

Planung und Installation

Luft-Wasser-Wärmepumpen

Sole-Wasser-Wärmepumpen

Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Planung und Installation

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung erlaubt.

STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG, 37603 Holzminden

Rechtshinweis

Eine Fehlerfreiheit der in diesem Planungshandbuch enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Zusammenstellung nicht garantiert werden. Aussagen über Ausstattung und Ausstattungsmerkmale sind unverbindlich. Die in diesem Planungshandbuch beschriebenen Ausstattungsmerkmale gelten nicht als vereinbarte Beschaffenheit unserer Produkte. Einzelne Ausstattungsmerkmale können auf Grund ständiger Fortentwicklung unserer Produkte zwischenzeitlich verändert oder gar entfallen sein. Über die zurzeit gültigen Ausstattungsmerkmale informieren Sie sich bitte bei unserem Fachberater. Die bildlichen Darstellungen in dem Planungshandbuch stellen nur Anwendungsbeispiele dar. Die Abbildungen enthalten auch Installationsteile, Zubehör und Sonderausstattungen, die nicht zum serienmäßigen Lieferumfang gehören.

Technische Angaben

Maßangaben in Abbildungen sind, sofern nicht anders angegeben, in Millimetern. Druckangaben können in Pascal (MPa, hPa, kPa) als auch in Bar (bar, mbar) angegeben sein. Gewindeangaben sind entsprechend ISO 228 angegeben. Sicherungstypen und Sicherungsgrößen sind entsprechend VDE angegeben. Leistungsdaten beziehen sich auf neue Geräte mit sauberen Wärmeübertragern.

WP-Grundlagen

Inhaltsverzeichnis

Wärmepumpen-Grundlagen	4	Luft-Wasser-Wärmepumpen - Außenaufstellung	84
Funktionsprinzip	4	Kondenswasserablauf	84
Wärmequelle Luft	6	Checkliste Luft-Wasser-Wärmepumpen, Außenaufstellung	85
Wärmequelle Wasser	7	Luft-Wasser-Wärmepumpen - Innenaufstellung	86
Wärmequelle Erdreichkollektor	8	Luftführung	86
Wärmequelle Erdwärmesonde	9	Kondenswasserablauf	88
Betriebsarten	10	Checkliste Luft-Wasser-Wärmepumpen, Innenaufstellung	89
Bivalenter Betrieb	14	Erdreich-Wärmepumpen	90
Formelsammlung	16	Solegemisch	90
Vorschriften und Normen - Installation	18	Erdreichkollektor	92
Vorschriften und Normen - Planung	19	Checkliste Erdreichkollektor	96
Heizlastberechnung	20	Erdreichsonde	98
Heizflächentemperatur	21	Checkliste Erdreichsonde	100
Auslegung - Fixspeed Luft-Wasser-Wärmepumpen	22	Wärmequelle Wasser	102
Auslegung - Fixspeed Sole-Wasser-Wärmepumpen	24	Wärmequellen-Anlage	102
Auslegung - Fixspeed Wasser-Wasser-Wärmepumpen	26	Brunnenanlage	103
Auslegung - Inverter Luft-Wasser-Wärmepumpen	27	Brunnenpumpe	104
Auslegung - Inverter Sole-Wasser-Wärmepumpen	28	Zwischenwärmeübertrager	105
Elektrischer Anschluss - Deutschland	30	Checkliste Wasser-Wasser-Wärmepumpen	106
Heizwasserqualität	32		
Heizwasserenthärtung	34		
Pufferspeicher	40		
Trinkwarmwasserbereitung	44		
DVGW W 511	44		
DIN 1988-200	45		
Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung	46		
Auslegung	50		
Trinkwarmwasser-Speicher	50		
DIN EN 15450 im Mehrfamilienhaus / Zapfprofilabelle	51		
Mehrfamilienhaus mit zentralem Trinkwarmwasser-Speicher	52		
Zentrale Trinkwarmwasser-Speicher für Wohngebäude	54		
Durchlaufspeicher für Wohngebäude	55		
Speicherdimensionierung für Wohnungsstationen	56		
Mehrfamilienhaus mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung	58		
Mehrfamilienhaus mit Wohnungsstation	60		
Kühlung	62		
Passive und aktive Kühlung	62		
Kühllastberechnung	63		
Wärmesenken für den Kühlbetrieb	66		
Beispiel-Auslegungen	69		
Aktive Kühlung - Luft-Wasser-Wärmepumpe	70		
Aktive Kühlung - Sole-Wasser-Wärmepumpe	71		
Passive Kühlung - Sole-Wasser-Wärmepumpe	72		
Flächenkühlung	73		
Deckenkühlung	74		
Betonkernaktivierung	75		
Gebläsekonvektoren und Kassettengeräte	76		
Schall	78		
Schalleistung, Schalleistungspegel	78		
Schalldruckpegel	79		
Abstandsgesetz	80		
Schallausbreitung und Körperschall	81		
Schall-Planungshilfe	82		

Wärmepumpen-Grundlagen

Funktionsprinzip

Prinzip einer Wärmepumpe

Den wichtigsten Beitrag für die Funktion einer Wärmepumpe leistet das Arbeitsmedium. Das Arbeitsmedium hat die Eigenschaft, bei niedrigen Temperaturen zu verdampfen.

Wenn z. B. Außenluft oder Wasser über einen Wärmeübertrager geführt wird in dem das Arbeitsmedium zirkuliert, entzieht das Arbeitsmedium der Wärmequelle einen Teil der darin enthaltenen Wärme. Bei diesem Prozess geht das Arbeitsmedium vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über. Die Wärmequelle kühlt sich ab.

Ein Verdichter saugt das gasförmige Arbeitsmedium an und verdichtet es. Durch die Druckerhöhung steigt auch die Temperatur des Arbeitsmediums.

Für diesen Prozess ist elektrische Energie für den Verdichter notwendig.

Die Abwärme des Verdichtermotors wird mit dem verdichteten Arbeitsmedium in den nachgeschalteten Verflüssiger geleitet.

Im Verflüssiger gibt das Arbeitsmedium die aufgenommene Wärme an das Wasser-Umlaufsystem ab. Das Arbeitsmedium geht dabei vom dampfförmigen in den flüssigen Aggregatzustand über.

Der Druck des Arbeitsmediums wird mit einem Expansionsventil abgebaut.

Leistungszahl der Wärmepumpe

Die Leistungszahl ε_{WP} entspricht dem Quotienten aus Heizleistung Q_{WP} und elektrischer Leistungsaufnahme P_{WP} nach der Gleichung:

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

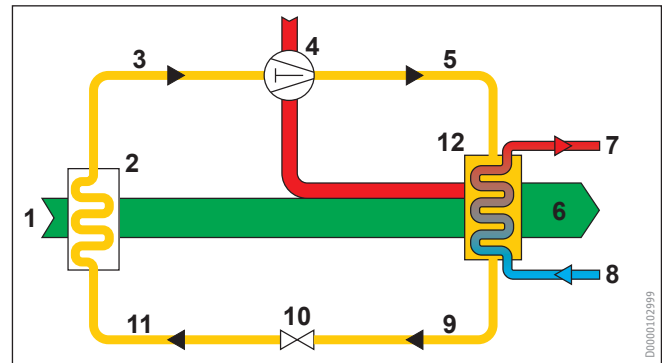
ε_{WP}	Leistungszahl
Q_{WP}	Heizleistung
P_{WP}	elektrischer Leistungsaufnahme

Die Leistungszahl gibt Aufschluss darüber, wie viel- mal größer der Nutzen gegenüber dem Aufwand ist.

Die Leistungszahl ist abhängig von der Temperatur der Wärmequelle und des Wärmeverbrauchers. Je höher die Wärmequellen-temperatur und je niedriger die Wärmeverbraucher-Temperatur, desto höher ist die Leistungszahl.

Die Leistungszahl bezieht sich als Momentanwert immer auf einen bestimmten Betriebszustand.

Prinzipbild Kältekreis Wärmepumpe



- 1 Umweltwärme
- 2 Verdampfer
- 3 Saugleitung, Arbeitsmedium gasförmig, niedriger Druck
- 4 Verdichter
- 5 Druckleitung, Arbeitsmedium gasförmig, hoher Druck
- 6 Heizwärme
- 7 Vorlauf
- 8 Rücklauf
- 9 Flüssigkeitsleitung, Arbeitsmedium flüssig, hoher Druck
- 10 Expansionsventil
- 11 Einspritzleitung, Arbeitsmedium flüssig, niedriger Druck
- 12 Verflüssiger

Notizen

Wärmepumpen-Grundlagen

Wärmequelle Luft

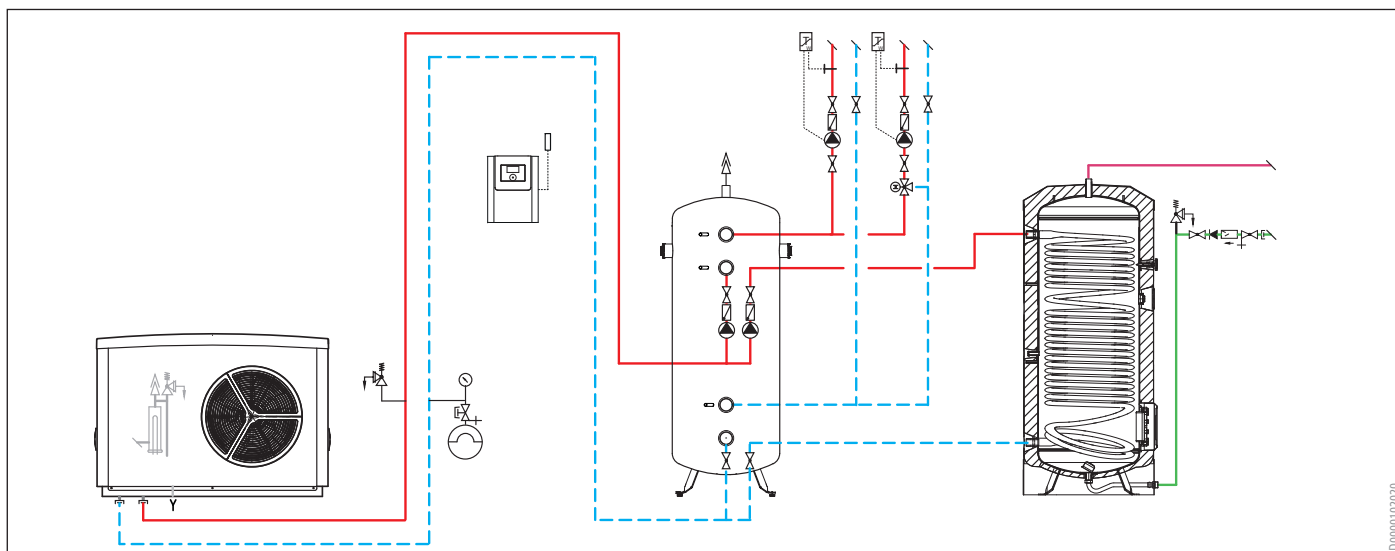
Wärmequelle Luft

Von der Sonne erwärmte Luft ist überall vorhanden. Luft-Wasser-Wärmepumpen können selbst bei Minusgraden der Außenluft noch genügend Energie für den Heizbetrieb entziehen.

Eine Wärmepumpe kann der Wärmequelle Luft bis zu ca. -20 °C Wärme entziehen.

Mit abnehmender Wärmequellentemperatur sinkt auch die Leistungszahl. Eine Lösung für diese Situation ist die Kombination von einer Wärmepumpe mit einem zweiten Wärmeerzeuger, der während der kurzen, besonders kalten Zeit, die Wärmepumpe unterstützt.

Ein großer Vorteil von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist die einfache Installation. Erdreicharbeiten oder Brunnenbohrungen sind nicht notwendig.



Wärmepumpen-Grundlagen

Wärmequelle Wasser

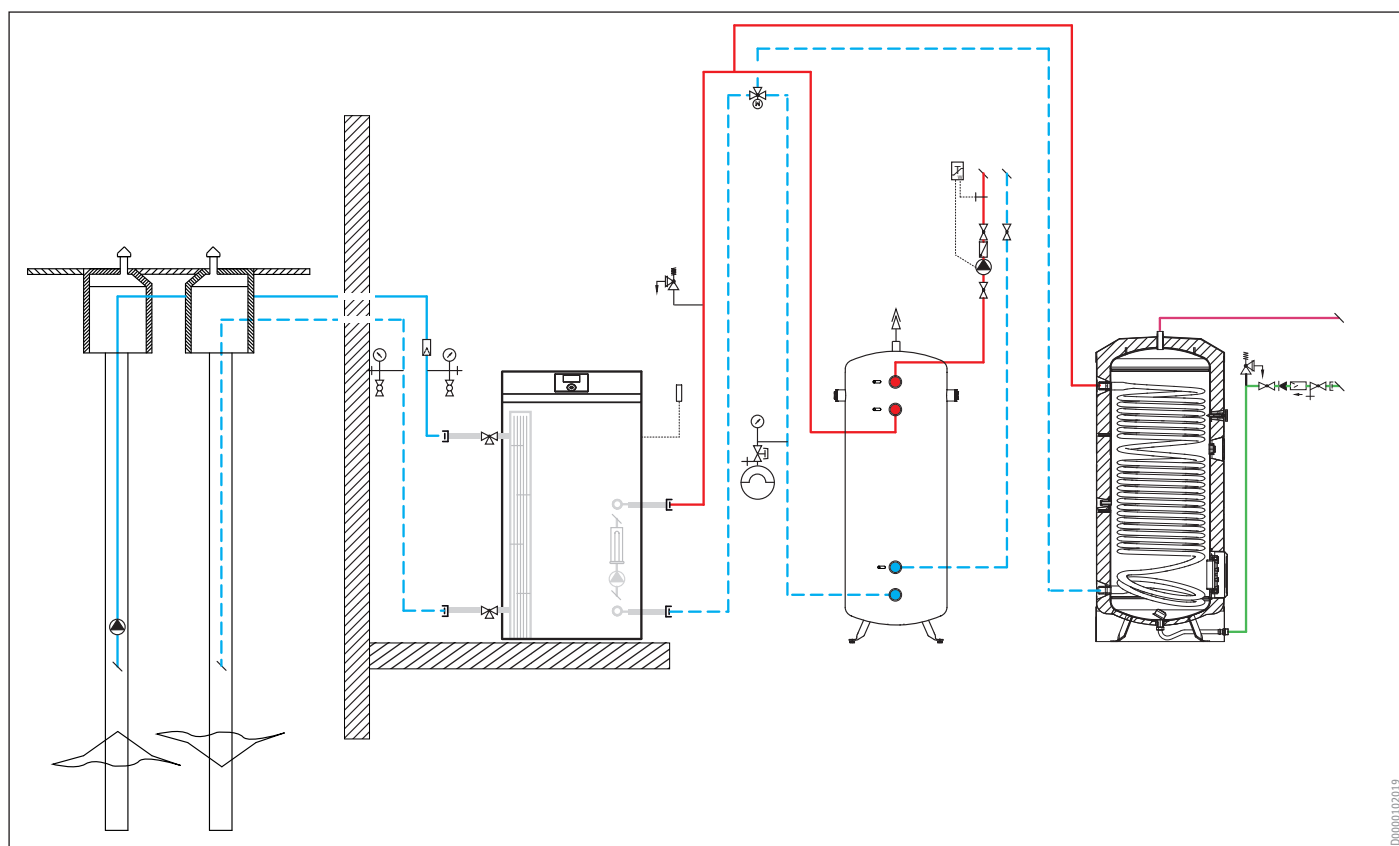
Wärmequelle Wasser

Grundwasser ist ein guter Energiespeicher für Sonnenwärme. Selbst an kältesten Wintertagen hält das Brunnenwasser eine konstante Temperatur von +7 °C bis +12 °C bereit.

Durch das konstante Temperaturniveau der Wärmequelle ist die Leistungszahl der Wärmepumpe über das ganze Jahr nahezu gleich.

Grundwasser steht nicht überall in ausreichender und in geeigneter Qualität zur Verfügung. Ein Saugbrunnen und ein Schluckbrunnen sind für die Wärmenutzung notwendig.

In Deutschland genehmigt die zuständige Behörde die Nutzung von Grundwasser.



D10000102019

Wärmepumpen-Grundlagen

Wärmequelle Erdreichkollektor

Wärmequelle Erdreich mit einem Erdreichkollektor

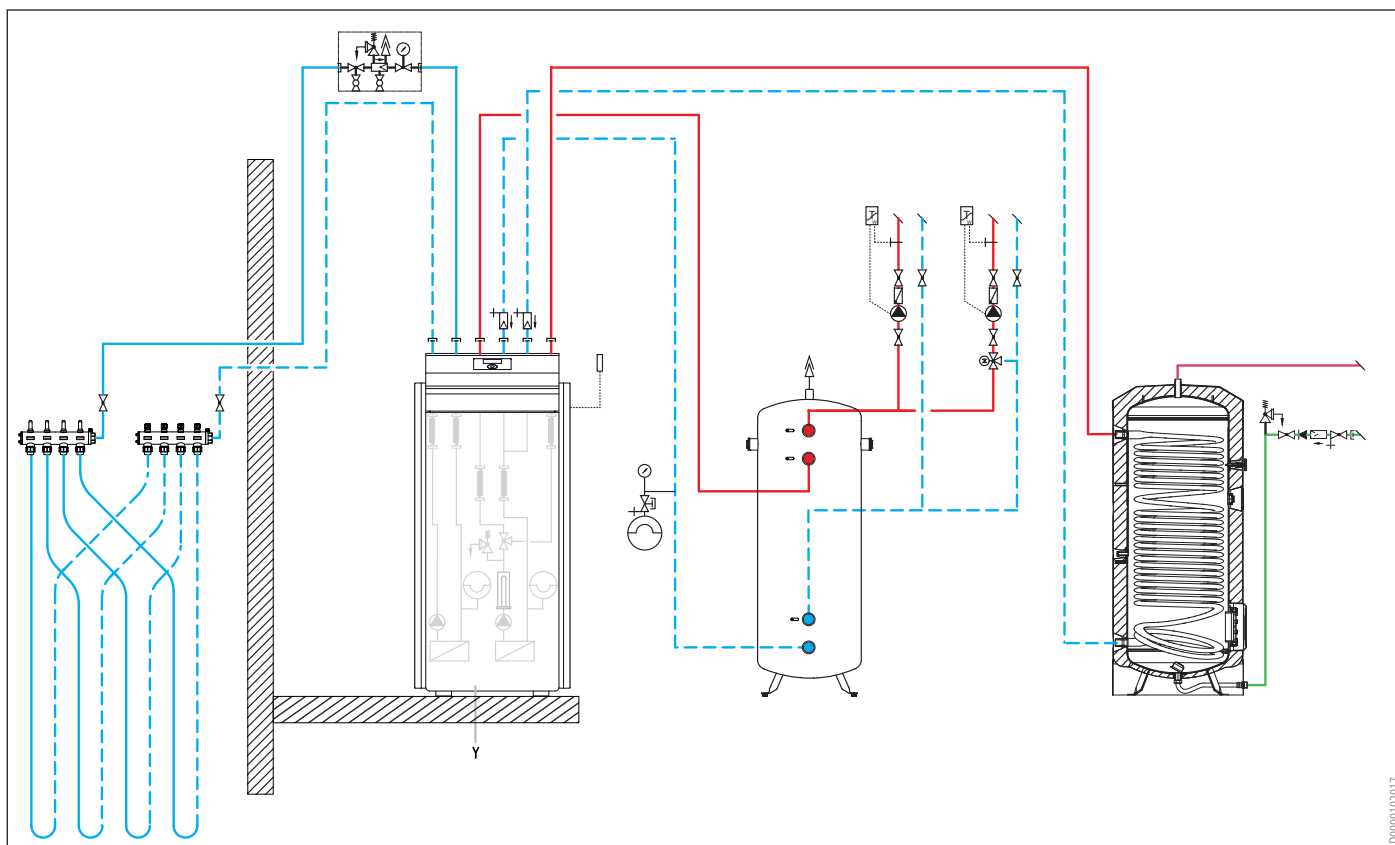
In Mitteleuropa bleibt das Erdreich in einer Tiefe von ca. 1,20 m bis 1,50 m auch an kalten Wintertagen warm genug, um Wärmepumpen wirtschaftlich zu betreiben.

Für einen Erdreichkollektor wird eine ausreichend große Grundstücksfläche für das Rohrsystem benötigt, das die Erdreichwärme aufnimmt. Es wird ca. zwei- bis dreimal so viel Erdreichfläche wie die zu beheizende Wohnfläche benötigt.

Die Entzugsleistung eines Erdreichkollektors liegt zwischen 10 und 15 W/m² bei trockenem, sandigem Boden und bis zu 40 W/m² bei Grundwasserführendem Boden.

Durch die Rohre fließt ein umweltfreundliches Solegemisch, das nicht einfrieren kann und die aufgenommene Wärme zum Verdampfer der Wärmepumpe leitet.

Wenn ein genügend großes Grundstück vorhanden ist, steht eine unerschöpfliche Energiereserve für eine Sole-Wasser-Wärmepumpe zur Verfügung.



Wärmepumpen-Grundlagen

Wärmequelle Erdwärmesonde

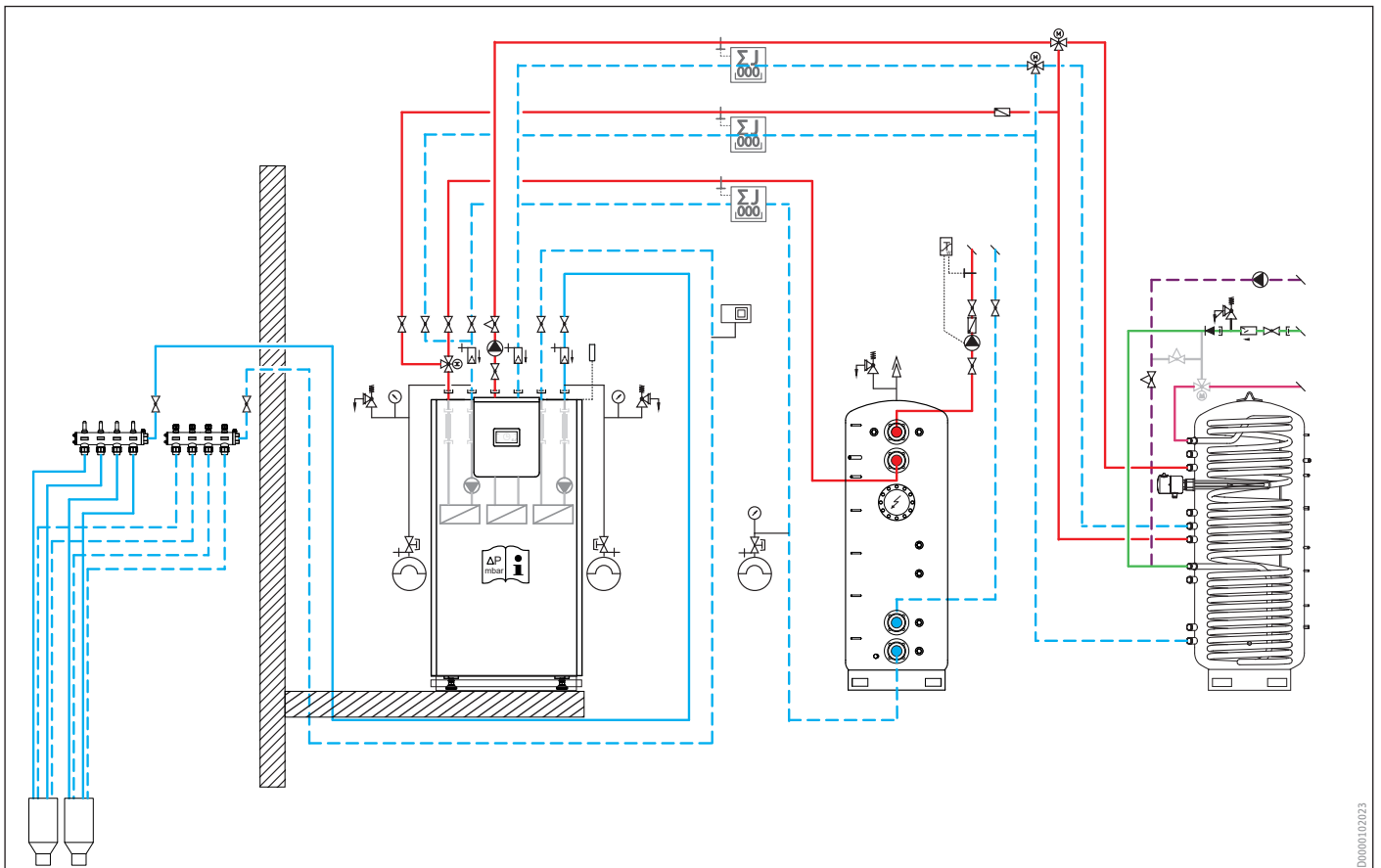
Wärmequelle Erdreich mit einer Erdwärmesonden-Anlage

Vertikale Erdwärmesonden benötigen wenig Grundstücksfläche. Mit einem Bohrgerät werden Erdwärmesonden bis zu ca. 100 Meter tief in das Erdreich eingesetzt.

Erdwärmesonden bestehen aus einem Sondenfuß und vertikalen Sondenrohren aus Kunststoff. In dem Kunststoff-Rohrsystem zirkuliert ein Solegemisch, das dem Erdboden die Wärme entzieht.

Die Entzugsleistung ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Die Entzugsleistung liegt zwischen ca. 30 und 100 W pro Meter Erdwärmesonde. Je nach Wärmepumpe und Bodenbeschaffenheit werden mehrere Erdwärmesonden zu einer Quellenanlage zusammengeschaltet.

In Deutschland müssen diese Anlagen angezeigt und ggf. von der unteren Wasserbehörde genehmigt werden.



D0000102023

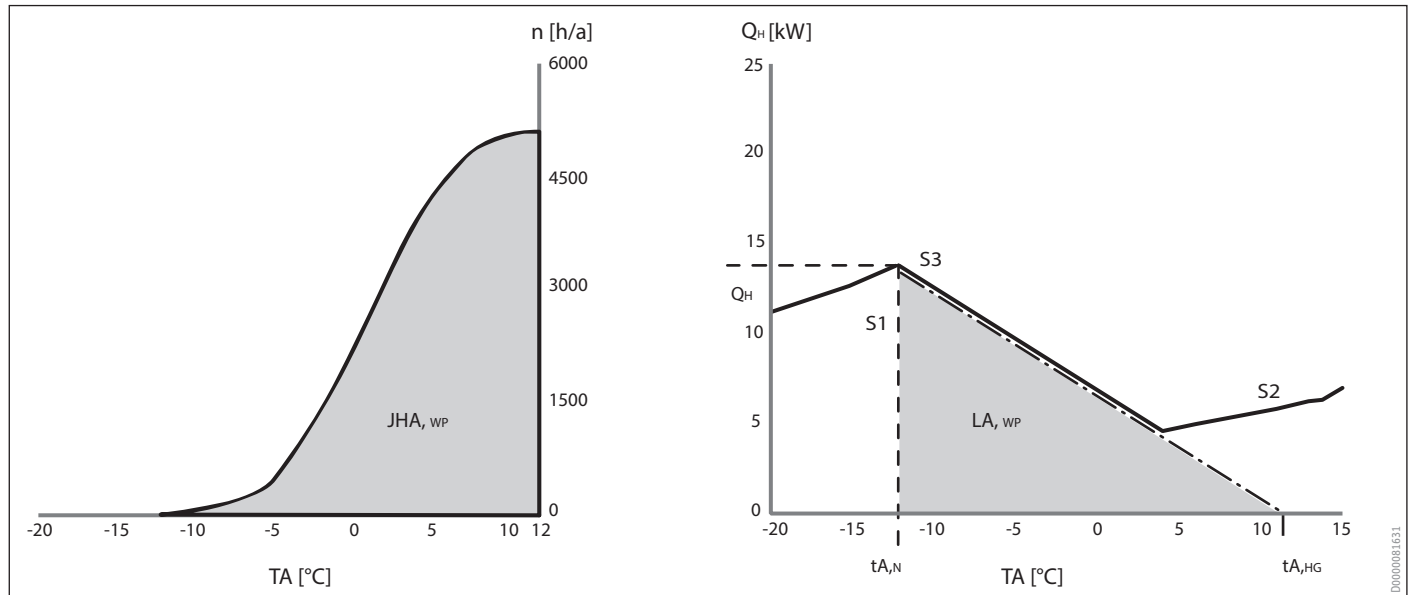
Wärmepumpen-Grundlagen

Betriebsarten

Monovalenter Betrieb

Die Wärmepumpe ist alleiniger Heizwärmeerzeuger. Die Wärmepumpe deckt die gesamte Heizlast des Gebäudes und der Warmwasserbereitung ab. Diese Betriebsart ist geeignet für alle Niedertemperaturheizungen bis max. 60 °C Vorlauftemperatur. Die Auslegung auf den berechneten Wert muss für die maximale

Vorlauftemperatur bei minimaler Wärmequellentemperatur erfolgen. Die monovalente Betriebsweise ist üblich bei Wärmepumpen mit der Energiequelle Sole oder Wasser.



JHA_{WP}	Jahresheizarbeit der Wärmepumpe
JHA_{2WE}	Jahresheizarbeit des zweiten Wärmeerzeugers
A	Abschaltpunkt
B	Bivalenzpunkt
TA	Außentemperatur
tA_B	Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
t1	Laufzeit Wärmepumpe
t2	Laufzeit zweiter Wärmeerzeuger
n	Summenhäufigkeit Außentemperatur
S1	Auslegungsbedingungen
S2	Leistung Wärmepumpe

S3	Gebäudeheizlast
A	Abschaltpunkt
B	Bivalenzpunkt
LA_{WP}	Leistungsanteil Wärmepumpe
LA_{2WE}	Leistungsanteil des zweiten Wärmeerzeugers
tA_{HG}	Außentemperatur bei Heizgrenze in °C
tA_N	Norm-Außentemperatur in °C
tA_B	Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
TA	Außentemperatur
Q_H	Gebäudeheizlast bei Norm-Außentemperatur in kW

Wärmepumpen-Grundlagen

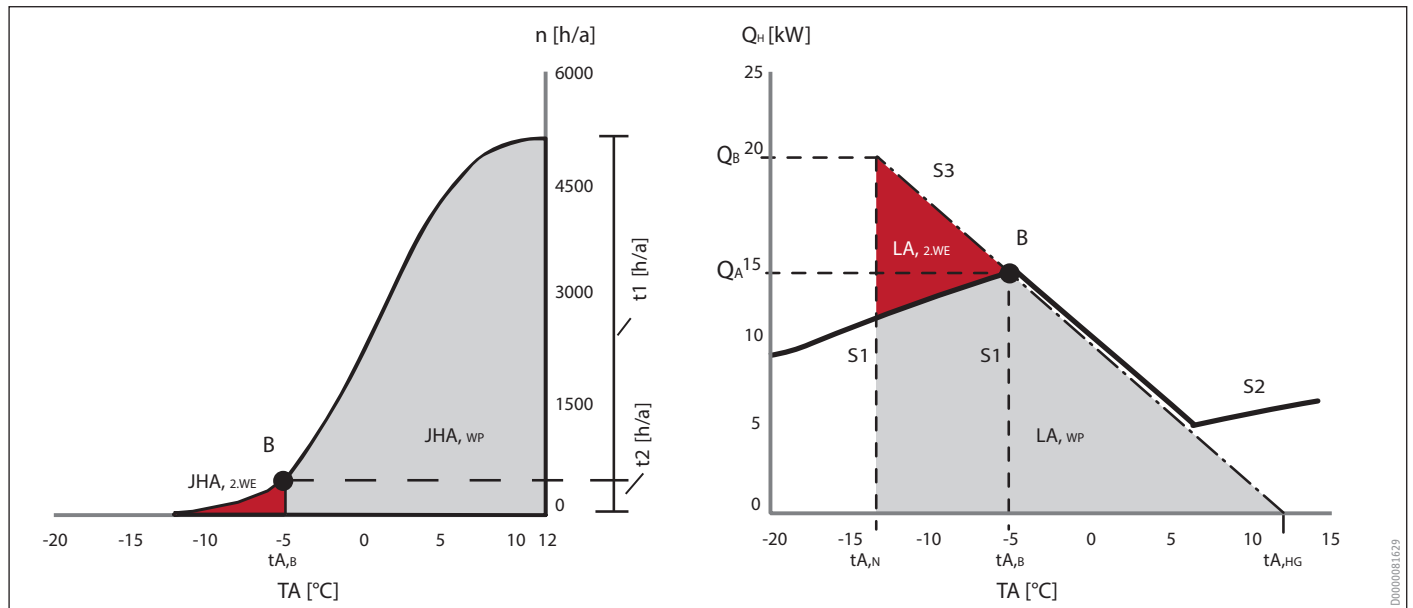
Betriebsarten

Bivalent-parallel / monoenergetischer Betrieb

Spitzenleistungen im Winter werden nicht alleine durch die Wärmepumpe abgedeckt, sondern mit einer elektrischen Not-/Zusatzheizung. Beide Wärmeerzeuger arbeiten dann parallel. Der Anteil der Wärmepumpe an der Jahresleistung ist höher als beim bivalent-alternativen Betrieb.

Diese Betriebsweise ist für geeignete Fußbodenheizungen und

Radiatoren bis zur maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe geeignet.



- JHA_{WP} Jahresheizarbeit der Wärmepumpe
- JHA_{2WE} Jahresheizarbeit des zweiten Wärmeerzeugers
- A Abschaltpunkt
- B Bivalenzpunkt
- T_A Außentemperatur
- $t_{A,B}$ Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
- t_1 Laufzeit Wärmepumpe
- t_2 Laufzeit zweiter Wärmeerzeuger
- n Summenhäufigkeit Außentemperatur

- S1 Auslegungsbedingungen
- S2 Leistung Wärmepumpe
- S3 Gebäudeheizlast
- A Abschaltpunkt
- B Bivalenzpunkt
- JHA_{WP} Leistungsanteil Wärmepumpe
- LA_{2WE} Leistungsanteil des zweiten Wärmeerzeugers
- $t_{A,HG}$ Außentemperatur bei Heizgrenze in °C
- $t_{A,N}$ Norm-Außentemperatur in °C
- $t_{A,B}$ Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
- T_A Außentemperatur
- Q_H Gebäudeheizlast bei Norm-Außentemperatur in kW

Deckungsgrad gemäß DIN 4701-10

Deckungsanteil α_{Ha} bei bivalent-parallellem Betrieb

Bivalenzpunkt T_E	°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Deckungsanteil		1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,87	0,83	0,77	0,70	0,61

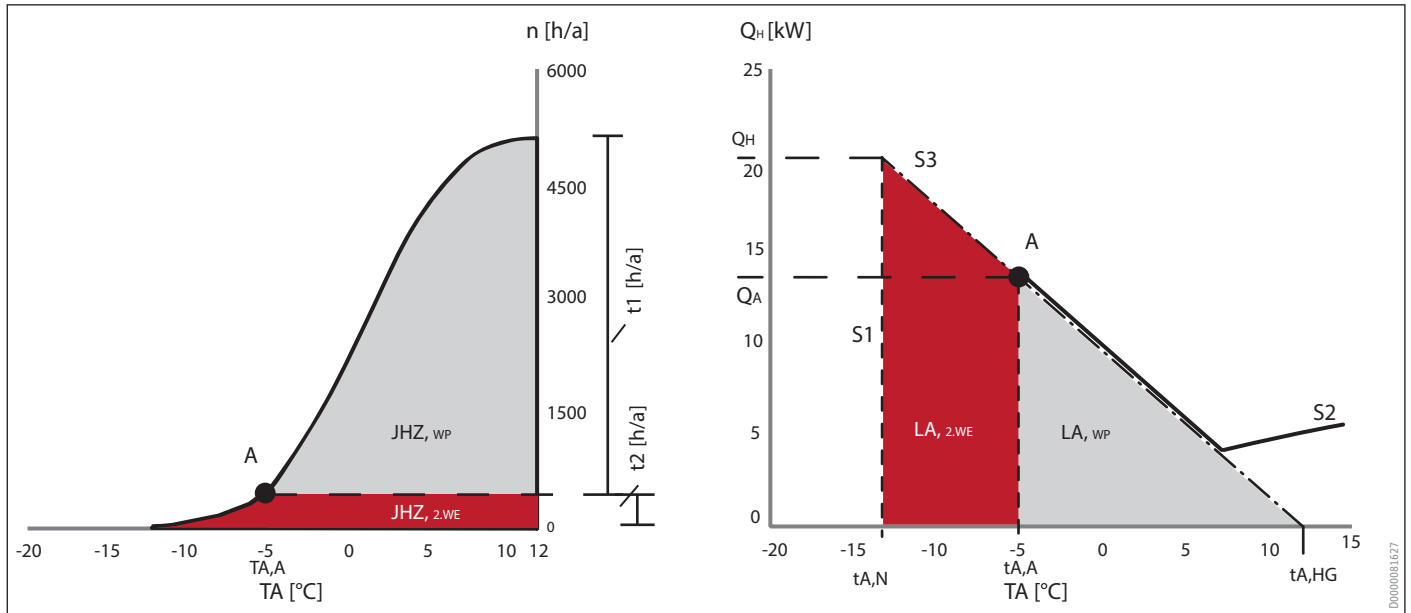
Wärmepumpen-Grundlagen

Betriebsarten

Bivalent-alternativer Betrieb

Die Wärmepumpe liefert bis zu einer durch den Fachmann festgelegten Außentemperatur die gesamte Heizwärme. Die festgelegte Außentemperatur wird Bivalenzpunkt genannt. Wenn die Temperatur unter den Bivalenzpunkt sinkt, schaltet sich die

Wärmepumpe ab und der zweite Wärmeerzeuger übernimmt die Heizung. Diese Betriebsart ist für alle Heizungssysteme über 60 °C Vorlauftemperatur möglich.



