

Einführung - Themenumfang

Vorstellung Dozent

Michael Cremer Dipl-Ing (FH) Luft- und Raumfahrt

Lehrbeauftragter im Fachbereich Mathematik und
Naturwissenschaften

mail: Michael.cremer@h-da.de

Themenumfang

Technische Grundlagen

Organisatorisches

Einschreibeschlüssel für Moodle: EW-Geb

Einführung – Organisatorisches – Themen

Die Agenda für die nächsten (Teil-)Vorlesungen Gebäudetechnik

- 17.04.2025: Einführung zum Thema – Überblick
- 24.04.2025: Wärmeerzeugungsanlagen für gasförmige / flüssige Brennstoffe
- **Achtung: einmalige Abweichung vom 14-tägigen Turnus**
- 15.05.2025: Wärmepumpen/ Ressourcenschonende Wärmeerzeugungsanlagen
- **12.06.2025: Vertiefung Wärmepumpen (Arten-Bauformen etc.)**
- 26.06.2025: Wärmeverteilungssysteme
- 10.07.2025: Raumluftechnische Anlagen

Grundprinzip einer Wärmepumpe:

Allgemeine Gasgleichung: $p = \rho \cdot R \cdot T$

p - Druck

ρ – Dichte

R – Gaskonstante

T – Temperatur

Wiederholung

Grundprinzip einer Wärmepumpe:

aus der Allgemeinen Gasgleichung ergibt sich eine Abhängigkeit von Druck und Temperatur:

$$\rho - \text{Dichte ist} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \rightarrow \text{Daher: } p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

mit R – Gaskonstante und m-Masse konstant gilt:

$$\rightarrow p \cdot V \approx T$$

→ die Temperatur wird also bestimmt vom Verhältnis von Druck und Volumen

Wiederholung

Grundprinzip einer Wärmepumpe:

Was folgt aus der Allgemeinen Gasgleichung?

- Gase können durch Kompression stark erwärmt werden
- Gase können durch Expansion stark abgekühlt werden

Wiederholung

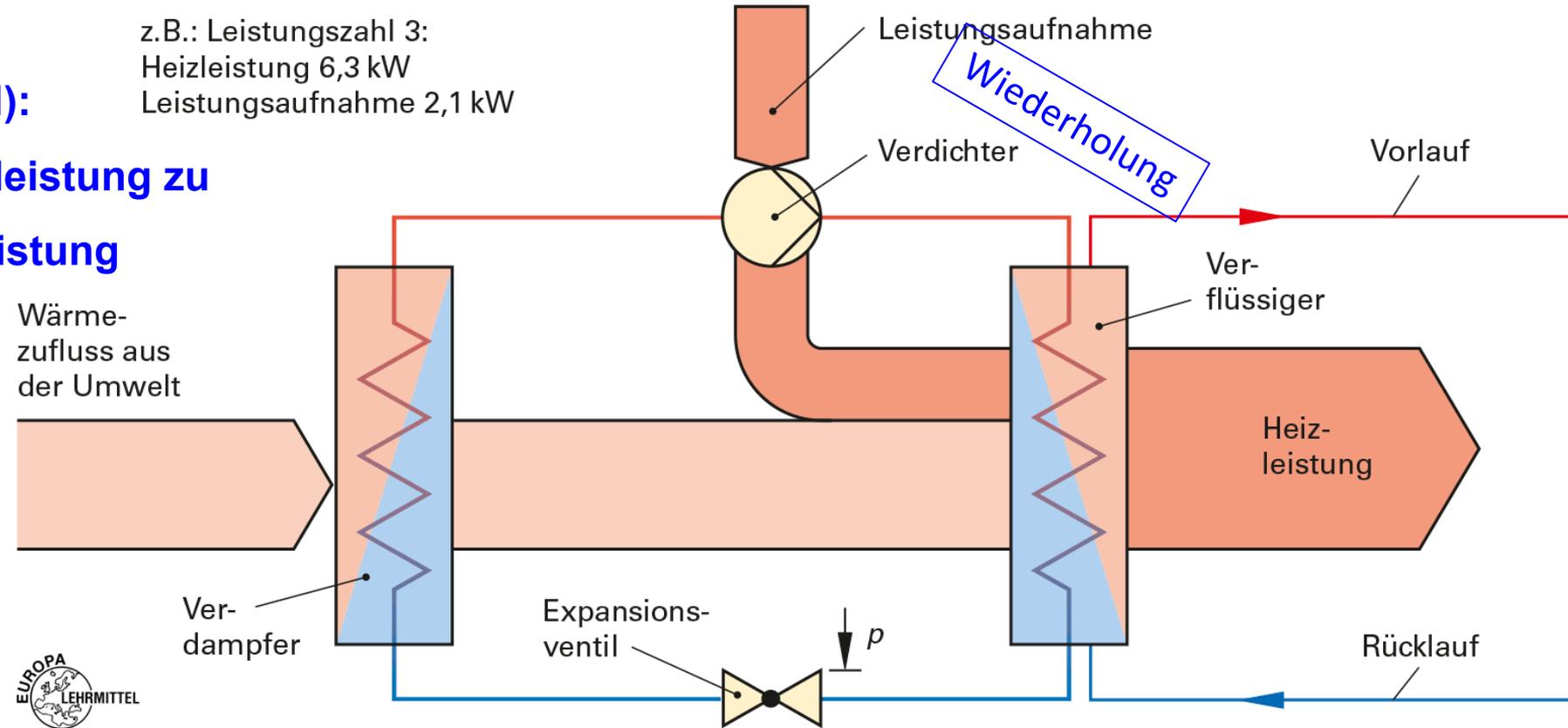
Wärmepumpen-Prinzip

- Wärmepumpen – Grundprinzip

- COP (Leistungszahl):

Verhältnis von Heizleistung zu
aufgenommener Leistung

z.B.: Leistungszahl 3:
Heizleistung 6,3 kW
Leistungsaufnahme 2,1 kW



Berechnung

- Wärmepumpen – Leistungszahl - Arbeitszahl
- COP (Leistungszahl) = $\frac{\text{Wärmestrom}}{\text{Heizleistung}}$
- Arbeitszahl = $\frac{\text{Summe Wärmeenergie}}{\text{Summe el. Energieaufnahme}}$

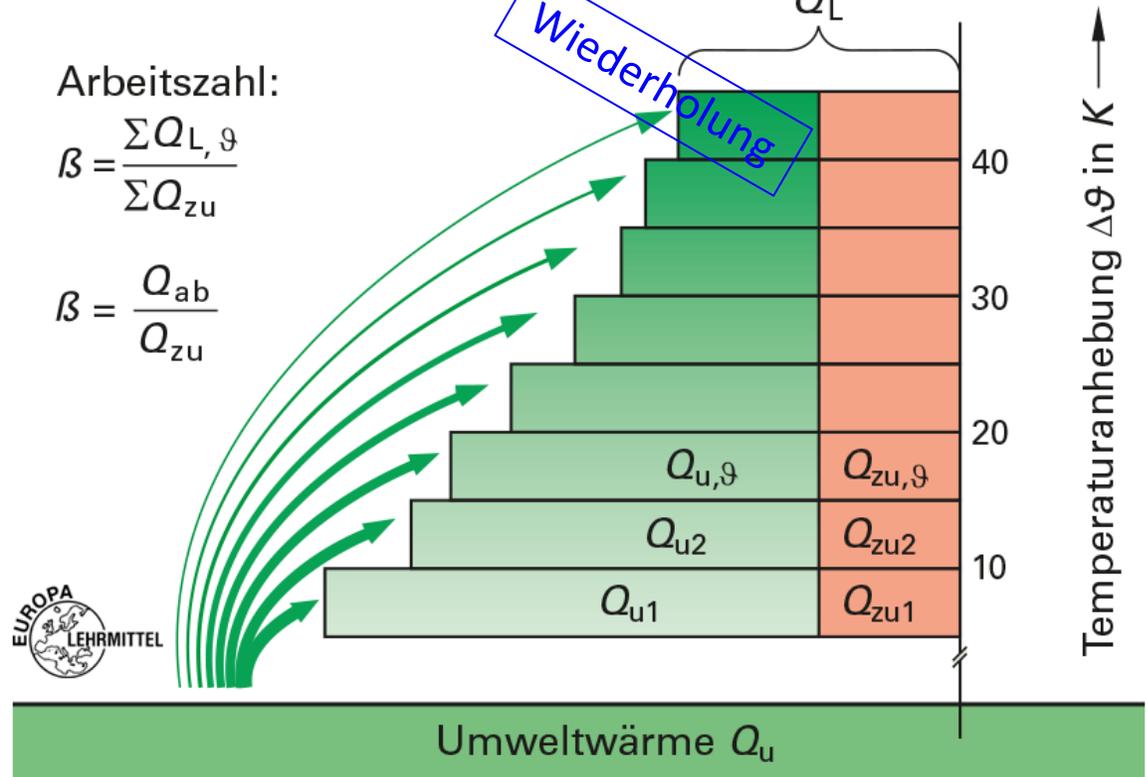
VDI 4650 Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen

Leistungszahl: $\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{L, \vartheta}}{\dot{Q}_{zu, \vartheta}}$; $\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P_{zu}}$; $\varepsilon = \frac{\Phi_{ab}}{P_{zu}}$

Arbeitszahl:

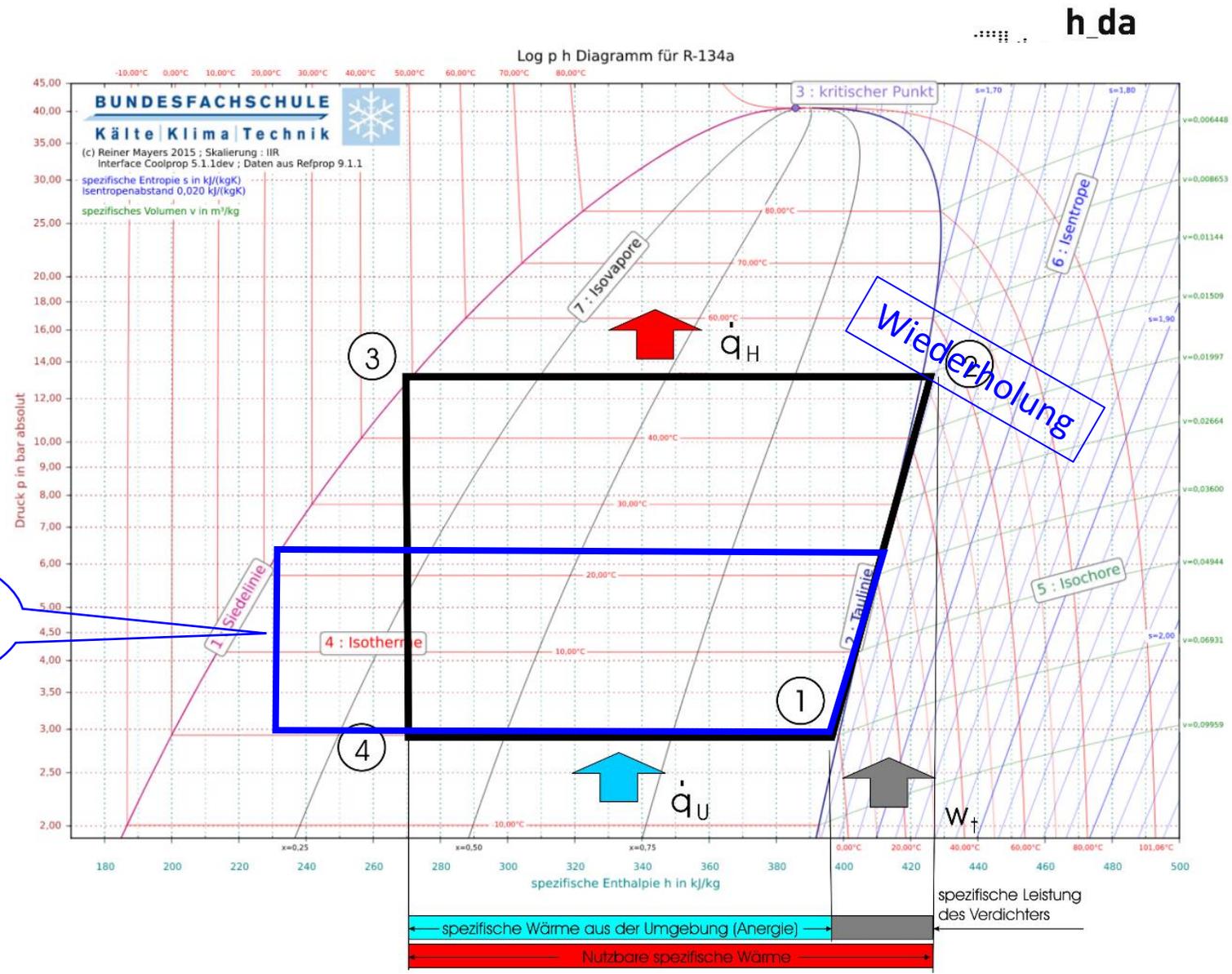
$$\beta = \frac{\sum Q_{L, \vartheta}}{\sum Q_{zu}}$$

$$\beta = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$



p,h-Diagramm:

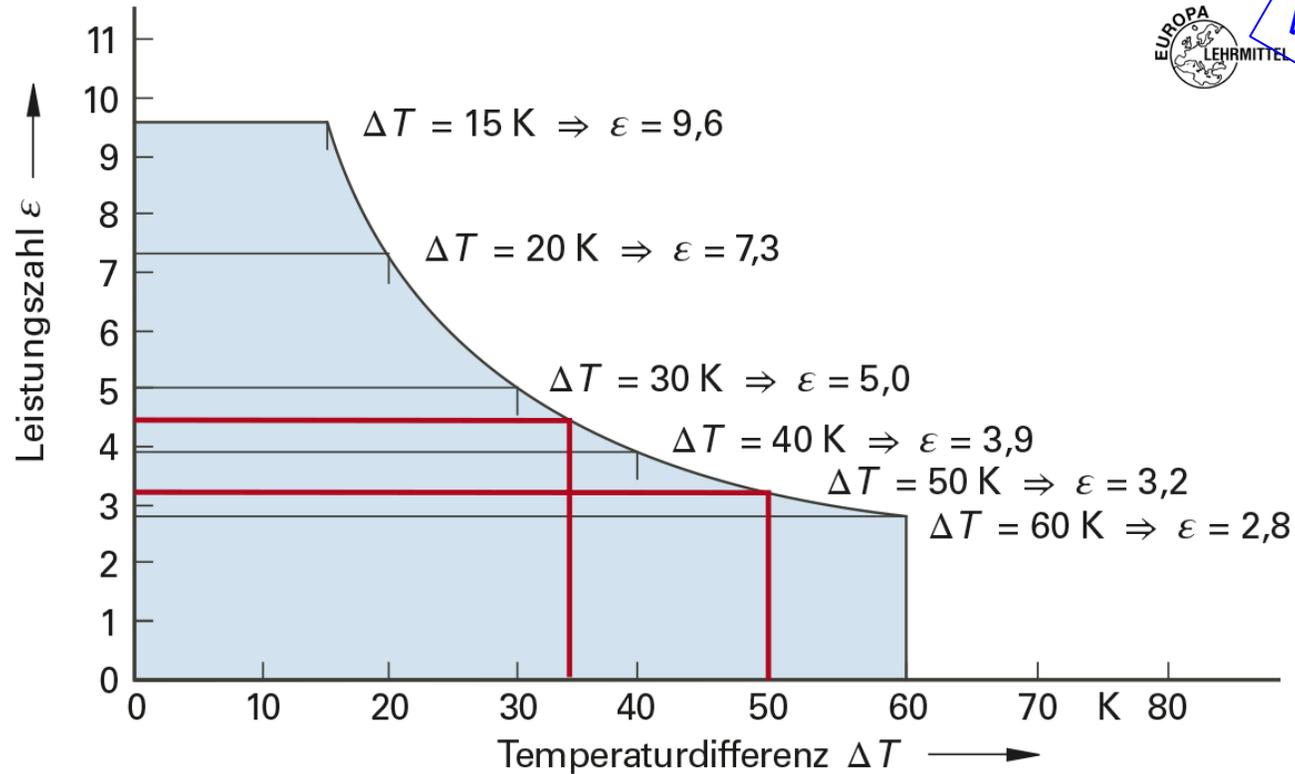
Niedriges
Temperaturniveau



h_da

Neuere Heizsysteme

- Wärmepumpen – Leistungszahl - Arbeitszahl
- Abhängigkeit der Leistungszahl von der Temperaturdifferenz

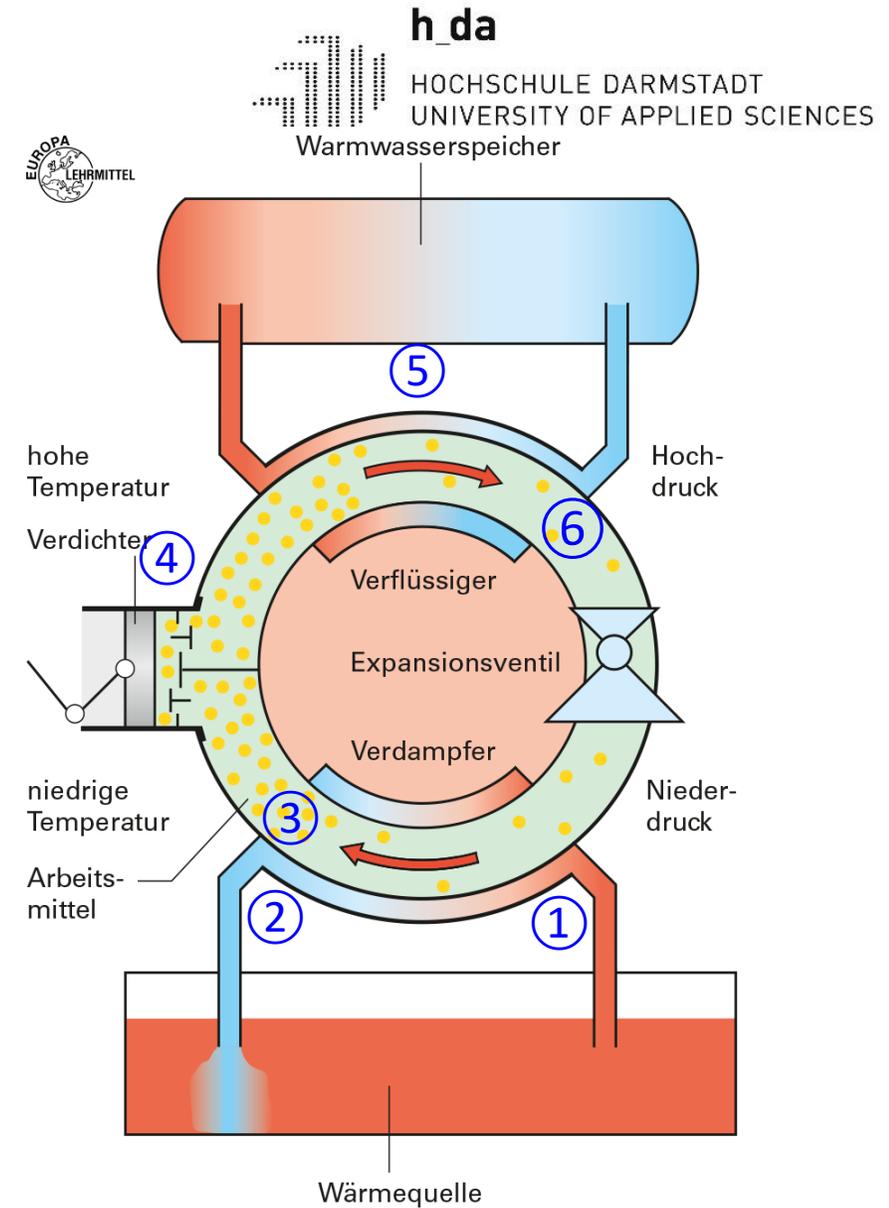
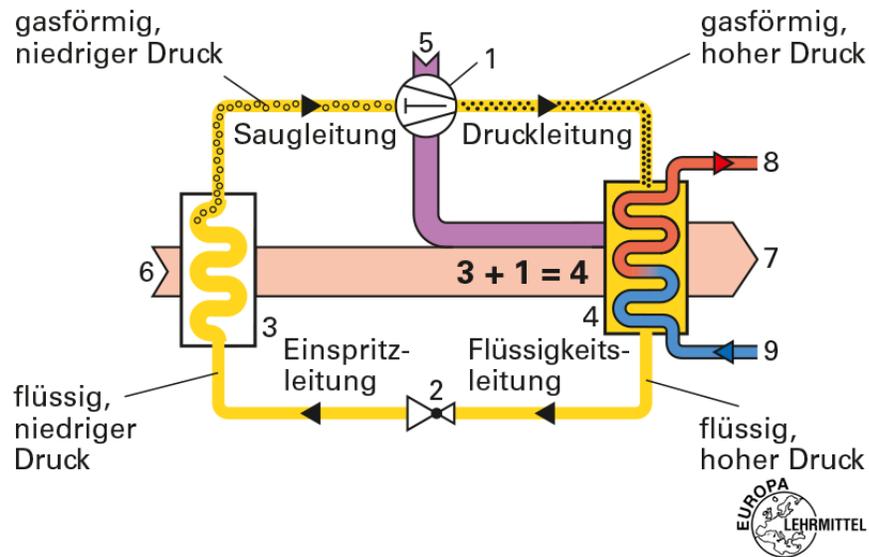


Wiederholung

Neuere Heizsysteme

Wärmepumpen – Funktionsschema

- Arbeitsmedium wird angesaugt (aus WÜT Luft, Grundwasser etc.) ①
- und kühlt dabei ab ②
- Das (jetzt gasförmige) Kältemittel nimmt dabei die Wärme auf ③
- wird verdichtet (Temperatur des Mediums steigt – Medium gasförmig!) ④
- Das Kältemittel gibt seine Wärme an den Wärmeträger (Wasser) ab ⑤
- Das Kältemittel wird expandiert und kondensiert dabei (kühlt stark ab) ⑥



Wärmepumpen-Typen

- **Luft/Luft- ; Luft/Wasser-; Wasser/Wasser-; und Sole/Wasser-WP:**
- **Quelle Luft: neben der typischerweise verwendeten Frischluft aus der Umgebung bietet sich auch Abluft an (z.B. Kellerluft für Warmwasser-WP, Abluft aus Hallen-Entlüftungen, Industrieprozessen etc.)**
- **Quelle Wasser: Beispiel Flusswärmepumpe Mannheim, Abwasser aus Siedlungen oder Industriebetrieben (z.B. Papierfabriken)**
- **Quelle Sole: im Erdkollektor angewandte Wärmeüberträger, aber auch "Sole" aus geothermischen Quellen – Stichwort "kalte Nahwärme"**
- **Übliche Quelltemperaturen der Luft: -10°C bis $+12^{\circ}\text{C}$ Wasser/Sole: 0°C – 15°C**
- **Temperatur des Kältemittels: ca -40°C (bis -60°C)**
- **Kondensationstemperatur (druckabhängig) bei ca. $40-70^{\circ}\text{C}$ (Kältemittel)**

Ungewöhnliche Wärmepumpen-Typen

- **Sorptionswärmepumpe**
- **Sorption beschreibt den technischen Vorgang einer Anlagerung oder Abspaltung**

Genaue Definition:

Unter Sorption versteht man die Anlagerung eines chemischen Spezies aus der wäßrigen Phase auf eine angrenzende feste Phase. Der aufnehmende (sorbierende) Stoff wird als Sorbens, der aufgenommene (sorbierte) als Sorbat bezeichnet.

Quelle: Helmholtz-Institut – siehe:

<https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=12734&pNid=0&pLang=de>

Ungewöhnliche Wärmepumpen-Typen

- **Absorptionswärmepumpe / Adsorptionswärmepumpe**
- Die Absorptionswärmepumpe verwendet eine Flüssigkeit
- Die Adsorptionswärmepumpe nutzt einen Feststoff
 - um ein Kältemittel zu ab-/adsorbieren und wieder abzugeben und
 - damit um Wärme zu transportieren

Ungewöhnliche Wärmepumpen-Typen

- **Absorptionswärmepumpe**

Im Verdampfer wird das flüssige Kältemittel zunächst unter Wärmezufuhr verdampft.

Der Kältemitteldampf wird einem Absorber zugeführt, wo es von einem Lösungsmittel absorbiert wird. Durch die Absorption wird Wärme frei, mit der der zu beheizende Bereich wie beispielsweise Brauchwasser erwärmt werden kann.

Anschließend wird das flüssige Lösungsmittelgemisch mithilfe einer Pumpe dem Desorber zugeführt. Dort werden das Lösungsmittel und das Kältemittel durch Wärmezufuhr voneinander getrennt.

Das Kältemittel wird nach der Desorption im Kondensator verflüssigt.

