,35	12,34	7214	1316	35,61	0,190	15,82	8,14	23,38		4,719			
K ₁₈			8,56	14,37	6317	849	41,47	0,140	21,47	9,60	21,74		4,052			
			7,35	12,34	5240	784	35,61	0,156	19,29	8,14	17,70		4,719			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁵ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁵ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 33 Volumenstromgruppe V5000, System 03_100_5

Volumenstromgruppe V5000		03_100_5				03_100_5				03_100_5				03_100_5				03_100_5			
		d _{R,LR} _Rohranzahl: [m/m ²]				z = 1,5 m				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹							
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele											
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δs _{Leit}	Q _{Leit}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	Ep	β _e	QV _e	ME	K _{Leit}	LP								
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m								
H			13,8	23,16	21702	2945	55,77	0,169	17,74	15,78	36,07			2,281							
			11,84	19,87	15506	2323	47,85	0,187	16,07	13,41	25,22			2,659							
K	333,3	10	11,56	19,4	10558	1233	46,72	0,145	20,62	13,07	18,04	105,65		2,723							
			10,35	17,37	9769	1355	41,83	0,173	17,36	11,61	16,16			3,041							
K ₁₈			11,56	19,4	7043	760	46,72	0,134	22,32	13,07	12,19			2,723							
			10,35	17,37	6598	781	41,83	0,147	20,34	11,61	11,25			3,041							
03_100_5																					
H			14,28	23,97	22709	2970	57,72	0,163	18,41	16,36	38,02			3,794							
			12,67	21,26	16825	2423	51,19	0,179	16,72	14,41	27,61			4,277							
K	333,3	10	11,72	19,6	12431	1452	47,20	0,146	20,62	13,22	21,24	181,86		4,639							
			10,64	17,86	11359	1511	43,01	0,166	18,10	11,96	18,95			5,091							
K ₁₈			11,72	19,6	8011	817	47,20	0,127	23,61	13,22	13,99			4,639							
			10,64	17,86	7970	895	43,01	0,140	21,44	11,96	13,71			5,091							
03_100_5																					
H			15,32	25,72	23397	2957	61,93	0,157	19,05	17,62	39,43			4,347							
			13,09	21,97	17854	2535	52,90	0,177	16,96	14,92	29,39			5,089							
K	333,3	10	11,82	19,84	13633	1616	47,78	0,149	20,17	13,39	23,04	223,63		5,636							
			10,84	18,19	11817	1521	43,80	0,160	18,71	12,20	19,84			6,147							
K ₁₈			11,82	19,84	9569	969	47,78	0,126	23,78	13,39	16,72			5,636							
			10,84	18,19	8569	929	43,80	0,135	22,21	12,20	14,82			6,147							

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 34 Volumenstromgruppe V5000, System 05_50_5

Volumenstromgruppe V5000			05_50_5					05_50_5			05_50_5			Betriebsart B ¹		
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele			Kostenrelevante Ziele			Kostenrelevante Ziele		
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	ΔQ _{lowr}	Q _{lowr}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{hvs}	LP			
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m	€/m	€/m	€/m
H			9,12	15,4	11196	1989	54,31	0,151	19,85	10,48	38,02					3,162
			8,0	13,37	8049	1505	47,15	0,159	18,86	9,01	27,07					3,642
K	100	20	8,05	13,51	7049	1128	47,64	0,136	22,04	9,11	24,36	194,79				3,604
			7,14	11,98	6393	1234	42,25	0,164	18,27	8,01	21,37					4,065
K ₁₈			8,05	13,51	4672	675	47,64	0,123	24,41	9,11	16,39					3,604
			7,14	11,98	4246	670	42,25	0,134	22,35	8,01	14,70					4,065
05_50_5																
z = 3,0 m																
H			9,56	16,05	11064	1871	56,60	0,144	20,85	10,94	37,89					4,152
			8,9	14,97	8526	1526	52,79	0,152	19,70	10,17	28,91					4,452
K	100	20	8,06	13,53	7683	1345	47,71	0,149	20,14	9,13	26,16	266,56				4,925
			7,39	12,4	7214	1330	43,73	0,157	19,13	8,32	24,33					5,374
K ₁₈			8,06	13,58	5379	778	47,89	0,123	24,38	9,17	18,87					4,907
			7,39	12,4	5055	765	43,73	0,129	23,30	8,32	17,62					5,374
05_50_5																
z = 4,5 m																
H			10,0	16,85	12279	2030	59,42	0,141	21,33	11,52	42,21					5,121
			9,34	15,68	9064	1612	55,30	0,151	19,83	10,68	30,77					5,503
K	100	20	8,2	13,76	8621	1401	48,53	0,138	21,70	9,29	29,72	345,17				6,271
			7,43	12,47	7437	1324	43,98	0,151	19,81	8,37	25,24					6,920
K ₁₈			8,2	13,76	6170	851	48,53	0,117	25,57	9,29	21,78					6,271
			7,43	12,47	5444	808	43,98	0,126	23,76	8,37	19,03					6,920

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 35 Volumenstromgruppe V5000, System 05_100_5

Volumenstromgruppe V5000		05_100_5					05_100_5					z = 1,5 m			Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele				
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{gas}	Δθ _{Luft}	Q _{Luft} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP			
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W			
H			13,57	22,8	21058	2986	78,73	0,123	24,35	15,79	36,93		4,228			
			12,4	20,8	16491	2407	71,83	0,127	23,66	14,35	28,80		4,634			
K	200	10	11,27	18,91	10287	1233	65,30	0,104	28,81	12,99	18,43	192,78	5,097			
			10,45	17,54	9841	1361	60,57	0,120	24,97	12,00	17,32		5,495			
K ₁₈			11,27	18,91	6889	759	65,30	0,096	31,34	12,99	12,46		5,097			
			10,45	17,54	6669	796	60,57	0,104	28,93	12,00	11,95		5,495			
05_100_5																
z = 3,0 m																
H			14,28	23,97	21338	2854	82,77	0,116	25,82	16,63	37,72		5,476			
			13,27	22,27	18088	2517	76,90	0,121	24,82	15,41	31,80		5,894			
K	200	10	11,27	18,91	11532	1489	65,30	0,112	26,74	12,99	20,48	262,51	6,941			
			10,7	17,96	11574	1521	62,02	0,114	26,28	12,31	20,51		7,308			
K ₁₈			11,27	18,91	8095	888	65,30	0,095	31,48	12,99	14,65		6,941			
			10,7	17,96	8153	909	62,02	0,097	30,97	12,31	14,73		7,308			
05_100_5																
z = 4,5 m																
H			19,13	25,4	23928	3053	87,71	0,111	27,06	17,66	42,55		6,568			
			13,74	23,06	19308	2646	79,63	0,119	25,20	15,98	34,02		7,234			
K	200	10	11,66	19,57	13441	1623	67,58	0,105	28,60	13,46	24,06	333,64	8,524			
			11,0	18,48	12138	1541	63,82	0,110	27,20	12,68	21,60		9,027			
K ₁₈			11,66	19,57	9561	983	67,58	0,089	33,59	13,46	17,41		8,524			
			11,0	18,48	8858	954	63,82	0,094	32,06	12,68	16,06		9,027			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsrechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 36 Volumenstromgruppe V10000, System 1_200_1

Volumenstromgruppe V10000		1_200_1				1_200_1				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max, A-ges}	Δθ _{Luft} ^{no}	Q̇ _{Luft} ^{no}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP		
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m		
H			6,22	20,87	13496	1372	35,81	0,178	16,88	6,88	55,48		4,724		
			6,88	23,08	8329	892	39,60	0,187	16,02	7,68	33,85		4,271		
K	200	50	7,26	24,37	11943	1051	41,81	0,154	19,50	8,14	50,53	492,92	4,045		
			6,33	21,25	10748	1195	36,46	0,194	15,43	7,02	43,29		4,639		
K ₁₈			7,26	24,37	8229	617	41,81	0,131	22,88	8,14	35,75		4,045		
			6,33	21,25	7298	611	36,46	0,146	20,49	7,02	31,15		4,639		
1_200_1															
H			8,51	28,57	13545	1374	49,02	0,177	16,91	9,66	55,71		4,355		
			8,9	29,9	9048	963	51,30	0,186	16,12	10,13	36,82		4,161		
K	200	50	7,43	24,94	14244	1343	42,79	0,165	18,20	8,35	59,48	622,11	4,989		
			6,52	21,89	12669	1342	37,56	0,185	16,20	7,25	51,61		5,684		
K ₁₈			7,43	24,94	9886	735	42,79	0,130	23,08	8,35	43,00		4,989		
			6,52	21,89	8677	702	37,56	0,141	21,21	7,25	37,25		5,684		
1_200_1															
H			9,65	32,4	15438	1564	55,59	0,177	16,93	11,03	63,52		4,707		
			9,35	31,4	9947	1067	53,87	0,188	15,99	10,67	40,41		4,857		
K	200	50	7,53	25,28	15772	1411	43,37	0,156	19,18	8,47	66,52	762,51	6,033		
			6,51	21,85	13004	1342	37,49	0,180	16,62	7,24	53,29		6,980		
K ₁₈			7,53	25,28	10915	785	43,37	0,126	23,86	8,47	47,71		6,033		
			6,51	21,85	9183	734	37,49	0,140	21,46	7,24	39,50		6,980		

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,93 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 37 Volumenstrom V10000, System 1_300_1