- JHA_{WP} Jahresheizarbeit der Wärmepumpe
- JHA_{2WE} Jahresheizarbeit des zweiten Wärmeerzeugers
- A Abschaltpunkt
- B Bivalenzpunkt
- T_A Außentemperatur
- $t_{A,B}$ Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
- t_1 Laufzeit Wärmepumpe
- t_2 Laufzeit zweiter Wärmeerzeuger
- n Summenhäufigkeit Außentemperatur

- S_1 Auslegungsbedingungen
- S_2 Leistung Wärmepumpe
- S_3 Gebäudeheizlast
- A Abschaltpunkt
- B Bivalenzpunkt
- LA_{WP} Leistungsanteil Wärmepumpe
- LA_{2WE} Leistungsanteil des zweiten Wärmeerzeugers
- $t_{A,HG}$ Außentemperatur bei Heizgrenze in °C
- $t_{A,N}$ Norm-Außentemperatur in °C
- $t_{A,B}$ Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
- T_A Außentemperatur
- Q_H Gebäudeheizlast bei Norm-Außentemperatur in kW

Deckungsgrad gemäß DIN 4701-10

Deckungsanteil α_{Ha} bei bivalent-alternativem Betrieb

Bivalenzpunkt T_U	°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Deckungsanteil		0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,19

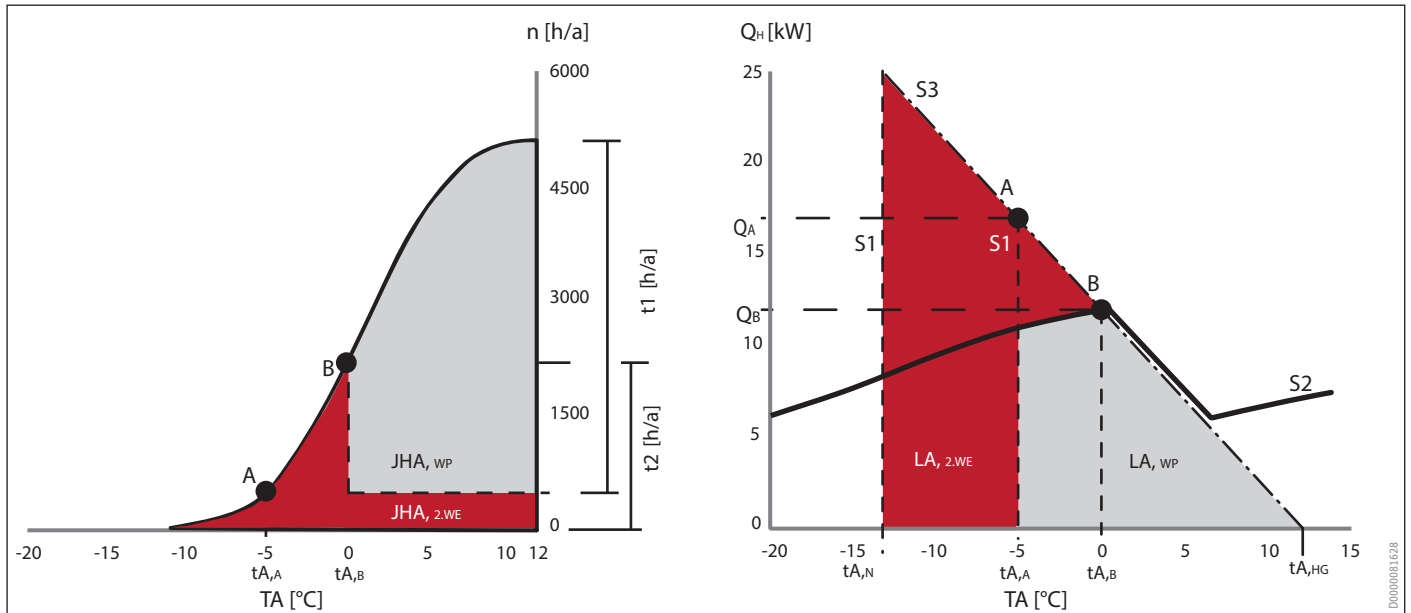
Wärmepumpen-Grundlagen

Betriebsarten

Bivalent-teilparalleler Betrieb

Die Wärmepumpe erzeugt die notwendige Wärme bis zu einer bestimmten Außentemperatur alleine. Die festgelegte Außentemperatur wird Bivalenzpunkt genannt. Wenn die Temperatur unter diesen Wert sinkt, schaltet sich der zweite Wärmeerzeuger dazu.

Die Wärmepumpe schaltet sich ab, wenn die Vorlauftemperatur nicht mehr ausreicht. Der zweite Wärmeerzeuger übernimmt die volle Heizleistung. Diese Betriebsart ist für alle Heizungssysteme über 60 °C Vorlauftemperatur geeignet.



JHA_{WP}	Jahresheizarbeit der Wärmepumpe
JHA_{2WE}	Jahresheizarbeit des zweiten Wärmeerzeugers
A	Abschaltpunkt
B	Bivalenzpunkt
TA	Außentemperatur
$t_{A,B}$	Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
t1	Laufzeit Wärmepumpe
t2	Laufzeit zweiter Wärmeerzeuger
n	Summenhäufigkeit Außentemperatur

S1	Auslegungsbedingungen
S2	Leistung Wärmepumpe
S3	Gebäudeheizlast
A	Abschaltpunkt
B	Bivalenzpunkt
LA_{WP}	Leistungsanteil Wärmepumpe
LA_{2WE}	Leistungsanteil des zweiten Wärmeerzeugers
$t_{A,HG}$	Außentemperatur bei Heizgrenze in °C
$t_{A,N}$	Norm-Außentemperatur in °C
$t_{A,B}$	Außentemperatur im Bivalenz-/Abschaltpunkt in °C
TA	Außentemperatur
Q_H	Gebäudeheizlast bei Norm-Außentemperatur in kW

Wärmepumpen-Grundlagen

Bivalenter Betrieb

Betrieb mit einem Bestandskessel

Die meisten Gebäude können monoenergetisch nur durch eine Wärmepumpe versorgt werden.

In Einzelfällen kann es vorteilhaft sein, vorübergehend eine bivalente Betriebsweise zu wählen. Wenn mittelfristig eine energetische Sanierung geplant ist, kann beim Ersatz eines Bestandskessels eine Wärmepumpe mit geringerer Leistung installiert werden. Der Bestandskessel wird bis zur Durchführung der Sanierung weiterbetrieben. Nach der Sanierung ist die Wärmepumpe ausreichend groß dimensioniert, um das Gebäude zu beheizen und die Warmwasserbereitung sicherzustellen.

Weiterhin können wirtschaftliche Gründe dafür sprechen, Deckungsanteile der Wärmepumpe zugunsten eines anderen Wärmeerzeugers zu reduzieren. Dies kann z. B. bei hohen Vorlauftemperaturen und entsprechender landesspezifischer Energiepreisgestaltung wirtschaftlich vorteilhaft sein.

Hydraulischer Anschluss

Bivalente Anlagen mit einer Bestandsheizung werden hydraulisch so eingebunden, dass die Bestandsheizung demontiert werden kann, ohne die gesamte Anlage entleeren zu müssen.

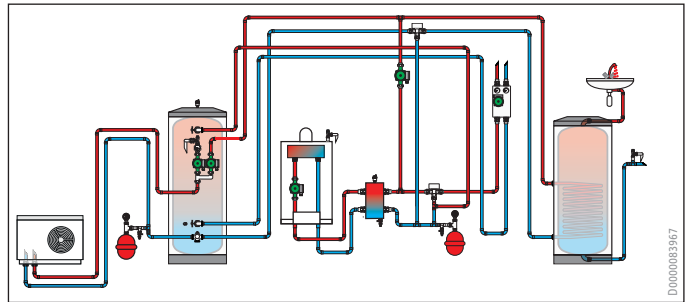
Nach der Demontage der Bestandsheizung wird die Wärmepumpenanlage monoenergetisch betrieben.

Elektrischer Anschluss

Abhängig von den technischen Anschlussbedingungen des zuständigen Energieversorgers wird die Wärmepumpe über einen eigenen Stromzähler betrieben. Hierbei kann es notwendig sein, eine Steuerbarkeit herzustellen, z. B. über einen Rundsteuerempfänger.

Je nach Energieversorger sind dafür ein oder zwei zusätzliche Zählerplätze im Hausanschlusskasten erforderlich. Die technische Abstimmung und die Anmeldung müssen zusammen mit dem Energieversorger erfolgen.

Bestehende Hausanschlusskästen stellen meist nicht den erforderlichen Platz für z. B. den Zähler oder die Sicherungen zur Verfügung. Der vorhandene Hausanschlusskasten muss ausgetauscht werden oder ein zusätzlicher Anschlusskasten installiert werden.



Notizen

Wärmepumpen-Grundlagen

Formelsammlung

Wärmemenge

$$Q = m * c * (t_2 - t_1)$$

Q	Wärmemenge [Wh]
m	Wassermenge [kg]
c	Spezifische Wärme Wh/kgK [1,163 Wh/kgK]
t ₁	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t ₂	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]

Wärmeleistung

$$Q = A * k * \Delta\vartheta$$

Q	Wärmeleistung [W]
A	Fläche [m ²]
k	Wärmedurchgangszahl [W/m ² K]
Δϑ	Temperaturdifferenz [K]

k-Zahl

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

k	k-Zahl [W/m ² K]
α _i	Wärmeübergangskoeffizient, innen [W/m ² K]
α _a	Wärmeübergangskoeffizient, außen [W/m ² K]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

Anschlussleistung

$$P = \frac{m * c * (t_2 - t_1)}{T * \eta}$$

P	Anschlussleistung [W]
m	Wassermenge [kg]
c	Spezifische Wärme [Wh/kgK]
t ₁	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t ₂	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]
T	Aufheizzeit [h]
η	Wirkungsgrad

Kanalnetz-Kennlinie

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

Δp ₁	Druckdifferenz [Pa]
Δp ₂	Druckdifferenz [Pa]
V ₁	Volumenstrom [m ³ /h]
V ₂	Volumenstrom [m ³ /h]

Aufheizzeit

$$T = \frac{m * c * (t_2 - t_1)}{P * \eta}$$

T	Aufheizzeit [h]
m	Wassermenge [kg]
c	spezifische Wärme [Wh/kgK]
t ₁	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t ₂	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]
P	Anschlussleistung [W]
η	Wirkungsgrad

Druckverlust

$$\Delta p = L * R + Z$$

Δp	Druckdifferenz [Pa]
R	Rohr-Reibungswiderstand
L	Rohrlänge [m]
Z	Druckverlust der Einzelwiderstände [Pa]

Einzelwiderstände

$$Z = \sum Z * \frac{\zeta}{2} * v^2$$

Z	Widerstandsbeiwert Der Widerstandsbeiwert „Z“ ist nach der Summe „z“ und der Geschwindigkeit im Rohrnetz aus Tabellen zu entnehmen.
ζ	Dichte
v	Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Heizlast - überschlägig

$$Q_N = \frac{B_a}{250}$$

Mischwassertemperatur

$$t_m = \frac{(m_1 * t_1) + (m_2 * t_2)}{(m_1 + m_2)}$$

t _m	Mischwasser-Temperatur [°C]
t ₁	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t ₂	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]
m ₁	Kaltwassermenge [kg]
m ₂	Warmwassermenge [kg]

Wärmepumpen-Grundlagen

Formelsammlung

Mischwassermenge

$$m_m = \frac{m_2 * (t_2 - t_1)}{t_m - t_1}$$

m_m	Mischwassermenge [kg]
m_1	Kaltwassermenge [kg]
m_2	Warmwassermenge [kg]
t_m	Mischwasser-Temperatur [°C]
t_1	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t_2	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]

Warmwassermenge

$$m_2 = \frac{m_m * (t_m - t_1)}{t_2 - t_1}$$

m_m	Mischwassermenge [kg]
m_1	Kaltwassermenge [kg]
m_2	Warmwassermenge [kg]
t_m	Mischwasser-Temperatur [°C]
t_1	Kaltwasser-Temperatur [°C]
t_2	Trinkwarmwasser-Temperatur [°C]

Heizlast - überschlägig nach dem Ölverbrauch

$$Q_N = \frac{B_a * \eta * H_u}{b_{vH}}$$

Q_N	Heizlast [kW]
B_a	jährlicher Ölverbrauch [l]. Durchschnittlicher Verbrauch der letzten 5 Jahre, abzüglich 75 l Öl pro Person für die Trinkwarmwasser-Erwärmung
η	Jahresnutzungsgrad ($\eta = 0,7$)
H_u	Heizwert des Heizöls (10 kWh/l)
b_{vH}	Vollbenutzungsstunden (Mittelwert 1800 h/a)

Berechnung Schalldruckpegel aus Schalleistungspegel

$$L_{pA} = L_{wA} + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{(4 * \pi * d^2)} \right]$$

L_{pA}	A - Bewerteter Schalldruckpegel in dB(A)
L_{wA}	A - Bewerteter Schalleistungspegel in dB(A)
Q	Korrekturfaktor
d	Abstand in m

Wärmepumpen-Grundlagen

Vorschriften und Normen - Installation

Allgemeine Bestimmungen

Die jeweiligen länderspezifischen Gesetze, Normen, Vorschriften und Verordnungen müssen bei der Planung, Installation und beim Betrieb von Wärmepumpen-Heizungsanlagen beachtet werden.

Der Fachmann

Die Aufstellung, Installation, Einstellung und Erstinbetriebnahme einer Wärmepumpen-Anlage muss durch einen qualifizierten Fachmann erfolgen.

Die Installation und Inbetriebnahme muss unter Beachtung der entsprechenden Bestimmungen und Vorschriften ausgeführt werden.

Der elektrische Anschluss der Wärmepumpe muss durch einen vom zuständigen Energieversorgungsunternehmen (EVU) zugelassenen und qualifizierten Fachmann ausgeführt werden. Der Installateur erstellt auch eventuell erforderliche Anträge beim EVU.

Gesetze zur Nutzung von Wärmequellen

Die Nutzung der in der Umwelt vorhandenen Wärme unterliegt zum Teil gesetzlichen Regelungen. Die Regelungen gewährleisten, dass andere private und öffentliche Belange nicht beeinträchtigt und durch diese Maßnahmen keine schädlichen Umwelteinflüsse hervorgerufen werden. Beachten Sie die im jeweiligen Land gültigen Gesetze.

Wärmequelle Grundwasser

In Deutschland ist die Förderung von Grundwasser als Wärmequelle für eine Wärmepumpe und die Wiedereinleitung des abgekühlten Grundwassers erlaubnispflichtig.

Wärmequelle Erdreich

Die Entnahme von Wärme durch im Boden verlegte Rohrleitungen, die mit einem Mittel zum Wärmetransport gefüllt sind, bedarf in der Regel einer wasserrechtlichen Anzeige oder Erlaubnis.

Wenn in Deutschland ein Erdreichkollektor im Grundwasser liegt, könnte eine Erlaubnispflicht vorliegen.

Wir empfehlen, im Zuge der Anlagenplanung ein klärendes Gespräch mit der zuständigen Wasserbehörde zu führen.

Wärmequelle Außenluft

Die Nutzung der Wärmequelle Außenluft unterliegt keinen gesetzlichen Regelungen.

Bei einer ungünstigen Geräteaufstellung kann die abgekühlte Luft zur Belästigung der Nachbarn führen.

Deutschland: Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Nach Bundes-Immissionsschutzgesetz sind Wärmepumpen keine genehmigungsbedürftigen Anlagen.

Wärmepumpenanlagen müssen so errichtet und betrieben werden, dass vermeidbare Belästigungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Deutschland: TA-Lärm

Bei den von den Wärmepumpenanlagen ausgehenden Geräuschemissionen muss die technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm beachtet werden. Für den Wohnraum sind die in der Tabelle der TA-Lärm angegebenen Schalldruckpegel als Emissionsrichtwerte festgesetzt. Die Emissionsrichtwerte unterscheiden sich je nach umliegender Bebauung.

Deutschland: DIN-Blätter

- » DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden
- » DIN EN 12831 Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- » DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
- » DIN 8901 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung

Wärmepumpen-Grundlagen

Vorschriften und Normen - Planung

Deutschland: VDI-Richtlinien

- » VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen
- » VDI 2715 Lärminderung an Warm- und Heißwasser-Heizungsanlagen
- » VDI 4640-2 Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen
- » VDI 4650 Berechnung von Wärmepumpen. Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresaufwandszahlen von Wärmepumpenanlagen
- » VDI 2078 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume
- » VDI 4645 Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern

Deutschland: Wasserseitige Bestimmungen

- » DIN EN 806 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen
- » DIN 4708-1 Zentrale Wassererwärmungsanlagen – Teil 1: Begriffe und Berechnungsgrundlagen
- » DIN EN 378 Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
- » DIN EN 14511-1 bis 4 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und -kühlung – Teil 1: Begriffe, Teil 2: Prüfbedingungen, Teil 3: Prüfverfahren, Teil 4: Anforderungen
- » DIN EN 12828 Heizungssysteme in Gebäuden – Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen
- » TRD 721 Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung; Sicherheitsventile für Dampfkessel der Gruppe II
- » DVGW-Arbeitsblatt W 101 Richtlinien für Trinkwasser-Schutzgebiete, 1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser
- » DVGW Arbeitsblatt W 501 Trinkwasser-Erwärmungs- und Trinkwasser-Leitungsanlagen – Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums – Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen

Deutschland: Elektroseitige Bestimmungen

- » VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Starkstrom-Anlagen bis 1000 V
- » VDE 0105 Bestimmungen für den Betrieb von Starkstrom-Anlagen
- » VDE 0700 Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke

Deutschland: Unfallverhütungsvorschriften des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften

- » BGV D4 Unfallverhütungsvorschrift Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen

Zusätzliche Normen und Vorschriften für bivalente Wärmepumpen-Anlagen

Folgende Normen, Vorschriften und Verordnungen sind bei der Installation einer Zusatzheizung mit festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen zu beachten:

Deutschland: Feuerungsverordnung

- » FeuVO Teil II, § 4, Abs. 2, Abs. 4
- » DIN EN 267 Ölfeuerungsanlagen – Technische Regel Ölfeuerungsinstallation (TRÖ) – Prüfung

Deutschland: Sicherheitstechnische Grundsätze

- » DIN 4787 Ölzerstäubungsbrenner; Begriffe, Sicherheitstechnische Anforderungen; Prüfung, Kennzeichnung
 - » DIN EN 12285-1 Werksgefertigte Tanks aus Stahl – Teil 1: Liegende zylindrische ein- und doppelwandige Tanks zur unterirdischen Lagerung von brennbaren und nicht brennbaren wassergefährdenden Flüssigkeiten
 - » DIN EN 12285-2 Werksgefertigte Tanks aus Stahl – Teil 2: Liegende zylindrische ein- und doppelwandige Tanks zur oberirdischen Lagerung von brennbaren und nicht brennbaren wassergefährdenden Flüssigkeiten
 - » DIN 6618-1 Stehende Behälter (Tanks) aus Stahl, einwandig, für die oberirdische Lagerung wassergefährdender, brennbarer und nicht brennbarer Flüssigkeiten
 - » DIN 6619-1 Stehende Behälter (Tanks) aus Stahl, einwandig, für die unterirdische Lagerung wassergefährdender, brennbarer und nicht brennbarer Flüssigkeiten
 - » DIN 6620-1; Batteriebehälter (Tanks) aus Stahl, für die oberirdische Lagerung brennbarer Flüssigkeiten der Gefahrenklasse A III
 - » DIN 6625-1 Standortgefertigte Behälter (Tanks) aus Stahl für die oberirdische Lagerung von wassergefährdenden, brennbaren Flüssigkeiten der Gefahrenklasse A III und wassergefährdenden, nicht brennbaren Flüssigkeiten
 - » DIN 18160-1; Abgasanlagen
 - » DIN 18381 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gas-, Wasser- und Entwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden
- ### Deutschland: DVGW-Richtlinien (DVGW-Arbeitsblätter)
- » TRF 1996 Technische Regeln für Flüssiggas
 - » G 430 Richtlinie für die Aufstellung und den Betrieb von Niederdruck-Gasbehältern
 - » G 600 Technische Regeln für Gasinstallation
 - » G 626 Technische Regeln für die mechanische Abführung von Abgasen für raumluftabhängige Gasfeuerstätten in Abgas- bzw. Zentralentlüftungsanlagen
 - » G 666 Richtlinien für die Zusammenarbeit zwischen den Gasversorgungsunternehmen und den Vertrags-Installationsunternehmen

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizlastberechnung

Norm-Gebäudeheizlast

Die Norm-Heizlast eines Raumes oder Gebäudes bezeichnet die Wärmeleistung, die dem Raum oder Gebäude bei der Normaußentemperatur (Auslegungstemperatur) zugeführt werden muss, um die Norm-Innentemperaturen oder vereinbarten Raumtemperaturen erreichen zu können.

Die Norm-Heizlast ist eine Eigenschaft des Raumes oder Gebäudes. Die Norm-Heizlast ist Grundlage für die Auslegung des Wärmeerzeugers, der Wärmeübergabesysteme und der Bewertung des Energieverbrauches.

Wärmeübergabesysteme können aus Radiatoren- oder Fußboden-Heizungssystemen oder Mischformen von beiden bestehen.

Die Norm-Heizlast setzt sich aus dem Wärmefluss durch Wärmeleitung über Umschließungsflächen (Transmission) und dem Wärmefluss für die Aufheizung eindringender Außenluft (Lüftungshheizlast) zusammen.

Die Berechnung der Norm-Heizlast erfolgt in Deutschland nach DIN EN 12831.

Das Ergebnis der Berechnung ist maßgebend für die Dimensionierung des Wärmepumpensystems.

Sowohl das Über- als auch Unterdimensionieren einer Wärmepumpenanlage ist unwirtschaftlich und technisch nachteilig für das System.

Wir empfehlen in jedem Fall eine exakte Berechnung der Norm-Heizlast.

Für die überschlägige Auslegung von z. B. bivalenten Systemen eignen sich bekannte Brennstoffverbräuche.

Nach der beheizten Wohnfläche

Die Tabellenwerte geben eine überschlägige spezifische Heizlast pro m² beheizter Wohnfläche an.

$$Q_N = \text{Wohnfläche} * \text{Watt/m}^2$$

Ein- oder Zweifamilienhaus (Altbau/Bestand)

Wärmedämmung der Außenwand	Fenster	Etagen	Watt pro m ² Wohnfläche
Nein	Einfach verglast	1	160
Nein	Einfach verglast	2	140
Nein	Doppelt verglast	1 - 2	100
Ja	Doppelt verglast	1 - 2	80
Ja	Isolierverglasung	1 - 2	50

Nach dem Ölverbrauch

Der durchschnittliche Ölverbrauch der letzten fünf Jahre ermöglicht die überschlägige Berechnung der Heizlast.

$$Q_N = \frac{B_a * \eta * H_u}{b_{VH}}$$

- Q_N Heizlast [kW]
- B_a jährlicher Ölverbrauch [l] (Durchschnittlicher Verbrauch der letzten 5 Jahre, abzüglich 75 l Öl pro Person für die Trinkwarmwasser-Erwärmung.)
- η Jahresnutzungsgrad ($\eta = 0,7$)
- H_u Heizwert des Heizöls (10 kWh/l)
- b_{VH} Vollbenutzungsstunden (Mittelwert 1800 h/a)

Kurzformel:

$$Q_N = \frac{B_a}{250}$$

Nach dem Gasverbrauch

Der durchschnittliche Gasverbrauch der letzten fünf Jahre ermöglicht die überschlägige Berechnung der Heizlast:

$$Q_N = \frac{B_a * \eta}{b_{VH}}$$

- Q_N Heizlast [kW]
- B_a jährlicher Gasverbrauch [kWh]
- η Jahresnutzungsgrad ($\eta = 0,8$)
- b_{VH} Vollbenutzungsstunden (Mittelwert 1800 h/a)

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizflächentemperatur

Heizflächentemperatur

Hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten und der Betriebsweise der Wärmepumpe ist die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage von ausschlaggebender Bedeutung.

Der Umschaltzeitpunkt der Wärmepumpe richtet sich sowohl nach der Heizleistung der Wärmepumpe als auch nach der Auslegung der Heizflächen.

Bestands-Radiatorsysteme wurden meist für eine Vorlauftemperatur von $>55\text{ °C}$ ausgelegt.

Durch nachträgliche Wärmedämmung oder Überdimensionierung von Heizflächen wird nur eine Vorlauftemperatur $\leq 60\text{ °C}$ benötigt.

Damit eine wirtschaftliche monovalente Betriebsweise möglich ist, werden Radiatoren-Heizflächen auf $\leq 55\text{ °C}$ Vorlauftemperatur ausgelegt.

Beispiel

Bis zu welcher Außentemperatur kann eine Heizungsanlage mit $+75\text{ °C}$ Vorlauftemperatur (Heizkurve B), mit einer Wärmepumpe mit max. $+60\text{ °C}$ Vorlauftemperatur betrieben werden?

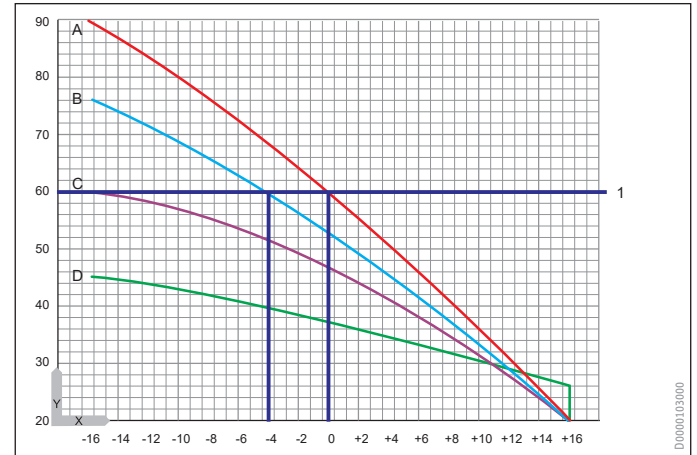
Bei diesem Beispiel ergibt sich der Schnittpunkt der Heizkurve B mit der maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe von $+60\text{ °C}$ bei -4 °C Außentemperatur. Die Einsatzgrenze der Wärmepumpe liegt hiernach aufgrund des Wärmeverteilsystems bei -4 °C Außentemperatur.

Die Praxis zeigt, dass sich die Heizgrenze durch äußere und innere Energiegewinne in einen tieferen Temperaturbereich verschiebt. Das bedeutet, dass die Wärmepumpe einen höheren Anteil der Jahresheizarbeit verrichtet.

Faustregel

Je niedriger die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage ist, desto höher ist die Leistungszahl der Wärmepumpe.

Vorlauftemperaturen zu den entsprechenden Außentemperaturen



- X Außentemperatur [°C]
- Y Heizungs- und Wärmepumpen-Vorlauftemperatur [°C]
- 1 Wärmepumpen Vorlauftemperatur [°C]
- A-D Kennlinien von Vorlauftemperaturen

Aus dem Diagramm ergeben sich aufgrund der Vorlauftemperatur folgende Umschaltzeitpunkte auf den zweiten Wärmeerzeuger:

Kurve	Vorlauftemperatur °C	Umschaltzeitpunkt °C	Betriebsart
A	90	0	bivalent
B	75	-4	bivalent
C	<60	-	monovalent
D	<60	-	monovalent

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Fixspeed Luft-Wasser-Wärmepumpen

Beispiel-Auslegung Luft-Wasser-Wärmepumpen

Das Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen Heizlast des Gebäudes und Heizleistung der Wärmepumpe.

Der Schnittpunkt der Linien ergibt den Bivalenzpunkt (Umschalt-
punkt auf dem zweiten Wärmeerzeuger). Um mit der Wärmepumpe einen großen Jahresanteil der Heizlast abzudecken, sollte der Bivalenzpunkt bei monoenergetischer Betriebsweise zwischen -3 °C und -7 °C Außentemperatur liegen.

Auslegungsbeispiel

Gegeben ist ein Wohnhaus mit einem Wärmebedarf von $11,0\text{ kW}$.
Das Wärmeverteilsystem ist eine Flächenheizung mit $40/30\text{ °C}$ Systemtemperatur. Die Systemtemperatur bezieht sich auf die Norm-Außentemperatur von -14 °C .

Der Bivalenzpunkt sollte zwischen -3 °C und -7 °C liegen.

Ergebnis

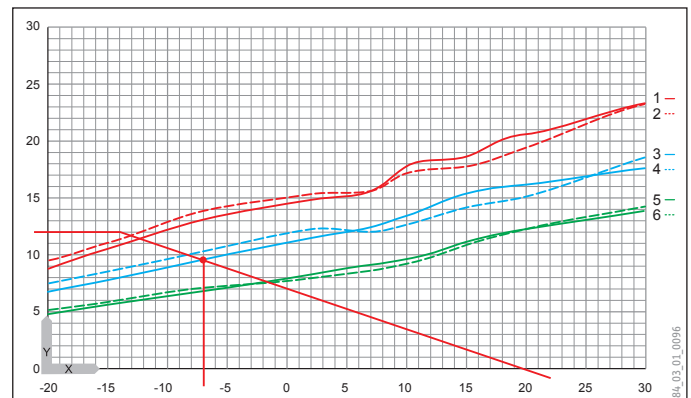
Die notwendige Heizleistung der Wärmepumpe beträgt bei einer Fußbodenheizung mit einer Sperrzeit von 4 Stunden:

$$(Q_{H,AP}) / (d - t_{SD}) = Q_{WP,erf}$$

$$(11,0\text{ kW} * 24\text{ h}) / (24\text{ h} - 4\text{ h}) = 13,2\text{ kW}$$

Gewählt wird eine Wärmepumpe, die den Wärmebedarf bis -7 °C Außentemperatur alleine abdeckt und dabei einen Jahres-Heizanteil von 98% erreicht.

Beispiel-Auslegung Luft-Wasser-Wärmepumpe



- X Luft-Eintrittstemperatur [°C]
- Y Heizleistung [kW]
- 1 Beispiel WP 1, $T_V 35\text{ °C}$
- 2 Beispiel WP 1, $T_V 50\text{ °C}$
- 3 Beispiel WP 2, $T_V 35\text{ °C}$
- 4 Beispiel WP 2, $T_V 50\text{ °C}$
- 5 Beispiel WP 3, $T_V 35\text{ °C}$
- 6 Beispiel WP 3, $T_V 50\text{ °C}$

Jahres-Deckungsanteil der Heizungs-Wärmepumpe

Bivalenzpunkt °C	Parallele (monoenergetische) Betriebsweise Deckungsanteil nach Klimazone				
	-10 °C	-12 °C	-14 °C	-16 °C	-18 °C
-12	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98
-10	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97
-8	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96
-6	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95
-4	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93
-2	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90
0	0,96	0,93	0,90	0,87	0,85
+2	0,92	0,88	0,85	0,81	0,77
+4	0,87	0,83	0,79	0,74	0,69
+6	0,81	0,77	0,72	0,67	0,62
+8	0,75	0,71	0,65	0,59	0,52

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Fixspeed Luft-Wasser-Wärmepumpen

Auslegung der Wärmepumpe mit Sperrzeiten

Die Heizlast des Gebäudes muss über 24 Stunden berücksichtigt werden. Für die Auslegung des Wärmepumpen-Systems müssen hierbei eventuelle Sperrdauern durch den Energieversorger berücksichtigt werden.

$$Q_{WP,erf} = (Q_{H,AP} + Q_{DP,ges} + Q_{sonst}) / (d - t_{SD})$$

$Q_{WP,erf}$	erforderliche Wärmepumpen-Leistung
$Q_{H,AP}$	tägliche Energiemenge für die Heizung
$Q_{DP,ges}$	tägliche Energiemenge für die Trinkwarmwasserbereitung
Q_{sonst}	tägliche Energiemenge für sonstige Anwendungen
d	Tagesdauer (24 h)
t_{SD}	Tagessumme der Sperrdauern"

Luft-Wasser-Wärmepumpen

Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen ist die Heizleistung abhängig von der Außentemperatur. Das hat den Nachteil, dass bei sinkender Außentemperatur die Heizleistung der Wärmepumpe sinkt, die Heizlast aber steigt.

Luft-Wasser-Wärmepumpen werden monoenergetisch ausgelegt.

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Fixspeed Sole-Wasser-Wärmepumpen

Auslegung der Wärmepumpe mit Sperrzeiten

Die Heizlast des Gebäudes muss über 24 Stunden berücksichtigt werden. Für die Auslegung des Wärmepumpen-Systems müssen hierbei eventuelle Sperrdauern durch den Energieversorger berücksichtigt werden.

$$Q_{WP,erf} = (Q_{H,AP} + Q_{DP,ges} + Q_{sonst}) / (d - t_{SD})$$

$Q_{WP,erf}$	erforderliche Wärmepumpen-Leistung
$Q_{H,AP}$	tägliche Energiemenge für die Heizung
$Q_{DP,ges}$	tägliche Energiemenge für die Trinkwarmwasserbereitung
Q_{sonst}	tägliche Energiemenge für sonstige Anwendungen
d	Tagesdauer (24 h)
t_{SD}	Tagessumme der Sperrdauern“

Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die Temperatur der Wärmequelle ist ganzjährig annähernd konstant bei ca. +10°C. Hierdurch ist auch die Heizleistung der Wärmepumpe konstant.

Sole-Wasser-Wärmepumpen werden in der Regel monovalent ausgelegt.

Beispiel-Auslegung Sole-Wasser-Wärmepumpe

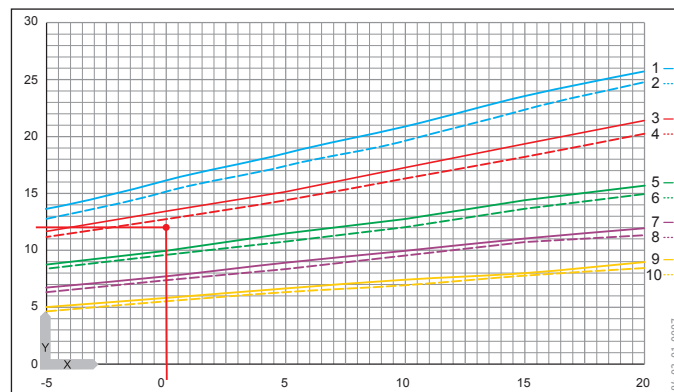


Diagramm zeigt Kennlinien unterschiedlicher Wärmepumpen einer Baureihe.

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Fixspeed Sole-Wasser-Wärmepumpen

Auslegung der Wärmepumpe mit Sperrzeiten

Die Heizlast des Gebäudes muss über 24 Stunden berücksichtigt werden. Für die Auslegung des Wärmepumpen-Systems müssen hierbei eventuelle Sperrdauern durch den Energieversorger berücksichtigt werden.

$$Q_{WP,erf} = (Q_{H,AP} + Q_{DP,ges} + Q_{sonst}) / (d - t_{SD})$$

$Q_{WP,erf}$	erforderliche Wärmepumpen-Leistung
$Q_{H,AP}$	tägliche Energiemenge für die Heizung
$Q_{DP,ges}$	tägliche Energiemenge für die Trinkwarmwasserbereitung
Q_{sonst}	tägliche Energiemenge für sonstige Anwendungen
d	Tagesdauer (24 h)
t_{SD}	Tagessumme der Sperrdauern"

Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Wärmequelle Grundwasser

Die Temperatur der Wärmequelle ist ganzjährig annähernd konstant bei ca. +10°C. Hierdurch ist auch die Heizleistung der Wärmepumpe konstant.

Bei Wärmequellen-Anlagen mit Zwischenwärmeaustauscher ist die Wärmepumpen-Eintrittstemperatur ca. 3 K niedriger.

Beispiel-Auslegung Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Wärmequelle Wasser

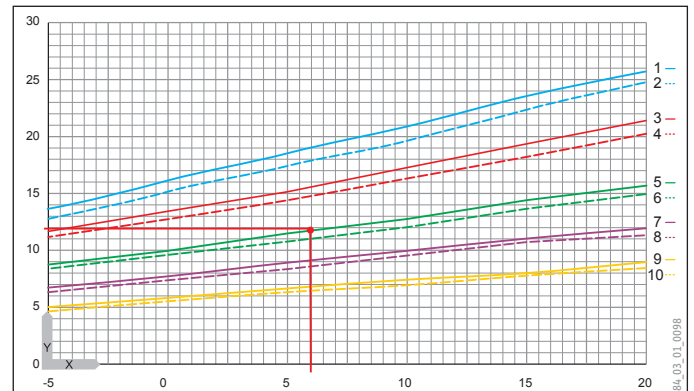


Diagramm zeigt Kennlinien unterschiedlicher Wärmepumpen einer Baureihe.

X Wärmequellen-Temperatur [°C]

Y Heizleistung [kW]

1 Wärmepumpe 1, T_V 35 °C

2 Wärmepumpe 1, T_V 50 °C

3 Wärmepumpe 2, T_V 35 °C

4 Wärmepumpe 2, T_V 50 °C

5 Wärmepumpe 3, T_V 35 °C

6 Wärmepumpe 3, T_V 50 °C

7 Wärmepumpe 4, T_V 35 °C

8 Wärmepumpe 4, T_V 50 °C

9 Wärmepumpe 5, T_V 35 °C

10 Wärmepumpe 5, T_V 50 °C

Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Die Temperatur der Wärmequelle ist ganzjährig annähernd konstant bei ca. +10°C. Hierdurch ist auch die Heizleistung der Wärmepumpe konstant.

Die direkte Anbindung der Wärmequellen-Anlage an der Wärmepumpe ist produktspezifisch möglich.

Zum Wärmeentzug aus dem Grundwasser muss die Zustimmung der Wasserbehörde vorliegen.

Die Genehmigung wird außerhalb von Wasserschutzonen im Allgemeinen erteilt. Die Genehmigung ist an bestimmte Bedingungen gebunden, wie z. B. an eine maximale Entnahmemenge bzw. eine Wasseranalyse.

Die Entnahmemenge ist abhängig von der Heizleistung.

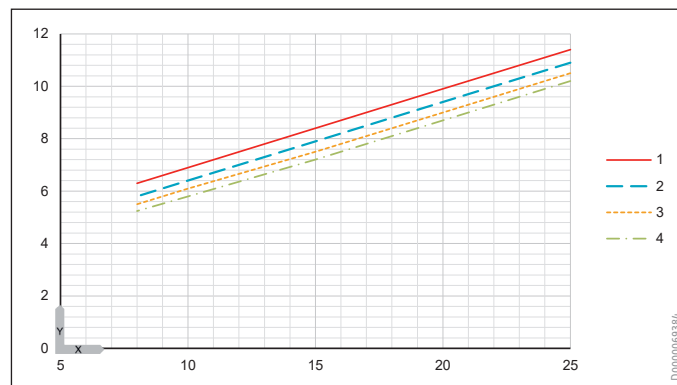
Um eine Verockerung der Wärmequellen-Anlage zu verhindern, dürfen keine absetzbaren Stoffe im Grundwasser enthalten sein.

Um die Wärmequelle Grundwasser zu nutzen, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- » Ausreichende Wassermenge
- » Wasserqualität (Analyse)
- » Wasserrechtliche Bewilligung
- » Förder- und Schluckbrunnen

Wasser-Wasser-Wärmepumpen werden monovalent ausgelegt.

Beispiel-Leistungsdiagramm



x	Eintrittstemperatur des WQA-Mediums [°C]
y	Wärmeleistung [kW]
1	Vorlauftemperatur 35 °C
2	Vorlauftemperatur 45 °C
3	Vorlauftemperatur 50 °C
4	Vorlauftemperatur 60 °C

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Inverter Luft-Wasser-Wärmepumpen

Luft-Wasser-Wärmepumpen (leistungsgeregelt)

Die kontinuierliche Leistungsregelung des Verdichters passt die Heizleistung an die Gebäude-Heizlast an.

Aufgrund der konstant hohen Heizleistung können Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Invertertechnik monoenergetisch betrieben werden.

Eine monoenergetische Betriebsweise bis zum Bivalenzpunkt $\leq -5^\circ\text{C}$ ist ebenso möglich.

Durch die Leistungsregelung des Verdichters ergeben sich zahlreiche Vorteile:

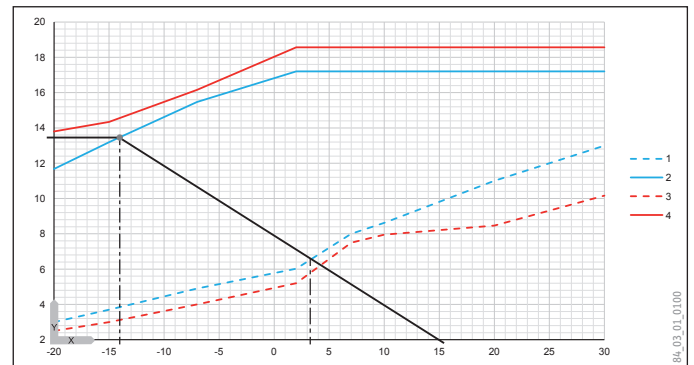
- » Anpassung der Wärmepumpen-Leistung an die aktuelle Gebäude-Heizlast
- » Vermeidung von Taktverhalten der Wärmepumpe
- » längere Laufzeiten und damit geringere Anfahrverluste
- » erhöhte Effizienz des Gesamtsystems
- » geringere Schalleistungspegel im Teillastbetrieb
- » Möglichkeit zum Einsatz hocheffizienter, drehzahl geregelter Pumpen in der Peripherie
- » kompaktere Bauform
- » geringerer Aufwand für die Abtauung des Wärmepumpenverdampfers

Der Leistungsregelung einer Wärmepumpe sind durch die Mindestdrehzahl des Verdichters Grenzen gesetzt. Dadurch ergibt sich eine Mindestleistung, die mit steigender Außentemperatur zunimmt. Dieser Sachverhalt ist bei der Anlagenplanung, insbesondere für den Teillastbetrieb, zu berücksichtigen.

