

Kurzfassung

LUFT-ERDWÄRMETAUSCHER L-EWT

Teil 1

Systeme für Wohngebäude

Grundlagen • Planung • Simulation • Projekte

Partner im LEWT-Verbundprojekt

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR
Solare Energietechnik, Köln

Ing.-Büro Wortmann & Scheerer
Bochum

Solar-Institut Jülich SIJ
an der Fachhochschule Aachen

Ruhr-Universität Bochum
Geographisches Institut
AG Klimaforschung

Universität Siegen

Zibell, Willner & Partner
Köln, Berlin

Autoren der Kurzfassung

Dipl.-Ing. Gerd Dibowski
DLR, Köln
gerd.dibowski@dlr.de

Dipl.-Ing. Ralph Wortmann
Wortmann & Scheerer, Bochum
info@wortmann-scheerer.de

Unser Dank gilt dem Land Nordrhein-Westfalen für die Förderung dieses Projektes und der konstruktiven Unterstützung durch den Projektträger ETN

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Wozu dient ein Luft-Erdwärmetauscher L-EWT?	6
1.2	Was soll diese Kurzfassung leisten?	6
1.3	Funktionsprinzip	6
2	Systembeschreibung und Anforderungen	9
2.1	Ziel der Auslegung	9
3	Auslegung: L-EWT für Wohngebäude	11
3.1	Einflussgrößen der Auslegung	11
3.1.1	Weitere Anmerkungen zu den Bodeneigenschaften	12
3.1.2	Bestimmung der thermischen Bodenkennwerte	12
3.2	Kostenüberlegungen am Luft-Erdwärmetauscher	13
3.3	Der Rohrdurchmesser des Luft-Erdwärmetauschers	14
3.4	Überschlägige Auslegungshilfe L-EWT	18
3.5	Ausgeführte Beispiele	20
3.6	Kühlung mit L-EWT in Wohngebäuden	20
3.7	Anwendungsbereiche und Grenzen der Nutzung	20
4	Konstruktive Hinweise	23
4.1	Materialauswahl	23
4.2	Bauausführung	23
4.3	Kondensatableitung	24
4.4	Ventilator	25
4.5	Ansaugsysteme und Filter	25
4.6	Regelung	26
4.7	Lufthygienische Situation	26
4.8	Standardisierte Datenblätter	28
5	Zusammenfassung und Ausblick	29
6	Anhang	31
6.1	Literatur	31
6.2	Organisatorisches	32
6.3	L-EWT Auslegungsdiagramme	32

Die Arbeitsgemeinschaft Solar NRW

Nordrhein-Westfalen wird aufgrund seiner Geschichte oft als DAS Energieland bezeichnet.

Die lange Zeit der Förderung von Energieträgern und der hohe Verbrauch von Industrie und Endnutzern – in dem bevölkerungsreichsten Bundesland – führten dazu, dass das Thema Energie immer einen besonderen Stellenwert besaß und auch in Zukunft haben wird.

So wird heutzutage dem Ausbau von Forschung, Entwicklung und Förderung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen besondere Bedeutung beigemessen.

Zugleich werden erhebliche Anstrengungen zur Senkung des Energieverbrauchs durch energieeffiziente Maßnahmen unternommen. NRW entwickelt sich damit zu einem Kompetenzzentrum für Energieforschung und Energietechnologien. Ziel ist der Aufbau eines integrierten Technologiestandortes von der Forschung bis zur Produktion. Damit können hochqualifizierte Arbeitsplätze in stark wachsenden Wirtschaftsbereichen und in der Forschung geschaffen werden.

Mit der „Landesinitiative Zukunftsenergien“ steht eine zentrale Öffentlichkeitsplattform zur Verfügung, die eine enge Zusammenarbeit aller Partner – von der Hochschulforschung im Rahmen der AG Solar bis zur Markteinführung und Technologie-Verbreitung durch Einrichtungen wie das „REN-Programm“ und die „Energieagentur NRW“ – ermöglicht.



Position der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW innerhalb des Innovationsprozesses

Die Arbeitsgemeinschaft (AG) Solar NRW ist eine Einrichtung des Ministeriums für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Sie fördert innovative Projekte zu Techniken der Rationellen Energieverwendung und zur Nutzung der Sonnenenergie.

In der AG Solar NRW schließen sich Hochschulen, Forschungsinstitute, Wirtschaftsunternehmen und sonstige Einrichtungen mit Sitz in NRW zusammen, die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten auf dem Gebiet der Solarenergietechnik unterhalten oder diese Techniken anwenden.

1 Einleitung

Die geothermische Nutzung der tiefen Schichten des Bodens hat in den letzten Jahren sehr gute Fortschritte gemacht. Dass auch die oberflächennahen Schichten des Erdreichs einen nennenswerten Beitrag zur Energieeinsparung liefern können, war bisher eher theoretisch bekannt.

Mittlerweile wird diese Erkenntnis mehr und mehr in die Praxis umgesetzt, weil Erdreich ein solarer Energiespeicher ist, der nicht nur im Winter Wärme für Gebäude liefert, sondern auch kühle Raumtemperaturen im Sommer. Ein solches Energiesystem würde zudem auch bei Bewölkung arbeiten und auch nachts.

Ein horizontales Rohrsystem, das durch diesen Energiespeicher verlegt ist und durch das Umgebungsluft geleitet wird, liefert dabei einen Wärme- oder auch Kälteanteil für ein Gebäude, dessen Energie durchaus 30 mal größer sein kann, als der dafür benötigte Antrieb. Nicht nur, dass dadurch dieses System wirtschaftlich sein kann, liefert es einen eindeutigen Beitrag zum Klimaschutz durch eingesparte Kohlendioxidemissionen (CO₂).

Ein solches System wird Luft-Erdwärmetauscher, kurz L-EWT, genannt und ist auf dem Weg sich als Bestandteil der Palette haustechnischer Systemtechnik zu etablieren.

Um L-EWT als sinnvolle Ergänzung und auch als Alternative zu konventionellen Heizungs-, Klima- und Lüftungssystemen in den Markt zu überführen, hat sich das Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes NRW 1998 entschlossen, im Rahmen der AG Solar NRW, das "L-EWT-Verbundprojekt" zu fördern, um noch offene Fragestellungen zum grundsätzlichen Betriebsverhalten und zur Optimierung klären zu lassen. Als schriftliches Ergebnis dieser Untersuchung wird ein Planungsleitfaden veröffentlicht werden, der als Hilfe zur

Berechnung und optimalen Auslegung eines L-EWT unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten dienen soll.

Es hat sich als notwendig erwiesen, den Planungsleitfaden zu teilen, da sich die Systemkonfigurationen und die Betriebsziele von L-EWT bei Wohnhäusern (Teil 1) wesentlich von L-EWT bei großen Anwendungen wie Bürogebäude o.ä. (Teil 2) unterscheiden. Diese zwei Nutzungsbereiche lassen sich je nach Anwendungsfeld von L-EWT grundsätzlich in zwei Bereiche gliedern:

A) Gebäude die hauptsächlich im Winter Heizenergie benötigen

Hier ist vor allem der gesamte Wohnungsbau das typische Anwendungsfeld. Der L-EWT sorgt dafür, dass der Wärmetauscher im Lüftungsgerät nicht mehr vereist. Er ersetzt daher andere Bauteile, z.B. das Vorheizregister und spart Energie. Im Sommer kann eingeschränkt gekühlt werden.

B) Gebäude die Heiz- und Kühlenergie benötigen

Hier sind vor allem der gesamte Verwaltungsbaubereich, aber auch Produktionshallen zu nennen. Hauptaufgabe des L-EWT ist hier der Ersatz oder zumindest die Reduktion von konventionellen Kühlaggregaten. Der L-EWT ersetzt somit fossile Energie durch erneuerbare Energie. Die Minderung des Heizenergieverbrauchs tritt i.d.R. in den Hintergrund, gleichwohl ist sie vorhanden.

Die Unterscheidung in diese beiden Gruppen ist wichtig, da sich die Auslegung eines Luft-Erdwärmetauschers an der Nutzung des Gebäudes orientiert. Während im Wohnungsbau die Kühlung im Sommer, bei guter Planung des Gebäudes, keine Rolle spielt, ist sie auch bei sorgfältiger Planung bei modernen Verwaltungsgebäuden nicht immer zu vermeiden.

1.1 Wozu dient ein Luft-Erdwärmetauscher L-EWT?

Die kommende Energieeinsparverordnung (EnEV) hat zum Ziel, die in den bisherigen Verordnungen definierten Verbrauchsgrenzwerte erneut zu reduzieren. Der weiter verminderte, zulässige Heizenergieverbrauch wird dafür sorgen, dass z. B. im Wohnungsbau immer mehr Neubauten mit Lüftungsanlagen und Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. Aber auch im Industrie- und Verwaltungsbau ist der Faktor Energieverbrauch ein wichtiger Aspekt der Wirtschaftlichkeit, der die dauerhafte Vermietbarkeit der Immobilie zu sichern hilft. Zudem wird aber auch mehr und mehr der Aspekt "Positionierung des Unternehmens in der Öffentlichkeit" als Motor zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen genutzt. Damit im Zusammenhang steht neben der rein wärmetechnischen Anwendung als eigentliches Ziel, die besondere Eigenschaft eines L-EWT, CO₂-Emissionen besonders wirksam zu vermeiden. Unter welchen Bedingungen dabei ein L-EWT hilft, CO₂ einzusparen, zeigt idealisiert Bild 1:

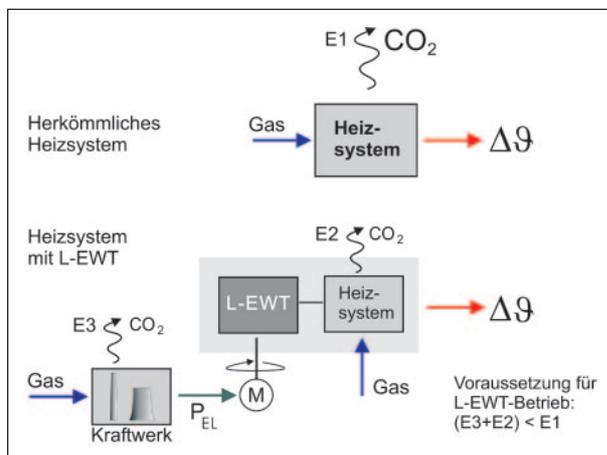


Bild 1 Grundbedingung für die Einsparung von CO₂-Emissionen durch einen L-EWT bei Einsatz von Gas (zu berücksichtigen ist eine Korrektur wegen des Stromangebotes aus dem üblichen Strommix der Kraftwerke)

1.2 Was soll diese Kurzfassung leisten?

Die vorliegenden Seiten sind eine Kurzfassung des ersten Teils des Planungsleitfadens, der sich mit L-EWT bei Wohngebäuden befasst.

Das Funktionsprinzip eines L-EWT ist zwar einfach, allerdings ist die Planung aufgrund einer Vielzahl von wesentlichen Einflussgrößen schon

schwieriger. Diese Kurzfassung soll einen ersten Überblick über die technischen Prinzipien der L-EWT-Technologie vermitteln. Zudem soll sie Grundkenntnisse für die überschlägige Auslegung eines L-EWT für kleinere Anlagen ermöglichen. Betrachtet werden hierzu zunächst nur Gebäude mit einem Heizenergiebedarf, z.B. also Wohngebäude, auch Mehrfamilienhäuser. Die detaillierte Dimensionierung eines L-EWT, insbesondere für größere Anlagen, ab einem Luftvolumenstrom von etwa 1.000 m³/h, ist dem Planungsleitfaden, Teil 2, vorbehalten. Somit gilt folgende Aufteilung:

- Planungsleitfaden Teil 1, kleinere Anlagen bis 1.000 m³/h; Wohngebäude
- Planungsleitfaden Teil 2, größere Anlagen ab 1.000 m³/h; Industrie- und Verwaltungsbau

1.3 Funktionsprinzip

Ein Gebäude ist innerhalb einer Jahresperiode Umgebungstemperaturen ausgesetzt, die sich zwischen bestimmten maximalen Grenzen bewegen. Da das Gebäude im Mittel zwischen 20° C (Winter) und 26° C (Sommer) gehalten werden muss, ergibt sich daraus die Notwendigkeit zu heizen oder zu kühlen bzw. muss die für den Luftaustausch notwendige Frischluft auf diesen Wert gebracht werden. Bis zu einem gewissen Anteil kann genau dies durch einen L-EWT erfolgen, wobei lediglich noch die "Restdifferenz" z.B. beim Heizen durch ein kleineres Nachheizregister erfolgen muss. Ein L-EWT "schnürt" quasi das Außentemperaturprofil zusammen (Bild 3). Die Grundvoraussetzung für den Betrieb eines L-EWT ist allerdings eine vorhandene bzw. geplante mechanische Lüftungsanlage für das Gebäude.

Wie bereits erwähnt, bestehen L-EWT aus horizontal im Erdreich verlegten Rohren oder Rohrregistern, durch die Außenluft über die konventionelle Lüftungsanlage in das Gebäude geleitet wird. Die Temperaturdifferenz zwischen Erdreich und Außenluft führt je nach Jahreszeit zu einem Kühl- oder Heizeffekt für die transportierte Luft bzw. für das belüftete Gebäude. Durch einen relativ geringen Aufwand an elektrischer Energie für den Antriebsventilator ergeben sich sehr günstige Leistungs- bzw. Arbeitszahlen (siehe Kapitel 3.3) für einen L-EWT.

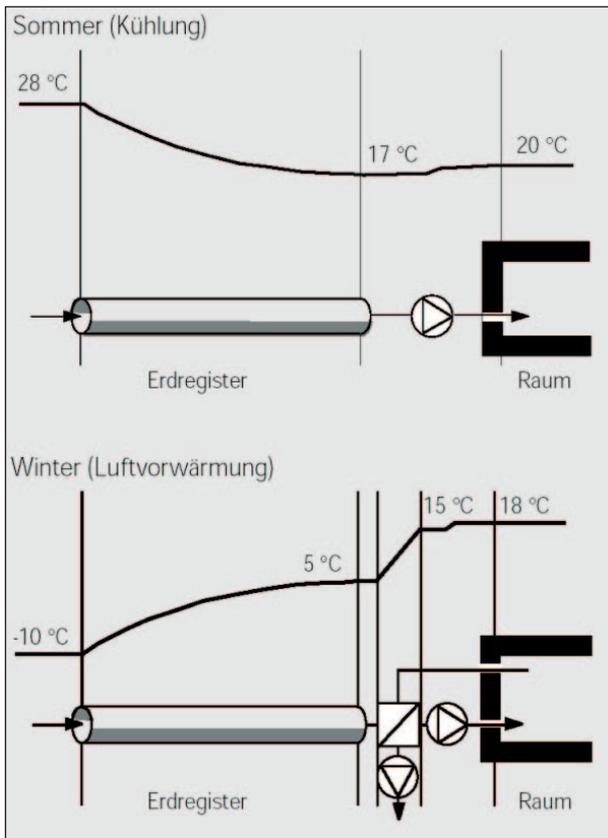


Bild 2 Typische Betriebssituationen für L-EWT-Systeme

Quelle: [1]

Dass die positiven Betriebseigenschaften durch einen prinzipiell sehr einfachen konstruktiven Aufbau erreicht werden, macht das System L-EWT für viele Anwendungen bei der Gebäude-temperierung besonders interessant. Die Temperaturdifferenz von Erdreich zu Außenluft kann dabei im Winter, je nach Verlegetiefe, Werte bis zu 25 K (°C) betragen. Mit dem gleichen System lässt sich im Sommer die aufgeheizte Luft kühlen, bevor sie in das Gebäude geleitet wird. Die Nutzt-temperaturhübe können im Heizfall bis zu 20 K (°C) und im Kühlfall 12 K (°C) betragen.

