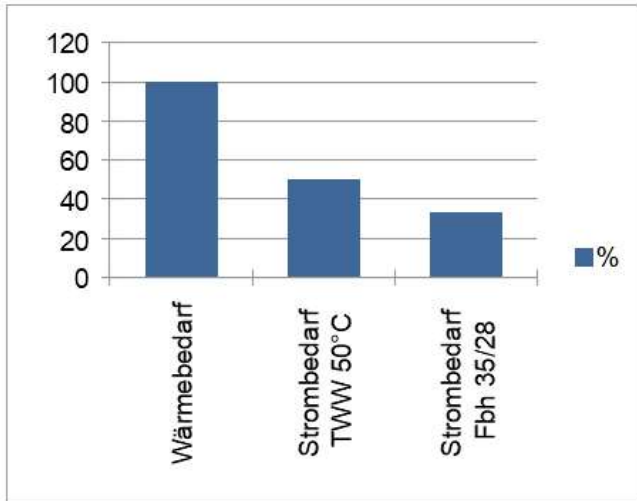


Wärmepumpenberechnung

Manuskript für Online-Seminare

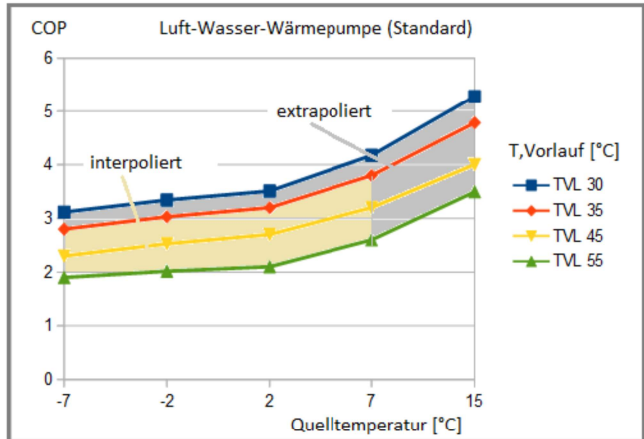
INHALT:

- Grundsatz
- Grundlagen
- Wärmepumpen im TWW-Betrieb
- Wärmepumpen im Heizbetrieb
- Dimensionierung der Wärmepumpe
- Weitere Betriebsweisen
- Beispielhafte Berechnung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Kombibetrieb für Warmwasser und Heizung

Grundsatz	$Q_{f, hp} = Q_{outg} / COP$										
$Q_{f, hp}$	Endenergiebedarf der Wärmepumpe (Strombedarf), hp = heat pump										
Q_{outg}	Nutzwärmebedarf für Gebäudeheizung oder Warmwasserbereitung (enthält Übergabe-, Verteilungs- und Speicherverluste)										
COP	coefficient of performance = Arbeitszahl										
Faustregel	Der Strombedarf einer Luft-Wasser-Wärmepumpe beträgt bei Fußbodenheizung weniger als 1/3tel des Nutzwärmebedarfs, im Warmwasserbetrieb und bei freien Heizflächen mit 55/45 °C Vorlauftemperatur) etwa die Hälfte des Nutzwärmebedarfs  <table><tr><th>Heizungstyp</th><th>Strombedarf (%)</th></tr><tr><td>Wärmebedarf</td><td>100</td></tr><tr><td>Strombedarf TWW 50°C</td><td>50</td></tr><tr><td>Strombedarf Fbh 35/28</td><td>33</td></tr></table>	Heizungstyp	Strombedarf (%)	Wärmebedarf	100	Strombedarf TWW 50°C	50	Strombedarf Fbh 35/28	33		
Heizungstyp	Strombedarf (%)										
Wärmebedarf	100										
Strombedarf TWW 50°C	50										
Strombedarf Fbh 35/28	33										

Funktionsweise einer Wärmepumpe	In einer Wärmepumpe befindet sich ein Kältemittel, das gasförmig oder flüssig sein kann. Das Kältemittel wird in einem Kompressor unter hohem Druck mechanisch verdichtet und dabei verflüssigt und erwärmt. Dem heißen, verdichteten Kältemittel wird die Wärme entzogen (Wärmetauscher). Das so abgekühlte Kältemittel gelangt in einen Verdampfer, wo es ohne Druck expandiert und dabei sehr kalt wird ($< -20^{\circ}\text{C}$). In diesem Zustand kann das Kältemittel über einen weiteren Wärmetauscher von der verfügbaren Wärmequelle (Außenluft, Sole, Grundwasser) Umweltwärme aufnehmen. Es gelangt dann wieder in den Verdichter und der Kreislauf beginnt von vorne.		
Effizienz	Die Effizienz einer Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz ab, die überwunden (gepumpt) werden muss. Wenn die Wärmequelle relativ kalt (z.B. Außenluft im Winter $< 0^{\circ}\text{C}$) und die verlangte Vorlauftemperatur relativ hoch ist (Warmwasser $+55^{\circ}\text{C}$), dann muss besonders viel mechanische Energie im Verdichter aufgebracht werden. Die Arbeitszahl wird dann ungünstig (klein). Gute Arbeitszahlen (COP) kann man mit kleinen Temperaturdifferenzen erzielen, wie z.B. bei Luft-Wasser-WP und Fußbodenheizung oder auch mit hohen Quelltemperaturen in der kalten Jahreszeit, wie bei Sole-Wasser und Wasser-Wasser-Wärmepumpen.		
COP Beispiele, Jahresarbeitszahl (JAZ)	Wärmequelle → Wärmesenke	Vorlauf-Temperatur	COP / JAZ circa
Elektrowärmepumpen			
Luft-Wasser-WP	Außenluft → Flächenheizung	35/28 °C	3,5
	Außenluft → freie Heizflächen	55/45 °C	2
	Außenluft → Trinkwarmwasser	55 °C	2
Sole-Wasser-WP	Sole (Erdsonde) → Flächenheizung	35/28 °C	5
	Sole (Erdkollektor) → Flächenheizung	35/28 °C	4
	Sole (Erdsonde) → Trinkwarmwasser	55 °C	3
Gasmotorische Wärmepumpen			
Luft-Wasser-WP	Außenluft → Flächenheizung	35/28 °C	1,1
	Außenluft → Trinkwarmwasser	55 °C	0,9