Wird eine zu große leistungsgeregelte Wärmepumpe eingesetzt, kann diese die Vorteile nicht vollständig zur Geltung bringen. Für leistungsgeregelte Wärmepumpen gelten deshalb minimale und maximale Einsatzgrenzen.

Beispiel-Auslegung

Monovalente Betriebsweise

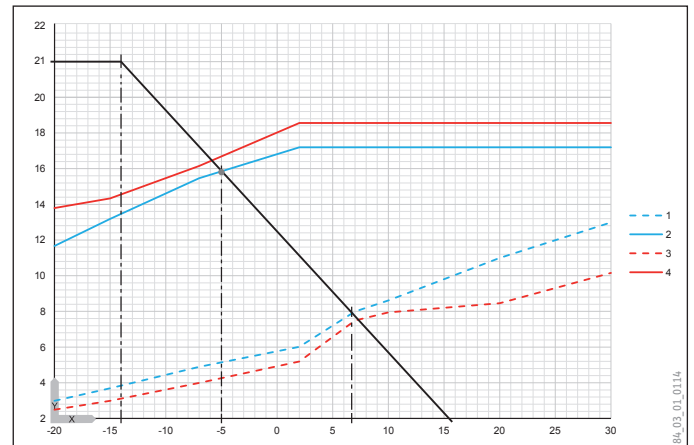


Beispiel: Norm-Außentemperatur = -14°C

X	Außentemperatur [°C]
1	min. W35
2	max. W35
3	min. W55
4	max. W55

Beispiel-Auslegung

Monoenergetische Betriebsweise



Beispiel: Norm-Außentemperatur = -14°C

X	Außentemperatur [°C]
1	min. W35
2	max. W35
3	min. W55
4	max. W55

Wärmepumpen-Grundlagen

Auslegung - Inverter Sole-Wasser-Wärmepumpen

Sole-Wasser-Wärmepumpen (leistungsgeregt)

Die kontinuierliche Leistungsregelung des Verdichters passt die Heizleistung an die Gebäude-Heizlast an.

Der monovalente Einsatz der Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Invertertechnik ist für den Heiz- und Warmwasserbetrieb möglich.

Durch die Leistungsregelung des Verdichters ergeben sich zahlreiche Vorteile:

- » Anpassung der Wärmepumpen-Leistung an die aktuelle Gebäude-Heizlast
- » Vermeidung von Taktverhalten der Wärmepumpe
- » längere Laufzeiten und damit geringere Anfahrverluste
- » erhöhte Effizienz des Gesamtsystems
- » geringere Schallleistungspegel im Teillastbetrieb
- » Möglichkeit zum Einsatz hocheffizienter, drehzahl geregelter Pumpen in der Peripherie
- » kompaktere Bauform

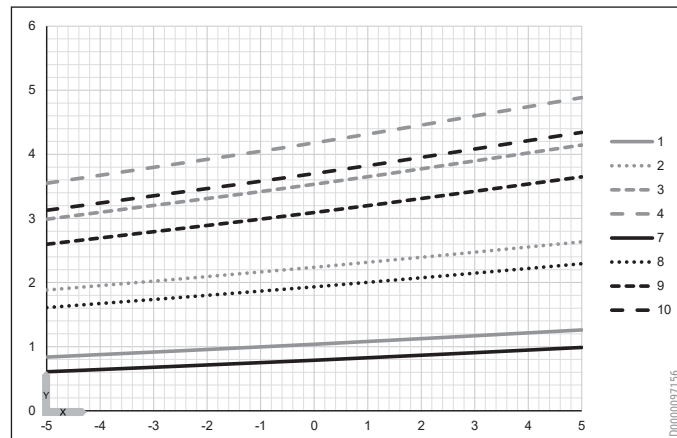
Der Leistungsregelung einer Wärmepumpe sind durch die Mindestdrehzahl des Verdichters Grenzen gesetzt. Dadurch ergibt sich eine Mindestleistung, die mit steigender Soletemperatur zunimmt. Dieser Sachverhalt ist bei der Anlagenplanung, insbesondere für den Teillastbetrieb, zu berücksichtigen.

Wird eine zu große leistungsgeregelte Wärmepumpe eingesetzt, kann diese die Vorteile nicht vollständig zur Geltung bringen.

Für leistungsgeregelte Wärmepumpen gelten deshalb minimale und maximale Einsatzgrenzen.

Druckverluste in der Peripherie müssen zwingend berechnet und mit der Restförderhöhe der integrierten Quellenpumpe gegengeprüft werden.

Beispiel-Leistungsdiagramm



X	Eintrittstemperatur WQA [°C]
Y	Kälteleistung [kW]
1	Min. Frequenz, BO/W35
2	40 Hz Frequenz, BO/W35
3	60 Hz Frequenz, BO/W35
4	Max. Frequenz, BO/W35
7	Min. Frequenz, BO/W55
8	40 Hz Frequenz, BO/W55
9	60 Hz Frequenz, BO/W55
10	Max. Frequenz, BO/W55

Notizen

Wärmepumpen-Grundlagen

Elektrischer Anschluss - Deutschland

Stromversorgung

Eine Wärmepumpe kann als steuerbare Verbrauchseinrichtung betrieben werden und dafür ein vergünstigtes Netzentgelt in Anspruch nehmen.

Beim Einsatz von Wärmepumpen für die Gebäudeheizung muss das Energieversorgungsunternehmen (EVU) seine Zustimmung erteilen.

Die Anschlussbedingungen für die angegebenen Gerätedaten müssen beim zuständigen Energieversorgungsunternehmen erfragt werden. Von besonderem Interesse ist, ob im jeweiligen Versorgungsgebiet ein monoenergetischer Betrieb mit der Wärmepumpe möglich ist.

Wichtig für die Planung sind auch Informationen über Grund- und Arbeitspreis, über die Möglichkeit der Nutzung von Niedertarifstrom und über mögliche Sperrzeiten.

Das Energieversorgungsunternehmen steht hier bei allen Fragen als zuverlässiger Partner zur Seite.

Anmeldeverfahren

Zur Beurteilung der Auswirkungen des Wärmepumpen-Betriebes auf das Versorgungsnetz des Energieversorgungsunternehmens werden folgende Angaben benötigt:

- » Anschrift des Betreibers
- » Einsatzort der Wärmepumpe
- » Bedarfsart nach allgemeinen Tarifen für Haushalt, Landwirtschaft, gewerblicher, beruflicher und sonstiger Bedarf
- » Geplante Betriebsweise der Wärmepumpe
- » Hersteller der Wärmepumpe
- » Typ der Wärmepumpe
- » Elektrische Anschlussleistung in kW
- » Maximaler Anlaufstrom in Ampere (Herstellerangabe)
- » Heizlast des Gebäudes in kW

Anforderungen an die Elektroinstallation von Wärmepumpen

- » Die technischen Anschlussbedingungen TAB des zuständigen Energieversorgungsunternehmens müssen beachtet werden.
- » Auskünfte über die erforderlichen Mess- und Schalteinrichtungen erteilt das zuständige Energieversorgungsunternehmen.

Kabelquerschnitte

In Abhängigkeit von der Absicherung und der Leitungsverlegung müssen gemäß VDE 0298-4 folgende Kabelquerschnitte verwendet werden.

Absicherung A	Kabelquerschnitt mm ²	Bedingung
10	1,5	
16	1,5	Bei nur zwei belasteten Adern und Verlegung auf einer Wand oder in einem Elektroinstallationsrohr auf einer Wand
16	2,5	
20	4,0	
20	2,5	Bei Verlegung auf einer Wand oder in einem Elektroinstallationsrohr auf einer Wand
25	4,0	Bei Verlegung des mehradrigen Kabels auf einer Wand oder im Elektroinstallationsrohr auf der Wand
25	6,0	Bei der Verlegung in einer Wand
35	10,0	
50	16,0	

Wasserqualität

Die Zusammensetzung und damit die Qualität des Heizwassers, hat eine entscheidende Bedeutung für die Steinbildung, Korrosion und Funktion des Heizungssystems.

Durch die bestimmungsgemäße Betriebsweise und die geeignete Wasserbeschaffenheit lässt sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Schäden reduzieren.

Schäden entstehen u. a. durch Steinbildung, Kalkablagerungen sowie Korrosion.

Die Beschaffenheit des Heizwassers wirkt sich auf die im Wasserkreislauf verbauten Bauteile aus. Im Weiteren wirkt sich die Wasserbeschaffenheit auf die Funktionalität der Gesamtanlage aus.

Die Reduzierung der Sauerstoffkonzentration in allen Teilen der Warmwasser-Heizungsanlage ist grundlegend für die Wasserqualität der Heizungsanlage.

Die grundsätzliche Beschaffenheit des Füll- und Ergänzungswassers ist über die EN 12828 und die VDI 2035 geregelt.

Die VDI 2035 stellt den aktuellen Stand der Technik bezüglich der Wasseraufbereitung dar. Die Richtlinie regelt die Anforderungen an die Wasseraufbereitung bei der Erstbefüllung und Nachspeisung von Heizungsanlagen.

Gemäß der VDI 2035 muss das Heizwasser für alle Komponenten der Heizungsanlage geeignet und verträglich sein. Wenn das Heizwasser auch zum Erwärmen von Trinkwasser verwendet wird, müssen die Anforderungen zum Schutz des Trinkwassers nach DIN 1988-100 oder EN 1717 beachtet werden.

Das Füll- und Ergänzungswasser muss aufbereitet werden. Aufbereitetes Heizwasser ist enthärtetes oder entsalztes Wasser, dem keine Chemikalien zugesetzt werden. Bei der Heizungswasseraufbereitung als auch bei Heizungswasserbehandlung müssen die Angaben des Wärmepumpen-Herstellers beachtet werden.

Die Art der Wasseraufbereitung unterscheidet sich nach der Verwendung unterschiedlicher metallischer Werkstoffe sowie deren Kombination mit Kunststoffen.

Bei den in Heizungsanlagen häufig verwendeten Aluminiumverbindungen werden besondere Anforderungen an den pH-Wert gestellt. Das Korrosionsverhalten von Aluminiumwerkstoffen wird hauptsächlich durch den pH-Wert des Heizwassers bestimmt. Das Heizwasser muss auf einen pH-Wert von 8,2 bis 8,5 begrenzt werden. Eine Entsalzung ist einer Enthärtung vorzuziehen. Bei Nicht-Aluminiumverbindungen ist eine Enthärtung zu bevorzugen.

Gemäß der Richtlinie VDI 2035 ist die für eine Befüllung zulässige Wasserhärte des Füll- und Ergänzungswassers abhängig von:

- » der Gesamthärte
- » der kleinsten Einzelleistung des Wärmeerzeugers

Besonders beim Einsatz von elektrischen Heizpatronen als elektrische Not-/Zusatzheizung für z. B. Wärmepumpen ist die Enthärtung zu empfehlen. Durch die Enthärtung wird verhindert, dass sich Kalk an den Heizkörpern ablagert. Von Heizkörpern abgelagerter Kalk kann sich in der nachgeschalteten Anlage ablagern. Pumpen, Ventile und Rückschlagklappen können blockieren.

Verkalkungen an Wärmeübertragern und Armaturen führen sowohl zu erheblichen Energieverlusten als auch zu Funktionsstörungen des Gesamtsystems.

Als Füll- und Ergänzungswasser soll nach VDI 2035 Trinkwasser verwendet werden. Sofern dieses nicht die Anforderungen nach Tabelle 1 erfüllt, ist es entsprechend aufzubereiten. Bei der Beurteilung helfen Analysewerte des örtlichen Wasserversorgers. Weiterhin ist zu beachten, dass die Füll- und Ergänzungswassermenge den dreifachen Wasserinhalt der Anlage während der Lebensdauer nicht überschreitet, da andernfalls die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschäden steigt.

Die Gesamthärte des Heizwasser muss $< 3 \text{ }^\circ\text{dH}$ sein.

Aus der VDI 2035 können sich je nach Anlagenkonstellation höhere Anforderungen ergeben. Hierfür müssen der Wasserinhalt der Gesamtanlage sowie die kleinste Einzelheizleistung der verbauten Wärmeerzeuger betrachtet werden.

Bei Anlagen mit mehr als 40 l Wasserinhalt pro kW wird eine maximale Gesamthärte des Heizwassers von $0,3 \text{ }^\circ\text{dH}$ gefordert.

Beim Einsatz einer elektrischen Not-/Zusatzheizung mit 2,6 kW muss ab einem Anlagenvolumen von $> 104 \text{ l}$ die Gesamthärte $< 0,3 \text{ }^\circ\text{dH}$ sein.

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizwasserqualität

Beispiel:

Anlagenvolumen = 125-Liter

Gesamtheizleistung = ca. 5 kW, mit Fußbodenheizung

Kleinste angegebene Leistung = 2,6 kW

Spezifisches Anlagenvolumen = Anlagenvolumen ÷ kleinste Leistung = 125 l / 2,6 kW = 48 l/kW

Das regionale Wasserversorgungsunternehmen (WVU) teilt eine Gesamthärte von 3,57 mol/m³ (≈20 °dH) im entsprechenden Versorgungsgebiet mit.

Entsprechend der Tabelle muss das Füll- und Ergänzungswasser auf 0,05 mol/m³ (≈0,3 °dH) enthärtet werden.

Richtwerte für das Füll- und Ergänzungswasser sowie Heizwasser

Füll- und Ergänzungswasser sowie Heizwasser, heizleistungsabhängig						
Gesamtheizleistung kW	Summe Erdalkalien		Spezifisches Anlagenvolumen in l/kW Heizleistung			
	≤20 mol/m ³	°dH	>20 - ≤40 mol/m ³	°dH	>40 mol/m ³	°dH
≤50	keine	keine	≤3,0	16,8	<0,05	0,3
≤50	≤3,0	16,6	≤1,5	6,4	<0,05	0,3
>50 - ≤200	≤2,0	11,2	≤1,0	5,6	<0,05	0,3
>200 - ≤600	≤1,5	8,4	<0,05	0,3	<0,05	0,3
>600	<0,05	0,3	<0,05	0,3	<0,05	0,3

Füll- und Ergänzungswasser sowie Heizwasser, heizleistungsunabhängig	
Betriebsweise	Elektrische Leitfähigkeit in µS/cm
Salzarm	>10 - ≤100
Salzhaltig	<100 - ≤1500
	Aussehen
	klar, frei von sedimentierenden Stoffen
Werkstoffe in der Anlage	pH-Wert
ohne Aluminiumlegierungen	8,2 - 10,0
mit Aluminiumlegierungen	8,2 - 9,0

Empfohlenes Enthärtungsverfahren

Es gibt unterschiedliche Verfahren zur Herstellung von aufbereitetem Füll- und Ergänzungswasser. Vorzugsweise muss die Enthärtung auf Basis der Ionentauscher-Technologie erfolgen.

Enthärtung

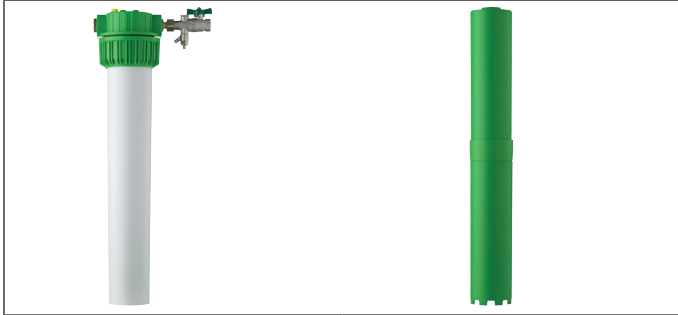
- » Salzgehalt unverändert
- » Frei von Mg, Ca (enthärtet)
- » Puffersystem unverändert
- » pH-Wert unverändert
- » keine zusätzlichen Maßnahmen zur Wasserkonditionierung erforderlich

Die klassische Enthärtung wird mittels Natriumionenaustauscher realisiert. Calcium- und Magnesium-Ionen werden durch Natriumionen ersetzt. In die Wasserchemie wird nicht eingegriffen.

Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert bleiben unverändert, so dass keine zusätzlichen Maßnahmen zur Wasserkonditionierung erforderlich sind.

Auf die Einbringung von Inhibitoren und Zusatzstoffen in das Heizwasser muss verzichtet werden.

Enthärtungspatronen



Auslegung für die Erstbefüllung der Anlage

Die Patronenanzahl für die Erstbefüllung einer Anlage wird nach folgender Formel berechnet:

$$P_{Anz} = \frac{V_{Anl} \cdot (\text{°dH}_{Ist} - \text{°dH}_{Soll})}{K_{WWM}}$$

P_{ANZ}	Patronenanzahl
V_{ANL}	Anlagenvolumen
K_{WWM}	Weichwasser Kapazität in Litern * °dH
°dH_{IST}	Ist-Gesamthärte des Wassers
°dH_{SOLL}	Soll-Gesamthärte des Wassers

Für die Berechnung der Patronenanzahl muss der entsprechende Grenzwert aus der Tabelle "Grenzwerte für die Gesamthärte" verwendet werden.

Auslegungsbeispiel Erstbefüllung:

V_{ANL}	= 200 l
°dH_{ist}	= 20 °dH
°dH_{soll}	= 0,3 °dH
K_{WWM}	= 6000 l · °dH

$$P_{Anz} = \frac{200 \text{ l} \cdot (20 \text{ °dH} - 0,30 \text{ °dH})}{6.000 \text{ l} \cdot \text{°dH}} = 1,64 \cong 2,00$$

Ergebnis: Für die Erstbefüllung werden zwei Patronen benötigt.

Lebensdauer einer Patrone

Die erreichbare Weichwassermenge und die Nachfüllmenge ermöglichen die Lebensdauerberechnung einer Patrone. Die jährliche Nachfüllmenge beträgt 10% des Anlagenvolumens. Das Nachspeisewasser muss auf 0 °dH enthärtet werden.

Die Weichwassermenge berechnet sich nach folgender Formel.

$$V_{WW} = \frac{K_{WWM}}{(\text{°dH}_{Ist})}$$

V_{WWM}	Volumen Weichwassermenge
K_{WWM}	Weichwasser Kapazität in Litern * °dH
°dH_{ist}	Gesamthärte des Wassers

Die Lebensdauer einer Patrone ergibt sich unter Berücksichtigung der jährlichen Nachfüllmenge.

$$a = \frac{V_{WWM}}{V_{Anl} \cdot 0,10}$$

Beispielberechnung

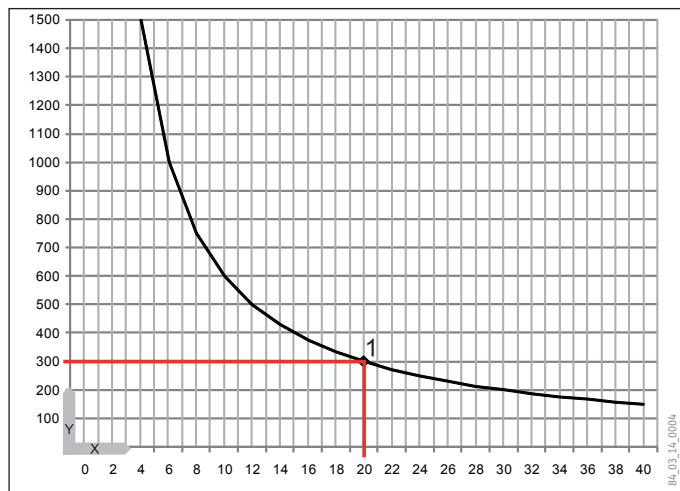
K_{WWM}	= 6000 l · °dH
°dH_{ist}	= 20 °dH
V_{Anl}	= 500 l

$$V_{WW} = \frac{6.000 \cdot \text{°dH}}{(20 \text{ °dH})} = 300 \text{ l}$$

$$a = \frac{300 \text{ l}}{500 \text{ l} \cdot 0,10} = 6,0$$

Bei einem Anlagenvolumen von 2000 l und einer Weichwassermenge von 300 l ergibt sich eine Lebensdauer von 1,5 Jahren.

Gesamtvolumen an Weichwasser



x Gesamtwasserhärte in °dH

y Weichwassermenge in Litern

1 Beispiel: Weichwassermenge bei 20 °dH

Notizen

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizkostenberechnung - Deutschland

Grundlagen

Wirtschaftlichkeitsberechnungen dienen dem Vergleich verschiedener Wärmeerzeuger und Anlagenkonzepte. Wirtschaftlichkeitsberechnungen bieten die Grundlage für eine objektive Entscheidung. Dabei müssen alle Kosten erfasst und in jeweilige Kostengruppen aufgeteilt werden. Der Einfluss verschiedener Kostenarten kann separat untersucht werden.

Kostenberechnung nach VDI 2067

Die Richtlinie behandelt die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von gebäudetechnischen Anlagen und bedient sich der Annuitätenmethode. Die Kosten sind in vier Gruppen aufgeteilt.

- » Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude.
- » Energieaufwand der Nutzungsübergabe für die Warmwasserheizung und die Trinkwassererwärmung.
- » Energieaufwand der Verteilung.
- » Energieaufwand der Erzeugung von Wärmepumpenanlagen und Kesselanlagen.

Die Berechnung berücksichtigt Kosten, Zins- und Preisentwicklungen dynamisch auf einen in der Zukunft liegenden Zeitraum.

Die dafür notwendigen Aufzinsungs- bzw. Annuitätsfaktoren sind angegeben und werden auf die jährlich gleichbleibenden Summen der Investition über den Betrachtungszeitraum aufgeschlagen.

Unterschiedlichste Modelle, Arten und Förderungen von Finanzierungen bieten ein breites Spektrum für den Einsatz von Wärmepumpen.

Grundlage für die folgende Beispielkostenberechnung sind die hier erläuterten Begriffe und Definitionen sowie die Annuitätenmethode.

Im Vergleich zu verschiedenen Wärmepumpen ist sowohl die monovalente als auch die bivalent-parallele Betriebsweise aufgeführt. Letztere wurde in diesem Beispiel monoenergetisch ausgeführt.

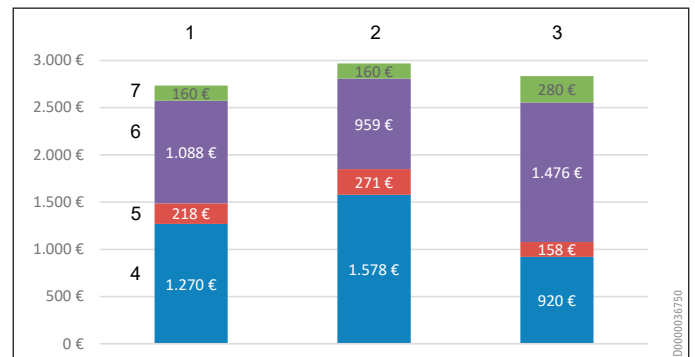
Das Beispiel verdeutlicht u. a., dass die Kombination von Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeuger interessant sein kann.

Entscheidend ist das Verhältnis von Grund- und Spitzenlast sowie der resultierende Deckungsgrad.

Gesamtkosten pro Jahr

Beispiel:

Jährliche Kostenaufteilung



- 1 Luft-Wasser-Wärmepumpe
- 2 Sole-Wasser-Wärmepumpe
- 3 Gas-Brennwertgerät
- 4 Kapitalkosten
- 5 Instandhaltungskosten
- 6 Energiekosten
- 7 Wartungskosten

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizkostenberechnung - Deutschland

Beispiel-Kostenberechnung nach VDI 2067

		Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Gas-Brennwert mit thermischer Solaranlage
Heizlast des Gebäudes in kW		8	8	8
Wärmebedarf Heizung in kWh		13.946	13.946	13.946
Anzahl der Personen		4	4	4
Wärmebedarf Warmwasser in kWh		3.954	3.954	3.954
Betriebsweise der Heizungs-Wärmepumpe		monoenergetisch	monovalent	-
Elektrische Not-/Zusatzheizung		Strom	nein	-
Solarunterstützung		nein	nein	Warmwasser
Betrachtungszeitraum in Jahren		20	20	20
Zinssatz in %		1,50	1,50	1,50
Annuitätsfaktor (Zins und Tilgung)		0,0582	0,0582	0,0582
1. Anlagendaten				
Energiepreis Heizung	Ct/kWh	21,00	21,00	6,90
Energiepreis Haushalt	Ct/kWh	30,00	30,00	30,00
Grundpreis pro Jahr	€	60,00	60,00	170,00
Wirkungsgrad/Jahresarbeitszahl Heizung		4,37	5,18	0,95
Wirkungsgrad/Jahresarbeitszahl Warmwasser		3,13	3,23	0,80
Bivalenzpunkt	°C	-6,5	-9,2	
Deckungsanteil Heizung	%	0,99	1,00	1,00
Deckungsanteil Warmwasser	%	1,00	1,00	0,50
Deckungsanteil Solar/Heizung	%			
Deckungsanteil Solar/Warmwasser	%			0,50
2. Investitionskosten				
Wärmeerzeuger komplett	€	12.700	12.600	4.000
Heizungssystem	€			
Heizungsinstallation	€	2.000	2.000	2.000
Elektroinstallation	€	1.500	1.500	500
Warmwasserspeicher	€	4.600		2.000
Warmwasser-Installation	€	1.000	1.000	1.000
Gasanschluss	€			1.300
Schornstein	€			2.000
Wärmequellen-Anlage	€		10.000	
Solarthermieanlage	€			3.000
Summe	€	21.800	27.100	15.800
3. Kapitalgebundene Kosten				
Kapitalkosten	€	1.270	1.578	920
Instandhaltung	€	218	271	158
Summe	€	1.488	1.849	1.078
4. Betriebsgebundene Kosten				
Wartung	€	160	160	210
Schornsteinfeger	€			70
Summe	€	160	160	280
5. Verbrauchsgebundene Kosten				
Heizung				
Jahres-Energiebedarf	kWh	13.946	13.946	13.946
Energieverbrauch Heizung	kWh	3.169	2.691	14.680
Energieverbrauch elektrische Not-/Zusatzheizung	kWh	105	9	
Jahres-Hilfsenergiebedarf	kWh	250	250	250
Warmwasser				
Jahres-Energiebedarf	kWh	3.954	3.954	3.954
Energieverbrauch Warmwasser	kWh	1.262	1.223	2.471
Energieverbrauch elektrische Not-/Zusatzheizung	kWh			
Solar				
Energiegewinn Heizung	kWh			
Energiegewinn Warmwasser	kWh			1.977
Energieverbrauch Solar	kWh			160

Wärmepumpen-Grundlagen

Heizkostenberechnung - Deutschland

Ergebnisse				
Energieverbrauch gesamt	kWh	4.786	4.173	17.561
Schadstoffanfall CO2 gesamt	kg	2.680	2.337	4.346
Energiekosten der Anlage	€	1.088	959	1.476
Gesamtkosten der Anlage	€	2.735	2.968	2.835
Primärenergie-Faktor		1,80	1,80	1,10
Primärenergiebedarf	kWh	8.615	7.512	19.604

Annuität

Preissteigerungsrate	Luft-Wasser-Wärmepumpe		Sole-Wasser-Wärmepumpe		Gas-Brennwert		Kapitalzins	Differenzkosten LW/Gas		Differenzkosten SW/Gas	
	2,0 %	2,0 %	2,0 %	2,0 %	3,0 %	2,0 %					
							1,5 %				

Kapitaldifferenz																	

Rückfluss kumuliert	6.000 €			11.300 €												
	Energiekosten	Betriebskosten	Summe	Energiekosten	Betriebskosten	Summe	Barwertfaktor	Kostendifferenz	Barwert	Kostendifferenz	Barwert					
1	1.088	378	1.466	959	431	1.390	1.476	438	1.914	0,985	449	442	5.558	525	517	10.783
2	1.109	386	1.495	978	440	1.418	1.521	447	1.967	0,971	473	459	5.099	550	534	10.250
3	1.131	393	1.525	998	448	1.446	1.566	456	2.022	0,956	497	476	4.623	576	551	9.699
4	1.154	401	1.555	1.018	457	1.475	1.613	465	2.078	0,942	523	493	4.131	603	568	9.130
5	1.177	409	1.586	1.038	467	1.504	1.662	474	2.136	0,928	549	510	3.621	631	586	8.544
6	1.201	417	1.618	1.059	476	1.535	1.712	484	2.195	0,915	577	528	3.093	661	604	7.940
7	1.225	426	1.650	1.080	485	1.565	1.763	493	2.256	0,901	606	546	2.547	691	623	7.318
8	1.249	434	1.683	1.101	495	1.597	1.816	503	2.319	0,888	635	564	1.983	722	641	6.676
9	1.274	443	1.717	1.123	505	1.628	1.870	513	2.383	0,875	666	583	1.400	755	660	6.016
10	1.300	452	1.751	1.146	515	1.661	1.926	523	2.450	0,862	698	602	798	789	680	5.336
11	1.326	461	1.787	1.169	525	1.694	1.984	534	2.518	0,849	732	621	177	824	699	4.637
12	1.352	470	1.822	1.192	536	1.728	2.044	545	2.588	0,836	766	641	-463	860	719	3.917
13	1.379	479	1.859	1.216	547	1.763	2.105	555	2.661	0,824	802	661	-1.124	898	740	3.177
14	1.407	489	1.896	1.240	558	1.798	2.168	567	2.735	0,812	839	681	-1.805	937	761	2.417
15	1.435	499	1.934	1.265	569	1.834	2.233	578	2.811	0,800	877	702	-2.507	977	782	1.635
16	1.464	509	1.972	1.291	580	1.871	2.300	589	2.890	0,788	917	723	-3.230	1.019	803	832
17	1.493	519	2.012	1.316	592	1.908	2.369	601	2.971	0,776	959	744	-3.974	1.063	825	7
18	1.523	529	2.052	1.343	604	1.946	2.440	613	3.054	0,765	1.001	766	-4.740	1.107	847	-840
19	1.553	540	2.093	1.370	616	1.985	2.514	626	3.139	0,754	1.046	788	-5.528	1.154	870	-1.710
20	1.584	551	2.135	1.397	628	2.025	2.589	638	3.227	0,742	1.092	811	-6.339	1.202	893	-2.602

Verbrauchskosten: enthält Brennstoffkosten, Zählermiete und Grundpreis

Betriebskosten: enthält Wartungskosten, Instandhaltung und Schornsteinfegerkosten

Kapitaldifferenz: Differenz der Investitionen zur Wärmepumpenanlage

Kostendifferenz: Differenz der laufenden Kosten zur Wärmepumpenanlage

Rückfluss kumuliert: Differenz der laufenden Kosten zur Wärmepumpenanlage

Barwertfaktor: Der Barwertfaktor gehört zu den finanzmathematischen Faktoren.

Der Barwertfaktor zinst die Glieder g einer Zahlungsreihe unter Berücksichtigung von Zins und Zinseszins ab und addiert gleichzeitig die Barwerte.

Barwert: Wert eines oder mehrerer künftig fälliger Kapitalbeträge im Bezugszeitpunkt.

Der Barwert oder Gegenwartswert ist der heutige Wert künftiger Ein- und Auszahlungen, der sich durch Abzinsung ergibt.

Wärmepumpen-Grundlagen

Pufferspeicher

Pufferspeicher

Wärmepumpen benötigen für einen störungsfreien Betrieb einen Mindestvolumenstrom an Heizwasser. Um einen störungsfreien Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten, muss die Verwendung eines Pufferspeichers geprüft werden.

Pufferspeicher dienen u. a. zur hydraulischen Entkopplung von unterschiedlichen Volumenströmen im Wärmepumpenkreis und im Heizkreis. Wenn z. B. der Volumenstrom im Heizkreis über Thermostatventile reduziert wird, bleibt der Volumenstrom im Wärmepumpenkreis konstant.

Je nach Wärmepumpentyp ist in der Übergangszeit und im Teillastbetrieb bei z. B. Radiatoren-Wärmeverteilsystemen ein Taktverhalten möglich. Häufiges Takten von Wärmepumpen reduziert die Anlageneffizienz und wirkt sich nachteilig auf die Lebenserwartung der Wärmepumpe aus. Das Takten wird durch ein entsprechend dimensioniertes Pufferspeichervolumen vermieden.

Luft-Wasser-Wärmepumpen benötigen ein ausreichend großes Heizungswasservolumen für den Abtaubetrieb.

Landesspezifisch können Wärmepumpen bei Spitzenlastzeiten durch das Energieversorgungsunternehmen gesperrt werden. Bei schnell auskühlenden Radiatoren-Heizsystemen wird das Pufferspeicher-Volumen so bemessen, dass der darin gespeicherte Wärmeinhalt zur Überbrückung der Abschaltzeiten beiträgt.

In Kombination mit einer Photovoltaik-Anlage zur Eigenstromnutzung bietet ein Pufferspeicher die Möglichkeit zur Speicherung von überschüssiger Energie.

Parallel eingebundene Pufferspeicher

Parallel zur Wärmepumpe eingebundene Pufferspeicher schaffen eine hydraulische Entkopplung zwischen Wärmepumpe und den Heizkreisen.

Damit kann der Mindestvolumenstrom der Wärmepumpe unabhängig vom Volumenstrom im Heizkreis jederzeit sichergestellt werden.

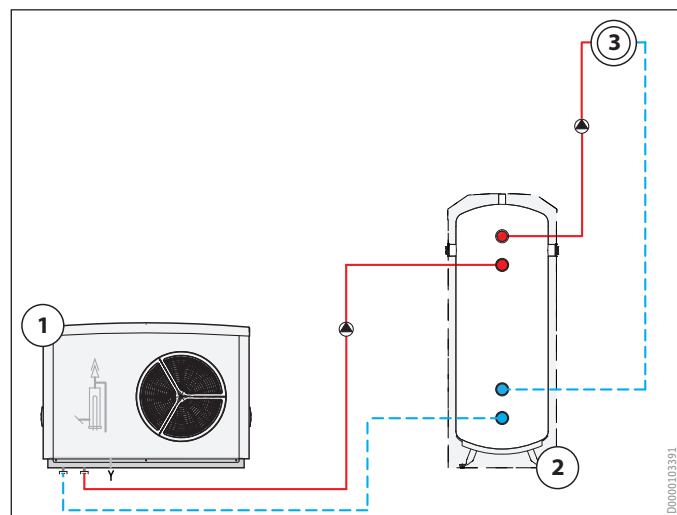
Eine hydraulische Entkopplung ist beim Einsatz mehrerer Heizkreise immer erforderlich.

Für die Beladung eines Pufferspeichers ist eine Pufferladepumpe notwendig.

Anlagen mit parallel eingebundenen Pufferspeichern sind hydraulisch robust. Anforderungen wie mehrere Heizkreise mit unterschiedlichen Temperaturniveaus oder die Einbindung weiterer Wärmeerzeuger, können damit realisiert werden.

Wir empfehlen den Einsatz von parallel eingebundenen Pufferspeichern.

Wärmepumpe mit parallel geschaltetem Pufferspeicher



- 1 Wärmepumpe
- 2 Pufferspeicher
- 3 Heizkreis

Wärmepumpen-Grundlagen

Pufferspeicher

Hybrid-Speicher

Hybrid-Speicher vereinen mehrere Funktionen in einem Gerät.

Der zur Verfügung stehende Innenraum für die Heizungsanlage ist meist gering bemessen.

Hier bietet sich der Einsatz von Hybrid-Speichern an, die Heizungs- und Warmwasserspeicher mit verschiedenen Konzepten in einem gemeinsamen Behälter oder Gerät integrieren.

Durchlaufspeicher

Hybrid-Speicher können als Durchlaufspeicher ausgeführt sein, in denen Trinkwasser im Durchlaufprinzip mit einer großen Wärmeübertragungsfläche erwärmt wird.

Der innenliegende Wärmeübertrager für die Trinkwarmwasserbereitung wird von Heizwasser umschlossen, so dass neben der Trinkwarmwasserbereitung auch mehrere Heizkreise versorgt werden können.

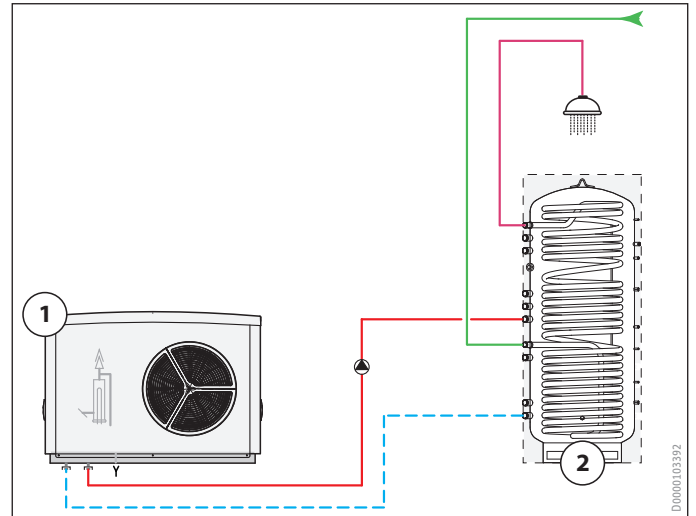
In Durchlaufspeichern erfolgt die Warmwasserbereitung besonders hygienisch, da nur eine geringe Trinkwassermenge beverratet wird und dadurch ein hoher Trinkwasseraustausch entsteht.

Integral- und Systemspeicher

In Integral- und Systemspeichern sind hydraulisch getrennte Puffer- und Trinkwarmwasser-Speicher in einem gemeinsamen Gehäuse verbaut.

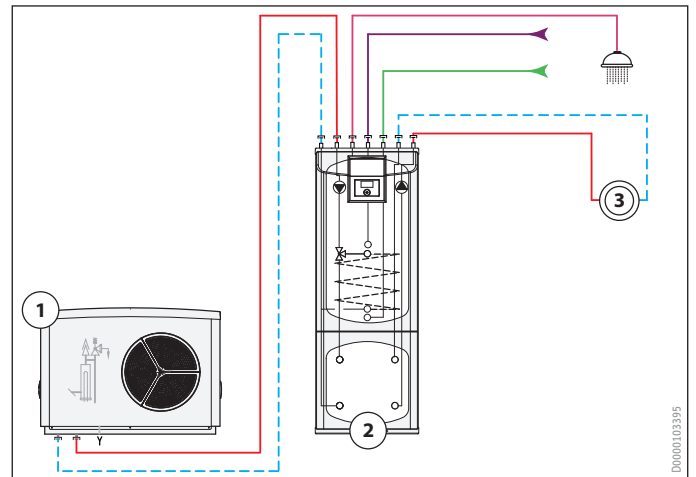
Integralspeicher können zusätzlich auch zur Kühlung eingesetzt werden.

Wärmepumpe mit Durchlaufspeicher



- 1 Wärmepumpe
- 2 Durchlaufspeicher

Wärmepumpe mit Integral- oder Systemspeicher



- 1 Wärmepumpe
- 2 Integralspeicher oder Systemspeicher
- 3 Heizkreis

Entscheidung zum Einsatz eines Pufferspeichers

Die Verwendung eines Pufferspeichers muss geprüft werden.

Anlagen ohne Pufferspeicher sind nur dann technisch sinnvoll realisierbar, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- » Für die installierte Wärmepumpe ist kein Pufferspeicher vorgegeben.
- » Der Mindestvolumenstrom der Wärmepumpe ist durch das installierte Wärmeverteilsystem jederzeit sichergestellt.
- » Der Wasserinhalt in der Anlage ist ausreichend groß, um die Mindestlaufzeit der Wärmepumpe sicherzustellen.
- » Die Wärmepumpe versorgt nur einen Heizkreis.
- » Es sind keine Sperrzeiten für die Stromversorgung zu erwarten oder diese können ohne wesentliche Komfort-Einbußen durch das Wärmeverteilsystem überbrückt werden.
- » Es ist keine Einbindung weiterer Wärmeerzeuger vorgesehen.

Besonderheiten beim Einsatz eines Pufferspeichers in der Heizungsanlage

Das zusätzliche Pufferspeichervolumen muss bei der Auslegung des Membran-Ausdehnungsgefäßes berücksichtigt werden.

Hydraulischer Anschluss zur Schwingungsdämpfung

Der Anschluss an das Rohrleitungsnetz erfolgt vorzugsweise flexibel, z. B. mit Druckschläuchen. Druckschläuche minimieren die Übertragung von Schwingungen, Vibrationen und sonstigen Körperschall-Effekten.