Das Erdreich dient dabei als Speichermasse, die sowohl saisonal als auch im Tagesverlauf ausgleichend wirkt. Die Einordnung Sommer/Winter sollte eigentlich begrifflich vermieden werden, da es auch Heizfälle außerhalb des eigentlichen Winters und Kühlfälle außerhalb des klimatischen Sommers gibt. Diese sind zwar statistisch nur von geringer Bedeutung, sollen aber nicht gänzlich außer Acht gelassen werden.

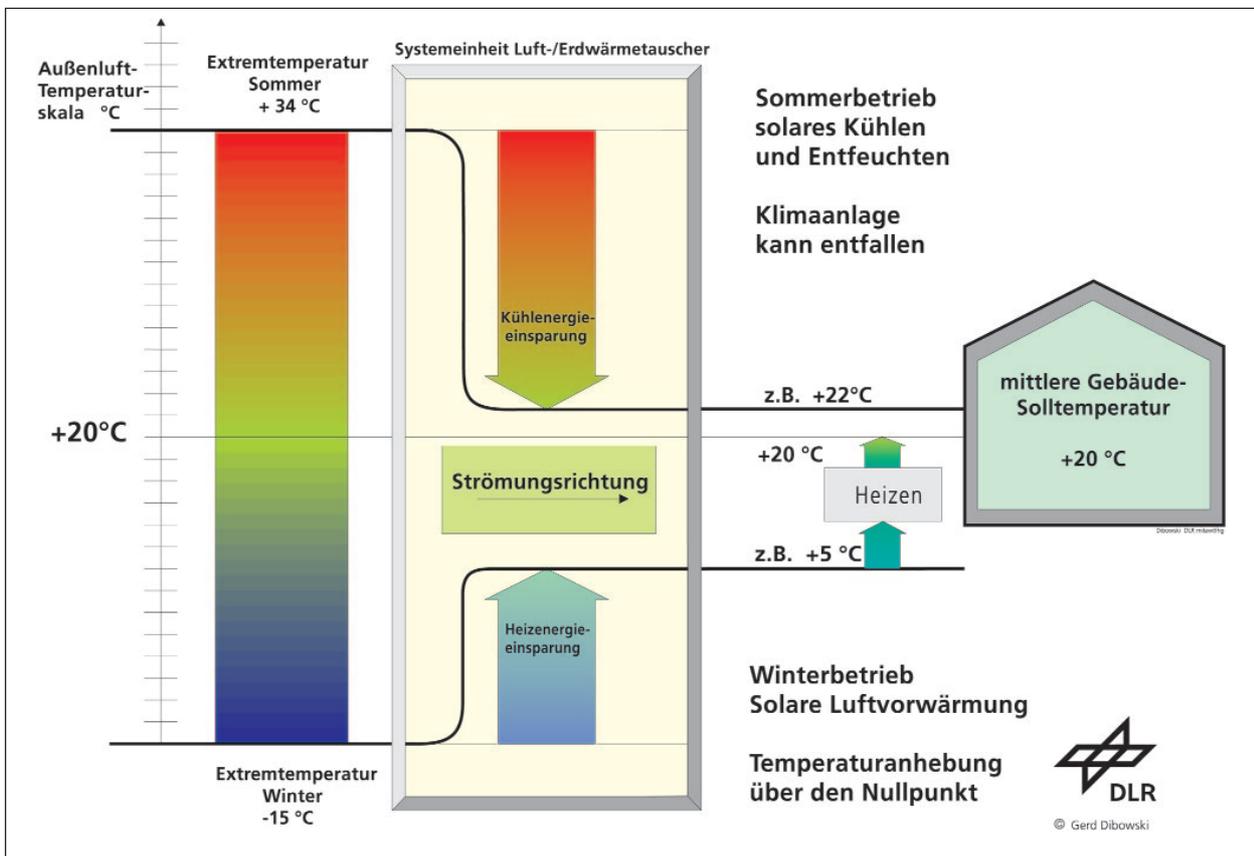


Bild 3 Grundsätzliche Wirkungsbandbreite eines L-EWT zur Einstellung der Raumtemperatur eines Gebäudes [2] in Abhängigkeit von möglichen Außenluft- und Erdtemperaturen

2 Systembeschreibung und Anforderungen

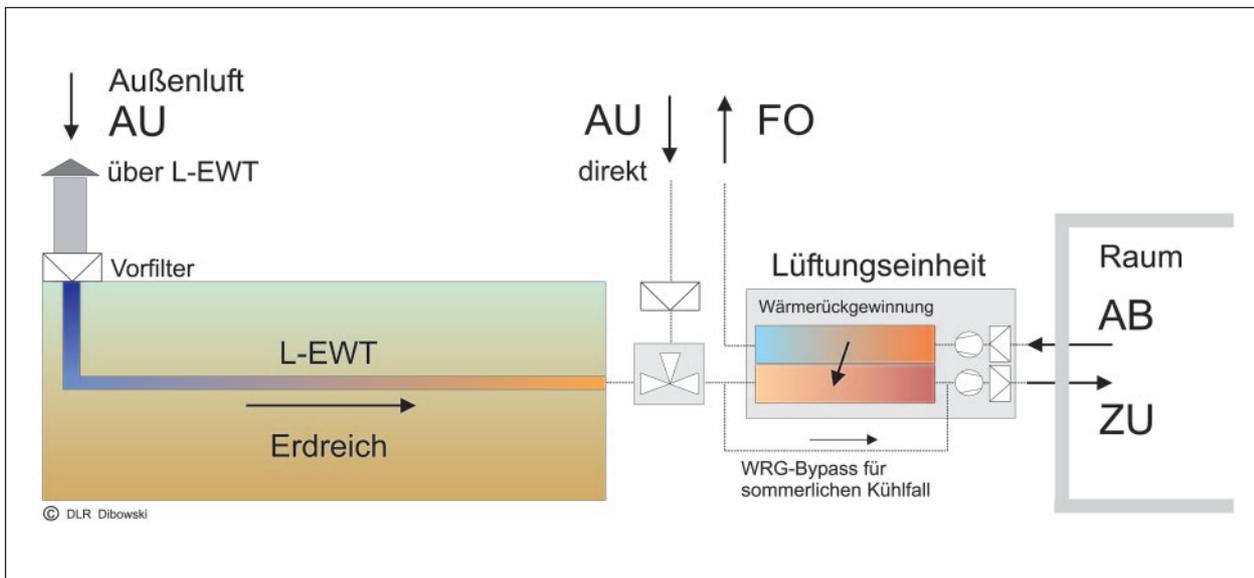


Bild 4 Prinzip der Luftführung einer Lüftungsanlage mit L-EWT

Grundvoraussetzung zum Betrieb eines L-EWT ist der Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage. Über freie Konvektion, also über die freie Thermik, ist ein L-EWT nicht kontrolliert zu betreiben, weil durch die dafür benötigten sehr geringen Druckverluste auf notwendige Filter verzichtet werden muss. Die Wirksamkeit oder Leistung eines L-EWT wird weiterhin stark eingeschränkt. Dennoch finden sich vereinzelt solche Anlagen. Diese Vorgehensweise widerspricht den hygienischen Anforderungen gemäß [3] und [4], demnach Luft als Lebensmittel einzustufen ist. Auch kann bei freier Konvektion ein konstanter Volumenstrom nicht gewährleistet werden. Ein L-EWT ist als Raumlufttechnische Anlage (RLT-Anlage) zu behandeln. Es gelten daher die einschlägigen Richtlinien, insbesondere die DIN 1946 [3]. Das gängigste Verschaltungsprinzip eines L-EWT mit dem konventionellen Teil der Lüftungsanlage zeigt Bild 4.

2.1 Ziel der Auslegung

Die *Kunst* bei der Optimierung von L-EWT besteht darin, bei einem vorgegebenen Budget unter Einhaltung eines möglichst geringen elektrischen Leistungsaufnahme (CO_2 -relevant) die Luftaustrittstemperatur der Bodentemperatur bestmöglich anzunähern (Bild 5).

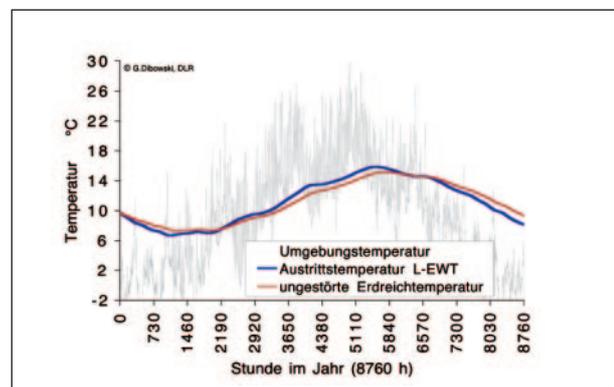


Bild 5 Der ideale L-EWT: Gute Annäherung der Luftaustritts-temperatur an die Bodentemperatur



3 Auslegung: L-EWT für Wohngebäude

Durch den Energiegewinn des L-EWT kann in Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnungsgeräten (WRG) ein Vereisen im Winter vermieden werden. In Wohngebäuden werden L-EWT deshalb vorwiegend zur Frostfreihaltung des Wärmeübertragers der Lüftungsanlage eingesetzt. Bei ausreichender Verlegetiefe (ab ca.1,5 m) kann auf ein separates Frostschutzheizregister (Vorheizregister) oder andere Abtauvorrichtungen vollständig verzichtet werden, weil auch sehr kalte Außenluft über den Nullpunkt angehoben werden kann. Zusätzlich verbessert ein L-EWT den Gesamtwirkungsgrad der Luftvorwärmung auch dann, wenn das vorhandene WRG bereits sehr effizient ist. Die folgende Tabelle zeigt den Einfluss eines L-EWT im Zusammenwirken mit unterschiedlich effizienten Wärmerückgewinnungsgeräten. Es wird deutlich, dass die Zulufttemperatur mit L-EWT wesentlich höher liegt als ohne.

Bei einer Außenlufttemperatur ϑ_{AU} von -15°C und einer Ablufttemperatur (Raum) ϑ_{AB} von $+20^{\circ}\text{C}$ gibt Paul [5] folgendes Beispiel an:

	Temperaturwirkungswirkungsgrad		Zulufttemperatur ϑ_{ZU}	
	ohne L-EWT Φ_{WRG}	mit L-EWT Φ^+_{WRG}	ohne L-EWT $^{\circ}\text{C}$	mit L-EWT $^{\circ}\text{C}$
WRG mit				
Kreuzstrom-Platten-WT	65%	82%	7,7	13,7
Gegenstrom-Platten-WT	75%	87%	11,2	15,5
Gegenstrom-Kanal-WT	90%	95%	16,5	18,2

Tabelle 1 Einfluss eines L-EWT auf den Gesamtwirkungsgrad

Dennoch reicht ein L-EWT in den meisten Fällen nicht zur ausschließlichen Beheizung eines Wohngebäudes aus; vielmehr unterstützt er das Heizsystem.

Aus wirtschaftlicher Sicht, müssen die Kosten des L-EWT mit dem Vorheizregister bzw. der Enteisungssteuerung konventioneller Anlagen verglichen werden. Zu berücksichtigen ist zusätzlich die regenerativ erzeugte thermische Energie und der unterschiedliche Stromverbrauch für den Ventilator.

3.1 Einflussgrößen der Auslegung

Bei der Auslegung eines L-EWT steht an erster Stelle die Frage nach der notwendigen Rohrlänge und des entsprechenden Rohrdurchmessers, um die Frostfreiheit im Wärmerückgewinnungsgerät (WRG) zu gewährleisten.

Diese wesentlichen Auslegungsgrößen hängen bei anlagentechnisch gegebenem Volumenstrom von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab, die sich in vier Bereiche einordnen lassen:

A Konstruktive Einflussgrößen: Verlegetiefe, Verlegeart, Rohrmaterial
B Erdreichparameter: thermische Bodenkennwerte, Erdfeuchte
C Standort, Wetter, Grundwasser
D Kosten

Tabelle 2 Aufteilung der Einflussfaktoren für die Systemauslegung

Die Frage nach der Wahl des Materials für einen L-EWT ist in erster Linie eine Frage der Kosten und nicht von bestimmten technischen Eigenschaften.

Zusätzlich sind einige Details zu beachten, die in Kapitel 4.1 dargelegt sind. In der Regel kommt Kunststoffrohr aus der Abwassertechnik zum Einsatz. Zur Kostenminimierung sollten möglichst wenig Formteile verwendet werden.

Eine sinnvolle Verlegetiefe beginnt bei etwa 1,5 m. Eine größere Tiefe ist zwar energetisch günstiger, sollte aber aus Kostengründen vermieden werden, es sein denn, es fallen hierbei keine zusätzlichen Erdarbeiten an.

Die Bodeneigenschaften üben den wichtigsten Einfluss auf die Leistung und damit auf die Auslegung des L-EWT aus. Gleichwohl sind diese Parameter in der Projektierungsphase im allgemeinen nicht bekannt. Zu Details aus diesem Bereich soll auf den Planungsleitfaden, Teil 1, verwiesen werden. Einige Zusammenhänge können aber bereits dem Kapitel 3.1.2 entnommen werden. Für die Auslegungsdiagramme in Kapitel 3.4 und 6.3 wurde von mittleren Stoffwerten des Erdreichs ausgegangen.

Das Wetter am Standort des L-EWT entscheidet die Auslegung maßgeblich. Weil es sich beim L-EWT um ein saisonales Speichersystem handelt, hat auch die Sommerperiode einen Einfluss auf den L-EWT, der eigentlich nur als Frostsicherung im Winter genutzt werden soll. Auch zu diesem Bereich soll auf Planungsleitfaden, Teil 1, verwiesen werden.

Die Auslegungsdiagramme in dieser Kurzfassung wurden mit einem Wetterprofil berechnet, das für Nordrhein-Westfalen (ausgenommen extreme Höhenlagen) gültig ist.

Positive Einflussfaktoren Erdreich/Klima auf die Wärmeübertragung an den L-EWT	
1	Gute Erdverdichtung
2	Hohe Erdfeuchte
3	Oberflächenwasser - Versickerung über dem L-EWT
4	Hoher Grundwasserspiegel
5	Hoher solarer Wärmeeintrag (Herbst) in das Erdreich
6	Kurze Zeitdauer der Kälte-/Hitzeperiode
Einflussfaktoren der Rohrdimensionierung	
7	Geringe Luftgeschwindigkeit (Voraussetzung: Strömungsturbulenz)
8	Große Rohrlänge
9	Relativ kleine Durchmesser und mehrere parallele Rohre
10	Großer Rohrabstand bei Registern
11	Hohe Verlegetiefe (theoretisches technisches Optimum bei ca. 6 m nach Albers [6])

Tabelle 3 Einflussfaktoren auf die Luftaustrittstemperatur nach PAUL [5]

Die Kosten des L-EWT entscheiden maßgeblich darüber, ob er realisiert wird. Sein Nutzen für die

Umwelt ist dagegen unstrittig. Wichtig ist daher die Vergleichsrechnung, was kostet die Alternative zum L-EWT (siehe Kap. 3.4)?

