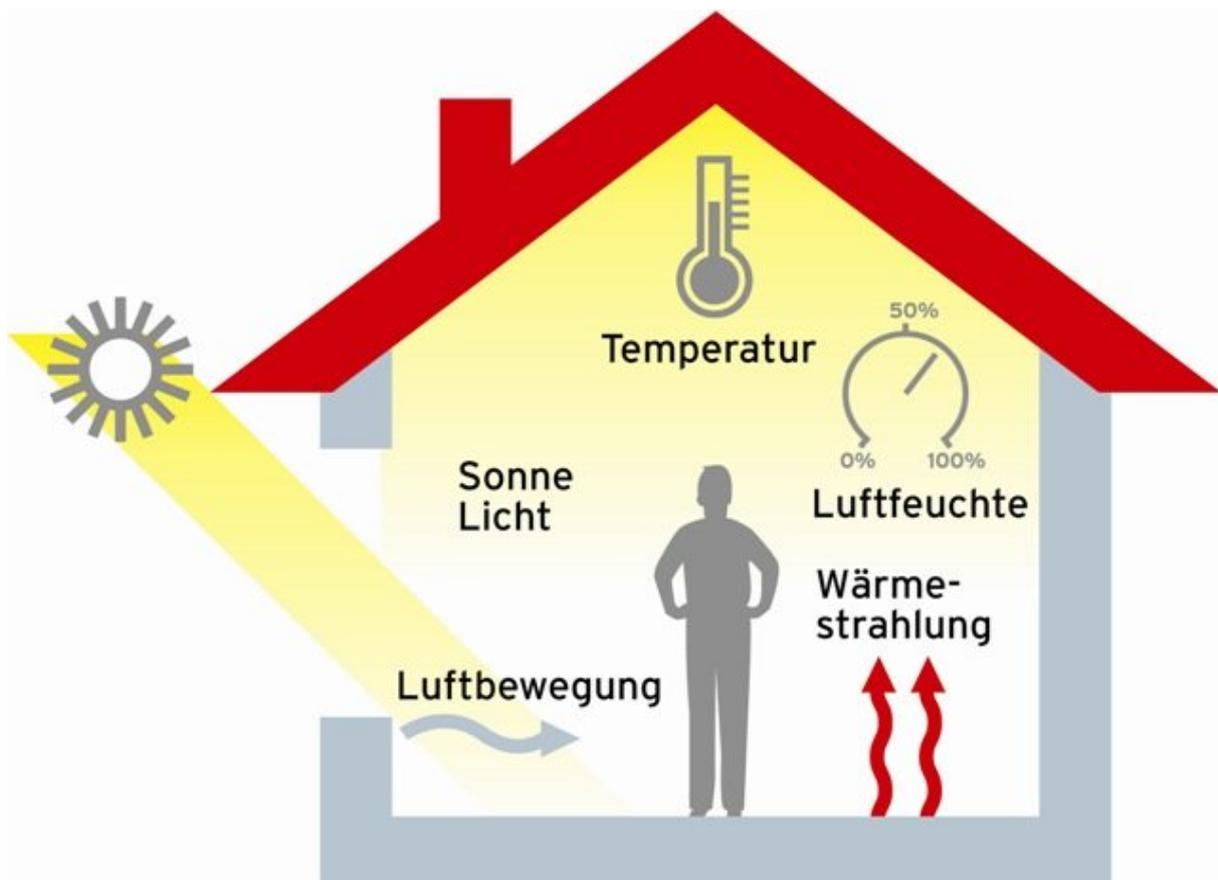


Elektrische Heizungsanlagen/ Wärmebedarf



Inhaltsverzeichnis

Allgemeines	3
Energiebedarf	3
Behaglichkeit	3
Raumtemperaturen	4
Berechnung des Energiebedarfs	4
Transmissionswärmeverluste	5
Normaußentemperatur	5
Norminnentemperatur	5
Abmessungen be- und unbeheizter Räume	5
Transmissionswärmeverlustkoeffizient	6
Wärmebrücken	7
Transmissionswärmeverlust	8
Lüftungswärmeverluste	8
Räume mit unterbrochenem Heizbetrieb	10
Warmwasserbedarf	10
Gebäudeenergiebedarf	10
Heizungssysteme	11
Elektrische Direktheizung	11
Nachtspeicherheizung	11
Nachtspeicherheizung Bauart I und II	11
Nachtspeicherheizung Bauart III	12
Wärmepumpen	13
Funktionsprinzip von Wärmepumpen	13
Leistungszahl	13
Jahresarbeitszahl	14
Betriebsarten von Wärmepumpen	14
Auslegung von Wärmepumpen	15
Wärmequellen für Wärmepumpen	16
Sole (Erdreich)	16
Wasser (Grundwasser)	17
Luft	18
Stichwortverzeichnis	19
Anhang	20
Anhang A Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit	20
Anhang B Normaußentemperaturen	22

1. Allgemeines

Jedes Gebäude welches im Inneren höhere Temperaturen als außen besitzt, hat Wärmeverluste durch die Außenhülle. Um im Innenbereich die Temperatur zu halten, muss Energie zugeführt werden. Diese Energiezufuhr wird im allgemeinen Sprachgebrauch als Heizen bezeichnet. Aber auch die Warmwasserbereitung soll in diesem Script mit behandelt werden. Es werden zu Beginn die Probleme des Energieverlustes behandelt. In diesem Zusammenhang wird auch die Berechnung dieser Verluste mit Beispielen begleitet.

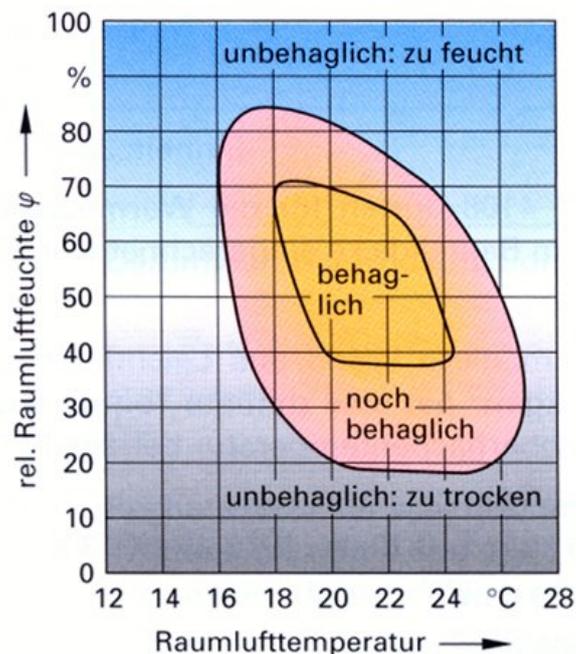
Nach der Energieeinsparverordnung gibt es spezielle Vorschriften, wie diese Verluste eingedämmt werden können. Auch dafür werden Beispiele vorgestellt wie auch Probleme für den Bauhandwerker vor Ort.

In der Folge werden dann verschiedene Systeme von elektrischen Heizungen und deren Planungen behandelt.

2. Energiebedarf

2.1. Behaglichkeit

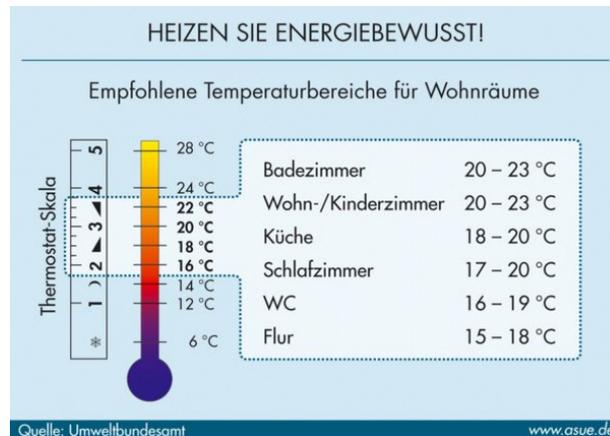
Von Behaglichkeit spricht man allgemein, wenn die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit sich in einem Verhältnis befinden, welches für den Menschen als angenehm empfunden wird. Dabei wird zu trockene Luft ebenso unbehaglich empfunden wie auch zu feuchte Luft.



Aus dem Diagramm ist auch zu ersehen, dass feuchtere Luft (60-70%) auch bei niedrigeren Temperaturen (18-20°C) noch als behaglich empfunden wird.

2.2. Raumtemperaturen

Als Grundlage für die Berechnung des Energiebedarfs von Räumen und Gebäuden dienen empfohlene Raumtemperaturen für Räume je nach Nutzung.



