



WISSEN

Einführung in die HLK- und Gebäudetechnik

[siemens.com/buildingtechnologies](https://www.siemens.com/buildingtechnologies)

SIEMENS

Inhaltsverzeichnis

1	Gebäude, Gebäudetechnik und Behaglichkeit	7
1.1.	Einleitung	7
1.2.	Gebäudetechnik	9
1.3.	Gebäudeautomation	11
1.4.	Behaglichkeitskriterien	13
1.4.1.	Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte	13
1.4.2.	Raumluftqualität	16
1.4.3.	Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Raum	18
1.4.4.	Beleuchtung und Beschattung	18
2	Physikalische Grundlagen	21
2.1.	Einleitung	21
2.2.	Thermodynamik (Wärmelehre)	22
2.2.1.	Wärmeausdehnung fester Stoffe	26
2.2.2.	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten	28
2.3.	Das Medium Wasser	29
2.3.1.	Aggregatzustände des Wassers	29
2.4.	Das Medium Luft	37
2.5.	Strömungslehre	45
2.5.1.	Strömung	45
3	Heizungsanlagen	51
3.1.	Einfache Heizungsanlage	51
3.2.	Einteilung der Heizungssysteme	52
3.3.	Wärmeerzeugung bei Wasserheizungen	52
3.3.1.	Öl- und Gasheizkessel	52
3.3.2.	Holzheizkessel	58
3.3.3.	Thermische Solaranlagen	62
3.3.4.	Wärmepumpen (WP)	70
3.3.5.	Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	75
3.3.6.	Fernwärmeversorgung	80
3.4.	Wichtige Komponenten	85
3.4.1.	Pumpen	85
3.4.2.	Stellgerät (Stellglied und Stellantrieb)	87
3.4.3.	Armaturen für den hydraulischen Abgleich	89
3.4.4.	Sicherheitstechnische Ausrüstung	91
3.4.5.	Verteilssysteme	95
3.4.6.	Wärmeabgabesysteme	97
3.4.7.	TABS – Thermoaktives Bauteilsystem	102
3.5.	Warmwasseraufbereitung	104
3.5.1.	Einleitung	104
3.5.2.	Zentrale und dezentrale Versorgung	104
3.5.3.	Wassererwärmer	106
3.5.4.	Warmhaltesysteme	108

4	Kälteanlagen	111
4.1.	Einleitung.....	111
4.2.	Kühlung mit Free-Cooling (freie Kühlung)	113
4.3.	Kühlung mit Oberflächenwasser.....	114
4.4.	Kompressions-Kältemaschine	116
4.4.1.	Aufgabe des Kreisprozesses am Beispiel Kühlschranks	116
4.4.2.	Physikalische Zusammenhänge.....	116
4.4.3.	Kältemittel.....	118
4.4.4.	Kreisprozess am Beispiel Kühlschranks	119
4.4.5.	Bauelemente in einer Kältemaschine	120
4.4.6.	Das h, log p-Diagramm.....	122
4.4.7.	Der Kreisprozess des Kühlschranks im h, log p-Diagramm	123
4.4.8.	Leistungszahl Kältemaschine (EER)	124
4.5.	Kompressions-Kältemaschine als Wärmepumpe.....	125
4.5.1.	Einleitung.....	125
4.5.2.	Leistungszahl Wärmepumpe (COP).....	125
4.6.	Absorptions- und Adsorptions-Kältemaschine.....	127
4.6.1.	Einleitung.....	127
4.6.2.	Absorptions-Kältemaschine.....	127
4.6.3.	Adsorptions-Kältemaschine.....	129
5	Hydraulik in der Gebäudetechnik	133
5.1.	Einführung	133
5.2.	Hauptteile einer hydraulischen Anlage	134
5.3.	Darstellung hydraulischer Kreise.....	135
5.4.	Verbraucher-Grundsaltungen	138
5.4.1.	Mengenvariable und mengenkonstante Kreise	138
5.4.2.	Durchfluss- und Mischregelung	139
5.5.	Hydraulische Grundsaltungen	140
5.5.1.	Drosselschaltung	140
5.5.2.	Drosselschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)	141
5.5.3.	Einspritzschaltung mit Durchgangsventil.....	142
5.5.4.	Einspritzschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil).....	143
5.5.5.	Beimischschaltung.....	144
5.5.6.	Umlenkschaltung (veraltet).....	146
5.5.7.	Einspritzschaltung mit Dreiwegventil (veraltet).....	147
5.6.	Verteiler	148
5.6.1.	Kombinationen von Verteilern und Verbraucher-Schaltungen	149
5.6.2.	Druckarmer Verteiler	150
5.6.3.	Druckloser Verteiler	151
5.6.4.	Druckbehafteter Verteiler mit variablem Volumenstrom.....	152
5.6.5.	Druckbehafteter Verteiler mit konstantem Volumenstrom (veraltet).....	153
5.7.	Stellglied	154
5.7.1.	Bauformen von Stellgliedern	154
5.7.2.	Durchflusskennwerte k_V - und k_{VS}	156
5.7.3.	Stellverhältnis S_V und kleinster regelbarer Durchfluss k_{Vr}	157
5.7.4.	Ventilkennlinien	157
5.8.	Streckenkennlinie	159

6	Lüftungsanlagen und Klimaanlage	161
6.1.	Aufgaben von Lüftungs- und Klimaanlage	161
6.2.	Übersicht über Lüftungs- und Klimaanlage (Einteilung nach EN 13779)	161
6.3.	Begriffserklärungen (nach EN 16798-3)	162
6.3.1.	Anlagen	162
6.3.2.	Luftströme	162
6.4.	Lufttechnische Anlagenelemente	163
6.4.1.	Einleitung und Abgrenzung	163
6.4.2.	Wetterschutzgitter	165
6.4.3.	Luftklappen	165
6.4.4.	Luftfilter	167
6.4.5.	Ventilatoren	174
6.4.6.	Wärmerückgewinnung (WRG)	180
6.4.7.	Lufterwärmer und Luftkühler	190
6.4.8.	Befeuchter	194
6.4.9.	Entfeuchtung	198
6.4.10.	DEC-Systeme	199
6.5.	Strukturen von Lüftungs-/Klimaanlagen	201
6.5.1.	Einkanal-Anlage	203
6.5.2.	Anlagen mit anderen Lüftungskanal-Strukturen	207
6.5.3.	Luftführung im Raum und Luftauslässe	209
6.5.4.	Luft-Wasser-Systeme	211
6.5.5.	Einzelraum-Kompakt-Klimageräte	216
6.6.	Kontrollierte Wohnraumlüftung	220
6.6.1.	Kontrollierte Wohnungslüftungs-Systeme	221
7	Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) und Gebäudeautomation (GA)	223
7.1.	Einleitung	223
7.2.	Messen	224
7.3.	Steuern und Regeln	225
7.3.1.	Vergleich zwischen Steuern und Regeln	225
7.4.	Regeln	226
7.4.1.	Ziele einer Regelung	226
7.4.2.	Funktion einer Regelung	226
7.4.3.	Das Regelkreismodell	226
7.4.4.	Der Wirkungsplan	227
7.4.5.	Automatische Regelung	229
7.5.	Gebäudeautomation (GA)	230

1 Gebäude, Gebäudetechnik und Behaglichkeit

1.1. Einleitung

Gebäudearten

Bei der Betrachtung eines Stadtbildes erkennt man sofort, dass es aus sehr unterschiedlichen Gebäudetypen besteht. Im Wesentlichen sind es Wohngebäude, Bürogebäude, Verwaltungsbauten, Schulen, Theater, Sportarenen, Krankenhäuser und Produktionsgebäude.



Fig. 1-1 Gebäudestruktur einer Stadt

Alle diese Gebäude haben eine Gemeinsamkeit. Sie sollen die Benutzer vor äußeren Einflüssen schützen, Sicherheit nach innen und außen gewährleisten und für den Benutzer ein angenehmes Klima sicherstellen.

Die Menschen in den Industrienationen halten sich zu ca. 90 % ihres Lebens in geschlossenen Räumen in Gebäuden aber auch in Fahrzeugen, wie Autos und Bahnen auf. Die Qualität der Innenräume ist deshalb für die Gesundheit und das Wohlbefinden von entscheidender Bedeutung. Der Stellenwert des Wohlbefindens wurde erst erkannt, als sich Klagen über gebäudebedingte Beschwerden und Krankheitssymptome häuften. Die Gründe für das Defizit an Wohlbefinden in Innenräumen sind vielfältig, manche sind objektiv erfassbar, aber viele „Störungen“ hängen auch von der Tagesform jedes Einzelnen und dem sozialen Umfeld ab.

Raumluftqualität

Zu den objektiven Ursachen gehören zum Beispiel schlechte Raumluft, zu niedrige oder zu hohe Raumlufttemperatur oder -feuchte, Zugerscheinungen oder ungünstige Lichtverhältnisse. Das menschliche Bedürfnis nach Komfort endet jedoch nicht an der eigenen Haustüre oder am Arbeitsplatz. So sind Einkaufszentren, Messehallen, Sportarenen, Fitnesscenter, Museen und Theater Einrichtungen, bei denen die Akzeptanz sehr eng mit der empfundenen Raumluftqualität verbunden ist. Zu unserem Wohlbefinden trägt in erheblichem Masse der individuell empfundene Gebäude- und Raumkomfort bei.

Energie

Die umweltpolitische Forderung nach sparsamem Energieverbrauch zum Heizen oder Kühlen eines Gebäudes führte in einer ersten Phase zur wesentlichen Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäudehülle, aber gleichzeitig auch zur rein stationären Betrachtungsweise des Wärmedurchganges durch die Gebäudehülle. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) gibt zwar den spezifischen Energieverlust an, sagt jedoch nichts aus über das Wärmespeicherverhalten der Gebäudehülle, das – bei gezielter Nutzung – ein ganz erhebliches Energiesparpotential enthält.

Geht man beispielsweise von der statistisch belegten Tatsache aus, dass die mittlere Tagestemperatur im schweizerischen Mittelland nie über +22 °C steigt, kann man auf die Idee kommen, die hohen Tagestemperaturen mit den kühlen Nachttemperaturen zu kompensieren. In modernen Geschäfts- oder Schulhäusern, die nachts nicht belegt sind, kann z.B. durch Zwangslüftung mit kühler Nachtluft oder mit einem System zur Gebäudemassen-Aktivierung (TABS) das Gebäude auch von innen her abgekühlt werden. Bei ausreichend dimensionierten Speichermassen (Beton, Mauerwerk) bleibt dann das Gebäude im Inneren während der heißesten Tageszeit ohne zusätzliche Kühlanlagen noch angenehm kühl. Dieser Kühleffekt muss durch Beschattungs-Einrichtungen unterstützt werden, welche die ganze Außenfassade (nicht nur die Fenster) vor direkter Sonnenbestrahlung schützen (Thematik: „sommerlicher Wärmeschutz“).

Gebäudeautomation

Eine moderne Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik in Verbindung mit der Gebäudeautomation ist heute die Basis für eine gute „Gebäude-Leistung“ – also das harmonische Zusammenspiel von Gebäudearchitektur, Anlagentechnik und Raumkomfort. Trotz Automatisierung der meisten Abläufe ist die individuelle Eingriffsmöglichkeit durch den Menschen vorrangiges Ziel moderner Gebäude-Betriebskonzepte.

Gebäudeschutz

Klimatischer Schutz

Vom klimatechnischen Standpunkt aus betrachtet, wirkt die Gebäudehülle als Puffer zwischen dem geregelten Raumklima und den äußeren Umwelteinflüssen der Jahreszeiten wie Temperaturdifferenzen (+/-), Sonnenstrahlung, Wind, Regen, Frost und Schnee.

Speziell zu beachten sind dabei auch die möglichen Kombinationen dieser Einflüsse wie Wind und Regen, Sonnenstrahlung und Hitze oder Sonnenstrahlung und Kälte.

Auf diese witterungsbedingten Einflüsse muss die Konstruktion der Gebäudehülle ausgerichtet sein und mit Hilfe der Gebäudetechnik reagieren können. Je nach Standort muss die Gebäudehülle zusätzlich vor Lärmbelastigungen durch Straßen-, Bahn- oder Flugverkehr und eventuell auch vor Industrielärm geschützt werden.



Fig. 1-2 Gebäudehülle schützt vor Witterungseinflüssen und Lärmbelastigungen

Sicherheit

Außerdem wünschen die Bewohner oder Benutzer eines Gebäudes Schutz vor unerwünschtem Zutritt oder unberechtigtem Zugriff auf ihre Sachwerte. Eine weitere, sehr wichtige Funktion der Gebäudehülle ist schließlich die ausreichende Resistenz gegen Brandeinwirkung.

1.2. Gebäudetechnik

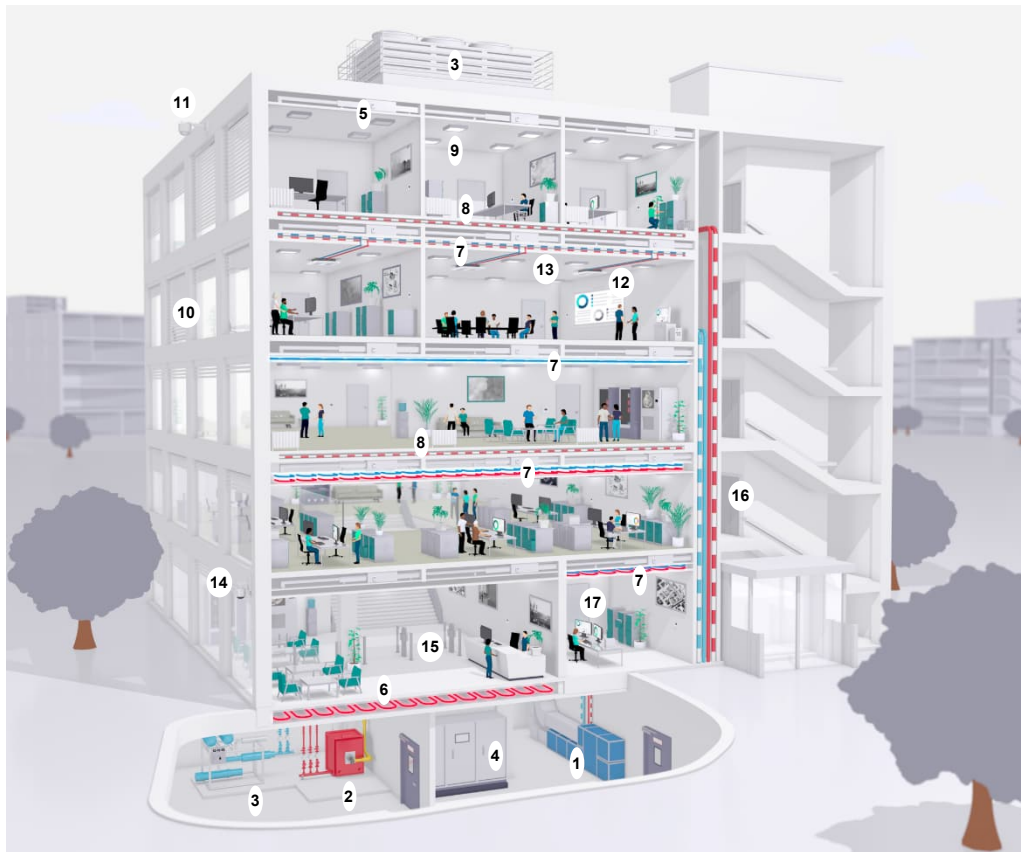


Fig. 1-3 Technische Einrichtungen in einem Gebäude

Zentrale Anlagen:

- 1 Luftbehandlungsgerät
- 2 Heizkessel und Heizungsverteilung
- 3 Kältemaschine, Kälteverteilung, Rückkühler (Dach)
- 4 Elektrotechnische Anlagen

Dezentrale HLK-Anlagen:

- 5 Raumbelüftung
- 6 Fußbodenheizung (evtl. -kühlung)
- 7 Deckenheizung und/oder -kühlung
- 8 Heizkörperheizung

weitere Anlagen und Einrichtungen:

- 9 Beleuchtungseinrichtungen
- 10 Beschattungseinrichtungen
- 11 Wetterstation
- 12 Audio-/Video-Anlagen
- 13 Brandmelde-Anlagen
- 14 Überwachungseinrichtungen
- 15 Zutrittskontrolle
- 16 Beförderungsanlagen

- 17 Gebäudeautomations-System und Technisches Gebäudemanagement

Gebäude beinhalten umfangreiche technische Infrastrukturen, deren Komplexität stetig zunimmt. Unter dem Begriff Gebäudetechnik bzw. unter der nach DIN genormten Bezeichnung Betriebstechnische Anlagen (BTA) in Gebäuden versteht man alle fest installierten technischen Einrichtungen inner- und außerhalb der Gebäude, die dem funktionsgerechten Betrieb und der allgemeinen Nutzung dieser Bauten dienen.

Weil die Bezeichnung Betriebstechnische Anlagen (BTA) zu Verwechslungen mit industriellen Produktionsanlagen führte, hat man die Bezeichnung Technische Gebäude-Ausrüstung (TGA) eingeführt. Im Wesentlichen umfasst die Gebäudetechnik folgende Anlagen und Installationen:

- Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlagen)
- Wärmerückgewinnungs-Anlagen
- Energieversorgung und -verteilung
- Allgemeine Gebäudebeleuchtung
- Beschattungs-Anlagen (Jalousien)
- Personen-Transportanlagen (Lifts, Rolltreppen)
- Automatische Türen und Tore

- Sicherheitsanlagen (Brand, Einbruch, Zutritt)
- Sanitäre Anlagen und Installationen
- Entsorgungsanlagen für Abwasser, Abgase, Abfälle etc.

Nicht dazu gehören jedoch Produktionsanlagen aller Art oder technische Einrichtungen, die für irgendwelche Arbeitsprozesse direkt benötigt werden.

Dem Zusammenwirken und der gegenseitigen Beeinflussung einzelner Systeme kommt dabei eine wachsende Bedeutung zu. Insbesondere wird die Gebäudehülle nicht mehr als gegebenes, starres Objekt behandelt, sondern dynamisch den unterschiedlichen Betriebszuständen der Gebäudetechnik angepasst.

Aufgaben der Heizungs-, Lüftungs- und Klima-Anlagen (HLK-Anlagen)

Je nach Zweck der HLK- Anlagen können ihre Aufgaben in zwei Teilbereiche unterteilt werden:

- **Komfortanlagen**
Unter der Bezeichnung Komfortanlagen sind alle Anlagen zusammengefasst, die in Wohnhäusern, Büros, Schulen, Krankenhäusern, Restaurants, Kinos, Theatern, Kaufhäusern, usw. ein behagliches, die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Menschen förderndes Raumklima schaffen und automatisch aufrechterhalten.
- **Industrieanlagen**
Unter der Bezeichnung Industrieanlagen sind alle Anlagen zusammengefasst, die ein Raumklima oder einen Raumzustand erzeugen und aufrechterhalten, um bestimmte Produktionsabläufe, Lager- oder Reifeprozesse, usw. sicherzustellen.

Heizungstechnik

Eine konstante, behagliche Raumtemperatur während der ganzen Heizperiode zu schaffen, ist das Ziel der Heizungstechnik. Sie liefert das Heizungswasser für die Raumheizung und in vielen Anlagen auch die Bereitstellung von Warmwasser. Die Heizungstechnik eines Gebäudes umfasst im Wesentlichen die Teile: Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe.

Die Wärmeerzeugung ist ein sehr komplexer Teilbereich der Heizungstechnik. Neben den mit Öl, Gas oder Holz befeuerten Heizkesseln werden auch Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, Sonnenenergie oder eine Kombination der genannten Wärmeerzeuger (multivalente Wärmeerzeugung) nebst Fernwärme-Übergabestationen zur Bereitstellung der Wärme eingesetzt.

Lüftungstechnik

Ihr Aufgabengebiet ist die Lüfterneuerung, vor allem in Bauobjekten, in denen die Luft schnell verbraucht oder verunreinigt wird, wie z.B. in Kinos, Theatern, Restaurants, usw. oder in Fabrikations-räumen. Durch die besser isolierten und dichten Gebäudehüllen besteht heute auch in normalen Büro- und auch Wohngebäuden der Bedarf nach einer mechanischen Lüfterneuerung. Während der Heizperiode muss dabei die Raumtemperatur trotz Zufuhr von kühler Außenluft auf dem gewünschten Wert gehalten werden. Dazu wird die Luft, nach einer Filterung, mit Hilfe von Wärmerück-gewinnung und Lüfterwärmen entsprechend beheizt. Vermehrt besteht auch die Nachfrage nach Kühlung dieser Luft, weil, wiederum bedingt durch die bessere Konstruktion der Gebäudehülle, die in den Räumen anfallende Wärme gezielt abgeführt werden muss.

Klimatechnik

Unser Wohlbefinden und unsere Leistungsfähigkeit werden nicht nur durch die Raumtemperatur beeinflusst, sondern ebenso durch die Feuchte und die Qualität der Innenraumluft, also durch ein auf unseren Organismus und unser Empfinden möglichst genau abgestimmtes Raumklima. Mit einer Klimaanlage können diese Faktoren beeinflusst werden. Die Luftaufbereitung erfolgt durch Luftfilter, Lüfterwärmer, Luftkühler und Luftbefeuchter/-entfeuchter. Das Arbeitsgebiet der Klimatechnik umfasst heute vor allem die Klimatisierung von Bürogebäuden, Kaufhäusern, Flughäfen, Kinos, Theatern, etc. und ist je länger je angebrachter.

Kältetechnik

Die Kältetechnik gewinnt zunehmend an Bedeutung, weil aus den oben aufgeführten Überlegungen Gebäude vermehrt auch gekühlt werden müssen. Dabei spielen die Nutzung von natürlich verfügbaren Kühlquellen (z.B. kühle Außenluft, Oberflächenwasser), aber auch der energetisch sinnvolle Einsatz von Kältetechananlagen und die Verwendung von umweltverträglichen Kältemitteln eine immer wichtigere Rolle.

Planung der Gebäudetechnik

Nicht alles, was technisch möglich, sondern nur, was sinnvoll d.h. nutzbringend und umweltschonend ist, soll realisiert werden. Entscheidend ist deshalb schon die Planungsphase, innerhalb der alle örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt und alle Anforderungen sorgfältig hinterfragt werden müssen. Eine konzeptionell richtig geplante Gebäudetechnik erfordert von den Planern ein hohes Maß an Grundkenntnissen der bauphysikalischen, thermodynamischen, strömungstechnischen, chemischen und ökologischen Zusammenhänge. Intelligente Gebäudetechnik erfordert erfahrene Planer, die fachübergreifende, integrale Planungsmethoden beherrschen und diese konsequent anwenden.

1.3. Gebäudeautomation

Je nach Zweckbestimmung eines Gebäudes können unterschiedliche Anforderungen an die Gebäudetechnik gestellt werden. Grundsätzlich ergeben sich aber immer wieder die folgenden drei übergeordneten Forderungen:

- Die Bedürfnisse des Menschen nach Wohlbefinden und Behaglichkeit innerhalb der Gebäudehülle, ausgerichtet auf die spezifischen Nutzungsarten, sollen unabhängig von äußeren Einflussgrößen ausreichend erfüllt werden.
- Ein dem Gefahrenpotential angemessener Schutz der Bewohner und Benutzer sowie auch der Sachwerte, vor Elementarschäden durch Feuer oder Wasser, vor technischen Schäden oder vor Übergriffen durch Drittpersonen soll gewährleistet sein.
- Diese Anforderungen sollen mit tragbaren Investitionen und minimalen Folgekosten für Energie, Bedienung und Instandhaltung erfüllt werden können.

Zur Erfüllung dieser übergeordneten Forderungen werden die entsprechenden gebäudetechnischen Anlagen benötigt. Von intelligenter Gebäudetechnik kann man dann sprechen, wenn diese technischen Einrichtungen in Bezug auf die spezifischen Nutzungsanforderungen mit Hilfe der Gebäudeautomation optimal miteinander funktionieren.

Gebäudeautomations-Systeme

Zur Lösung der Regel- und Steueraufgaben braucht es entsprechende Systeme und Geräte, sowie geprüfte Funktionen und Anwendungen. Heutzutage sind die verschiedenen Komponenten größtenteils über standardisierte Kommunikationssysteme wie BACnet, KNX, Modbus, ... miteinander vernetzt. Damit kann ein bedarfsorientierter und damit optimierter Betrieb der Gebäudetechnik erreicht werden – immer unter Einhaltung des gewünschten Nutzer-Komforts.

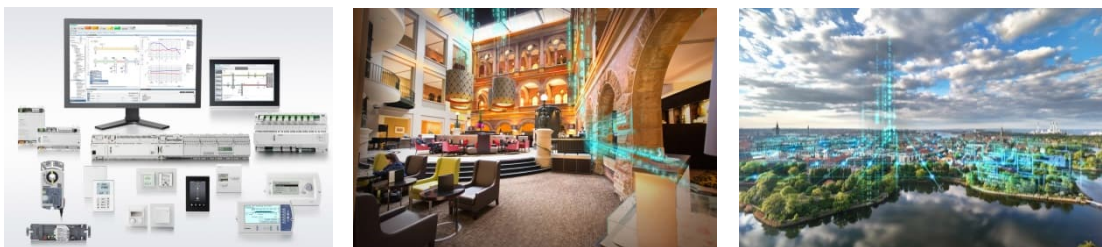


Fig. 1-4 Kommunikativ vernetzte Systeme und Geräte im Gebäude und darüber hinaus ermöglichen effizienten, optimierten Betrieb



Fig. 1-5 Integrierte Gebäudeautomation im Gebäude

- 1...4 Betrieb und Koordination zentraler Gebäudetechnik-Anlagen
- 5...8 Betrieb und Koordination der dezentralen Gebäudetechnik-Anlagen, mit Rückwirkung (Bedarfsführung) auf die zentralen Gebäudetechnik-Anlagen
- 9...10 Betrieb und Koordination der Beleuchtungs- und Beschattungseinrichtungen, auch in Abstimmung mit Heizungs-, Lüftungs- und Klima-Anlagen
- 11 Wetterstation für den optimierten Betrieb der Gebäudetechnik-Anlagen, aber auch für Schutzfunktionen (z.B. Windwarnung für Beschattungseinrichtungen, ...)
- 12 Integration der Audio-/Video-Anlagen in Betriebs- und Bedienkonzepte von Räumen (z.B. Szenen-Steuerung in Konferenzräumen)
- 13...15 Integration von Gebäude- und Personenschutzanlagen
- 16 Betrieb und Bedienung von Beförderungsanlagen
- 17 Betrieb, Bedienung und Überwachung mit übergeordneter Gebäudemanagement-Station durch Integration aller gebäudetechnischen Anlagen

1.4. Behaglichkeitskriterien

Es gibt eine Vielzahl von Behaglichkeitskriterien, die das Wohlbefinden von Personen in Innenräumen beeinflussen. Nebst der Raumlufthtemperatur und der Raumlufthfeuchte spielen auch eine gute Innenraum-Luftqualität, aber auch eine ausreichende Beleuchtung oder Beschattung eine entscheidende Rolle. Diese lassen sich mit Hilfe der Gebäudetechnik-Anlagen beeinflussen, so dass ein behagliches Raumklima und -gefühl bereitgestellt werden kann.

Weiter wird das Wohlbefinden noch durch andere Kriterien mitbestimmt, die nicht so einfach oder gar nicht durch Gebäudetechnik-Anlagen beeinflusst werden können. Dies sind Einflüsse wie störende Geräusche oder Lärm, Arbeitsbelastung, körperliches Wohlbefinden, Krankheiten, und viele mehr.

Nachfolgend konzentrieren wir uns auf die Behaglichkeitskriterien, die mit Hilfe von Gebäudetechnik-Anlagen beeinflusst werden können.

Für die weiteren Erklärungen werden teilweise Grafiken und Bilder genutzt, welche im SIEMENS Selbstlernprogramm „Einführung in die HLK- und Gebäudetechnik“ verwendet werden.



Fig. 1-6 Personen unterhalten sich zu Behaglichkeitskriterien (Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

1.4.1. Raumlufthtemperatur und Raumlufthfeuchte

Geht es darum, behagliche Raumlufthtemperaturen und -feuchten festzulegen, hängt es davon ab, um welche Art Raum es sich handelt und wie dieser genutzt wird.

Betrachten wir dazu einen Büroraum, wo die Personen eine „sitzende Tätigkeit“ ausüben. Hier sind übers Jahr gesehen folgende Werte sinnvoll (vgl. DIN EN 16798-1):

Raumlufthtemperatur	20 ... 26 °C
Raumlufthfeuchte	30 ... 60 % r.F. (% r.F. = % relative Feuchte)

Dazu ist aber festzuhalten, dass sich im Winter (d.h. im Heizfall) viele Personen eher eine Raumtemperatur von 21 ... 22 °C wünschen.

Es wird also mit einer Bandbreite gearbeitet. Einerseits benötigen Menschen nicht immer konstant gleiche Bedingungen. Andererseits sollte speziell im Sommer die Raumtemperatur in einem vernünftigen Verhältnis zur Außenlufttemperatur sein, um Schockwirkungen auf den menschlichen Körper zu vermeiden, wenn man nach draußen geht oder von außen reinkommt.

Für die Luftfeuchte hat der menschliche Körper kein sehr ausgeprägtes Sensorium. Menschen spüren vor allem extreme Situationen, z.B. sehr trockene Luft, weil dann die Schleimhäute und die Haut austrocknen oder sehr feuchte Luft, weil dann der Körper nicht mehr so gut durch Schwitzen abgekühlt werden kann.

Diese Bandbreite für die Temperatur und die Feuchte hilft auch, den Energieverbrauch für Heizen und Kühlen und den Aufwand für Befeuchten und Entfeuchten niedrig zu halten, ohne dass es zu Komfort-Einbußen kommt.

Wärme- und Feuchteabgabe durch Personen

Personen beeinflussen das Raumklima selbst auch, weil sie sowohl Wärme als auch Feuchtigkeit abgeben.

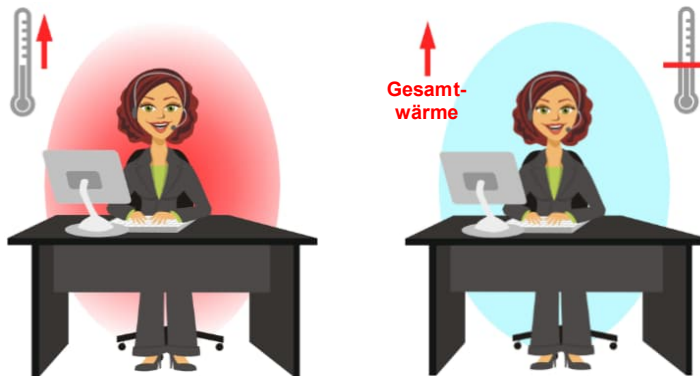


Fig. 1-7 Wärmeabgabe durch Personen
(bei sitzender Tätigkeit)
70...80 W sensibel, Temperatur steigt

Feuchteabgabe durch Personen
(bei sitzender Tätigkeit)
80 g/h, Person ($\Rightarrow$ ca. 40 W latente Wärme)
Gesamtwärme im Raum nimmt zu
(Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

Eine Person, die eine sitzende Tätigkeit ausübt, gibt ca. 70...80 W an Wärme ab, welche sich spürbar (sensibel) auf die Raumtemperatur auswirkt.

Personen geben auch Feuchtigkeit in den Raum ab. Die abgegebene Feuchtigkeitsmenge beträgt rund 80 g je Stunde und pro Person. Diese Feuchtigkeit verdunstet in die Raumluft, was zu einer Zunahme der Wärme im Raum um etwa 40 W pro Person führt, welche latent (verborgen) ist. Das bedeutet, die Raumtemperatur bleibt, wie sie ist, der Gesamt-Wärmeinhalt des Raums nimmt jedoch durch den Feuchteeintrag zu.

Eine Person gibt also rund 1/3 der Wärme (40 W latent / 120 W gesamthaft) über Verdunstung (Schwitzen, wenig über Atmung) ab. Die restliche Körperwärme wird in etwa abgegeben über:

- 30 % Strahlung
- 30 % Konvektion
- 7 % Wärmeleitung (Direktkontakt)

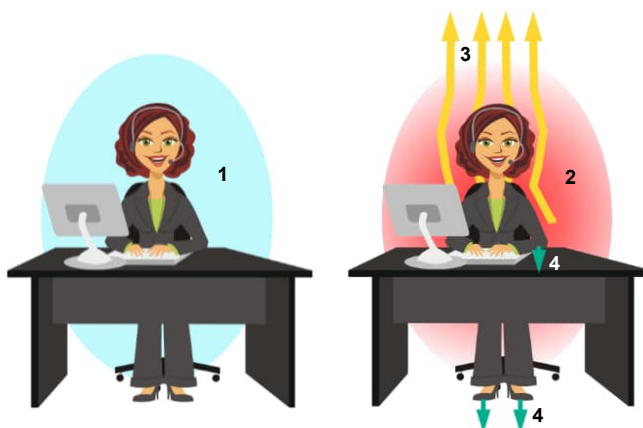


Fig. 1-8 Wärmeabgabe einer Person bei sitzender Tätigkeit durch
Verdunstung (1), Strahlung (2), Konvektion (3) und Wärmeleitung (4)
(Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

Wieviel Wärme durch Personen abgegeben wird, hängt auch davon ab, was diese Personen machen. Diese Aktivitätslevel werden mit dem "met"-Wert beschrieben:

1 met $\approx$ 60 W/m² Körperoberfläche; 1 Person ca. 1,8 m²
(met = Metabolismus, Stoffwechsel)

Für verschiedene Aktivitätslevel („met“-Werte) gelten in etwa die folgenden Wärmeabgabe-Werte.

80 W 0,8 met 	100 W 1,0 met 	120 W 1,2 met 
170 W 1,7 met 	300 W 3 met 	600 W 6 met 

Fig. 1-9 Wärmeabgabe von Personen bei verschiedenen Aktivitäten
(bei üblichen Umgebungstemperaturen)

Die Feuchteabgabe durch Personen ist ebenfalls abhängig vom Aktivitätslevel.

Weiter ist die Wärmeabgabe auch noch beeinflusst durch die Bekleidung der Personen. Dies wird mit der Einheit „clo“ (von engl. „clothing“) beschrieben und ist ein Maß dafür, wie stark der Körper durch die Bekleidung isoliert wird.

Diese Feuchte- und auch Wärme-Abgabewerte müssen bei der Planung von Gebäudetechnik-Anlagen unbedingt berücksichtigt werden.

Das bedeutet, im Heizfall reduziert sich durch die Wärmeabgabe von Personen die notwendige Heizleistung und die Feuchteabgabe reduziert den Bedarf an aktiver Befeuchtung.

Andererseits sind im Kühlfall diese Wärme- und Feuchteabgaben eine zusätzliche Belastung im Raum und sie erhöhen die, für ein angenehmes Raumklima, notwendige Kühlleistung (für kühlen und entfeuchten).

Temperatur der umgebenden Oberflächen, Wärmestrahlung im Raum

Personen interagieren auch mit dem Raum und den sie umgebenden Oberflächen.

Dabei gilt der Grundsatz (vgl. 2. Hauptsatz der Thermodynamik):

„Wärme fließt immer von der höheren zur tieferen Temperatur“.

Unser Körper ist zwischen 36...30 °C warm. Das heißt also, wir strahlen Wärme ab an kühle Oberflächen wie Wände, Decken und Fenster. Andererseits strahlt z.B. ein Heizkörper, welcher 45 °C warm ist, Wärme an uns ab.

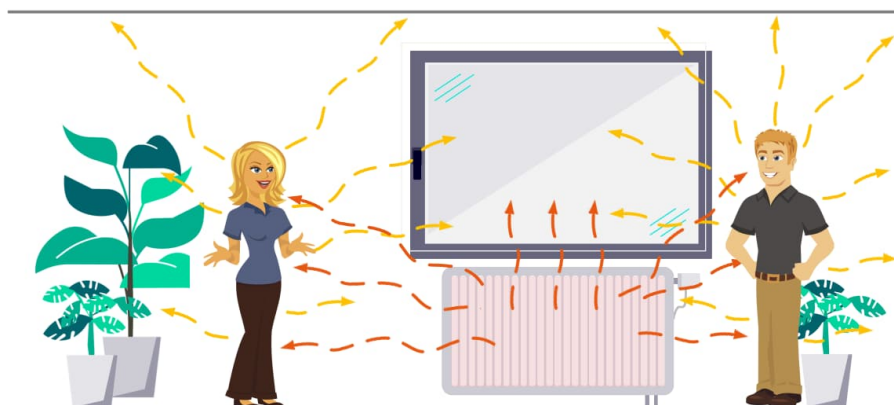


Fig. 1-10 Personen strahlen Wärme an kühle Oberflächen ab (gelbe Pfeile), andererseits empfangen diese Personen Strahlungswärme von wärmeren Oberflächen (vom Heizkörper, rote Pfeile)
(Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

Die Behaglichkeit hängt also davon ab, wie viel Wärme wir abstrahlen resp. im Vergleich dazu empfangen. Diese Wärmeflüsse sollten daher möglichst ausgeglichen sein. Denn, wenn wir zu viel empfangen ist uns zu warm, wenn wir zu viel abstrahlen ist uns kalt.

Übrigens wird eine zu starke Abstrahlung von Körperwärme an empfindlichen Körperteilen (z.B. Nacken, Fußfesseln, ...) nicht als Abstrahlung, sondern als „Zugerscheinung“ empfunden.

Strahlung wirkt auch, wenn in einem Raum Kühldecken eingebaut sind. Kühldecken werden mit kühlem Wasser (ca. 17...19 °C) durchspült und können so Wärme aus dem Raum abführen. Kühldecken führen bis zu 60 % der Wärme über Strahlung ab (je nach Konstruktion), die restliche Wärme wird über Konvektion abgeführt.

Das heißt also, wir strahlen Wärme an die Kühldecken ab und das hilft uns im Sommer „einen kühlen Kopf“ zu behalten.

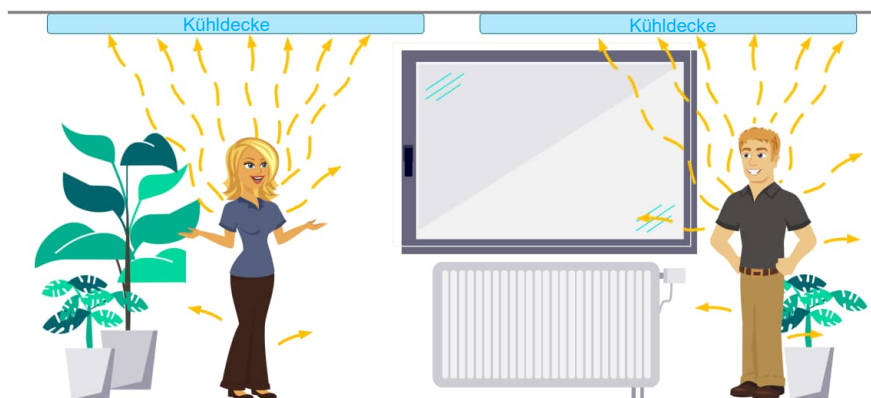


Fig. 1-11 Personen strahlen im Sommer Wärme an Kühldecken ab (Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

1.4.2. Raumluftqualität

Für die Raumluftqualität werden grundsätzlich zwei Messgrößen verwendet:

- CO₂ (Kohlendioxid)
- VOC (Volatile Organic Compound)

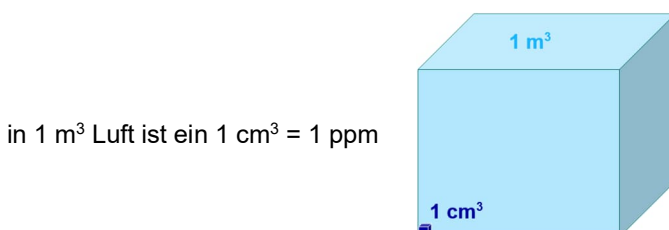
CO₂ als Indikator für Personenbelegung

CO₂ ist ein guter Indikator für Raumluftqualität, weil Personen im Raum den Sauerstoff (O₂) aus der Raumluft einatmen und dann CO₂ (Kohlendioxid) ausatmen. Das bedeutet, je mehr Personen im Raum sind, desto schneller reduziert sich der Sauerstoffgehalt und umgekehrt steigt die CO₂-Konzentration schneller an in der Luft.

Die CO₂-Konzentration wird in der Einheit „ppm“ gemessen.

(„ppm“ steht für parts per million, also Teile pro Million oder millionster Teil)

Wieviel 1 ppm CO₂ ist, kann man sich so vorstellen:



Wie viele ppm CO₂ dürfen für eine gute Luftqualität in der Raumluft enthalten sein?

- CO₂ -Werte bis ca. 1400 ppm sind eine vertretbare Luftqualität (sofern gemäß lokalen Vorschriften zulässig)
- 1000 ppm CO₂ ist eine gute Luftqualität für Büroräume, Schulen, ... (vgl. DIN EN 16798-1)

Um die Raumluft bei der vorgegebenen CO₂-Konzentration zu halten, wird diese laufend mit Außenluft verdünnt. Je kleiner die Differenz zwischen CO₂-Gehalt im Raum und in der Außenluft, umso mehr Luft muss eingebracht werden. Diese Außenluftmenge muss transportiert und konditioniert, d.h. gefiltert, geheizt, gekühlt, ... werden, was entsprechend viel Energie benötigt.

Dabei spielen die CO₂-Konzentration der Außenluft und der gewünschte Grenzwert im Raum eine entscheidende Rolle. Die CO₂-Konzentration der Außenluft liegt grundsätzlich bei ca. 400 ppm, in urbanen Umgebungen ist diese auf Grund von Straßenverkehr, Heizungsanlagen, die in Betrieb sind, usw. oft höher, z.B. bei 550...700 ppm.

Bei einem tiefen Grenzwert für die CO₂-Konzentrationen im Raum (z.B. 700 ppm) würde sich niemand über schlechte Luftqualität beklagen. So eine überaus gute Raumluftqualität kann aber nur mit einem sehr großen Energieaufwand erreicht werden.

Dazu folgendes Beispiel (vgl. Fig. 1-12):

Liegt die Außenluft-Konzentration z.B. bei 600 ppm CO₂, dann ist, gegenüber einem Grenzwert von 700 ppm, nur eine Differenz von 100 ppm vorhanden zum Verdünnen. Bei einem Grenzwert von 1000 ppm hingegen, ist die Differenz zum Verdünnen 4x so groß, nämlich 400 ppm. Somit braucht es 4x weniger Außenluft zum Verdünnen, was sich natürlich sehr stark auf den Energieverbrauch auswirkt.

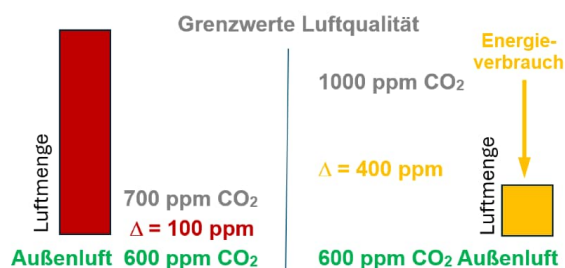


Fig. 1-12 Zu tiefer CO₂-Grenzwert hat große Auswirkung auf die Außenluftmenge und damit den Energiebedarf

VOC (Volatile organic compound) als Geruchsindikator

VOC ist eine englische Abkürzung und steht für "flüchtige organische Verbindung" (Volatile Organic Compound). Meistens spricht man jedoch von Mischgas oder von "Gerüchen".

Gerüche "verflüchtigen" sich schnell, d.h. die Geruchspartikel reagieren schon bald mit anderen Elementen in der Luft und der Geruch "verschwindet" meistens nach kurzer Zeit wieder.

Gerüche treten auch eher punktuell auf im Raum. Denken wir einmal daran, wie es sich mit dem Duft verhält, wenn z.B. ein Filterkaffee aufgegossen wird.

Eine VOC-Messung ist daher nur bedingt geeignet, um den Volumenstrom einer Lüftungsanlage anzupassen. Deshalb wird der VOC-Messwert, d.h. die Geruchsbelastung meistens als Zusatz zu einer CO₂-Messung verwendet, um dann den Volumenstrom einer Lüftungsanlage anzupassen und so die Luftqualität im Raum einzuhalten.

Feinstaub als Indikator für Raumluftqualität

Vermehrt wird auch die Feinstaub-Konzentration in der Raumluft als Luftqualitäts-Merkmal mitberücksichtigt.

Feinstaub kann die Gesundheit von Personen im Raum beeinflussen, weil die mikroskopisch kleinen Partikel (vor allem < 1 µm resp. < PM 1) tief in die Lunge eindringen und dadurch zu verschiedenen gesundheitlichen Problemen und Erkrankungen führen können.

Ist die Außenluft oder auch die Raumluft stark mit Feinstaub belastet, dann kann nicht einfach eine größere Menge Außenluft eingebracht werden (wie bei zu hohen CO₂- oder VOC-Werten). In diesem Fall muss die Luft entsprechend stärker und gründlicher gefiltert werden (vgl. 6.4.4, Luftfilter). Das verlangt entsprechende Anlagekonzepte wie z.B. zuschaltbare Filter in Luftaufbereitungsgeräten, separate Umluftgeräte in den Räumen, usw.

Als Teil dieser Grundlagen-Dokumentation wird dieses Thema nicht ausführlicher behandelt, zumal auch die Vorgaben, was eine zu hohe Feinstaub-Belastung darstellt, stark von einzelnen Länder-Vorschriften abhängt und sehr unterschiedlich ist.

1.4.3. Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Raum

Die Strömungsgeschwindigkeit der Raumluft sollte sich im Bereich von 0,13...0,2 m/s bewegen (im Aufenthaltsbereich, also da wo wir sitzen/steht). Im Sommer, wenn's warm ist, darf sie ein wenig höher liegen als im Winter. Ist diese Strömungsgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich zu groß, dann spüren Personen diesen Luftzug und beklagen sich über „Zugerscheinungen“ oder gar „Durchzug“.

Die oben genannten Werte gelten wiederum für Räume mit Personen bei sitzender Tätigkeit und einem Turbulenzgrad der Luft von 40% (vgl. DIN EN 16798-1).

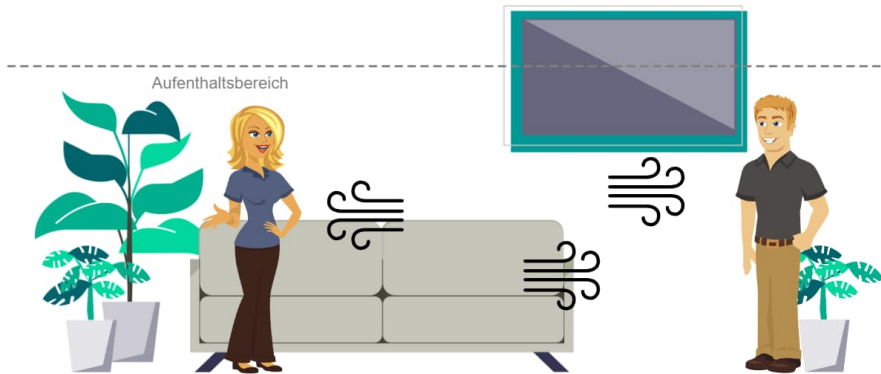


Fig. 1-13 Strömungsgeschwindigkeiten der Raumluft im Aufenthaltsbereich bis 0,2 m/s wird als behaglich empfunden (Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

1.4.4. Beleuchtung und Beschattung

Beleuchtungsstärke

In Räumen wo gearbeitet wird, sollte es ausreichend hell sein. Dies ist erfüllt, wenn auf der Arbeitsfläche eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux (lx) vorhanden ist – wenn möglich durch natürliches Licht, falls notwendig ergänzt durch Kunstlicht. Diese Beleuchtungsstärke ist von der Leistung und der Lichtstärke des Leuchtmittels, aber auch von der Distanz zur beleuchteten Fläche abhängig. Dies muss bei der Messung entsprechend berücksichtigt werden.



Fig. 1-14 Die Beleuchtungsstärke sollte 500 Lux (lx) auf der Arbeitsfläche betragen (Quelle: Siemens Selbstlernprogramm)

In größeren Gebäuden, wie Büros, Hotels, Schulen, ... wird die Beleuchtung oft automatisiert, um die vorgegebene Beleuchtungsintensität sicherzustellen. Dabei wird der natürliche Tageslichteinfall so weit wie möglich mitberücksichtigt und die Leuchtmittel dementsprechend gedimmt (z.B. wenig Kunstlicht in Fensternähe, stärkere Beleuchtung hin zu den innenliegenden, dunkleren Bereichen). Die Automatisierung stellt auch sicher (z.B. mit Hilfe von Präsenzmeldern), dass die Beleuchtung nicht unnötig oder unnötig lange in ungenutzten Bereichen eingeschaltet bleibt. Dies geschieht, weil Personen im Raum oft selbst nicht realisieren, dass die Beleuchtung noch eingeschaltet ist, obwohl genügend Tageslicht vorhanden wäre.

Beschattungseinrichtungen

Mit Beschattungseinrichtungen (z.B. außenliegende Jalousien, innenliegende Lamellenvorhänge) wird einerseits der Wärmeeintrag von außen durch Sonneneinstrahlung reduziert oder ganz verhindert, andererseits kann damit auch Blendung auf der Arbeitsfläche oder Arbeitsmitteln wie PC-Bildschirmen, ... verhindert werden.

Außenliegende Beschattungseinrichtungen werden oft automatisiert und reagieren auf die sich ändernde Sonnenstrahlungs-Intensität. Dabei berücksichtigen sie teilweise auch den wechselnden Sonnenstand über den Tages- resp. Jahresverlauf. Eine gut funktionierende Beschattungseinrichtung verhindert das Überhitzen von Räumen und spart damit auch teure Kühlenergie (Stichwort: sommerlicher Wärmeschutz).

Dabei ist es wichtig, dass Personen im Raum die Möglichkeit haben, die Beschattungseinrichtung bei Bedarf zu übersteuern. Auch sollten Beschattungseinrichtungen nicht allzu häufig die Position ändern, weil dies relativ schnell als störend empfunden wird von Personen, die sich im Raum aufhalten.

Blendschutzeinrichtungen werden oft innenliegend eingebaut (in Ergänzung zu außenliegenden Beschattungseinrichtungen) und sind in vielen Fällen manuell durch die Personen im Raum zu bedienen. So kann der Blendschutz bei Bedarf individuell eingestellt werden.

2 Physikalische Grundlagen

2.1. Einleitung

Aus dem großen Fachgebiet der Physik werden in diesem Kapitel die wichtigsten Teile der Thermo- und Hydrodynamik, bezogen auf den Bereich der Heizungs-, Lüftungs- und Klima-Technik (HLK-Technik), behandelt. Einleitend dazu werden die beiden Begriffe noch etwas erläutert:

- **Thermodynamik (Wärmelehre):**
Teilgebiet der Physik, in dem das Verhalten physikalischer Systeme bei Zu- oder Abführen von Wärmeenergie und bei Temperaturänderungen untersucht wird.
Grundlage der Thermodynamik sind die Hauptsätze der Wärmelehre.
- **Hydrodynamik:**
Teilgebiet der Strömungslehre, die sich mit der Strömung dichtebeständiger (inkompressibler) Stoffe befasst, also vor allem mit strömenden Flüssigkeiten. Strömungen mit erheblichen Dichteänderungen werden in der Gasdynamik behandelt.

SI-Einheiten

Der Name „Système international d'Unités“ (Internationales Einheitensystem) und das Kurzzeichen SI wurden durch die 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahr 1960 angenommen. SI-Einheiten sind die sieben Basiseinheiten und die aus ihnen mit dem Faktor 1 abgeleiteten Einheiten.

Basisgröße	SI-Basiseinheit	
	Name:	Zeichen:
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Absolut-Temperatur und Temperaturdifferenz	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Tabelle 2-1 SI-Basiseinheiten

Abgeleitete Einheiten werden durch Produkte und/oder Quotienten von Basiseinheiten gebildet. Entsprechendes gilt auch für Einheitszeichen. So ist z.B. die SI-Einheit der Geschwindigkeit: Meter pro Sekunde (m/s).

2.2. Thermodynamik (Wärmelehre)

Wie entsteht Wärme?

Wärme entsteht beispielsweise dann, wenn eine Raumkapsel mit fast 40 000 km/h wieder in die Erdatmosphäre eintaucht. 2000 bis 3000 °C, erzeugt vom Zusammenprall der Luftatome mit dem Hitzeschild! Wärme entsteht also durch Reibung und ist in diesem Fall Vernichtung von Bewegungsenergie. In jedem Stück Materie, sei es ein fester Körper, eine Flüssigkeit, oder ein Gas, sind die Atome oder Moleküle immer in Bewegung, d.h. in Schwingung (Fig. 2-1). Da sie aber sehr „eng gepackt“ sind, kommt es zwischen ihnen fortwährend zu Zusammenstößen, und jeder Zusammenstoß erzeugt Wärme, und zwar die Wärme, die wir als Temperatur des Stoffes messen.

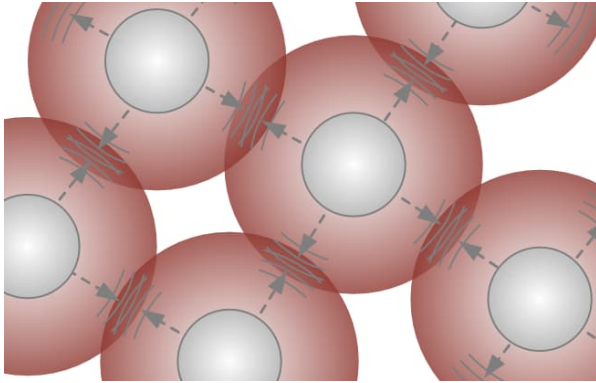


Fig. 2-1 Bewegungsenergie der Atome und Moleküle

Zustandsänderung

Wird ein Stück Metall über eine Flamme gehalten, so werden seine Atome thermisch angeregt.

Die Atome geraten dadurch in stärkere Schwingungen: die Zusammenstöße werden heftiger und das Metall wird wärmer. Dabei dehnt sich das Material aus, denn die schwingende Eigenbewegung der Atome hebt einen Teil ihrer gegenseitigen Anziehungskräfte auf.

Wird das Material weiter erhitzt, so löst sich schließlich das ganze Ordnungsgefüge auf:

Das Metall schmilzt, und einzelne Atome schießen sogar als Dampf – oder genauer gesagt als Gas – aus der Flüssigkeitsoberfläche heraus.

In dieser kurzen Beschreibung zeigen sich drei thermodynamischen Aggregatzustände:

- fest
- flüssig
- gasförmig

Strahlung

Bei diesem Schwingen der Atome oder Moleküle, diesem pausenlosen Zusammenprallen dieser kleinsten Bausteine der Stoffe, findet aber noch ein anderer Vorgang statt, den wir ebenfalls als Wärme empfinden. Einzelne Elektronen, welche die Atomkerne ständig umkreisen, werden bei den „Kollisionen“ der Atome plötzlich aus ihrer normalen Bahn auf eine weiter außen liegende Bahn geschleudert (Fig. 2-2). Dort fühlen sie sich aber nicht „wohl“. So schnell wie möglich springen sie deshalb in stufenweisen Sätzen auf ihre normale Bahn zurück. Da keine Energie verloren geht, geben sie bei ihrer Rückkehr genau so viel Energie in Form elektromagnetischer Strahlung ab, wie zuvor für das Herausschleudern erforderlich war.

Trifft diese Strahlung auf andere Atome oder Moleküle, z.B. in unserer Haut, so versetzt sie diese in stärkere Schwingungen, was sich sofort in einer Temperaturerhöhung äußert. Diese aus der Wärme geborene und Wärme bewirkende Strahlung wird als Wärmestrahlung oder Infrarotstrahlung bezeichnet. Sie ist für das menschliche Auge nicht sichtbar.

Strahlung ermöglicht die Abgabe von Wärme, ohne materielle Träger, zwischen Wärmequelle und angestrahlttem Körper. So wird z.B. Energie von der Sonne durch Strahlung auf die Erde übertragen.

Jeder warme Stoff gibt also ständig Wärmestrahlung ab. Auch das Stück Metall, das erhitzt wird und auch die Flamme, mit der es erhitzt wird. Wird die Flamme weggenommen, dann werden die Schwingungen der Atome sofort schwächer, die Temperatur fällt und die Wärmestrahlung wird geringer. So wie die Flamme das Metall thermisch anregte, so regt nun das erwärmte Metall seine kältere Umgebung thermisch an, also z.B. die Umgebungsluft und die Zange, mit der es festgehalten wird. Bei diesem Prozess verliert das Metall so lange seine innere Energie, bis seine Temperatur im Gleichgewicht mit der Umgebungstemperatur ist. Seine Atome sind dann aber keineswegs in Ruhe, sondern schwingen weiter mit der Energie, die dieser Temperatur entspricht.

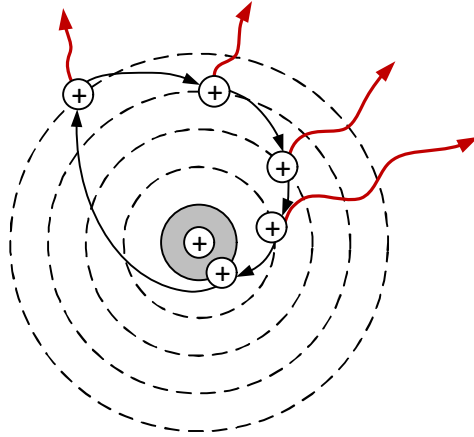


Fig. 2-2 Elektromagnetische Strahlung durch Rückkehrernergie der Elektronen

Die Darstellung dieser Vorgänge, das Schwingen und Zusammenprallen der Atome und das Springen der Elektronen von Bahn zu Bahn, macht die Hauptsätze der Wärmelehre leichter verständlich.

Erster Hauptsatz der Wärmelehre

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant. Energie kann weder verloren gehen noch aus Nichts entstehen, sondern nur in eine andere Energieform umgewandelt werden.

Kinetische Energie

Ist die „Bewegungsenergie“ oder Wucht, also diejenige mechanische Energie, die ein Körper auf Grund seiner Bewegung besitzt.

Kernenergie

Die Bindungsenergie eines Atomkerns (im eigentlichen Sinn), ist die bei Kernreaktionen freiwerdende bzw. nutzbar gemachte Energie. Großtechnisch wird bis heute nur die, bei Kernspaltungsprozessen freiwerdende, Energie in Kernkraftwerken genutzt. In einem Atomreaktor erfolgt der Aufprall der Atomkernteilchen auf das nicht spaltbare Material mit sehr hoher Geschwindigkeit.

Elektromechanische Energie

Ist die durch Elektrizität erzeugte mechanische Energie. In Wärmekraftmaschinen wird aus Wärme mechanische und elektrische Energie bereitgestellt.

Potenzielle Energie

Ist die „Lageenergie“ die ein Körper, Teilchen u.a. aufgrund seiner Lage in einem Kraftfeld, oder aufgrund seiner Lage zu – in Wechselwirkung mit ihm befindlichen – Körpern oder Teilchen seiner Umgebung besitzt. Potenzielle Energie haben z.B. ein hochgehobener Körper, eine gespannte Feder, oder ein Stausee in den Bergen. Aus der Wasserkraft wird elektrische Energie, aus dieser wiederum Elektrowärme, Motorenkraft oder Licht.

Aus Licht wird durch Photosynthese der Atome und Moleküle organischer Stoff, d.h. „chemische Energie“, die im Verbrennungsprozess wieder frei wird als Wärme, Licht und Kraft.

Mechanische Arbeit kann in Wärme umgewandelt werden. Die Rückverwandlung von Wärme in mechanische Arbeit ist nur teilweise möglich. Es gibt dabei immer Verluste.

Wärme entsteht also bei Umwandlungsprozessen und ist gleichzeitig eine Form von Energie.

Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre

Wärme kann niemals von selbst von einem Körper niedrigerer Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur übergehen.

Ein warmer Körper regt einen kühleren sofort thermisch an und verliert dabei selbst innere Energie. Damit ist gleichzeitig der Richtungscharakter aller Wärmeprozesse ausgedrückt:

→ alle Wärmeübergangsprozesse verlaufen stets vom warmen zum kalten Medium!

Die Abkühlung, die wir spüren, ist niemals ein Kälteübergang, sondern immer der Wärmeverlust unseres Körpers.

Temperatur

Die Temperatur ist neben dem Druck, der Dichte und dem spezifischen Volumen, das Maß für den thermischen Zustand. Das Schwingen der Atome in jedem warmen Stoff zeigt uns aber auch, dass die niedrigste Temperatur, der absolute Nullpunkt, dann erreicht sein müsste, wenn die Atome ganz zur Ruhe gekommen sind, also keine Schwingung mehr vollführen.

Praktisch ist dieser Punkt jedoch nicht zu erreichen, da ja die kleinste Wärmemenge genügt (z.B. aus dem Behälter oder sogar aus dem Thermometer), um die Temperatur eines Stoffes zu erhöhen.

Grad Celsius °C und Grad Fahrenheit °F

Diese *relativen Temperaturskalen* gehen von temperaturabhängigen Stoffeigenschaften wie z.B. dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt von Wasser aus.

Celsius-Skala,

1742 vom schwedischen Astronomen Anders Celsius (*1701, †1744) eingeführte Temperaturskala.

Eichpunkte sind: 0 °C = Schmelzpunkt des Eises
 100 °C = Siedepunkt des Wassers

bei normalem Luftdruck von 1,013 bar.

Zur Erfassung von Temperaturwerten (z.B. Raum-, Außen-, Wassertemperaturen) wird im täglichen Umgang in Europa normalerweise die Celsius-Skala angewendet.

Fahrenheit-Skala,

1714 vom deutschen Physiker Daniel Fahrenheit (*1686, †1736) eingeführte Temperaturskala.

Fahrenheit hatte die Differenz zwischen Schmelzpunkt des Eises und dem Siedepunkt des Wassers in 180 Teile eingeteilt. Sein Nullpunkt wurde mit einer Mischung aus Wasser, Eis und Seesalz (oder Salmiak, d.h. Ammoniumchlorid) bei vergleichbaren -17,8 °C festgelegt und da dies die damals tiefste messbare Temperatur war.

Eichpunkte sind: 32 °F = Schmelzpunkt des Eises
 212 °F = Siedepunkt des Wassers

bei normalem Luftdruck von 1,013 bar.

Die Fahrenheit-Skala ist heute nach wie vor in Anwendung in den USA und auch anderen Staaten.

Kelvin-Skala

Die absolute Temperatur T basiert auf dem absoluten Nullpunkt nach Kelvin* und ist $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sie wird in der Physik mit der Maßeinheit **K** (Kelvin) angegeben.

(*Lord Kelvin, engl. Physiker (*1824 - †1907)

Bezogen auf die Celsius-Skala sind $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$ und dementsprechend
 $n\text{ K} = 273,15 + n\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{absolute Temperatur } T \text{ in Kelvin.}$

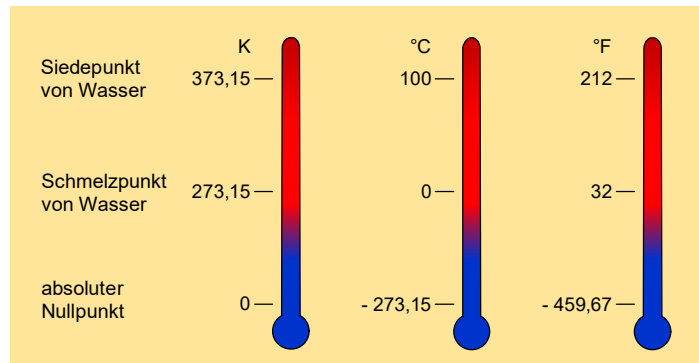


Fig. 2-3 Temperaturskalen für K, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$ im Vergleich

Nullpunkte: $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K} = 32\text{ }^{\circ}\text{F}$

Grad Celsius in Grad Kelvin: $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K}$

Grad Celsius in Grad Fahrenheit: $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32\text{ }^{\circ}\text{F}$

Vergleich und Umrechnung der verschiedenen Skalen

$^{\circ}\text{F}$ in $^{\circ}\text{C}$ und $^{\circ}\text{F}$ in $^{\circ}\text{C}$:

$^{\circ}\text{C} = 5/9 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32)$ resp. $0,55 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32)$

$^{\circ}\text{F} = 9/5 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$ resp. $1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$

Beispiel: $10\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow 283,15\text{ K} \Rightarrow 50\text{ }^{\circ}\text{F}$

Beim Rechnen mit Temperaturen, aber auch in Berichten, Mitteilungen und Aufsätzen, wird eine bestimmte Temperatur mit dem kleinen griechischen Buchstaben θ (sprich „theta“), bezeichnet (früher oft auch mit dem Symbol ϑ).

Also z.B. $\theta = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Häufig wird dafür auch $t = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ geschrieben. Wenn man es nur mit Temperaturen zu tun hätte, wäre das zulässig. Sobald aber die Zeit 't' bei den jeweiligen Überlegungen, Formeln oder Berechnungen hinzukommt, ist die Verwechslungsgefahr groß.

Temperaturdifferenzen ΔT (delta T, oft auch delta theta $\Delta\theta$, oder alte Schreibweise $\Delta\vartheta$) werden üblicherweise in Kelvin angegeben:

z.B. $\Delta T = 20\text{ K}$, zwischen Vor- und Rücklauftemperatur in einem Wasserleitungsnetz

Müssen wir verschiedene bestimmte Temperaturen bezeichnen, so erhält das θ einen Indexbuchstaben, meist den/die Anfangsbuchstaben des unterscheidenden Begriffs:

θ_{RA} („theta“ Raum), θ_{AU} („theta“ Außentemperatur)

In neueren EN-Normen, z.B. (EN 13779), werden zur Indexierung teilweise auch englische Abkürzungen verwendet (vgl. 6.3.2, Luftströme):

z.B. θ_{IDA} („theta“ Raumluft, Indoor Air), θ_{ODA} („theta“ Außenluft, Outdoor Air)

Unterschiedliche Temperaturen in einem Raum, einem Speicher oder auf einer Fläche werden nummeriert (teilweise als Index). Die mittlere Temperatur aus diesen Temperaturen wird mit θ_m bezeichnet, z.B. $\theta_m = \sum \theta_1 \dots \theta_n / n$.

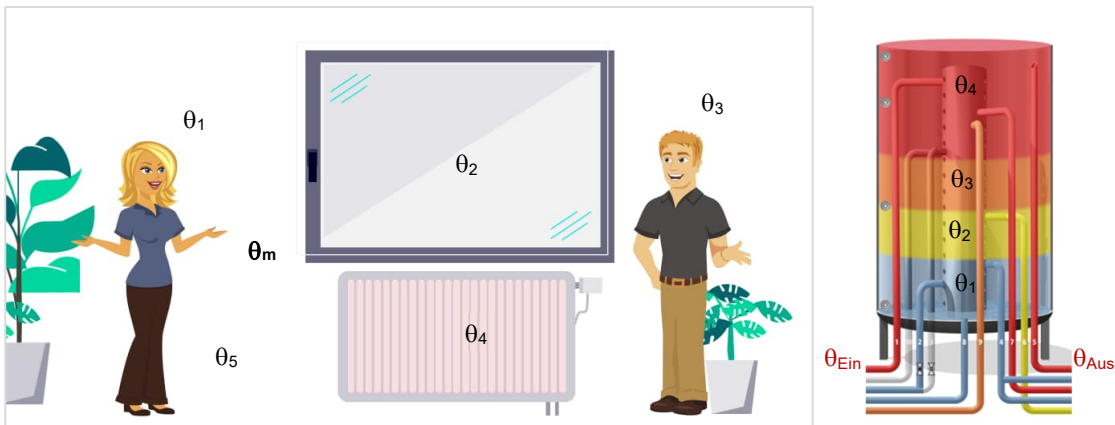


Fig. 2-4 Nummerierung, Benennung unterschiedlicher Temperaturen im gleichen Objekt

Die Erfassung der Temperatur erfolgt durch Wärmedehnung von festen Stoffen (vor allem von Metallen), Flüssigkeiten (z.B. Alkohol im Thermometer), oder durch Veränderung von elektrischen Widerständen (z.B. Pt100 Ω , Ni1000 Ω , ...).

2.2.1. Wärmeausdehnung fester Stoffe

Wärmeausdehnung

Alle Stoffe, ob fest, flüssig oder gasförmig, dehnen sich bei Erwärmung (Energiezufuhr) aus. Der Betrag der Ausdehnung ist jedoch unterschiedlich. Diese Wärmeausdehnung erfolgt mit gewaltiger Kraft. Brücken beispielsweise müssen deshalb gleitend gelagert werden und Dehnfugen besitzen, damit sie im Winter nicht reißen und im Sommer nicht ihre Widerlager zerstören.

Sehen wir uns zuerst einmal an, wie stark und wie unterschiedlich sich ein Stahlstab von 1 m Länge und ein Kupferstab gleicher Länge bei Erwärmung ausdehnen.

Längenausdehnung

Temperaturänderungen		Stahl	Kupfer
-100 °C	0 °C	+ 1,67 mm	+ 2,65 mm
0 °C	100 °C	+ 1,20 mm	+ 1,65 mm
100 °C	200 °C	+ 1,31 mm	+ 1,73 mm
200 °C	300 °C	+ 1,41 mm	+ 1,77 mm
300 °C	400 °C	+ 1,52 mm	+ 1,92 mm

Tabelle 2-2 Wärmeausdehnung von Stahl und Kupfer

Wir erkennen bereits, dass sich verschiedene Materialien auch unterschiedlich ausdehnen, und zwar nach der „Längenausdehnungszahl α “.

Unter der Längenausdehnungszahl versteht man die Zunahme der Längeneinheit eines Körpers bei 1 K Temperaturerhöhung. Diese Zahl ändert sich leicht mit der Zunahme der Temperatur. In der Praxis wird jedoch meistens mit festen Mittelwerten gerechnet.

Material	α mm	Material	α mm
Eisen (Fe)	1,23	Platin (Pt)	0,9
Aluminium (Alu)	2,38	Kupfer (Cu)	1,65

Tabelle 2-3 Ausdehnungskoeffizient α verschiedener Metalle

Ein Heizkörper aus Stahl von 3 m Länge dehnt sich demnach bei einer Erwärmung von 40 K um ca. 0,5 mm pro Meter, d.h. rund 1,5 mm aus (Fig. 2-5). Das ist ein kleiner "Weg", den der Heizkörper im Winter jeden Morgen macht, wenn die Heizungsanlage vom reduzierten Nachtbetrieb wieder auf volle Leistung geht, und er dabei innerhalb weniger Minuten um 40 K wärmer wird.



Fig. 2-5 Wärmeausdehnung eines Heizkörpers aus Stahl

Kann der Heizkörper in seinen Halterungen nicht entsprechend gleiten, so ergeben sich bei seinem „Länger werden“ die berühmten Knackgeräusche. In schlecht geregelten Anlagen, in denen die Heizkörpertemperatur dauernd schwankt, kann es sogar den ganzen Tag über „knacken“.

Bimetalle

Die Wärmeausdehnung der Stoffe bereitet den Technikern aber nicht nur Schwierigkeiten, sie wird auch technisch ausgenutzt: Beim Bimetall sind 2 Metalle unterschiedlicher Längenausdehnung miteinander verbunden (Fig. 2-6). Wird dieses „Sandwich-Metall“ (1) erwärmt, so muss es sich zwangsläufig krümmen, da die eine Seite sich stärker ausdehnt als die andere. Und je länger das Bimetall und je höher die Temperatur, umso stärker die Krümmung. Kreis- oder spiralförmig geformt, mit einem Zeiger versehen und entsprechend geeicht, wird das Bimetall dann zu einem Bimetall-Thermometer, mit einem Kontakt ausgerüstet zu einem thermischen d.h. temperaturabhängigen Schalter.



Fig. 2-6 Bimetall-Anwendungen:
Bimetall in kaltem und erwärmtem Zustand (links),
Bimetall-Thermometer z.B. zur Anzeige von Wassertemperaturen (Mitte; Quelle: Jako, AT)
Bimetall-Thermometerelement in Schraubenform (Schnittbild rechts; Quelle: tec-sience.com)

Bimetall-Schaltssysteme werden in der Technik viel verwendet: In einfacher Ausführung als Sicherheitsschalter gegen Übertemperatur (z.B. in Motorwicklungen oder im Motorschutz), in hochwertiger Ausführung mit einstellbarem Schaltpunkt als Temperaturregler oder sogenannte „Thermostate“. Das temperaturempfindliche Bimetall wird in diesen Regelgeräten als Bimetall-Fühler bezeichnet.

2.2.2. Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten

Der molekulare Zusammenhang von Flüssigkeiten ist kleiner als der von festen Stoffen: Flüssigkeiten dehnen sich daher bei Erwärmung stärker aus. Aber wie die festen Stoffe, so haben auch die flüssigen einen unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten und dehnen sich pro K bei hohen Temperaturen ebenfalls stärker aus als bei niedrigen.

Bei Flüssigkeiten und Gasen beträgt die Raumausdehnung bei konstantem Druck

γ (Ypsilon) [$1/K$].

Raumausdehnung

Flüssigkeit	$\gamma \cdot 10^{-3}/K$	Flüssigkeit	$\gamma \cdot 10^{-3}/K$
Benzin	1,20	Wasser (20...70 °C)	0,20...0,59
Heizöl EL	0,7	Olivenöl	0,72

Tabelle 2-4 Volumenausdehnungskoeffizient γ verschiedener Flüssigkeiten

Die Wärmeausdehnung der Flüssigkeiten wird wiederum bei Thermometern und bei der Konstruktion temperaturabhängiger Schalter technisch ausgenutzt (Fig. 2-7).



Fig. 2-7 Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten in Thermometern und thermostatischen Anwendungen

Flüssigkeitsthermometer zur Messung der Körpertemperatur (links; Quelle: Geratherm)

Thermostat (einstellbar) mit Kapillarfühler (Mitte; Quelle: IMIT)

Thermostatischer Stellantrieb für Heizkörperventile (rechts, Quelle: Siemens)

Im Fieberthermometer (links) dehnt sich die Flüssigkeit (blau) im Messteil bei Erwärmung aus und steigt dadurch in der Kapillare hoch und zeigt so auf der hinterlegten Skala die gemessene Körpertemperatur.

Im Prinzip ähnlich aufgebaut sind die thermischen Schalter, die Temperaturregler mit Flüssigkeitsausdehnungsfühler (Mitte). Fühler, Kapillarrohr, innenliegende Metalldose und Membrane sind mit einer Flüssigkeit gefüllt. Dehnt sich diese bei Erwärmung aus, so wird die Membrane gedehnt und betätigt das Schaltsystem.

Statt eines Schalters kann mit Hilfe der Membranausdehnung auch der Ventilstößel eines kleineren Ventils betätigt werden. Dies geschieht mit einem thermostatischen Stellantrieb für Heizkörperventile (rechts).

2.3. Das Medium Wasser

2.3.1. Aggregatzustände des Wassers

Wasser ändert seinen Zustand je nach zu-/abgeführten Wärmemengen und den zugehörigen Temperaturen. Diese Zustände heißen Aggregatzustände.

Wasser kann einen festen, flüssigen oder gasförmigen (dampfförmigen) Zustand haben. Die Zustände werden erreicht, in dem die Molekülstruktur des Wassers durch Zuführen von Wärme angeregt oder durch Abführen von Wärme beruhigt wird. Jede Zustandsänderung beinhaltet also auch immer eine gewisse Veränderung des Wärmeinhaltes des Wassers.

Die Zusammenhänge können gut in einem Temperatur-Enthalpie Diagramm (Fig. 2-8) dargestellt werden.

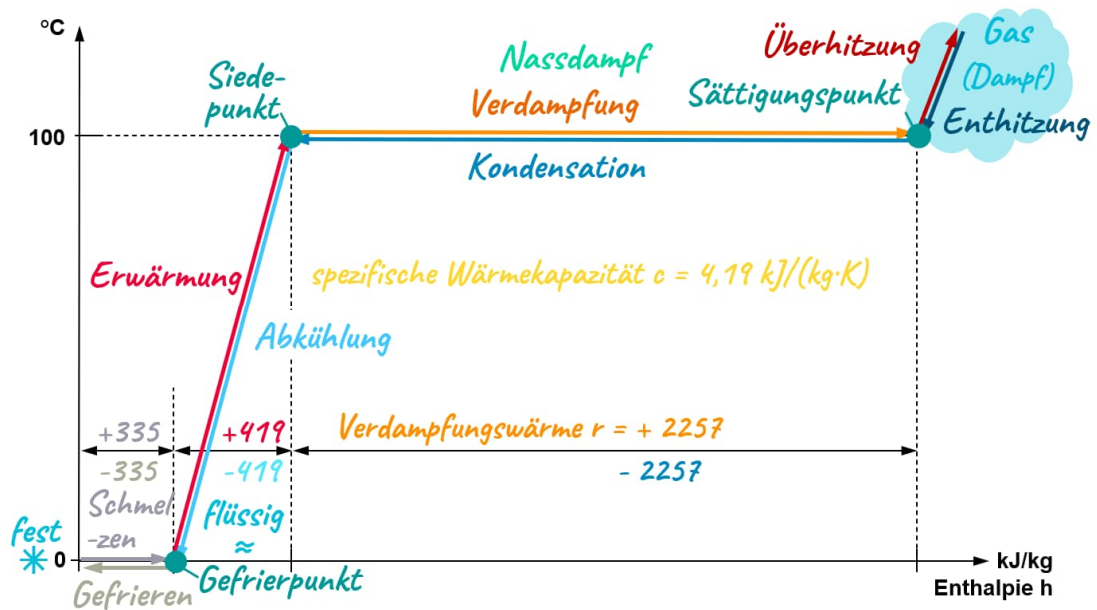


Fig. 2-8 Aggregatzustände und Zustandsänderungen von Wasser mit zugehörigen Enthalpie-Werten (Enthalpie = Wärmeinhalt)

Erwärmung

Beginnen wir die Betrachtung mit dem Vorgang der Erwärmung, da wir durch das „Kochen“ von Wasser zu Hause auf dem Kochherd oder mit einem Wasserkocher damit vertraut sind. Füllen wir Wasser aus dem Wasserhahn in den Kochtopf oder den Wasserkocher, dann hat Wasser einen flüssigen Zustand, weil seine Temperatur von ca. 10...15 °C über 0 °C liegt.

Um 1 kg Wasser um 1 K zu erwärmen, sind 4,19 kJ an Wärme notwendig. Dieser Wert wird spezifische Wärmekapazität genannt und mit „c“ bezeichnet.

→ spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Um 1 kg Wasser von 0 °C auf 100 °C, d.h. um $\Delta T = 100 \text{ K}$ zu erwärmen, muss also folgende Wärmemenge zugeführt werden (+):

$$\Delta T \cdot c_{\text{Wasser}} = 100 \text{ K} \cdot 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 419 \text{ kJ Wärme}$$

Bei 100 °C wird dann der sogenannte „Siedepunkt“ erreicht.

Verdampfung

Wird dem Wasser bei 100 °C weiter Wärme zugeführt, beginnt der Verdampfungsprozess. Dieser benötigt viel Wärme, weil die Molekülstruktur des Wassers so stark angeregt werden muss, dass sich die einzelnen Moleküle voneinander lösen und freischwebend werden, d.h. dass ein gas- oder dampfförmiger Zustand erreicht wird.

Die dafür zugeführte Wärmemenge (+) heißt „Verdampfungswärme“ und wird mit „r“ bezeichnet.

→ Verdampfungswärme $r = 2257 \text{ kJ/kg}$

Die Verdampfungswärme r ist also mehr als 5-mal so groß, wie die Wärmemenge, die es braucht, um das Wasser von 0°C auf 100°C zu erwärmen.

Während der Verdampfung bleibt die Temperatur konstant bei 100°C und schlussendlich wird der sogenannte „Sättigungspunkt“ erreicht, d.h. 1 kg Wasser ist komplett in 1 kg Dampf (Gas) übergeführt worden.

Überhitzung

Wird dem gesättigten Wasserdampf (auch Sattdampf genannt) weiter Wärme zugeführt, dann erhöht sich die Temperatur des Dampfes. Weil diese Wärme nun einem Dampf- resp. Gasgemisch zugeführt wird, gelten andere Gesetzmäßigkeiten und daher kann nicht mehr mit Konstant-Werten gearbeitet werden.

Die für eine bestimmte Überhitzung notwendige Wärmemenge muss daher z.B. aus einer Dampftafel (vgl. Fig. 2-10) oder einem $h, \log p$ -Diagramm (vgl. 4.4.6) für Wasser entnommen werden.

Enthitzung

Wird überhitzter Dampf abgekühlt, dann spricht man von „Enthitzung“. Dies liegt daran, dass dem Dampf Wärme (Hitze) entzogen werden muss, und zwar so lange, bis der „Sättigungspunkt“ erreicht ist. Erst dann kann durch weitere Wärmeabfuhr der Aggregatzustand wieder verändert werden.

Kondensation

Wird gesättigtem Dampf (Sattdampf) Wärme entzogen, dann beruhigt sich die Molekülstruktur zunehmend und die Moleküle verbinden sich nach und nach wieder zur flüssigen Form. Dieser Vorgang wird „Kondensation“ oder „Verflüssigung“ genannt. Es muss dieselbe Wärmemenge entzogen werden, wie zuvor für die Verdampfung zugeführt wurde.

Der Kondensations- oder Verflüssigungsvorgang endet beim „Siedepunkt“.

→ Kondensationswärme wird abgeführt (-) und entspricht der Verdampfungswärme $r = 2257 \text{ kJ/kg}$

Während des gesamten Kondensationsvorgangs bleibt die Temperatur konstant bei 100°C .

Abkühlung

Wird dem 100°C heißen Wasser Wärme entzogen, kühlt es sich ab. Diese „Abkühlung“ geschieht entweder gezielt, z.B. in einem Wärmetauscher oder auch mehr oder weniger unbemerkt, wenn sich z.B. ein heißes Getränk nach und nach abkühlt, weil Wärme an die kühlere Umgebung abgegeben wird.

Wird 100°C heißes Wasser bis auf 0°C abgekühlt, dann muss wiederum $4,19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ abgeführt (-) werden, gesamthaft also $- 419 \text{ kJ/kg}$.

Gefrieren und Schmelzen (Erstarren und Auftauen)

Wird Wasser von 0°C Wärme entzogen, dann beruhigt sich die Molekülstruktur weiter und die Moleküle verkeilen sich nach und nach ineinander und das Wasser wird fest, d.h. es gefriert (oder erstarrt) zu Eis.

Gefrieren von Wasser bedeutet, dass dem Wasser eine relativ große Wärmemenge entzogen werden muss.

Diese abgeführte (-) Wärme ist die Erstarrungswärme $= - 335 \text{ kJ/kg}$.

Soll Eis aufgetaut werden, muss dem Eis diese Wärmemenge zugeführt (+) werden, als sogenannte Schmelzwärme $= + 335 \text{ kJ/kg}$.

Beim Gefrieren oder Schmelzen von Eis bleibt die Temperatur bei 0°C .

Dieser Punkt wird „Gefrierpunkt“ oder „Erstarrungspunkt“ genannt.

Sensible und latente Wärme

Wie oben gezeigt, gibt es Zustandsänderung bei denen die Temperatur ändert, und andere wo die Temperatur konstant bleibt.

Ändert sich die Temperatur, wenn Wärme zu- oder abgeführt wird, und der Aggregatzustand bleibt (z.B. flüssig), dann spricht man von „sensibler Wärme“.

Sensibel kommt vom lateinischen Wort „sentire“, was „fühlen“ oder „empfinden“ bedeutet. Ein sensibler Vorgang, wie z.B. die Erwärmung, ist also eine Veränderung, die für uns spürbar ist oder die mit einem Fühler gemessen werden kann.

Bleibt die Temperatur konstant, aber der Aggregatzustand ändert sich, wenn Wärme zu- oder abgeführt wird, dann spricht man von „latenter Wärme“.

Latent kommt vom lateinischen Wort „latere“, was „verborgen sein“ bedeutet. Ein latenter Vorgang, wie z.B. die Verdampfung, ist also eine Veränderung, die für uns temperaturmäßig nicht spür- und messbar ist, sondern sich in einer Aggregatzustandsänderung zeigt.

In der nachfolgenden Grafik (Fig. 2-9) sind sensible und latente Wärme den entsprechenden Vorgängen zugeordnet.

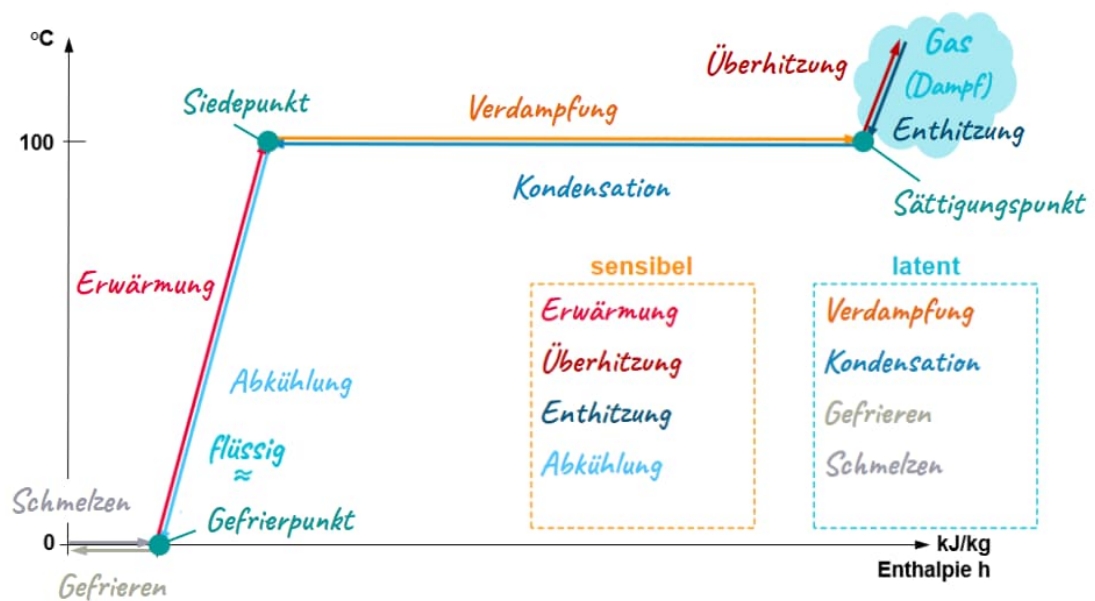


Fig. 2-9 Aggregatzustände des Wassers und Zuordnung sensible und latente Wärme

Abhängigkeit vom Druck

Alle oben beschriebenen Zustandsänderungen von Wasser und die zugehörigen Wärmewerte gelten bei einem Umgebungsdruck von 1013 mbar (0 m ü.M.; 0 Meter über Meer).