3.1.1 Weitere Anmerkungen zu den Bodeneigenschaften

Die oberflächennahe Erdreichtemperatur bis zur Tiefe von etwa 12 m folgt im Prinzip dem Verlauf der mittleren jährlichen Umgebungstemperatur mit einer von der Verlegetiefe abhängigen Zeitverschiebung. Auch sind die Ausschläge aus der Mittellinie (Amplitude) je nach Verlegetiefe gegenüber der Lufttemperatur entsprechend stark mit der Tiefe gedämpft.

Bestimmt wird dieses Temperaturniveau von den meteorologischen Einflüssen, den thermischen und hydraulischen Bodenparametern sowie von der Oberflächenbeschaffenheit und -nutzung. Das Erdreich absorbiert die auftreffende Sonnenstrahlung, und steht im thermischen Kontakt mit der Atmosphäre. Dabei liegt die oberflächennahe Erdreichtemperatur in unseren Breiten auch in der Winterperiode (ab ca. 1 m) immer oberhalb des Gefrierpunktes.

3.1.2 Bestimmung der thermischen Bodenkennwerte

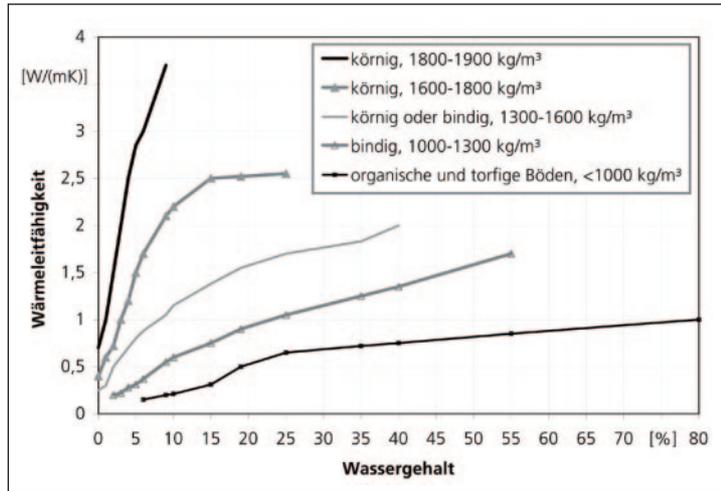
Für die Berechnung der Betriebseigenschaften eines L-EWT ist die ungefähre Kenntnis der thermischen Bodenparameter Dichte ρ , der Wärmeleitfähigkeit λ und der spezifischen Wärmekapazität c von wesentlicher Bedeutung. Allerdings können diese Parameter nicht aus den üblichen Bodengutachten gewonnen werden. Oft bleibt nur der Weg über eine Abschätzung aus Literaturangaben.

Die thermischen Bodenkennwerte ρ , λ , und c werden zur Berechnung der Temperaturleitfähigkeit a benötigt, mit der bei computergestützten Verfahren gerechnet wird. Diese Daten sind im Prinzip in der Literatur allerdings mit sehr starker Streuung für alle Bodentypen zu finden. Zusätzlich wird oft nicht angegeben, auf welchen Feuchtegehalt diese Angaben bezogen werden [7]. Die Wärmeleitung eines bestimmten Bodens kann z.B. um den Faktor 3 zwischen trockenem und gesättigtem Boden schwanken (Bild 6). Außerdem liegt immer

Bild 6 Einfluss der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Böden nach SANNER [8]

eine Mischung mehrerer Bodenarten vor.

Bild 6 verdeutlicht die Schwierigkeit, die Wärmeleitfähigkeit des Bodens aufgrund des starken Feuchteinflusses exakt bestimmen zu können. Eine praxisnahe, einfache Hilfe zur Annahme thermischer Bodeneigenschaften bietet Tabelle 4 aus [9]. Weitere genauere Klassifizierungen werden im Planungsleitfaden angeboten werden.



	λ	ρ	c	a
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m ² /s·10 ⁶
Schwere Erde, durchnässt	2,42	3204	840	0,903
Schwere Erde, feucht	1,30	2098	960	0,644
Schwere Erde, trocken	0,87	2002	840	0,5167
Leichte Erde, feucht	0,87	1602	1050	0,5167
Leichte Erde, trocken	0,35	1442	840	0,281

Tabelle 4 Orientierungswerte aus Analysen der Oklahoma State University, USA [9]

3.2 Kostenüberlegungen am Luft-Erdwärmetauscher

Für ein übliches Einfamilienhaus kostet ein konventionelles Vorheizregister zum Beispiel etwa 300€ - 500€. Hinzu gerechnet werden müssen die

laufenden Betriebskosten, die relativ deutlich vom Wetter des jeweiligen Standorts beeinflusst werden.

Bei den Kosten des L-EWT ist der größte Anteil i.d.R. der Erdaushub, es sei denn man kann eine Baugrube für die Verlegung nutzen. In letzterem Fall kann der L-EWT durchaus bei den Investitionskosten eines Vorheizregister liegen, dem er aber dann weit überlegen ist, da er bei guter Auslegung kaum Betriebskosten verursacht.

Der zweite große Kostenpunkt ist der L-EWT selbst. Größere Rohrdurchmesser sind überproportional teurer als kleine. Allerdings benötigt man z.B. für das Auslegungsziel Frostfreiheit im Wärmerückgewinnungsgerät bei größeren Rohrdurchmessern auch weniger Rohrlänge. Dennoch wird schnell klar, dass kleinere Rohrdurchmesser

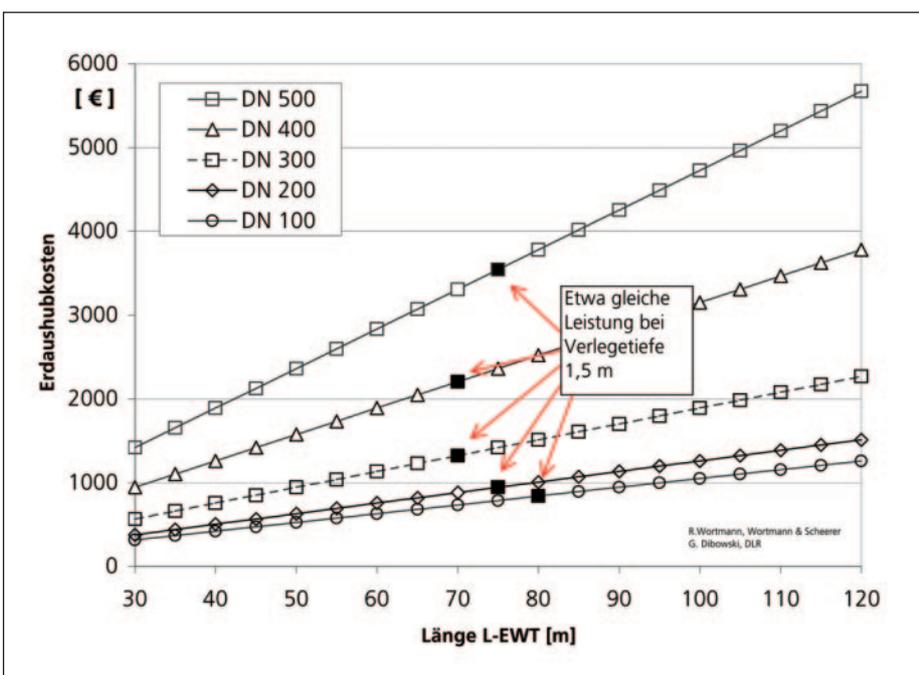


Bild 7 Beispielkosten für den Erdaushub in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser und der Länge des L-EWT bei vergleichbarer Leistung

wesentlich geringere Investitionskosten bedeuten, denn neben dem preiswerteren Rohrmaterial ist auch der Erdaushub geringer.

Der Kostendruck birgt die Gefahr, die Rohrdurchmesser zu klein zu dimensionieren. Bei kleinen Rohrdurchmessern steigt, bei gegebenem Volumenstrom, der Druckverlust im L-EWT überproportional an. Dies wiederum führt zu einer erhöhten Ventilatorarbeit und damit zu

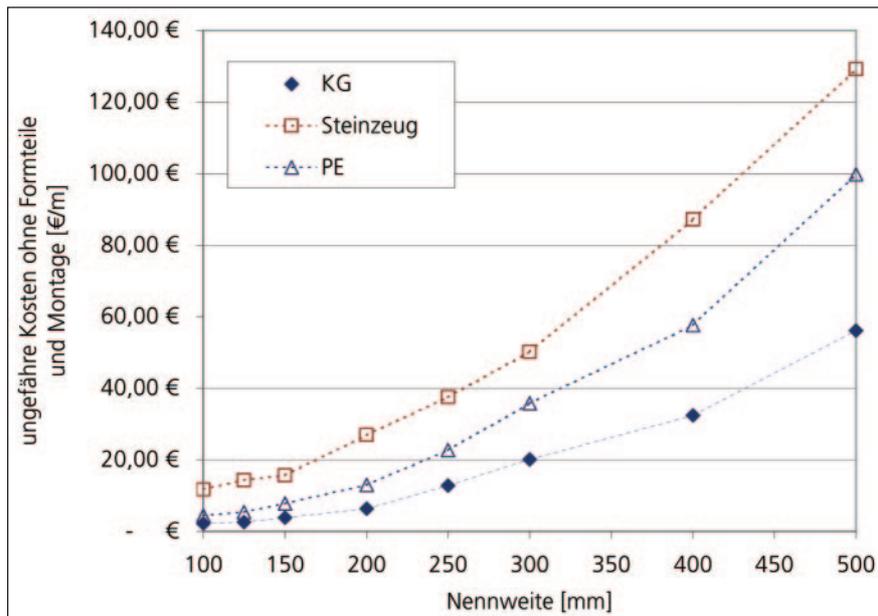


Bild 8 Kosten für das Rohrmaterial in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser in €/m.

einem hohen Stromverbrauch, was den ursächlichen Sinn des L-EWT in Frage stellen könnte. Die über die thermischen Gewinne eines L-EWT eingesparten Betriebskosten werden in Bild 9 exemplarisch für im Wohnhausbau übliche Systemkonfigurationen dargestellt (auch Mehrfamilienhäuser). Die eingesparten Energiekosten auf Basis von 0,05 €/kWh können ebenfalls abgelesen werden.

3.3 Der Rohrdurchmesser des Luft-Erdwärmetauschers

In Bild 10/Tabelle 5 sind, bei vorgegebenem Durchmesser, L-EWT mit Mindest-Rohrlängen zur Gewährleistung der Frostfreiheit der nachgeschalteten WRG dargestellt. Für einen zuvor festgestellten Betriebsnennvolumenstrom des L-EWT wird diejenige Rohrlänge ermittelt, die an zwei aufeinander folgenden Tagen die Frostfreiheit der nachgeschalteten Anlagentechnik gewährleistet. Die nachfolgenden Angaben

beziehen sich auf eine Verlegetiefe von 1,5 m, einem meteorologisch mittelwertigen (deutschen) Standort und einem Boden mit mittleren Temperaturleitfähigkeiten (hier: $a = 0,6 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 10^{-6}$).

Des Weiteren zeigt Bild 10 den jeweils für einen Nennvolumenstrom berechneten Druckverlust. Der Druckverlust ist ohne Einbaudruckverluste angegeben, da diese individuell eingestellt werden. Die Druckverluste für Filter, Schalldämpfer und Einbauten liegen häufig nochmals in gleicher Größenordnung wie das Rohr,

können aber auch deutlich höher sein. Für die Ventilatorauslegung ist eine Druckverlustberechnung in jedem Fall notwendig.

Wie bereits erwähnt, wird deutlich, dass der Druckverlust mit zunehmendem Volumenstrom deutlich ansteigt, was zu einer erhöhten Ventilatorarbeit führt. Allein die Druckverlustberechnung führt allerdings zu keiner sinnvollen Auslegung. Vielmehr wird eine Kennzahl benötigt, welche die durch die Ventilatorarbeit verbrauchte Energie bewertet. Schließlich ist ein verbesserter Umweltschutz das wesentliche Ziel bei dem Ersatz konventioneller Anlagentechnik durch einen L-EWT. Bei energietechnischen Fragestellungen drückt

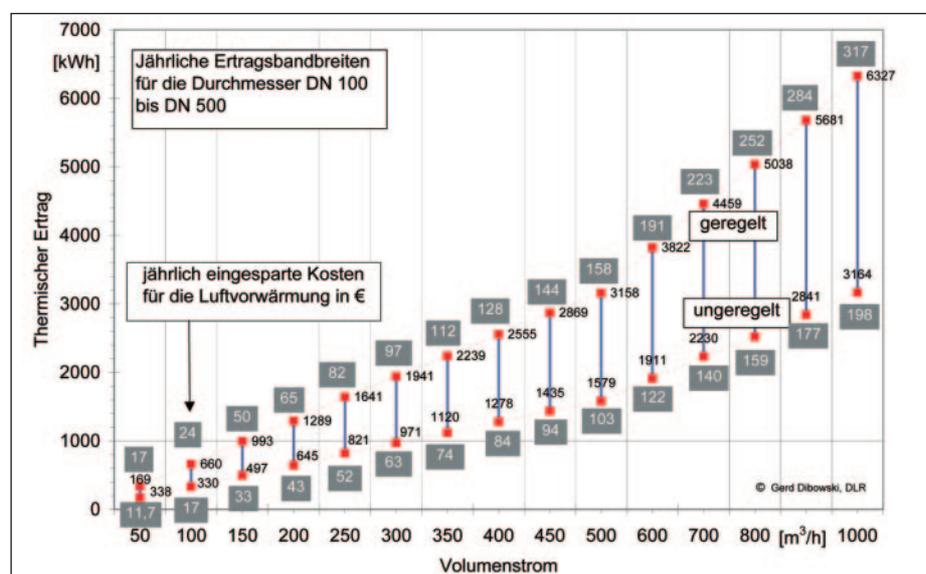


Bild 9 Exemplarische Darstellung der Schwankungsbreite vom thermischem Ertrag und Energiekosteneinsparungen (in €) in Abhängigkeit vom Volumenstrom und Regelungsart (über Systemkonfigurationen von Länge und Durchmesser)