Nach DIN EN 12831 werden aber teilweise abweichende Temperaturen empfohlen, die teils erheblich höher liegen als verschiedene andere Quellen. Dabei sollte immer beachtet werden, dass 1K niedrigere Temperatur ca. 6% Energieeinsparung bedeuten.

lfd. Nr.	Raumart	Norm-Innentemperatur $\theta_{i,int}$ [°C]
1	Wohn- und Schlafräume	+ 20
2	Büroräume, Sitzungszimmer, Ausstellungsräume, Haupttreppenräume, Schalterhallen	+ 20
3	Hotelzimmer	+ 20
4	Verkaufsräume und Läden allgemein	+ 20
5	Unterrichtsräume allgemein	+ 20
6	Theater- und Konzerträume	+ 20
7	Bade- und Duschräume, Bäder, Umkleieräume, Untersuchungszimmer (generell jede Nutzung für den unbedeckten Bereich)	+ 24
8	WC-Räume	+ 20
9	Beheizte Nebenräume (Flure, Treppenhäuser)	+ 15
10	Unbeheizte Nebenräume (Keller, Treppenhäuser, Abstellräume) . siehe Tab. 4 -	+ 10

Abbildung 2: Norm-Innentemperatur

Quelle: Nationaler Anhang Tabelle 2 im Beiblatt zur DIN EN 12831

2.3. Berechnung des Energiebedarfs

Grundsätzlich hat jedes Gebäude 2 Arten von Energieverlusten. Transmissionswärmeverluste entstehen durch die Gebäudehülle. Lüftungswärmeverluste sind zwangsläufig durch Türen und Fenster, um die Luftqualität im Inneren zu gewährleisten.

Nach DIN EN 12831 werden folgende Symbole und Begriffe verwendet.

Zeichen		Bedeutung	Einheit
alt	neu		
k	U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/m ² K
Q	Φ	Wärmestrom	W
θ	θ	Temperatur	°C
β	n	Luftwechsel	h ⁻¹

2.3.1. Transmissionswärmeverluste

2.3.1.1. Normaußentemperatur

Transmissionswärmeverluste sind abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur. Die Normaußentemperatur ist die Temperatur im Jahresmittel abhängig von der geografischen Lage. Für die weiteren Berechnungen sind die tiefsten Temperaturen wichtig, die in den letzten 10 Jahren an zwei aufeinander folgenden Tagen ermittelt wurden. Diese sind in DIN EN 12831 Beiblatt 1 aufgelistet.

Ort	PLZ	Klimazonen nach DIN 4710	Norm-Außentemperatur	Jahresmittel der Außentemperatur
Sieglar	53844	5	-10	9,7
Sigmaringen	72488	14	-14	7,3
Sindelfingen	71063*	6	-14	7,2
Soest, Westf.	59494	5	-12	9,7
Stolberg, Rheinl.	52222*	5	-12	9,7
Stralsund	18437*	2	-10	8,4
Straubing	94315	11	-18	3,0
Stuttgart	70173*	12	-12	10,6
Suhl	98527*	10	-16	6,4
Tölz, Bad	83646	15	-18	7,0
Torgau	04860	4	-16	8,7
Trier	54290*	7	-10	8,6
Tübingen	72070*	6	-16	7,2
Tuttlingen	78532	11	-16	3,0

Im Anhang finden Sie weitere Daten.

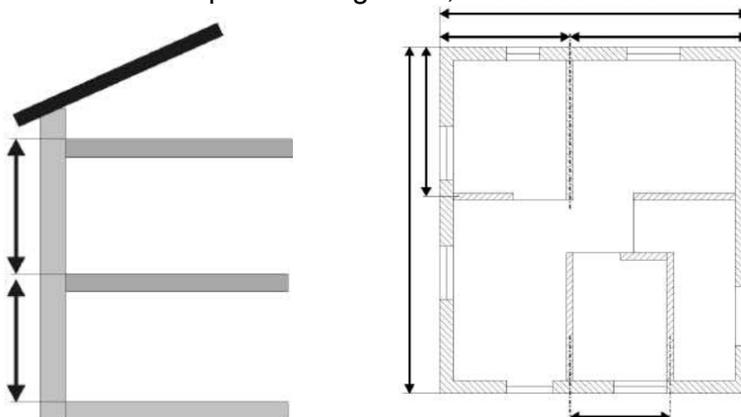
2.3.1.2. Norminnentemperatur

Im nächsten Schritt wird die Innentemperatur der zu berechnenden Räume ermittelt. Dabei handelt es sich um empfohlene Werte. Außerdem wird zwischen beheizten und nicht beheizten Räumen unterschieden. (Siehe 2.2)

2.3.1.3. Abmessungen be- und unbeheizter Räume

Für die geometrischen Abmessungen der Räume werden die Außenkanten der Wände herangezogen.

In den Bildern wird beispielhaft vorgestellt, wie diese Werte zu ermitteln sind.



2.3.1.4. Transmissionswärmeverlustkoeffizient

Die Berechnung des Transmissionswärmeverlustkoeffizienten ist aufwendiger. Dabei werden die zuvor ermittelten geometrischen Abmessungen der Wände und Decken herangezogen. Weiter werden die bautechnischen Materialien, Dämmstoffe sowie deren Dicke benötigt.

Als erstes soll erläutert werden, wie der Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt wird. Dazu muss die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes ermittelt werden. Die **Wärmeleitfähigkeit** in W/(mK) gibt an, welche Wärmemenge in einer Stunde durch einen Quadratmeter einer 1 m dicken Baustoffschicht hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Oberflächen 1 Kelvin beträgt.

Beispiel: Eine Ziegelklinkerwand mit 36cm Stärke, je 3cm Kalkzementputz innen und außen sowie einer Fläche von 8m² soll berechnet werden. Die Innentemperatur soll für ein Wohnzimmer gewählt werden, der geografische Standort soll Aachen sein.

Laut Tabelle im Anhang kann eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda=0,81\text{W/mK}$ (Ziegel) und $\lambda=0,87\text{W/mK}$ (Putz) abgelesen werden.

Zur Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten kann nun folgende Formel verwendet werden:

$$\frac{1}{U_k} = \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3}$$

Eingesetzt ergibt sich:

$$\frac{1}{U_k} = \frac{0,36\text{m}}{0,81\text{W/mK}} + \frac{0,03\text{m}}{0,87\text{W/mK}} + \frac{0,03\text{m}}{0,87\text{W/mK}}$$

Als Erweiterung muss noch beachtet werden, wie die Energie (Wärme) an die Umgebung weitergegeben wird. Beim Übergang von einem Medium in ein anderes Medium gibt es immer einen Wärmeübergangswiderstand. Es ist auch ein Unterschied, ob beide Wandseiten an ruhige Innenräume angrenzen, oder eine Seite eine windreiche Außenwand ist. Deshalb sind diese weiteren Korrekturfaktoren (Wärmeübergangswiderstand) einzu-beziehen.

Werte für Wärmeübergangswiderstände (in m²K/W nach DIN EN ISO 6946):

	Richtung des Wärmestromes		
	aufwärts (Decke)	Horizontal (Wand)	Abwärts (Boden)
R _{si}	0,10	0,13	0,17
R _{se}	0,04	0,04	0,04

R_{si} – innerer Wärmeübergangswiderstand (internal surface)

R_{se} – äußerer Wärmeübergangswiderstand (external surface)

Damit muss obige Formel ergänzt werden:

$$\frac{1}{U_k} = R_{si} + R_{se} + \frac{\sigma_1}{\lambda_1} + \frac{\sigma_2}{\lambda_2} + \frac{\sigma_3}{\lambda_3}$$

Somit ergibt sich eingesetzt:

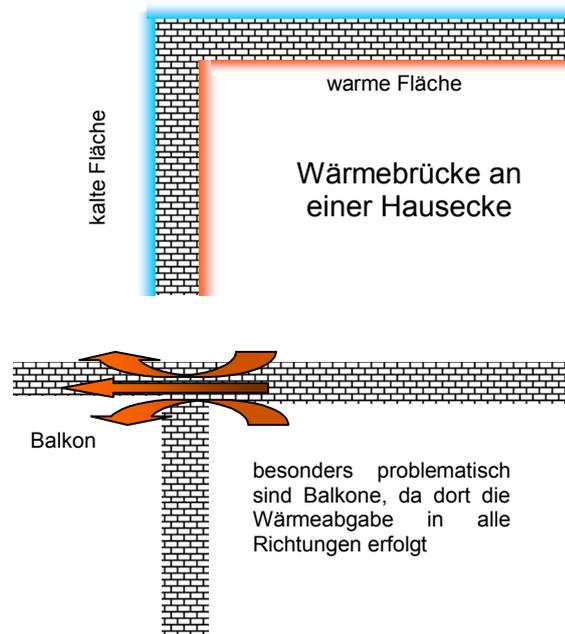
$$\frac{1}{U_k} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{ W} + 0,04 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{ W} + \frac{0,36 \text{ m}}{0,81 \text{ W} / \text{ mK}} + \frac{0,03 \text{ m}}{0,87 \text{ W} / \text{ mK}} + \frac{0,03 \text{ m}}{0,87 \text{ W} / \text{ mK}}$$

Als U-Wert erhält man dann für diese Wand 1,466 W/m²K.

Zusatzfrage wie verändert sich der U-Wert, wenn nun die Wand außen eine zusätzliche Dämmung mit 10cm Polystyrol erhält? Lösung: 0,314 W/m²K

2.3.1.4.1 Wärmebrücken

Wärmebrücken entstehen, wenn in einer Wärmedämmung Lücken existieren. Aber auch Befestigungen, die durch eine Isolation hindurchreichen, bilden Wärmebrücken. Meist nicht bedacht werden aber baulich (geometrisch) bedingte Wärmebrücken.