Wasserdampf-tafel

Wird mit Wasser bei anderen Drücken gearbeitet als Normaldruck, dann zeigt eine Wasserdampf-Tafel (Fig. 2-10) die zugehörigen Werte in tabellarischer Form.

Druck		Tempe- ratur	Spezifisches Volumen		Dichte	Enthalpie		Verdamp- fungswärme
p kPa	p bar	θ °C	Wasser v' dm ³ /kg	Dampf v'' m ³ /kg	Dampf ρ'' kg/m ³	Wasser h' kJ/kg	Dampf h'' kJ/kg	r kJ/kg
1	0.01	6.981	1.0001	129.20	0.00774	29.34	2514.4	2485.1
2	0.02	17.513	1.0012	67.01	0.01492	73.46	2533.6	2460.1
3	0.03	24.100	1.0027	45.67	0.02190	101.00	2545.6	2444.6
4	0.04	28.983	1.0040	34.80	0.02873	121.41	2554.5	2433.1
5	0.05	32.898	1.0052	28.19	0.03547	137.77	2561.6	2423.8
6	0.06	36.183	1.0064	23.74	0.04212	151.50	2567.5	2416.0
7	0.07	39.025	1.0074	20.53	0.04871	163.38	2572.6	2409.2
8	0.08	41.534	1.0084	18.10	0.05523	173.86	2577.1	2403.2
9	0.09	43.787	1.0094	16.20	0.06171	183.28	2581.1	2397.8
10	0.1	45.833	1.0102	14.670	0.0681	191.83	2584.8	2393.0
20	0.2	60.086	1.0172	7.650	0.1307	251.45	2609.9	2358.5
30	0.3	69.124	1.0223	5.229	0.1912	289.30	2625.4	2336.1
40	0.4	75.886	1.0265	3.993	0.2504	317.65	2636.9	2319.3
50	0.5	81.345	1.0301	3.240	0.3086	340.56	2646.0	2305.4
60	0.6	85.954	1.0333	2.732	0.3661	359.93	2653.6	2293.7
70	0.7	89.959	1.0361	2.365	0.4229	376.77	2660.1	2283.3
80	0.8	93.512	1.0387	2.087	0.4792	391.72	2665.8	2274.1
90	0.9	96.713	1.0412	1.869	0.5350	405.21	2670.9	2265.7
100	1.0	99.632	1.0434	1.694	0.5904	417.51	2675.4	2257.9
150	1.5	111.37	1.0530	1.1590	0.8628	467.13	2693.4	2226.3
200	2.0	120.23	1.0608	0.8854	1.129	504.70	2706.3	2201.6

Fig. 2-10 Wasserdampf-tafel zeigt Kenngrößen in Abhängigkeit des Druckes;
mit Werten hervorgehoben bei 0.5 bar, 1.0 bar und 2.0 bar und
Siedetemperatur bei sehr tiefem Systemdruck (Vakuum) von 0.01 bar (1 kPa)

Spalte(n)	zeigt/zeigen ...
Druck p	Druck in kPa oder bar
Temperatur θ	Siede-Temperatur in °C
Spez. Volumen	spezifisches Volumen für Wasser v' in dm ³ /kg (Volumen in dm ³ !) für Dampf v'' in m ³ /kg (Volumen in m ³ !)
Dichte Dampf	Dichte des Dampfs in kg/m ³
Enthalpie(n)	Enthalpie (Wärmeinhalt) für Wasser h' in kJ/kg für Dampf h'' in kJ/kg
Verdampfungs- wärme	Verdampfungswärme r in kJ/kg wobei $r = h'' - h'$

Beispiel

Wird der Druck in einem Wassersystem von 1,0 bar auf 0,5 bar reduziert, dann ergeben sich folgende Veränderungen (vgl. Fig. 2-10):

Die Temperatur, bei der das Wasser siedet, sinkt auf 81 °C. Die spezifischen Volumina ändern sich ebenfalls – vor allem der Dampf beansprucht viel mehr Raum. Dies zeigt sich auch in der stark reduzierten Dichte des Dampfes.

Die Enthalpien des Wassers h' und des Dampfes h'' werden auch verändert, wodurch die Verdampfungswärme r auf rund 2300 kJ/kg zunimmt.

sehr tiefer Druck → Vakuum

Wird der Druck sehr stark reduziert in einem System, d.h. wird ein Vakuum aufgebaut (vgl. Fig. 2-10 bei 0,01 bar), kann Wasser bei sehr tiefen Temperaturen, z.B. bei rund 7 °C, verdampfen. Allerdings sind dann massive Bauteile notwendig und die Anlage muss extrem dicht gebaut sein, um dieses Vakuum aufrecht zu erhalten.

höherer Druck als Normaldruck

Wird in einem System der Druck über Normaldruck gehalten (mit Hilfe des Ausdehnungsgefäßes, vgl. 3.4.4), dann sind die Siedetemperaturen höher als 100 °C.

Wird der Druck in einem System auf z.B. 2,0 bar gehalten, dann liegt die Siedetemperatur bei 120 °C. Wird in diesem System dann auch mit Temperaturen von über 100 °C gearbeitet, spricht man von einem Heißwasser-System.

Auswirkung unterschiedlicher Höhenlagen (m ü.M.) auf Siedetemperatur

Wasser siedet in einem Kochtopf auf Meereshöhe (0 m ü.M.), wie zuvor erwähnt, bei 100 °C.

Nutzt man einen Kochtopf, der unter Druck gehalten wird (Schnellkochtopf), dann kann darin bei einem Druck von z.B. 1,5 bar eine Siedetemperatur von 110 °C erreicht werden, was Speisen schneller garen lässt. Dadurch lässt sich die Kochzeit und gleichzeitig der Energieverbrauch reduzieren.

Kocht dagegen eine Hüttenwartin in einer Berghütte auf 3000 m ü.M. Pasta (Nudeln), dann siedet das Wasser schon bei 90 °C (erkennbar durch sprudelndes Wasser mit Dampfblasen), weil der Luftdruck bei ca. 0,7 bar liegt. Es dauert daher einige Minuten länger als auf Meereshöhe, bis diese Pasta „al dente“ gekocht ist.

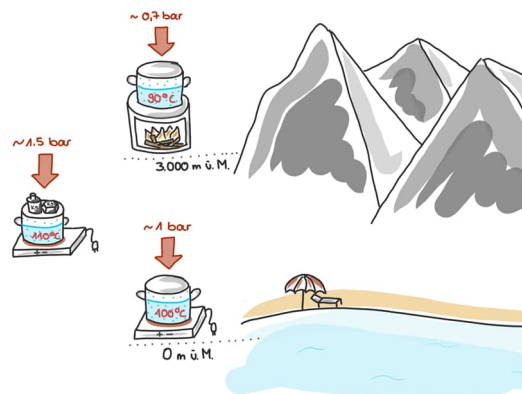


Fig. 2-11 Siedetemperaturen von Wasser bei unterschiedlichen Höhenlagen (m ü.M.) und damit unterschiedlichen Umgebungsdrücken

Volumenänderung und Dichteänderung

Wie alle Flüssigkeiten dehnt sich auch Wasser aus, wenn es erwärmt wird. Das führt zu einer Volumenänderung und damit auch zu einer Dichteänderung.

1000 kg Wasser		1 m ³ (1000 l) Wasser	
100 °C	1043,5 Liter	100 °C	958,3 kg/m ³
90 °C	1035,9 Liter	90 °C	965,2 kg/m ³
80 °C	+ 21 l (+ 2 %)	80 °C	- 20,5 kg/m ³ (- 2 %)
70 °C	1022,8 Liter	70 °C	977,7 kg/m ³
60 °C	1017,1 Liter	60 °C	983,2 kg/m ³
50 °C	1012,1 Liter	50 °C	988,0 kg/m ³
40 °C	1007,9 Liter	40 °C	992,2 kg/m ³
30 °C	1004,4 Liter	30 °C	998,6 kg/m ³
20 °C	1001,8 Liter	20 °C	998,2 kg/m ³
10 °C	1000,4 Liter	10 °C	999,6 kg/m ³
4 °C	1000,0 Liter	4 °C	1000,0 kg/m ³
2 °C	1000,1 Liter	2 °C	999,9 kg/m ³
0 °C	1000,2 Liter	0 °C	999,8 kg/m ³

Fig. 2-12 Tabellen für Volumen- resp. Dichteänderung von Wasser in Abhängigkeit der Temperatur

Die Tabelle links in Fig. 2-12 zeigt, in welchem Maße sich das Wasser in einer Heizungsanlage ausdehnt. Nehmen wir an, dass sich im Heizkessel, den Rohrleitungen und in den Heizkörpern insgesamt 1'000 l (resp. 1 m³) Heizungswasser von 20 °C befinden und dass diese Anlage im Winter sehr oft mit einer Temperatur von 70 °C betrieben wird.

Die Erwärmung um 50 K führt zu einer Volumenvergrößerung um 21 Liter !

Diese 21 Liter müssen irgendwo aufgefangen werden, sonst kommt es zu unerwünschten bis gefährlichen Druckerhöhungen und es können Anlageteile oder Leitungsverbindungen bersten. Jede Warmwasser-Zentralheizung ist daher mit einem entsprechend ausgelegten Ausdehnungsgefäß ausgerüstet.

Die temperaturabhängige Volumenänderung bedeutet umgekehrt betrachtet, dass mit steigender Temperatur die Dichte ρ in kg/m³ (resp. je 1000 l oder dm³) kleiner wird.

Die Tabelle rechts in Fig. 2-12 zeigt, in welchem Masse sich die Dichte verkleinert, wenn Wasser in einer Heizungsanlage von 20 °C auf 70 °C erwärmt wird.

Die Erwärmung um 50 K führt zu einer Dichteabnahme um etwa 20 kg/m³.

Temperatur-Schichtung

Warmes Wasser ist also leichter als kaltes Wasser und strebt in Leitungen und anderen Anlageteilen dadurch nach oben. Deshalb ergibt sich z.B. eine Schichtung in einem Wärme-/Kälte-Speicher mit warmem Wasser oben und kälterem Wasser unten (Fig. 2-13, links).

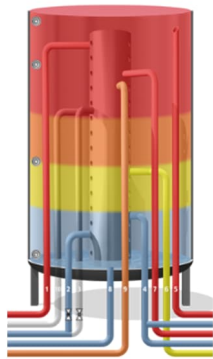
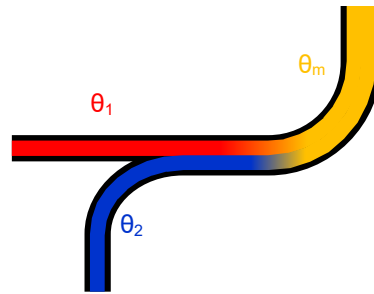


Fig. 2-13 Geschichteter Speicher mit warmem Wasser oben und kaltem Wasser unten (Quelle: Ratiotherm)



Temperaturschichtung von strömendem Wasser in Rohrleitungen

Die Tendenz des warmen Wassers, sich über das kältere zu schichten, ist so stark, dass eine solche Schichtung sogar in Rohrleitungen über lange Strecken erhalten bleiben kann (Fig. 2-13, rechts). Das muss beim Montageort und beim Einbau von Temperaturfühlern in Rohrleitungen berücksichtigt werden.

Die Anomalie des Wassers

Wasser hat noch einige andere spezielle Eigenheiten. Eine davon ist die „Anomalie des Wassers“ bei 4 °C Wassertemperatur. Wasser hat bei 4 °C die größte Dichte (vgl. Fig. 2-14) und dehnt sich von diesem Zustand sowohl bei Wärmezufuhr als auch bei Wärmeentzug aus. Dies ist bedingt durch die Molekülstruktur, die bei 4 °C am dichtesten gepackt ist.

Wasser, welches wärmer als 4 °C ist, „schwimmt“ sozusagen auf dem 4 °C kalten Wasser. Aber, auch Wasser welches kälter ist als 4 °C „schwimmt“ im Winter obendrauf. Dies ermöglicht die Bildung von Eis auf der Oberfläche von Seen, Flüssen, usw.

1000 kg Water	
20 °C	1001,8 Liter
10 °C	1000,4 Liter
4 °C	1000,0 Liter
2 °C	1000,1 Liter
0 °C	1000,2 Liter

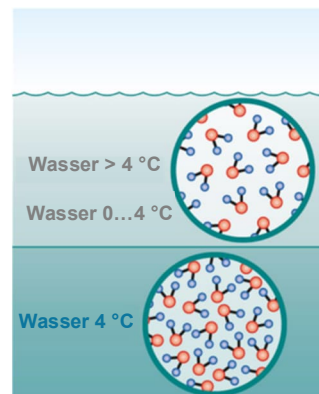


Fig. 2-14 „Anomalie des Wassers“: Wasser hat die größte Dichte bei 4 °C (Tabelle links) und Molekülstrukturen von Wasser bei verschiedenen Temperaturen (Quelle: worldoceanreview)

Erstarren von Wasser zu Eis

Während andere Flüssigkeiten sich beim Erstarren zusammenziehen, dehnt sich Wasser stark aus.

Eis benötigt also viel mehr Platz als 0 °C kaltes Wasser, nämlich ca. + 9 %.

Für 1000 kg Wasser nimmt das Volumen also von 1000 l auf 1090 l zu!

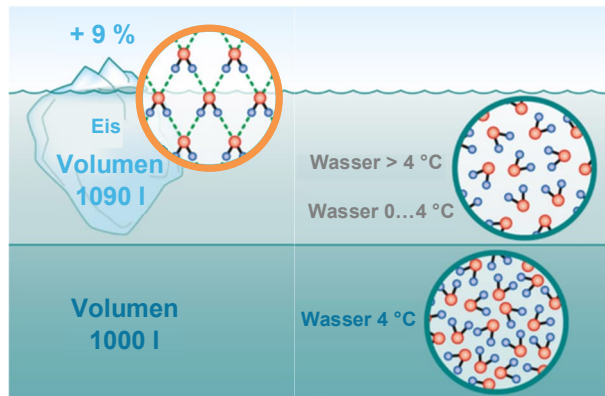


Fig. 2-15 Volumenzunahme von Wasser beim Erstarren (Gefrieren zu Eis) und zugehörige Molekülstrukturen (Quelle: worldoceanreview)

Diese Ausdehnung geschieht, weil sich die Moleküle beim Erstarren in einer Gitterstruktur verketten. Diese Gitterstruktur nimmt mehr Raum in Anspruch als die Molekülstruktur der flüssigen Form (Fig. 2-15, oben links). Dadurch sinkt entsprechend auch die Dichte, weshalb Eis auf/in Wasser schwimmt.

Eis sprengt darum auch mit ungeheurer Kraft Felsen, Straßenbeläge und Hausfassaden und bringt Rohrleitungen und andere Bauteile in Heizungs- und Kälteanlagen zum Bersten.

Deshalb muss in den HLK-Anlagen sichergestellt sein, dass Wasser in Leitungen nie einfriert, weil dadurch sehr teure Anlagenschäden und lange Betriebsausfälle entstehen würden.

Schutz vor Einfrieren

Wird Wasser in Situationen eingesetzt, wo mögliche Einfriergefahr besteht, wird dem Wasser ein bestimmter Anteil Frostschutzmittel (Glykol) zugemischt.

Durch Zusetzen von z.B. 25 % Glykol kann „Frostschutz“ (kein Einfrieren) bis - 12 °C sichergestellt werden. Allerdings verschlechtert sich dadurch auch die spezifische Wärmekapazität „c“ der Mischung um ca. 8 % gegenüber Wasser.

Zum Einsatz kommen zwei Arten von Glykol:

- Ethylenglykol, mit den besten physikalischen Eigenschaften in HLK-Anlagen, oder
- Propylenglykol, das zwingend bei Anlagen im Lebensmittelbereich eingesetzt werden muss

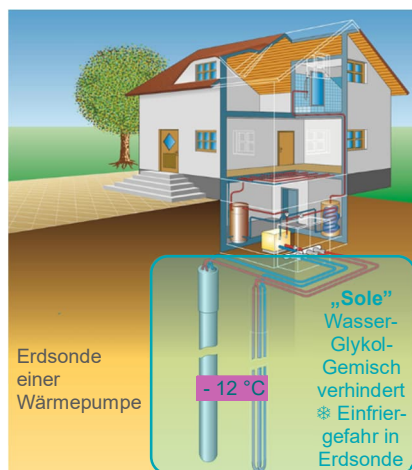


Fig. 2-16 Wasser-Glykol-Mischung in einer Erdsonde zum Schutz vor Einfrieren (Quelle: BWP Bundesverband Wärmepumpen)

2.4. Das Medium Luft

Die Luft umgibt die Erde in Form einer Hülle und übt dabei einen veränderlichen Druck auf sie aus (Barometerstand). In erster Linie benötigen die Lebewesen die Luft für die Atmung. Ein erwachsener Mensch braucht beispielsweise zur Aufrechterhaltung des Lebensprozesses etwa $0,5 \text{ m}^3$ Atemluft pro Stunde. Die Luft erfüllt aber außerdem noch andere lebenswichtige Aufgaben. So nimmt sie unter anderem an den Oberflächen der Seen und Ozeane riesige Wassermengen in Form von Wasserdampf auf, transportiert diese über große Distanzen und lässt sie als Niederschläge wieder zur Erde fallen.

Die physikalischen Größen, mit denen ein Luftzustand beschrieben wird, nennt man Zustandsgrößen. Mit diesen befasst sich auch die Klimatechnik, in der vor allem die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Luftqualität sowie der Luftdruck von Bedeutung sind.

Reine trockene Luft

Luft ist ein Gemisch von Gasen, Dämpfen und Verunreinigungen. Trockene, reine Luft gibt es nur theoretisch. Diese besteht aus den folgenden Gasen:

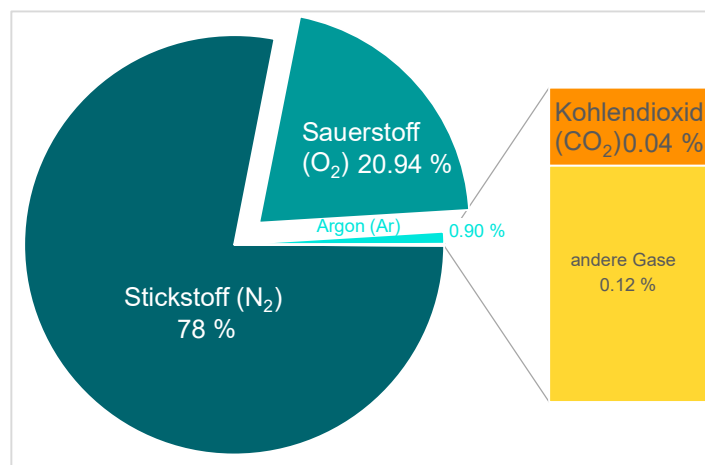


Fig. 2-17 Zusammensetzung trockener Luft

Trockene Luft besteht, wie die Grafik in Fig. 2-17 zeigt, hauptsächlich aus Stickstoff und Sauerstoff. Daneben sind noch andere Gase in kleinsten Mengen enthalten. Aus Sicht der Luftqualität ist der Sauerstoffgehalt wichtig und auch die Kohlendioxid-Konzentration (CO_2). Diese ist bei etwa 0,04 %, was einem Wert von 400 ppm entspricht.

Weiter sind in der Luft auch wenige Gramm Wasser als Dampf enthalten und Verunreinigungen wie Staubpartikel und Gerüche (VOC).

Luftfeuchte oder Luftfeuchtigkeit

Mit Luftfeuchte oder Luftfeuchtigkeit bezeichnet man den Wassergehalt der Luft. Im Falle der Luftfeuchtigkeit ist das Wasser in gasförmigem Zustand homogen mit der Luft vermischt. Die Luft hat nur eine begrenzte Aufnahmefähigkeit für Wasser. Diese Grenze wird als Sättigung bezeichnet. Unterhalb der Sättigung ist *feuchte Luft* für das Auge nicht von *trockener Luft* zu unterscheiden, also völlig farblos und durchsichtig. Oberhalb der Sättigung fällt der überschüssige Wasseranteil in Form von feinsten Wassertröpfchen als Nebel oder Wolken aus. Die aufgenommene Wassermenge bei Sättigung ist von der Lufttemperatur abhängig. Sie steigt stark progressiv mit ihr an. Bei 0°C beträgt sie beispielsweise $3,9 \text{ g/m}^3$, bei 20°C bereits 15 g/m^3 (auch noch abhängig vom Luftdruck).

Diese komplexen Abhängigkeiten lassen sich sehr gut mit Hilfe des h,x-Diagramms aufzeigen resp. darstellen.

h,x-Diagramm

Die Zustände feuchter Luft lassen sich sehr gut in einem h,x-Diagramm darstellen.

Weitere detaillierte Informationen dazu finden Sie in folgenden Unterlagen:

- Siemens Grundlagenbroschüre „Das h,x-Diagramm Aufbau und Anwendung“
- Siemens YouTube-Video „h,x-Diagramm (eine Übersicht zum Aufbau)“

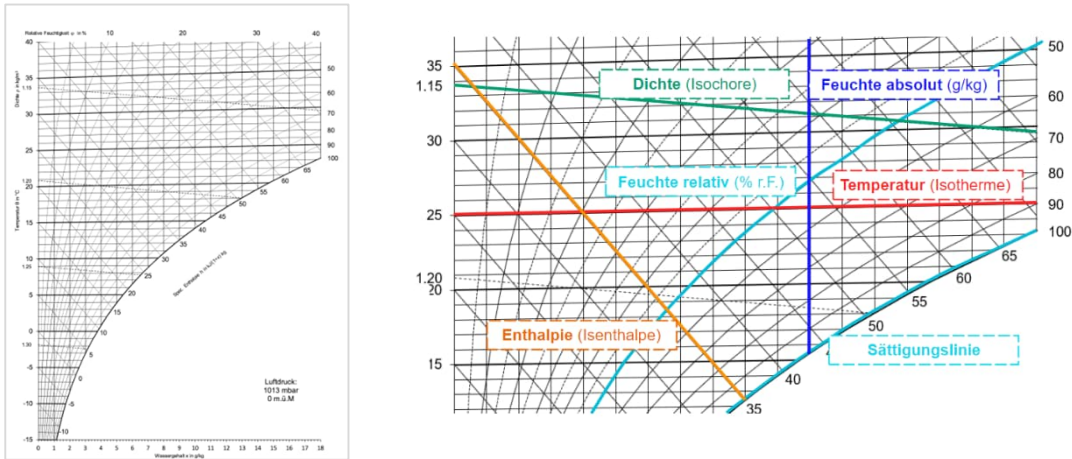


Fig. 2-18 Typisches h,x-Diagramm (Europa, Hochformat) und Diagramm-Ausschnitt mit Bezeichnung der Linien

Behaglichkeitsfeld im h,x-Diagramm

Bei der Diskussion von Behaglichkeitskriterien (vgl. Kapitel 1, 1.4) haben Sie passende Bereiche für die Raumlufttemperatur und die Raumluftfeuchte kennengelernt, z.B. für einen Büroraum bei 21...26 °C und 30...60 % r.F. .

Wie diese beiden Größen voneinander abhängig sind, lässt sich nun sehr schön im h,x-Diagramm als sogenanntes „Behaglichkeitsfeld“ darstellen.

In Ergänzung zum oben aufgeführten Temperatur- und Feuchtebereich, kommt noch ein weiterer Behaglichkeitsaspekt hinzu: die „Schwülegrenze“.

Diese wird bei 11,5 g/kg absoluter Feuchte erreicht.

Das „Behaglichkeitsfeld“, z.B. für einen Büroraum, ist damit komplett festgelegt (Fig. 2-19).

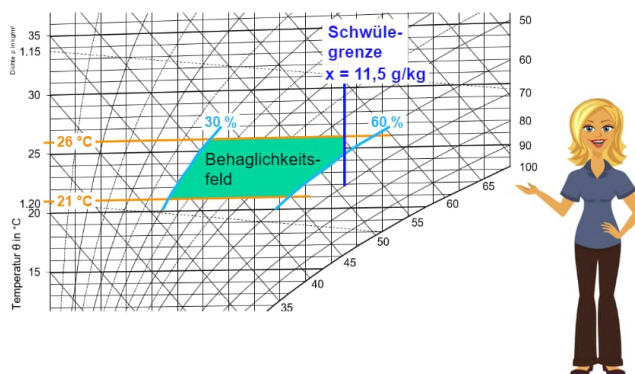


Fig. 2-19 „Behaglichkeitsfeld“ für z.B. einen Büroraum mit Schwülegrenze (bei $x = 11,5$ g/kg absolute Feuchte)

Hier noch eine kurze Erklärung unserer Kollegin zur „Schwülegrenze“:

Unser Körper verfügt über einen genialen Kühlmechanismus. Dieser sondert laufend Feuchtigkeit (Schweiß) auf der Hautoberfläche ab, welche dort verdunstet und somit den Körper kühlt. Ist der absolute Wasserdampfgehalt der Luft höher als die „Schwülegrenze“, dann kann diese abgesonderte Feuchtigkeit nicht mehr verdunsten und sie bleibt auf der Hautoberfläche liegen. Das empfinden wir als unangenehm und sagen dann: „es ist schwül“.

Liegt der Zustand der Raumluft innerhalb dieses „Behaglichkeitsfelds“, dann empfinden die meisten Personen diesen Zustand als angenehm resp. behaglich. Das bedeutet: < 15 % der Personen sind unzufrieden mit den durch das Behaglichkeitsfeld vorgegebenen Raumklimabedingungen.

Dies auch, weil wir Menschen für die Temperatur, vor allem aber für die Luftfeuchte, kein sehr ausgeprägtes Empfinden haben. Bedeutet wir spüren hauptsächlich zu kalt, zu warm, zu trocken und zu feucht.

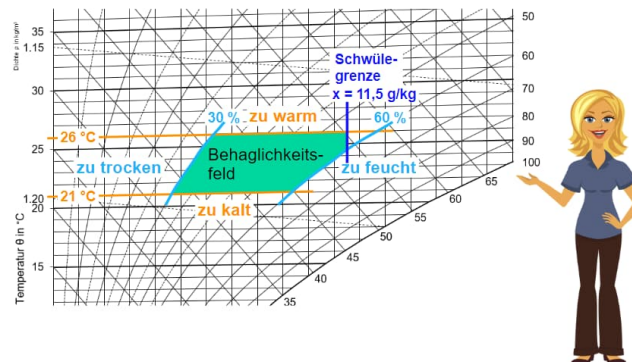


Fig. 2-20 Zustände der Raumluft außerhalb des „Behaglichkeitsfelds“ empfinden die meisten Personen als zu kalt oder zu warm oder als zu trocken oder zu feucht

Taupunkt und Taupunkt-Temperatur eines Luftzustands

Kühlt sich die Raumluft an kühlen Oberflächen stark ab (z.B. an Fenstern), kann sich auf dieser Oberfläche „Tau“ oder „Schwitzwasser“ bilden. Diese Kondensation geschieht, weil bei der Abkühlung der Luft die Sättigung des Luftzustands, d.h. 100 % r.F., erreicht wird.

Dieser Zustand wird „Taupunkt“ genannt. Die zugehörige Temperatur ist die „Taupunkt-Temperatur“.

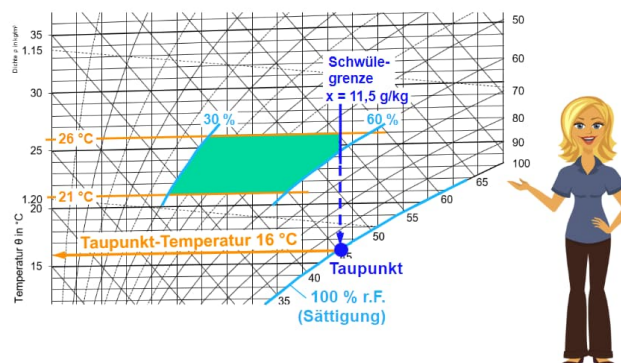


Fig. 2-21 Taupunkt und Taupunkt-Temperatur als Beispiel zur Beschreibung der „Schwülegrenze“

Die zuvor erwähnte „Schwülegrenze“ wird oft auch mit Hilfe der zugehörigen Taupunkt-Temperatur beschrieben, z.B. von Meteorologen in Wetterberichten. Im gezeigten Beispiel (Fig. 2-21) liegt die „Schwülegrenze“ bei einer korrespondierenden Taupunkt-Temperatur von 16 °C.

Dichte abhängig von Lufttemperatur

Mit steigender Temperatur wird die Luft leichter, d.h. die Dichte ρ (ρ_{ho}) in kg/m^3 nimmt ab (Fig. 2-22).

Die Luftdichte bei 20°C und einer absoluten Feuchte $x = 4 \text{ g/kg}$ ist $1,20 \text{ kg/m}^3$.

Bei ca. 33°C und gleichem absolutem Feuchtegehalt, ist diese dann nur noch $1,15 \text{ kg/m}^3$.

Diese Eigenschaft, dass wärmere Luft leichter resp. kalte Luft schwerer ist, muss beim Einblasen der Luft in einen Raum mitberücksichtigt werden. Wird dies zu wenig beachtet, kann warme Luft oben im Deckenbereich hängen bleiben, kalte Luft hingegen kann rasch zu Boden fallen, was zu unangenehmen Zugerscheinungen führen kann (vgl. Fig. 2-22).

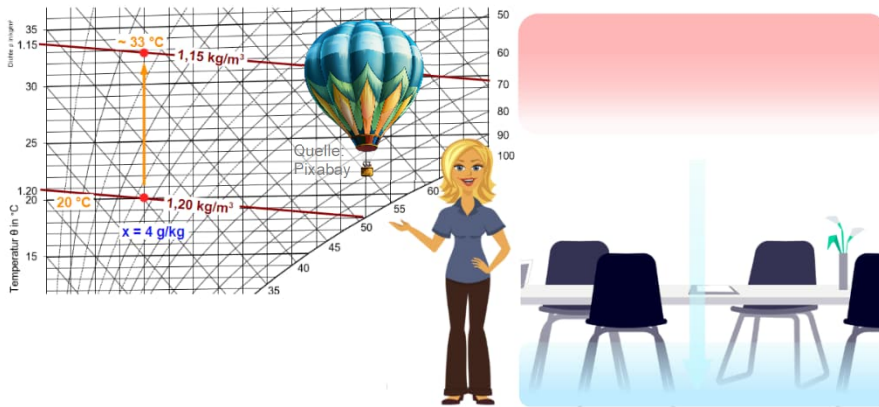


Fig. 2-22 Warme Luft ist leichter als kalte Luft, Heißluftballon steigt dadurch auf

Auswirkungen im Raum, wenn Luft zu warm oder zu kalt eingeblasen wird

Ein warmer Heizkörper, der unterhalb eines Fensters eingebaut ist (Fig. 2-23), wärmt die ihn umgebende Luft auf und bewirkt einen Auftrieb für diese Luft. Diese steigt relativ schnell nach oben und dadurch wird die Luft im Raum in Bewegung versetzt. Diese Luftumwälzung wird z.B. mit Konvektor-Heizkörpern bewusst angestoßen, weil dadurch die Heizwärme schneller im Raum verteilt wird.

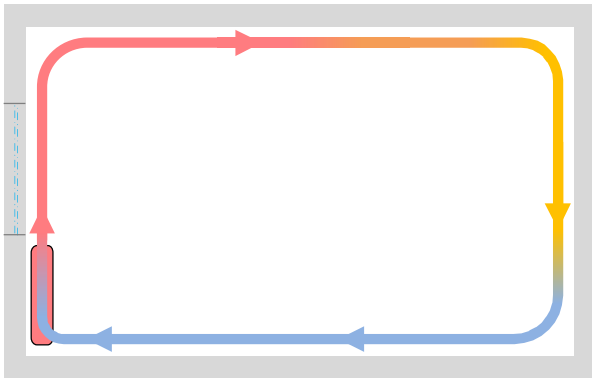


Fig. 2-23 Luftumwälzung in einem Raum mit Heizkörper

Da die Luftteilchen sehr frei beweglich sind, vermischen sie sich viel leichter miteinander, so dass wir bei Gasen eine weniger scharf abgegrenzte Temperaturschichtung beobachten als beispielsweise in einem Warmwasser-Speicher (vgl. Fig. 2-13).

Dichte abhängig vom Luftdruck

Die Dichte wird auch noch durch den Luftdruck resp. die Höhenlage beeinflusst.

Die zuvor besprochene Situation (Fig. 2-22) war bei 1013 mbar (0 m ü.M.).

Betrachten wir nun die Situation bei z.B. 950 mbar, was 540 m ü.M. entspricht, dann ist die Luft weniger dicht und somit leichter.

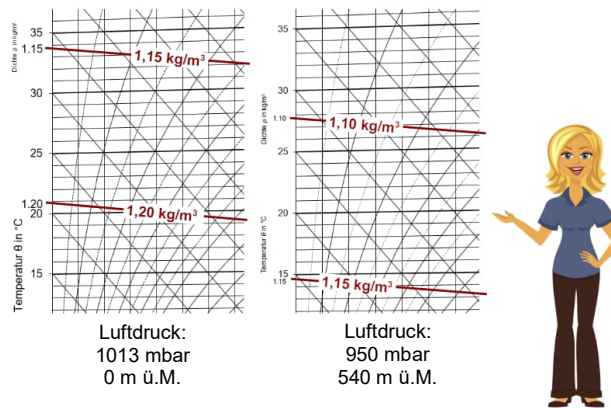


Fig. 2-24 Abhängigkeit der Dichte vom Luftdruck resp. der Höhenlage

Gasgesetze

Diese zuvor aufgezeigten Abhängigkeiten zwischen Lufttemperatur, Luftdruck und Luftdichte sind in zugehörigen physikalischen Gesetzen festgehalten.

Boyle-Mariotte und Boyle-Mariotte'sches Gesetz

Von R. Boyle und E. Mariotte aufgefundene Gesetzmäßigkeit:

In einem bestimmten Volumen eines idealen Gases ist das Produkt aus Druck p und Volumen V bei gleichbleibender Temperatur konstant. Die Dichte verhält sich wie die dazugehörigen Drücke.

Drücke:	$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	bei konstanter Temperatur (isotherm)
Dichte:	$\rho_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot V_2$	bei konstanter Temperatur (isotherm)

Gay-Lussac und Gay-Lussac'sches Gesetz

Dieses beschreibt die Gesetzmäßigkeit im Verhalten idealer Gase:

Das Volumen V vergrößert sich linear mit der absoluten Temperatur T (bei konstantem Druck p):

$$V_1 = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T_1) = V_0 + V_0 \cdot \alpha \cdot T_1 \quad (V_0 = \text{Volumen bei } 0^\circ\text{C, Temperatur } T_1 \text{ in K})$$

Der isobare ($p = \text{konstant}$) Ausdehnungskoeffizient für alle idealen Gase hat den Wert $\alpha = 1/273 \text{ K}$. Daraus folgt, dass sich bei konstantem Druck die jeweiligen Gasvolumina wie die absoluten Temperaturen des Gases verhalten.

$$V_1 / V_2 = T_1 / T_2 \quad \text{bei konstantem Druck (isobar)}$$

Gase und Gasgemische, wie die Luft, dehnen sich pro K Erwärmung um jeweils $1/273$ ihres Volumens bei 0°C aus. ($\alpha = 0,00366 \text{ K}^{-1}$)

Das heißt $1 \text{ m}^3 (= 1000 \text{ dm}^3)$ Luft dehnt sich bei Erwärmung um 1 K immer um rund $3,66 \text{ dm}^3$ aus. Ob die Luft von 0°C auf 1°C erwärmt wird oder von 20°C auf 21°C ist für diese Berechnung ohne Einfluss.

Wärmeinhalt verschiedener Luftzustände

Mit Hilfe des h,x-Diagramms kann sehr schön aufgezeigt werden, wie sich die Enthalpie (Wärmeinhalt) der Luft ändert, wenn diese erwärmt und befeuchtet wird, z.B. durch Personen im Raum (Fig. 2-25).

Der Luftzustand im Raum liegt zu Beginn bei 20 °C und einer absoluten Feuchte von 2 g/kg.

Durch die Personenwärme steigt nun die Temperatur mit der Zeit auf 24 °C an. Die Enthalpie nimmt dabei um 4 kJ/kg von 25 kJ/kg auf 29 kJ/kg zu.

Die Personen geben auch Feuchtigkeit ab (z.B. 3 g/kg) und dadurch steigt die relative Feuchte im Raum von 11 % r.F. auf rund 27 % r.F.. Die Enthalpie nimmt dabei stark zu, von 29 kJ/kg auf etwas mehr als 36 kJ/kg, bei gleichbleibender Raumtemperatur. Deswegen sprechen wir hier von latenter (verborgener) Enthalpiezunahme.

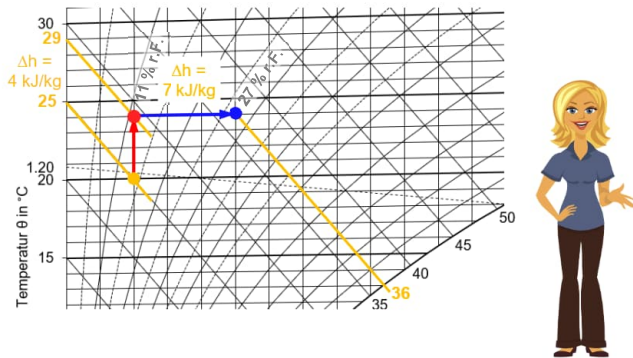


Fig. 2-25 Enthalpie-Veränderung durch Wärme- und Feuchteabgabe von Personen im Raum

Wärme

Wärme wird nicht nur durch Personen in die Räume gebracht, sondern Wärme soll auch gezielt in einem Gebäude bereitgestellt, verteilt und an Räume und Anlagen übertragen werden können, oder von dort abgeführt werden (Kälte, Kühlung).

Die Einheit der Wärmemenge ist das Joule oder Kilojoule, d.h. 1 kJ = 1000 J.

Wird also z.B. in einer Heizungsanlage 200 kg Wasser von 50 °C auf 70 °C erwärmt, dann benötigt das eine Wärmemenge Q von:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 200 \text{ kg} \cdot 4,19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 20 \text{ K} = 16\,760 \text{ kJ}$$

Strömt dieses Wasser mit 70 °C in die Heizkörper und kehrt es von dort mit 50 °C zum Heizkessel zurück, so hat es inzwischen die vorher zugeführten 16 760 kJ wieder abgegeben; zum größten Teil an die Luft in den Wohnräumen, zum kleineren Teil als sogenannte Wärmeverluste durch die Rohrleitungen an die Umgebung.

Wärmeleistung

Diese Wärmemenge von 16 760 kJ muss nun nicht nur einmalig erbracht werden, sondern muss den Räumen kontinuierlich über die Zeit zugeführt werden.

Die in einer bestimmten Zeit (h) eingebrachte Wärme Q (Energie, Arbeit), ist die Wärmeleistung $\dot{Q}$ (oder der Wärmestrom).

Für das obige Beispiel soll diese Wärmemenge nun während 1 Stunde (3 600 s) geliefert werden.

Daher beträgt die erforderliche Wärmeleistung $\dot{Q}$:

$$\dot{Q} = 16\,760 \text{ kJ} / 3\,600 \text{ s} \Rightarrow \dot{Q} = 4,66 \text{ kJ/s} \text{ resp. } 4,66 \text{ kW}$$

Die Leistung $\dot{Q}$ (Wärmestrom) ist abhängig:

- vom Massenstrom $\dot{m}$ (Masse pro Zeiteinheit)
- der spezifischen Wärmekapazität c des Mediums
- von der Temperaturdifferenz ΔT .

oder, an Stelle des Massenstroms

- vom Volumenstrom $\dot{V}$ (Volumen pro Zeiteinheit) und der Dichte ρ (rho) des Mediums

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\text{kW (kJ/s)} = \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\text{kW (kJ/s)} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K}$$

Die Leistung $\dot{Q}$ in kW (oder W) ist also proportional zum Massenstrom $\dot{m}$ in kg/s resp. zum Volumenstrom $\dot{V}$ in m³/h und zur Temperaturdifferenz ΔT in K.

Geht es nun darum, die Leistung $\dot{Q}$ in einer Anlage anzupassen, dann muss entweder der Massenstrom $\dot{m}$ oder der Volumenstrom $\dot{V}$ entsprechend reduziert oder erhöht werden oder die Temperaturdifferenz ΔT muss, z.B. durch Mischen von kaltem und warmem Wasser, verändert werden (vgl. „Mischungsregel“, weiter unten in der Beschreibung).

Für die üblichen Anlagesituationen kann die spezifische Wärmekapazität „c“ als konstant betrachtet werden.

Die Dichte ρ ändert, wie zuvor gesehen, abhängig von der Temperatur und bei der Luft (Gasgemisch) auch noch abhängig vom Luftdruck resp. der Höhenlage.

Wie groß die spezifische Wärmekapazität „c“ für Wasser oder Luft ist, wurde schon besprochen.

Hier nochmals zum Vergleich:

$$c_{\text{Wasser}} = 4,19 \text{ kJ/kg,K}$$

$$c_{\text{Luft}} = 1,01 \text{ kJ/kg,K}$$

↓ $\frac{1}{4}$

Es ist deutlich erkennbar, dass mit 1 kg Luft rund 4-mal weniger Wärme- oder Kälteleistung transportiert werden kann als mit 1 kg Wasser.

Weiter ist zu beachten, dass sich die spezifische Wärmekapazität „c“ auf 1 kg eines Mediums bezieht.

Vergleicht man nun „c“ von Wasser und Luft diesbezüglich, dann zeigt sich, dass 1 kg Wasser ein Volumen von ca. 1 dm³ hat. 1 kg Luft hingegen hat ein Volumen von rund 830 dm³, bei einer Dichte von 1,2 kg/m³.

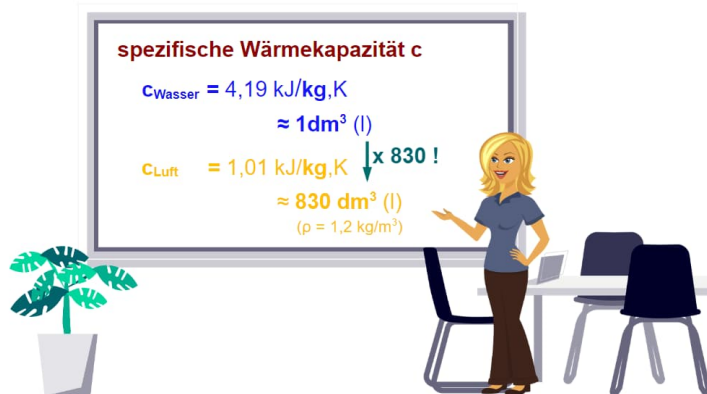


Fig. 2-26 Luft benötigt viel mehr Volumen im Vergleich zu Wasser, um dieselbe Leistung $\dot{Q}$ zu transportieren

Um dieselbe Leistung mit Luft zu den Anlagen zu bringen, muss also viel mehr Volumen transportiert werden als mit Wasser, was enorm viel Platz im Gebäude beansprucht.

Luft ist also ein schlechter Wärmeträger. Daher sollte Wärme-/Kälte-Leistung möglichst mit Wasser (oder anderen Flüssigkeiten wie z.B. Wasser-Glykol-Gemisch) im Gebäude verteilt werden und erst am Nutzungsort, falls notwendig, an die Luft übertragen werden.

Mischungsregel

Die Mischungsregel ist die Gleichung zur Bestimmung der Mischtemperatur θ_m , die sich einstellt, wenn zwei Stoffe mit den Massen m_1 und m_2 , den zugehörigen Temperaturen θ_1 und θ_2 und den spezifischen Wärmekapazitäten c_1 und c_2 ohne Wärmezufuhr oder Wärmeabfuhr miteinander gemischt werden.

Aus dem Gleichgewicht von aufgenommener und abgegebener Wärmemenge ergibt sich:

$$Q_{\text{aufgenommen}} = Q_{\text{abgegeben}}$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (\theta_m - \theta_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (\theta_m - \theta_2)$$

$$\text{Mischtemperatur } \theta_m = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot \theta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \theta_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \text{ in } ^\circ\text{C}$$

oder vereinfacht, beim Mischen von zwei gleichen Medien, d.h. mit gleicher spez. Wärmekapazität $c_1 = c_2$:

$$\text{Mischtemperatur } \theta_m = \frac{m_1 \cdot \theta_1 + m_2 \cdot \theta_2}{m_1 + m_2} \text{ in } ^\circ\text{C}$$

In der Gebäudetechnik kommen Mischvorgänge wasserseitig in hydraulischen Schaltungen (z.B. bei einer Vorlauftemperaturregelung) und luftseitig bei Mischluftklappen in Lüftungsgeräten vor.

Diese Mischungsregel kann auch mit Massenströmen $\dot{m}_1$ und $\dot{m}_2$ verwendet werden.

Zeitliches Verhalten der Wärmeübertragung (Übertragungsverhalten)

Bei allen Wärmeübertragungsvorgängen geht es um die Frage:

Welche Wärmemenge wird pro Zeiteinheit bei einer Temperaturdifferenz von x Kelvin von einem Bauteil auf ein Medium (Gas oder eine Flüssigkeit), oder von diesem auf ein Bauteil übertragen?

Exponentialfunktion

Vorgänge, bei denen sich die Größe im Verhältnis zur Größe selbst ändert, verlaufen nach einer Exponentialfunktion, einer sogenannten e-Funktion. In Fig. 2-27 ist deutlich sichtbar, wie die Temperaturänderung pro Zeiteinheit immer kleiner wird, da die zu überwindende Temperaturdifferenz selbst immer kleiner wird (und diese bestimmt ja die übertragene Wärmemenge).

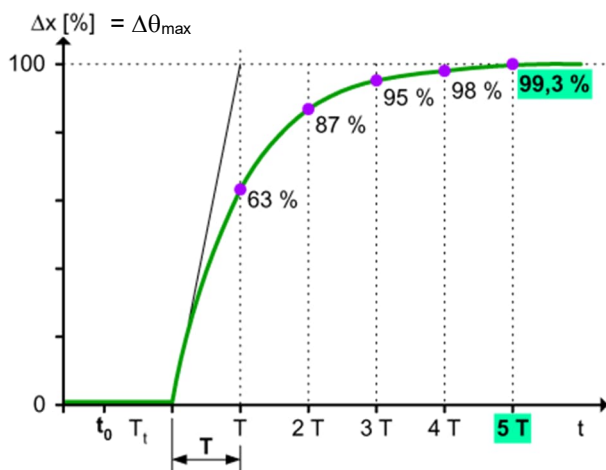


Fig. 2-27 Temperaturänderung pro Zeiteinheit

In der Zeiteinheit T (genannt Zeitkonstante) werden knapp 2/3 (mathematisch genau 0,632 oder 63,2 %) der insgesamt zu überwindenden Temperaturdifferenz $\Delta\theta_{\max}$, hier mit $\Delta x = 100\%$, durchschritten.

In der nächsten gleich großen Zeiteinheit bis zu 2T werden von den verbleibenden 36,8 % wiederum 63,2% durchschritten.

Und auch in der dritten Zeiteinheit bis zu $3T$ genau dasselbe: Wiederum werden 63,2 % der noch verbleibenden Temperaturdifferenz aufgehoben usw., bis bei ca. $5T$ praktisch der Ausgleich erfolgt.

Beispiel Temperaturanzeige an einem Thermometer:

Ein Thermometer wird so lange in schmelzendes Eis gesteckt bis es $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzeigt. Dann wird es herausgenommen und sofort in ein Wasserbad gestellt, welches konstant auf $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ gehalten wird. Gleichzeitig wird eine Stoppuhr gestartet und die Zeit gemessen, bis das Thermometer $63,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzeigt. Nehmen wir an, dass dies bei dieser Versuchsanordnung 20 s dauert. Jetzt kann man voraussagen, dass das Thermometer nach weiteren 20 s ca. $86\text{ }^{\circ}\text{C}$ anzeigen wird und nach nochmals 20 s ca. $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Von da an wird die Temperatur-Anzeige nur noch sehr langsam weiter steigen und erst nach etwa 5 mal 20 s zeigt das Thermometer schließlich praktisch $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ an. Theoretisch würden genau $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ aber erst nach unendlich langer Zeit erreicht.

Dieses Verhalten haben auch Widerstands-Messelemente in Temperaturfühlern (z.B. PT $100\text{ }\Omega$, Ni $1000\text{ }\Omega$, ...). Deshalb ist bei solchen Fühlern im Datenblatt die Zeitkonstante T aufgeführt als Maß, wie schnell ein Temperaturfühler einen verlässlichen Messwert liefern kann (nach einer Zeit $> 5T$).

2.5. Strömungslehre

Will man mit Wasser eine Leistung liefern oder die Luft in einem Raum erneuern, müssen diese Medien durch entsprechende Leitungen geführt werden, d.h. sie strömen durch das Leitungsnetz und Bauteile wie Regelventile, Wärmeübertrager, Luftauslässe, usw. .

2.5.1. Strömung

Als Strömung bezeichnet man die in zusammenhängender, stetiger Weise erfolgende Bewegung von Flüssigkeiten, Gasen und Plasmen. Man unterscheidet:

- Strömungen ohne Reibung (reibungsfrei)
- Strömungen mit Reibung

Reibungsfreie Strömung (nicht in HLK-Anlagen)

Vernachlässigt man die an den Grenzflächen von Körpern und Flüssigkeit zwischen einzelnen Flüssigkeitsschichten auftretenden Reibungskräften, so spricht man von *reibungsfreier oder idealer Strömung*. Die reibungsfreie Strömung hat Bedeutung zum allgemeinen Verständnis von Strömungsvorgängen und zur Berechnung von Geschwindigkeits- und Druckverhältnissen (z.B. an einer Turbinenschaufel oder einem Flugzeug-Tragflügel).

Sie ist für Gebäudetechnik, d.h. in HLK-Anlagen, nicht relevant.

Strömungen mit Reibung

Die Strömung einer Flüssigkeit oder eines Gases in einem Rohr kann laminar (geschichtet) oder turbulent (verwirbelt) sein.

Bei der laminaren Bewegung in einem Rohr bewegen sich die einzelnen Medien-Teilchen auf achsenparallelen Stromlinien im Allgemeinen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit.

Turbulente Strömung ist die übliche Strömungsform in den Gebäudetechnikanlagen, weil durch die Leitungsführung und durch die verschiedenen Bauteile immer wieder neue Verwirbelungen entstehen.

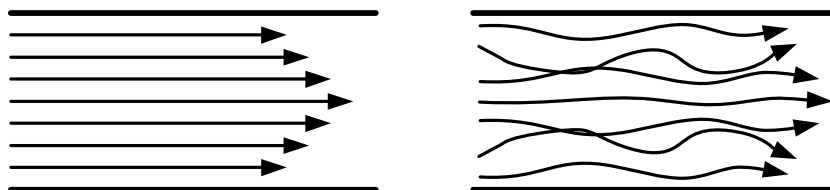


Fig. 2-28 Laminare Strömung

Turbulente Strömung

Zwischen den einzelnen Stromfäden besteht eine Schubspannung (Reibung), die umso größer wird, je zäher die Flüssigkeit ist.

Laminare Strömung

Dies ist eine Strömung mit sich nicht kreuzenden Strombahnen. Die Flüssigkeits- oder Gasteilchen gleiten wie in Schichten aufeinander und bewirken ein parabelförmiges Geschwindigkeitsprofil (Fig. 2-29, links).

Es entstehen Schubspannungen und ein entsprechender Reibungswiderstand.

Entsteht laminare Strömung in einem Wärmeübertrager, dann reduziert sich die Leistungsübertragung sehr stark. Daher ist laminare Strömung in Wärmeübertragern zu vermeiden (durch entsprechende Konstruktion und passende hydraulische Schaltungen).

In der Lüftungstechnik wird sie jedoch bei der zugfreien Verdrängungslüftung (in speziellen Anlage-Situationen wie z.B. Reinräumen, Operationsbereichen, ...) angewandt.

Turbulente Strömung

Sie weist ein sehr unruhiges, durcheinandergewirbeltes Strömungsmuster auf. Die Strömungsfäden zerfallen und verlieren sich, Quer- und Mischbewegungen entstehen. Die mittleren Partien führen den äußeren Schichten Energie zu. Die langsameren äußeren Teilchen wandern nach innen und wirken dort bremsend, wodurch das Geschwindigkeitsprofil ausgeglichener wird (Fig. 2-29, rechts).

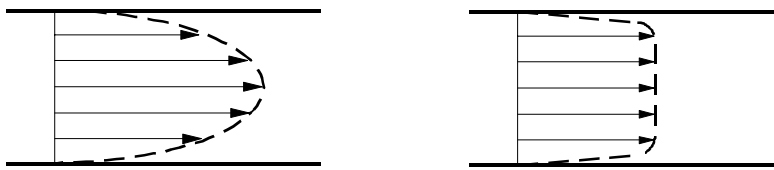


Fig. 2-29 Geschwindigkeitsprofil in einem Rohr
Laminare Strömung

Turbulente Strömung

Bei HLK-Anwendungen hat man es fast ausschließlich mit turbulenter Strömung zu tun. Abgewinkelte Rohrleitungen und Luftkanäle, Apparate wie Wärmeübertrager, Ventilatoren, Regelventile, usw. und vorstehende Kanten verwirbeln die Strömung. In einer Leitung wird das endgültige Strömungs-bild erst nach einer gewissen Anlaufstrecke erreicht, deren Länge etwa dem 10-fachen des Leitungsdurchmessers entspricht.

Reynolds-Zahl

Für eine gegebene Leitung erfolgt der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung bei einer bestimmten kritischen Geschwindigkeit, welche mit der kritischen Reynolds-Zahl (Re) ausgedrückt wird (Re = Zahlenwert, der aus Leitungsdurchmesser, Fließgeschwindigkeit und Viskosität des Mediums gebildet wird). Die Reynolds-Zahl wird von der Reibung an der Wand, Geschwindigkeitsänderungen und anderen Faktoren beeinflusst.

Strömungswiderstand

Der Strömungswiderstand in Rohren, Kanälen und Krümmern ist auch von der Materialbeschaffenheit (Rohr- oder Kanalwände) abhängig. Um eine Flüssigkeit oder ein Gas durch eine Leitung zu fördern, ist zur Überwindung des Reibungswiderstandes ein Druckunterschied Δp erforderlich. Um den Druckverlust so gering wie möglich zu halten, werden z.B. in Luftkanälen Leitbleche eingebaut oder Rohrführungen entsprechend gestaltet.

Der Widerstandsbeiwert ζ (Zeta), multipliziert mit dem dynamischen Druck p_{dyn} im Anströmquerschnitt, ergibt den Druckverlust Δp im betreffenden Kanal-Formstück:

$$\Delta p = \zeta \cdot p \cdot \frac{w^2}{2} \text{ [Pa]}$$

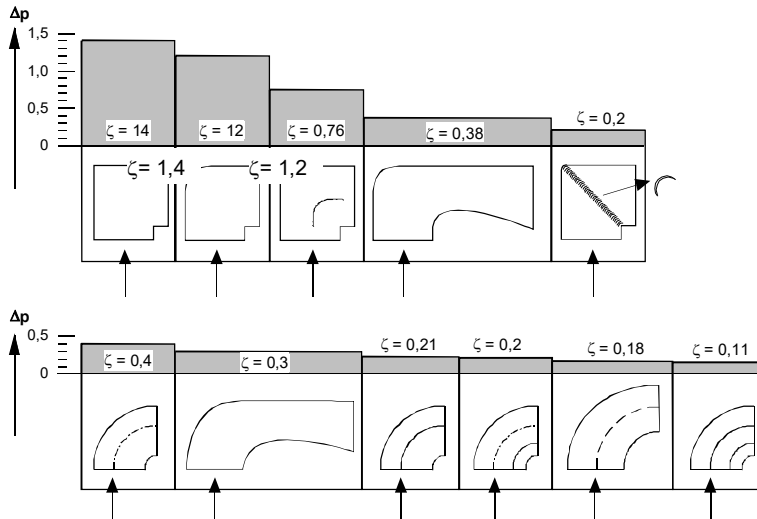


Fig. 2-30 Verringerung des Δp durch strömungsgünstige Gestaltung von Rohren oder Kanälen und Einbau von Leitblechen

Betrachtet man in einem rechteckigen Kanal (mit einer Seitenlänge von 10 cm) und laminarer Strömung beim Eintritt, das Strömungsbild 20 cm hinter einer 90°-Umlenkung, so zeigt sich direkt hinter der Umlenkung ein stark verzerrtes Geschwindigkeitsprofil. Partiiell können sogar Rückströmungen auftreten. Nach weiteren 80 cm ist das Geschwindigkeitsprofil wieder symmetrisch. Wenn keine weiteren Störungen auftreten, wird das ursprüngliche Strömungsprofil (laminar) schlussendlich nach ca. 7 - 8 m wieder erreicht.

Diese Vorgänge sind selbstverständlich bei Geschwindigkeits- und Volumenstrom-Messungen im Rohr- oder Kanalnetz zu berücksichtigen.

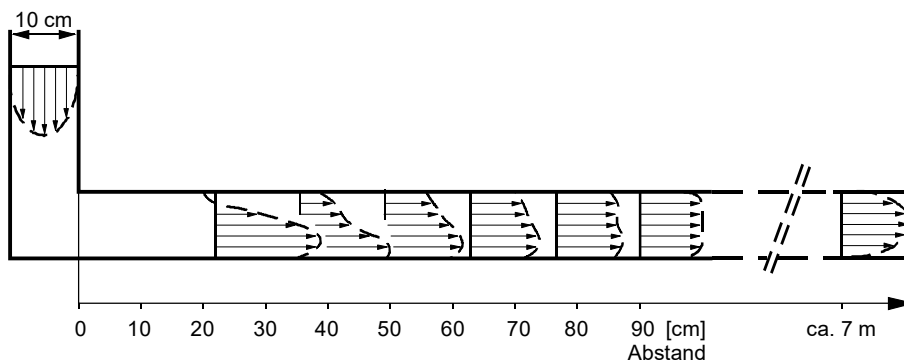


Fig. 2-31 Geschwindigkeitsprofile, gemessen vor und nach einer 90°-Umlenkung

Geschwindigkeit und Druck

Die aus den Geschwindigkeitsprofilen bestimmte mittlere Geschwindigkeit, multipliziert mit der Querschnittsfläche, ergibt den Volumenstrom. Soll also der Volumenstrom mit einem Geschwindigkeitsfühler gemessen werden, dann muss das zugehörige Geschwindigkeitsprofil ermittelt werden.

Kontinuitätsgleichung

Aus dem Satz von der Erhaltung der Masse folgt für die Strömung einer inkompressiblen Flüssigkeit in einem Rohr:

$$A_1 \cdot w_1 = A_2 \cdot w_2$$

$$A_{1,2} = \text{Querschnittsfläche [m}^2\text{]}$$

$$w_{1,2} = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$

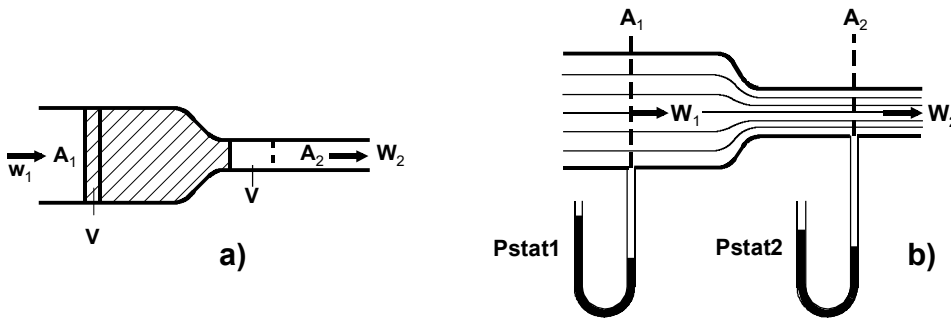


Fig. 2-32 a) Geschwindigkeitserhöhung bei Querschnittsverengung
b) Abnahme des statischen Druckes bei Querschnittsverengung
(Quelle: Recknagel-Sprenger)

Der Energiesatz

Kontinuitätsgleichung:

Durch jeden Querschnitt eines Rohres fließt pro Zeiteinheit die gleiche Masse; bei inkompressiblen Medien das gleiche Volumen.

Strömt ein Flüssigkeitsteilchen mit dem Volumen V und der Masse m ohne Höhenänderung durch ein waagerechtes, sich verengendes Rohr, so erhöht sich die Geschwindigkeit an der engsten Stelle von w_1 auf w_2 und damit auch der dynamische Druck von $p_{\text{dyn}1}$ auf $p_{\text{dyn}2}$ (Fig. 2-32 a). Der statische Druck ändert ebenfalls entsprechend, da die Geschwindigkeit dem neuen Querschnitt entsprechend variiert. (Fig. 2-32 b).

Nach Bernoulli (Schweizer Mathematiker und Physiker, 1700-1782) ist die Summe des statischen Druckes und des dynamischen Druckes (Staudruck) bei der verlustfreien Strömung an allen Stellen innerhalb des Rohres konstant.

$$\begin{aligned} p_{\text{ges}} &= p_{\text{dyn}} + p_{\text{st}} &&= \text{konstant} && (\text{bei verlustfreier Strömung}) \\ p_{\text{st}} &&&= \text{statischer Druck} && (\text{Druck auf die Fläche}) \text{ in Pa} \\ p_{\text{dyn}} &= \rho/2 \cdot w^2 &&= \text{dynamischer Druck (oder Staudruck)} \text{ in Pa} \\ p_{\text{ges}} &= p_{\text{st}} + \rho/2 \cdot w^2 &&= \text{Gesamtdruck} && (\text{oder Totaldruck}) \text{ in Pa} \end{aligned}$$

Geschwindigkeitsenergie kann also in Druckenergie und Druckenergie in Geschwindigkeitsenergie umgewandelt werden. In der Praxis sind diese Vorgänge allerdings mit Druckverlusten durch Reibung verbunden. Diese Verluste (Δp_v) summieren sich aus dem Reibungswiderstand R (R = Druckabfall je m Rohr) multipliziert mit der Rohrlänge in Metern plus den Einzelwiderständen die sich aus $\zeta \cdot p_{\text{dyn}}$ ergeben. Strömt also ein Medium mit Druckverlusten (Δp_v) durch ein waagerechtes Rohr vom Punkt 1 zum Punkt 2, dann ergibt sich der Gesamtdruck im Punkt 2 wie folgt:

$$p_{\text{ges}2} = p_{\text{ges}1} - \Delta p_v$$

Aus dem Druckunterschied lässt sich die Geschwindigkeit und damit die durchfließende Menge bestimmen.

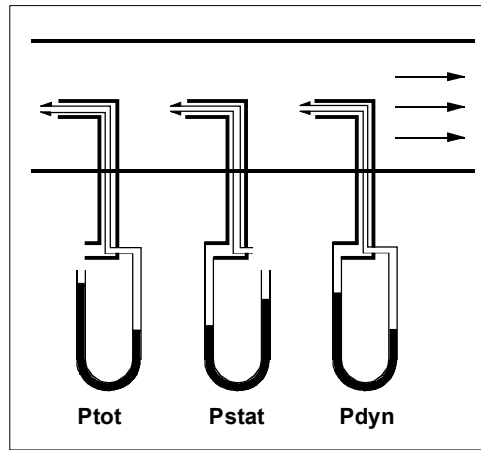


Fig. 2-33 Druckmessung mit einem Staurohr

Die Flüssigkeitssäule p_{dyn} kann mit einer Geschwindigkeits-Skala versehen werden, weil $p_{\text{dyn}} = \rho/2 \cdot w^2$ ist.

Mit dem Staurohr wird die Geschwindigkeit also indirekt bestimmt (Fig. 2-33).

Bei Lüftungsanlagen, mit ihren Hindernissen, Umlenkungen usw. ergeben sich infolge der Reibung Druckverluste, welche der Ventilator durch die von ihm bewirkte Erhöhung des statischen Druckes überwinden muss.

In Fig. 2-34 ist der typische Druckverlauf einer solchen Anlage dargestellt

(vgl. dazu auch 6.4.5., Druckverlauf in einer Lüftungsanlage vom Luft-Ansaug bis in den Raum).

Die Luft wird an der Fassade bei Umgebungsdruck (+/- 0) angesaugt. Vor dem Ventilator sinken wegen der Saugwirkung der statische und der Totaldruck (-). Nach dem Ventilator erreichen diese den höchsten Wert (+). In den Bauteilen des Lüftungsgerätes (WRG, Lufterwärmer, -kühler, Befeuchter, ...) entsteht ein beträchtlicher Druckverlust, ebenso im Lüftungs-kanalnetz bis zum Raum. Im Raum wird nach dem Einblasen wieder der Ausgangsdruck (+/- 0) erreicht.

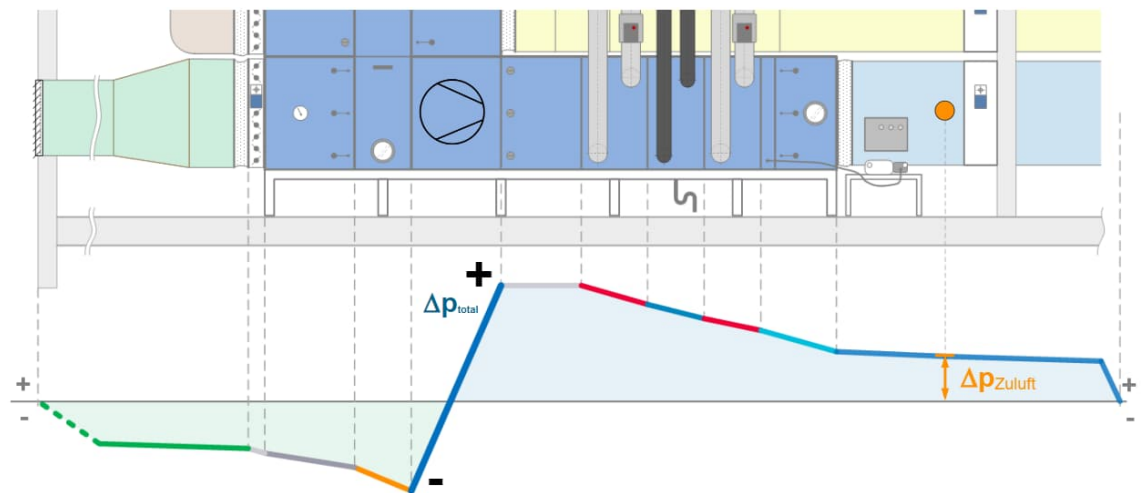


Fig. 2-34 Druckverlauf in einer Lüftungsanlage

3 Heizungsanlagen

3.1. Einfache Heizungsanlage

Mit einer Heizungsanlage wird das Bedürfnis der Gebäudebenutzer nach angenehmer Raumtemperatur auch bei kalter Witterung gewährleistet. Eine Heizungsanlage kann grob in die folgenden Bereiche unterteilt werden:

- Wärmeerzeugung
- Wärmeverteilung
- Wärmeabgabe

Die Heizungsanlage dient auch zur Erwärmung von Warmwasser für Küche und Bad.



Fig. 3-1 Einfache Heizungsanlage
1 Luft-Wasser-Wärmepumpe
2 Thermische Solaranlage
3 Speicher
4 Fußbodenheizung (-kühlung)

3.2. Einteilung der Heizungssysteme

Heizungssysteme können nach verschiedenen Kriterien eingeteilt werden:

- Systemtemperaturen
- Wärmeträger
- Wärmeerzeuger
- Heizflächen
- Rohrsysteme
- Verteilsysteme

Eine mögliche Einteilung zeigt die nachfolgende Zusammenstellung. Die Einteilung ist je nach Land etwas unterschiedlich und basiert auf den jeweiligen Normen und Vorschriften.

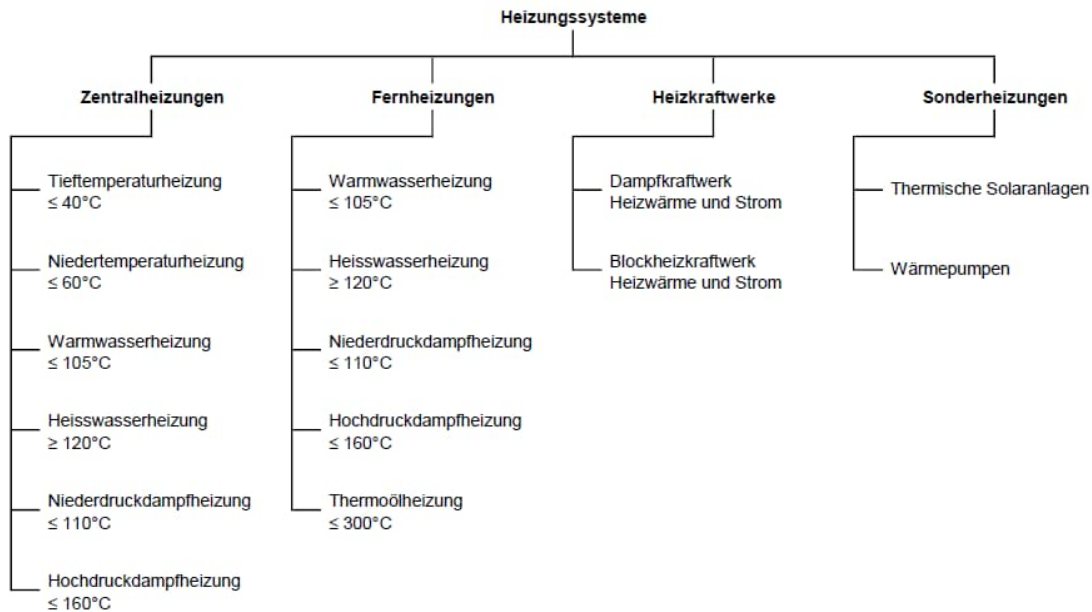


Fig. 3-2 Beispiel einer Einteilung von Heizungssystemen

3.3. Wärmeerzeugung bei Wasserheizungen

3.3.1. Öl- und Gasheizkessel

Übersicht

Heizkessel für Öl- und Gasfeuerungen können nach verschiedenen Kriterien eingeteilt werden, wie beispielsweise:

- Bauform:
 - Standkessel
 - Wandkessel
- Kesselwerkstoff:
 - Gussheizkessel
 - Stahlkessel
 - Hybridkessel (Feuerraum aus Guss, Kesselkörper aus Stahl)
- Betriebsweise:
 - Brennwertkessel
 - Niedertemperaturkessel
 - Konstanttemperaturkessel
- Abgasführung:
 - Dreizugprinzip
 - Flammenumkehrprinzip

Kesselwerkstoffe und Bauformen

Kriterium	Guss	Stahl
Leistungsabstufung	Durch die Bauweise mit Gliedern gute Leistungsabstufung	Großer Leistungsbereich innerhalb einer Baureihe
Gewicht	Unwesentlich schwerer als Stahl	Leichter als Guss
Korrosionsbeständigkeit	Wenig beständiger gegen Korrosion als Stahl	Nicht beständig gegen Korrosion
Zusammenbau	Glieder können einzeln eingebracht und zusammengebaut werden	Nur mit Schweißung vor Ort

Bei Brennwertkesseln wird der Bereich, in dem der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert, aus korrosionsbeständigem hochlegierten Stahl gebaut.

Heizkessel können für Aufstellung am Boden oder Montage an der Wand gebaut sein.



Fig. 3-3 Stand-Gussheizkessel (links) und Wand-Stahlheizkessel (rechts) (Quelle: Viessmann)

Heizkessel-Betriebsweisen

Brennwertkessel

Der Brennwertkessel ist gegenwärtig der effizienteste Kesselbautyp. Der Brennwertkessel arbeitet mit Systemtemperaturen, die den Außenbedingungen entsprechend angepasst sind. Weiter lässt man die Kondenswasserbildung durch Kühlung der Abgase explizit zu und nutzt damit die Kondensationswärme gezielt. Durch die Verwendung dieser Kondensationswärme kann der Wirkungsgrad des Kessels deutlich erhöht werden. Der Wirkungsgrad beträgt etwa 95% (bezogen auf den Brennwert). In fast allen Ländern muss heute von Gesetzes wegen der Brennwertkessel bei Neubauten eingebaut werden.

Vergleich Brennwert und Heizwert

Bei der Verbrennung verbindet sich der Sauerstoff aus der Verbrennungsluft mit dem Wasserstoff aus dem Brennstoff, wobei dann Wasserdampf im Abgas entsteht. Werden diese Abgase allerdings einfach nur abgeleitet, geht die darin enthaltene latente Wärme verloren. Die Brennwerttechnik nutzt auch die Energie im Abgas. Der Heiz- und Brennwert sagen aus, wie viel Wärmeenergie der entsprechende Brennstoff bei der Verbrennung freisetzen kann.

- Der (untere) Heizwert bezeichnet die Wärmeenergie die frei wird, wenn der Brennstoff lediglich verbrannt wird und der im Abgas enthaltene Wasserdampf nicht kondensiert und genutzt wird. Der Heizwert ist tiefer als der Brennwert.
- Der Brennwert (auch „oberer Heizwert“) stellt die Wärmeenergie dar, die durch die Verbrennung vom Brennstoff und durch die zusätzliche Nutzung der Abgaswärme bereitgestellt werden kann. Der Brennwert ist höher als der Heizwert, da er sowohl die direkt nutzbare Wärmeenergie wie auch die latente Wärme in den Abgasen berücksichtigt. Oft wird der Wirkungsgrad eines Brennwertkessels auf den (tieferen) Heizwert bezogen. Dies führt dann zu Wirkungsgraden von über 100 %, was technisch ja nicht möglich ist, aber vielversprechend tönt.

Funktionsprinzip Brennwertkessel

Der Brennwertkessel (vgl. Fig. 3-4) ist am effizientesten, wenn das Heizungs-System mit tiefen Rücklauftemperaturen arbeitet, denn das aus dem Heizungs-System zurückfließende Wasser wird zuerst durch einen Wärmetauscher im Abgasbereich (1) geführt. Dabei kondensiert der im Abgas enthaltene Wasserdampf (Taupunkt bei Öl EL ca. 45 °C, Taupunkt bei Erdgas ca. 55 °C) und die im Wasserdampf enthaltene große Verdampfungswärme wird genutzt. So wird das Rücklaufwasser vorgewärmt und gelangt mit einer höheren Temperatur in den zweiten Wärmetauscher in der eigentlichen Brennkammer (2). Da das Abgas in geringen Mengen säurehaltige Stoffe wie Schwefel, Chlor, usw. enthält und diese dann durch den Kondensationsprozess ebenfalls ins Kondenswasser gelangen, muss der Kondensationsbereich zwingend aus korrosionsbeständigem Material gebaut werden. Das saure Kondenswasser wird anschließend mittels Granulat aus Calcium- und Magnesiumoxid neutralisiert und reagiert zu Salz und Wasser, welches der Kanalisation zugeführt werden darf.

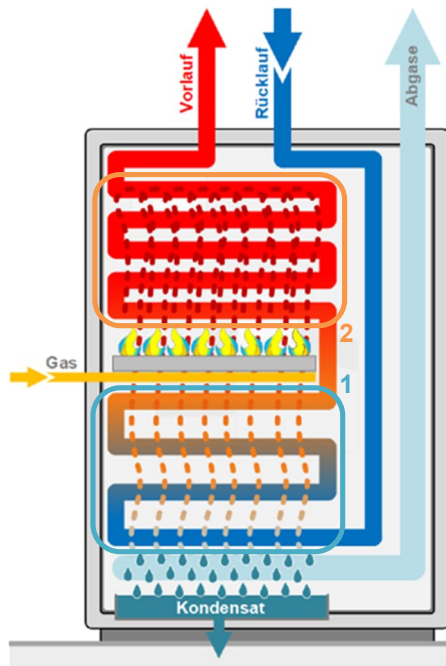


Fig. 3-4 Funktionsprinzip Gas-Brennwertkessel

(Quelle: Siemens)

1 Abgaswärmetauscher

2 Brennkammer-Wärmetauscher

Konstanttemperaturkessel

Der Konstanttemperaturkessel wird heute üblicherweise nicht mehr eingebaut. Er ist allerdings noch häufig in bestehenden Anlagen anzutreffen. Die Eigenheit dieser Bauart ist der Betrieb mit konstant hohen Systemtemperaturen von 70 °C bis 90 °C. Man wollte damit eine Kondensation des Wasserdampfs in den Abgasen verhindern. Durch die dauernde Erhitzung hat dieser Kessel eine sehr hohe Abgastemperatur und große Wärmeverluste. Da er die Wassertemperatur konstant hält, kann er die Systemtemperaturen nicht auf die Außentemperaturbedingungen anpassen. Die Wärmeverluste bei diesem Kessel belaufen sich auf rund 20 %. Der Wirkungsgrad eines solchen Kessels (bezogen auf den Brennwert) liegt bei nur 70 %.

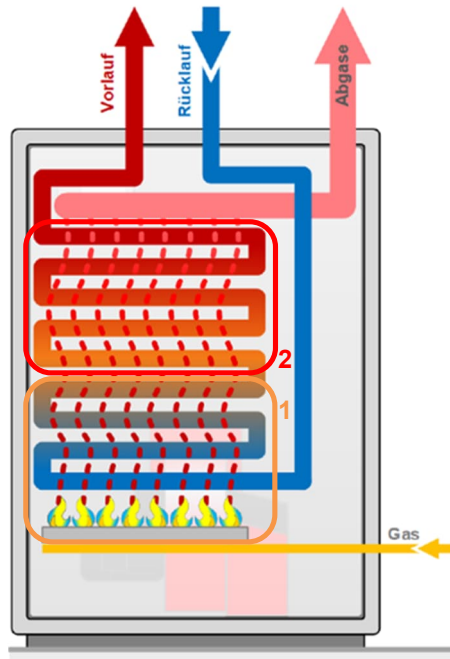


Fig. 3-5 Funktionsprinzip Konstanttemperaturkessel (Quelle: Siemens)

1 Brennkammer-Wärmetauscher

2 Abgas-Wärmetauscher

Niedertemperaturkessel

Der Niedertemperaturkessel ist eine Weiterentwicklung vom Konstanttemperaturkessel. Er hat geringere Systemtemperaturen und kann diese variabel anpassen. Seine Wassertemperaturen sind im Bereich von 35 °C bis 70 °C. Beim Niedertemperaturkessel kann es je nach Wahl der Systemtemperatur zur Abgaskondensation kommen. Diese wird allerdings nicht explizit angestrebt – im Gegensatz zum Brennwertkessel. Er kann seine Wassertemperatur gleitend nach Außentemperatur regeln. Sein Wirkungsgrad ist deutlich höher als der eines Konstanttemperaturkessels, da viel geringere Verluste auftreten. In vielen Ländern ist auch der Einbau dieser Kessel nicht mehr üblich.

Stickoxid-Produktion

Stickoxide (NO_x) sind chemische Verbindungen aus Stickstoff und Sauerstoff. Wenn sie mit dem Wasserdampf reagieren, entsteht Salpetersäure. Diese Säure gilt als Verursacher für die Übersäuerung von Böden und den daraus entstehenden Folgen von hartem Wasser und Waldsterben. Auch bei der Verbrennung von Öl oder Gas entstehen solche Stickoxide. Sie entstehen, wenn die Abgase einer hohen Temperatur ausgesetzt sind und eine lange Verweilzeit in diesem Temperaturbereich haben. Maßnahmen zur Reduktion sind Flammenkühlung und kurze Verweilzeiten. Flammenkühlung wird durch den „Low NO_x -Brenner“ möglich. Bei diesem Brennertyp wird Abgas wieder zurück zum Brenner geführt und der Brennerflamme beigemischt. Dadurch senkt sich die Flammentemperatur. Die Abgasführung nach dem Dreizugprinzip sorgt dafür, dass die Abgase schnell aus der Brennkammer geführt werden und so die Verweilzeit kurz ist.

Abgasführung

Kriterium	Dreizugprinzip	Flammenumkehrprinzip
Flammentemperatur	Tiefe Flammentemperatur 1000°C bis 1200°C	Hohe Flammentemperatur > 1400°C
Verweilzeit der Abgase in Verbrennungszone	Die Abgase werden direkt abgeführt und haben deshalb eine kurze Verweilzeit	Die Abgase werden zurückgeführt und haben deshalb eine lange Verweilzeit
Stickoxid (NO _x) Produktion	Durch tiefe Flammentemperatur und kurze Verweilzeit ergibt sich eine kleinere Stickoxid-Produktion	Durch hohe Flammentemperatur und lange Verweilzeit ergibt sich eine hohe Stickoxid-Produktion

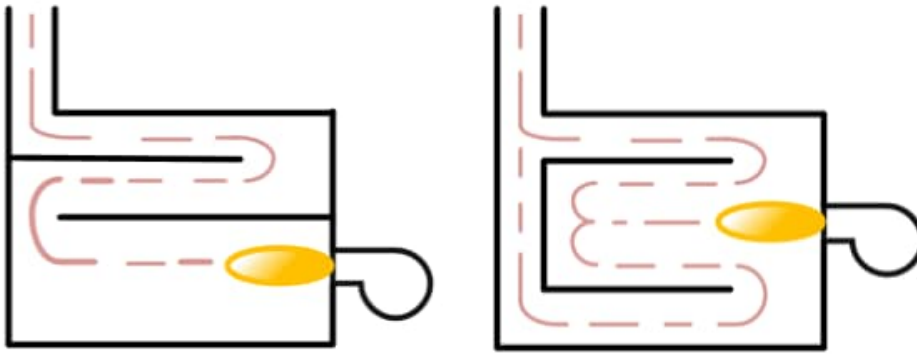


Fig. 3-6 Abgasführung nach Dreizugprinzip (links) und Flammenumkehrprinzip (rechts)

Ölbrenner

Ölzerstäubungsbrenner

Der Zerstäubungsbrenner ist der am häufigste verwendete Brennertyp. Das Heizöl wird über eine Ölpumpe aus dem Öltank gefördert. Zuerst sorgt ein Heizölfilter dafür, dass keine Schwebstoffe mehr enthalten sind, die später die Öldüse verstopfen könnten. Anschließend wird das Heizöl vorgewärmt, damit die Viskosität sinkt und sich das Öl besser zerstäuben lässt. Dann gelangt das Öl zur Öldüse, wo es möglichst fein zerstäubt, verwirbelt und mit der Luft vermischt wird. Die Luft für die Verbrennung wird der Öldüse mittels Gebläse zugeführt. Dieses Öl-Luft-Gemisch wird dann verbrannt.

Blaubrenner

Der Blaubrenner ist ein Ölzerstäubungsbrenner, der sich durch eine geringere Stickoxid-Produktion auszeichnet. Beim Blaubrenner werden durch Öffnungen im Mischrohr heiße Flammgase zurückgeführt. Diese Flammgase sorgen dafür, dass das Öl beinahe vollständig verdampft. So wird das Öl vollständig verbrannt. Dadurch wird die Rußbildung wie auch die Stickoxid-Emission reduziert.

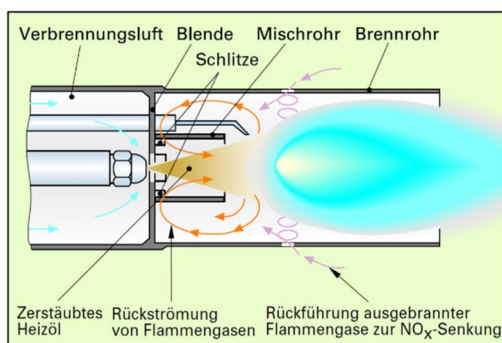


Fig. 3-7 Funktionsweise Blaubrenner (links) und Ansicht Blaubrenner (rechts) (Quelle: SBZ)

Gebläse-Verdampfungsbrenner

Bei diesem Brennertyp wird das einströmende Heizöl zu Beginn mithilfe eines Glühdrahtes verdampft, damit Öl-Dampf entsteht. Diesem wird anschließend durch ein Gebläse Luft zugeführt, wobei ein Öl-Dampf-Luft-Gemisch entsteht. Dieses Gemisch verbrennt dann atmosphärisch in der Brennkammer. Ist der Brenner einmal gezündet, reicht die Wärmestrahlung der Flamme für die Verdampfung des weiteren Öls aus.

Gasbrenner

Gasgebläsebrenner

In Funktion und Aufbau ist der Gasgebläsebrenner fast identisch wie der Ölzerstäubungsbrenner. Auch hier wird zuerst das Gas mit Verbrennungsluft gemischt und anschließend verbrannt. Das Brenngas gelangt über die Gasregelstrecke (Gas-Straße) zum Brenner. Diese Gasregelstrecke verfügt meistens über einen Absperrhahn und Gasfilter. Weiter ist ein Gasdruckregler eingebaut, welcher die Druckschwankungen vom Gasnetz ausgleicht. Die wichtigste Komponente ist allerdings das Magnetventil, welches bei einem Störfall oder bei der Brennerabstellung die Gaszufuhr sofort unterbricht und den Brenner vom restlichen Gasnetz abkoppelt. Auch bei diesem Brenner werden heiße Flammgase zurückgeführt. Sie sorgen dafür, dass die Flammentemperatur und Stickoxid-Produktion tiefer gehalten werden. Der Gasgebläsebrenner hat im Vergleich zum atmosphärischen Brenner einen besseren Wirkungsgrad. Nachteilig sind aber die höheren Geräuscentwicklungen, sowie der erhöhte Verbrauch an elektrischer Energie für das Gebläse.