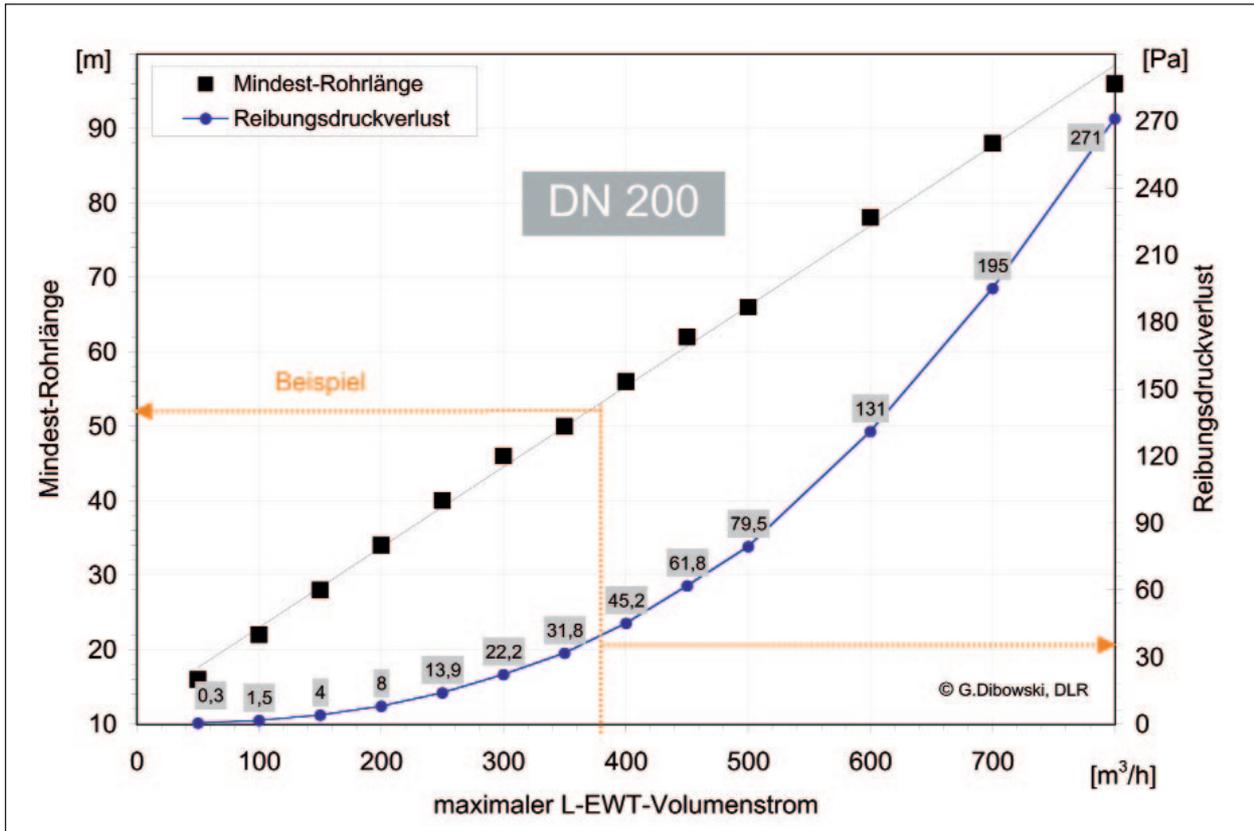


Bild 10 Mindest-Rohrlängen für L-EWT Annahmen: mittleres Wetter, mittlere Erdreichparameter Druckverlust nur Rohrreibung, keine Einbauten usw.

sich dies besonders durch den Umfang der möglichen CO₂-Einsparung aus. Die für eine bestimmte Heizleistung benötigte Energiemenge muss bei alternativen Systemen zu geringeren CO₂-Emissionen führen. Ein aussagefähiger Systemvergleich

sollte daher immer auf den Primärenergieeinsatz beider Systeme zurück verfolgt werden. Eine wichtige Bewertungsgröße für L-EWT ist - in Anlehnung an die Wärmepumpe - die Saisonale Arbeitszahl β_S .

DN 200 max. Volumenstrom [m ³ /h]	Maximale Temperaturdifferenz [K]		Maximale thermische Leistung [kW]	Thermischer Ertrag [kWh]	
	Winter	Sommer		geregelt (B)	un-geregelt
50	14,60	10,7	0,24	333	247
100	14,44	10,9	0,48	648	451
150	14,51	11,13	0,73	967	662
200	14,60	11,32	0,98	1289	872
250	14,69	11,48	1,23	1614	1083
300	14,77	11,61	1,49	1941	1294
350	14,55	11,53	1,71	2222	1467
400	14,65	11,64	1,97	2551	1678
450	14,66	11,68	2,21	2869	1882
500	14,52	11,63	2,44	3149	2053
600	14,69	11,8	2,96	3815	2478
700	14,65	11,83	3,44	4429	2860
800	14,48	11,76	3,89	4988	3197

Tabelle 5 Basisergebnisse der Systemvariationen DN 200 (Definition der Regelung: Seite 17)

Der Druckverlust ist, wie erwähnt, die Summe aus dem jeweiligen Wert aus Bild 10 und die dem Planer bekannten Einbau- und Filterdruckverlusten. Der Wirkungsgrad des Ventilators ist ebenfalls abhängig von der Auswahlentscheidung des Planers und kann daher hier nicht tabellarisch dargestellt werden.

Obwohl traditionsgemäß β_S auf

den Endenergieeinsatz bezogen wird, ist eine überschlägige Abschätzung des primärenergetisch bezogenen Einsatzes von Strom über den Faktor 3 recht einfach möglich.

Bei zunehmendem Volumenstrom steigt bei konstantem Durchmesser die Strömungsgeschwindigkeit linear an. Dabei fällt die Arbeitszahl ab. Dies liegt hauptsächlich an dem quadratischen Anstieg des reibungsbedingten Druckverlustes, der zu immer größeren Ventilatorleistungen führt.

Hierbei ist deutlich darauf hinzuweisen, dass sich dabei nicht die thermische Leistung des L-EWT (Temperaturspreizung) reduziert, sondern sich der Antriebsaufwand für den L-EWT relativ zu den thermischen Gewinnen vergrößert und folglich die CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung steigen. In Bild 11 wird deutlich, dass selbst bei einem Volumenstrom von 2000m³/h eine Arbeitszahl von über 6 erreicht wird. Allerdings liegt hierbei der Druckverlust im Rohr ohne Einbauten schon bei 450 Pa, was viel zu viel ist. Die Strömungsgeschwindigkeit liegt bei etwa 7 m/s. Dies wäre ein schlechter Auslegungspunkt. Es

Arbeitszahl β_s

Die Saisonale Arbeitszahl β_s eines L-EWT ist das Verhältnis aus der gelieferten Wärme bzw. aus der gelieferten Kälte zur saisonal aufgenommenen elektrischen Antriebsenergie, bezogen auf den Betrachtungszeitraum

$$\beta_{s,H} = \frac{Q_H}{W_{el,H}} \quad \text{bzw.} \quad \beta_{s,K} = \frac{Q_K}{W_{el,K}} \quad \text{Gl. 1}$$

Q gelieferte/entzogene Wärme kWh
W Elektrische Antriebsarbeit kWh
H, K heizen, kühlen

mit
$$Q_H/Q_K = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \sum_{i=1}^n (t_{i,w} - t_{i-1,w}) \quad \text{Gl. 2}$$

A Beginn Betriebszeitraum t
Z Ende Betriebszeitraum t

mit Elektrische Antriebsarbeit
$$W_{el} = P_{vent} \cdot t_{bet} \quad \text{Gl. 3}$$

und der Ventilatorleistung
$$P_{vent} = \frac{Q_{vent} \cdot \Delta p}{\eta_{vent}} \quad \text{Gl. 4}$$

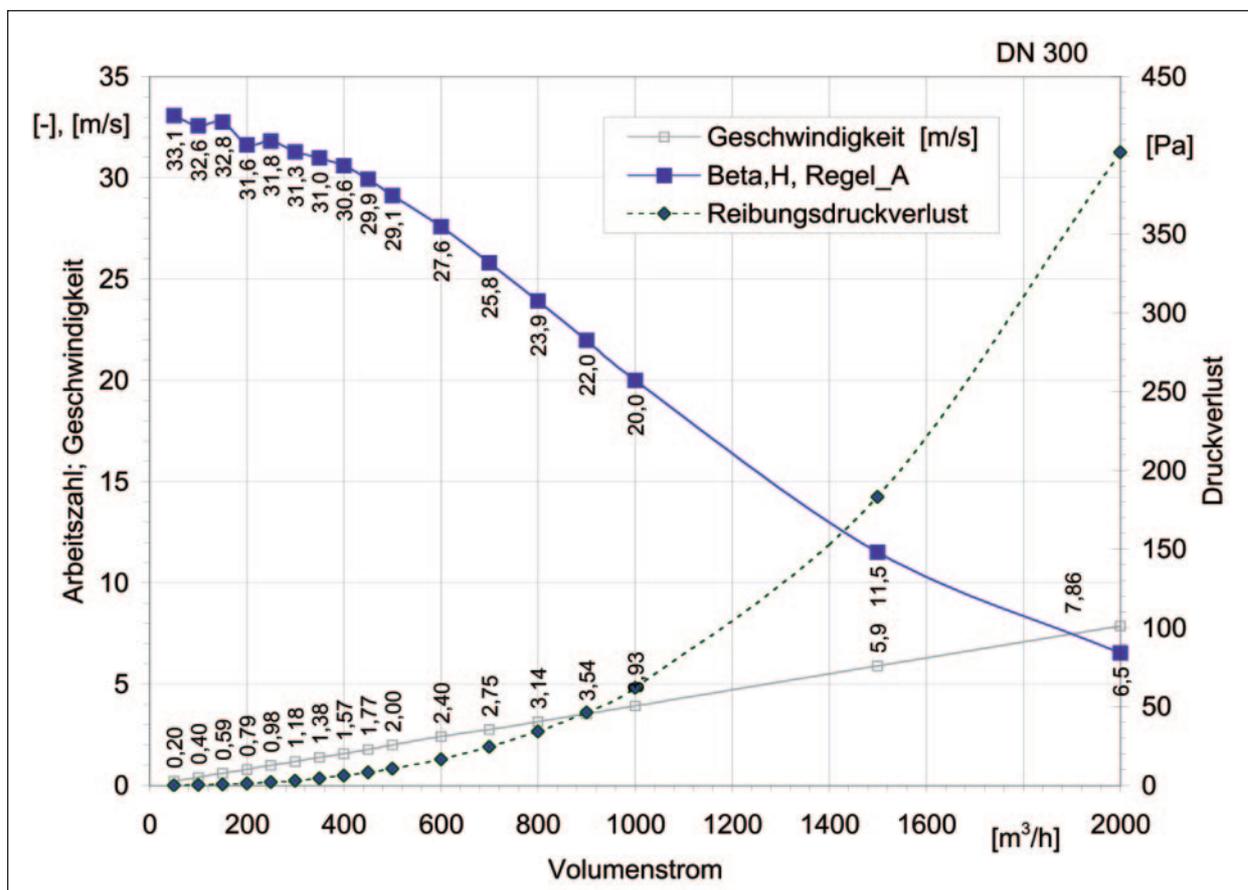


Bild 11 Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Arbeitszahl (bezogen auf Endenergie), Druckverlust und Strömungsgeschwindigkeit am Beispiel DN 300

zeigt aber die riesige Leistungsfähigkeit der L-EWT-Technik, mit der durchschnittlich sehr hohe Arbeitszahlen möglich sind. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Rohr übt demnach einen wichtigen Einfluss aus. Der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit auf die Arbeitszahl kann in Bild 12 nochmals gezeigt werden. Zusätzlich zu beachten sind dabei verschiedene Regelstrategien, die dazu führen sollen, dass der L-EWT effizient genutzt wird. Dadurch werden nochmals deutliche CO₂-Einsparungen ermöglicht.

Regelung A beschreibt das Betriebsergebnis, wenn der L-EWT erst ab einem Mindest-Temperaturhub von 2 K (°C) in Betrieb geht. Dies führt zu theoretischen Maximalleistungen, da diese Temperatur-Situation im ständigen Betrieb des L-EWT gemessen werden müsste, was aber kaum möglich ist, da er ja wegen dieser Strategie teils nicht in Betrieb ist. Regelung A stellt also eine theoretische Maximalbetrachtung dar.

Regelung B betrachtet grundsätzlich Betriebszeiten, bei denen im Falle der Luftvorwärmung die Grundvoraussetzung gegeben ist (Erdrreichtemperatur größer Außenlufttemperatur). Es kann aller-

dings dabei auch zu Phasen im L-EWT kommen, in denen der elektrische Antriebsaufwand größer ist, als der thermische Gewinn.

Die unterste Kurve unregelter Betrieb verdeutlicht den Fall, dass der L-EWT unabhängig von den äußeren Randbedingungen während der Heizperiode durchläuft, was für viele Anwendungen im Wohnhausbereich der Fall ist. Gegenüber einem optimal geregelten L-EWT fallen die Ertragseinbußen und der Abfall der Leistungszahl sehr deutlich aus; die möglichen CO₂-Einsparungen sind entsprechend ebenfalls erheblich reduziert.

Es sind daher eigentlich Betriebszustände zu vermeiden, bei denen die nutzbare Temperaturdifferenz zu geringeren Energieeinsparungen führt, als die benötigte (Primär)energie, die für den Antrieb des Systems benötigt wird.

Im unregelmäßigen Betrieb werden teils sogar negative Temperaturdifferenzen berücksichtigt, die zu einem Mehrenergieverbrauch führen, was in Bild 12 gezeigt wird. Ohne bauliche Mehrkosten für eine Direktansaugung der Außenluft mit Bypassklappe und entsprechender Regelung sind

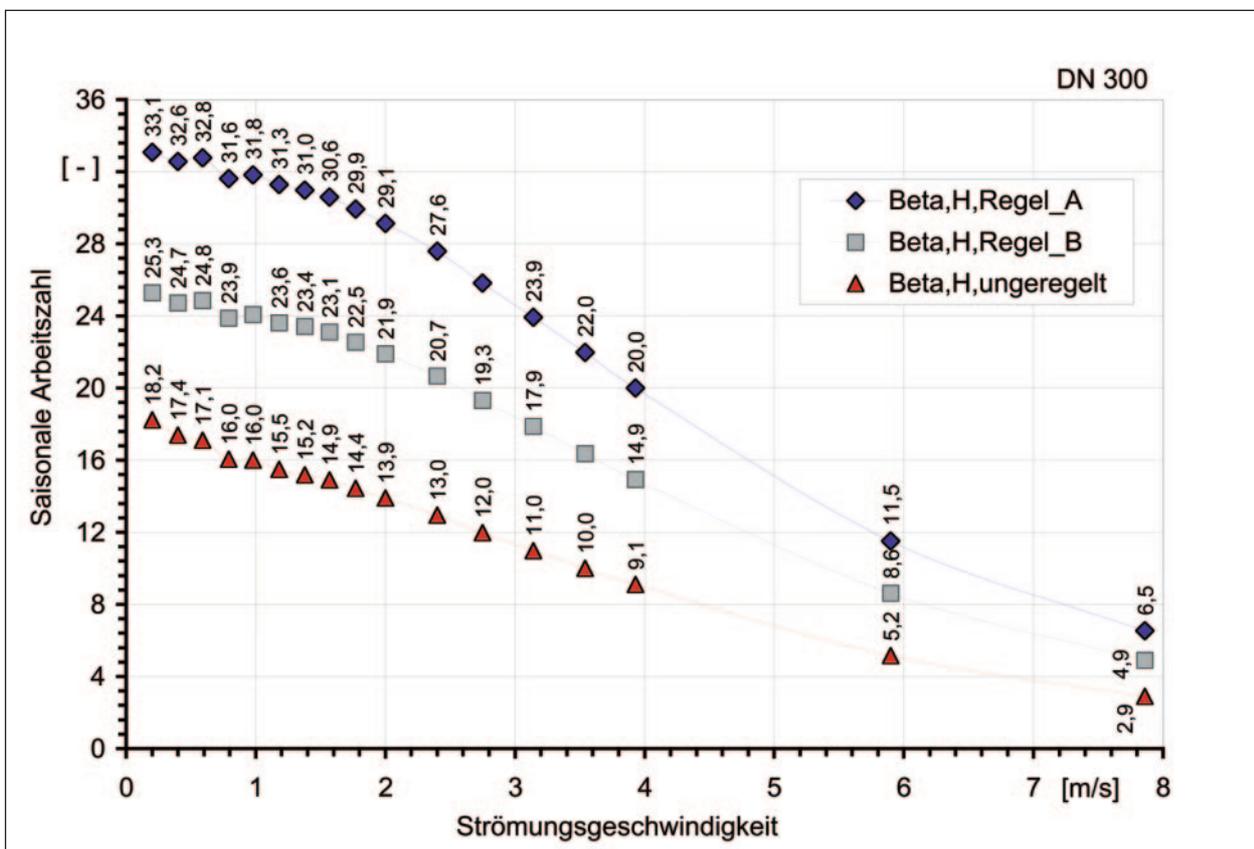


Bild 12 Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit und der Regelstrategie auf das Betriebsergebnis Beispiel DN 300. Grundsätzlich sinkt die Arbeitszahl, wie bereits in Bild 11 gezeigt, mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit stark ab. Bild 12 verdeutlicht aber zudem die Bedeutung unterschiedlicher Regelstrategien.

die besseren Arbeitszahlen der oben dargelegten Regelstrategien A und B aber nicht erreichbar.

