

Leseprobe zum Download



Liebe Besucherinnen und Besucher unserer Homepage,

tagtäglich müssen Sie wichtige Entscheidungen treffen, Mitarbeiter führen oder sich technischen Herausforderungen stellen. Dazu brauchen Sie verlässliche Informationen, direkt einsetzbare Arbeitshilfen und Tipps aus der Praxis.

Es ist unser Ziel, Ihnen genau das zu liefern. Dafür steht seit mehr als 25 Jahren die FORUM VERLAG HERKERT GMBH.

Zusammen mit Fachexperten und Praktikern entwickeln wir unser Portfolio ständig weiter, basierend auf Ihren speziellen Bedürfnissen.

Überzeugen Sie sich selbst von der Aktualität und vom hohen Praxisnutzen unseres Angebots.

Falls Sie noch nähere Informationen wünschen oder gleich über die Homepage bestellen möchten, klicken Sie einfach auf den Button „In den Warenkorb“ oder wenden sich bitte direkt an:

FORUM VERLAG HERKERT GMBH

Mandichostr. 18

86504 Merching

Telefon: 08233 / 381-123

Telefax: 08233 / 381-222

E-Mail: service@forum-verlag.com

www.forum-verlag.com

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

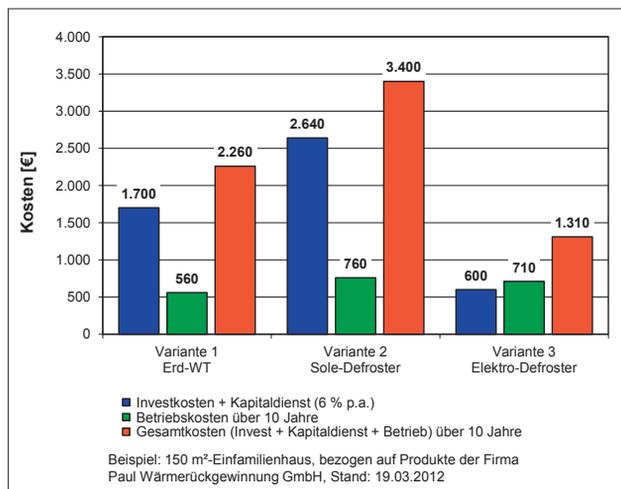


Bild 5.185: Frostschutzmethoden – Kostenvergleich

Die mit großem Abstand wirtschaftlichste Frostschutzmethode ist der Elektro-Defroster. Diese Erkenntnis fließt auch in die (WRG-)Nutzen zu Aufwand (u. a. Frostschutz)-Überlegungen ein (siehe Bild 5.128, 5.129, 5.220 und 5.222 sowie Tab. 5.38, 5.76 und 5.78). Der Stromverbrauch wird künftig durch den steigenden regenerativen Anteil (Windkraft, Photovoltaik) auch ökologisch vertretbarer. Diese Entwicklung ist letztlich auch am sinkenden Primärenergiefaktor für Strom in Deutschland ablesbar:

$f_p = 3,0$ (ab 2001)

$f_p = 2,6$ (ab 2009)

$f_p = 2,0$ (ab 01.05.2014)

$f_p = 1,8$ (ab 01.01.2016)

5.1.14 Erdreich-Wärmeübertrager

a) Allgemeines

Die Erde als saisonaler Speicher für Solarenergie wird häufig genutzt, um Außenluft für Lüftungsanlagen in einem Erdwärmeübertrager (umg. Erdwärmetauscher-(EWT oder E-WÜT) vorzuwärmen. Im Sommer dagegen wird die Kühle des Erdreichs genutzt, um warme Außenluft zu kühlen, ehe sie in den Wohnbereich geleitet wird. EWT bestehen aus einem in das Erdreich verlegten Rohr, durch welches die Luft vom Ventilator des Wärmerückgewinnungsgeräts (WRG) angesaugt wird. Das Schema der einzelnen Komponenten ist in Bild 5.186 dargestellt.

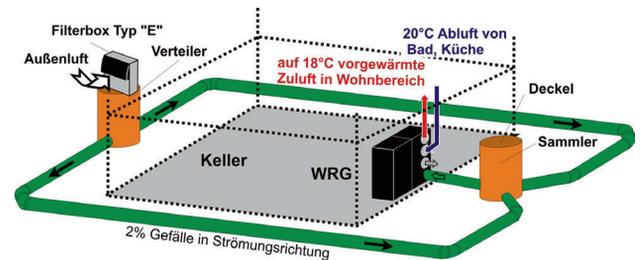


Bild 5.186: Prinzipschema: Erdwärmetauscher (EWT) im Zusammenhang mit einem Wärmerückgewinnungsgerät (WRG) für die Wohnungslüftung in einem Einfamilienhaus

Die bei der ventilatorgestützten Wohnungslüftung in einem WÜT aus Abluft zurückgewonnene Wärmeenergie kann durch die Nutzung von Erdwärme in einem Luft-EWT weiter ausgebaut werden. Außerdem bietet der EWT eine preisgünstige Variante der sommerlichen Raumlüftung. Dies gewinnt in Wohnhäusern zunehmend dort an Bedeutung, wo eine freundliche, lichtdurchflutete Raumgestaltung durch große Fensterflächen, Glasvorbauten und Wintergärten erreicht wird. Diese Bauweise bewirkt durch die starken solaren Gewinne oft eine Überhitzung der Räume. Hinzu kommen innere Wärmequellen in Form von Personen, technischen Haushaltsgeräten, Beleuchtung und Computern. Allerdings kann durch den EWT für ein EFH nur eine leichte Kühlung der Raumluft (ca. 500 W Kühlleistung \approx ca. 2 K Temperaturabsenkung im Raum – je nach Wärmeeintrag) erreicht werden, die keinesfalls vergleichbar ist mit der Kühlleistung einer Split-Klimaanlage. Eine Temperaturabsenkung am EWT von 8 K erbringt bei 120 m³/h eine Kühlleistung von 320 W. Das entspricht etwa dem Wärmeeintrag von 1 m² unverschatteter Süd-fensterfläche [Hoffmann, S. 241].



Bild 5.187: Zwei parallele Erdwärmetauscher-Rohre 2 m neben dem Fundament

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

b) Luftvorwärmung im Winter

Die Erdtemperatur beträgt im Winter in einer Tiefe von 1 bis 2 m zwischen 4 und 8 °C (Bild 5.193). Folgende Temperaturwerte wurden im EWT am Austritt erreicht:

Außentemperatur [°C]	-15	-9	-7	-4	-10	-15	-10	-20
EWT-Austrittstemperatur [°C]	+2	+3	+4	+5	+2	+1	+2	0
Literatur	[Brausem]		[Trümper]		[Sedlb]			
γ [m³/h]	200		140		160			
Durchmesser \varnothing [mm]	200		125		100			
Länge l [m]	23		42		40			
Verlegetiefe [m]	1,7		1,5		1			

Tabelle 5.63: Luftvorwärmung im Winter

In Tab. 5.63 und 5.64 scheinen die Durchmesser von EWT-Rohren bei [Trümper] und [Sedlb] etwas zu klein im Vergleich zu den Werten in Bild 5.196 und bzgl. der allgemeinen Erfahrungen.