Aus diesem Grund werden Wärmebrücken über ihre Länge mit eingerechnet, oder es wird ein Zuschlag f_c auf den U-Wert aufgesetzt. Dabei wird in Deutschland ein Zuschlag von $0,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ angewendet, während europaweit Werte von $0 \dots 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ zu finden sind.

Somit ergibt sich für unsere Wand ein neuer U-Wert:

$$U = U_k + f_c$$

$$U = 1,466 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K} + 0,1 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ K}$$

von 1,566 W/m²K.

Für fertige Bauteile wie Türen und Fenster kann der U-Wert vom Hersteller erfragt werden.

Als letzter Schritt kann nun der eigentliche Transmissionswärmeverlustkoeffizient ermittelt werden.

$$H_T = A \cdot U$$

$$H_T = 8 \text{ m}^2 \cdot 1,566 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

Somit ergibt sich für die Wand ein Transmissionswärmeverlustkoeffizient von 12,528W/K.

Anders ausgedrückt bedeutet dieser Wert, dass die gesamte Wand ca. 12,5W an Energie nach außen verliert, wenn zwischen der Innen- und Außentemperatur ein Unterschied von 1K besteht.

Diese Berechnung ist für jede Wand zu wiederholen. Dabei müssen auch Wände berechnet werden, die an Nachbarräume mit niedrigerer Temperatur angrenzen.

2.3.1.5. Transmissionswärmeverlust

Die eigentlichen Transmissionswärmeverluste werden ermittelt, indem zusätzlich die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur mit einbezogen wird.

$$\Phi_T = H_T \cdot (\Theta_{\text{int}} - \Theta_e)$$

Θ_{int} – Innentemperatur

Θ_e – Außentemperatur

Als Innentemperatur kann laut Tabelle 20°C abgelesen werden. Die Normaußentemperatur ist laut Anhang -12°C.

Somit ergibt sich eingesetzt:

$$\Phi_T = 12,528 \text{ W / K} \cdot (20 - (-12)) \text{ K}$$

Nun erhalten wir 400,896W als Transmissionswärmeverlust. Diese Heizleistung muss bei -12°C Außentemperatur zur Verfügung stehen, um die Wärmeverluste durch die Außenwand auszugleichen.

Nicht vorgestellt wird jetzt, wie die Transmissionswärmeverluste zum Erdreich ermittelt werden.

2.3.2. Lüftungswärmeverluste

Lüftungswärmeverluste entstehen durch freie Lüftung (Türen und Fenster) und durch mechanische Lüftung durch Lüftungsanlagen. Beide Lüftungsarten müssen für sich betrachtet werden.

Aus hygienischen Gründen ist ein bestimmter Luftwechsel notwendig und in DIN EN 12831 Tabelle 5 NA vorgeschrieben.

Raumart	Mindestluftwechsel n_{min} in h^{-1}
Bewohnter Raum (Standardfall)	0,5
Küche > 20m ³	0,5
Badezimmer mit Fenster (Badezimmer ohne Fenster sollten mit Lüftungsanlage gerechnet werden)	1,5
Büroraum	1,0
Küche ≤ 20m ³	1,0
Besprechungsraum	2,0
Schulzimmer	2,0

Für die einfache Weiterberechnung soll für die Infiltration (freie Lüftung) nur die Mindestluftwechselrate verwendet werden. Nach DIN EN 12831 ist ein Gebäude spezifischer Luftwechsel zu berechnen. Dieser Wert ist mit dem Mindestluftwechsel zu vergleichen und mit dem höheren Wert ist weiter zu rechnen.

Der Mindestvolumenstrom errechnet sich aus:

$$V_{\min} = n_{\min} \cdot V_R$$

n_{\min} – Mindestluftwechsel [h^{-1}]
 V_R – Raumvolumen [m^3]

Bei mechanischen Lüftungsanlagen wird zwischen zwei verschiedenen Systemen unterschieden - Systeme mit Abluftüberschuss und mit Zuluftüberschuss.

Auf die Berechnungsverfahren für mechanische Lüftungsanlagen soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese sehr komplex sind. Rechnet man mit dem reinen Volumenstrom der Lüftungen, rechnet man mit ungünstigen Werten für die thermischen Verluste. Diese Werte liegen auf der „positiven“ Seite der Fehler und erhöhen damit den thermisch wirksamen Volumenstrom. Der thermisch wirksame Volumenstrom ist die Luftmenge, die stündlich ausgetauscht wird und aufgeheizt werden muss.

Der thermisch wirksame Volumenstrom wird danach berechnet aus:

$$V_{therm} = V_{inf} + V_{su} \cdot f_{V,su} + V_{mech,inf} \cdot f_{V,mech,inf}$$

- V_{therm} - thermisch wirksamer Volumenstrom
- V_{inf} - Verlustvolumenstrom durch Infiltration (freie Lüftung)
- V_{su} - mechanischer Zuluftvolumenstrom mit
- $f_{V,su}$ - Temperaturkorrektur
- $V_{mech,inf}$ - Überschuss Abluftvolumenstrom mit
- $f_{V,mech,inf}$ - Temperaturkorrekturfaktor (=1,00, wenn $V_{mech,inf}$ als Außenluft einströmt)

Wichtig der thermisch wirksame Volumenstrom muss mindestens gleich der hygienisch notwendigen Luftwechselrate sein! Aus diesem Grund wird im Folgenden nur über die minimale Luftwechselrate weiter gerechnet.

Die gesamten Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus:

$$\Phi_{Vj} = 0,34 \frac{Wh}{m^3 K} \cdot V_{therm} \cdot (g_{int} - g_e)$$

($0,34Wh/m^3K = c_p \cdot \rho$)

Beispiel: Ein Raum hat ein Raumvolumen von $45m^3$ und wird als Wohnraum genutzt. Die geografischen Daten sind die gleichen wie im obigen Beispiel.

Somit ergibt sich eingesetzt:

$$\Phi_{Vj} = 0,34 \frac{Wh}{m^3 K} \cdot 45m^3 \cdot 0,5h^{-1} \cdot (20 - (-12))K$$

Hieraus ergeben sich Lüftungswärmeverluste von 244,8W.

An der Höhe dieser Verluste ist leicht zu erkennen, dass mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Zukunft unausweichlich sind, wenn aus Umweltschutzgründen noch mehr an Energieeinsparung gedacht wird.



2.3.3. Räume mit unterbrochenem Heizbetrieb

Bei Räumen mit zeitlich unterbrochenem Heizbetrieb (Nachtabsenkung) muss der zusätzliche Heizbedarf in der Wiederaufheizphase berechnet werden. Die Absenckphasen müssen mit dem Bauherren abgesprochen werden. In diesem Script wird diese Berechnung nicht weiter berücksichtigt.

2.3.4. Warmwasserbedarf

Die Warmwasserbereitung lässt sich direkt mit Durchlauferhitzern erzeugen oder den bedarf deckend in Speichern bereitstellen.

Für die Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs wird DIN 4708 angewendet. Diese arbeitet mit einer Leistungskennzahl. Dieses Verfahren soll hier nicht weiter behandelt werden.

Die Firma Euronom beschreibt in der Planungshilfe für Wärmepumpen einen Leistungsbedarf von 0,2kW/Person für die vereinfachte Berechnung.

2.3.5. Gebäudeenergiebedarf / Heizlast

Die gesamten Wärmeverluste eines Raumes sind die Summe aller Wärmeverluste.

$$\Phi_{HL} = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_{RH}$$

Φ_{HL} - Heizlast [W]

Φ_{HT} - Transmissionswärmeverlust

Φ_V - Lüftungswärmeverlust

Φ_{RH} - zusätzliche Heizleistung bei unterbrochenem Heizbetrieb

Für das vorangegangene Beispiel ergibt sich dann ein gesamter Energiebedarf:

$$\Phi_{HL} = 400,896W + 244,8W$$

645,696W an Heizleistung müssen für diesen Raum demnach bereitgestellt werden, um bei niedrigen Außentemperaturen (-12°C) die Temperaturverluste auszugleichen. Wird es noch kälter, ist mit dieser Heizleistung die Norminnentemperatur nicht zu halten.

3. Heizungssysteme

3.1. Elektrische Direktheizung

Die elektrische Direktheizung wird nur für kleine Bereiche eingesetzt, die nicht ständig beheizt werden müssen (Zusatzheizung). Durch die Stromkosten wäre alles andere auch wirtschaftlicher Unsinn. Die Energieeinsparverordnung verbietet mittlerweile auch diese Form der Heizung als alleinige Heizung.



Quelle: Heller

3.2. Nachtspeicherheizung

Die Nachtspeicherheizung nutzt den deutlich günstigeren Nachtstrom. Mit dem Nachtstrom wird nachts ein Speicherelement aufgeheizt und am Tage die dort gespeicherte Energie an den Raum abgegeben. Eingebracht wurden diese Heizungen massenweise in den 60er Jahren, um den nachts ausreichend zur Verfügung stehenden Nachtstrom (Wärme Kraftwerke können nicht einfach für ein paar Stunden runter gefahren werden) sinnvoll zu nutzen.

Ein allgemeiner Nachteil der Nachtspeicherheizungen ist die Laderegulung, die nach dem aktuellen Tagesbedarf die Nachladezeit für den nächsten Tag bestimmt. Somit kann bei plötzlichem Temperaturabfall zu wenig Wärme gespeichert sein und es muss mit teurem Tagtarif direkt geheizt werden.