Der Kostendruck verlangt aber häufig diesen Kompromiss. Bei grundsätzlich richtiger Auslegung ist ein L-EWT ohne Regelung jedoch immer noch besser, als ein vom Bauherren wegen zu hoher Kosten abgelehnter L-EWT.

3.4 Überschlägige Auslegungshilfe L-EWT

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, ist die Auslegung eines L-EWT von verschiedenen Parametern abhängig und eigentlich eine recht komplexe Aufgabe.

Insbesondere die Bodenparameter bereiten die größten Schwierigkeiten, da sie selten bekannt sind und deren Messung Zeit und Geld benötigt. Für eine Vorkalkulation kleiner Anlagen (bis 1000 m³/h) ist es aber durchaus möglich mit mittleren Erdparametern und einem mittleren Wetter im Vorfeld Basisberechnungen durchzuführen, mit denen eine überschlägige Auslegung möglich ist. Nachfolgend wird dafür ein Diagramm für die überschlägige Auslegung angebo-

ten, über deren Grenzen sich der Nutzer aber auch im Klaren sein sollte!

In Bild 13 sind die Mindestlängen (durchgezogene Linien) von L-EWT in Abhängigkeit des Volumenstroms dargestellt. Des Weiteren sind die zugehörigen Reibungsdruckverluste ablesbar (gestrichelte Linien). Ein eingezeichnetes Beispiel soll die Auslegung verdeutlichen.

Beispiel:

Gegeben: Nennvolumenstrom 400 m³/h

Gesucht wirtschaftl. und ökologisch günstigen L-EWT:

Auf der 400 m³/h-Linie werden zwei Mindestlängenkurven geschnitten; DN 200 und DN 300. Mit einem DN 200 Rohr muss der L-EWT also mindestens 56 m lang sein; mit einem DN 300 Rohr nur 54 m. Allerdings beträgt der Druckverlust beim DN 200 Rohr bereits 50 Pa ohne Einbauten. Beim DN 300 Rohr ist der Druckverlust kaum ablesbar (ca. 8 Pa).

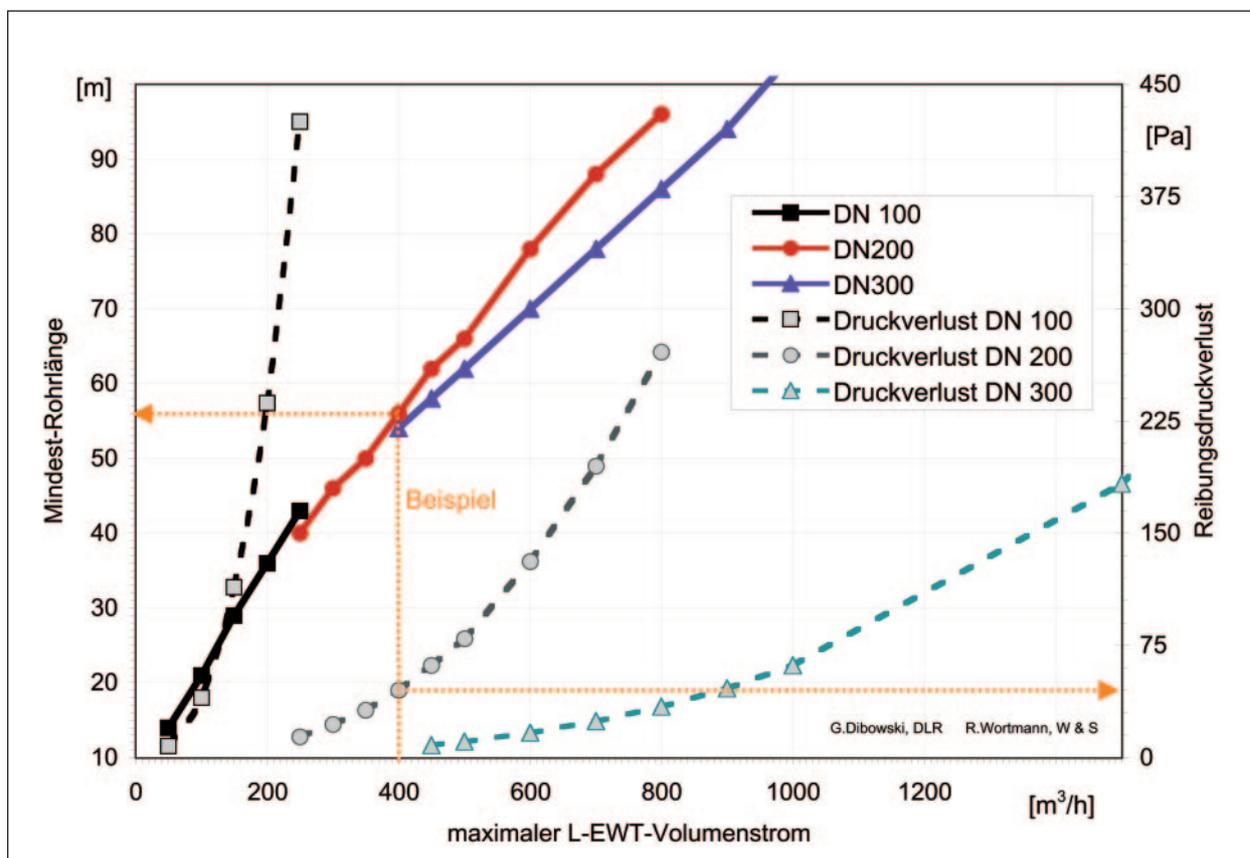


Bild 13 Diagramm zur überschlägigen Auslegung kleiner L-EWT (bis 1000m³/h)

Der Planer sollte sich folgende Fragen stellen:

1. Würde man die notwendige Pressung mit Einbauten über den vorhandenen Zuluftventilator liefern können? Wie hoch wäre die zusätzliche Ventilatorleistung?

Die Ventilatorleistung wird bestimmt über die Gleichung 4 auf Seite 16, mit einem Ventilatorwirkungsgrad von z.B. $\eta = 0,6$ und zusätzlichen Einbaudruckverlusten für Bögen, Ansaugfilter usw. Der Druckverlust dieser Einbauten ist selbstverständlich auch vom Durchmesser abhängig.
Annahme DN 200: 50 Pa, DN 300: 12 Pa.

DN 200 mit Summe Druckverluste 100 Pa: $P_{\text{vent}} = 18,5 \text{ W}$
DN 300 mit Summe Druckverluste 20 Pa: $P_{\text{vent}} = 3,7 \text{ W}$

Der Basisventilator der Lüftungsanlage würde diese entsprechende Mehrleistung aufbringen müssen.

Annahme: Der Ventilator reicht in beiden Fällen aus

2. Wie groß wären in etwa die Arbeitszahlen bzw. die Ventilatorarbeit für beide Fälle?

Die Ventilatorarbeit berechnet sich aus Gleichung 3 auf Seite 16 bei 5800 Betriebsstunden.

DN 200: $W_{\text{vent}} = 107,3 \text{ kWh}$

DN 300: $W_{\text{vent}} = 21,5 \text{ kWh}$

Die thermischen Erträge werden aus Tabelle 5 und Tabelle 8 abgelesen, z.B. für den unregelmäßigen Betrieb:.

DN 200: $Q = 1678 \text{ kWh}$

DN 300: $Q = 1700 \text{ kWh}$

Die Arbeitszahlen werden über die Gleichung 1 auf Seite 16 bestimmt.

Für DN 200 ergibt sich eine Arbeitszahl β von **15,6**

Für DN 300 ergibt sich eine Arbeitszahl β von **79**

3. Was würden die Anlagen kosten?

Aus Bild 7, Kosten Erdaushub:

DN 200 etwa 1.150 €

DN 300 etwa 1.730 €

Aus Bild 8, Kosten Rohrmaterial, für KG-Rohr:

56 m DN 200 etwa 6,40 €/m = 358,40 € + Formteile und Verlegung z.B. 400 € = ca. 800 €

54 m DN 300 etwa 20,20 €/m = 1.091 € + Formteile und Verlegung z.B. 600 € = ca. 1.700 €

DN 200: etwa 1.950 € + Kleinteile (Ansaugung, Siphon, etc.) = z. B. **2.750 €**

DN 300 etwa 3.430 € + Kleinteile = z. B. **4.300 €**

4. Was würde ein Heizregister zum Frostschutz kosten?

Für beide Anlagen z. B. ein elektrisches Vorheizregister mit Regelung und Strömungswächter bis zu 400 €

5. Wie groß wäre die Energieeinsparung des L-EWT gegenüber dem Vorheizregister?

Aus dem Berechnungsschritt für Punkt 2 wird die vom L-EWT geleistete thermische Energie gleich der vom Vorheizregister angenommen. Die durch den L-EWT verursachte elektrische Arbeit muß wieder abgezogen werden.

DN 200: $Q = 1678 \text{ kWh} - 107,3 \text{ kWh} = 1571 \text{ kWh}$

DN 300: $Q = 1700 \text{ kWh} - 21,5 \text{ kWh} = 1679 \text{ kWh}$

6. Wie sähe die Wirtschaftlichkeit aus?

Mit einem angenommenen Strompreis von 0,13 €/kWh sind etwa 204 €/a bei DN 200 und etwa 218 €/a bei DN 300 anzusetzen.

Für DN 200: 2.750 € (L-EWT) - 400 € (Vorheizregister) = 2.350 € Mehrkosten L-EWT d.h. (ohne Verzinsung)

Wirtschaftlichkeit nach **11,5 Jahren**.

Für DN 300: 4.300 € (L-EWT) - 400 € (Vorheizregister) = 3.900 € Mehrkosten L-EWT d.h. (ohne Verzinsung)

Wirtschaftlichkeit nach **17,9 Jahren**.

7. Wie sähe die ökologische Betrachtung aus?

Primärenergetisch kann 1 kWh Strom mit etwa 3 kWh_{PE} Primärenergie gleichgesetzt werden. Das heißt, die vom L-EWT erbrachte thermische Energie aus Punkt 5 wird nun vom Vorheizregister erbracht. Eingesparte Primärenergie gegenüber einem elektrischen Heizregister.

DN 200: $Q = 1571 \text{ kWh} * 3 = 4713 \text{ kWh}_{\text{PE}}$

DN 300: $Q = 1679 \text{ kWh} * 3 = 5035 \text{ kWh}_{\text{PE}}$

8. Empfehlung

Grundsätzlich ist die L-EWT Anlage mit DN 200 gegenüber dem Heizregister wirtschaftlich. Wenn zudem berücksichtigt wird, dass ein L-EWT eine wesentlich längere Nutzungsdauer hat, als das Heizregister (ca. 50 Jahre gegenüber 20 Jahren, nach VDI 2067) ist der L-EWT auf jeden Fall günstiger als das Heizregister. Des Weiteren ist man mit L-EWT von der zukünftigen Energiepreissteigerungen unabhängiger. Geht man hier von zukünftig deutlichen Verteuerungen aus, wird sogar der größere L-EWT mit DN 300 wirtschaftlich gegenüber dem Vorheizregister.

Die Betrachtung der Primärenergieeinsparung zeigt den ökologischen Nutzen des L-EWT. Allerdings ist die Anlage mit größerem Durchmesser nur 7 Prozent besser. Bei diesem Beispiel liegt daher die Empfehlung nahe, den L-EWT mit DN 200 zu realisieren.

Oben aufgeführten Amortisationszeiten beziehen sich auf das aktuelle niedrige Energiepreinsniveau. Steigende Energiepreise führen zu wirtschaftlicheren Anlagen. Einsparungen an sommerlicher Kühlenergie wurden nicht berücksichtigt.

3.5 Ausgeführte Beispiele

Eine optimierte L-EWT-Auslegung ist nicht standardisierbar. Die jeweiligen Randbedingungen stellen sich bei jedem Bauvorhaben etwas anders dar. Der ambitionierte Bauherr oder Planer sollte sich nicht davon abschrecken lassen, wenn es scheinbar mal kompliziert werden kann. Zwei Beispiele, die die große Variationsvielfalt bei L-EWT-Systemen andeuten, vermitteln zwei nachfolgend gezeigte Projekte (Bilder 14 und 15) [10].

Wie auch das zweite Beispiel (Bild 15) zeigt, unterscheiden sich die Anlagenvarianten auch im Wohnhausbereich bereits ständig. Der Einsatz von Planungshilfsmitteln ist also durchaus schon bei einfachen Anlagen zu empfehlen. Die drei Haupt-Auslegungswerkzeuge in beiden Teilen des Planungsleitfadens werden gebildet aus:

A	B	C
Auslegungsdiagrammen	Standardisierten Datenblättern	Software

mit zusätzlichen baupraktischen Hinweisen und Darstellungen zur Materialauswahl unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und umweltrelevanter Gesichtspunkte.

Die nach analytischen Ansätzen funktionierende Planungssoftware GAEA wurde bereits an verschiedenen Stellen vorgestellt (z.B. in [11])

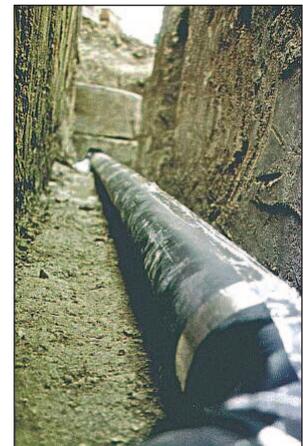
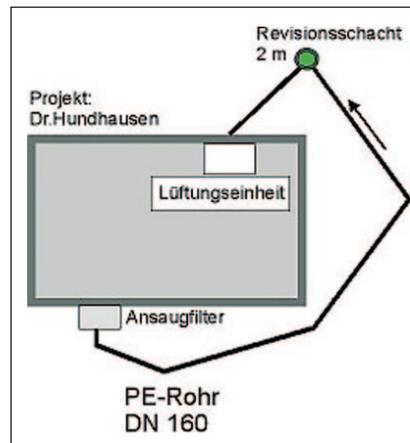


Bild 14 EFH als Passivhaus; L-EWT-Volumenstrom: 120 m³/h; Rohrlänge: 25 m, Standort: Süddeutschland

und kann im Internet unter [12] geladen werden.

3.6 Kühlung mit L-EWT in Wohngebäuden

Theoretisch kann ein L-EWT bei Wohngebäuden auch zur sommerlichen Kühlung der Außenluft eingesetzt werden. Die Dimensionierung der Rohrregister wird jedoch im allgemeinen für den Winterfall (Außenluftvorwärmung) durchgeführt, die sommerliche Kühlleistung beschränkt sich aufgrund des geringen Volumenstroms dann auf Werte unter einem Kilowatt pro Wohneinheit. Eine wirklich deutlich spürbare Kühlung schließt sich damit aus.

Allerdings darf nicht außer Acht gelassen werden, dass der L-EWT die notwendige Frischluft deutlich unter die Außenlufttemperatur kühlt. Die Alternative ohne L-EWT heißt Fensterlüftung, um den notwendigen Frischluftaustausch zu gewährleisten. Die frische Außenluft ist aber im "Kühlfall" i.d.R. sehr warm und heizt die Räume auf. Eine geringe Kühlleistung steht somit einer Heizleistung durch Außenluft gegenüber.