Atmosphärischer Brenner

Beim atmosphärischen Brenner strömt die Verbrennungsluft durch den thermischen Auftrieb der Abgase und dem daraus folgenden Unterdruck ins Mischrohr nach. Im Mischrohr wird die Verbrennungsluft mit dem Gas vermischt. Die Vollvormischung sorgt dafür, dass mehr Sauerstoff vorhanden ist, als die Verbrennung eigentlich benötigen würde. Es resultiert deshalb eine tiefere Flammentemperatur und eine geringere Stickoxid-Produktion. Verbrannt wird das Gemisch an den Öffnungen im Mischrohr.

Matrix-Strahlungsbrenner

Die Funktionsweise beim Matrix-Strahlungsbrenner ist grundsätzlich gleich wie die eines atmosphärischen Brenners. Hier wird jedoch das Gas-Luft-Gemisch nicht an einem Rohr verbrannt, sondern an einem halbkugelförmigen Edeltalstgewebe und die Verbrennungsluft wird durch einen Ventilator zugeführt. Dabei wird das Gewebe zum Glühen gebracht und gibt die Wärme fast ausschließlich über Strahlung ab. Die Flammentemperatur und die damit verbundene Stickoxid-Produktion werden dadurch nochmals deutlich niedriger.



Fig. 3-8 Gasgebläsebrenner (rechts) (Quelle: Weishaupt) und Matrix-Strahlungsbrenner (links) (Quelle: Viessmann)

3.3.2. Holzheizkessel

Werkstoffe

Holzheizkessel werden auch aus Guss oder Stahl hergestellt. Die Bauteile, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie zum Beispiel die Brennkammer, werden aus Keramik bzw. Schamott, Gusseisen oder Edelstahl hergestellt.

Lagerung und Bereitstellung von Brennstoffen

Stückholz

Holz muss zuerst trocknen, bevor es verbrannt werden kann. Es sollte noch ca. 15 – 20 % Restfeuchte haben, was es während 1 bis 2 Jahren Lagerung erreicht. Der Lagerplatz für das Stückholz sollte gut belüftet, vor Regen geschützt und möglichst sonnig sein, so dass das Holz schnell trocknen kann. Das Holz sollte bei der Lagerung bereits gespalten sein, da es so schneller trocknet.

Holzschnitzel

Holzschnitzel werden dem Heizkessel üblicherweise mit einem Schneckensystem zugeführt. Die drehenden Windungen fördern so die Holzschnitzel mechanisch zum Heizkessel. Damit die Sacke effizient arbeitet, sollte sich das Holzschnitzellager in unmittelbarer Nähe zur Heizzentrale befinden.



Fig. 3-9 Schnitzelförderung aus Lagerraum mit Schneckensystem (Quelle: Löbbe)

Pellets

Bei geringem Verbrauch können Pellets in Säcken gekauft und dem Heizkessel bei Bedarf manuell zugeführt werden. Ansonsten werden die Pellets üblicherweise von einem Tankwagen angeliefert und in den Lagerraum geblasen. Der Lagerraum kann dabei ein separater Raum, ein Textilsilo oder ein Erdtank sein, wobei bei allen Lagermöglichkeiten die Beförderung der Pellets zum Kessel automatisch erfolgt. Diese Förderung kann über ein Schneckensystem erfolgen, wobei sich der Lagerraum auch hier direkt neben der Heizzentrale befinden muss, oder über ein Saugsystem. Beim Saugsystem können die Pellets über größere Distanzen von bis zu 25 m transportiert werden.



Fig. 3-10 Lagermöglichkeiten Erdtank (links) und Textilsilo (rechts) (Quelle: Pelletheizung Infos)

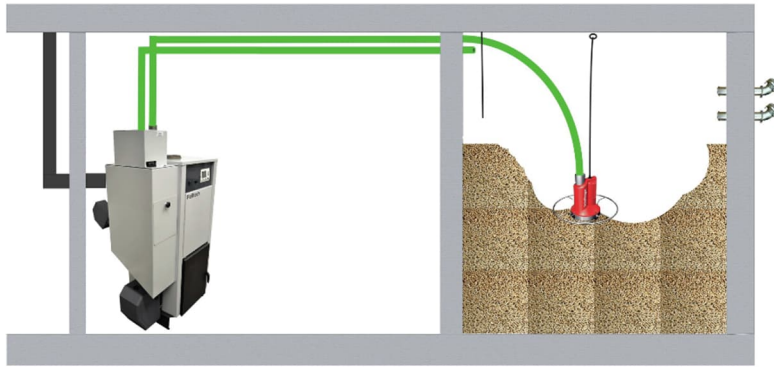


Fig. 3-11 Pelletsförderung mit Saugsystem (Quelle: Pelletsaustragung)

Verbrennungssysteme

Kessel mit unterem Abbrand und unterem Abzug

Hier glüht nur die unterste Schicht des Brennstoffes. Dadurch ist die Kesselleistung gleichmäßig und lässt sich einfacher regeln. Der Wirkungsgrad liegt deutlich höher als bei Kesseln mit oberem Abbrand. Durch den längeren Abgasweg kann zusätzlich Wärme übertragen werden. Wird gegenwärtig bei allen Holzheizkesseln mit den diversen Brennstoffformen so angewendet.

Kessel mit oberem Abbrand und oberem Abzug

Während des Abbrands brennt die gesamte Brennstoffmenge. Die Wärmeleistung schwankt je nachdem wie viel Brennstoff noch vorhanden ist. Kurzfristig kann man deshalb hohe Leistungen erreichen. Beim Nachfüllen sinkt die Leistung jedoch ab.

Kessel mit oberem Abbrand und unterem Abzug

Der Abbrand ist gleich wie beim Abbrand mit oberem Abzug. Durch den verlängerten Abgasweg kann zusätzliche Wärme an das Heizungswasser übertragen werden.

Durchbrand

Der Durchbrand ist ähnlich wie das Prinzip mit dem oberen Abbrand. Der einzige Unterschied ist, dass die Verbrennungsluft über einen Rost zum Brennstoff gelangt und deswegen der ganze Brennstoff brennt. Dieses Prinzip findet man häufig bei Kaminöfen.

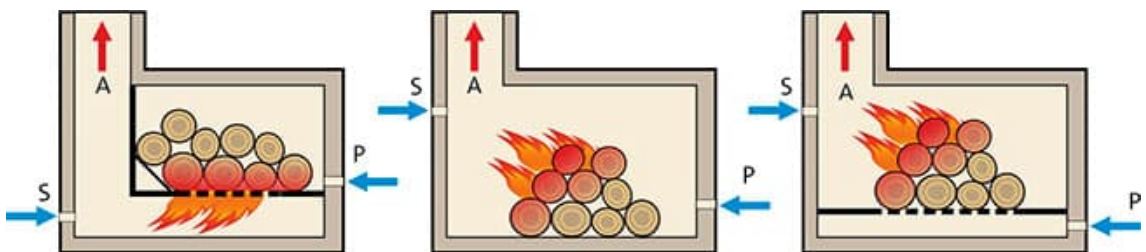


Fig. 3-12 Unterer Abbrand (links), Oberer Abbrand (Mitte), Durchbrand (rechts)
P = Primärluft, S = Sekundärluft, A = Abgas (Quelle: Solargrafik)

Stückholz-Heizkessel

Stückholz-kessel werden von Hand mit grobem Stückholz (Scheiten) gefüllt. Die Holz-scheite werden auf eine Platte aus Feuerkeramik geschichtet. Stückholz-kessel funktionieren meistens mit unterem Abbrand. Zuerst wird das Stückholz erneut getrocknet. Nach der Holzvergasung (Pyrolyse) und Vorverbrennung der leicht brennbaren Bestandteile werden die Verbrennungsgase in die Hauptbrennkammer geführt, wo unter Zufuhr von Verbrennungsluft die Hauptverbrennung stattfindet.

Die Leistungsregelung bei Stückholzkesseln wird über die zugeführte Verbrennungsluftmenge geregelt. Diese Verbrennungsluftmenge wird mittels Luftklappe, die durch einen Stellmotor angetrieben wird, eingestellt. Moderne Heizkessel verfügen über ein stufenloses drehzahlreguliertes Gebläse. Die Verbrennungsluftzufuhr wird aufgrund von gemessener Abgastemperatur und gemessenem Restsauerstoffgehalt (Lambdasonde) im Abgas angepasst. Dadurch werden die Schadstoffemissionen verringert und der Wirkungsgrad erhöht. Die Wirkungsgrade liegen bei > 90 % und der vollständige Abbrand einer Füllung dauert 4 bis 6 Stunden.

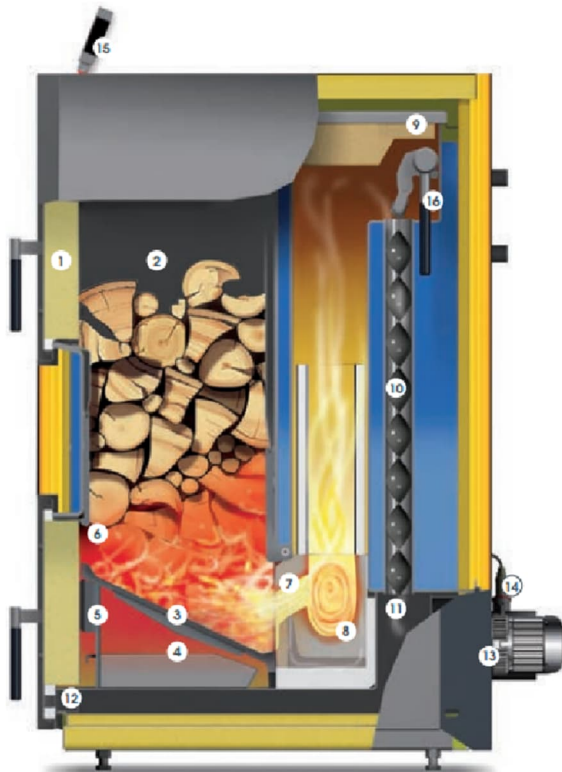


Fig. 3-13 Holzessel mit unterem Abbrand (Quelle: Guntamatic)

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 Fülltür mit Absaugkanal | 2 Füllraum mit Schutzauskleidung |
| 3 Gussrost | 4 Asche-Schublade |
| 5 Primär- und Sekundärluft-Klappenmotor | 6 Primärluft |
| 7 Sekundärluft | 8 Hochtemperatur-Brennkammer |
| 9 Reinigungsdeckel | 10 Röhrenwärmetauscher |
| 11 Staubabscheidezone | 12 Reinigungskanal von vorne |
| 13 drehzahlgeregeltes Saugzuggebläse | 14 Lambdasonde |
| 15 Bedieneinheit/Regler | 16 Reinigungshebel |

Pellets-Heizkessel

Der Pellets-Heizkessel verfügt oft noch über einen separaten, internen Vorratsbehälter. Dieser kann mit Pellets aus Säcken aufgefüllt werden oder auch von einem externen Lagerraum mittels Saug- oder Schneckensystem versorgt werden. Von diesem Vorratsbehälter aus gelangen die Pellets durch eine Dosierschnecke in die Brennkammer. Die Zündung erfolgt beim Pellets-Heizkessel über ein Heißluftgebläse. Auf der Brennerschale verbrennen anschließend die Pellets. Für die Leistungsregulierung wird die Verbrennungsluft- und Brennstoffmengen-zufuhr geregelt. Die entsprechenden Daten für eine schadstoffarme Verbrennung liefert die Messsonde in der Abgasleitung, welche die Abgastemperatur und den Restsauerstoffgehalt (Lambdasonde) im Abgas misst.

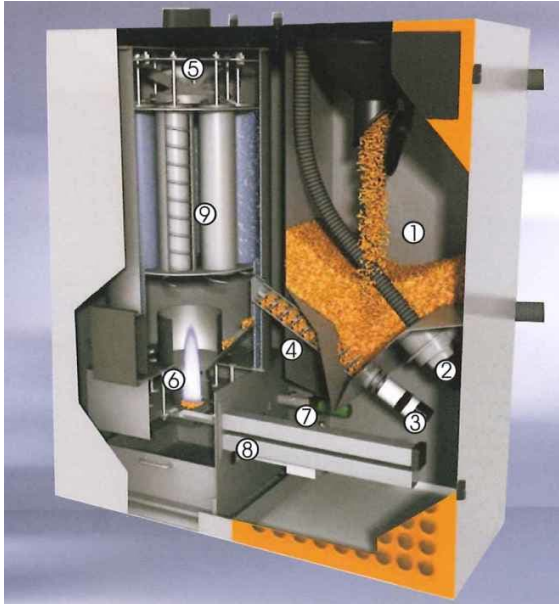


Fig. 3-14 Pellets-Heizkessel (Quelle: Wolf)

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 Vorratsbehälter | 2 Saugturbine |
| 3 Schneckenantrieb | 4 Dosierschnecke |
| 5 Abgasmessung | 6 Brennerschale |
| 7 Heißluftgebläse für Zündung | 8 Verbrennungsluft-Regelklappe |
| 9 Wärmetauscher | |

Holzsnitzel-Heizkessel

Im Lagerraum wird der Brennstoff zuerst gelockert und dann mittels Schneckensystem zum Heizkessel gebracht. Die Holzsnitzel können dem Heizkessel direkt zugeführt werden oder aber auch zuerst, je nach Anlage, in den Vor-Ofen eingebracht werden. Bei Anlagen mit einem Vor-Ofen wird dort der Brennstoff vergast, bevor anschließend im Heizkessel die Verbrennung stattfindet. Die Verbrennung läuft ähnlich ab wie beim Pellets-Heizkessel. Auch die Leistungsregulierung durch Regelung der Verbrennungsluft und Brennstoffzufuhr ist identisch.

Holzsnitzel-Heizkessel werden hauptsächlich in großen Anlagen, welche z.B. mehrere Wohnhäuser oder gar Quartiere versorgen, eingesetzt.

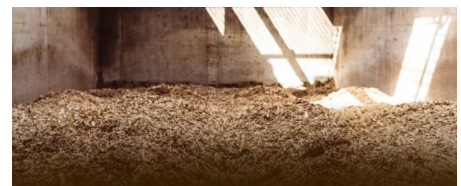


Fig. 3-15 Holzsnitzel-Heizkessel, Holzsnitzel-Produktion im Wald und -Lagerbunker (Quelle: Energieverbund Eschenbach)

3.3.3. Thermische Solaranlagen

Die Sonne liefert kontinuierlich eine große Energiemenge zur Erde. Dies geschieht vor allem mittels Wärmestrahlung. Sie sendet jährlich ungefähr 5000-mal mehr Energie als die gesamte Weltbevölkerung (Wärme, elektrischer Strom, Verkehr) benötigt. In diesem Kapitel wird die aktive Nutzung der Solarmwärme für die Warmwassererzeugung sowie die Heizung behandelt.

Globalstrahlung und deren Zusammensetzung

Die Sonnenstrahlung hat außerhalb der Erdatmosphäre eine Leistung von rund 1350 W/m^2 . Dieser Wert wird auch als Solarkonstante bezeichnet. Allerdings wird die Sonnenstrahlung auf dem Weg durch die Erdatmosphäre durch Reflexion und Absorption verringert und es gelangt nur noch ein Teil zur Erde. Dieser Anteil wird als Globalstrahlung bezeichnet und beträgt rund 1000 W/m^2 .

Die Globalstrahlung setzt sich wiederum aus den folgenden drei Anteilen zusammen:

- **Diffuse Strahlung:**
Die diffuse Strahlung ist der Strahlungsanteil, der durch Reflexion der Sonnenstrahlung an Staubpartikeln oder Gasmolekülen entsteht. Durch diese Reflexion wird die Sonnenstrahlung gestreut und sie trifft mit kleinerer Intensität und ungerichtet auf die Erde. Nicht jeder Solarkollektortyp kann den diffusen Anteil absorbieren.
- **Direkte Strahlung:**
Dieser Anteil an der Strahlung ist der Teil, der bei klarem Himmel die Erdatmosphäre durchdringt. Er kann von jedem Solarkollektor in Wärme umgewandelt werden.
- **Reflektierte Strahlung:**
Die reflektierte Strahlung ist der Teil, der zuerst von einem anderen Objekt wie zum Beispiel einem Haus reflektiert wird und dann ungerichtet auf den Solarkollektor trifft.

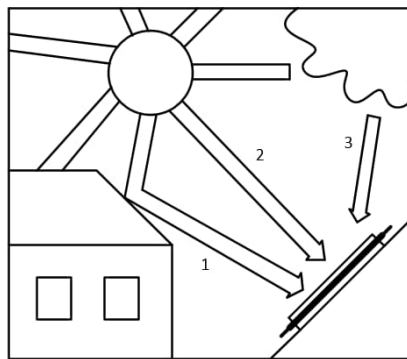
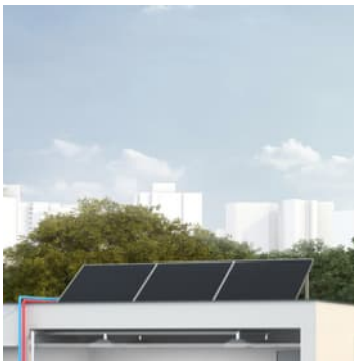


Fig. 3-16 Übersicht Strahlungsarten

- 1 Reflektierte Strahlung
2 Direkte Strahlung

- 3 Diffuse Strahlung

Solarer Deckungsgrad

Die Sonnenstrahlung ist in den Wintermonaten am geringsten, wenn der Wärmebedarf am größten ist. Diese Tatsache ist eine schlechte Voraussetzung, um eine Gebäude ausschließlich mit Sonnenwärme zu heizen. Solche monovalent betriebenen Anlagen wurden zu Forschungszwecken zwar schon realisiert, zeigten jedoch ein schlechtes Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. In unseren Breitengraden wird deshalb die Nutzung der Sonnenenergie meist in Kombination mit einer anderen Energiequelle (Öl, Gas, Holz, Elektrizität, etc.) eingesetzt. Die Sonnenenergie soll bei solchen Anlagen nur einen Teil der benötigten Wärmeenergie liefern. Die Solaranlage muss deshalb so ausgelegt werden, dass das Nutzen/Aufwand-Verhältnis sich als lohnenswert für eine Investition erweist. Der Anteil des Jahreswärmeenergiebedarfs, welcher durch die Sonne gedeckt wird, wird als solarer Deckungsgrad bezeichnet.

Dazu einige Kennwerte für den solaren Deckungsgrad in Abhängigkeit der Nutzung der Solar-energie:

- **Warmwassererzeugung:**
Falls die Solaranlage einzig für die Warmwassererwärmung verwendet wird, so dimensioniert man die Anlage auf die Größe, dass im Sommer ein solarer Deckungsgrad von 100% erreicht wird. Im Winter muss dann durch den Wärmeerzeuger für die Raumheizung oder elektrisch nachgeheizt werden.
- **Warmwassererzeugung und Raumheizung:**
Bei der Nutzung der Solaranlage für die Raumheizung und die Warmwassererzeugung kann bei gegenwärtigen üblichen Bauweisen ein solarer Deckungsgrad von rund 40 % erreicht werden. Höhere Werte sind möglich, wenn der Wärmeverlust des Gebäudes durch verbesserte Dämmung weiter reduziert wird oder wenn eine sehr große – oft unwirtschaftliche – Solaranlage installiert wird.
- **Freibäder:**
Freibäder können ausschließlich mit Sonnenwärme beheizt werden, wenn gelegentlich, zum Beispiel bei längeren Schlechtwetterphasen, Nutzungseinschränkungen in Kauf genommen werden.

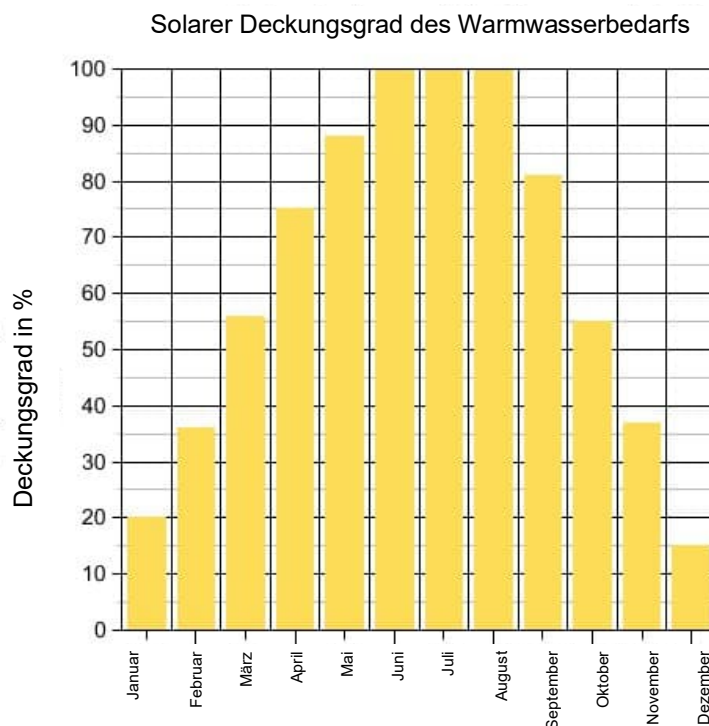


Fig. 3-17 Beispiel-Diagramm vom Solaren Deckungsgrad für die Warmwassererzeugung (Quelle: Heizsparer)

Aufbau und Funktionsweise von Solarkollektoren

Der Aufbau und die Funktionsweise werden am Beispiel des Flachkollektors beschrieben. Der Flachkollektor ist der am häufigsten eingesetzte Kollektor. Die wichtigsten Bestandteile eines solchen Kollektors sind:

- **Absorber:**
Der Absorber sollte die Eigenschaft haben, dass er möglichst viel Wärmestrahlung absorbiert und wenig reflektiert, damit der Wirkungsgrad möglichst hoch ist. Weiter sollte er eine gute Wärmeübertragung an die Wärmeträgerflüssigkeit ermöglichen.
- **Glasabdeckung:**
Die Abdeckung soll möglichst viel Sonnenstrahlung durchlassen, aber die Wärmerückstrahlung des Absorbers und die Wärmeverluste durch Konvektion geringhalten.
- **Gehäuse:**
Das aus Blech bestehende Gehäuse sollte über eine gute Wärmedämmung verfügen, um die Wärmeverluste möglichst gering zu halten.

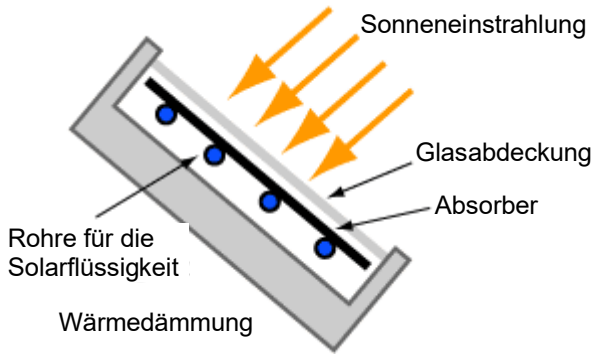


Fig. 3-18 Wichtige Bauteile der Solaranlage (Quelle: RP-Energie-Lexikon)

Die Sonnenstrahlen durchdringen die Glasabdeckung und stoßen auf die schwarze Absorberfläche, wo die Strahlungswärme möglichst vollständig absorbiert wird. Anschließend wird diese Wärme an die am Absorber angebrachten Rohre, in denen die Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert, abgegeben. Die Absorberfläche wird bis zu 100 °C warm. Die Wärmeträgerflüssigkeit nimmt die Wärme auf und transportiert sie über den Solarkreislauf zum Wärmetauscher.

Bauarten

Solarkollektoren kommen heute vorwiegend als Flach- oder Röhrenkollektoren vor.

Flachkollektor mit selektiv beschichtetem Absorber

Bei dieser Bauart werden Wärmeleitungsverluste durch eine Wärmedämmung aus Hartschaum oder Mineralwolle verringert. Der Absorber nimmt fast alle Sonnenstrahlen auf und hat deshalb geringe Strahlungsverluste. Der Preis von solchen Kollektoren ist im Vergleich zu anderen Bauarten niedrig. Zudem ist eine Aufdach- oder eine Indach-Montage möglich. Es besteht die Gefahr von Kondenswasserbildung auf der Glasabdeckung.



Fig. 3-19 Flachkollektor (Quelle: Solarwaterheater)

Vakuum-Flachkollektor

Die Wärmeleitungsverluste sind durch das Vakuum im Kollektor sehr gering. Er besitzt praktisch keine Konvektionsverluste. Durch das Vakuum hat man im Kollektor keine Staubablagerungen und Korrosion. Weiter kann keine Kondenswasserbildung entstehen. Allerdings sind die Kollektorkosten deutlich höher als bei einem normalen Flachkollektor. Weiter kann möglicherweise Luft eindringen, was bedeutet, dass wieder ein neues Vakuum erzeugt werden muss.

Vakuum-Röhrenkollektor:

Hier ist der Absorber in einem Glasrohr mit ca. 65 bis 100 mm Durchmesser eingebaut. Beidseitig der Absorberfläche herrscht ein Vakuum im Rohr. Das Vakuum verhindert die Konvektion im Kollektor und deshalb ist der Wärmeverlust zwischen Absorberfläche und Glas sehr gering.

An der Absorberfläche jedes Glasrohres befindet sich ein Wärmetauscherrohr, in welchem die Wärmeträger-flüssigkeit zirkuliert. Der Absorber überträgt die Wärme anschließend über das Wärmetauscherrohr an die Wärmeträgerflüssigkeit. Diese Bauart zeichnet sich primär durch sehr geringe Wärmeverluste und deshalb einen hohen Wirkungsgrad aus. Der Absorber lässt sich drehen und somit optimal zur Sonne ausrichten. Durch den hohen Wirkungsgrad wird bei gleicher Leistung weniger Platz als bei Flachkollektoren gebraucht. Allerdings sind die Kollektorkosten sehr hoch.



Fig. 3-20 Vakuum-Röhrenkollektoren (Quelle: Vacano)

Solarkreislauf

Der Solarkreis besorgt den Wärmetransport vom Kollektor zum Speicher. Er setzt sich grundsätzlich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Solarkollektor
- Geschlossenes Rohrleitungs-System mit Armaturen
- Umwälzpumpe
- Sicherheitseinrichtungen
- Steuer- und Regelgerät
- Wärmetauscher

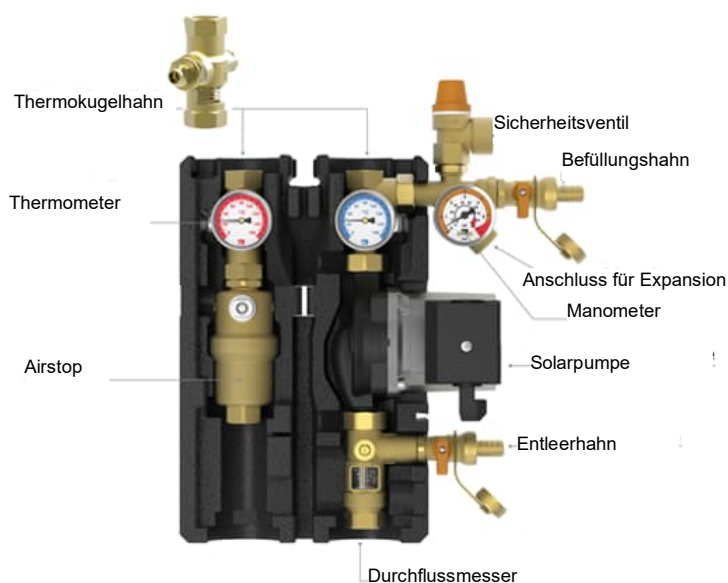


Fig. 3-21 Solarstation mit seinen Komponenten (Quelle: PAW GmbH)

Häufig werden Solarstationen eingesetzt. Solarstationen beinhalten bereits alle wichtigen Komponenten für den Betrieb der Solaranlage. Somit müssen nur noch die Kollektoren sowie der Wärmetauscher angeschlossen werden.

Primär bei größeren Anlagen mit einem großen Speicher und bei hohen Kollektor- bzw. Mediumstemperaturen macht es Sinn, dass der Speicher mit zwei Solar-Wärmetauschern ausgerüstet wird. So kann bei geringer Sonneneinstrahlung und damit niedrigen Temperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit, das Kaltwasser unten im Speicher vorgewärmt werden. Stehen dann höhere Temperaturen aus dem Sonnenkollektor zur Verfügung, wird das Ventil (6) umgestellt und die Wärmeträgerflüssigkeit strömt zuerst durch den oberen Wärmetauscher und erwärmt das Warmwasser auf die gewünschte Temperatur. Danach durchströmt die abgekühlte Wärmeträgerflüssigkeit den unteren Wärmetauscher, um wiederum das Kaltwasser vorzuwärmen.

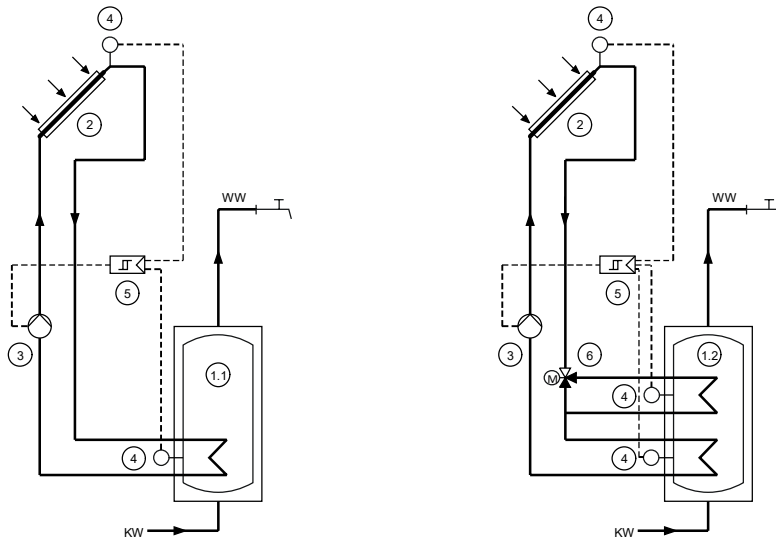


Fig. 3-22 Solaranlage mit Speicher: 1 Wärmetauscher (links) und 2 Wärmetauschern (rechts)

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1.1 Speicher mit 1 Wärmetauscher | 1.2 Speicher mit 2 Wärmetauschern |
| 2 Sonnenkollektor | 3 Umwälzpumpe |
| 4 Temperaturfühler | 5 Regler |
| 6 Umschaltventil | |

Hohe Mediumtemperaturen in der Wärmeträgerflüssigkeit können mit dem Low-Flow-Prinzip erreicht werden. Nebst dem Low-Flow gibt es auch das High-Flow-Prinzip

- **Low-Flow:**
Hier wird die Strömungsgeschwindigkeit möglichst gering gewählt und üblicherweise mit Hilfe drehzahl geregelter Pumpen realisiert. So verbleibt die Wärmeträgerflüssigkeit länger im Solarkollektor und wird deshalb auf höhere Temperaturen erhitzt.
- **High-Flow:**
Bei diesem Prinzip ist die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen höher zu wählen. Somit durchfließt die Wärmeträgerflüssigkeit den Kollektor viel schneller und die Wärmeträgerflüssigkeit wird auf eine niedrigere Temperatur erhitzt. Jedoch wird deutlich mehr Menge durch den Kreislauf gepumpt.

Der Speicher

Warmwasser wird vor allem am Morgen und Abend benötigt. Die meiste Sonnenenergie steht allerdings am Mittag oder kurz danach zur Verfügung. Auch bei Solaranlagen mit Heizungsunterstützung wird die Heizenergie in der Übergangszeit häufig erst wieder am Nachmittag benötigt. Der Speicher sorgt dafür, dass die Wärme bei einem Überangebot gespeichert wird und bei steigendem Bedarf wieder abgegeben wird. Als grober Richtwert können 50 bis 100 l Speichervolumen pro m² Kollektorfläche angenommen werden. Für Anlagen mit Raumheizung und Warmwasser gilt eher die obere, für reine Warmwasser-Anlagen eher die untere Grenze. Im Falle eines Einfamilienhauses wäre demnach ein Warmwasserspeicher von etwa 350 bis 500 l oder ein kombinierter Heiz- und Warmwasserspeicher von rund 1000 bis 2000 l erforderlich.



Fig. 3-23 Solarspeicher mit separaten Wärmetauschern für die Solarenergie (unten) und für die Nachheizung (Quelle: TST)

Beispiele Solaranlagen

Bivalente Anlage für Raumheizung und Warmwasser

In einer bivalenten Anlage übernimmt der Solarkreislauf während den Übergangszeiten im Frühjahr und Herbst den größten Teil der Wärmeerzeugung für das Warmwasser wie auch für die Raumheizung. Im Sommer kann oft der gesamte Energiebedarf für das Warmwasser über die Solaranlage gedeckt werden. Der zusätzliche Wärmeerzeuger wird deshalb nur in den Wintermonaten benötigt und ist dann gut ausgelastet.

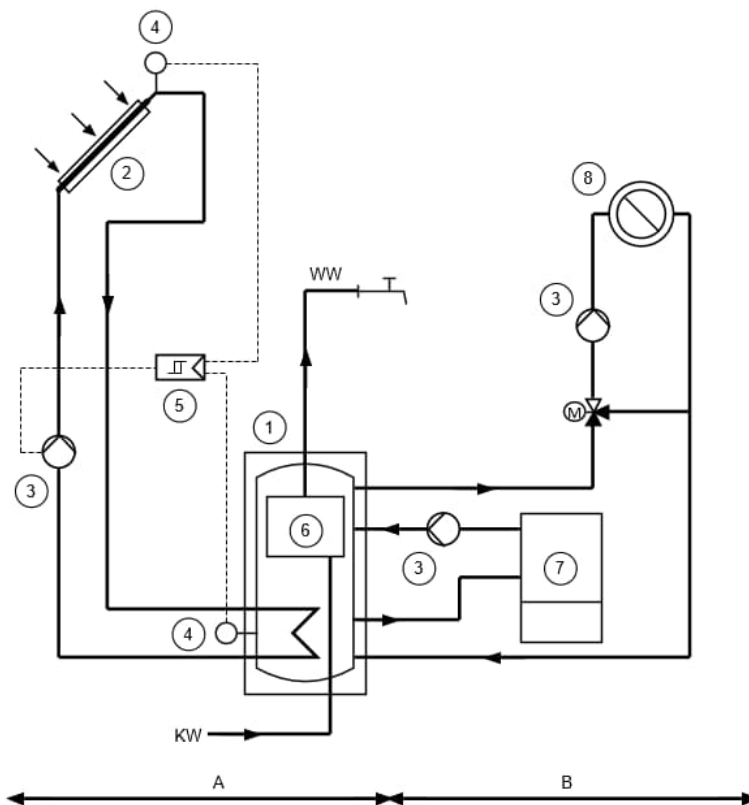


Fig. 3-24 Beispiel einer bivalenten Solaranlage mit konventionellem Wärmeerzeuger und Verteilsystem für Raumheizung und Warmwasser

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1 Kombispeicher | 2 Sonnenkollektor |
| 3 Umwälzpumpe | 4 Temperaturfühler |
| 5 Regler | 6 Wärmetauscher |
| 7 Heizkessel | 8 Heizfläche |

Das konventionelle System (B) wird ergänzt durch den Solarteil (A). Die im Kollektor (2) erzeugte Solarwärme wird über den Solarkreislauf an den Speicher (1) abgegeben. Bei ungenügender Speichertemperatur liefert der Heizkessel (7) die fehlende Wärme. Das im Speicher erwärmte Heizungswasser zirkuliert direkt durch die Heizflächen (8) und erwärmt auch das Trinkwarmwasser im Wärmetauscher (6) indirekt.

Direkte Solarheizung für industrielle Prozesse oder Warmwasser-Vorwärmung im Durchfluss-Verfahren

Bei einem konstanten Wärmebezug kann hier die Solarwärme direkt genutzt werden. Dazu wird die im Kollektor (2) erzeugte Solarwärme über den Solarkreislauf zum Wärmetauscher (1) geführt. Im Wärmetauscher wird die Solarwärme anschließend an das sekundäre Heizungsnetz übertragen, wo der Rücklauf vorgewärmt wird. Bei genügend hoher Temperatur kann anschließend das nun vorgewärmte Rücklaufwasser mittels Umschaltventil direkt wieder genutzt werden.

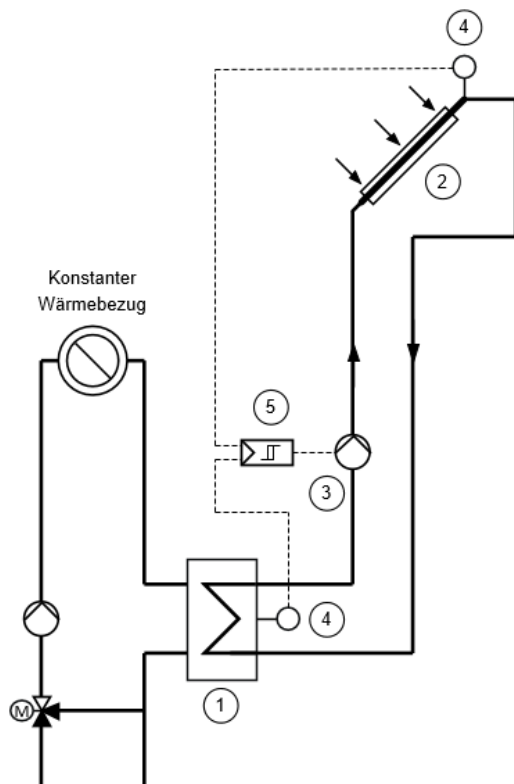


Fig. 3-25 Direkte Solarheizung

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1 Wärmetauscher | 2 Sonnenkollektor |
| 3 Umwälzpumpe | 4 Temperaturfühler |
| 5 Regler | |

Größere Anlage für Warmwasser-Vorwärmung

Dieses Prinzip wird häufig bei größeren Anlagen mit hohem Warmwasserverbrauch (Hotels, Sportanlagen, etc.) eingesetzt. Deshalb verfügen solche Anlagen häufig auch über zwei Warmwasserspeicher. So kann die im Sonnenkollektor (2) gewonnene Solarwärme über den Solarkreislauf zum Vorwärmer (1.1) geführt werden. Dort wird über das interne Register die Wärme an das Kaltwasser übertragen und somit wird das Kaltwasser vorgewärmt. Bei genügend großer Kollektorfläche kann so im Sommer möglicherweise der gesamte Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung abgedeckt werden. Im Winter bei geringer Sonneneinstrahlung kann zusätzlich mit dem konventionellen Heizsystem nachgewärmt werden. Falls die Solarenergie nämlich nicht ausreicht, ist die Temperatur im Wassererwärmer (1.2) zu tief. Das bedeutet, dass mit der Heizung nachgewärmt werden muss. Dazu wird das möglicherweise vorgewärmte Wasser über den externen Wärmetauscher (Funktion siehe Kapitel 0 Speicher-Wassererwärmer) geführt und dort nachgewärmt, damit es anschließend genutzt werden kann.

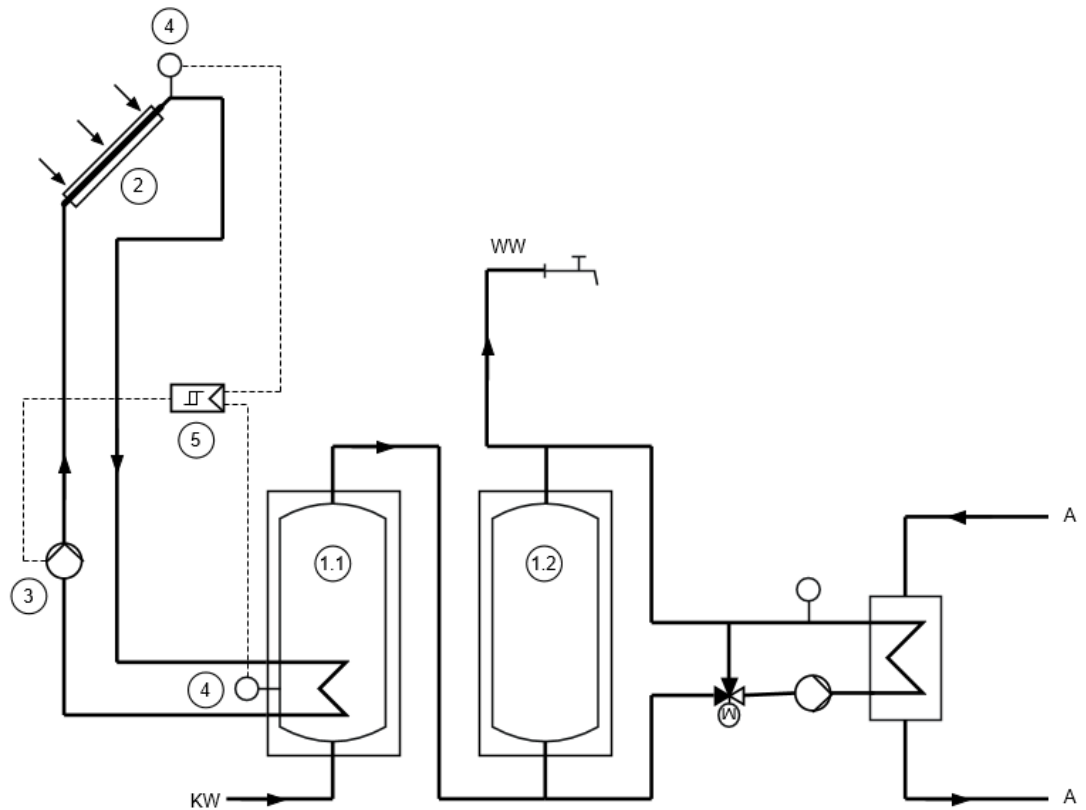


Fig. 3-26 Anlage mit Solarer Warmwasser-Vorwärmung

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1.1 Vorwärmer | 1.2 Wassererwärmer |
| 2 Sonnenkollektor | 3 Umwälzpumpe |
| 4 Temperaturfühler | 5 Regler |
| A-A Kreislauf Nachheizung | |
| KW Kaltwasser | WW Warmwasser |

3.3.4. Wärmepumpen (WP)

Funktion

Die Wärmepumpe entspricht vom technischen Aufbau her einer Kompressions-Kältemaschine (vgl. Kapitel 4.4.4). Auch das Funktionsprinzip ist gleich, mit dem Unterschied, dass bei der Wärmepumpe die Verflüssiger-Seite bzw. die warme Seite und bei der Kältemaschine die Verdampfer-Seite bzw. die kalte Seite genutzt wird. Das Funktionsprinzip von Kompressions-, Absorptions- und Adsorptions-Kältemaschinen wird im Kapitel 4 Kälteanlagen eingehend behandelt.

Warum spricht man von „Wärmepumpe“?

Dieser Kompressions-Kältemittelkreislauf (vgl. Fig. 3-27) nimmt Wärme aus der Umwelt (5) bei einem niedrigen Temperaturniveau auf. Dies geschieht im Verdampfer (1).

Der Verdichter (2) „pumpt“ diese Wärme auf ein höheres, für Heizungszwecke nutzbares Temperaturniveau. Die Abgabe der Wärme an das Heizungssystem (6) erfolgt im Verflüssiger (3) resp. Kondensator.

Bei diesem „hoch-pumpen“ steigt auch der Druck in diesem Kältemittel-Kreislauf an. Mit Hilfe des Expansionsventils (4) wird der Druck (und die Temperatur des Kältemittels) wieder reduziert und damit kann der Prozess wieder von neuem beim Verdampfer starten.

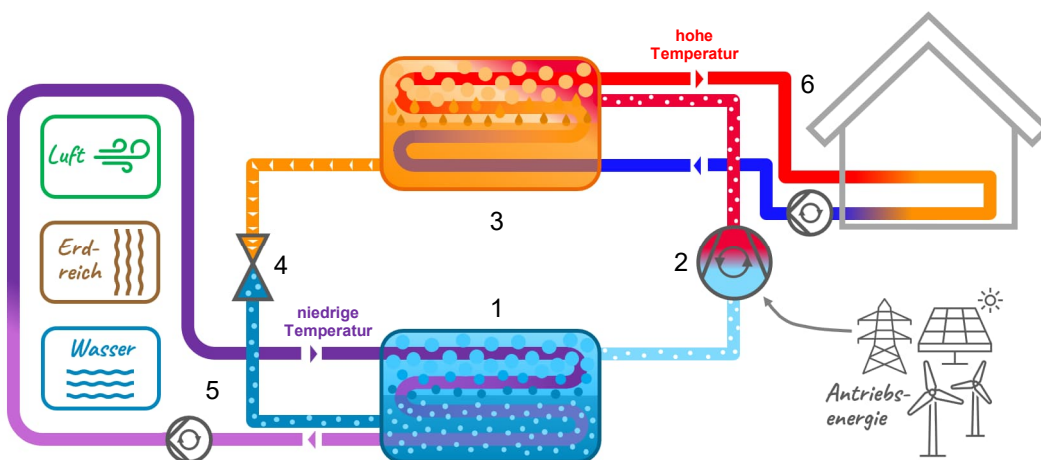


Fig. 3-27 Kältemittel-Kreislauf in einer Wärmepumpe (Quelle: Siemens)
1 Verdampfer
2 Verdichter
3 Verflüssiger
4 Expansionsventil
5 Umweltwärme (niedrige Temperatur)
6 Abgabe an Heizungssystem (hohe Temperatur)

Wärmequellen

Luft

Die Lufttemperatur erfährt innerhalb eines Jahres große Temperaturschwankungen. In den Wintermonaten, den Zeiten des größten Heizwärmebedarfs, ist die Außenluft am kältesten, was negative Konsequenzen für den Wirkungsgrad hat. Da Luft „überall“ verfügbar ist, ist das die am häufigsten genutzte Wärmequelle. Warme Abluft von Maschinen könnte auch als Energiequelle genutzt werden.

Erdreich

Das Erdreich hat eine ziemlich konstante Temperatur von etwa 10 °C ab einer Tiefe von 10 Metern. Die Wärme des Erdreichs wird mittels Erdsonden, d.h. eines in separaten Leitungen geführten Sole-Kreislaufs (Wasser-Glykol-Gemisch), nutzbar gemacht. Im Sommer lassen sich die Erdwärmesonden auch sehr gut für passive Kühlung nutzen.

Wasser

Grundwasser besitzt die Eigenschaft, dass es ganzjährig eine beinahe konstante Temperatur von 10 °C bis 12 °C aufweist. Damit ist die Temperatur auf der Verdampferseite auch in den Wintermonaten hoch, was sich wiederum positiv auf den Wirkungsgrad auswirkt. Nebst Grundwasser kann auch See-, Fluss- oder Abwasser aus Prozessen oder Kläranlagen verwendet werden.

Ausführungsarten

Luft-Wasser-Wärmepumpen

Sie beziehen die Verdampfungswärme aus der Luft. Normalerweise wird dazu die Außenluft genutzt. Es kann auch Abluft genutzt werden, da die Temperatur in der Regel höher ist als bei Außenluft. Luft-Wasser-Wärmepumpen gibt es in zwei Ausführungsvarianten: Kompaktgerät und Splitgerät.

Bei Kompaktgeräten befinden sich Verdampfer- und Verflüssigereinheit im selben Gerät. Dieses kann sowohl innen wie auch außen aufgestellt sein. Beim Kompaktgerät mit Innenaufstellung wird die Außenluft durch einen Luftkanal oder eine Luftleitung zur Wärmepumpe gebracht.

Das Splitgerät besteht aus zwei getrennten Komponenten. Der Ventilator und der Verdampfer bilden dabei eine Einheit. Diese Einheit wird normalerweise außen aufgestellt und ist über die Kältemittel-leitung mit dem zweiten Teil, der den Verdichter, den Verflüssiger, sowie das Expansionsventil enthält, verbunden. Dieser befindet sich meist in der Heizzentrale. Bei Verdampfungstemperaturen unter 0 °C (d.h. bei Außenlufttemperaturen ab ca. 5 ... 7 °C) bildet sich am Verdampfer Reif oder Eis, welches gelegentlich wieder abgetaut werden muss. Bei tiefen Außentemperaturen nehmen daher, auf Grund vermehrter Abtauvorgänge, der Wirkungsgrad und die Leistungszahl stark ab. Deshalb eignet sich diese Wärmepumpe nur bedingt für den monovalenten Betrieb. Besser wäre es, die Luft-Wasser-Wärmepumpe in einer bivalenten Anlage einzusetzen, bei der bei tiefer Außentemperatur auf eine Zusatzheizung umgeschaltet wird. Dies ist allerdings nur bei größeren Anlagen sinnvoll.

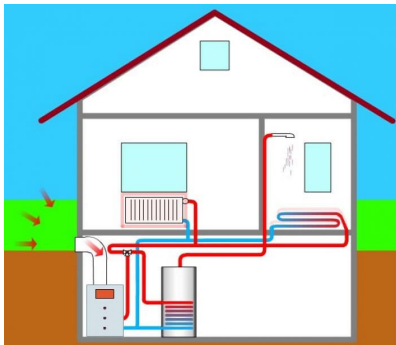


Fig. 3-28 Luft-Wasser-Wärmepumpe, Kompaktgerät Innenaufstellung (Quellen: MHK, Hoval)

Sole-Wasser-Wärmepumpen (Erdwärme-Wasser-Wärmepumpen)

Bei Erdwärme-Wasser-Wärmepumpen muss im Kreislauf auf der Verdampferseite ein Frostschutzmittel (Glykol) beigegeben werden, um zu verhindern, dass die Wärmeträgerflüssigkeit einfriert. Dieses Wasser-Glykol-Gemisch wird auch „Sole“ genannt.

Häufig werden folgende zwei Erdwärmegewinnungssysteme eingesetzt: Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden. Beim Erdwärmekollektoren erfolgt der Wärmeentzug durch ein waagerechtes Rohrschlängensystem, welches ca. 20 cm unterhalb der Frostgrenze verlegt wird (z.B. in 2 m Tiefe). Erdwärmekollektoren benötigen allerdings eine große Fläche. Man braucht für die Kollektorfläche rund die doppelte Wohnfläche.

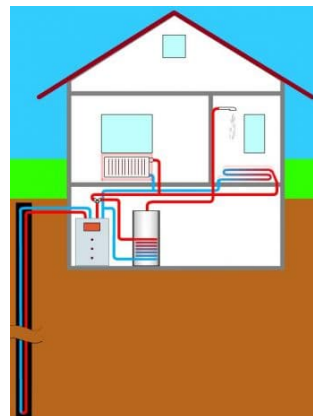
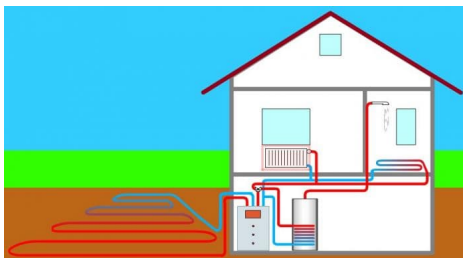


Fig. 3-29 Erdwärme-Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmekollektoren (links) und Erdsonden (rechts) (Quelle: MHK)

Bei Erdwärmesonden erfolgt der Wärmeentzug senkrecht im Erdreich. Die Erdsonden sind meistens zwischen 100 und 300 m lang. Die Belastung der Sonden sollte kleiner als 45 W/m sein. Durch die ziemlich konstante Temperatur im Erdsonden-Kreislauf ist diese Wärmepumpe auch für den monovalenten Betrieb geeignet. Es muss allerdings beachtet werden, dass bei großen Wärmeleistungen bzw. bei mehr als vier Erdwärmesonden eine Simulationsberechnung vorgenommen werden sollte, um sicher zu gehen, dass das Erdreich nicht zu stark auskühlt. Eine Alternative ist auch, dass im Sommer, wenn das Gebäude gekühlt werden muss, das Erdreich mit dieser Abwärme wieder „geladen“ wird.

Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Das Grundwasser wird über einen Förderbrunnen entzogen. Anschließend wird das Wasser über den Verdampfer geführt und dann durch einen Rückgabeburten wieder zurückgeführt. Aufgrund der Verschmutzungsgefahr des Verdampfers wird häufig noch ein Zwischenkreislauf zwischen Grundwasser und Verdampfer eingebaut. Auch hier ist eine konstante und vor allem hohe Temperatur auf der Quellen-Seite vorhanden. Deshalb eignet sich auch diese Wärmepumpe sowohl für den monovalenten wie auch für den bivalenten Betrieb. Auf Grund der oft umfangreichen gesetzlichen Gewässerschutz-Vorgaben, die erfüllt werden müssen, sind solche Anlagen meistens nur für Großanlagen sinnvoll realisierbar.

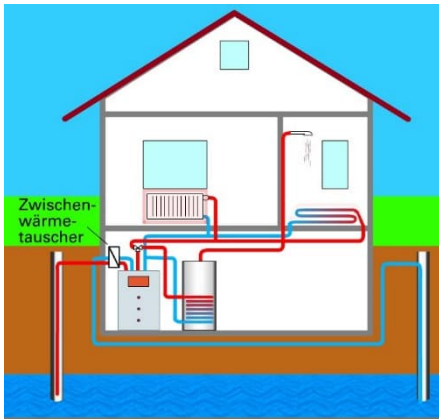


Fig. 3-30 Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Grundwassernutzung (Quelle: MHK)



Große Seewasser-Wärmepumpe (Quelle: Siemens)

Betriebsweisen von Wärmepumpen

Monovalenter Betrieb

Beim monovalenten Betrieb deckt die Wärmepumpe als einziger Wärmeerzeuger den Leistungsbedarf. Diese Betriebsweise eignet sich vor allem, wenn die Temperatur auf der Verdampferseite konstant ist. Dies trifft vor allem bei Erdwärme- und Wasser-Wärmepumpen zu. Bei kleineren Anlagen mit geringer Wärmeleistung kann auch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe monovalent eingesetzt werden, wobei allerdings bei tiefen Außentemperaturen der Wirkungsgrad sehr tief ist und deswegen oft noch eine Zusatzheizung (elektrisch) zum Einsatz kommt.

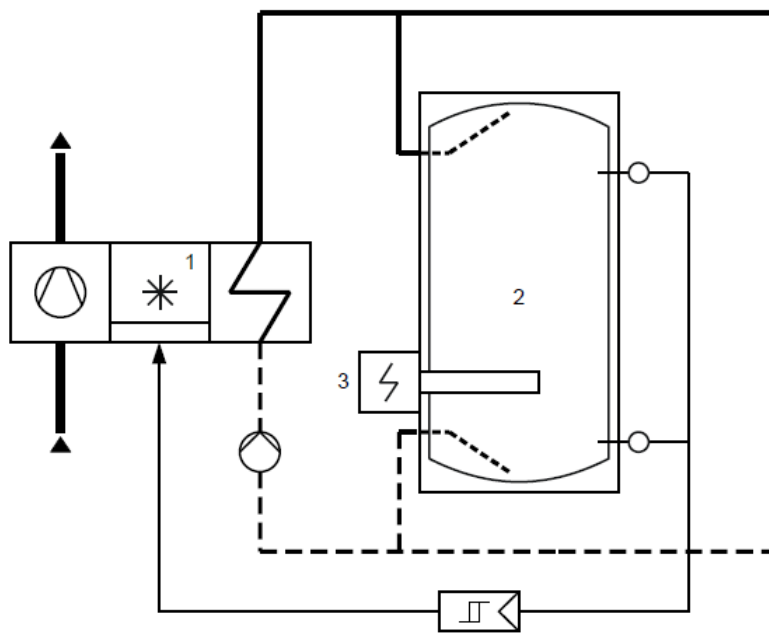


Fig. 3-31 Monovalentes Wärmepumpen-Heizsystem

- 1 Wärmepumpe
- 3 Elektroheizeinsatz

- 2 Speicher

Bivalent-paralleler Betrieb

Hier deckt die Wärmepumpe bis zu einer bestimmten Außentemperatur den Wärmeleistungsbedarf alleine. Bei tieferen Temperaturen wird ein zusätzlicher Wärmeerzeuger zugeschaltet und die beiden Wärmeerzeuger laufen danach parallel weiter und decken zusammen die benötigte Heizleistung ab.

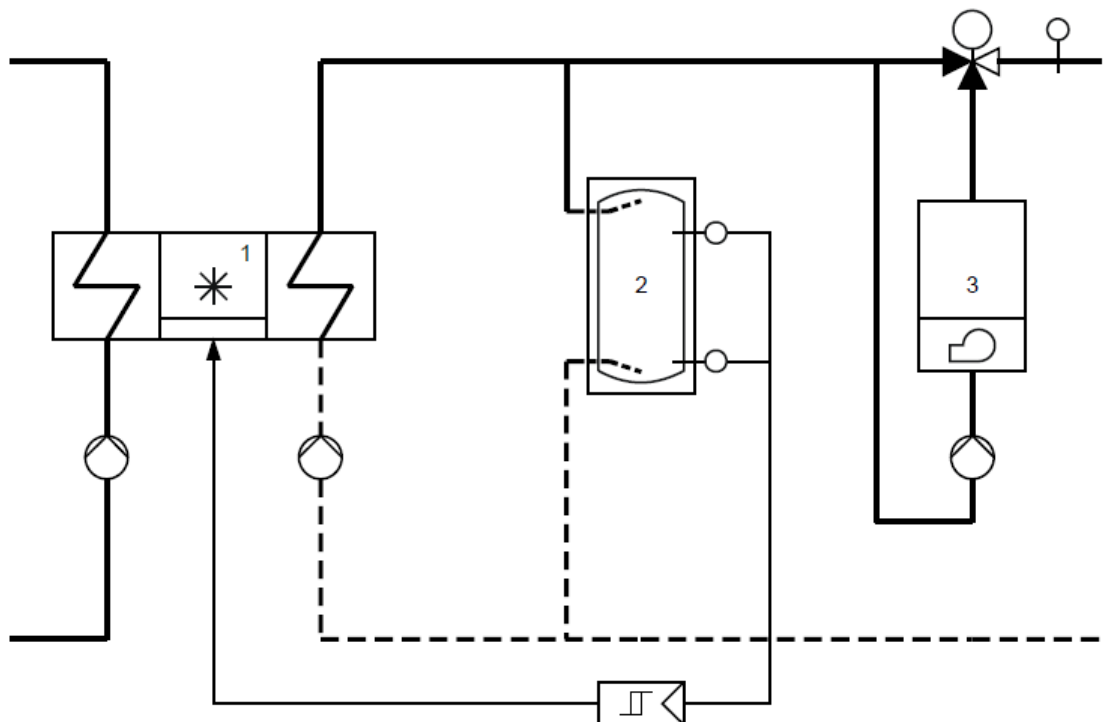


Fig. 3-32 Bivalent-parallel Wärmepumpen-Heizsystem

- 1 Wärmepumpe
- 3 Heizkessel

- 2 Speicher

Bivalent-alternativer Betrieb

Auch hier deckt die Wärmepumpe bis zu einer bestimmten Außentemperatur den Wärmeleistungsbedarf alleine. Bei tieferen Temperaturen übernimmt allerdings ein zusätzlicher Wärmeerzeuger, der dann die komplette Heizleistung alleine abdeckt. Es wird also von Wärmepumpen-Betrieb umgeschaltet auf den zusätzlichen Wärmeerzeuger.

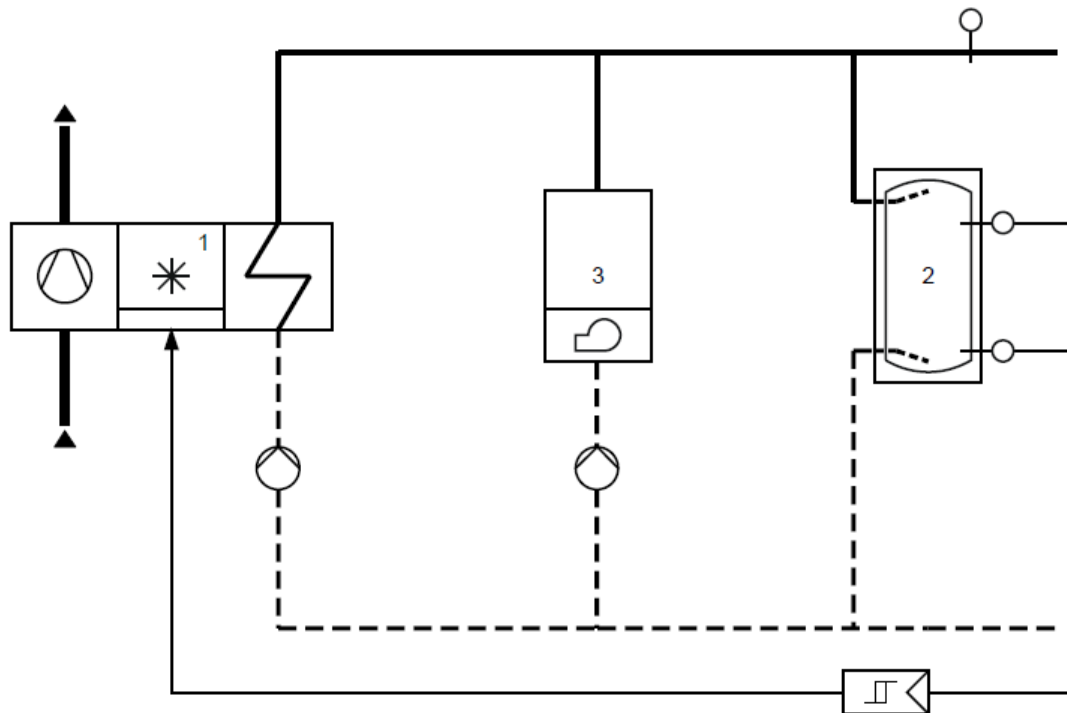


Fig. 3-33 Bivalent-alternativ Wärmepumpen-Heizsystem

- | | |
|--------------|------------|
| 1 Wärmepumpe | 2 Speicher |
| 3 Heizkessel | |

Speicher

Eine Wärmepumpe ist im Gegensatz zu einem Heizkessel ein dynamischer Wärmeerzeuger und seine Heizleistung ist von Randbedingungen wie Außentemperatur und Systemtemperatur abhängig. Somit können die abgegebene Wärmeleistung von Wärmepumpe und die benötigte Wärmeleistung seitens Gebäude unterschiedlich sein. Weiter sollte eine Wärmepumpe eine möglichst kleine Schalthäufigkeit und dadurch eine entsprechend lange Laufzeit je Einschaltung haben, da jede Einschaltung eine große Belastung für den Verdichter darstellt. Primär aus diesen beiden Gründen sollte deshalb ein Speicher eingebaut werden, wobei es zwei mögliche Speichervarianten gibt:

Technischer Speicher

- Reduktion der Schalthäufigkeit und dadurch längere Lebensdauer des Verdichters
- Hydraulische Entkoppelung zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreislauf

Wärmespeicher

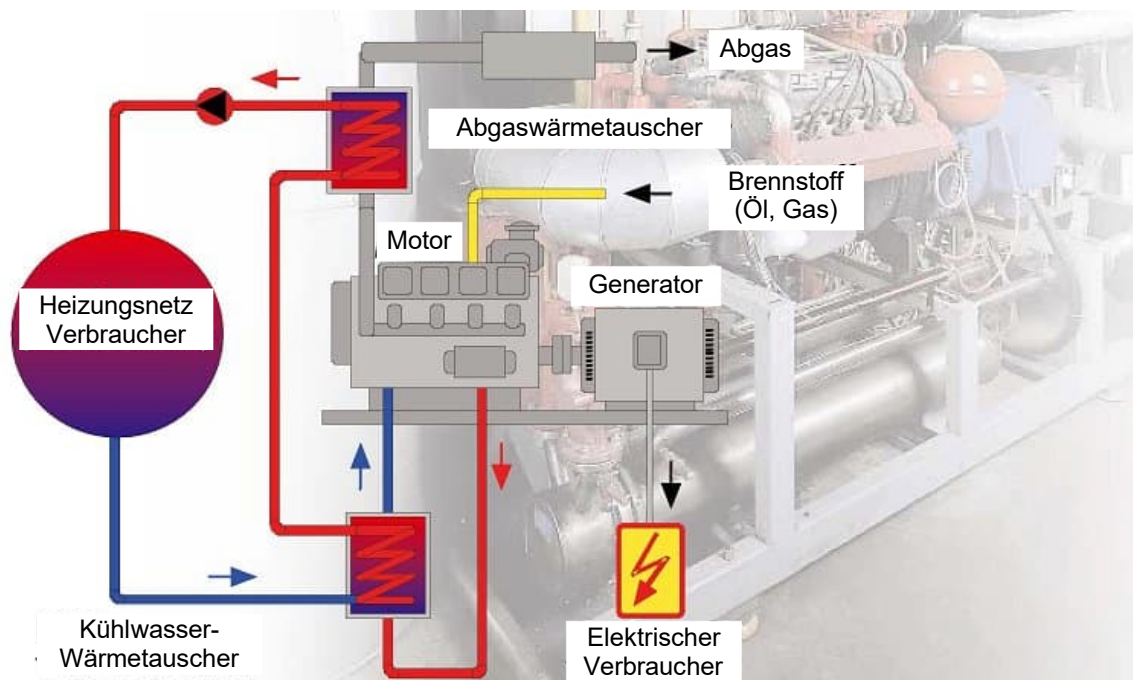
- Reduktion der Schalthäufigkeit und dadurch längere Lebensdauer des Verdichters
- Hydraulische Entkoppelung zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreislauf
- Überbrückung längerer Sperrzeiten
- Ausnutzung von Niedertarifstrom
- Überbrückung von Angebotslücken der Wärmequelle

Als Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) resp. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird ein Prozess bezeichnet, in welchem gleichzeitig Wärme und Elektrizität erzeugt wird. Der Begriff stammt aus der Zeit, als in den Fabriken die Dampfmaschinen die Kraft zum Antrieb der Maschinen lieferten und mit dem Abdampf geheizt wurde. Heute müsste man eher Strom-Wärme-Kopplung sagen. Der Begriff der WKK (resp. KWK) hat sich jedoch gehalten und wird nicht nur in der Gebäudetechnik verwendet.

Hier eine kurze Übersicht über die Anwendungsarten:

- In der Gebäudetechnik kommen vor allem Blockheizkraftwerke zum Einsatz.

Blockheizkraftwerke sind WKK-Anlagen für den Einsatz in Geschäftshäusern, Krankenhäusern, Industriebetrieben oder für die Nahwärmeversorgung in Wohnsiedlungen. Bei kleineren Anlagen kann das Blockheizkraftwerk monovalent betrieben werden. Bei größeren Anlagen sollte der bivalente Betrieb angestrebt werden, so dass bei Spitzenleistungen zusätzlich ein Heizkessel zugeschaltet werden kann. Mit Wärmespeichern werden wirtschaftliche Laufzeiten sowie eine Reduktion der Schalthäufigkeiten angestrebt. Falls Strom, aber keine Wärme benötigt wird, kann die überschüssige Wärmeenergie im Wärmespeicher gespeichert werden. Falls umgekehrt der Wärmeenergiebedarf höher ist als der gleichzeitig anfallende Strombedarf, kann die restliche elektrische Energie an das öffentliche Stromnetz abgegeben werden.



75

Eine BHKW-Einheit umfasst:

- den Verbrennungsmotor (Gas- oder Dieselmotor)
- den Wärmerückgewinnungsteil zur Nutzung der Motor-Abwärme (Kühlwasser, Abgas und evtl. Schmieröl) auf verschiedenen Temperaturstufen
- den Generator für die Stromerzeugung

Als Antriebsenergie für den Verbrennungsmotor können Erdgas, Heizöl, Klärgas, Biogas, Deponie-gas oder Pyrolysegas verwendet werden.

Blockheizkraftwerk Vorteile

Wird in einem großen thermischen Kraftwerk Heizöl oder Gas verbrannt um damit Strom zu erzeugen, so beträgt der Wirkungsgrad der Stromerzeugung nur ca. 40 %. Der Rest würde als Abwärme an die Umwelt verloren gehen. Sollten sich in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk Wärmeabnehmer finden, könnte diese Abwärme allenfalls mittels Fernwärme zu diesen Abnehmern gebracht werden. Solche Kraftwerke sind allerdings selten direkt neben vielen solchen potentiellen Bezügern gebaut, weshalb der Ausbau eines Fernwärmeversorgungsnetzes wirtschaftlich wenig Sinn macht. Somit geht die Abwärme trotzdem oft verloren.

Blockheizkraftwerke können flexibel und somit in direkter Nähe zum Verbraucher gebaut werden. So kann ein Blockheizkraftwerk im Nahwärmebereich für mehrere Bezüger dezentral verwendet werden oder ein einziges Gebäude wird mit einem Blockheizkraftwerk ausgestattet. Bei solchen Blockheizkraftwerken kann rund 30 bis 35 % als hochwertige elektrische Energie genutzt werden. Rund 50 bis 55 % kann als Wärmeenergie für die Heizung verwendet werden. Es entstehen also Gesamtwirkungsgrade von 80 bis 90 %. Es muss beachtet werden, dass ein Blockheizkraftwerk aufgrund des Verbrennungsmotors große Schallemissionen hat. Somit sind auch allfällige lokale Vorschriften zu beachten.

Blockheizkraftwerk Einsatz

Blockheizkraftwerke werden zur Deckung des eigenen Bedarfes an Wärme und Elektrizität oder für eine Nahwärmeversorgung eingesetzt. Wichtig ist, dass beide Energiearten im anfallenden Verhältnis und zur gleichen Zeit benötigt werden. Ein Blockheizkraftwerk kann auch eine separate Notstromversorgung ganz oder teilweise ersetzen.

Mikro- und Mini-BHKW

Ein Mikro- resp. Mini-BHKW ist ein Blockheizkraftwerk, das für den Einsatz in kleineren Anlagen wie zum Beispiel in Ein- und Mehrfamilienhäusern ausgelegt ist. Es liefert dabei die benötigte Wärmeleistung und einen Teil der elektrischen Leistung. Mikro-BHKW liefern dabei eine elektrische Leistung von bis zu 15 kW, während Mini-BHKW zwischen 15 und 50 kW elektrische Leistung abgeben. Die BHKW liefern ca. das 2 bis 2.5-fache der elektrischen Leistung als Wärmeleistung.

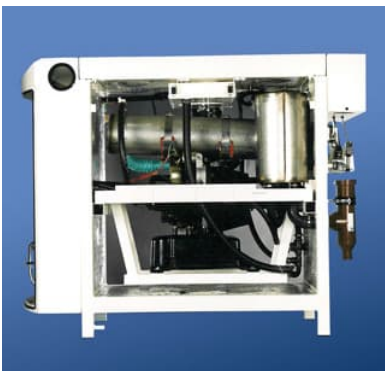


Fig. 3-3-35

Mikro-BHKW – Innenansicht und Gasmotor mit 270 cm³ Hubraum (Quelle: Ecopower)

Moderne Mini-Blockheizkraftwerke sind mit drehzahlgeregelten Motoren ausgestattet und verfügen über die notwendige Leistungs-Elektronik, um den erzeugten Strom mit gleichbleibender Frequenz ins Netz einzuspeisen. Durch die Drehzahlregelung werden zusätzliche Einrichtungen zur Deckung von Lastspitzen nicht mehr benötigt. Solche Mini-Blockheizkraftwerke können also monovalent betrieben werden, was die Investitionskosten entsprechend reduziert.

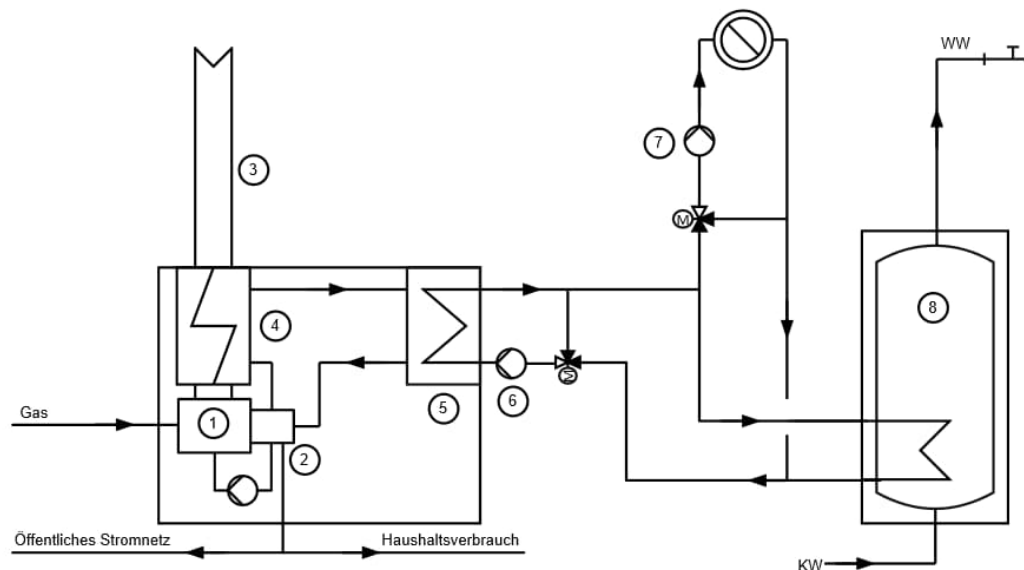


Fig. 3-36 Funktionsprinzip und Einbindung eines Mikro-Blockheizkraftwerks

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1 Motor | 2 Generator |
| 3 Kamin | 4 Abgaswärmetauscher |
| 5 Wärmetauscher Heizungsnetz | 6 Primärpumpe |
| 7 Sekundärpumpe | 8 Wassererwärmer |

Brennstoffzellen

Im Jahre 1839 entdeckte der englische Physiker William Robert Grove, dass mit Hilfe der Brennstoffzelle elektrischer Strom aus Wasserstoff gewonnen werden kann. Er beschrieb den Effekt als Umkehrung der Elektrolyse. Allerdings wurde seiner damaligen Forschung keine Beachtung geschenkt, da man sich mehr für die Weiterentwicklung der Dampfmaschine interessierte. Erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts beschäftigte man sich intensiver mit der Brennstoffzelle und versucht diese nun weiterzuentwickeln.

Funktionsweise

Brennstoffzellen wandeln die in chemischer Form im gasförmigen Brennstoff gespeicherte Energie direkt in elektrische Energie und Wärmeenergie um. Eine Brennstoffzelle besteht im Wesentlichen aus einer Anode und einer Kathode, die durch eine Elektrolytmembrane voneinander getrennt sind. Mit dem Brennstoff Wasserstoff H_2 nutzt sie die entstehende Energie, wenn sich Wasserstoff-Ionen H^+ und Sauerstoff-Ionen O^{2-} zu Wassermolekülen H_2O verbinden. Dabei wird Wasserstoff H_2 in die Anode geführt, wo es sich in H^+ -Ionen und negative Elektronen aufspaltet. Die H^+ -Ionen können anschließend durch die Membrane direkt zur Kathode gelangen. Dort verbinden sie sich mit dem ionisierten Sauerstoff O^{2-} zu Wasser H_2O . Die Elektronen können aufgrund ihrer negativen Ladung nicht durch die Membrane. Deshalb entsteht an der Anode ein Elektronenüberschuss. Verbindet man nun die Anode mit der Kathode fließt elektrischer Strom. Bei diesem Prozess wird nicht nur elektrische Energie erzeugt. Während der chemischen Reaktion fällt auch Wärmeenergie an, da dieser Prozess bei hohen Temperaturen geschieht. Diese Wärme kann für die Raumheizung genutzt werden.

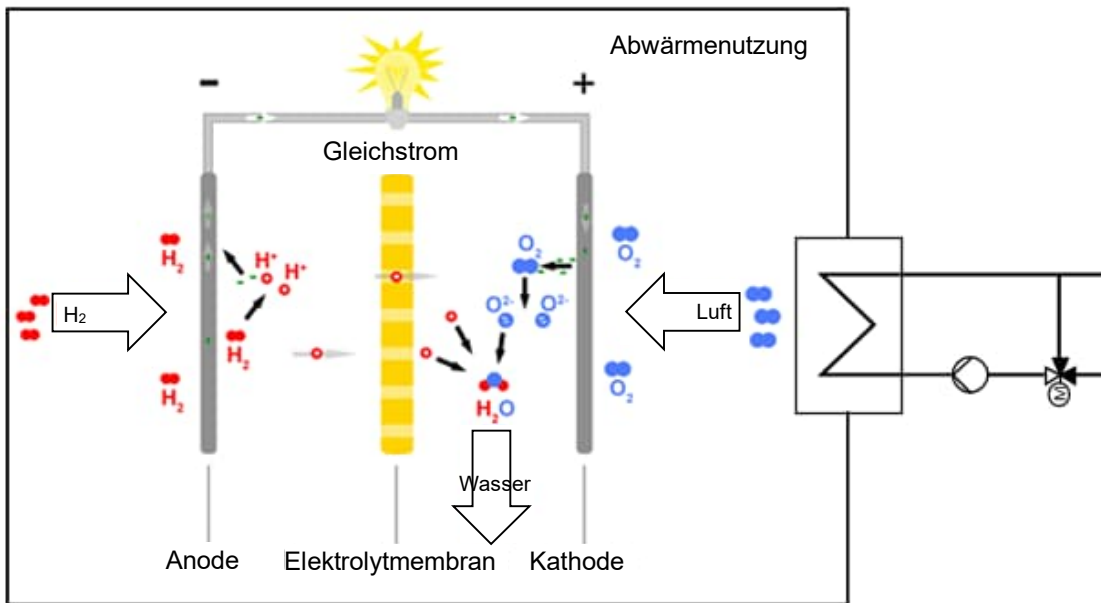


Fig. 3-37 Funktionsweise einer Brennstoffzelle (Quelle: Wikipedia)

Vorteile

- Hoher elektrischer Wirkungsgrad:
Je nach Typ erreicht die Brennstoffzelle einen Wirkungsgrad zwischen 35 % und 60 %.
- Breites Leistungsspektrum:
Wiederum kann die Brennstoffzelle je nach Typ eine elektrische Leistung von einigen Watt bis mehreren Kilowatt erzeugen.
- Niedrige Schadstoffemissionen:
Bei der Verwendung von Wasserstoff als Brennstoff entsteht vorwiegend Wasserdampf. Nur wenn kohlenstoffhaltige Brennstoffe (C_xH_y) genutzt werden, entsteht Kohlendioxid (CO_2). Wobei die CO_2 -Bilanz aufgrund des höheren Wirkungsgrades deutlich günstiger ausfällt als die von klassischen Wärmekraftmaschinen.
- Niedrige Betriebskosten:
Wenige bewegliche Anlageteile führen zu niedrigen Wartungs- und Betriebskosten
- Geräuscharm:
Die wenigen beweglichen Anlageteile sorgen auch für eine geringe Geräuschemission.

Brennstoffzellentypen

Die unterschiedlichen Brennstoffzellentypen werden nach der Art der Elektrolytmembrane eingeteilt. Diese kann eine Flüssigkeit oder ein Festkörper sein und bildet das Charakteristikum für:

- Anforderungen an Art und Reinheit von Brennstoff und Oxidationsmittel
- Betriebstemperatur
- Bauweise

Im Wesentlichen sind heute sieben Brennstoffzellentypen gebräuchlich:

Bezeichnung	Elektrolyt:
Alkalische-BZ (AFC)	Kalilauge
Polymerelektrolyt-BZ (PEMFC)	Polymer-Membran
Direktmethanol-BZ (DMFC)	Polymer-Membran
Ameisensäure-BZ	Polymer-Membran
Phosphorsäure-BZ (PAFC)	Phosphorsäure
Schmelzkarbonat-BZ (MCFC)	Karbonatschmelze
Festoxid-BZ (SOFC)	Keramikelektrolyt

BZ = Brennstoffzelle

Für den Gebrauch im Bereich von Wohnhäusern scheinen sich folgende zwei Typen zu etablieren:

- Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEMFC)
- Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC)

Aufbau

Für die Verwendung im Wohnungsbau werden primär Kompaktgeräte eingesetzt. Darin sind üblicherweise bereits ein Speicher für die Warmwassererzeugung sowie ein Pufferspeicher im Gerät enthalten. Da das Gerät nicht auf 100 % Lastabdeckung ausgelegt wird, ist zusätzlich ein Gas-Brennwertgerät für die Spitzenlastabdeckung eingebaut. Der Inverter wandelt Gleichstrom in Wechselstrom um und macht ihn somit für den Verbraucher nutzbar. Der Reformer wandelt das Erdgas mit Hilfe eines Katalysators in Wasserstoff (H_2), welcher später als Brennstoff dient, und Kohlendioxid (CO_2) um.



Fig. 3-38 Aufbau Brennstoffzelle-Heizgerät (Quelle: Viessmann)

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 Gas-Brennwertgerät für Spitzenlastabdeckung | 2 Wärmetauscher |
| 3 Warmwasserspeicher | 4 Regelgerät |
| 5 Pufferspeicher | 6 Heizregister |
| 7 Inverter | 8 Brennstoffzellen-Stapel |
| 9 Stromzähler | 10 Reformer |

3.3.6. Fernwärmeversorgung

Bei Fernwärmeheizungen wird die Wärmeenergie an einem zentralen Ort erzeugt oder als Abwärme genutzt und über Rohrnetze zu den diversen dezentralen Verbrauchern transportiert. Die Wärmeenergie kann von den Verbrauchern nebst der Raumheizung auch für die Warmwassererwärmung oder für industrielle Prozesse genutzt werden. So können ganze Quartiere oder Stadtteile mit Wärmeenergie versorgt werden.

Eine Fernwärmeversorgung umfasst im Wesentlichen folgende vier Anlageteile:

- Wärmequelle (Heizwerk, Heizkraftwerk oder Abwärmenutzung)
- Verteilnetz mit Transportleitungen und Ortsnetzen
- Übergabestation, bei denen die Wärme direkt oder indirekt an den Abnehmer übertragen wird
- Abnehmer (Haushalte oder Gewerbebetriebe)

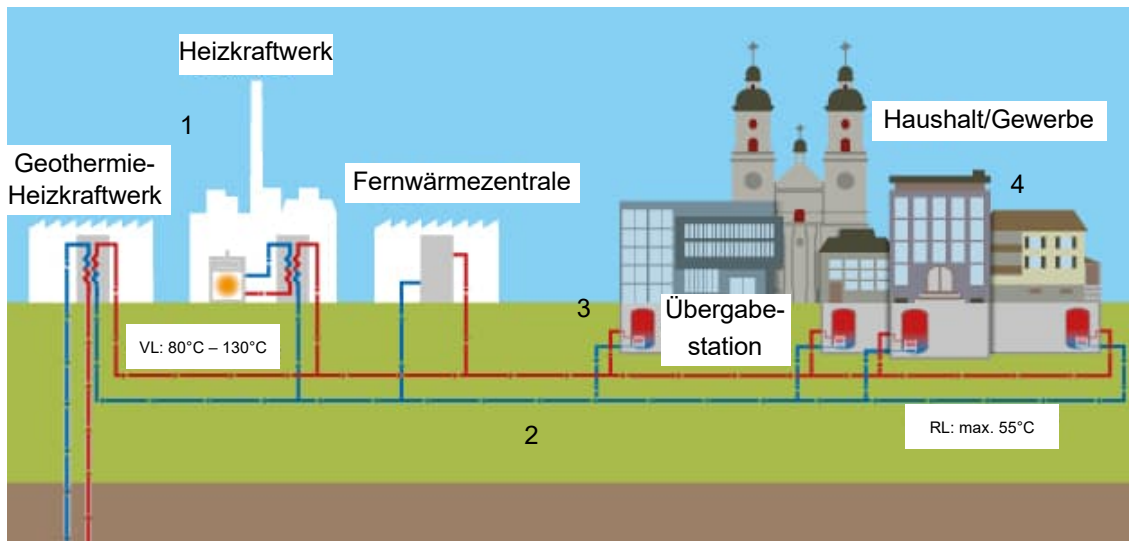


Fig. 3-39 Fernwärmenetz mit den vier Anlageteilen (Quelle: Geothermie St. Gallen)

- 1 Wärmequelle (Heizkraftwerk, Geothermie-Heizkraftwerk)
- 2 Verteilnetz
- 3 Übergabestation
- 4 Abnehmer (Haushalte, Gewerbe)

Wärmeerzeuger oder Abwärmenutzung (Wärmequelle)

Heizwerke

Heizwerke stellen ausschließlich Wärmeenergie zu Verfügung. Dies kann mittels Verbrennung der fossilen Energieträger Gas oder Öl geschehen. Weit häufiger werden solche Heizwerke gegenwärtig allerdings mit dem Feststoff Holz betrieben, wobei hier vor allem Holzschnitzel, Pellets oder sonstige Holzabfallprodukte verwendet werden. Weiter kommen heute auch häufig Großwärmepumpen zum Einsatz, welche in Fernwärmenetzen die notwendige Wärmeenergie erzeugen.

Heizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung)

Bei Heizkraftwerken wird primär elektrische Energie erzeugt, wobei die dabei anfallende Abwärme zu Heizzwecken genutzt werden kann. Als Wärmeenergielieferant können dabei Blockheizkraftwerke dienen, bei denen die Motorenabwärme genutzt wird. Aber auch in Müllverbrennungsanlagen, in denen hauptsächlich Dampf erzeugt wird, um Turbinen anzutreiben, fällt Abwärme an, welche anschließend als Fernwärme weiter genutzt werden kann.

Industrielle Abwärme

Hier wird die Wärmeenergie aus der Abwärme von industriellen Prozessen gewonnen. Solche Prozesse stellen zum Beispiel das Schmelzen von Metallen in Hochöfen dar.



Fig. 3-40 Großwärmepumpen (Ammoniak, NH_3) liefern Wärme in einer Fernwärme-Heizzentrale (Quelle: EWZ)

Wärmeträger

Als Wärmeträgermedium eignen sich Warmwasser, Heißwasser oder Dampf. Fernwärmeanlagen mit Dampf werden heute nur noch sehr selten eingesetzt, weil die Kondensat-Rückführung sehr aufwändig ist und keine Temperaturregelung in Abhängigkeit der Außentemperatur möglich ist. Die meisten Fernwärmenetze werden heute mit Warmwassernetzen betrieben, weil die Nachfrage nach Heißwasser nicht mehr sehr groß ist. Weiter sind Verluste bei Warmwassernetzen viel tiefer und die sicherheitstechnischen Anforderungen geringer. Zudem lässt sich die Systemtemperatur von Warmwasser einfacher regeln. Diese wird häufig in Abhängigkeit der Außentemperatur geführt, wobei es eine Minimaltemperatur gibt. Der Betreiber fordert normalerweise eine maximale Rücklauftemperatur, damit die angelieferte Wärme möglichst gut genutzt wird.