Wärmepumpen im TWW-Betrieb

Luft-Wasser-WP für Warmwasser	monatliche Berechnung												
TVL	Gewünschte Vorlauftemperatur	55 °C											
Tquell	Die Quelltemperatur ist die standortabhängige, monatsmittlere Außenlufttemperatur. Für Deutschland (Potsdam) 0,9 °C (Dezember) bis 19 °C (Juli). Für abweichende Standort können die mittleren Außenlufttemperaturen aus Wetterdatensätzen (TRY) berechnet oder anderen Quellen (DIN V 18599-10:2018, Tab.E.1) entnommen werden.	0,9 bis 19,0 °C											
COP,Standard	Standardwerte für Luft-Wasser-WP's, Baujahr nach 2010 (DIN V 18599-5:2018, Tab.C.1): <table><tr><td>Baujahr der Wärmepumpe</td><td>2010</td></tr><tr><td>Beschreibung</td><td>Luft-Wasser WP (Standard)</td></tr><tr><td>für 35 °C und -7_2_7_ °C</td><td>2,8_3,2_3,8_</td></tr><tr><td>für 45 °C und -7_2_7_ °C</td><td>2,3_2,7_3,2_</td></tr><tr><td>für 55 °C und -7_2_7_ °C</td><td>1,9_2,1_2,6_</td></tr></table>	Baujahr der Wärmepumpe	2010	Beschreibung	Luft-Wasser WP (Standard)	für 35 °C und -7_2_7_ °C	2,8_3,2_3,8_	für 45 °C und -7_2_7_ °C	2,3_2,7_3,2_	für 55 °C und -7_2_7_ °C	1,9_2,1_2,6_	Standard COP's	
Baujahr der Wärmepumpe	2010												
Beschreibung	Luft-Wasser WP (Standard)												
für 35 °C und -7_2_7_ °C	2,8_3,2_3,8_												
für 45 °C und -7_2_7_ °C	2,3_2,7_3,2_												
für 55 °C und -7_2_7_ °C	1,9_2,1_2,6_												
COP,Monat	Berechnung der Monats-COP auf Basis der Standardwerte oder Herstellerangaben durch Inter- und Extrapolation für Tquell und TVL. Nach DIN V 18599-5:2018, Anhang B.6 wird nicht strikt linear inter- und extrapoliert. Vielmehr wird die Leistungsaufnahme der WP (Heizleistung / COP am Prüfpunkt) zu Hilfe genommen. Man erhält dadurch einen leicht kurvenförmigen Verlauf für die extrapolierten Werte, was sich insbesondere bei Luft-Wasser-Wärmepumpen für Trinkwarmwasser bei sommerlichen Außentemperaturen bemerkbar macht. 												
Korrekturen	Keine Korrekturen der COP-Werte im TWW-Betrieb, die WP arbeitet bei der Warmwasserbereitung unter Vollast.												

Nennleistung	Bei Wärmepumpen gilt Nennleistung = Wärmeabgabe. Der Wert ist allerdings von der betrachteten Quell- und Vorlauftemperatur abhängig. Die Nennleistung (Herstellerangabe) wird daher mit einer Einsatzbedingung verknüpft: Luft-Wasser-Wärmepumpe Sole-Wasser-Wärmepumpe Grundwasser-Wärmepumpe A7 bedeutet dabei Außenluft mit +7 °C, B0 = Boden mit 0 °C, W10 = Wasser mit +10 °C und W35 = Wasser mit +35 °C (Vorlauftemperatur für Flächenheizungen). Für diese Einsatzbedingungen ist die relative Heizleistung = 1 (siehe T5, Tab.C.1 bis C.5).	Nennleistung Tquell A7 B0 W10 TVL W35 W35 W35	
Heizleistung	Für abweichende Einsatzbedingungen kann die (Wärme-)Leistung der WP mit Heizleistung = Nennleistung * relative Heizleistung berechnet werden (lineare Inter- bzw. Extrapolation). Die relativen Heizleistungen für verschiedene Temperaturklassen sind in den Tabellen T5, Tab.C.1 bis C.5 angegeben		
Laufzeit	Die monatliche Laufzeit einer Luft-Wasser-WP für die Warmwasserbereitung erhält man aus Laufzeit = Wärmebedarf / Heizleistung Die benötigte Laufzeit im Warmwasserbetrieb (Vorrangbetrieb) steht im Kombibetrieb für die Heizung nicht mehr zur Verfügung. Bei reinen Trinkwasser-Wärmepumpen ohne Heizbetrieb ist die Laufzeit durch die täglich mögliche Laufzeit begrenzt.		
Nachheizbedarf	Heizbedarf, den die WP nicht decken kann. Ein Nachheizbedarf entsteht – wenn die Tageslaufzeit nicht ausreicht, also wenn Laufzeit > 24 Stunden – EVU-Abschaltung (EVU = Energieversorgungsunterbrechung) – wenn die gewünschte Vorlauftemperatur größer ist, als die technisch mögliche Vorlauftemperatur der WP (obere Temperaturgrenze). Der Nachheizbedarf ist in diesem Fall der Anteil $(T_{Zapf} - TVL_{max}) / (T_{Zapf} - 10)$ des Nutzwärmebedarfs für TWW. Dabei ist T_{Zapf} die gewünschte Vorlauf- bzw. Zapftemperatur, TVL_{max} die maximal mögliche Vorlauftemperatur der WP und 10°C die übliche Frischwassertemperatur. Für eine WP mit 50°C	Laufzeit obere Temperaturgrenze	