Demzufolge ist der Kühleffekt eines als Frostschutz für das Lüftungsgerät gedachten L-EWT zwar gering, aber vorhanden und somit ein zusätzliches, wenn auch nicht ausschlaggebendes Argument für den L-EWT.

3.7 Anwendungsbereiche und Grenzen der Nutzung

Die Grenze der winterlichen Luftvorwärmung bzw. die Abkühlung der Luft im Sommer wird

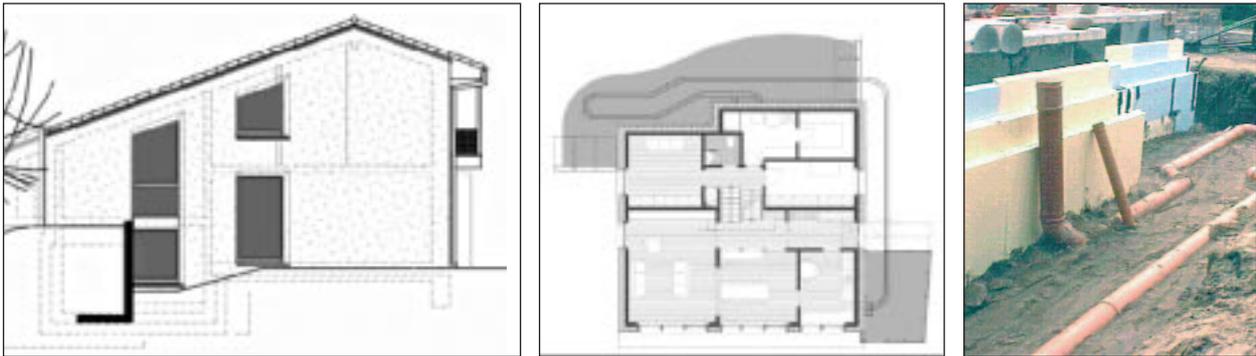


Bild 15 EFH als Passivhaus; L-EWT Volumenstrom: 200 m³/h; Rohrlänge: 38 m, Standort: Garbsen, Niedersachsen

durch das Temperaturprofil des Bodens bestimmt, wobei das Ertragsverhalten eines L-EWT-Systems durch besondere Wettersituationen wie Kälte-, Hitze-, Niederschlags- und Trockenperioden mitbeeinflusst wird. Eine exakte, zu jedem Zeitpunkt erhältliche Nutzleistung, kann nicht gewährleistet werden. Bei genauen Leistungsanforderungen ist ein L-EWT nicht oder nur mit entsprechenden zusätzlichen RLT-Anlagen zu betreiben. Bild 16 zeigt die Temperaturgrenzen zu Beginn der Heizperiode und am Zeitpunkt der kältesten Bodentemperatur in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften.

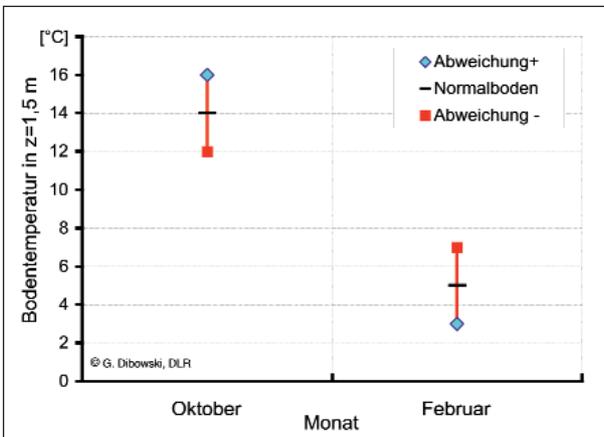
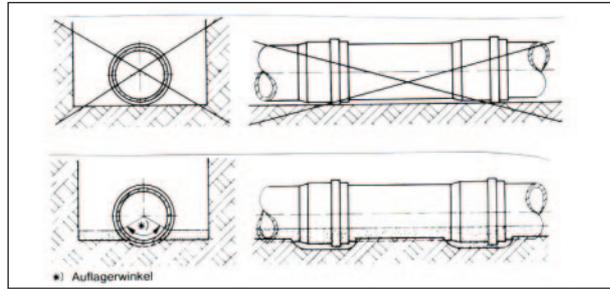


Bild 16 Temperatur-Schwankungsbreiten der Bodentemperaturen in der Heizperiode bei einer Verlegetiefe von $z = 1,5$ m für einen meteorologisch mittleren Standort in Deutschland in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften



■ Auflagerwinkel

4 Konstruktive Hinweise

4.1 Materialauswahl

Als Material für Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) kommen Werkstoffe in Betracht, die eine ausreichende Beständigkeit gegenüber Bodeneinflüssen aufweisen sowie eine ausreichende Dichtigkeit (Flanschdichtheit des Rohres) garantieren. Des Weiteren muss das Material ungiftig und korrosionssicher sein. Als Luftleitungen sollten die für L-EWT verwendeten Materialien darüber hinaus auf der Innenseite glatte Oberflächen haben, nicht staubansaugend, ungiftig und nicht hygroskopisch sein. Wellrohre sind ungeeignet, da auftretendes Kondensat konstruktionsbedingt nicht vollständig abfließen kann und u.U. hygienisch bedenklich sein kann.

Aus wirtschaftlichen Gründen kommen nur Rohre aus standardmäßigen Materialien und in Normgrößen in Betracht. Es existieren ebenfalls Rohrmaterialien am Markt, die nur eine äußere Verrippung aufweisen (z.B. Kabelschutzrohre), was zu einer Vergrößerung der wärmeübertragenden

Fläche führt und dadurch auf den ersten Blick positiv zu bewerten ist. Diese Rohre besitzen allerdings oftmals herstellungstechnisch bedingte Hohlräume zwischen Innen- und Außenoberfläche, die luftgefüllt sind und daher eine isolierende Wirkung haben. Von dieser Art Rohrmaterial ist folglich abzuraten.

4.2 Bauausführung

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten der Ausführung des L-EWT (Bild 17):

- Ausführung als Einrohr-L-EWT
- Ausführung als Register

Die Register-Ausführung sollte aus strömungstechnischen Gründen meist nach Tichelmann verschaltet werden. Die Tichelmann-Schaltung sorgt dafür, dass der Luftvolumenstrom gleichmäßig über die Einzelrohre verteilt wird, ohne dass ein

Rohrart	Bemerkung
Kunststoffrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-Hart) nach DIN 19534	„KG-Rohre“, Polyvinylchlorid, preiswert bei kleinen Durchmessern bis DN 500
Kunststoffrohre aus Polyethylen (PE) nach DIN 8074 und DIN 8075 oder Polypropylen nach DIN 16962	Teuerste Alternative, hygienisch sehr geeignet, hohe statische Belastbarkeit, unempfindlich gegen Frost, Beständigkeit gegen aggressive Böden, keine Ablagerungen und Verkrustungen, geringe Wandreibungsverluste, abriebfest
Kabelschutzrohre	Kostengünstig bei kleinen Durchmessern; innen glatt, außen gewellt
Betonrohre nach DIN 4032 und 4035	bei großen Durchmessern preiswerter als Kunststoffrohre, gute Wärmeleitfähigkeit
Faserzementrohre nach DIN 19840 und DIN 19850	Preiswerter als Kunststoffrohre; für größere Durchmesser geeignet
Steinzeug (DIN 1230, DIN EN 295)	„Überqualifiziert“, da für aggressive Medien geeignet und dementsprechend behandelt
Gussrohr (TML/BML o.ä.) DIN 19522	wie Steinzeug

Tabelle 6 Materialien für L-EWT-Rohre

hydraulischer Abgleich mit zusätzlichen Stellklappen erfolgen müsste. Da diese Variante aber einen hohen Anteil an Formstücken und damit höhere Kosten mit sich bringt, kommt das Erdregister im Bereich der kleineren Anlagen sehr selten zum Einsatz und wird hier nicht weiter betrachtet (siehe PLF, Teil 2). Es gelten aber grundsätzlich die gleichen Rahmenbedingungen wie für den Einrohr-Erdwärmetauscher.

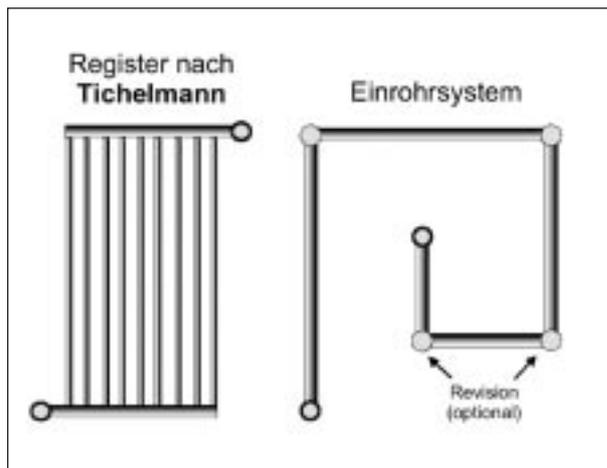


Bild 17 Möglichkeiten der Verschaltung des L-EWT

Die Verlegung des Erdwärmetauschers ist ebenfalls auf verschiedene Arten möglich:

- Frei in den Außenanlagen
- Bei Gebäuden mit Unterkellerung: in der Baugrube
- Unter der Bodenplatte
- Kombinationen dieser drei Möglichkeiten sind natürlich möglich.

Eine gebäudenahe Verlegung (Bodenplatte oder Baugrube) ist energetisch günstiger als die Verlegung in den Außenanlagen, da sich das Erdreich hier nicht in dem Maße abkühlt wie in der freien Verlegung. Dieser Effekt verringert sich mit der Verbesserung des Dämmstandards des Gebäudes (Verringerung des thermischen Kurzschlusseffektes). Bei dem betriebstechnischen Schwerpunkt der sommerlichen Kühlung ist demnach die freie Verlegung vorzuziehen.

Bei der Verlegung sollte das Erdreich zur Ermöglichung eines guten Wärmeübergangs eng am Rohr anliegen. Bei kritischen Böden, wie z. B. Lehm, kann hier auch mit Sand nachgeholfen werden. Ferner muss das sich unter dem Rohr befindliche Material verfestigt sein, um ein Absinken und Beschädigen des Rohres zu verhindern.

Als praktischer Tipp soll noch erwähnt werden, dass das KG-Rohr an den Stoßstellen mit Dichtband versehen werden sollte, da Schrumpfmuffen von außen nach innen nicht dicht sind und damit auch Wasser aus dem Erdreich eindringen kann.

4.3 Kondensatableitung

Der L-EWT muss mit Gefälle verlegt werden, um das Abfließen des Kondensats zu gewährleisten. Die Höhe des Gefälles orientiert sich dabei an den geltenden Normen für erdverlegte Schmutzwasserleitungen (ein gebräuchlicher Wert liegt bei 2°). Die Ableitung des Kondensats hängt dabei von den örtlichen Gegebenheiten ab:

Bei unterkellerten Gebäuden bietet es sich an, das Gefälle zum Keller hin zu orientieren. In jedem Fall ist ein Geruchsverschluss vorzusehen. Hier gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Entweder sollte das Kondensat über einen ersten Siphon frei austropfen können oder es wird durch einen Trichter und einen zweiten Siphon in das Abflussrohr geleitet. Um das Austrocknen des Siphons zu verzögern, sollte auf beiden Seiten des Siphons jeweils etwas Öl aufgegeben werden.
2. Weniger wartungsintensiv ist die Verwendung eines Geruchsverschlusses aus der Lüftungstechnik. Um bei Austrocknung des Siphons ein Ansaugen von Nebenluft aus dem Schmutzwasserkanal zu verhindern, gibt es Siphons mit einer leichten, luftgefüllten Kugel, die bei Unterdruck den Ablauf luftdicht verschließt.

Besitzt das Gebäude keinen Keller, kann von dieser Methode kein Gebrauch gemacht werden. In diesem Fall empfiehlt sich eine Sickergrube, die unterhalb der tiefsten Stelle des L-EWT angeordnet ist, etwa 50 x 50 x 50 cm groß und mit einer Kiesschüttung o.ä. gefüllt ist. Das anfallende Kondensat wird über einen Abzweig in die Kiesschüttung geleitet. Der Ablauf wird mit einem Gitter gegen Insekten geschützt. Es ist bei dieser Form der Kondensatableitung wichtig zu prüfen, dass das Grundwasser zu jeder Zeit unterhalb der Kiesschüttung steht, um das Eindringen von Grundwasser in den L-EWT zu vermeiden.

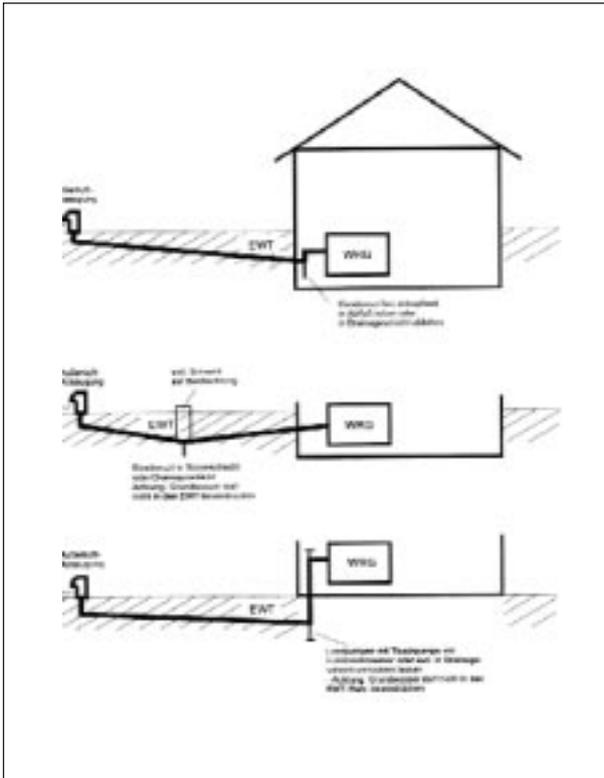


Bild 18 Möglichkeiten der Kondenswasserableitung nach PAUL [5]

Besitzt das Gebäude keinen Keller und ist aufgrund von zu hoch stehendem Grundwasser auch die Sickergrube nicht umsetzbar, muss mit einem Schacht und einer Kondensatpumpe gearbeitet werden, die das Kondensat an die Oberfläche transportiert. Hier sollte aber abgeschätzt werden, wie häufig die Pumpe in Betrieb gehen wird, da sowohl die Kosten, als auch die Energieeffizienz durch die Pumpe negativ beeinflusst werden.

4.4 Ventilator

Bei korrekter Auslegung der Lüftungsanlage wird die über den L-EWT angesaugte Außenluft vom Ventilator des Lüftungsgerätes transportiert. Es ist also bei Lüftungsanlagen bis $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ im Normalfall kein zusätzlicher Ventilator an der L-EWT-Ansaugung erforderlich.