Wärmetransport und -verteilung (Verteilnetz)

Der Wärmetransport zwischen der Wärmequelle und den Abnehmern erfolgt über das Fernwärmeverteilnetz. Dies ist üblicherweise ein geschlossenes Zirkulationssystem. Das Verteilnetz kann als Zwei- oder Dreileiternetz ausgebaut werden. Beim Zweileiternetz besteht das Verteilnetz aus einer Vor- und einer Rücklaufleitung. Beim Dreileiternetz sind zwei Vorlaufleitungen vorhanden, wobei beide eine unterschiedliche Systemtemperatur haben. So können Verbraucher, welche eine konstant hohe Systemtemperatur benötigen, und Abnehmer, welche eine gleitende Temperatur benötigen, parallel versorgt werden.

Als Fernwärmeverteilssysteme kommen folgende Netzstrukturen vor:

- Strahlennetz
- Ringnetz
- Vermaschtes Netz

Strahlennetz

Das Strahlennetz ist ein einfaches Verteilungssystem. Von der zentralen Wärmequelle werden die einzelnen Verbraucher mittels strahlenförmigen Verteilleitungen versorgt. Durch die direkten Erschließungen sind die Erstellungskosten eher tief. Die Versorgungssicherheit ist allerdings auch tief, da bei einem Ausfall der Wärmequelle die Wärmeversorgung unterbrochen ist oder bei Reparaturarbeiten an einem Netz sämtlich Verbraucher, welche an diesem Zweig hängen, nicht mehr versorgt werden. Strahlennetze werden häufig bei kleineren Versorgungsgebieten eingesetzt.

Ringnetz

Der große Vorteil von einem Ringnetz gegenüber dem Strahlennetz besteht darin, dass ein Verbraucher beim Ringnetz von zwei Richtungen versorgt wird, wenn zwei Wärmequellen vorhanden sind. Dadurch ist die Versorgungssicherheit größer. Dieses Verteilnetz wird häufig bei größeren Versorgungsgebieten vorgesehen.

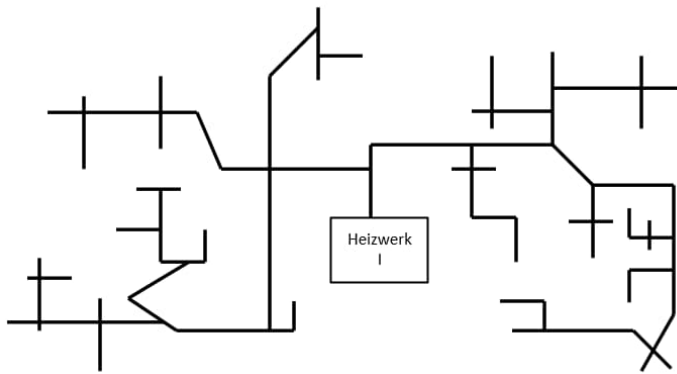


Fig. 3-41 Strahlennetz

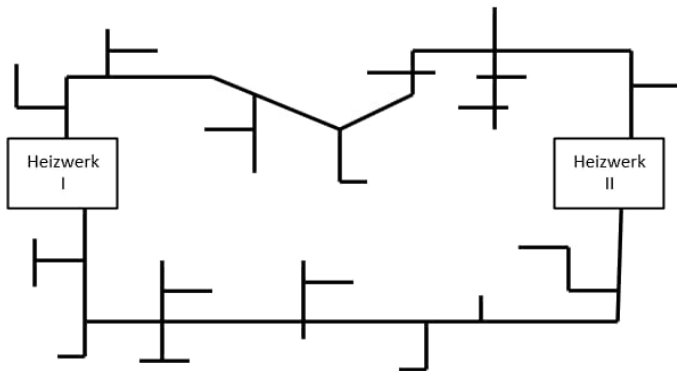


Fig. 3-42 Ringnetz

Vermaschtes Netz

Dieses Netz bietet die größte Versorgungssicherheit. Dieses Verteilnetz hat allerdings auch die größten Erstellungskosten. Es wird vor allem eingesetzt, wenn innerhalb einer kleinen Fläche viel Wärme abgenommen wird. Dies ist häufig in Stadtzentren der Fall.

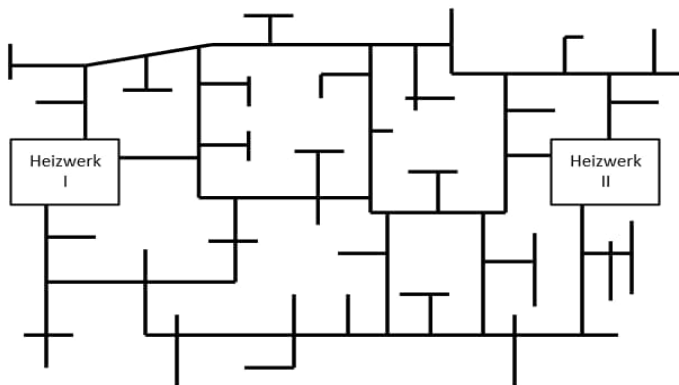


Fig. 3-43 Vermaschtes Netz

Wie die Leitungen schließlich verlegt werden, hängt von der Topografie, den örtlichen Verhältnissen und den Bodenverhältnissen ab. Um die Verteilverluste möglichst klein zu halten, ist das ganze Verteilnetz isoliert. Die Vorlauftemperatur wird sofern möglich in Funktion der Außentemperatur gleitend gefahren. Durch optimale Fließgeschwindigkeiten und eine große Temperatur-spreizung zwischen Vor- und Rücklauf werden minimale Gesamtkosten des Verteilnetzes angestrebt.

Übergabestation

Die Übergabestation ist das Bindeglied zwischen der Abnehmeranlage der einzelnen Verbraucher und dem Verteilnetz. Aufgrund der Art des Anschlusses wird grundsätzlich zwischen der indirekten und der direkten Einspeisung unterschieden. Für Abnehmer mit geringen Anschlusswerten sind besonders Kompaktstationen geeignet.

Indirekte Einspeisung

Bei der indirekten Einspeisung sind Abnehmeranlage und Verteilnetz mittels eines Wärmeübertragers (Wärmetauscher) hydraulisch vollständig voneinander getrennt. Verteilnetz und Abnehmeranlage sind somit auch druck- und temperaturmäßig voneinander unabhängig, was sich vorteilhaft auf Auslegung und Betrieb der Netze auswirken kann. So können beide Parteien (Versorger und Abnehmer) ihre Anlage gemäß ihren Bedürfnissen betreiben. Diese Variante ist etwas teurer und benötigt mehr Platz.

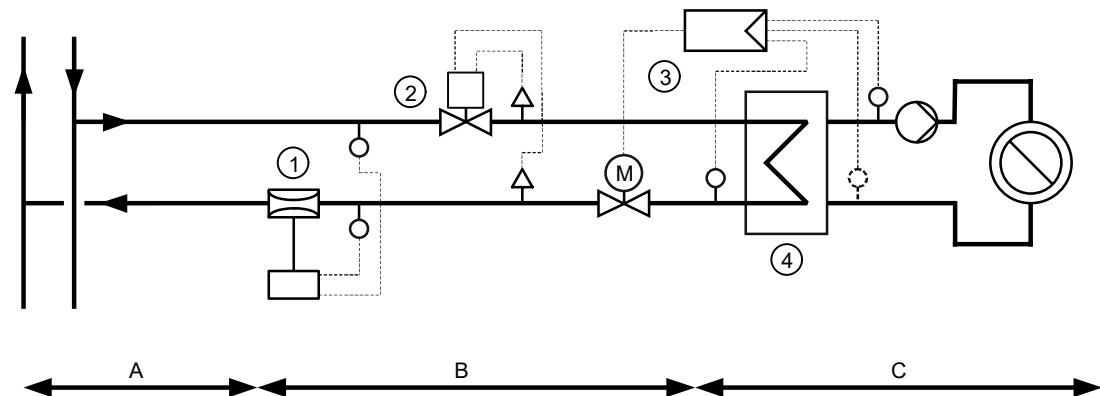


Fig. 3-44 Prinzip indirekte Einspeisung

- | | |
|-------------------|--|
| A Verteilnetz | 1 Wärmezähler |
| B Übergabestation | 2 Druckregler |
| C Abnehmeranlage | 3 Temperaturregelung (inkl. Begrenzungsfühler) |
| | 4 Wärmeübertrager |

Direkte Einspeisung

Bei der direkten Einspeisung gelangt der im Verteilnetz zirkulierende Wärmeträger über eine Übergabestation direkt in den Heizkreislauf der Abnehmeranlage. Dies ist eine verhältnismäßig kostengünstige und auch platzsparende Anschlussart. Sie wird dann angestrebt, wenn eine hydraulische Trennung von Primär- und Sekundär-Kreislauf aufgrund von Druck- oder Temperaturanforderungen nicht erforderlich ist.

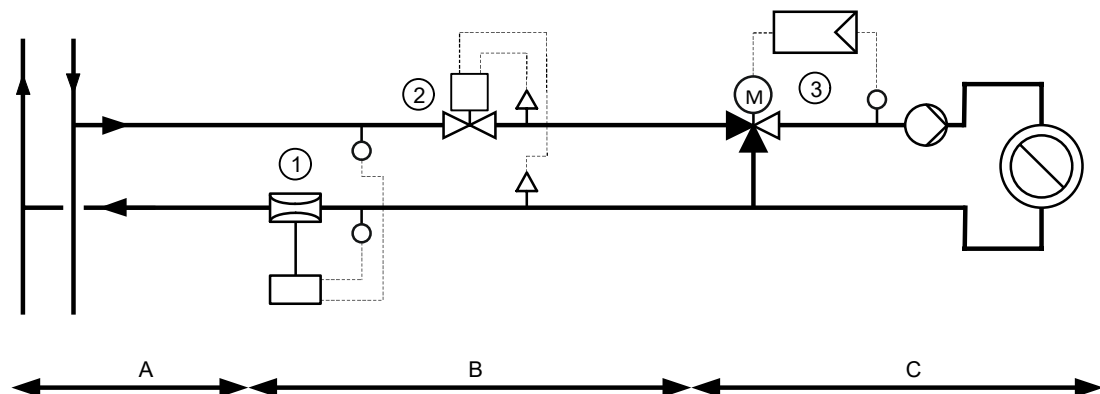


Fig. 3-45 Prinzip direkte Einspeisung

- | | |
|-------------------|----------------------|
| A Verteilnetz | 1 Wärmezähler |
| B Übergabestation | 2 Druckregler |
| C Abnehmeranlage | 3 Temperaturregelung |

Kompaktstation

Kompaktstationen für Abnehmer mit kleinen Anschlussleistungen wie Ein- oder Mehrfamilienhäuser sind Übergabestationen, welche werkseitig bereits vorgefertigt werden. Sie sind komplett verdrahtet und verrohrt. Das heißt, sie verfügen je nach Bauart bereits über einen Druckregler, ein Regelventil, einen Wärmezähler, den Wärmetauscher und die Umwälzpumpe auf der sekundären Seite. Sie haben einen geringen Montageaufwand und benötigen wenig Platz.

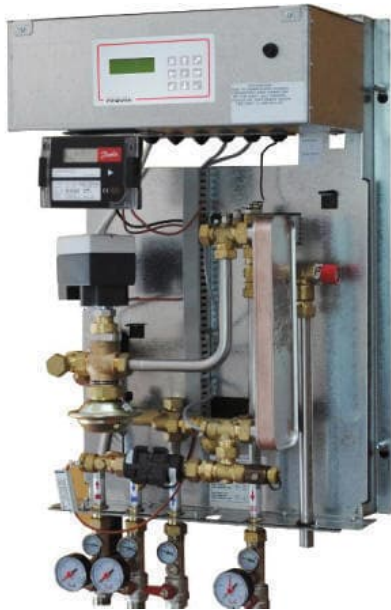


Fig. 3-46 Kompaktstation (Quelle: BMS-Tech)

3.4. Wichtige Komponenten

3.4.1. Pumpen

In einer Heizungsanlage sind die Pumpen für den Transport der notwendigen Wassermenge vom Wärmeerzeuger zum Wärmeverbraucher bzw. zur Wärmeabgabe zuständig. Dies muss mit geringstmöglichem Wärme- und Energieverlust geschehen. Dabei müssen die Druckverluste, die durch Rohrleitungen, Formteile sowie Armaturen entstehen, überwunden werden. Es werden hauptsächlich Zentrifugalpumpen eingesetzt. Durch die Rotation der Laufradschaufeln wird auch das Wasser in eine Rotationsbewegung versetzt. Die dadurch entstehende Fliehkraft treibt das Wasser nach außen. Im Zentrum herrscht dadurch Unterdruck, was dafür sorgt, dass laufend Wasser nachströmt. Das nach außen gelenkte Wasser wird im Gehäuse umgelenkt und dabei wird die Bewegungsenergie in Druckenergie umgewandelt.

Bauarten

In der Heizungstechnik kommen zwei Bauarten von Zentrifugalpumpen zum Einsatz:

- Nassläuferpumpen
- Trockenläuferpumpen

Nassläuferpumpen

Nassläuferpumpen zeichnen sich durch eine kompakte Bauweise von Pumpen- und Motorgehäuse aus. Sämtliche beweglichen Bauteile werden durch das Heizungswasser gekühlt und gleichzeitig geschmiert. Pumpen dieser Bauart sind wartungsfrei und geräuscharm.

Trockenläuferpumpen

Trockenläuferpumpen werden als Inline- oder Grundplattenpumpen hergestellt. Der Motor sowie der wasserführende Teil sind bei dieser Bauart getrennt. Das Laufrad ist über eine Welle mit dem Motor verbunden, wobei eine Gleitringdichtung dafür sorgt, dass die Motoreinheit nicht mit Wasser in Kontakt kommt. Dieser Pumpentyp ist nicht wartungsfrei. Die Betriebsgeräusche sind höher als bei Nassläuferpumpen.



Fig. 3-47 Nassläuferpumpe (links), Inline-Pumpe (Mitte), Grundplattenpumpe (rechts) (Quelle: Grundfos)

Pumpen- und Anlagenkennlinien

Jede Pumpe hat eine eigene Charakteristik bzw. einen eigenen bestimmten Zusammenhang zwischen dem Fördervolumenstrom und der Förderhöhe (auch Förderdruck). Diese wird mittels der Pumpenkennlinie dargestellt. Die Pumpenkennlinie wird vom Hersteller durch Messungen ermittelt. Ebenso besitzt jede Anlage eine eigene Anlagenkennlinie (auch Rohrnetzkenlinie). Dabei wird der Widerstand des Leitungsnetzes und der Anlagenteile (Druckverlust) in Abhängigkeit des Fördervolumenstroms dargestellt.

Pumpenkennlinie

Wie bereits erwähnt, zeigt die Pumpenkennlinie das Zusammenspiel zwischen Fördervolumenstrom und Förderhöhe bei einer definierten Drehzahl n der Pumpe. Sie gibt also an, welcher Druckverlust bei einem bestimmten Volumenstrom überwunden werden kann oder umgekehrt. Eine Änderung des Volumenstroms hat immer eine Veränderung des Pumpendrucks und umgekehrt zur Folge. So sinkt der zur Verfügung stehende Pumpendruck bei Zunahme des Volumenstroms. Steigen hingegen der zu überwindende Widerstand und damit der Pumpendruck, so nimmt der Volumenstrom ab.

Anlagenkennlinie

Die Anlagenkennlinie zeigt den Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom und dem Widerstand (Druckverlust) in einer Anlage oder in einem Rohrnetz (deshalb oft auch Rohrnetzkenlinie genannt). Mit einem bestimmten Druckverlust bei einem bestimmten Volumenstrom lässt sich ein Betriebspunkt definieren, z.B. beim Auslegungszustand der Anlage. Weiter können die Druckverluste bei verschiedenen Volumenströmen berechnet werden (quadratische Abhängigkeit, vgl. Proportionalitätsgesetze). Damit kann die Kennlinie dargestellt werden. Rohrnetze, deren Rohrleitungen über große Durchmesser im Verhältnis zum betreffenden Volumenstrom verfügen, haben eine flachere Kennlinie. Rohrleitungen mit kleinerem Durchmesser im Verhältnis zum Volumenstrom haben eine steilere Kennlinie.

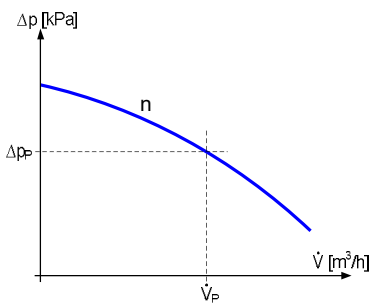


Fig. 3-48 Pumpenkennlinie mit Fördervolumenstrom $\dot{V}_P$ und Förderhöhe Δp_P bei einer Drehzahl n

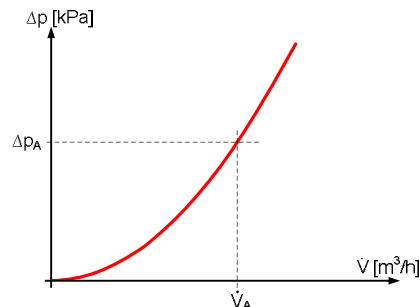


Fig. 3-49 Anlagenkennlinie (oft auch Rohrnetzkenlinie genannt)

Betriebspunkt

Werden nun die beiden Kennlinien in dasselbe Diagramm gezeichnet, so entsteht ein Schnittpunkt zwischen den beiden Kennlinien. Dieser Schnittpunkt wird Betriebspunkt genannt. Die Pumpe fördert bei konstanter Drehzahl n den entsprechenden Volumenstrom mit der zugehörigen Förderhöhe bei den Bedingungen im Betriebspunkt.

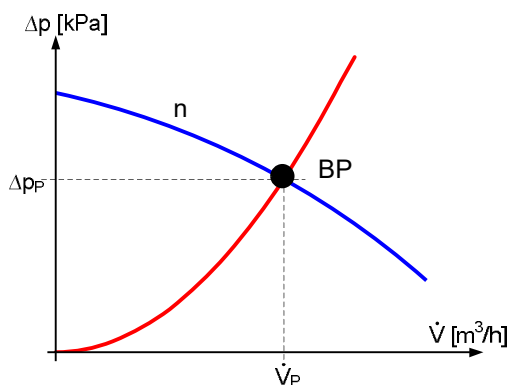


Fig. 3-50 Pumpen- und Anlagenkennlinie mit Betriebspunkt (BP)

3.4.2. Stellgerät (Stellglied und Stellantrieb)

Das Stellgerät besteht aus den Komponenten Stellglied und Stellantrieb. Stellgeräte sorgen dafür, dass im Teillastbetrieb die Wärmemenge für die Wärmeverbraucher – den Vorgaben der Regelung entsprechend – so weit wie nötig reduziert wird. Dazu werden verschiedene hydraulische Schaltungen eingesetzt (vgl. Kapitel 5.4). Für die notwendigen Volumenstrom-Veränderungen sorgen sogenannte Regeltore, welche sich im Stellglied befinden.

Stellglied

Bei Stellgliedern können folgende Typen unterschieden werden:

- Durchgangs- und Dreiwegventil
- 2-Weg und 3-Weg-Kugelhahn



Fig. 3-51 Stellglieder: Durchgangs- und Dreiwegventil, 2-Weg- und 3-Weg-Kugelhahn (v. l. n. r.) (Quelle: Siemens)

Durchgangsventil

Beim Durchgangsventil wird durch eine Hubänderung der Strömungsquerschnitt verringert oder vergrößert. Dabei ändern sich die Wassermenge, welche das Stellglied passiert, und folglich auch die Wärmemenge.

Dreiwegventil

Das Dreiwegventil besitzt insgesamt drei Regeltore, wobei ein Regeltor eine konstante (AB) und zwei Regeltore (A, B) eine variable Durchflussmenge aufweisen. Somit kann die Wärmemenge durch eine Veränderung des Mischverhältnisses verschiedener Volumenströme erreicht werden. Dies geschieht beim Dreiwegventil durch Beimischen von kälterem Wasser.

2-Weg-Kugelhahn

Beim 2-Weg-Kugelhahn wird durch die Drehung der Kugel ebenfalls der Strömungsquerschnitt verändert. Dabei verändert sich wie beim Durchgangsventil ebenfalls die Wassermenge durch den Regelkugelhahn und somit auch die Wärmemenge.

3-Weg-Kugelhahn

Beim 3-Weg-Kugelhahn wird je nach Stellung der Kugel ein Mischverhältnis zwischen zwei Zuläufen hergestellt. Das entsprechende Mischverhältnis entsteht in Abhängigkeit vom freien Strömungsquerschnitt, welche der jeweilige Zulauf hat.

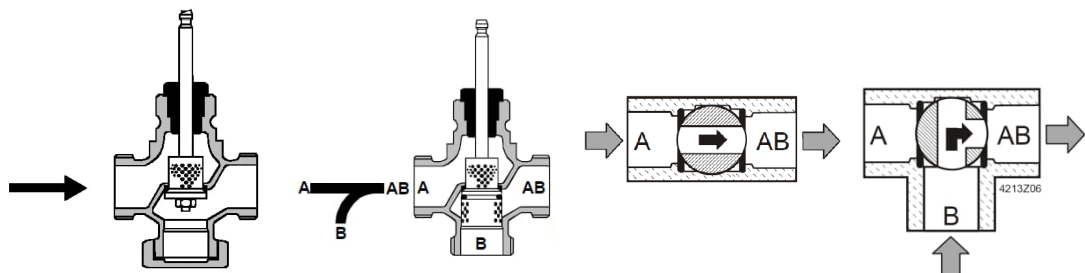


Fig. 3-52 Schnittbild: Durchgangsventil, Dreiwegventil, 2-Weg-Kugelhahn, 3-Weg-Kugelhahn (v. l. n. r.) (Quelle: Siemens)

PICV (druckunabhängiges Regelventil)

Bei hydraulischen Schaltungen mit Durchgangsventilen werden heute oft druckunabhängige Regelventile, sogenannte PICVs (pressure independent control valve), eingesetzt. Das PICV kombiniert ein Regelventil mit einem Differenzdruckregler, der die Bedingungen über dem Regelventil konstant hält, auch wenn es im Leitungsnetz Druckschwankungen gibt. Dadurch wird eine gegenseitige hydraulische Beeinflussung der Verbraucher eliminiert. Des Weiteren kann am PICV der Nennvolumenstrom direkt eingestellt werden, wodurch auf eine separate Abgleichdrossel verzichtet werden kann – somit ist der hydraulische Abgleich auch schon gemacht. Damit der Differenzdruckregler des PICV richtig arbeitet, benötigt dieser einen minimalen Druck ($\Delta p_{\min}$) von der Pumpe.



Fig. 3-53 Flansch- oder Gewinde-PICV (druckunabhängiges Regelventil) und Schnittbild

Stellantrieb

Als Stellantrieb können diese Arten verwendet werden:

- Elektromotorische Antriebe
- Elektrothermische Antriebe
- Elektrohydraulische Antriebe
- Magnetantriebe
- Pneumatische Antriebe (Druckluft)
- Drehantrieb



Fig. 3-54 Stellantriebe: elektromotorisch (links), elektrothermisch (Mitte) und elektrohydraulisch (rechts) (Quelle: Siemens)



Fig. 3-55 Stellantriebe: elektromagnetisch (links), pneumatisch (Mitte) (Quelle: Sauter), Drehantrieb (rechts)

3.4.3. Armaturen für den hydraulischen Abgleich

Der hydraulische Abgleich sorgt dafür, dass die Druckverhältnisse und Volumenströme in einer Heizungsanlage so aufeinander abgestimmt sind, dass jeder Wärmeverbraucher entsprechend seinem Bedarf beim Auslegezustand mit Heizungswasser versorgt wird. Der hydraulische Abgleich ist die Grundlage für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage und sorgt für eine Reduzierung des Pumpenstromverbrauchs und Geräuschpegels. Dazu können eine Vielzahl von Armaturen verwendet werden, die sich in ihrer Funktion und folglich in der entsprechenden Anwendung unterscheiden:

- Strangreguliertventile
- Durchflussregler
- Differenzdruckregler
- Differenzdruckregler mit Durchflussbegrenzung
- Voreinstellbare Heizkörperventile
- Rücklaufverschraubungen
- Druckunabhängige Zonenventile

Strangregelventile

Strangregelventile ermöglichen den hydraulischen Abgleich der Gruppen oder Stränge untereinander. Sie werden in mengenkonstanten Teilen von hydraulischen Schaltungen eingebaut. Sie dienen dazu, den Volumenstrom im Auslegezustand einzustellen. Im Teillastbetrieb reduziert sich je nach Betriebssituation teilweise ihre Wirkung und sie verhalten sich fortan wie normale Widerstände. Der erforderliche Einstellwert wird in Abhängigkeit von Volumenstrom und Druckverlust in Diagrammen von Herstellern zur Verfügung gestellt. Die Einstellung erfolgt hier mittels Handrad.



Fig. 3-56 Strangregelventil (links) und Durchflussregler (rechts) (Quelle: Oventrop)

Durchflussregler

Durchflussregler regeln den Volumenstrom in einem Strang auf den definierten und eingestellten Wert. Dies geschieht unabhängig davon, welche Druckverhältnisse in der Anlage herrschen. An einer Skala wird der gewünschte Volumenstrom eingestellt. Eine Membrane hält anschließend den Differenzdruck über einen definierten Querschnitt durch Verschieben des Ventilkegels konstant. Deshalb übersteigt der Volumenstrom den gewünschten Sollwert nicht. Auch hier erfolgt die Einstellung über ein Handrad.

Differenzdruckregler

Differenzdruckregler sorgen für einen konstanten Differenzdruck innerhalb der Gruppe oder Stränge unter allen Betriebszuständen. Der Differenzdruckregler wird normalerweise in der Rücklaufleitung eingebaut. Für die Druckmessung ist er über eine Impulsleitung mit der Vorlauf-Leitung verbunden. Es wird somit die Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklaufleitung gemessen. Dieser wird dann auch konstant gehalten mit einem Ventilkegel, der je nach Zustand überschüssigen Differenzdruck abbaut. Auch hier erfolgt die Einstellung über ein Handrad.



Fig. 3-57 Differenzdruckregler mit Impulsleitung (Quelle: Oventrop)

Differenzdruckregler mit Durchflussbegrenzung

Diese Armaturen sind die Kombination zwischen Durchfluss- und Differenzdruckregler. Sie halten den Differenzdruck im Strang konstant und begrenzen den Durchfluss auf den eingestellten Wert. Somit gewährleisten sie unter allen Bedingungen ein hydraulisches Gleichgewicht.

Voreinstellbare Heizkörperventile

Bei Heizungsanlagen mit Heizkörpern müssen auch die Heizkörper untereinander abgeglichen werden. Der Unterschied zu den weiteren Abgleicharmaturen liegt primär darin, dass die voreingestellten Heizkörperventile für den Abgleich mehrerer Einzelverbraucher untereinander sorgen, während z.B. ein Strangregulierungsventil eine komplette Gruppe oder Strang abgleicht. Der Abgleich erfolgt dabei über einen Einstellwert. Diese Einstellung ist abhängig vom gewünschten Volumenstrom sowie dem notwendigen Druckverlust über den Verbraucher. In Herstellerdiagrammen kann anschließend mittels der beiden Angaben der gewünschte Einstellwert entnommen werden. Dieser Einstellwert kann im Ventiloberteil z.B. mit einem Schlüssel eingestellt werden.



Fig. 3-58 Heizkörperventil (Quelle: Siemens)

Rücklaufverschraubungen

Bei Heizkörpern kann der hydraulische Abgleich an Stelle des Heizkörperventils auch über die Rücklaufverschraubung vorgenommen werden, wobei die Funktion dieselbe ist. Um die Einstellung bei der Rücklaufverschraubung vorzunehmen, muss zuerst die Schutzkappe entfernt werden. Danach kann z.B. auch mittels Schlüssel die Einstellung gemacht werden.



Fig. 3-59 Rücklaufverschraubung (Quelle: Siemens)

Druckunabhängige Zonenventile

Druckunabhängige Zonenventile (Zonen-PICVs) sind wiederum eine Kombination zwischen Durchfluss- und Differenzdruckregler. Sie werden auf der Ebene Wärmeabgabe eingesetzt. Dabei wird der Differenzdruck über den entsprechenden Verbraucher trotz Durchflussänderungen konstant gehalten. Folglich herrscht unter allen Bedingungen ein hydraulischer Abgleich und kein Verbraucher wird über- oder unterversorgt.



Fig. 3-60 Gewinde-PICV (links) und Mini Combi Ventil (MCV) für Heizkörper (Quelle: Siemens)

3.4.4. Sicherheitstechnische Ausrüstung

Je nach Art der Heizungsanlage müssen verschiedene, sicherheitsrelevante Komponenten eingebaut werden:

- Sicherheitsventile
- Sicherheitstemperaturwächter
- Sicherheitstemperaturbegrenzer
- Ausdehnungsgefäß
- Zwischengefäß
- Wassermangelsicherung
- Thermische Ablaufsicherung

Diese Komponenten sollen die Anlagen vor folgenden möglichen Betriebssituationen schützen:

- Überdruck
Das flüssige Wärmeträgermedium dehnt sich bei Erwärmung aus. Diese Ausdehnung (Expansion) muss durch Maßnahmen in der Anlage gewährleistet werden. Sollte sich das Wasser nicht ausdehnen können, würde dies zu einem enormen Druckanstieg führen und die Anlagenteile würden bersten.
- Übertemperatur
Durch Übertemperatur können diverse Anlagenteile Schaden nehmen. Bei Flächenheizungen (z.B. Fußbodenheizung) kann bei zu warmen Temperaturen zudem die Baukonstruktion beschädigt werden.
- Wassermangel
Bei Wassermangel besteht die Gefahr, dass die erzeugte Wärme nicht mehr abgeführt werden kann, was zu einer Überhitzung im Erzeuger führen würde. Dies ist primär bei Dachzentralen wichtig.

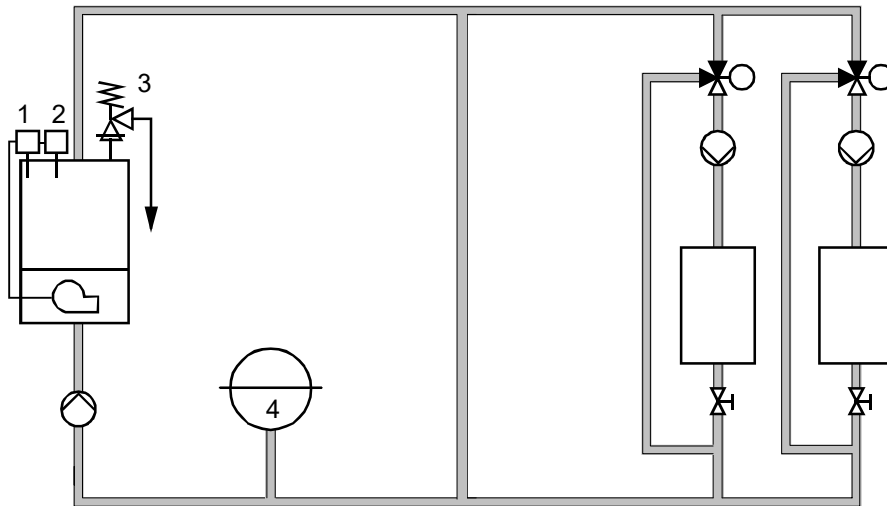


Fig. 3-61 Typische Sicherheitseinrichtungen in einer Warmwasserheizung mit geschlossenem Ausdehnungsgefäß

- 1 Sicherheitstempurwächter (STW)
- 2 Sicherheitstempurbegrenzer (STB)
- 3 Sicherheitsventil
- 4 Ausdehnungsgefäß

Welche sicherheitstechnischen Komponenten eingebaut werden müssen ist abhängig vom jeweiligen Land und wird dort in entsprechenden Vorschriften und Richtlinien vorgegeben.

Sicherheitsventile

Jede geschlossene Anlage muss mindestens über ein Sicherheitsventil verfügen. Es schützt die Anlage vor Überdruck. Sollte der Druck in der Anlage trotz Ausdehnungsgefäß zu groß werden, so würde das Sicherheitsventil als letztes Glied in der Sicherheitskette seine Funktion wahrnehmen. Durch selbsttätiges Öffnen kann so im Notfall die gesamte Heizleistung des Wärmeerzeugers in Form von Heißwasser oder Dampf abgelassen werden. Die Anschlussleitungen sollten möglichst kurz und ohne nennenswerte Widerstände gebaut werden. Die Austrittsöffnung sollte sich in einem Bereich befinden, wo sich keine Personen aufhalten können.



Fig. 3-62 Sicherheitsventil (Quelle: IMI Hydronic)

Sicherheitstempurwächter und Sicherheitstempurbegrenzer

Der Sicherheitstempurwächter (STW) schaltet die Anlage aus, sobald die Wassertemperatur einen gewissen Grenzwert überschreitet. Wird dieser Grenzwert wieder unterschritten, schaltet die Anlage automatisch wieder ein.

Der Sicherheitstempurbegrenzer (STB) schaltet die Anlage bei zu hoher Temperatur aus. Dieser Zustand wird auch angezeigt (z.B. Störlampe, Alarmmeldung, ...). Dabei verriegelt sich der Begrenzer, sodass er nur manuell wieder entriegelt werden kann. Somit muss jemand die Situation vor Ort überprüfen.



Fig. 3-63 Sicherheitstemperaturbegrenzer (STB) (Quelle: Siemens)

Ausdehnungsgefäß

Das Ausdehnungsgefäß gleicht temperaturabhängige Volumenänderungen aus. Ohne das Ausdehnungsgefäß würde bei kleinsten Temperaturänderungen bereits Heizungswasser über das Sicherheitsventil entweichen. Es werden hauptsächlich Druckausdehnungsgefäße mit einer Gummimembrane verwendet. Die Membrane trennt dabei den Wasser- und den Gasraum voneinander. Der Gasraum wird dabei werkseitig gefüllt (z.B. reaktionsträges, inertes Gas) und mit einem Vordruck geliefert. Der Vordruck, der von der statischen Höhe abhängig ist, soll verhindern, dass bereits beim Füllen der Anlage zu viel Wasser in das Gefäß gelangt. Bei einem Temperaturanstieg dringt das entstandene Ausdehnungsvolumen gegen den Gasdruck ins Gefäß ein. Bei Temperaturabkühlung sorgt der Gasdruck auf die Membranwandung dafür, dass wieder genügend Wasser in die Anlage gelangt. Die Druckausdehnungsgefäße werden so bemessen, dass sie mindestens das Ausdehnungsvolumen sowie eine Wasserreserve (Wasservorlage) aufnehmen können. Die Größe des Ausdehnungsgefäßes ist von folgenden Punkten abhängig:

- Wasservolumen der Heizungsanlage
- Maximalen Betriebstemperatur
- Anfangsdruck
- Abblasedruck des Sicherheitsventils



Fig. 3-64 Ausdehnungsgefäße mit festem Gaspolster (Quelle: IMI Hydronic)

Druckhalteanlagen:

In Anlagen mit großem Wasserinhalt werden Druckautomaten mit Luftkompressoren eingesetzt. Der Gegendruck im Gaspolster wird hier über einen Kompressor und ein Magnetventil gesteuert. Bei starker Wasserausdehnung lässt ein Magnetventil Luft aus dem Gasraum. Zieht sich das Wasser durch Abkühlung zusammen, fördert der Kompressor wieder Luft in den Gasraum und hält so den erforderlichen Gegendruck aufrecht.

Der Anlagendruck wird sich deshalb innerhalb der Schalt-differenz zwischen dem Aufrechterhalten durch den Kompressor und dem Öffnen des Magnetventils befinden. Solche Anlagen werden üblicherweise als betriebsfertige Einheiten geliefert.



Fig. 3-65 Ausdehnungsgefäße mit aufgebautem Kompressor für regeltem Gegendruck (Quelle: IMI Hydronic)

Zwischengefäß

Im Ausdehnungsgefäß befindet sich eine Gummi-Membrane, die vor zu warmem Wasser geschützt werden muss, um vorzeitige Alterung zu verhindern. Ausdehnungsgefäße werden deshalb u.a. im Rücklauf bzw. auf der Saugseite der Pumpe installiert, denn im Rücklauf ist die Wassertemperatur tiefer als im Vorlauf. Sollte aber auch die maximale Rücklauftemperatur höher als 50°C sein, so muss zusätzlich ein nicht isoliertes Zwischengefäß vor dem Ausdehnungsgefäß vorgesehen werden. Dort kann das Wasser so weit abkühlen, dass die Kunststoffteile im Ausdehnungsgefäß nicht vorzeitig altern. Ein weiterer Grund für die Installation des Ausdehnungsgefäß im Rücklauf ist, dass die Pumpe einen minimalen Zulaufdruck hat, um Kavitation in der Umwälzpumpe zu vermeiden.

Wassermangelsicherung

Die Wassermangelsicherung wird häufig in Heizungsanlagen verwendet, bei denen sich die Zentrale im Dachgeschoß befindet. Sie dient dazu, dass der Wärmeerzeuger aufgrund von unzureichender Wassermenge im System nicht überhitzt bzw. sogar ausglüht. Die Wassermangelsicherung schaltet die Feuerung über einen Schwimmer, der sich im Wasserstandbegrenzer befindet, aus. Dies geschieht, sobald der Schwimmer eine minimale Wasserstandshöhe unterschreitet. Sie verriegelt sich anschließend gegen selbstständiges Wiedereinschalten.



Fig. 3-66 Wassermangelsicherung (Quelle: IMI Hydronic)

Thermische Ablaufsicherung

Die thermische Ablaufsicherung wird in Festbrennstoff-Wärmeerzeugern (Holzkessel) eingebaut und schützt vor Übertemperaturen. Bei der thermischen Ablaufsicherung wird im Notfall Kaltwasser durch einen im Kessel integrierten Wärmetauscher geleitet werden. Ein autarker Fühler im Kessel ist mittels Kapillarrohr mit einem thermisch gesteuerten Ventil in der Kaltwasserleitung verbunden. Bei einer Temperaturüberschreitung dehnt sich die Flüssigkeit im Kapillarrohr aus und sorgt dafür, dass sich das Ventil in der Kaltwasserleitung öffnet und so der Kessel durch Wasser gekühlt wird.

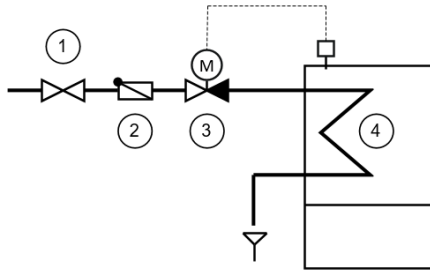


Fig. 3-67 Schema Thermische Ablaufsicherung

- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Absperrarmatur | 2 Rückschlagklappe |
| 3 Thermische Ablaufsicherung ohne Hilfsenergie | 4 Sicherheitswärmeübertrager |

3.4.5. Verteilsysteme

Das vom Wärmeerzeuger erwärmte Wasser muss zu den Verbrauchern geführt werden. Nach der erfolgten Wärmeabgabe soll das kühlere Rücklaufwasser zurück zum Erzeuger gelangen. Dieser Kreislauf wird durch das Verteilsystem unterstützt. Man unterscheidet dabei zwischen:

- Verteilung des Vorlaufwassers:
untere Verteilung, obere Verteilung, etagenweise Verteilung
- Rohrsysteme:
Einrohrsystem, Zweirohrsystem

Verteilung des Vorlaufwassers

Untere Verteilung

Die Vorlaufverteilung und die Rücklaufsammelleitung werden unterhalb der Wärmeverbraucher, z.B. an der Kellerdecke oder in Bodenschächten, geführt. Von diesen Leitungen aus führen Steigleitungen senkrecht weg und versorgen die einzelnen Verbraucher in den Geschossen. Dieses Verteilsystem benötigt weniger Rohrmaterial als das Prinzip der oberen Verteilung und ist somit günstiger. Zudem hat es geringere Wärmeverluste. Diese Verteilart erschwert jedoch die Heizkostenverteilung, da an den jeweiligen Steigleitungen möglicherweise unterschiedliche Nutzparteien (z.B. verschiedene Unternehmen in einem) angeschlossen sind. Somit kann nicht zentral ein Wärmeheser installiert werden, sondern es müssen Wärmeheser an den einzelnen Verbrauchern platziert werden.

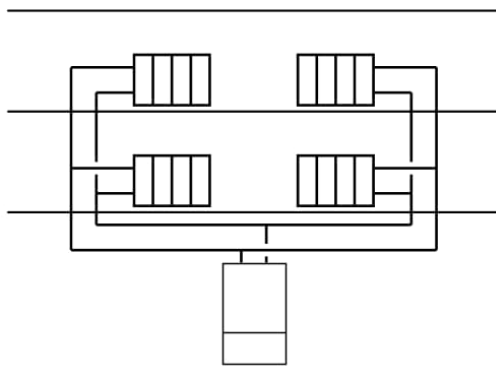


Fig. 3-68 Schema: Untere Verteilung

Obere Verteilung

Hier wird die Vorlaufleitung direkt über den höchsten Wärmeverbraucher geführt. Dort, meistens im Dachgeschoß, werden dann die jeweiligen Fallstränge versorgt. Die Wärmebezüge beziehen die Wärme von den Fallsträngen. Nach der Wärmeabgabe wird das Rücklaufwasser gesammelt und wieder dem Wärmeerzeuger zugeführt. Dieses Prinzip findet man häufig in bestehenden, älteren Anlagen. Es wurde früher häufig bei Systemen mit Schwerkraftheizung eingesetzt. Heute findet man es meist nur noch bei Anlagen mit Dachzentralen. Das System benötigt mehr Rohrmaterial und hat mehr Wärmeverluste. Die Heizkostenverteilung gestaltet sich auch hier genauso schwierig wie bei der unteren Verteilung.

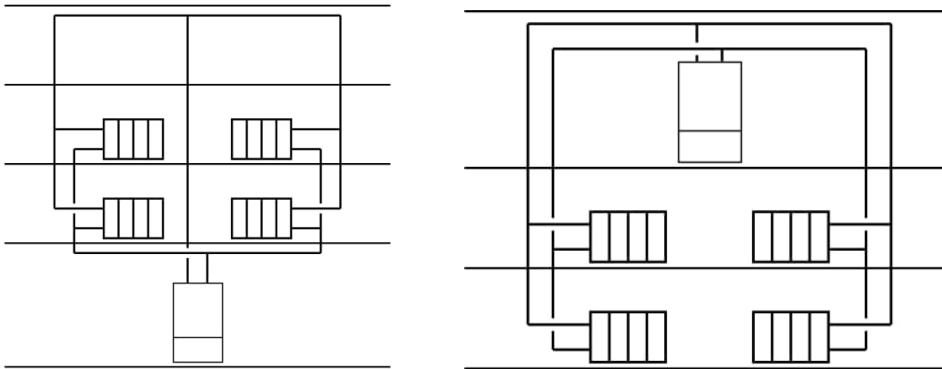


Fig. 3-69 Schema: Obere Verteilung (links) und obere Verteilung mit Dachheizzentrale (rechts)

Etagenweise Verteilung

Bei diesem Verteilsystem hat jede Etage oder jede Wohnung einen eigenen Vorlaufverteiler sowie einen Rücklaufsammler. Diese Verteiler und Sammler befinden sich häufig in einem Verteilerkasten in der Wand oder im Boden. Die Verteilung innerhalb des Geschoßes geschieht häufig im Estrich oder über Aussparungen im Betonboden. Der Vorteil bei dieser Verteilart liegt darin, dass jeweils ein Wärmezähler je Nutzpartei zugewiesen werden kann. Das vereinfacht die Heizkostenverteilung. Allerdings ist die Rohrführung doppelt ab dem Verteilerkasten bis zu den Verbrauchern. Dadurch wird mehr Rohrleitung benötigt und diese Verteilung ist deshalb teurer.

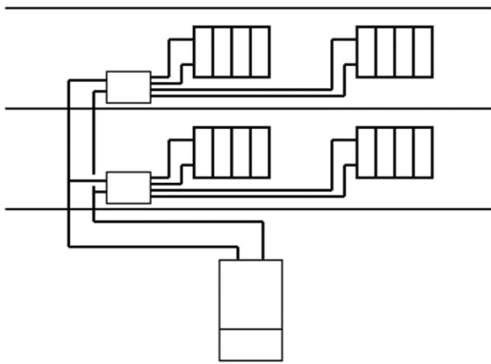


Fig. 3-70 Schema: Etagenweise Verteilung

Rohrsysteme

Zweirohrsystem

Die Zweirohrheizung ist das am meisten verwendete Heizungsverteilsystem. Beim Zweirohrsystem fließt das Wasser in der Vorlaufleitung zum Wärmeabgabesystem und anschließend über die Rücklaufleitung wieder zum Wärmeerzeuger zurück. Somit hat jeder Wärmeverbraucher fast die gleiche Vorlaufftemperatur. Weiter erbringen zum Beispiel Heizkörper mit derselben Größe und gleicher Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf die gleiche Wärmeleistung. Auch beeinflussen sich die Wärmeverbraucher untereinander wenig, da jeder separat versorgt wird. Das Zweirohrsystem kann in Kombination mit der oberen, der unteren sowie der etagenweisen Verteilung installiert werden.

Sonderform Tichelmann-System

Hier ist die Summe der Rohrleitungslängen ausgehend vom Wärmeerzeuger zu jedem einzelnen Wärmeverbraucher beinahe immer gleich. So hat zum Beispiel ein Heizkörper mit einer kurzen Vorlaufleitung eine längere Rücklaufleitung. Damit ergeben sich über alle Verbraucher in etwa gleiche Druckverluste und auf den statischen hydraulischen Abgleich kann verzichtet werden. Aufgrund der längeren Rohrleitungen wird auch die Anlage teurer.

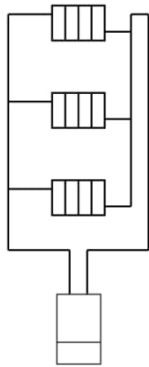


Fig. 3-71 Schema: Tichelmann-System

Einrohrsystem

Einrohrsystem wurden häufig in den 1970-er bis 1980-er Jahren eingesetzt. Damals waren die Betriebstemperaturen viel höher. Die gegenwärtigen sehr tiefen Systemtemperaturen erlauben es nicht mehr, eine Einrohrheizung vernünftig zu planen. Beim Einrohrsystem führt zu jedem Heizkörper nur eine einzige Rohrleitung. Folglich bezieht der Heizkörper das Vorlaufwasser von dieser Rohrleitung und gibt es später wieder in dieselbe Leitung zurück. Somit erhält der erste Heizkörper das wärmste und der letzte Heizkörper das kälteste Vorlaufwasser. Das macht die Planung sehr schwierig und die tiefen Systemtemperaturen führen dazu, dass die Heizkörper immer größer werden müssen, um die Wärmeabgabe zu gewährleisten. Vorteilhaft ist, dass weniger Rohre benötigt werden.

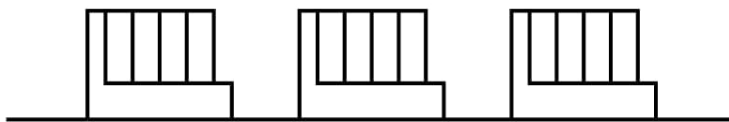


Fig. 3-72 Prinzip Einrohrheizung mit mehreren Heizkörpern

3.4.6. Wärmeabgabesysteme

Heizkörper

Es gibt verschiedene Heizkörper, die sich primär im Aussehen und in der Art der Wärmeabgabe unterscheiden. So werden heute vor allem Flächenheizkörper, Gliederheizkörper oder Konvektoren eingesetzt. Weiter gibt es noch Spezialheizkörper wie Handtuchradiatoren oder Designheizkörper.



Fig. 3-73 Flächenheizkörper (links), Gliederheizkörper (Mitte), Konvektor (rechts) (Quelle: Zehnder)

Wärmeübertragung

Je nach Bauart und Bauform geben die Heizkörper ihre Wärme unterschiedlich an den Raum ab. So geschieht die Wärmeabgabe bei Flächenheizkörper primär mittels Strahlung und einem geringen Anteil Konvektion. Bei den Gliederheizkörpern wird die Wärme mehr durch Konvektion und weniger durch Strahlung übertragen. Wie es der Name bereits erahnen lässt, erfolgt beim Konvektor die Wärmeabgabe fast nur über Konvektion. Die jeweiligen Anteile sind allerdings stark von der entsprechenden Form der Heizkörper abhängig und werden vom Lieferanten vorgegeben.

Anforderungen an Heizkörper

Die Hauptaufgabe besteht darin, dass die Heizkörper eine behagliche Raumtemperatur schaffen. Es sollten allerdings noch weitere Aspekte bei der Planung berücksichtigt werden:

- Keine scharfen Kanten, um Verletzungsgefahren zu vermeiden
- Heizkörper sollte optisch in den Raum passen
- Sie sollten einfach zum Reinigen sein
- Möglichst klein bei möglichst hoher Wärmeabgabeleistung
- Sollten billig, leicht und schnell montierbar sein
- Wärmeabgabe gut regelbar
- Sollten in Bereichen mit großen Temperaturunterschieden aufgestellt werden (z.B. unter dem Fenster)

Einflüsse auf die Wärmeabgabe eines Heizkörpers

Die Wärmeleistungsabgaben von Heizkörpern werden im Labor gemäß Normvorgaben gemessen. Somit basieren diese Wärmeleistungen auf klar definierten Grundbedingungen. Diverse Einflussfaktoren haben Auswirkungen auf die effektive Leistung eines Heizkörpers im entsprechenden Umgebungskontext:

- Temperaturen
Die Messung der Wärmeleistung geschieht immer unter folgenden Normbedingungen: Vorlauftemperatur 75 °C, Rücklauftemperatur 65 °C und Raumtemperatur 20 °C. Sollte eine dieser Temperaturen anders sein, muss die effektive Wärmeleistung des Heizkörpers berechnet werden.
- Aufstellungsort
Die Messwerte beziehen sich immer auf den Umgebungsdruck auf Meereshöhe von 1013 mbar. Die Wärmeabgabe durch Konvektion ist allerdings von der Luftdichte abhängig. Die Luftdichte verändert sich wiederum in Abhängigkeit des Luftdrucks. Somit nimmt die Wärmeleistung des Heizkörpers mit zunehmender Höhenlage ab.
- Farbe und Beschichtung
Die Wärmeleistung des Heizkörpers wird mit einem normalen Öl-Farbanstrich gemessen. Die Farbe und Beschichtung hat einen großen Einfluss auf die Strahlungswärmeabgabe, welche durch die Strahlungszahl ausgedrückt wird. Hat der Heizkörper eine andere Farbe oder beispielsweise einen metallischen Überzug, so muss die Wärmeleistung neu berechnet werden.
- Verkleidung
Heizkörperverkleidungen, Abdeckungen, Vorhänge oder Möbel verkleinern die Luftströmung um den Heizkörper, was zu einer konvektiven Leistungsminderung führt. Auch auf die Strahlungswärmeabgabe haben diese Verkleidungen Auswirkungen.
- Anschlussart
Je nach Anschlussart wird der Heizkörper anders durchströmt. Je nach Zirkulation können sich „tote Zonen“ ergeben, was einen negativen Einfluss auf die Wärmeleistung hat.

Fußbodenheizung

Bei Flächenheizung wird die Wärmeleistung nahezu einzig durch Strahlung übertragen. Dadurch herrscht eine günstige Temperaturverteilung im Raum. Die am häufigsten verwendete Flächenheizung ist die Fußbodenheizung. Sie erfüllt das Bedürfnis des Menschen nach Wärme im Bodenbereich. Angestrebt wird eine möglichst gleichmäßige Oberflächentemperatur. Fußbodenheizungen sind typische Niedertemperatur-Heizsysteme und können deshalb in Kombination mit Wärmepumpen oder Brennwertkesseln als Erzeuger sehr wirtschaftlich betrieben werden.

Systeme

Man unterscheidet zwei verschiedene Verlegungsarten:

- Nassverlegung

Bei der Nassverlegung sind die Rohre vollständig vom Estrich bzw. Zementüberzug umschlossen. Hier wird die Wärme direkt an den Estrich übertragen. Die Eigenschaft dieses Systems ist die hohe Trägheit. Bezüglich Investitionskosten ist die Nassverlegung günstiger als die Trockenverlegung.



Fig. 3-74 Verlegte Fußbodenheizungsrohre im Nasssystem (links) und im Trockensystem (rechts) (Quelle: hp praski)

- Trockenverlegung

Bei der Trockenverlegung werden die Rohre in Rillen der Dämmschicht unterhalb des Estrichs verlegt. Die Rohre werden nicht vom Estrich umhüllt, deshalb müssen noch zusätzliche Wärmeleitlamellen zur Verteilung der Wärme vorgesehen werden. Die Trägheit ist bei diesem System geringer. Aufgrund der niedrigeren Bauhöhe wird dieses System häufig in Umbauten eingesetzt. Die Trockenverlegung ist teurer als die Nassverlegung.



Fig. 3-75 Wärmeleitlamellen bei Trockenverlegung (Quelle: Logafix)

Verlegungsarten der Rohre

Bei den Verlegungsarten wird zwischen der mäanderförmigen (bzw. schlangenlinienförmigen) und der spiralförmigen Verlegung unterschieden. Eine gleichmäßige Temperaturverteilung wird vor allem mit der spiralförmigen Verteilung erreicht, da sich dort Vor- und Rücklauf jeweils direkt nebeneinander befinden und sich deshalb eine konstante Mitteltemperatur einstellt. Bei der Planung der Verlegung muss beachtet werden, dass der Grenzwert für die maximale Oberflächentemperatur nicht überschritten wird.

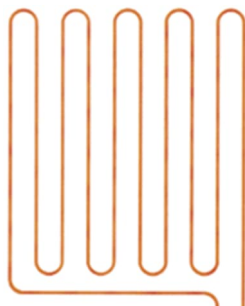


Fig. 3-76 mäanderförmige (schlangenlinienförmige) Verlegung

spiralförmige Verlegung

(Quelle: ikz)

Vor- und Nachteile der Fußbodenheizung

Vorteile:

- Besondere Eignung für Wärmepumpen und Brennwertkessel als Erzeuger wegen den tieferen Heizwassertemperaturen (max. 35 °C) und wegen der Wärme-Speicherfähigkeit
- Weniger Leitungsschlitze und dadurch weniger bauliche Nebenarbeiten
- Nicht sichtbar im Raum
- Keine Probleme mit Platzierung von Heizkörpern

Nachteile:

- Größere Trägheit bei der Wärmeabgabe und dadurch schlechtere, kurzzeitige Regelbarkeit
- Hohe Kosten bei nachträglichen Änderungen oder Reparaturen an den Heizflächen
- Einschränkungen bezüglich der Inneneinrichtung (z.B. Teppiche) und der flexiblen Raumtrennung

Deckenheizung

Bei der Deckenheizung wird die Wärme fast nur durch Wärmestrahlung übertragen. Die Räume sollten über 3 m hoch sein, da die Wärmestrahlung von oben in niedrigeren Räumen von den Menschen sehr oft als unbehaglich empfunden wird. Früher unterteilte man die Deckenheizung in zwei verschiedene Systeme: Rohrdeckenheizung und Strahlplattenheizung. Bei der Rohrdeckenheizung werden die Heizungsrohre in die Betondecken einbetoniert. Dieses Prinzip ist heute mehr unter dem Begriff TABS bekannt, welches allerdings mit niedrigen Systemtemperaturen arbeitet (siehe 3.4.7 TABS – Thermoaktives Bauteilsystem). Hingegen wurde das Prinzip der Strahlplattenheizung stark weiterentwickelt und man findet es gegenwärtig häufig in Gewerbe- und Industriebetrieben sowie Sport-, Lager- und Fabrikhallen. Die Strahlplattenheizungen lassen sich wiederum in einige spezifische Typen unterteilen:

- Geschlossene Decken
- Deckensegel
- Deckenstrahlplatten

Mit den meisten Typen kann auch gekühlt werden.

Geschlossene Decken

Für diese Art der Deckenheizung wird eine abgehängte Decke aus Metall oder Gips benötigt. Dabei wird die entsprechende Decke mittels Heizungsrohren auf der Oberseite aktiviert. Die Metall- oder Gipsdeckenplatten lassen den Architekten viele gestalterische Freiheiten. Sie lassen sich glatt oder perforiert ausführen. Bei der Metalldecke lässt sich der Deckenhohlraum für Revisionsarbeiten zugänglich machen, da sich die Deckenplatten beliebig öffnen lassen. Die Gipsdecke hingegen bleibt geschlossen und ist ohne Beschädigung nicht mehr zugänglich. Dafür kann sie fugenlos gestaltet werden. Oft wird dieses System gleichzeitig mit akustischen Maßnahmen oder Luftdurchlässen kombiniert. Diese Art der Konstruktion kann auch als Kühldecke zur Raumkühlung genutzt werden.



Fig. 3-77 Geschlossene Metalldecke zum Heizen und Kühlen (Quelle: KST)

Deckensegel

Dieser Typ gleicht dem Prinzip der geschlossenen Decke. Auch hier wird die Oberseite mit Rohren aktiviert. Im Gegensatz zu den geschlossenen Decken werden hier nicht vollflächige Komponenten aktiviert, sondern nur einzelne Teile, sogenannte Segel. Diese können direkt an die Betondecke oder auch in abgehängter Form installiert werden. Sie sind wiederum als Gips- oder Metallsegel erhältlich. Mittels abgehängten Rasterdecken können die Segel versteckt, d.h. ins Gesamtbild integriert werden.



Fig. 3-78 Deckensegel mit integrierten Leuchten (Quelle: Barcol-Air)

Deckenstrahlplatten

Die Deckenstrahlplatten lassen sich auch noch für Räume mit hoher Raumhöhe verwenden. Ihre Wirksamkeit liegt bei bis zu 50 W/m^2 . Die Deckenstrahlplatten bestehen aus einem Metallblech mit integrierten Rohren. Oberhalb dieser Metallplatten wird üblicherweise eine Wärmedämmung vorgesehen. Die Plattenbänder können aus mehreren hintereinander angeordneten Einzelelementen bestehen. Sie werden an der Decke aufgehängt. Da Deckenstrahlplatten häufig in hohen Räumen installiert werden, muss beachtet werden, dass die Deckenstrahlplatten über eine genügend hohe Vorlauftemperatur verfügen, damit auch eine Temperaturdifferenz zum Strahlungsaustausch vorhanden ist.



Fig. 3-79 Deckenstrahlplatten in Eishockeystadion (Quelle: Zehnder-Systems)



Verlegte Wandheizung an Außenwand (Quelle: Wikipedia)

Wandheizung

Eine Wandheizung (Fig. 3-79, rechts) mit warmen Oberflächentemperaturen erfüllt die Bedingungen des thermischen Komforts sehr gut, da eine wesentlich größere Fläche des stehenden oder sitzenden Menschen angestrahlt wird als bei Fußboden- oder Deckenheizung. Die Heizrohre können einbetoniert oder in einem Mörtelüberzug untergebracht werden. Hinter der Wandheizung ist eine ebenso gute Wärmedämmung wie bei einer Fußbodenheizung notwendig. Vor allem bei Außenwänden sollte diese unbedingt vorhanden sein, um den Wärmeverlust zu verhindern. Die Platzierung der Möbel muss beachtet werden, um eine genügend große freie Wandfläche zu gewährleisten. Die Wandheizung wird eher selten eingesetzt.

3.4.7. TABS – Thermoaktives Bauteilsystem

Als thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) werden großflächige, bauteilintegrierte oder aufgesetzte Wärme- und Kälteabgabesysteme bezeichnet. Solche Systeme nutzen die Gebäudemaße, d.h. Geschoßböden und -decken, zur thermischen Klimatisierung des Gebäudes. Die Raumheizung und Raumkühlung erfolgt damit entweder alleine durch TABS oder durch TABS ergänzt mit Zusatzsystemen. Zur Erhöhung der Energieeffizienz werden die thermisch aktivierten Bauteile gezielt in das Energiemanagement einbezogen. Durch die Aktivierung großer thermischer Maße wird die Wärme- und Kälteabgabe jedoch träge. Dies muss bei der Regelung und Steuerung sowie auch bei der Planung von TABS mitberücksichtigt werden. Eine Anpassung erfolgt dynamisch über den gesamten Tages- und Nachtzyklus.

Thermoaktives Bauteilsystem

Mit TABS meint man vorgefertigte Rohrregister, welche in den Geschoßdecken eingelegt sind und je nachdem von einem Heiz- oder Kühlmedium durchströmt werden. Diese Rohrregister bestehen aus Mehrschicht-Verbundrohren. Dies ermöglicht es, die zugehörige thermische Speichermaße zu nutzen. Im Heizfall wird Wärme vom Wasser über die Maße an den Raum geleitet. Im Kühlfall wird Wärme vom Raum über die Speichermaße zum Medium (Wasser) abgeführt.



Fig. 3-80 Eingelegte Rohrleitungen in der Geschoßdecke (Quelle Tabs)

Installationshinweise

Die einzelnen Rohrregister weisen jeweils eine Fläche von ca. 15 m² bis 25 m² auf. Eingelegt werden die Rohrregister mit anderen Elementen wie Unter- und Oberarmierung, Elektro-Leerrohren, Ablaufleitungen und Distanzböcken. Deshalb ist eine gute Koordination der verschiedenen Fachgewerke sehr wichtig. Zudem muss vor dem Betonieren eine Vorabnahme stattfinden. Es muss auch eine Druckprobe vom Register vorliegen. Nach dem Betonieren können die Register angeschlossen werden.

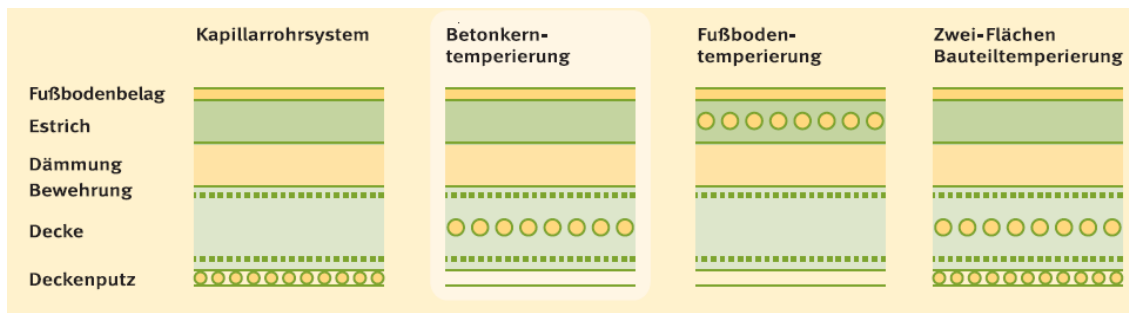


Fig. 3-81 Unterschiedliche TABS-Systeme (Quelle: Bine Informationsdienst, FIZ Karlsruhe)

Jede Schicht, welche zwischen dem Register und dem Raum liegt, hat einen Wärmedurchgangswiderstand. So sind Putz, Dämmungen und Zwischendecken möglichst zu vermeiden. Die freie Betondeckenfläche kann allerdings für Halleffekte sorgen, was oft zu großen Herausforderungen bei schallschutztechnischen Maßnahmen führt.

Systemtemperaturen

Heizung: Früher musste die Deckenheizung aufgrund von schlecht gedämmt Gebäuden mit hohen Systemtemperaturen betrieben werden. Dies führte zu einem unbehaglichen Temperaturverlauf über die Raumhöhe. Durch die gegenwärtigen besser gedämmten Gebäude kann die Heizungswassertemperatur zwischen 24 °C und 28 °C liegen. Daraus ergibt sich ein angenehmes Strahlungsverhalten für den Nutzer. Mit diesen Temperaturen können Leistungsdichten von 25 bis 30 W/m² in die Zone gebracht werden.

Kühlung: Im Kühlfall liegen die Systemtemperaturen zwischen 19 °C und 21 °C. So können unbehagliche Zugerscheinungen von der Decke vermieden werden. Auch die Kältestrahlung ist angenehm und erträglich. Die eher hohen Kühlwassertemperaturen erlauben auch während einer langen Zeit im Jahr eine alternative Kälteerzeugung wie z.B. freie Kühlung (Free-Cooling) zu nutzen. So kann der hohe Stromverbrauch, welcher bei der Kälteerzeugung mittels Kältemaschine entsteht, reduziert werden. Es können Leistungsdichten von 25 bis 35 W/m² erreicht werden. Nach oben ist die mögliche Kühlleistung durch den Taupunkt der Raumluft beschränkt.

Heiz- und Kühlenergieerzeuger

Durch die raumtemperaturnahen Vorlauftemperaturen können zum Heizen z.B. Wärmepumpen effizient eingesetzt werden. Zum Kühlen eignen sich Umweltenergien wie freie Kühlung (Free cooling), Rückkühlung und Grund- oder Seewasserkühlung.

Integrale Planung des Gesamtsystems

Durch TABS im Gebäude wird ein hoher Raumkomfort ermöglicht. Erreichbar wird dies erst mit der Kombination sorgfältig aufeinander abgestimmter Maßnahmen mit folgenden Grundelementen:

- Für die durchgehende Energieeffizienz des Gesamtsystems ist eine integrale Planung von hoher Bedeutung und unabdingbar
- Sehr guter Wärme- und Sonnenschutz
- Ausreichende thermische Gebäudespeicherkapazität
- Luftdichte Gebäudehülle mit Grundlüftung und hygienisch notwendigem Luftwechsel
- Wärmerückgewinnung
- Korrekter hydraulischer Aufbau der Leitungssysteme
- Spezielle TABS Regelstrategien

Vorteile

- Sowohl die Wärmeabgabe (heizen) als auch die Wärmeaufnahme (kühlen) erfolgen über die thermisch aktivierten Bauteile mit ihren großen Übertragungsflächen.
- Niedrige Systemtemperaturdifferenzen (dank großen Übertragungsflächen)
- Effiziente Nutzung von natürlichen Energiequellen möglich
- Zeitverschobene Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme
- Nutzung von kühler Außenluft in der Nacht im Sommer
- Betrieb von Wärmepumpen in Zeitabschnitten mit niedrigen Stromtarifen
- Energieeffiziente Wärme- und Kälteerzeugung mit Selbstregelleffekt für die Raumtemperatur
- Niedrige Erstellungs- und Unterhaltskosten

Einschränkungen

- Beachtung der zusätzlichen thermischen Trägheit
Bei Decken-/Bodenaufbauten wie z.B. Hohlboden, abgehängten Decken oder isolierendem Schallschutz muss die zusätzliche thermische Trägheit beachtet werden.
- Keine beliebige Anforderung an den thermischen Komfort, d.h. Raumtemperaturschwankungen innerhalb gewisser Grenzen während des Tages müssen toleriert werden
- Anspruchsvolle integrale Planung
Die Abschätzung der Wärmelasten bei der Planung ist wichtig und oft sind Simulationsberechnungen angebracht.

3.5. Warmwasseraufbereitung

3.5.1. Einleitung

Mit der Warmwasseraufbereitung wird Warmwasser erzeugt. Dieses Warmwasser wird zum Duschen, Baden und Waschen verwendet. Da die Komfortansprüche der Nutzer stetig wachsen, werden hohe Anforderungen an die Warmwasseraufbereitung gestellt. Zudem müssen die Hygieneanforderungen an das Warmwasser jederzeit erfüllt werden. Grundsätzlich wird verlangt, dass das Warmwasser jederzeit in ausreichender Menge und der notwendigen Temperatur bereitsteht. Dieses Warmwasser soll kostengünstig, hygienisch einwandfrei und energiesparend bei deren Aufbereitung sein.

3.5.2. Zentrale und dezentrale Versorgung

Die Versorgung der Entnahmestellen (Verbraucher) erfolgt dezentral oder zentral.

Dezentrale Versorgung

Die dezentrale Versorgung kann über die Einzel- oder Gruppenversorgung erfolgen.

Einzelversorgung

Bei der Einzelversorgung hat jede Entnahmestelle einen eigenen Wassererwärmer. Bei diesem System müssen praktisch keine Warmwasserleitungen installiert werden. Allerdings sind Investitionskosten durch die Anschaffung vieler Einzelgeräte hoch, wenn viele Entnahmestellen vorhanden sind. Wenn Heizwasser zur Energieversorgung dient, müssen Rohrleitungen zu den einzelnen Entnahmestellen verlegt werden. Durch die vielen Einzelgeräte sind die Wartungskosten hoch.

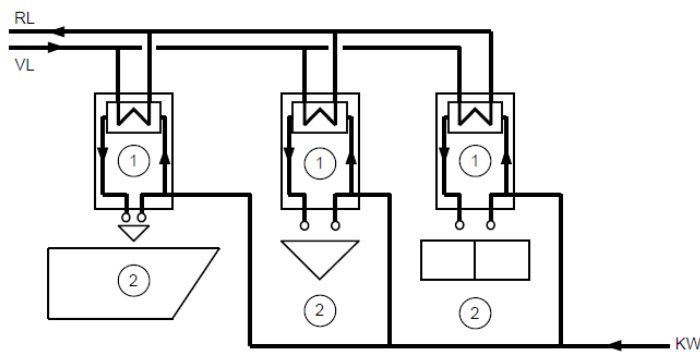


Fig. 3-82 Einzelversorgung mit Frischwasserstationen

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 Wassererwärmer (Frischwasserstation) | 2 Entnahmestelle (Verbraucher) |
| VL = Heizwasser Vorlauf | KW = Kaltwasser |
| RL = Heizwasser Rücklauf | |

Gruppenversorgung

Als Gruppenversorgung bezeichnet man das Versorgungssystem, wenn mehrere Entnahmestellen innerhalb einer Zone von einem Wassererwärmer versorgt werden. Als Zone können dabei z.B. eine Wohnung oder ein einzelnes Geschoss dienen. Die Investitionskosten und Wartungskosten für den Wassererwärmer sind geringer. Bei diesem System werden mehr Warmwasserleitungen als bei der Einzelversorgung benötigt. Im Falle der primären Energieversorgung durch Heizwasser ist allerdings das Heizwasserversorgungsnetz deutlich kleiner.

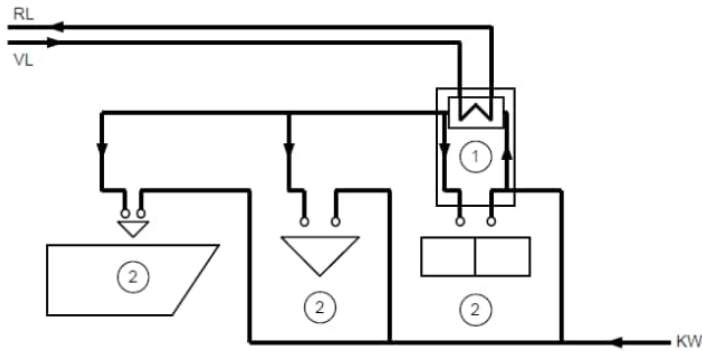


Fig. 3-83 Gruppenversorgung mit Frischwasserstation

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 Wassererwärmer (Frischwasserstation) | 2 Entnahmestelle (Verbraucher) |
| VL = Heizwasser Vorlauf | KW = Kaltwasser |
| RL = Heizwasser Rücklauf | |

Zentrale Versorgung

Bei der zentralen Versorgung werden sämtliche Entnahmestellen eines Gebäudes vom selben Wassererwärmer versorgt. Da nur ein Wassererwärmer benötigt wird, sind die Anschaffungs- und Wartungskosten deutlich geringer als bei der dezentralen Versorgung. Allerdings wird ein Warmwasserverteilnetz benötigt, das die Entnahmestellen mit Warmwasser versorgt. Um die Wärmeverluste zu mindern, muss das Warmwasserverteilnetz gedämmt werden. Damit an den Entnahmestellen jederzeit Warmwasser zur Verfügung steht, wird ein Warmhaltesystem (siehe Kapitel 3.5.4 Warmhaltesysteme) gefordert.

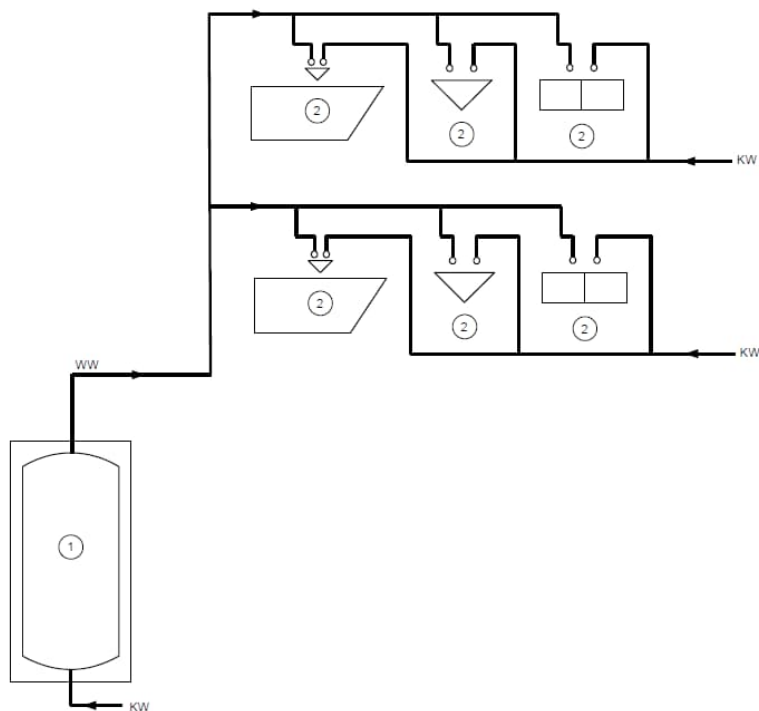


Fig. 3-84 Zentrale Versorgung mit Speicher

- | | |
|-----------------|--------------------------------|
| 1 Speicher | 2 Entnahmestelle (Verbraucher) |
| WW = Warmwasser | KW = Kaltwasser |

3.5.3. Wassererwärmer

Die Erwärmung des Warmwassers erfolgt über einen Speicher-Wassererwärmer oder einen Durchfluss-Wassererwärmer.

Speicher-Wassererwärmer

Beim Speicher-Wassererwärmer wird das Warmwasser bereits vor der Entnahme erwärmt und anschließend gespeichert. Speicher-Wassererwärmer können bei Bedarf große Volumenströme abdecken. Die mögliche Bezugsmenge ist allerdings vom Speichervolumen abhängig. Bei vollständigem Bezug des Speichervolumens steht Warmwasser erst wieder nach einer gewissen Zeit (Aufheizzeit) zur Verfügung. Das Speichervolumen kann dabei so ausgelegt werden, dass es den Tagesbedarf an Warmwasser abdeckt oder dass er eine gewisse Zeitdauer abdecken kann. Falls der Tagesbedarf gespeichert wird, geschieht die Erwärmung des Speichervolumens häufig in der Nacht bei reduziertem Heizbetrieb. Wenn das Speichervolumen auf eine bestimmte Zeitdauer ausgelegt wird, muss es dem Wärmeerzeuger jederzeit möglich sein, Wasser zu erwärmen. Durch die Speicherung von Warmwasser entsteht ein Wärmeverlust. Beim Speicher-Wassererwärmer entsteht durch die Lagerung von Warmwasser die Gefahr, dass sich Legionellen (Bakterien) bilden. Diese vermehren sich am schnellsten, wenn die Wassertemperatur zwischen 25 °C und 50 °C liegt. Bei Temperaturen über 60 °C sterben die Legionellen. Deshalb muss bei einem Speicher-Wassererwärmer beachtet werden, dass bestenfalls jederzeit Warmwasser von 60 °C vorhanden ist oder das gesamte Speichervolumen periodisch auf 60 °C erwärmt wird. Bei Speicher-Wassererwärmer unterscheidet man je nach Platzierung des Wärmetauschers zwischen dem Speicherwassererwärmer mit internem Wärmetauscher oder dem Warmwasserspeicher mit externem Wärmetauscher.

Speicherwassererwärmer mit internem Wärmetauscher

Beim Speicherwassererwärmer wird das Warmwasser über eingebaute Heizflächen (Wärmetauscher) erwärmt. Das Warmwasser wird anschließend im Speicherwassererwärmer gespeichert. Beim Speicherwassererwärmer mit internem Wärmetauscher steht nicht das gesamte Volumen als Speichervolumen für Warmwasser zur Verfügung. Der Wärmetauscher befindet sich im unteren Teil des Speichers. Unterhalb der Heizflächen befindet sich das Kaltvolumen und innerhalb des Wärmetauschers das Mischvolumen. Als Speichervolumen dient folglich nur noch das Volumen oberhalb des Heizregisters.

Warmwasserspeicher mit externem Wärmetauscher

Bei einem Warmwasserspeicher wird das Warmwasser mit einem externen Wärmetauscher erwärmt. Im Warmwasserspeicher wird das Warmwasser dann gespeichert. Im Gegensatz zum Speicherwassererwärmer mit internem Wärmetauscher kann im Warmwasserspeicher das gesamte Volumen als Speichervolumen genutzt werden. Allerdings braucht dieses System aufgrund des externen Wärmetauschers mehr Platz. Ebenfalls sind die Anschaffungskosten aufgrund der externen Ladestation höher.

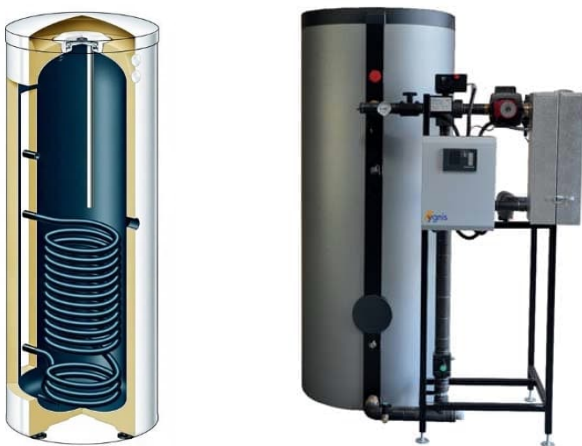


Fig. 3-85 Speicherwassererwärmer mit internem Register (links) (Quelle: Viessmann), Warmwasserspeicher mit externem Wärmetauscher (rechts) (Quelle: Ygnis)

Durchfluss-Wassererwärmer

Beim Durchfluss-Wassererwärmer wird das Warmwasser direkt während der Entnahme erwärmt. Das Wasser wird beim Durchfließen des Wassererwärmers erwärmt. Die Temperatur des Warmwassers hängt vom Volumenstrom und der Wärmeleistung des Wassererwärmers ab. Wenn zum Beispiel viel Warmwasser, bei beschränkter Wärmeleistung, bezogen wird, dann ist die Warmwassertemperatur tiefer. Folglich benötigen Durchfluss-Wassererwärmer entsprechend hohe Wärmeleistungen. Da das Warmwasser nicht gespeichert, sondern das Wasser direkt erwärmt wird, wird die Gefahr der Kontamination durch Legionellen minimiert. Weiter hat man keine Wärmeverluste durch die Speicherung von Warmwasser. Beim Durchfluss-Wassererwärmer ist keine Zirkulation (siehe Kapitel 3.5.4 Warmhaltesysteme) möglich. Deshalb kann es je nach Leitungslänge zwischen Entnahmestelle und Durchfluss-Wassererwärmer lange dauern, bis Warmwasser zur Verfügung steht. Die am häufigsten verwendeten Bauarten von Durchfluss-Wassererwärmern sind der Gasdurchlauferhitzer oder die Frischwasserstation, welche direkt durch den Wärmeerzeuger oder indirekt durch einen Heisspeicher beheizt wird.

Gasdurchlauferhitzer

Beim Gasdurchlauferhitzer zirkuliert Wasser durch einen Wärmetauscher und wird dabei erwärmt. Die Wärmeenergie dazu wird durch die Verbrennung von Gas zur Verfügung gestellt. Sehr oft wird dabei ein atmosphärischer Gasbrenner (Funktion siehe Kapitel 0) verwendet. Durch die Gasmenge wird dabei die Wärmeleistung reguliert. Es muss beachtet werden, dass ein Gasdurchlauferhitzer ein Abgasrohr benötigt.



Fig. 3-86 Gasdurchlauferhitzer (Quelle: Ecotemp)

Frischwasserstation, direkt beheizt von Wärmeerzeuger

Frischwasserstationen sind eigentlich Wärmetauscher. Dabei wird Wärmeleistung von einem primären Heizwasserkreislauf an den sekundären Warmwasserkreislauf übertragen. Zur Regulierung wird der primäre Heizwasservolumenstrom auf den momentanen Warmwasserbezug abgestimmt.

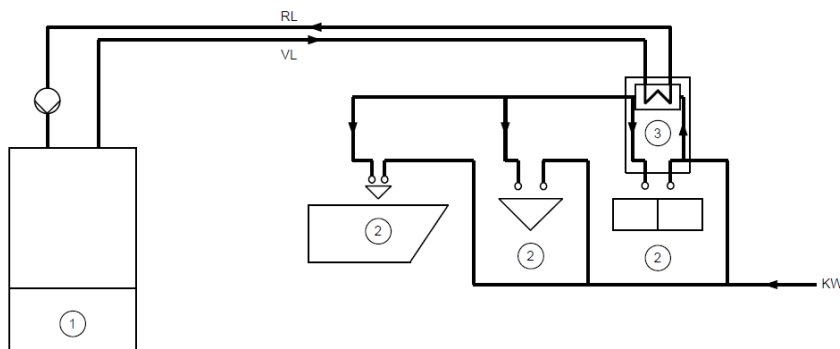


Fig. 3-87 Schema: Frischwasserstation für Gruppenversorgung, Versorgung direkt vom Wärmeerzeuger

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1 Heizkessel | 2 Entnahmestelle (Verbraucher) |
| 3 Frischwasserstation | |
| VL = Heizwasser Vorlauf | KW = Kaltwasser |
| RL = Heizwasser Rücklauf | |

Die Erwärmung des Heizungswassers erfolgt dabei direkt durch einen Wärmeerzeuger. Der Wärmeerzeuger muss dementsprechend relativ groß ausgelegt werden, damit er den gleichzeitig auftretenden Warmwasserbezug decken kann.

Frischwasserstation, indirekt beheizt von Heizspeicher

Das Prinzip der Wassererwärmung ist gleich wie bei der direkt vom Wärmeerzeuger beheizten Frischwasserstation. Der Unterschied liegt bei der primären Energieversorgung der Frischwasserstation. Bei der indirekt beheizten Frischwasserstation wird die Frischwasserstation von einem Heizspeicher versorgt. Der Heizspeicher verfügt dabei über eine gespeicherte Wärmeenergie, welche bei kurzfristig großem Warmwasserbezug genutzt werden kann. Somit kann der Wärmeerzeuger deutlich kleiner dimensioniert werden. Der Wärmeerzeuger hält den Heizspeicher mit einer Grundwärmeleistung auf Temperatur.

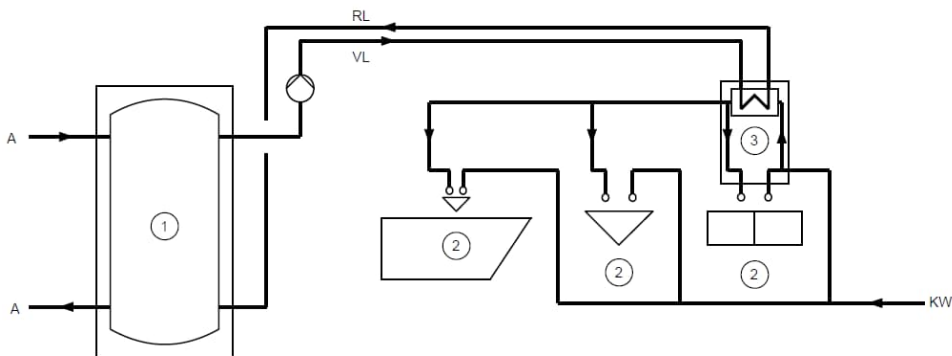


Fig. 3-88 Schema: Frischwasserstation für Gruppenversorgung, Versorgung indirekt vom Heizspeicher

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1 Heizungsspeicher | 2 Entnahmestelle (Verbraucher) |
| 3 Frischwasserstation | |
| VL = Heizwasser Vorlauf | KW = Kaltwasser |
| RL = Heizwasser Rücklauf | |
| A-A Kreislauf Wärmeerzeugung | |

3.5.4. Warmhaltesysteme

Damit an der Entnahmestelle immer Warmwasser zur Verfügung steht, müssen die Wärmeverluste der Verteilleitungen kompensiert werden. Diese Deckung der Wärmeverluste können durch Warmhaltebänder oder Zirkulationssysteme gedeckt werden.

Warmhalteband

Das Warmhalteband wird direkt an der Rohrleitung befestigt. Die abgegebene Wärmeleistung des Bandes passt sich jeweils örtlichen Bedingungen an. Ebenso arbeitet das Warmhalteband selbstregulierend. Ein Vorteil ist, dass Warmhaltebänder wenig Platz benötigen und die Temperaturschichtung im Speicher nicht stören. Nachteilig ist, dass sie elektrische Energie benötigen.



Fig. 3-89 Warmhalteband an Rohrleitung (Quelle: Ais)

Zirkulationssysteme

Bei Zirkulationssystemen werden die Wärmeverluste durch Wassererwärmer kompensiert. Dafür muss der Wassererwärmer größer ausgelegt werden. Eine optimale Dämmung der Rohrleitung ist sehr wichtig, damit die Wärmeverluste gering ausfallen. Die größte Problematik bei Zirkulationssystemen liegt bei der Zirkulationseinführung. Wird die Zirkulation in den Speicher zurückgeführt, macht sie allenfalls durch Temperaturschwankungen die Schichtung im Speicher kaputt.

Konventionelle Zirkulation

Die Zirkulationsleitung wird separat bis zum entsprechenden Übergabepunkt, an welchen die Zirkulation noch gewährleistet sein muss, geführt.