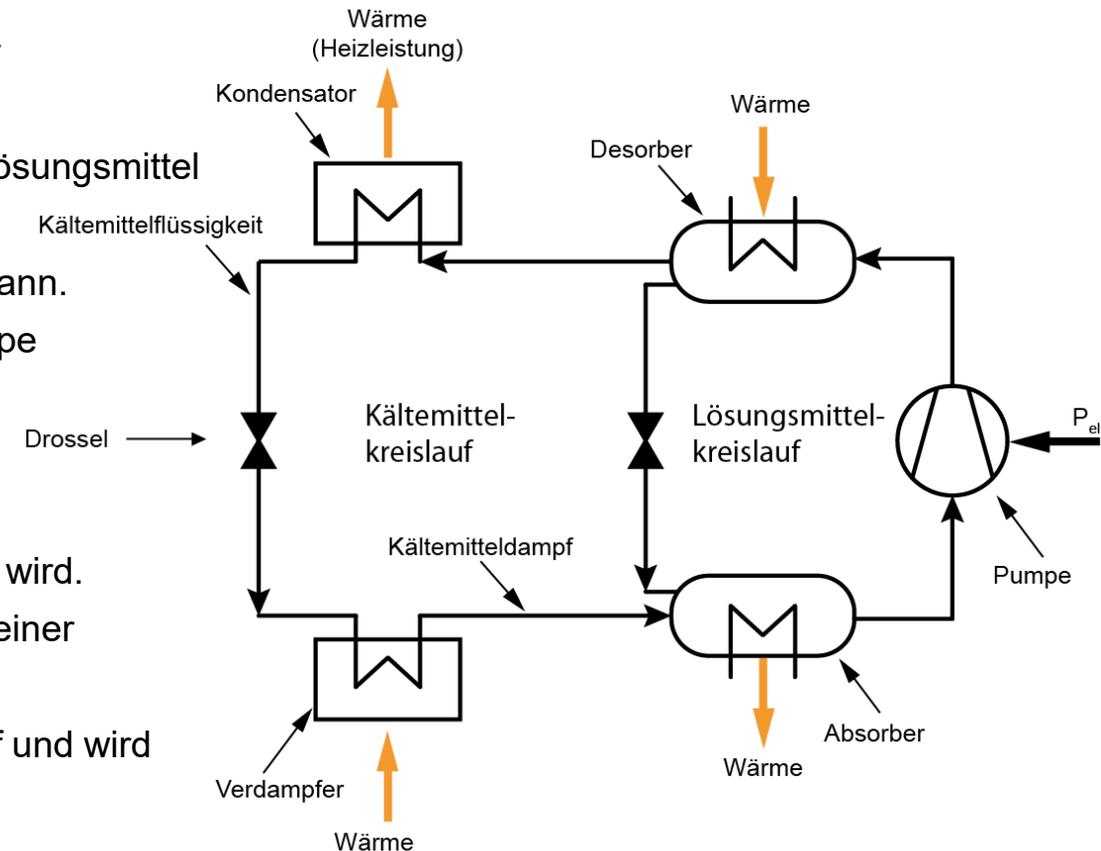
Durch diesen Prozess wird Wärme frei, die als Heizleistung bereitgestellt wird.

Um den Kreisprozess zu schließen, wird das flüssige Kältemittel mithilfe einer Drossel entspannter dem Verdampfer zugeführt.

Das Lösungsmittel verbleibt in einem gesonderten Lösungsmittelkreislauf und wird über eine Drossel zurück in den Absorber geführt.

Dort wird es fein zerstäubt, um erneut Kältemittel zu absorbieren.

Quelle https://enargus.de/pub/bscw.cgi/d366-2/*/*/*Absorptionsw%C3%A4rmepumpe?op=Wiki.getwiki&search=MBA



Ungewöhnliche Wärmepumpen-Typen

- **Adsorptionswärmepumpe**

Im Verdampfer wird das flüssige Kältemittel unter Wärmezufuhr verdampft.

Das gasförmige Kältemittel wird anschließend dem Adsorber zugeführt.

Dort wird der Kältemitteldampf von einem Feststoff adsorbiert.

Als Adsorptionsmittel wird beispielsweise Zeolith eingesetzt.

Durch die Adsorption wird Wärme frei, die als Heizleistung zur Verfügung steht.

Nach der Adsorption des Kältemittels wird dieses durch Wärmezufuhr im

selben Bauteil, das nun als Desorber dient, wieder ausgetrieben,

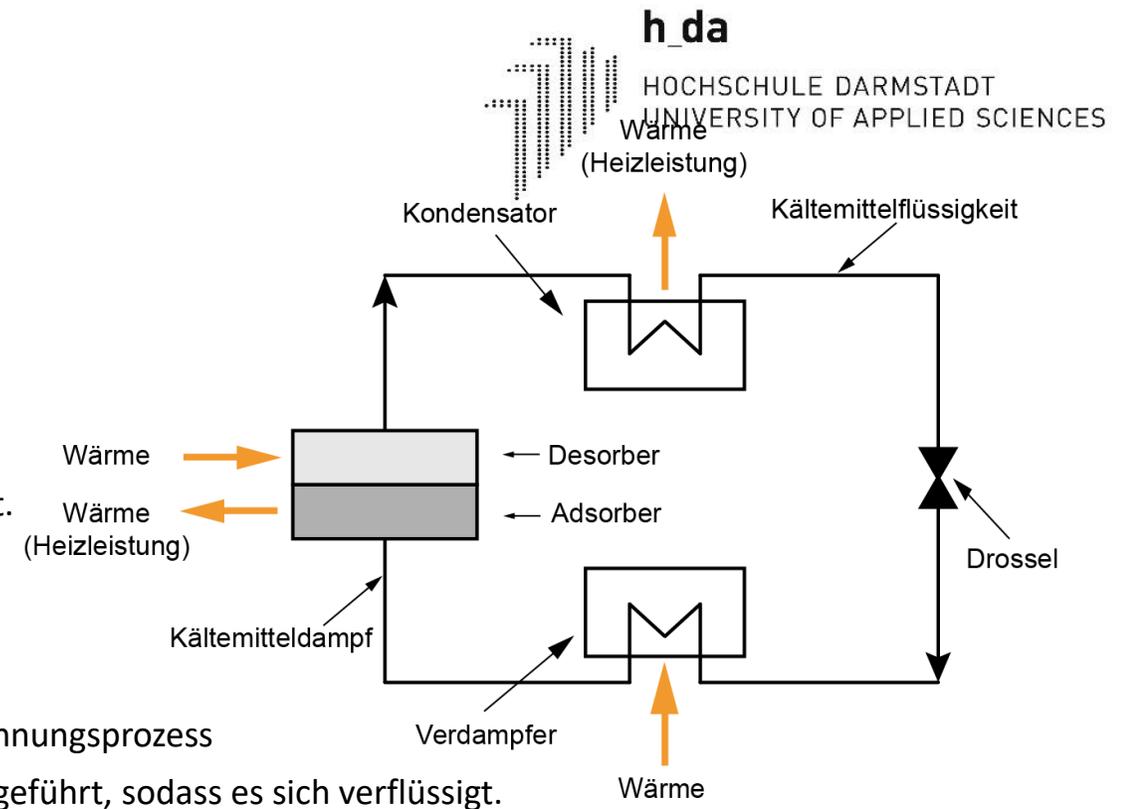
also vom Feststoff gelöst. Dieser Schritt wird als Desorption bezeichnet.

Die notwendige Wärme wird dabei beispielsweise von einem externen Verbrennungsprozess

bereitgestellt. Nach dem Austreiben wird das Kältemittel dem Kondensator zugeführt, sodass es sich verflüssigt.

Zudem entsteht durch die Kondensation erneut Wärme, die als Heizleistung zur Verfügung steht.

Anschließend wird das Kältemittel durch eine Drossel entspannt und wieder dem Verdampfer zugeführt.



Quelle https://enargus.de/pub/bscw.cgi/d474-2/*/*Adsorptionsw%c3%a4rmepumpe?op=Wiki.getwiki&search=BSH

Ungewöhnliche Wärmepumpen-Typen

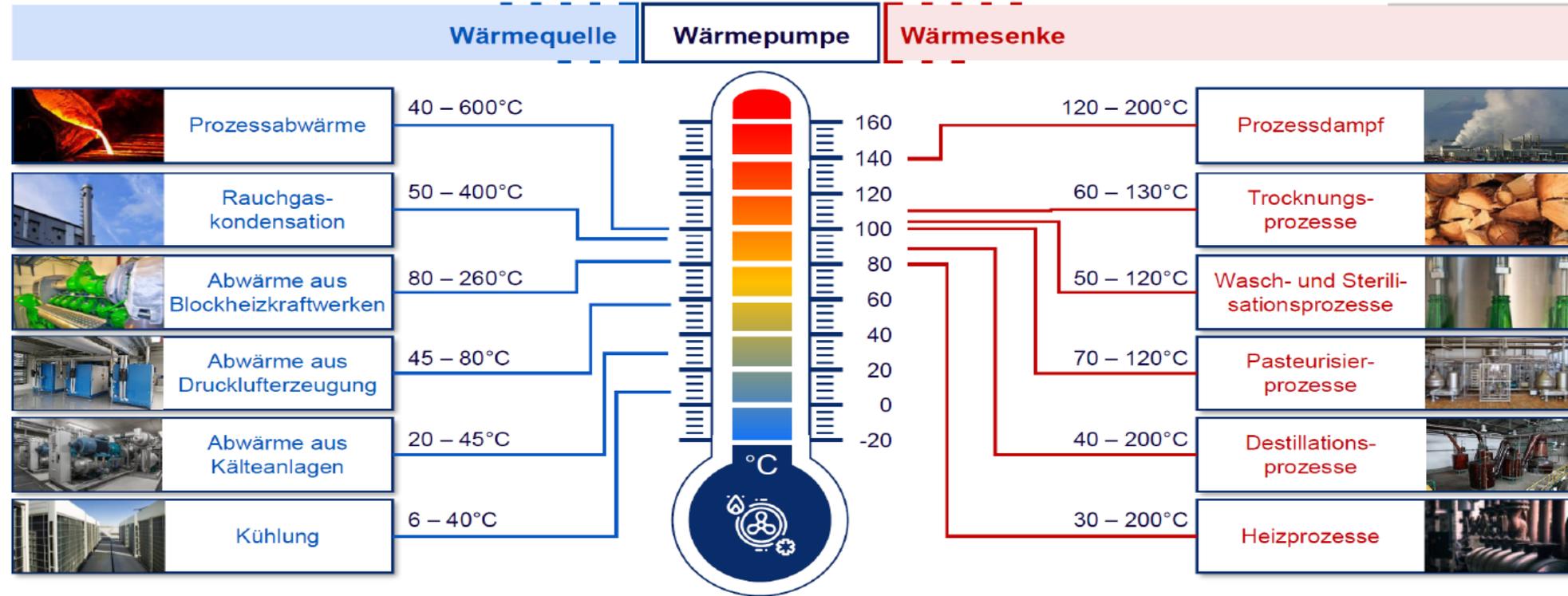
- **Vergleich Absorptions / Adsorptionswärmepumpe**

Absorption	Adsorption
Kältemittel wird verdampft und in Lösungsmittel angelagert	Kältemittel wird verdampft und an Feststoff angelagert
Pumpe, um Kältemittel im Desorber auszutreiben	Austreiben durch Wärmezufuhr in den Feststoff
Nach dem Austreiben geht Kältemittel in den Kondensator (Verflüssigung = Wärmeabgabe)	
Zerstäubung des Kältemittels	Drossel (= Druckabbau) -> Rückführung in den Kreislauf

Quelle https://enargus.de/pub/bscw.cgi/d474-2/*/* /Adsorptionsw%c3%a4rmepumpe?op=Wiki.getwiki&search=BSH

Hochtemperatur-Wärmepumpen

Grundlagen // Einsatzgebiete nach Quellen- und Senkentemperatur



Quelle: Studie „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ Arthur D. Little 2021

Funktion:

Kältemittel // Auswahlkriterien für das Arbeitsfluid



Thermische
Eignung

*Hohe kritische
Temperatur,
niedriger Siedepunkt*

Abhängig vom
Anwendungsfall

Quelle: Studie „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ Arthur D. Little 2021



Sicherheit

*Nicht toxisch, nicht
brennbar, nicht
explosiv*

Sicherheits-
vorschriften je
nach Wahl des
Arbeitsfluids



Umwelt-
verträglichkeit

*Niedriger ODP,
niedriger GWP*

F-Gas-
Verordnung
reguliert umwelt-
schädliche
Arbeitsfluide



Effizienz

*Hoher COP,
niedriges
Druckverhältnis*

Optimierung zwischen Effizienz
und volumetrische Heizleistung
des Arbeitsfluids hat großen
Einfluss auf die Dimensionierung
der HTWP