Der durch den L-EWT und dem vorgeschalteten Filter verursachte Druckverlust muss in jedem Fall in die hydraulische Berechnung des Lüftungssystems einbezogen werden. Bei einer Auslegung des Luftnetzes mit einer maximalen Luftgeschwindigkeit von 4 m/s und eines Anteils des L-EWT-Druckverlustes am Gesamtdruckverlust der Anlage von nicht mehr als 20-30 Prozent wird

die Pressung des im Lüftungsgerät vorhandenen Ventilators im allgemeinen ausreichen. Beinhaltet das Leitungsnetz allerdings besondere Einbauten wie spezielle Filter, Weitwurfdüsen oder ist ein stark verzweigtes Leitungsnetz vorhanden, kann der Einsatz eines zusätzlichen Schubventilators notwendig werden. Bei modularen Systemen besteht die Möglichkeit, statt des zusätzlichen Schubventilators einen Zuluftventilator mit einer größeren Pressung zu wählen. Die Anlage ist wie jede Lüftungsanlage auf jedem Fall einzuregeln, d. h. durch Messung muss der Volumenstrom der Zu- und Abluftseite ermittelt werden. Die Massenbilanz sollte ausgeglichen sein. Durch den L-EWT entstehen, wie mehrfach erwähnt, erhöhte Druckverluste auf der Zuluftseite. Einige Hersteller stattdessen daher für die Druckanpassung ihre Anlagen mit Konstantvolumenstromreglern aus. Diese halten intern die Massenbilanz ausgeglichen.

4.5 Ansaugsysteme und Filter

Geeignete Ansaugsysteme für Luft-Erdreichwärmetauscher sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich (Bild 19). Im Wohnhausbereich ist des Weiteren durchaus auch der Selbstbau möglich.

Bild 19 zeigt drei Beispiele für Ansaugsysteme: Die Vorgaben der DIN 1946 [3] für Außenluft-



Bild 19a Beispiel für Ansaugsysteme



Bild 19b Beispiele für Ansaugsysteme

Ansaugöffnungen sind zwar grundsätzlich gültig, die Höhe der Ansaugung von mindestens 3 m über Erdreich kann allerdings bei den hier behandelten, kleinen Anlagen auf etwa 1 m gesenkt werden. Die Außenluftansaugung sollte mit einem Filter von mindestens Klasse G4 ausgestattet sein, um übermäßige Verschmutzungen des Rohres zu vermeiden. Darüber hinaus muss die Ansaughaube offenbar sein, um die Möglichkeit der Reinigung und des Filterwechsels des L-EWT zu bieten. Wie bei allen Komponenten des L-EWT ist auf einen geringen Druckverlust der Ansaugung zu achten. Der Filter muss regelmäßig auf Verschmutzung geprüft und ggf. ausgetauscht werden.

4.6 Regelung

In den Übergangszeiten, Frühjahr und Herbst, kommt es vor, dass die angesaugte Außenluft im L-EWT gekühlt wird, gleichzeitig aber noch ein Heizwärmebedarf für das Gebäude besteht. Energetisch wäre es demnach sinnvoll, die Außenluft nicht durch den L-EWT zu führen, sondern direkt anzusaugen. Dadurch würde Heizenergie gespart und auch Ventilatorstrom, da der Druckverlust des L-EWT entfällt. Es stellt sich also die Frage, ob ein Luft-Erdwärmetauscher temperaturabhängig

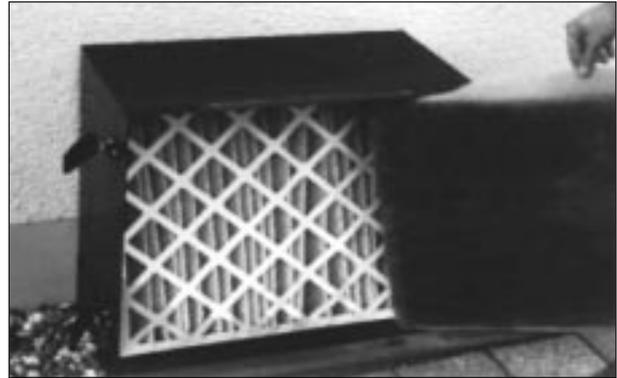


Bild 19c Beispiel für Ansaugsysteme

geregelt werden sollte. Von Geräteherstellern werden motorische, temperaturgesteuerte Bypassklappen angeboten. Wesentlich günstiger sind manuelle Klappen, die aber das entsprechende Nutzerverhalten voraussetzen. Bei einem Preis von rund 350 € für eine motorische Klappe (Größenordnung Einfamilienhaus) ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer solchen Einrichtung allerdings fraglich. Die meisten bisherigen L-EWT-Anwendungen bei Einfamilienhäusern werden daher, zum Nachteil einer optimalen Umweltbilanz, nicht geregelt.

4.7 Lufthygienische Situation

Beim Betrieb eines L-EWT muss die lufthygienische Unbedenklichkeit gewährleistet sein. Im Frühjahr und Sommer kann es zu Taupunktunterschreitungen in der Rohrströmung und somit zur Bildung von Kondenswasser kommen, welches die Grundlage zum Wachstum von Keimen darstellt. Ein L-EWT muss so konstruiert sein, dass dieses Kondenswasser abgeleitet werden kann. Eine Reihe von Anlagen wird seit Jahren bezüglich pathogener Belastungen überwacht. Bei den bisherigen Untersuchungen konnten insgesamt keine bedenklichen Werte festgestellt werden.

Luft-/Erdwärmetauscher L-EWT
Standardisiertes Datenblatt Nr. W4

Auslegungsvolumenstrom:

120 m³/h
EFH als Passivhaus

 Projektname:
Dr. Hundhausen


Quellen: Dr. Martin Hundhausen

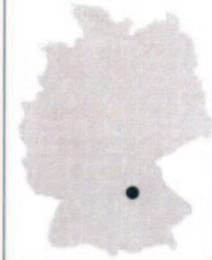
Standort, Adresse:

 Dorfmeisterweg 14,
 Erlangen

Ansprechpartner:

Dr. Martin Hundhausen

Tel.: 09131-85-27259

Email:
Martin.Hundhausen@physik.uni-erlangen.de

Klimazone (TRY)
A/V¹
HNF [m²]²

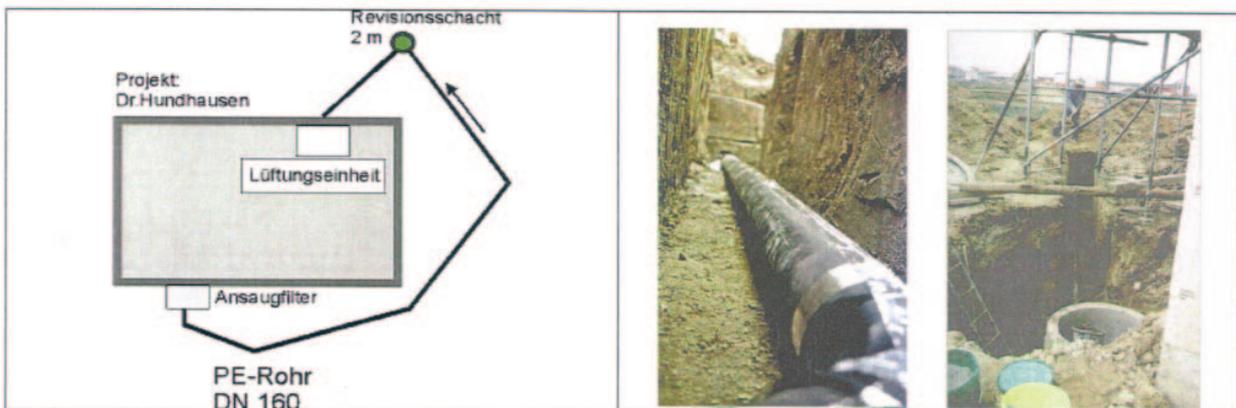
Süddeutschland

0,8

140

A L-EWT DETAILS:

Typ	Kanal-/ Rohr material	Nennweite Rohre/Kanäle [DN]	Gesamtanzahl Rohre/Kanäle	Rohr-Einzellänge [m]	bei Register: lichter Verlegeabstand [m]
Einrohr	PE-Rohr	160	1	25	-



Verlegtiefe [m] ³	Verlegart	Verlege-Gefälle [%]	Lage zum Gebäude	Kanalgeometrie
1,5 bis 2	Einrohr	2	um das Gebäude	Rohr

Grundwassertiefe [m] ⁴	Bodenart	Bodenüberdeckungsart ⁵
5	lehmiger Sand	Gras

A1 Technische Leistungsmerkmale

Max.Temp.-Spreizung [Δt] So/Wi ⁶	Absolutleistung [kW] So/Wi ⁷	Leistungszahl ε (kW _n /kW _{el}) ⁸	Jahreserträge [kWh] gesamt So/Wi ⁹
-/23	-/0,76	31	-/530

mittlere Arbeitszahl β primärenergiebezogen ¹⁰	Betriebsart/ Regelung	nachgeschaltete WRG	Außenluft direkt ansaugbar	Heizbetrieb/ Kühlbetrieb
So: - Wi: 1,4 (s.a. "Kommentare")	perm. Heizzeit Nachtabsenkung	Ja	Ja	Heizung: Ergänzung Kühlung/Entfeuchtung: Nein

Gemessen werden: flüchtige organische Verunreinigungen (MVOC), Phthalate (Weichmacher im PVC), biologische Verunreinigungen (Gesamtkeimzahl, selektive Untersuchung auf Legionella, Schimmelpilzsporen inkl. Differenzierung), partikelförmige Luftverunreinigungen (Schwebstaubanalyse, Partikelanzahl- und Größenverteilung; Nachweis lungengängiger mineralischer und organischer Fasern und Partikeln). Nach Abschluss aller Messkampagnen werden die Ergebnisse ausführlich dargestellt werden. Bisherige Veröffentlichungen aus anderen Quellen weisen ebenfalls alle auf eine allgemeine hygienische Unbedenklichkeit von L-EWT hin.

4.8 Standardisierte Datenblätter

Für die Auslegung von L-EWT existieren noch keine Normen und Verordnungen vergleichbar der DIN 1988 bei Trinkwasserinstallation oder der DIN 4701. Ein Grund ist sicherlich die bisherige mangelnde Systemverbreitung von L-EWT und die damit fehlende Motivation zur Erstellung einer normierten Auslegungsanleitung jeglicher Form. Das Hauptproblem besteht jedoch in der Systematisierung schon vorhandener und noch zu errichtender Anlagen. Im Gegensatz zu den oben genannten Bereichen der Technischen Gebäudeausrüstung sind die Einsatzweisen, Auslegungsparameter und Bauformen von L-EWT sehr unterschiedlich und erschweren einen Normierungsprozess. Durch den in den letzten Jahren vermehrten Einsatz von L-EWT besteht die dringende Notwendigkeit, nach Planungshinweisen und Leistungsvorhersagen. Eine Korrelation zwischen Entwurf, Leistungsvermögen und Kosten war bislang nur schwer zu erkennen. Daher wurden bereits bestehende Anlagen bewertet und miteinander verglichen, wobei versucht wurde, eine Standardisierung von L-EWT einzuleiten, um Planungssicherheit zu gewährleisten, die Kosten zu senken und die Leistungsfähigkeit zu optimieren [10].

A2. Kosten					
Gesamtkosten L-EWT (€)				Einzelkosten pro Meter L-EWT (€/m)	% Anteil des L-EWT am Gesamtpreisvolumen Anzahlkennzahl (n)
1775					
Kostenschlüssel (%)					Fördermittel und Art
Rohre	Erarbeiten	Verteilung	Sonstiges	70	
51	21	28	-		% an Gesamtkosten
A3. Weitere Details					
Hydraulischer Abgleich	Art / Lage des Filters	Kondensatabbildung	Art der Kondensatabbildung		
ja	Ansaugung	ja	Siphon im Reisschacht		
Sensordurchführungen vorhanden? Anordnung ist dadurch vollständige Filtration L-EWT möglich?		Hygienische Probleme	Besondere technische Maßnahmen / Details Ansaugkanal u. Zuleitung		
in Schacht		Nein	-		
A4. Auslegungsberechnung					
Auslegungsart/Modell/Prozessart Dachdringung der Berechnung durch Kosten			Decken sich die Leistungsgrößen mit den Betriebsanforderungen? Details bzw. Präzisierungen		
Heidi Uni-Siegen/Dr. Hundhausen			ja		
Hydraulischer		sehr gut			
A5. WEITERE VERGLEICHSKENNZAHLEN L-EWT					
Kennzahl K1 ¹⁾		Kennzahl K2 ²⁾		Kennzahl K3 ³⁾	
$K1 = K_{1,0} / Q_{max}$		$K2 = (Q_{max} - W_{max}) / I_{max}$		$K3 = K_{max} / Q_{max}$	
[m³/m³]		[m³/m³]		[m³/m³]	
6,04		So: - W: 16		2268	
B. GEBÄUDEDATEN					
Geschosse über Grund	Feuchterluftanteil (%) ¹⁾	Kühllast [W/m²] ²⁾	Heizlast [W/m²] ³⁾		
2		n.b.	16		
C. ALLGEMEINE KOMMENTARE					
<ul style="list-style-type: none"> Nur Heizbetrieb Frostfreihaltung gewährleistet: Niedrigste Temperatur hinter L-EWT 4,4°C (Februar 2001) Lüftungsanlage WRG-90-multi (Fa. Paul) Reduzierung der Heizgradstunden (74.000) um 20% (auf 58.000) Arbeitszahl (primärenergiebezogen) mit L-EWT und Wärmerückgewinnung: 4 					

Bild 21 Standardisiertes Datenblatt, Seite 2 (von 2)

Der Entscheidungsprozess für den Einsatz eines L-EWT soll erleichtert und die Ermittlung von Leistungsgrößen und Kosten für das jeweilige Bauvorhaben ermöglicht werden.

Auf Seite 27 ist ein erstes Beispiel für Kenndatenblätter aufgeführt.

Zur Zeit existieren etwa 50 Datenblätter, die im L-EWT-Planungsleitfaden veröffentlicht werden sollen. Eine Aufstockung dieses Datenbestandes wird angestrebt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Luft-/Erdwärmetauscher (L-EWT) finden sich bei Niedrigenergie- und Passivhäusern, sowie bei Nichtwohngebäuden, sofern eine Lüftungsanlage vorhanden ist. Sie werden bereits erfolgreich zur Luftvorwärmung und -kühlung eingesetzt und helfen somit, den Energiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäuden weiter zu reduzieren. Die Erarbeitung der Berechnungs- und Auslegungsgrundlagen ist zurzeit noch nicht abgeschlossen, wird aber mit Hochdruck betrieben. In einigen Jahren werden L-EWT zu den Standardelementen der raumluftechnischen Systemtechnik gehören. Mit dem Planungsleitfaden der Arbeitsgemeinschaft Solar des Forschungsministeriums Nordrhein-Westfalens wird hierzu ein wesentlicher Schritt zu einer technisch, ökonomisch wie ökologisch optimierten Systemauslegung beigetragen. Die hier vorliegende Kurzfassung des ersten Teils des Planungsleitfadens (für Wohngebäude) soll allen Interessierten einen Eindruck von der Technik, dem Nutzen und den Berechnungsmethoden vermitteln.