Volumenstromgruppe		V10000		1_300_1		1_300_1		d _{R,L,R} Rohranzahl: [m/m/]		z = 1,5 m		Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele		CO ₂ -relevante Ziele		Kostenrelevante Ziele							
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δθ _{LWT} ^{max}	Q _{LWT} ^{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP	
m/s	-	m ² /h	K	kW	H	-	-	-	KWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W	
H			8,21	27,56	2113	42,89	0,174	17,28	9,23	64,63		5,368	
K	300	33,3	8,42	28,3	1592	44,04	0,183	16,36	9,49	45,57		5,217	
K ₁₈			9,02	30,28	1110	47,12	0,137	21,96	10,21	45,07	492,18	4,876	
			8,23	27,63	14889	43,00	0,164	18,26	9,25	41,48		5,344	
			9,02	30,28	683	47,12	0,121	24,76	10,21	31,84		4,876	
			8,23	27,63	701	43,00	0,132	22,80	9,25	29,73		5,344	
1_300_1													
H			10,17	34,14	24956	53,13	0,173	17,33	11,60	68,79		5,455	
K	300	33,3	10,9	36,63	1816	57,00	0,183	16,37	12,49	52,00		5,084	
K ₁₈			9,27	31,12	18859	48,43	0,145	20,62	10,51	53,72	620,74	5,984	
			8,5	28,53	17752	44,40	0,157	19,10	9,58	49,88		6,527	
			9,27	31,12	825	48,43	0,120	25,00	10,51	38,88		5,984	
			8,5	28,53	807	44,40	0,126	23,72	9,58	35,81		6,527	
1_300_1													
H			11,54	38,7	27786	60,22	0,169	17,78	13,24	76,99		5,895	
K	300	33,3	11,46	38,5	20909	59,91	0,183	16,43	13,17	56,97		5,926	
K ₁₈			9,41	31,6	20998	49,18	0,138	21,77	10,68	60,35	760,45	7,219	
			8,54	28,67	18316	44,62	0,153	19,60	9,63	51,71		7,957	
			9,41	31,6	870	49,18	0,114	26,25	10,68	43,34		7,219	
			8,54	28,67	833	44,62	0,124	24,22	9,63	37,87		7,957	

Meteorologischer Standort Glessen, Bodenart a=0,93 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 38 Volumenstromgruppe V10000, System 15_200_1

Volumenstromgruppe V10000			15_200_1					15_200_1			z = 1,5 m			Betriebsart B ¹		
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele			Kostenrelevante Ziele					
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δs _{Luft} ^{no}	Q̇ _{Luft} ^{no}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{fix}	LP			
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	[m/m ²]	kWh/m ²	kWh/m	€/m	€/kW			
H			6,02	20,23	12715	1300	42,22	0,147	20,41	6,77	54,23		10,217			
K	133,3	50	6,6	22,04	9432	999	46,00	0,152	19,70	7,42	39,98		9,378			
K ₁₈			7,03	23,6	11646	1050	49,25	0,130	23,15	7,98	50,68	1033,43	8,758			
			6,31	21,18	10836	1189	44,20	0,158	19,02	7,11	45,63		9,759			
			7,03	23,6	7935	611	49,25	0,111	27,10	7,98	35,28		8,758			
			6,31	21,18	7323	618	44,20	0,121	24,73	7,11	32,17		9,759			
15_200_1																
H			8,12	27,26	12467	1265	56,89	0,146	20,57	9,30	53,24		8,791			
K	133,3	50	8,6	28,76	10496	1098	60,02	0,150	19,95	9,84	44,59		8,333			
K ₁₈			7,2	24,17	13661	1323	50,44	0,139	21,55	8,18	58,80	1198,24	9,915			
			6,54	21,95	12772	1324	45,81	0,149	20,13	7,38	54,34		10,918			
			7,2	24,17	9431	718	50,44	0,109	27,41	8,18	41,99		9,915			
			6,54	21,95	8772	708	45,81	0,116	25,86	7,38	38,77		10,918			
15_200_1																
H			9,23	31,0	13967	1417	64,70	0,146	20,57	10,64	59,65		8,881			
K	133,3	50	9,0	30,32	11363	1179	63,28	0,149	20,11	10,40	48,34		9,080			
K ₁₈			7,3	24,5	15028	1381	51,13	0,132	22,71	8,30	65,21	1376,55	11,237			
			6,56	22,02	13191	1329	45,95	0,145	20,71	7,41	56,40		12,503			
			7,3	24,5	10470	778	51,13	0,107	28,09	8,30	46,76		11,237			
			6,56	22,02	9289	736	45,95	0,114	26,34	7,41	41,16		12,503			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,93 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 39 Volumenstromgruppe V10000, System 15_300_1

Volumenstromgruppe V10000			15_300_1					15_300_1					15_300_1				
			de _R -L _R -Rohranzahl: [m/m ²]					z = 1,5 m					Betriebsart B ¹				
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele				
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{gas}	Δθ _{Leit} ^{max}	Q̇ _{Leit} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP				
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W				
H			8,16	27,4	21830	1967	56,26	0,132	22,79	9,34	63,19		11,304				
			8,08	27,12	18030	1679	55,68	0,136	22,05	9,24	51,92		11,420				
K	200	33,3	8,8	29,54	15174	1108	60,65	0,107	28,12	10,11	45,18	1032	10,485				
			8,1	27,16	14756	1259	55,77	0,125	24,06	9,25	43,05		11,404				
K ₁₈			8,8	29,54	10424	672	60,65	0,094	31,85	10,11	31,47		10,485				
			8,1	27,16	10197	709	55,77	0,102	29,53	9,25	30,54		11,404				
15_300_1																	
H			9,8	32,9	22801	2052	67,55	0,131	22,81	11,32	66,01		11,224				
			10,54	35,4	20731	1907	72,68	0,134	22,32	12,22	59,82		10,432				
K	200	33,3	9,04	30,34	18014	1403	62,30	0,114	26,36	10,40	53,21	1231	12,172				
			8,42	28,26	17777	1442	58,02	0,119	25,31	9,65	52,23		13,067				
K ₁₈			9,04	30,34	12660	811	62,30	0,094	32,05	10,40	38,25		12,172				
			8,42	28,26	12415	824	58,02	0,097	30,94	9,65	37,37		13,067				
15_300_1																	
H			11,14	37,4	25239	2224	76,79	0,129	23,30	12,94	73,30		11,020				
			11,12	37,32	22566	2058	76,63	0,133	22,51	12,91	65,20		11,044				
K	200	33,3	9,18	30,81	20024	1480	63,26	0,108	27,78	10,57	59,54	1374	13,377				
			8,55	28,7	18473	1457	58,93	0,115	26,03	9,81	54,48		14,361				
K ₁₈			9,18	30,81	14019	860	63,26	0,090	33,47	10,57	42,54		13,377				
			8,55	28,7	13189	855	58,93	0,095	31,67	9,81	39,80		14,361				

¹Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 40 Volumenstrom V10000, System 05_50_5

Volumenstromgruppe V10000		05_50_5				05_50_5				05_50_5				z = 1,5 m		Betriebsart B ¹	
Voraussetzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele							
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δθ _{Luft}	Q̇ _{Luft}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	e _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP				
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m				
H	100	40	7,0	23,35	12741	1283	39,16	0,180	16,65	7,76	41,78			2,017			
			5,56	18,7	6279	687	31,36	0,196	15,33	6,09	20,20			2,519			
			6,35	21,31	10905	1076	35,74	0,177	17,00	7,03	35,92		188,40	2,210			
K	100	40	5,21	17,5	8584	1131	29,35	0,236	12,73	5,66	26,24			2,691			
			6,35	21,31	6930	594	35,74	0,153	19,57	7,03	23,47			2,210			
			5,21	17,5	5249	503	29,35	0,171	17,50	5,66	17,40			2,691			
05_50_5																	
H	100	40	7,2	24,15	12454	1202	40,50	0,173	17,38	8,05	41,22			2,626			
			7,17	24,1	6576	700	40,42	0,190	15,75	8,03	21,30			2,632			
			6,36	21,35	11444	1258	35,80	0,197	15,26	7,04	36,77		253,71	2,971			
K	100	40	5,39	18,09	9428	1207	30,34	0,229	13,10	5,87	29,08			3,506			
			6,36	21,35	7683	657	35,80	0,153	19,61	7,04	26,03			2,971			
			5,39	18,09	6200	586	30,34	0,169	17,74	5,87	20,61			3,506			
05_50_5																	
H	100	40	7,9	26,44	13345	1263	44,34	0,169	17,72	8,87	44,34			3,029			
			7,51	25,2	6921	731	42,26	0,189	15,88	8,43	22,45			3,178			
			6,5	21,82	12363	1276	36,59	0,185	16,25	7,21	40,32		320,33	3,670			
K	100	40	5,4	18,13	9541	1185	30,40	0,222	13,50	5,88	29,68			4,417			
			6,5	21,82	8606	718	36,59	0,149	20,10	7,21	29,29			3,670			
			5,4	18,13	6705	631	30,40	0,168	17,82	5,88	22,30			4,417			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 41 Volumenstrom V10000, System 05_100_5

Volumenstromgruppe V10000			05_100_5				05_100_5				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	ΔQ _{low} ^{no}	Q _{low} ^{no}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	e _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP			
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/m			
H			10,85	36,42	28530	2303	57,17	0,154	19,45	12,42	48,26	182,62	2,507			
			8,92	29,94	19067	1663	47,00	0,167	18,00	10,09	31,78		3,050			
K	200	20	9,55	32,1	17059	1172	50,39	0,131	22,85	10,87	29,64	182,62	2,845			
			8,16	27,4	14874	1266	43,01	0,163	18,44	9,18	24,91		3,333			
K ₁₈			9,55	32,1	11305	711	50,39	0,120	24,96	10,87	19,89	182,62	2,845			
			8,16	27,4	10060	707	43,01	0,134	22,34	9,18	17,42		3,333			
05_100_5																
H			11,27	37,84	27530	2114	59,40	0,147	20,44	12,93	46,98	250,04	3,304			
			10,56	35,46	19842	1679	55,66	0,162	18,55	12,08	33,27		3,526			
K	200	20	9,56	32,1	18542	1405	50,39	0,145	20,72	10,87	31,71	250,04	3,895			
			8,5	28,5	16905	1397	44,74	0,158	19,00	9,57	28,47		4,387			
K ₁₈			9,56	32,1	12859	809	50,39	0,120	24,95	10,87	22,63	250,04	3,895			
			8,5	28,5	11740	791	44,74	0,129	23,30	9,57	20,46		4,387			
05_100_5																
H			11,8	39,6	29723	2232	62,16	0,144	20,90	13,57	50,91	314,77	3,974			
			11,07	37,14	20876	1752	58,30	0,160	18,70	12,68	35,06		4,238			
K	200	20	9,68	32,5	20612	1473	51,02	0,137	21,97	11,01	36,59	314,77	4,843			
			8,5	28,53	17377	1393	44,79	0,153	19,58	9,58	29,43		5,516			
K ₁₈			9,68	32,5	14547	878	51,02	0,115	26,01	11,01	25,74	314,77	4,843			
			8,5	28,53	12530	828	44,79	0,126	23,76	9,58	21,90		5,516			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 42 Volumenstrom V10000, System 05_150_5