Quelle: MVV



Volumetrische
Heizleistung

*Hohe Heizleistung,
niedrige Kompressor-
leistung nötig*



Hochtemperaturwärmepumpe - Industrielle Wärmeerzeugung ohne Erdgas



Kosten und
Verfügbarkeit

*Niedrige Kosten
und hohe
Verfügbarkeit*

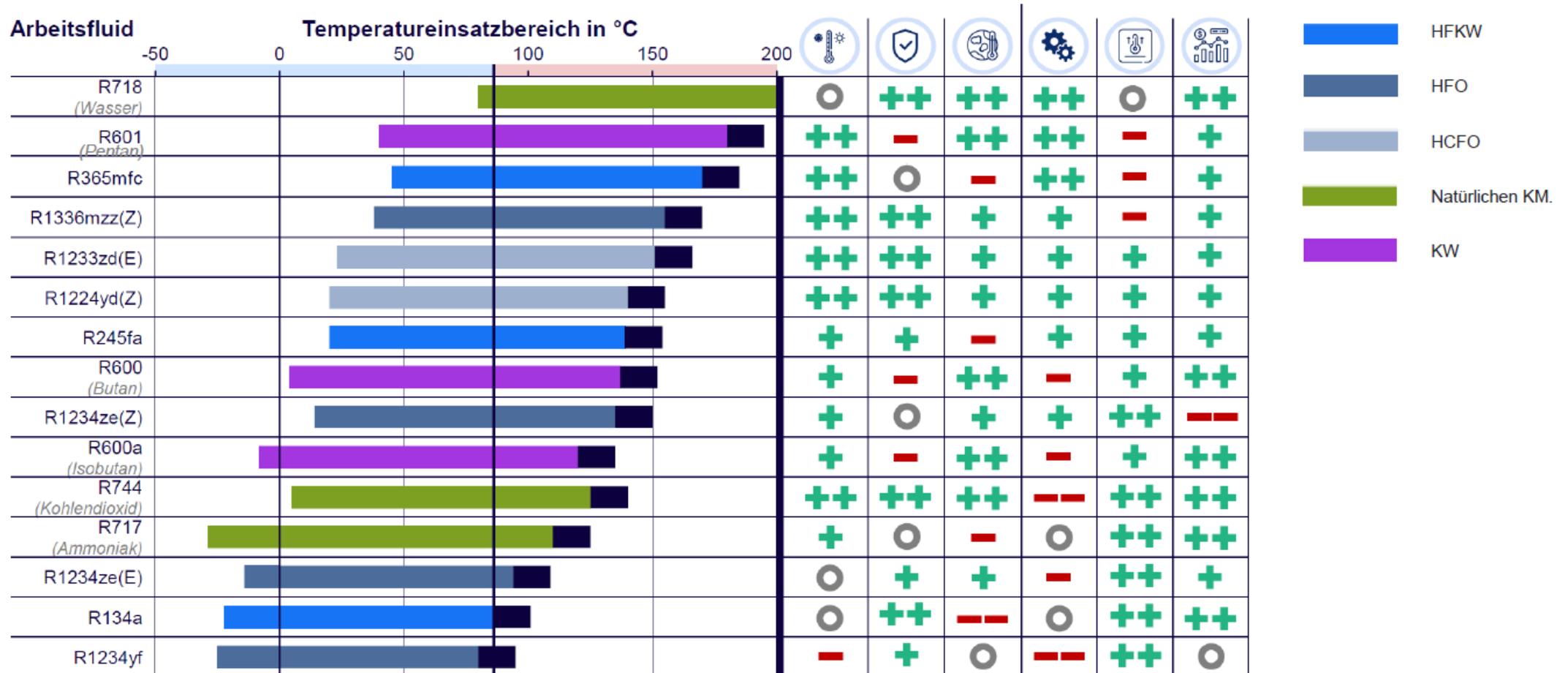


In der Regel ein
untergeordneter
Faktor



Kältemittel - Übersicht

Kältemittel // Arbeitsfluid über Temperatureinsatzbereich



Quelle: Studie „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ Arthur D. Little 2021

Quelle: MVV

Hochtemperaturwärmepumpe - Industrielle Wärmeerzeugung ohne Erdgas



Kältemittel

Kältemittel // Eigenschaften von zukunftsfähigen Kältemitteln

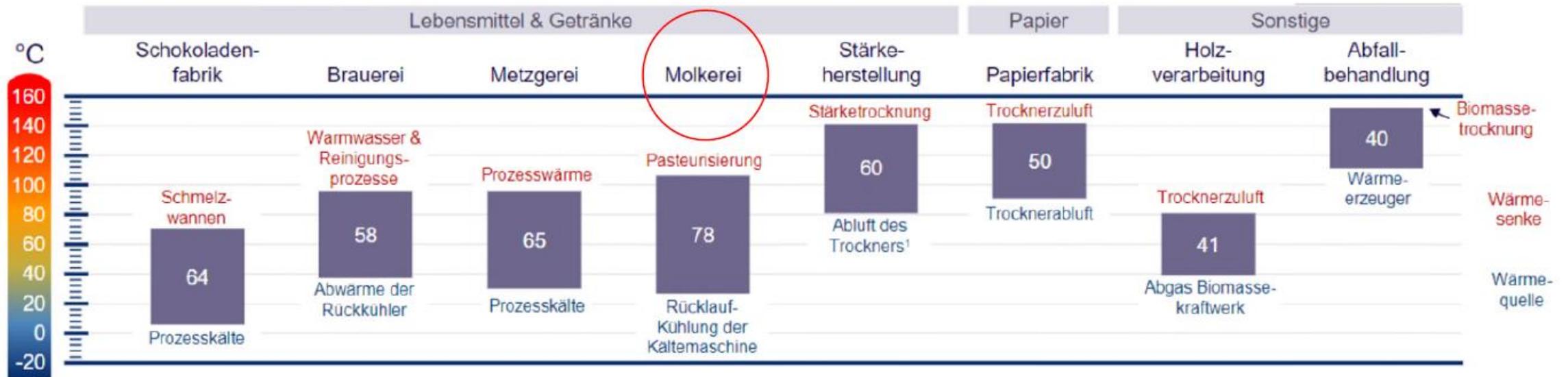
Kältemittel	oder	T _{krit} [°C]	p _{krit} [bar]	ODP	GWP	SG
R1336mzz(Z)		171,3	29,0	0		2 A1
R1336mzz€		137,7	31,5	0		18 A1
R1234ze(Z)		109,4	36,4	0 <1		A2L
R1234yf		94,7	33,8	0 <1		A2L
R1233zd(E)		166,5	36,2	0,00034		1 A1
R1224yd(Z)		155,5	33,3	0,00012	<1	A1
R601		196,6	33,7	0		5 A3
R600		152,0	38,0	0		4 A3
Novac 649		168,7	18,8	0 <1		n.a.
R718	Wasser	372,9	220,6	0		0 A1
R717	Ammoniak	132,3	113,3	0		0 B2L
R744	Kohlendioxid	31,0	73,8	0		1 A1
Speziell geeignete Kältemittel für Hochtemperatur-Wärmepumpen						

- „zukunftsfähige“ Kältemittel gemäß EU-517/2014 bzw. F-Gase-Verordnung
- Niedere GWP/ODP-Werte
- F steht für fluorierte Treibhausgase
- ODP = Ozone Depletion Potential
- GWP = Global Warming Potential
- SG = Sicherheitsgruppe

A3	B3	hoch entzündlich
A2	B2	entzündlich
A2L	B2L	schwer entzündlich
A1	B1	unbrennbar
geringere Toxizität	erhöhte Toxizität	

- Tabelle zeigt Nomenklatur für Entflammbarkeit und Toxizität der Kältemittel

Einsatzgebiete



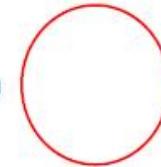
Quelle ADL

Legende:



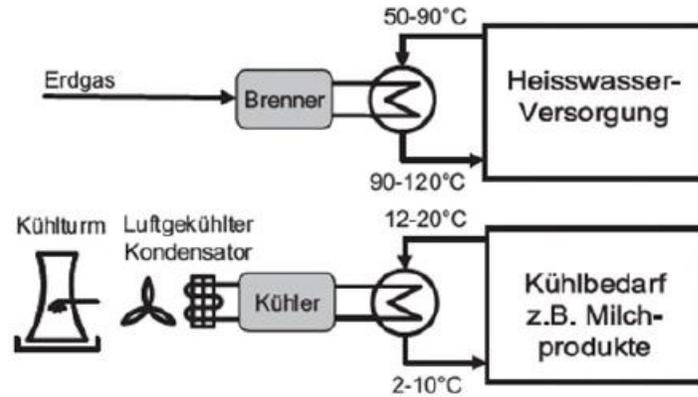
Zahlen in den lila Kästchen = Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Senke

Beispiel auf den Folgefolien

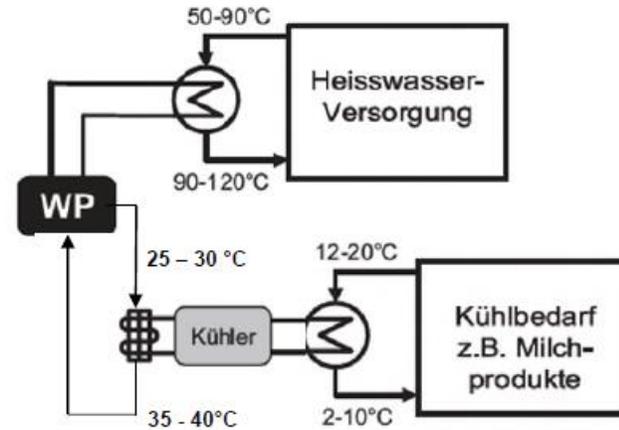


Praxisbeispiel

Vorher (ohne WP)



Nachher (mit WP)



- Verschaltung von Heiz- und Kühlprozessen über Wärmepumpe
- Ersatz von Erdgasbrenner und Kältemaschine mit Rückkühlwerk durch ein Aggregat
- Strom ersetzt Erdgas

Quelle: Cordin Arpagaus „Hochtemperatur-Wärmepumpen“, VDE - Verlag 2019

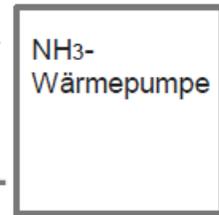
Praxisbeispiel

Kühlung von Produkten,
Gebäuden, Lagerräumen



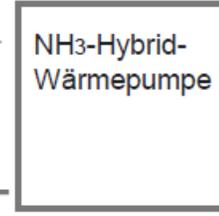
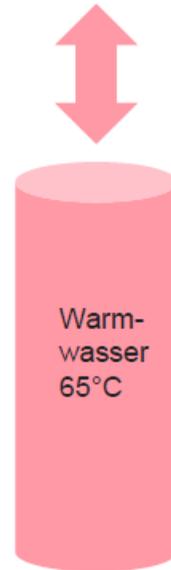
Delta t = 30 K
COP 5

Warmwasser,
Vorwärmprozesse



Delta t = 35 K
COP 4,5

Warmwasser,
Gebäudewärme



Delta t = 30 K
COP 5

CIP, Pasteurisieren



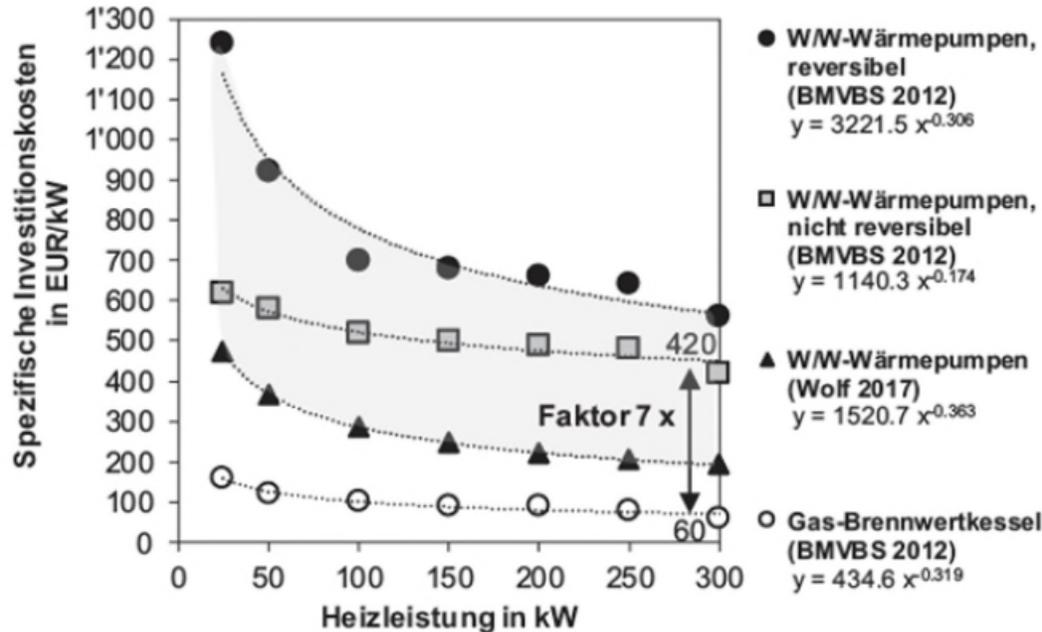
- Druckluftkühlung
- Mittel-Temperatur-Kühlprozesse

Externe Wärmequelle
(Fernwärme, Erdgas, Öl
etc.)