Eine einjährige Messkampagne des Technikums Winterthur in der Erdregisteranlage Mehrfamilienhaus Hausacker gelangte zu folgenden Resultaten: Die Tagesmittelwerte der Lufttemperaturen am Ende eines Erdregisterrohrs lagen bis Ende Oktober noch um 15 °C und erst Anfang Dezember sanken die Temperaturen unter 5 °C, blieben jedoch den ganzen Winter über dem Gefrierpunkt. Ab März stiegen die Temperaturen wieder über 15 °C. [Flück]

c) Luftkühlung im Sommer

Außentemperatur [°C]	24	28	26	33	26	33
EWT-Austrittstemperatur [°C]	14	16	15	19	17	22
Literatur	[Trümper]		[Sedlb]		[Sedlb]	
γ [m³/h]	140		155		155	
Durchmesser \varnothing [mm]	125		100		100	
Länge l [m]	42		40		20	
Verlegetiefe [m]	1,5		1		1	

Tabelle 5.64: Luftkühlung durch den EWT im Sommer

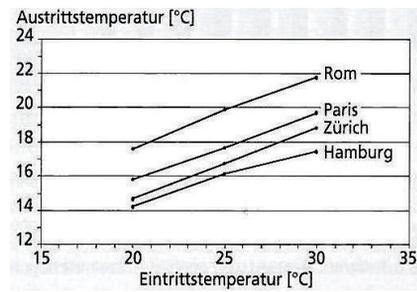


Bild 5.188: Abhängigkeit der Kühlwirkung von Eintrittstemperatur und Gebäudestandort (Rohrlänge 30 m, Durchmesser 200 mm, Verlegetiefe 2,5 m, Luftvolumenstrom 250 m³/h) [Zimm03, S.88]

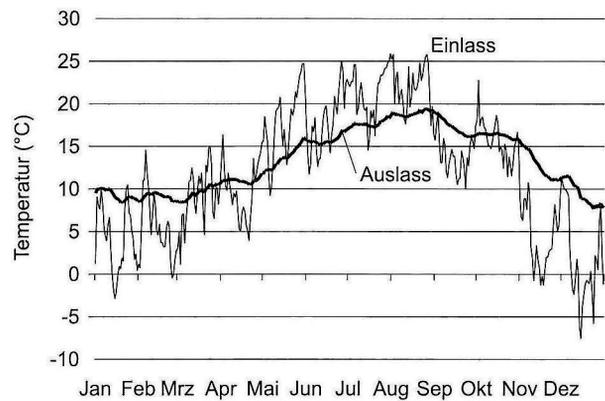


Bild 5.189: Jahresverlauf der Tagesmittel von Ein- (Außentemperatur) und Auslasstemperatur an einem Luft-Erdregister im Dauerbetrieb für ein Haus der Reihenhäuseranlage Neuenburg, Deutschland. Bauart: 3 parallele Kunststoffrohre von 110 mm Durchmesser und 20 m Länge, mittlere Verlegetiefe 1,5 m, 120 m³/h [Hoffmann, S. 241]

d) Einflussfaktoren auf das Temperaturverhalten von EWT

Die Austrittstemperatur am EWT wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die komplex betrachtet werden müssen. Die Einflüsse können in einem umfangreichen Modellierungsprogramm, z. B. [Heidt] oder [REHAU], zusammengefasst werden. Tabelle 5.65 zeigt die Tendenz von einigen Einflussfaktoren an.

a)	Einflussfaktor Erdreich/Klima	Wärmeübertragung vom Erdreich an den EWT
1.	Erddichte hoch	↑
2.	gute Erdverdichtung	↑
3.	hoher Anteil an Lehm/Ton	↑
4.	hohe Erdfeuchte	↑
5.	Oberflächenwasser - Versickerung über dem EWT	↑
6.	hoher Grundwasserspiegel	↑

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

a)	Einflussfaktor Erdreich/Klima	Wärmeübertragung vom Erdreich an den EWT
7.	hoher solarer Wärmeeintrag (Herbst) in Erdreich	↑
8.	kurze Zeitdauer der Kälte-(Hitze)periode	↑
b)	Einflussfaktor Rohrdimensionierung	Wärmeübertragung in die Außenluft
9.	geringe Luftgeschwindigkeit = lange Aufenthaltsdauer im Rohr	↑
10.	große Rohrlänge	↑
11.	hohe Wärmeleitfähigkeit λ des Rohrmaterials	↑
12.	geringe Wanddicke des Erdrohrs	↑
13.	Rohrabstand größer	↑
14.	hohe Verlegetiefe max. 6 m	↑

Tabelle 5.65: Einflussfaktoren auf das Temperaturverhalten des EWT

Eine hohe spezifische Wärmekapazität c_p des Erdreichs bedeutet ein hohes Speichervermögen der Solarenergie (bezogen auf 1 kg), d. h. Erdwärme kann über einen langen Zeitraum (langer, kalter Winter) abgegeben werden. Die hohe Wärmeleitfähigkeit λ sagt dagegen aus, dass die Wärme gut aus den umliegenden Erdschichten zum EWT-Rohr transportiert wird.

	φ	c_p	λ
Erdreich	Rohdichte 10 ³ [kg/m ³]	spez. Wärme [Wh/kgK]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
grob kiesig	2,0	0,51	0,52
Lehm	1,5...1,8	0,28...0,83	2,3
Ton, trocken	1,8	0,23	0,84
Tonboden	1,5	0,24	1,28
Sandboden	1,6	0,31...0,89	0,93

Tabelle 5.66: Spezifische Wärmekapazität c_p und Wärmeleitfähigkeit λ von verschiedenen Erden/Sand [VDI], [Reckna]