Volumenstromgruppe V10000			05_150_5				05_150_5				z = 1,5 m		Betriebsart B'	
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele			
V _{luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δs _{luft} ^{no}	Q _{luft} ^{no}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ρ _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP	
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWs/m ³	kWh/m	€/m	€/m	€/m
H			13,34	44,8	38918	2762	66,05	0,144	20,78	15,40	44,40	170,80		2,859
			11,51	38,6	28587	2170	56,91	0,154	19,42	13,16	32,23			3,319
			11,32	38,0	20512	1215	56,03	0,121	24,89	12,95	24,05			3,371
K	300	13,33	10,11	33,9	18805	1332	49,98	0,144	20,82	11,47	21,46		3,779	
			11,32	38,0	13681	752	56,03	0,112	26,82	12,95	16,20	3,371		
K ₁₈			10,11	33,9	12763	768	49,98	0,122	24,50	11,47	14,93		3,779	
05_150_5														
H			13,94	46,8	36585	2610	69,00	0,138	21,80	16,12	44,37	237,56		3,807
			12,2	41,0	30286	2215	60,45	0,149	20,16	14,03	34,37			4,346
			11,33	38,0	22647	1473	56,03	0,132	22,67	12,95	26,20			4,689
K	300	13,33	10,36	34,8	21838	1498	51,31	0,140	21,49	11,80	25,05		5,120	
			11,33	38,0	15818	869	56,03	0,112	26,84	12,95	18,73	4,689		
K ₁₈			10,36	34,8	15243	873	51,31	0,117	25,74	11,80	17,96		5,120	
05_150_5														
H			14,7	49,23	42286	2755	72,58	0,133	22,63	16,99	48,91	301,66		4,596
			12,8	43,0	32111	2327	63,40	0,147	20,35	14,75	36,50			5,262
			11,47	38,5	25716	1569	56,76	0,124	24,17	13,13	30,03			5,877
K	300	13,33	10,5	35,2	22574	1494	51,90	0,135	22,28	11,94	26,05		6,427	
			11,47	38,5	18223	949	56,76	0,106	28,31	13,13	21,72	5,877		
K ₁₈			10,5	35,2	16341	908	51,90	0,113	26,53	11,94	19,32		6,427	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
 Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 43 Volumenstromgruppe V10000, System 08_50_5

Volumenstromgruppe V10000		08_50_5				08_50_5				08_50_5				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δθ _{LWT} ^{max}	Q _{LWT} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP		
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	KWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W		
H		40	5,9	19,83	9322	991	35,40	0,179	16,79	6,53	30,63	270,13		3,406	
			5,13	17,23	5796	648	30,76	0,188	15,97	5,60	18,83			3,920	
			5,74	19,27	9700	1037	34,40	0,180	16,70	6,33	31,83			3,505	
K	62,5	40	5,0	16,82	8294	1121	30,03	0,227	13,21	5,45	25,64			4,015	
			5,74	19,27	6121	556	34,40	0,153	19,65	6,33	20,75			3,505	
K ₁₈			5,0	16,82	4920	480	30,03	0,164	18,30	5,45	16,45			4,015	
08_50_5															
H		40	6,27	21,0	9446	978	37,49	0,174	17,24	6,96	31,21	374,01		4,452	
			6,64	22,3	6150	667	39,81	0,182	16,46	7,42	20,12			4,193	
			5,78	19,4	10359	1232	34,63	0,200	15,01	6,38	33,15			4,820	
K	62,5	40	5,19	17,4	9171	1195	31,06	0,219	13,70	5,66	28,65			5,374	
			5,78	19,4	6806	618	34,63	0,153	19,66	6,38	23,07			4,820	
K ₁₈			5,19	17,4	5993	580	31,06	0,163	18,45	5,66	20,07			5,374	
08_50_5															
H		40	7,1	23,9	10427	1068	42,66	0,172	17,43	8,00	34,53	480,51		5,026	
			6,96	23,4	6604	713	41,77	0,181	16,53	7,82	21,62			5,134	
			5,9	19,8	11184	1246	35,35	0,187	16,02	6,52	36,36			6,067	
K	62,5	40	5,2	17,5	9328	1175	31,24	0,212	14,17	5,70	29,41			6,864	
			5,9	19,8	7685	682	35,35	0,149	20,12	6,52	26,16			6,067	
K ₁₈			5,2	17,5	6483	622	31,24	0,161	18,61	5,70	21,75			6,864	

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,93 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 9,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrleitungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 44 Volumenstromgruppe V10000, System 08_100_5

Volumenstromgruppe V10000		08_100_5					08_100_5					z = 1,5 m			Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung		Haustechnische Ziele					CO ₂ -relevante Ziele					Kostenrelevante Ziele				
V _{luft}	L/d	V _{max} /I _{ges}	Δθ _{lwr}	Q _{lwr}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	ε _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP			
m/s	-	m ² /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	€/W			
H			9,67	32,44	24911	2146	57,43	0,146	20,55	11,07	42,55		4,211			
			8,55	28,7	18629	1671	50,81	0,152	19,74	9,72	31,60		4,760			
K	125	20	8,82	29,61	15692	1148	52,42	0,124	24,20	10,05	27,49	273,20	4,613			
			7,87	26,42	14465	1265	46,78	0,148	20,25	8,90	24,64		5,170			
K ₁₈			8,82	29,61	10473	696	52,42	0,113	26,64	10,05	18,59		4,613			
			7,87	26,42	9751	704	46,78	0,122	24,52	8,90	17,12		5,170			
08_100_5																
H			10,1	33,9	24093	1977	60,02	0,139	21,58	11,59	41,49		5,529			
			9,97	33,45	19705	1709	59,22	0,147	20,41	11,43	33,62		5,603			
K	125	20	8,82	28,61	17177	1387	50,65	0,137	21,93	9,69	29,65	374,86	6,551			
			8,2	27,5	16518	1388	48,69	0,142	21,07	9,29	28,33		6,816			
K ₁₈			8,82	29,61	11922	793	52,42	0,113	26,62	10,05	21,16		6,330			
			8,2	27,5	11532	796	48,69	0,117	25,65	9,29	20,37		6,816			
08_100_5																
H			10,6	35,5	26397	2123	62,85	0,136	22,01	12,17	45,60		6,643			
			10,5	35,1	20990	1808	62,14	0,146	20,55	12,03	35,85		6,719			
K	125	20	9,0	36,2	19114	1449	64,09	0,128	23,35	12,42	33,32	471,69	6,515			
			8,26	27,7	17114	1395	49,04	0,138	21,72	9,36	29,50		8,514			
K ₁₈			9,0	30,2	13496	861	53,47	0,108	27,75	10,26	24,07		7,809			
			8,26	27,7	12360	837	49,04	0,115	26,19	9,36	21,92		8,514			

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁵ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

Tabelle 45 Volumenstromgruppe V10000, System 08_150_5

Volumenstromgruppe V10000			08_150_5				08_150_5				z = 1,5 m				Betriebsart B ¹	
Vorabschätzung			Haustechnische Ziele				CO ₂ -relevante Ziele				Kostenrelevante Ziele					
V _{Luft}	L/d	V _{max} /A _{ges}	Δs _{Luft} ^{max}	Q _{Luft} ^{max}	Q _{max}	T _{b,h}	ε _e	E _p	β _e	QV _e	ME	K _{max}	LP	€/m	€/KW	
m/s	-	m ³ /h	K	kW	kWh	H	-	-	-	kWh/m ³	kWh/m	€/m	LP			
H			12,23	41,1	35368	2655	72,23	0,128	23,41	14,18	41,11			4,762		
			11,1	37,3	28272	2198	65,56	0,133	22,61	12,81	32,69			5,247		
K	187,5	13,33	10,67	35,8	19209	1194	62,92	0,106	28,27	12,27	22,89	260,94		5,467		
			9,8	32,9	18380	1331	57,82	0,124	24,27	11,23	21,48			5,948		
K ₁₈			10,67	35,8	12914	742	62,92	0,098	30,59	12,27	15,53			5,467		
			9,8	32,9	12492	770	57,82	0,105	28,51	11,23	14,90			5,948		
08_150_5																
H			12,8	43,0	35208	2534	75,57	0,123	24,42	14,87	41,18			6,307		
			11,83	39,7	30621	2295	69,77	0,128	23,45	13,68	35,60			6,831		
K	187,5	13,33	10,7	35,6	21312	1453	62,57	0,116	25,78	12,20	25,11	361,61		7,618		
			10,1	33,9	21507	1493	59,58	0,118	25,32	11,59	25,28			8,000		
K ₁₈			10,7	35,8	14947	860	62,92	0,098	30,55	12,27	17,97			7,576		
			10,1	33,9	15039	873	59,58	0,099	30,28	11,59	18,07			8,000		
08_150_5																
H			13,5	45,3	38691	2678	79,62	0,118	25,39	15,69	45,49			7,574		
			12,29	41,25	32622	2409	72,50	0,126	23,80	14,24	38,01			8,318		
K	187,5	13,33	10,82	36,32	24187	1544	63,83	0,109	27,53	12,46	28,74	457,49		9,447		
			10,3	34,6	22346	1493	60,81	0,114	26,31	11,84	26,40			9,917		
K ₁₈			10,82	36,32	17183	937	63,83	0,093	32,23	12,46	20,78			9,447		
			10,3	34,6	16256	918	60,81	0,096	31,12	11,84	19,59			9,917		

Meteorologischer Standort Giessen, Bodenart a=0,92 · 10⁻⁶ m²/s (erster Wert im Feld) und 0,44 · 10⁻⁶ m²/s
Leistungsberechnung unter Berücksichtigung der Rohrreibungsverluste inklusive Filter- und Einbauverluste

5 Untersuchungsmethoden der lufthygienischen Messungen

Die Messstrategie und die Berücksichtigung von Randbedingungen während der Probenahmen erfolgen unter Beachtung der VDI-Richtlinie [VDI 4300], Blatt 1 (Dezember 1995).