Installation ohne Pufferspeicher

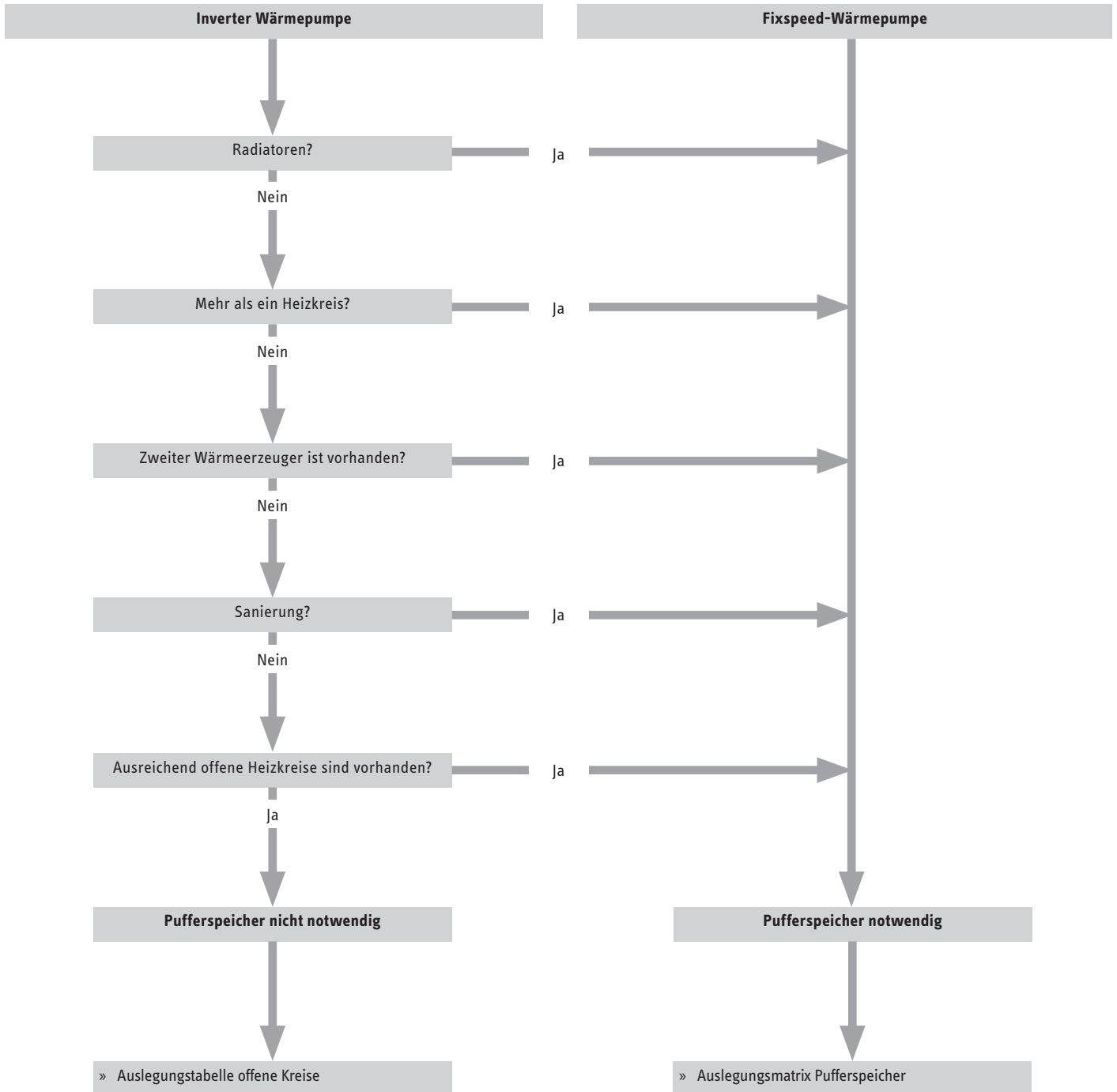
Bei einem Verzicht auf den Pufferspeicher muss der Mindestvolumenstrom der Wärmepumpe dauerhaft über das Wärmeverteilsystem sichergestellt werden.

Der Mindestvolumenstrom kann z. B. über dauerhaft offene Heizkreise oder Überströmeinrichtungen sichergestellt werden.

Die landesspezifischen Vorgaben zur Einzelraumregelung müssen eingehalten werden.

In Deutschland wird eine Einzelraumregelung gefordert. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, müssen sich die dauerhaft offenen Heizkreise und die Raumfernbedienung, im Führungsraum befinden.

Entscheidung zum Einsatz eines Pufferspeichers

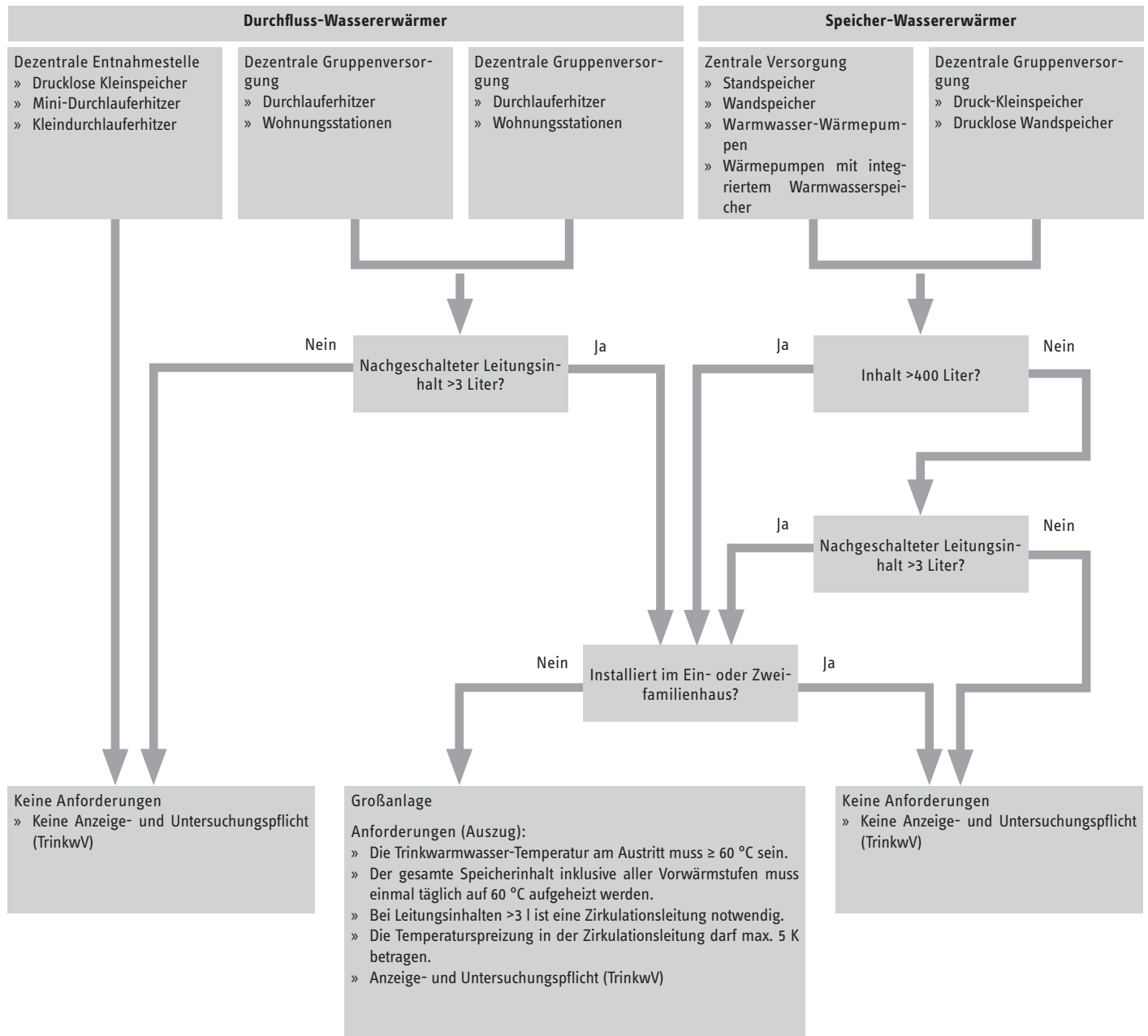


Trinkwarmwasserbereitung

DVGW W 511

Anforderungen des Arbeitsblattes DVGW W 551

Die folgende Übersicht vermittelt einen Eindruck der Anforderungen nach DVGW W 551.

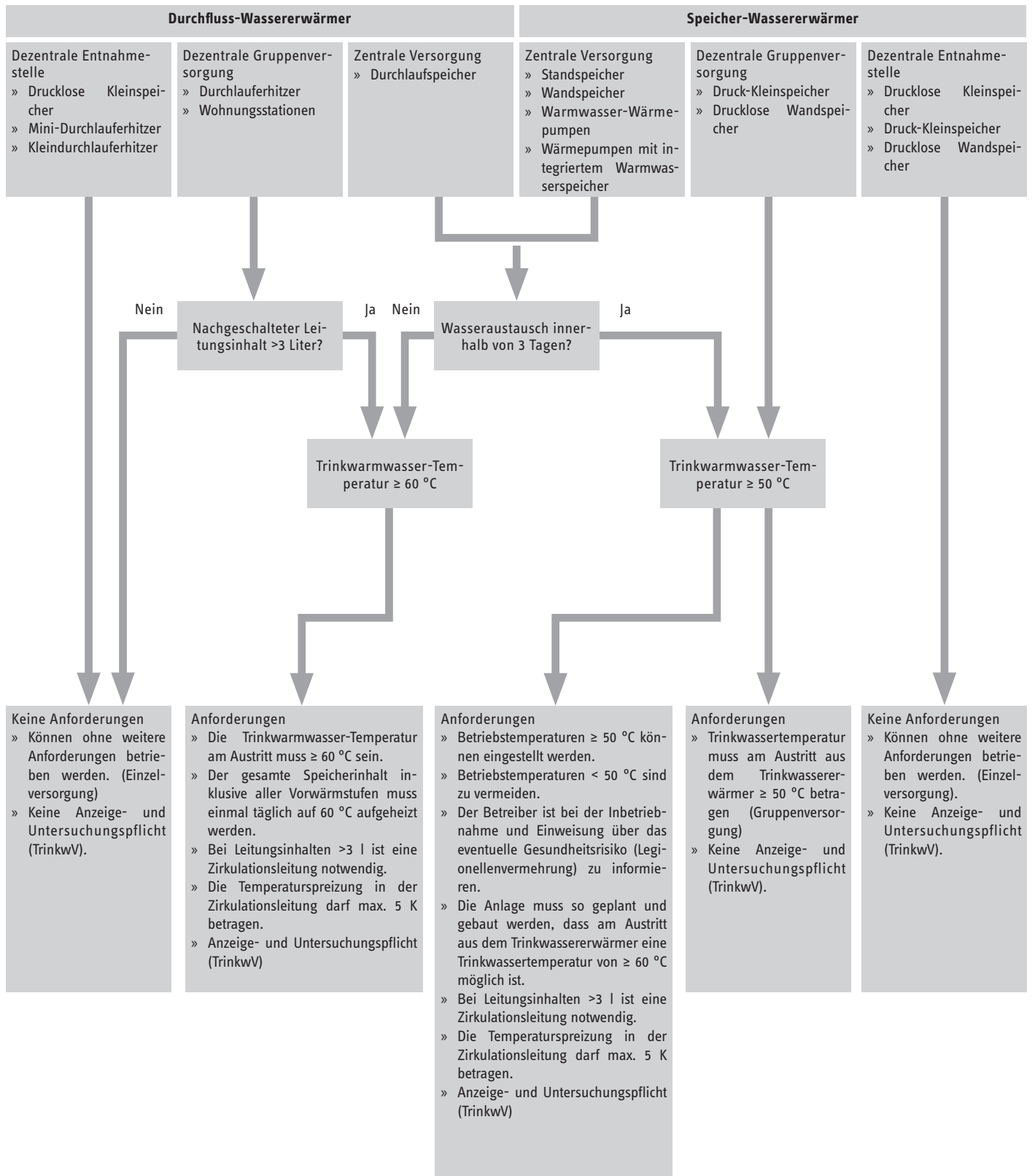


Trinkwarmwasserbereitung

DIN 1988-200

Anforderungen der DIN 1988-200

Die folgende Übersicht vermittelt einen Eindruck der Anforderungen nach DIN 1988-200.



Wärmepumpen-Grundlagen

Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung

Warmwasserspeicher

Die Größe des Trinkwarmwasser-Speichers richtet sich nach dem Tagesverbrauch, dem Spitzenverbrauch, dem Warmwasser-Verteilssystem und den installierten Entnahmestellen.

Die Auslegung von Trinkwarmwasser-Speichern für Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäuden erfolgt unter Berücksichtigung des Verbrauchsprofils und den Richtlinien zur Einhaltung hygienischer Anforderungen.

Die Erwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt über einen innenliegenden oder externen Wärmeübertrager.

Beim Einsatz eines Durchlaufspeichers erfolgt die Trinkwarmwasser-Erwärmung mit einem innenliegenden Wärmeübertrager nach dem Durchlaufprinzip.

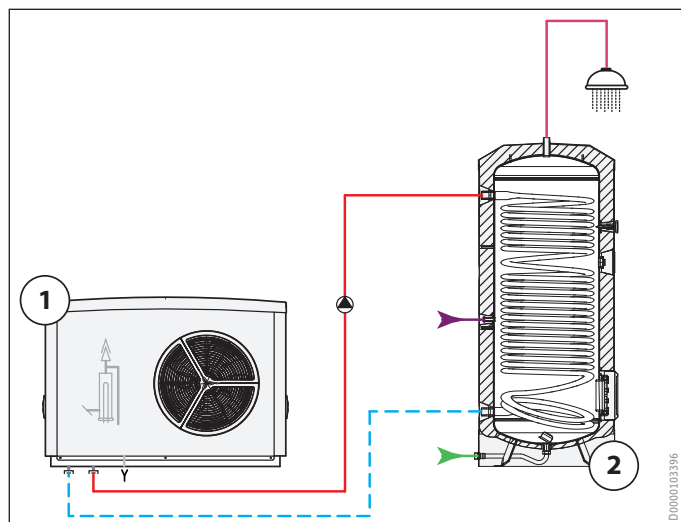
Innenliegender Wärmeübertrager

Eine effiziente Trinkwarmwasser-Bereitung erfolgt durch einen Trinkwarmwasser-Speicher mit innenliegendem Wärmeübertrager.

Innenliegende Wärmeübertrager sind nur bedingt für die Übertragung großer Wärmeleistungen geeignet. Das liegt vor allem an der verfügbaren Oberfläche des Wärmeübertragers innerhalb eines Trinkwarmwasser-Speichers, weil pro kW-Heizleistung eine Übertragungsfläche von $> 0,25 \text{ m}^2$ benötigt wird.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Wärmepumpe und der Anlagenkonfiguration können Trinkwarmwasser-Temperaturen von bis zu 60°C erreicht werden.

Wenn höhere Trinkwarmwasser-Temperaturen gefordert sind, kann das Trinkwarmwasser elektrisch nacherwärmt werden.



- 1 Wärmepumpe
- 2 Trinkwarmwasser-Speicher

Externer Wärmeübertrager

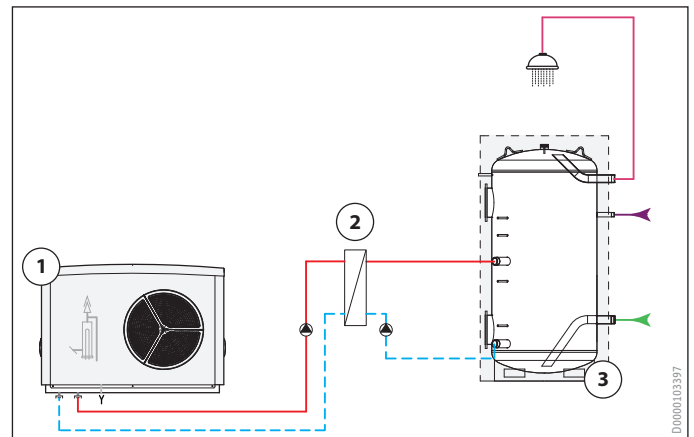
Wenn höhere Leistungen in einen Trinkwarmwasser-Speicher übertragen werden müssen, können Ladestationen genutzt werden.

Die Dimensionierung der Ladestation erfolgt in Abhängigkeit von Leistung und Volumenstrom der Wärmepumpe. Bei der Planung müssen die Druckverluste am Platten-Wärmeübertrager bzw. die externe Förderhöhe der Ladepumpe beachtet werden.

Um möglichst hohe Trinkwarmwasser-Temperaturen zu erreichen, sollte die Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärseite der Ladestation möglichst gering sein. Ideal sind Spreizungen von 2 - 5 K.

Je kleiner die Temperaturdifferenz sein soll, umso größer muss die Fläche des Platten-Wärmeübertragers in der Ladestation sein.

Idealerweise ist der Trinkwarmwasser-Speicher für die Verwendung mit einer Ladestation vorbereitet.



- 1 Wärmepumpe
- 2 Wärmeübertrager
- 3 Trinkwarmwasser-Speicher

Wärmepumpen-Grundlagen

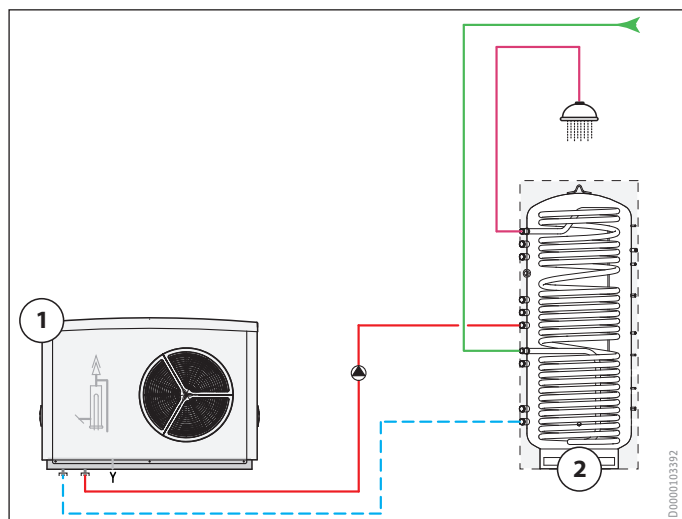
Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung

Durchlaufspeicher

Durchlaufspeicher besitzen einen von Heizwasser umgebenen innenliegenden Edelstahl-Wellrohr-Wärmeübertrager.

In dem Wärmeübertrager wird nur eine geringe Trinkwassermenge bevorratet, sodass ein hoher Wasseraustausch und eine hohe Trinkwasserhygiene gewährleistet sind.

Gleichzeitig dient ein Durchlaufspeicher als Pufferspeicher zur hydraulischen Entkopplung von Wärmepumpe und Heizkreisen.



- 1 Wärmepumpe
- 2 Durchlaufspeicher

Wärmepumpen-Grundlagen

Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung

Wohnungsstationen

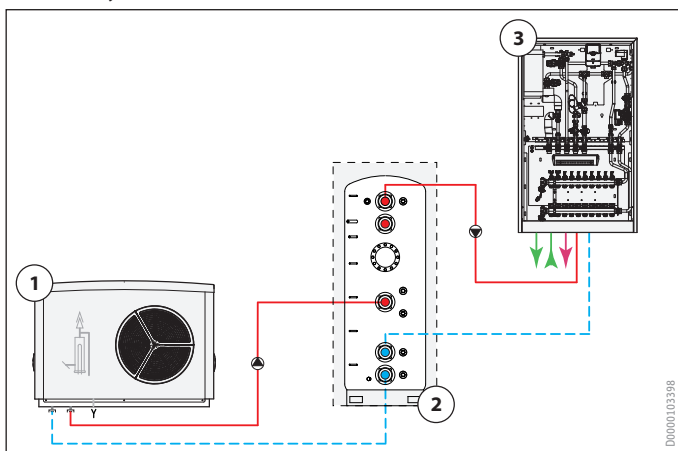
Wohnungsstationen schaffen die Möglichkeit, die Vorteile einer dezentralen Trinkwarmwasser-Bereitung mit einer zentralen Wärmeerzeugung zu verbinden.

Wohnungsstationen können als 2-Leiter- oder 4-Leiter-Systeme ausgeführt sein.

2-Leiter Wohnungsstation

2-Leiter-Systeme nutzen einen gemeinsamen Pufferspeicher, der ganzjährig mit einer gleichbleibenden Systemtemperatur betrieben wird.

Ein 2-Leiter-System bedingt geringere Investitionskosten als ein 4-Leiter-System.



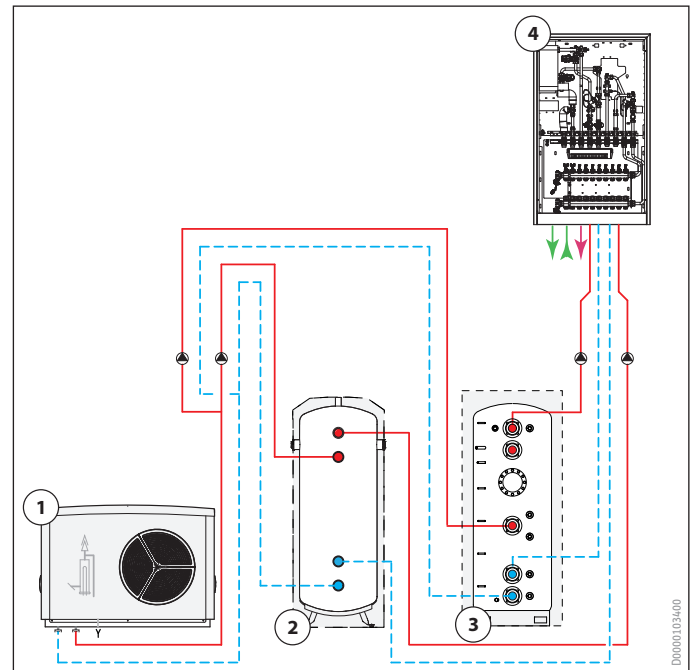
- 1 Wärmepumpe
- 2 Pufferspeicher
- 3 Wohnungsstation

4-Leiter Wohnungsstation

Die Wohnungsstationen in 4-Leiter-Systemen werden an jeweils zwei Vorlauf- und Rücklaufleitungen angeschlossen.

Der Heizwärme- und Trinkwarmwasser-Bedarf wird aus Pufferspeichern mit unterschiedlichen Systemtemperaturen bedient.

Ein 4-Leiter-System ist effizienter als ein 2-Leiter-System.



- 1 Wärmepumpe
- 2 Pufferspeicher Heizung
- 3 Pufferspeicher Trinkwarmwasser
- 4 Wohnungsstation

Notizen

Auslegung

Trinkwarmwasser-Speicher

Speicherdimensionierung für zentrale Warmwasserspeicher

Die nachfolgenden Ausführungen gelten nicht für Durchlaufspeicher und Wohnungsstationen. Im Folgenden wird dabei auf Ausführungen in der DIN EN 15450 und der VDI 4645 zurückgegriffen.

Für die Auslegung des zentralen Warmwasserspeicher-Volumens müssen die in der Anlage benötigten Wärmemengen berücksichtigt werden.

Dabei müssen mehrere Faktoren beachtet werden, die sich gegenseitig beeinflussen:

- » der Tagesbedarf
- » der Spitzenbedarf (zeitlich begrenzter, maximaler Bedarf)
- » zu erwartende Verluste
- » die zur Verfügung stehende Heizleistung zum Nachheizen des Trinkwarmwasser-Speichers

Die erforderliche Trinkwarmwasser-Leistung muss während der Bezugsperiode entweder in Form von gespeichertem Trinkwarmwasser oder als Heizleistung zur Verfügung stehen.

Für die Auslegung müssen der maximale tägliche Warmwasser-Bedarf und das entsprechende Verbrauchsverhalten ermittelt werden.

Für die Ermittlung können neben den realen Verbrauchswerten auch durchschnittliche Zapfprofile verwendet werden. Diese Zapfprofile sind in der DIN EN 15450 exemplarisch für drei Nutzergruppen dargestellt und können individuell erweitert werden.

Aus dem Lastprofil heraus wird die Periode mit dem größten Leistungsbedarf ermittelt.

Aus dem Leistungsbedarf ergibt sich die Speichergröße.

Zapfarten nach DIN EN 15450, Anhang E

Zapfart	Energie kWh	Volumen l	Gewünschter Wert für $\Delta\theta$ K	Zapfdauer bei angegebenem Massenstrom in Minuten			
				3,5 l/min	5,5 l/min	7,5 l/min	9,0 l/min
Wenig	0,105	3	30	0,9	0,5	0,4	0,3
Fußboden	0,105	3	30	0,9	0,5	0,4	0,3
Reinigen	0,105	2	45	0,6	0,4	0,3	0,2
Geschirrspülen wenig	0,315	6	45	1,7	1,1	0,8	0,7
Geschirrspülen mittel	0,420	8	45	2,3	1,5	1,1	0,9
Geschirrspülen mehr	0,735	14	45	4,0	2,5	1,9	1,6
„Viel“	0,525	15	30	4,3	2,7	2,0	1,7
Duschen	1,400	40	30	11,4	7,3	5,3	4,4
Baden	3,605	103	30	29,4	18,7	13,7	11,4

Auslegung

DIN EN 15450 im Mehrfamilienhaus / Zapfprofiltabelle

DIN EN 15450 im Mehrfamilienhaus

In der DIN EN 15450 werden beispielhaft drei unterschiedliche Zapfprofile angegeben:

1. Durchschnittliches Zapfprofil einer Einzelperson (36 l bei 60 °C)
2. Durchschnittliches Zapfprofil einer Familie, einschließlich Duschen (100 l bei 60 °C)
3. Durchschnittliches Zapfprofil einer dreiköpfigen Familie einschließlich Baden und Duschen (200 l bei 60 °C)

Zapfprofiltabelle „3“

Die Tabelle gibt das durchschnittliche Zapfprofil einer dreiköpfigen Familie wieder.

Die Werte und Summen sind die Basis für die nachfolgend beschriebene Beispiel-Auslegung.

Nr.	Tageszeit hh:mm	Zapfart	Energie Zapfvorgang kWh	Bezugsperiode für Teilspeichersysteme		Gewünschter Wert für $\Delta\theta$ (während der Entnahme zu erreichen) K	Mindestwert von θ für den Zählerstart der Energienutzung °C
				Tagesbedarf	Spitzenbedarf		
1	07:00	wenig	0,105				25
2	07:05	Dusche	1,400	x			40
3	07:30	wenig	0,105	x			25
4	07:45	wenig	0,105	x	x		25
5	08:05	Bad	3,605	x	x	30	10
6	08:25	wenig	0,105	x	x		25
7	08:30	wenig	0,105	x	x		25
8	08:45	wenig	0,105	x	x		25
9	09:00	wenig	0,105	x			25
10	09:30	wenig	0,105	x			25
11	10:30	Fußboden	0,105	x		30	10
12	11:30	wenig	0,105	x			25
13	11:45	wenig	0,105	x			25
14	12:45	Geschirrspülen	0,315	x		45	10
15	14:30	wenig	0,105	x			25
16	15:30	wenig	0,105	x			25
17	16:30	wenig	0,105	x			25
18	18:00	wenig	0,105	x			25
19	18:15	sauber	0,105	x			40
20	18:30	sauber	0,105	x			40
21	19:00	wenig	0,105	x			25
22	20:30	Geschirrspülen	0,735	x	x	45	10
23	21:00	Bad	3,605	x	x	30	10
24	21:30	wenig	0,105		x		25

Zusammenfassung

Q_{DP}	kWh	11,655	11,445	4,445
T_{DP}	hh:mm	14:30	13:55	1:00

Q_{DP} Energiebedarf Trinkwassererwärmung während der gewählten Bezugsperiode in kWh

T_{DP} Zeitraum vor der gewählten (ungünstigsten) Bezugsperiode, der zur Nachheizung des Speichervolumens zur Verfügung steht

Auslegungsbeispiel „Mehrfamilienhaus mit zentralem Trinkwarmwasser-Speicher“

Gegeben ist ein Mehrfamilienhaus mit 10 identischen Wohneinheiten.

Jede Wohnung verfügt über eine normale sanitäre Ausstattung mit Dusche.

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral durch eine Wärmepumpe und einen Warmwasserspeicher mit innenliegendem Wärmeübertrager.

Die Auslegung des Trinkwarmwasser-Speichers orientiert sich an der Bezugsperiode mit dem höchsten Trinkwarmwasser-Bedarf innerhalb eines Tages (Q_{DPB}).

Die Auslegung der Wärmepumpe berücksichtigt den gesamten Trinkwarmwasser-Bedarf innerhalb eines Tages (Q_{DP}).

Energiebedarf in einer Bezugsperiode

Für die Auslegung der Trinkwassererwärmung wird aus der Zapfprofilabelle die Bezugsperiode mit dem größten Energiebedarf abgelesen. Diese Bezugsperiode liegt in der Zeit von 20:30 bis 21:30 Uhr. Der Energiebedarf beträgt 2,240 kWh pro Wohnung.

Der gesamte Energiebedarf in der Bezugsperiode wird mit folgender Formel ermittelt:

$$Q_{DPB} = n_{NE} \cdot Q_{DPB,NNE}$$

Q_{DPB}	Energiebedarf während einer Bezugsperiode in kWh
$Q_{DPB,NNE}$	Energiebedarf einer Nutzungseinheit während einer Bezugsperiode in kWh
n_{NE}	Anzahl der Nutzungseinheiten mit gleichem Profil

Für das Auslegungsbeispiel ergibt sich ein Energiebedarf während der Bezugsperiode von:

$$Q_{DPB} = 10 \cdot 2,240 \text{ kWh} = 22,40 \text{ kWh}$$

Trinkwarmwassermenge in einer Bezugsperiode

Aus dem Gesamt-Energiebedarf während einer Bezugsperiode wird die erforderliche Trinkwarmwassermenge ermittelt.

$$V_{DPB} = \frac{Q_{DPB}}{c_W \cdot (\vartheta_{soll} - \vartheta_{KW})}$$

V_{DPB}	erforderliche Trinkwarmwassermenge während der Bezugsperiode in l
Q_{DPB}	Energiebedarf während der gewählten Bezugsperiode in kWh
c_W	spezifische Wärmekapazität (bei Wasser 1,163 Wh/(kg·K))
ϑ_{soll}	Speichersolltemperatur in °C.
ϑ_{KW}	Kaltwasser-Temperatur in °C (in Deutschland 10 °C)

$$V_{DPB} = \frac{22,40 \text{ kWh}}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})} = 385 \text{ l}$$

Die erforderliche Trinkwarmwassermenge während der Bezugsperiode beträgt 385 l.

Verluste

Bei der Auswahl des Trinkwarmwasser-Speichers müssen folgende Verluste berücksichtigt werden:

- » Zirkulationsverluste
- » Bereitschaftsverluste im Trinkwarmwasser-Speicher
- » Durchmischungs- und Wärmeübertragungsverluste

Die Zirkulationsverluste werden planerisch ermittelt. Erfahrungsgemäß können die Zirkulationsverluste zwischen 30 und 40 % des Trinkwarmwasser-Bedarfs betragen. Die Zirkulationsverluste werden in diesem Beispiel mit 35 % bzw. 0,86 kWh pro Stunde angenommen.

$$Q_{Zirk} = \frac{Q_{DP} \cdot 0,35}{24 \text{ h}} = \frac{58,45 \text{ kWh} \cdot 0,35}{24 \text{ h}} \cong 0,86 \frac{\text{kWh}}{\text{h}}$$

Zur Deckung der Zirkulationsverluste ist zusätzliches Speichervolumen notwendig:

$$V_{Zirk} = \frac{Q_{Zirk}}{c_W \cdot (\vartheta_{soll} - \vartheta_{Zirk,RL})}$$

V_{Zirk}	erforderliche Trinkwassermenge für den Ausgleich der Zirkulationsverluste
Q_{Zirk}	Zirkulationsverluste in kWh/h
c_W	spezifische Wärmekapazität (bei Wasser 1,163 Wh/(kg·K))
ϑ_{soll}	Speichersolltemperatur in °C.
ϑ_{KW}	Rücklaufftemperatur der Zirkulationsleitung in °C

$$V_{Zirk} = \frac{0,86 \frac{\text{kWh}}{\text{h}}}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (60^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C})} = 148 \text{ l}$$

Als Zuschlag für nicht nutzbares Speichervolumen werden 15 % des Speichervolumens angenommen.

Das gesamte notwendige Speichervolumen errechnet sich mit folgender Formel:

$$V_{SP,min} = (V_{DPB} + V_{Zirk}) \cdot f_{TWE}$$

$V_{SP,min}$	Speichervolumen in l
V_{DPB}	erforderliche Trinkwassermenge während der gewählten Bezugsperiode in l
V_{Zirk}	erforderliche Trinkwassermenge für den Ausgleich der Zirkulationsverluste
f_{TWE}	Aufschlag für die Annahme von Durchmischungsverlusten ($f_{TWE}=1,15$)

$$V_{SP,min} = (385 \text{ l} + 148 \text{ l}) \cdot 1,15 = 613 \text{ l}$$

Der Trinkwarmwasser-Speicher muss einen Nenninhalt von >613 l haben.

Leistung der Wärmepumpe für kombinierten Heizungs- und Warmwasserbetrieb

Wenn die Wärmepumpe nicht nur zur Trinkwarmwasserbereitung eingesetzt wird, müssen auch der Heizungs- und Kühlbetrieb sowie sonstige Nutzungen berücksichtigt werden.

Leistung der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung

Die Leistung der Wärmepumpe zur ausschließlichen Trinkwarmwasserbereitung muss so gewählt werden, dass der gesamte Inhalt des Trinkwarmwasser-Speichers innerhalb der gewünschten Aufheizdauer erwärmt wird.

Bei der Bemessung der Aufheizdauer müssen die Bedarfsspitzen sowie besonders geeignete Zeiten für die Aufheizung des Trinkwarmwasser-Speichers berücksichtigt werden. Wenn eine Photovoltaik-Anlage eingebunden wird, müssen z. B. die Tageslichtstunden berücksichtigt werden.

Die notwendige Leistung der Wärmepumpe wird wie folgt ermittelt:

$$\dot{Q}_{WP,min} = \frac{V_{Sp} \cdot c_W \cdot (\vartheta_{soll} - \vartheta_{KW})}{t_{AD}}$$

$\dot{Q}_{WP,min}$	erforderliche Wärmepumpenleistung in kW
c_W	spezifische Wärmekapazität (bei Wasser 1,163 Wh/(kg·K))
ϑ_{soll}	Speichersolltemperatur in °C.
ϑ_{KW}	Kaltwasser-Temperatur in °C (in Deutschland 10 °C)
t_{AD}	Aufheizdauer in h

Für die Aufheizung des Trinkwarmwasser-Speichers steht die Periode zwischen den beiden Spitzenbedarfen zur Verfügung (07:00 bis 07:30 Uhr und 20:30 bis 21:30 Uhr). Die Aufheizdauer beträgt 13 Stunden.

$$\dot{Q}_{WP,min} = \frac{613 \text{ l} \cdot 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{13 \text{ h}} \cong 2,7 \text{ kW}$$

Die Wärmepumpe muss eine Heizleistung von >2,7 kW haben.

Wenn weitere Wärmebedarfe abgedeckt werden sollen, müssen die entsprechenden Wärmemengen bei der Ermittlung der Heizleistung berücksichtigt werden.

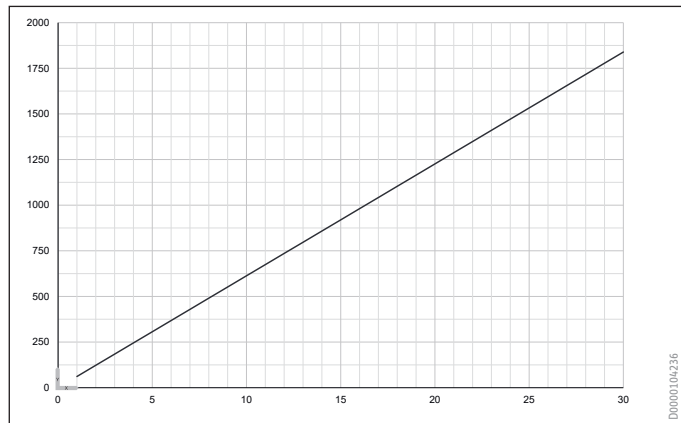
Auslegungstabelle Zentrale Trinkwarmwasser-Speicher für Wohngebäude

Die Zapfprofiltable „3“ dient zur Orientierung von Volumen für zentrale Warmwasserspeicher in Mehrfamilienhäusern mit einem ausgewählten Verbrauchsprofil für 3 Personen mit einer Dusche. Die Zapfprofiltable „3“ ersetzt keine objektspezifische Auslegung der Warmwasserbereitung.

Die Dimensionierung der Trinkwarmwasser-Speicher in der dargestellten Zapfprofiltable „3“ ist an die Berechnungsvorschriften der DIN EN 15450 angelehnt. Die Berechnung erfolgt anhand der in der Zapfprofiltable „3“ dargestellten Wärmemengen, die bei einem durchschnittlichen Trinkwarmwasser-Bedarf einer Familie bestehend aus 3 Personen mit Dusche erforderlich sind:

- » 5,845 kWh Tagesbedarf pro Wohnung
- » 2,24 kWh Spitzenbedarf pro Wohnung

In Abhängigkeit der Anzahl der Wohneinheiten wird das Speichervolumen ermittelt. Durchmischungs- und Zirkulationsverluste werden in Anlehnung an das Berechnungsbeispiel pauschal berücksichtigt.



x Wohneinheiten
y Speichervolumen
l Kennlinie

Vereinfachtes Verfahren im Ein- und Zweifamilienhaus

Im Ein- und Zweifamilienhaus mit normaler sanitärer Ausstattung können die erforderliche Speichergröße und die benötigte Heizleistung mithilfe eines vereinfachten Verfahrens ermittelt werden.

Pro Person wird ein täglicher mittlerer Warmwasser-Bedarf von 1,45 kWh pro Person angenommen. Der Wert entspricht einer Trinkwassermenge von 25 l mit 60 °C. Um überschlägig die Speicher- und Verteilverluste zu berücksichtigen, wird der Wert verdoppelt. Anschließend erfolgt eine Umrechnung auf die tatsächliche Bevorratungstemperatur. Die Bevorratungstemperatur in Ein- und Zweifamilienhäusern ist üblicherweise 50 °C.

$$V_{SP,min} = 2 \cdot n \cdot V_{DP,60} \cdot \frac{\vartheta_{Ref} - \vartheta_{KW}}{\vartheta_{soll} - \vartheta_{KW}}$$

$V_{SP,min}$	Mindest-Speichervolumen in Litern
n	Anzahl der Personen
$V_{DP,60}$	Täglicher Trinkwarmwasser-Bedarf pro Person bei 60 °C in Litern
ϑ_{Ref}	Referenz-Speichertemperatur in °C (60 °C)
ϑ_{soll}	Speicher-Solltemperatur in °C.
ϑ_{KW}	Kaltwasser-Temperatur in °C

$$V_{SP,min} = 2 \cdot 3 \cdot 25 \text{ l} \cdot \frac{60 \text{ °C} - 10 \text{ °C}}{50 \text{ °C} - 10 \text{ °C}} = 187,5 \text{ l}$$

Für 1 bis 3 Personen wird ein Trinkwarmwasser-Speicher mit einem Nenninhalt von bis zu 200 l gewählt.

Für 4 bis 5 Personen wird ein Trinkwarmwasser-Speicher mit einem Nenninhalt von bis zu 300 l gewählt.