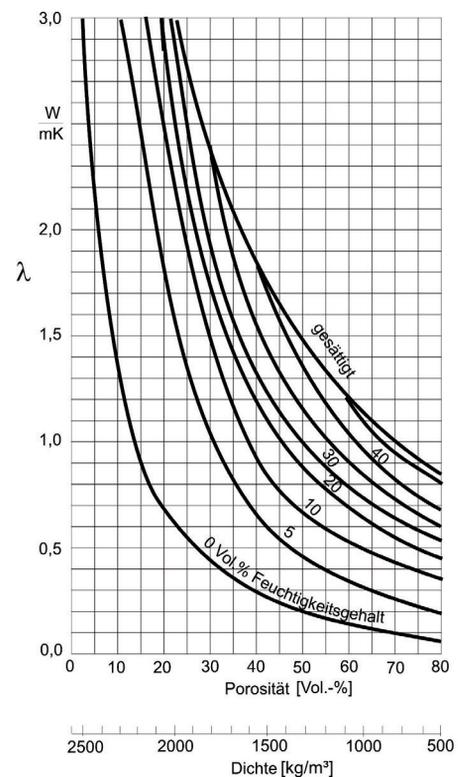


Bild 5.190: Wärmeleitfähigkeit von Erdreich bei 20 °C bei unterschiedlicher Dichte und Feuchte [VDI]

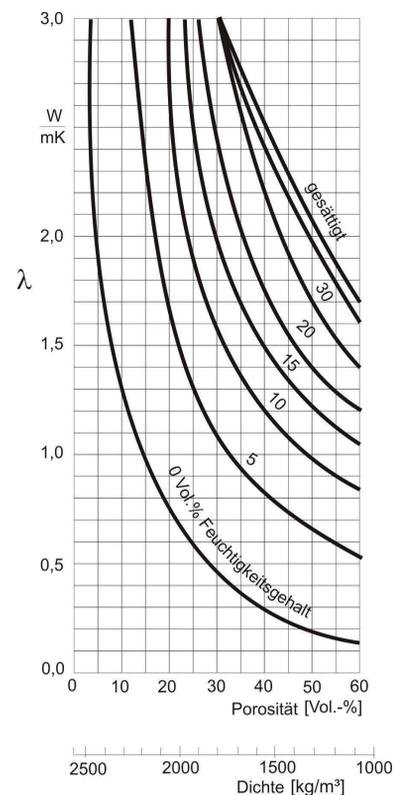


Bild 5.191: Wärmeleitfähigkeit von Seesand bei 20 °C bei unterschiedlicher Dichte und Feuchte [VDI]

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

Aus Bild 5.190 und 5.191 ist ersichtlich, dass eine Erhöhung der Dichte von Erdreich und Seesand eine rapide Steigerung der Wärmeleitfähigkeit nach sich zieht. Das bedeutet, dass eine Verdichtung der Erdsubstanz (z. B. durch Einschlämmen) um das EWT-Rohr herum die Luffterwärmung im Rohr verbessert.

Für den natürlichen Zustand von festem Erdreich gelten folgende Erfahrungswerte:

Erdreich	Dichte kg/m ³	Feuchtigkeit in Vol.-%	
		beobachtete Grenzwerte	durchschnittl. Verhältnisse
lehmig, tonig	1.900 bis 2.100	10 bis 28	25
sandig	1.600 bis 1.800	4 bis 14	10

Tabelle 5.67: Dichte und Feuchtigkeit von verschiedenem Erdreich

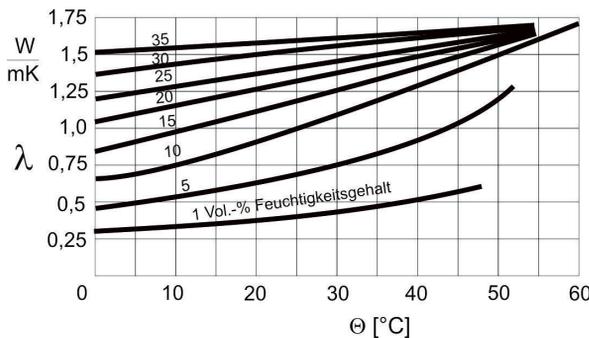


Bild 5.192: Wärmeleitfähigkeit von feuchtem Sand bei unterschiedlichen Temperaturen [VDI]

Bild 5.192 verdeutlicht, dass im Sommer der Wärmefluss in feuchtem Sand besser ist als im Winter.

Im Winter sorgt die kalt in den EWT eintretende Außenluft für eine starke Abkühlung des umgebenden Erdreichs auf den ersten laufenden Metern des EWT. Dauert die Frostperiode längere Zeit an, verlängert sich die kühle Erdzone, die das Erdrohr umschließt, weiter in Richtung Haus. Daher sollte das EWT-Rohr nicht auf den ersten laufenden Metern unter die Bodenplatte des Hauses verlegt werden (Frostgefahr). Aus gleichen Gründen ist bei der Verlegeplanung darauf zu achten, dass eine Über- oder Unterquerung von Wasserleitungen vermieden wird.

Die periodische Abkühlung des Erdreichs (z. B. von Anfang Dezember bis Anfang März) verlangsamt sich mit zunehmender spezifischer Wärmekapazität c_p (Tab. 5.66) der Erdsbstanz.

Gefrorenes Erdreich um den EWT bedeutet, dass der Feuchteanteil des Erdreichs latente Wärme an die Luft im Erdrohr abgegeben hat – ein beträchtlicher Anteil gegenüber der fühlbaren Temperaturabsenkung des

Erdreichs. Bei der Luftkühlung im Sommer kann der Taupunkt (gemäß h-x-Lufffeuchte-Diagramm) der Luft (die im Erdreich eingeschlossen ist) unterschritten werden.

Das Betreiben des EWT im Sommer/Herbst erhöht die Temperatur des Erdreichs, welche das EWT-Rohr umgibt, und verbessert damit die Energieausbeute im Winter.

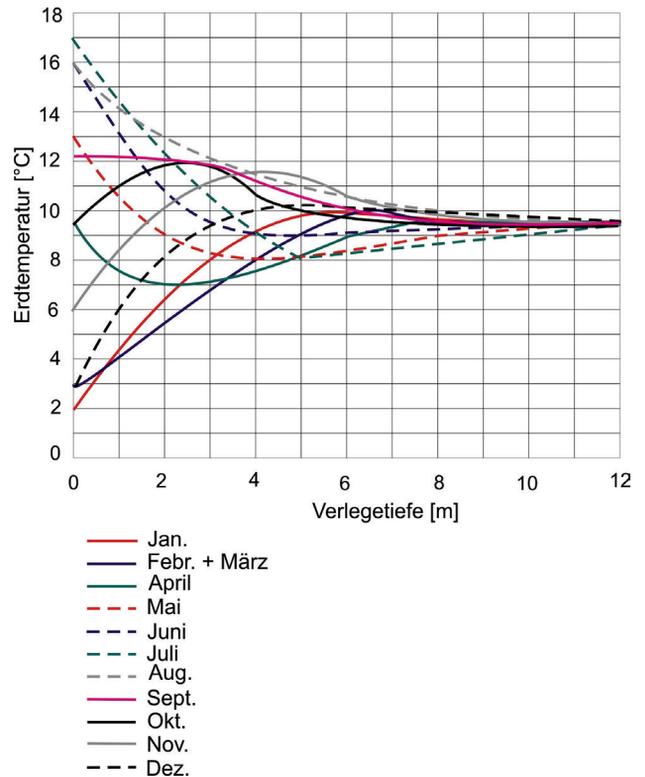


Bild 5.193: Temperaturfeld des ungestörten Erdreichs [Albers]

Bild 5.193 verdeutlicht, dass die Temperaturschwankungen in einer Tiefe ab 2...3 m nicht mehr sehr gravierend sind. Die Luftaustritts-Temperatur am EWT liegt i. d. R. im Winter 2...3 K unter (im Sommer ca. 2 - 4 K über) der Erdtemperatur.

e) Kondensatmenge im Sommer

Die im Sommer bei der Luftkühlung im Erdrohr ausgeschiedene Kondensatmenge berechnet sich aus dem h-x-Diagramm.