Tabelle 46 Eingesetzte Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des lufthygienischen Profils an der L-EWT-Versuchsanlage

Erfassungsbereich	Untersuchungsmethode
Schimmelpilzsporen	Die Pilzsporen werden auf spezifischen Nährböden (Czapek- und Malz-extraktagar) sedimentiert und nach einer Inkubationszeit mikrobiologisch analysiert. Nach 14-tägiger Bebrütung bei 22 °C wurden die Pilzkolonien auf den Nährböden bestimmt und quantifiziert.
MVOC	Vor Ort wurden die flüchtigen org. Verbindungen an ein Trägermaterial (Aktivkohle) adsorbiert und im Labor unter definierten Bedingungen desorbiert. Es erfolgte eine gaschromatographische Trennung und massenspektrometrische Charakterisierung der adsorbierten Substanzen.
Bakterielle Keime	Die bakteriellen Keime wurden auf spezifischen Nährböden (PCA-agar) sedimentiert und nach einer Inkubationszeit mikrobiologisch analysiert. Nach 5-tägiger Bebrütung bei 35 °C wurden die Keimkolonien auf den Nährböden quantifiziert. <u>Referenzwerte</u> aus der Literatur sind ⁺ : sehr gering < 50 KBE/m ³ gering 50 - 100 KBE/m ³ mittel 100 - 500 KBE/m ³ hoch 500 - 2000 KBE/m ³ sehr hoch > 2000 KBE/m ³ ⁺ European Collaborative Action: Indoor air quality & its impact on man. Report No. 12: Biological Particles in Indoor Environment
Legionellen	Die bakteriellen Keime wurden auf legionellaspezifischen Nährböden (BCYE-agar) sedimentiert und nach einer Inkubationszeit mikrobiologisch analysiert. Nach 5-tägiger Bebrütung bei 35 °C wurden die Keimkolonien auf den Nährböden legionellaselektiv untersucht.
Phthalate (Weichmacher)	Elution des Probenahmeröhrchens mit Diethylether, Analyse mit Kapillargaschromatographie und Massenspektrometer; quantitative Bestimmung der Zielsubstanzen mit internem Standard und Vergleichsgemisch.

Partikel und Faserförmige anorganische und organische Partikeln	Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (REM/EDXA) nach VDI-Richtlinie 3492, Blatt 2 (Juni 1994) zum Nachweis von anorganischen Fasern mit der Länge L: $5\ \mu\text{m} \leq L \leq 100\ \mu\text{m}$ und dem Durchmesser D: $0,2\ \mu\text{m} \leq D < 3\ \mu\text{m}$ sowie $L/D \geq 3/1$. Zur Berechnung der Raumlufkonzentration an Asbestfasern wird gemäß VDI-Richtlinie nur die Faserlängenklasse 2 herangezogen. Die ausgewertete Filterfläche beträgt jeweils 1mm^2 .
Schwebstaubgehalt	Die Probenahme und Auswertung erfolgte nach VDI-Richtlinie 2463 (Blatt 8; Messen von Partikeln - Messen von Massenkonzentration (Immission), Basisverfahren für den Vergleich von nichtfraktionierenden Verfahren). Nach diesem Verfahren werden die in der Luft dispergierten Partikel auf einem Filter gesammelt und danach gravimetrisch bestimmt. Der eingesetzte Quarzfaserfiltertyp garantiert einen Abscheidegrad $> 99,5\ \%$ nach DIN 24 184.
Partikelgrößen-Verteilung	Die Erfassung der absoluten Partikelzahlen und die Klassifizierung der Partikelgrößen erfolgte mit einem Laser-Schwebstaubmonitor der Fa. Malvern nach dem Laserstreulichtverfahren

Zuzüglich zu den selbst durchgeführten Messungen zur Bestimmung der Auswirkungen von L-EWT auf die Zuluftqualität wurden von anderen Autoren weitere Untersuchungen durchgeführt. Zum einen waren das vergleichenden Untersuchungen [Flückiger] [Schneiders] zum anderen lagen einzelne Berichte über die hygienischen Bedingungen an L-EWT-Systemen vor. Die ausgewerteten Untersuchungen sind in Tabelle 47 zusammengefasst. Die Ergebnisse implizieren, dass aus lufthygienischer Sicht der Betrieb von L-EWT bei gewissenhafter Planung unproblematisch ist. Die allgemeinen, bei Lüftungsanlagen angewandten Regeln sind beim Bau, Betrieb und Unterhalt von L-EWT zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die L-EWT-Austrittsluft in fast allen Fällen eine deutlich Reduktion der Pilzsporenkonzentration der Außenluft zeigte. Lediglich Penicillium und Aspergillus zeigten nach den L-EWT-Rohren vor den Filtern einiger Einfamilienhäusern höhere Konzentrationen als in der Außenluft [Flückinger].

Eine Untersuchung am L-EWT des SIJ in Jülich zeigt nach der Inbetriebnahme im September 1999 eine um ca. den Faktor 2 erhöhte Konzentration von Pilzsporen und MVOC am L-EWT-Austritt gegenüber der Außenluft. Anhand der aufgenommenen Daten kann zwar nicht von einer gesundheitlich relevanten Schimmelpilzbelastung ausgegangen werden, eine Verschmutzung mit biologischen Materialien bzw. eine Verkeimung des Rohres kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Tabelle 47 Ergebnisse aus den hygienischen Untersuchungen verschiedener L-EWT-Anlagen

	System	Messungen	Mikrobielle Schadstoffe		Chemische Schadstoffe	Staub
			Bakterien	Pilze		
Nach Flückinger ¹ (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH Zürich)	12 L-EWT-Anlagen (davon 4 für Familien- und Mehrfamilienhäuser, 6 für Gebäude mit diverser Nutzung) 8 Anlagen, Kunststoffrohre, 3 Anlagen, Zementrohre	Frühling, Sommer, Winter, Herbst 1996 (Die L-EWT-Anlagen waren zur Zeit der Messung ca. 2-7 Jahre in Betrieb)	Zusammenfassende Untersuchungen		k.A.	k.A.
			Kein Unterschied der Qualität der Austrittsluft zwischen Beton und Kunststoffrohren festgestellt, Reduktion der Keimzahlen in kleineren Systemen (Einfamilienhäusern) fiel geringer aus als in größeren Anlagen, Die nach dem L-EWT eingebaute Filter führten in allen Anlagen zu einer Abnahme der Bakterien und Pilzsporenkonzentration geg. Der Hintergrundkonzentration, Filterqualität beeinflusste stark die Konzentration der Pilzsporen in der Zuluft im Gegensatz zur Bakterienkonzentration			
Nach Schneiders ¹ (Medizinische Fakultät, RWTH Aachen)	2 Einfamilienhäuser mit L-EWT (PVC bzw. glattes Winkelfalzrohr) in ländlicher Umgebung	1991 und 1992 (Wiederholungsmessung)	In fast allen Fällen Reduktion der Bakterien in den L-EWT-Rohren	In den meisten Anlagen tiefere Keimkonzentration am Ende des L-EWT, in Anlagen für Einfamilienhäuser gelegentlich erhöhte Konzentrationen	k.A.	k.A.
			Reduktion der Keimzahlen um mehr als 90 % gegenüber der Außenluft	k.A.		
Einzelne L-EWT-Anlagen						
L-EWT auf dem Gelände der Fa. Wagner Solar	Rohrregister-L-EWT, Beton	September 1999 (nach einem Jahr Betriebszeit)	k.A.	Innenraumgehalt an Pilzsporen deutlich niedriger als in der Außenluft	Sehr niedrige Radonkonzentration in der Raumluft (Anreicherung durch die Betonrohre dadurch auszuschließen)	k.A.
L-EWT auf dem Gelände des DLR ¹	Rohrregister-L-EWT, 12 KG-Rohre (PVC), max. 3600 m ³ /h	Messung Juli 1996 und 1998	Reduktion der Bakterien in der Zuluft gegenüber der Außenluft, keine Legionellen nachweisbar	Reduktion von Pilzsporen in der Zuluft gegenüber der Außenluft, keine Zunahme der MVOCs gegenüber der Außenluft	1996: keine Zunahme von Phtthalaten (Weichmachern) in der Zuluft gegenüber der Außenluft	Reduktion des Staubeintrags in der Zuluft gegenüber der Außenluft
L-EWT auf dem Gelände des S.U. Jülich	Einzelrohr, Beton	September 1999 (Inbetriebnahme)	Kolonienzahl nach Passage des L-EWT gering niedriger als am Eintritt	Schimmelpilzsporen und MVOC ² haben höhere Werte (um ca. Faktor 2) nach Passage des L-EWT	Sowohl am Anfang als auch am Ende der L-EWT Strecke kein Nachweis von VOC ³ (Bestimmungsgrenze 1 µg/m ³)	Kein signifikanter Staubeintrag in die Raumluft bei Nutzung des L-EWT
L-EWT des Passivhaus Kranichstein ⁴	4 Häuser mit Register L-EWT, 4 Rohre, max 180 m ³ /h	Januar 1993 bis April 1994	Bakterien liegen im Normalbereich und stellen keinerlei gesundheitliche Gefährdung dar	Die Gebäudezuluft enthält keine oder nur sehr geringe Schimmelpilzsporenkonzentrationen, Im April/Mai höchste Pilzkonzentrationen am Ende des L-EWT, dagegen im Juni höchste Konzentrationen in der Außenluft ⇒ eine Schimmelpilzsporenquelle bedingt durch Taupunktunterschreitungen ist nicht auszuschließen	k.A.	k.A.