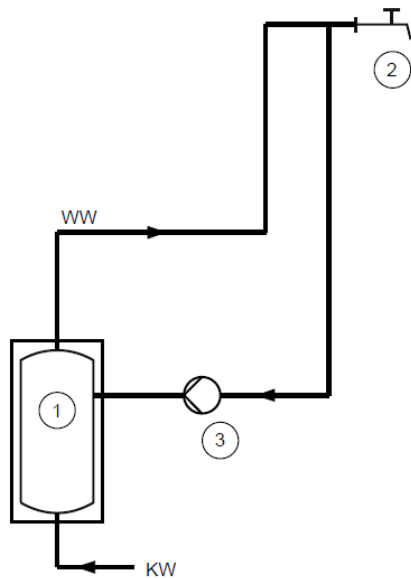


Fig. 3-90 Prinzip konventionelle Zirkulation

1 Warmwasserspeicher
3 Zirkulationspumpe
WW = Warmwasser

2 Entnahmestelle (Verbraucher)
KW = Kaltwasser

Rohr-an-Rohr Zirkulation (RaR)

Die Zirkulationsleitung wird direkt an die Warmwasserleitung befestigt und beide Leitungen werden zusammen gedämmt.

Rohr-in-Rohr Zirkulation (RiR)

Die Zirkulationsleitung wird in der Warmwasserleitung geführt. Die Warmwasserleitung ist dementsprechend grösser auszulegen.

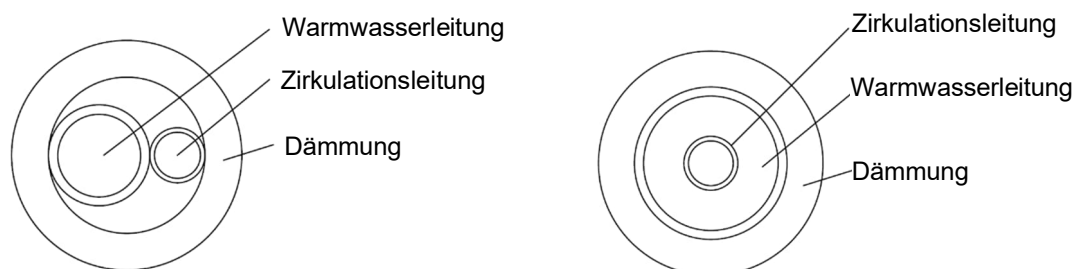


Fig. 3-91 Schnittbild : Rohrleitung Rohr-an-Rohr Zirkulation (links) Rohrleitung Rohr-in-Rohr Zirkulation (rechts)

4 Kälteanlagen

4.1. Einleitung



Fig. 4-1 Kaltwasser-Kältemaschinen-Anlage mit ölfreien Turbocor®-Verdichtern (Quelle: engie-refrigeration)

Naturgemäß muss sich der Mensch seit Urzeiten mit dem Thema Kühlung beschäftigen und wir kennen auch die unterschiedlichsten Möglichkeiten der Kühlung.

In mit nassen Tüchern umwickelten Tonbehältern oder in Feldflaschen wurde die Flüssigkeit (z.B. Wein) im Behälter gekühlt (Wärmeentzug durch Verdunstung von Wasser).

Eis zum Kühlhalten von Lebensmitteln wurde beispielsweise schon von den Römern genutzt. Sie transportierten Eisblöcke von Gletschern in die Städte und lagerten sie dort in mit Stroh isolierten unterirdischen Räumlichkeiten ein. Im 19. Jahrhundert begann dann die kommerzielle Nutzung von Natureis (z.B. aus gefrorenen Seen). Dieses wurde durch den „Eismann“ in den warmen Jahreszeiten an die wohlhabende Bevölkerung verkauft.

Auch Brauereien nutzten Eis für Kühlprozesse bei der Herstellung, der Auslieferung und Lagerung des Biers.

Die uns bekannten anfänglichen Überlegungen zum Thema Kältetechnik stammen aus dem Jahr 1835, als Jacob Perkins, ein amerikanischer Erfinder und Maschineningenieur, der 1818 nach England übersiedelte, in einer britischen Patentschrift eine Kaltdampfmaschine mit geschlossenem Kreislauf und Äthyläther als Arbeitsmedium beschrieben hatte (Patentschrift Nr. 6662 „Apparatus and means for producing ice, and in cooling fluids.“, bewilligt und besiegelt 14. August 1835).



JACOB PERKINS.

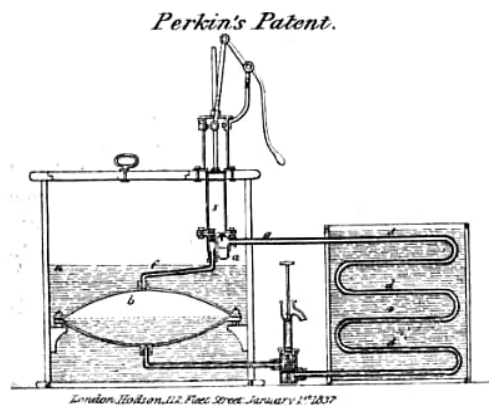


Fig. 4-2 Jacob Perkins und Kaltdampfmaschine aus der Patentschrift

Etwa 40 Jahre später (1876) verwendet Carl von Linde, ein deutscher Ingenieur und Erfinder erstmals Ammoniak als Kältemittel bei einer Kaltdampfmaschine mit Kolbenverdichter. Diese Maschine kam zuerst hauptsächlich bei Brauereien zum Einsatz, da sich damit die Gärung bei konstanten Temperaturen ohne Abhängigkeit von Natureis durchführen liess. Carl von Linde gilt als Pionier der Kälte- und Tieftemperaturtechnik.

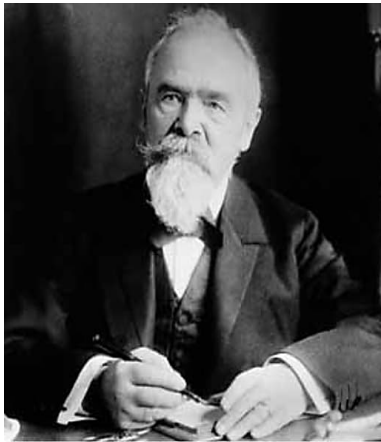


Fig. 4-3 Carl von Linde und eine seiner ersten Kältemaschinen (Quelle: Linde Group)

Der uns wahrscheinlich bekannteste Kühlapparat ist der Kühlschrank. Im Jahr 1913 wurde einer der ersten elektrischen Kühlschränke vom amerikanischen Ingenieur Fred W. Wolf Jr. entwickelt. Dieser Kühlschrank hieß „DOMELRE“ (eine Abkürzung der englischen Bezeichnung „Domestic Electric Refrigerator“) und ging ab 1914 in Chicago in Produktion. Er war für die damalige Zeit ein sehr erfolgreiches Produkt. Weltweit gab es danach ähnliche Produktentwicklungen und ab 1933 stellte u.a. das Unternehmen „Bosch“ Kühlschränke für den deutschen Markt her.

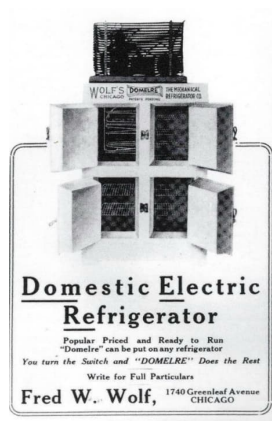


Fig. 4-4 Erster Kühlschrank „DOMELRE“ von Fred. W. Wolf Jr., 1914, Chicago (Quelle: Wikipedia)

Kühlschränke in Deutschland ca. 1935 (Quelle: Bosch)

Ursprünglich entstand die Forderung nach Kälte aus dem Bereich der Lebensmittelversorgung, um dort Nahrungsmittel zu kühlen.

Später wurde der Bedarf wesentlich größer und man unterteilte die Bereiche in:

- Großkälte (industrielle Kälte)
- Kleinkälte (kommerzielle, gewerbliche Kälte)
- Kühlschränke und Truhen (Haushaltskälte)

Heute benötigen viele Lebensmittel Kälte, damit sie über eine gewisse Zeitdauer frisch bleiben und so unsere Grundversorgung sichergestellt ist. Ohne eine Vielzahl von Kühleinrichtungen wäre die Art der Lebensmittelversorgung wie wir sie täglich nutzen unmöglich.

Zunehmend gewann auch die Klimatechnik Bedeutung. So benötigte man neben der Heizenergie im Winter im Sommer Kälteenergie für die Kühlung und Entfeuchtung der Luft, um für ein angenehmes Raumklima und somit ein höheres Wohlbefinden in geschlossenen Räumen zu sorgen.

Die Kühlung kann dabei über Free-Cooling (freie Kühlung), Oberflächenwasser oder technisch hergestellte Kälte (Kältemaschine) erfolgen:

Kühlung mit Free-Cooling (freie Kühlung)

Mit Free-Cooling meint man die Nutzung der Außenluft zum Kühlen. Free-Cooling wird dann eingesetzt, wenn die Temperatur der Außenluft um eine bestimmte Temperaturdifferenz tiefer ist als die maximale Raumtemperatur. Free-Cooling kann deshalb vor allem in der Übergangszeit bei Gebäuden mit hohen Abwärmelasten (z.B. Rechenzentrum, Einkaufscenter) genutzt werden. Wenn zum Beispiel bei Einkaufscentren die Raumtemperatur bis zu 26 °C betragen darf, kann bis zu einer Außentemperatur von beispielsweise 20 °C Free-Cooling genutzt werden. Bei Rechenzentren kann je nach Dimensionierung sogar ausschließlich mit Free-Cooling gekühlt werden.

Kühlung mit Oberflächenwasser

Als Oberflächenwasser bezeichnet man z.B. Grund-, Fluss- oder Seewasser. Die Temperatur von Oberflächenwasser bewegt sich im Bereich von 8 bis 18 °C und steht in genügender Menge zur Verfügung. Im Bereich der Klimatechnik wird es vor allem im Zusammenhang mit statischen Kühlflächen oder dem thermisch aktivierten Bauteilsystem (TABS) verwendet. Dazu wird dieses Oberflächenwasser gefasst und über einen Wärmeübertrager geführt. Dieser überträgt die Kühlenergie an einen zweiten Kreislauf, der anschließend zu den jeweiligen Räumen führt und dort die Kühlflächen versorgt.

Technische Kühlung mit Kältemaschine

Wenn beispielsweise kein Oberflächenwasser vorhanden ist oder nicht genutzt werden darf, kann Kälte resp. kaltes Wasser auch technisch durch eine Kältemaschine bereitgestellt werden. Ebenso wenn die Temperatur vom Oberflächenwasser nicht genügend tief ist, kann eine solche Maschine verwendet werden. Die Kältemaschine lässt sich mit dem uns bekannten Kühlschrank vergleichen.

4.2. Kühlung mit Free-Cooling (freie Kühlung)

Beim Free-Cooling wird ein entsprechendes Medium in einem geschlossenen System durch einen Wärmeübertrager (meistens Rückkühler) geführt. Durch diesen Wärmeübertrager strömt mittels Ventilator auch die kühlere Außenluft. Dabei findet der Wärmeübertrag statt, der das Medium im Kreislauf abkühlen lässt. Dieses Medium fließt anschließend zurück in den Raum und gibt die Kälte dort wieder über einen Wärmeübertrager (Luftkühler) ab, bevor der wärmere Rücklauf wieder zurückfließt. Das Medium ist größtenteils ein Wasser/Glykol-Gemisch, damit das Medium bei tiefen Außentemperaturen nicht einfriert.

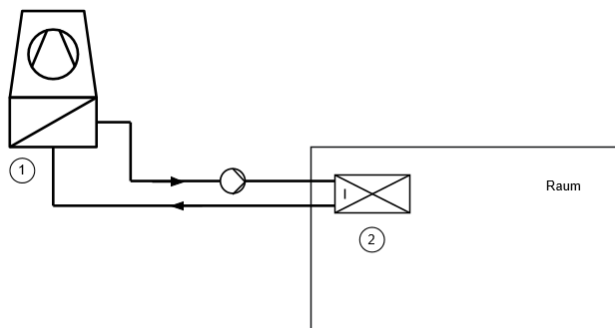


Fig. 4-5 Funktionsweise Kühlung mit Free-Cooling

1 Rückkühler

2 Luftkühler

4.3. Kühlung mit Oberflächenwasser

Wie bereits erwähnt bewegt sich je nach Art des Oberflächenwassers dessen Temperatur zwischen 8 bis 18 °C. Diese Temperaturen genügen bereits, um einen Raum oder Luft, die wärmer als 20 °C ist, zu kühlen.

Nasskühlung der Zuluft

Oberflächenwasser wird gefasst und über den Wärmeübertrager (1) wird die Kälte an das Sekundärmedium übertragen. Dadurch wird das wärmere Rücklaufwasser oder das neue Frischwasser abgekühlt. Dieses kühlere Wasser wird anschließend im Lüftungsgerät in einer Kammer (2) versprüht und verdunstet. Die Wärme, die das Wasser zum Verdunsten benötigt, wird der Luft entnommen. Dadurch kühlt sich die Luft ab. Über den Auslass gelangt die Luft schließlich in den Raum.

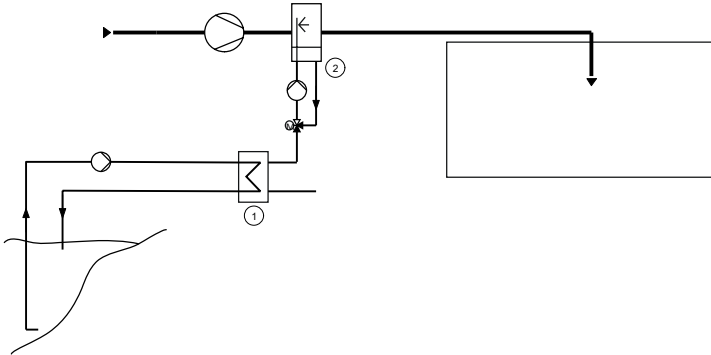


Fig. 4-6 Funktionsweise Nasskühlung der Zuluft

1 Wärmeübertrager

2 Verdunstungskühler

In Kürze:

- Wasser verdunstet
- Luft kühlt ab und nimmt Feuchtigkeit auf
- Verdunstete Wassermenge muss durch Frischwasser ersetzt werden

Trockenkühlung der Zuluft

Oberflächenwasser wird wiederum gefasst und über den Wärmeübertrager (1) wird die Kälte an das Sekundärmedium übertragen. Im Wärmeübertrager wird das wärmere Rücklaufwasser abgekühlt. Das kühlere Vorlaufwasser zirkuliert dann über einen Wärmetauscher (Luftkühler) im Lüftungsgerät (2). Dort kühlt sich die Luft anschließend ab. Über den Auslass (3) gelangt die Luft in den Raum.

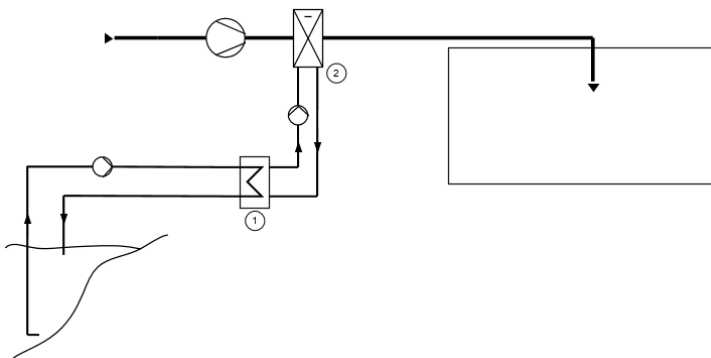


Fig. 4-7 Funktionsweise Trockenkühlung der Zuluft

1 Wärmeübertrager

2 Luftkühler

In Kürze:

- Luft kühlt ab
- Wasser wird wärmer zum Wärmeübertrager zurückgeführt
- Geschlossenes System

Statische Kühlung durch Kühlflächen

Oberflächenwasser wird wieder gefasst. Über den Wärmeübertrager (1) wird die Kälte an das Sekundärmedium übertragen. Dort wird das wärmere Rücklaufwasser abgekühlt. Das kühlere Vorlaufwasser wird dann über die Kühlflächen (2) in den Räumen geführt. In den Räumen wird die Kälte durch Strahlung und Konvektion an die Umgebung übertragen.

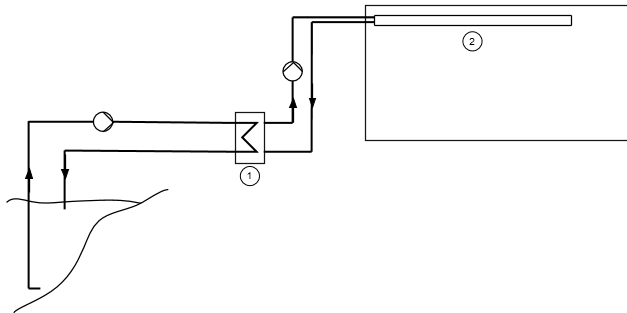


Fig. 4-8 Funktionsweise Kühlung durch Kühlflächen

1 Wärmeübertrager

2 Kühlfläche im Raum

In Kürze:

- Wasser gibt Kälte über Kühlflächen ab
- Wasser wird wärmer zum Wärmeübertrager zurückgeführt
- Geschlossenes System

Vorteile von Kühlung mit Oberflächenwasser

- Einfacher Anlagenaufbau
- Sofern verfügbar: Energiequelle Wasser in beliebiger Menge vorhanden und gratis
- Keine Zusatzenergie nötig (außer für Pumpen und Regeleinrichtungen)

Nachteile von Kühlung mit Oberflächenwasser

- Energiequelle Wasser ist nicht überall vorhanden
- Schwankende Wassertemperaturen
- Entnahme von Oberflächenwasser benötigt behördliche Genehmigung
- Je nach Standort aufwändige und teure Erschließung
- Es kann nur bedingt gekühlt werden damit; keine Möglichkeit für tiefe Temperaturen oder gar etwas zu frieren mit Wasser ($< 0\text{ °C}$)

Sind die Temperaturen vom Oberflächenwasser nicht ausreichend, ist kein Oberflächenwasser vorhanden, darf das Oberflächenwasser nicht genutzt werden oder ist das Fassen von Oberflächenwasser aus ökonomischen und energetischen Gründen nicht empfehlenswert, kommt eine Kältemaschine zum Einsatz. Diese wird genutzt, um zu kühlen oder kaltes Wasser für Kühlzwecke in der Gebäudetechnik bereitzustellen.

4.4. Kompressions-Kältemaschine

4.4.1. Aufgabe des Kreisprozesses am Beispiel Kühlschrank

Die Aufgabe des Kühlschranks besteht darin, die dort gelagerten Lebensmittel kühl zu halten, um deren Verbrauchszeitraum zu verlängern. Der Kühlschrank ist also ein Bereich, der gekühlt werden muss. Diese Aufgabe übernimmt die Kältemaschine. Im Fall des handelsüblichen Kühlschranks wird dabei eine Kompressions-Kältemaschine eingesetzt.

Die Kühlung der Lebensmittel erfolgt, in dem Kältemittel mit einer tiefen Temperatur und niedrigem Druck im zu kühlenden Bereich des Kühlschranks durch Leitungen zirkuliert. Auf Grund der Temperaturdifferenz zu den eingelagerten Lebensmitteln findet ein Wärmefluss an das Kältemittel statt, welches durch diese Wärmezufuhr verdampft. Dieser Kältemitteldampf wird vom Verdichter angesaugt, komprimiert und dadurch nicht nur auf einen höheren Druck, sondern auch auf eine höhere Temperatur gebracht. Nun kann das Kältemittel die zuvor aufgenommene Wärme wieder abgeben – im Normalfall über einen Wärmetauscher an die Raumluft. Um den Kreislauf zu schließen, muss nun das Kältemittel wieder auf die kühle Temperatur und einen zugehörigen niedrigeren Druck gebracht werden. Dies geschieht mit Hilfe eines Drosselorgans oder eines Expansionsventils. Der Verdichter treibt diesen Prozess an, in dem er kontinuierlich Kältemittel fördert.

Dieser kontinuierliche Prozess basiert auf diversen physikalischen Gesetzen. Deshalb werden die maßgebenden Zusammenhänge noch einmal erwähnt.

4.4.2. Physikalische Zusammenhänge

Erster Hauptsatz

Der erste Hauptsatz sagt aus, dass in einem abgeschlossenen System die Summe aller Energien konstant bzw. gleich bleibt. In Bezug auf die Kältemaschine bedeutet das, dass im Kreislauf der Kältemaschine weder Wärmeenergie erzeugt noch welche vernichtet werden kann. Einzig die Umwandlung der verschiedenen Energieformen ist möglich.

Zweiter Hauptsatz

Aus dem zweiten Hauptsatz folgt, dass Wärmeenergie ohne externe Einflüsse nur von einem wärmeren Körper auf einen kälteren Körper übertragen werden kann. Der entgegengesetzte Weg, d. h. die Wärmeübertragung von einem kälteren Körper auf einen wärmeren Körper, ist nur unter Aufwand von mechanischer Arbeit möglich.

Aggregatzustandsänderung

Stoffe können in den drei Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig vorkommen. Die möglichen Aggregatzustandsänderungen und deren Bezeichnung werden in der folgenden Graphik ersichtlich.

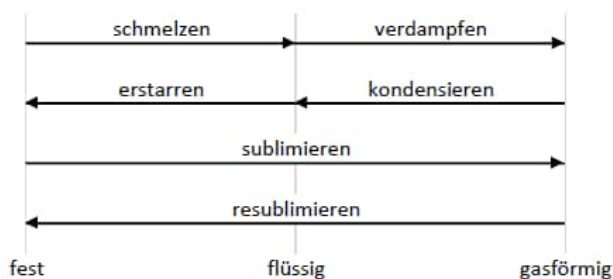


Fig. 4-9 Aggregatzustands-Änderungen und deren Bezeichnungen

Als Basis für den Kreisprozess in der Kältemaschine dient vor allem die Tatsache, dass Energie benötigt wird, um den Aggregatzustand zu ändern. Während dem Vorgang der Zustandsänderung bleibt die Temperatur des Stoffes konstant. Diese Eigenschaft mit Wasser als Stoff sieht man im nachfolgenden Temperatur-Enthalpie-Diagramm. Die Temperaturen sowie Enthalpiewerte beziehen sich dabei auf 1 kg Wasser bei Normbedingungen (atmosphärischer Luftdruck = 1013 mbar; vergleiche Beschreibung unter 2.3.1, Aggregatzustände des Wassers).

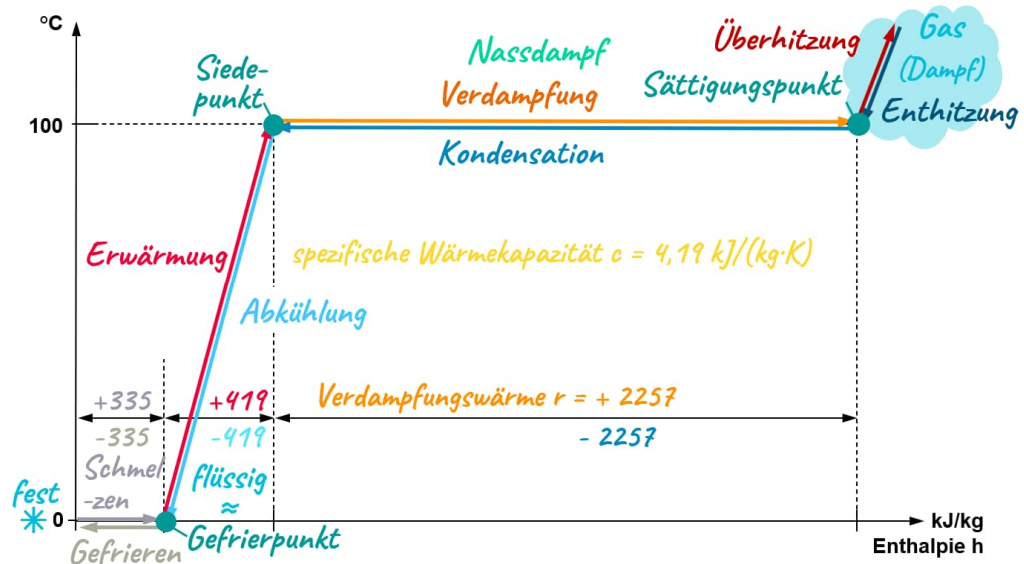


Fig. 4-10 Aggregatzustands-Änderungen von Wasser mit den entsprechenden Temperaturen und Enthalpiewerten bei Normbedingungen

Dieses Temperatur-Enthalpie-Diagramm zeigt, dass während den Vorgängen bei denen der Aggregatzustand geändert wird, am meisten Energie benötigt/freigesetzt wird. Diese Enthalpie-Änderungen stellen gleichzeitig Speicherung von Wärmeenergie dar. Dieses physikalische Gesetz wird in der Kältemaschine genutzt.

Siedepunkt oder Verdampfungstemperatur

Als Siedepunkt bzw. Verdampfungstemperatur wird die Temperatur bezeichnet, bei welcher der jeweilige Stoff verdampft, d.h. den Zustand von flüssig nach gasförmig zu wechseln beginnt. Diese Temperatur ist abhängig vom Umgebungsdruck des Stoffes. Am Beispiel von Wasser liegt die Verdampfungstemperatur bei Umgebungsdruck (1013 mbar) bei 100 °C. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Verdampfungstemperatur vom Umgebungsdruck am Beispiel des Stoffes Wasser:

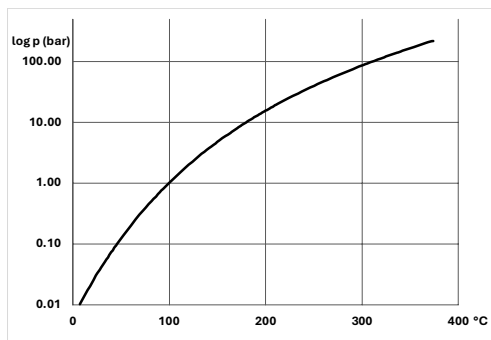


Fig. 4-11 Verdampfungstemperatur in Abhängigkeit von Umgebungsdruck

Das Diagramm zeigt, dass eine hohe Siedetemperatur einen hohen Druck und eine tiefe Siedetemperatur einen niedrigen Druck voraussetzt. Wie bereits erwähnt, macht sich eine Kältemaschine die Tatsache zunutze, dass eine Aggregatzustandsänderung viel Energie benötigt bzw. freisetzt. Diese Energie wird beim Beispiel des Kühlschranks dem Kühlraum entzogen. Im Kühlschrankraum herrschen Temperaturen von ca. + 5 °C. Aus dem vorherigen Diagramm kann man entnehmen, dass dazu im Wasser ein Umgebungsdruck von nur 0,01 bar (ca. 1 bar unter dem atmosphärischen Luftdruck) nötig wäre. Dieser Unterdruck (Vakuum) ist technisch sehr schwierig zu erzeugen und aufrechtzuerhalten. Als Folge ist Wasser als Wärmeträger für den Kreislauf in der Kältemaschine ungeeignet.

Es braucht ein Medium, das bereits bei tieferen Temperaturen verdampft. Kältemittel verfügen über diese Eigenschaft.

4.4.3. Kältemittel

Als Kältemittel bezeichnet man das in einer Kältemaschine umlaufende Arbeitsmedium. Zur Erläuterung der Grundlagen des Kälteprozesses war bisher ausschließlich von Wasser die Rede, und tatsächlich besitzt Wasser viele der Eigenschaften, die von einem Kältemittel verlangt werden. Wasser ist billig, reichlich vorhanden, ungiftig, nicht brennbar und besitzt eine große Verdampfungs- bzw. Verflüssigungswärme.

Bei einer Kompressions-Kältemaschine ist Wasser als Kältemittel nicht geeignet, da wie bereits erwähnt die Drücke und Temperaturen, bei denen die Aggregatzustandsänderungen erfolgen sollen, sehr ungünstig liegen. Vielmehr werden bei diesem Prozess Kältemittel verwendet, die „leichtflüchtig“ sind, d.h. Substanzen, die bei relativ niedrigen Temperaturen und technisch gut handhabbaren Drücken verdampfen.

Anforderungen an das Kältemittel

Grundsätzlich kann jeder Stoff als Kältemittel verwendet werden, welcher sich bei technisch erreichbaren Drücken und bei den gewünschten Temperaturen verdampfen und verflüssigen lässt. Ein Kältemittel soll also bei atmosphärischem Druck einen möglichst tiefliegenden Siedepunkt und ein kleines Dampfvolumen haben. Er darf auch nicht die Bauteile und Schmierstoffe der Kältemaschine angreifen und soll möglichst nicht giftig, nicht brennbar und nicht explosiv sein.

Arten von Kältemittel

Fluorchlorkohlenwasserstoff FCKW:

Jahrzehntelang wurden Fluorchlorkohlenwasserstoff-Verbindungen, kurz FCKW, als Kältemittel eingesetzt. FCKW-Verbindungen führen zu Umweltschäden, weil sie die Ozonschicht abbauen und den Treibhauseffekt verstärken. Deshalb und wegen ihrer langen Verweildauer in der Atmosphäre sind sie besonders schädlich. Deshalb wurden sie schrittweise verboten und sind seit Mitte der 1990er-Jahre weltweit nicht mehr erhältlich. Sie wurden durch H-FCKW- und H-FKW-Kältemittel ersetzt.

Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoff H-FCKW:

H-FCKW sind teilhalogenierte Verbindungen mit wesentlich kürzerer atmosphärischer Verweilzeit. Das Ozonabbau-Potential von H-FCKWs liegt nur noch bei Bruchteilen dessen von FCKW. Sie sind aber immer noch klimaschädigend und werden unterdessen ebenfalls nach und nach verboten: So ist der Neueinsatz in der EU seit 2010 untersagt. Ab 2040 sollen sie weltweit verboten sein (Abkommen von Montreal).

Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoff H-FKW:

Die H-FKW-Verbindungen sind chlorfrei. Sie bauen die Ozonschicht nicht ab, verfügen aber ebenfalls über einen zum Teil beträchtlichen Treibhauseffekt. Die „F-Gase-Verordnung“ schränkt deren Gebrauch kontinuierlich ein und fordert den Ersatz dieser Kältemittel durch natürliche und HFO-Kältemittel mit niedrigem bis keinem Treibhauseffekt (GWP, Global Warming Potential).

Dazu gehören folgende Kältemittel:

- R-134a
- R-152a
- R-32
- R-125
- R-23
- R-404A
- R-407C

Als Alternative werden vermehrt Stoffe als Kältemittel eingesetzt, die so auch in der Natur vorkommen und daher als umweltneutral gelten resp. ein geringes Erderwärmungspotential (GWP) haben. Dazu gehören:

- R-717 (Ammoniak NH_3) (GWP 0)
- R-290 (Propan C_3H_8) (GWP 3)
- R-600a (Isobutan C_4H_{10}) (GWP 3)
- R-744 (Kohlendioxid CO_2) (GWP 1; Bezugsgröße für GWP)
- R-1234ze und R1234yf (HFO-Kältemittel, GWP <1)

Die Wahl des Kältemittels hängt vom Anwendungsbereich der Kältemaschine ab.

4.4.4. Kreisprozess am Beispiel Kühlschrank

Im Funktionsschema Kältekreislauf ist zu erkennen, dass ein geschlossenes Rohrsystem den Kältekreislauf darstellt. Dieses Rohrsystem wird vom Kältemittel durchströmt. Das Kältemittel übernimmt dabei den Transport der Wärme im Kältekreislauf.

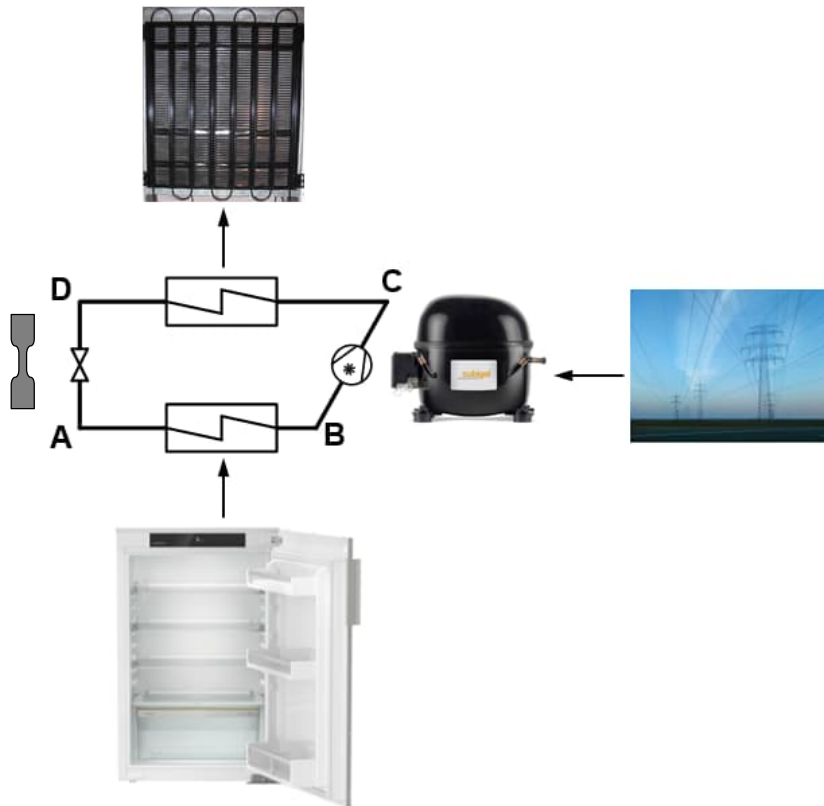


Fig. 4-12 Kreisprozess Kühlschrank (Quellen: Siemens, Wikipedia)

A → B: Verdampfung

Ein Kältemittel besitzt die Eigenschaft, dass es bereits bei tiefen Temperaturen unter einem bestimmten Druck verdampft. Beim Beispiel Kühlschrank, wo eine Temperatur von ungefähr + 5 °C angestrebt wird, verdampft das Kältemittel bereits bei der genannten Temperatur. Bei der Verdampfung wechselt im Wärmetauscher der Aggregatzustand von flüssig nach gasförmig. Für diese Zustandsänderung wird Energie benötigt, welche sich der Verdampfer-Wärmetauscher aus der Umgebung holt. Im Beispiel Kühlschrank ist die Umgebung der eigentliche Kühlraum. Und wenn diesem Kühlraum Energie entzogen wird, kühlt sich dieser, resp. die darin gelagerten Güter, ab.

B → C: Verdichtung

Das nun gasförmige Kältemittel wird durch einen Kompressor verdichtet. Dadurch steigen der Druck und die Temperatur des Kältemittels an. Die Temperatur erhöht sich auch, weil die Motorenabwärme vom Verdichter an das Kältemittel übertragen wird. Somit erhöht sich der Wärmeinhalt des Kältemittels zusätzlich. Für den Verdichtungs-Vorgang wird elektrische Energie benötigt.

C → D: Kondensation

Das Kältemittel zirkuliert nun wieder durch einen Wärmetauscher. Beim Kühlschrank ist dieser Wärmetauscher in Form eines Registers meist auf der Rückseite des Kühlschranks zu finden. Das heiße, dampfförmige Kältemittel wird dabei durch die kältere Umgebungsluft wieder abgekühlt. Durch diese Abkühlung kondensiert das dampfförmige Kältemittel im Wärmetauscher und wird wieder flüssig.

Dadurch werden die gesamte Verdampfungsenergie, sowie die Energie der Motorenabwärme wieder abgeben. Nach erfolgter Kondensation ist das Kältemittel nach wie vor auf einem hohen Druck.

D → A: Expansion

In diesem Prozessschritt wird der vorhandene hohe Druck rasch abgebaut, um wieder den Ausgangsdruck zu erreichen. Im Kühlschrank wird dieser Druckabbau durch eine starke Querschnittsreduktion der Kältemittel-Leitung (Reduktion auf Kapillarrohr) erreicht. In größeren Anlagen wird dafür ein „Expansionsventil“ eingebaut. Dieser Druckabbau benötigt Energie, welche dem immer noch warmen Kältemittel entnommen wird. Dadurch sinkt die Temperatur des Kältemittels ebenfalls wieder auf die ursprüngliche Temperatur ab.

4.4.5. Bauelemente in einer Kältemaschine

Eine Kältemaschine besteht im Wesentlichen aus vier Elementen:
Verdampfer – Verdichter – Verflüssiger - Expansion

Verdampfer

Der Verdampfer ist ein Wärmetauscher. Durch den Wärmetauscher zirkuliert das Kältemittel. Außerhalb des Wärmetauschers befindet sich der entsprechende zu kühlende Stoff. Durch den Wärmeübertrager wird der Umgebung Energie entzogen, welche das Kältemittel verdampfen lässt. Am Beispiel Kühlschrank ist der Verdampfer nicht direkt sichtbar, da sich der Wärmeübertrager in Form von kleinen Röhrchen in der Kühlschrankwand befindet. In einer industriellen Kühlzelle findet man den Verdampfer häufig mit einem Ventilator, der die Umgebungsluft durch den Wärmeüberträger zirkulieren lässt. Wird Wasser gekühlt, kommen Rohrbündel- oder Platten-Wärmeübertrager zum Einsatz.



Fig. 4-13 Verdampfer in Kühlzelle (Quelle: Frimondo) Rohrbündel- oder Plattenwärmetauscher (Quellen: Ciat, GEA)

Verdichter

Der Verdichter komprimiert das dampfförmige Kältemittel. Dadurch erhöhen sich die Temperatur und der Druck. Bei der Kompressions-Kältemaschine wird der Verdichter von einem Elektromotor angetrieben. Es gibt diverse Verdichter mit jeweils unterschiedlichen Verdichtungsprinzipien. Mehr dazu in der Grundlagenbroschüre „Wärmepumpen- und Kältetechnik“. Beim Kühlschrank wird üblicherweise ein hermetischer Hubkolben-Verdichter eingesetzt. Dabei sind Motor und Verdichter in einem verschweißten, dicht geschlossenen Gehäuse untergebracht und das durchströmende Kältemittel kühlt auch den Motor. Hubkolben-Verdichter gibt es auch in größeren Bauformen für verschiedene Arten von Kältemitteln.



Fig. 4-14 Hubkolben-Verdichter für einen Kühlschrank (Quelle: cubigel)

für Kältemittel CO₂ (Quelle: GEA)

Schnittbild Hubkolbenverdichter (Quelle: Bitzer)

Kondensator (Verflüssiger)

Beim Kondensator handelt es sich um einen Wärmetauscher. Auch durch den Kondensator zirkuliert das Kältemittel, welches dabei vom gasförmigen in den flüssigen Zustand wechselt.

Die Kondensationswärme wird dabei wieder an ein Umgebungsmedium abgegeben. Beim Kühlschrank handelt es sich dabei um Umgebungsluft. Auf der Rückseite des Kühlschranks befindet sich ein freistehendes Rohrregister, durch welches das Kältemittel fließt. Die erwärmte Luft gelangt anschließend durch eine Öffnung in der Küchenverkleidung oberhalb des Kühlschranks in den Raum.

Bei größeren Kälteanlagen findet man häufig Rückkühler vor, welche die Kondensationswärme an die Außenluft abgeben. Diese werden dann beispielsweise auf dem Dach aufgestellt.



Fig. 4-15 Kondensator-Register Kühlschrank
(Quelle: Wikipedia)



Trockenrückkühler
(Quelle: CIAT)

Expansion

Nach dem Kondensator ist das Kältemittel wieder flüssig, allerdings hat es noch einen höheren Druck und eine höhere Temperatur, als für die erneute Verdampfung verlangt wird. Wenn der Druck wieder gesenkt wird, verdampft ein Teil des Kältemittels. Die Energie für diesen Vorgang wird dem Kältemittel selbst entzogen, indem die Temperatur des noch flüssigen Kältemittels sich senkt.

Diese Druck- und Temperatur-Reduktion geschieht mit Hilfe eines Expansionsventils. Ebenso wird damit die zirkulierende Kältemittelmenge an die Prozessbedürfnisse angepasst. Entweder sind dies mechanisch funktionierende, sogenannte thermische Expansionsventile, oder elektronisch geregelte Expansionsventile, welche sehr schnell und präzise arbeiten. Je schneller der Antrieb (z.B. Magnetantrieb) das Ventil positionieren kann, umso präziser regelt das Expansionsventil. Das wirkt sich sehr positiv auf die Energieeffizienz des Kälteprozesses aus.



Fig. 4-16 Thermisches Expansionsventil
(Quelle: Danfoss)



Elektronisches Expansionsventil und Ventiltreiber
(Quelle: Siemens, MVL 702, POL94M)

4.4.6. Das h, log p-Diagramm

Die thermodynamischen Prozesse in einer Kältemaschine sind sehr komplex. Sie lassen sich nur mit einem erheblichen Aufwand berechnen. Als Hilfsmittel zur Vereinfachung dient allerdings das sogenannte h, log p-Diagramm (oder log p, h-Diagramm).

Im Kapitel 2.3.1 wurden die verschiedenen Aggregatzustandsänderungen von Wasser in einem Temperatur-Enthalpie-Diagramm (t, h-Diagramm) dargestellt. In der Kältetechnik benutzt man vorzugsweise statt des Temperatur-Enthalpie-Diagramms ein Druck-Enthalpie-Diagramm, bei dem der Druck mit einer logarithmischen Skala gezeigt wird.

Für die in der Praxis verwendeten Kältemittel sind jeweils spezifische h, log p-Diagramme erhältlich. Diese beiden Herren waren, nebst anderen, maßgeblich an der Entwicklung des h, log p-Diagramms beteiligt.



Quelle: Carrier

Dr. Willis Haviland Carrier (1876-1950) war ein US-amerikanischer Ingenieur und Erfinder. Er nutzte als erster eine Kältemaschine in Kombination mit einer Lüftungsanlage und gilt daher als „Vater“ der Klimaanlage.



Quelle: TU Dresden

Prof. Richard Mollier war ein deutscher Ingenieur (1863-1935, u.a. TU Dresden). Er war zusammen mit Dr. Carrier und anderen maßgeblich an der Entwicklung des h, log p-Diagramms beteiligt.

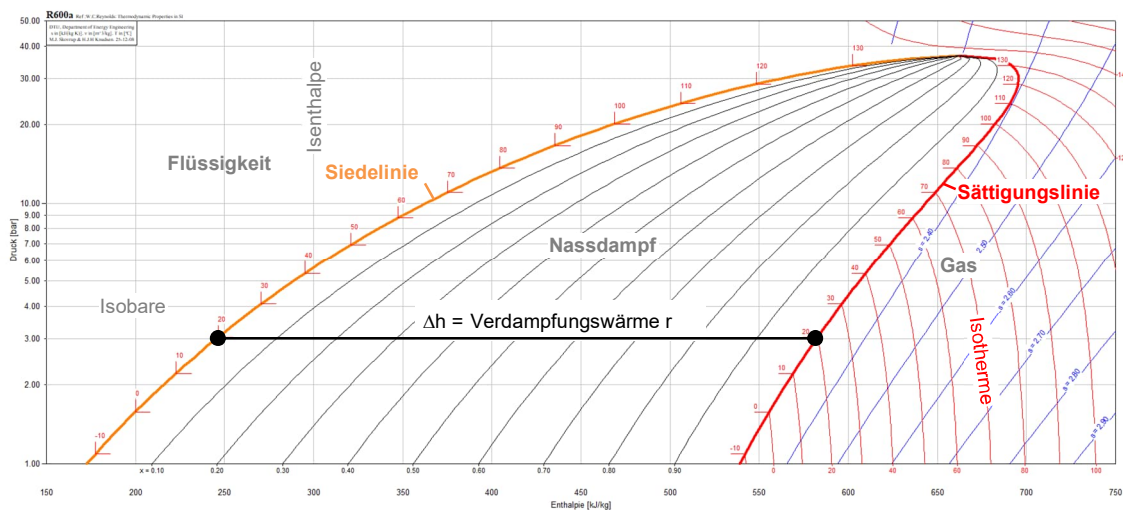


Fig. 4-17 h, log p-Diagramm von R-600a (Isobutan) mit Verdampfungswärme Δh (Quelle: DTU, Denmark)

Auf der waagrechten Achse (Ordinate) wird die Enthalpie h (Wärmeinhalt) mit einer linearen Skala dargestellt. Sie drückt dabei aus, wie viel Wärme in kJ pro Masse in kg in einem Stoff je nach Zustand enthalten ist. Dabei ist 200 kJ jeweils bei 0 °C festgelegt. Entscheidend für den Vorgang ist die jeweilige Enthalpieänderung bzw. Enthalpiedifferenz. Die senkrechten Linien stellen die Linien mit gleicher Enthalpie dar (sog. „Isenthalpe“).

Auf der senkrechten Achse (Abszisse) wird der Druck p in bar aufgetragen. Damit sinnvoll mit diesem Diagramm gearbeitet werden kann, wird der Druck mit logarithmischem Maßstab dargestellt ($\Rightarrow \log p$). Die horizontalen Linien sind die Linien mit gleichem Druck (sog. „Isobare“).

Der Bereich Δh zwischen den beiden Grenzkurven stellt, bei gleichbleibendem Druck, die Verdampfungswärme r in kJ pro Masse in kg dar. Sie nimmt mit zunehmendem Druck ab.

Links von der Grenzkurve (Siedelinie) ist das Kältemittel in flüssigem Zustand und rechts von der Grenzkurve (Sättigungslinie) ist es gasförmig. Innerhalb der beiden Grenzkurven ist das Kältemittel im Nassdampfgebiet, was bedeutet, dass ein Teil bereits dampfförmig und ein Teil noch flüssig ist.

Die, je nach Kältemittel, innerhalb der beiden Grenzkurven horizontal verlaufenden und nach der zweiten Grenzkurve rechts abfallenden Linien, zeigen jeweils dieselbe Temperatur an. Verlaufen die Temperaturlinien (sog. „Isotherme“) im Nassdampfgebiet parallel zu den Drucklinien („Isobare“), dann werden die Temperaturlinien an den Grenzkurven nur angedeutet mit einem kleinen Winkel resp. kurzer Linie).

4.4.7. Der Kreisprozess des Kältschranks im $h, \log p$ -Diagramm

Der Kreisprozess des Kältschranks wird vereinfacht im $h, \log p$ -Diagramm dargestellt. Dabei können die Temperaturen, Drücke sowie Enthalpien aus dem Diagramm je Zustand eruiert werden.

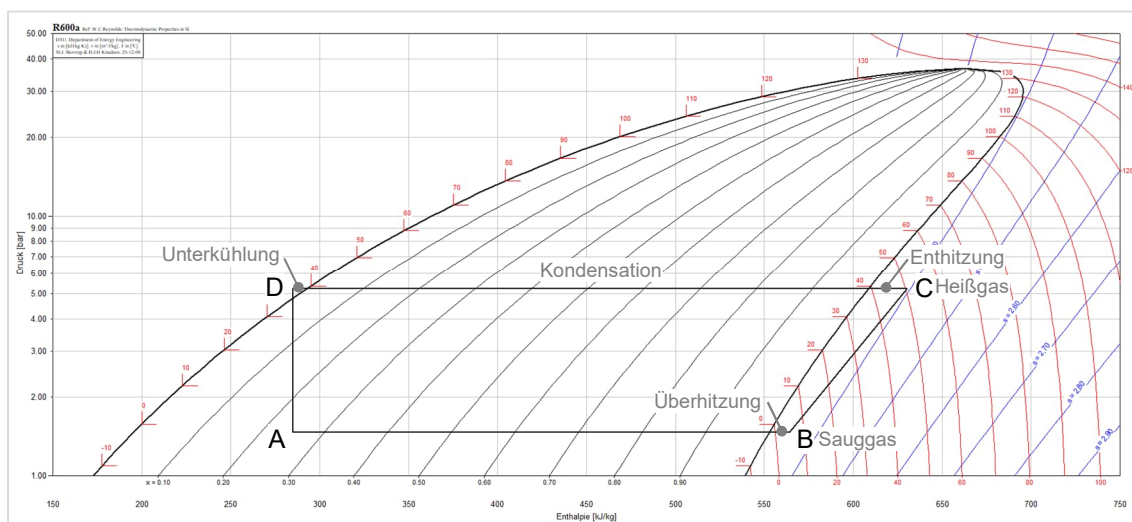


Fig. 4-18 Beispiel Kreisprozess Kältschrank im $h, \log p$ -Diagramm für Kältemittel R600a (Quelle: DTU, Denmark)

A → B: Verdampfung

Das Kältemittel verdampft bei -2 °C und einem Druck von ca. 1,5 bar (isobar). Damit kann Wärme für die Verdampfung aus dem Kühlraum von 5 °C an das Kältemittel fließen. Dadurch erhöht sich seine Enthalpie von 285 kJ/kg auf 553 kJ/kg.

Damit sicher nur Kältemittelgas zum Verdichter geführt wird (sog. „Sauggas“), wird der Sattdampf anschließend bei gleichbleibendem Druck noch weiter erwärmt (sog. „Überhitzung“). Deshalb steigt seine Temperatur auf z.B. 7 °C und seine Enthalpie auf 564 kJ/kg an.

B → C: Verdichtung

Das Kältemittel wird durch den Verdichter komprimiert. Die Motorenwärme gelangt größtenteils in den Kältemittel-Prozess. Die Temperatur im Kältemittel steigt durch die Verdichtung auf rund 50 °C (sog. „Heißgas“) und der Druck erhöht sich dabei auf 5,2 bar. Die Enthalpie beträgt nach der Verdichtung 630 kJ/kg.

C → D: Verflüssigung (Kondensation)

Die Verflüssigung geschieht bei gleichbleibendem Druck (isobar) von 5,2 bar.

Das 50 °C „heiße“ Kältemittel zirkuliert durch einen Wärmetauscher auf der Rückseite des Kältschranks, welcher von der Raumluft der Küche umgeben ist. Die Temperatur im noch dampfförmigen Kältemittel reduziert sich zuerst auf 39 °C (sog. „Enthitzung“) durch die Wärmeabgabe an die Umgebungsluft. Anschließend kondensiert das Kältemittel bei 39 °C und gibt dabei sehr viel Wärme („Kondensationswärme“) an die Umgebungsluft ab. Danach wird das flüssige Kältemittel noch etwas weiter abgekühlt (sog. „Unter Kühlung“). Total wird eine Wärmeenergie von 345 kJ/kg abgegeben.

Dieser Prozess der Verflüssigung ist so wie hier beschrieben bis zu einer Raumtemperatur von ca. 32 °C möglich. Ist die Umgebungsluft wärmer, muss die Verdichtung auf eine höhere Kondensationstemperatur arbeiten können, sonst stoppt der Prozess und der Kühlschrank kühlt nicht mehr.

D → A: Expansion

Der Druck wird durch die Expansion (Querschnittsreduktion der Kältemittelleitung) von 5,2 bar auf 1,5 bar reduziert. Die Energie für diese Druckreduktion wird dem Kältemittel entnommen, weshalb sich seine Temperatur auf - 2 °C reduziert.

4.4.8. Leistungszahl Kältemaschine (EER)

Die Leistungszahl einer Kältemaschine wird heute als EER (Energy Efficiency Ratio) bezeichnet. Dabei wird der Nutzen mit dem Aufwand verglichen. Die Leistungszahl ist umso besser, je weniger der Verdichter leisten muss. Folglich ist die Leistungszahl besser, wenn der Temperaturunterschied zwischen der Verdampfungs- und der Kondensationstemperatur klein ist.

$$\epsilon_{KM} = \text{EER} = \frac{\Phi_o}{P_{el}}$$

ϵ_{KM}	Leistungszahl Kältemaschine EER	[-]
Φ_o	Nutzen der Kältemaschine (KM): Kälteleistung am Verdampfer	[W]
P_{el}	Aufwand: elektrische Leistung am Verdichter	[W]

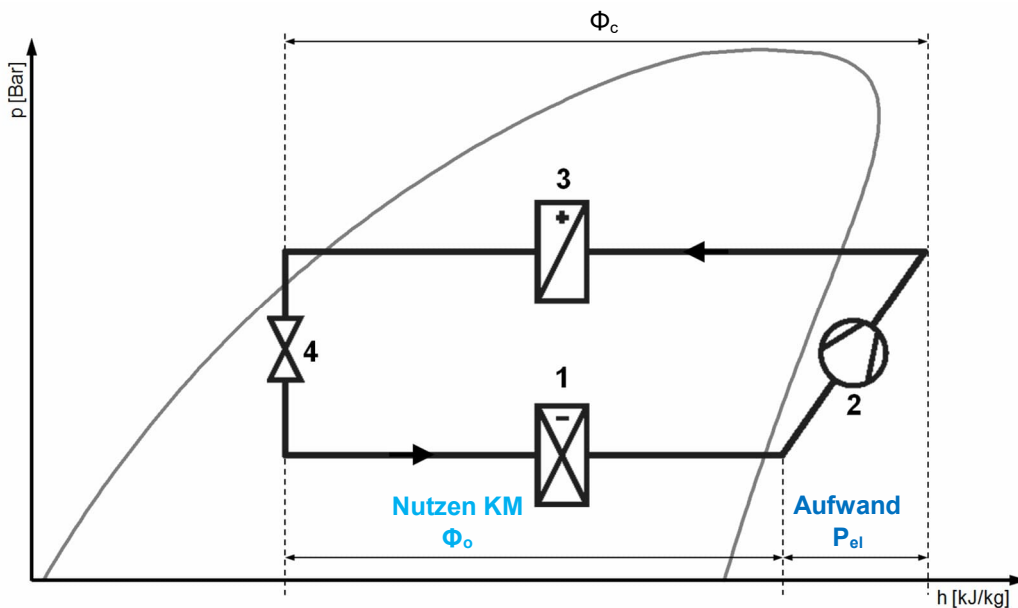


Fig. 4-19 Kreisprozess mit Enthalpiedifferenzen von Nutzen und Aufwand
 1 Verdampfer 2 Verdichter
 3 Kondensator 4 Expansionsventil

Für die reale Leistungszahl sind außerdem die Energieanteile der Umwälzpumpen zu berücksichtigen. Und zwar sind es die Energieanteile, welche notwendig sind, um den Druckabfall über den Verdampfer oder über Kondensator jeweils auf der sekundären Seite zu überwinden. Weiter muss der Energieanteil für die Steuer- und Regeleinrichtungen innerhalb der Kältemaschine berücksichtigt werden.

4.5. Kompressions-Kältemaschine als Wärmepumpe

4.5.1. Einleitung

Eine Wärmepumpe hat denselben Aufbau und dieselben Bauteile wie die Kompressions-Kältemaschine. Einzig die Nutzung von Verdampfungs- und Kondensationswärme ändert sich. Bei einer Kältemaschine hat man die Absicht, dass die Wärme durch das Verdampfen vom Kältemittel einem Stoff oder einem Raum entzogen wird und Wärme anschließend als Nebenprodukt anfällt. Bei der Wärmepumpe wird die Nutzung der Wärme, welche bei einer Kältemaschine noch als Nebenprodukt anfällt, angestrebt. Dazu muss allerdings auch zuerst das Kältemittel verdampft werden, bevor es überhaupt verdichtet und somit genutzt werden kann. Die Wärmeenergie für diese Verdampfung kommt dafür aus der Umwelt. Sie kann zum Beispiel der Außenluft, dem Erdreich oder dem Grund-, See- oder Flusswasser entzogen werden (vgl. Kapitel 3.3.4).

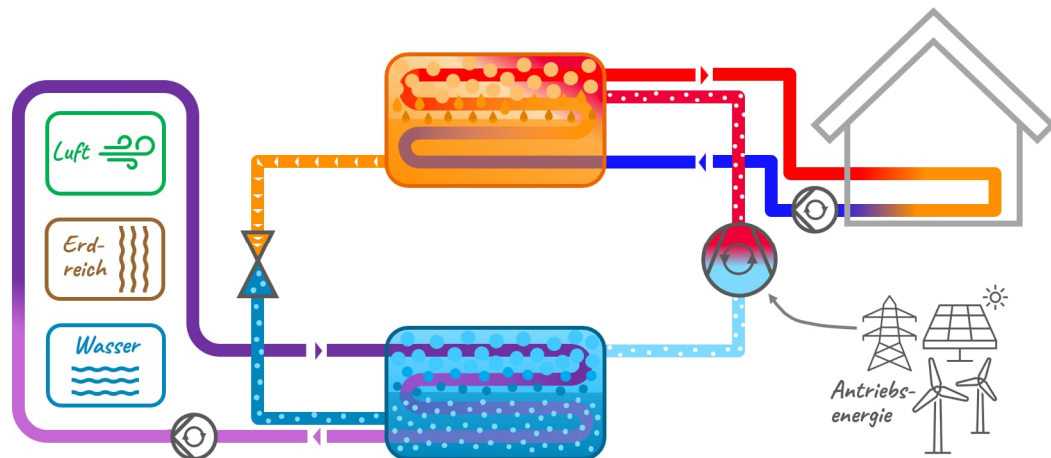


Fig. 4-20 Kreisprozess Wärmepumpe mit verschiedenen Wärmequellen zur Verdampfung des Kältemittels (Quelle: Siemens)

4.5.2. Leistungszahl Wärmepumpe (COP)

Die Leistungszahl der Wärmepumpe wird als COP (Coefficient of Performance) bezeichnet. Auch hier wird der Nutzen mit dem Aufwand verglichen, wobei der Nutzen bei der Wärmepumpe auf der warmen Seite, d.h. der Kondensationsseite, liegt. Wie bei der Kältemaschine ist auch bei der Wärmepumpe die Leistungszahl umso besser, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Quelleneintritts- und Heizungsaustrittstemperatur ist.

Die Quelleneintrittstemperatur ist maßgebend für die Verdampfungstemperatur, die Heizungsvorlauftemperatur ist maßgebend für die Kondensationstemperatur im Kältemittel-Prozess.

$$\epsilon_{WP} = \text{COP} = \frac{\Phi_c}{P_{el}}$$

ϵ_{WP}	Leistungszahl Wärmepumpe COP	[-]
Φ_c	Nutzen der Wärmepumpe (WP): Wärmeleistung am Verflüssiger	[W]
P_{el}	Aufwand: elektrische Leistung am Verdichter	[W]

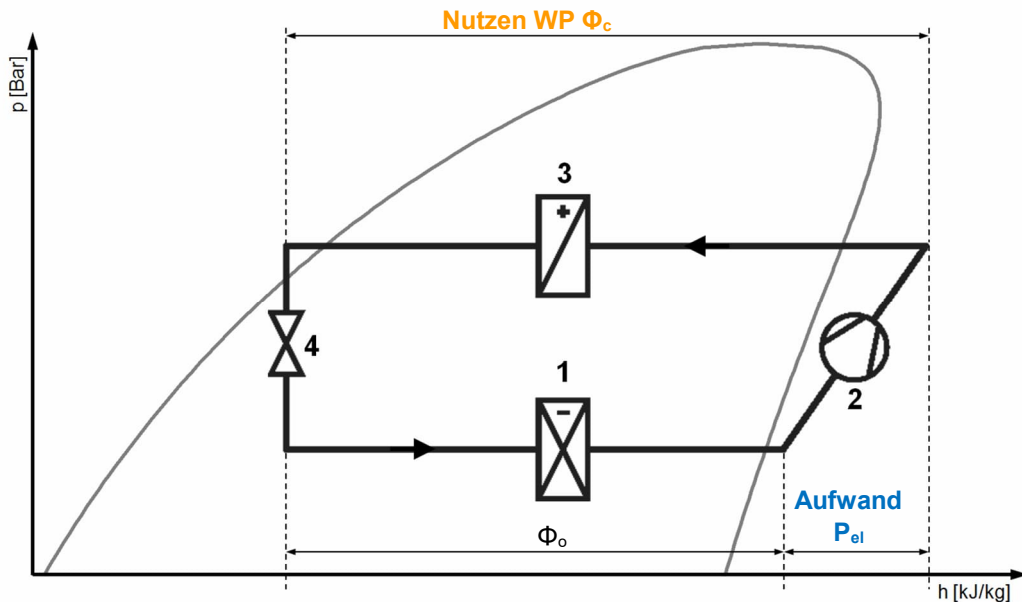


Fig. 4-21 Kreisprozess mit Enthalpiedifferenzen von Nutzen und Aufwand

Für die reale Leistungszahl müssen auch bei der Wärmepumpe die Energieanteile für die Überwindung des Druckabfalls im Verdampfer und Kondensator auf der sekundären Seite (d.h. Quellen- resp. Heizungskreislauf) berücksichtigt werden. Ebenfalls gilt es den Energiebedarf für die Steuer- und Regeleinrichtungen innerhalb der Wärmepumpe zu beachten.

Mindestanforderungen an Wärmepumpen gemäß EN 14511

Das Gütesiegel „Keymark-Wärmepumpe“ basiert auf unabhängigen Leistungsprüfungen, die nach den Normen EN 14511 (Teil 1-4), EN 15879, EN 16147 und EN 12102 durchgeführt werden. Weiter werden Normen für die Fertigungsbedingungen und Qualitätssicherung berücksichtigt. Dieses Label gilt als europaweit gültiges Produktprüfzeichen (ab Herbst 2015).

Zur Erfüllung der Norm EN 14511 gelten folgende Mindestanforderungen:

Luft/Wasser	COP > 3.1 bei (A2/W35)
Sole/Wasser	COP > 4.3 bei (B0/W35)
Wasser/Wasser	COP > 5.1 bei (W10/W35)

Erklärung:

A (Außenluft)	Quelleneintrittstemperatur Luft [°C]
W (Wasser)	Quelleneintrittstemperatur Wasser [°C] oder Heizungsvorlauftemperatur Wasser [°C]
B (brine = Sole)	Quelleneintrittstemperatur Sole [°C]

Somit bedeutet z.B. der Prüfpunkt B0/W35, dass eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 0 °C Sole-Quellentemperatur und mit 35 °C Heizungswasser-Vorlauftemperatur betrieben wird.

4.6. Absorptions- und Adsorptions-Kältemaschine

4.6.1. Einleitung

Nebst der Kompressions-Kältemaschine werden noch folgende Kältemaschinen verwendet:

- Absorptions-Kältemaschine
- Adsorptions-Kältemaschine

Der Kältemittelkreislauf der beiden Typen vom Kondensator über die Expansion bis zum Verdampfer ist ähnlich wie jener der Kompressions-Kältemaschine. Den wesentlichen Unterschied findet man bei der Art der Verdichtung des Kältemittels.

Anwendung

Der Entscheid, ob eine Kompressions- oder eine Absorptionskältemaschine bzw. Adsorptionskältemaschine eingesetzt werden soll, hängt weitgehend von der zur Verfügung stehenden Betriebsenergie ab. Steht beispielsweise ein Dampf- oder Heißwasserkessel zur Verfügung, der sonst nur im Winter optimal ausgenutzt würde, ist es naheliegend, dessen freie Kapazität im Sommer zur Kälteerzeugung mit einer Ab- oder Adsorptionskältemaschine zu koppeln. Optimal ist der Einsatz einer solchen Maschine auch dann, wenn Abwärme aus einem Produktionsprozess oder von einer Gegendruckturbine zur Verfügung steht. Häufig werden die Ab- und Adsorptionskältemaschinen in Entwicklungsländern gebaut, wo das Stromnetz noch nicht optimal ausgebaut ist. Denn im Gegensatz zur Kompressions-Kältemaschine benötigen diese beide Typen keine Elektrizität, sondern Wärme als Antriebsenergie. Diese Wärme kann auch mit Hilfe von Solarenergie bereitgestellt werden (Solare Kälte, Solare Klimatisierung). Da eine Absorptions- oder Adsorptions-Kältemaschine viel Zeit benötigt, um in Betrieb zu gehen, werden sie häufig zur Deckung der Grundlast verwendet.

4.6.2. Absorptions-Kältemaschine

Absorption

bezeichnet die **Aufnahme von Gasen durch flüssige oder feste Stoffe in Form einer physikalischen Bindung**.

Dabei bilden der aufnehmende Stoff und das aufzunehmende Gas ein Arbeitsstoffpaar. Eine Absorption kommt allerdings nur zustande, wenn das Arbeitsstoffpaar chemisch zueinander passt und ein bestimmtes Druck-/Temperaturverhältnis existiert, das für jedes Arbeitsstoffpaar unterschiedlich ist. Dieser Prozess ist umkehrbar. Folglich kann das aufgenommene Gas bei anderen Druck- und Temperaturverhältnissen wieder ausgetrieben werden. Der Verdampfungsdruck liegt sehr tief (Vakuum), was zu einer entsprechend massiven Maschinen-Bauweise führt.

Funktion

Wie bei der Kompressions-Kältemaschine wird auch bei der Absorptions-Kältemaschine ein Kältemittel verwendet. Dieses Kältemittel verdampft bei niedrigem Druck im Verdampfer durch Zufuhr von Wärme, welche einem Stoff entzogen wird und diesen abkühlt. Anschließend wird das gasförmige Kältemittel auf eine höhere Temperatur und höheren Druck verdichtet. Im Verflüssiger wird die Kondensationswärme erneut abgeben, bevor das Kältemittel im Expansionsventil auf einen niedrigen Druck gebracht wird.

Den Unterschied zu einer Kompressions-Kältemaschine findet man bei der Funktionsweise des Verdichters. Statt eines mechanischen Kompressors besteht der Verdichter bei der Adsorptions-Kältemaschine aus einem Absorber und einem Austreiber. Weiter findet die Verdichtung nicht mit einem Kompressor, sondern durch einen Lösungsmittelkreislauf statt.

Folgende beiden Funktionen ersetzen die Funktion des mechanischen Verdichters:

- Der Ansaugvorgang des Kältemitteldampfes findet durch die Absorption statt. So tritt das gasförmige Kältemittel in den Absorber, weil es dort von einem flüssigen Lösungsmittel aufgenommen wird.
- Die Kompression und das Ausstoßen des verdichteten, heißen Kältemitteldampfes wird bei der Absorptions-Kältemaschine durch den Prozess im Austreiber ersetzt. Dabei wird nun das mit Kältemittel angereicherte und flüssige Lösungsmittel vom Absorber in den Austreiber gefördert. Im Austreiber wird der Lösung von außen Wärme zugeführt. Dadurch steigen die Temperatur und der Druck der Lösung an. Das Kältemittel wird durch diese Wärmezufuhr aus der flüssigen Lösung ausgetrieben und wird im wieder gasförmigen Zustand zum Kondensator geleitet.

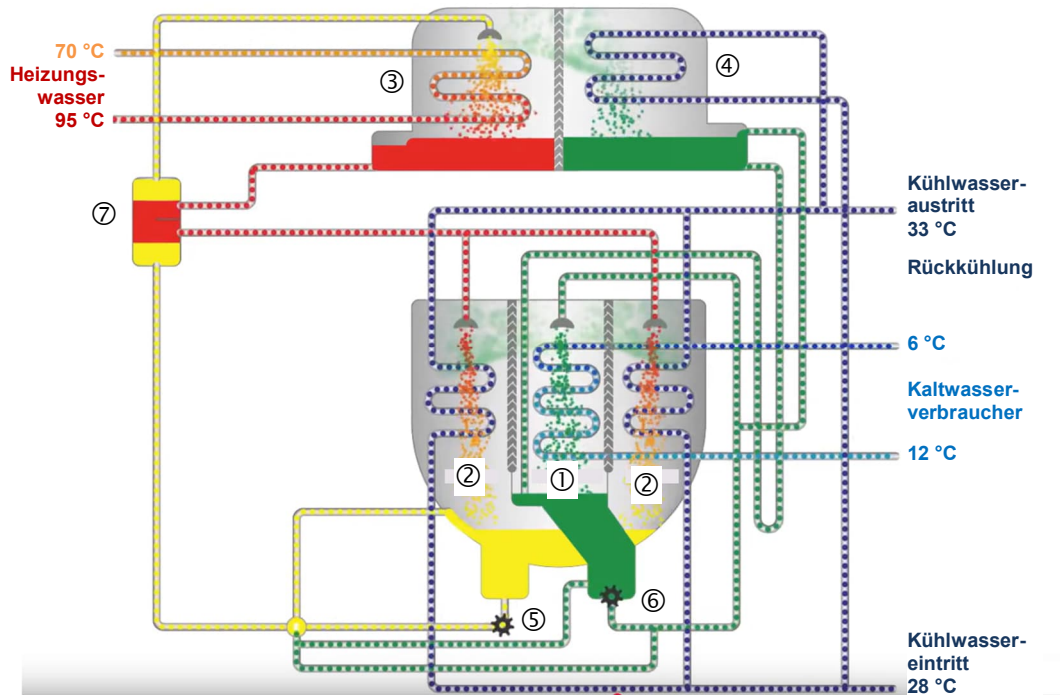


Fig. 4-22 Absorptions-Kreisprozess mit Lösungsmittelkreis als „thermochemischer Verdichter“ (Quelle: Rütgers)

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Verdampfer | 5 Solepumpe (Lösungsmittelpumpe) |
| 2 Absorber | 6 Kältemittelpumpe |
| 3 Austreiber | 7 Temperaturwechsler (Wärmetauscher) |
| 4 Verflüssiger (Kondensator) | |

Der mechanische Verdichter wird somit durch einen Lösungsmittelkreislauf ersetzt. Der Lösungsmittelkreislauf wird auch als „thermochemischer Verdichter“ bezeichnet.

Kältemittelkreislauf im Detail

Aus dem Austreiber (3) des Lösungsmittelkreislaufes strömt der heiße und unter höherem Druck stehende Kältemitteldampf in den Verflüssiger (4), durchfließt dort den Wärmetauscher, gibt Verdampfungswärme ab und kondensiert dabei. Die frei werdende Verdampfungswärme geht auf den Rückkühlkreislauf über. Das immer noch unter Druck stehende, nun flüssige Kältemittel wird im Expansionsventil auf einen niedrigeren Druck entspannt und mit Hilfe der Kältemittelpumpe (6) im Verdampfer (1) über den Wärmetauscher versprüht. Im Verdampfer (1) wird der Druck sehr tief gehalten, damit das Kältemittel schon bei geringeren Temperaturen verdampft. Wenn also durch den Wärmetauscher einem Sekundärmedium Wärme entzogen wird und dieses sich abkühlt, dann verdampft das Kältemittel erneut. Der nun entstandene Kältemitteldampf strömt in den Absorber (2).

Lösungsmittelkreislauf im Detail

Im Absorber (2) wird das Lösungsmittel versprüht. Der Kältemitteldampf aus dem Verdampfer (1) kommt dadurch mit dem Sprühnebel des Lösungsmittels in intensiven Kontakt und wird dabei absorbiert. Das Lösungsmittel reagiert somit mit dem Kältemittel. Bei diesem chemischen Vorgang wird auch Reaktionswärme frei, die abgeführt werden muss. Dies geschieht über einen Wärmetauscher, durch den das gleiche Sekundärmedium zirkuliert, welches anschließend auch die Kondensationswärme des Kältemittelkreislaufes aufnimmt und so vorgewärmt wird. Das nun mit Kältemittel „verdünnte“ Lösungsmittel wird durch die Lösungsmittelpumpe (5) und den Temperaturwechsler (7), wo das kalte Lösungsmittel vom Absorber (2) durch das warme Lösungsmittel aus dem Austreiber (3) vorgewärmt wird, in den Austreiber gepumpt. Dem Austreiber (3) wird von außen Wärme mit hoher Temperatur zugeführt. Diese Wärmezufuhr bewirkt das Ausdampfen des Kältemittels aus dem Lösungsmittel und damit auch die erforderliche Druck- und Temperaturerhöhung. Während der so entstehende Kältemitteldampf in den Verflüssiger (4) des Kältemittelkreislaufes strömt, wird das Lösungsmittel wieder über den Temperaturwechsler (7) in den Absorber (2) zurückgeführt und der Lösungsmittelkreislauf beginnt von vorne.

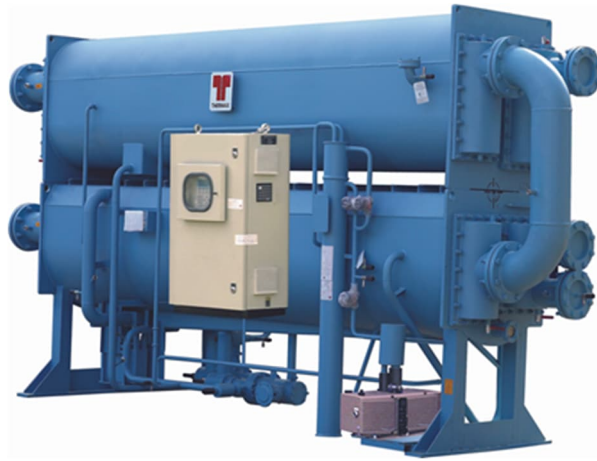


Fig. 4-23 Absorptions-Kältemaschine (Quelle: Trane Roggenkamp)

Antriebsenergie für Absorptions-Kältemaschine

Anstelle mechanischer Antriebsenergie für den Kompressor wird bei der Absorptions-Kältemaschine Antriebsenergie in Form von Wärme benötigt. Dies kann durch Dampf, Heißwasser, Warmwasser, etc. erfolgen, bereitgestellt durch eine Wärme-Kraft-Koppelung (WKK, BHKW) oder auch durch einen Heizkessel. Am sinnvollsten resp. effizientesten ist es jedoch, wenn dazu Prozess-Abwärme oder Solare Wärme genutzt wird. Mechanische Energie wird einzig für den Antrieb der Lösungsmittel- resp. der Kältemittelpumpe gebraucht.

Mögliche Arbeitsstoffpaare

Bekannte Arbeitsstoffpaare, die häufig in Absorptions-Kältemaschinen verwendet werden:

- Wasser-Lithiumbromid (Wasser als Kältemittel)
- Ammoniak-Wasser (Ammoniak als Kältemittel)

Weitere Arbeitsstoffpaare, die häufig in Spezialanlagen verwendet werden:

- Ammoniak-Lithiumnitrat (Ammoniak als Kältemittel)
- Methylamin-Wasser (Methylamin als Kältemittel)
- Methanol-Lithiumbromid (Methanol als Kältemittel)

4.6.3. Adsorptions-Kältemaschine

Adsorption

bezeichnet die **Aufnahme von Gasen an der porösen Oberfläche eines festen Stoffes**.

Es ist somit ein physikalischer Prozess, bei dem ein gasförmiger Stoff auf der Oberfläche eines festen Stoffes haften bleibt. Auch diese Eigenschaft ist druck- und temperaturabhängig. Dieser Vorgang ist umkehrbar. Das Lösen vom gasförmigen Stoff auf der Oberfläche nennt man Desorption. Dabei wird der Stoff bei einem definierten Druck- und Temperaturverhältnis wieder ausgetrieben.

Funktion

Bei der Adsorptions-Kältemaschine wird auch ein Kältemittel, oft Wasser, verwendet. Dieses Kältemittel verdampft bei tiefem Druck im Verdampfer. Dabei wird einem Stoff (z.B. Kaltwasser) Wärme entzogen, was diesen abkühlen lässt. Das gasförmige Kältemittel strömt in den Adsorber und bleibt dort an den Oberflächen des porösen Adsorbers (Sorptionsmittel) haften. Während diesem Adsorptionsprozess wird Wärme freigesetzt, die abgeführt werden muss. Dies geschieht mittels eines Rückkühlkreislaufts. Diese Adsorptionsphase dauert so lange, bis das Sorptionsmittel gesättigt ist und kein weiteres Kältemittel mehr aufnehmen kann. Danach folgt die Desorptionsphase, welche durch ein Umschalten der Klappen ermöglicht wird.

Dabei wird das gesättigte Sorptionsmittel durch extern zugeführte Wärme erwärmt und das Kältemittel löst sich vom Sorptionsmittel, d.h. es wird ausgetrieben. Das dadurch freigesetzte, gasförmige Kältemittel gelangt in den Verflüssiger. Dort kondensiert das Kältemittel wieder und gibt seine Kondensationswärme an den Rückkühlkreislauf ab. Das flüssige Kältemittel wird dann wieder dem Verdampfer zugeführt, wo es erneut verdampfen kann.

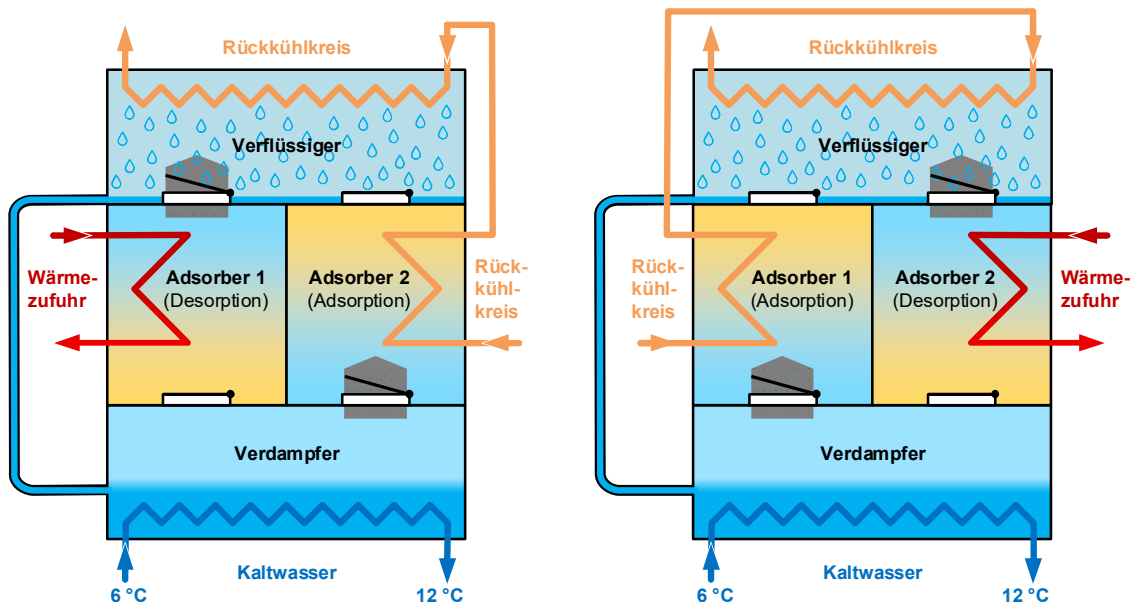


Fig. 4-24 Adsorptions-Kreisprozess (vereinfachte Darstellung; Quelle: Siemens)
die Zyklus-Umschaltung erfolgt mit druckabhängigen Klappen, wenn ein Adsorber mit Kältemittel gesättigt ist:

Zyklus 1

Adsorber 1 (links) ist in der Desorptionsphase,
Adsorber 2 (rechts) in der Adsorptionsphase

Zyklus 2

Adsorber 1 (links) ist in der Adsorptionsphase,
Adsorber 2 (rechts) in der Desorptionsphase

Zum gerichteten Transport des Kältemittels durch die entsprechenden Kammern (Adsorber 1 und 2) werden Klappenventile eingesetzt. Diese öffnen und schließen bei definierten Differenzdrücken. Um kontinuierlich Kälte zu produzieren, werden zwei Adsorber phasenversetzt betrieben. Das bedeutet, dass sich ein Adsorber im Adsorptionsprozess befindet, während der andere Adsorber den Desorptionsprozess ausführt. Die Zykluszeit dieser Phasen liegt, je nach Größe der Maschine, bei ca. 10...20 Minuten.



Fig. 4-25 Adsorptions-Kältemaschine
(Quelle: Emissionless, AUS)



Adsorptions-Kompakt-Kältemaschine
mit Silicagel als Sorptionsmittel (Quelle: sorcool.de)

Antriebsenergie für Adsorptions-Kältemaschine

Anstelle mechanischer Antriebsenergie für den Kompressor wird bei der Adsorptions-Kältemaschine Antriebsenergie in Form von Wärme benötigt.

Dies kann durch Dampf, Heißwasser, Warmwasser, etc. erfolgen, bereitgestellt durch eine Wärme-Kraft-Koppelung (WKK, BHKW) oder auch durch einen Heizkessel. Am sinnvollsten resp. effizientesten ist es jedoch, wenn dazu Prozess-Abwärme oder Solare Wärme genutzt wird. Deshalb werden Adsorptions-Kältemaschinen oft im industriellen Umfeld eingesetzt, um vorhandene Abwärme zu nutzen und die Industrie-Prozesse zu optimieren. Mechanische Energie wird einzig für den Antrieb der Kältemittelpumpe gebraucht.

Mögliche Kühlmittel-Sorptionsmittel

Bekannte Kombinationen, die häufig in Adsorptions-Kältemaschinen verwendet werden:

- Wasser-Silikagel (Wasser als Kältemittel)
- Wasser-Zeolith (Wasser als Kältemittel)
- Wasser-Aktivkohle (Wasser als Kältemittel)

Wenn Wasser als Kältemittel verwendet wird, ist die Verdampfungstemperatur auf minimal 5 bis 6 °C beschränkt, da das Wasser sonst gefrieren würde. Bei tieferen Verdampfungstemperaturen muss ein geeignetes Kältemittel verwendet werden.

Als Sorptionsmittel eignen sich primär Stoffe, die sehr porös sind und deshalb eine große innere Oberfläche besitzen.

5 Hydraulik in der Gebäudetechnik

5.1. Einführung

Die Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK) hat zum Ziel, die Umgebung der Menschen angenehm und behaglich zu gestalten, sodass sie sich wohl fühlen.

Um diese Aufgabe zu lösen, muss in unserer Klimazone Wärme – aber auch Kälte – erzeugt werden und diese richtig dosiert, zur richtigen Zeit an den richtigen Ort gebracht werden.

Das Ziel der Hydraulik ist es, die dazu erforderlichen Elemente so in einen Kreislauf zwischen Energieerzeugung und Verbraucher einzubinden, dass optimale Betriebsbedingungen geschaffen werden für:

- Wärme-/ Kälteerzeuger (bez. Temperaturen, Wasserfluss, ...)
- Den Transport des Wärme-/ Kälteträgers wie Wasser, Dampf, ...
- Die eingebauten Regeleinrichtungen

Diese Dokumentation beinhaltet die wichtigsten Informationen aus den Lernmodulen des Lernprogramms "Hydraulik in der Gebäudetechnik". Die gezeigten Grafiken stammen größtenteils aus dem Lernprogramm. Viele davon sind im Lernprogramm animiert und interaktiv, d.h. Sie können ausprobieren, wie sich Schaltungen und Komponenten unter verschiedenen Bedingungen verhalten.

Lernprogramm

Haben Sie Interesse am Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik"?

Sie finden dieses z.B. online im Siemens HIT Portal unter Info-Center (Acvatix).



Fig. 5-1 Startbildschirm des Selbstlernprogramms „Hydraulik in der Gebäudetechnik“

5.2. Hauptteile einer hydraulischen Anlage

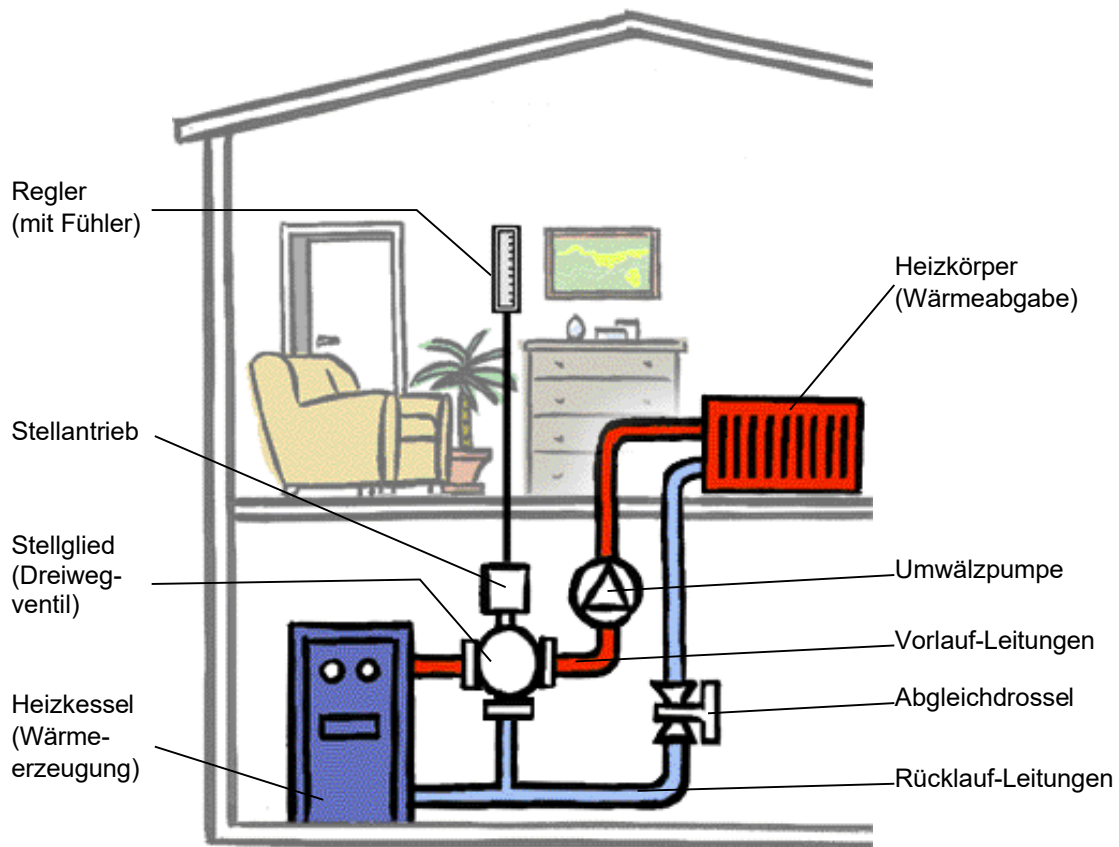


Fig. 5-2 Hauptteile einer hydraulischen Anlage

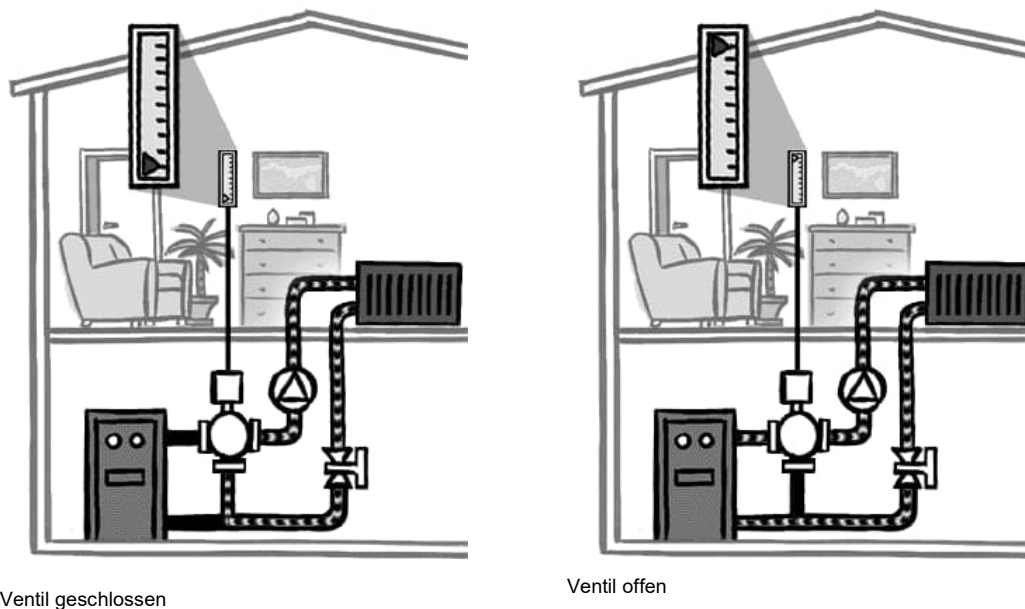
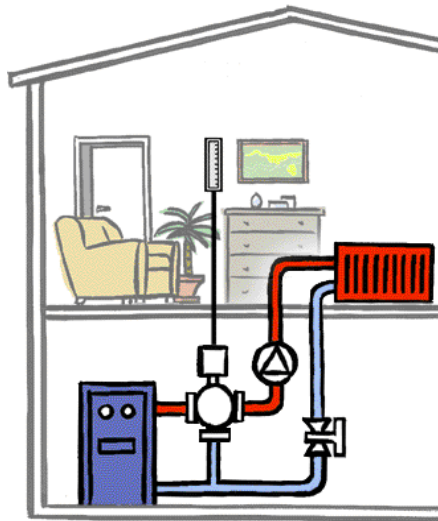


Fig. 5-3 Zirkulation in einer hydraulischen Anlage

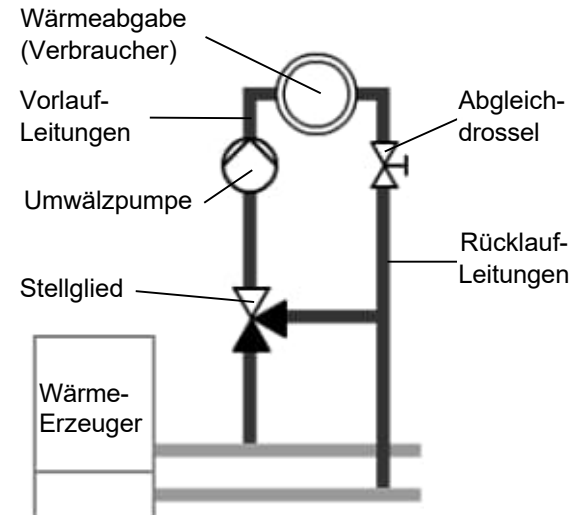
5.3. Darstellung hydraulischer Kreise

Die bisher gezeigten bildlichen Darstellungen einer hydraulischen Anlage sind für viele Personen sehr gut nachvollziehbar. Die anlagentechnischen Zusammenhänge lassen sich jedoch so nicht sehr gut darstellen, deshalb sind die bildlichen Darstellungen in Fachkreisen nicht üblich.