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

Rechenbeispiel:

$$q_v = 150 \text{ m}^3/\text{h} \text{ Luft (feucht)}$$

$$\varphi_f = 1,154 \text{ kg/m}^3 \text{ Luft}$$

$$\varphi_1 = 80 \% \text{ relative Feuchte Lufteintritt}$$

$$\varphi_2 = 100 \% \text{ relative Feuchte Luftaustritt}$$

$$x_1 = 24,7 \text{ g/kg absolute Luftfeuchte Lufteintritt}$$

$$x_2 = 16,7 \text{ g/kg absolute Luftfeuchte Luftaustritt}$$

$$\Theta_{\text{Au1}} = 32 \text{ }^\circ\text{C Lufteintrittstemperatur EWT}$$

$$\Theta_{\text{Au2}} = 22 \text{ }^\circ\text{C Luftaustrittstemperatur EWT}$$

$$q_{\text{mH}_2\text{O}} = q_v \cdot \varphi_f \cdot \frac{x_1 - x_2}{1 - x_1}$$

$$q_{\text{mH}_2\text{O}} = 1.351 \text{ g/h Kondensat}$$

Bei der Luftabkühlung fallen bei 32 °C Außentemperatur mit 80 % relativer Luftfeuchte ca. 1,4 l Kondensat pro Stunde an (Extremzustand). Bei $\varphi_1 = 70 \% \text{ r.F.}$ und 28 °C → 20 °C fallen nur 0,3 l Kondensat pro Stunde an.

Auslegungsrichtlinien und Planungshinweise für EWT

a) Rohrlänge

Aus [Sedlb] ist bekannt (Bild 5.194), dass bei einem 40 m langen Erdrohr nach 1/3 der Rohrlänge sich die Luft bereits um die Hälfte der Temperaturdifferenz (zwischen Ein- und Austritt) erwärmt hat. Das zeigt, dass sich übermäßig lange Rohre (über 35 bis 45 m Länge – je nach Erdschubstanz und Klimaregion) nicht rentieren – die Lufttemperatur nähert sich asymptotisch der Erdtemperatur. Sinnvoll für ein durchschnittliches EFH ist eine Rohrlänge von 25 bis 45 m bei einem Durchmesser von \varnothing 150 bis 200 mm (siehe Bild 5.196).

Die Abhängigkeit der erforderlichen Rohrlänge von der Art der Erdschubstanz (Bodenprobe nehmen!) und der Klimazone ist gravierend. Es wird daher mit Nachdruck darauf hingewiesen, für die EWT-Berechnung ein Auslegungsprogramm [Heidt], [Huber00] oder [REHAU] zu verwenden oder die Berechnung vornehmen zu lassen – einige Lüftungsgeräte-Hersteller bieten eine solche EWT-Auslegung an.

Dabei kann die EWT-Berechnung in zwei Varianten vorgenommen werden:

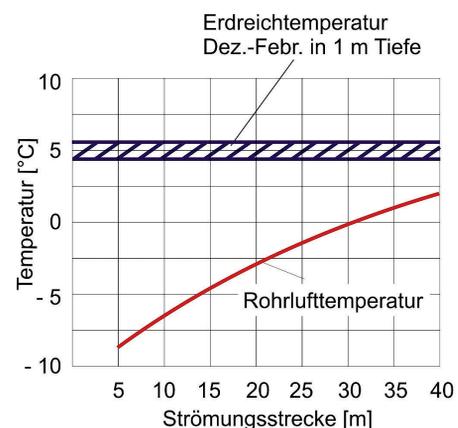
- in 1 Strang oder
- die Luft wird in zwei oder drei parallelen Strängen von je 15 bis 35 m geführt.

Entscheidend ist die Aufenthaltsdauer t .

$$t = \frac{V}{q_v} \quad (5.25)$$

V [m³] – Rohrvolumen; q_v [m³/h]-Luftvolumenstrom

Der Einfluss der Erdschubstanz bezüglich Wärmeleitfähigkeit (abhängig u. a. vom Feuchtegehalt) und Dichte auf die Rohrlänge ist beträchtlich. Ein Erdwärmetauscher (eingebaut in Klimaregion 11 - Hochlagen der Mittelgebirge → relativ kalt!) für 150 m³/h mit \varnothing 200 hat z. B. folgende unterschiedliche Rohrlängen: 35 m (Lehm feucht), 56 m (Ton-Schluff), 67 m (Erde, grob kiesig), 75 m (Sand, trocken).



Randbedingungen:
 Rohrlänge: 40 m
 Rohrdurchmesser: 100 mm
 Verlegungstiefe: 1 m
 Abstand vom Gebäude: 1,5 m
 Bodentyp: lehmig feucht
 Klimaregion: Franken, nördliches Bayern

Bild 5.194: Temperatur der Luft in Abhängigkeit von der Strömungstrecke im Rohr \varnothing 100 mm bei 40 m Rohrlänge und einem Volumenstrom von 150 m³/h (Rohrdurchmesser \varnothing 100 mm ist wegen hohem Druckverlust nicht zu empfehlen) [Sedlb]

b) Rohrregister

Varianten zur Rohrregister-Verlegung: siehe Bild 5.201; Rohrlängen bei Rohrregistern: siehe Bild 5.196.