Auslegung

Durchlaufspeicher für Wohngebäude

Auslegungstabelle für Durchlaufspeicher in Wohngebäuden

Die Auslegung von Durchlaufspeichern erfolgt anhand von Zapfprofilen in Verbindung mit dem entsprechenden Durchlaufspeicher.

Je nach Ladetemperatur des Durchlaufspeichers und installierter Leistung des Wärmeerzeugers wird aus der typspezifischen Auslegungstabelle ein geeigneter Durchlaufspeicher ausgewählt.

Bei der Auslegung müssen die maximale Durchflussmenge des Durchlaufspeichers sowie die Druckverluste am Wärmeübertrager berücksichtigt werden.

Speicherdimensionierung für Wohnungsstationen

Die Speicherdimensionierung für Wohnungsstationen basiert auf der Anschlussleistung der Wohnungsstation sowie der Gleichzeitigkeit in der Trinkwassererwärmung.

In Abhängigkeit von der Art der Wohnungsstation muss bei der Ermittlung der Speichergröße auch die Heizlast berücksichtigt werden.

Bei 2-Leiter Systemen muss die Trinkwasser-Heizleistung und die Heizleistung addiert werden.

Bei 4-Leiter Systemen muss eine getrennte Betrachtung für den Trinkwarmwasser- und den Heizungspufferspeicher durchgeführt werden.

Auslegungsbeispiel „Mehrfamilienhaus mit Wohnungsstationen“

Gegeben ist ein Mehrfamilienhaus mit 12 identischen Wohneinheiten.

Jede Wohnung verfügt über eine normale sanitäre Ausstattung mit Dusche.

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral durch Wohnungsstationen, die über ein 2-Leiter-System versorgt werden.

Zur Auslegung der Speichergröße wird zuerst die Gleichzeitigkeit im Warmwasser-Bedarf bestimmt.

$$\varphi = n^{(-0,57)} = 12^{-0,57} = 0,2426$$

φ Gleichzeitigkeitsfaktor Trinkwarmwasserbereitung
 n Anzahl der Wohneinheiten+

Mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor ergibt sich die Anzahl der gleichzeitig für die Trinkwarmwasserbereitung anrechenbaren Wohnungsstationen.

$$n_{NE,TWW} = n \cdot \varphi = 12 \cdot 0,2426 = 2,91 \cong 3$$

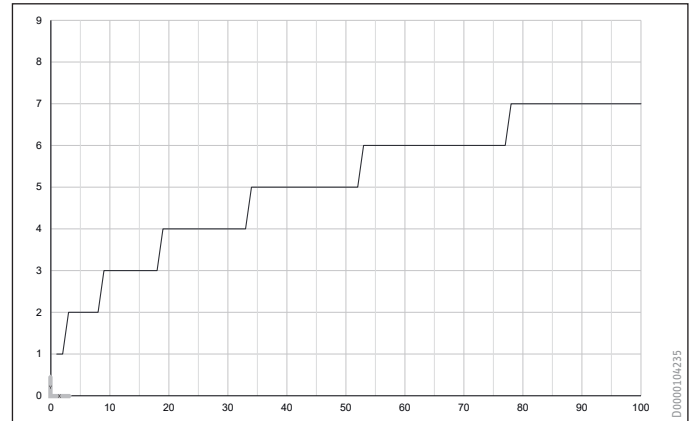
$n_{NE,TWW}$ Gleichzeitig für die Trinkwarmwasserbereitung anrechenbare Wohnungsstationen
 n Anzahl der installierten Wohnungsstationen
 φ Gleichzeitigkeitsfaktor

Für die gleichzeitig für den Heizungsbetrieb anrechenbaren Wohnungsstationen gilt:

$$n_{NE,HZG} = n - n_{NE,TWW} = 12 - 3 = 9$$

$n_{NE,HZG}$ Gleichzeitig für den Heizungsbetrieb anrechenbare Wohnungsstationen
 n Anzahl der installierten Wohnungsstationen
 $n_{NE,TWW}$ Gleichzeitig für die Trinkwarmwasserbereitung anrechenbare Wohnungsstationen

Gleichzeitigkeiten



x gleichzeitig anrechenbare Wohnungsstationen
 y Anzahl Wohnungsstationen
 1 installierte Wohnungsstationen

Für den Heizungsbetrieb ergibt sich das notwendige Pufferspeichervolumen aus folgender Formel.

$$V_{Sp,HZG} = \frac{Q_H \cdot n_{NE,HZG} \cdot t_{20min}}{c_W \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL})}$$

$V_{Sp,HZG}$ Notwendiges Pufferspeichervolumen für Heizungsbetrieb
 Q_H Heizlast pro Wohnung
 $n_{NE,HZG}$ Gleichzeitig für den Heizungsbetrieb anrechenbare Wohnungsstationen
 t_{20min} 20-Minuten-Bezugsperiode
 c_W spezifische Wärmekapazität (bei Wasser 1,163 Wh/(kg·K))
 ϑ_{VL} Speichersolltemperatur
 ϑ_{RL} Rücklauftemperatur der Wohnungsstation

Die 12 Wohneinheiten werden mit Wohnungsstationen im 2-Leiter-System ausgestattet.

Die 12 Wohnungen mit einer Heizlast von je 3 kW werden über eine Fußbodenheizung versorgt.

$$V_{Sp,HZG} = \frac{3 \text{ kW} \cdot 9 \cdot 0,33}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (55 \text{ °C} - 28 \text{ °C})} = 284 \text{ l}$$

Das notwendige Speichervolumen für die Trinkwarmwasserbereitung beträgt:

$$V_{Sp,TWW} = \frac{(n_{NE,TWW} \cdot P_{WST} \cdot t_{20min} + Q_{BV}) \cdot f_{TWE}}{c_w \cdot (\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL})}$$

$V_{Sp,TWW}$	Notwendiges Pufferspeichervolumen für die Trinkwarmwasserbereitung
$n_{NE,TWW}$	Gleichzeitig für die Trinkwarmwasserbereitung anrechenbare Wohnungsstationen
P_{WST}	Primärseitige Leistung der Wohnungsstation
t_{20min}	20-Minuten-Bezugsperiode
Q_{BV}	Bereitschaftswärmeverlust in kWh
f_{TWE}	Aufschlag für die Annahme von Wärmeübertragungs- und Durchmischungsverlusten ($f_{TWE}=1,20$)
c_w	spezifische Wärmekapazität (bei Wasser 1,163 Wh/(kg·K))
ϑ_{VL}	Speichersolltemperatur
ϑ_{RL}	Rücklauftemperatur der Wohnungsstation

Für die Trinkwarmwasserbereitung muss ein Zapfvolumenstrom von 13 l/min bei 50 °C zur Verfügung stehen.

Die primärseitige Anschlussleistung der Wohnungsstation beträgt 36,2 kW.

$$V_{Sp,TWW} = \frac{(3 \cdot 36,2 \text{ kW} \cdot 0,33 + 2,20 \text{ kWh}) \cdot 1,20}{1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (55 \text{ °C} - 20,8 \text{ °C})} = 1.148 \text{ l}$$

Speichervolumen im 2-Leiter-System

In einem 2-Leiter-System werden die Speichervolumen $V_{Sp,Hzg}$ und $V_{Sp,TWW}$ zum Mindestvolumen des einzusetzenden Pufferspeichers addiert.

$$V_{Sp,2L} = V_{Sp,Hzg} + V_{Sp,TWW} = 284 \text{ l} + 1.148 \text{ l} = 1.432 \text{ l}$$

Der Pufferspeicher muss ein Volumen von > 1432 l haben.

Speichervolumen im 4-Leiter-System

In einem 4-Leiter-System werden zwei Pufferspeicher eingesetzt.

Das Mindestvolumen für den Heizungspufferspeicher beträgt 284 Liter.

Das Mindestvolumen für den Pufferspeicher zur Trinkwarmwasserbereitung beträgt 1148 l.

Heizleistung der Wärmepumpe

Die notwendige Größe der Wärmepumpe wird auf Basis der täglich für die Heizung und Warmwasserbereitung notwendigen Energiemengen ermittelt.

Auslegungsbeispiel „Mehrfamilienhaus mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung“

Gegeben ist ein Mehrfamilienhaus mit 10 Wohneinheiten und einer Heizlast von 20 kW.

Die Kühllast zur sommerlichen Temperierung des Gebäudes über das Fußbodenheizsystem beträgt 15 kW.

Jede Wohnung verfügt über eine normale sanitäre Ausstattung mit Dusche.

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und einen Warmwasserspeicher mit innenliegendem Wärmeübertrager.

Heizleistung der Wärmepumpe

Zur Bestimmung der notwendigen Wärmepumpenleistung muss neben dem Energiebedarf für Raumheizung und Kühlung auch der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung sowie weitere Nutzungen berücksichtigt werden, z. B. Schwimmbad.

Der tägliche Trinkwarmwasser-Bedarf Q_{DP} wird der Zapfprofilabgabe „3“ entnommen.

$$Q_{DP} = n_{NE} \cdot Q_{DP,NE} = 10 \cdot 5,845 \text{ kWh} = 58,45 \text{ kWh}$$

Q_{DP} täglicher Energiebedarf für Warmwasser in kWh

$Q_{DP,NE}$ täglicher Energiebedarf einer Nutzungseinheit für Warmwasser in kWh

n_{NE} Anzahl der Nutzungseinheiten mit gleichem Profil

Zur Ermittlung des gesamten Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung sind zusätzlich die Zirkulationsverluste und Bereitschaftswärmeverluste zu berücksichtigen.

Die Zirkulationsverluste müssen planerisch ermittelt werden und betragen in diesem Beispiel 20,00 kWh/Tag.

Die Bereitschaftswärmeverluste des eingesetzten Warmwasserspeichers betragen hier 3,50 kWh/Tag.

$$Q_{DP,ges} = Q_{DP} + Q_{Zirk} + Q_{BV} = 58,45 \text{ kWh} + 20,00 \text{ kWh} + 3,50 \text{ kWh} = 81,95 \text{ kWh}$$

$Q_{DP,ges}$ tägliche Energiemenge für die Trinkwassererwärmung inkl. Verlusten in kWh

Q_{DP} täglicher Energiebedarf für Warmwasser in kWh

Q_{Zirk} tägliche Energiemenge zur Deckung der Zirkulationsverluste in kWh

Q_{BV} tägliche Energiemenge zur Deckung der Bereitschaftswärmeverluste in kWh

Die Wärmepumpenleistung wird so ausgelegt, dass der maximale Energiebedarf innerhalb eines Tages bei Norm-Außentemperatur durch die Wärmepumpe bereitgestellt wird.

Mögliche Sperrzeiten durch den Energieversorger werden berücksichtigt.

$$Q_{WP,erf} = \frac{Q_{H,AP} + Q_{DP,ges} + Q_{sonst}}{d - \sum t_{SD}}$$

$Q_{WP,erf}$ erforderliche Wärmepumpenleistung in kW

$Q_{H,AP}$ tägliche Energiemenge für die Trinkwassererwärmung inkl. Verlusten in kWh

$Q_{DP,ges}$ tägliche Energiemenge zur Deckung der Zirkulationsverluste in kWh

Q_{sonst} tägliche Energiemenge zur Deckung der Bereitschaftswärmeverluste in kWh

$\sum t_{SD}$ Tagessumme der Sperrzeiten des Energieversorgungsunternehmens

Die Heizlast $Q_{H,AP}$ beträgt 20 kW.

Sonstige Nutzungen existieren nicht.

Die Sperrdauer durch den Energieversorger beträgt 4 Stunden täglich.

Die erforderliche Wärmepumpenleistung beträgt:

$$Q_{WP,erf} = \frac{24 \text{ h} \cdot 20 \text{ kW} + 81,95 \text{ kWh} + 0 \text{ kWh}}{24 \text{ h} - 4 \text{ h}} = 28,1 \text{ kW}$$

Gewählt wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 25,7 kW Nennwärmeleistung bei A-7/W35. Damit ist ein monoenergetischer Betrieb möglich.

Die Leistungsdifferenz von 2,4 kW wird durch einen zweiten Wärmeerzeuger gedeckt, z. B. elektrisch.

Die Wärmepumpe weist im aktiven Kühlbetrieb eine Leistung von 34,1 kW bei A35/W18 auf.

Die Wärmepumpe deckt die benötigte Kühllast von 15 kW ab, so dass die sommerliche Temperierung über die Fußbodenfläche sichergestellt ist.

Plausibilitätsprüfung

Anschließend an die Auslegung der Wärmepumpe empfiehlt sich die Durchführung einer Plausibilitätsprüfung.

Als Grundlage dienen die zur Auslegung der Trinkwarmwasserbereitung verwendeten Zapfprofile der Zapfprofilabelle „3“.

Die Leistung der gewählten Wärmepumpe muss ausreichend groß sein, um den Trinkwarmwasser-Speicher vor der ungünstigsten Bezugsperiode aufzuladen.

$$\frac{Q_{DPB}}{\dot{Q}_{WP, \text{gewählt}} \cdot t_{DPB}} \leq 1$$

Q_{DPB} Energiebedarf während einer Bezugsperiode in kWh

$\dot{Q}_{WP, \text{gewählt}}$ Leistung der ausgewählten Wärmepumpe in kW

t_{DPB} Zeitraum vor der gewählten Bezugsperiode, die zur Nachheizung des Speichervolumens zur Verfügung steht.

Es wird die Bezugsperiode zwischen 20:30 und 21:30 Uhr mit einem Energiebedarf von 22,4 kWh betrachtet.

Für die vorherige Aufheizung steht der Zeitraum von 19:00 bis 20:30 Uhr (1,5 Stunden) ohne Warmwasser-Bedarf zur Verfügung.

$$\frac{22,4 \text{ kWh}}{25,7 \text{ kW} \cdot 1,50 \text{ h}} = 0,58 \leq 1$$

Um den Heizbedarf des Gebäudes zu decken, sowie den Trinkwarmwasser-Speicher vor der ungünstigen Bezugsperiode aufzuladen muss die Wärmepumpe ausreichend groß dimensioniert sein.

Auslegung

Mehrfamilienhaus mit Wohnungsstation

Auslegungsbeispiel „Mehrfamilienhaus mit Wohnungsstation“

Gegeben ist ein Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten und einer Heizlast von 2,5 kW pro Wohnung.

Jede Wohnung verfügt über eine normale sanitäre Ausstattung mit Dusche.

Die Trinkwarmwasserbereitung und Heizung erfolgen über Wohnungsstationen im 2-Leiter-System.

Als zentraler Wärmeerzeuger wird eine Sole-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt.

Heizleistung der Wärmepumpe

Zur Bestimmung der notwendigen Wärmepumpenleistung ist neben dem Energiebedarf für Raumheizung auch der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung sowie weitere Nutzungen zu berücksichtigen, z. B. Schwimmbad.

Der tägliche Trinkwarmwasser-Bedarf wird der Zapfprofiltafel „3“ entnommen und beträgt:

$$Q_{DP} = n_{NE} \cdot Q_{DP,NNE} = 12 \cdot 5,845 \text{ kWh} = 70,14 \text{ kWh}$$

Q_{DP}	täglicher Energiebedarf für Warmwasser in kWh
$Q_{DP,NNE}$	täglicher Energiebedarf einer Nutzungseinheit für Warmwasser in kWh
n_{NE}	Anzahl der Nutzungseinheiten mit gleichem Profil

Zur Ermittlung des gesamten Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung sind zusätzlich die Leitungsverluste zur Wohnungsstation und die Bereitschaftswärmeverluste im Trinkwarmwasser-Speicher zu berücksichtigen.

Die Leitungsverluste müssen planerisch ermittelt werden und betragen in diesem Beispiel 12,00 kWh/Tag.

Die Bereitschaftswärmeverluste betragen hier 4,10 kWh/Tag.

$$Q_{DP,ges} = Q_{DP} + Q_{Zirk} + Q_{BV} = 70,14 \text{ kWh} + 12,00 \text{ kWh} + 4,10 \text{ kWh} = 86,24 \text{ kWh}$$

$Q_{DP,ges}$	tägliche Energiemenge für die Trinkwassererwärmung inkl. Verlusten in kWh
Q_{DP}	täglicher Energiebedarf für Warmwasser in kWh
Q_{Zirk}	tägliche Energiemenge zur Deckung der Zirkulationsverluste in kWh
Q_{BV}	tägliche Energiemenge zur Deckung der Bereitschaftswärmeverluste in kWh

Die Wärmepumpenleistung wird so ausgelegt, dass der maximale Energiebedarf innerhalb eines Tages bei Norm-Außentemperatur durch die Wärmepumpe bereitgestellt wird.

Mögliche Sperrzeiten durch den Energieversorger werden berücksichtigt.

$$Q_{WP,erf} = \frac{Q_{H,AP} + Q_{DP,ges} + Q_{sonst}}{d - \sum t_{SD}}$$

$Q_{WP,erf}$	erforderliche Wärmepumpenleistung in kW
$Q_{H,AP}$	tägliche Energiemenge für die Trinkwassererwärmung inkl. Verlusten in kWh
$Q_{DP,ges}$	tägliche Energiemenge zur Deckung der Zirkulationsverluste in kWh
Q_{sonst}	tägliche Energiemenge zur Deckung der Bereitschaftswärmeverluste in kWh
$\sum t_{SD}$	Tagessumme der Sperrzeiten des Energieversorgungsunternehmens

Die Heizlast $Q_{H,AP}$ beträgt 30 kW.

Sonstige Nutzungen existieren nicht.

Die Sperrdauer durch den Energieversorger beträgt 4 Stunden täglich.

Es ergibt sich eine erforderliche Wärmepumpenleistung von:

$$Q_{WP,erf} = \frac{24 \text{ h} \cdot 30 \text{ kW} + 86,24 \text{ kWh} + 0 \text{ kWh}}{24 \text{ h} - 4 \text{ h}} = 40,3 \text{ kW}$$

Gewählt wird eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 42,0 kW Nennwärmeleistung bei B0/W55.

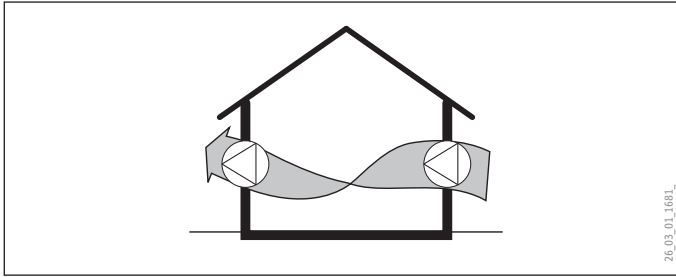
Damit ist ein monovalenter Betrieb möglich.

Notizen

Kühlung

Passive und aktive Kühlung

Passive Kühlung

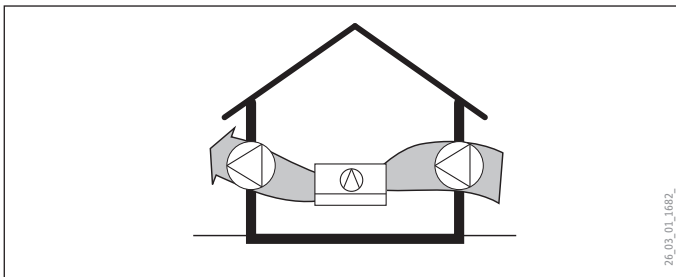


- » Nutzung natürlicher Kältesenken
- » Kühles Erdreich / kühle Nachtluft
- » Nutzung von Speichereffekten

Die niedrige Temperatur des Grundwassers oder des Erdreiches wird über einen Wärmeübertrager auf das Heizungssystem übertragen.

Der Verdichter der Wärmepumpe wird nicht eingeschaltet. Die Wärmepumpe bleibt „passiv“.

Aktive Kühlung



- » Nutzung von Kältemaschinen

Die Kühlleistung der Wärmepumpe (kalte Seite) wird auf das Heizungssystem übertragen.

Der Verdichter der Wärmepumpe wird eingeschaltet. Die Wärmepumpe ist „aktiv“.

Vorgehensweise bei der Planung der passiven Kühlung

- » Berechnung der Kühllast
- » nach VDI 2078
- » nach dem Formblatt
- » nach m² Wohnfläche (Faktor)
- » Bestimmung der Kühlleistung der Wärmequelle
- » Erdwärmesonde
- » Grundwasser
- » Auslegung Verteilsystem
- » Fußbodenheizung
- » Gebläsekonvektoren

Planungshinweise

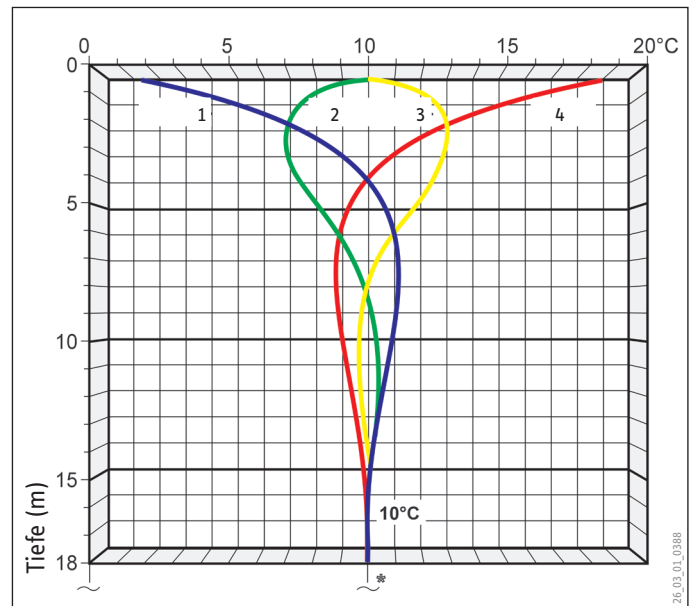
Die Kühlleistung der Wärmequelle orientiert sich an der Kälteleistung der Wärmepumpe.

Beispiel: Zwei Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 94 m liefern eine Wärmeabgabe von ca. 7,2 kW an das Erdreich.

Die Wärmeaufnahmefähigkeit der Wärmequelle muss höher sein als die Kühllast (Wärmeabgabe) des Gebäudes. Wenn die Kühllast größer ist, wird die gewünschte Raumtemperatur nicht erreicht.

Um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen müssen eventuell einige Räume aus der Kühlung ausgenommen werden.

Temperaturverlauf im Erdreich



Alle 33 m +1 °C Temperaturanstieg

- 1 Februar
- 2 Mai
- 3 November
- 4 August

Mittlere Erdreichtemperatur [°C]

Bohrtiefe m	Freie Lage	Städtisches Gebiet	Höhenlage
0	9,5	9,5	3,2
25	11,3	12,5	8,0
50	12,0	13,5	8,7
75	12,8	14,5	9,5
100	13,5	15,5	10,2
125	14,3	16,5	11,0
150	15,0	17,5	11,7
175	15,8	18,5	12,5
200	16,5	19,5	13,2

Kühlung

Kühllastberechnung

Kühllastberechnung

Die Kühllastberechnung erfolgt nach VDI 2078.

Für die vereinfachte Ermittlung der Kühllast eines Raumes hilft der Kühllast-Berechnungsbogen oder das Berechnungsprogramm auf unserer Internet-Seite.

Vereinfachte Kühllastberechnung mit dem Berechnungsbogen

Der Kühllast-Berechnungsbogen ermöglicht eine einfache und schnelle Berechnung der Kühllast eines Raumes.

Auslegungsbasis: Außenlufttemperatur +32 °C bei einer Raumtemperatur +27 °C und Dauerbetrieb.

Position 1

Die Fensterflächen müssen nach den verschiedenen Himmelsrichtungen aufgeteilt und mit den entsprechenden Werten multipliziert werden. In der Addition der Kühllastberechnung muss die Himmelsrichtung eingesetzt werden, die den höchsten Wert ergibt. Wenn Fenster nach zwei unmittelbar benachbarten Himmelsrichtungen zeigen, z. B. Süd und Südwest, muss die Summe der beiden Werte eingesetzt werden. Horizontale Oberlichter müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Bei Einrichtungen zum Sonnenschutz sind die angegebenen Werte zu berücksichtigen.

Position 2

Für die Wände wurden Pauschalwerte nach VDI 2078 zu Grunde gelegt. Besonders bei massiver Bauweise wird die Kühllast durch Wände nicht entscheidend beeinflusst.

Position 3

Der Fußboden unter nicht beheizten Kellern oder an das Erdreich grenzende Flächen wird nicht berücksichtigt.

Position 4

Die Deckenfläche abzüglich eventueller Oberlichter muss mit dem zutreffenden Wert multipliziert werden.

Position 5

Die Wärmeabgabe von elektrischen Geräten und Beleuchtung wird nach dem elektrischen Anschlusswert berücksichtigt und mit dem Faktor 0,75 multipliziert.

Die Geräte müssen nur berücksichtigt werden, wenn sie zum Zeitpunkt des Kühlbetriebes eingeschaltet sind.

Position 6

Die Personenzahl muss mit dem vorgegebenen Wert multipliziert werden. Nach VDI 2078 wird bei der Wärmeabgabe von körperlich nicht tätig bis zu leichter Arbeit ausgegangen.

Position 7

Hier muss der Außenluftanteil des Gerätes nach den Herstellerangaben eingesetzt werden. Die Abkühlung des Außenluftanteils ist mit 5 K berücksichtigt.

Kühllast

Summe der einzelnen Kühllasten Position 1 bis 7.

Geräteauslegung

Zur Erzielung einer Raumtemperatur von ca. 5 K unter der Außen-temperatur muss die Gerätekühlleistung gleich oder größer sein als die errechnete Kühllast.

Grundlagen

Dieses Rechenverfahren berücksichtigt neben den aufgeführten Einflüssen auch die Speicherkapazität des Raumes. Grundlage sind die Zahlenwerte der VDI 2078.

Beispielberechnung des Kühllast-Berechnungsbogens

Die Beispielberechnung auf dem Kühllast-Berechnungsbogen wurde mit folgenden Angaben durchgeführt:

Raumgröße 5,0 m breit, 5,0 m lang, 3,0 m hoch

Fenstergröße 4,0 m² nach Westen

Sonnenschutz außenliegend

Personenzahl 2

Computer 150 W Anschlussleistung

Drucker 50 W Anschlussleistung

Flachdach, gedämmt

Außenwände in leichter Bauweise

Ergebnis

Die berechnete Kühlleistung von Raum 1 beträgt 2,5 kW.

Kühlung

Kühllast-Berechnungsbogen

Anlagenstandort

Ort _____

1. Sonneneinstrahlung durch Fenster und Außentüren

	Sonnenschutz			Fensterfläche m ²	Kühllast W
	ohne	innen	außen		
Nord	0	0	0		
Nord-Ost	115	40	25		
Ost	240	120	50		
Süd-Ost	200	105	20		
Süd	220	145	45		
Süd-West	330	160	45		
West	320	180	100	4,0	400
Nord-West	220	130	80		
Dachfenster	320	180	100		
Summe					400

2. Wände abzüglich Fenster- und Türöffnungen, die bereits erfasst wurden

	Kühllast W/m ²	Wandfläche m ²	Kühllast W
Außenwände	10	26,0	
Innenwände	10	15,0	
Summe			410

3. Fußboden zu nicht klimatisiertem Raum

	Kühllast W/m ²	Fußbodenfläche m ²	Kühllast W
Summe	10	25,0	250

4. Decke abzüglich Dachfenster und Oberlichter, die bereits erfasst wurden

	Flachdach		Steildach		Decke zu nicht klimatisiertem Raum W/m ²	Deckenfläche m ²	Kühllast W
	nicht gedämmt	gedämmt	nicht gedämmt	gedämmt			
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²			
Summe	30	18	50	25	10	25,0	450

5. Elektrische Geräte, die zur Zeit der Kühlung im Betrieb sind

	Anschlusswert W	Anzahl Stk.	m ²	Betriebsdauer h x Faktor	Kühllast W
Leuchtstofflampe 20 W/m ²			25,0	0,75	375
Glühlampe 80 W/m ²				0,75	
Computer, 150 W/Stk.		2		1,0	300
Drucker, 50 W / Stk.				0,75	
Maschinen				1,0	
Rechenzentrum und Server-Räume				1,0	
Summe					675

6. Wärmeabgabe durch Personen von körperlich nicht tätig bis leichte Arbeit

	Kühllast / Person	Anzahl Personen	Kühllast W
Aktivität I	100		
Aktivität II	125	2	250
Aktivität III	170		
Aktivität IV	210		
Summe			250

7. Außenluft für Klimageräte mit Außenluftanteil

	Kühllast W/m ²	Luftmenge m ²	Kühllast W
Summe	10		

Gesamte Kühllast des Raumes in Watt

2435

Kühlung

Kühllast-Berechnungsbogen

Legende

Aktivität I entspannt sitzend

Aktivität II sitzende Tätigkeit; Büro, Schule, Labor

Aktivität III stehend, leicht Tätigkeit; Laden, Labor, Leichtindustrie

Aktivität IV stehend, mittelschwere Tätigkeit; Laborgehilfe, Maschinenarbeit

- » Die überschlägige ermittelte Kühllastberechnung erbringt eine Temperaturabsenkung von ca. 5 °C
- » Die ermittelten Ergebnisse dienen der vereinfachten und überschlägigen Kühllastberechnung. Die Werte müssen durch einen Fachplaner geprüft werden.
- » Der Berechnungsbogen ist in Anlehnung an die VDI 2078 / VDI 6007.

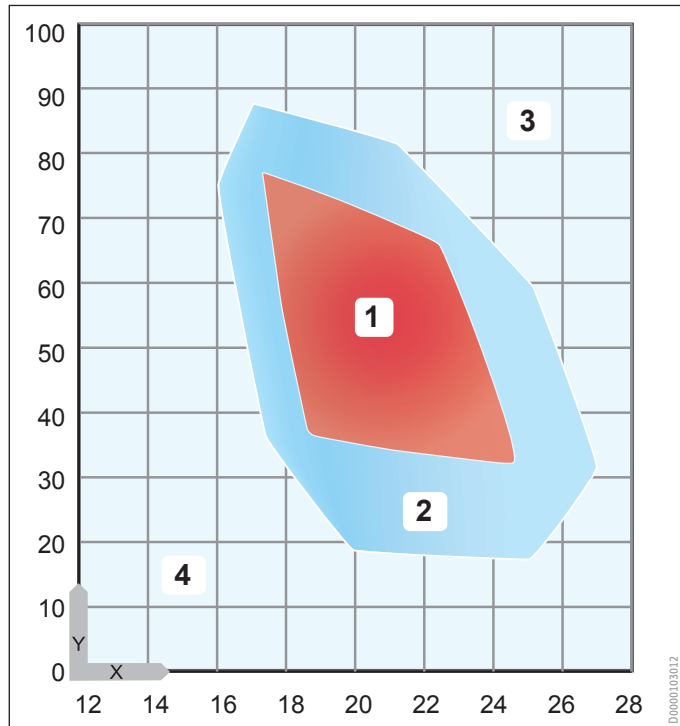
Kühlung

Wärmesenken für den Kühlbetrieb

Behaglichkeitsfeld (Leusden und Freymark)

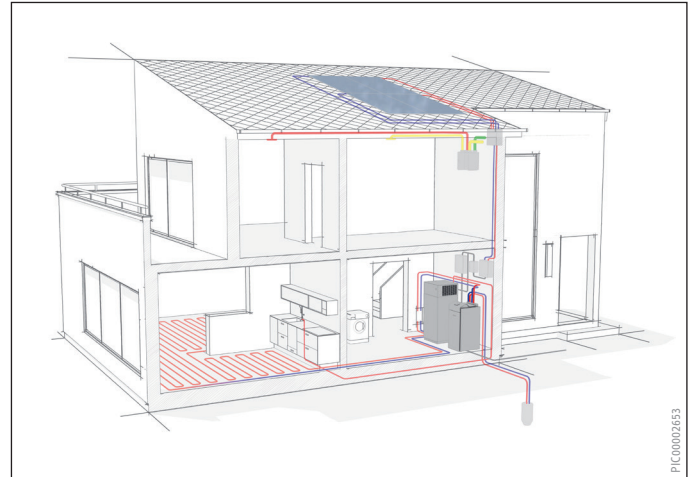
Sowohl bei zu tiefen als auch bei zu hohen Raumtemperaturen nimmt die Leistungsfähigkeit des Menschen stark ab. Komfortable Raumtemperaturen sind deshalb unabdingbar für das menschliche Wohlbefinden.

Kühlsysteme können meist mit einem geringen Energieaufwand einen sehr guten Raumkomfort gewährleisten. Der Energieaustausch zwischen Mensch und Kühlfläche erfolgt überwiegend durch Strahlung.



x	Raumtemperatur T_L in °C
y	Relative Luftfeuchtigkeit in %
1	behaglich
2	Noch behaglich
3	unbehaglich feucht
4	unbehaglich trocken

Kühlung mit Erdwärmesonde



Passiv kühlende Anlagen lassen sich günstig erstellen, effizient nutzen und emissionsfrei betreiben.

Der zunehmende Bedarf an Gebäudekühlung begründet sich in höheren internen und externen energetischen Lasten.

Energetische Lasten entstehen z. B. durch gestiegene Behaglichkeitsansprüche und Veränderungen in der Baukultur mit großen transparente Flächen im Fassadenbau.

Systemlösungen zum Heizen und Kühlen sind meist mit geringeren Investitionskosten verbunden als voneinander unabhängige Heiz- und Kühlsysteme.

Systemlösungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch nur eine Regelung effizient betrieben werden.

Erdwärmesonden können sowohl für die passive als auch aktive Kühlung genutzt werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht bieten Erdwärmesonden für die Heizung und Kühlung einen Mehrwert gegenüber dem alleinigen Heizfall.

Die Wärmeenergie, die bei einer passiven Kühlung in eine Erdwärmesonde abgeführt werden kann, beträgt ca. 70 % von der Wärmeleistung der Erdwärmesonde.

Die erreichbaren Vorlauftemperaturen sind im passiven Kühlbetrieb durch das Erdreich begrenzt.

Aktive Kühlung

Wenn besonders niedrige Temperaturen erforderlich sind, können diese durch aktive Kühlung erzielt werden. Dies ist z. B. mit Gebläsekonvektoren mit Vorlauftemperaturen von unter 10°C möglich.

Kühlung

Wärmesenken für den Kühlbetrieb

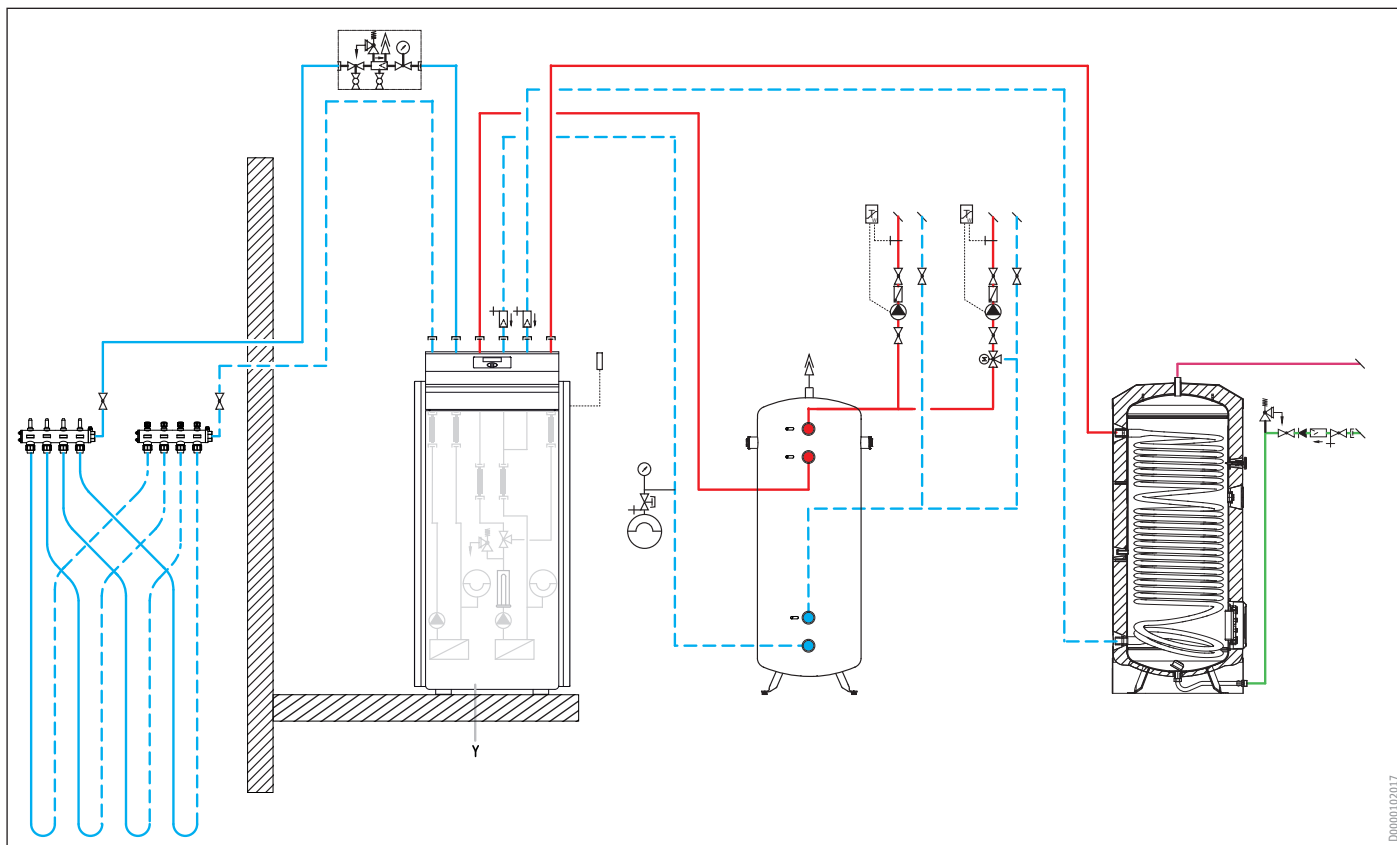
Kühlung mit Erdreichkollektor

Die Verwendung von Erdreichkollektoren zur passiven und aktiven Kühlung ist möglich, bedarf aber einer genauen Planung.

Bei der passiven Kühlung kann es aufgrund der oberflächen-nahen Verlegung und hohen Außentemperaturen zu einem schnellen aufheizen des Erdreiches kommen. Das Ergebnis ist eine deutlich geringere Kühlleistung aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen.

Ab Quellen-Vorlauftemperaturen $> 20\text{ °C}$ ist die Möglichkeit passiver Kühlung meist nicht mehr gegeben.

Entscheidend für die Nutzung des Kollektors zur aktiven Kühlung sind die Gegebenheiten am Standort. Die geologischen Verhältnisse sowie das Vorhandensein von wasserführenden Schichten bestimmen die Möglichkeit der Nutzung. Eine geologischen Bewertung stellt fest, ob abgeführten Wärme flüsse durch das umgebende Erdreich kompensierbar sind und eine Erdreich-Austrocknung verhindert wird.