In der HLK-Branche werden deshalb vor allem schematische Darstellungen verwendet. Sie zeigen die Anlage und erlauben, die technischen Vorgänge und Zusammenhänge besser nachzuvollziehen.



Bildliche Darstellung einer Anlage

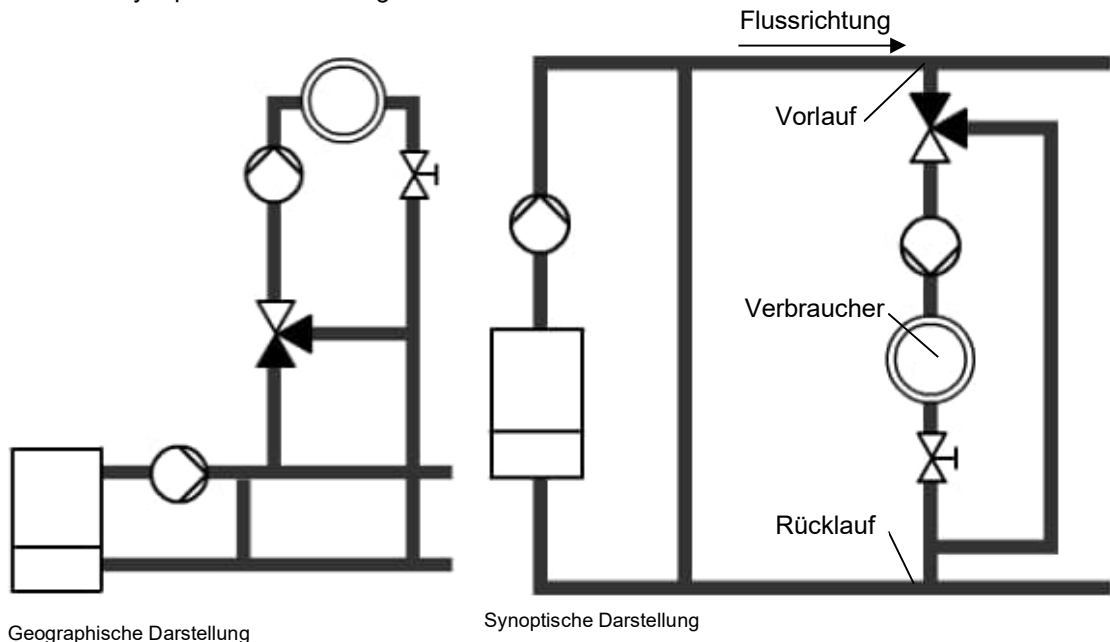


Schematische Darstellung einer Anlage

Fig. 5-4 Von der bildlichen zur schematischen Darstellung

Es gibt zwei Arten von schematischen Darstellungen:

- Geografische Darstellung
- Synoptische Darstellung



Geografische Darstellung

Synoptische Darstellung

Fig. 5-5 Geografische und synoptische Darstellung einer einfachen Anlage

Geographische Darstellung

Die oben gezeigte schematische Darstellung wird oft für einfache Anlagen verwendet. Sie wird geographische Darstellung genannt und weist einen engen Bezug zur konstruktiven Lösung auf.

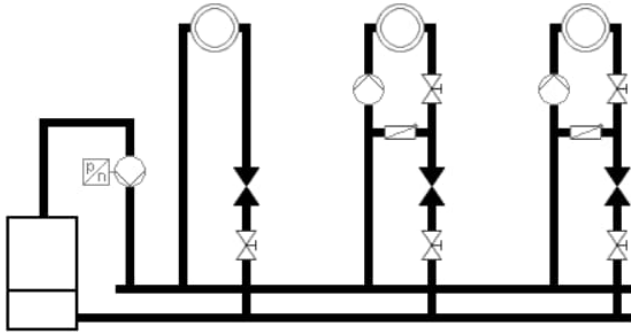


Fig. 5-6 Beispiel einer Heizungsanlage mit mehreren Verbrauchern in geographischer Darstellung

Für größere Anlagen wird die geographische Darstellung unübersichtlich, vor allem wenn komplexe Zusammenhänge der Verbraucher oder Erzeuger dargestellt werden müssen; z.B. eine Grundwasser-Wärmepumpe mit Speicher und zusätzlichem Heizkessel, die mehrere verteilte Verbraucherstationen bedient.

Deshalb und wegen des verbreiteten Einsatzes von CAD-Systemen kommt heute oft auch eine andere, strukturierte Darstellungsweise zur Anwendung.

Synoptische Darstellung

Die synoptische Darstellung erlaubt die schematische Darstellung von sehr komplexen und umfangreichen hydraulischen Anlagen in einer klar strukturierten und übersichtlichen Art und Weise.

Bei der synoptischen Darstellung sind einige wichtige Regeln zu beachten:

- Der Vorlauf wird oben gezeichnet, der Rücklauf wird unten gezeichnet. Man nennt dies oft auch die Versorgungsschiene.
- Erzeuger und Verbraucher werden parallel in Flussrichtung zwischen Vorlauf und Rücklauf eingezeichnet.

Hinweis zur Darstellung von Stellgliedern

Bei der schematischen Darstellung von hydraulischen Schaltungen ist es auch wichtig, dass gewisse Komponenten symbolisch korrekt dargestellt werden.

Ein Element, bei dem dies besonders wichtig ist, ist das Dreiweg-Stellglied (Ventil oder Hahn).

Die beiden Tore mit variablem Durchfluss werden ausgefüllt gezeichnet, das Tor mit konstantem Durchfluss unausgefüllt.

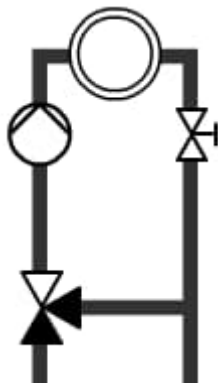


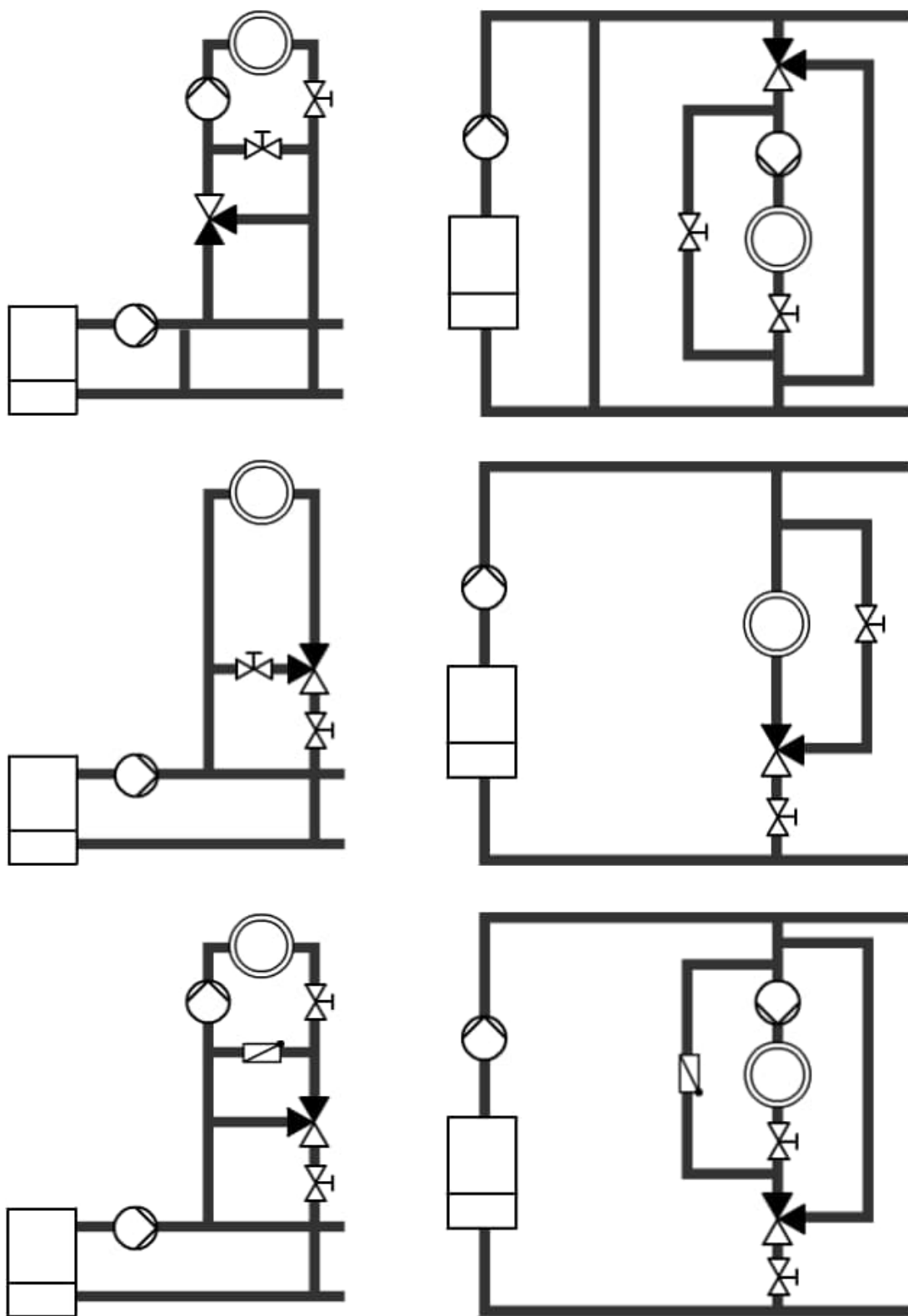
Fig. 5-7 Schematische Darstellung von Ventiltoren

ausgefüllt = variabler Durchfluss

unausgefüllt = konstanter Durchfluss

In vielen der schematischen Darstellungen im Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik" und in diesen Unterlagen sind Stellglieder ohne Antrieb dargestellt. Dies vor allem, um die Übersichtlichkeit der Zeichnungen zu verbessern. Zudem wird als Stellglied immer ein Ventil angenommen.

Beispiele von geographischen und synoptischen Darstellungen:



Geographische Darstellung

Synoptische Darstellung

Fig. 5-8 Darstellungsbeispiele

5.4. Verbraucher-Grundsaltungen

5.4.1. Mengenvariable und mengenkonstante Kreise

Die Leistung (Wärme-/Kältemenge) an einem Erzeuger oder Verbraucher ist proportional zum Produkt aus Massenstrom und Temperaturdifferenz über dem Erzeuger oder Verbraucher.

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \Delta T \cdot c \cdot \rho$$

Für unsere Überlegungen und für übliche Anwendungen in der Gebäudetechnik nehmen wir die Dichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c als konstant an. Damit ist die Leistung an einem Erzeuger oder Verbraucher proportional zum Produkt aus Volumenstrom und Temperaturdifferenz.

$$\dot{Q} \sim \dot{V} \cdot \Delta T$$

Bei hydraulischen Schaltungen können folglich folgende Größen zur Anpassung der Leistung herangezogen werden:

- Volumenstrom wird verändert (bei konstanter Temperatur)
 - ⇒ Mengenvariabler Betrieb
 - ⇒ Durchflussregelung
- Temperatur wird verändert (bei konstantem Volumenstrom)
 - ⇒ Mengenkonstanter Betrieb
 - ⇒ Mischregelung

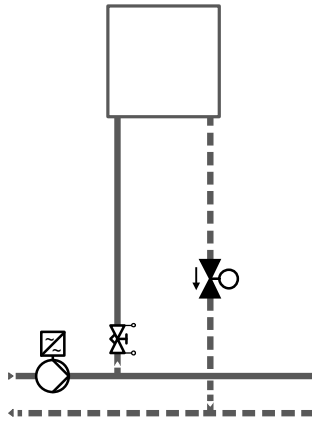
5.4.2. Durchfluss- und Mischregelung

Zur Durchflussregelung (mengenvariabel) und zur Mischregelung (mengenkonstant) gibt es jeweils zwei hydraulische Grundsaltungen.

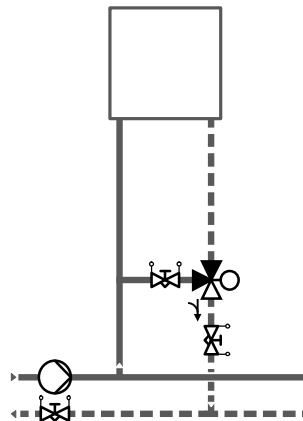
Durchflussregelung

Bei der Durchflussregelung (mengenvariable Verbraucher-Kreise) sind dies:

- Drosselschaltung
- Umlenkschaltung



Drosselschaltung



Umlenkschaltung

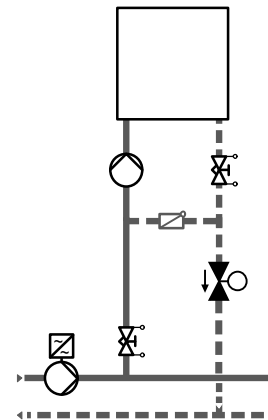
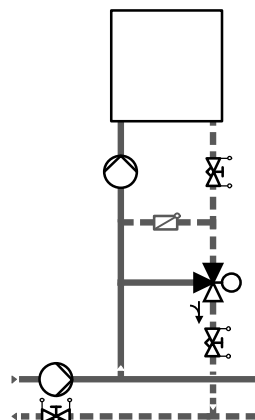
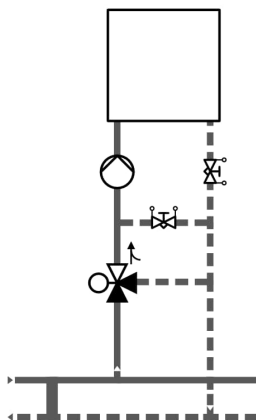
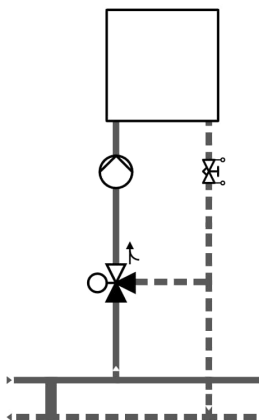
Fig. 5-9 Durchflussregelung

Beide verändern die Leistung durch unterschiedlichen Volumenstrom über den Verbraucher. Sie benötigen eine vorgelagerte Pumpe, die den Volumenstrom über den Verbraucher fördert.

Mischregelung

Bei der Mischregelung (mengenkonstante Verbraucher-Kreise) sind dies:

- Beimischschaltung (und Beimischschaltung mit fester Vormischung)
- Einspritzschaltung (mit Dreiweg- oder Durchgangsventil)



Beimischschaltung (ohne / mit fester Vormischung)

Einspritzschaltung (mit Dreiweg- und Durchgangsventil)

Fig. 5-10 Mischregelung

Beide Mischregelungen verändern die Leistung durch unterschiedliche Eintrittstemperaturen in den Verbraucher.

Sie beinhalten eine eigene Pumpe, die den Volumenstrom über den Verbraucher fördert.

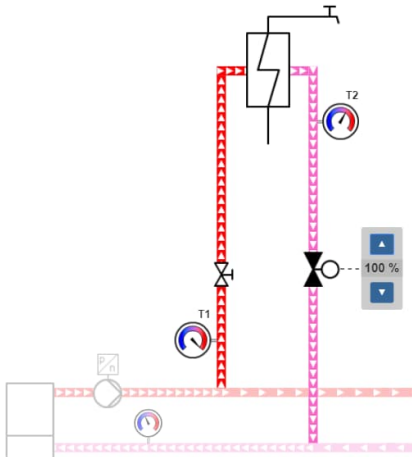
5.5. Hydraulische Grundsaltungen

5.5.1. Drosselschaltung

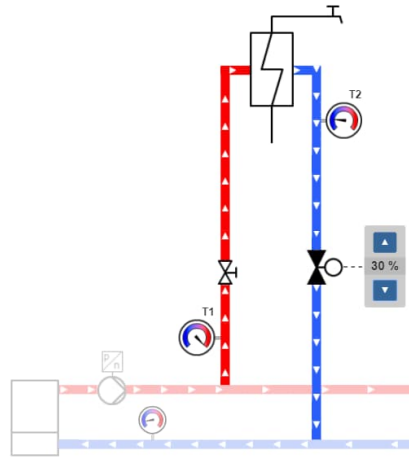
Funktionsweise

Wird das Ventil verstellt, beeinflusst dies den Volumenstrom sowohl im Erzeuger als auch im Verbraucher. Überall ergeben sich starke Schwankungen der Druckverhältnisse.

Beispiel: Durchlauferhitzer Warmwasser



Ventil voll offen
Drosselschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

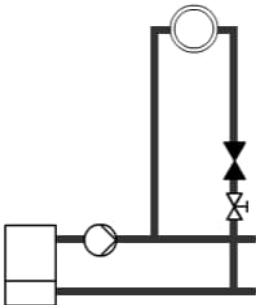
Eigenschaften

- Tiefe Rücklauftemperatur T2 im Teillastbetrieb (bei Heizung)
- Variabler Volumenstrom in der ganzen Anlage
- Beim Anfahren zeitliche Verzögerung der Eintrittstemperatur in den Wärmeverbraucher (Totzeit – je nach Länge der Rohre)
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe überhitzen (⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

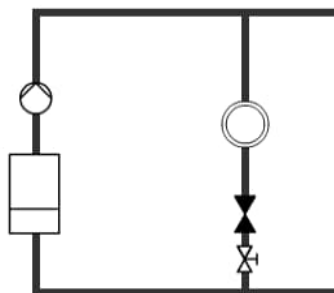
Einsatzgebiet

- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Fernheizungsanschluss (direkt oder mit Wärmeübertrager)
- Speicherladung und Speicherentladung
- Anlagen mit Kondensationskessel

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



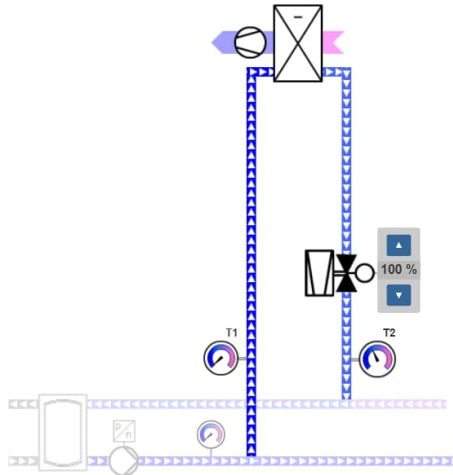
Synoptische Darstellung

5.5.2. Drosselschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)

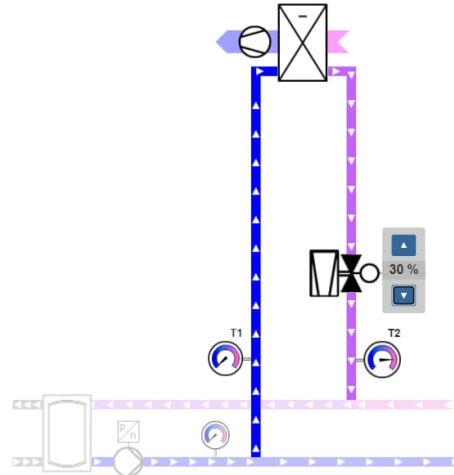
Funktionsweise

Wird das PICV verstellt, beeinflusst dies den Volumenstrom über den Verbraucher und auch über den Erzeuger (resp. hier über Speicher). Überall ergeben sich entsprechende Veränderungen der Druckverhältnisse. Der Differenzdruckregler im PICV benötigt von der Pumpe einen minimalen Druck $\Delta p_{\min}$, damit er seine Aufgabe, stabile Verhältnisse für das Regelventil zu schaffen, wahrnehmen kann.

Beispiel: Luftkühler mit Entfeuchtung



Ventil voll offen
Drosselschaltung mit PICV



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

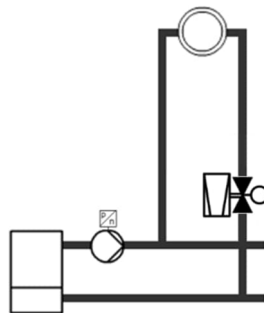
Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur T2 im Teillastbetrieb (bei Kühlung)
- Variabler Volumenstrom in der ganzen Anlage
- Beim Anfahren zeitliche Verzögerung der Eintrittstemperatur in den Wärmeübertrager (Totzeit – je nach Länge der Rohre)
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe überhitzen (⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

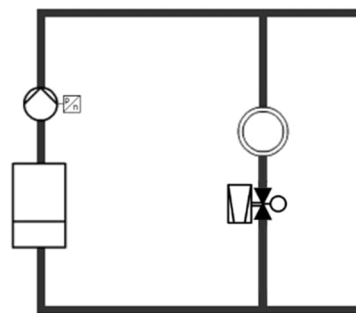
Einsatzgebiet

- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Fernheizungsanschluss (direkt oder mit Wärmeübertrager)
- Speicherladung und Speicherentladung
- Anlagen mit Kondensationskessel

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



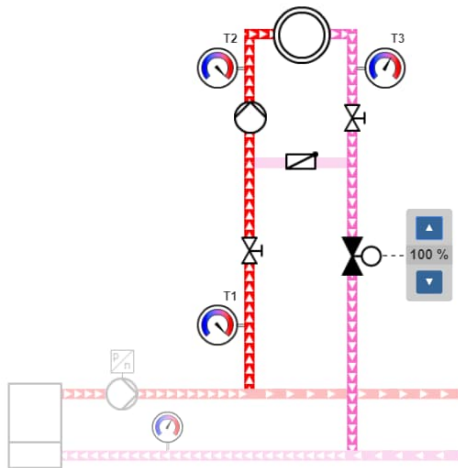
Synoptische Darstellung

5.5.3. Einspritzschaltung mit Durchgangsventil

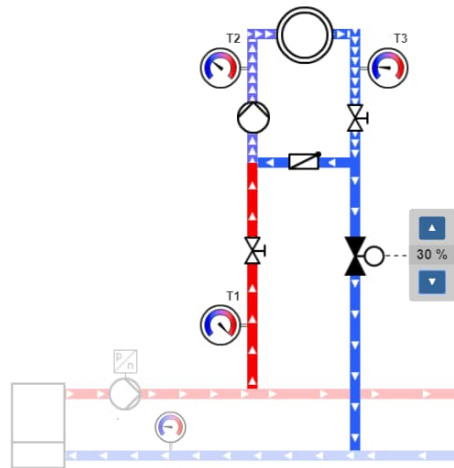
Funktionsweise

Durch die Pumpe im Erzeugerkreis wird – je nach Stellung des Durchgangsventils – mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis eingespritzt. Durch diese Schaltung erhält man im Verbraucherkreis einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur. Im Erzeugerkreis hingegen ergeben sich große Änderungen von Volumenstrom und Druck, was bei Anlagen mit mehreren Gruppen berücksichtigt werden muss.

Beispiel: Heizungsgruppe für Raumheizung



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit Durchgangsventil



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

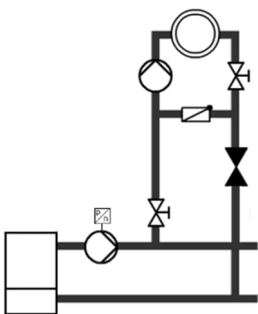
Eigenschaften

- Relativ tiefe Rücklauftemperatur T3 (bei Heizung) (kalt ... Verbraucher-Rücklauftemperatur bei 100 % Last)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Konstanter Volumenstrom im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe im Erzeugerkreis überhitzen (⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

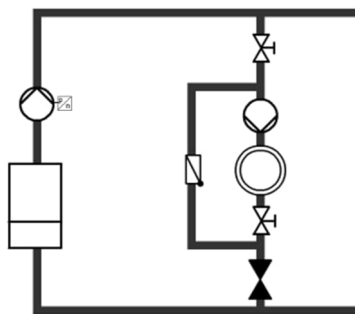
Einsatzgebiet

- Wärmespeicher und Wärmepumpen
- Niedertemperatur-Kesselanlagen (Brennwert-Kessel, kondensierende Kessel)
- Direkte Fernheizungsanschlüsse
- Radiator- und Fußbodenheizung
- Luftkühler ohne/mit Entfeuchtung

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

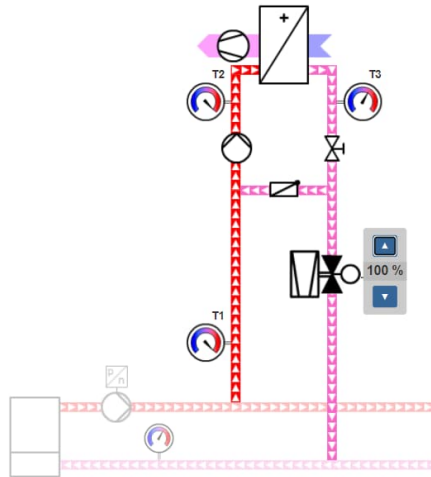
5.5.4. Einspritzschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)

Funktionsweise

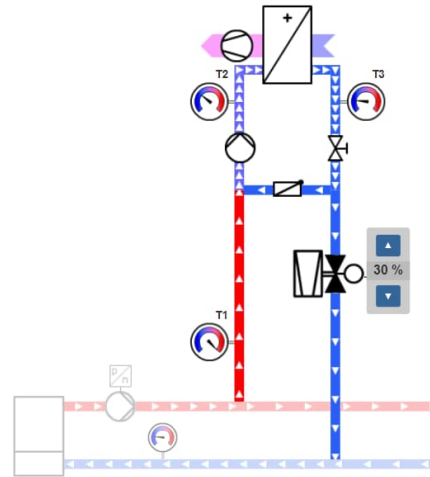
Durch die Pumpe im Erzeugerkreis wird – je nach Stellung des PICV – mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis eingespritzt. Durch diese Schaltung erhält man im Verbraucherkreis einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Im Erzeugerkreis hingegen ergeben sich große Änderungen von Volumenstrom und Druck, was bei Anlagen mit mehreren Gruppen berücksichtigt werden muss.

Beispiel: Lufterwärmer



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit PICV



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

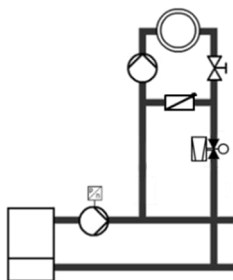
Eigenschaften

- Relativ tiefe Rücklaftemperatur T3 (bei Heizung)
(von kalt ... Verbraucher-Rücklaftemperatur bei 100 % Last)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Konstanter Volumenstrom im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe im Erzeugerkreis überhitzen
(⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

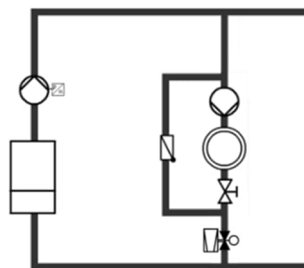
Einsatzgebiet

- Wärmespeicher und Wärmepumpen
- Niedertemperatur-Kesselanlagen (Brennwert-Kessel, kondensierende Kessel)
- Direkte Fernheizungsanschlüsse
- Radiator- und Fußbodenheizung
- Luftkühler ohne/mit Entfeuchtung

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



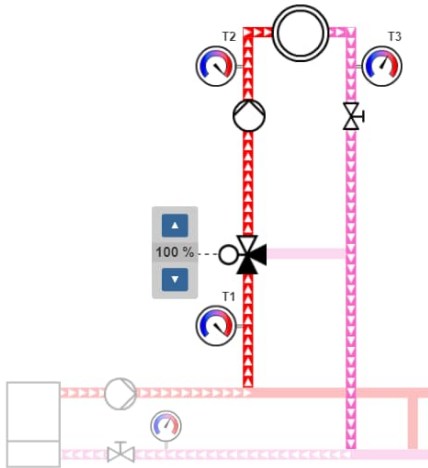
Synoptische Darstellung

5.5.5. Beimischschaltung

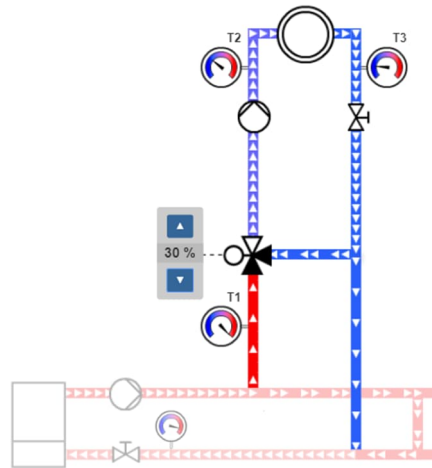
Funktionsweise

Ein Dreiweg-Stellglied unterteilt die Schaltung in Primärkreis (Erzeugerkreis) und Sekundärkreis (Verbraucherkreis). Heißes Erzeugerwasser und abgekühltes Rücklaufwasser werden gemischt, um die gewünschte Vorlauftemperatur in den Verbraucher zu steuern und damit dessen Leistung zu bestimmen.

Beispiel: Heizungsgruppe für Raumheizung



Ventil voll offen
Beimischschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

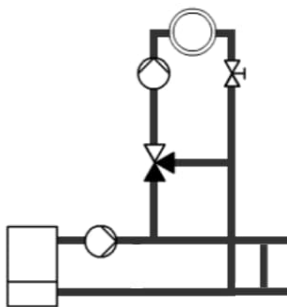
- Tiefe Rücklafterperatur T3 bei kleiner Last (bei Heizung)
- Hohe Rücklafterperatur T3 bei kleiner Last (bei Kühlung)
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur T2 im Verbraucherkreis
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regelfühler (T2): Die lange Transportzeit (= Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

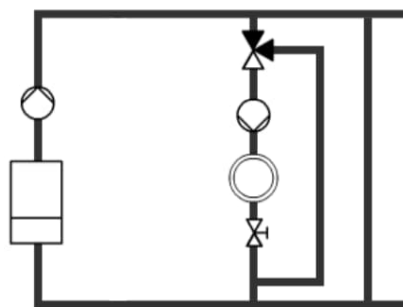
Einsatzgebiet

- Regelung von einfachen Heizungsgruppen
- Lufterwärmer mit Einfriergefahr

Darstellungsarten



Geographische Darstellung

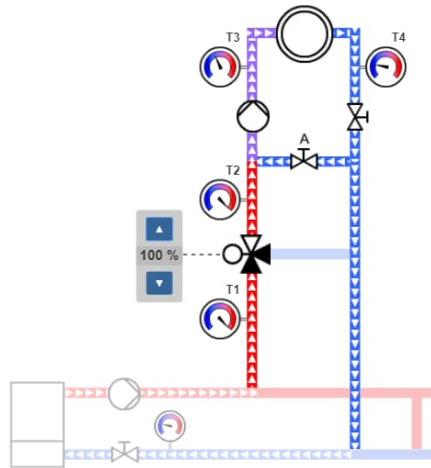


Synoptische Darstellung

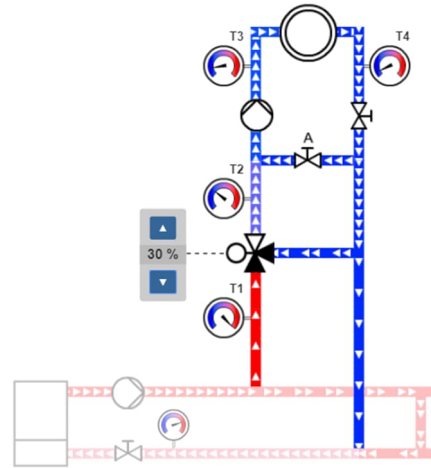
Beimischschaltung mit fester Vormischung

Ein Dreiweg-Stellglied unterteilt auch hier die Schaltung in Primärkreis (Erzeugerkreis) und Sekundärkreis (Verbraucherkreis). Zusätzlich wird durch die feste Vormischung immer ein bestimmter Anteil abgekühltes Rücklaufwasser dem Vorlauf beigemischt. Dies ist dann sinnvoll, wenn die gewünschte Vorlauftemperatur zum Verbraucher im Auslegezustand um einiges tiefer liegt als die vom Erzeuger angelieferte Vorlauftemperatur. So wird erreicht, dass das Dreiweg-Stellglied über den gesamten Stellbereich (geschlossen ... voll offen) arbeitet.

Beispiel: Heizungsgruppe für Fußbodenheizung



Ventil voll offen
Beimischschaltung mit fester Vormischung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

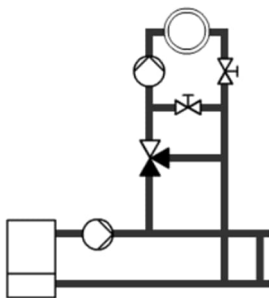
- Allgemein tiefe Rücklauftemperatur T4
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis.
- Konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur T3 im Verbraucherkreis
- Stellglied arbeitet über gesamten Hub

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regelfühler (T3): Die lange Transportzeit (= Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

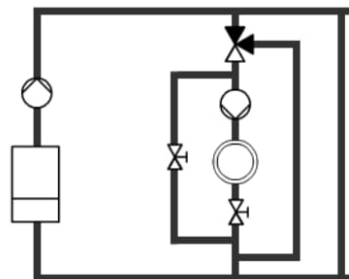
Einsatzgebiet

- Verbraucherkreise mit tieferer Vorlauftemperatur als der Erzeugervorlauf
- Regelung von Fußbodenheizungen und Heizkörperheizungen mit Hochtemperatur-Erzeugern (z.B. Holz-Heizungskessel)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

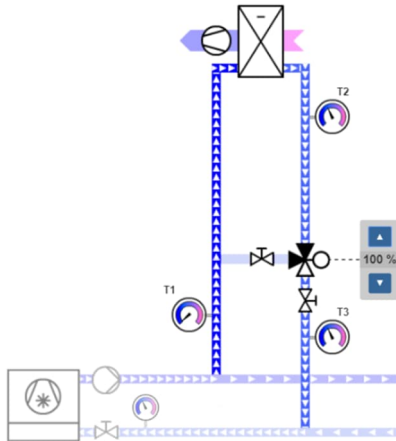
5.5.6. Umlenkschaltung (veraltet)

Funktionsweise

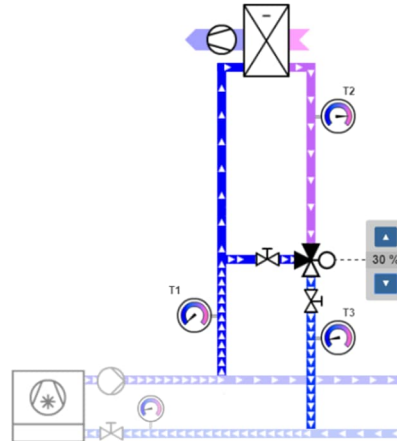
Der Volumenstrom des Vorlaufs wird je nach Ventilstellung zwischen Verbraucher und Bypass verteilt. Die Leistung im Verbraucher wird über den Durchfluss geregelt.

Bei geschlossenem Ventil sind die Temperaturen von Vor- und Rücklauf annähernd gleich, da der Verbraucher via Bypass umgangen wird.

Beispiel: Luftkühler mit Entfeuchtung



Ventil voll offen
Umlenkschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

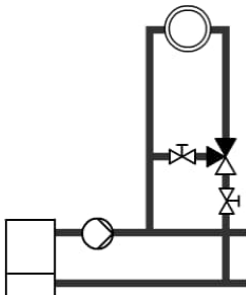
Eigenschaften

- Beeinflussung der thermischen Leistung im Verbraucher durch Änderung des Volumenstroms
- Variabler Durchfluss im Verbraucherkreis
- Konstanter Durchfluss und Druck im Erzeugerkreis
- Kühlen: Mittlere bis tiefe Temperatur T3 im Erzeugerrücklauf (Heizen: Mittlere bis hohe Temperatur T3 im Erzeugerrücklauf)
- Beim Anfahren Vorlauftemperatur vom Erzeuger mit wenig Verzögerung am Wärmeverbraucher (sofern das Stellglied genügend nahe beim Verbraucher ist)

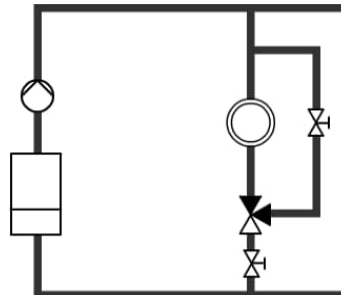
Einsatzgebiet

- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Wärmerückgewinnungssysteme
- Brauchwassererwärmung
- nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklauftemperatur)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

5.5.7. Einspritzschaltung mit Dreiwegventil (veraltet)

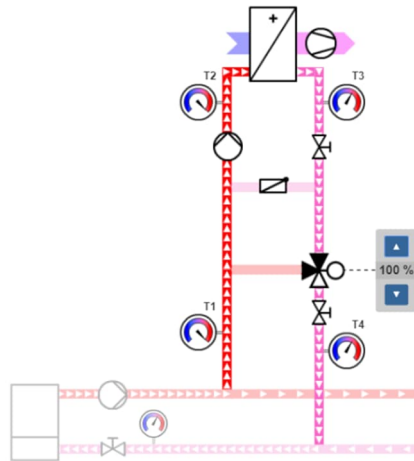
Funktionsweise

Die Pumpe unten links sorgt für den Druck im Erzeugerkreis, inklusive dem Druckabfall über dem Stellglied. Die Pumpe oben sorgt für den Druck im Verbraucherkreis.

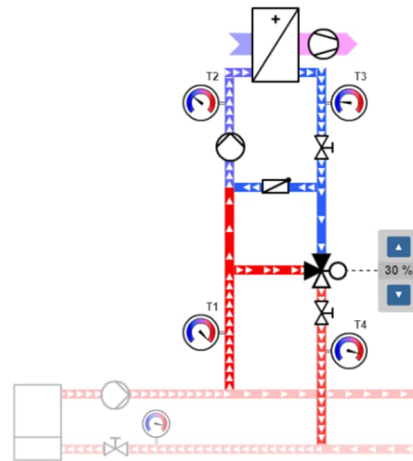
Die Erzeugerpumpe spritzt je nach Stellung des Dreiwegventils mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis ein. Dieses wird mit abgekühltem Verbraucher-Rücklaufwasser gemischt, welches von der Verbraucherpumpe über den Bypass angesaugt wird.

Im Verbraucherkreis erhält man einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Beispiel: Lufterwärmer mit Einfriergefahr



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit 3-Weg-Ventil



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

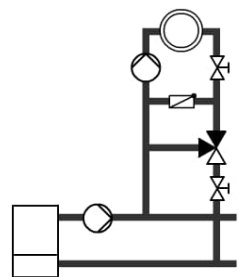
Eigenschaften

- Konstanter Durchfluss, sowohl im Erzeugerkreis wie auch im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom durch den Bypass
- Relativ hohe Rücklaufftemperatur T4 zurück zum Erzeuger (entspricht bei Last = 0 % dem Erzeuger-Vorlauf und bei Last = 100 % dem Verbraucher-Rücklauf)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern

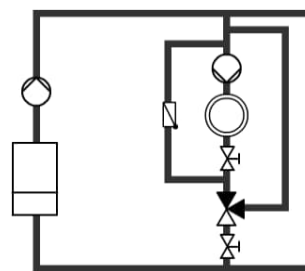
Einsatzgebiet

- Radiator- und Fußboden-Heizungen
- Lufterwärmer mit Einfriergefahr
- Luftkühler ohne geregelte Entfeuchtung
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklaufftemperatur)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

5.6. Verteiler

In der Praxis sind es meist mehrere Verbraucher, die von einem Erzeuger versorgt werden.

Der Verteiler ist das Bindeglied zwischen Erzeuger und mehreren Verbrauchern. Er verteilt das Medium im Erzeuger-Vorlauf in die verschiedenen Verbraucherschaltungen, sammelt das Medium aus allen Verbraucherschaltungen und führt es zum Erzeuger zurück.

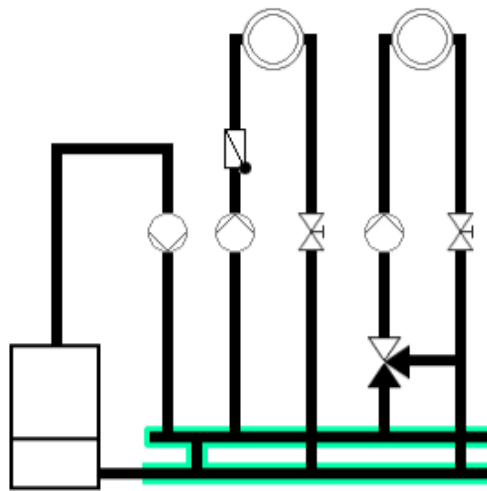


Fig. 5-11 Verteiler als Bindeglied zwischen Erzeuger- und Verbraucherseite

Anforderungen

Die Verbraucherseite und die Erzeugerseite stellen gewisse Anforderungen an den Verteiler, z.B. Druckverhältnisse, konstante oder variable Durchflussmenge, notwendige Vorlauf- und Rücklauf-Temperaturen usw.

⇒ Um all diese Anforderungen erfüllen zu können, sind verschiedene Verteilertypen notwendig.

Passende Kombinationen

Der Verteiler kann nicht für sich alleine betrachtet werden. Es ist wichtig, dass die zum Verteilertyp passenden Erzeuger- und Verbraucherschaltungen eingesetzt werden.

Aus der Sicht des Verteilers müssen die oben aufgeführten Eigenschaften aller angeschlossenen Verbraucher gleich (oder ähnlich) sein.

Deshalb betrachten wir die Verteiler im Rahmen hydraulischer Gesamtschaltungen:

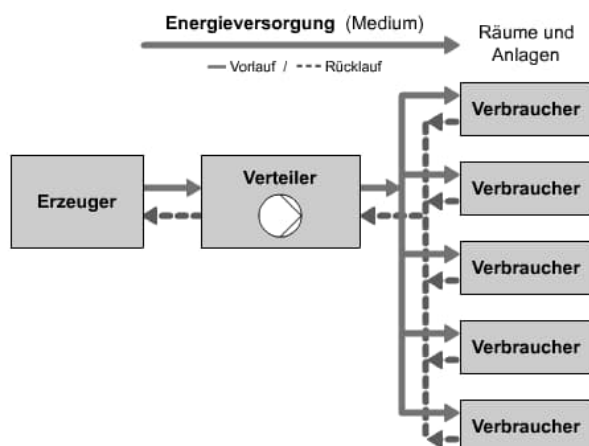


Fig. 5-12 Hydraulik-Schaltungs-Modell

5.6.1. Kombinationen von Verteilern und Verbraucher-Schaltungen

Die Übersicht enthält viele mögliche Erzeuger und Verbraucher (Aufzählung nicht abschließend). Es kann aber nicht jeder Erzeuger mit jedem Verbraucher kombiniert werden.

In diesem Teil konzentrieren wir uns auf drei Verteilertypen und sinnvolle zugehörige Verbraucher-Schaltungen, mit denen ausgewählte Erzeuger und Verbraucher zu anwendungsgerechten Lösungen verbunden werden können. Die Lösungen weisen eine unterschiedliche Energieeffizienz auf.

Erzeugung – Verteilung – Verbrauch / Abgabe

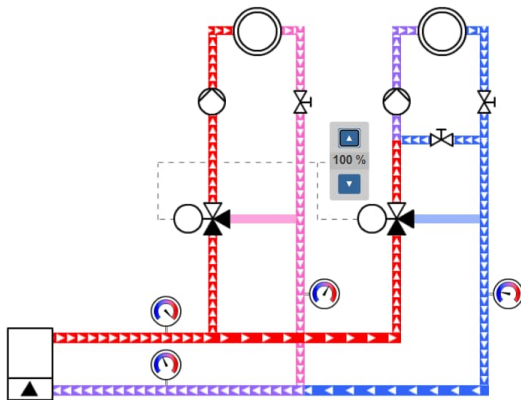
Erzeugung	Verteiler	Verbraucher	Abgabe
		Schaltung	Wärmeübertrager
Kessel (Öl, Gas, Pellets, ...)	Druckarm, Drucklos	Beimischschaltung	Heizkörper
Wärmepumpe (heizen, kühlen)		Beimischschaltung mit fester Vormischung	Flächenheizung
Wärmeübertrager	Druckbehaftet $\dot{V}$ variabel	Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil	Warmwasser- erwärmung
Blockheizkraft- werk (BHKW)		Drosselschaltung	Deckenkühlung
Wärmerückge- winnung (WRG)	Druckbehaftet $\dot{V}$ konstant *	Einspritzschaltung mit 3-Weg-Ventil *	Luftkühler
Fernwärme		Umlenkschaltung mit Mischventil *	Lufterwärmer
...		Umlenkschaltung mit Verteilventil *	...

Fig. 5-13 Übersicht Erzeuger, Verteiler und Verbraucher

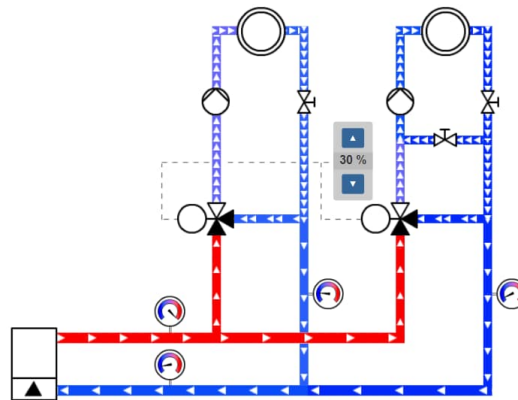
* sollten nicht mehr verwendet werden; nicht energie-effizient aus Sicht der Hauptpumpe

5.6.2. Druckarmer Verteiler

Beispiel: Heizungsgruppen für Raumheizung mit Gastherme



Ventile voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- tiefe Rücklauftemperatur zum Erzeuger (bei Heizung)
- variabler Volumenstrom über Erzeuger und Hauptverteiler-Leitungen
- minimal erforderlicher Durchfluss durch Erzeuger ist zu beachten

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Verteilerleitungen großzügig dimensionieren
- Verbrauchergruppen mit konstantem oder ganzjährigem Heizbedarf sind am Verteileranfang anzuschließen (Vermeidung von unnötiger Durchströmung des Verteilers)

Anwendung

Erzeuger, die eine tiefe Rücklauftemperatur erfordern und die kleinen internen Widerstand haben

Energieeffizienz - hoch

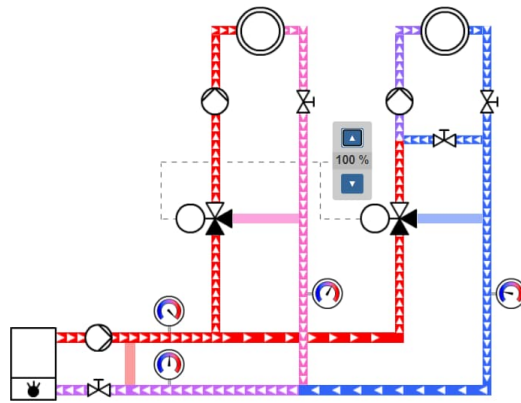
Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine hohe Energieeffizienz auf.

Begründung:

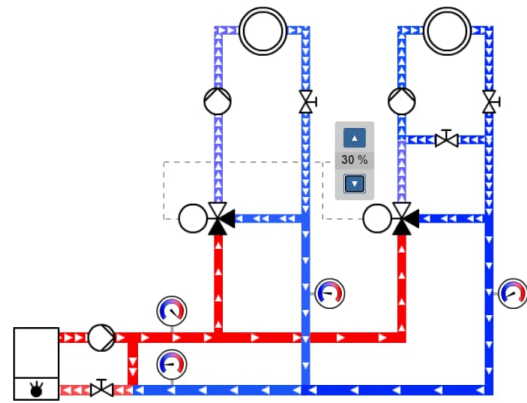
- Der Volumenstrom über den Erzeuger und die Verteilung ist variabel
- Die Rücklauftemperatur aus den Verbrauchern zurück zum Erzeuger ist immer bei Auslegetemperatur oder tiefer.
- Die Wärmeverluste im Verteilnetz werden tief gehalten.

5.6.3. Druckloser Verteiler

Beispiel: Heizungsgruppen für Raumheizung



Ventile voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger (bei Heizung)
- Konstanter Volumenstrom über Erzeuger
- Klare hydraulische Entkopplung zwischen Erzeuger und Verbraucher durch Bypass (Kurzschluss) zwischen Vor- und Rücklauf

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Verteilerleitungen und vor allem Bypass (Kurzschluss) großzügig dimensionieren
- Verbrauchergruppen mit konstantem oder ganzjährigem Heizbedarf sind am Verteileranfang anzuschließen (Vermeidung von unnötiger Durchströmung des Verteilers)
- Verbraucher mit Bedarf für hohe Versorgungstemperaturen (z.B. Lüftung oder Warmwasser) sind eventuell vor der Bypass-Leitung, d.h. auf der Erzeugerseite des Verteilers anzuschließen

Anwendung

- Erzeuger, die eine hohe Rücklauftemperatur erfordern, wie z.B. Öl-Heizkessel, Holz-Heizkessel

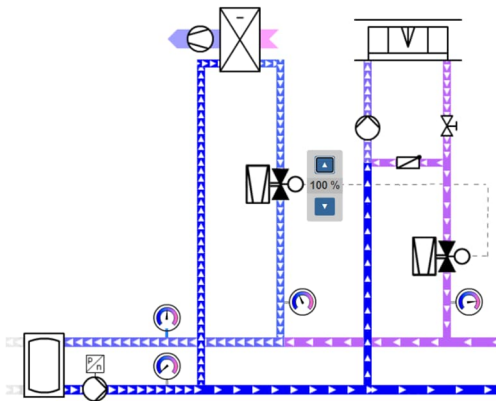
Energieeffizienz – mäßig

Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine mäßige Energieeffizienz auf.

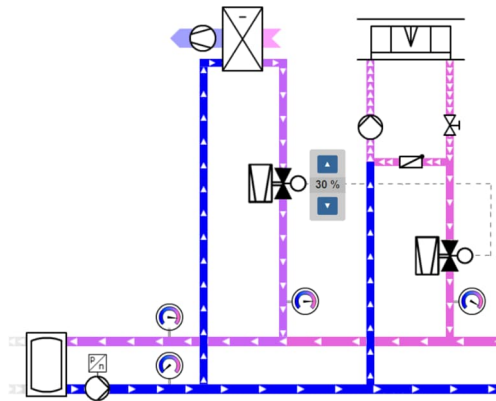
Begründung:

- Der vom Verteiler aus dem Erzeuger bezogene Volumenstrom ist variabel und weist eine hohe Temperatur auf. Das führt im Erzeuger und Verteiler zu wesentlichen Verlusten an thermischer Energie.
- Der von der Erzeugerpumpe dauernd geförderte Volumenstrom wird nur bei Volllast benötigt. Der Verlust an Pumpen-Förderenergie ist ebenfalls wesentlich.

5.6.4. Druckbehafteter Verteiler mit variablem Volumenstrom



Ventile (PICVs) voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- Kühlen: Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
Heizen: Tiefe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
- Variabler Volumenstrom im Verteiler

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Stellglieder der Verbrauchergruppen korrekt dimensioniert
- Hauptpumpe drehzahlregelt oder mit einstellbarem Bypass für minimale Zirkulation (die Drehzahlregelung reduziert den Energieverbrauch und schaltet bei Nulllast aus, damit die Pumpe keinen Schaden nimmt.)

Anwendung

- Kaltwasserversorgung für Luftkühler und Kühldecken (berücksichtigen Sie die unterschiedlichen Nutzungstemperaturen)
- Warmwasserversorgung für Raumheizungsgruppen, Lufterwärmer, Deckenheizsysteme
- Zubringer in Fernleitungsnetz (z.B. Nahwärmeverbund)

Energieeffizienz – sehr gut

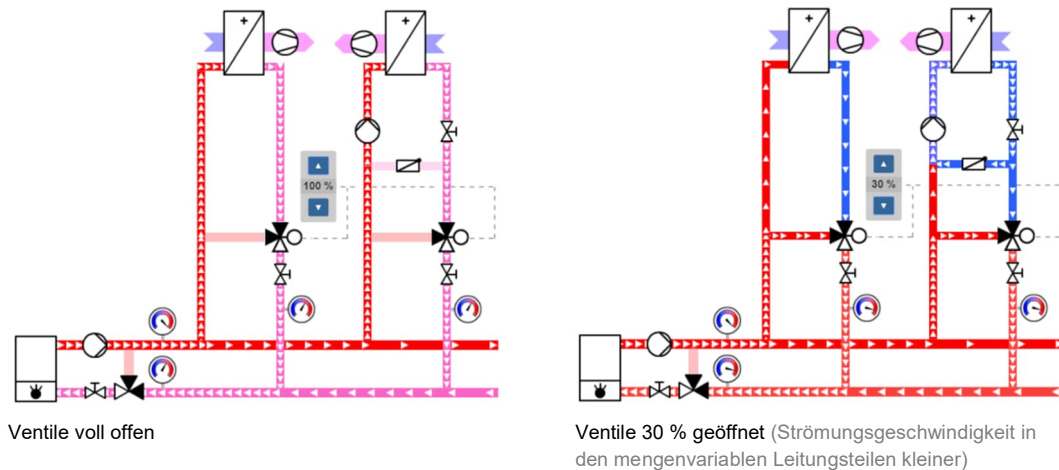
Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine sehr gute Energieeffizienz aus. Sie ist zukunftsorientiert!

Begründung:

- Der Volumenstrom im Verteiler ist variabel. Er entspricht der Summe der variablen Volumenströme aller angeschlossenen Verbraucherschaltungen. Damit wird nur so viel Medium aus dem Speicher (Erzeuger) bezogen, wie die Verbraucher tatsächlich benötigen.
- Die Temperaturspreizung zwischen Verteiler-Vorlauf und -Rücklauf ist bei Nennlast genügend hoch und nimmt mit sinkender Last zu (entsprechend den Rücklauf-Temperaturen der mengenvariablen Verbraucherschaltungen). Die vom Erzeuger bereit gestellte Temperaturspreizung (thermische Energie) im Speicher bleibt groß und wird von dieser hydraulischen Schaltung energieeffizient genutzt.

5.6.5. Druckbehafteter Verteiler mit konstantem Volumenstrom (veraltet)

Beispiel: Vor- und Nacherwärmer in Lüftungsanlage



Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
- Konstanter Volumenstrom im Erzeuger
- Hauptpumpe muss beim Einsatz von Verteilschaltungen auch den Druckverlust über den Verbraucher übernehmen
- Hydraulischer Abgleich ist anspruchsvoll

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Stellglieder der Verbrauchergruppen korrekt dimensioniert.
- Nur empfehlenswert, wenn bezüglich Pumpenleistung bedeutende Verbraucher ohne Gruppenpumpe betrieben werden können.
- Erzeuger muss für hohe Rücklauftemperaturen geeignet sein.

Anwendung

- Sollte für Neu-Anlagen nicht mehr zum Einsatz kommen (vgl. Energieeffizienz)
- Erzeuger mit Rücklaufminimalbegrenzung
- Luft-Vorerwärmer (Umlenkschaltung links), der bei Frostrisiko schnell mit hoher Mediumtemperatur durchflossen werden muss
- Luftkühler mit Entfeuchtung (Umlenkschaltung), der schnell mit tiefer Mediumtemperatur durchflossen werden muss

Energieeffizienz – unbefriedigend!

Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine unbefriedigende Energieeffizienz aus.

Begründung:

- Im gesamten Verteiler, sowie im Ein- und Ausgang aller Verbraucherschaltungen fließt dauernd der Nennvolumenstrom. Die Temperaturspreizung zwischen Verteiler-Vorlauf und Verteiler-Rücklauf ist bei Nulllast sehr gering und bei Teillast klein. Das führt in Erzeuger, Verteiler und Anschlussleitungen zu den Verbrauchern zu beachtlichen Verlusten an thermischer Energie.
- Die Hauptpumpe muss dauernd auf Nennvolumenstrom betrieben werden. Der dazu notwendige Mehraufwand an Pumpen-Förderenergie ist ebenfalls beachtlich.

5.7. Stellglied

5.7.1. Bauformen von Stellgliedern

Das Stellglied hat die Aufgabe, so in den Volumenstrom zwischen Wärmeerzeuger und Wärmeverbraucher einzugreifen, dass die Wärmeabgabe zwischen 0 und 100 % verändert wird. Jedes Stellglied hat ein Regeltor, das mehr oder weniger offen sein kann – oder auch nur offen oder geschlossen.

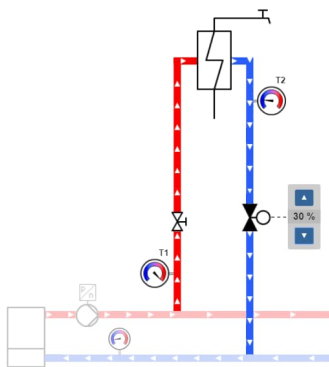
Als Stellglied kommen Hähne (Drehbewegung) oder Ventile (Hubbewegung) zum Einsatz. Bei den Ventilen wird unterschieden zwischen:

- Durchgangsventil
- Dreiwegventil

Die Kombination von Stellglied und Stellantrieb wird oft als Stellgerät bezeichnet.

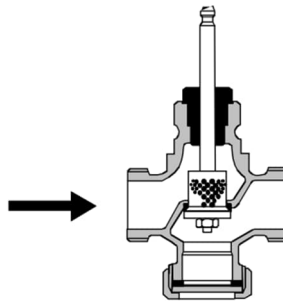
Durchgangsventil

Beim Durchgangsventil wird durch eine Hubänderung der Strömungsquerschnitt verringert oder vergrößert. Daraus resultiert ein mengenvariabler Volumenstrom.



Durchflussregelung

Fig. 5-14 Durchgangsventil



Schnittbild Durchgangsventil



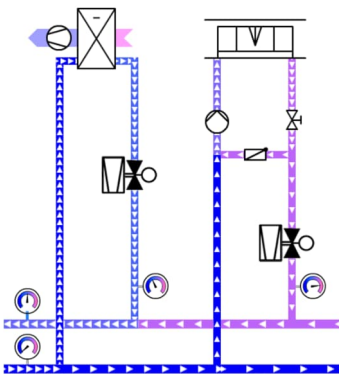
Durchgangsventil

PICV (druckunabhängiges Regelventil)

Bei hydraulischen Schaltungen mit Durchgangsventilen werden heute oft druckunabhängige Regelventile, sogenannte PICVs (pressure independent control valve), eingesetzt.

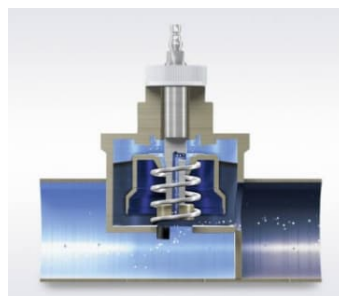
Das PICV kombiniert ein Regelventil mit einem Differenzdruckregler, der die Bedingungen über dem Regelventil konstant hält, auch wenn es im Leitungsnetz Druckschwankungen gibt. Dadurch wird eine gegenseitige hydraulische Beeinflussung der Verbraucher eliminiert. Des Weiteren kann am PICV der Nennvolumenstrom direkt eingestellt werden, wodurch auf eine separate Abgleichdrossel verzichtet werden kann – somit ist der hydraulische Abgleich auch schon gemacht.

Damit der Differenzdruckregler des PICV richtig arbeitet, benötigt dieser einen minimalen Druck $\Delta p_{\min}$ von der Pumpe.



Hydraulische Schaltungen mit PICVs

Fig. 5-15 Durchgangsventil PICV



Schnittbild PICV (vereinfacht)



Gewinde-PICV

Dreiwegventil

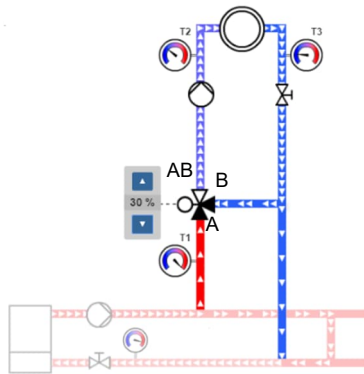
Das Dreiwegventil hat ein mengenkonstantes Ventiltor. Je nachdem, ob das Ventil als Misch- oder Verteil-Ventil eingebaut ist, ergibt sich ein anderes Resultat einer Hubänderung.

Mischen:

Der austretende Volumenstrom bleibt konstant; er wird aus zwei mengenvariablen Strömen zusammengemischt.

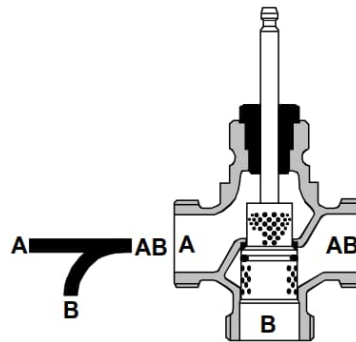
Verteilen:

Ein mengenkonstanter Eintrittsvolumenstrom wird in zwei mengenvariable Austrittsströme aufgeteilt.
(Hinweis: Nicht alle Dreiwegventile sind zum Einbau als Verteil-Ventil geeignet).



Mischregelung

Fig. 5-16 Dreiwegventil



Schnittbild Dreiwegventil mit Torbezeichnungen



Dreiwegventil

Torbezeichnungen

Tore können unterschiedlich bezeichnet sein. Beispielsweise A, B, AB (Bild oben) oder mit I, II, III.

Wichtige Werte für die Auslegung eines Ventils sind:

- erforderlicher Durchfluss
- Druckabfall über der mengenvariablen Strecke

5.7.2. Durchflussskennwerte k_V - und k_{VS}

k_V -Wert: Durchfluss-Kennwert bei bestimmtem Hub

Der k_V -Wert entspricht dem Wasserdurchfluss durch ein Ventil bei einer Druckdifferenz von 1 bar über dem Regeltor. Er wird in m^3/h oder auch in l/min angegeben.

Der k_V -Wert eines Ventils ändert sich je nach Ventilstellung (Hub).

k_{VS} -Wert: Durchfluss-Kennwert bei offenem Ventil

Der k_V -Wert, der sich bei voll geöffnetem Ventil ergibt (also bei Nennhub H_{100}), heißt k_{VS} -Wert.

Die Hersteller von Ventilen und Drosselorganen geben diese konstruktionsabhängige Größe k_{VS} für jedes Stellglied an.

Um verschiedene Fabrikate und Typen vergleichen zu können, werden Ventile einheitlich spezifiziert:

- k_V -Werte relativ zum k_{VS} -Wert: $k_V / k_{VS} = 0 \dots 1$
- Hub H relativ zum Nennhub H_{100} : $H / H_{100} = 0 \dots 1$

Wird k_V / k_{VS} über den Hubbereich $0 \dots 1$ dargestellt, so nennt man dies die Ventilkennlinie (auch Ventil-Grundkennlinie).

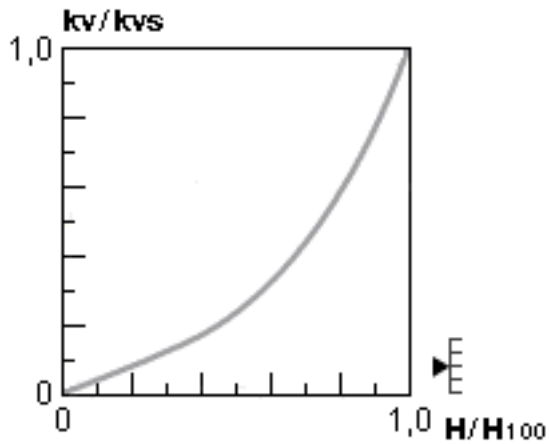


Fig. 5-17 Typische Ventilkennlinie

5.7.3. Stellverhältnis S_V und kleinster regelbarer Durchfluss k_{Vr}

Das Stellverhältnis S_V wird bestimmt aus dem Nenn-Durchfluss k_{VS} im Verhältnis zum kleinsten regelbaren Durchfluss k_{Vr} .

$$\text{Stellverhältnis } S_V = k_{VS} / k_{Vr}$$

Übliche Werte für das Stellverhältnis sind 50 ... >150

Das Stellverhältnis S_V ist eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung des regelbaren Bereiches eines Stellgliedes und ist hauptsächlich abhängig von der Bauart des Ventilkegels und des Ventils.

Kleinsten regelbarer Durchfluss k_{Vr}

Der kleinste regelbare Durchfluss k_{Vr} ist der Volumenstrom im Öffnungssprung des Ventils (dort, wo die Neigung der Ventilkennlinie plötzlich steil abfällt).

Er wird entweder als Verhältnis zum k_{VS} dargestellt (k_{Vr}/k_{VS}) oder in m^3/h angegeben.

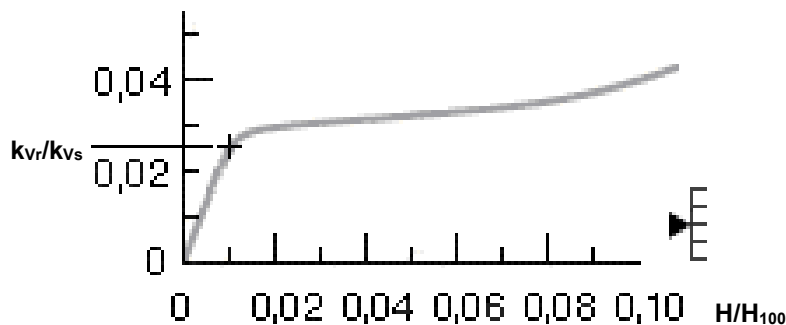


Fig. 5-18 Kleinsten regelbarer Durchfluss k_{Vr} eines Ventils

Unterhalb von k_{Vr} wird der Betrieb einer stetigen Regelung problematisch, weil das Stellglied nur noch Mengensprünge dosiert (auf / zu).

5.7.4. Ventilkennlinien

Man unterscheidet zwischen:

- Kennlinien-Grundform
mathematisch berechnet, also theoretisch
- Grundkennlinie
Durchfluss unter Normbedingungen (1 bar, 25 °C), gemessen für jede Ventilstellung

Die gebräuchlichsten Kennlinien-Grundformen sind nachfolgend kurz beschrieben:

linear

Gleiche Änderung des Hubes führt zu gleicher Änderung des k_V -Wertes.

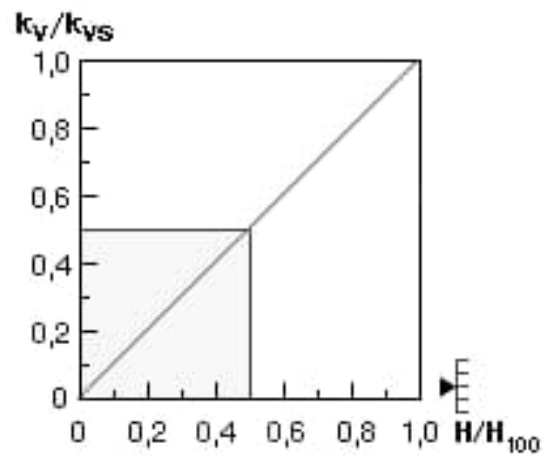
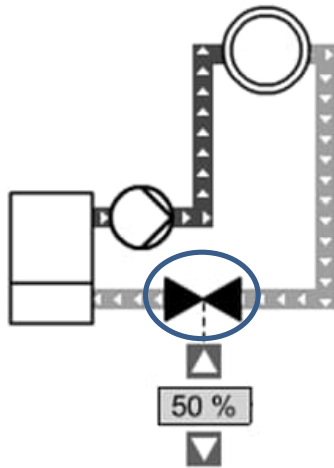
gleichprozentig

Eine bestimmte Hubänderung ergibt eine prozentual gleich große Änderung des jeweiligen k_V -Wertes, d.h. je größer der Hub (je offener das Ventil), desto stärker wirkt sich die Hubänderung auf den Durchfluss aus. Im unteren Hubbereich ist die Kennlinie noch flach, nach oben wird sie immer steiler.

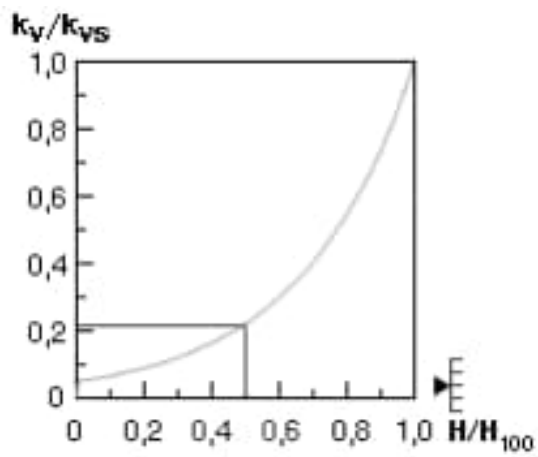
gleichprozentig/linear

Kennlinien-Grundform, die im unteren Hubbereich linear ist und ab ca. 30 % des Hubs gleichprozentig wird.

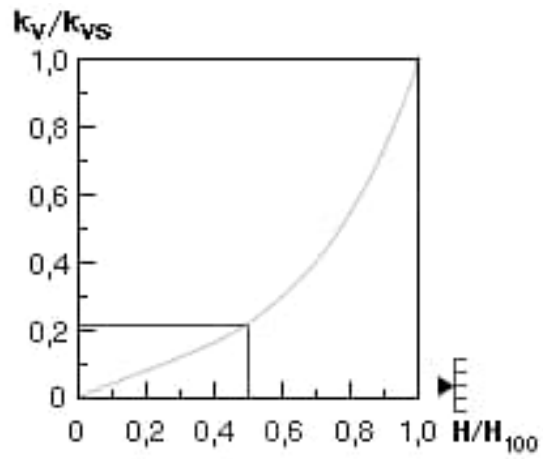
Die Kennlinien-Grundform ist Basis für die Konstruktion des Ventilkegels, der dann die Grundkennlinie des Ventils bestimmt.



linear



gleichprozentig



gleichprozentig-linear (0...30%)

Fig. 5-19 Ventilkennlinien im Vergleich

5.8. Streckenkennlinie

Wird ein Ventil in eine Anlage eingebaut, so sollte die Ventilkennlinie die Wärmeübertrager-Kennlinie kompensieren. Die daraus resultierende Leistungsabgabe am Wärmeübertrager kann wiederum als Graph dargestellt werden – die Streckenkennlinie (auch Regelkennlinie genannt).

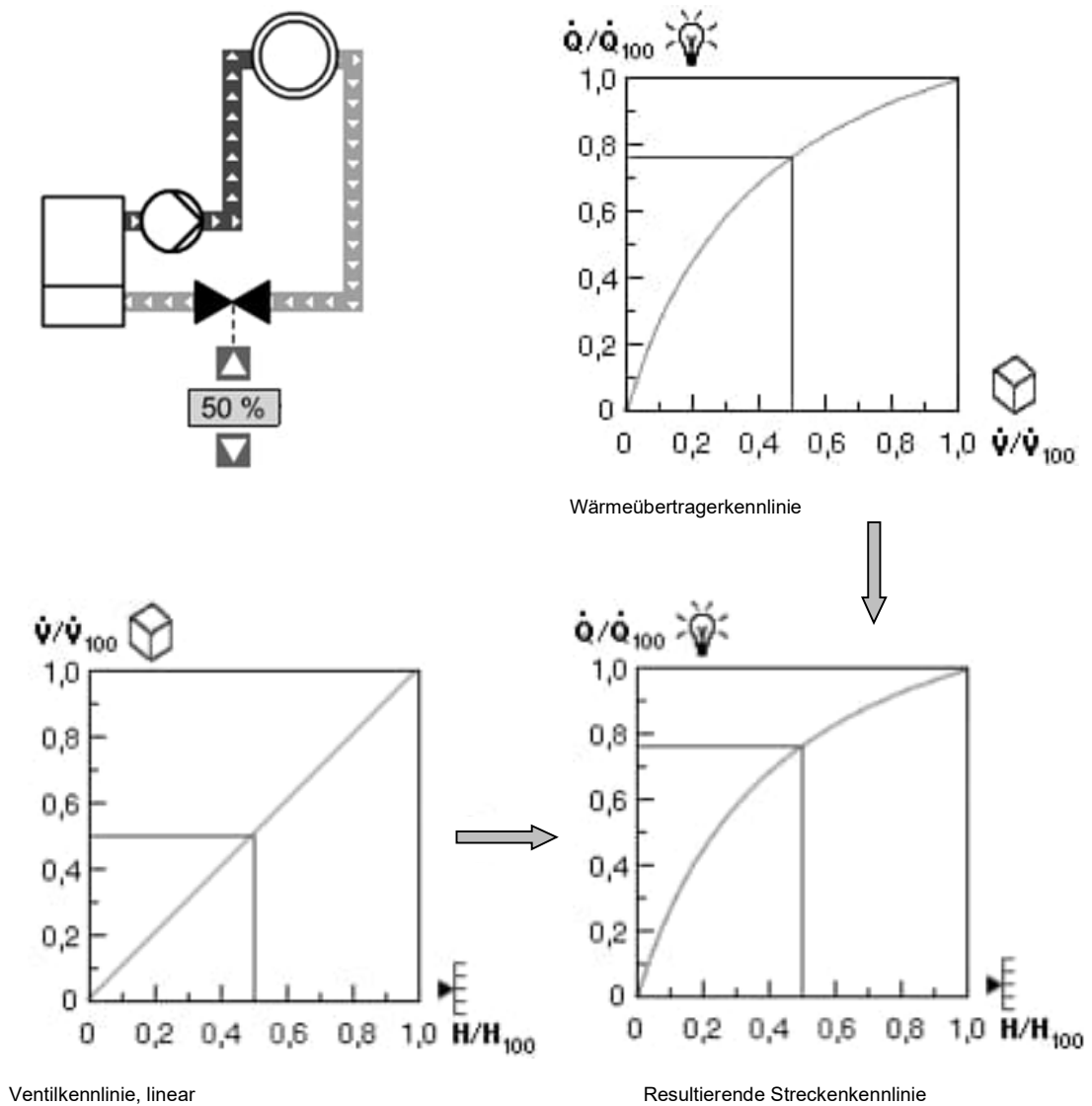
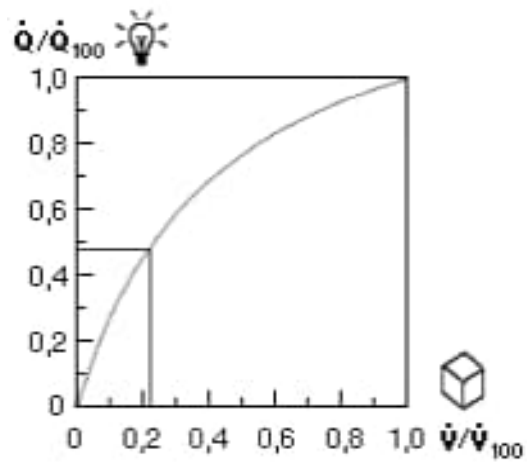
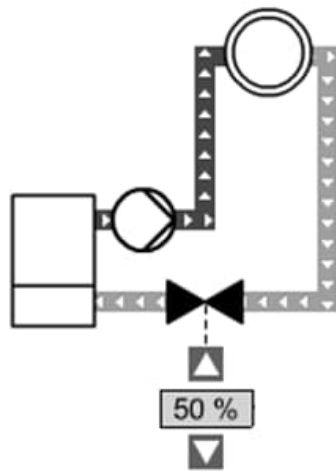
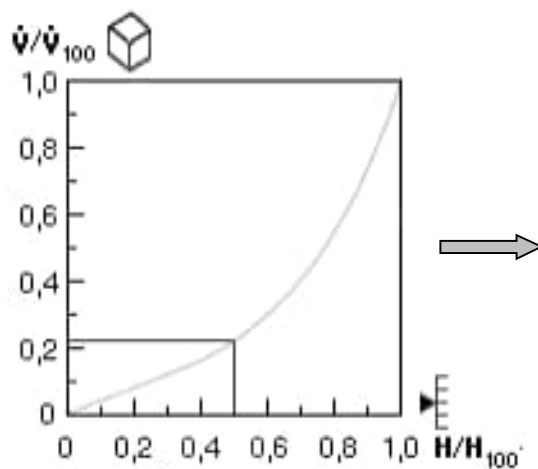


Fig. 5-20 Streckenkennlinie aus Wärmeübertrager-Kennlinie und Ventil mit linearer Grundkennlinie

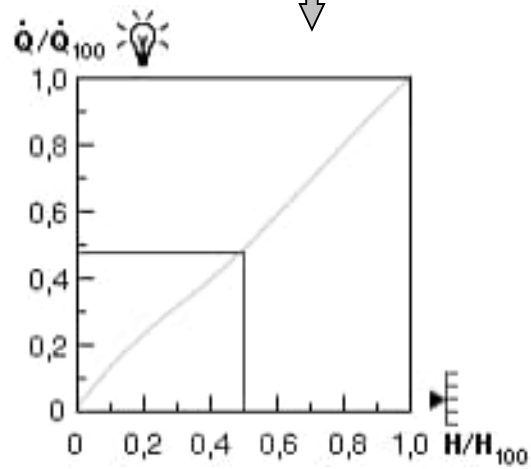
Hier wurde eine lineare Ventilkennlinie gewählt. Mit dieser Wahl wird die nicht-lineare Wärme-tauscherkennlinie nicht kompensiert und die resultierende Streckenkennlinie ist auch nicht linear.



Wärmeübertragerkennlinie



Ventilkennlinie, gleichprozentig-linear (0...30 %)



Resultierende Streckenkennlinie

Fig. 5-21 Streckenkennlinie aus Wärmeübertrager-Kennlinie und Ventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie

Hier wurde eine geeignete Ventilkennlinie gewählt. Die resultierende Streckenkennlinie ist annähernd linear. Die Strecke ist gut regelbar.

6 Lüftungsanlagen und Klimaanlage



Fig. 6-1 Luftaufbereitungsgerät in einer Technikzentrale (Quelle: Siemens)

6.1. Aufgaben von Lüftungs- und Klimaanlage

Lüftungs- und Klimaanlage haben die Aufgabe, die thermischen Bedingungen und die Raumluftqualität, sowie die Feuchte im Raum so zu beeinflussen, dass im Voraus getroffene Festlegungen (Soll- und Grenzwerte) erfüllt werden.

6.2. Übersicht über Lüftungs- und Klimaanlage (Einteilung nach EN 13779)

Kategorie	Thermodynamische Funktionen					Anlagenbezeichnung
	Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	
THM-C0	x					Einfache Lüftungsanlage
THM-C1	x	x				Lüftungsanlage mit Heizfunktion, bzw. Luftheizungsanlage
THM-C2	x	x		x		Teilklimaanlage mit Befeuchtungssystem
THM-C3	x	x	x		(x)	Teilklimaanlage mit Kühlfunktion
THM-C4	x	x	x	x	(x)	Teilklimaanlage mit Kühl- und Befeuchtungsfunktion
THM-C5	x	x	x	x	x	Klimaanlage mit allen Funktionen (Vollklimaanlage)
x	Wird in der Teilklimaanlage geregelt.					
(x)	Wird in der Teilklimaanlage beeinflusst, aber nicht geregelt.					

6.3. Begriffserklärungen (nach EN 16798-3)

6.3.1. Anlagen

Lüftungsanlage

Kombination von Geräten zur Versorgung von Innenräumen mit Außenluft und zur Abführung verschmutzter Raumluft.

Anmerkung:

Die Anlage kann aus maschinellen Komponenten (z. B. einer Kombination aus Luftbehandlungsgerät, Luftleitungen und Luftdurchlässen) bestehen. „Lüftungsanlage“ kann sich auf Anlagen für freie Lüftung beziehen, bei denen Temperaturunterschiede und Wind mittels Fassadengittern in Verbindung mit einer maschinellen Entlüftung (z. B. in Korridoren, Toiletten usw.) genutzt werden. Sowohl die maschinelle als auch die freie Lüftung kann mit automatisierten Fenstern kombiniert werden. Eine Kombination von maschinellen und nichtmaschinellen Komponenten ist möglich (Hybridanlagen).

Klimaanlage

Kombination von Geräten zur Versorgung eines Raumes mit klimatisierter Luft.

Raumkühlsystem

Kombination von Geräten, die dafür ausgelegt wurden, um die Behaglichkeitsbedingungen in einem Raum innerhalb eines festgelegten Bereichs zu wahren.

Anmerkung:

Dieser Begriff umfasst Klimaanlage und flächenorientierte passive Systeme.

6.3.2. Luftströme

Die Bezeichnungen für die verschiedenen Luftströme sind gemäß EN 16798-3 und deren Kürzel sind aus den englischen Bezeichnungen abgeleitet (in Klammer sind die englischen Begriffe und die bisher verwendeten resp. in gewissen Ländern weiterhin auch noch zulässigen Kürzel aufgeführt). Weiter ist auch noch die Farbe angegeben, die für diesen Luftstrom in Grafiken und Plänen verwendet werden soll (nach EN 16798-3).

Außenluft **ODA** (von **Outdoor Air**; bisher **AUL**) Farbe: **grün**
Unbehandelte Luft, die von außen in die Anlage oder in eine Öffnung einströmt.

Zuluft **SUP** (von **Supply Air**; bisher **ZUL**) Farbe: **blau**
Luftstrom, der in den zu behandelnden Raum eintritt, oder Luft, die in die Anlage eintritt, nachdem sie behandelt wurde.

Raumluft **IDA** (von **Indoor Air**; bisher **RAL**) Farbe: **grau**
Luft im behandelten Raum oder Bereich.

Abluft **ETA** (von **Extract Air**; bisher **ABL**) Farbe: **gelb**
Luftstrom, der den behandelten Raum oder Bereich verlässt.

Umluft **RCA** (von **Recirculated Air**; bisher **UML**) Farbe: **orange**
Abluft, die der Luftbehandlungsanlage wieder zugeführt und als Zuluft wiederverwertet wird.

Fortluft **EHA** (von **Exhaust Air**; bisher **FOL**) Farbe: **braun**
Luftstrom, der ins Freie strömt.

6.4. Lufttechnische Anlagenelemente

6.4.1. Einleitung und Abgrenzung

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten lufttechnischen Anlagenelemente beschrieben. Es handelt sich dabei nur um eine kurze Übersicht, ohne detaillierte Angaben über die Dimensionierung und die spezifischen Einsatzkriterien. Kenntnisse zur deren Verwendung im Zusammenhang mit Steuer- und Regelfunktionen werden im Trainingsmodul "Regeln und Steuern von Lüftungs- und Klimaanlage" vermittelt.



Fig. 6-2 Luftaufbereitungsgerät in einer Technikzentrale (Quelle: Siemens)

Steht man in einer Technikzentrale vor einem Luftaufbereitungsgerät, dann erkennt man auf den ersten Blick nur wenige Elemente (z.B. Frequenz-Umrichter, Rohrleitungen mit Pumpen, ...). Es stellt sich dann die Frage, was sich hinter all den Abdeckungen und Türen des Luftaufbereitungsgerätes verbirgt und welche Bauteile notwendig sind, um die Luft zu transportieren und auf die gewünschte Temperatur, Luftfeuchte, ... zu bringen.

Für die weiteren Erklärungen werden teilweise auch Grafiken und Bilder genutzt, welche im SIEMENS Selbstlern-Programm „Einführung in die HLK- und Gebäudetechnik“ verwendet werden.