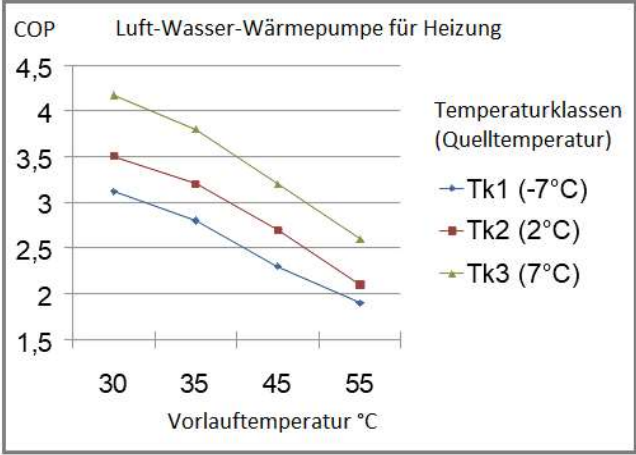
	oberer Temperaturgrenze und 55°C gewünschter Zapftemperatur erhält man $(55-50) / (55-10) = 0,11$ (11% Nachheizbedarf). - ein Nachheizbedarf infolge einer unteren Einsatzgrenze der WP (WP schaltet ab einer gewissen Quelltemperatur ab) wird für TWW-Wärmepumpen in DIN V 18599:2018 nicht behandelt. Der gesamte Nachheizbedarf $Q_{w,bu}$ (TWW-Wärmebedarf-Unterdeckung) erhält man als Summe aus den vorgenannten Anteilen.	untere Temperaturgrenze	
Nachheizung	Die Nachheizung wird in vielen Fällen von einem elektrischen Heizstab (Heizpatrone, funktioniert wie ein Tauchsieder), also einem preisgünstigen, zweiten Wärmeerzeuger übernommen. Die Arbeitszahl ist dabei = 1, für den elektrischen Endenergiebedarf (Index „f“ für final) gilt $Q_{w,f,bu} = 1,0 \cdot Q_{w,bu}$	$Q_{w,f,bu}$	
Endenergiebedarf WP	$Q_{w,f,hp} = (Q_{w,outg} - Q_{w,bu}) / COP$ Endenergiebedarf für die Warmwasserbereitung = (Warmwasser-Wärmebedarf – Nachheizbedarf) / COP, monatlich berechnet.	$Q_{w,f,hp}$	
Sole-Wasser / Grundwasser-WP für Warmwasser	monatliche Berechnung Analog zur Berechnung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, jedoch bessere COP's infolge günstigerer Quelltemperaturen		
Quelltemperaturen Sole-Wasser Erdsonde	1,6 °C (Dezember) bis 4,4 °C (Juli) (T5, Tab.36) Erdsonden verlangen Tiefbohrungen und eine Baugenehmigung. Die relativ geringen Quelltemperaturen erklären sich dadurch, dass die Wärmeentnahme über eine Erdsonde das umgebende Erdreich allmählich abkühlt und die Wärme nur allmählich nachfließt.	1,6 bis 4,4 °C	
Quelltemperaturen Sole-Wasser Erdkollektor	-0,4 °C (Dezember) bis 2,4 °C (Juli) (T5, Tab.36) Erdkollektoren können unter dem Gebäude in der Baugrube oder im angrenzenden Gelände angeordnet werden. Es handelt sich meist um wasserführende PE-Rohre, die in ausreichender Tiefe und mit ausreichendem Abstand und ausreichender Länge verlegt werden. Durch die Wärmeentnahme kühlt das umgebende Erdreich aus.	-0,4 bis 2,4 °C	
Quelltemperaturen Grundwasser-WP	9,4 °C (Dezember) bis 11,9 °C (Juli) (T5, Tab.36) Für die Nutzung von Grund- oder Oberflächenwasser als Wärmequelle ist eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich, die selten erteilt wird. Man benötigt einen Saug- und einen Schluckbrunnen in ausreichendem Abstand.	9,4 bis 11,9 °C	

	Aus dem Saugbrunnen wird das Grundwasser entnommen, im Schluckbrunnen wird das abgekühlte Wasser zurückgeführt.																						
Arbeitszahlen	Standardwerte für Sole-Wasser-WP's , Baujahr nach 2010 (T5, Tab.C.4) <table><tr><td>Baujahr der Wärmepumpe</td><td>2010</td></tr><tr><td>Beschreibung</td><td>Sole-Wasser WP (Standard)</td></tr><tr><td>für 35 °C und -5_0_5_ °C</td><td>3,7_4,3_4,9_</td></tr><tr><td>für 45 °C und -5_0_5_ °C</td><td>3,0_3,4_3,9_</td></tr><tr><td>für 55 °C und -5_0_5_ °C</td><td>2,2_2,6_2,9_</td></tr></table> Standardwerte für Grundwasser-WP's , Baujahr nach 2010 (T5, Tab.C.5) <table><tr><td>Baujahr der Wärmepumpe</td><td>2010</td></tr><tr><td>Beschreibung</td><td>Wasser-Wasser WP (Standard)</td></tr><tr><td>für 35 °C und 10_15_ °C</td><td>5,5_6,0_</td></tr><tr><td>für 45 °C und 10_15_ °C</td><td>4,4_4,7_</td></tr><tr><td>für 55 °C und 10_15_ °C</td><td>3,2_3,5_</td></tr></table>	Baujahr der Wärmepumpe	2010	Beschreibung	Sole-Wasser WP (Standard)	für 35 °C und -5_0_5_ °C	3,7_4,3_4,9_	für 45 °C und -5_0_5_ °C	3,0_3,4_3,9_	für 55 °C und -5_0_5_ °C	2,2_2,6_2,9_	Baujahr der Wärmepumpe	2010	Beschreibung	Wasser-Wasser WP (Standard)	für 35 °C und 10_15_ °C	5,5_6,0_	für 45 °C und 10_15_ °C	4,4_4,7_	für 55 °C und 10_15_ °C	3,2_3,5_	Standard COP's Sole-Wasser Grundwasser	
Baujahr der Wärmepumpe	2010																						
Beschreibung	Sole-Wasser WP (Standard)																						
für 35 °C und -5_0_5_ °C	3,7_4,3_4,9_																						
für 45 °C und -5_0_5_ °C	3,0_3,4_3,9_																						
für 55 °C und -5_0_5_ °C	2,2_2,6_2,9_																						
Baujahr der Wärmepumpe	2010																						
Beschreibung	Wasser-Wasser WP (Standard)																						
für 35 °C und 10_15_ °C	5,5_6,0_																						
für 45 °C und 10_15_ °C	4,4_4,7_																						
für 55 °C und 10_15_ °C	3,2_3,5_																						