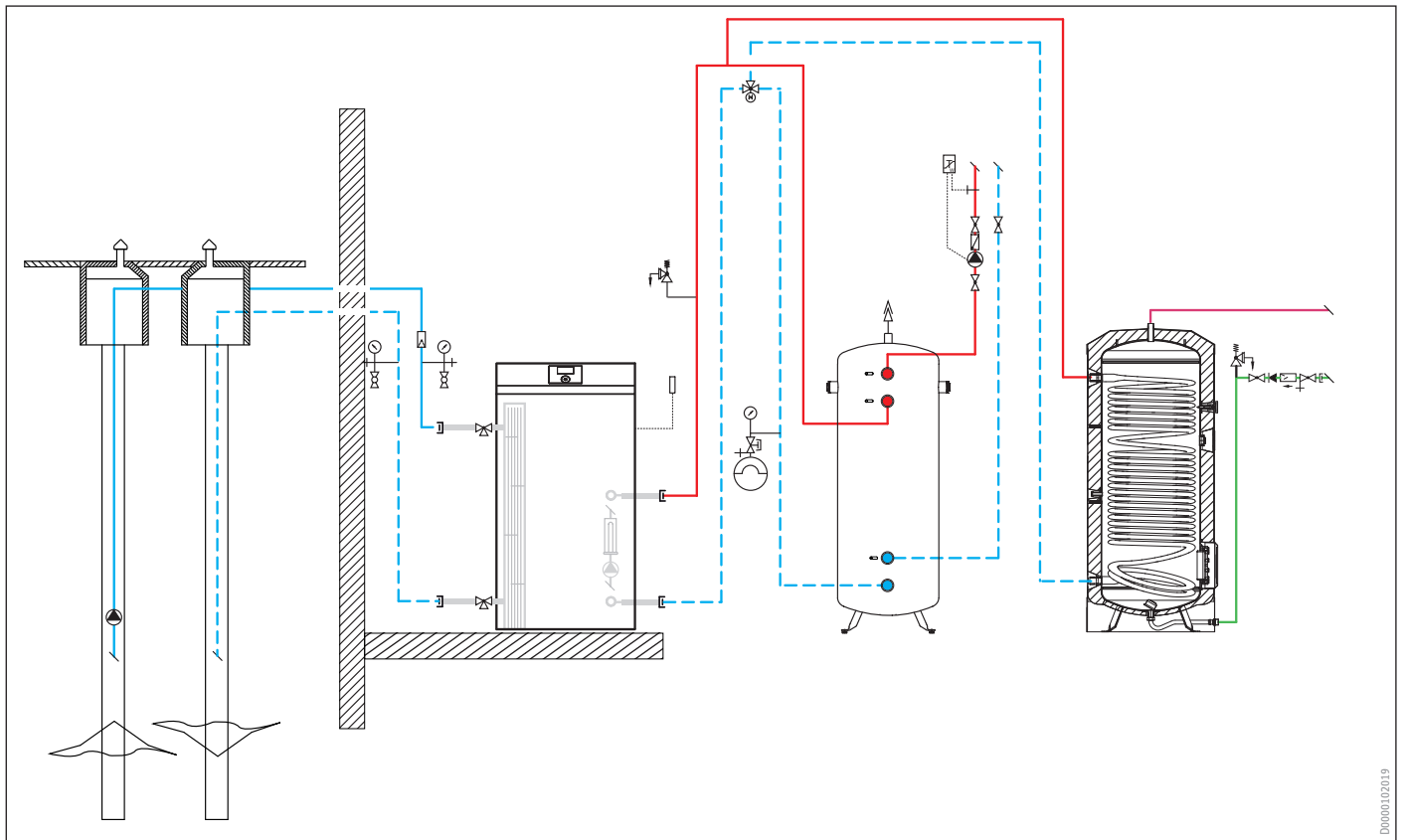
Kühlung mit Grundwasser

Die Nutzung von Grundwasser für die passive und aktive Kühlung ist möglich.

Durch die stabile Grundwassertemperatur von ca. 8 °C bis 12 °C ist eine aktive Kühlung meist nicht erforderlich. Es ist eine hohe Leistungsabgabe an das Brunnensystem möglich.

Bei der Nutzung des Grundwassers für den Kühlbetrieb muss darauf geachtet werden, dass Anforderungen der Wasserbehörden nicht verletzt werden. Das Temperaturniveau ist hier von maßgeblichem Interesse.

Produktspezifisch kann für die Systemtrennung ein Zwischenwärmeübertrager notwendig sein. Der Zwischenwärmeübertrager muss korrosionsbeständig und unempfindlich gegenüber den bei der Wasseranalyse festgestellten Inhaltsstoffen sein.



D00001.02/019

Kühlung

Beispiel-Auslegungen

Kühlung mit Grundwasser

Die Grundwassermenge, die zum Abtransport der Wärme eingesetzt werden kann, wird nach der erforderlichen Grundwassermenge der Wärmepumpe ausgelegt. Die Temperaturdifferenz zwischen Grundwasser und Kühlwasser beträgt ca. 5 K.

Grundwasser-Mengenstrom	m ³ /h	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
Abgabe Kühlbetrieb	kw	5,8	7,0	8,1	9,3	10,5	11,6	12,8	14,0	15,1	16,3	17,4	18,6	19,8	20,9	22,1	23,3	24,4	25,6	26,7	27,9	29,1

Passive Kühlung mit einer Erdwärmesonde

Die Erdwärmesonden werden nach der Heizleistung der Wärmepumpe ausgelegt. 70% der Auslegungskälteleistung können zu Deckung der Kühllast genutzt werden.

Auslegungstabelle Erdwärmesonde DN 25

Für normales Festgestein, Entzugsleistung 40 W/m (Mittelwert)

Kälteleistung bei B0/W35	Abgabe Kühlbetrieb	Erdwärmesonde	Anzahl	Tiefe	PE-Rohr
kw	kw	m	-	m	mm
1,0	0,7	25	1	72	DN 25 (32 x 2,9)
2,0	1,4	50	1	50	DN 25 (32 x 2,9)
3,0	2,1	75	1	59	DN 25 (32 x 2,9)
4,0	2,8	100	2	50	DN 25 (32 x 2,9)
5,0	3,5	125	2	63	DN 25 (32 x 2,9)
6,0	4,2	150	2	75	DN 25 (32 x 2,9)
7,0	4,9	175	2	88	DN 25 (32 x 2,9)
8,0	5,6	200	3	67	DN 25 (32 x 2,9)
9,0	6,3	225	3	75	DN 25 (32 x 2,9)
10,0	7,0	250	3	83	DN 25 (32 x 2,9)
11,0	7,7	275	3	92	DN 25 (32 x 2,9)
12,0	8,4	300	4	75	DN 25 (32 x 2,9)
13,0	9,1	325	4	81	DN 25 (32 x 2,9)
14,0	9,8	350	4	88	DN 25 (32 x 2,9)
15,0	10,5	375	4	94	DN 25 (32 x 2,9)

Entzugsleistung 40 W/m, Abstand der Sonden: 5 m

Füllmischung für Erdwärmesonde: 25 Vol % Ethylenglykol, 75 Vol % Wasser

Benutzungszeit: max. 1800 Jahresbetriebsstunden (monovalenter Betrieb)

Aktive Kühlung mit einer Wärmepumpe

Luft-Wasser-Wärmepumpen können auch für die Gebäudekühlung genutzt werden.

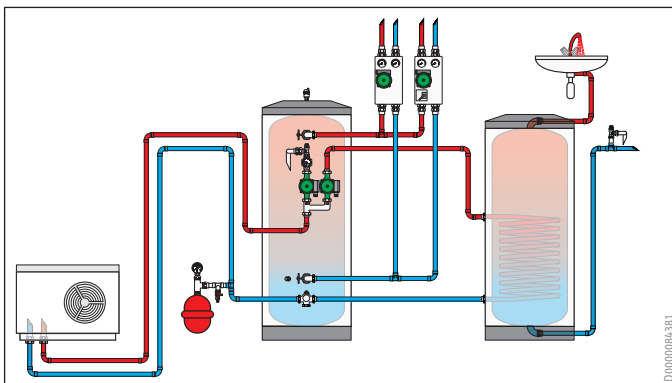
Die Auslegung der Wärmepumpe muss für den Heizbetrieb im Winter erfolgen. Ein Abgleich der Wärmepumpen-Kälteleistung mit der Gebäude-Kühllast zeigt die Möglichkeiten der Kühlung auf.

Entscheidend für die Abfuhr thermischer Lasten ist die Auslegung des Verteilsystems. Fußbodenheizungen eignen sich nur bedingt für die Übertragung hoher Lasten, z. B. in Verbindung mit aktiver Gebäudekühlung. Zu empfehlen ist die Kombination mit Gebläsekonvektoren.

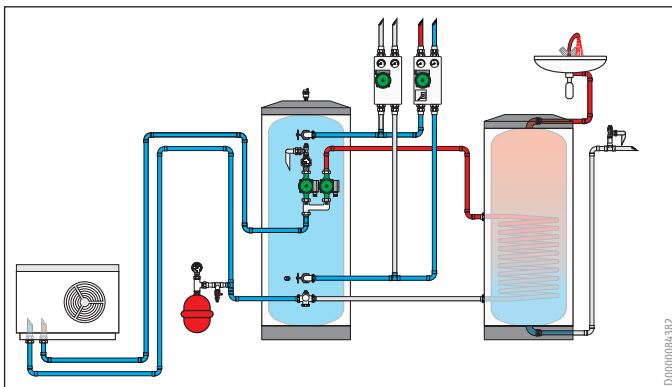
Mit einer zusätzlichen Taupunktüberwachung im Führungsraum wird die Kondenswasserbildung verhindert.

Sämtliche verlegten Rohre und Formstücke müssen aus korrosionsbeständigem Material erstellt werden. Um Kondenswasseranfall zu vermeiden, müssen alle hydraulischen Rohrleitungen im Gebäude dampfdiffusionsdicht isoliert werden.

Wärmepumpe monoenergetisch mit aktiver Kühlung (Heizbetrieb)



Wärmepumpe monoenergetisch mit aktiver Kühlung (Kühlbetrieb)



Kühlung

Aktive Kühlung - Sole-Wasser-Wärmepumpe

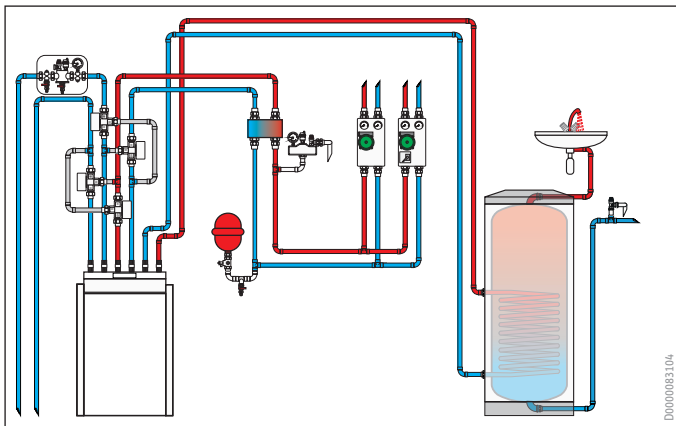
Aktive Kühlung mit einer Wärmepumpe

Die aktive Kühlung ist für den alleinigen Betrieb mit Fußboden-Flächenheizsystemen nicht geeignet. Für die aktive Kühlung müssen zusätzlich Gebläsekonvektoren eingesetzt werden.

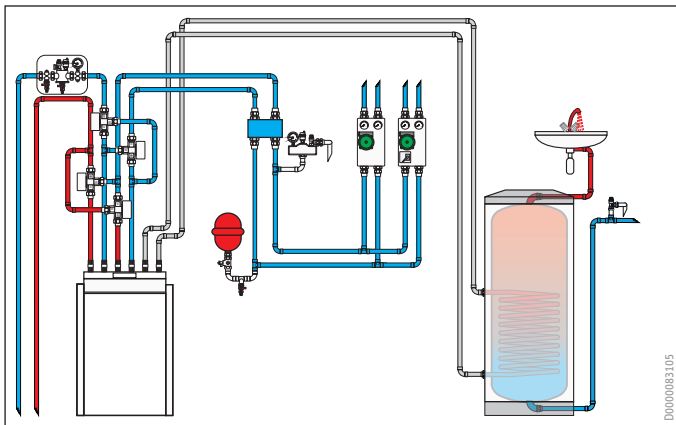
Mit einer zusätzlichen Taupunktüberwachung im Führungsraum wird die Kondenswasserbildung verhindert.

Sämtliche verlegten Rohre und Formstücke müssen aus korrosionsbeständigem Material erstellt werden. Um Kondenswasseranfall zu vermeiden, müssen alle hydraulischen Rohrleitungen im Gebäude dampfdiffusionsdicht isoliert werden.

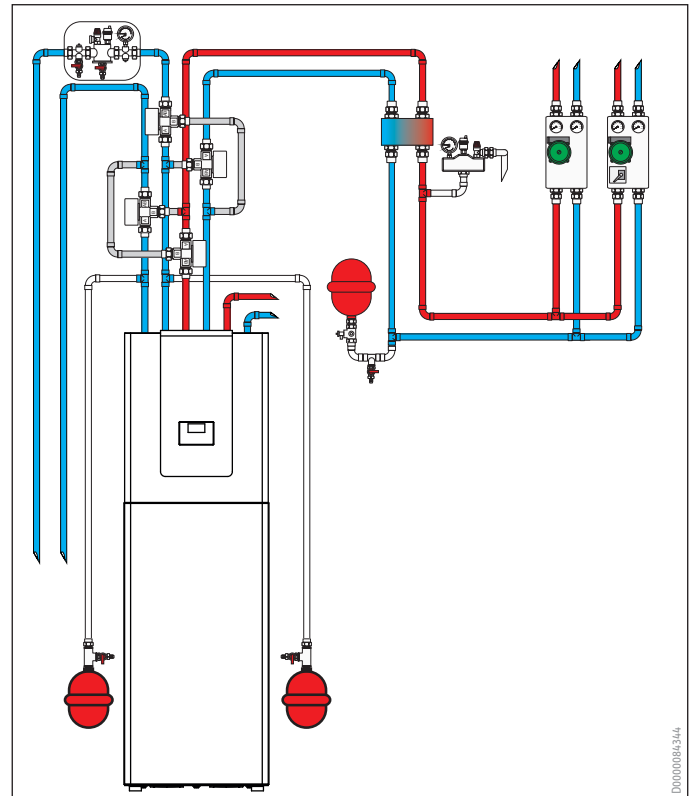
Wärmepumpe monovalent mit aktiver Kühlung (Heizbetrieb)



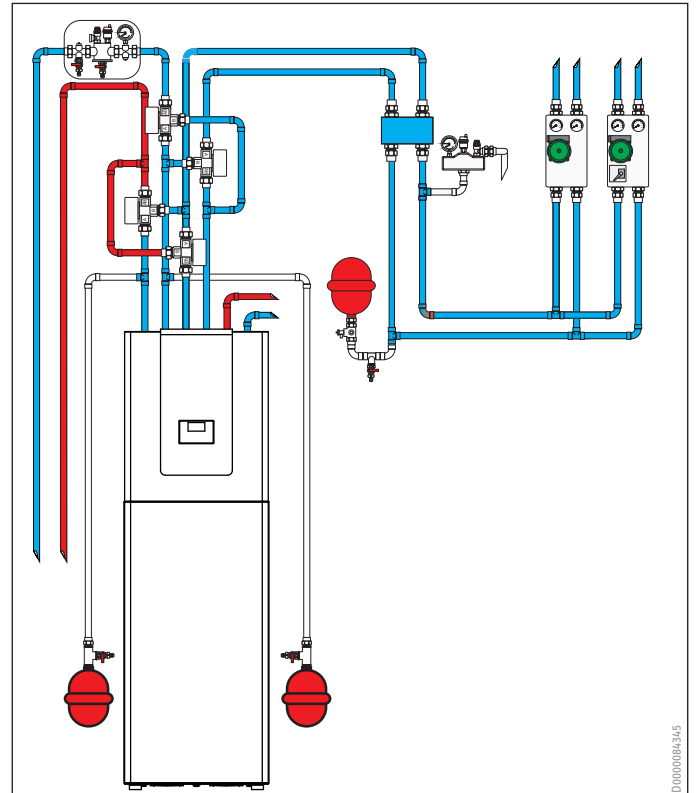
Wärmepumpe monovalent mit aktiver Kühlung (Kühlbetrieb)



Wärmepumpe monovalent mit aktiver Kühlung (Heizbetrieb)



Wärmepumpe monovalent mit aktiver Kühlung (Kühlbetrieb)



Passive Kühlung mit einer Wärmepumpe

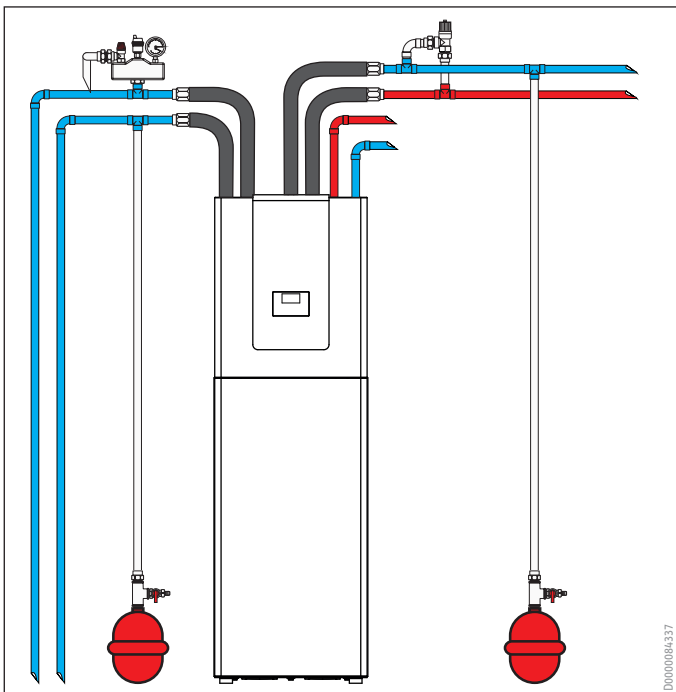
Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen kann die Wärmequelle auch zum Kühlen eingesetzt werden. Für diese Funktion ist eine Flächenheizung oder Gebläsekonvektoren erforderlich.

Mit einer zusätzlichen Taupunktüberwachung im Führungsraum wird die Kondenswasserbildung verhindert.

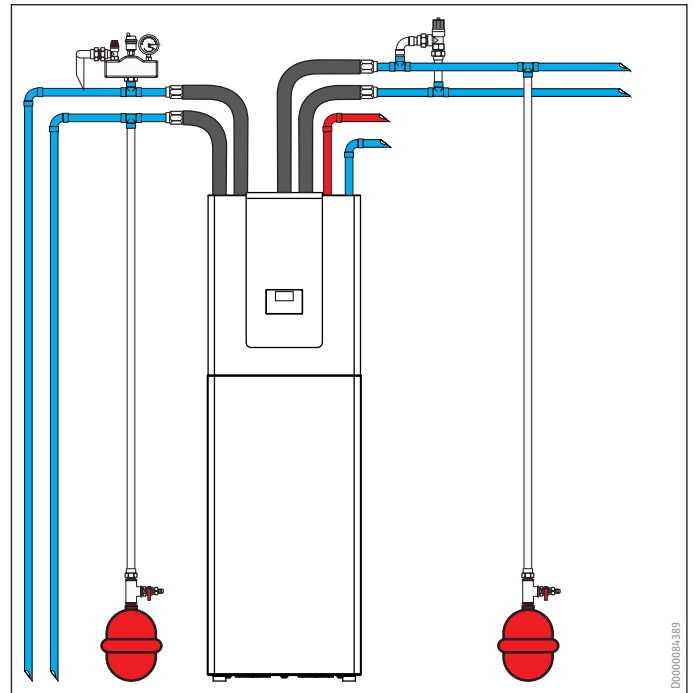
Sämtliche verlegten Rohre und Formstücke müssen aus korrosionsbeständigem Material erstellt werden.

Wenn sensible Bereiche im Gebäude durchquert werden, in denen mit abweichenden Taupunkttemperaturen gerechnet werden muss oder die Taupunkttemperatur unterschritten wird, dann müssen alle Rohrleitungen dampfdiffusionsdicht isoliert werden.

Wärmepumpe monovalent mit passiver Kühlung (Heizbetrieb)



Wärmepumpe monovalent mit passiver Kühlung (Kühlbetrieb)



Kühlung

Flächenkühlung

Verteilssysteme

Wie auch im Heizfall ist die Auslegung des Kühl-Verteilsystems wesentlich für den Erfolg der Kühlanwendung. Vor allem im passiven Betrieb sind die Übertragungsleistungen und das zugehörige Temperaturniveau begrenzt. Das Verteilssystem muss den Effekt maximieren. Neben thermoaktiven Systemen sind Gebläsekonvektoren bzw. Deckenkassetten gängige Praxis.

Thermoaktive Bauteilsysteme

Thermoaktive Bauteilsysteme sind wasserführende Rohrsysteme, die zur Herstellung eines behaglichen Raumklimas in Decken, Wänden und Böden integriert werden.

Je nach Bedarf können Gebäude beheizt oder gekühlt werden, indem warmes oder kaltes Wasser durch die Rohrsysteme zirkuliert. Aufgrund der großen Wärme- bzw. Kälteübertragenden Flächen ist mit sehr kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Raum und Fläche eine effektive Energiebereitstellung möglich.

Fußbodenkühlung

Mit geringem zusätzlichem regelungs- und anlagentechnischem Aufwand kann mit Flächenheizungen auch gekühlt werden. Die Eignung des Bodenaufbaus muss vom Estrichhersteller bestätigt werden.

Für die passive Kühlung müssen umschaltfähige Zonenventile eingesetzt werden.

Fußbodensysteme haben im Vergleich zu Gebläsekonvektoren deutlich geringeren Übertragungsleistungen. Die Kühllast eines Raumes kann häufig nicht vollständig abgeführt werden. Die gewünschte Raumtemperatur wird nicht erreicht. In diesem Fall muss das Kälteverteilungssystem auf die wesentlichen Räume beschränkt werden.

Leistung einer Fußbodenkühlung

Die Fußbodenkühlung liefert gute Voraussetzungen für ein behagliches Raumklima.

Um eine Kondenswasserbildung an den Kühlflächen zu verhindern muss bei einer Flächenkühlung die Kühlwassertemperatur immer oberhalb der Taupunkttemperatur liegen.

Je nach Raumtemperatur und Feuchtigkeit ist die Absenkung der Raumtemperatur nur um wenige Kelvin möglich. Eine Fußbodenheizung mit Bodenbelag aus Fliesen hat z. B. bei einem Verlegeabstand der Rohre von 10 cm eine spezifische Kühlleistung von nur 22 W/m².

Wenn die Kühllast des Raumes größer ist als die Kühlleistung der Fußbodenheizung, wird die gewünschte Raumtemperatur nicht erreicht. In diesem Fall müssen entweder Gebläsekonvektoren verbaut werden oder der Raum kann nur temperiert werden.

Kühlleistung Fußbodenheizung

Bodenbelag		Fliesen									
Verlegeabstand	cm	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Raumtemperatur	°C	27	27	27	27	27	23	23	23	23	23
Vorlauftemperatur	°C	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Rücklauftemperatur	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Kühlleistung	W/m ²	52	45	39	34	26	26	22	19	17	13

Heizleistung Fußbodenheizung

Bodenbelag		Fliesen					Teppich				
Verlegeabstand	cm	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Raumtemperatur	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Vorlauftemperatur	°C	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Rücklauftemperatur	°C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Heizleistung	W/m ²	65	55	50	45	30	40	37	32	28	24

Kühlung

Deckenkühlung

Deckenkühlung

Deckenkühlsysteme eignen sich für die Kühlung mit Wärmepumpen.

Kühlleistungen von Kühldecken sind höher als die von Fußbodenheizungen. Dies liegt u. a. daran, dass der Wärmeübergang an den Raum unterschiedlich ist.

Die Raumtemperatur von 21 °C darf in 0,1 m Höhe über dem Fußboden nicht unterschritten werden.

Das Funktionsprinzip der Raumkühlung durch in die Decken integrierte Rohrregister entspricht denen der Fußbodenkühlung. Kaltes Wasser zirkuliert durch Rohrsysteme und entzieht dem Raum damit Wärme.

Optimale Einsatzgebiete für Deckenkühlungen sind z. B. Industriehallen, Einkaufszentren, Bibliotheken, Bürogebäude oder Banken. Diese Gebäude haben hohe Räume, in denen Lüftungsanlagen unterstützend zur Einhaltung der Raumhygiene betrieben werden.

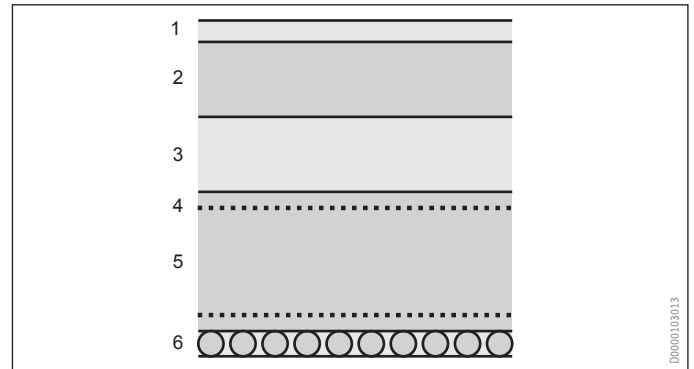
Aufgrund der maschinellen Regulierung der Luftkonditionen und der Unabhängigkeit gegenüber Mindestlufttemperaturen können Kühldecken im Vergleich zur Fußbodenkühlung wesentlich höhere Kühlleistungen übertragen. Realisierbare spezifische Kühlleistungen liegen zwischen 40 bis 80 W/m².

Nur freie Deckenoberflächen können zur Optimierung des Raumklimas beitragen. Deckenverkleidungen bzw. abgehängte Decken beeinflussen die Kühlung negativ.

Decken-Panele

Der Markt bietet verschiedene Decken-Panele, die im Aufbau eine thermisch aktive Platte mit darüber liegender Wärmedämmschicht sind. Diese Decken-Panele werden vorzugsweise in eine konventionelle Rasterdecke mit Metallschienen-Unterkonstruktion eingelegt.

Deckenkühlung (thermoaktives Bauteil)



- | | |
|---|---------------|
| 1 | Fußbodenbelag |
| 2 | Estrich |
| 3 | Dämmung |
| 4 | Bewehrung |
| 5 | Decke |
| 6 | Deckenputz |

Kühlung

Betonkernaktivierung

Betonkernaktivierung

Wenn Gebäude architektonisch und bauphysikalisch energieoptimiert geplant und gebaut sind, dann kann auf Kältemaschinen für die Gebäudekühlung verzichtet werden. Das Gebäude kann über natürliche Wärmesenken gekühlt werden. Natürliche Wärmesenken sind das Erdreich und Grundwasser.

Eine Voraussetzung dafür ist, dass die gebäudeeigene Speicherkapazität zum Temperatenausgleich genutzt werden kann.

Wenn Betonkerne aktiviert werden, liegen die Rohrregister meist in den statisch neutralen Zonen der raumumschließenden Flächen. Die Rohrregister werden mäander- oder spiralförmig in den Betonkern eingegossen.

Verwendete Materialien sind Kunststoff- oder Mehrschicht-Verbundrohre aus PE und Aluminium. Die Rohre haben einen Durchmesser von 15 bis 20 mm. Die Rohre liegen in einem Verlegeabstand von 10 bis 30 cm.

Das durch die Rohrregister strömende Wasser kann für den Heiz- oder den Kühlbetrieb genutzt werden.

Voraussetzung für eine gute Energieabgabe sind niedrige Wärmedurchgangswiderstände der über den Rohrregistern befindlichen Schichten. Übertragbare Kühlleistungen liegen zwischen 30 und 40 W/m². Wie bei der Fußboden- und Deckenkühlung wird die Kühlleistung durch den Taupunkt der Raumtemperatur begrenzt.

Heizen und Kühlen mittels Betonkernaktivierung kann dazu beitragen, die thermische Behaglichkeit im Gebäude sicherzustellen. Eine Verbesserung der Raumluftqualität oder die gezielte Steuerung der Raumluftfeuchte ist nicht möglich.

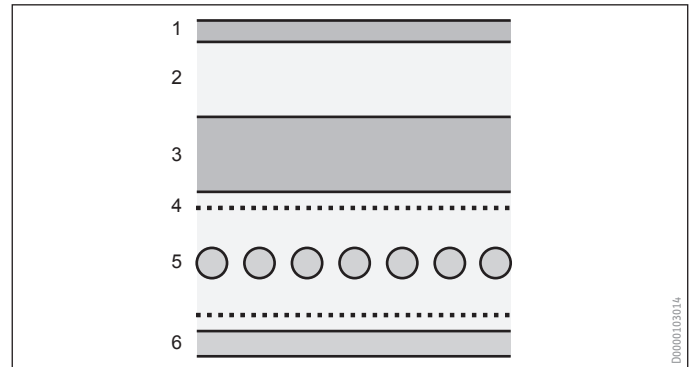
Im Vergleich zur Fußboden- und Deckenheizung ist die Betonkernaktivierung ein sehr träges System.

Um eine optimale Leistungsfähigkeit des Systems sicherzustellen, muss eine geeignetes Speicher- und Lastmanagement vorhanden sein.

Vorteile thermoaktive Bauteilsysteme

- » Heiz- und Kühlbetrieb mit einem System
- » Nutzung regenerativer Wärmequellen möglich
- » Kostengünstige und energieeffiziente Betriebsweise
- » Wartungsfreiheit
- » Freie innenarchitektonische Raumgestaltung
- » Keine Zugscheinungen und geräuschloser Betrieb
- » Renovierungs- und Reinigungsaufwand für Heiz- und Kühlflächen entfällt
- » Hohe thermische Behaglichkeit aufgrund niedriger Oberflächentemperaturen

Betonkernaktivierung



- 1 Fußbodenbelag
- 2 Estrich
- 3 Dämmung
- 4 Bewehrung
- 5 Decke
- 6 Deckenputz

Nachteile Thermoaktive Bauteilsysteme

- » Eingeschränkte Kühlleistungen aufgrund begrenzter Vorlauftemperaturen (Taupunktüberwachung)
- » Das Ausregeln auf eine genaue Raumsolltemperatur ist durch die große thermische Masse und Trägheit der Betonkernaktivierung nicht möglich.
- » Die Betonkernaktivierung kann im Bereich der Gebäudesanierung nicht eingesetzt werden.
- » Die Regulierung der Raumluftqualität und Raumluftfeuchte sind nicht möglich.
- » Sowohl für Deckenheizungen als Betonkernaktivierung (Betondecken) gilt: Das Abhängen und Verkleiden der Decken sollte im Sinne einer optimalen Heiz- und Kühlleistung vermieden werden.

Gebläsekonvektoren und Kassettengeräte

Gebläsekonvektoren und Kassettengeräte sind bei der Gebäudekühlung gängige Praxis.

Die Kühlwassertemperaturen liegen zwischen $+7\text{ °C}$ bis $+20\text{ °C}$.

Bei Gebläsekonvektoren und Kassettengeräten kann die Kühlwassertemperatur unterhalb des Taupunktes liegen und der Raumluft neben der sensiblen Wärme auch latente Wärme durch Kondensatausfall entziehen.

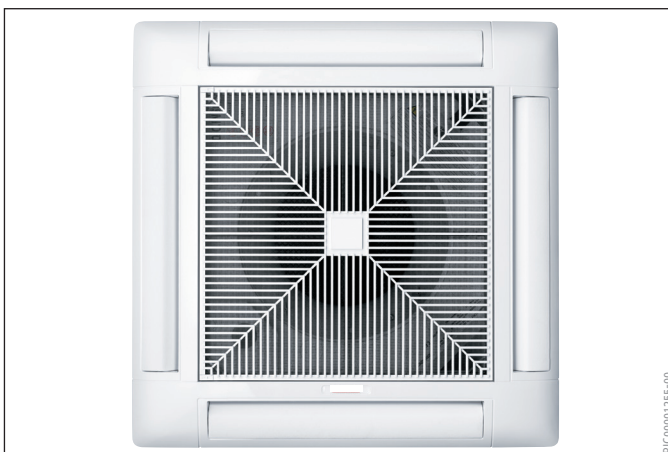
Gebläsekonvektoren und Kassettengeräte sind mit einem Kondenswasserablauf ausgerüstet. Verteilerleitungen und Komponenten müssen dampfdiffusionsdicht isoliert werden.

Die Kühlleistung eines Gebläsekonvektors oder eines Kassettengerätes ist von der Baugröße, dem Luftvolumenstrom und der Kühlwassertemperatur abhängig.

Gebläsekonvektor



Kassettengerät



Notizen

Schall

Schallleistung, Schalleistungspegel

Schallemissionen

Jede Wärmepumpenanlage verursacht Betriebsgeräusche. Betriebsgeräusche können von Menschen als störend empfunden werden. Betriebsgeräusche sollten soweit wie möglich minimiert werden.

Vor der Produktauswahl muss eine Analyse der Gegebenheiten und eine Berechnung der zu erwartenden Geräusentwicklung erfolgen.

Grundlagen

Schall ist ein Ton, ein Klang oder ein Geräusch. Ein Ton ist eine einzelne gleichmäßige Schwingung. Ein Klang ist eine Überlagerung mehrerer Töne. Ein Geräusch ist eine unregelmäßige Schwingung mit vielen Frequenzen.

Schall breitet sich in Form von mechanischen Wellen aus. Schallwellen breiten sich ringförmig gleichmäßig aus. Die Geschwindigkeit der Schallwelle ist dabei abhängig von den mechanischen Eigenschaften des Trägermediums.

Wenn eine Schallwelle auf ein Hindernis trifft, wird die Schallwelle im gleichen Winkel reflektiert, in dem sie auf das Hindernis getroffen ist.

Das Material des Hindernisses definiert, wie viel Schallenergie absorbiert wird. Beton ist ein harter Werkstoff der Schallenergie sehr schlecht absorbiert. Weiche und offenporige Stoffe wandeln einen großen Teil der Schallenergie in Reibungswärme um.

Wenn zwei Schallwellen aufeinander treffen, kann es zu einer Überlagerung der beiden Schallwellen kommen. Eine Überlagerung von Schallwellen kann zu einer Verminderung oder zu einer Verstärkung führen.

Schallleistung

Die Schallleistung ist eine grundlegende akustische Kenngröße eines Gerätes. Die Schallleistung eines Gerätes ist nicht von einem bestimmten Abstand, der Richtcharakteristik der Schallquelle oder der Messumgebung abhängig.

Schalleistungspegel

Um Geräte neutral vergleichen zu können, ist der Schalleistungspegel die ideale Grundlage. Der Schalleistungspegel ist von Umgebungseinflüssen und Messabstand unabhängig und wird ausschließlich vom Betriebszustand der Schallquelle beeinflusst.

Die Schallleistung wird in Watt angegeben. Die Messung erfolgt unter Laborbedingungen. Da sich die Werte im Mikrowatt-Bereich bewegen, wird die logarithmische Größe in Dezibel (dB) genutzt.

$$L_W = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ dB}$$

L_W	Schalleistungspegel in dB
P	Schallleistung in W
P_0	genormter Bezugswert in W

Frequenzbewertung (A)

Um den Frequenzgang des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen, erfolgt eine Frequenzbewertung des Schalleistungspegels.

Die Bewertung erfolgt mit einem der Einheit nachgestellten (A).

Zutreffende Richtlinien und Gesetze nutzen überwiegend die Bewertung (A).

Schall

Schalldruckpegel

Schalldruckpegel

Der Schalldruckpegel ist ein Maß für die Druckschwankungen in einem schallübertragendem Medium.

Die menschliche Wahrnehmung von „Lautstärke“ ist der Schalldruckpegel.

Der Schalldruck ist um ein Vielfaches kleiner als der statische Luftdruck.

Der Schalldruckpegel wird in Pascal angegeben. Da sich die Werte im Mikropascal-Bereich bewegen, wird die logarithmische Größe in Dezibel (dB) genutzt.

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{\tilde{p}^2}{p_0^2} \right) \text{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{\tilde{p}}{p_0} \right) \text{dB}$$

- L_p Schalldruckpegel in dB
- \tilde{p} Effektivwertes des Schalldruckes in Pa
- p_0 genormter Bezugswert in Pa

Messung des Schalldruckpegels

Bei der Messung des Schalldruckpegels muss die Entfernung zur Schallquelle und die Messumgebung berücksichtigt werden.

Zusätzlich muss der Grundschallpegel der Messumgebung berücksichtigt werden.

Berechnung des Schalldruckpegels

Aus dem Schalleistungspegel kann der Schalldruckpegel berechnet werden:

$$L_{pA} = L_{WA} + 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{(4 * \pi * d^2)} \right]$$

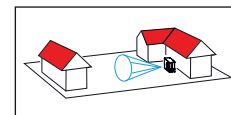
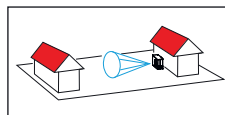
- L_{pA} = A Bewerteter Schalldruckpegel in dB(A)
- L_{WA} = A Bewerteter Schalleistungspegel in dB(A)
- Q Korrekturfaktor
- d Abstand in m

Dabei müssen Abstand (d) sowie die bauliche Umgebung (Q) berücksichtigt werden. Für die Berücksichtigung der baulichen Umgebung werden Korrekturwerte genutzt.

Korrekturwerte	Q
Wandaufstellung	6
Eck-Aufstellung	9

Differenz zum Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Entfernung und den Aufstellbedingungen

Abstand	Wandaufstellung	Eck-Aufstellung
	Q = 6 dB(A)	Q = 9 dB(A)
1	2,0 dB(A)	1,0 dB(A)
2	8,0 dB(A)	5,0 dB(A)
3	11,5 dB(A)	8,5 dB(A)
4	14,0 dB(A)	11,0 dB(A)
5	16,0 dB(A)	13,0 dB(A)
7	19,9 dB(A)	15,9 dB(A)
10	22,0 dB(A)	19,0 dB(A)
15	25,5 dB(A)	22,5 dB(A)
20	28,0 dB(A)	25,0 dB(A)



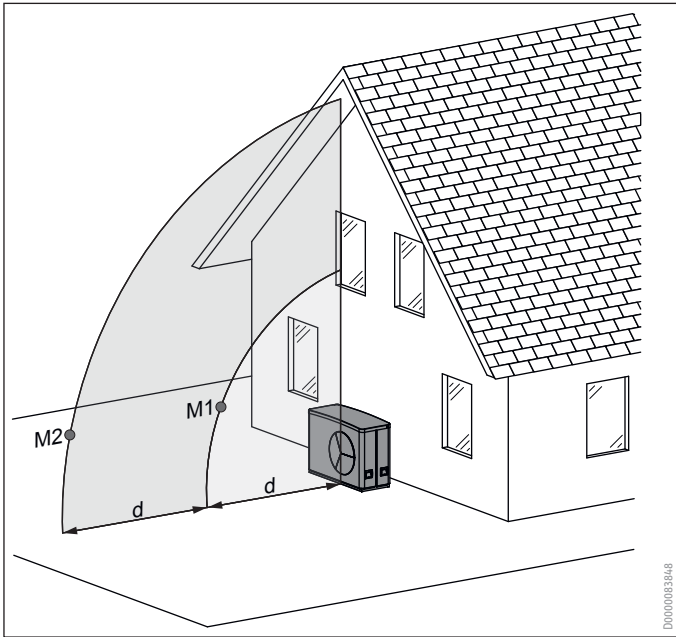
Schall

Abstandsgesetz

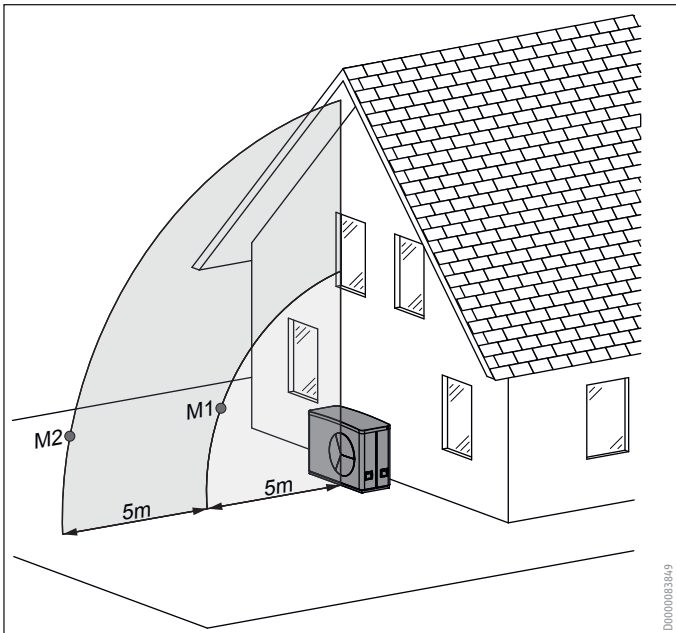
Abstandsgesetz

Verdoppelt sich der Abstand d , nimmt der Schalldruckpegel um ca. 6 dB ab.

$$\Delta d = d_2 - d_1 = \left[10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^2 - 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^2 \right] \text{ dB}$$



Beispiel



- $L_W A$ Schalleistungspegel = 60 dB(A)
- M_1 Schalldruckpegel L_{pA1} (5 m Abstand) = 44 dB(A)
- M_2 Schalldruckpegel L_{pA2} (10 m Abstand) = 38 dB(A)

Menschliche Wahrnehmung des Schalldrucks

Wenn ein Geräusch als doppelt so laut wahrgenommen wird, entspricht dies ab 40 dB einem Anstieg von ca. 10 dB.