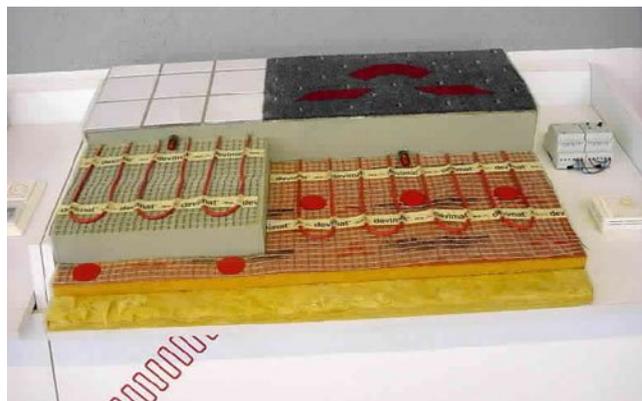
Im Zusammenhang mit der CO₂-Einsparung werden diese Heizungen nun auf den Prüfstand gestellt und werden immer mehr unattraktiv (Stilllegung bis 2019).

Ältere Nachtspeicheröfen sind außerdem problematisch, da in diesen der krebserregende Stoff Asbest verwendet wurde. Eine Entsorgung über Spezialfirmen ist dadurch zwingend erforderlich.

Anhand ihrer Bauart werden Nachtspeicherheizungen weiter unterschieden.

3.2.1. Nachtspeicherheizung Bauart I und II

Diese Bauarten werden über Nacht aufgeladen und geben die gespeicherte Wärme gleichmäßig wieder ab. Dabei wird aber ein großer Teil bereits morgens abgegeben. Dies führt morgens meist zu einer Überheizung und abends zu einer Temperaturabsenkung. Anzutreffende Bauformen sind z.B. Fußbodenspeicherheizungen



Die Anschlussleistung wird ermittelt aus:

$$P_{An} = f_{I;II} \cdot \frac{\Phi_{HL}}{3600}$$

P_{An} - Anschlussleistung [W]
 Φ_{HL} - Heizlast
 $f_{I;II}$ - Faktor für Bauart I und II
 t_{Lmax} - maximale Ladezeit
 et - Temperatureinschränkungsfaktor (0,5-1)

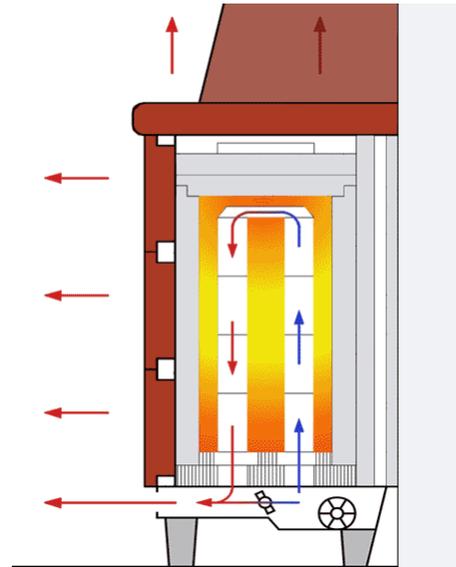
mit:

$$f_{I;II} = \frac{24}{t_{Lmax}} \cdot et$$

3.2.2. Nachtspeicherheizung Bauart III

Bei dieser Bauart wird nur ein kleiner Teil (ca. 15%) der gespeicherten Energie direkt über die Oberfläche abgegeben. Der Hauptteil wird bei Bedarf über einen Lüfter in den Raum geblasen. An den Austrittsöffnungen können dabei sehr hohe Temperaturen entstehen (über 70°C).

Durch die Luftströmung wird außerdem auch im Raum befindlicher Staub umhergewirbelt, wodurch für Allergiker Probleme entstehen. Es ist aber ein sehr bedarfsabhängiges Heizen möglich.



Als Wärmespeicher werden im Innern Keramikformsteine (meist aus Magnesit) verwendet. Diese werden auf 600-700°C erwärmt. Um die unregelmäßige Wärmeabgabe an die Umgebung zu verhindern, sind diese Steine von einer Isolierung umgeben.



Für die Dimensionierung der Heizung ist die vom Verteilungsnetzbetreiber angegebene Ladezeit zu beachten. Diese liegt vorrangig in den Nachtstunden. Aber auch am Tage stehen in der Regel 2 Stunden zum Nachladen zur Verfügung. Weiter wird die Benutzungszeit mit eingerechnet und die Vorheizzeit. Die Vorheizzeit ist bauartbedingt und ist eine Folge der Abstrahlung vom Gehäuse.

$$P_{An} = f_{III} \cdot \frac{\Phi_{HL}}{3600}$$

$$f_{III} = \frac{t_V + t_B}{t_{Lmax}} \cdot \sigma$$

t_V - Vorheizzeit
 t_B - Benutzungszeit
 t_{Lmax} - maximale Ladezeit

σ ist ein Korrekturfaktor für das Heizverhalten, wenn die Benutzung nicht direkt nach Ende der Aufladung beginnt.

2h nach Ladeende	1,2
4h nach Ladeende	1,33
6h nach Ladeende	1,45
8h nach Ladeende	1,55
10h nach Ladeende	1,68

3.3. Wärmepumpen

3.3.1. Funktionsprinzip von Wärmepumpen

Wärmepumpen sind meist elektrisch betriebene Heizungen, die ca. $\frac{3}{4}$ der Heizenergie aus der Umwelt gewinnen.

Im Prinzip einfach

- » 1 Ein heruntergekühltes, flüssiges Kältemittel wird zum Wärmetauscher (Verdampfer) der Wärmepumpe geführt.
 Durch das Temperaturgefälle nimmt es Energie aus der Umwelt auf. Das Kältemittel geht dabei in den gasförmigen Zustand über.
- » 2 Im Verdichter wird das gasförmige Kältemittel zusammengepresst. Durch die Druckerhöhung erfolgt eine Temperaturerhöhung.
- » 3 Ein zweiter Wärmetauscher (Verflüssiger) transportiert diese Wärme in das Heizsystem, das Kältemittel wird wieder verflüssigt und kühlt sich ab.
- » 4 Der Kältemitteldruck wird im Expansionsventil reduziert. Der Prozess beginnt von Neuem.

Quelle: Stiebel Eltron

3.3.2. Leistungszahl

Abhängig von der Temperatur der Wärmequelle ändert sich die Leistungszahl der Wärmepumpe. Sie ist das Verhältnis von Heizleistung der Wärmepumpe und Antriebsleistung. Bei einer Leistungszahl von 1 arbeitet die Wärmepumpe im Prinzip als teure Elektrodirektheizung. Für die Leistungszahl wird auch der Begriff COP verwendet.

$$\varepsilon_{WP} = \frac{Q_{WP}}{P}$$

3.3.3. Jahresarbeitszahl

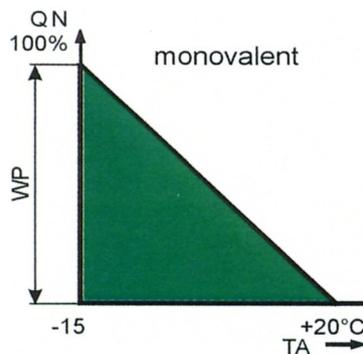
Die Jahresarbeitszahl gibt den „Wirkungsgrad“ der Wärmepumpe über das ganze Jahr an. Sie ist der Quotient aus nutzbarer Wärme und zugeführter Energie.

$$\beta = \frac{W_{Nutz}}{W_{el}}$$

Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Heizungsvorlauftemperatur ist, desto größer ist die Jahresarbeitszahl. Daraus ergibt sich, dass Wärmepumpen immer mit Heizungsanlagen mit geringen Vorlauftemperaturen (Fußbodenheizung, Deckenheizung o.ä.) kombiniert werden sollten.

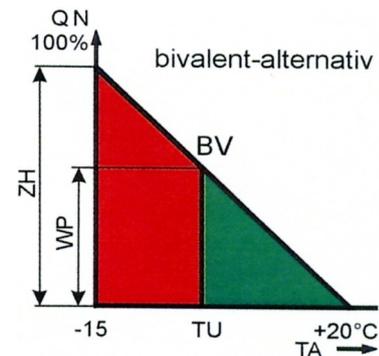
3.3.4. Betriebsarten von Wärmepumpen

Je nach Wärmequelle kann die Wärmepumpe den gesamten Energiebedarf abdecken oder es muss zusätzlich Energie bei geringen Außentemperaturen aufgewendet werden.

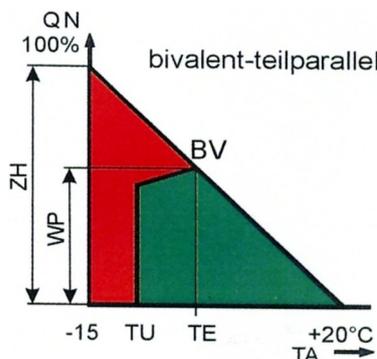


In dieser Betriebsart wird die gesamte Heizleistung von der Wärmepumpe aufgebracht. Dies ist ein typischer Einsatz von Sole-Wasser-Wärmepumpen. (max. 60°C Vorlauftemperatur)

In dieser Betriebsart arbeitet die Wärmepumpe bis zu einer festgelegten Tiefsstemperatur. Danach schaltet sich die Wärmepumpe ab und eine andere Heizung übernimmt die Heizung. Als Alternative kann eine noch vorhandene Öl oder Gasheizung zum Einsatz kommen.