¹ Schneiders, Thora: Zur hygienischen Luftqualität in Wohngebäuden bei der Konditionierung der Zuluft mittels Erdwärmetauscher. Dissertation, Medizinische Fakultät der RWTH Aachen, 1994² MVOC - Mikrobiell produzierte organische Verbindungen³ VOC - Flüchtige organische Verbindungen (u.a. Aromatische Kohlenwasserstoffe, Alkane, Terpenen, Ester, Ketone, Alkohole, Aldehyde)⁴ Feist, Wolfgang(Hrsg.): Passivhausbericht Nr.10: Luftqualität im Passivhaus. Abschlussbericht an das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (HMUB), Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1994

Auch bei Bakterien zeigten Messungen in fast allen untersuchten L-EWT-Systemen, eine Abnahme der Konzentration [Flückinger]. Generell besteht ein Unterschied zwischen Großanlagen und L-EWT für Einfamilienhäuser. Die Reduktion der Keimzahlen im Erdregister fällt für Einfamilienhäuser deutlich geringer aus, als für große Anlagen. Es konnten keine eindeutigen Unterschiede der Bakterien- und Pilzreduktion bei Beton und Kunststoffrohren festgestellt werden.

Untersuchungen über chemische Schadstoffe aus der Rohrwand und anderen Bauteilen wurden für Phonole und VOCs durchgeführt. Das L-EWT-Versuchsregister verwendet Rohrmaterial aus PVC. Die Messungen 1996 zeigten, dass keine erhöhte Konzentration von Diisobutylphthalat und Di-n-Butylphthalat vorlag. Am L-EWT in Jülich wurden Messungen von VOC durchgeführt. Auch hier konnten keine VOC oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden.

Für Belastungen der Luft aus L-EWT durch Radon liegen bisher nur wenige Erkenntnisse vor. Eine Messung wurde für die Raumluft des Gebäudes der Fa. Wagner-Solar durchgeführt, das über ein L-EWT belüftet wird. Die Raumluft zeige sehr niedrige Radongehalte von 6-11 Bq/m³. Eine Anreicherung von Radon durch die Betonrohre konnte ausgeschlossen werden. Bei der Bewertung dieses Ergebnis ist zu beachten, das auch für das Grundstück keine erhöhten Radonwerte im Boden vorlagen (siehe auch [BfS]).

6 Literaturverzeichnis

A

[Ahmed]

Ahmed, A.: **Simulation of simoultaneous heat and moisture transfer in soils heated by buried pipes**, Ph.D. Dissertation, Columbus, USA: The Ohio State University, 1980

[AGÖF]

N.N.: **Energie sparen, Schadstoffe vermeiden** **Gesundes Bauen und Wohnen**, Fachkongreß „Ökologische Gebäudesanierung II“, Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) Berlin, November 1993

[Albers]

Albers, K.-J.; Trümper, H.; Hain, K.: **Erdwärmetauscher**. Ergebnisbericht zum Forschungsauftrag BI5-800 189-108 des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Univ. Dortmund, FG Technische Gebäudeausrüstung, IRB-Verlag, Dortmund, 1991

[Allgeier]

Allgaier, M.: **Planungs- und Ausführungshinweise für Wohnungslüftungssysteme, Teil 3**; IKZ-Haustechnik, Ausgabe 12/2000

[AMEV]

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, <http://www.amev.belwue.de/>

[ASR]

Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstättenrichtlinien - ein Wegweiser für Arbeitgeber und Beschäftigte, Bayerisches Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz, München 2001

B

[Baehr I]

Baehr, H.-D.: **Thermodynamik : eine Einführung in die Grundlagen und ihre technischen Anwendungen**, 8., Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 1992

[Baehr II]

Baehr, H.-D., Stephan, K.: **Wärme und Stoffübertragung**, Springer, Heidelberg 1994

[Bansal]

Bansal, K.N.; Hauser, G.; Minke, G.: **Passive Building Design, A Handbook of Natural Climatic Control**, Elsevier Science Verlag, Amsterdam 1994

[Baumgartner]

Baumgartner, Th.: **Erdwärmenutzung für die Raumklimatisierung**, Rechenmodell für Luft /Erdregister; Neff-Projekt 390, Dübendorf, Schweiz, 1992

[Benkert I]

Benkert, St., Heidt, F.D.: **Validierung des Programms 'Graphische Auslegung von ErdwärmeAustauschern GAEA' mit Hilfe von Messdaten im Rahmen des Verbundprojekts 'Luft-/Erdwärmetauscher' der AG Solar NRW**, Abschlussbericht zum Projekt, Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie, Universität-GH Siegen, Februar 2000

[Benkert II]

Benkert, St., Heidt, F.D.:

Designing Earth Heat Exchangers -Validation of the software GAEA. Proceedings World Renewable Energy Congress VI, July 1-7, 2000, Brighton, UK, A.A.M. Sayigh (ed.), Part III, pp. 1818-1821. Elsevier Science Ltd, The Blvd, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.

[BfS]

Bundesamt für Strahlenschutz: **Die radiologische Situation in Bergbaugebieten Sachsens, Sachsen-Anhalts und Thüringens**, Infostelle Schlema des BfS, Schlema 2000

[BIA]

N.N.: **Innenraumlufqualität**, BIA-Report 2/95, Zusammenfassung der Vorträge zum Thema gehalten am 8. und 9. Dezember 1993 in St. Augustin, HVBG Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften Sankt Augustin, April 1995

[BINE]

Bine Projekt-Info 02/2000, **Raumluftkonditionierung mit Erdwärmetauschern**, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Mai 2000

[Blackwell]

Blackwell, J.H.: **A transient-flow method for determination of thermal constants of insulating materials in bulk**, Part 1 - Theory, J. Appl. Phys., 25, 137-144., 1954

[Blümel]

Blümel, K.; Hollan, E., Kähler, M. Peter, R.: **Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland**, Institut für Geophysikalische Wissenschaften der FU Berlin, BMFT, Forschungsbericht T86-051, FIZ Karlsruhe, Karlsruhe 1986

[Boden]

Bodenuntersuchungen im Bereich des Bauvorhabens Linder Höhe in Köln-Porz, Erläuterungsbericht zur Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung des Ing.-Büros, Dr. Tillmanns & Partner GmbH, Auftrag vom 7.10.1992, Düsseldorf, Oktober 92

[Borowietz]

Borowietz, M.: **Dynamische Simulation von Erdwärmetauschern mit TRNSYS**, Diplomarbeit Technische Universität Berlin, Studiengang Energie- und Verfahrenstechnik, DLR Köln 1999

[Brauer]

Brauer, H.: **Berechnung der Wärmeverluste von im Erdreich verlegten Rohrleitungen**; Energie 15 (1963) 9, S. 354 - 365

C

[Carslaw]

Carslaw, H.S., und Jaeger, J.C. : **Conduction of Heat in Solids**, Oxford University Press, Oxford 1959

[Chohfi]

Chohfi, R.E.: **Computer Programm to Simulate the Performance of Earth Cooling Tubes**, Graduate School of Architecture and Urban Planning, University of California, 13th national passive solar conference, Cambridge, MA, USA, ASES 1988

[Cube I]

Cube v.H: **Die Projektierung von erdverlegten Rohrschlangen für Heizwärmepumpen**, KI Luft- und Kälteingenieur Nr. 5 (1977) 6, S.217-222, Hüthig-Verlag, Heidelberg 1977

[Cube II]

Cube v., H.L.; Ludwig, E; Sattler, J. Rhode, J.: **Erarbeitung eines Optimierungsverfahrens für die Auslegung von Erdbodenrohrschlangen als Wärmequelle für Wärmepumpen.** Forschungsbericht T80 - 121, Bonn, BMFT, 1980

D

[Damjanov]

Damjanov, B.: **Experimentelle Analyse der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Energieautarken Solarhaus, Freiburg.** Diplomarbeit, Hochschule für Technik + Wirtschaft, Offenburg. Angefertigt im Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Abteilung Thermische und Optische Systeme (TOS), Freiburg, 1994

[Dibowski I]

Dibowski, G.: **Bau und messtechnische Untersuchung eines Laborgebäudes als Niedrigenergiehaus,** Abschlussbericht der ersten Projektphase (1991 - 1995), DLR, Hauptabteilung Energietechnik, im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW, Köln 1996

[Dibowski II]

Dibowski, G.: **NESA-Ausstattung und Meßkonzept für das Sonnenofen-Laborgebäude,** Deutsche Forschungs-anstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), HA Energietechnik, Köln, in: F.D. Heidt (Hrsg.): Niedrigenergie und Solar-Architektur (NESA), VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 6, Nr.319, Energietechnik, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1995, S.30 - 42

[Dibowski III]

Dibowski, G.: **Energieeinsparung und Kühlung durch solare Systemtechnik bei nach Niedrigenergiestandard gebauten Büro- und Betriebsbauten;** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), HA Energietechnik, Köln, in: F.D. Heidt (Hrsg.): Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solar-Architektur, VDI-Fortschritts-berichte, Reihe 4, Nr. 139, Bauingenieurwesen, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997, S.34 - 40

[Dibowski IV]

Dibowski, G.: **Oberflächennahe thermische Nutzung des Untergrundes.** Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, Freising, 21./22. Februar 2001, Vortrag und Tagungsband, S. 155-167, OTTI - Energie-Kolleg, Regensburg 2001

[Dibowski V]