Wärmepumpen im Heizbetrieb

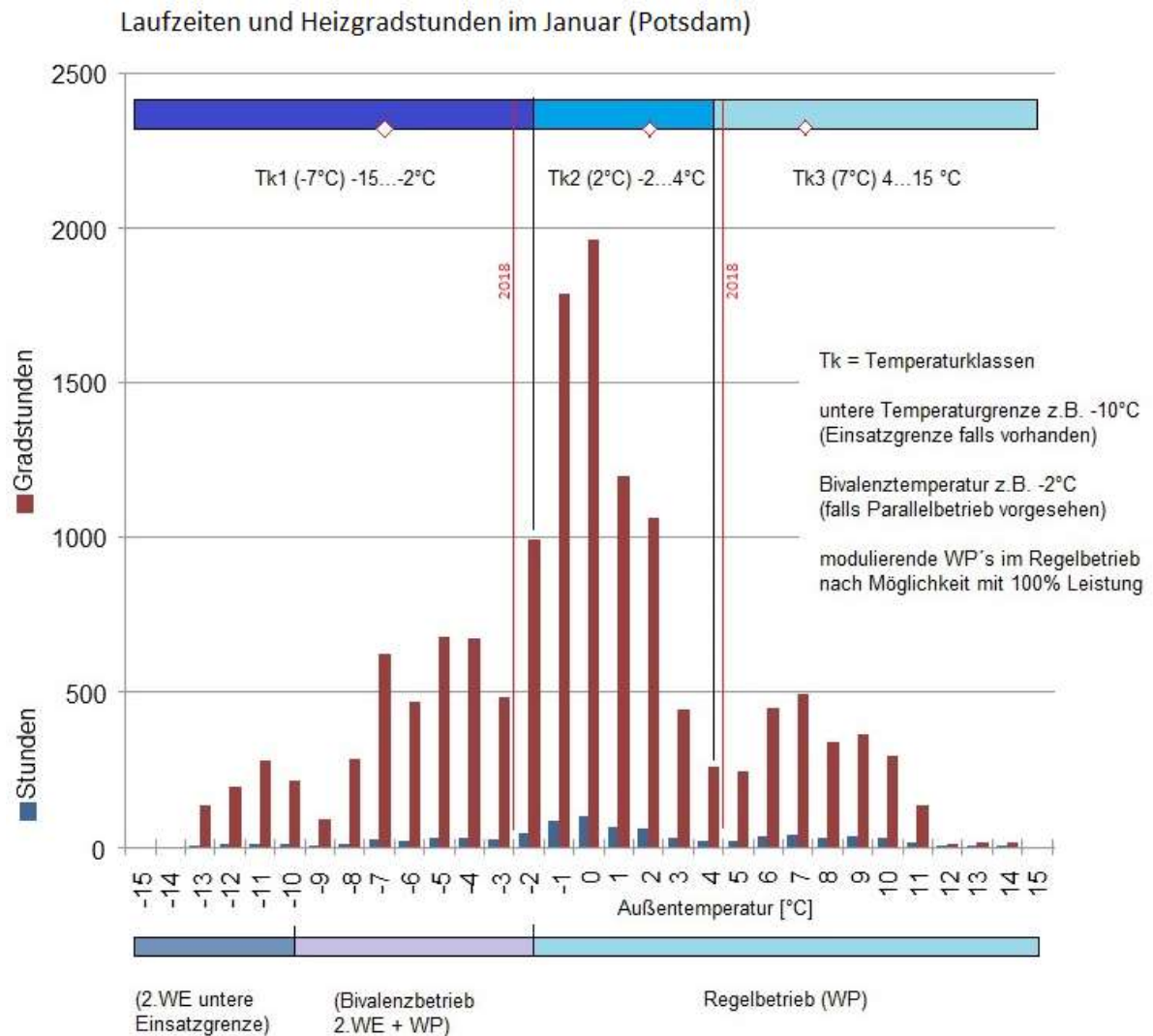
Luft-Wasser-WP für Heizwärme	Monatliche Berechnung		
Königsdisziplin	Der Berechnung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizwärme ist relativ aufwändig und in DIN V 18599-5:2018 recht kompliziert beschrieben. Es ist allerdings einfacher, als allgemein angenommen wird. Im Heizbetrieb werden die monatlich auftretenden Quelltemperaturen (Außenlufttemperaturen) in drei Temperaturklassen aufgeteilt, die jeweils mit separaten COP's, Laufzeiten und Lastanteilen berücksichtigt werden müssen.		
Temperaturklassen	Temperaturbereich Tk1: Außentemperatur $\leq -3,0\text{ °C}$ Tk2: $-3,0\text{ °C} < T_{\text{außen}} < +4,0\text{ °C}$ Tk3: $+4,0\text{ °C} \leq T_{\text{außen}} \leq \text{Heizgrenztemperatur}$ Zu jeder Temperaturklasse wird die mittlere Quelltemperatur T_{quell} definiert. Die Klasseneinteilung ist in T5, Tab.35 dokumentiert. Sie wurde gegenüber früheren Normfassungen korrigiert. Tk2: $-2,5\text{ °C} < T_{\text{außen}} \leq 3,5\text{ °C}$	T_{quell} -7 °C +2 °C +7 °C 2011	T5, Tab.35
Stundensummen Heizgradstunden siehe Grafik (unten)	In DIN V 18599-5:2018, Tab.35 sind für alle Temperaturklassen und Monate die Stundensummen und die Heizgradstunden angegeben.	Potsdam	T5, Tab.35

	Die Stundensumme für den Monat Januar in der Temperaturklasse 1 (-7°C) bezeichnet dabei die Anzahl der Stunden, in denen die Außentemperatur $\leq -3,0\text{ °C}$ ist (Tk1). Die Heizgradstunden HDH berechnet man mit Gl.B.5 aus $\text{HDH}_{\text{TKi}} = \sum (\text{H}_{\text{BIN,j}} * (20\text{°C} - \Theta_{\text{BIN,j}}))$ $\text{H}_{\text{BIN,j}}$ ist darin die Anzahl der Stunden im Temperaturbin j und $\Theta_{\text{BIN,j}}$ die BIN-Temperatur. Der Index j läuft von -3°C bis -15°C. HDH_{TK1} ist also die Summe der Heizgradstunden (Temperaturdifferenz * Anzahl Stunden) in Tk1. Mit den Stundensummen in den drei Temperaturklassen können die Laufzeitanteile bestimmt werden, z.B. zur Aufteilung von TWW-Laufzeiten. Mit den Heizgradstunden ist die anteilige Heizarbeit in den Temperaturklassen bestimmt, z.B. zur Aufteilung des Heizwärmebedarfs. Die 4. Temperaturklasse (+15 bis +32°C) ist nicht relevant, da über der Heizgrenztemperatur.	HDH Zeit- anteile Last- anteile Tk4	
Temperaturbin	Ein Temperaturbin ist ein Temperaturband der Breite 1°K. Das BIN „-2°C“ umfasst also alle Monatsstunden mit Außentemperaturen zwischen -2,0 und -2,9999 °C.		
Andere Standorte	Tab.35 gilt für den Standort Potsdam (Deutschland). Für andere Standorte können die Stundensummen und Heizgradstunden aus örtlichen Klimadaten (TRY-Datensätze mit stündlichen Angaben zur Außentemperatur, 8760 Werte/Jahr) ermittelt werden. Dabei sind die Klimadaten nach BIN's (1°K – Temperaturbin) auszuzählen. Da an den Klassengrenzen relativ große BIN's vorkommen, ist die Auszählung nach einem detaillierten Verfahren vorzunehmen, siehe T5, Anhang B.1.	BIN's auszählen	T5, B.1
COP's	Die benötigten COP's für die drei Temperaturklassen werden für die mittlere Quelltemperatur und die benötigte Vorlauftemperatur ermittelt. Da die tabellierten Werte oder Herstellerangaben in der Regel bereits für die mittleren Klassen-Quelltemperaturen (-7, +2 und +7°C) angegeben sind, muss nur für die Vorlauftemperatur inter- / extrapoliert werden.	für Heizung	T5, C.1ff