Bei Verlegung zweier (oder mehrerer) paralleler Stränge ist auf etwa gleiche Druckverluste in je-

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

dem Strang zu achten, um eine etwa gleichmäßige Durchströmung (Aufenthaltsdauer) der Luft in jedem Strang zu gewährleisten. Auf eine strömungstechnisch günstige Gestaltung bei der Rohrverzweigung (Rohrzusammenführung) ist zu achten: Y-Verteilstücke verursachen weniger Druckverlust als T-Stücke (siehe Bild 5.201).

c) Maximal erreichbare und sinnvolle Lüfterwärmung im Winter

Bei der Dimensionierung des EWT wird oftmals die Frage nach der Temperatureinwirkung bei einer größeren Rohrlänge und vergrößerter Verlegetiefe gestellt. Wichtig ist, dass die EWT-Austrittstemperatur nicht unter -2 bis -3 °C liegt (bei Feuchte-WÜT nicht unter -8 °C → siehe Bild 5.180 – grüner Bereich), um im Wärmerückgewinnungsgerät eine Vereisung des Kondensats zu vermeiden, denn der dann einsetzende Abtauvorgang – Abschaltung des Zuluftventilators (oftmals über eine temperaturgesteuerte Automatik) – bedeutet Energieverlust (relativ warme Fortluft verlässt das Gebäude) und ein gestörtes Gleichgewicht von Zuluft und Abluft (im Gebäude Infiltration von Kaltluft).

Aus Bild 5.196 geht hervor, dass dieser Punkt (-2 bis -3 °C) je nach Luftmenge, Rohrdurchmesser und Klimazone nach 25 bis 50 m erreicht ist. Eine weitere Temperaturerhöhung der EWT-Austrittstemperatur muss aus energetischer Sicht (Winterbetrieb) im Zusammenhang mit dem Wärmerückgewinnungsgerät betrachtet werden.

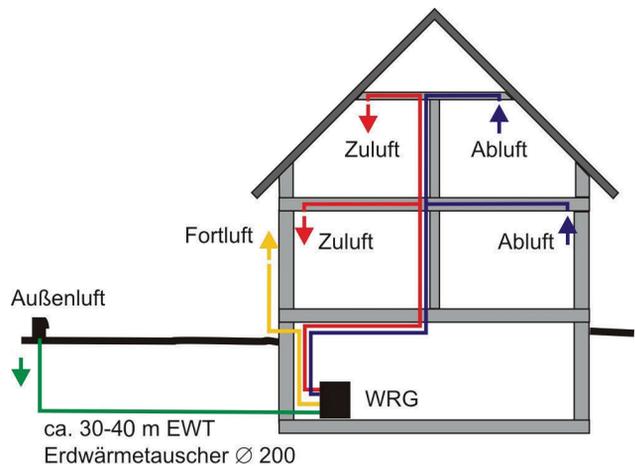
d) Verbesserung des Gesamtwärmebereitstellungsgrads im WRG-Gerät und EWT

η_{WRG} - Wärmebereitstellungsgrad oder Temperaturwirkungswirkungsgrad des Wärmerückgewinnungsgeräts (WRG)

η_{EWT} - Wärmebereitstellungsgrad oder Temperaturwirkungswirkungsgrad des Wärmerückgewinnungsgeräts (WRG) mit vorgeschaltetem EWT

Annahmen: EWT erwärmt Außenluft von $\Theta_{Au,1} = -15$ °C ...

- a) auf $\Theta_{Au,2} = +2$ °C (bei 30 m Länge) oder
- b) auf $\Theta_{Au,2} = +3$ °C (bei 40 m Länge)



- ca. 30-40 m EWT
- Erdwärmetauscher \varnothing 200
- Randbedingungen:
- EWT-Rohr: \varnothing 200 mm
- Verlegetiefe: 1,5 m
- Luftvolumenstrom: 150 m³/h
- $\Theta_{Au,1} = -15$ °C Außentemperatur
- $\Theta_{Au,2}$ = EWT-Austrittstemperatur
- $\Theta_{Ab} = +20$ °C Ablufttemperatur

Bild 5.195: Erdwärmetauscher in Kombination mit Wärmerückgewinnungsgerät (WRG)

	Wärmebereitstellungsgrad η		Zulufttemperatur Θ_{Zu}	
	ohne EWT	mit EWT	ohne EWT ¹⁾	mit EWT
	η_{WRG}	η_{EWT}		
a) bei 30 m EWT-Länge				
- WRG mit Kreuzstrom-Platten-WÜT	65 %	82 %	7,7 °C	13,7 °C
- WRG mit Gegenstrom-Platten-WÜT	75 %	87 %	11,2 °C	15,5 °C
- WRG mit Gegenstrom-Kanal-WÜT	95 %	97,4 %	18,3 °C	19,1 °C
b) bei 40 m EWT-Länge				
- WRG mit Kreuzstrom-Platten-WÜT	65 %	82,9 %	7,7 °C	14,0 °C
- WRG mit Gegenstrom-Platten-WÜT	75 %	87,7 %	11,2 °C	15,7 °C
- WRG mit Gegenstrom-Kanal-WÜT	95 %	97,6 %	18,3 °C	19,15 °C

¹⁾ Die Zulufttemperatur ohne EWT (oder einer anderen Frostschutzmaßnahme) ist theoretischer Natur, da bei $\Theta_{Au,1} = -15$ °C alle WÜT einfrieren würden (Bild 5.180).

Tabelle 5.68: Verbesserung des Gesamtwärmebereitstellungsgrads durch den EWT bei einer Außenluft-Eintrittstemperatur von $\Theta_{Au,1} = -15$ °C

Die Verlängerung des EWT-Rohrs von 30 auf 40 m bewirkt nur eine geringfügige Erhöhung der EWT-Austrittstemperatur (ca. 1 K), was sich hinter dem Wärmerückgewinner nur in einer Zulufttemperatur-Erhöhung um 0,1 bis 0,3 K bemerkbar macht.

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

Nach den Temperaturwerten gemäß Bild 5.193 bewirkt eine Erhöhung der Verlegetiefe von 1 auf 2 m eine voraussichtliche Erhöhung der Luftaustrittstemperatur (Winter) am Ende des EWT von ca. 2 K. Erhöht man die Verlegetiefe von 2 auf 3 m, liegt die Luftaustrittstemperatur noch einmal um ca. 1,5 K höher.

e) Rohrdurchmesser

Beim Vergleich der in Tabelle 5.63 dargestellten Luftaustrittstemperaturen stellt man fest, dass die Lufterwärmung in einem kleineren Rohr (bei gleicher Länge) geringer ist. Dies lässt sich damit begründen, dass die Aufenthaltsdauer relativ gering ist. Zu empfehlen sind Rohre mit \varnothing 150 - 200 mm (siehe Bild 5.196).

Über \varnothing 200 mm hinausgehende Rohrdurchmesser bilden im Kern eine Strömung, die nur wenig am Wärmeübergang (an der Rohrwandung) teilnimmt. Daher sind Rohrdurchmesser $>$ \varnothing 200 mm für die Wohnungslüftung nicht zu empfehlen.