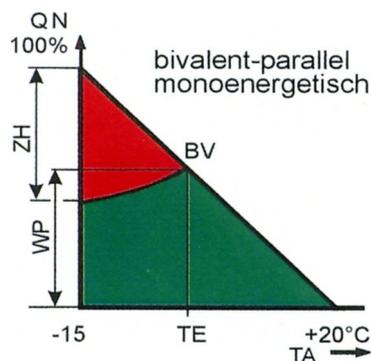


Bei dieser Betriebsart liefert die Wärmepumpe bis zu einer festgelegten Temperatur die Wärmeenergie, darunter schaltet sich eine andere Energiequelle zu. Bei einer zweiten festgelegten tieferen Temperatur übernimmt die zweite Wärmequelle die gesamte Heizleistung. Diese Betriebsart kommt heute nur noch selten zum Einsatz, da aktuelle Wärmepumpen bis in den Minusbereich arbeiten.



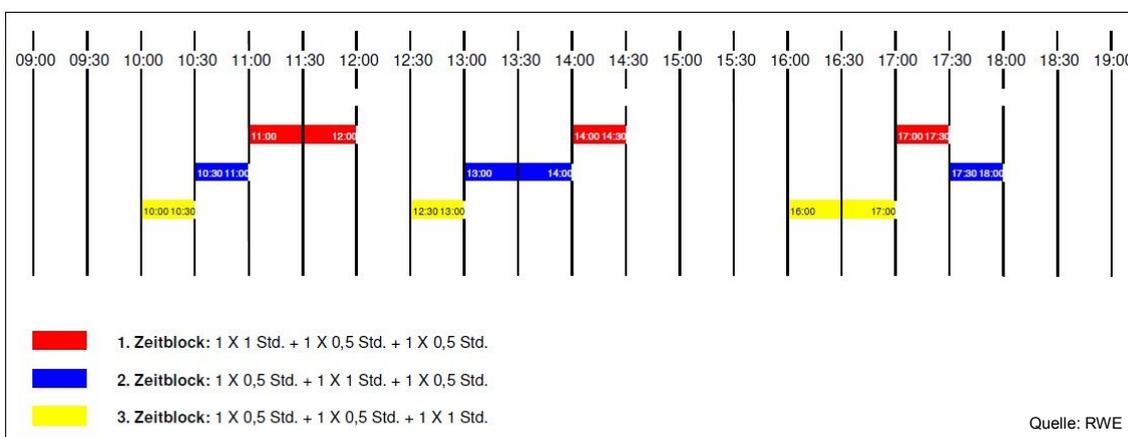
Elektrische Heizungsanlagen

Bis zu einer festgelegten Temperatur wird bei dieser Betriebsart die Heizung von der Wärmepumpe übernommen und darunter ein zusätzlicher Wärmeerzeuger zugeschaltet. Dann arbeiten beide Wärmeerzeuger parallel. Diese Betriebsart wird heute häufig bei Luft-Wasser-Wärmepumpen angewandt. Durch den hohen Wärmepumpenanteil ist die Jahresarbeitszahl hoch.



3.3.5. Auslegung von Wärmepumpen

Viele Energieversorger haben einen Sondertarif für Wärmepumpen. Für Spitzenlastzeiten behalten sie sich aber Abschaltzeiten (Sperrzeiten) vor. Diese können wie im Beispiel von RWE ca. 2 Stunden pro Tag und mehr betragen.



Beispiele:

- Anlage 1 (Gebiet A) wird dem 2. Zeitblock zugeordnet:
 → Die Abschaltung erfolgt zwischen 10:30 – 11:00 Uhr, 13:00 – 14:00 Uhr und 17:30 – 18:00 Uhr.
- Anlage 2 (Gebiet A) wird dem 3. Zeitblock zugeordnet:
 → Die Abschaltung erfolgt zwischen 10:00 – 10:30 Uhr, 12:30 – 13:00 Uhr und 16:00 – 17:00 Uhr.
- Anlage 3 (Gebiet B) wird dem dem 3. Zeitblock zugeordnet:
 → Die Abschaltung erfolgt zwischen 10:00 – 10:30 Uhr, 12:30 – 13:00 Uhr und 16:00 – 17:00 Uhr.

Bei der Auslegung muss diese Abschaltzeit mit berücksichtigt werden. Je nach Dauer der Sperrzeit muss ein Faktor einbezogen werden.

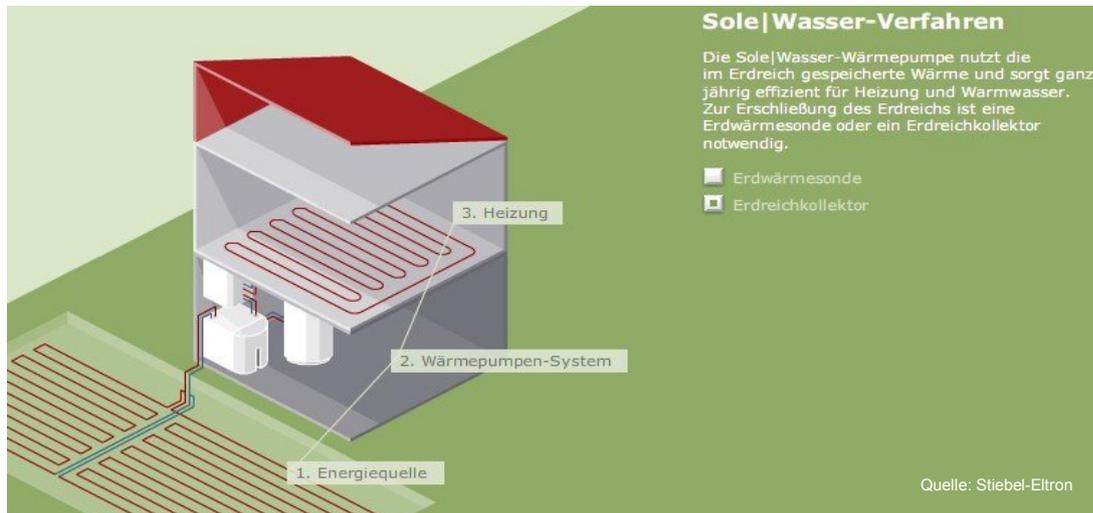
Sperrzeit	Erweiterungsfaktor
2h	1,1
4h	1,2
6h	1,33

Parallel muss an einen genügend großen Pufferspeicher gedacht werden, nicht nur um ein zu häufiges Takten der Wärmepumpe zu verhindern.

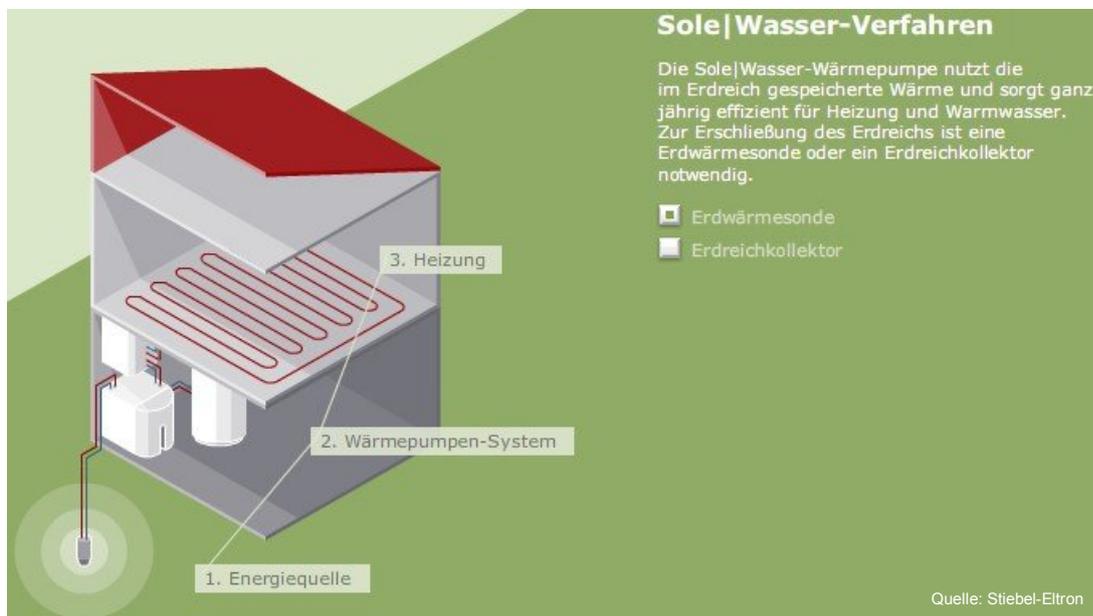
3.3.6. Wärmequellen für Wärmepumpen

3.3.6.1. Sole (Erdreich)

Bei der Nutzung von Erdreich wird die vorhandene Erdwärme genutzt. Unterhalb der Frostgrenze sind die Bodentemperaturen relativ konstant. Ins Erdreich eindringendes Wasser leitet dabei Sonnenenergie in diese tieferen Schichten. Zu unterscheiden sind zwei Kollektorvarianten.