Zwei gleiche Schallquellen (Schalldruck einer Kaskade)

Eine Verdopplung des Pegels entspricht einer Erhöhung um 3 dB.

Deutschland: TA-Lärm

Die „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“ (TA-Lärm) ist eine allgemeine Verwaltungsvorschrift. Die TA-Lärm dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche. Die TA-Lärm ist Grundlage bei Genehmigungsverfahren von Gewerbe- und Industrieanlagen. Die TA-Lärm ist im Ein- bzw. Mehrfamilienhaus Bereich nicht zwingend erforderlich. Sie wird im Streitfall meist als Beurteilungsgröße herangezogen.

Wenn in einem Wohngebiet im Garten ein Gerät aufgestellt wird, dann darf ein definierter Grenzwert am „Immissionsort“ nicht überschritten werden. Ein möglicher Immissionsort ist z. B. das Fenster des Nachbarn.

Bei bebauten Flächen ist der Messpunkt 0,5 m außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes. Ein schutzbedürftiger Raum ist z. B. ein Schlafzimmer.

Folgende Werte dürfen am Fenster des Nachbarn nicht überschritten werden:

Gewerbliche Wohngebiete	dB(A)
6.00 - 22.00 Uhr	60
22.00 - 6.00 Uhr	50

Allgemeine Wohngebiete	dB(A)
6.00 - 22.00 Uhr	55
22.00 - 6.00 Uhr	40

Ausschließliche Wohngebiete	dB(A)
6.00 - 22.00 Uhr	50
22.00 - 6.00 Uhr	35

Ländervergleich

In Frankreich gilt die Verordnung N° 2006-1099 vom 31. August 2006 bezüglich der Lärmbekämpfung in der Nachbarschaft. Diese Verordnung gibt Emergenz-Grenzwerte vor, zwischen dem Umgebungslärm und dem Restgeräusch, bestehend aus den Außen- und Innen- gewöhnlichen Geräuschen in einem gegebenen Ort.

Emergenz-Grenzwerte	max. dB(A)
7.00 - 22.00 Uhr	5
22.00 - 7.00 Uhr	3



Hinweis

Beachten Sie die in Ihrem Land gültigen Normen und Vorschriften.

Schall

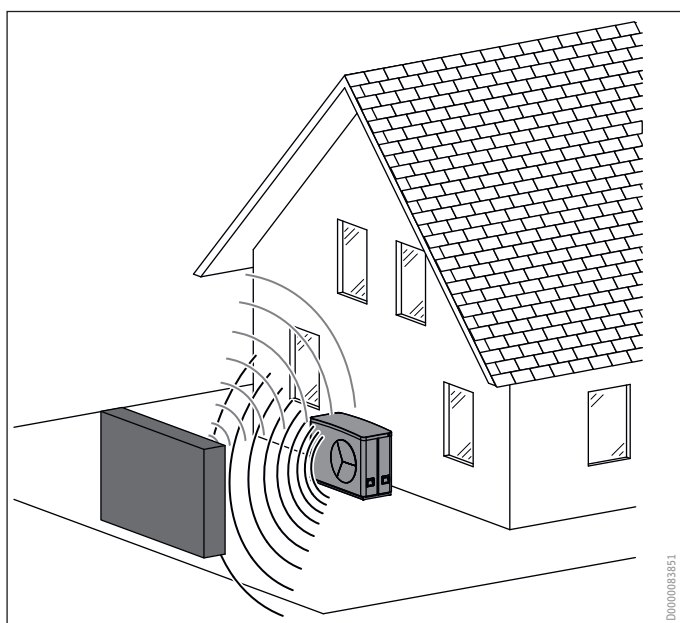
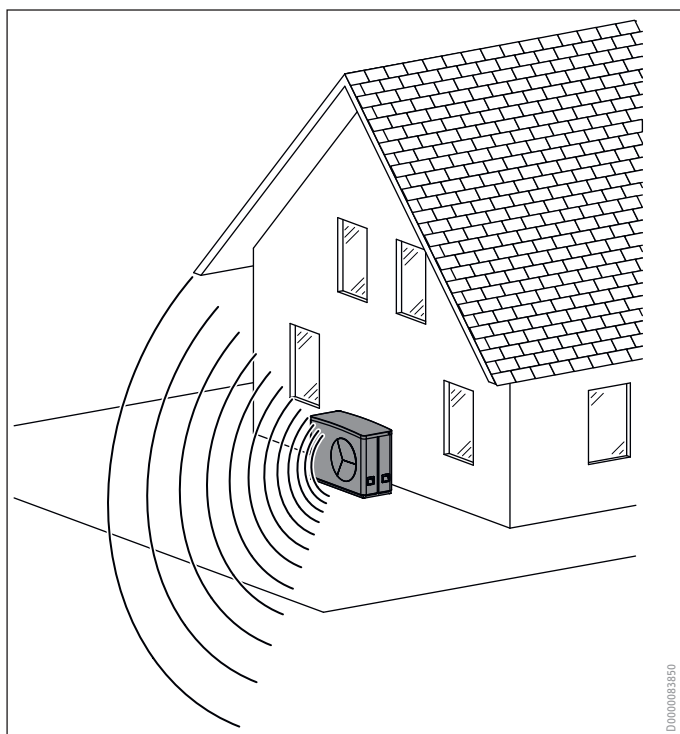
Schallausbreitung und Körperschall

Akustische Maßnahmen

Rasenflächen und Bepflanzungen tragen dazu bei, die Geräuschverbreitung zu vermindern. Die Geräteaufstellung auf schallharten Flächen sollte vermieden werden. Größere schallharte Bodenbeläge können als Spiegel-Schallquelle wirksam werden und Schallpegel-Erhöhungen bis zu 3 dB(A) gegenüber einer Aufstellung auf dicht bewachsenem Boden verursachen.

Direkte Schallausbreitung

Die direkte Schallausbreitung bei freier Aufstellung lässt sich durch bauliche Hindernisse unterbrechen. Schallpegel-Minderungen können z. B. durch massive Wände, Zäune oder Palisaden erreicht werden.



Körperschall

Die Übertragung von Körperschall durch die Heizungsrohre auf Mauerwerk und Heizkörper muss vermieden werden.

- » Die Verbindungen von Wärmepumpe und Wärmeverteilsystem muss mit flexiblen Schläuchen erfolgen.
- » Rohrleitungen an Wänden und Decken müssen Körperschall gedämmt und elastisch verbunden sein.
- » Rohrdurchführungen durch Wände und Decken müssen Körperschall gedämmt sein.

Entscheidungshilfe

Die einfachste Möglichkeit, entsprechend den vor Ort herrschenden Gegebenheiten über den Einsatz einer außenaufgestellten Wärmepumpe zu entscheiden, ist die eigene Berechnung des Schalldruckpegels in dem gewünschten Abstand.

Dazu ist als Grundinformationen ausschließlich der Schallleistungspegel des gewählten Gerätes und der entsprechende Korrekturfaktor für die Umgebung notwendig.

Mit diesen Daten kann der rechnerische Schalldruckpegel für jede gewünschte Entfernung zum Gerät ermittelt werden.

Alleinstehende Schalldruckpegel in definierten Abständen eignen sich nicht für eine neutrale und verlässliche Einschätzung, weil die örtlichen Gegebenheiten unberücksichtigt sind.

Luftführung

Eine fehlerhafte bauliche Integration kann zu unerwünschten Schallpegel-Erhöhungen führen.

Wenn folgende Punkte beachtet werden, treten durch die Luftführung keine Probleme auf:

- » Die Ausblasrichtung erfolgt nicht direkt zum Nachbarn.
- » Die Ausblasrichtung zielt nicht direkt auf Haus- oder Garagenwände.
- » Die zu erwartenden Schalldruckpegel am Aufstellort sowie beim Nachbarn wurden vorab geprüft.
- » Das Gerät steht nicht direkt neben Wohn- oder Schlafräumen.

Planungshinweise

- » Pflanzen können Reflexionen durch den mehrfachen Schalldurchgang mindern.
- » Vermeiden Sie die Geräteaufstellung auf schallharten Flächen.
- » Die Aufstellung zwischen zwei geschlossenen Wänden sowie in Ecken und Winkeln kann zu Schallpegel-Erhöhungen führen.
- » Durch bauliche Hindernisse können Schallpegel-Minderungen erzielt werden.

Notizen

Luft-Wasser-Wärmepumpen - Außenaufstellung

Kondenswasserablauf

Kondenswasserablauf

Luft-Wasser-Wärmepumpen entziehen der Außenluft Feuchtigkeit. Die Feuchtigkeit gefriert an den kalten Verdampferlamellen zu Eis. Das Eis wird abgetaut und als Kondensat abgeführt. Der Verdampfer wird bedarfsabhängig abgetaut. Kondensat fällt stoßartig an.

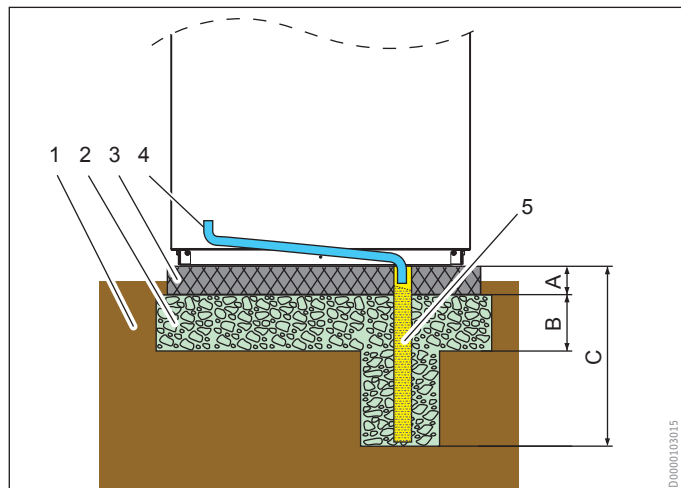
Bei der Planung und Installation des Kondenswasserabflusses müssen folgende Punkte beachtet werden:

- » Verlegen Sie den Kondenswasser-Ablaufschlauch mit stetigem Gefälle aus der Wärmepumpe heraus.
- » Führen Sie das Kondensat über einen frostfreien Abfluss ab. Lassen Sie das Kondensat in einer Grobkiesfüllung versickern.
- » Halten Sie die empfohlenen Maße für z. B. Fundament- und Kiesbettdicken ein.
- » Prüfen Sie bei nicht frostfreier Verlegung der Kondenswasserleitung oder Verwendung einer Stand- oder Wandkonsole, die Verwendung einer Rohrbegleitheizung.
- » Verlegen Sie die Rohrbegleitheizung direkt in der Kondenswasser-Ableitung.
- » Prüfen Sie, ob das geplante Produkt oder Zubehör eine Rohrbegleitheizung beinhaltet.

Natürlicher Kondenswasserablauf

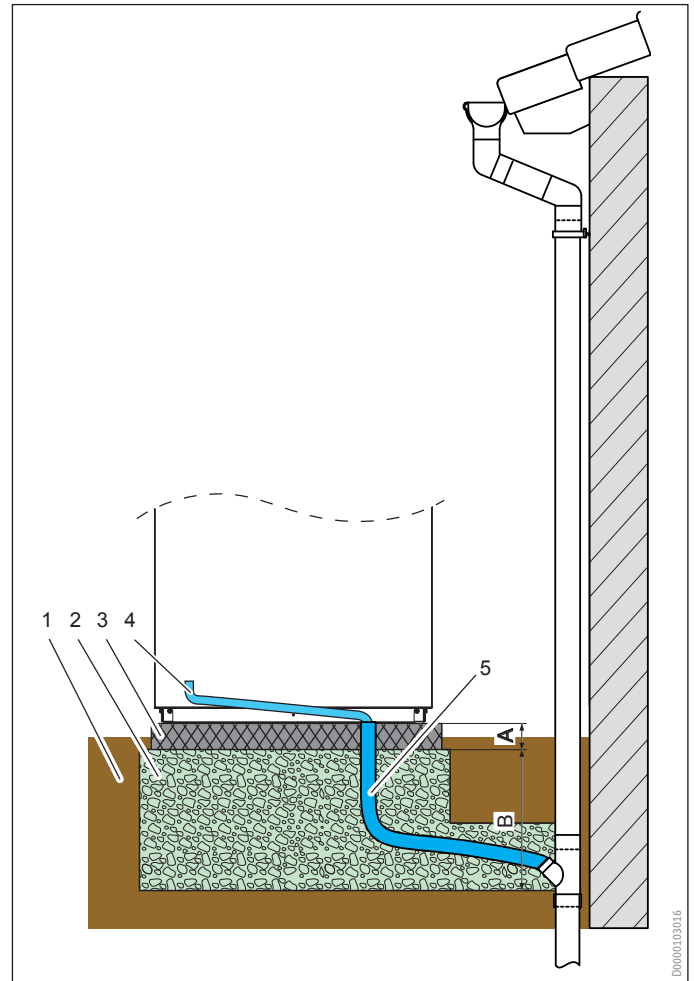
Bei Wärmepumpen mit natürlichem Kondenswasserablauf muss eine ausreichend große Fläche für die Versickerung vorgesehen werden.

- » Verwenden Sie nach Möglichkeit schwarzen oder dunkelgrauen Grobkies.
- » Um eine Eisbildung auf benachbarten Gehwegen zu vermeiden, sorgen Sie für einen gezielten Ablauf des Tauwassers.



1	Erdrich	A	10 cm
2	Grobkiesfüllung	B	30 cm
3	Betonplatte	C	80 cm
4	Kondenswasser-Ableitung		
5	Kondenswasser-Ablaufrohr		

Kondenswasserablauf in ein Fallrohr oder in einen Abfluss



1	Erdrich	5	Kondenswasserablauf
2	Grobkiesfüllung	A	10 cm
3	Betonplatte	B	80 cm
4	Kondenswasser-Ablaufschlauch		

Luft-Wasser-Wärmepumpen - Außenaufstellung

Checkliste Luft-Wasser-Wärmepumpen, Außenaufstellung

Luft-Wasser-Wärmepumpen, Außenaufstellung

- » Wurde geprüft, ob der Aufstellort der Wärmepumpe genehmigungspflichtig ist?
- » Erfüllt der Aufstellort die Anforderungen an den Schallschutz?
- » Ist die Positionierung der Wärmepumpe entsprechend der Aufstellbedingungen.

Wärmeerzeugung

- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Wurde geprüft, ob die Installation der Wärmepumpenanlage die Genehmigung der örtlichen Energielieferanten voraussetzt?
- » Ist die Verfügbarkeit der notwendigen Stromversorgung sichergestellt?
- » Sind die Anforderungen der Energielieferanten erfüllt?
- » Sind die maximalen Stromaufnahmen während des Wärmepumpen-Anlaufs berücksichtigt worden?
- » Wurden die Anforderungen an den Aufstellort erfüllt?
- » Ist sichergestellt, dass die gewählte Wärmepumpe sowohl die Heiz- als auch Kühllast abdeckt?
- » Ist der zweite Wärmeerzeuger entsprechend der Anlagenplanung eingebunden?
- » Wurden die Anforderungen an die Warmwasserbereitung erfüllt?
- » Ist die Möglichkeit von Frostschäden ausgeschlossen?
- » Ist die Zugänglichkeit für die Installations- und Wartungsarbeiten gegeben?
- » Wurden notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen getroffen?
- » Wurde das Wärmepumpensystem mit geeigneten Sicherheits-einrichtungen versehen?
- » Sind eventuell notwendige Einrichtungen zur Überwachung von Betriebsbedingungen vorgesehen worden?
- » Sind die einzelnen Planungsstufen dokumentiert worden?
- » Ist das Wärmeverteilsystem auf die Heizlast und Wärmepumpen-Leistung ausgelegt?
- » Wurde geprüft, ob eine Aufteilung des gesamten Wärmeverteilsystems auf mehrere Verbraucherkreise notwendig ist?
- » Kann die geplante Anzahl von Verbrauchern durch die Regelung abgedeckt werden?
- » Wurde eine eventuelle übergeordnete Regelung bei der Planung entsprechend berücksichtigt?
- » Sind die einzelnen Heizkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Sind die einzelnen Kühlkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Ist die Taupunktüberwachung der einzelnen Kühlkreise gewährleistet?
- » Wurde ein eventuell notwendiges Pufferspeichersystem entsprechend berücksichtigt?

Luft-Wasser-Wärmepumpen - Innenaufstellung

Luftführung

Luftführung

Der luftseitige Anschluss wird mit flexiblen Luftschläuchen oder über Luftkanäle mit flexiblen Anschlüssen nach außen geführt.

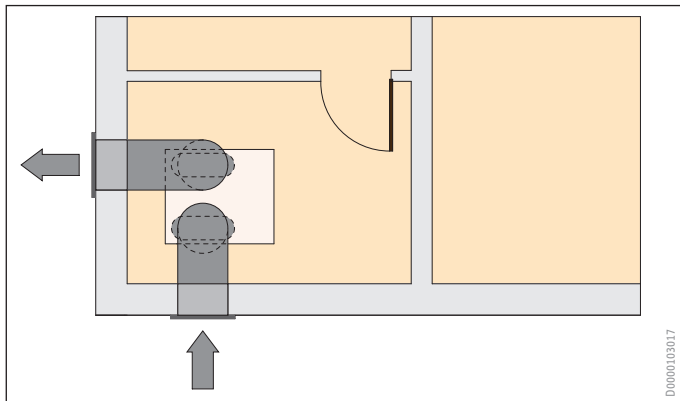
Luftgeschwindigkeit max. _____ m/s 4

Ein Kurzschluss zwischen Lufteintritt und Luftaustritt muss in jedem Fall vermieden werden. Zweckmäßig ist die Ansaugung über Eck oder eine Queransaugung. Wenn die Ein- und Austrittsöffnungen auf gleicher Ebene liegen, muss ein Mindestabstand eingehalten werden.

Mindestabstand _____ m 3

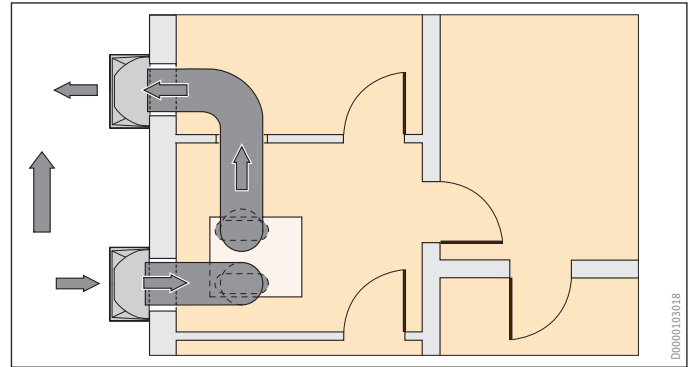
Ggf. muss eine Trennwand oder geeignete Bepflanzung zwischen der Luft-Ansaugöffnung und Luft-Austrittsöffnung vorgesehen werden.

Keller – über Eck



Das Beispiel zeigt die Aufstellung einer Kompakt-Wärmepumpe in einer Keller-Gebäudeecke. Durch diese Positionierung von Luftein- und Auslass wird ein thermischer Kurzschluss verhindert.

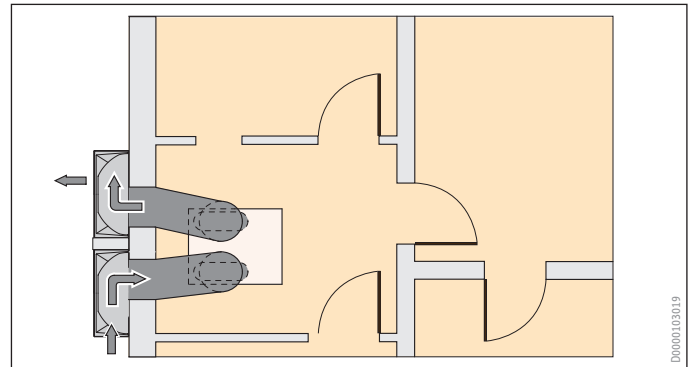
Keller – getrennte Schächte



Wenn der Abstand der Lichtschächte zueinander ausreicht um einen thermischen Kurzschluss zu verhindern, ist der Anschluss der Luftkanäle auf einer Gebäudeseite möglich.

Der Luft-Eintrittskanal und der Luft-Austrittskanal müssen gegen Laub und Schneefall geschützt werden.

Keller – gemeinsamer Schacht



Wenn ein thermischer Kurzschluss mit Sicherheit verhindert werden kann, ist der Anschluss der Luftkanäle an einen gemeinsamen Lichtschacht möglich.

In diesem Beispiel wird der Ansaug-Luftstrom umgelenkt. Eine Trennwand zwischen Lufteintritt und Luftaustritt innerhalb des Lichtschachtes und ein Luftleitblech außerhalb verhindern einen thermischen Kurzschluss.

Folgende Punkte müssen beachtet werden:

- » Thermischen Kurzschluss vermeiden.
- » Kondenswasser-Ableitung sicherstellen.
- » Ausreichend freien Querschnitt für das Luft-Eintrittsgitter und das Luft-Austrittsgitter vorsehen.

Verteilung der externen Pressung

Bei der Auslegung von Luftkanälen und Luftgittern muss die externe Pressung des Lüfters beachtet werden.

Mindestens 20 % der gesamten externen Pressung des Lüfters müssen zusätzlich für die Luft-Austrittsseite berücksichtigt werden.

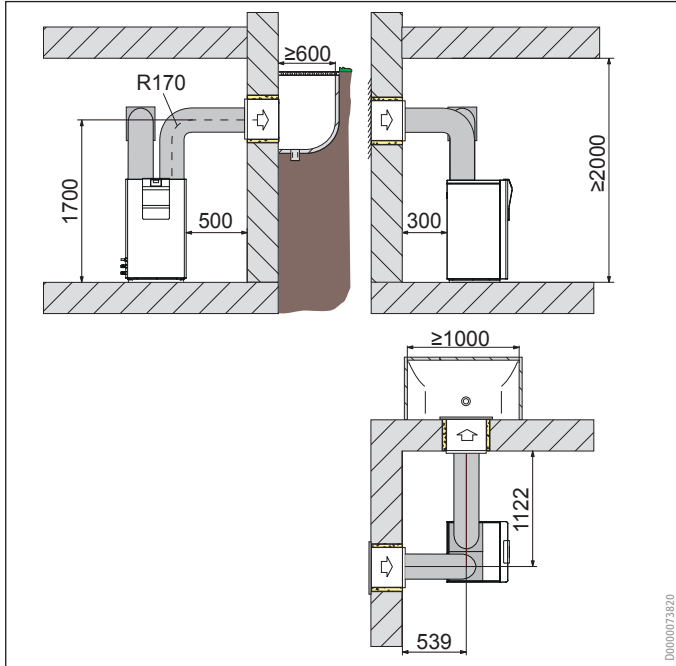
Luft-Wasser-Wärmepumpen - Innenaufstellung

Luftführung

Innenaufstellung

Der luftseitige Anschluss wird mit flexiblen Luftschläuchen nach außen geführt.

Eine fehlerhafte bauliche Integration kann zu unerwünschten Schallpegel-Erhöhungen führen.



Installationsbeispiel

In die Außenwand wird eine Wanddurchführung eingebaut. Das Luftführungssystem stellt die Verbindung von der Wärmepumpe zur Außenwand her.

Die Luftströmung erzeugt in den Luftschläuchen Schwingungen. Alle Halterungen und die Wanddurchführungen müssen Körperschallgedämmt ausgeführt werden.

Wenn Wanddurchführungen unterhalb der Erdgleiche sind, muss die Luftführung über Lichtschächte mit einer ebenen Oberfläche erfolgen.

Unzureichend dimensionierte Luftschläuche, eine ungünstige Luftführung oder die Lage der Austrittsöffnungen verursachen Druckverluste. Zu hohe Druckverluste führen mindestens zu Effizienzverlusten und höheren Geräuschemissionen. Im ungünstigsten Fall kann die Wärmepumpe ausfallen.

Zur Reduzierung von Schallemissionen können Schalldämpfer in das Luftführungssystem eingebunden werden. Schalldämpfer werden auf der Abluftseite eingesetzt. Für den Einbau eines Schalldämpfers ist eine mindestens 2 m lange Luftleitungslänge erforderlich.

Planungshinweise

- » Die Wärmepumpe darf nicht unter oder neben Schlafräumen aufgestellt werden.
- » Bei schallhartem Boden, z. B. Fliesen, empfehlen wir, die Wärmepumpe auf eine geeignete Gummimatte zu stellen.
- » Eine zusätzliche Schalldämmung kann durch eine Beton-Fundamentplatte mit untergelegter Gummimatte erreicht werden.
- » Rohrdurchführungen durch Wände und Decken müssen Körperschallgedämmt ausgeführt werden.

Luft-Wasser-Wärmepumpen - Innenaufstellung

Checkliste Luft-Wasser-Wärmepumpen, Innenaufstellung

Luft-Wasser-Wärmepumpen, Innenaufstellung

- » Wurde geprüft, ob der Aufstellort der Wärmepumpe genehmigungspflichtig ist?
- » Erfüllt der Aufstellort die Anforderungen an den Schallschutz?
- » Ist die Positionierung der Wärmepumpe entsprechend der Aufstellbedingungen.
- » Ist die Planung der Luftführung abgeschlossen?
- » Ist ein thermischer Kurzschluss der Luftführung ausgeschlossen?
- » Wurde der Brandschutz bei der Luftführung beachtet?

Wärmeerzeugung

- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Wurde geprüft, ob die Installation der Wärmepumpenanlage die Genehmigung der örtlichen Energielieferanten voraussetzt?
- » Ist die Verfügbarkeit der notwendigen Stromversorgung sichergestellt?
- » Sind die Anforderungen der Energielieferanten erfüllt?
- » Sind die maximalen Stromaufnahmen während des Wärmepumpen-Anlaufs berücksichtigt worden?
- » Wurden die Anforderungen an den Aufstellort erfüllt?
- » Ist sichergestellt, dass die gewählte Wärmepumpe sowohl die Heiz- als auch Kühllast abdeckt?
- » Ist der zweite Wärmeerzeuger entsprechend der Anlagenplanung eingebunden?
- » Wurden die Anforderungen an die Warmwasserbereitung erfüllt?
- » Ist die Möglichkeit von Frostschäden ausgeschlossen?
- » Ist die Zugänglichkeit für die Installations- und Wartungsarbeiten gegeben?
- » Wurden notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen getroffen?
- » Wurde das Wärmepumpensystem mit geeigneten Sicherheitsvorrichtungen versehen?
- » Sind eventuell notwendige Einrichtungen zur Überwachung von Betriebsbedingungen vorgesehen worden?
- » Sind die einzelnen Planungsstufen dokumentiert worden?
- » Ist das Wärmeverteilsystem auf die Heizlast und Wärmepumpen-Leistung ausgelegt?
- » Wurde geprüft, ob eine Aufteilung des gesamten Wärmeverteilsystems auf mehrere Verbraucherkreise notwendig ist?
- » Kann die geplante Anzahl von Verbrauchern durch die Regelung abgedeckt werden?
- » Wurde eine eventuelle übergeordnete Regelung bei der Planung entsprechend berücksichtigt?
- » Sind die einzelnen Heizkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Sind die einzelnen Kühlkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Ist die Taupunktüberwachung der einzelnen Kühlkreise gewährleistet?
- » Wurde ein eventuell notwendiges Pufferspeichersystem entsprechend berücksichtigt?

Erdreich-Wärmepumpen

Solegemisch

Frostsicherheit und Mischungsverhältnis

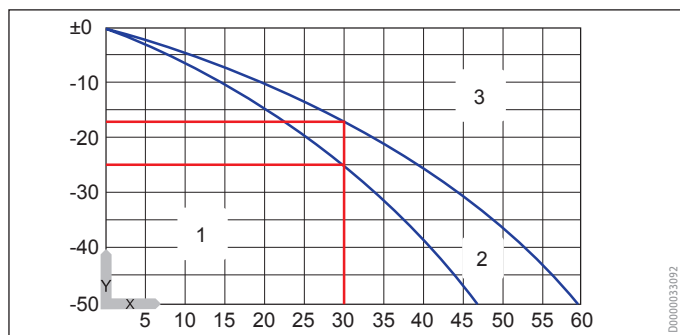
Ethylenglykol wurde für den Einsatz als Wärme- und Kälteübertragungs-Medium entwickelt. Die Frostsicherheit ist abhängig vom Mischungsverhältnis mit Wasser.

Bei einem Mischungsverhältnis von 25 % Ethylenglykol mit 75 % Wasser ist das Medium bis -18 °C flüssig. Ab -25 °C setzt die Sprengwirkung ein.

Je nach Mischungsverhältnis ändert sich auch der Druckverlust in der Anlage.

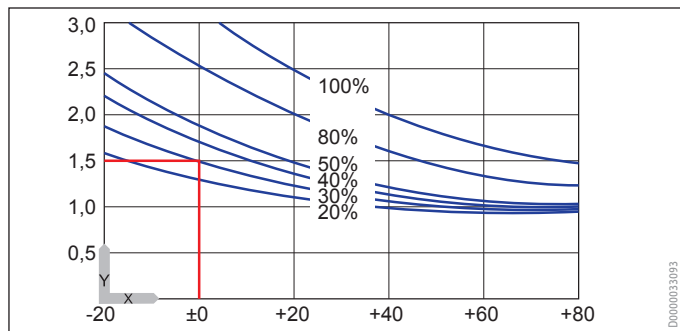
Die Druckverlustkurve zeigt, dass sich der Druckverlust von einem 25/75 Gemisch gegenüber Wasser um den Faktor 1,5 erhöht. Bei der Umwälzpumpen-Auslegung muss dies berücksichtigt werden.

Frostsicherheit des Solegemisches



- x % Basis: Ethylenglykol
- y Frostsicherheit (°C)
- 1 Sprengwirkung beim Unterschreiten der Frostsicherheit (fest)
- 2 Eisbrei
- 3 flüssig

Druckverlust-Erhöhung des Solegemisches



- x °C
- y Faktor Druckerhöhung
- % Basis: Ethylenglykol

Zulässige Wärmeträgermedia

Das folgend aufgeführte Wärmeträgermedium ist für unsere Wärmepumpenanlagen zulässig.

» Wärmeträgermedium als Konzentrat auf Ethylenglykolbasis



Hinweis

Bei Verwendung des Wärmeträgermediums als Fertigmischung darf in der Wärmequellen-Anlage nicht mit Hanf abgedichtet werden.

Umwälzpumpe und erforderlicher Volumenstrom

Für die Soleförderung muss eine geeignete Sole-Umwälzpumpe verwendet werden.

Die Sole-Umwälzpumpe muss nach den anlagenspezifischen Gegebenheiten ausgelegt werden.

Der Nennvolumenstrom und die Druckverluste müssen berücksichtigt werden.

Bei allen Soletemperaturen muss ein ausreichender Volumenstrom gewährleistet sein.

Der Nennvolumenstrom bezieht sich auf eine Soletemperatur von 0 °C mit einer Toleranz von $+10\text{ %}$.

Gesamtvolumen

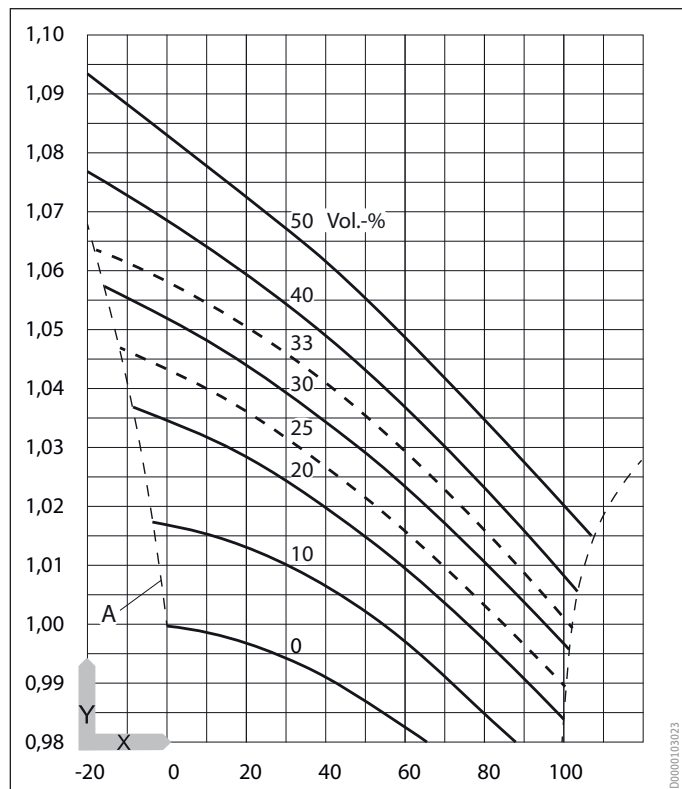
Das Gesamtvolumen entspricht der benötigten Solemenge, die aus unverdünntem Ethylenglykol und Wasser hergestellt wird.

Wärmepumpen-Leistungsangaben

Die angegebenen Leistungsdaten beziehen sich auf Ethylenglykol.

Erdreich-Wärmepumpen Solegemisch

Frostsicherheit



X Temperatur [°C]
Y Dichte [g/cm³]
A Frostsicherheit [°C]

Mischungsverhältnis

Die Solekonzentration ist bei der Verwendung eines Erdreichkollektors oder einer Erdwärmesonde als Wärmequelle unterschiedlich. Die Tabelle stellt die jeweiligen Mischungsverhältnisse dar.

Kollektorart	Ethylenglykol	Wasser
Erdwärmesonde	25 %	75
Erdreichkollektor	33 %	67

Einsatzgrenze des Wassers		
Chloridgehalt des Wassers	max. ppm	300

Solekonzentration kontrollieren:

- » Ermitteln Sie mit einem Aräometer die Dichte des Ethylenglykol-Wassergemisches.
- » Entnehmen Sie die Konzentration anhand der gemessenen Dichte und der Soletemperatur aus dem Diagramm.

Planungshinweise

- » Die Wärmequellen-Anlage für Sole-Wasser-Wärmepumpen muss gemäß unseren Planungsunterlagen ausgeführt werden.
- » Alle Soleleitungen müssen diffusionsdicht wärmegeämmt werden.
- » Um die Übertragung von Geräuschen zu vermeiden, muss der Wärmequellen-Kreislauf mit flexiblen Druckschläuchen an die Wärmepumpe angeschlossen werden.
- » Vor dem Anschließen der Wärmepumpe muss der Wärmequellen-Kreislauf auf Dichtheit geprüft und gründlich durchgespült werden.

Erdreich-Wärmepumpen

Erdreichkollektor

Erdreichkollektor

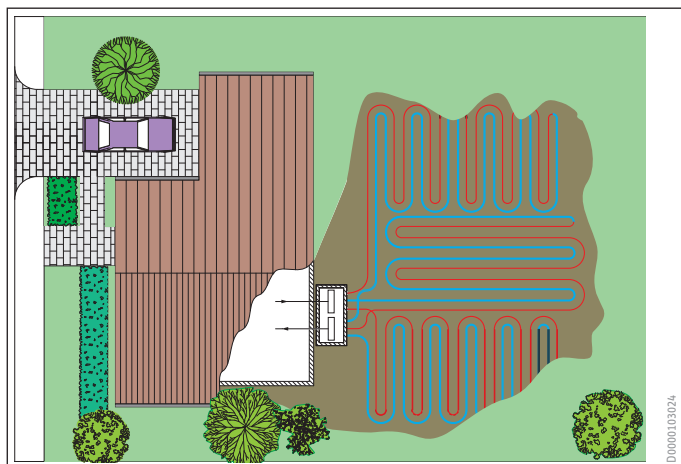
Im Erdreich verlegte Kollektoren führen der Wärmepumpe Energie zu. In den Kollektoren zirkuliert ein frostsicheres Wärmeträger-Medium. Das Wärmeträger-Medium nimmt Energie aus dem Erdreich auf.

- » Horizontal verlegte Rohrschlangen sind Erdreichkollektoren.
- » Vertikal eingebrachte Sonden sind Erdwärmesonden.

Die Aufstellung der Wärmepumpe erfolgt in frostgeschützten Räumen.

Bedient und geregelt wird die Heizungs-Wärmepumpe über den Wärmepumpen-Manager. Der Wärmepumpen-Manager kann im Gebäude, z. B. im Hauswirtschaftsraum, installiert werden. In einigen Wärmepumpen ist der Wärmepumpen-Manager integriert.

Um auch größere Heizlasten mit serienmäßigen Heizungs-Wärmepumpen abzudecken, können mehrere Geräte zusammenschaltet werden. Diese Aufgabe erfüllen Wärmepumpen-Sets, die aus zwei Wärmepumpen und dem entsprechenden Zubehör bestehen.



Die Wärmequelle Erdreich ist in Mitteleuropa die oberste Erdschicht bis zu einer Tiefe von ca. 2 m.

Die Gewinnung der Wärme erfolgt über einen Wärmeübertrager, der unter einer unbebauten Fläche in der Nähe des zu beheizenden Gebäudes horizontal verlegt wird.

Die für den Wärmeentzug maßgebliche Erdreichwärme ist gespeicherte Sonnenenergie, die durch direkte Einstrahlung, durch Wärmeübertragung aus der Luft und durch Niederschläge in das Erdreich übergeht. Dies ist auch die Energiequelle für die rasche Regeneration des unterkühlten Erdreiches nach einer Heizperiode.

Die aus tieferen Schichten nach oben strömende Wärme beträgt nur 0,05 bis 0,12 W/m². Sie kann als Wärmequelle für die oberen Erdschichten vernachlässigt werden.

Die nutzbare Wärmemenge und damit die Größe der notwendigen Fläche hängt stark von den thermophysikalischen Eigenschaften des Erdreiches und von der Einstrahlungsenergie, das heißt, den klimatischen Verhältnissen ab.

Die thermischen Eigenschaften, wie volumetrische Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit, sind sehr stark abhängig von der Zusammensetzung und der Beschaffenheit des Erdreiches. Als Größe sind hier vor allem der Wasseranteil, die Anteile an

mineralischen Bestandteilen wie Quarz oder Feldspat sowie Anteil und Größe der luftgefüllten Poren maßgebend.

Vereinfacht ausgedrückt kann man sagen, dass die Speichereigenschaften und die Wärmeleitfähigkeit je größer sind, desto mehr der Boden mit Wasser angereichert ist, je höher der Anteil der mineralischen Bestandteile und je geringer die Porenanteile sind.

Die Entzugsleistung ist abhängig von der Bodenqualität, dem Verlegeabstand und der Verlegetiefe.

Erfahrungswerte für Deutschland

Erdreichkollektor		
Entzugsleistung	W/m ²	10 - 40
Verlegeabstand	m	0,6 - 1,0
Verlegetiefe	m	1,2 - 1,5

Um das Erdreich als Wärmequelle zu nutzen, werden Kunststoff-Rohrschlangen (Erdreichkollektoren) in den Erdboden verlegt, in denen das Wärmeträger-Medium zirkuliert. Das Gemisch überträgt die dem Erdreich entzogene Wärme an die Wärmepumpe. Das verwendete Wärmeträger-Medium muss ausreichend Schutz gegen Einfrieren bieten. Außerdem darf bei einer eventuellen Undichtigkeit keine Gefahr für das Grundwasser entstehen. Diese Eigenschaft besitzen Frostschutzmittel auf Basis von Ethylenglykol. Sie wurden speziell für den Wärmetransport und den Frost- und Korrosionsschutz bei Wärmepumpen-Anlagen entwickelt.