6 Anhang

6.1 Literatur

- [1] Zimmermann, M.; Handbuch der passiven Kühlung, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, Dübendorf 1999
- [2] Dibowski, G.; Oberflächennahe thermische Nutzung des Untergrundes durch horizontale Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT), OTTI Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, Freising 2001
- [3] DIN 1946: Raumlufttechnik - VDI-Lüftungsregeln, Berlin [u.a]: Beuth-Verlag, 1988
- [4] VDI 6022, Teil 1 – Hygienische Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen, VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Beuth Verlag 1997
- [5] <http://www.paul-lueftung.de>
- [6] Albers, K.-J.; Trümper, H.; Hain, K.; Erdwärmetauscher. Ergebnisbericht zum Forschungsauftrag BI5-800189-108 des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn, Stuttgart, IRB-Verlag, Dortmund, 1991
- [7] Dibowski, G.; Rittenhofer, K.; Über die Problematik der Bestimmung thermischer Erdreichparameter für die Projektierung von L-EWT, HLH, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure VDI, Ausgabe 5/2000, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf 2000
- [8] Sanner, B.; Erdgekoppelte Wärmepumpen, Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik, IZW-Berichte 2/92, Eggenstein-Leopoldshafen, November 1992
- [9] Oklahoma State University: Closed Loop/ Ground-Source Heat Pump Systems – Installation Guide. International Ground-Source Heat Pump Association, 1988
- [10] Jürgen Herkert; Entwicklung einer standardisierten Projektcharakteristik für Luft-/Erdwärmetauscher L-EWT, Diplomarbeit DLR (G. Dibowski), FB Versorgungstechnik, TG, FH Köln, 2001
- [11] Bine Projekt-Info 02/2000: Raumluftkonditionierung mit Erdwärmetauschern, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Mai 2000
- [12] <http://nesa1.uni-siegen.de/softlab/gaea.htm>
- An dieser Stelle sei noch auf die neue VDI-Richtlinie 4640, Teil 4, hingewiesen, die sich speziell den Grundlagen von L-EWT widmet:
- VDI- Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Energietechnik (GET), Beuth Verlag

6.2 Organisatorisches

Von dem vollständigen Team des L-EWT-Verbundprojektes sind die wesentlichen Teile des gesamten Planungsleitfadens entweder bereits erstellt worden, oder sie sind zurzeit in der Endbearbeitung (Stand: Januar 2002). Aus wem das Team besteht und welche Aufgabe zu erledigen waren oder noch sind, ist nachfolgend dargestellt:

Teil 1 und Teil 2 Systeme für Wohngebäude und Großanlagen



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Solare Energietechnik, Köln
Testanlage, Bau und Vermessung, Simulationen,
Planungsleitfaden, VDI-Richtlinie 4640-4, Projekt-
koordination, Dipl.-Ing. Gerd Dibowski



Wortmann & Scheerer,
Ingenieurbüro für Wärme- und Energietechnik, Bochum
Testanlage, Bau und Vermessung, Simulationen,
Planungsleitfaden, Dipl.-Ing. Ralph Wortmann



Solar-Institut Jülich SIJ
an der Fachhochschule Aachen
Testanlage, Bau und Vermessung, Planungsleitfa-
den, Dipl.-Ing. Klaus Rittenhofer, Dipl.-Ing. Kar-
sten Gabrysch (Teil 2, Benchmark)



Zibell, Willner & Partner,
Ingenieurgesellschaft für technische Gebäudeausrüs-
tung mbH, Köln, Berlin
Planungsleitfaden, Simulationen, VDI-Richtlinie
4640-4 Dipl.-Ing. Mirjam Borowietz

Speziell Teil 1 Systeme für Wohngebäude



Universität Gesamthochschule Siegen,
FG Bauphysik & Solarenergie
Simulationsprogramm GAEA.
Dr. Stephan Benkert

Speziell Teil 2, Große Systeme



Ruhr-Universität Bochum,
Geographisches Institut, AG Klimaforschung
Simulationsprogramm LEWT-Sim, Planungsleitfa-
den, Dr. Michael Bruse

Neben diesem Kernteam sind wir vielen Diplo-
manden dankbar, die Wesentliches und Interes-
santes zum Entstehen des Planungsleitfadens bei-
getragen haben wie Björn Kruse, Stephan Beisel,
Thomas Winkler insbesondere Michael Evers,
André Gerlach und Jürgen Herkert. Einen Dank
auch an Dr. J. Morhenne, Wuppertal, für seine
Vorschläge.

Bei Fragen oder Anregungen wenden Sie sich bitte
direkt an die AG-Solar: www.ag-solar.de

Wir möchten uns an dieser Stelle bei dem
Ministerium für Schule, Wissenschaft und For-
schung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSWF)
für die Förderung des Verbundprojektes L-EWT
im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW
bedanken.

6.3 L-EWT Auslegungsdiagramme

Nachfolgend sind einige weitere L-EWT Ausle-
gungsdiagramme zur Gewährleistung der Frost-
schutzfunktion für Wärmerückgewinnungseinhei-
ten bei Wohngebäuden dargestellt.

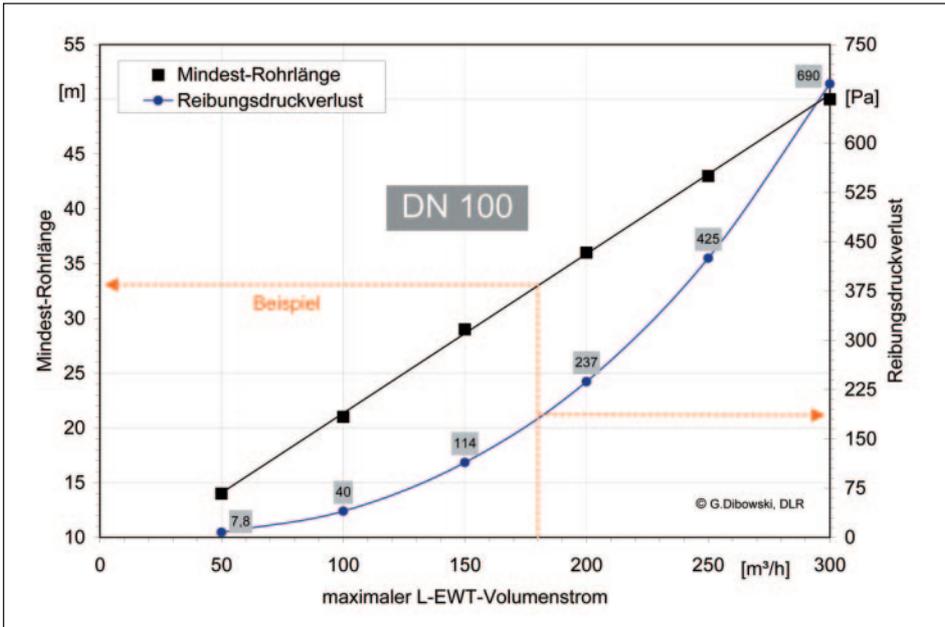


Bild 22 Frostschutzauslegung für Rohrdurchmesser DN 100

DN 100 max. Volumenstrom [m³/h]	Maximale Temperaturdifferenz [K]		Maximale thermische Leistung [kW]	Thermischer Ertrag [kWh]	
	Winter	Sommer		geregelt (B)	un-geregelt
50	14,74	11,11	0,25	334	234
100	14,34	11,13	0,48	640	437
150	14,49	11,36	0,73	965	652
200	14,40	11,39	0,97	1274	852
250	14,35	11,43	1,20	1583	1052
300	14,32	11,46	1,44	1893	1252

Tabelle 7 Basisergebnisse für Systeme mit dem Rohrdurchmesser DN 100

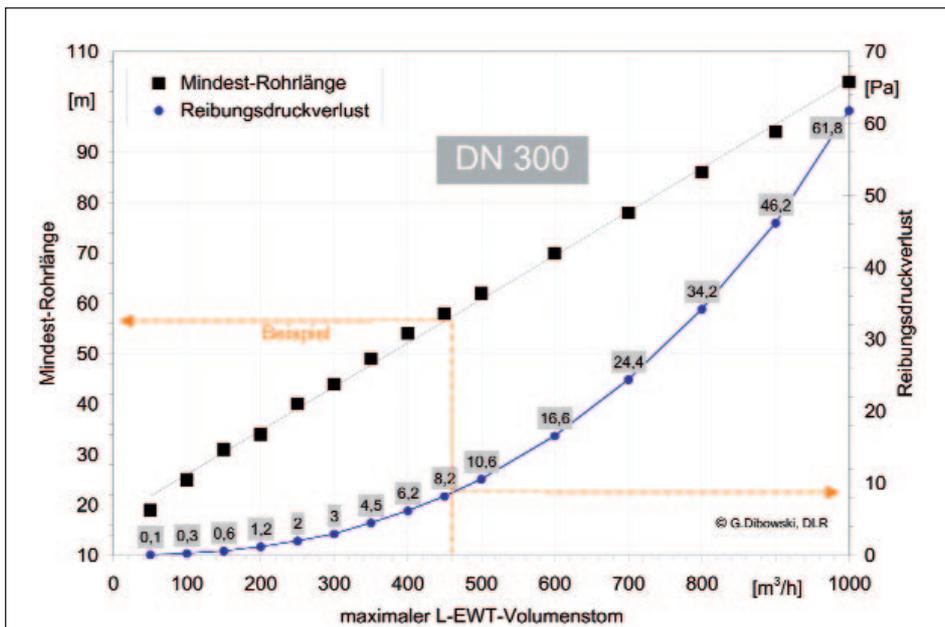


Bild 23 Frostschutzauslegung für Rohrdurchmesser DN 300

DN 300	Maximale Temperaturdifferenz [K]		Maximale thermische Leistung [kW]	Thermischer Ertrag [kWh]	
	Winter	Sommer		geregelt (B)	un-geregelt
	max. Volumenstrom [m ³ /h]				
50	14,66	10,57	0,25	338	245
100	14,56	10,75	0,49	660	468
150	14,75	11,06	0,74	993	693
200	14,33	10,92	0,96	1271	872
250	14,60	11,2	1,23	1611	1096
300	14,50	11,22	1,46	1909	1285
350	14,58	11,35	1,71	2231	1492
400	14,66	11,46	1,97	2555	1700
450	14,60	11,48	2,21	2854	1886
500	14,49	11,44	2,43	3139	2063
600	14,44	11,49	2,91	3737	2433
700	14,42	11,54	3,39	4335	2800
800	14,4	11,59	3,87	4935	3167
900	14,40	11,63	4,35	5535	3534
1000	14,55	11,76	4,88	6204	3953

Tabelle 8 Basisergebnisse für Systeme mit dem Rohrdurchmesser DN 300

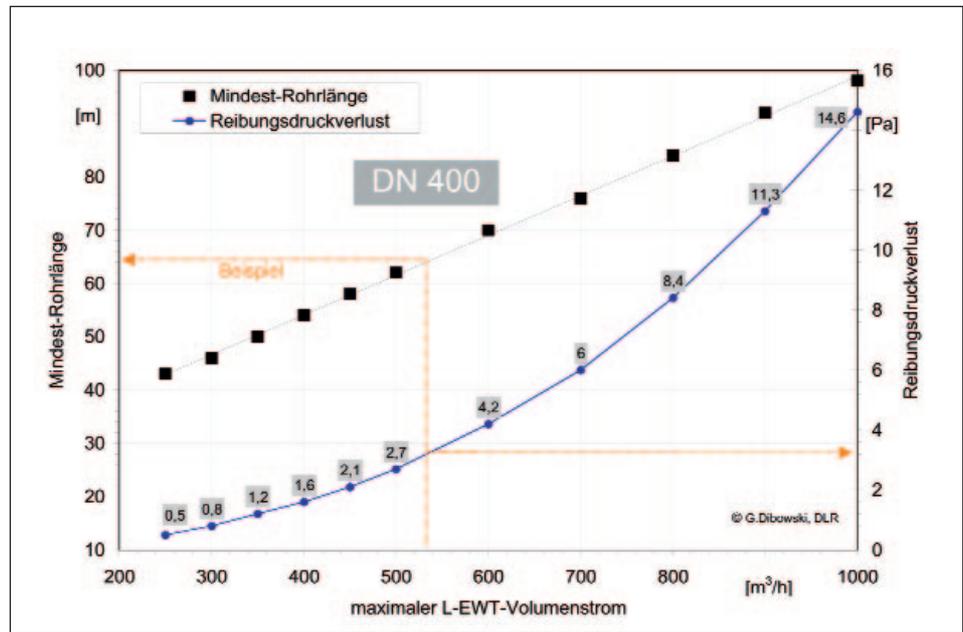


Bild 24 Frostschutzauslegung für Rohrdurchmesser DN 400

DN 400	Maximale		Maximale thermische Leistung [kW]	Thermischer	
	Temperaturdifferenz [K]			Ertrag [kWh]	
	max. Volumen- strom [m ³ /h]	Winter	Sommer	geregelt (B)	un- geregelt
250	14,75	11,1	1,24	1641	1135
300	14,55	11,06	1,47	1930	1320
350	14,55	11,14	1,71	2239	1519
400	14,47	11,14	1,94	2536	1709
450	14,57	11,27	2,2	2861	1916
500	14,52	11,28	2,44	3158	2104
600	14,57	11,4	2,93	3784	2498
700	14,44	11,39	3,39	4352	2845
800	14,5	11,5	3,9	4918	3235
900	14,6	11,6	4,4	5614	3628
1000	14,5	11,6	4,87	6181	3967

Tabelle 9 Basisergebnisse für Systeme mit dem Rohrdurchmesser DN 400

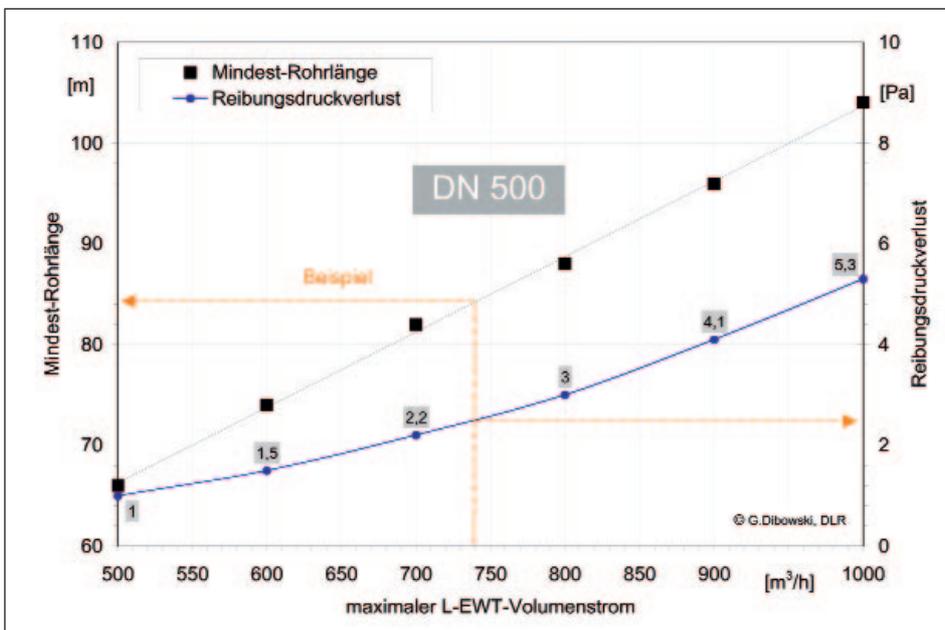


Bild 25 Frostschutzauslegung für Rohrdurchmesser DN 500

DN 500	Maximale		Maximale thermische Leistung [kW]	Thermischer	
	Temperaturdifferenz [K]			Ertrag [kWh]	
	max. Volumen- strom [m ³ /h]	Winter	Sommer	geregelt (B)	un- geregelt
500	14,53	11,2	2,44	3188	2150
600	14,6	11,33	2,94	3822	2552
700	14,7	11,45	3,45	4459	2955
800	14,6	11,45	3,91	5038	3310
900	14,6	11,56	4,42	5681	3712
1000	14,71	11,66	4,94	6327	4115

Tabelle 10 Basisergebnisse für Systeme mit dem Rohrdurchmesser DN 500