Bei Erdreichkollektoren sollte als Faustformel die doppelte Kollektorfläche zur beheizten Fläche zur Verfügung stehen. Diese darf nicht versiegelt sein. Die Verlegetiefe liegt bei ca. 1,5-2m.



Eine Erdwärmesonde wird durch Tiefenbohrung eingebracht. Die Tiefe ergibt sich aus der gewünschten Wärmeleistung und der Ausbeute des Bodens. Wird die erforderliche Wärmeentzugsleistung nicht erbracht, muss gegebenenfalls mit weiteren Bohrungen gearbeitet werden. In jedem Fall muss gewährleistet sein, dass sich der Boden im Sommer wieder regenerieren kann.

Zu beachten ist auch, dass meist eine Genehmigung für die Erdarbeiten wie auch für Tiefenbohrungen erforderlich ist.

Für die Auslegung von Flächenkollektoren kann folgende Tabelle verwendet werden:

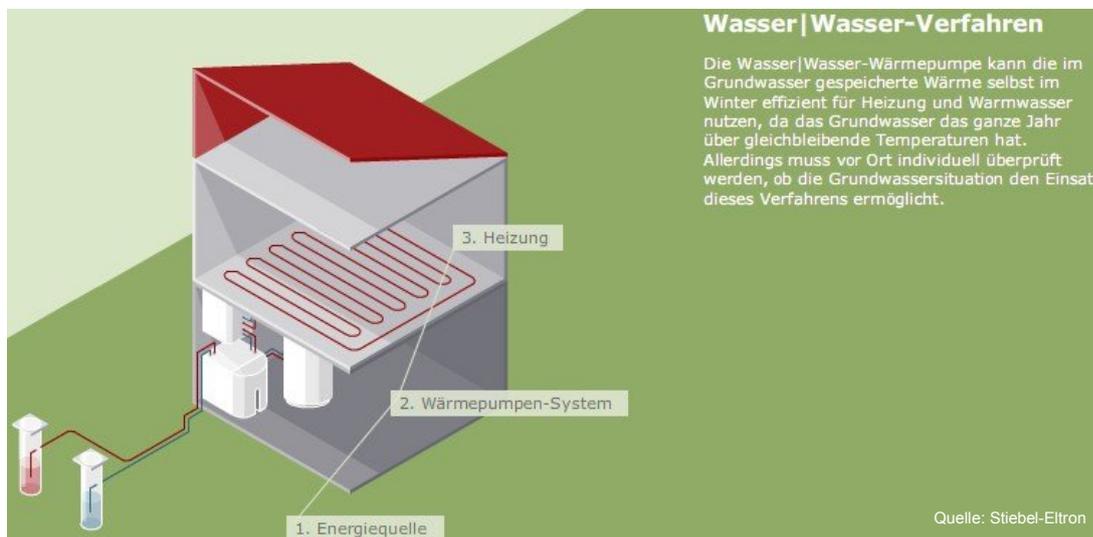
Untergrund	Spezifische Entzugsleistung q_E bei 1800 h/a W/m^2	Entzugsleistung bei 2400 h/a W/m^2	Verlegeabstand s m	Verlegetiefe m	Abstand zu Versorgungsleitungen ms
Trockener, nicht bindiger Boden	10	8	1	1,2-1,5	>0,7
*Bindiger, feuchter Boden	10-30	16-24	0,8	1,2-1,5	>0,7
Wassergesättigter Sand/Kies	40	32	0,5	1,2-1,5	>0,7

Bei längeren Laufzeiten ist neben der spez. Entzugsleistung \dot{q}_E auch die spez. jährliche Entzugsarbeit zu berücksichtigen. Für Erdwärmekollektoren sollte diese zwischen 50 und 70 kWh/(m²Jahr) liegen. Richtwert zur Erdwärmekollektorauslegung nach VDI 4640: gültig nur für reinen Heizbetrieb und Warmwasseraufbereitung!

* In der Praxis geht man von 25W/m² Spez. Entzugsleistung (\dot{q}_E) aus.

Quelle: Wolf

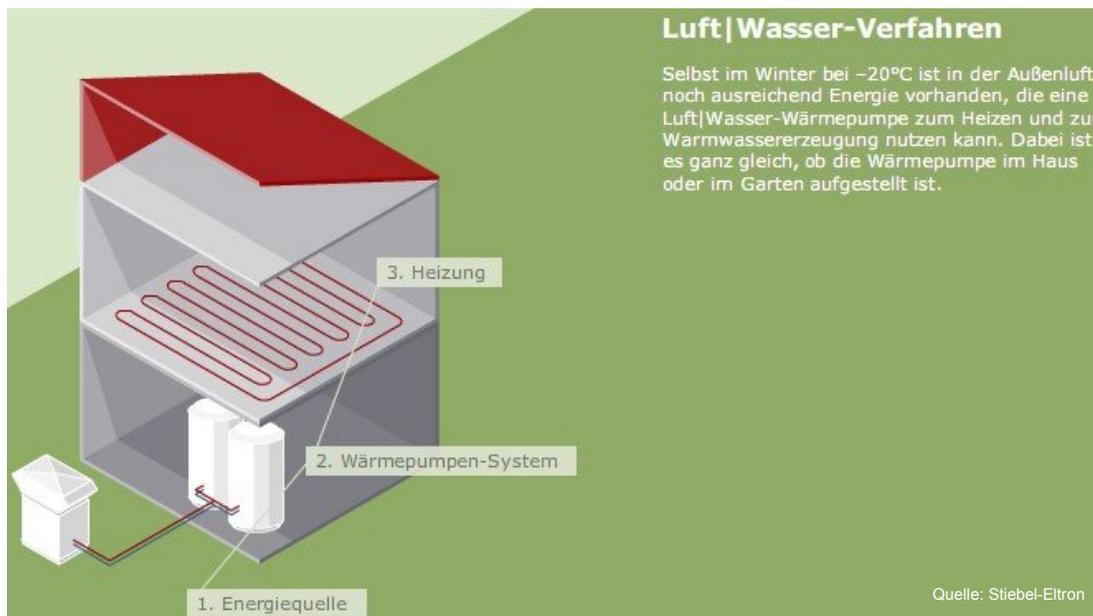
3.3.6.2. Wasser (Grundwasser)



Für dieses Verfahren sind immer 2 Bohrungen notwendig. Der Förder- und der Rückführbrunnen dürfen nicht thermisch gekoppelt sein. Es muss genügend Grundwasser zur Verfügung stehen, um die Entzugsleistung zu gewährleisten. Für Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist immer eine Genehmigung erforderlich. Diese wird in Grundwassereinzugsgebieten nicht erteilt.

Wasser-Wasser-Wärmepumpen haben eine sehr gute Jahresarbeitszahl und können in der Regel immer als monovalentes System installiert werden.

3.3.6.3. Luft



Da Luft-Wasser-Wärmepumpen einen hohen Luftdurchsatz haben, ist der Geräuschpegel bei der Aufstellung zu beachten. Dieser darf an Fenstern von Wohngebäuden nachts nur 35dB betragen. Die Richtung des Luftaustritts wie auch Reflexionen müssen dabei beachtet werden. Da sich bei tiefen Außentemperaturen die Leistungszahl entsprechend verschlechtert, sollte ein bivalenter Betrieb in Betracht gezogen werden.

Da keine Erdarbeiten notwendig sind, ist dieses Verfahren im innerstädtischen Bereich recht gut zu realisieren. Die Jahresarbeitszahl von Luft-Wasser-Wärmepumpen liegt allgemein niedriger als der von Sole/Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Stichwortverzeichnis

		Leistungszahl	13
		Lüftungswärmeverluste	4, 8, 10
		Luft-Wasser	18
		Luftwechsel	8
	A		
Abmessungen	5		
Anschlussleistung	12		
Asbest	11		
Außenhülle	3		
	B		
Behaglichkeit	3		
Benutzungszeit	12, 13		
Betriebsarten	14		
bivalent	14, 15		
	E		
Energiebedarf	3		
Berechnung	4		
Energieeinsparverordnung	3		
Entzugsleistung	17		
Erdarbeiten	18		
Erdreichkollektor	16		
Erdwärme	16		
Erdwärmesonde	16		
	G		
Gebäudeenergiebedarf	10		
	H		
Heizlast	10		
Heizung			
elektrische Direkt-	11		
Nachtspeicher-	11		
Heizungssysteme	11		
	I		
Infiltration	9		
	J		
Jahresarbeitszahl	14, 18		
	K		
Kollektor	16, 17		
	L		
Laderegulung	11		
Ladezeit	12, 13		
		M	
		Mindestluftwechselrate	8
		monoenergetisch	14
		monovalent	14, 17
		N	
		Normaußentemperatur	5, 22
		Norminnentemperatur	5
		R	
		Raumtemperaturen	
		empfohlene	4
		S	
		Sole-Wasser	16
		Sperrzeit	15
		Symbole	4
		T	
		Transmissionswärmeverluste	4, 5, 8, 10
		Transmissionswärmeverlustkoeffizient	6, 7
		U	
		U-Wert	6, 7
		V	
		Vorheizzeit	12, 13
		W	
		Wärmebrücke	7
		Wärmedurchgangskoeffizient	6
		Wärmeleitfähigkeit	6
		Wärmepumpen	13
		Wärmequellen	16
		Wärmequellentemperatur	14
		Wärmespeicher	12
		Wärmeübergangswiderstand	6
		Wärmeverluste	3
		Warmwasserbedarf	10
		Wasser-Wasser	17