Entzugsleistung (VDI 4640)

Boden	qE [W/m ²]
trockener, nicht bindiger Boden	10 - 15
feuchter bindiger Boden	15 - 20
sehr feuchter und bindiger Boden	20 - 25
wassergesättigter Boden	25 - 30
Grundwasser führendes Erdreich	30 - 40

Erdreichfläche

Je nach Heizlast des Gebäudes und Beschaffenheit des Erdreiches ergibt sich eine entsprechende Erdreichfläche. Die benötigte Erdreichfläche wird nach der Kälteleistung Q_K der Wärmepumpe ermittelt.

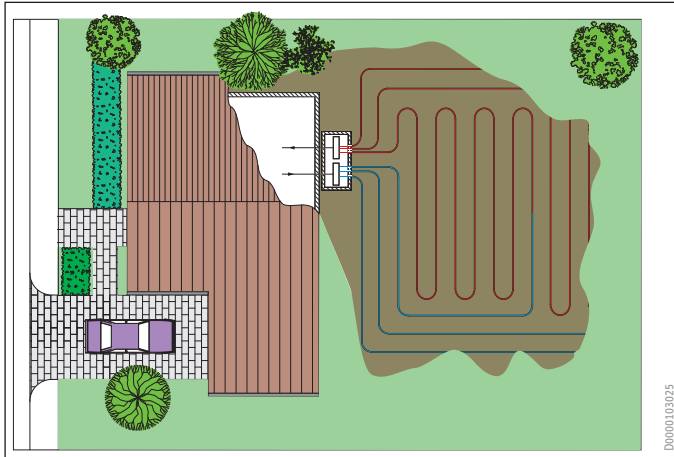
Die Kälteleistung der Wärmepumpe ist die Differenz zwischen Heizleistung Q_{WP} und Leistungsaufnahme P_{WP} .

$$Q_K = Q_{WP} - P_{WP}$$

Erdreich-Wärmepumpen

Erdreichkollektor

Beispiel



Für die Auslegung eines Erdreichkollektors werden die technischen Daten der Wärmepumpe benötigt.

Beispiel-Daten einer Wärmepumpe		
Wärmeleistung bei B0/W35 (EN 14511)	kW	10,31
Leistungsaufnahme bei B0/W35 (EN 14511)	kW	2,05
SCOP (EN 14825)		5,6
Auslegungsvolumenstrom Heizung nenn. bei B0/W35 und 7 K	m ³ /h	1,26
Schallleistungspegel W35 (EN 12102)	dB(A)	48
Schallleistungspegel W55 (EN 12102)	dB(A)	50
Konzentration Ethylenglykol Erdwärmesonde	Vol.-%	25
Konzentration Ethylenglykol Erdreichkollektor	Vol.-%	33

$$Q_K = 10,31 \text{ kW} - 2,05 \text{ kW}$$

$$Q_K = 8,26 \text{ kW}$$

Erdreichfläche:

Bei einer spezifischen Entzugsleistung q_E von 25 W/m² ergibt sich eine Fläche A von:

$$A = \frac{Q_K}{q_E}$$

$$\text{Fläche A} = 8260 \text{ W} / 25 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Fläche A} = 330,4 \text{ m}^2 \text{ Erdreich}$$

Rohrabstand:

Bei einem Rohrabstand von 0,6 m ergibt sich folgende Rohrlänge:

$$330,4 \text{ m}^2 / 0,6 \text{ m} = 551 \text{ Meter Rohr, das entspricht sechs Rohrkreisen je 100 m Länge.}$$

Rohrverlegung

Die Kunststoffrohre werden in einer Tiefe von 1,2 bis 1,5 m in mehreren Kreisen verlegt. Die einzelnen Rohrkreise sollten dabei eine Länge von 100 Metern nicht überschreiten, da sonst größere Umwälzpumpen mit einer höheren Leistungsaufnahme erforderlich sind.

Der Verlegeabstand ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und sollte zwischen 0,6 m bis 1,0 m betragen, damit die Eisradien nicht zusammenwachsen und das Regenwasser versickern kann.

Das Verlegen der Rohre kann beim Neubau im Zuge der erforderlichen Erdarbeiten erfolgen. Bei bestehenden Anlagen können Löffelbagger zum Einsatz kommen.

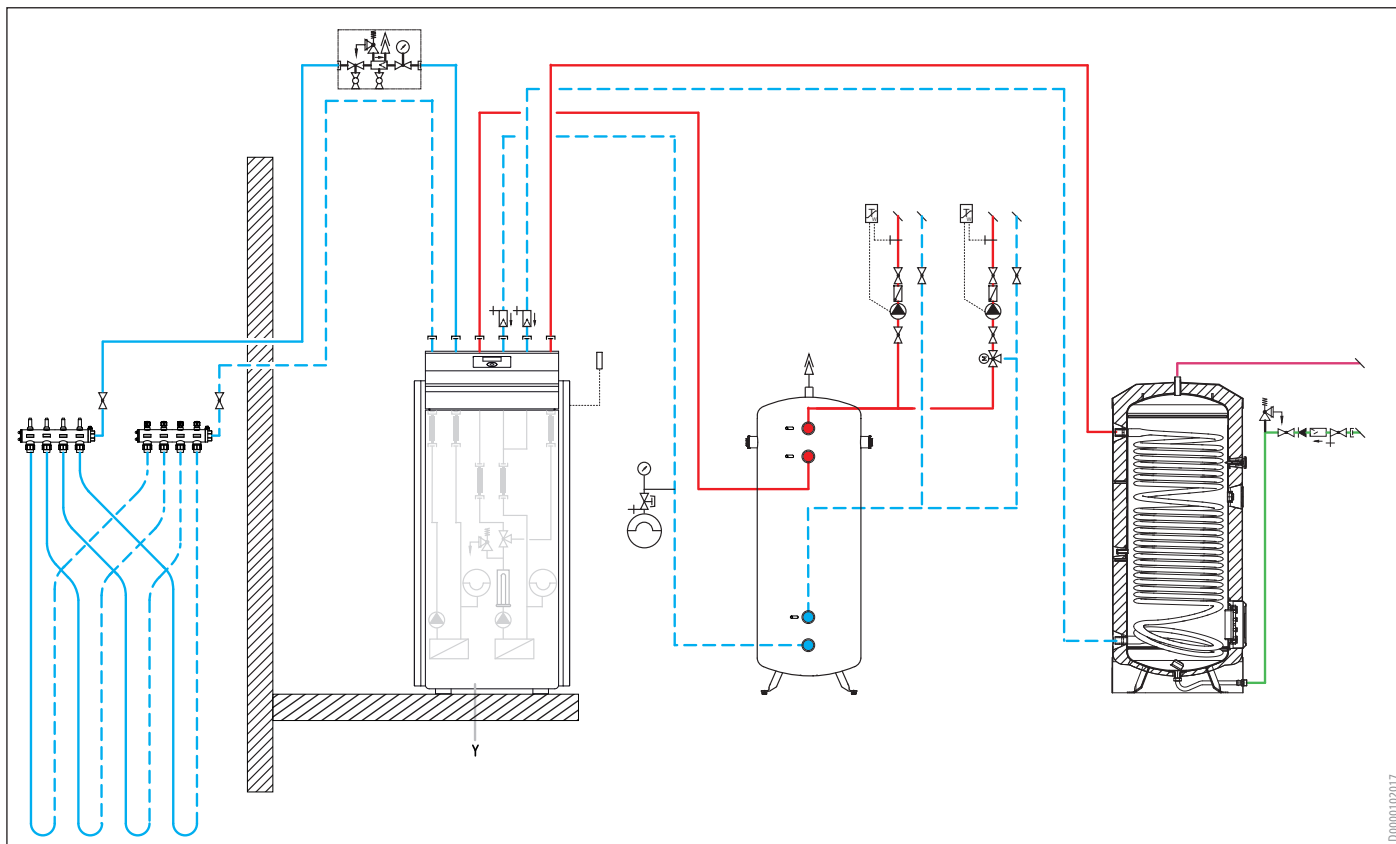
Vorschriften

In Deutschland müssen Erdreichkollektoren bei der zuständigen Wasserbehörde angezeigt bzw. genehmigt werden.

Erdreich-Wärmepumpen Erdreichkollektor

Installation

Wärmequelle Erdreichkollektor aus PE-Rohren



D10000102017

Erdreich-Wärmepumpen

Erdreichkollektor

Wärmequellenvergrößerung

Die zuvor angegebenen flächenbezogenen Entzugsleistungen beziehen sich auf Wärmepumpen-Betriebszeiten von 1800 bis 2400 h/a. Die Betriebszeiten gelten für den monovalenten Wärmepumpen-Betrieb.

Wenn die Wärmepumpe in bivalent-paralleler Betriebsweise genutzt wird, ändern sich die Jahresbetriebsstunden und die notwendige Größe des Erdreichkollektors.

Durch die höheren Entzugsleistung müssen der Erdreichkollektor und die Erdkollektorfläche vergrößert werden.

Berechnungsbeispiel für den bivalent-parallelen Betrieb

Die Wärmepumpe ist der Grundlast-Wärmeerzeuger und deckt ca. 65 % der Heizlast ab.

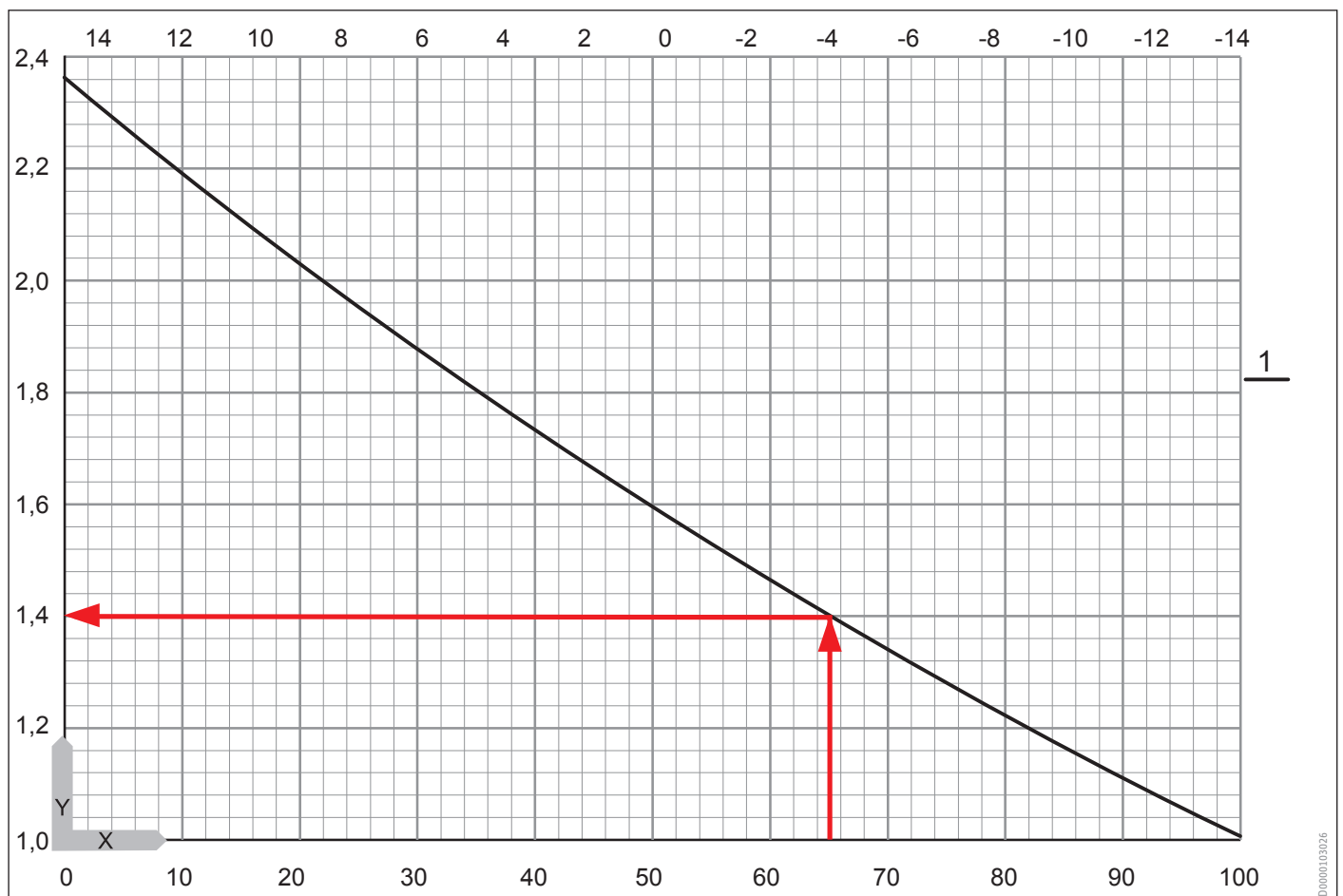
Die maximal notwendige Heizungsvorlauftemperatur beträgt 55 °C.

Das Umschalten auf den zweiten Wärmeerzeuger erfolgt bei ca. -4 °C Außentemperatur.

Mithilfe des Diagramms wird der Faktor f_Q für die Wärmequellenvergrößerung ermittelt.

Der Faktor für die Vergrößerung der Wärmequelle ist 1,4.

Vergrößerung der Wärmequelle



X Heizleistung / Heizlast [%] / Bivalenzpunkt [°C]

Y Vergrößerung Wärmequelle * f_Q [-]

1 Kennlinie Wärmequellenvergrößerung

Erdreich-Wärmepumpen

Checkliste Erdreichkollektor

Sole-Wasser-Wärmepumpen, Erdreichkollektor

- » Wurde geprüft, ob der Aufstellort der Wärmepumpe genehmigungspflichtig ist?
- » Wurde geprüft, ob der zu planende Erdwärmekollektor genehmigungspflichtig ist?
- » Wurde die Beschaffenheit des Untergrundes bekannt geprüft?
- » Wurde die mögliche Entzugsleistung des Untergrundes geprüft?
- » Wurde die Betriebsweise der Wärmepumpe festgelegt und ist diese geeignet?
- » Ist die Größe der Wärmequellen-Anlage entsprechend der Betriebsweise der Wärmepumpe?
- » Wurde die Leistung des Erdreichkollektors berücksichtigt?
- » Wurde der Rohrabstand des Erdreichkollektors so gewählt, dass Eisraden nicht zusammen wachsen können?
- » Ist die hydraulische Planung des Erdreichkollektors abgeschlossen?
- » Ist die gewählte Sole für den Betrieb des Erdreichkollektors zulässig?
- » Ist eine technisch sinnvolle Einbautiefe des Erdwärmekollektors gewählt worden?
- » Sind alle Erdarbeiten auf das Rohrmaterial und die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt?

Wärmeerzeugung

- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Wurde geprüft, ob die Installation der Wärmepumpenanlage die Genehmigung der örtlichen Energielieferanten voraussetzt?
- » Ist die Verfügbarkeit der notwendigen Stromversorgung sichergestellt?
- » Sind die Anforderungen der Energielieferanten erfüllt?
- » Sind die maximalen Stromaufnahmen während des Wärmepumpen-Anlaufs berücksichtigt worden?
- » Wurden die Anforderungen an den Aufstellort erfüllt?
- » Ist sichergestellt, dass die gewählte Wärmepumpe sowohl die Heiz- als auch Kühllast abdeckt?
- » Ist der zweite Wärmeerzeuger entsprechend der Anlagenplanung eingebunden?
- » Wurde die Anforderungen an die Warmwasserbereitung erfüllt?
- » Ist die Möglichkeit von Frostschäden ausgeschlossen?
- » Ist die Zugänglichkeit für die Installations- und Wartungsarbeiten gegeben?
- » Wurden notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen getroffen?
- » Wurde das Wärmepumpensystem mit geeigneten Sicherheits-einrichtungen versehen?
- » Sind eventuell notwendige Einrichtungen zur Überwachung von Betriebsbedingungen vorgesehen worden?
- » Sind die einzelnen Planungsstufen dokumentiert worden?
- » Ist das Wärmeverteilsystem auf die Heizlast und Wärmepumpen-Leistung ausgelegt?
- » Wurde geprüft, ob eine Aufteilung des gesamten Wärmeverteilsystems auf mehrere Verbraucherkreise notwendig ist?
- » Kann die geplante Anzahl von Verbrauchern durch die Regelung abgedeckt werden?
- » Wurde eine eventuelle übergeordnete Regelung bei der Planung entsprechend berücksichtigt?
- » Sind die einzelnen Heizkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Sind die einzelnen Kühlkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Ist die Taupunktüberwachung der einzelnen Kühlkreise gewährleistet?
- » Wurde ein eventuell notwendiges Pufferspeichersystem entsprechend berücksichtigt?

Notizen

Erdreich-Wärmepumpen

Erdreichsonde

Allgemeines

Erdwärmesonden bestehen aus einem Sondenfuß und endlosen vertikalen Sondenrohren.

Rohrdurchmesser		Tiefe	
25 x 2,3	mm	60	m
32 x 3	mm	100	m

Der Einbau erfolgt durch qualifizierte Bohrunternehmen.

Eine 50 Meter lange Erdwärmesonde besteht aus 200 Meter PE-Rohr: 2 x 50 Meter Vorlaufleitung und 2 x 50 Meter Rücklaufleitung.

Die Sonde wird in eine vorbereitete Erdbohrung eingebracht. Nach Einführen der Rohre werden die Bohrungen mit einer Suspension aus z. B. Bentonit verpresst. Die Suspension muss nach der Aushärtung eine dichte und dauerhafte, physikalisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein gewährleisten. Damit wird ein guter Wärmeübergang sichergestellt.

Auslegung

Die Auslegung erfolgt nach der Grundwasserströmung und der Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches.

Um dem Erdreich die erforderliche Kälteleistung zu entziehen, müssen bei größeren Anlagen mehrere Sonden parallel angeschlossen werden.

Entzugsleistung der Erdwärmesonden

Jede Erdwärmesonde hat eine spezifische Entzugsleistung pro Meter Erdwärmesonde.

Ohne Angaben der Bodenbeschaffenheit kann mit einer mittleren spezifischen Entzugsleistung von 50 W/m gerechnet werden.

Entzugsleistung (VDI 4640)

Boden	W/m
Untergrund mit hohem Grundwasserfluss	100
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	80
Festgestein mit normalem Untergrund	55
Schlechter Untergrund, trockene Sedimente	30



Hinweis

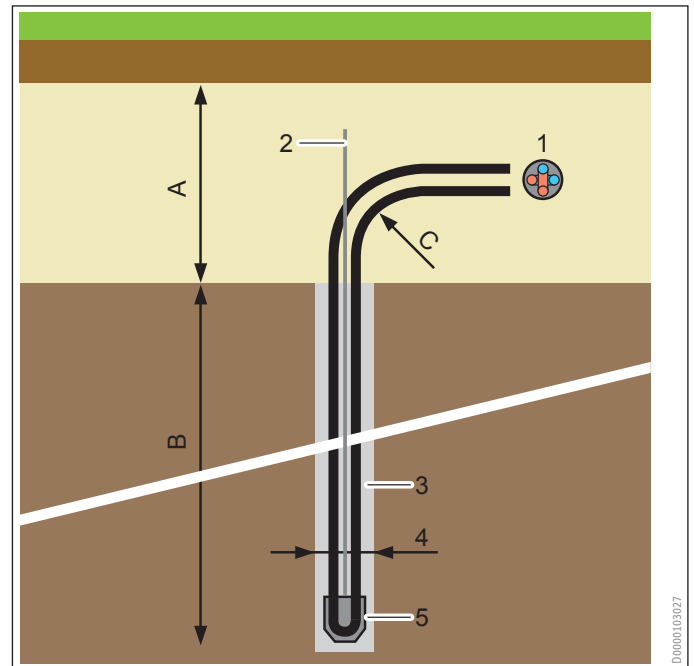
Die genaue Auslegung richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit und den wasserführenden Erdschichten. Die Bewertung kann erst vor Ort durch die ausführende Firma erfolgen.

Vorschriften in Deutschland

Erdwärmesonden-Anlagen bis maximal 100 m Tiefe müssen bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde angezeigt und ggf. genehmigt werden.

Bei Tiefen > 100 m ist eine Genehmigung des Oberbergbauamtes erforderlich.

U-Rohr-Sonde mit Sondenfuß



- A Sandbett, min. 20 cm
- B Erdreich / Bohrtiefe
- C Biegeradius 40 cm
- 1 4-Rohr-Sonde
- 2 Injektorrohr
- 3 Zement-Opalit-Suspension
- 4 Bohrdurchmesser 110 - 133 mm
- 5 Sondenfuß

Ländervergleich

In Frankreich muss jede Bohrung deren Tiefe >10 m ist, im Voraus angezeigt werden (Art. 131 des „Code Minier“). Wenn die Tiefe >100 m ist, muss eine Genehmigung eingeholt werden (Verordnung 79-48 vom 28 März 1978).



Hinweis

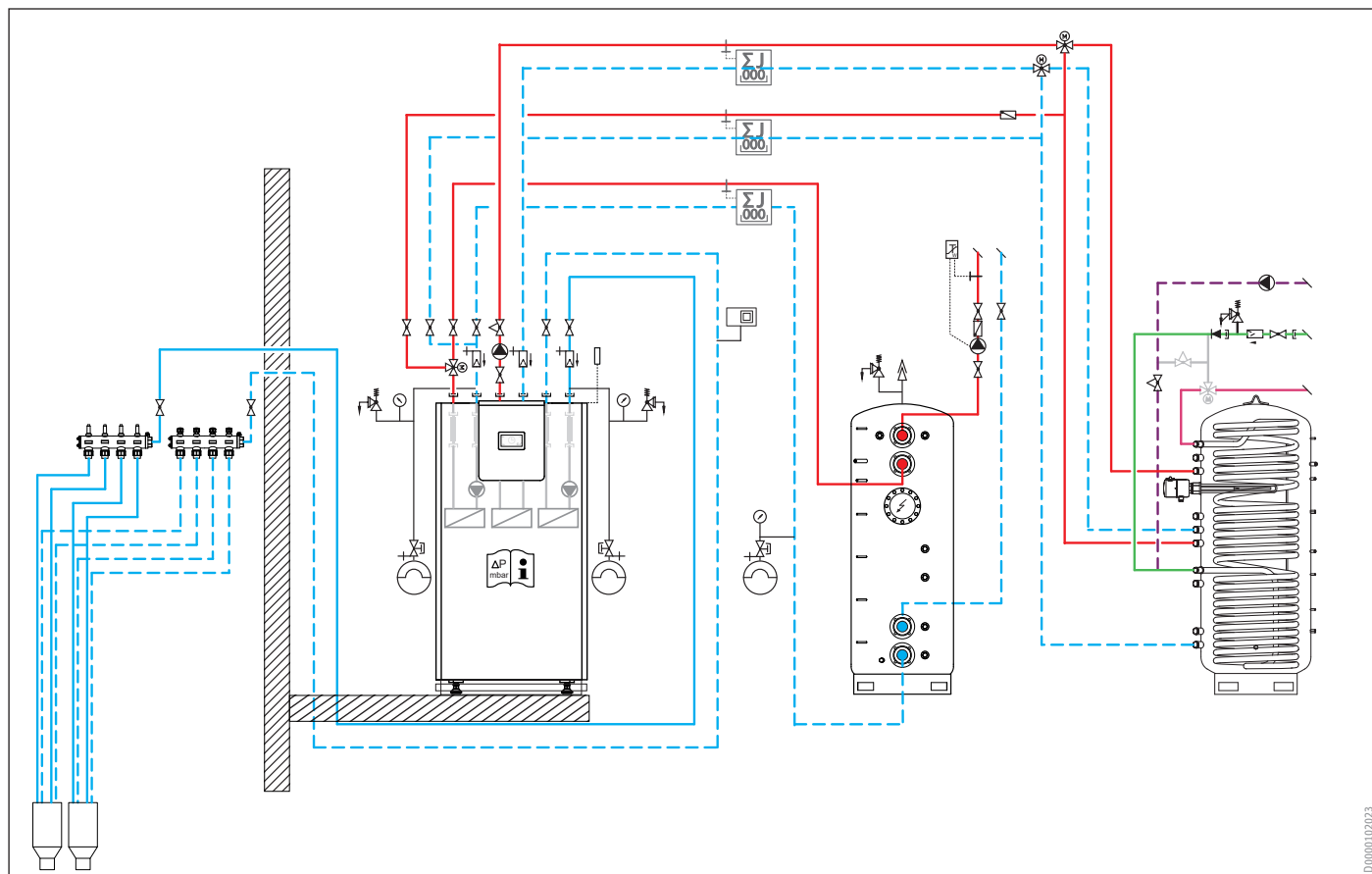
Beachten Sie die in Ihrem Land gültigen Normen und Vorschriften.

Erdreich-Wärmepumpen

Erdreichsonde

Installation

Wärmequelle Erdwärmesonde



D:\0000102023

Erdreich-Wärmepumpen

Checkliste Erdreichsonde

Sole-Wasser-Wärmepumpen, Erdreichsonde

- » Ein eventuell notwendiger thermischer Reaktionstest wurde durchgeführt?
- » Liegt die Genehmigung der zuständigen Behörden vor?
- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Ist die hydraulische Planung der Sondenanlage abgeschlossen?
- » Wurde die Betriebsweise der Wärmepumpe festgelegt und ist diese geeignet?
- » Ist die Größe der Wärmequellen-Anlage entsprechend der Betriebsweise der Wärmepumpe?

Wärmeerzeugung

- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Wurde geprüft, ob die Installation der Wärmepumpenanlage die Genehmigung der örtlichen Energielieferanten voraussetzt?
- » Ist die Verfügbarkeit der notwendigen Stromversorgung sichergestellt?
- » Sind die Anforderungen der Energielieferanten erfüllt?
- » Sind die maximalen Stromaufnahmen während des Wärmepumpen-Anlaufs berücksichtigt worden?
- » Wurden die Anforderungen an den Aufstellort erfüllt?
- » Ist sichergestellt, dass die gewählte Wärmepumpe sowohl die Heiz- als auch Kühllast abdeckt?
- » Ist der zweite Wärmeerzeuger entsprechend der Anlagenplanung eingebunden?
- » Wurden die Anforderungen an die Warmwasserbereitung erfüllt?
- » Ist die Möglichkeit von Frostschäden ausgeschlossen?
- » Ist die Zugänglichkeit für die Installations- und Wartungsarbeiten gegeben?
- » Wurden notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen getroffen?
- » Wurde das Wärmepumpensystem mit geeigneten Sicherheits-einrichtungen versehen?
- » Sind eventuell notwendige Einrichtungen zur Überwachung von Betriebsbedingungen vorgesehen worden?
- » Sind die einzelnen Planungsstufen dokumentiert worden?
- » Ist das Wärmeverteilsystem auf die Heizlast und Wärmepumpen-Leistung ausgelegt?
- » Wurde geprüft, ob eine Aufteilung des gesamten Wärmeverteilsystems auf mehrere Verbraucherkreise notwendig ist?
- » Kann die geplante Anzahl von Verbrauchern durch die Regelung abgedeckt werden?
- » Wurde eine eventuelle übergeordnete Regelung bei der Planung entsprechend berücksichtigt?
- » Sind die einzelnen Heizkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Sind die einzelnen Kühlkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Ist die Taupunktüberwachung der einzelnen Kühlkreise gewährleistet?
- » Wurde ein eventuell notwendiges Pufferspeichersystem entsprechend berücksichtigt?

Notizen

Wärmequelle Wasser

Wärmequellen-Anlage

Wärmequellen-Anlage

Für die Wärmenutzung aus dem Grundwasser sind ein Förderbrunnen und ein Schluckbrunnen notwendig.

Die zur Verfügung stehende Wasserqualität muss durch eine Wasseranalyse festgestellt werden.

Der erforderliche Volumenstrom (Wassermenge der WQA) muss den Anforderungen der Wärmepumpe entsprechen.

Ob die für die Wärmepumpe notwendige Wassermenge tatsächlich zur Verfügung steht, muss durch einen mehrtägigen Pumpversuch ermittelt werden.

Da die Menge und die Qualität des Wassers unverändert bleiben, liegt durch den Wärmepumpen-Prozess keine störende Beeinflussung im Sinne der Wasser-Haushaltsgesetze vor.

In Deutschland muss der Wärmepumpen-Betreiber die Wassernutzung bei der zuständigen Wasserbehörde beantragen.

Ausführung der Brunnen

Der Abstand zwischen beiden Brunnen muss mindestens 15 m betragen. Über den Schluckbrunnen wird die entnommene Wassermenge dem Grundwasser wieder zugeführt. Beim Bau der Brunnen muss darauf geachtet werden, dass das abgekühlte Wasser des Schluckbrunnens nicht wieder in den Bereich des Förderbrunnens gelangt.

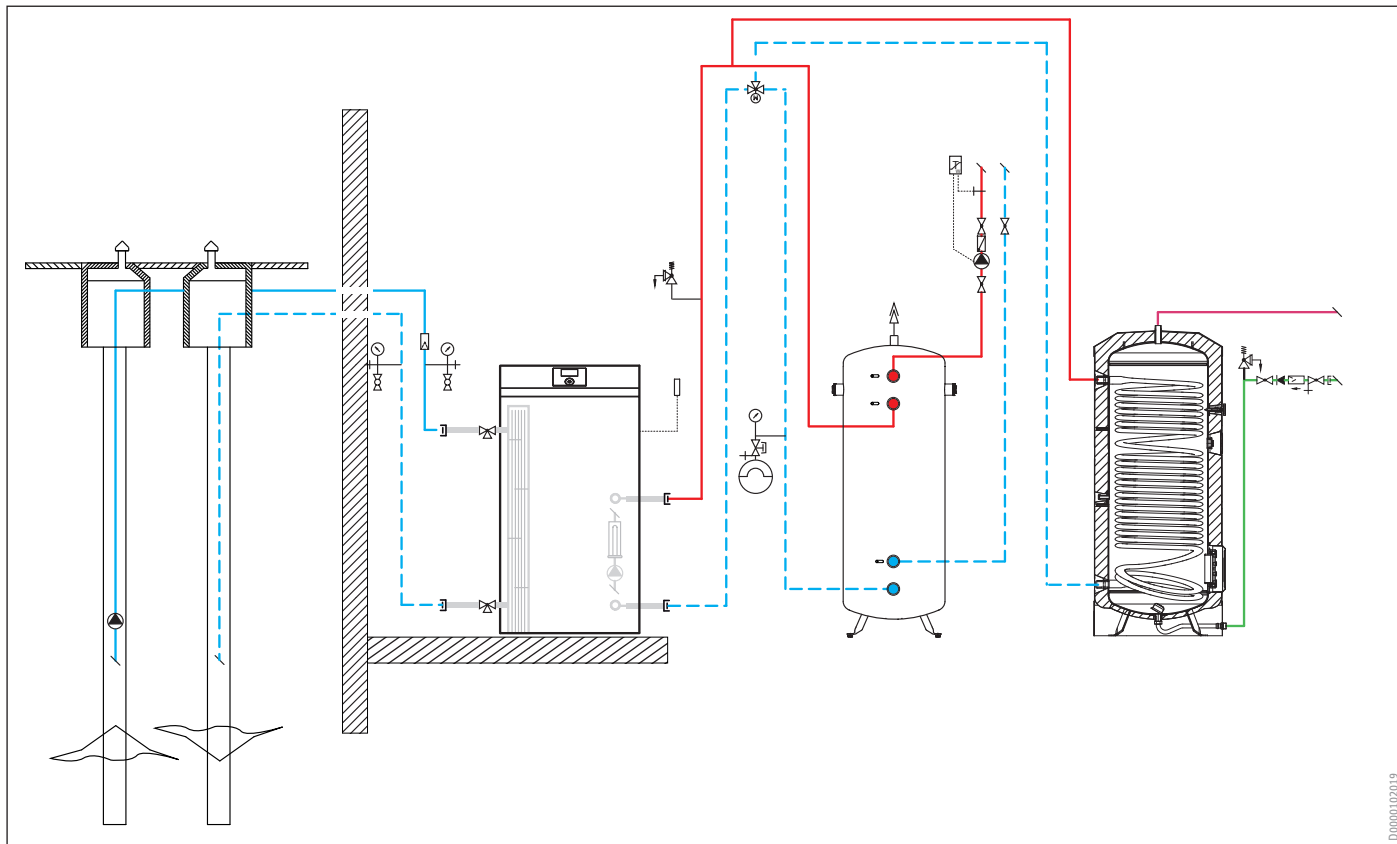
Die Tiefe der Brunnenbohrungen hängt vom Grundwasserspiegel ab. Erfahrungswerte zeigen, dass die meisten Brunnen für Wärmepumpen eine Tiefe zwischen 5 m und 15 m erfordern.

Rohrleitungen

Die Rohrleitungen müssen mit Gefälle zum Brunnen verlegt werden.

Wärmequelle Wasser Brunnenanlage

Brunnenanlage



D0000102019

Wärmequelle Wasser

Brunnenpumpe

Brunnenpumpe

Die Umwälzpumpe der Wärmequellen-Anlage muss nach den anlagenspezifischen Gegebenheiten ausgelegt werden. Die Dimensionierung der Brunnenpumpe erfolgt unter Zugrundelegung folgender Daten:

- » Wärmequellenseitiger Volumenstrom der Wärmepumpe
- » Wärmequellenseitige Druckdifferenz der Wärmepumpe
- » Druckdifferenz der Rohrleitung vom Förderbrunnen bis zum Schluckbrunnen
- » Erfahrungsgemäß haben Einzelwiderstände, wie Armaturen und Rückschlagklappen, Druckverluste von bis zu 30%, die additiv auf die Druckverluste der Rohrleitungen addiert werden müssen.
- » Druckverlust im Schluckbrunnen. Praxiswert: ca. 200 hPa
- » Geodätische Förderhöhe des Brunnensystems

Aus der Summe der Druckdifferenzen und dem Volumenstrom der Wärmepumpe kann die Brunnenpumpe aus den Herstellerdiagrammen ermittelt werden.

Wassertemperatur

Die Heizungs-Wärmepumpe ist bei Anwendung als Wasser-Wasser-Wärmepumpe bis zur minimalen Wärmequellen-Temperatur einsetzbar. Die minimale Wärmequellen-Temperatur ist produktspezifisch.

Hydraulischer Anschluss

Um die Übertragung von Geräuschen weit gehend zu vermeiden, muss der Wärmequellen-Kreislauf mit flexiblen Druckschläuchen angeschlossen werden.

Feststoffanteile im Brunnenwasser

Im Brunnenwasser mitgeführte Feststoffanteile, wie z. B. Sand und feiner Schlamm, können zum Verstopfen von Wärmeübertragern führen.

Bei einem hohen Anteil von Feststoffen im Brunnenwasser müssen zusätzliche Absetzbecken und Vorfilter eingeplant werden.

Brunnenpumpe



x Volumenstrom [m³/h]
y Förderhöhe [m]

D 0000103028

Wärmequelle Wasser

Zwischenwärmeübertrager

Zwischenkreis

Wenn ein Zwischenkreis vorgesehen ist, können auch Sole-Wasser-Wärmepumpen mit der Wärmequelle Grundwasser betrieben werden.

Für die Trennung zwischen Brunnen- und Wärmequellen-Kreislauf müssen geeignete Platten-Wärmeübertrager für die entsprechende Wasserqualität eingesetzt werden. Der Zwischenkreis muss mit Frostschutzmittel gefüllt und mit Sicherheitsarmaturen und Umwälzpumpe ausgestattet werden.

Die Wärmequellentemperatur ist bei Wärmepumpen mit Zwischenwärmeübertrager ca. 1-2 K niedriger als die Grundwassertemperatur. Die geringere Quelltemperatur muss bei der Auswahl der Wärmepumpe und des Auslegungspunktes berücksichtigt werden.

Erforderliche Wasserqualität

Typische Probleme bei der Nutzung von Grundwasser sind:

- » Erosion am Wärmeübertrager und an Wasserzuleitungen
- » Korrosion des Wärmeübertragers
- » Verschlammen bzw. Verstopfen von Wärmeübertrager und Zuleitungen
- » Verockerung (Zusetzen) des Schluckbrunnens

Zur Vermeidung dieser Probleme muss die Qualität des Grundwassers folgenden Anforderungen entsprechen:

- » Im Wasser dürfen keine absetzbaren Stoffe enthalten sein.
- » Oberflächenwasser darf nicht verwendet werden.
- » Salzhaltiges Wasser darf nicht verwendet werden.

Wärmequelle Wasser

Checkliste Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Brunnenanlage

- » Ist die Leistungsfähigkeit der Brunnenanlage für die dauerhafte Gewinnung und Rückführung des zur Deckung des Energiebedarfs erforderlichen Volumenstrom gewährleistet?
- » Wurde geprüft, ob vorab eine numerische, hydraulisch-thermische Grundwassermodellierung erfolgen muss?
- » Ist sichergestellt, dass das thermisch veränderte Grundwasser in vollem Umfang in das Entnahme-Grundwasserstockwerk zurückgeleitet wird?
- » Ist eine Vernässung des Geländes und Beeinträchtigung des Gebäudes durch den Brunnenbetrieb ausgeschlossen?
- » Erfolgt die Wiedereinleitung in einem ausreichendem Abstand zum Förderbrunnen, so dass ein thermischer Kurzschluss ausgeschlossen ist?
- » Ist das Grundwasser für den Betrieb einer Wärmepumpenanlage chemisch geeignet?

Wärmeerzeugung

- » Wurden die Ergebnisse der Heizlastberechnung berücksichtigt?
- » Wurden die Ergebnisse der Kühllastberechnung berücksichtigt?
- » Wurde geprüft, ob die Installation der Wärmepumpenanlage die Genehmigung der örtlichen Energielieferanten voraussetzt?
- » Ist die Verfügbarkeit der notwendigen Stromversorgung sichergestellt?
- » Sind die Anforderungen der Energielieferanten erfüllt?
- » Sind die maximalen Stromaufnahmen während des Wärmepumpen-Anlaufs berücksichtigt worden?
- » Wurden die Anforderungen an den Aufstellort erfüllt?
- » Ist sichergestellt, dass die gewählte Wärmepumpe sowohl die Heiz- als auch Kühllast abdeckt?
- » Ist der zweite Wärmeerzeuger entsprechend der Anlagenplanung eingebunden?
- » Wurden die Anforderungen an die Warmwasserbereitung erfüllt?
- » Ist die Möglichkeit von Frostschäden ausgeschlossen?
- » Ist die Zugänglichkeit für die Installations- und Wartungsarbeiten gegeben?
- » Wurden notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen getroffen?
- » Wurde das Wärmepumpensystem mit geeigneten Sicherheits-einrichtungen versehen?
- » Sind eventuell notwendige Einrichtungen zur Überwachung von Betriebsbedingungen vorgesehen worden?
- » Sind die einzelnen Planungsstufen dokumentiert worden?
- » Ist das Wärmeverteilsystem auf die Heizlast und Wärmepumpen-Leistung ausgelegt?
- » Wurde geprüft, ob eine Aufteilung des gesamten Wärmeverteilsystems auf mehrere Verbraucherkreise notwendig ist?
- » Kann die geplante Anzahl von Verbrauchern durch die Regelung abgedeckt werden?
- » Wurde eine eventuelle übergeordnete Regelung bei der Planung entsprechend berücksichtigt?
- » Sind die einzelnen Heizkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Sind die einzelnen Kühlkreise auf das Temperaturniveau der Wärmepumpe ausgelegt worden?
- » Ist die Taupunktüberwachung der einzelnen Kühlkreise gewährleistet?
- » Wurde ein eventuell notwendiges Pufferspeichersystem entsprechend berücksichtigt?

Notizen



www.stiebel-eltron.com

STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG | Dr.-Stiebel-Straße 33
37603 Holzminden | www.stiebel-eltron.de

STIEBEL ELTRON