	 Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizung COP Vorlauftemperatur °C Temperaturklassen (Quelltemperatur) - Tk1 (-7°C) - Tk2 (2°C) - Tk3 (7°C)		
Vorlauftemperatur	Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe ist die mittlere Heizkreistemperatur nach T5, Gl.12 $\Theta_{HK} = 0,5 \cdot (\Theta_{VL} + \Theta_{RL})$ = arithmetisches Mittel aus (lastabhängiger) Vor- und Rücklauftemperatur im Heizkreis, Monatswerte. Hinweis: Bei wasserbasierten Heizsystemen muss die COP einer Luft-Wasser-WP auf den Mindestwert von $\Theta_{HK} = +30^{\circ}\text{C}$ korrigiert werden, auch wenn Θ_{HK} bei Flächenheizsystemen $< 30^{\circ}\text{C}$ berechnet wird (T5, B.6.3). Diese Mindest-Vorlauftemperatur bedeutet eine Verschärfung gegenüber der Normfassung von 2011.	MIN 30°C neu	T5, Gl.12
COP-Korrekturen	Die COP's müssen korrigiert werden - auf die Temperaturspreizung im Betrieb und - auf den Belastungsgrad im Betrieb $\text{COP}_{\text{kor}, \text{TKi}} = \text{COP}_{\text{TKi}} \cdot f_{dT} \cdot f_{\text{Pint}}$ 1. Die COP's werden bei der Prüfung der Geräte bei einer Temperaturspreizung von 5°K zwischen Vorlauftemperatur der WP und Wärmesenke (Pufferspeicher) ermittelt. Diese Temperaturspreizung kann im realen Betrieb abweichen. Die Temperaturspreizung im Betrieb kann nach Anhang B.5 berechnet werden (macht die Software), die Korrekturfaktoren f_{dT} sind in Tab.37 gelistet. 2. Der Teillastfaktor f_{Pint} berücksichtigt die zusätzlichen Schaltvorgänge, wenn die Wärmepumpe mit Unterbrechungen (Teillast) arbeitet. f_{Pint} kann den COP bei Flächenheizsystemen um maximal 2,5% reduzieren, bei Konvektionsheizungen ohne Pufferspeicher um mehr als 40%. Für die Ermittlung nach Tab.C.11 ist – neben der Art des Verteilsystems – ein Lastfaktor erforderlich.	Temperaturspreizung Teillastbetrieb	
Lastfaktor	Der monatliche Lastfaktor FC wird nach Gl.136 mit $\text{FC} = \text{Anteil der WP-Laufzeit} / \text{mögliche Laufzeit}$	FC	

	als Mittelwert aus allen Temperaturklassen berechnet. Man könnte annehmen, dass ein Lastfaktor und damit f_{Pint} nach Temperaturklassen getrennt berechnet realistischer wäre.		
benötigte Laufzeit	Die benötigte WP-Laufzeit wird nach Gl.132 berechnet benötigte Laufzeit = anteiliger Heizwärmebedarf in T_{ki} / Heizleistung in T_{ki} Für die Berechnung der Laufzeit der WP in Temperaturklasse i wird die Heizleistung in T_{ki} benötigt.		T5, Gl.132
Heizleistung	Siehe TWW-Berechnung. Die Nennleistung der WP (Herstellerangabe) bezieht sich bei Luft-Wasser-WP's in der Regel auf die Temperaturpaarung (A7 / W35). Für andere Temperaturpaarungen kann die Heizleistung der WP mit Heizleistung = Nennleistung * relative Heizleistung berechnet werden (lineare Inter- bzw. Extrapolation, wie bei den COP's). Die relativen Heizleistungen für verschiedene Temperaturklassen sind in T5, Tab.C.1 bis C.5 angegeben, für A7/W35 ist die relative Heizleistung = 1.	In T_{ki}	
Nachheizbedarf	Heizbedarf, den die WP nicht decken kann. Ein Nachheizbedarf entsteht - wenn die Laufzeit in einer Temperaturklasse nicht ausreicht (Laufzeitbegrenzung), also bei monatlicher Betrachtung wenn gilt benötigte Laufzeit in T_{ki} > Zeitanteil T_{ki} * (Monatsstunden – TWW-Laufzeit – EVU-Abschaltung) - wenn die Wärmepumpe ab einer definierten Bivalenztemperatur im Parallel- oder Alternativbetrieb mit einem zweiten Wärmeerzeuger zusammen arbeitet - wenn die Wärmepumpe eine untere Einsatzgrenze besitzt und unterhalb dieser Temperatur abschaltet. Der gesamte Nachheizbedarf $Q_{\text{w,bu}}$ erhält man als Summe aus den vorgenannten Anteilen.	Laufzeitbegrenzung Bivalenzbetrieb untere Einsatzgrenze	
Bivalenztemperatur	Die Bivalenztemperatur beschreibt eine Außenlufttemperatur, ab der ein zweiter Wärmeerzeuger zugeschaltet wird. Häufig wird für Luft-Wasser-Wärmepumpen die Bivalenztemperatur $T_{\text{Bivalenz}} = -2 \text{ °C}$ verwendet. Ein Bivalenzbetrieb kann als Parallelbetrieb oder Alternativbetrieb erfolgen.		

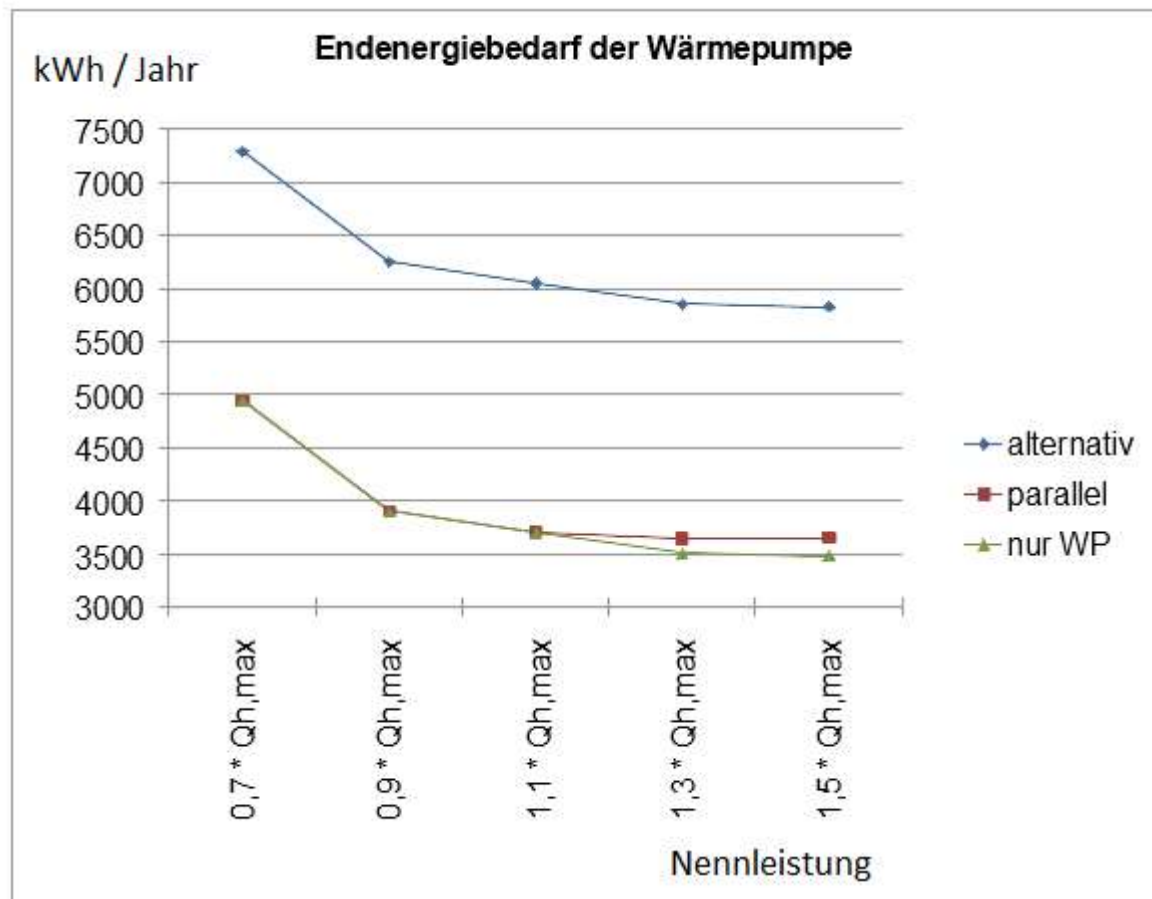
Bivalenzbetrieb	Im Parallelbetrieb unterhalb T_{Bivalenz} entfallen auf die Wärmepumpe die Heizgradstunden bis T_{Bivalenz} und auf den zweiten WE die restlichen Heizgradstunden (jeweils in der betrachteten Temperaturklasse).	Parallelbetrieb	
	Im Alternativbetrieb kommt unterhalb T_{Bivalenz} nur der 2. Wärmeerzeuger zum Einsatz, die WP wird abgeschaltet. Das entspricht einem Abschaltbetrieb unterhalb T_{Bivalenz} .	Alternativbetrieb	