Anhang

Anhang A Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit

Putze, Estriche und andere Mörtelschichten	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Kalkmörtel, Kalkzementmörtel, Mörtel aus hydraulischem Kalk (1800 kg/m ³)	0,87
Zementmörtel (2000 kg/m ³)	1,40
Kalkgipsmörtel, Gipsmörtel, Anhydritmörtel, Kalkanhydritmörtel (1400 kg/m ³)	0,70
Gipsputz ohne Zuschlag (1200 kg/m ³)	0,35
Anhydritestrich (2100 kg/m ³)	1,20
Zementestrich (2000 kg/m ³)	1,40
Magnesiaestrich nach DIN 272, Unterschichten (1400 kg/m ³)	0,47
Magnesiaestrich nach DIN 272, Unterböden (1400 kg/m ³)	0,47
Industrieböden und Gehschicht (2300 kg/m ³)	0,70
Gussasphaltestrich, Dicke > 15 mm (2300 kg/m ³)	0,90

Großformatige Bauteile	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Normalbeton nach DIN 1045 (2400 kg/m ³)	2,10
Dampfgehärteter Gasbeton DIN 4223 (600 kg/m ³)	0,19

Bauplatten	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Asbestzementplatten nach DIN 274 (2000 kg/m ³)	0,58
Gasbetonbauplatten, unbewehrt, nach DIN 4166, mit normaler Fugendichte (600 kg/m ³)	0,24
Gasbetonbauplatten, unbewehrt, nach DIN 4166, dünn fugig verlegt (600 kg/m ³)	0,22
Wandbauplatten aus Leichtbeton (800 kg/m ³)	0,29
Wandbauplatten aus Gips (600 kg/m ³)	0,29
Gipskartonplatten (900 kg/m ³)	0,21

Mauerwerk	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Mauerziegel aus Vollklinker und Keramikklinker (1800 kg/m ³)	0,81
Vollziegel, Hochlochziegel (1800 kg/m ³)	0,81
Leichtlochziegel nach DIN 105 Teil 2 (800 kg/m ³)	0,33
Kalksandstein nach DIN 106 (1800 kg/m ³)	0,99
Hüttensteinen nach DIN 398 (1800 kg/m ³)	0,70
Gasbeton-Blocksteinen nach DIN 4165 (600 kg/m ³)	0,24

Wärmedämmstoffe	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Holzwole-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Plattendicke 15 mm	0,15
Polyurethan nach DIN 18159	0,030
Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum	0,041
Korkdämmstoffe WLG 050	0,050
Polystyrol-Hartschaum WLG 040	0,040
Mineralische und pflanzliche Faserkämmstoffe WLG 050	0,050
Schaumglas WLG 050	0,050

Holz und Holzwerkstoffe	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Fichte, Kiefer, Tanne	0,13
Buche, Eiche	0,20
Sperrholz	0,15
Flachpressplatten nach DIN 68761	0,13
Strangpressplatten nach DIN 68761	0,17
Harte Holzfaserplatten	0,17

Beläge und Abdichtstoffe	Wärmeleitfähigkeit W/mK
Fußbodenbeläge, Linoleum DIN 18171 (1000 kg/m ³)	0,17
Korklinoleum (700 kg/m ³)	0,081
Kunststoffbeläge, z.B. PVC (1500 kg/m ³)	0,23
Abdichtstoffe, Abdichtungsbahnen (2000 kg/m ³)	0,70
Bitumen (1000 kg/m ³)	0,17

Anhang B Normaußentemperaturen

Norm-Außentemperatur θ_a , in [°C] für Orte über 20000 Einwohner in Deutschland					
Aach, Hegau -14	Dessau -14	Greiz -16	Kronach -16	Nürnberg -16	Siegen -12
Aachen -12	Detmold -12	Greven, Westf. -12W	Kulmbach -16	Nürtingen -14	Sieglar -10
Aalen, Württ. -16W	Deuselbach -12W	Grevenbroich -10W	Künzelsau -14	Oberaudorf -18	Sigmaringen -14W
Ahlen, Westf. -12W	Dillenburg -12	Gronau, Westf. -10W	Lahr, Schwarzwald -12	Oberhausen, Rheinland -10W	Sindelfing -14
Ahrensberg -12W	Dillingen, Donau -16	Großenhain -16	Lampertheim, Hessen -12	Oberrotweil -12	Singen, Hohentwiel -14
Alsdorf, Rhenl. -12W	Dinslaken -10W	Gschwend b. Gaildorf -16	Landau, Pfalz -12	Oberstdorf -20	Soest, Westf. -12W
Altena, Westf. -12W	Döbeln -14	Guben -16	Landshut, Bay -16	Oberursel, Taunus -12	Solingen -12
Altenburg -14	Dorsten -10W	Gumersbach -12	Langen, Hessen -12	Oberviechtach -16	Soltau -12W
Alzey -12	Dortmund -12	Güstrow -12W	Langenfeld, Rheinl. -10	Oberwiesenthal -18W	Sömmerda -14
Amberg, Oberpf. -16	Dresden -14	Gütersloh -12W	Langenhagen, Ha. -14W	Öhringen -14	Sondershausen -14
Andernach -12	Dudweiler, Saar -12	Hagen -12	Langeoog -10W	Oer-Erkenschwick -10W	Sonneberg -16
Anklam -12	Dülken -10W	Halberstadt -14	Lauchhammer -16	Offenbach, Main -12	Speyer -12
Annaberg-Buchholz -16W	Dülmen -12W	Haldensleben -14	Leer, Ostfriesland -10W	Offenburg -12	Spremberg -16
Ansbach, Mittelfr. -16	Düren -12	Halle/Kröllwitz -14	Lehrte -14W	Oldenburg, Oldb. -10W	Stade -10W
Apolda -14	Düsseldorf -10W	Hamburg -12W	Leipzig -14	Opladen -10	Staßfurt -14
Arnsberg -12W	Duisburg -10W	Hamelnd -12	Lemgo -12	Oranienburg -14	Steinbach bei Eitmann -14
Arnstadt -14	Eberswalde-Finow -14	Hamm, Westf. -12W	Lengerich, Westf. -12	Oschatz -14	Stendal -14W
Aschaffenburg -12	Ebingen (Albstadt) -10W	Hanau -12	Leonberg, Württ. -12	Osnabrück -12W	Stolberg, Rheinl. -12
Aschersleben -14	Eckernförde -10W	Hannover -14W	Letmathe -12	Paderborn -12	Stralsund -10W
Aue -16	Edewechterdamm (Friesoythe) -12W	Harzburg, Bad- -14	Leverkusen -10	Parchim -14W	Straubing -18
Auerbach/Vogtl. -16	Eilenburg -14	Hattingen, Ruhr 12	Limbach-Oberfrohnna -14	Parsberg, Oberfr. -16	Strausberg -14
Augsburg -14	Einbeck -16	Hauptschwenda (Neukirchen, Knüllgeb.) -14W	Lindau, Bodensee -12	Passau -14	Stuttgart -12
Aulendorf, Württ. -16W	Eisenach -16	Heide, Holst. -10W	Lingen, Ems -10W	Peine -14W	Suhl -16W
Backnang -12	Eisenhüttenstadt -16	Heidelberg -10	Lippstadt -12W	Pforzheim -12	Sulzbach, Saar -12
Baden-Baden -12	Eisleben -14	Heidenau -14	List auf Sylt -10W	Pinneberg -12W	Tölz, Bad -18
Badenweiler -14	Ellwangen, Jagst -16	Heidenheim, Brenz -16	Löbau -16	Pirmasens -12	Torgau -16
Bamberg -16	Elmshorn -12W	Heilbronn, Neckar -12	Lörrach -12	Pirna -14	Trier -10
Bautzen -16	Elsdorf, Rheinl. -12	Heiligenhaus b. Velbert -12	Löwenich b. Frechen -10	Plauen -16	Tübingen -16
Bayreuth -16	Emden -10W	Helmstedt -14W	Lorch, Rheingau -12	Plettenberg -12	Tutlingen -16W
Beckum, Westf. -12W	Ems, Bad -12	Hemer -12	Lübbenu/Spreewald -16	Pommelsbrunn -14	Übach-Palenberg -12
Beerfelden, Odenw. -14W	Emsdetten -12W	Hennigsdorf b. Berlin -14	Lübeck -10W	Porz -10	Uelzen -14W
Bensberg -12	Engelskirchen -10	Herchenhain -14	Luckenwalde -14	Potsdam -14	Ulm, Donau -14
Bensheim (Bensheim-Auerbach) -10	Ennepetal -12	Herford -12	Lüdenscheld -12W	Prenzlau -14W	Unna -12W
Berchtesgaden -16	Erfurt -14	Herfeshausen -14	Ludwigsburg, Württ. -12	Puch (Post Fürstfeldbr.) -16	Velbert -12
Bergern/Rügen -10W	Erlangen -16	Herne -10	Ludwigsfelde -14	Quedlinburg -14	Viernheim -12
Bergisch-Gladbach -12	Eschwege -14	Herrenalnd, Bad -14	Ludwigshafen am Rhein -12	Quickborn Post Burg (Ditmarschen) 12W	Viersen -10
Bergzabern, Bad -12	Eschweiler, Rheinl. -12	Hersfeld, Bad -14	Lüneburg -12W	Radebeul -14	Villingen, Schwarzwald -16W
Berlin -14	Essen -10	Herstein -12	Lünen -12W	Radevormwald -12	Völklingen, Saar -12
Bernau b. Berlin -14	Esslingen am Neckar -14	Herten, Westf. -10W	Mainz -12	Rastatt -12	Voerde, Niederrh. -10W
Bernburg/Saale -14	Ettlingen -12	Hettstedt -14	Magdeburg -14	Rathenow -14	Waiblingen -12
Bernkassel-Kues -10	Euskirchen -12	Hilden -10	Mannheim -12	Ratingen -10W	Waldeck, Hess -14W
Berus -12W	Eutin -10W	Hildesheim -14W	Marburg, Lahn -12	Ravensburg -14	Walsum -10W
Biberach, Riss -16	Falkensee -14	Hilgenroth, Westerw. -12	Markkleeberg -14	Recklinghausen -10W	Waltrop -12W
Biedenkopf -12	Falkenstein -Großer Falkenstein -18W	Höchenschwand -16W	Marl -10W	Regensburg -16	Wanne-Eickel -10
Bielefeld -12	Feldberg, Schwarzwald -18W	Höllenstein ((Post Degerndorf am Inn) -18	Meerane -14	Reichenbach/Vogtl. -16	Waren -12W
Bingen, Rhein -12	Feldberg (kleiner), Taunus -16W	Hof, Saale -18W	Meersburg, Bodensee -12	Remscheid -12	Wasserburg a. Inn -16
Birkenfeld, Nahe -14W	Fellbach, Württ. -12	Hofheim, Unterfr. -14	Meiningen -16W	Rendsburg -10W	Wasserkuppe -16W
Bitterfeld -14	Fichtelberg, Oberfr. -16W	Hohenlimburg -12	Meißen -14	Reutlingen -16	Wattenscheid -10
Blankenburg/harz -14	Fichtelberg -18W	Hohenpeissenberg -16W	Memmingen -16	Rheine -12W	Wedel, Holstein -10W
Blankenrath -14W	Finsterwalde -16	Holzminde -12	Menden, Sauerland -12	Rheinhausen, Niederrh. -10W	Weiden, Oberpf. -16
Bocholt -10W	Flensburg -10W	Homburg, Niederrh. -10W	Mengen, Baden -14	Rheinkamp -10W	Weilburg -12
Bochum -10	Forchheim, Breisgau -12	Homburg, Bad -12	Merklingen Kr. Leonberg (Weil der Stadt) -16W	Rheydt -10	Weimar -14
Bockum-Hövel -12W	Forchheim, Oberfr. -16	Homburg, Saar -12	Merseburg/Saale -14	Riesa -16	Weinheim, Bergstraße -10
Böblingen -14	Forst/Lausitz -16	Hoyerswerda -16	Metten, Niederbay -18	Rodenkirchen -10	Weissenburg in Bay -16
Bonn -10	Frankenthal, Pfalz -12	Hückelhoven -10	Mettmann -12	Rötgen, Eifel -12W	Weißenfels -14
Bonn-Bad-Godesberg -10	Frankfurt/Main -12	Hürth -10	Minden, Westf. -12	Rosenheim, Oberbay -16	Weißwasser -16