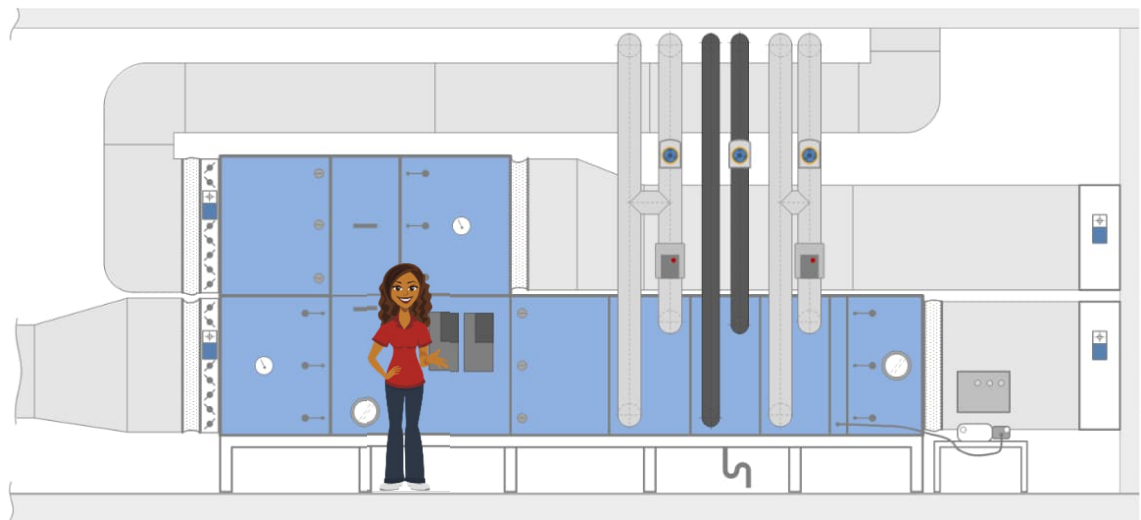


Fig. 6-3 Luftaufbereitungsgerät in einer Technikzentrale
(Grafik aus SIEMENS Selbstlern-Programm; Quelle: Siemens, Articulate)

Um den Aufbau einer Lüftungs- oder Klimaanlage zu zeigen und zu beschreiben, wird oft ein Prinzipschema verwendet, welches die verschiedenen Bauteile eines Luftaufbereitungsgerätes und deren grundsätzliche Anordnung mit zugehörigen Symbolen zeigt. Nachfolgend das Prinzipschema zur Anlage, welche in der Grafik oben gezeigt ist (dort ohne Umluft-Bypass). Im Schema sind die verschiedenen Luftströme mit ihren zugehörigen Abkürzungen und Farben gezeigt. Die Abgrenzung - - - des Luftaufbereitungsgerätes ist auch angedeutet.

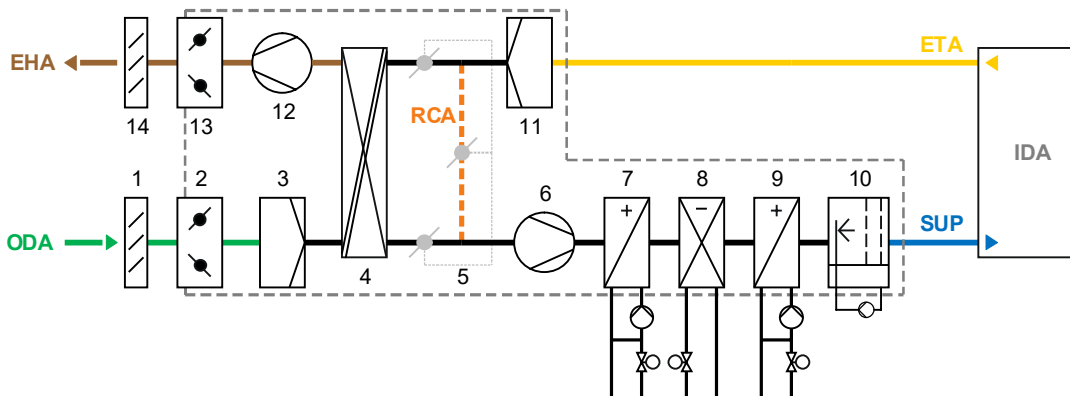


Fig. 6-4 Prinzipschema einer Klimaanlage mit Anlageelementen und Benennung der Luftströme

1, 14	Wetterschutzgitter (Außen-/Fortluft)	6, 12	Zuluft-Ventilator, Fortluft-Ventilator
2, 13	Luftklappen (Gliederklappen)	7	Lufterwärmer (Vorerwärmer)
3, 11	Luftfilter (Außen-/Abluft)	8	Luftkühler (Kaltwasser)
4	Wärmerückgewinnung WRG	9	Lufterwärmer (Nacherwärmer)
5	Umluftklappe (optional)	10	Luftbefeuchter (Verdunstung, adiabatisch)
- - -	Luftaufbereitungsgerät		
ODA	Außenluft (AUL)	ETA	Abluft (ABL)
SUP	Zuluft (ZUL)	RCA	Umluft (UML)
IDA	Raumluft (RAL)	EHA	Fortluft (FOL)

Die nachfolgende Beschreibung folgt dem Luftstrom von der Außenluftfassung an der Gebäude-Fassade, durch das Luftaufbereitungsgerät bis zu den belüfteten Räumen und von dort wieder zurück zum Luftaufbereitungsgerät und durch dieses bis zum Fortluftauslass an der Gebäude-Fassade.

6.4.2. Wetterschutzgitter

Beginnen wir da, wo die Außenluft an der Gebäudefassade oder in einem Dachaufbau angesaugt oder die Fortluft ausgeblasen wird. Wetterschutzgitter für Außenluft und Fortluft verhindern den Eintritt von Regen, Schnee, Blättern und Kleintieren (Mäuse, Vögel, ...) in die Luftkanäle. Deshalb ist auf der Rückseite ein Maschendrahtgitter angebracht. Oft werden diese auch formschön ausgeführt, als Teil der Gebäudefassade. An gewissen Standorten oder Lagen ist es notwendig, die Wetterschutzgitter zu beheizen, da diese sonst in kurzer Zeit zufrieren können.

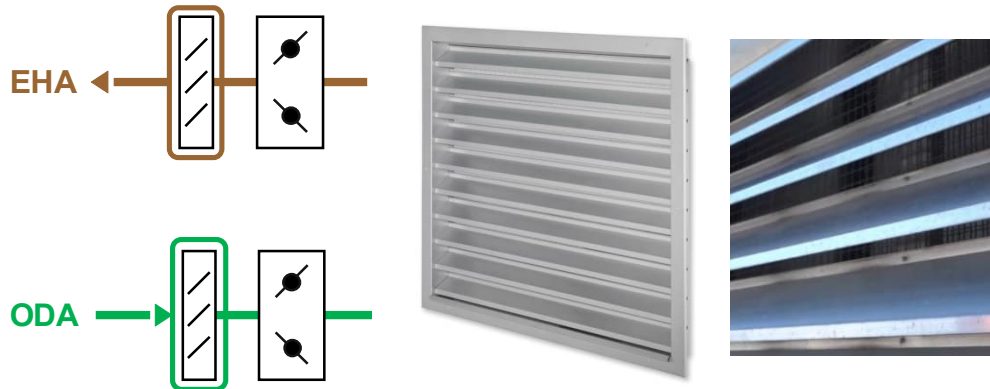


Fig. 6-5 Wetterschutzgitter (Außenansicht Bild links), Rückseite mit Maschendrahtgitter versehen (Bild rechts)

6.4.3. Luftklappen

Gliederklappen am Luftaufbereitungsgerät

Der Anschluss des Außenluft- und des Fortluftkanals an das Luftaufbereitungsgerät erfolgt oft mit Gliederklappen (Jalousieklappen). Diese werden geschlossen, wenn die Anlage ausgeschaltet wird. Dies, um das Luftaufbereitungsgerät gegen außen abzuschließen und auch, um unerwünschte Luftzirkulationen bei ausgeschalteter Anlage zu verhindern.

Der Anschluss der Luftkanäle an das Luftaufbereitungsgerät erfolgt mit flexiblen Verbindungen („Segeltuch-Stutzen“; heute meistens PVC-Gewebe oder ähnliches). Dies, um kleine Ausrichtungs-differenzen und Ausdehnungen der Kanäle auszugleichen und auch um Geräusch- und Vibrations-Übertragungen zu verhindern.

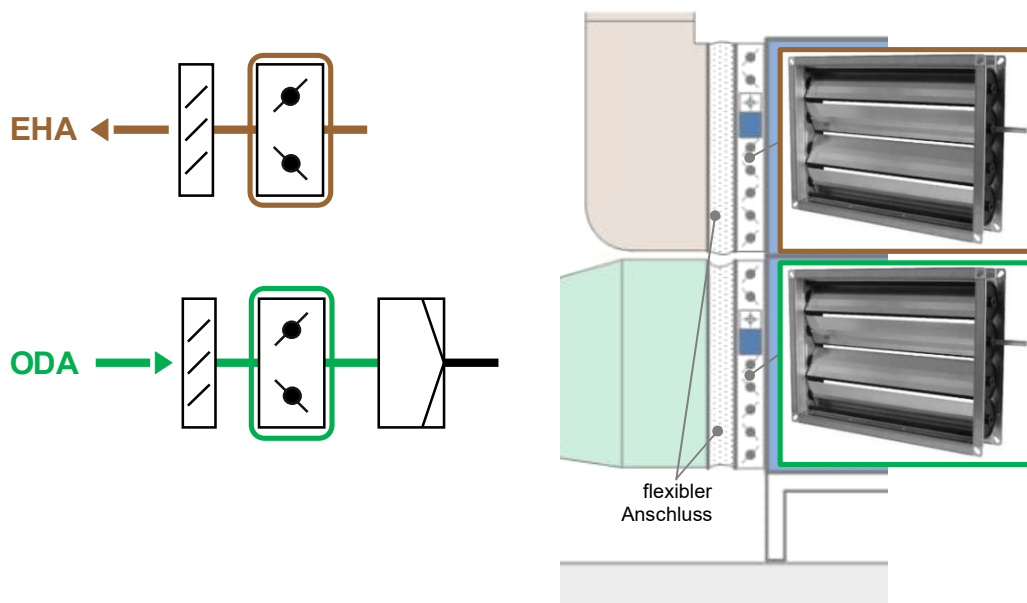


Fig. 6-6 Geräteanschlüsse für Außenluft und Fortluft mit flexibler Verbindung („Segeltuch-Stutzen“) und Gliederklappe (Jalousieklappe, gegenläufig mit Zahnradmechanik; Quelle: Drehsohn)

In Lüftungs- und Klimasystemen werden Klappen auch im Lüftungskanalnetz eingebaut:

Absperr- und Drosselklappen

Aufgrund der Aufgabe unterscheidet man zwischen:

- Absperrklappen
- Drosselklappen

Absperrklappen schließen durch Stellmotor den Kanalquerschnitt, wenn die Anlage ausgeschaltet wird oder aber auch in einem Wartungs-, Reparatur- oder Störfall. Je nach Anforderung müssen diese auch luftdicht oder sogar gasdicht ausgeführt sein.

Bei Drosselklappen ist zu beachten, dass eine gute Drosselwirkung nur dann eintritt, wenn der Widerstand der teilweise geöffneten Klappe einen gewissen Teil des Gesamtwiderstandes im zugehörigen Kanalsystem ausmacht.

Bauarten

Klappen gibt es in runder und rechteckiger Ausführung. Auf die Klappenachse wird ein Stellantrieb aufgebaut, der die Klappe um 90° drehen kann.



Fig. 6-7 Absperr-/Drosselklappe in rundem Luftkanalstück (Quelle: Trox)



Klappenantrieb (Quelle: Siemens)

Brandschutz- und Sicherheitsklappen



Fig. 6-8 Brandschutzklappe (Quelle: Siemens)

Sicherheits- und Brandschutzklappen (BSK) für das rasche und dichte Schließen der Luftkanäle im Brandfall. Sie werden nicht für normale Regelzwecke verwendet und werden dort eingebaut, wo ein Luftkanal eine Trennwand zwischen zwei Brandabschnitten im Gebäude durchstößt. Diese Klappen sind geschlossen, wenn die Anlage ausgeschaltet ist, um die brandschutztechnische Abschottung der Brandabschnitte außerhalb der Betriebszeiten der Lüftungs- und Klimaanlage sicherzustellen. Der Klappenantrieb ist mit einem Federrücklauf (oder einem Kondensator) ausgestattet. Dieser stellt sicher, dass die Brandschutzklappe selbsttätig schließt, wenn die Stromversorgung ausfällt. Hilfsschalter zur Signalisation der Endpositionen (offen/geschlossen) sind vorhanden, damit diese Position im Gebäudeautomations-System angezeigt und überwacht werden kann.

Die Brandschutzklappe kann mit einem optionalen Thermosensor bestückt sein, welcher die Temperatur im Kanal und in der Umgebung überwacht. Übersteigt die Temperatur den Grenzwert (z.B. 72 °C), dann wird die Stromzufuhr unterbrochen und die BSK schließt.

6.4.4. Luftfilter

Aufgabe

Luftfilter sind Geräte und Komponenten der Luftaufbereitung, mit denen teilchen- und gasförmige Verunreinigungen aus der Luft gefiltert und abgeschieden werden.

Die natürliche Luft weist Verunreinigungen in Konzentrationen zwischen 0,05 und 3,0 mg/m³ auf; industriell werden Luftfilter für Konzentrationen bis ca. 20 mg/m³ wirtschaftlich eingesetzt.

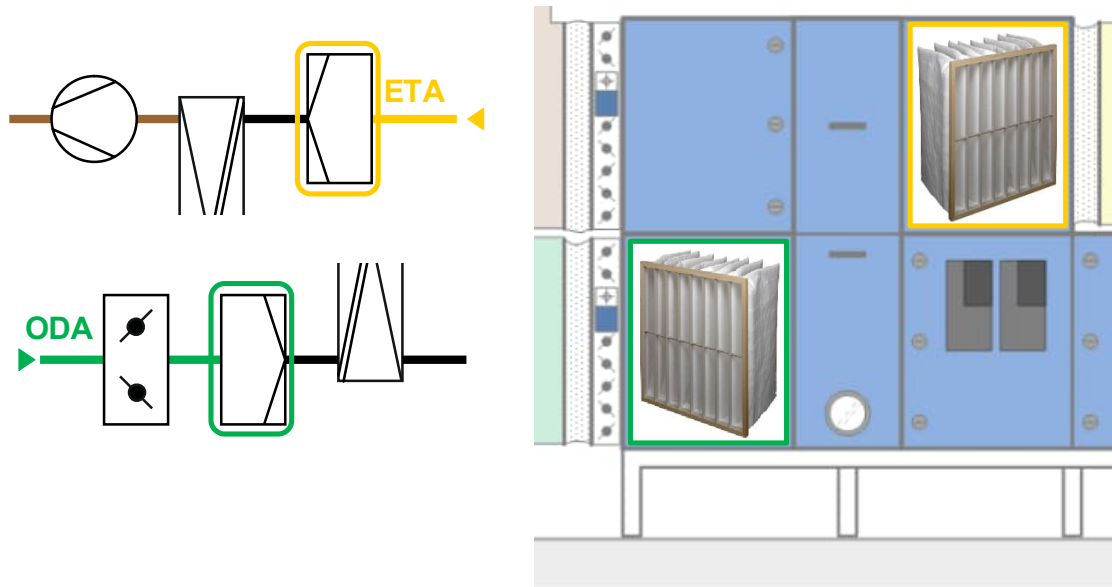


Fig. 6-9 Filter für Außenluft und Abluft in einem Luftaufbereitungsgerät

Druckdifferenzen am Luftfilter

Aufgrund der zunehmenden Staubanlagerung auf dem Filter, nimmt der Strömungswiderstand und somit die Druckdifferenz über dem Filter im Laufe der Zeit zu. Wie stark dies die Energieeffizienz beeinflusst, hängt von der Anlage ab. In der ISO 16890-3 Norm wird ein Prüfverfahren zur Messung der Druckdifferenz bei zunehmender Staubanlagerung beschrieben, welches jedoch nur unter den spezifizierten Laborbedingungen gültig ist.

Für Auslegung und Planung sei auf die jeweiligen Herstellerangaben verwiesen. Die meisten Hersteller geben für einen bestimmten Luftvolumenstrom die Grunddruckdifferenz an.

Der unterschiedliche Verlauf des Druckanstiegs lässt Variationen bei der Auslegung von Filteranlagen zu. Dabei werden die Einflussfaktoren Investitionskosten, Energiekosten, Betriebs- und Unterhaltskosten – je nach Anlagesituation – unterschiedlich gewichtet.

Einteilung nach Filterklassen

Luftfilter werden, aufbauend auf den Prüfmethoden gemäß EN ISO 16890 anhand der Filtereffizienz in die folgenden drei Partikelgrößenklassen eingeteilt:

- ePM1: Min. 50% Filtereffizienz für Partikelgrößen $\leq 1 \mu\text{m}$
(% der zurückgehaltenen Feinstaubpartikeln, bzw. Abscheidegrad)
- ePM2.5: Min. 50% Filtereffizienz für Partikelgrößen zwischen $1 - 2,5 \mu\text{m}$
(% der zurückgehaltenen Feinstaubpartikeln, bzw. Abscheidegrad)
- ePM10: Min. 50% Filtereffizienz für Partikelgrößen zwischen $2,5 - 10 \mu\text{m}$
(% der zurückgehaltenen Feinstaubpartikeln, bzw. Abscheidegrad)

Filter, die weniger als 50% der Partikelgrößenklasse PM10 zurückhalten, werden als Grobstaubfilter (engl. "coarse") bezeichnet.

Da insbesondere der Feinstaub (engl. "particulate matter", PM) in der Atemluft eine Auswirkung auf die Gesundheit hat, werden die Partikel nach ihrer Einwirktiefe in die Gewebe der menschlichen Lunge klassifiziert (siehe Fig. 6-10). Partikel kleiner als $1 \mu\text{m}$ sind am gefährlichsten. Sie können in den Blutkreislauf aufgenommen werden und Lungen- sowie kardiovaskuläre Krankheiten auslösen.



Fig. 6-10 Luftfilterklassen-Einteilung nach EN ISO 16890 (Quelle: Siemens)

Anzahl Filter und Art

Ob nun Grob- resp. Feinstaub-Filter eingebaut werden hängt davon ab, wie verschmutzt die Außenluft ist und welche Zuluft-Reinheit erreicht werden soll.

Bei der Verschmutzung der Außenluft (ODA) unterscheidet man drei Stufen – ODA1, ODA2 und ODA3 – von wenig bis sehr stark verschmutzt. Für die Zuluft (SUP) gibt es fünf Abstufungen von SUP1 ... SUP5 (hohe ... niedrige Reinheit). Für typische Räume wird üblicherweise SUP1 oder SUP2 gefordert (vgl. EN 16798-3).

Um nun Zuluft SUP1 oder SUP2 bereit zu stellen, können in einer Anlage z.B. zwei Filter hintereinander eingebaut werden: ein Grobstaubfilter PM10 + ein Feinstaubfilter PM1, oder es wird nur ein Feinstaubfilter PM1 eingesetzt, dafür aber mit höherem Abscheidegrad.

Übliche Betriebsdauer

Luftfiltereinsätze sind regelmäßig auszuwechseln. Früher wurde oft der ansteigende Widerstand über den Filter (Δp_{Filter}) als Maß für die Verschmutzung und damit für den Austauschzeitpunkt verwendet. Deshalb findet man bei vielen Lüftungsgeräten auch mechanische Δp -Anzeigen beim Filterteil und entsprechende Δp -Messungen in der Gebäudeautomation. Heute werden Filter, unter Berücksichtigung der Hygiene-Vorschriften, meistens nach bestimmten Standzeiten getauscht. Dies, weil der Filterwiderstand vor allem bei variablen Volumenstrom-Systemen (VVS-Systemen) sehr stark variiert (vgl. 6.4.5, 2. Proportionalitätsgesetz) und dieser damit kein wirklich sinnvoller Indikator für die Filterverschmutzung ist. Die Luftfilter der ersten Filterstufe sind spätestens nach einem Jahr, die der weiteren Filterstufen nach zwei Jahren auszuwechseln (Ausnahme Schwebstoff-Filter).

Filterbauarten

Die Filterbauarten sind sehr vielfältig. Es werden verschiedenste Bezeichnungen verwendet, die sich am Material, der Einbauart, der Benutzung, der Filterklasse und anderen Faktoren orientieren.

Nachfolgend eine beispielhafte Auswahl möglicher Bezeichnungen für Filterbauarten.

Material	Metallfilter • Ölbadfilter Faserfilter • Elektrofaserfilter Aktivkohlefilter
Einbauart	Vertikalfilter • Wandfilter • Deckenfilter Kanalfilter
Benutzung	Wegwerffilter Dauerfilter (regenerierbar)
Filterklasse	siehe Fig. 6-10 Luftfilterklassen-Einteilung nach Partikelgröße und Abscheidegrad
Betriebsart	Stationäre Filter Automatische Filter Umlauffilter, Bandfilter, Rollbandfilter Elektrofilter
Bauart	Schrägstromfilter • Trommelfilter • Kesselfilter Rundluftfilter • Taschenfilter • V-Form-Filter

Fig. 6-11 Mögliche Bezeichnungen für Luftfilter (Quelle Recknagel)

Faserfilter

Das Filtermedium dieser in verschiedenen Formen hergestellten Filter ist ein Vlies, welches aus Fasern unterschiedlicher Werkstoffe, wie Glas, Kunststoff, Naturprodukten oder Metallen hergestellt wird. Als generelle Grundforderung sind lange Betriebszeiten und niedrige Druckdifferenzen zu sehen. Dies wird dadurch realisiert, dass möglichst viel Filterfläche in einem konfektionierten Filter untergebracht wird.

Typische Bauformen sind:

- Ebene Filterzellen
- Taschenfilter

Ebene Filterzellen

Hier wird das Filtermedium mit einer Gesamtdicke von ca. 50 mm innerhalb eines Kartonrahmens von gelochten Blechen oder Pappen abgestützt. Eine weitere Ausführungsform weist ein zickzackförmiges gefaltetes Medium auf ($\Rightarrow$ größere Oberfläche). Das Medium wird mit Abstandhaltern aus Pappe oder Kunststoffen auf Abstand gehalten.



Fig. 6-12 Filterzellen; Filterrahmen mit zickzackförmig gefaltetem Filtermaterial

Taschenfilter

Taschenfilter sind die verbreitetste Bauform für Faserfilter, wobei Einrichtungen wie keilförmig ausgeführte Naht, einzelne Heftfäden, eingeklebte oder genähte Vliesstreifen, usw. ein Aufblähen der Taschen verhindern. Der Filter besteht aus 6 bis 12 Taschen, welche in einem gemeinsamen Rahmen untergebracht sind.



Fig. 6-13 Taschenfilter

Taschenfilter haben eine besonders hohe Staubspeicherfähigkeit und geringe Einbaumasse.

- Flächenverhältnis Filterfläche/Ansichtsfläche: 20:1 ... 25:1
- Anströmgeschwindigkeit
 - ca. 2,5 m/s (auf Ansichtsfläche bezogen)
 - ca. 1 m/s (auf Filterfläche bezogen)

Taschenfilter sind üblicherweise nicht reinigungsfähig, haben jedoch eine lange Standzeit.

Schwebstofffilter

Schwebstofffilter werden ausschließlich als Endstufe eines mehrstufigen Filters eingesetzt (d.h. Vorfilter sind zwingend erforderlich). Eingesetzt werden sie hauptsächlich bei speziellen Anwendungen wie Laboratorien, Operationsräume, Reinräume und in pharmazeutischen Betrieben.

Schwebstofffilter werden oft in einzelnen Rahmen mit zickzackförmig angeordnetem Filtermaterial ausgeführt. Die wirksame Filterfläche ist dabei 20...50 Mal grösser als die Anströmfläche. Das ergibt bei einer Anströmgeschwindigkeit von ca. 1,5 m/s im Filtermedium eine Luftgeschwindigkeit von ca. 2,5 cm/s.

Beim Einbau ist auch auf dichtschießenden Anschluss zu achten und dieser ist unbedingt zu überprüfen.

Bei Reinräumen ist dem Druckabfall – wegen des hohen Volumenstromes und dem kontinuierlichen Betrieb – besondere Beachtung zu schenken, da dieser eine maßgebende Größe für den Energieverbrauch darstellt. Neuere Entwicklungen in diesen Filterklassen zielen daher auf eine geringere Anfangs-Druckdifferenz ab (z.B. 90...150 Pa). Dazu werden beispielsweise elektrostatische und mechanische Abscheide-Effekte kombiniert, die in einer noch tieferen Anfangs-Druck-differenz resultieren (z.B. 55...90 Pa).



Fig. 6-14 Schwebstofffilter (Quelle: Filteron)

Metallfilter

Metallfilter werden zur Abscheidung von Öl- und Fettnebeln, Grobstaub-Abscheidungen und Farbnebel-Abscheidungen eingesetzt.

Die Filterwirkung beruht darauf, dass der Luftstrom beim Durchströmen der Filterschicht in eine große Zahl von Teilströmen zerlegt wird, welche vielfachen Richtungsänderungen unterworfen sind. Der Abscheidungsmechanismus basiert auf dem Sperr- und Trägheitseffekt.



Fig. 6-15 Metallfilter (zwei mögliche Bauformen) und eingebaut in einer Ablufthaube über Kochstelle (Quelle: Reven)

Die Reinigung erfolgt durch Auswaschen mit Spülmitteln (z.B. bei Filtern von Küchenhauben) oder mit Öl oder Lösungsmitteln (je nach Art der Luftverunreinigung).

Aktivkohlefilter

Filter mit Aktivkohle dienen zur Adsorption von schädlichen oder unerwünschten gas- und dampfförmigen Verunreinigungen der Luft. Dazu zählen Gerüche aus Küchen, Toiletten, Versammlungsräumen, aber auch Gase und Dämpfe aus industriellen Prozessen.

Die Wirkung der Aktivkohle beruht, je nach Schadstoff- und Kohlezustand, auf der physikalischen und/oder chemischen Adsorption.

Die Basismaterialien für Aktivkohle sind Steinkohle, Kokosshalen oder auch Holz. In einem speziellen Prozess wird das Grundmaterial so aufbereitet, dass ein Körper mit zahlreichen Poren entsteht. Dadurch enthält der Grundwerkstoff eine sehr große (innere) Oberfläche, an der sich die Schadstoffmoleküle anlagern können. Trotzdem kann die Außenfläche klein dimensioniert werden.

Im Gegensatz zu der sichtbaren makroskopischen Gestalt und Oberfläche spricht man bei der durch die Poren gebildeten Oberfläche von der "inneren" oder spezifischen Oberfläche der Aktivkohle.

Anhaltspunkte:

- Volumen: 1 g Aktivkohle $\triangleq$ ca. 2 cm³
- Innere / spezifische Oberfläche: 900...1200 m²

Damit ein Aktivkohlefilter nun bestimmte Schadstoffe auch ausfiltern kann, muss die Adsorptionsoberfläche oft mit einem chemischen Mittel behandelt, d.h. imprägniert werden. Ein optimales Adsorptionsverhalten bedingt, dass die Aktivkohle, die Imprägnierung und der zu adsorbierende Stoff sehr gut aufeinander abgestimmt sind. Gase wie N₂, O₂ und CO₂ können mit Aktivkohle nicht adsorbiert werden, da sie ständig vorhanden sind und die Aktivkohle bereits mit diesen Molekülen belegt ist.

Aktivkohlefilter werden in verschiedenen Bauarten, z.B. als Aktivkohleplatten oder als regenerierbare Aktivkohle-Filterpatronen ausgeführt. Die Regenerierung erfolgt dem adsorbierten Schadstoff entsprechend mit sehr unterschiedlichen Verfahren (z.B. hohe Temperatur).



Fig. 6-16 Aktivkohlefilter (verschiedene Bauformen)

Vorfilter sind unbedingt erforderlich, um die Wirksamkeit der Aktivkohle nicht durch Staubverschmutzung zu beeinträchtigen. Richtig eingebaut und gewartet, haben Aktivkohlefilter eine Betriebszeit von 3...12 Monaten.

Elektrofilter

Elektrofilter mit Ionisierungsteil

Elektrofilter funktionieren meistens nach dem „Penney“-System und bestehen aus einem Ionisierungsteil mit positiv geladenen Wolframdrähten, in dem die ankommenden Staubeilchen durch Anlagerung von Ionen elektrisch aufgeladen werden, und einem Staubabscheidungsteil in Form eines Plattenkondensators.

Je nach Art der Partikel, die ausgefiltert werden müssen, kann die Oberfläche noch mit Staubbindemitteln benetzt werden. Die Reinigung erfolgt durch Abspritzen mit Wasser von etwa 30...40 °C und kann auch mit entsprechenden Vorrichtungen automatisiert erfolgen.

Elektrostatische Filter

Teilweise werden auch Elektrofilter eingesetzt, die nach dem elektrostatischen Prinzip arbeiten und keinen Ionisierungsteil besitzen. Als Filtermedien kommen hier faserige Stoffe zur Anwendung. Diese sind entweder durch ein spezielles Verfahren mit elektrischen Dipolen versehen oder in einem von außen aufgeprägten elektrostatischen Feld angeordnet. Je nach angelegter Spannung oder Struktur des Filtermediums werden – mit bzw. ohne elektrisches Feld – Abscheidegrade von 15 % bis 90 % erzielt.



Fig. 6-17 Elektrofilter (mögliche Bauform)

Elektrofilter bieten einen guten Entstaubungsgrad auch bei kleinsten Teilchen bis 0,1 μm und kleiner (z.B. Tabakrauch, Nebel, Pollen, Bakterien). Sie bieten einen geringen Luftwiderstand, sind aber in der Anschaffung teuer.

Vermehrt werden Elektrofilter auch in Kleinanlagen für den Wohnbereich angeboten, da diese auch Pollen, usw. entfernen. Dabei ist zu beachten, dass der Stromverbrauch der Elektrofilter den Bestrebungen nach Energieeinsparung mit Hilfe von kontrollierten Wohnungslüftungsanlagen (vgl. 0) entgegenwirkt.

6.4.5. Ventilatoren

Aufgabe

Transport der Luft durch die raumluftechnische Anlage. Sie erzeugen den erforderlichen Volumenstrom und die dem Druckverlust der Anlage entsprechende Druckerhöhung.

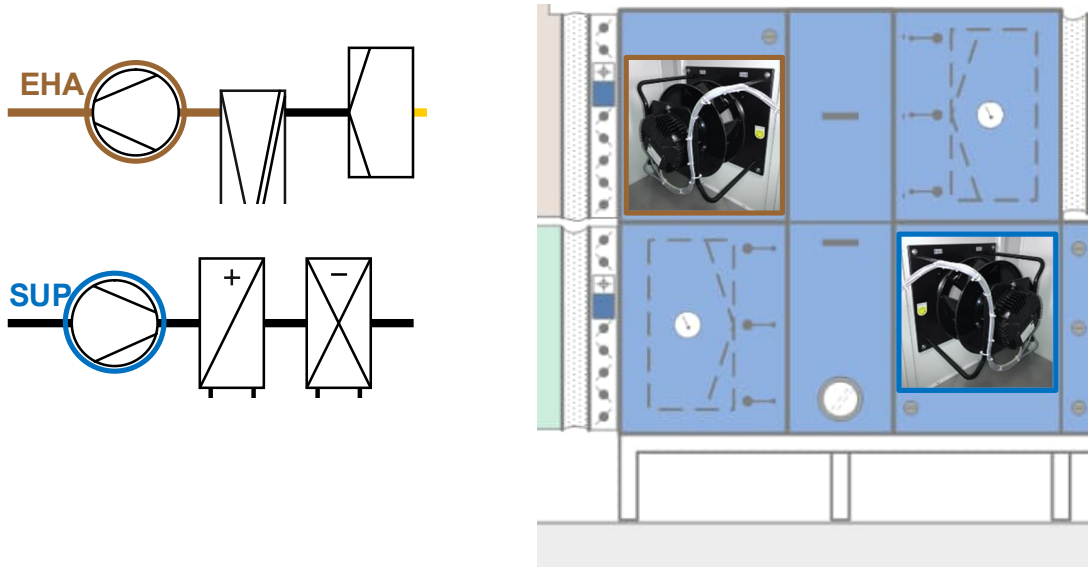


Fig. 6-18 Zuluft- und Fortluft-Radialventilatoren – freilaufend mit EC-Motor (Quelle: Siemens)

Bauarten und Funktionsweise

Man unterscheidet zwischen Radial-Ventilatoren (Fig. 6-19) und Axial-Ventilatoren (Fig. 6-22).

Prinzipiell werden in Lüftungs- und Klimaanlage Radialventilatoren für relativ kleine Luftmengen (bis ca. 50 000 m³/h) bei hohen Förderdrücken (bis 3000 Pa) eingesetzt.

Axialventilatoren kommen für relativ große Luftmengen (> 50 000 m³/h) bei niedrigen Förderdrücken (bis 1000 Pa) zur Anwendung.

Radialventilator

Der Radialventilator saugt die Luft axial an und fördert sie radial. Die Leitvorrichtung ist das Spiralgehäuse. Die Laufräder werden je nach Bedarf mit vorwärts gekrümmten, rückwärts gekrümmten oder geraden Schaufeln gebaut (mit Bezug zur Drehrichtung).

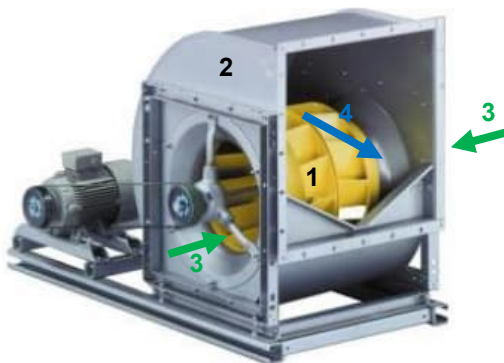


Fig. 6-19 Radialventilator mit Spiralgehäuse (eher im Bestand), Laufrad mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln, Motor extern gekoppelt über Antriebsscheiben und Flachriemen (Quelle: Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.)

1 Laufrad	3 Lufteintritt
2 Spiralgehäuse	4 Luftaustritt

Bauart	Anwendung
Rückwärts gekrümmte Schaufeln	Bei hohen Drücken bis 3000 Pa und Wirkungsgraden von 80 ... 85 %
Vorwärts gekrümmte Schaufeln	Bei geringen Drücken bis ca. 1300 Pa und Wirkungsgraden von 55 ... 75 %
Gerade Schaufeln	Für Sonderanwendungen

In Lüftungsgeräten werden hauptsächlich freilaufende Radialventilatoren eingesetzt. Diese haben kein Spiralgehäuse und saugen die Luft einseitig durch eine dichte Trennwand im Lüftungsgerät an.

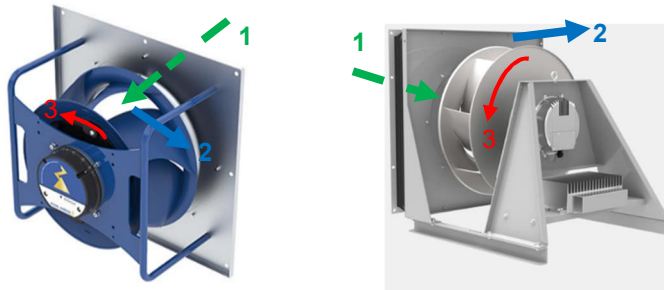


Fig. 6-20 Radialventilatoren (freilaufend) mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln (Quelle: Zieh-Abegg; Rosenberg)
 1 Lufteintritt (durch Trennwand) 2 Luftaustritt, entlang dem Laufrad-Radius
 3 Drehrichtung des Laufrads

Ventilatorwand

Muss viel Luft mit einem Lüftungsgerät gefördert werden, werden heutzutage oft mehrere drehzahl-geregelte Radialventilatoren zu einer „Ventilator-Wand“ zusammengefügt und an Stelle eines einzelnen großen Ventilators eingesetzt.

Diese Ventilatorwand benötigt weniger Platz im Gerät (Gerätelänge) und bietet höhere Ausfall-Sicherheit, speziell in Anlagen, die mit variablem Volumenstrom arbeiten.

Ventilatorwände werden je länger je öfters auch eingebaut, wenn alte Ventilatoren in bestehenden Anlagen erneuert werden müssen. Die Ventilator-Hersteller bieten dazu komplette Umbausätze mit Einbaurahmen, Passblechen, ... und auch die notwendige Regelung und Steuerung der einzelnen Ventilatoren an.



Fig. 6-21 Ventilatorwand – Ansicht Saugseite und Druckseite (Quelle: ebm-papst)

Axialventilator

Der Axialventilator fördert den Luftstrom parallel zu seiner Antriebsachse. Bei den besseren und leistungsstärkeren Ausführungen wird der Austrittsdrall des Laufrades durch ein feststehendes Leitrad aufgefangen (vor oder nach dem Laufrad eingebaut).

Bauart	Anwendung
Wandventilator ohne Leitrad	Fenster- oder Wandeinbau bei geringen Drücken (bis ca. 300 Pa)
Wandventilator mit Leitrad	Fenster- oder Wandeinbau bei höheren Drücken (bis ca. 1000 Pa)
Gegenläufer (2 Laufräder, die sich in Gegen- richtung bewegen)	Bei höchsten Drücken (> 1000 Pa) und Sonder- anwendungen

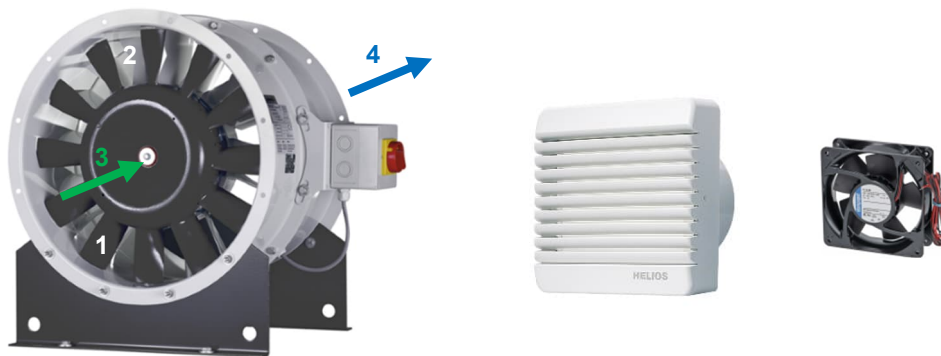


Fig. 6-22 Axialventilatoren von groß bis klein (Industrie, WC-Abluft, PC-Lüfter; Quellen: Trox, Helios, ebm-papst)

- | | |
|-----------|----------------|
| 1 Laufrad | 3 Lufteintritt |
| 2 Leitrad | 4 Luftaustritt |

Die richtige Auswahl des einzusetzenden Ventilortyps hängt von verschiedenen Gesichtspunkten ab. Jeder Typ hat gewisse Vorteile.

Radialventilator	Axialventilator
Geringe Geräuschentwicklung	Geringer Raumbedarf
Einfache Leistungsanpassung *	Niedrige Anschaffungskosten
Einfache Motorauswechslung *	Regelung durch Schaufelverstellung

* bei direkt gekoppelten EC-Motoren

Druckverlauf in einer Lüftungsanlage vom Luft-Ansaug bis in den Raum

Die Außenluft wird an der Fassade (A, vgl. Fig. 6-23) bei Umgebungsdruck angesaugt (+/- 0). Auf dem Weg bis zum Ventilator gibt es viele Widerstände wie Kanäle, Klappen, Filter, usw. Dies führt zu einem Unterdruck (-) an der Ventilator-Saugseite (B).

Der Ventilator überwindet diesen Unterdruck (-) und baut auf der Ventilator-Druckseite (C) einen Überdruck (+) auf. Die gesamte Druckerhöhung des Ventilators wird Totaldruck Δp_{total} genannt. Zusammen mit dem geförderten Volumenstrom (in m^3/h) ist Δp_{total} maßgebend für den Stromverbrauch des Ventilators.

Der vom Ventilator aufgebaute Überdruck (bei C) muss genügend groß sein, um die Widerstände der verbleibenden Bauteile im Luftaufbereitungsgerät zu überwinden und die Luft durch das Zuluft-Kanalnetz bis in die Räume (D) zu bringen.

Im Raum (bei D) herrscht wieder Umgebungsdruck (+/- 0), außer Räume müssen gezielt mit Über- resp. Unterdruck betrieben werden.

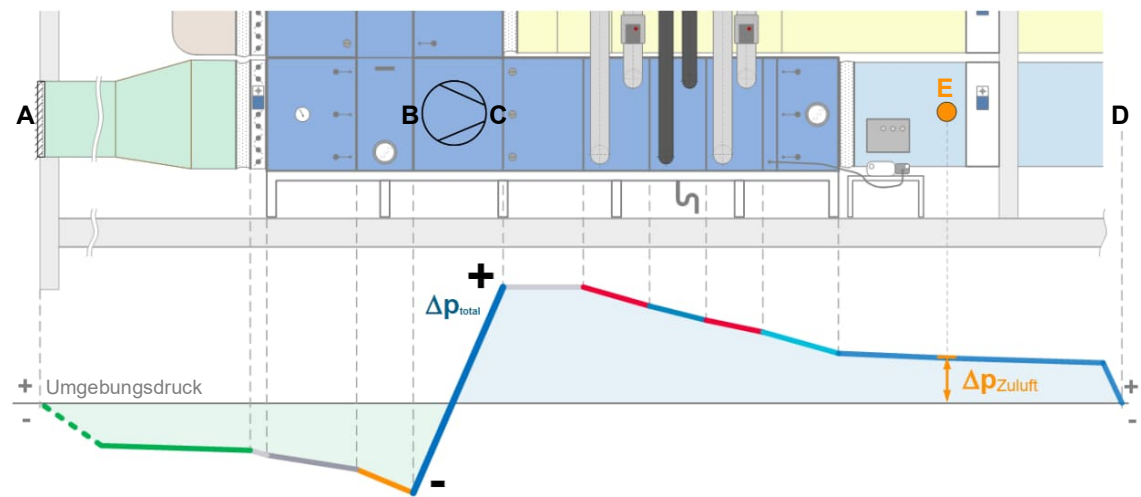


Fig. 6-23 Druckverlauf-Grafik für eine Zuluftanlage
(Abluft-/Fortluftanlagen folgen denselben Überlegungen mit ihrem zugehörigen Kanalnetz)

Der Ventilator baut, wie zuvor beschrieben, einen Totaldruck Δp_{total} auf. Was ist aber der maßgebende Druck für die Regelung des Ventilators? Oft wird auf den Zuluft-Druck (statisch) nach dem Lüftungsgerät geregelt (E). Dieser muss so groß sein, dass die Luft durch das verbleibende Kanalnetz transportiert werden kann und in den Räumen ankommt.

Die Ventilator- und Anlagekennlinien

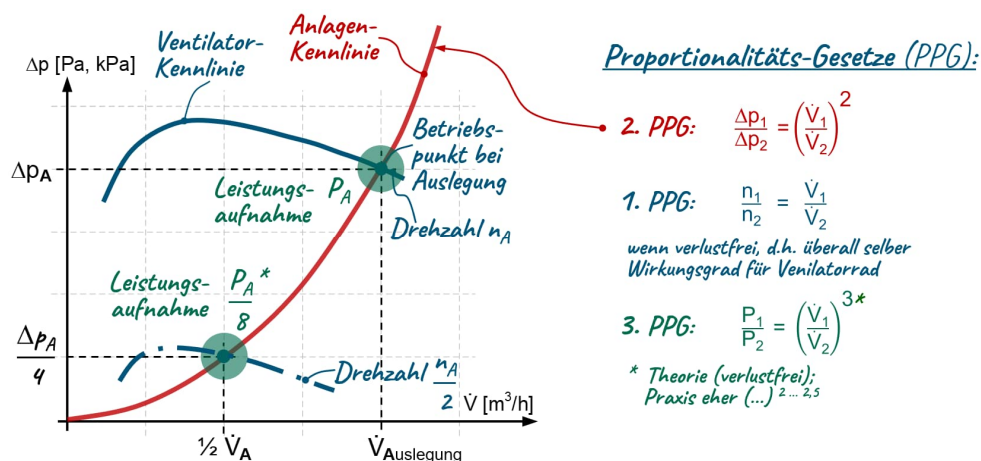


Fig. 6-24 Ventilator- und Anlagekennlinien und zugrunde liegende Proportionalitätsgesetze

Proportionalitätsgesetze

Bei Anlagensystemen mit quadratischer Kennlinie und unveränderlicher Dichte gelten die aus der Strömungsmechanik bekannten Proportionalitätsgesetze (vgl. Fig. 6-24).

1. Proportionalitätsgesetz:

Der Volumenstrom ändert sich proportional mit dem Drehzahlverhältnis (wenn Wirkungsgrad des Laufrades gleich bleibt, d.h. „verlustfrei“ arbeitet).

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{Gleichung 1})$$

2. Proportionalitätsgesetz:

Die Druckerhöhung ändert sich mit dem Quadrat des Drehzahl- oder Volumenstrom-Verhältnisses.

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (\text{Gleichung 2})$$

Dieses quadratische Verhalten gilt auch für einzelne Lüftungskanal-Strecken und Bauteile im Lüftungsgerät wie Klappen, Filter, WRG, Lufterwärmer, usw.

3. Proportionalitätsgesetz:

Die Antriebsleistung ändert sich proportional mit der 3. Potenz des Volumenstrom-/Drehzahl-Verhältnisses.

(Dies gilt so nur, wenn der Ventilator-Wirkungsgrad in den Betriebspunkten gleichbleibt.)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^3 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (\text{Gleichung 3})$$

Aussagen der Gleichungen

Gleichung 1 besagt z.B., dass eine Verdopplung des Volumenstromes durch Verdopplung der Drehzahl erreicht wird.

Beispiel:

Wird bei einem Ventilator die Drehzahl von 1000 auf 2000 min⁻¹ erhöht, dann ändert sich der geförderte Volumenstrom von 4000 m³/h wie folgt:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad \dot{V}_2 = 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{2000 \text{ min}^{-1}}{1000 \text{ min}^{-1}} = 8000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Gleichung 2 zeigt z.B., dass mit der Verdopplung des Volumenstromes ein vierfach höherer Widerstand im Kanalnetz überwunden und durch den Ventilator aufgebracht werden muss.

Beispiel:

Der Ventilator fördert die 4000 m³/h mit einem Druck von 350 Pa. Wird nun wie oben berechnet, der Volumenstrom verdoppelt, dann ergibt sich daraus folgender notwendiger Förderdruck des Ventilators:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2 \quad p_2 = 350 \text{ Pa} \cdot \left(\frac{8000 \text{ m}^3/\text{h}}{4000 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 1400 \text{ Pa}$$

Gleichung 3 zeigt z.B., dass mit der Verdopplung des Volumenstromes ein achtfach höherer Kraftbedarf erforderlich wird oder umgekehrt eine Halbierung des Volumenstromes die Leistungsaufnahme auf 1/8 reduziert (vgl. Drehzahlregelung)!

Bemerkung:

Dies stimmt für theoretische resp. ideale Bedingungen („verlustfrei“). In der Praxis eher ()^{2...2,5}.

Beispiel:

Wird der Ventilator z.B. in einer Anlage mit variablem Volumenstrom (VVS-Anlage) eingesetzt und muss dieser im Teillast-Betrieb nur 4000 m³/h anstatt 8000 m³/h fördern, dann ändert sich die Leistungsaufnahme von momentan 3,0 kW (an der Welle) *theoretisch* wie folgt:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^3 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \Rightarrow \quad P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3 \quad P_2 = 3,0 \text{ kW} \cdot \left(\frac{4000 \text{ m}^3/\text{h}}{8000 \text{ m}^3/\text{h}}\right)^3 = 0,375 \text{ kW}$$

Ventilator-Kennlinien-Diagramm

Die Kennliniendarstellung von Ventilatoren sieht in der Regel etwas anders aus als oben in Fig. 6-24 dargestellt und zeigt eine eher verwirrende Fülle von Linien, Kurven und Skalenstäben, deren Bedeutung und Information zum gewählten Betriebspunkt nicht immer auf Anhieb erkennbar wird (vgl. Fig. 6-25).

Normalerweise werden eine bis drei Linien je Ventilatorgröße gemessen (Volumen, Druck, Kraftbedarf, Drehzahl). Alle anderen in dem Kennlinienfeld aufgeführten Druck-Volumen-Kennlinien werden über Proportionalitätsgesetze hochgerechnet.

Dies bedeutet: Nicht jede dargestellte Druck-Volumen-Kennlinie ist eine gemessene Linie.

Zur Vereinfachung der Darstellung wählen die Ventilator-Hersteller die sogenannte „doppelt-logarithmische“ Darstellung. Dadurch werden Anlagekennlinien nicht mehr als Parabeln dargestellt, wie in Fig. 6-24, sondern als Geraden mit der Funktion $\Delta p_{\text{total}} = f \cdot (V^2)$ wie z.B. 4 in Fig. 6-25, was die linke untere Ecke des Diagramms viel übersichtlicher macht.

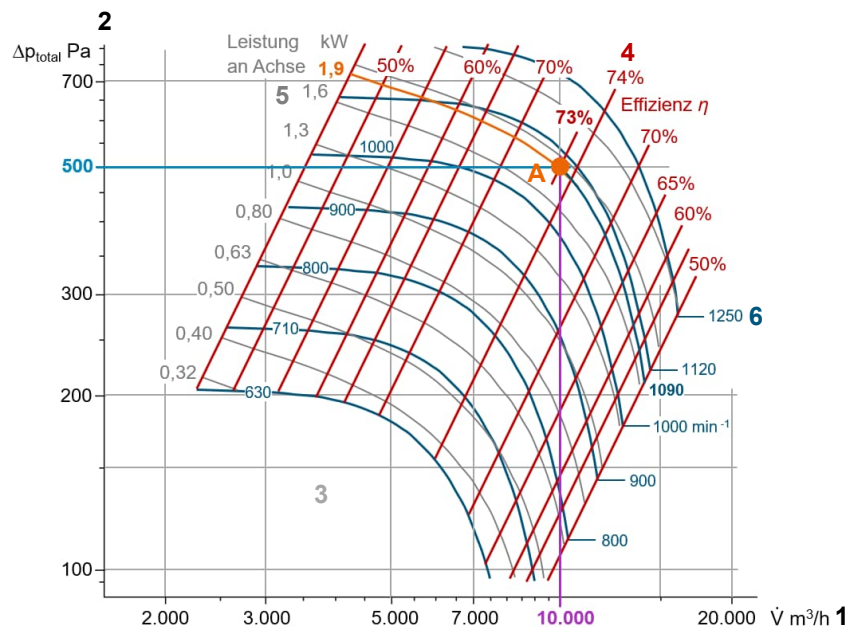


Fig. 6-25 Ventilatorkennlinien (mit logarithmisch skalierten $\dot{V}$ - und Δp_{total} -Achsen)

- 1 Volumenstrom in 1000 m³/h (oder m³/s, l/s, ...)
 - 2 Totaldruck-Erhöhung Δp_{total} in Pa
 - 3 Volumenstrom-Druck-Kennlinien Feld
 - 4 Effizienz η (gleichzeitig Anlagekennlinie)
 - 5 Kraftbedarf in kW an der Achse des Ventilatorlaufrades
 - 6 Ventilator-drehzahl
- A Betriebspunkt
z.B. bei 10.000 m³/h und 500 Pa mit Effizienz $\eta = 73\%$,
Drehzahl 1090 min⁻¹ und Leistungsbedarf an der Achse = 1,9 kW

6.4.6. Wärmerückgewinnung (WRG)

Definition

Wärmerückgewinnung ist ein Sammelbegriff für Verfahren der Wärmeübertragung zur Wiedernutzbarmachung von thermischer Energie in einem Prozess mit mindestens zwei Massenströmen, die unterschiedliche Temperaturniveaus besitzen.

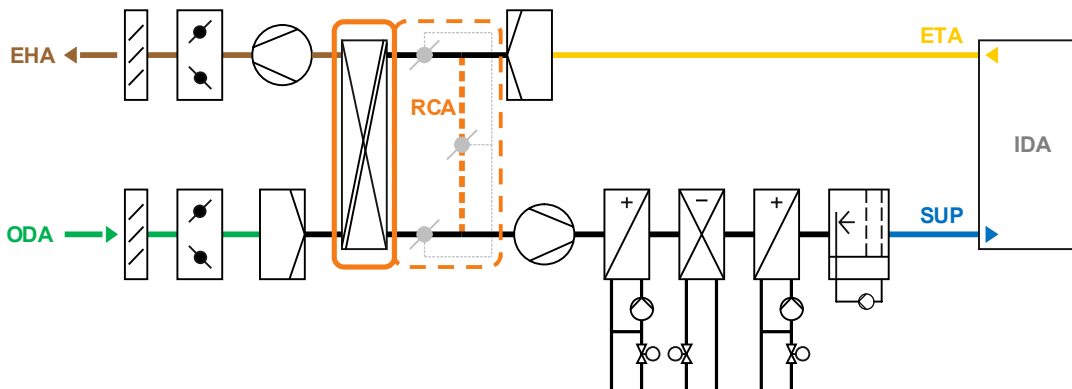


Fig. 6-26 Wärmerückgewinnung (und Umluftbeimischung, optional) im Prinzipschema einer Klimaanlage

Ziel

Ziel der Wärmerückgewinnung ist die Minimierung des Primärenergiebedarfs, der zur Temperierung von Außenluft auf eine gewünschte Zuluft-Temperatur benötigt wird.

Somit kann die WRG aus energetischer Sicht einerseits als Effizienzmaßnahme, andererseits auch als regenerative Energiequelle betrachtet werden, da die Abwärme durch den Wärmeübertragungsprozess zur Nutzwärme regeneriert wird. WRG ist damit ein regenerativer Prozess und ein intelligenter Beitrag zum allseits geforderten Klimaschutz. WRG-Systeme müssen heute in neuen Anlagen zwingend eingebaut sein (vgl. EN- und andere länderspezifische Vorgaben).

Die Anforderungen an WRG-Systeme sind in der VDI-Lüftungsregel (VDI 3803 Blatt 5 / Part 5) festgelegt.

Einteilung der Wärmerückgewinnungssysteme

- Umluftbeimischung (keine WRG gem. VDI 3803)
- Rotations-WRG (WRG-Rad; regenerativ)
- Kreuzstrom-WRG (Plattentauscher; rekuperativ)
- KVS-WRG (Kreislauf-Verbund-System-WRG; regenerativ)
- Wärmepumpe
- andere WRG-Systeme

Umluftbeimischung (RCA, Recirculated air)

Die Umluftbeimischung ist *keine Wärmerückgewinnung im Sinn der VDI 3803*, sondern eher eine Vermeidung von unnötigen Energieverlusten mit der Fortluft.

Eine reine Umluftbeimischung ergibt theoretisch eine 100 %-ige Nutzung der Abluftwärme.

In der Praxis sind der Verwendung von Umluft aber Grenzen gesetzt, wenn Außenluftzufuhr erforderlich ist oder hygienische Bedenken bezüglich Wiederverwendung der verbrauchten Abluft bestehen (erreichbare Raumluftqualität).

Die Umluftbeimischung wird bei Neuanlagen wohl eher selten zum Einsatz kommen, jedoch ist sie bei Altanlagen noch weit verbreitet.

Wenn aus hygienischen Gründen der Umluftanteil etwa 50 % nicht übersteigen darf, lohnt sich in der Regel eine Kombination der Umluftbeimischung mit einer Wärmerückgewinnung (WRG).

Rotations-WRG

Eine rotierende, zellenförmige Speichermasse wird abwechselnd von Außenluft und Abluft durchströmt. Das Maß der Wärmeübertragung kann durch Veränderung der Drehzahl des WRG-Rads beeinflusst werden. Durch eine hygroskopische Beschichtung der Speicheroberfläche kann auch Feuchte, bzw. Enthalpie übertragen werden (Sorptionstauscher).

Die in der Lüftungs- und Klimatechnik eingesetzten Konstruktionen lassen die Speichermasse kontinuierlich mit bis zu max. 10...12 Umdrehungen pro Minute [min^{-1}] zwischen dem Außen-/Zuluftkanal und dem Abluft-/Fortluftkanal rotieren. Daher ist das WRG-Rad über die gesamte Bauhöhe und den ganzen Querschnitt des Lüftungsgerätes eingebaut.

Der Wirkungsgrad dieser WRG ist abhängig von der Drehzahl des WRG-Rads und von der Anströmgeschwindigkeit des Luftstroms am WRG-Rad.

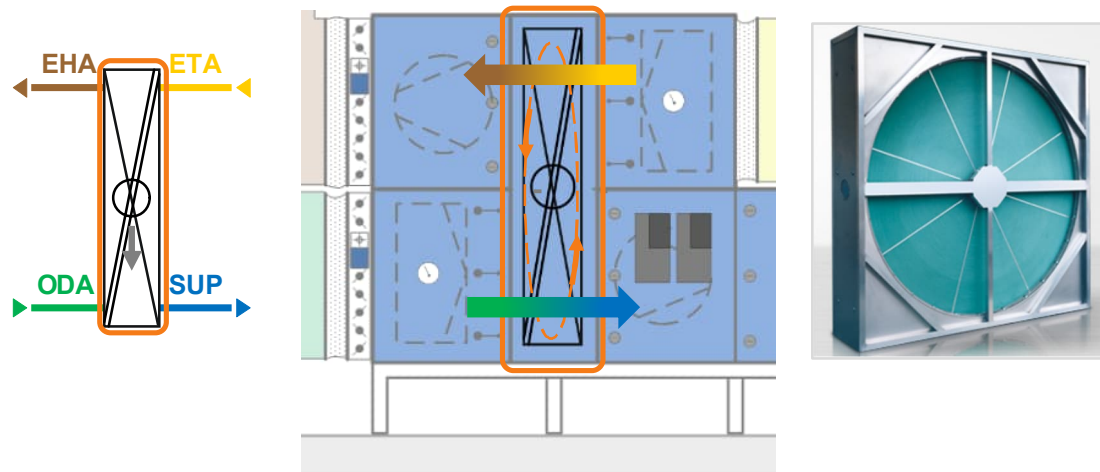


Fig. 6-27 Rotations-WRG: Prinzip, Platzierung im Lüftungsgerät und mögliche Ausführung (Quelle: Wolf)

Spülkammer

Das WRG-Rad bewegt sich vom Abluft-/Fortluftstrom in den Außenluft-/Zuluftstrom (vgl.

Fig. 6-28). Dabei kann, je nach Druckverhältnissen, zwischen den Luftströmen eine Partikel- und Geruchsübertragung nicht ganz ausgeschlossen werden. Um den rotationsbedingten Eintrag von Abluftbestandteilen in die Zuluft zu minimieren, wird die Rotations-WRG mit einer Spülkammer ausgestattet.

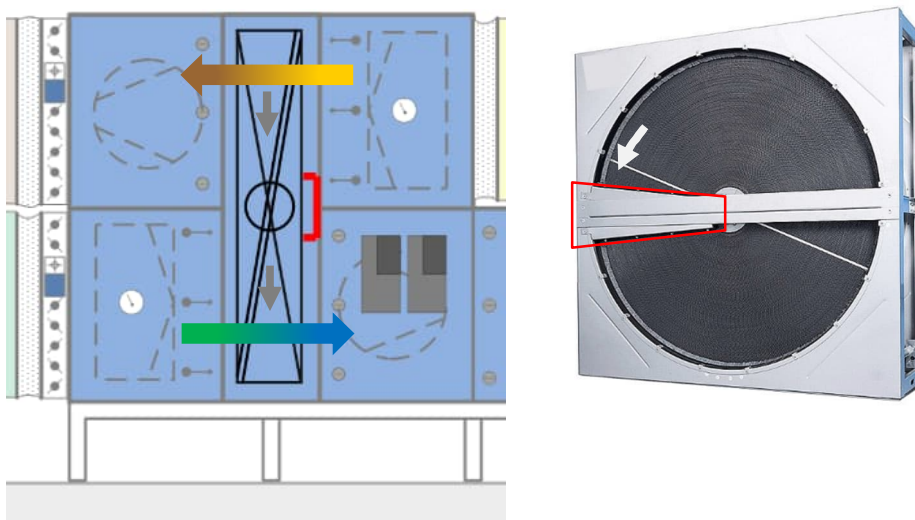


Fig. 6-28 Rotations-WRG mit Spülkammer (rot markiert) und mögliche Ausführung (Quelle: Klingenburg)

Die Spülkammer lenkt ein wenig Außenluft durch das WRG-Rad, kurz bevor dieses in den Außenluft-Zuluft-Strom bewegt wird. Das reduziert die Übertragung von Partikeln und Gerüchen auf ein sehr geringes, unkritisches Maß => niedriger EATR-Wert (Exhaust Air Transfer Ratio -Wert).

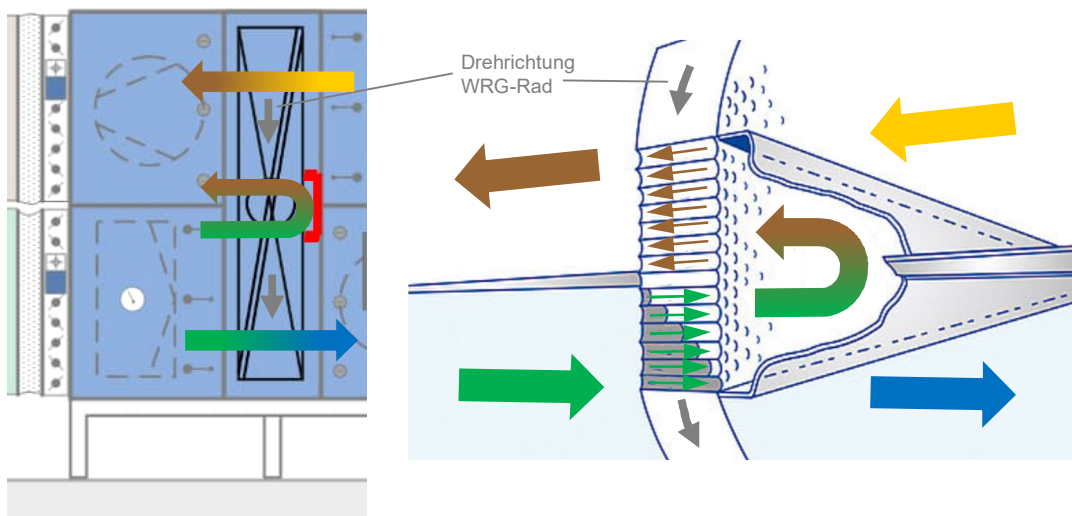


Fig. 6-29 Spülkammer im Lüftungsgerät (rot markiert) und Wirkungsweise im Schnittbild (Quelle: Klingenburg)

In korrekt gebauten, d.h. mit ausreichend Druckgefälle vom Außenluft- zum Abluftstrom, und vor allem in fachgerecht unterhaltenen Anlagen mit „normalen“ Hygiene-Ansprüchen (z.B. Bürogebäude), kann daher eine Rotations-WRG sehr gut eingesetzt werden.

Kreislauf-Verbund-System WRG (KVS-WRG)

Ein Wärmetauscher (WT) im Abluft-/Fortluftstrom (vgl. Fig. 6-30) und einer im Außenluft-/Zuluftstrom sind durch Vor- und Rücklauf-Leitungen verbunden. Das Leitungssystem ist mit Wasser/Glykol-Gemisch gefüllt, zum Einfrierschutz bei Außentemperaturen unter 0 °C. Eine Pumpe wälzt dieses Wärmeträger-Medium um. Im Heizfall nimmt der Wärmetauscher in der Abluft Wärme auf und überträgt diese auf den Wärmeträger-Kreislauf. Dieser transportiert die Wärme zum Wärmetauscher in der Außenluft und erwärmt diese dort. Im Kühlfall, d.h. warme Außenluft und kühle Abluft aus den Räumen, kann entsprechend „Kälte“ in einem bestimmten Maß übertragen werden.

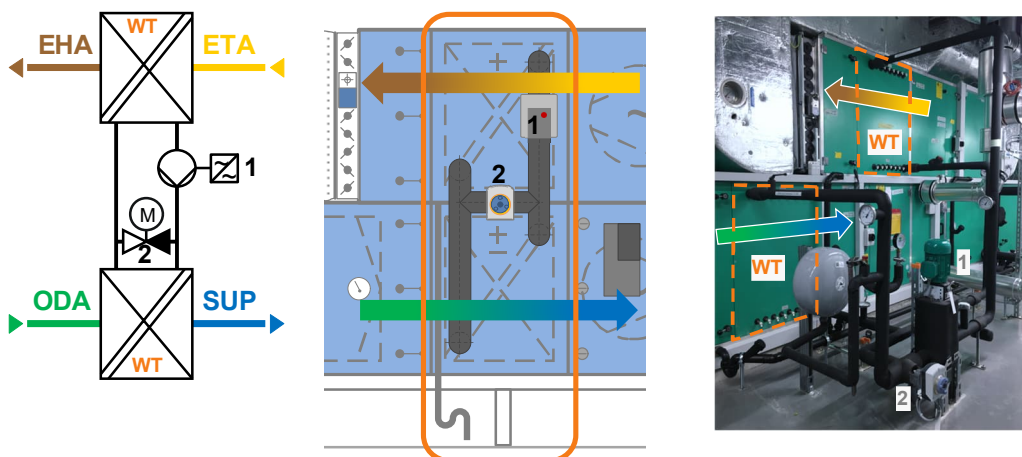


Fig. 6-30 KVS-WRG: Prinzip, Platzierung im Lüftungsgerät und Anlagenbeispiel mit Wärmetauschern (WT), drehzahl geregelter Pumpe (1), Durchgangs-Regelventil (2) und Verbindungsleitungen (Quelle: Siemens)

Die Luftströme sind komplett voneinander getrennt (d.h. keine Partikel- oder Geruchsübertragung). Diese Lösung kommt daher dort zum Einsatz, wo keine Vermischung der Luftströme stattfinden darf, oder auch wenn sich die Zuluft- und die Abluft-Anlagen an unterschiedlichen Orten im Gebäude befinden (z.B. Untergeschoss, Dachaufbau, ...). Eine KVS-WRG bietet sich daher auch als Lösung an z.B. bei Umbau-Situationen, Anlagen-Sanierungen, usw.

Durch geschickte Kombination einer drehzahlgeregelten Pumpe mit einem Durchgangsventil kann eine KVS-WRG (vgl. Fig. 6-31) in einem großen Bereich variabel gefahren werden und es wird nicht unnötig viel Wärmeträger-Flüssigkeit umgewälzt. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion des Pumpen-Stromverbrauchs im Teillast-Betrieb (bis zu 40 % weniger Jahresenergie; vgl. Studie Bundesamt für Energie BFE, Schweiz).

Die Pumpe arbeitet also zwischen der maximalen und minimalen Drehzahl. Erreicht die Pumpe (1) ihre minimale Drehzahl, kommt das Durchgangsventil (2) als Überströmventil zum Einsatz und regelt die WRG-Leistung im Kleinlast-Bereich.

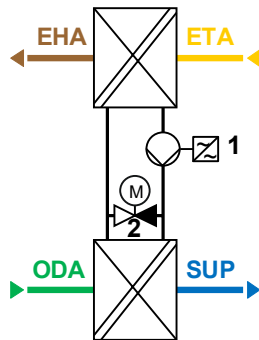


Fig. 6-31 KVS-WRG mit drehzahlgeregelter Pumpe (1) und Durchgangsventil (2)

In Anlagen mit stark variierendem Luftstrom kann mit Hilfe der drehzahlgeregelten Pumpe auch das maximal umgewälzte Zwischenmedium an den Luftmassenstrom angepasst werden. Dadurch kann das Wasserwertverhältnis (Wärmestrom der Luft / Wärmestrom des Zwischenmediums) von „1“ eingehalten werden und die Anlage arbeitet so mit optimalem Gesamt-Wirkungsgrad.

Regenerative Systeme

Die oben besprochenen Rotations- und KVS-WRG werden auch „regenerative“ Systeme genannt. Bei regenerativen WRG-Systemen wird die Wärme indirekt, also über Speichermasse des WRG-Rads bzw. des Wärmeträgermediums, von der Abluft an die Zuluft übertragen.

Kreuzstrom-WRG (Plattentauscher WRG, rekuperativ)

In dieser WRG kreuzen sich die Luftströme – daher der Name – und die Wärme wird durch eine feste Trennwand (Folie, Platte) mittels Wärmeleitung vom Abluft- auf den Zuluftstrom übertragen. Diese WRG-Bauform wird auch als rekuperative WRG bezeichnet.

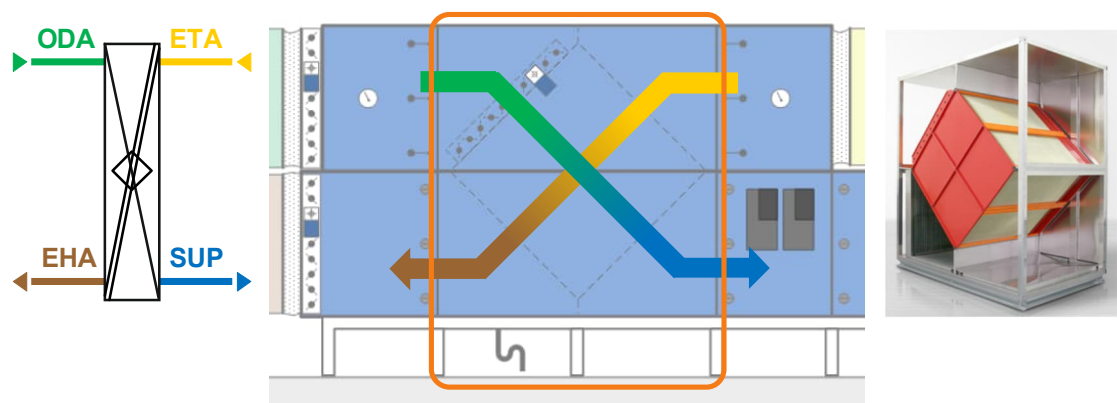


Fig. 6-32 Kreuzstrom-WRG: Prinzip, Platzierung im Lüftungsgerät und mögliche Ausführung (Quelle: Wolf)

Der Außenluft-/Zuluftstrom ist durch die Trennwand (Folie, Platte) komplett vom Abluft-/Fortluftstrom getrennt. Daher findet keine Partikel- oder Geruchsübertragung statt.

Damit die schmalen Abluft-/Fortluft-Kanäle zwischen den Trennwänden (Folien, Platten) in der Kreuzstrom-WRG nicht verschmutzen, ist auch ein entsprechender Luftfilter im Abluftstrom eingebaut.

Die Leistungsregelung der Kreuzstrom-WRG erfolgt durch eine Umgehungsclappe (1) für den Außenluftstrom und eine dazu gegenläufig arbeitende Abdeckklappe (2) über dem Wärmetauscherblock (vgl. Fig. 6-33). Diese Klappen führen bei zu großer Wärmeübertragung, d.h. zu viel Leistung der WRG, die Außenluft durch den Umgehungs kanal teilweise am Wärmeübertrager vorbei.

Außen am Lüftungsgerät ist von diesem Bauteil oft nur der zugehörige Klappenantrieb (3) auf der durch diese WRG beanspruchten Gehäusefläche sichtbar.

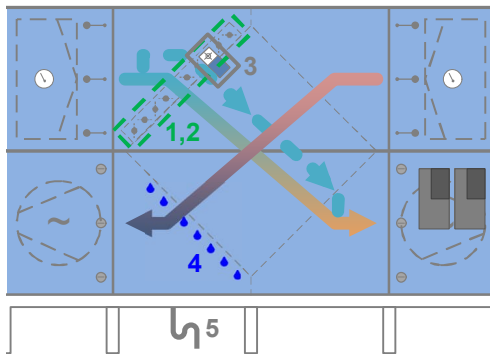


Fig. 6-33 Gegenläufige Umgehungs-/Abdeckklappen (1, 2) mit Klappenantrieb (3)

Umgehungsclappe (1) und Abdeckklappe (2) im Lüftungsgerät in Zwischenposition (Quelle: Siemens)

Kondensiert Abluft-Feuchtigkeit (4) aus, dann wird auch noch ein Teil der dabei freigesetzten Kondensationswärme übertragen. Oft wird daher je ein separater Wirkungsgrad für die temperaturbasierte Wärmeübertragung ($\eta_{\text{thermisch}}$) und einer für die feuchtebedingte Wärmeübertragung (η_{feucht}) angegeben.

Mit diesen Klappen (1,2) kann bei tiefen Außentemperaturen auch ein zu starkes Abkühlen der Abluft und damit ein Anfrieren (bis hin zu komplettem Zufrieren) des anfallenden Kondensats (4) der WRG auf der Fortluftseite verhindert werden. Dies wird erreicht, indem die Abdeckklappe (2) über dem Wärmetauscherblock so weit geschlossen wird, bis die Fortluft die notwendige Grenztemperatur nicht mehr unterschreitet. Da dies auf Kosten der Wärmerückgewinnung geschieht, sollte diese „Vereisungs-Schutzfunktion“ allerdings erst bei entsprechend tiefen Außentemperaturen aktiviert werden (Grenzwert unbedingt gemäß Herstellerangaben für WRG resp. Lüftungsgerät einstellen).

Das eventuell anfallende Kondensat muss über eine Kondensatleitung (5) abgeleitet werden können.

Umschalt-Wärmetauscher

Das Umschalt-WRG-Gerät enthält zwei oder mehrere statische Wärmespeicherpakete aus Aluminiumblechen (statischer Speicher). Diese werden wechselweise von Außen- und Abluft durchströmt. Die Steuerung erfolgt über Umschaltklappen, die elektromotorisch und dynamisch in kurzen Umschaltintervallen arbeiten. Die warme Abluft lädt den Speicher auf, die vorbeistreichende kalte Außenluft entlädt den Speicher.

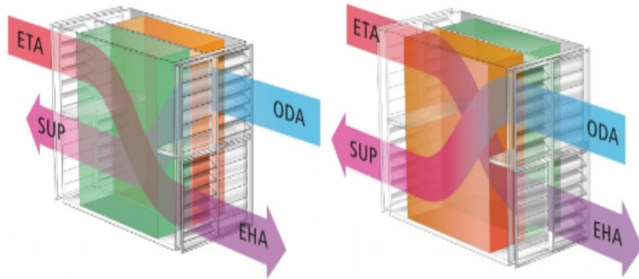


Fig. 6-34 WRG-Umschalt-Wärmetauscher, Prinzip

WRG-Umschalt-WT (Quelle: Wolf)

Der Umschalt-Wärmetauscher benötigt keinen Vereisungsschutz. Die Leistungsregelung wird durch das Umschalten der Klappen lastabhängig geregelt. Umschalt-Wärmetauscher werden z.B. in größeren Wohnungslüftungsgeräten eingesetzt, werden aber eher selten verwendet.

Wärmerohre (Heat pipes)

Bei den Wärmerohren handelt es sich um einen Kältemittelkreislauf ohne Zufuhr von Hilfsenergie. Äußerlich gleichen Wärmerohraustauscher den üblichen Heiz- oder Kühlregistern. Anstatt der Rohrschlangen sind aber Wärmerohre (Heat pipes) eingebaut. Sie funktionieren voneinander unabhängig. Die Wärmerohre bestehen aus luftleeren (evakuierten) Lamellenröhrchen, in denen sich ein Kältemittel befindet. Die warme Abluft durchströmt den unteren Teil des Wärmerohrs und erwärmt das Kältemittel. Dieses verdampft, steigt nach oben und überträgt die Verdampfungswärme auf die kalte Außenluft.

Anwendung finden Wärmerohraustauscher u.a. in großen Raumlufthechnischen (RLT)-Anlagen und in der Prozesstechnik.

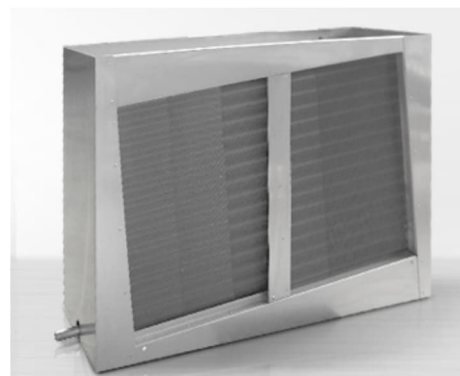
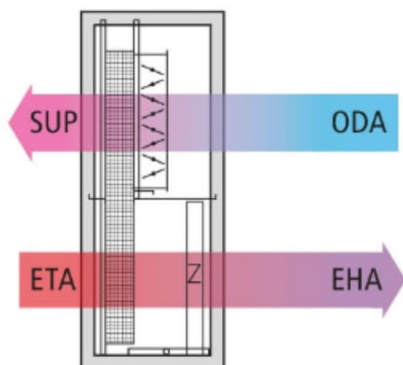


Fig. 6-35 WRG-Wärmerohr, Prinzip

WRG-Wärmerohr (Quelle: Wolf)

Das Wärmerohr ist wartungsfrei und benötigt keinen Vereisungsschutz. Die Leistungsregelung ist relativ schwierig und kann z.B. durch Bypass oder durch Veränderung des Kippwinkels mit Hilfe eines Stellantriebes erfolgen.

Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist eine Maschine, die nutzbare Wärme bereitstellen kann, welche zu einem wesentlichen Teil einem Medium (Luft, Wasser) entnommen wird. Das Medium dient als Wärmequelle. Häufig handelt es sich bei der entnommenen Wärme um kostenlose Umweltwärme oder um sonst nicht nutzbare Abwärme. Diese wird auf ein höheres Temperaturniveau "gepumpt", wie es für die Nutzung erforderlich ist.

In der Lüftungstechnik ist auch mit Wärmepumpen eine Wärmerückgewinnung möglich.

Die Wärmepumpe entzieht der Abluft Wärme und führt sie der einströmenden kalten Außenluft zu. Der Vorgang ist auch reversibel (Sommer, Kühlen).

Wärmepumpen arbeiten auch bei geringer Nutzwärme (Niedertemperatur), wo herkömmliche WRG-Systeme nicht eingesetzt werden können.

Für diesen Anwendungsfall ergeben sich mit der Wärmepumpe aber auch Nachteile:

- Einfache Wärmepumpen transportieren die Wärme nur in einer Richtung. Soll die Richtung des Wärmetransportes wechseln können, z.B. bei Kühlbetrieb der Anlage, so muss die Wärmepumpe mit einer zusätzlichen Umkehrschaltung ausgerüstet werden.
- Die Anlage erfordert relativ hohe Investitions- und Unterhaltskosten (Strom als Antriebsenergie).

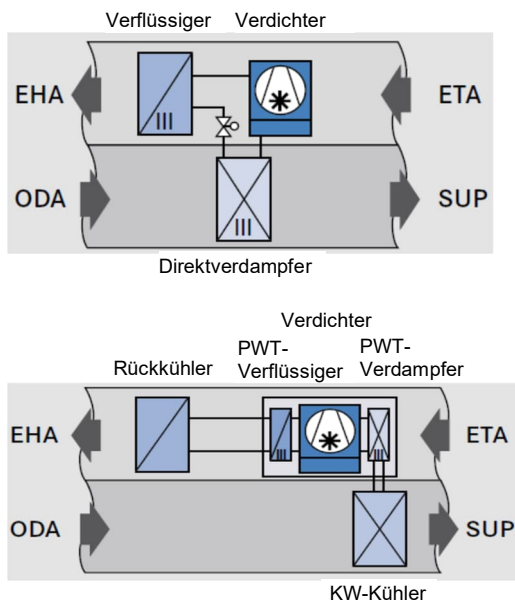


Fig. 6-36 Wärmepumpe, Prinzip



Wärmepumpe, indirektes Kältemodul
(Quelle: Wolf / robatherm)

In der Lüftungstechnik kommen die Wärmepumpen als Kompressions- oder Absorptions-Wärmepumpen zum Einsatz. Sie eignen sich also eher als WRG-Systeme in Industriebetrieben, wo z.B. relativ konstante Mengen von Prozessabwärme durch ein Lüftungssystem abgeführt werden müssen.

Häufig finden die Wärmepumpen wegen ihres geringen Platzbedarfs in Kompaktklimaanlagen ihren Einsatz.

Wirkungsgrade der Wärmerückgewinnungssysteme

Temperaturänderungsgrad Φ_t (Rückwärmzahl)

Der Temperaturänderungsgrad Φ_t gibt das Verhältnis der Temperaturänderung der Außenluft einer Wärmerückgewinnung zur maximal möglichen Temperaturänderung (Differenz zwischen Außenluft- und Ablufttemperatur) an:

$$\Phi_t = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} = \frac{\text{tatsächliche Wärmeübertragung}}{\text{mögliche Wärmeübertragung}}$$

Der Temperaturänderungsgrad ist unter „trockenen Bedingungen“, das heißt ohne Kondensation, definiert.

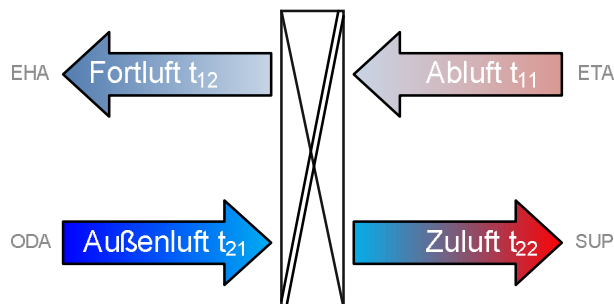


Fig. 6-37 Temperaturänderungsgrad WRG (Rückwärmzahl)

Wärmerückgewinnungsklassen gemäß DIN EN 13053

Orientierungswerte

Klasse [-]	Energieeffizienz [%]	Herleitung der Energieeffizienzwerte			
		η_t	Δp_{WRG}	ε	η_e
H1	$\eta_e \geq 71$	0,75	2 x 280 Pa	19,5	0,71
H2	$71 > \eta_e \geq 64$	0,67	2 x 230 Pa	21,2	0,64
H3	$64 > \eta_e \geq 55$	0,57	2 x 170 Pa	24,2	0,55
H4	$55 > \eta_e \geq 45$	0,47	2 x 125 Pa	27,3	0,45
H5	$45 > \eta_e \geq 36$	0,37	2 x 100 Pa	26,9	0,36
H6	$\eta_e < 36$				

Berechnung der Energieeffizienzwerte (η_e) mit:

Temperaturübertragungsgrad WRG:	$\eta_t = (t_{Zuluft} - t_{Außenluft}) / (t_{Abluft} - t_{Außenluft})$	[%]
Druckverlust WRG:	$\Delta p_{WRG} = \Delta p_{WRG_Zuluft} + \Delta p_{WRG_Abluft}$	[Pa]
Elektrischer Hilfsenergie WRG:	$P_{el_WRG} = q_v \times \Delta p_{WRG} \times 1/0,6 + P_{el_Aux}$	[W]
Leistungsziffer WRG:	$\varepsilon = Q_{WRG} / P_{el_WRG}$	[-]
Energieeffizienz WRG:	$\eta_e = \eta_t \times (1 - 1/\varepsilon)$	[%]

Fig. 6-38 Klassifizierung WRG (gemäß EN 13053)

Eigenschaften der Wärmerückgewinnungssysteme

Bewertung des Übertragungsverhaltens bezüglich Schadstoffe und Gerüche in Anlehnung an VDI 2071 hinsichtlich Lüftungstechnischer Anlagen:

WRG-System	mit Wärmeübertrager	Rückwär- mezahl	Rück- feuchtzahl	Übertragungsverhalten bei					
				Gerüche	Keime	Staub	Öl & Fett	Gase	Betriebs- störung
Rekuperative Systeme									
	Plattenwärmeübertrager Kreuzstromwärmeübertrager	0,4 – 0,8 *	0.0	o	o	o	o	-	--
	Plattenwärmeübertrager Kreuzstromwärmeübertrager (mit feuchtdurchlässigen Folien)	0,4 – 0,8 *	0 - 0.8	o	-	o	--	--	--
	Rohrbündelwärmeübertrager	0,3 – 0,5 *	0.0	o	o	o	o	-	--
Regenerative Systeme									
Kreislauf-Verbund- systeme	Kompakt-Wärmeübertrager	0,3 – 0,5	0.0	+	+	+	+	+	+
	Gegenstrom-Schichtwärmetauscher	0,7 – 0,8	0.0	+	+	+	+	+	+
Wärmerohre	Schwerkraftwärmerohr (Thermosiphon)	0,2 – 0,4 *	0.0	o	o	o	o	o	o
	Kapillarwärmerohr	0,5 – 0,8 *	0.0	o	o	+	o	o	o
Regeneratoren									
Rotoren	Rotor mit Sorption	0,7 – 0,8 *	0,6 – 0,7	o	-	o	o	--	--
	Rotor ohne Sorption	0,7 – 0,8 *	0,1 – 0,2	o	-	o	o	--	--
Sonstige	Kapillargebläse	0,2 – 0,4 *	0,2 – 0,4	--	--	--	--	--	--
	Umschaltspeicher	0,6 – 0,9 *	0,5 – 0,7	--	--	--	--	--	--
Wärmepumpen									
	Kompressor-Wärmepumpe	./.	0.0	+	+	+	+	+	+
	Adsorptions-Wärmepumpe	./.	0.0	+	+	+	+	+	+
(--) ungeeignet		(*) Leckage und / oder Mitrotation enthalten							
(-) weniger geeignet		(./.) fehlender Bezugsmaßstab							
(o) nur mit Hilfs- oder Sonderkonstruktionen geeignet									
(+) geeignet									

Fig. 6-39 Eigenschaften WRG (Quelle: Wikipedia)

Merkmale der WRG-Systeme

Merkmale	Kreuzstrom- wärme- übertrager	Wärme- rohr	Rotations- wärme- übertrager	Umschalt- speicher	Kreislauf- Verbund- System
Außenluft- und Fortluftkanal zusammengeführt	ja	ja	ja	ja	nein
Luftvolumenstrom	klein bis mittel	klein bis mittel	klein bis groß	klein bis mittel	klein bis groß
Kontamination der Zuluft möglich (bei Druckgefälle von Außenluft in die Fortluft)	nein	nein	ja ^{a)}	ja	nein
Kontamination der Zuluft möglich (bei Druckgefälle von Fortluft in die Außenluft)	ja	ja	ja	ja	nein
Feuchteübertragung bei Kondensation	nein	nein	ja	ja	nein
Feuchteübertragung durch Sorption	nein	nein	ja	ja	nein
Indirekte Verdunstungskühlung	ja	nein ^{b)}	ja ^{c)}	nein	ja
Mehrfachfunktionale Nutzung möglich	nein	nein	nein	nein	ja ^{d)}
Hilfsenergie	nein	nein	ja	ja	ja
Leckage	nein	gering	gering ^{a)}	deutlich	nein
Leckage bei Defekt möglich	ja	ja	ja	ja	nein
Einfriergefahr	mittel	mittel	kaum	gering	mittel
Kälterückgewinnung	ja	nein ^{b)}	ja	ja	ja
Wartungsaufwand	gering	gering	mittel	mittel	mittel
Brand- oder Rauchübertragung möglich	ja	ja	ja	ja	nein
Begrenzung max. Druckdifferenz der Luftströme notwendig	ja	nein	ja	ja	nein
Konstante Druckverhältnisse möglich	ja	ja	ja	nein	ja

^{a)} kann durch Einsatz einer Spülkammer stark minimiert oder verhindert werden

^{b)} Ausnahme bei Kapillarerwärmerrohr oder Kippregelung

^{c)} wenn Feuchteübertragung ausgeschlossen werden kann (kein Sorptionsrohr zulässig)

^{d)} ab 70 % Temperaturänderungsgrad sinnvoll

Fig. 6-40 Merkmale WRG (Quelle: VDI 3803, Blatt 5)

6.4.7. Lufterwärmer und Luftkühler

Lufterwärmer und Luftkühler werden in Lüftungsgeräten eingebaut, um die Zuluft (SUP):

- auf die erforderliche Einblastemperatur zu bringen, d.h. zu heizen resp. zu kühlen
- mit Hilfe des Luftkühlers zu entfeuchten

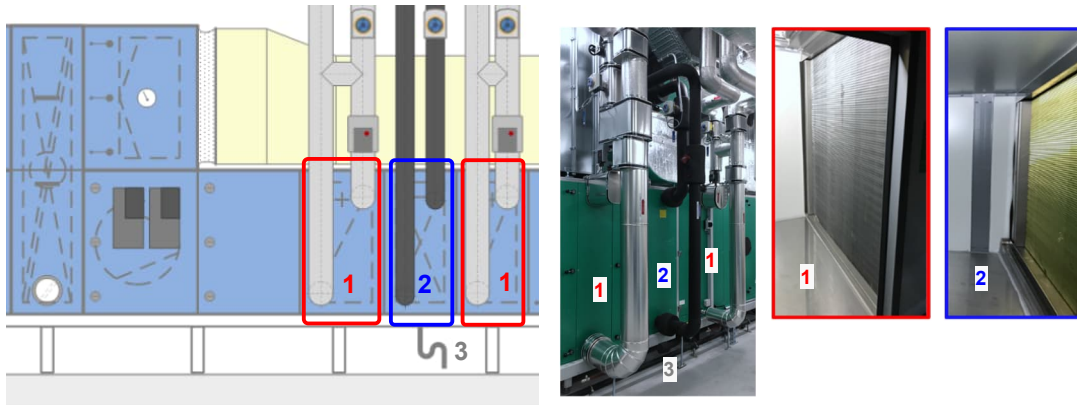


Fig. 6-41 Lufterwärmer (1) und Luftkühler (2) eingebaut in Lüftungsgerät (links Prinzip, Mitte Anlagenbild), rechts: Innenansichten Lüftungsgerät für Lufterwärmer (1) und Luftkühler (2) (Quelle: Siemens)

Luftkühler werden aus hygienischen Gründen eventuell noch beschichtet (2, rechts), weil bei der Luftkühlung, vor allem aber bei der geregelten Luftentfeuchtung, Kondensat anfällt. Damit keine Kondensattropfen durch den Luftstrom weiter in die Anlage mittransportiert werden, ist nach dem Luftkühler ein Tropfenabscheider eingebaut. Unterhalb des Luftkühlers muss deshalb dann auch eine Kondensat-Ablaufleitung (3) vorhanden sein.