Dibowski, G.: **Projektierung von Luft-Erdwärmetauschern (L-EWT), der Planungsleitfaden der AG Solar NRW,** Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, Garching, 19./20. Februar 2002, Vortrag und Tagungsband S. 213-223, , OTTI Energie-Kolleg, Regensburg 2002

[Dibowski VI]

Dibowski, G.: **Thermische Nutzung von Solarenergie im Niedertemperaturbereich,** Hans-Böckler-Stiftung, Köln 1996, (1996)

[Dibowski VII]

Dibowski, G.: **Kurzbericht vom Start-Meeting im Verbundprojekt Luft-/Erdwärmetauscher,** Das EWT-Verbundprojekt. START-Meeting des EWT-Verbundprojektes, DLR, Köln, 26. November 1998, DLR, (1998)

[Dibowski VIII]

Dibowski, G.: **Aufgaben und Ziele des Bodenfeuchtesymposiums,** Bodenfeuchtesymposium im Rahmen des EWT-Verbundprojektes der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW, Jülich, 29.+30.09.1999, DLR, Solar-Institut-Jülich, 1999

[Dibowski IX]

Dibowski, G.: **Abschlußbericht an die AG Solar NRW**, Bau und meßtechnische Untersuchung eines Laborgebäudes als Niedrigenergiehaus; DLR, Köln, Dezember 1996

[Dibowski X]

Dibowski, G.: **Solarthermische Raumkühlung am Beispiel von Luft-/Erdwärmetauschern EWT** Fortbildungsveranstaltung der Carl-Duisberg-Gesellschaft am Solar-Institut, Jülich, SIJ, "Solare Energiesysteme", Jülich, 23.06.1999, FH Aachen / Solar-Institut, Jülich, SIJ, (1999)

[Dibowski XI]

Dibowski, G.: **The Earth-Air Heat-Exchanger of the DLR, Cologne / Measuring Results and Experiences. International Seminar on Environmental Sustainability Through Architecture and Energy Management in Buildings**, Neu Delhi, 28.04.1999, Indian Institute of Technology IIT, Neu Delhi, (1999)

[Dibowski XII]

Dibowski, G.: **Erdreichwärmetauscher**, Vortrag im Rahmen der 15. Sommerschule, Regenerative Energie an der FH Aachen, Solar-Institut Jülich, 7. September 2000

[Dibowski XIII]

Dibowski, G.: **Leistungsbeispiele von Luft-/Erdwärmetauschern (L-EWT) zur Luftvorwärmung und Raumkühlung**, 6. Geothermische Fachtagung, Akademie Mont Cenis, Herne, 18.-19.10.2000; Neue Entwicklungen, Perspektiven, Herne 2000

[Dibo HoWo]

Dibowski, G.; Hovermann, Ch.; Wortmann, R.: **Die Erdwärmetauscher im EWT-Verbundprojekt**, 4.Passivhaus Tagung, 10. bis 11. März 2000, Kassel, Tagungsband, Darmstadt 2000

[Dibo+Ritt]

Dibowski, G.; Rittenhofer, K.: **Über die Problematik der Bestimmung thermischer Erdreichparameter für die Projektierung von Luft-/Erdwärmetauschern (EWT)**, HLH, Zeitschrift des VDI, Ausgabe 5/2000, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf 2000

[DIN EN 1610]

DIN EN 1610 Technische Regeln für die Bausausführung von Abwasserleitungen und -kanälen, Beuth-Verlag, Berlin 1997

[DIN 1946-2]

DIN 1946, Teil 2: Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln), Beuth Verlag, Berlin 1994

[DIN 4021]

DIN 4021, Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990

[DIN 4022]

DIN 4022-1, Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Ausgabe:1987-09, Beuth Verlag GmbH, Berlin

[DIN V 4108-4]

DIN V 4108-4 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Beuth-Verlag, Berlin 2002

[DIN V 4108-6]

DIN V 4108-6 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs, Beuth-Verlag, Berlin 2000

[DIN V 4701]

DIN V 4701: DIN 4701 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin 1997

[DIN V 4701-10]

DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwasser, Lüftung, Beuth-Verlag, Berlin 2001

[DIN 4710]

DIN 4710: Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, Beuth-Verlag, Berlin 1982

[DIN 16928]

DIN 16928: Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; -verbindungen; Rohrleitungsteile; Verlegung; Allg. Richtlinien 4.79 (ISO / TR 7024-1985) Beuth-Verlag, Berlin 1979

[DIN 18196]

DIN 18196 Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, Beuth-Verlag, Berlin, Oktober 1988

[DIN 19534]

DIN 19534: Rohre und Formstücke aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) mit Steckmuffe für Abwasserkanäle und -leitungen, Beuth-Verlag, Berlin 2000

[DIN 25706-1]

DIN 25706-1: Passive Radonmessung, Teil 1: Kernspurmessverfahren; Nov 94

[Dreuw]

Dreuw, M.; Schmidt, M.: **Erdreichwärmetauscher, Teil 2**, Auslegungsprogramme für EWT, Vergleich der Programme 'GAEA' und 'PH-Luft', Solar-Institut-Jülich, FH Aachen 2000

[Dubbel]

Beitz, W., Grote, K.-H.: **Dubbel, Taschenbuch Maschinenbau**, 19. Auflage, Berlin 1997

[Duffie]

Duffie, J.; Beckmann, W.: **Solar Engineering of Thermal Processes**, New York: John Wiley & Sons, 1991

[Duffie II]

Beckmann, W.A.; Duffie J.A. et. al.: **TRNSYS 14.2 – Handbook**. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, Wi, USA: Solar Energy Lab, 1996

[DVS 2207]

DVS 2207: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-H, Teil 1, Hameln 1995

E

[ECO1]

ECO Luftqualität und Raumklima: **Untersuchungen zur lufthygienischen Bewertung des Erdwärmetauschers im Laborgebäude des Sonnenofens**, im Auftrag des Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt, Köln, 1996

[ECO2]

ECO Luftqualität und Raumklima: **Untersuchungen zur Lufthygienischen Bewertung des Erdwärmetauschers im Laborgebäude des Sonnenofens**, im Auftrag des Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt, Köln, 1998

[Eckert]

Eckert, E. R. G. The Ground used as Energy Source, Energy Sink or for Energy Storage Energy 1 (1976), S. 315 - 323

[Evers]

Evers, M.: **Auslegung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Luftkanal-Erdwärmeübertragers zur Zuluftkonditionierung, am Beispiel eines Vortragssaales**, Diplomarbeit FH Köln, Versorgungstechnik TGA, Köln WS 1998/99

[Erbas]

Erbas, K. : **Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Festkörpern mit einer Halbraum-Linienquellen-Apparatur**, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Angewandte Geophysik, Technische Universität Berlin 1985

F

[FHAaBaubetrieb]

<http://www.baubetrieb.fh-aachen.de>

[Feist I]

Feist, W.: **Passivhäuser in Mitteleuropa**, Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel, 1993

[Feist II]

Feist und Jäkel **TV-Untersuchungen des Erdwärmetauschers im Passivhaus Darmstadt Kranichstein**; IWU GmbH Darmstadt, 1994

[Fischer und Lindauer]

Fischer, Lindauer: **Experimentelle Voruntersuchungen eines Erdwärmetauschers zur Luftvorwärmung bzw. -kühlung**, Bericht des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik, EB-28, 1990

[Fischer und Stiehl]

Fischer, N.; Stiehl, N: **Verfahren zur Kühlung und Vorwärmung der Luft mit Hilfe der Erdwärme**; Patentschrift Nr. 121, Berlin, Kaiserliches Patentamt 1877

[Flückinger]

Flückiger, N., Wanner, N., Lüthy, N.: **Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern**, ETH Zürich, Februar 1997 [1]

G

[GAEA]

GAEA: Graphische Auslegung von ErdwärmeAustauschern, Fachgebiet Bauphysik & Solararchitektur, EWT-Verbundprojekt, AG-Solar NRW, Universität-GH Siegen 1999
<http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/gaea.htm>

[Gerber]

Gerber, A., Pfafferott, J., Dibowski, G.: **Erdreichwärmetauscher: Modellierung, Auslegung und Betriebsverhalten**; Tagungsband der achten Jahrestagung des Forschungsvverbundes Sonnenenergie vom 10. bis 11. September 1997 zum Thema Solare Gebäudekühlung in Hameln. Köln 1997

- [Ghazi]
Ghazi Wakili, K.; Frank, Th.; Baumgartner, Th.: **Erdwärmennutzung für die Raumklimatisierung**, EMPA, Abt. Bauphysik, Projekt Schwerzenbacher Hof, Dübendorf, Schweiz 1992
- [Giardina]
Giardina, J.: **Evaluation of Ground Coupled Heat Pumps For The State of Wisconsin**, Dissertation, Master of Science, University of Wisconsin-Madison, 1995
- [Glück I]
Glück, B.: **Wärmeübertragung**, Bausteine der Heizungstechnik, Berechnung, Software, Wärmeabgabe von Raumheizflächen und Rohren, VEB Verlag für Bauwesen, 1. Auflage, Berlin 1989
- [Glück II]
Glück, B.: **Zustands- und Stoffwerte Wasser-Dampf-Luft**, Verbrennungsrechnung VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987
- [Grigull]
Grigull, U., Sandner, H.: **Wärmeleitung**, Nachdruck der ersten Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1986
- H
- [Hauser I]
Hauser, G.: **Rechnerische Vorbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten**, Dissertation, Universität Stuttgart 1977
- [Hauser II]
Hauser, G.; Otto, F.: **Erdwärmeauscher**, Abschlussbericht, Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, BI-800189-108, Kassel 1991
- [Hausladen]
Hausladen, G.: **Intelligente Architektur**, AIT 24 Spezialausgabe, Stuttgart 2000
- [Hausladen II]
Hausladen, G.: **Innovative Gebäude-, Technik- und Energiekonzepte**, München November 2000 [1]
- [Heliograph]
N.N.: **Parameterstudie zur Dimensionierung von Erdwärmetauschern**; Firma Heliograph, Ingenieurgesellschaft für rationelle Energieverwendung mbH, Aachen, 1994
- [Herkert]
Herkert, J.: **Entwicklung einer standardisierten Projektcharakteristik für Luft-/Erdwärmetauscher L-EWT**, Diplomarbeit DLR (G. Dibowski), FB Versorgungstechnik, TG, FH Köln, 2001
- [Honarmand]
Honarmand, H.: **Bohrlochsonden zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in größeren Tiefen**, Dissertation., Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin 1992
- [Hourmanesh I]
Hourmanesh, M.; Hourmanesh, R.; Elmer, D.B.: **Compatibility of Passive Systems**, Essergetics, Inc., P.O. Box F-8, C.S., 77844 Texas, 1978
- [Hourmanesh II]
Hourmanesh, M.; Hourmanesh, R.; Elmer, D.B.: **Earth-Air Heat Exchanger**. Solar Diversification, American Section of the Int. Solar Energy Society, Denver, CO, USA, 1978