Die Verkleinerung des Rohrdurchmessers mit gleichem Volumenstrom und gleicher Länge hat gegenläufige Auswirkungen: Einerseits wird durch die Durchmesserreduzierung die WÜT-Fläche und die Aufenthaltsdauer t verringert, andererseits vergrößert sich aufgrund der höheren Strömungsgeschwindigkeit die innere Wärmeübergangszahl α . Bei der Gesamtbetrachtung aller Wirkmechanismen ist der zuletzt genannte Faktor zu vernachlässigen. Der Rohrdurchmesser sollte so gewählt werden, dass $v \leq 2,5$ m/s erreicht wird.

f) Druckverlust von EWT

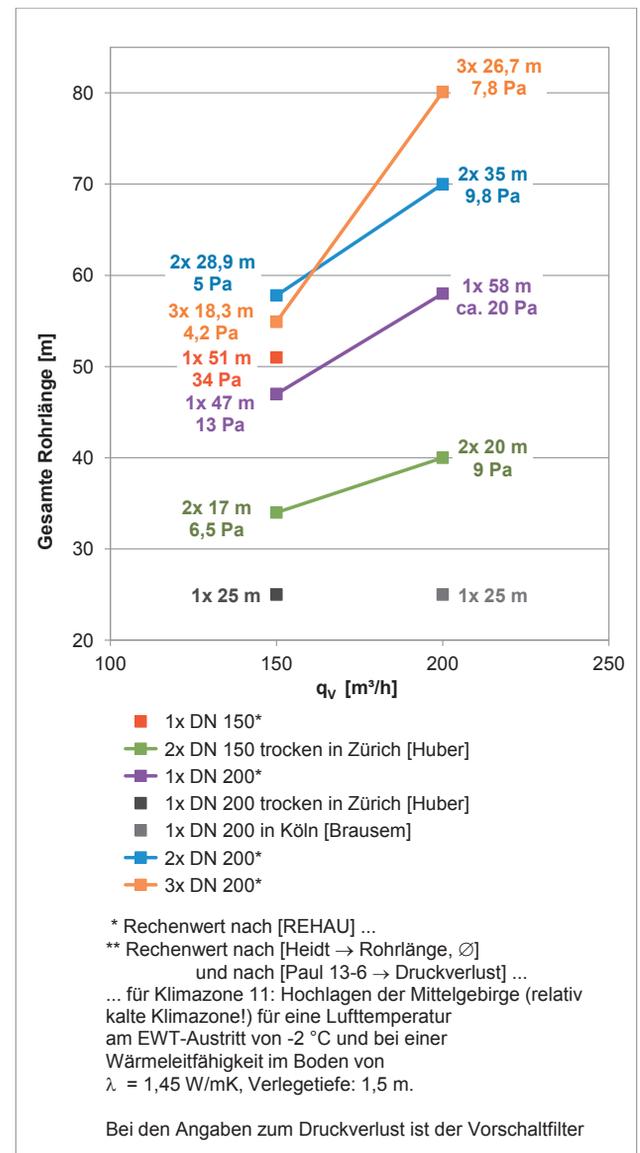


Bild 5.196: Luftvolumenstrom, Rohrlänge und Rohrdurchmesser bei Erdwärmeübertragern für eine Luftaustrittstemperatur von -2 °C

Am Bild 5.196 wird ersichtlich, dass der Druckverlust je nach EWT-Auslegung von $\Delta p = 4,2 \dots 34$ Pa schwankt. Hinzu kommt der Druckverlust des Vorschaltfilters von 7 - 20 Pa. Der Druckverlust eines EWT bewirkt bei guter Auslegung nur einen Mehrverbrauch von 1 - 2 W Ventilatorstrom (bei 150 m³/h) ($\approx 0,08 \dots 0,16$ kWh/m²a Primärenergie) im Vergleich zum Ventilator-Stromverbrauch (bedingt durch den Druckverlust) beim Elektro- und Soledefroster (siehe Tab. 5.62). Neben der Rohrlänge sind für den Druckverlust maßgebend: Rohrdurchmesser, Bogenanzahl, Biegeradius, Rohrrauigkeit, Filterfläche, Filterklasse, Filterverschmutzung und des Luftvolumenstrom.

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

Die Verteilung der Druckverlust-Anteile soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: $q_v = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, Rohr-Ø 200 mm, Rohrlänge 45 m:

- Druckverlust im Rohr: 7 – 8 Pa
- Druckverlust in den Bögen: 2 – 5 Pa (je nach Anzahl und Biegeradius der Bögen), keine T-Stücke
- Druckverlust im Vorfilter: 7 – 15 Pa (je nach Filterfläche, Filterklasse und Verschmutzungsgrad)

Summe: 16 - 33 Pa

g) Gewelltes oder glattes Rohr?

Die oben im Punkt e) erwähnte Kernströmung kann durch ein innen gewelltes Rohr in Turbulenzen versetzt werden, wodurch der Wärmeübergang zwar verbessert wird, aber gleichzeitig der Druckverlust und damit der Stromverbrauch (am Ventilator) ansteigt.

	Vorteile	Nachteile
gewelltes Rohr	<ul style="list-style-type: none"> ■ guter Wärmeübergang ■ hohe Ringsteifigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ hoher Druckverlust, d. h. höherer Stromverbrauch ■ Kondensat kann nicht (schlecht) ablaufen – bleibt in Rohrwellung stehen (Keimbildung) ■ schlechter zu reinigen
glattes Rohr	<ul style="list-style-type: none"> ■ geringer Druckverlust (Stromverbrauch) ■ guter Kondensatablauf ■ gut zu reinigen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ etwas schlechterer Wärmeübergang (abhängig von Rauigkeit und Durchmesser) ■ geringere Ringsteifigkeit

Tabelle 5.69: Gewelltes und glattes Rohr: Vor- und Nachteile

Wegen des geringeren Druckverlustes und besseren Kondensatablaufs (und evtl. Ablauf von Spülwasser bei einer Reinigung) sollte ein glattwandiges EWT-Rohr mit ca. 2 bis 3 % Gefälle zum Haus hin verlegt werden. Der empfohlene Wert von 1 % Gefälle in DIN 1946-6 Pkt. 9.2.8 ist zu gering.

h) Rohrmaterial

Entscheidend für den Wärmedurchgang an der Rohr-/Erdgrenzschicht sind die Wärmeübergangsbedingungen Rohrrinnenwandung – Luft. Das Rohrmaterial selbst ist durch seine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit λ und seiner relativ geringen Wanddicke von untergeordneter Bedeutung. Das schwächste Glied beim Wärmetransportprozess bestimmt maßgeblich den Wärmedurchgang – dies ist die Wärmeübergangs-

zahl α (auf der Luftseite). Eine noch nicht benannte Größe ist die Oberflächen-Rauigkeit, die beispielsweise zwischen Kunststoffrohr und Betonrohr recht erheblich ist. Die Unterschiede treten allerdings nicht nur bei der verbesserten Wärmeübergangszahl, sondern auch bei dem erhöhten Druckverlust (Stromverbrauch) und bei den höheren Investitionskosten in Erscheinung.