Hinweis: Die Klassengrenzen zwischen Tk1 und Tk2 bzw. zwischen Tk2 und Tk3 wurde 2018 geändert. Die Klassengrenzen fallen jetzt mit den BIN-Grenzen bei -3,0 °C und bei +4,0°C zusammen.

Nachheizung	Weil die Arbeitszahl der Wärmepumpe immer > 1 ist und daher in jedem Fall besser, als die Arbeitszahl einer Elektroheizung (Arbeitszahl 1.0), macht ein Bivalenzbetrieb nur Sinn, wenn ein zweiter, konventioneller Wärmeerzeuger mit günstigem Primärenergiefaktor oder günstigerem Energiepreis zum Einsatz kommt. Der Nachheizbedarf $Q_{h,out,bu}$ würde dann in den Abschnitt 13.10 übergeben werden.		
Heizgrenztemperatur	Außentemperatur (Tagesmittel), ab der nicht mehr geheizt werden muss. Regelwert in Deutschland 12 bzw. im Bestand 15°C, bei Neubauten +10°C. Oberhalb der Heizgrenztemperatur sorgen interne Wärmeeinträge und solare Wärmegewinne für eine ausreichende Temperierung des Gebäudes.		
Pufferspeicher	Ein separater Heizwärmepufferspeicher ist bei trägen Heizsystemen, wie Fußbodenheizungen in der Regel nicht erforderlich. Bei freien Heizflächen (Konvektoren) sollte allerdings ein Pufferspeicher vorgesehen werden, da andernfalls die Korrekturfaktoren für den Teillastbetrieb f_{Pint} weit in den Keller gehen, siehe T5, Tab.C.11.		
Endenergiebedarf WP	$Q_{h,f, hp} = \sum ((Q_{h,outg, Tki} - Q_{h,out, bu, Tki}) / COP_{corr, Tki})$ Endenergiebedarf der WP für Heizwärme = (Heizwärmebedarf – Nachheizbedarf) / COP Summe aus den Temperaturklassen $i = 1$ bis 3, monatlich berechnet.		
Summe Endenergiebedarf	$Q_{h,f} = Q_{h,f, hp} + Q_{h,f, bu}$ Endenergiebedarf = Endenergiebedarf der Wärmepumpe + Nachheizbedarf		

Dimensionierung der Wärmepumpe



alternativ Alternativbetrieb unterhalb TBivalenz (-2°C)
 parallel Parallelbetrieb unterhalb TBivalenz (-2°C)
 nur WP WP-Betrieb bis zur max. möglichen Laufzeit, kein Parallelbetrieb

Darstellung	Die Grafik zeigt den Jahres-Endenergiebedarf der Wärmepumpe und der elektrischen Nachheizung für ein Berechnungsbeispiel mit unterschiedlichen Betriebsweisen und unterschiedlicher Nennleistung der Wärmepumpe. Die WP-Nennleistung (für A7 / W35) ist relativ zur Gebäudeheizlast Q _{h,max} (DIN V 18599-2:2018) auf der Abszisse angegeben.		
alternativ	Im Alternativbetrieb wird die Wärmepumpe ab dem Bivalenzpunkt (hier -2°C) abgeschaltet und die (elektrische) Nachheizung übernimmt. Der Endenergiebedarf enthält dann die gesamte Heizarbeit in der unteren Temperaturklasse über die Elektroheizung. Bei kleinen Nennleistungen entsteht zusätzlicher Nachheizbedarf infolge Laufzeitbegrenzung in der zweiten Temperaturklasse Tk2, der Endenergiebedarf steigt zusätzlich an.		
parallel	Im Parallelbetrieb arbeitet die Wärmepumpe		

	unterhalb der Bivalenztemperatur parallel zum Heizstab (2.WE) weiter, leistet aber nur die Heizarbeit bis zur Bivalenztemperatur. Weil die Arbeitszahl der Wärmepumpe immer >1 ist und damit besser als der Heizstab, wird der Strombedarf gegenüber dem Alternativbetrieb deutlich reduziert.		
Nur WP	Im reinen Wärmepumpenbetrieb unterscheidet sich der Endenergiebedarf im Vergleich zum Parallelbetrieb zunächst wenig. Das gilt bis zu einer Nennleistung der Wärmepumpe von etwa $1,1 \cdot Q_{h,max}$. Der Nachheizbedarf infolge Laufzeitbegrenzung deckt sich dann in etwa mit dem Nachheizbedarf infolge Parallelbetrieb. Bei höheren Nennleistungen kann der Nachheizbedarf infolge Laufzeitbegrenzung weiter verkürzt werden. Das führt zu Vorteilen gegenüber dem Parallelbetrieb, dessen Nachheizbedarf ab einer Nennleistung von etwa $1,1 \cdot Q_{h,max}$ nahezu konstant bleibt. Ab Nennleistung $1,3 \cdot Q_{h,max}$ ist auch im reinen Wärmepumpenbetrieb keine Effizienzsteigerung mehr zu beobachten, der Nachheizbedarf infolge Laufzeitbegrenzung ist dann $= 0$.	$1,1 \cdot Q_{h,max}$ $> 1,1 \cdot Q_{h,max}$ $> 1,3 \cdot Q_{h,max}$	
Empfohlene Nennleistung	Aus den vorgenannten Betrachtungen ergibt sich, dass die Nennleistung der Wärmepumpe – mit Bivalenzbetrieb etwa $1,1 \cdot Q_{h,max}$ und – ohne Bivalenzbetrieb $1,3 \cdot Q_{h,max}$ betragen sollte. Die Empfehlung $1,3 \cdot Q_{h,max}$ deckt sich mit der Empfehlung von 2011. DIN V 18599-5:2018 enthält im Anhang B.9 ein Verfahren zur Berechnung der Heizleistung der WP, das aber nicht zu befriedigenden Ergebnissen führt.		
2.WE konventionell	Die Beurteilung des Endenergiebedarfs kann sich ändern, wenn anstelle der elektrischen Nachheizung ein konventioneller Wärmeerzeuger mit günstigerem Primärenergiefaktor oder günstigerem Energiepreis zum Einsatz kommt.		