Spitzenlast z.B.
elektrischer Heizstab

Praxisbeispiel

Wärmekosten = Kapitalkosten + Betriebskosten + Verbrauchskosten



- Kostendegression bei steigenden Heizleistungen
- Wichtig für Fördermittelantrag und Wirtschaftlichkeitsrechnung: Systemkosten (WP + Speicher + Einbindung)
- Annahme für spezifische Systemkosten > 1000 kW Heizleistung: **650 Euro pro kW**
- Betriebskosten proportional zu Systemkosten und jährlichen Betriebsstunden, unsere Annahme: Betriebskosten = **3 % der Systeminvestition**
- Verbrauchskosten werden maßgeblich durch den Strompreis bestimmt. Annahme **160 €/MWh (all in).***

* All in: Nettostrompreis inkl. Netzentgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen

Ausblick Wärmeverteilsysteme und RLT-Systeme

Wärmeverteilsysteme

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) und Ihre Kennzeichnung

Zweirohrheizung - Das System besteht aus einem Heizungsvor- und Rücklauf

Einrohrheizung - Alle Heizkörper sind "in Reihe" geschaltet

Schwerkraftheizung - Drucklose Kreisläufe mit großem Rohrdurchmesser

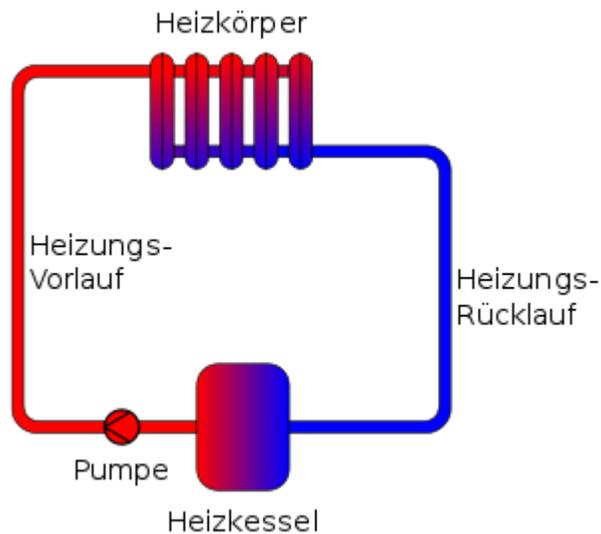
Mischkreise - Im Heizungskreislauf ist ein Mischer eingebaut, der Vor- und Rücklauf koppelt – nicht verwechseln mit ...

... Verteilsystemen (Etagenring-, Stern-, Strangsysteme)

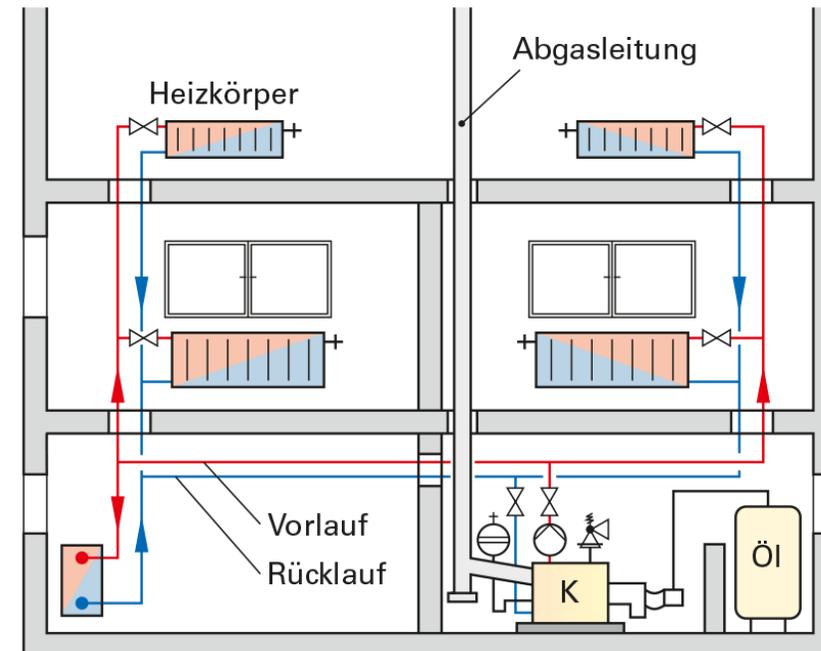
Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Zweirohrheizung - Das System besteht aus:

- Heizungsvor- und Rücklauf (Verteil, Strang und Stichleitungen)
- Speicher, Verteilpumpe
- Ausgleichsbehälter



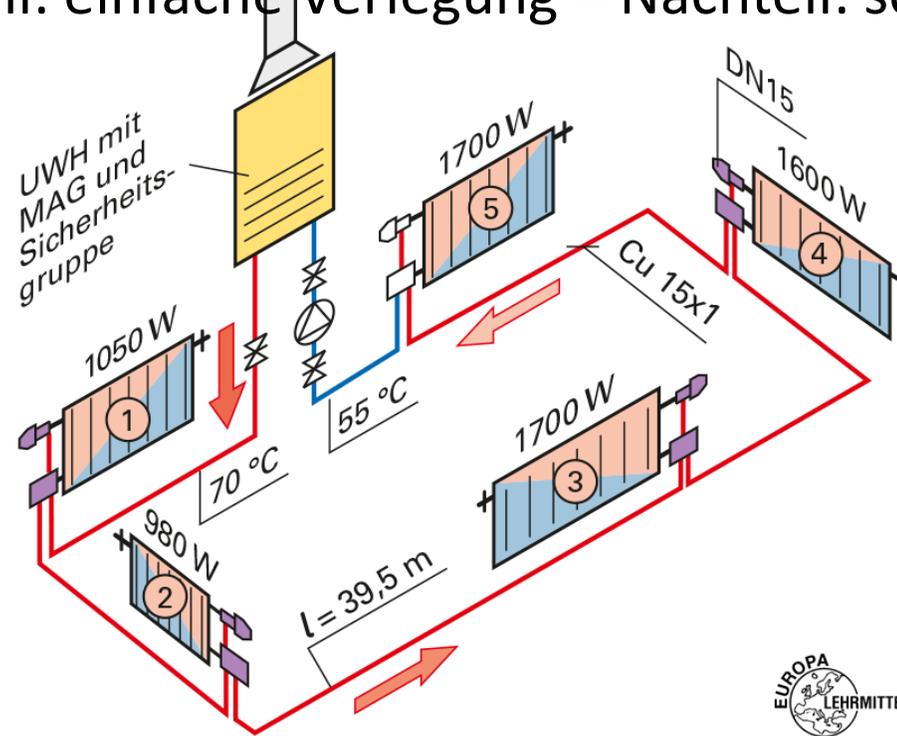
Prinzipbild (Quelle Wikipedia.org)



Regelkreis mit Heizungssystem- Quelle Europa Verlag

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Einrohrheizung - Alle Heizkörper sind "in Reihe" geschaltet (Vorteil: einfache Verlegung – Nachteil: schlechte Regelbarkeit)



MAG =
 Membrandruckausdehnungsgefäß

UWH = UmlaufWasserHeizung

s.a: http://www.bosy-online.de/abkuerzungen_im_shk-handwerk.htm



Einrohr- Heizungssystem- Quelle Europa Verlag

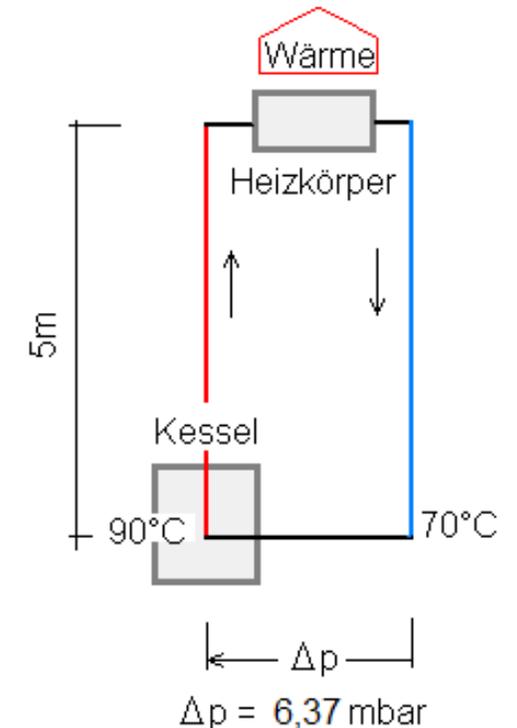
Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Schwerkraftheizung - Drucklose Kreisläufe mit großem Rohrdurchmesser

Der Vorlaufstrang wird vom heißen Wasser der Heizung gespeist. Dieses Wasser steigt aufgrund seiner geringeren Dichte nach oben. Der kalten Rücklauf weist eine höhere Dichte auf, das Wasser sinkt nach unten.

Dadurch entsteht ohne Pumpe ein Heizkreislauf – ransportiert.

Das System ist sehr träge und ohne hydraulischen Abgleich werden die letzten Heizkörper im Strang nur mäßig warm.



Quelle: Wikipedia.org

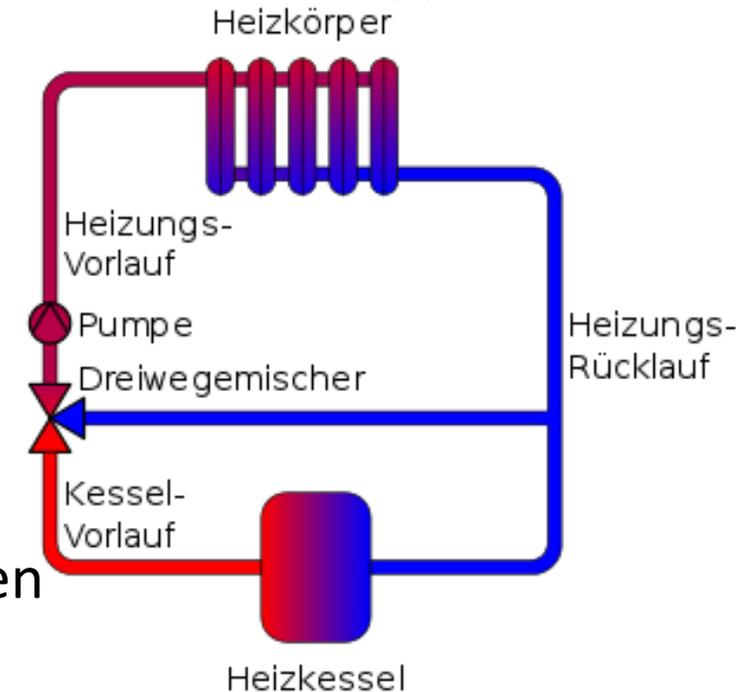
Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Mischkreise

Im Heizungskreislauf ist ein Mischer eingebaut, der Vor- und Rücklauf koppelt

Sinn dieser Mischkreise ist die Senkung der Vorlauf-temperatur, diese Systeme wurden vorwiegend eingebaut, um bei Konstanttemperaturkesseln mit hohen Vorlauftemperaturen auch Fußbodenheizungen anzuschließen.

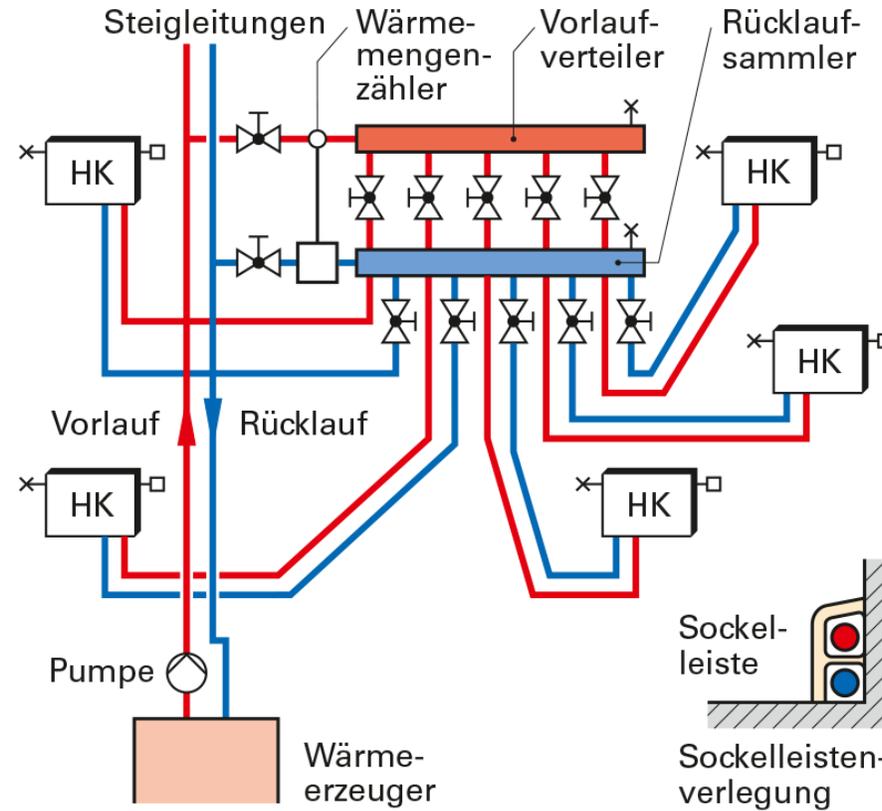
Ein weiterer Anwendungsfall sind Solarthermische Anlagen