Folgende Rohrmaterialien werden für EWT eingesetzt:

	Rohrmaterial	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]
1	Kunststoffrohre aus PVC-hart (KG-Rohre, DIN 19534)	0,17
2	PP-Rohre	0,22
3	PE-Rohre	0,35
4	Steinzeugrohre (DIN 1230, DIN EN 295)	1,2
5	Betonrohre (DIN 4032, DIN 4035)	0,8 – 1,4
6	Faserzementrohre (DIN 19840, DIN 19850) z. B. Fabrikat Eternit	0,34 – 0,44
7	Gusseiserne Rohre (DIN 19522)	42 – 63

Tabelle 5.70: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Rohrmaterialien für EWT

i) Vorfilter

Wichtig für die Konzipierung von EWT ist die Vorschaltung eines Filters zur Reinigung der angesaugten Luft. Damit wird gewährleistet, dass sich Staub und Pollen nicht an der Rohrrinnenwandung ablagern können. Auch die Bildung von Bakterienkulturen und Mikroorganismen im EWT wird verhindert. Wichtig sind ein dichter Filtersitz im Gehäuse, eine regelmäßige Filterkontrolle und ein bedarfsgerechter Filterwechsel (ca. alle 2 – 12 Monate, siehe Tab. 5.53).

Zum Schutz des hochwertigen Filtermaterials und aus Kostengründen ist im abgebildeten Vorschaltfilter-Gehäuse eine grobe G2-Filtermatte der Z-Line-Filterkassette vorgelegt (Bild 5.171, 5.179 und 5.199). Die gesamte Filteroberfläche ist großzügig gestaltet, um den Druckverlust und damit den Stromverbrauch niedrig zu halten. Untersuchungen haben ergeben, dass beide Filter (G 2 + F 7) zusammen bei $150 \text{ m}^3/\text{h}$ lediglich ca. 13 Pa Druckverlust verursachen. Filter werden meist in den Klassen G 4 oder F 7 angeboten (Bild 5.178 und 5.179 sowie Tab. 5.53).

Es gibt die Diskussion, ob die Platzierung des Filters am Eintritt des Erdrohrs oder erst im Gebäude (WRG) sinnvoller ist. Die VDI 6022 Pkt. 4.3.9.1 sagt hierzu,

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

dass Luftfilter so anzuordnen sind, dass die Komponenten einer RLT-Anlage (also auch der EWT) ausreichend geschützt werden.

Deutlich wird die Notwendigkeit der Luftfilterung auch an folgender Gegenüberstellung:

Erdwärmeübertrager ohne Vorfilter (Bild 5.197):

- Verschmutzung im EWT durch Staub, Pollen, Insekten
- Feuchtigkeit (im Sommer bei Luftkühlung im EWT) bindet o. g. Staubteilchen
- Geruch durch abgestorbenes und verrottetes organisches Material im EWT
- keine Überwachungsmöglichkeit des Innenraumes im Rohr (oder nur mit teuren Mini-Kameras)
- unhygienischer Zustand des EWT
- Reinigung im EWT sehr aufwendig, teuer und selten
- Der Filter am Ende des EWT (im WRG-Gerät) ist im Sommer (durch die Luftabkühlung im EWT) sehr feuchter (evtl. gesättigter) Luft ausgesetzt (siehe Pkt. 5.1.12 j).

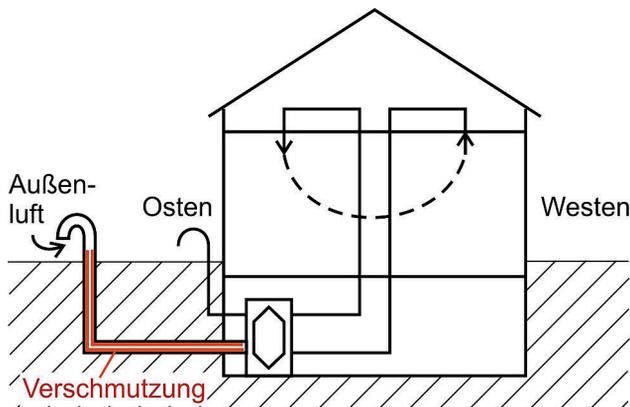


Bild 5.197: Erdwärmetauscher – ohne Vorfilter – hygienisch bedenklich [Paul08-1]

Erdwärmeübertrager mit Vorfilter (Bild 5.198):

- Jegliche Schmutzteilchen bleiben im Filter hängen – auch Feinstaub (Filterklasse F7 ist möglich).
- Somit wird das EWT-Rohr vor Verschmutzung geschützt.
- EWT-Innenwandung hygienisch sauber
- keine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit am Vorfilter, da keine Luftabkühlung in der Außenluft-Filterbox erfolgt
- leichte Überprüfung des Filterzustands
- Filterbox wettergeschützt aufstellen (z. B. leichte Überdachung vom Haus oder Filterbox-Aufstellung im Geräteschuppen)

- sehr einfacher Filterwechsel: vorgeschaltete G3-Filtermatte ist preisgünstig und der hochwertige G4- oder F7-Z-Filter wird vor Grobstaub geschützt
- gut zugänglich
- ein regelmäßiger Filterwechsel ist vom Nutzer sehr leicht möglich

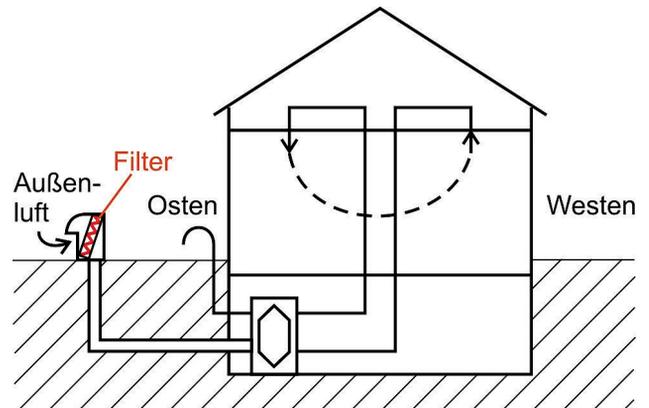


Bild 5.198: Erdwärmetauscher – mit Vorfilter [Paul 08-1]