[Huber]

Huber, A.; Müller, Ch.; Berchtold, O.: **Luftvorwärmung für Wärmepumpen in Erdregistern**, Phase 1, Kosten Nutzen Analyse, Schlussbericht Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW), Bundesamt für Energiewirtschaft der Schweiz, November 1996

I

[InterSolfo]

11. Internationales Sonnenforum Tagungsband Deutsche Gesellschaft für Sonnenforschung Solar Promotion GmbH.- Verlag München 1998

J

[Jäger]

Jäger, F. et. al.: **Überprüfung eines Erdwärmespeichers**, Forschungsbericht T81200, Bonn, BmFT, 1981

K

[Kammel]

Kammel, D.W.: **Earth-Air Heat Exchanger**. (Dissertation). University of Wisconsin, USA, 1985

[Kasten und Czeplak]

Kasten, F., Czeplak, G.: **Solar terrestrial radiation dependent on the amount and type of clouds**, Solar energy Vol.24, 1980

[Keller]

Keller, G.: **The Radon Diffusion Length as a Criterion for the Radon Tightness**, Prof. G. Keller, B. Hoffmann; Institute of Biophysics, University of Saarland, Universitätsklinik, 66421 Homburg-Saar

[Kennedy]

Kennedy, M., Großmann, N., Schütze, T.: **Erfahrungen mit innovativen Erdwärmetauscher Lüftungsanlagen**, Universität Hannover/ Fachbereich Architektur, Hannover März 2001 [1]

[Kersten]

Kersten, M.S.: **Thermal Properties of Soils**, Institute of Technologie Bulletin No. 28, Minneapolis, University of Minnesota, Experiment Station, 221 pp, Minnesota 1949

[Kleemann]

Kleemann, M.; Meliß, M.: **Regenerative Energiequellen**, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1993

[Klugescheid]

Klugescheid, M.: **Numerische Modellierung des Energieumsatzes an der Grenzfläche Boden/Luft**, unveröffentlichte Diplomarbeit, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Prof. K. Knoblich, Gießen 1989

[Knoblich]

Knoblich, K., Sanner, B., Klugescheid, M.: **Beeinflussung der Temperaturen im oberflächennahen Erdreich durch Solarstrahlung und Auswirkungen auf Erdwärmespeicher und erdgekoppelte Wärmepumpen**, Universität Gießen, Internationales Sonnenforum, Tagungsbericht, Band 3, S.1711-1716, DGS, Frankfurt 1990

[Krellmann]

Krellmann, Hartmut; Belz, Stephan: **Auslegung und Untersuchung eines Erdreichregisters für die Lüftungsanlage des Neubaus „Solar-Institut Jülich“, der FH Aachen**, Diplom-Arbeit MMaschinenbau, Energie- und Umweltschutztechnik, Aachen, Jülich 1996

[Kristiansen]

Kristiansen, J.I.: **The transient cylindrical probe method for determination of thermal parameters of earth materials**, Ph.D. Thesis, Geoskifter, 18, Department of Geology, Aarhus University 1982

[Kusuda und Achenbach]

Kusuda, T. und Achenbach, P. R.: **Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States**, ASHRAE Trans.. Vol. 71, Part 1, 1965

L

[Labs I]

Labs, K.: **Earth Coupling**. Passive Cooling, Massachusetts Institute of Technology MIT, Cambridge, USA, Editors(s): Cook, J., The MIT Press, S.197-346, Cambridge, 1989

[Labs II]

Labs, K.; Harrington, K.: **Comparison of Ground and Above-Ground Climates for Identifying Appropriate Cooling Strategies**. 5th National Passive Solar Conference, Amherst, MA, USA, 1980, Passive Cooling Applications Handbook, S. 189-216

[LEO]

N.N.; **Tatort LEO, Integriertes Planen und Bauen am Beispiel des Kölner Low Energy Office**, Herausgeber Energieagentur NRW, REN Impuls-Programm, Wuppertal 1995

[Lucas]

Vorlesungsskript Thermodynamik Universität Duisburg 1988

M

[Mayer]

Mayer, Laabs, Röber: **Erdwärmennutzung für die Raumklimatisierung von Gebäuden**, angewandt beim Stadttheater Heilbronn: Forschungsbericht T 85-168, Bonn, BMFT, 1985

[Mei]

Mei, V.C.: **Horizontal Ground – Coil Heat Exchanger Theoretical and Experimental Analysis**. Oakridge National Laboratory/CON-193: Dezember 1986

[Meliß]

Kleemann, M.; Meliß, M.: **Regenerative Energiequellen**; 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1993

[Meteonorm]

Meteonorm 4.0, Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Meteorology, Fa. *Meteotest*, CH - 3012 Bern 2001

[Mihalakakou I]

Mihalakakou, G.; Santamouris, M.; Asimakopoulos, D.:**[I] Modelling the Thermal Performance of Earth-to-Air Heat Exchangers**. University of Athens, Solar Energy (Journal of Solar Energy Science and Engineering), USA, vol. 53(3), September 1994, S.301-305

[Mihalakakou II]

Mihalakakou, G. und Santamouris, M.:**On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles**, Solar Energy (1997) Vol. 60, No. 3/4: S. 181-190

[Mihalakakou III]

Mihalakakou, G.; Santamouris, M.; Asimakopoulos, D.; Tselepidaki, I.:**[IV] Parametric Prediction of the Buried Pipes Cooling Potential for Passive Cooling Applications**. University of Dublin, Energy Research School, Ireland, University of Athens Physics Department, Laboratory of Meteorology, Athens, Greece, Solar Energy Vol. 55, No.3, S.163-173, 1995

[Mihalakakou IV]

Mihalakakou, G.; Santamouris, M.; Asimakopoulos, D.; Papanikolaou, N.:**[II], Impact of Ground Cover on the Efficiencies of Earth-to-Air Heat Exchangers**. University of Athens, Dept. of Applied Physics, Greece, Applied Energy, United Kingdom, vol.48(1), 1994, S.19-32

[Mihalakakou V]

Mihalakakou, G.; Santamouris, M.; Asimakopoulos, D.:**[III]: Modelling the Earth Temperature using Multiyear Measurements**. University of Athens, Greece, Energy and Buildings (Switzerland), 1992, vol.19(1), S. 1-9

[Mihalakakou VI]

Mihalakakou, G; Santamouris, M; Asimakopoulos: **On the Performance of Earth Tube Systems** Laboratory of Meteorology, Physics Department, University of Athens, Greece 3RD European Conference Solar energy in architecture and urban planning Florence, Italy, 17-21 Mai 1993, P 215 - 217

[Miller]

Miller, H. (Hrsg.): **Passive-Cooling-Applications Handbook**, Passive-Cooling Workshop Amherst, Massachusetts 20.10.1980, Department of Energy, LBL Publication Nr. 375, Massachusetts, Oktober 1980

[Mrziglod]

Mrziglod-Hund, M.: **Berechnungsverfahren für den Wärmeverlust erdreichberührter Teile**, Dissertation an der Universität Kaiserslautern D 386, 1995

[Murray]

Murray, T.: **The Analysis of an Experimental System to Temper Ventilation Air Using Soil Heat**. (Dissertation). University of Manitoba; USA, National Library of Canada, Ottawa, 1987

N

[Neiß]

Neiß, Josef: **Numerische Simulation des Wärme – und Feuchtetransports und der Eisbildung in Böden**, Fortschrittsberichte der VDI Zeitschriften. VDI-Verlag, 1982

[Neugebauer]

Neugebauer, R.: **Modellbildung und experimentelle Analyse der Wärmequelle Erdreich**, Dissertation TU Karlsruhe, 1998

[Nikolic]

Nikolic, V.: **Bau und Energie**, Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung im Wohnungsbau, Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1983

O

[OSU]

N.N.: **Oklahoma State University: Closed Loop/ Ground-Source Heat Pump Systems - Installation Guide**, International Ground-Source Heat Pump Association, Weatherford 1988

[Otto und Hauser]

Otto, F., Hauser, G.: **Erdwärmetauscher**, Abschlussbericht , Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, BI-800189-108, Baunatal 1991

P

[Paul]

Paul, E.: **Der Einsatz von Erdwärmetauschern in Zusammenhang mit Wohnungslüftungsanlagen und Wärmerückgewinnung**; PAUL Wärmerückgewinnungssysteme 08132 St. Mülten

[Pearl]

Pearl, R.D.; Johnson, M.H.: **Earth/Air Heat Exchange Cooling Tubes: An Empirical Study**. Texas Technical University, College of Architecture, Lubbock, USA, 19th National Passive Solar Conference: Proceedings, Vol. 19, Boulder, CO, ASES, 1994, S.267-272

[Penman]

Penman, H.: **Vegetation and Hydrology**, Farnham: Royal Commonwealth Agricultural Bureaux, 1963

[Pfafferott]