Quelle: Wikipedia.org

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

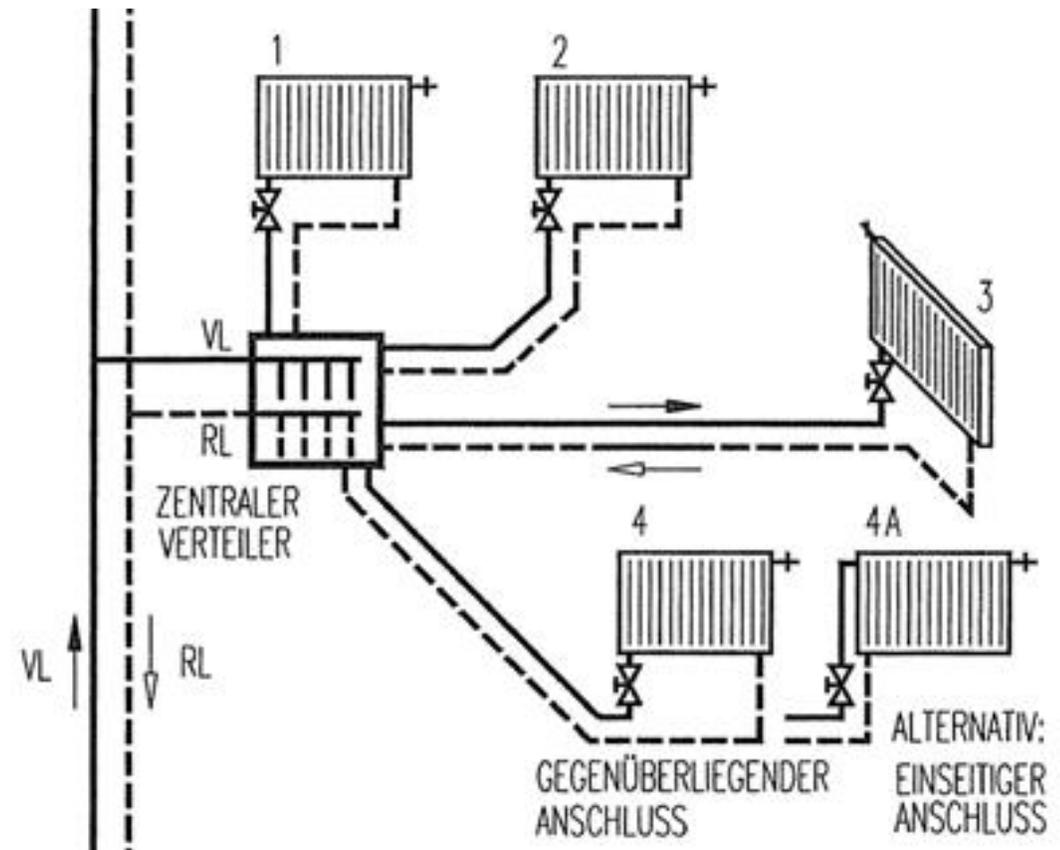


Quelle: Europa-Verlag

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Sternförmige Verteilung →

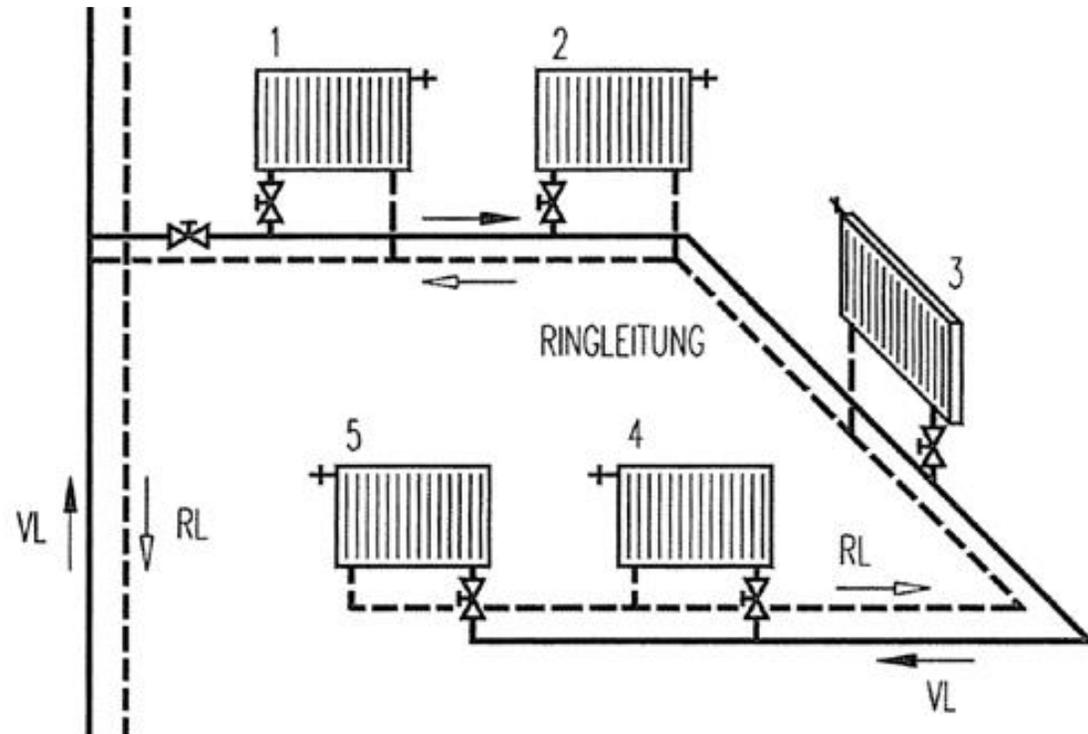


Quelle: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Ringförmige Verteilung →

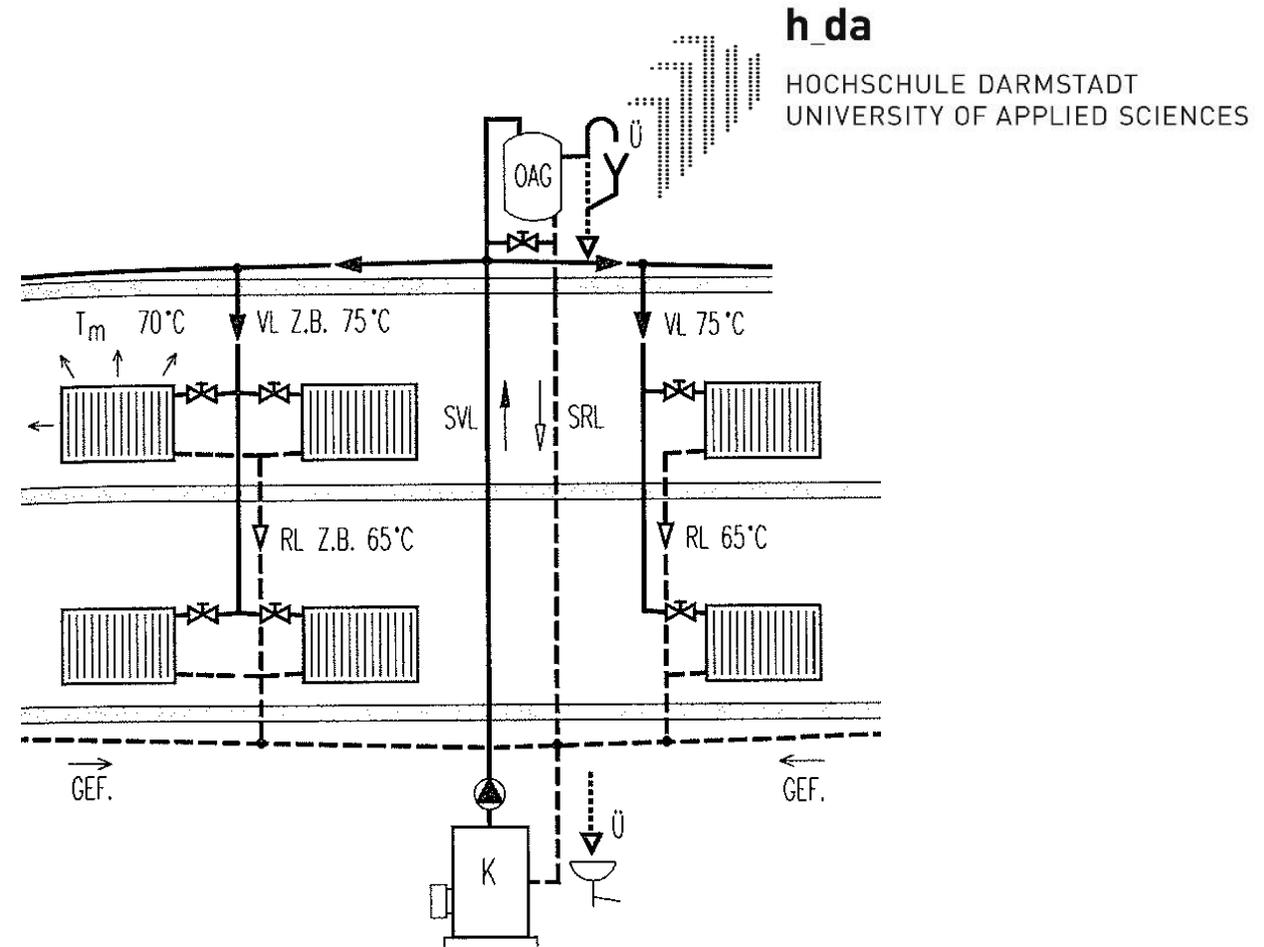


Quelle: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Zweirohrheizung mit oberer Verteilung →



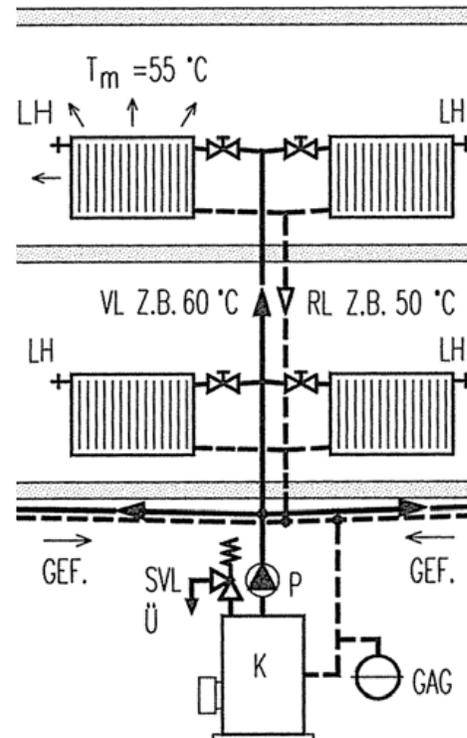
Quellen: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Zweirohrheizung mit

unterer Verteilung →



Hier ist neben dem Wärmeerzeuger ein Ausdehnungsgefäß angebracht

→ Geschlossenes System

Quellen: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Einrohrheizung:

Zitat: (Lehrunterlage INA-Planungsgesellschaft Darmstadt)

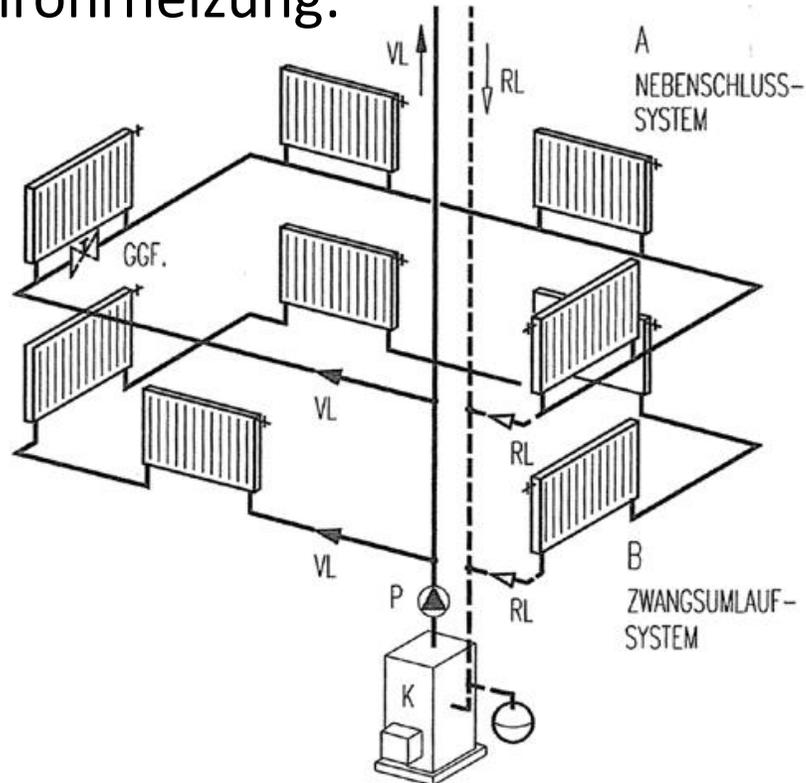
Einrohrheizsysteme unterscheidet man in Zwangsumlauf- und Nebenschluss-Systeme.