Bild 5.199: Vorschaltfilter vor Erdwärmetauscher (Werksfoto PAUL) (siehe auch Bild 5.171 und 5.84)

j) Ansaugpunkt

Die Luftansaugung sollte an einer Stelle mit trockener Luft erfolgen, also nicht im Bereich eines Teichs oder Feuchtebiotops. Die Platzierung des Ansaugpunkts sollte nicht in der Nähe des Komposts und im Bereich dichter Bepflanzung gewählt werden. Die Luftansaugung sollte nicht in unmittelbarer Erdnähe erfolgen, um die Ansaugung von aufgewirbeltem Staub (Wind) und Mikroorganismen zu vermeiden. Der Ansaugpunkt muss höher als die geografisch maximal zu erwartende Schneehöhe sein. Bei der Platzierung der Filterbox ist auch darauf zu achten, dass böswillige Zugriffe durch Fremde nicht möglich sind. Günstig gewählte Positionierungen des Vorfilters sind im Vorrats- oder Fahrradschuppen, an der Rückfront des Carports oder der Garage. Die Ansaugseite der Filterbox sollte vor Schlagregen und Einsaugen von Schnee geschützt sein. Wegen des Filterwechsels ist auf eine gute Zugänglichkeit zu achten. Eine sinnvolle wettergeschützte Luftansaugung könnte im Geräteschuppen vorgesehen werden, wobei dort Luftlamellen für den Lufteinlass vorgesehen werden müssen.

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

Eine weitere vorteilhafte Aufstellung der Filterbox ist der Keller mit einer entsprechenden Leitungsanbindung (Bild 5.200).

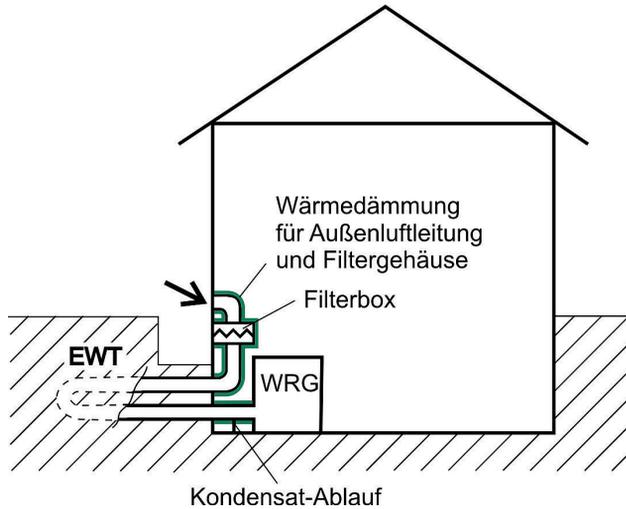


Bild 5.200: Innen aufgestellte Filterbox für Erdwärmetauscher [Paul08-1]

k) Bypass

EWT-Bypass

Eine Umgehung des EWT wird manchmal diskutiert, um in den Übergangsmonaten (z. B. Oktober) die Außenluft nicht unnötig im EWT von $\Theta_{Au,1}$ auf $\Theta_{Au,2}$ abzukühlen (Tab. 5.71).

	$\Theta_{Au,1}$ [°C]	$\Theta_{Au,2}$ [°C]	Θ_{Zu} [°C]	
			$\eta_{WRG} = 90\%$	$\eta_{WRG} = 80\%$
mit EWT	10	5	18,5	17,0
ohne EWT	10	10	19,0	18,0
Differenz bei Θ_{Zu} (mit/ohne EWT)			0,5 K	1 K

Tabelle 5.71: Unterschied der Zulufttemperatur Θ_{Zu} mit/ohne EWT in den Übergangsjahreszeiten

Es ist zu erkennen, dass sich die Zulufttemperaturen Θ_{Zu} (nach dem WRG-Gerät) nur marginal unterscheiden. Genau genommen geht der Energiegehalt durch die Luftabkühlung ($\Theta_{Au,1} \rightarrow \Theta_{Au,2}$) nicht verloren – die Wärme wird im Erdreich von Oktober bis Dezember zwischengespeichert, um dann bei wirklich kalten Außentemperaturen die eingespeicherte Wärme wieder abzurufen. Auch aus hygienischen Gründen ist es besser, dass Luft ständig (oder mindestens im „stop-and-go“-Rhythmus) durch den EWT strömt. In der DIN 1946-6 Pkt. 9.2.5.8 wird bei der EWT-Umgehung gefordert, dass der Luftstrom durch den EWT mindestens 20 % betragen muss.

Überhaupt sollte in Lüftungsanlagen nie die Luft über längere Zeit stillstehen (Hygiene → DIN 1946-6 Pkt. 8.3).

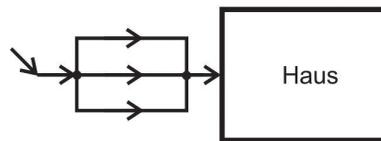
WRG-Bypass

Die im EWT gekühlte Luft (Sommer) sollte im WRG-Gerät im Sommer-Bypass am WÜT vorbeigeführt werden (→ keine Erwärmung der Zuluft durch Abluft). Auf eine 100 %-ige Öffnung des Sommer-Bypass (d. h. dichter Verschluss des Zuluftwegs über den WÜT) ist zu achten. Die Bypassklappe wird in modernen Geräten motorisch bewegt und über Temperaturfühler und Auswertung (Abfrage: $\Theta_{Au} < \Theta_{Ab}$) angesteuert.

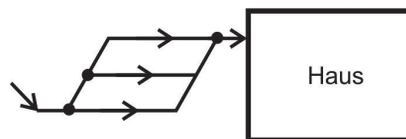
Hinweise zur Rohrverlegung und Kondensatableitung

a) Möglichkeiten der EWT-Führung

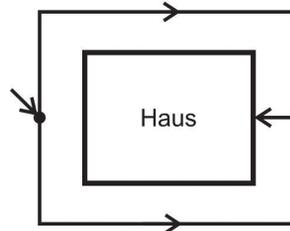
Registerverlegung



strömungstechnisch günstigere Registerverlegung



Zwei Halbschleifen



Der Abstand der Registerrohre zueinander und der Abstand Rohr - Haus sollte 1 m nicht unterschreiten

Einrohrverlegung

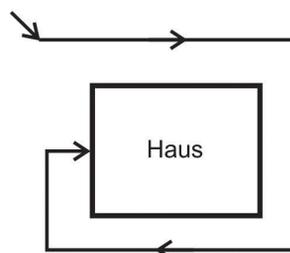


Bild 5.201: Verlegungsmöglichkeiten von Erdwärmetauschern

Bestellmöglichkeiten



Lüftung in Wohngebäuden

Für weitere Produktinformationen oder zum Bestellen hilft Ihnen unser Kundenservice gerne weiter:

Kundenservice

☎ **Telefon: 08233 / 381-123**

✉ **E-Mail: service@forum-verlag.com**

Oder nutzen Sie bequem die Informations- und Bestellmöglichkeiten zu diesem Produkt in unserem Online-Shop:

Internet

🌐 **<http://www.forum-verlag.com/details/index/id/5909>**