Weitere Betriebsweisen

gleichzeitiger Kombibetrieb	Luft-Wasser-Wärmepumpen werden meist mit Vorrang für die Warmwasserbereitung berechnet, das heißt, dass für die Heizung nur die mögliche Restlaufzeit nach Abzug der TWW-Laufzeit verbleibt. Alternativ kann auch ein Kombibetrieb mit gleichzeitiger Warmwasserbereitung und Gebäudeheizung berechnet werden. Den Ein- / Ausschalter für gleichzeitigen Kombibetrieb und eine Eingabeoption für die COP's in dieser Betriebsweise finden Sie in der Parametertabelle.		
-----------------------------	--	--	--

regelbare WP	Viele Luft-Wasser-Wärmepumpen werden als regelbare Anlagen angeboten. In solchen Anlagen kann die Heizleistung im Teillastbetrieb durch Anpassungen der Inverter-Drehzahl in einem gewissen Rahmen an den Bedarf angepasst werden. Mit längeren Laufzeiten kann man bessere Teillastfaktoren erreichen und ggf. auch bessere Leistungszahlen (Herstellerangabe). Gerechnet wird mit Standardwerten. Den Ein- / Ausschalter für WP's mit regelbarer Leistungsaufnahme finden Sie in der Parametertabelle.		
Sole-Wasser-WP	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe im Heizbetrieb wird wie eine TWW-Wärmepumpe ohne Temperaturklassen berechnet. Die COP wird mit der mittleren Quell- und Vorlauftemperatur monatlich ermittelt. Die Korrekturfaktoren für die Temperaturspreizung im Betrieb und den Belastungsgrad im Betrieb sind wie bei Luft-Wasser-Wärmepumpen zu berücksichtigen.		
Hilfsenergiebedarf	Der Hilfsenergiebedarf von Wärmepumpen für die Anlagensteuerung, die Gebläse, die Speicherladepumpe und weitere Komponenten ist in die COP's eingerechnet. Die Förderpumpe (Quellenpumpe) für die Sole bei Sole-Wasser-Wärmepumpen ist allerdings gesondert zu bilanzieren. Die Berechnung erfolgt nach Gl.147 abhängig vom Volumenstrom mit einem Druckabfall von 40 Pascal, falls keine genaueren Werte vorliegen.	allgemein Quellenpumpe	
Grundwasser-WP	analog Sole-Wasser-WP		
Luft-Luft-WP	Abluft-Wärmepumpen können für die Warmwasserbereitung ausreichen. Das verfügbare Abluftvolumen und die darin enthaltene Wärme ist allerdings begrenzt. Für die Gebäudeheizung sind Abluft-Zuluft-Wärmepumpen in der Regel nicht ausreichend. Man kann sie in Passivhäusern als dezentrale Systeme (Einzelgeräte) auch in Verbindung mit Außenluft-Beimischungen einsetzen. Weitere Optionen, wie VRF-Systeme (Kältemittelverteilung im Gebäude) sind möglich.		
motorische WP	Gasmotorische Wärmepumpen erzeugen in einem Generator zunächst den Strom für den Betrieb der Wärmepumpe. Die COP's sind entsprechend schlecht (siehe oben). Darüber hinaus, wird eine gasmotorische wie eine elektrische Wärmepumpe berechnet. Die Primärenergiefaktoren sind vom Brennstoff (Gas) abhängig.		

Beispielhafte Berechnung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Kombibetrieb für Warmwasser und Heizung

Berechnungsprotokoll für eine beispielhafte Wärmepumpenberechnung						
Luft-Wasser-Wärmepumpe für ein Wohngebäude mit AN = 150 qm						
Berechnungsgang für den Endenergiebedarf für den Monat Januar						
für Warmwasser und Heizwärme, Berechnungssoftware DÄMMWERK 2021						
Warmwasser-Wärmebedarf						
Q _{w,outg,Jan}	311,9	kWh/m	Nutzwärmebedarf der Erzeugung Nutzwärmebedarf + Verteilungs- und Speicherverluste			
T _{Zapf}	55	°C	Standard für Trinkwasserspeicher T ₈ , Abs.6.4.5.3 = Senktemperatur			
Nennleistung Q _N	6,5	kW	entspricht 1,1 * Q _{h,max} bei A7 / W35			
TVL _{,max}	>55	°C	obere Temperaturgrenze der WP nicht tangiert			
top _{,max}	620	h/m	mögliche Laufzeit der WP/Monat, Gl.74			
COP's und rel. Heizleistung phi T ₅ , Tab.C.1 - C.3						
TVL	35		45		55	
	COP	phi	COP	phi	COP	phi
T _{quell} -7	2,8	0,69	2,3	0,66	1,9	0,64
T _{quell} +2	3,2	0,85	2,7	0,82	2,1	0,8
T _{quell} +7	3,8	1	3,2	0,97	2,6	0,95
T _{quell,Jan}	1	°C	Quelltemperatur = monatsmittlere Außenlufttemperatur für Deutschland im Januar siehe Tab.21			
COP +1/+55	2,0778		2-dimensional inter- / extrapoliert, T ₅ , Anhang B.6 hier einfach = 1,9 + (1+7)/(2+7)*(2,1-1,9)			
phi +1/+55	5,0844	kW	2-dimensional inter- / extrapoliert, T ₅ , Anhang B.6 hier einfach = 6,5*(0,64 + 8/9*(0,8-0,64))			
im TWW-Betrieb 100% Vollast, keine weiteren Korrekturen						
erf. Laufzeit	61,3	h/m	monatliche Laufzeit = Q _{w,outg,Jan} / (Q _N * phi _{,Jan})			
erf. Laufzeit	2,0	h/d	tägliche Laufzeit top < top _{,max} !			
Q _{w,f,Jan}	150,1	kWh	= Q _{w,outg,Jan} / COP Strombedarf der WP für die Warmwasserbereitung			