Elektrische Heizungsanlagen

Bottenweiler, Post Zumhaus (Wörnitz) -16	Freiburg i.Br. -12	Illmenau -16W	Mönchengladbach -10	Rüsselsheim -12	Wermelskirchen -12
Bottrop -10W	Freising -16	Ingolstadt, Donau -16	Moers -10W	Saalfeld/Saale -14	Werne a.d. Lippe -12W
Brackwede -12	Freital -14	Inselsberg -16W	Monheim, Rheinl. -10	Saarbrücken -12	Wernigerode -16
Brandenburg/Havel -14	Freudenstadt -16W	Iserlohn -12	Mühlhausen -14	Saarlouis -12	Wertheim -14
Braunschweig -14W	Friedrichshafen -12	Itzehoe -12W	Mühlheim, Ruhr -10	Salzgitter -14W	Wesel -10W
Bremen -12W	Friesdorf (Post Bad Godesberg) -10	Jena -14	München -16	Salzungen, Bad -16	Wesseling, Rheinl. -10
Bremerhaven -10W	Fürstenfeldbruck -16	Kahl am Main -12	Münsingen, Württ. -16W	Salzwedel -14W	Wetzlar -12
Bremervörde -12W	Fürstenwalde/Spree -14	Kaiserslautern -12	Münster, Westf. -12W	Sangerhausen -14	Wiesbaden -10
Brilon -14W	Fürth, Bay -16	Kamen, Westf. -12	Nauheim, Bad -14	St. Blasien -16W	Wildbad -14
Brocken -16W	Fulda -14	Kamenz -16	Naumburg -14	St. Ingert -12	Wilhelmshaven -10W
Bruchsal -12	Garmisch-Partenkirchen -18	Kamp-Lintford -10W	Neheim-Hüsten -12	Schleswig -10W	Willingen, Upland -14W
Brühl, Rheinl. -10	Geestnacht -12W	Karlshuld -16	Neubrandenburg -14W	Schneeberg -16W	Wismar -10W
Buchen, Odenw. -14W	Geislingen, Steige -16	Karlsruhe -12	Neu-Isenburg -12	Schömberg Kr.Freudenstadt (Loßburg) -14W	Witten -12
Burg b. Magdeburg -14	Gelnhausen -12	Kassel -12	Neukirchen-Vluyn -10W	Schönebeck/Elbe -14	Wittenberg -14
Burghaslach -16	Gelsenkirchen -10	Kaufbeuren -16	Neuland, Kr.Stade (Neuland-Waterneversdorf) -10W	Schopfloch -16W	Wittenberge -14W
Castrop-Rauxel -10	Gera -14	Kempten, Allgäu -16	Neumünster -12W	Schorndorf, Württ. -16	Witzenhausen -14
Celle -12W	Gerlachsheim (Lauda-Königshofen, Baden) -14	Kiel -10W	Neunkirchen, Saar -12	Schotten, Hess. -12	Wolfen -14
Chemnitz -14	Gevelsberg -12	Kirchheim, Teck -16	Neuruppin -14W	Schwabach, Mittelfr. -16	Wolfenbüttel -14W
Clausthal-Zellerfeld -14W	Gießen -12	Kissingen, Bad -14	Neuss -10W	Schwäbisch Gmünd -16	Wolfsburg -14W
Coburg -14	Gifhorn -14W	Kleve, Niederrhein -10W	Neustadt, Weinstraße -10	Schwäbisch Hall -16	Worms -12
Coesfeld -10W	Gilsberg -14	Klippeneck(Denkingen, Württ.) -16W	Neustrelitz -14W	Schwarzenberg/Erzgeb. -16W	Wülfrath -12
Coswig -14	Gladbeck, Westf. -10W	Koblenz -12	Neu-Ulm -14	Schwedt/Oder -16W	Wuppertal -12
Cottbus -16	Glauchau -14	Kohlgrub, Bad -16W	Neuwied -12	Schweinfurt -14	Würselen -12
Crailsheim -16	Glückstadt -10W	Köln -10	Neviges -12	Schwelm -12	Würzburg -12
Crimmitschau -14	Göppingen -14	Königstein, Taunus -12	Nienburg, Weser -12W	Schwenningen, Neckar -16W	Wurzen -14
Cuxhaven -10W	Görlitz -16	Königs Wusterhausen -14	Nordenham -10W	Schwerin -12W	Zeitz -14
Dachau -16	Gössweinstein -16	Konstanz -12	Norderney -10W	Schwerte, Ruhr -12	Zerbst -14
Darmstadt -12	Götha -14	Kornwestheim -12	Nordhausen -14	Segeberg, Bad -10W	Zittau -16
Datteln -12W	Göttingen -16	Köthen/Anhalt -14	Nordhorn -10	Selb -18W	Zugspitze -24W
Delitzsch -14	Goslar -14	Krefeld -10W	Nördlingen -16	Senftenberg -16	Zweibrücken -12
Delmenhorst -12	Greifswald -12W	Kreuznach, Bad -12	Nürnberg -14W	Siegburg -12	Zwickau -14
Bonn-Beuel -10	Frankfurt/Oder -16	Husum, Nordsee -10W	Mittelberg b. Oy -18W	Rostock -10W	Wendelstein -20W
Borkum -10W	Frechen -10	Ibbenbüren -12W	Mittenwald -16W	Rothenburg ob der Tauber -14	Werdau -16
Borna -14	Freiberg -16	Idar-Oberstein -12	Mittweida -14	Rudolfstadt -14	Werdohl -12