Pfafferott, J.: **Entwicklung eines Planungshilfsmittels zur Auslegung von Erdreichwärmetauschern**, Diplomarbeit. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Abteilung Thermische und Optische Systeme, Freiburg, Februar 1997

[Pfafferott II]

Pfafferott, J.; Gerber, A., Herkel, S.: **Erdwärmetauscher zur Luftkonditionierung**, gi-Gesundheitsingenieur 4/1998 – Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik [1]

[Pfreundt]

Pfreundt, F.J.: **Berechnung und Optimierung des Energiegewinns bei Anlagen zur Luftherwärmung mittels Erdkanal**, Berichte der Arbeitsgruppe Technomathematik, Nr. 15, Universität Kaiserslautern, Fachbereich Mathematik, Kaiserslautern, September 1986

[PHLUFT]

PHLUFT 1.0 - Dimensionierungssoftware von Passivhauslüftungsanlagen, Passivhaus- Institut Darmstadt, <http://www.passivhaus-institut.de/>

[Potter]

Potter, D.: **Computational physics**, John Wiley and Sons, London 1972

Q

R

[Recknagel]

Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.-R.: **Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik**, 67. Auflage, Oldenbourg Verlag München, 1995

[Reinmuth]

Reinmuth, F.: **Lufttechnische Prozesse**, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1996

[Reiß]

Reiß, J.: Schimmelpilze: Lebensweise, Nutzen, Schaden, Bekämpfung, Springer Verlag, 1991, Teil 1 und 2, B 13, W 19/20

[Remund]

Remund, S., Rütli, R.: **Validierung von Luft-Erdregister-Modellen**, Diplomarbeit, Laboratorium für Energiesysteme LES, Prof. P. Suter, Sommersemester 1996.

[Reuß]

Reuß, M.; Schulz, H.: **Untersuchungen zur saisonalen Speicherung von Niedertemperaturwärme im Erdboden-Erdwärmespeicher**. Vorhaben 0328616A, Bayr. Landesanstalt für Landtechnik Weißenstephan, Freising, 1992

[Rolle]

Rolle, K.C.; Moore, S.: **An Effective Air-to-Air Heat Exchanger for Earth Shelter Homes**. Dept of Philosophy, University of Wisconsin, USA. Proceedings of Solar 88, the 13th National Passive Solar Conference, American Solar Energy Society, New York, 1988, S.156-160

S

[Sanner I]

Sanner, B.: **Erdgekoppelte Wärmepumpen, Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation**, FIZ, Karlsruhe, IZW-Berichte 2/92, Eggenstein-Leopoldshafen, November 1992

[Sanner II]

Sanner, B.; Lehmann, A.: **Erdgekoppelte Wärmepumpen**, Informationszentrum Wärmepumpen+Kältetechnik, IZW-Bericht 1/94, 2. Symposium, Dezember 1994

[Schachtschnabel]

Schachtschnabel, P.; Scheffer, F.: **Lehrbuch der Bodenkunde**, 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1998 [32]

[Schick]

Schick, N; Schneider, N.: **Physik des Erdkörpers**, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1973 /33/

[Schneiders]

Schneiders, T.: **Zur hygienischen Luftqualität in Wohngebäuden bei der Konditionierung der Zuluft mittels Erdwärmetauscher**, Dissertation. Medizinische Fakultät der RWTH Aachen, 1994

[Schulze-Kegel]

Schulze-Kegel, D. und Heidt, F. D.: **Energetische Diagnose von Gebäuden**, Endbericht Phase II, Universität-GH Siegen, FG Bauphysik u. Solarenergie, Projekt AG Solar NRW, (Förderkennzeichen 514-25313396), Siegen, Februar 2000

[Sedlbauer I]

Sedlbauer, K.; Lindauer, E.; Werner, H.: **Erdreich/Luftwärmetauscher zur Wohnungslüftung**. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, IBP-Bericht EB-37/1992 [34]

[Sedlbauer II]

Sedlbauer, K.; **Luftkonditionierung mit einem Erdreich / Luft-Wärmetauscher**, Diplomarbeit an der LMU München, Lehrstuhl Sizmann, München, 1991 [35]

[Senkpiel]

Senkpiel, K. & Ohgke, H. : **Beurteilung der Schimmelpilz-Sporenkonzentration der Innenraumluft und ihre gesundheitliche Auswirkungen**, Ges.-Ing. 113, 42-45, 1992

[Späte]

Späte, F., Werner, N., Radwer, N.: **Solares Bauen in der Schweiz, Österreich und Deutschland NN** [36]

[StaBu]

Statistisches Bundesamt, <http://www.statistik-bund.de>

[Stabu II]

Statistisches Bundesamt, **Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Vorläufige Primär- und Endenergieverbrauchszahlen 1994**, Alte und neue Bundesländer sowie für Gesamtdeutschland Stand Mai 1995, Berlin/ Essen 1996 [1]

[Start]

Kurzbericht vom Start-Meeting im Verbundprojekt Luft-Erdwärmetauscher, 26. Nov. 1998, DLR Köln 1999

[StLB]

Standardleistungsbuch für das Bauwesen StLB, Zeitvertragsarbeiten (Z), Leistungsbereich 706, Abwasserkanalarbeiten, OfD. Münster, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen, und Städtebau, DIN Deutsches Institut für Normung. e.V. Münster 1996

T

[Tribusch]

Tributsch, H.: **Solartechnische Pionierleistungen aus Natur Vorbildern und tradioneller Architektur** in 'das bauzentrum 14/99', Verlag Das Beispiel, Darmstadt 1999

[TRNSYS]

Solar Energy Laboratory: **TRNSYS 14.2 -A Transient System Simulation Programm**, Madison, Wi, USA, April 1992

[TiEdemann]

Tiedemann, H.: **Erdwärmetauscher für Schweineställe**; KTBL-Schrift 340, Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag, 1991

- [Trombe] Trombe, A.; Pettit, M.; Bourret, B.: **Air Cooling by Earth Tube Heat Exchanger: Experimental approach**, Institut National des Sciences Appliquees (INSA), Toulouse, France, Renewable Energy (United Kingdom), 1991, vol. 1(5-6), S.699-707
- [Trümper] Trümper, Albers, Hain: **Sonnenenergienutzung mittels eines Erdwärmetauschers zur Vorwärmung und Ankühlung der Zuluft für Wohngebäude**; Universität Dortmund, Lehrstuhl TGA, 1992
- [Tzaferis] Tzaferis, A.; Liparakis, D.; Santamouris, M.; Argiriou, A.: **Analysis of the Accuracy and Sensitivity of Eight Models to Predict the Performance of Earth-to-Air Heat Exchangers**. T.E.I. Pireus; University of Athens; Protechna Ltd., Greece, Energy and Buildings (Switzerland), 1992 vol. 18(1) S. 35-43
- [VDI2067] **VDI 2067 Blatt 1**, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, Beuth-Verlag, Berlin 2000
- [VDI 2078] VDI 2078: **Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)**, Beuth Verlag Berlin, Juli 1996
- [VDI 3801] **VDI 3801**, Betreiben von Raumlufotechnischen Anlagen, Beuth-Verlag, Berlin 2000
- [VDI 3803] **VDI 3803**, Raumlufotechnische Anlagen - Bauliche und technische Anforderungen, Beuth-Verlag, Berlin 2002
- [VDI 4300] **VDI 4300**, Blatt 6, Messen von Innenraumlufverunreinigungen - Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC), Beuth-Verlag Berlin 2000
- [VDI 4640-4] **VDI- Richtlinie 4640**: Thermische Nutzung des Untergrundes, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Energietechnik (GET), Beuth Verlag, Februar 1998
- [VDI 6022] **VDI 6022**, Teil 1 – Hygienische Anforderungen an Raumlufotechnische Anlagen, Beuth-Verlag, Berlin 1997
- [VDMA 24186] **VDMA 24186-1**, Leistungsprogramm für die Wartung von lufotechnischen Ausrüstungen in Gebäuden; Lufotechnische Geräte und Anlagen Beuth-Verlag, Berlin 1988
- [VDIGET] VDI-Gesellschaft Energietechnik, VDI-GET Jahrbuch 1994 Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1994 [2]



W

[WA]

VDI-Wärmeatlas-Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure VDI, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994

[Winkler]

Winkler, T.: **Variantevergleich zur Klimatisierung eines Bürogebäudes mit Hilfe regenerativer Energien**, Diplomarbeit, Fachhochschule München, Fachbereich Versorgungstechnik, 1998/99

[Wollscheid]

Wollscheid, G.; Späte, F.: **Erdreichwärmetauscher im Solar-Campus Jülich**, Tagungsband 11. Internationales Sonnenforum Köln, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS, Köln 1998

[Wortmann]

Wortmann, R.: **Luft-Erdwärmetauscher – Neue Wege in der Lüftungstechnik**, Bochumer Bezirksverein des VDI, 1999

X

Y

Z

[Zimmermann I]

Zimmermann, M.; Andersson, J.: **Case Studies of Low Energy Cooling Technologies**, International Energy Agency, Annex 28: Low Energy Cooling, EMPA ZEN, Dübendorf, Schweiz 1998

[Zimmermann II]

Zimmermann, M.: **Handbuch der passiven Kühlung**, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, Dübendorf 1999

[Zoellick]

Zoellick, B.: **Predicted and Observed Performance of a Buried Earth-Air Heat, Exchanger Cooling System**. 6th National Passive Solar Conference, Portland, Orlando, USA, International Solar Energy Society, USA, 1981, S. 822-826

6.1 Webadressen

<http://www.ag-solar.de>

<http://www.solarbau.de>

<http://www.cepheus.de/ph-was.html>

<http://www.paul-lueftung.de>

<http://www.strom.de>

<http://www.lueftungsnet.de/>

<http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/gaea.htm>

<http://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/agklima/ewt/index.html>

<http://sonnenofen.de/>

<http://www.statistik-bund.de>

Wir möchten uns an dieser Stelle bei dem Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSWF) für das im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW geförderten **Verbundprojekt L-EWT** bedanken