Heizwärmebedarf				
Qh,outg,Jan	2343	kWh/m		Nutzwärmebedarf der Erzeugung Heizwärmebedarf + Übergabe- und Verteilungsverluste
COP's				siehe oben, Standard-WP
T,Bivalenz	-2	°C		unterhalb Bivalenztemperatur - Parallelbetrieb
Tunten		°C		untere Einsatzgrenze der WP, nicht projiziert
Tgr	10	°C		Heizgrenztemperatur, Standard für Neubau
Ti,h,Soll	20	°C		Raumsolltemperatur
Heizgradstunden				
Temperaturklassen	Tk1	Tk2	Tk3	
Tquell	-7	2	7	mittlere Quelltemperatur
Bereich	-15 .. -3	-2 .. +4	+5 .. +15	Temperaturbereiche zu Temperaturklassen (sh.Tab.35)
HDH kummuliert	4099	11791	13962	Heizgradstunden [Kh] bis Heizgrenztemperatur Tgr Grenzbins bei -3, +4, +15 keine hälftigen Bins
HDH, Jan	4099	7692	2171	Stunden * dT [Kh]
Laufzeitstunden	156	392	196	Stunden
... kummuliert	156	548	744	Stunden
Zeitanteile	0,20968	0,52688	0,26344	Summe = 1
				Stundenhäufigkeit für TRY 04 nach T5, Tab.34 (Deutschland) für andere Standorte aus TRY-Datensätzen
HDH,Tunten,Jan	0			Heizgradstunden bis zur unteren Einsatzgrenze Tunten [Kh]
t,Tunten	0			Laufzeit bis Tunten [h]
HDH,T,Bivalenz	5089			Grenzbin bei -2°C (hälftig) [Kh]
t,T,Bivalenz	201			Laufzeit bis T,Bivalenz [h]
Wärmebedarf nach Temperaturklassen				
	Tk1	Tk2	Tk3	
Qh,outg,Tki,Jan	688,0	1291,0	364,4	kWh Wärmebedarf nach Temperaturklassen nach Heizgradstunden aufgeteilt
	688,0	1979,0	2343,4	kummuliert
Qh,f,bu,Tunten	0,0	0,0	0,0	kWh Nachheizbedarf durch untere Einsatzgrenze (-10°C)
Qh,out,Tki	688,0	1291,0	364,4	kWh Wärmebedarf verbleibend
Betrieb bis T,Bivalenz (Parallelbetrieb)				
	Tk1	Tk2	Tk3	
HDH,Bivalenz,Tki	4099	990	0	Heizgradstunden im Bivalenzbetrieb nach Tk [Kh]
t,Bivalenzbetrieb	156	45	0	Laufzeit im Bivalenzbetrieb nach Tk [h]
kappa,bu,Tki	0,04777	0	0	Deckungsanteil für den zweiten WE nach T5, Gl.96
Qh,f,bu,2.WE	71,5	0	0	Nachheizbedarf für den 2.WE [kWh] infolge Parallelbetrieb

Korrektur Prüfstand				
dT,VL,Test	10			°K Temperaturdifferenz bei der Prüfstandmessung
dT,Betrieb	7,70664			°K nach Gl.T5 B.25 = $Q_N \cdot (TVL - TRL) / Q_{hmax}$
fdT	0,9768			Korrekturfaktor für abweichende VL-Temperaturdifferenz im Be interpoliert nach T5, Tab.37
COP's und Heizleistung in Tki				
TVL,Jan	28,48			TVL mit Speicher = $(35-20,000) \cdot 0,56519 + 20,000$
TRL,Jan	24,52			TRL mit Speicher = $(28-20,000) \cdot 0,56519 + 20,000$ mit Belastungsgrad für den Speicher
TVL,WP	30			TVL für die WP, Mindestwert siehe T5, B.6.3
fLG	1			Korrekturfaktor für obere Temperaturgrenze T5 Gl.118
	Tk1	Tk2	Tk3	
	-7	2	7	
COP	3,1261	3,5261	4,1913	inter- / extrapoliert für Tki / TVL,WP
QN,i	4,6122	5,6522	6,6272	relative Heizleistung für Tki / TVL,WP [kW] interpoliert
Qh,out,i	616,5	1291,0	364,4	Heizwärmebedarf WP in Tki [kWh] Gl.86/87 = $Q_{h,out,Tki} - Q_{h,f,bu,2 WE}$
WP-Laufzeiten				
	Tk1	Tk2	Tk3	
tON,i	133,7	228,4	55,0	benötigte Laufzeit in TKi [h] = $Q_{h,out,i} \cdot fLG / Q_{N,i}$
tON,max,0	130,0	326,7	163,3	maximale Laufzeit Hzg+TWW ohne EVU, Gl.119 [h]
tON,max	117,1	294,3	147,2	= $t_{ON,max,0} - t_{ON,TWW,zeitanteilig}$
tON	117,1	228,4	55,0	max. Laufzeit der WP in Klasse i für Heizung [h] = $\min(t_{ON,i}; t_{ON,max})$
korrigierte COP's				
	Tk1	Tk2	Tk3	
FC	1	0,776	0,37359	Lastfaktor Gl.136
fPint	0,9866	0,98	0,975	Korrektur für Teillastbetrieb (Taktung) nach T5, Tab.C.11
COP,korr	3,01266	3,37541	3,99171	korrigierte COP nach Gl.138
Endenergiebedarf für Heizung				
	Tk1	Tk2	Tk3	
Qh,f,hp	179,3	382,5	91,3	Endenergiebedarf der WP für Heizung in TKi [kWh] = $Q_{N,i} \cdot t_{ON} / COP_{korr}$
			653,1	Monatssumme alle Tk [kWh]
Qh,f,bu,Tunten	0,0	0,0	0,0	Nachheizbedarf infolge unterer Temperaturgrenze
Qh,f,bu,TONmax	76,2	0,0	0,0	Nachheizbedarf infolge Laufzeitbegrenzung = $Q_{h,out,i} - Q_{N,i} \cdot t_{ON}$
Qh,f,bu,2.WE	71,5	0,0	0,0	Nachheizbedarf infolge Parallelbetrieb unterhalb TBivalenz
Qh,f,bu,Tgrenz	0,0	0,0	0,0	Nachheizbedarf infolge oberer Temperaturgrenze
	147,7	0,0	0,0	Summen
			147,7	alle Tk
Endenergiebedarf			800,8	= $Q_{h,f,hp} + Q_{h,f,bu}$

KERN ingenieurkonzepte
Software für Architekten und Ingenieure

Hagelberger Straße 17
10965 Berlin

Fon 030-78956780

Fax 030- 78956781

Internet www.bauphysik-software.de
E-Mail info@bauphysik-software.de

Folgen Sie DÄMMWERK
jetzt auch auf



<https://www.linkedin.com/company/bauphysik-software>