Bei senkrechter Verteilung ist es auch beim Einrohrsystem sinnvoll, wenn die Heizkörper übereinander liegen. Da die Vorlauftemperatur im System abnimmt, sollten die Größen der Heizflächen mit abnehmender Vorlauftemperatur steigen. Bei einem Zwangsumlaufsystem muss jeder Heizkörper durchlaufen werden, eine individuelle Regelung der Heizkörper ist nicht möglich. Daher ist das System nur sehr begrenzt zulässig. Bei einem Nebenschluss-System werden die Heizkörper einzeln an den Vorlauf angeschlossen, was ein Abschalten einzelner Heizkörper ermöglicht. Trotzdem nimmt die Vorlauftemperatur zum Ende hin ab, da der Rücklauf des Heizkörpers in den Vorlauf des gesamten Systems fließt. Das Nebenschluss-System ist zwar sinnvoller als das Zwangsumlaufsystem, allerdings ist hier eine horizontale Verteilung oft angebrachter, weil so stockwerksbezogene Absperrungen möglich sind.

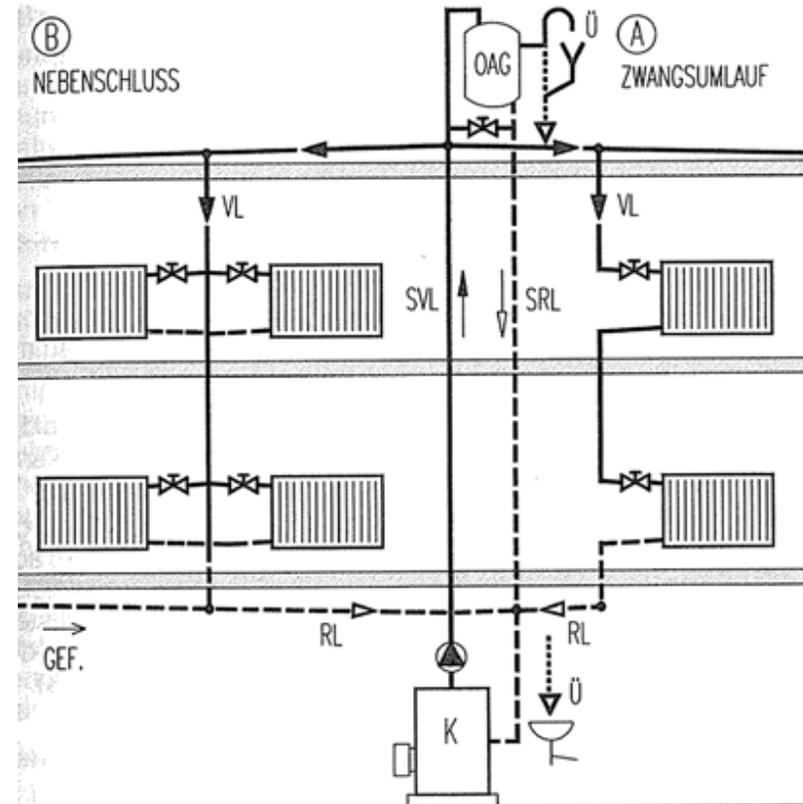
Thema Heizungssysteme

Typen (Heizkreise) → Verteilsysteme

- Einrohrheizung:



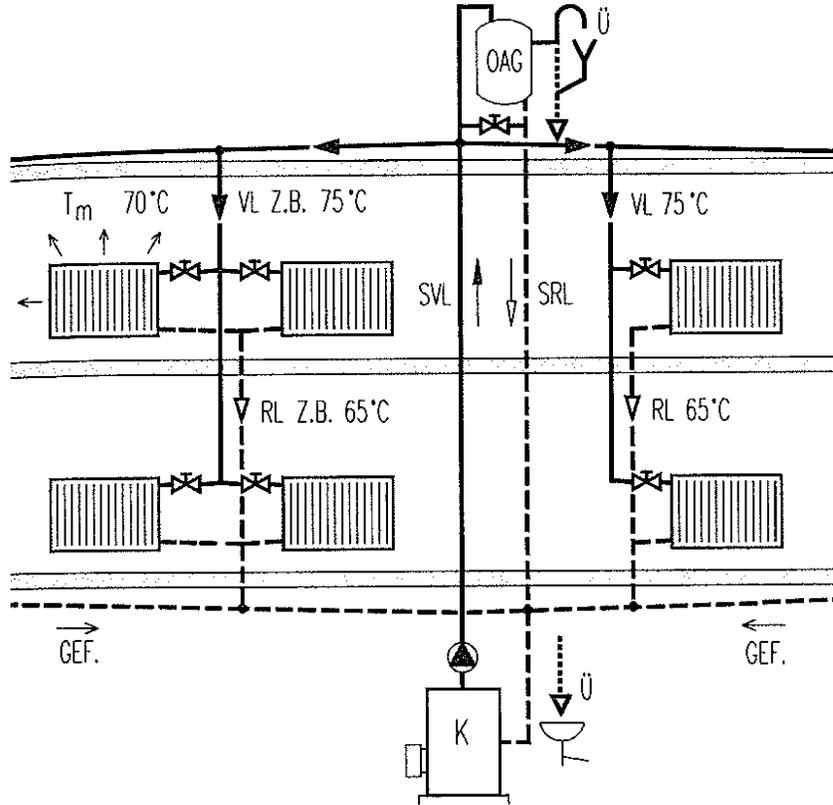
Einrohrheizung mit horizontaler Verteilung,
 Quelle: Pistoil, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2



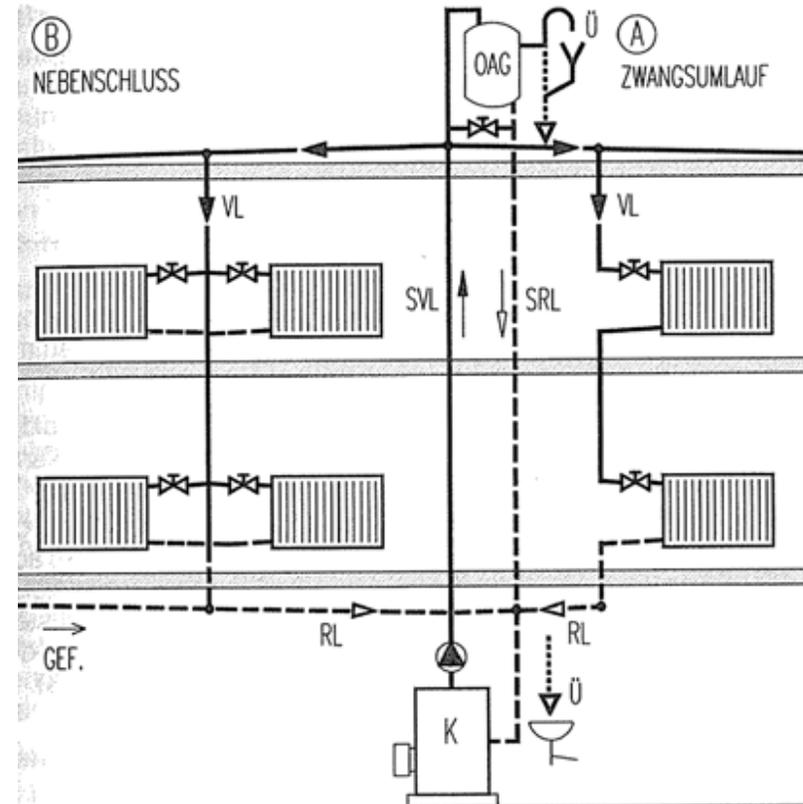
Einrohrheizung mit senkrechter Verteilung,
 Quelle: Pistoil, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

Thema Heizungssysteme

Unterschied Einrohr- Zweirohr-Heizkreise



Zweirohrsystem mit senkrechter Verteilung,
 Quelle: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2



Einrohrheizung mit senkrechter Verteilung,
 Quelle: Pistohl, Handbuch der Gebäudetechnik Bd. 2

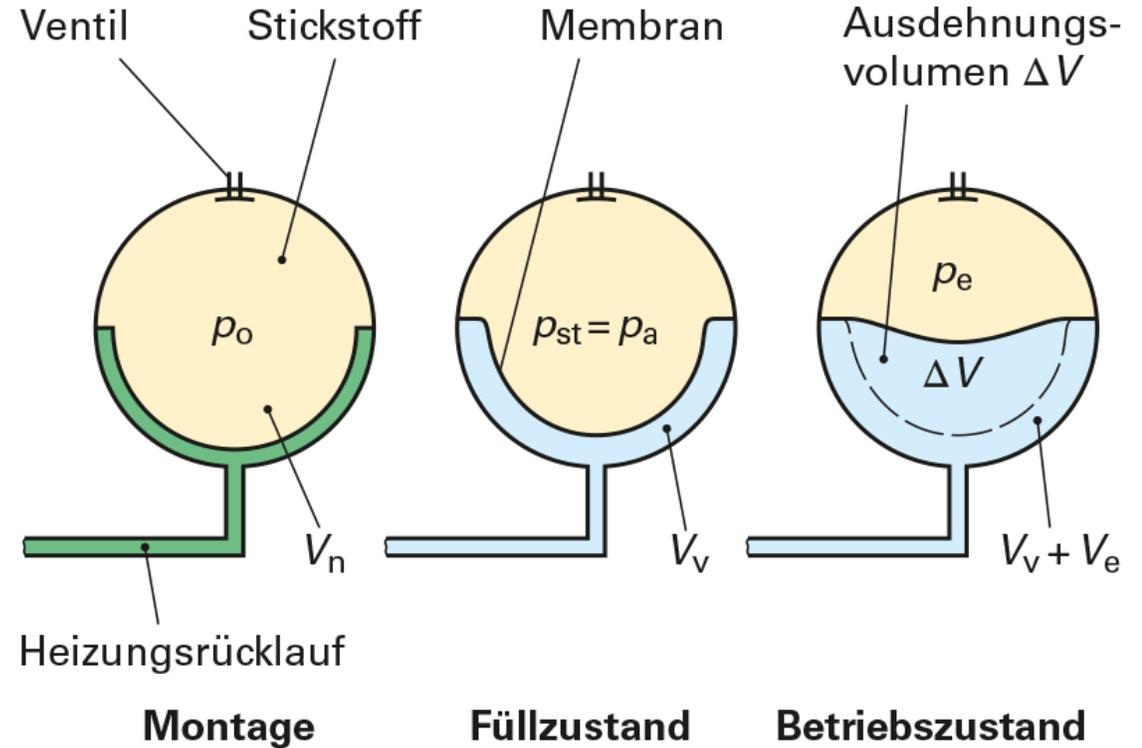
Thema Heizungssysteme

Verteilnetz - Regelsysteme

- DruckausgleichsgefäÙe

Membran- DruckausdehnungsgefäÙ

Wie der Name sagt, gleicht das System über eine Membran den Druck im Heizkreis aus



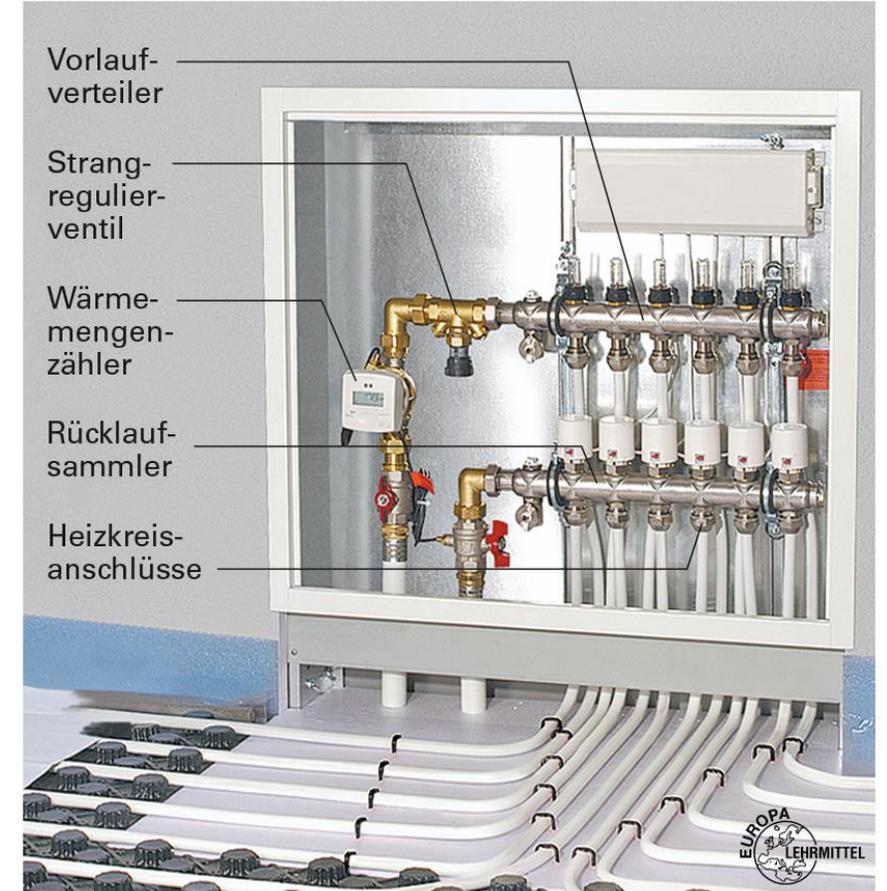
Thema Heizungssysteme

Verteilnetz - Regelsysteme

- Heizkreisanschlüsse

Regelventile zum Anschluss der Heizflächen
- Heizkörper – hier: Fußbodenheizung →

(Quelle: Europa-Lehrmittel)

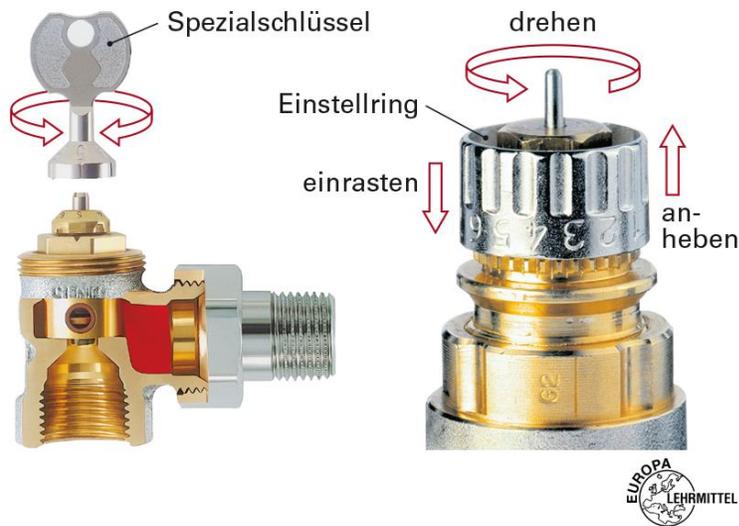


Thema Heizungssysteme

Verteilnetz - Regelsysteme

- Heizkreisanschlüsse

Regelventile zum Anschluss der Heizflächen
- Heizkörper – hier: Thermostatventil →

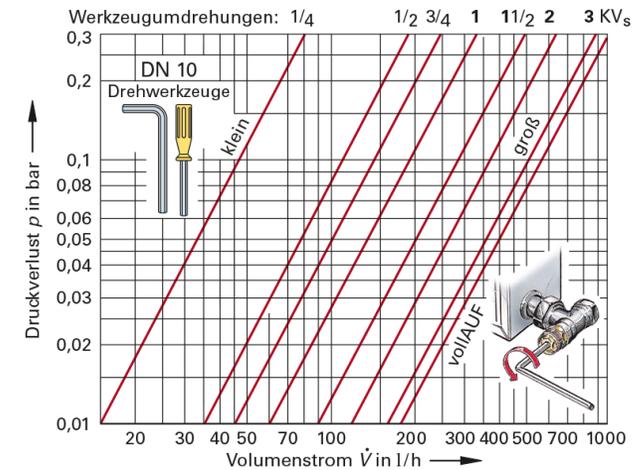
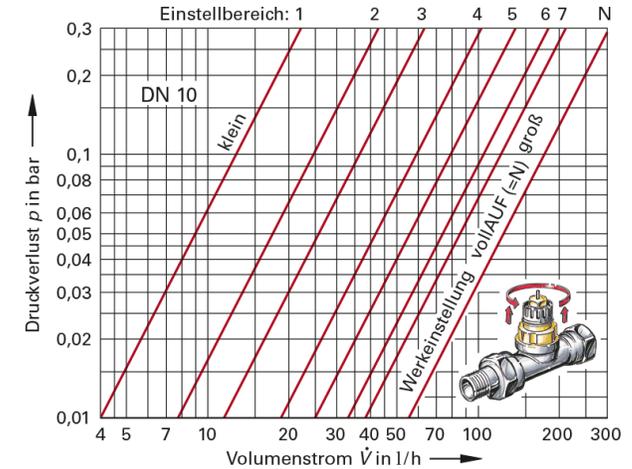


Thema Heizungssysteme

Verteilnetz - Regelsysteme

- **HYDRAULISCHER ABGLEICH**

Die Volumenströme einer Heizungsanlage werden so einreguliert, dass die Heizlast der einzelnen Räume vom Kreislaufsystem optimal bedient wird.



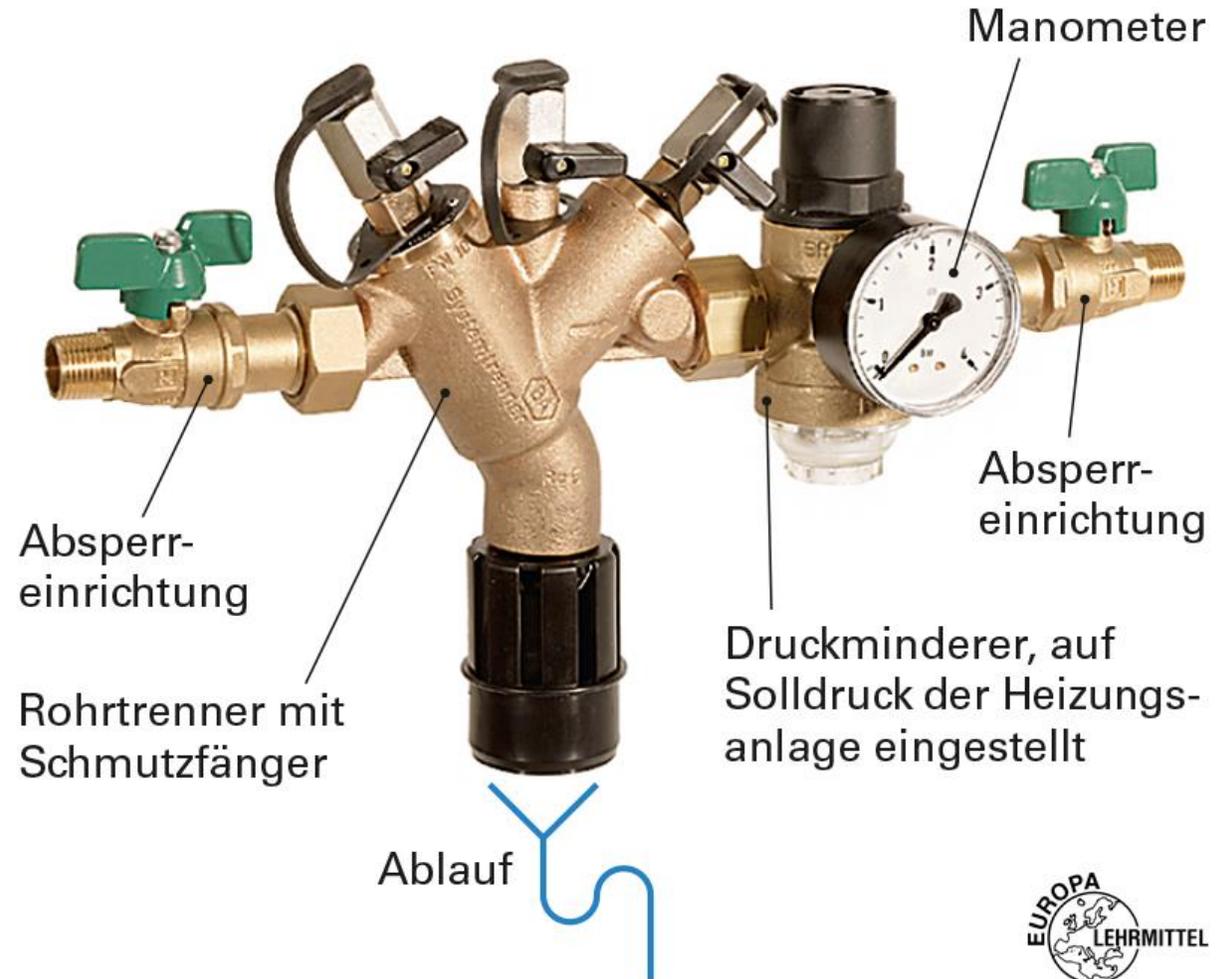
Thema Heizungssysteme

Verteilnetz - Regelsysteme

- Nachfüllung

Durch Leckagen und Wartung können Heizungssysteme Wasser verlieren.

Wichtig: Moderne Heizungssysteme sollten immer mit "VE-Wasser" befüllt werden.



Heizenergieversorgung:

Andere Heizungssysteme:

Infrarotheizung – Die IH wird häufig als Hallenheizung eingesetzt, hier sind diverse strom – und gas-betriebene Systeme am Markt verfügbar s.hierzu: <https://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotstrahler>

Heizenergieversorgung:

Andere Heizungssysteme:

Luftheizung – Bei der LH wird Luft über einer Wärmequelle erhitzt und in die Wohnräume geleitet. Dieses System findet man noch in einigen Altbauten – aber auch in neuerer Form in Passivhäusern als "RLT-Anlage".



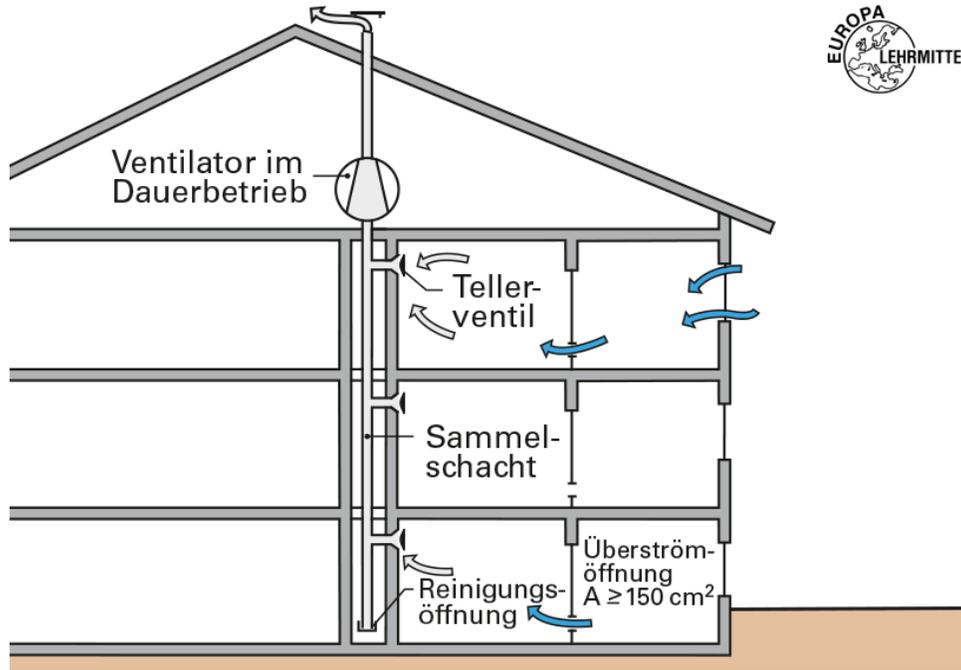
Bilder: Teile einer Luftheizung
Lufteintritt über dem Ofen



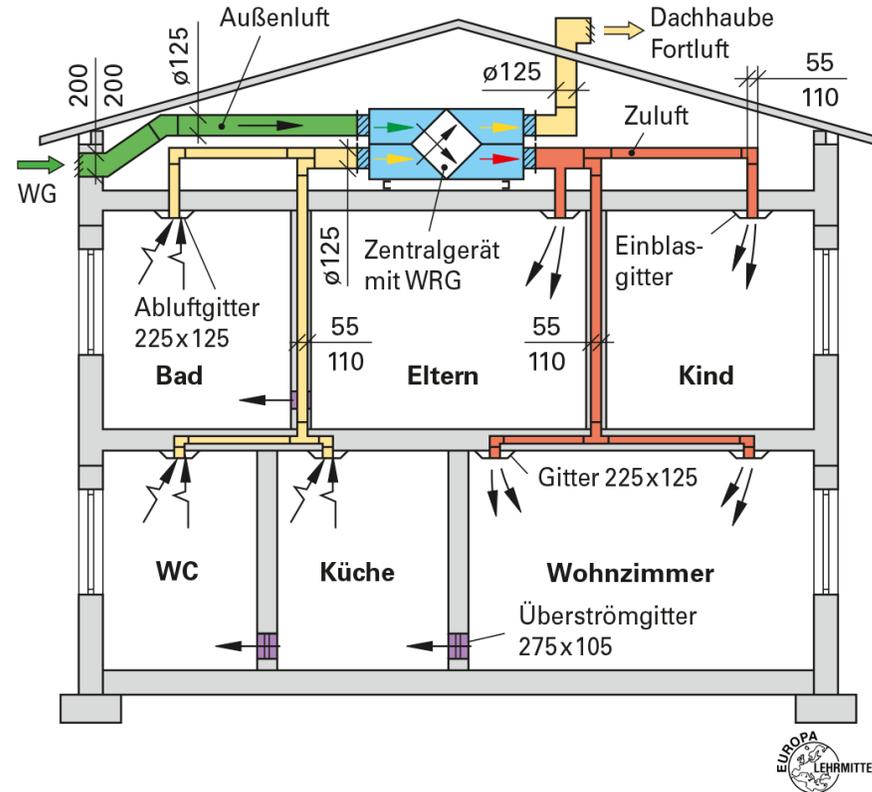
Luftröhren und Abdeckgitter im Wohnraum

Heizenergieversorgung:

Andere Heizungssysteme / neues Thema: RLT-Anlage



Bilder: Abluftanlage



RLT-Anlage mit WRG