Die Kaltwasserleitungen werden mit Isolation aus geschlossen-porigem Schaumstoff (oft schwarz) umhüllt, damit die Raumluftfeuchtigkeit an den kalten Rohroberflächen nicht auskondensiert (2 links und Mitte).

Lufterwärmer und Luftkühler sind Lamellen-Wärmetauscher (vgl. Fig. 6-42), d.h. es sind Reihen von Kupferrohr-Leitungen mit aufgesetzten Aluminium-Lamellenblechen. Sie werden üblicherweise mit Wasser durchströmt. Sie können aber auch mit Kältemittel einer Kältemaschine durchströmt werden (vgl. Direktkondensator/Direktverdampfer).

Beim Lufterwärmer wird die Wärme vom Heizungswasser, das in den Kupferleitungen zirkuliert, an den Luftstrom übertragen. Beim Luftkühler wird die Wärme aus dem Luftstrom an das in den Leitungen zirkulierende Kaltwasser abgeführt.

Lufterwärmer werden in Lüftungs- und Klimaanlage in Kombination mit einem Luftkühler (LK) oft als Vorwärmer (VW) und Nachwärmer (NW) eingebaut. Wird die Luft mit dem Luftkühler entfeuchtet, muss der Nachwärmer die Zuluft auf die gewünschte Einblastemperatur erwärmen können.



Fig. 6-42 Lufterwärmer / Luftkühler (Lamellen-Wärmetauscher):
Prinzipschema-Symbole (links) für Vorwärmer (VW, +), Luftkühler (LK, -), Nachwärmer (NW, +)
Lamellen-Wärmetauscher in verschiedenen Baugrößen (Mitte, Quelle: Thermal)
Detailansicht Lufterwärmer mit auf Kupferrohren aufgesetzten Lamellenblechen (rechts, Quelle: Siemens)

Luftkühler benötigen in der Regel mehr Übertragungsfläche als Lufterwärmer, weil die mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Kühleroberfläche und der Luft kleiner ist. Diese Forderung wird konstruktiv durch mehrere, nebeneinander angeordnete Rohrreihen erfüllt. Daher benötigen Luftkühler bezogen auf ihre Leistung mehr Platz (Einbaubreite) im Lüftungsgerät als Lufterwärmer.

Wird mit kleinen Temperatur-Differenzen gearbeitet und muss dem Wasser, auf Grund von tiefen Lufttemperaturen, Frostschutz (Glykol) beigemischt werden, dann werden noch mehr Rohrreihen und damit Einbaubreite benötigt. Ein gutes Beispiel dafür sind die Wärmeübertrager einer KVS-WRG.



Fig. 6-43 Wärmeübertrager einer KVS-WRG, arbeiten als Lufterwärmer resp. Luftkühler je nach Temperaturverhältnis Außenluft zu Abluft (Quelle: Siemens)

Übertragungsverhalten von Lufterwärmern und Luftkühlern

Lufterwärmer und Luftkühler haben ein nicht-lineares Verhalten (vgl. Fig. 6-44) zwischen dem sie durchfließenden Volumenstrom $\dot{V}$ und der zugehörigen abgegebenen Leistung $\dot{Q}$.

Je nach Konstruktion und Versorgungstemperaturen, ist diese sogenannte Wärmeübertrager-Kennlinie mehr oder weniger stark nach oben durchgebogen, was mit der Kenngröße "a-Wert" ausgedrückt wird (Bereich ca. 0,6...0,2). Dies bedeutet, dass ein Lufterwärmer resp. Luftkühler bei kleinen Volumenströmen verhältnismäßig schon viel Leistung überträgt, bei großen Volumenströmen ist die Leistungsänderung dann nur noch gering, wenn der Volumenstrom variiert.

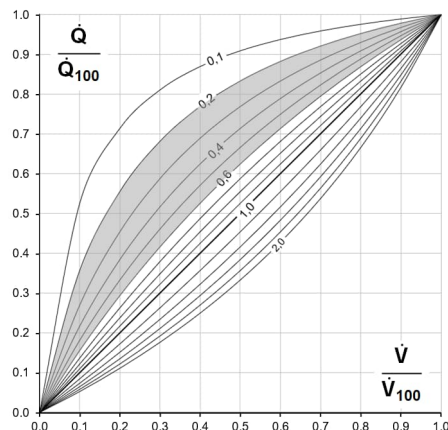


Fig. 6-44 Wärmeübertrager-Kennlinien-Diagramm und üblicher Bereich der a-Werte für Lufterwärmer/-kühler

Um ein gutes, gleichmäßiges Regelverhalten des in der Anlage eingebauten Wärmeübertragers zu erreichen, kann diese nichtlineare Kennlinie des Wärmeübertragers mit geschickter Auswahl des Regelventils größtenteils kompensiert werden (vgl. 5; 5.8 Streckenkennlinie).

Frostschutzfunktion bei Lufterwärmern

Der Frostschutzwächter detektiert eine zu kalte Lufttemperatur, die zum Einfrieren des Wassers im Lufterwärmer und damit zu dessen Beschädigung führen könnte. Dies weil Wasser ja die spezielle Eigenschaft hat, dass sein Volumen stark zunimmt (ca. 9 %), wenn es gefriert. Geschieht dies im Innern des Lufterwärmers, platzen seine Kupferrohre. Das wäre ein massiver Schaden, der nicht kurzfristig behoben werden kann und die Anlage wäre dann für Wochen außer Betrieb. Das gilt es unbedingt zu verhindern.

Wird die Grenztemperatur im Luftstrom unterschritten, stellt der Frostschutzwächter sicher, dass Heizungswasser durch den Wärmeübertrager zirkuliert, die Lüftungsanlage ausgeschaltet und in der Gebäudeautomation ein entsprechender Frostschutz-Alarm ausgelöst wird.



Fig. 6-45 Frostschutzwächter, mit Kapillarrohlfühler aufgespannt über Querschnitt nach dem Lufterwärmer (Quelle: Siemens)

Direktverdampfer-Luftkühler, Direktkondensator-Lufterwärmer

Die Luft kann auch mit Hilfe eines sogenannten Direkt-Verdampfers (auch DX-Kühler genannt) gekühlt werden.

Ein Direkt-Verdampfer ist ebenfalls ein Lamellen-Wärmetauscher, durch den nicht Wasser, sondern Kältemittel einer Kältemaschine geführt wird. Dieses verdampft auf seinem Weg durch den Wärmeübertrager und dadurch wird die Luft gekühlt. Damit das Kältemittel im DX-Kühler richtig verdampfen kann, muss der Kältemittelstrom mit einer Düse auf viele kleine Kältemittelströme aufgeteilt werden (vgl. Fig. 6-46, links). Diese Kältemittel-Teilströme verdampfen dann individuell auf ihrem Weg durch den Direktverdampfer-Luftkühler.

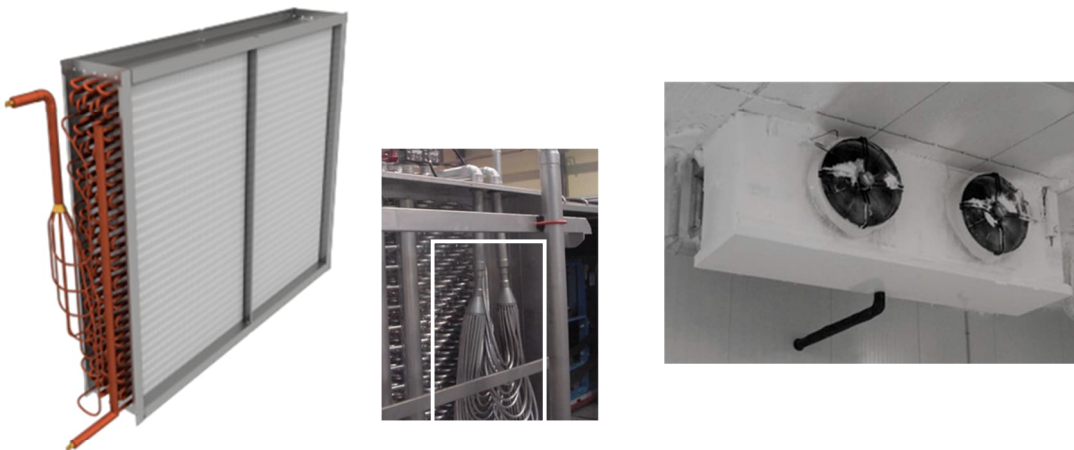


Fig. 6-46 Direktverdampfer mit aufgeteilten Kältemittel-Leitungen, Kältemittel-Düsen im Detail (Quellen: WÄTAS, Siemens)

Direktverdampfer mit Vereisung in Kühlraum (Quelle: Coldsense)

Mit Hilfe eines Direktverdampfers, lässt sich die Luft auf tiefere Temperaturen kühlen als mit einem Kaltwassernetz, z.B. für einen Kühlraum. Die Luft kann, auf Grund der viel kälteren Kühloberfläche, auch stärker entfeuchtet werden als mit einem wassergekühlten Luftkühler.

Allerdings kann das Kondensat bei den tiefen Temperaturen am Luftkühler anfrieren, was einen regelmäßigen, kontrollierten Abtau-Vorgang nötig macht (vgl. Fig. 6-46, rechts).

Der Kondensator einer Kältemaschine kann ebenfalls genutzt werden, um die Luft direkt zu heizen (vgl. Fig. 6-47). Dabei ist zu beachten, dass dieser Wärmeübertrager mit Heißgas aus dem Kälteprozess beliefert wird, welches verhältnismäßig hohe Temperaturen aufweisen kann.

Wird ein DX-Kühler einer Kältemaschine für die Luftkühlung eingesetzt, dann bietet es sich an, die Abwärme des Prozesses mit Hilfe des Kondensators für die Erwärmung der Luft zu nutzen. So wird keine Versorgung des Lüftungsgerätes mit Heizungswasser benötigt.



Fig. 6-47 Kondensator einer Kältemaschine zum direkten heizen der Luft (Quelle: USA Coils)

Für weitere Informationen zum Kälteprozess siehe Kapitel „4 Kälteanlagen.“

Elektrolufterhitzer

Elektrolufterhitzer haben eine Anzahl Heizwendel eingebaut, die sich erwärmen, wenn sie von Strom durchflossen werden und die so entstandene Wärme an die Luft abgeben.

Sie werden dort eingebaut, wo keine Warmwasserheizung besteht, der Anschluss zu weit weg ist oder aus anderen Randbedingungen ein Warmwasser-Lufterwärmer nicht zulässig ist. Elektro-Lufterwärmer benötigen wegen der möglichen Brandgefahr spezielle Sicherheitseinrichtungen und -vorkehrungen (z.B. Sicherheitsthermostat, Nachlaufzeit des Ventilators, ...).

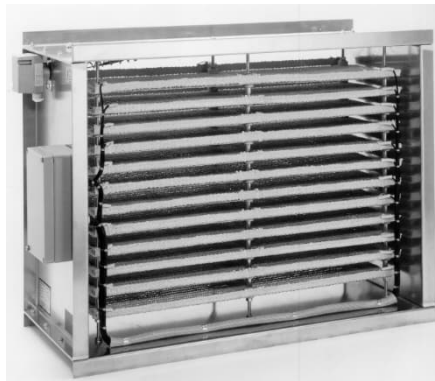


Fig. 6-48 Elektrolufterhitzer (Stahlrohre mit eingebauten Heizwendeln; Quelle Kuno Engels)

Adiabate Kühlung

Diese nutzt einen Verdunstungsbefeuchter in Kombination mit einer Wärmerückgewinnung, um die Luft zu kühlen. Weitere Informationen dazu unter „6.4.8 Befeuchter“, Adiabate Kühlung (Verdunstungsbefeuchtung genutzt für Luftkühlung).

6.4.8. Befeuchter

Befeuchtungsarten

Die Luft kann auf zwei verschiedene Arten befeuchtet werden:

- durch Verdunstung von Wasser im Luftstrom
- durch Einblasen von Dampf in den Luftstrom

Verdunstungsbefeuchter

Verdunstungsbefeuchter gibt es in vielen verschiedenen Bauformen. Dazu gehören Luftwäscher, Wasser-Zerstäuber, Oberflächen-Wasserverdunster, Hochdruck-Zerstäuber und Kaltdampf-generatoren.

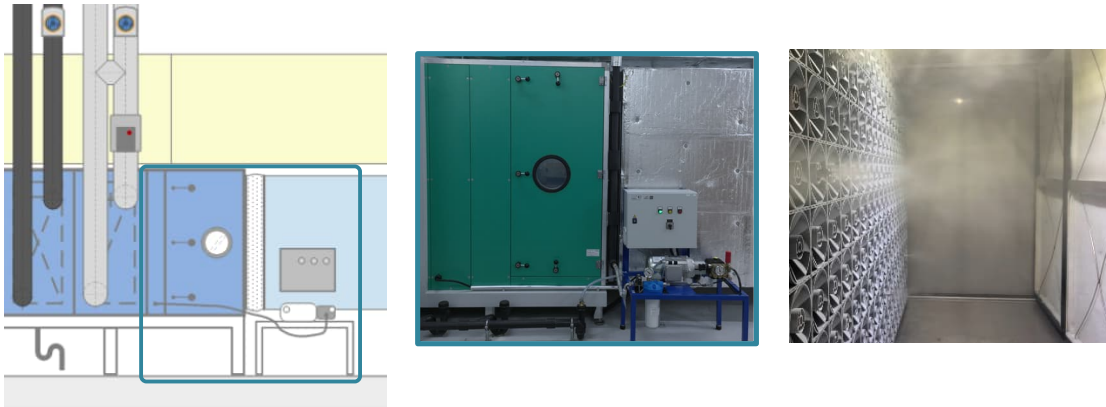


Fig. 6-49 Verdunstungsbefeuchter eingebaut in Lüftungsgerät (links Prinzip, Mitte Anlagenbild, rechts Innenansicht)

Alle diese Bauformen basieren auf dem Verdunstungsprinzip, weil die Luft Feuchtigkeit nur in Dampfform mitführen kann. Dabei wird Wasser in Tropfenform in den Luftstrom eingebracht. Je nach Bauform sind es kleine Wassertropfen, die nur teilweise verdunsten oder kleinste Wassertöpfchen (Aerosole) die nebelartig im Luftstrom schweben und vollständig verdunsten.



Fig. 6-50 Hochdruck-Verdunstungsbefeuchter mit Sprühdüsen (orange) und Hochdruckpumpe (blau)



Befeuchter in Aktion (Sicht durch Schauglas) mit Sprühdüsen vor Turbulatoren (1) und Tropfenabscheider-Matte (2) rechts

Dieser Verdunstungsprozess benötigt bekanntlich viel Wärme.

Um 1 kg Wasser, bei den im Lüftungsgerät üblichen Temperaturen (ca. 10...35 °C), zu verdunsten, braucht es etwa 2400 kJ Wärme. Da es im Inneren des Befeuchters kein Heizelement gibt, muss diese große Wärmemenge aus der Luft bezogen werden. Das führt zu einer spürbaren Abkühlung der Luft.

Es gibt also eine Wärmeverschiebung; der gesamte Wärmeinhalt der Luft bleibt aber konstant.

Dieser Vorgang wird auch als „adiabate Befeuchtung“ (oder isenthalpe Befeuchtung) bezeichnet und kann sehr schön im h,x-Diagramm aufgezeigt werden.

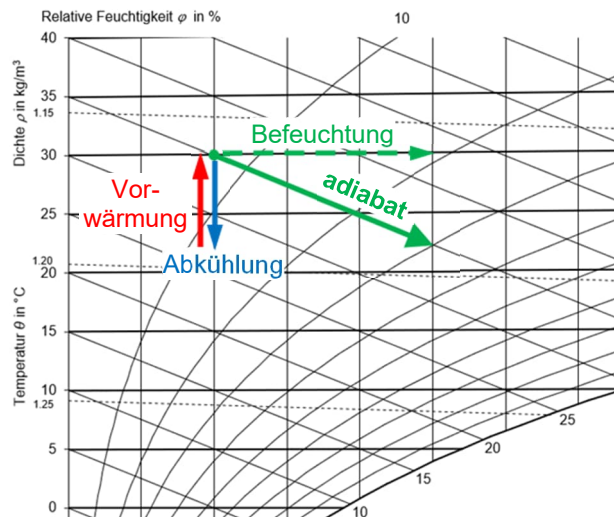


Fig. 6-51 Adiabate Befeuchtung und zugehörige Vorwärmung im h,x-Diagramm dargestellt

Damit durch die Abkühlung, die bei der Verdunstung entsteht (vgl. Fig. 6-51), nicht unzulässig tiefe Einblastemperaturen entstehen, muss die Luft entsprechend vorgewärmt (oder nachgewärmt) werden.

Dieser Befeuchtungsvorgang ist also energie-intensiv (Pumpenstrom, Verdunstungswärme) und außerdem muss das Wasser aufbereitet werden, was ebenfalls mit entsprechendem Energieaufwand und Betriebskosten verbunden ist.

Bauformen von Verdunstungsbefeuchtern

Luftwäscher

Wasser wird aus einem Auffangbecken in die im Luftstrom verteilten Sprühdüsen gepumpt. Die feinen Tröpfchen verdunsten teilweise zu Wasserdampf und entziehen dabei der vorbeiströmenden Luft die dazu notwendige Verdampfungswärme. Die nicht verdunsteten Wassertröpfchen werden in einem Tropfenabscheider am Austritt des Luftwäschers ausgeschieden und in das Auffangbecken zurückgeleitet.



Fig. 6-52 Luftwäscher, Prinzip
Mögliche Bauform (Quelle: Baehr)

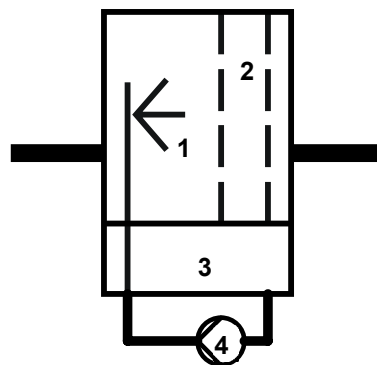


Fig. 6-53 Luftwäscher, Prinzip
1 Sprühdüsen
2 Tropfenabscheider
3 Auffangbecken
4 Umwälzpumpe

Wasser-Zerstäuber

Das Wasser wird durch sogenannte Molekular-Zerstäuberdüsen zu einem Sprühnebel zerstäubt. Die Wassertröpfchen (sog. Aerosole) werden dabei so klein, dass sie in der Luft schweben und anschließend vollständig verdunsten.

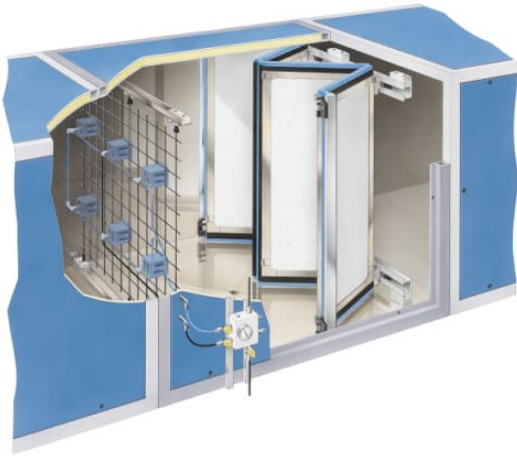


Fig. 6-54 Oberflächen-Wasserverdunster (eingebaut in Lüftungsgerät)

Oberflächen-Wasserverdunster

Dem oben beschriebenen Wasserzerstäuber werden großflächige, poröse Keramikplatten nachgeschaltet, in welchen die noch nicht verdunsteten Aerosole aufgefangen werden und anschließend vollständig verdunsten (siehe Fig. 6-54).

Kaltdampfgenerator

In Anlagen, die hohen hygienischen Anforderungen genügen müssen, können sogenannte Kaltdampfgeneratoren zur Befeuchtung eingesetzt werden. Deutlich reduzierter Wasser- und Energieverbrauch gegenüber den oben aufgeführten Befeuchtungsarten sind die charakteristischen Merkmale eines Kaltdampfgenerators.

Die eintretende Luft wird im Kaltdampfgenerator zuerst in Schwingung versetzt, z.B. durch einen Infrarot-Schallgenerator oder es werden Luftwirbel erzeugt, in dem die Luft durch ein Wirbelgitter geleitet wird. Anschließend wird das Wasser mit hohem Druck (20 - 150 bar) in die Luft eingedüst. Die Schwingung oder die Luftwirbel sorgen dabei für eine gute Durchmischung. Zur Aufnahme der Feuchtigkeit in der Luft wird auch hier Verdampfungswärme benötigt, was zu einer Abkühlung der behandelten Luft führt (adiabater Vorgang).

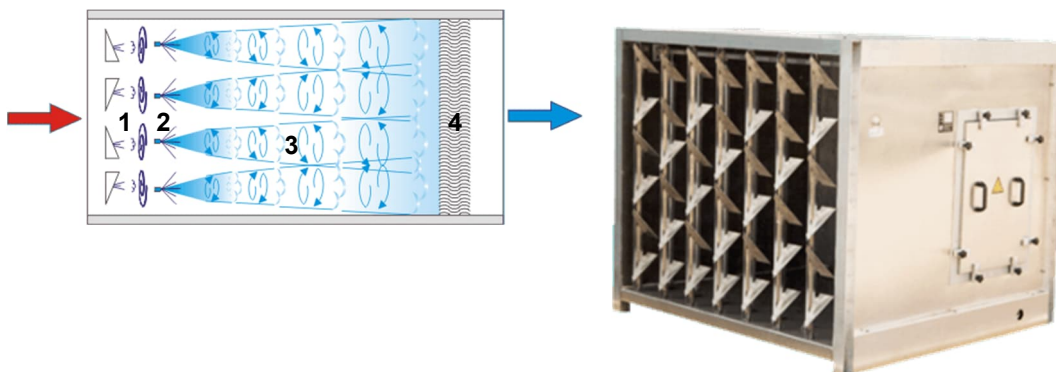


Fig. 6-55 Kaltdampfgenerator, Prinzip

Kaltdampfgenerator (Quelle: Klingenburg)

- 1 Luftwirbel
- 2 Zerstäuberdüse(n)
- 3 Durchmischungszone
- 4 Tropfenabscheider

In Kaltdampfgeneratoren wird nur so viel Wasser wie nötig zerstäubt. Deshalb haben sie kein Umlaufwasser und keine Auffangwanne. Nicht verdampfte Tropfen werden im Tropfenabscheider am Ende des Bauteils zurückgehalten.

Kaltdampfgeneratoren haben eine sehr gute Befeuchterleistung (hoher Befeuchtungswirkungsgrad, nahezu 100 %). Die Leistungsregelung erfolgt über den Wasserdruck in der Zerstäuberdüse.

Adiabate Kühlung (Verdunstungsbefeuchtung genutzt für Luftkühlung)

Bei adiabater Kühlung wird mit einem Verdunstungs-Befeuchter die Abluft befeuchtet und damit auch gezielt gekühlt. Mit Hilfe einer Wärmerückgewinnung (z.B. Kreuzstrom-WRG) wird diese "Kälte" in den Außenluftstrom übertragen (vgl. Fig. 6-56).

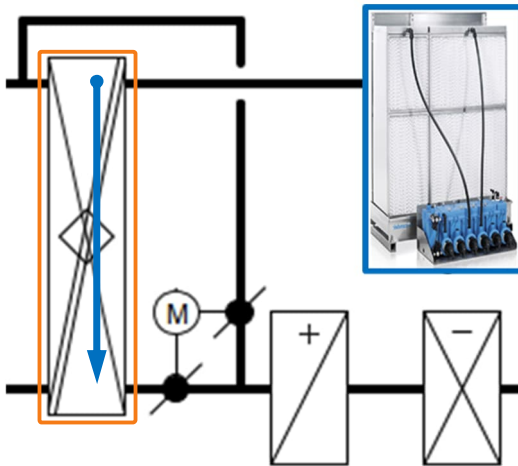


Fig. 6-56 Adiabate Kühlung, mit Verdunstungsbefeuchter (oben rechts, Quelle: Condair) und Kreuzstrom-WRG (links)

Die adiabate Kühlung spart mechanische Kühlung oder diese wird teilweise unnötig und die Energieeffizienz der Luftkühlung wird dadurch stark erhöht. Die befeuchtete warme Luft wird nach der WRG als Fortluft aus dem Gebäude geblasen.

Dampfbefeuchter

Wasser wird zuerst vollständig verdampft und dann erst eingeblasen. Bei der Dampfbefeuchtung muss also nicht zusätzlich Wärme in den Luftstrom eingebracht werden, weil der Dampf außerhalb des Lüftungsgerätes bereitgestellt wird (vgl. Fig. 6-57). Die große Verdampfungswärme braucht es aber auch hier für diesen Prozessschritt. Dampf ist hygienisch sauber und frei von Bakterien.



Fig. 6-57 Dampf-Luftbefeuchter (Quelle: Condair)

Auf Grund der hohen Dampftemperatur könnte man durchaus vermuten, dass die Luft durch den eingeblasenen Dampf um einige Kelvin erwärmt wird. Bei der Befeuchtung werden aber meistens nur wenige Gramm Dampf bezogen auf 1 kg (1000 g) Luft zugeführt. Das führt zu einer sehr geringen Erwärmung des Luftstroms, selbst wenn der Dampf heißer als 100 °C ist. Die durch den

Dampf eingebrachte Wärme ist also vernachlässigbar gering. Auch bei der Dampfproduktion muss aufbereitetes Wasser eingesetzt werden, was mit entsprechenden Betriebskosten verbunden ist.

Dampf-Luftbefeuchter mit Fremddampf

In größeren Anlagen (Industrieanlagen) mit entsprechend großer Befeuchterleistung wird der Dampf in einem separaten Dampfkessel erzeugt. Der Dampf wird über speziell konstruierte Dampfverteiler (Fig. 6-58) frei von Kondensat in den Luftstrom eingeblasen. Das in den Verteilrohren anfallende Kondensat muss vollständig abgeleitet und in den Dampfkessel zurückgeführt werden. Die Dampfmenge wird über ein stetiges Regelventil genau dosiert.

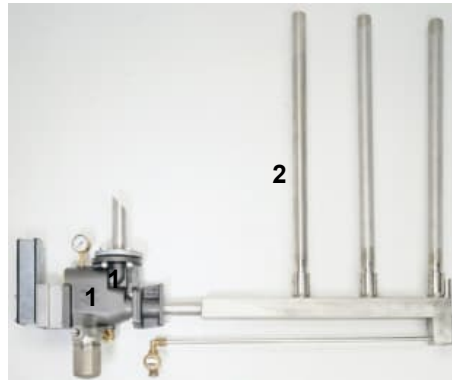
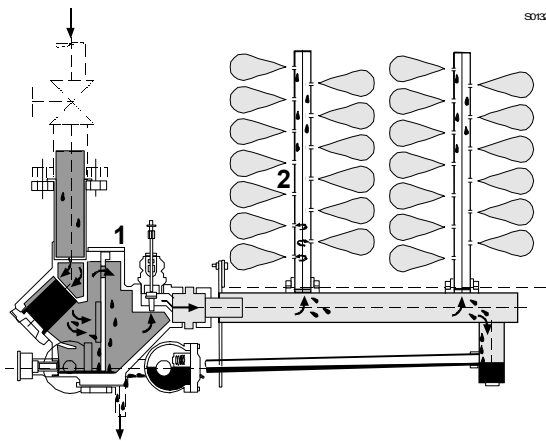


Fig. 6-58 Dampf-Luftbefeuchter, Prinzip

Dampf-Luftbefeuchter

- 1 Regelventil
- 2 Verteilrohre für Fremddampf

6.4.9. Entfeuchtung

Das Entziehen von Feuchtigkeit aus der Luft erfolgt nach drei grundsätzlich verschiedenen Methoden:

- Kühlung der Luft mit Wasserausscheidung (Kondensat)
- Absorption des Wassers in hygroskopischen Flüssigkeiten
- Adsorption des Wasserdampfes durch Anlagerung an festen Oberflächen

Kühlung mit Wasserausscheidung

Bei dieser Art der Lufttrocknung wird die Luft mit einem genügend kalten Kühlmittel so stark abgekühlt, dass das Wasser aus der Luft ausscheidet (Kondensat). Der Entfeuchtungs-Prozess ist also gleichzeitig ein Luftkühlprozess. Deshalb ist danach oft ein Nacherwärmer notwendig, um auf die geforderte Einblastemperatur zu kommen.

Bemerkenswert ist, dass die Luft nicht zwingend auf ihre Taupunkt-Temperatur abgekühlt werden muss. Es genügt, wenn die Temperatur der Kühloberfläche unterhalb der Taupunkt-Temperatur der Luft liegt. Es ist nicht erforderlich, dass der Kühler sehr groß sein muss. Denn bereits bei einer sehr geringen Abkühlung der Luft findet Wasserausscheidung statt.

Zur Entfeuchtung können dieselben Kühlmittel eingesetzt werden, die auch bei der Kühlung von Luft üblich sind, also gekühltes Wasser (mit Kältemaschine produziert), Brunnenwasser, Seewasser, Sole, ..., sowie bei der direkten Kühlung die verschiedenen Kältemittel.

Dieses Prinzip der Luftentfeuchtung wird sehr oft in Klimaanlage angewendet, bei gleichzeitiger Kühlung der Luft. Sehr oft auch in fahrbaren Geräten die dann ortsunabhängig eingesetzt werden können.

Absorption in Flüssigkeiten

Der Wasserdampf geht in hygroskopischen Flüssigkeiten in Lösung und verdünnt die Flüssigkeit. Die Wasserdampfaufnahme nimmt mit steigender Wasserdampfkonzentration der Luft, mit steigendem Druck und mit sinkender Temperatur zu. Die Regenerierung der hygroskopischen Flüssigkeiten erfolgt üblicherweise durch Erwärmen.

Verwendet werden in der Regel wässrige Salzlösungen von Lithiumchlorid, Lithiumbromid oder Calciumchlorid.

Adsorption an Oberflächen

Bei dieser Art der Luftentfeuchtung wird der Wasserdampf an der Oberfläche eines festen Körpers – des Adsorbens (Adsorptionsmittel) – angelagert, wobei die Oberfläche vorwiegend durch die innere Struktur mit Poren kleinster Abmessungen gebildet wird.

Für die Adsorption von Wasserdampf wird üblicherweise Kieselgel eingesetzt (Handelsname Silicagel). Es besteht zu 90 % aus SiO_2 und hat eine innere Oberfläche von bis zu $1000 \text{ m}^2/\text{g}$.

Bei der Adsorption wird die Adsorptionswärme im Adsorbens freigesetzt, was zu einer Temperaturerhöhung der Luft führt. Die entfeuchtete Luft muss deshalb eventuell noch gekühlt werden.

Die Regenerierung erfolgt durch Erhitzen mittels heißer Luft auf ca. 150°C ... 200°C . Ist das Sorptionsmittel abgekühlt, ist es wieder einsatzbereit.

Für einen kontinuierlichen Betrieb einer Adsorptions-Anlage sind zwei Behälter mit Kieselgel nötig. Einer adsorbiert die Luftfeuchtigkeit, während der andere regeneriert und gekühlt wird.

Das Prinzip der Adsorption zur Luftentfeuchtung kommt auch in DEC-Anlagen zum Einsatz (vgl. 6.4.10). Dort besteht der rotierende Tauscher aus einer Verbindung von Keramik und Kieselgel (Silicagel). Zur Regeneration sind dort allerdings nicht so hohe Temperaturen erforderlich, was es ermöglicht, die Abwärme zur Regeneration zu nutzen.

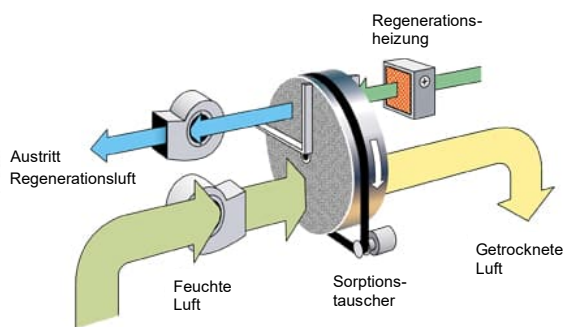


Fig. 6-59 Sorptionstauscher, Prinzip (Quelle: Frey)



Sorptionstauscher (Quelle: Frey)

6.4.10. DEC-Systeme

Der Begriff DEC (Desiccative and Evaporative Cooling) steht für Trocknung und Verdunstungskühlung. Der Grundgedanke der DEC-Technik besteht darin, den klassischen Kälteerzeugungsprozess in der Klimatisierung (mit elektrisch angetriebenen Kompressoren) durch Verdunstungskühlungen und Wärme-/Feuchtetauscher zu ersetzen. Dazu wendet man die seit langem bekannten Verfahren der adiabaten Kühlung und der adsorptiven Luftentfeuchtung (vgl. 6.4.9) in einer speziellen Kombination an. Meistens werden feste Sorptionsmittel eingesetzt, deren Anwendung sich bewährt hat (z.B. Silicagel). Antriebsenergie des Prozesses (vgl. 5 in Fig. 6-60) ist Wärme auf einem nicht allzu hohen Temperaturniveau, die sehr oft – insbesondere im Sommer – in Form von Abwärme zur Verfügung steht. Aus untenstehender Abbildung ist ersichtlich, dass dieser Prozess auf einem, gegenüber den Lufttemperaturen, hohen Temperaturniveau abläuft (Regenerations-Luftwärmer bis z.B. 70°C).

Funktionsprinzip (Sommerfall)

Die Außenluft (z.B. 32 °C, 35 % r.F.) wird nach der üblichen Filterung in einem Adsorptions-Tauscher (1) entfeuchtet. Diese Entfeuchtung findet kontinuierlich statt und erfolgt nahezu adiabatisch. Die dabei freiwerdende Adsorptionswärme wird an den Luftstrom abgegeben, was zu einer Erwärmung der Außenluft führt.

Die trockene warme Luft wird anschließend in einem regenerativen Wärmerückgewinner (2) vorgekühlt. Im Winter dient dieser Rotationstauscher zur Vorwärmung der Außenluft mit Hilfe der Abluft. Die so vorgekühlte Luft wird anschließend durch einen Verdunstungsbefeuchter (3) auf die geforderte Zulufttemperatur und -feuchte gebracht.

Die Abluft wird durch einen weiteren Verdunstungsbefeuchter (4) in der Temperatur abgesenkt zur besseren Vorkühlung der Zuluft im Wärmerückgewinner (2). Dabei erwärmt sich die Abluft. Es erfolgt eine Nachwärmung mit einem Lufterwärmer (5), damit der Adsorptions-Tauscher (1) wieder regeneriert werden kann. Dabei wird die Abluft gekühlt und die Feuchte nimmt zu. Man nennt diesen Vorgang auch "adiabate Desorption".

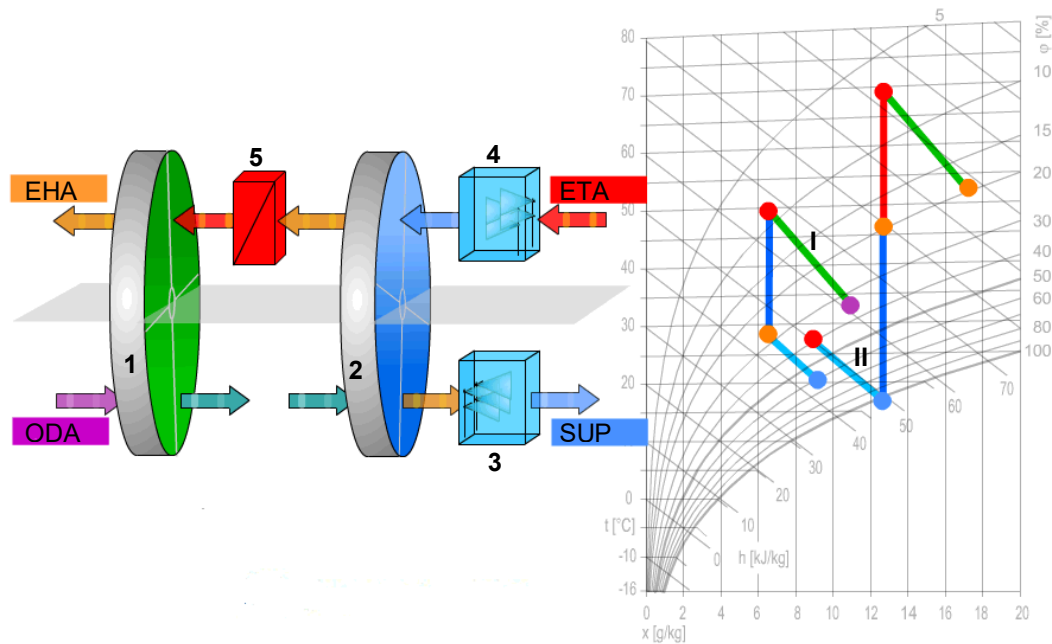


Fig. 6-60 Funktionsprinzip einer DEC-Anlage - Sommerfall (Quelle: Klingenburg)

- I Zustandsverlauf Außenluft → Zuluft (ODA → SUP)
- 1 Sorptions-Tauscher (Trocknung der Außenluft, Erwärmung durch Adsorptionswärme)
- 2 Rotations-Wärmetauscher (Kühlung der Außenluft)
- 3 Zuluft-Verdunstungsbefeuchter (adiabate Kühlung)

- II Zustandsverlauf Abluft → Fortluft (ETA → EHA)
- 4 Abluft-Verdunstungsbefeuchter (adiabate Kühlung)
- 2 Rotations-Wärmetauscher (Erwärmung der Abluft)
- 5 Regenerations-Lufterhitzer (erwärmt Abluft auf z.B. 70 °C)
- 1 Sorptions-Tauscher (Abkühlung und Befeuchtung der Abluft)

6.5. Strukturen von Lüftungs-/Klimaanlagen

Lüftungs- und Klimaanlage mit zentraler Wärme- und / oder Kälteerzeugung kann man prinzipiell danach unterscheiden, wie die im Raum benötigte Heiz- und Kühlenergie zum Raum transportiert wird:

- nur über die Zuluft
- nur über das Warm- und Kaltwassernetz
- kombiniert über die Zuluft und das Warm- und Kaltwassernetz

Aus dieser Unterscheidung ergeben sich die folgenden System-Varianten:

- Nur-Luft-Systeme
- Luft-/Wasser-Systeme

Dabei ist zu beachten, dass bei Nur-Luft-Systemen (vgl. Fig. 6-61) der Energietransport der gleichen Wärme- und Kühlleistung erheblich mehr Energie erfordert als bei der Übertragung mittels Wasser und viel mehr Platz im Gebäude dafür beansprucht wird.

Deshalb wird heute eine Lüftungs-/Klimaanlage meistens mit dem Fokus „Luftqualitäts-Einhaltung“ konzipiert und mit variablen Volumenströmen (nach Bedarf der Räume/Zonen) betrieben. Die für die Räume notwendige Wärme resp. Kälte wird größtenteils über wasser-basierte Systeme zu den Räumen gebracht (vgl. 6.5.4 Luft-Wasser-Systeme).

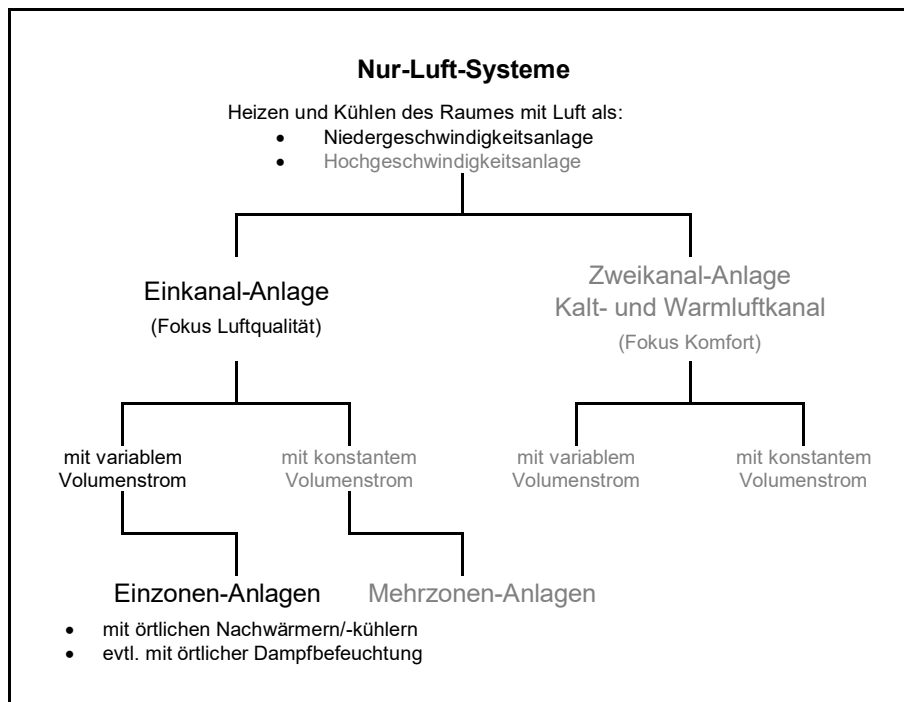


Fig. 6-61 Bauarten von Klimaanlage (Luft-Systeme)

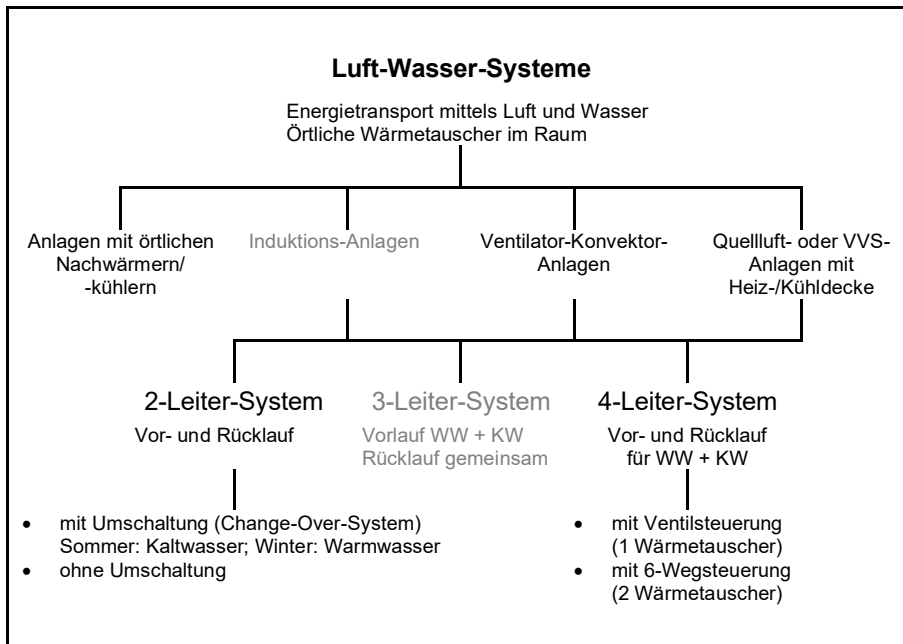


Fig. 6-62 Bauarten von Klimaanlage (Luft-Wasser-System)

6.5.1. Einkanal-Anlage

Bei diesem System (Fig. 6-63) wird die gesamte Zuluft in der Zentrale mit Hilfe der verschiedenen Bauteile (vgl. 6.4, Lufttechnische Anlagenelemente) aufbereitet. Dazu muss das Lüftungsgerät mit der notwendigen Heiz- und Kühlleistung aus der Energiezentrale versorgt werden.

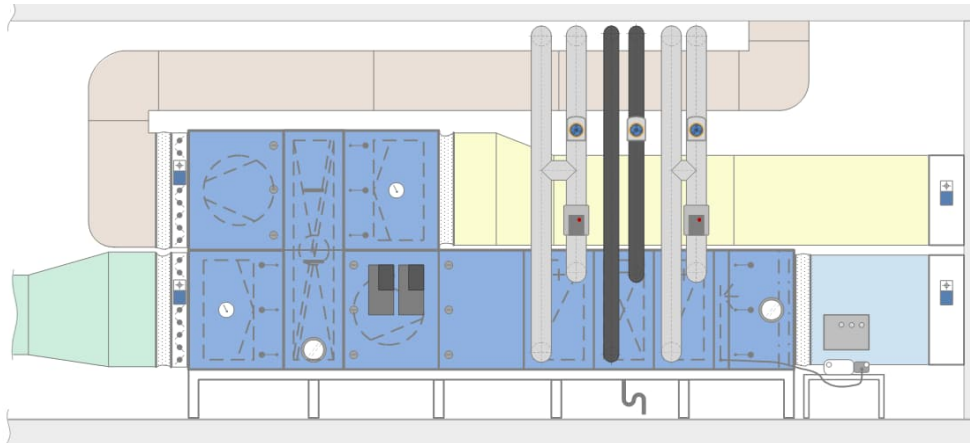


Fig. 6-63 Luftaufbereitungsgerät für eine „Einkanal“-Anlage

Die Luft wird in Lüftungskanälen geführt, von der Außenluftfassung an der Fassade bis zum Lüftungsgerät und von dort zu den Räumen. Von den Räumen dann wieder zurück zum Lüftungsgerät und von dort bis zum Fortluftauslass im Dachaufbau.

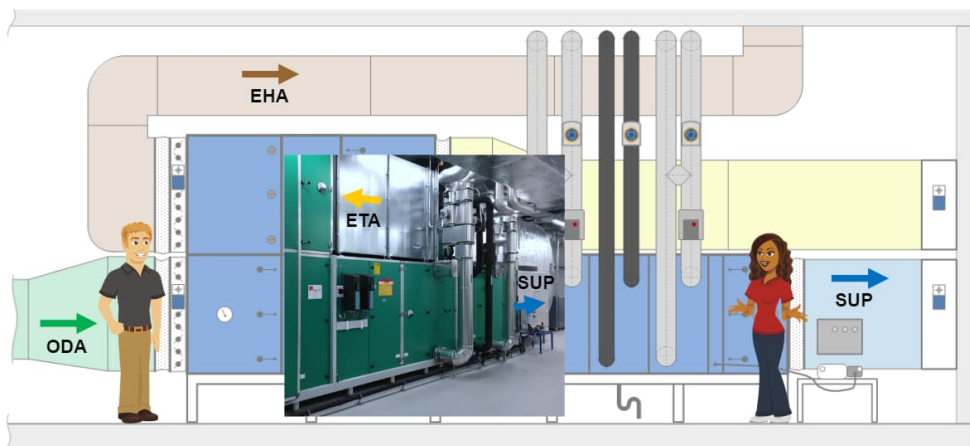


Fig. 6-64 Lüftungsgerät im Technikraum mit großen Luftkanälen für die verschiedenen Luftströme

Diese Lüftungskanäle sind normalerweise aus verzinktem Stahlblech gefertigt und können in eckiger oder runder/ovaler Form (Wickelfalzrohr) ausgeführt sein. Für spezielle Anwendungen werden sie auch aus Chromstahl, Aluminium oder Kunststoff gefertigt. Damit bei großen eckigen Kanälen die dünnen Blechwände (meistens < 1 mm) nicht zu stark vibrieren und damit unangenehme Geräusche verursachen, werden die Bleche mit leichten Quer-Abkantungen formstabiler gemacht.

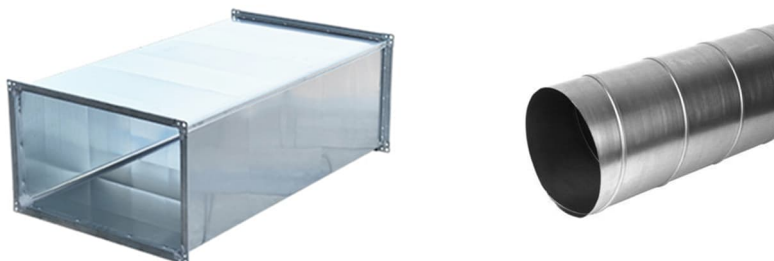


Fig. 6-65 Lüftungskanal eckig (mit leichten Abkantungen zur Verstärkung) und rund (Wickelfalzrohr) aus verzinktem Stahlblech

Es gibt also eine Kanalstruktur, welche die Zuluft zu verschiedenen Zonen und dann bis in die Räume führt. Die Kanalstruktur für die Abluft führt dann die Luft von den Räumen über die Zonen zurück zum Lüftungsgerät.



Fig. 6-66 Einkanal-Anlage mit Zu- und Abluftkanalnetz (mit zugehörigen Volumenströmen in m^3/h)

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1 Außenluft (ODA) | 3 Zuluft (SUP) |
| 2 Fortluft (EHA) | 4 Abluft (ETA) |
| 5 Zonen und Räume | |

Der Querschnitt der Zuluftkanäle wird nach Abgängen zu Zonen und Räumen immer kleiner. Je länger der Kanal, desto weniger Luft wird geführt (vgl. Fig. 6-66). Dadurch ergeben sich passende, energetisch sinnvolle Strömungsgeschwindigkeiten im ganzen Zuluft-Kanalnetz. Sie liegen im Bereich von $3 \dots 6 \text{ m/s}$, bei Volumenströmen von $1000 \dots 10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$.

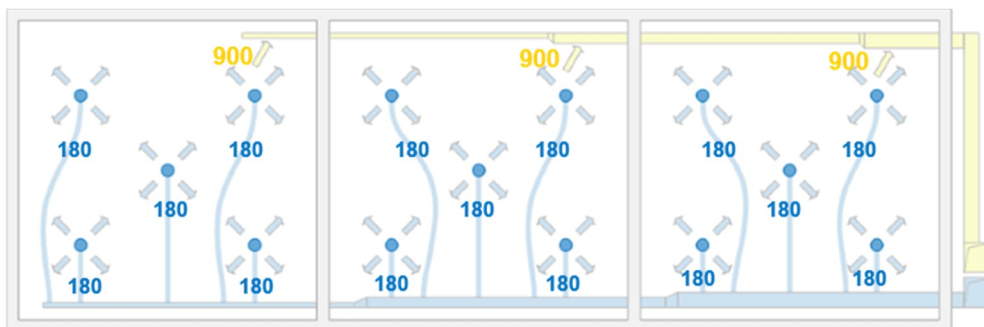


Fig. 6-67 Zuluft-Verteilung (fein verteilt) und zentrale Abluffassung (für 3 Räume, im Grundriss gezeigt)

Das Abluft-Kanalnetz ist grundsätzlich nach denselben Überlegungen gestaltet. Die Abluft kann meistens zentraler abgesaugt werden, wodurch das Abluft-Kanalnetz einfacher strukturiert werden kann als das Zuluft-Kanalnetz (vgl. Fig. 6-67).

Dadurch sind die Widerstände im Abluft-Kanalnetz meistens geringer und der Ventilator muss weniger Druck aufbauen und braucht somit auch weniger Strom.

Variable-Volumenstrom (VVS) -Systeme (engl. VAV: Variable Air Volume)

Aus energetischer Sicht, werden heute die meisten Lüftungs-/Klimaanlagen als VVS-Systeme gebaut. Das heißt, es soll nur so viel Luft wie für die Räume aktuell notwendig ins Gebäude gebracht, konditioniert und den Räumen zugeführt resp. von dort wieder nach draußen abgeführt werden.

Ein VVS-System ist heutzutage meistens als System zur Lüfterneuerung, d.h. zur Einhaltung der notwendigen Luftqualität in Räumen konzipiert. Wird mit minimaler Zulufttemperatur gearbeitet, dann können die Räume, mit der ihnen zugeführten Luftmenge, auch ein wenig gekühlt werden. Auf Grund der relativ geringen Luftmenge und der damit geringen Kälteleistung, wird in Ergänzung üblicherweise noch eine statische Kühlung (z.B. Kühldecken) in den Räumen benötigt. Dieselbe Überlegung gilt auch im Heizbetrieb, wo das VVS-System in Ergänzung zu einem geeigneten Heizsystem (Heizkörperheizung, statische Deckenheizelemente, ...) noch eine gewisse Heizleistung in die Räume bringen kann, wenn mit einer erhöhten Zulufttemperatur gearbeitet wird. Was genau gemacht wird resp. was möglich ist, hängt vom jeweiligen Gesamtanlagen-Konzept ab.

Mit einem VVS-System kann sehr flexibel auf die unterschiedliche Nutzung und Belegung von Räumen reagiert werden. Einem Raum wird somit jeweils immer nur so viel Luft wie aktuell notwendig zugeführt. Dadurch ergibt sich ein sehr energieeffizienter Betrieb, vor allem, wenn die Ventilatoren bezüglich gefördertem Volumenstrom und Druck nach dem Bedarf der Räume geregelt werden.

Bei der in Fig. 6-68 dargestellten VVS-Anlage wird die zentral aufbereitete Zuluft durch ein Einkanalssystem den Räumen über die VVS-Boxen (vereinzelt auch Konstant-Volumenstrom-Boxen, KVS-Boxen möglich) und über die Luftauslässe zugeführt. Die Abluft wird parallel dazu in ähnlicher Art und Weise geführt. Bei Bedarf kann bei den Zuluft- und Abluft-VVS-Boxen eine unterschiedliche zu regelnde Luftmenge eingestellt werden, wodurch sich gezielt Über- oder Unterdruck-Situation in den Räumen realisieren lassen.

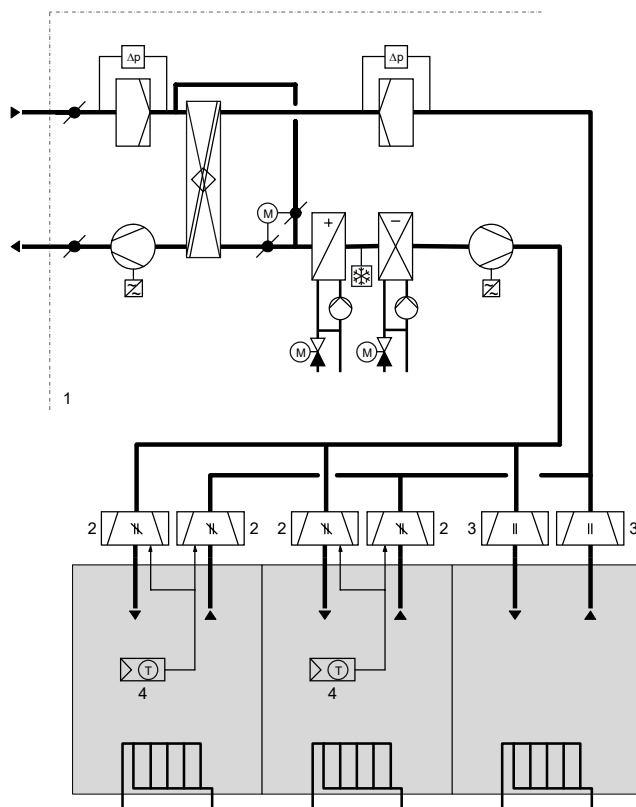


Fig. 6-68 Variable Volumenstrom-Anlage (VVS)

- 1 Zentrale Luftaufbereitung
- 2 VVS (Zu- und Abluft)
- 3 KVS (Zu- und Abluft)
- 4 Einzelraumregler

VVS-Box (2; Quelle: Trox Hesco, Siemens)

mit Messkreuz (vorne), Klappe (hinten) und aufgebautem VVS-Kompaktregler (Kombination aus Volumenstromregler und Klappenantrieb)

Zonen-Nachbehandlung

Bei dieser Anlage wird die, in einer Zentrale aufbereitete Zuluft, durch ein Einkanal-System zu den Räumen oder Zonen geführt. Die Zuluft kann z.B. für eine Zone noch nachgeheizt und/oder nachgekühlt werden (Fig. 6-69, links). Das heißt natürlich auch, dass solche Lufterwärmer und Luftkühler in den Zonen wasserseitig erschlossen werden müssen.

Die Zuluft kann, wenn nötig, auch noch nachträglich befeuchtet werden. Dies geschieht meistens mit einem Dampfbefeuchter (Fig. 6-69, Mitte).

Entfeuchten ist aufwändig und erfordert ja oft noch Nachwärmen (Fig. 6-69, rechts). Deshalb wird dies meistens nur im Lüftungsgerät im Technikraum gemacht.

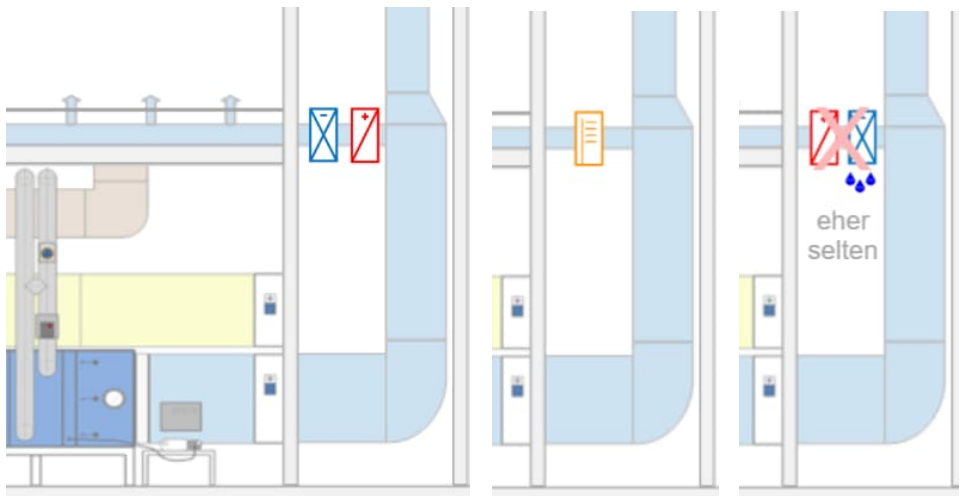


Fig. 6-69 Zonen-Nachbehandlung

nachträgliches Heizen und/oder Kühlen, evtl. Befeuchten (mit Dampfbefeuchter);
nachträgliches Entfeuchten eher nicht, meistens in zentraler Luftaufbereitung

weitere Zonen-Nachbehandlungen

Die Luft kann bei Bedarf auch noch zusätzlich gefiltert werden. Oder sie könnte mit ultravioletttem Licht (zur Entkeimung) behandelt oder gar mit Duftstoffen versehen werden.

6.5.2. Anlagen mit anderen Lüftungskanal-Strukturen

Mehrzonen-Anlage mit Mehrzonenzentrale

Vorbemerkung: Diese Anlagenart ist vielleicht noch in bestehenden Objekten anzutreffen, wird aber neu aus Energieeffizienz- und anderen Überlegungen kaum mehr gebaut.

Für Gebäude mit wenigen Zonen, aber relativ hohem Luftmengenbedarf (z.B. Einkaufszentren oder Konferenzsäle in Hotels) und unterschiedlich anfallenden Heiz- und Kühllasten pro Zone, eignet sich die Mehrzonenanlage (Fig. 6-70). In der Zentrale erfolgen zuerst die Außenluft-/Umluft-Mischung, die Filterung und die Vorwärmung der gesamten Zuluftmenge. Nach dem Zuluftventilator wird der Zuluftstrom in zwei Teilstrome aufgeteilt (Fig. 6-71). Ein Teilstrom wird durch den Nachwärmer, der andere durch den Kühler geblasen. In den anschließenden Zonenklappen wird durch Mischen von Kalt- und Warmluft die individuell erforderliche Zulufttemperatur für jede Zone gemischt. Die Zonenklappen sind vertikal angeordnet und je eine Kalt- und Warmluftklappe sitzt auf der gemeinsamen Klappenachse. Die Kaltluft- ist gegenüber der Warmluftklappe um einen Winkel von 90° verdreht, so dass bei geschlossener Kaltluft- die Warmluftklappe ganz geöffnet ist. Die Aufteilung der Zuluftmenge auf die einzelnen Zonen erfolgt durch Zuordnung der relativen Anzahl an Zonenklappen.

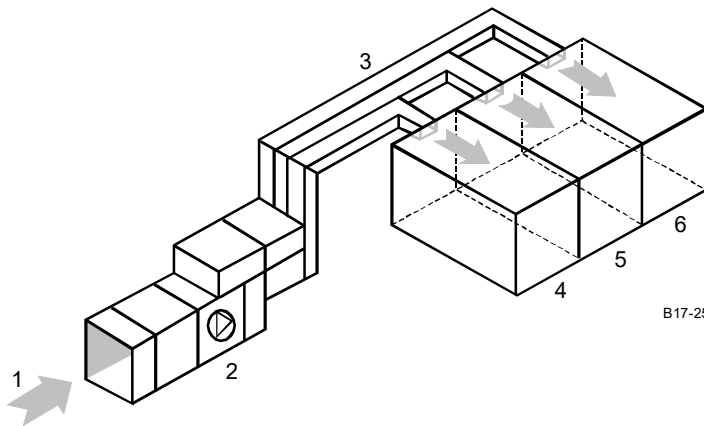


Fig. 6-70 Mehrzonen-Anlage

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1 Außenluft | 3 Zuluftkanäle (Niederdruck) |
| 2 Mehrzonenzentrale | 4...6 Verschiedene Zonen |

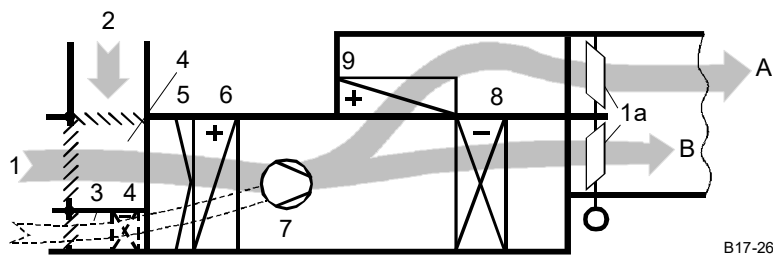


Fig. 6-71 Funktionsweise einer Mehrzonen-Anlage

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| 1 Außenluft | 7 Ventilator |
| 2 Umluft | 8 Luftkühler |
| 3 Minimum-Außenluftkanal | 9 Lufterwärmer |
| 4 Minimum-Außenluftkühler | 1a Zonenklappen |
| 5 Filter | A Warmluft |
| 6 Vorwärmer | B Kaltluft |

Der Nachwärmer wird immer oben und der Kühler unten platziert, damit eventuell ausgeschiedenes Kondenswasser nicht mit dem Nachwärmer in Berührung kommt und so nicht wieder verdampfen kann.

Mehrzonen-Anlagen werden als Niedergeschwindigkeits-Anlagen gebaut. Die Kanäle werden deshalb relativ voluminös und sollten deshalb nicht über große Distanzen geführt werden müssen. Auch bezüglich Heiz- und Kühlenergieverbrauch (Mischungs-Verluste) ist es vorteilhaft, wenn die Zulufttemperaturen für die einzelnen Zonen nur geringe Unterschiede ($< 5 \text{ K}$) aufweisen.

Zweikanal-Anlagen

Vorbemerkung: Diese Anlagenart ist vielleicht noch in bestehenden Objekten anzutreffen, wird aber neu aus Energieeffizienz-Überlegungen aus Platzbedarfsgründen nicht mehr gebaut.

Die Bezeichnung „Zweikanal“ bezieht sich auf zwei Zuluftkanäle, nämlich einen Warm- und einen Kaltluftkanal, die parallel zu jedem Raum geführt werden. Wie bei den „Einkanal“-Anlagen wird auch hier der Abluftkanal nicht mitgezählt.

Um den Platzbedarf dennoch möglichst gering zu halten, wird das Luftkanalsystem in den meisten Fällen als Hochgeschwindigkeitssystem ausgelegt. Die Entspannung der Luftströme von Hoch- auf Niedergeschwindigkeit und die Mischung der Warm- und Kaltluft im richtigen Verhältnis erfolgt in speziell dafür konstruierten Mischkästen, die bei den Räumen installiert sind. Das Mischverhältnis wird durch den Raumtemperatur-Regler gesteuert.

In den Anfangszeiten der Klimatechnik, als der Energieverbrauch noch kein wichtiges Thema war, wurden die Warm- und Kaltluftkanäle noch ganzjährig mit gleichbleibenden Temperaturen betrieben. Dadurch entstand, insbesondere im Schwachlastbetrieb, ein unnötig hoher Energieverbrauch, weil Kühlenergie durch Wärmeenergie kompensiert werden musste. Man erreichte beispielsweise in der Mischkammer der Klimazentrale eine Mischtemperatur von 20 °C, kühlte anschließend die eine Hälfte der Zuluft auf 10 °C und erwärmte die andere Hälfte auf 30 °C, um danach die beiden Luftströme in den Mischboxen wieder auf ca. 20 °C zu mischen!

Als dann der Energieverbrauch zum wichtigen Thema wurde, wandten sich die Planer zunehmend von der Zweikanal-Technik ab, bis die Steuer- und Regeltechnik den unnötigen Energieverbrauch dieser sonst komfortablen Lösung in den Griff bekam. Die Zulufttemperatur-Sollwerte bleiben nicht mehr konstant, sondern die Warmlufttemperatur entspricht dem jeweils höchsten und die Kaltlufttemperatur dem jeweils tiefsten Zulufttemperatur-Sollwert aller angeschlossenen Raumtemperatur-Regler. Die moderne Regeltechnik ermöglicht, diese aktuellen Werte über einen Kommunikationsbus abzufragen und daraus den jeweiligen Maximal- und Minimalwert auszuwählen. Dadurch lassen sich die Mischverluste verringern. Räume mit maximaler Kühllast erhalten nur Kaltluft, solche mit maximaler Heizlast nur Warmluft und Räume mit Teillast ein Gemisch von Kalt- und Warmluft.

Die Luft für den Kaltluftkanal wird in der Technikzentrale auf die erforderliche Temperatur gebracht und entfeuchtet, diejenige für den Warmluftkanal geheizt (und eventuell befeuchtet). Die Anordnung gemäß Fig. 6-72 mit nur teilweiser, unkontrollierter Entfeuchtung durch Wasserausscheidung aus dem Kaltluftstrom, entspricht deshalb der Standardlösung für normale Komfortansprüche.

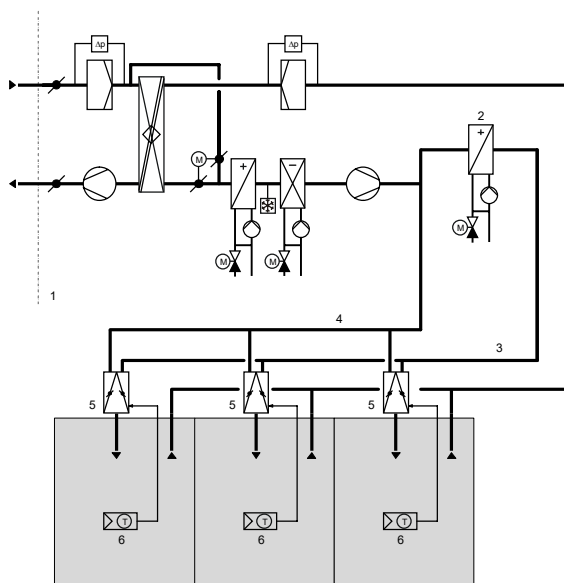


Fig. 6-72 Zweikanal Anlage mit Entfeuchtung des Gesamt-Zuluftstroms

- | | | | |
|---|---------------------------|---|------------------|
| 1 | Zentrale Luftaufbereitung | 2 | Nachwärmer |
| 3 | Warmluftkanal | 4 | Kaltluftkanal |
| 5 | Mischkasten (Mischboxen) | 6 | Einzelraumregler |

Die Mischkästen sind für Zwischendecken- oder Unterfensterinstallation gebaut. Als Luftauslässe dienen normale Ausblasgitter oder Deckendiffusoren.

6.5.3. Luftführung im Raum und Luftauslässe

Es gibt verschiedene Arten der Luftführung in den Räumen. Die Art der Luftführung ist oft nicht einfach erkennbar, weil die dafür notwendigen Elemente in doppelten Böden und abgehängten Decken verbaut sind.

Verdrängungslüftung

Hier wird die Zuluft im doppelten Boden geführt und verteilt. Sie wird dann über Bodenluftauslässe mit geringer Strömungsgeschwindigkeit in den Raum geblasen.

Dadurch ergibt sich im Raum eine Luftströmung von unten nach oben.

Die Abluft wird über Lüftungsgitter im Abluftkanal und Öffnungen in der abgehängten Decke angesaugt und dann abgeführt.

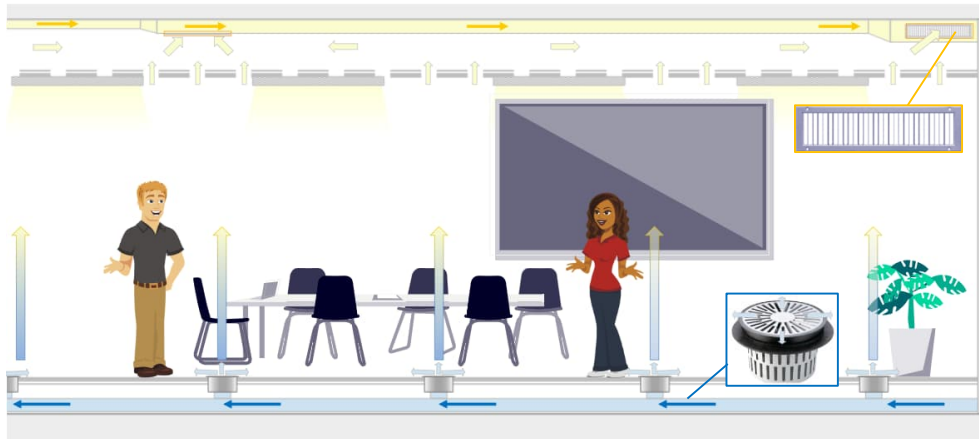


Fig. 6-73 Verdrängungslüftung:
Zuluftführung über doppelten Boden mit Bodenauslässen (Quelle: LaminAir)
Abluffassung in der abgehängten Decke mit Abluftgittern (Quelle: Trox-Hesco)

Mischlüftung

Die Zuluft wird oft auch an der Decke in den Raum eingeführt. Die Luftauslässe an der Decke bringen die Luft strömungstechnisch so in den Raum, dass sich die Zuluft mit der Raumluft vermischt. Die Luftströmungen sollten den ganzen Raum bedienen und die Zuluft gut mit der Raumluft durchmischen.

Dies wird durch eine entsprechende Ausströmgeschwindigkeit erreicht und durch die Luftstromführung in den Luftauslässen, z.B. durch eine Drallbewegung.

Die Abluftführung kann ähnlich gestaltet sein wie zuvor betrachtet. Dabei muss sichergestellt werden, dass es keinen Kurzschluss von der Zuluft direkt zur Abluft gibt.

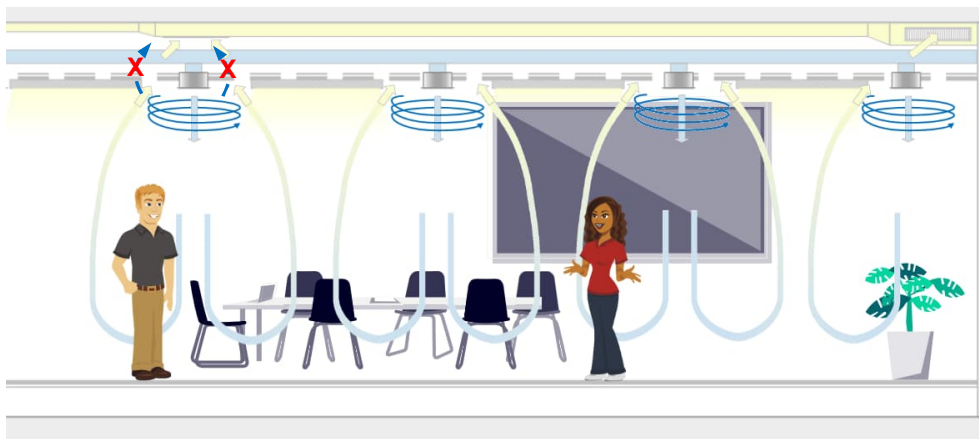


Fig. 6-74 Mischlüftung:
Zuluftführung und Abluffassung im Deckenbereich;
darauf achten, dass kein „Kurzschluss“ (X) von der Zuluft zur Abluft entsteht

Luftauslässe für Mischlüftung

Es gibt unzählige Bauformen von Luftauslässen für die Mischlüftung, je nachdem, wie die Luftströmung im Raum gestaltet werden soll. Wichtig ist dabei, dass die Raumluft "induziert" wird, d.h. dass eine gute Vermischung mit der Raumluft entsteht.

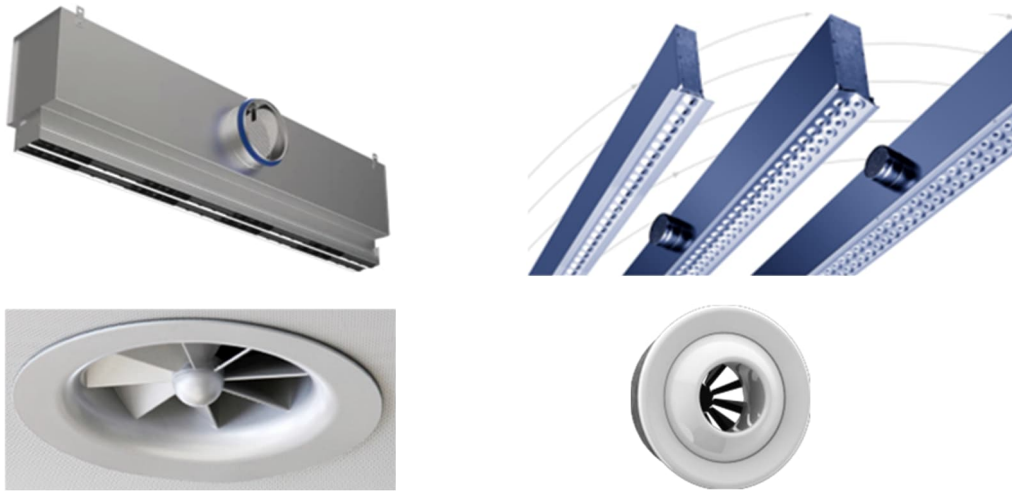


Fig. 6-75 Luftauslässe für Mischlüftung (Quellen: Trox, Durrer, KoolAir)

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Schlitzauslass (oben links) | 2 Kugelauslass-Schienen (oben rechts) |
| 3 Drallauslass (unten links) | 4 Weitwurfdüse (unten rechts) |

Quell-Lüftung

Mit der Quell-Lüftung können die immer höheren Anforderungen an die Lüftungsanlagen bezüglich Zugfreiheit, Wärme- und Schadstoffabfuhr weitgehend abgedeckt werden.

Dabei wird die aufbereitete Zuluft mit einer – gegenüber der Raumtemperatur – geringen Untertemperatur im Bodenbereich mit kleiner Strömungsgeschwindigkeit (d.h. turbulenzarm oder laminar) in den Raum eingeblasen.

Die Luft breitet sich dadurch gleichmäßig am Boden aus.

Diese Luft steigt dann bei Wärmequellen auf und führt dort Verunreinigungen zur Decke hin ab. Diese Luft wird dort, wie zuvor besprochen, dann als Abluft abgeführt.

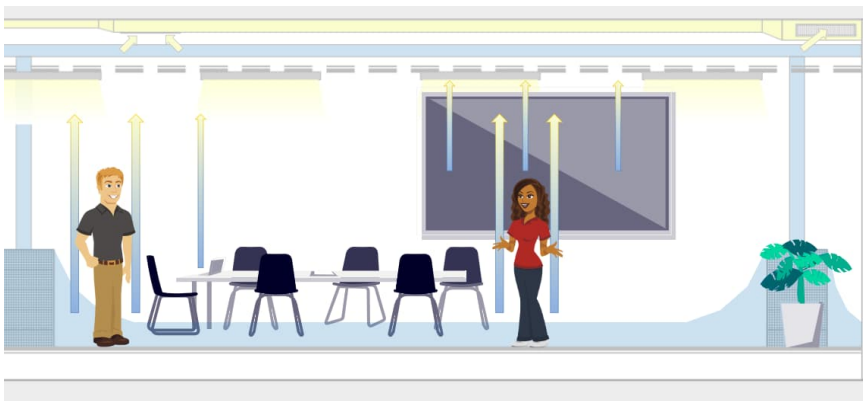


Fig. 6-76 Quell-Lüftung:
Zuluft wird mit geringer Geschwindigkeit und leichter Untertemperatur im Bodenbereich eingebracht; diese „Kaltluft“ steigt bei Wärmequellen hoch und wird im Deckenbereich als Abluft abgeführt



Quellluftauslass Beispiel
(Quelle: Durrer Technik)

Das oben beschriebene Lüftungsprinzip funktioniert nur mit kühler Zuluft. Quell-Lüftungen sind nicht zur Raumheizung geeignet, weil die warme Luft unmittelbar am Auslass nach oben steigen würde. Es ist also eine statische Heizung z.B. Radiatoren oder Konvektoren unter dem Fenster

(Fig. 6-76, rechts) oder statische Deckenheiz-Paneelen erforderlich. Diese Heizung bietet auch eine Grundlast-heizung in den Räumen, wenn die Lüftungsanlage ausgeschaltet ist.

Um den thermischen Komfort in den Aufenthaltszonen zu gewährleisten, muss auch ein gewisser Abstand von den Auslässen eingehalten werden (Fig. 6-76, links, z.B. Distanz Luftauslass zu Konferenztisch).

Mit der geringen Untertemperatur von 1 ... 3 K der Zuluft gegenüber der Raumtemperatur sind die abführbaren Kühllasten gering. Daher müssen Quell-Lüftungen mit zusätzlichen Kühlflächen, z.B. Kühldecken, im Raum kombiniert werden.

6.5.4. Luft-Wasser-Systeme

Kühldecken

Die Luft ist ein schlechter Kälteträger. Somit kann mit der Luft oft nicht genügend Kühlenergie in den Raum gebracht werden, weil nicht mit beliebig tiefen Lufttemperaturen eingeblasen werden kann. Daher kombiniert man sehr oft eine Klimaanlage und statische Kühlelemente. Die Klimaanlage hat dabei hauptsächlich die Aufgabe, die verbrauchte Raumluft zu erneuern. Die statischen Kühlelemente, die an der Decke montiert oder in diese eingebaut sind (daher der Name Kühldecke), kühlen den Raum auf die gewünschte Temperatur mit Wasser als Kälteträger.

Sensible (fühlbare Wärme)

Die Mechanismen, die fühlbare Wärme abführen, sind:

- Wärmestrahlung (von allen mit der Decke in Sichtkontakt stehenden wärmeren Flächen)
- Wärmekonvektion (Luft, die an der Decke abgekühlt wird und nach unten fällt).

Bei geschlossenen Decken ist die Aufteilung etwa 60 % Strahlung und 40 % Konvektion. Man nennt diese Decken deshalb Strahlungs-Kühldecken. Es gibt auch andere Systeme, bei denen der konvektive Anteil überwiegt, die als Konvektions-Kühldecken oder -elemente bezeichnet werden.

Handelsübliche Strahlungs-Kühldecken bieten heute eine Kühlleistung von bis zu 125 W/m², Konvektions-Kühlelemente gar bis zu 160 W/m².

Taupunktunterschreitung

Die Leistungsgrenze ist bei Kühldecken durch die Kaltwasser-Vorlauftemperatur gegeben (üblich ca. 15 °C ... 16 °C). An Kaltwasserleitungen, wie auch an jeder Stelle der Kühldecke selbst, darf der Taupunkt der Raumluft niemals unterschritten werden. Kondensatbildung wird dann mit Sicherheit vermieden.

Die Gefahr der Taupunktunterschreitung kann auf zwei Arten vermieden werden:

Durch Taupunktfühler an der Kaltwasservorlaufleitung

- wird die Kaltwasserleitung mittels Motor-Ventil abgesperrt.
- wird mittels Regelventil die Kaltwasser-Vorlauftemperatur durch Rücklaufbeimischung angehoben.

In Gebäuden mit Kühldecken, können die Fenster sehr oft nicht geöffnet werden, weil sonst die Problematik der Taupunktunterschreitung vermehrt auftreten kann.

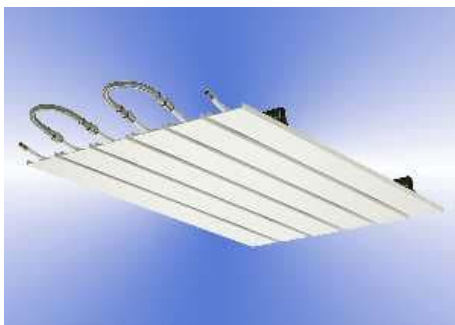


Fig. 6-77 Kühldecken-Elemente

Fan-Coil Anlagen (Ventilator- oder Gebläse-Konvektoren Anlagen)

Das klassische, im Komfort-Klimabereich am meisten angewandte Luft-Wasser-System ist das „Fan-Coil-System“. „Fan“ heißt auf Deutsch „Ventilator“ und mit dem englischen Wort „Coil“ wird der Rippenrohr-Wärmeübertrager bezeichnet.

Diese Ventilator-Wärmeübertrager-Kombination ist auf dem Markt z.B. als kompaktes Truhengerät erhältlich, das außerdem noch einen Umluft-Filter sowie die Steuer- und Regelgeräte enthält. Dieses Ventilator-Konvektor-Gerät oder sogenannte „Fan-Coil-Gerät“ (Fig. 6-78) wird an eine beliebige Wand des Raumes montiert und an das Kalt- und Warmwassernetz, sowie an das elektrische Stromversorgungsnetz angeschlossen. Der eingebaute Ventilator saugt die Raumluft an und bläst sie über den Wärmeübertrager (wo sie erwärmt wird) und das Zuluftgitter oben wieder aus.

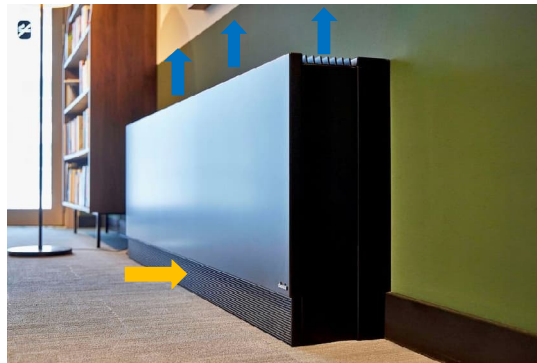
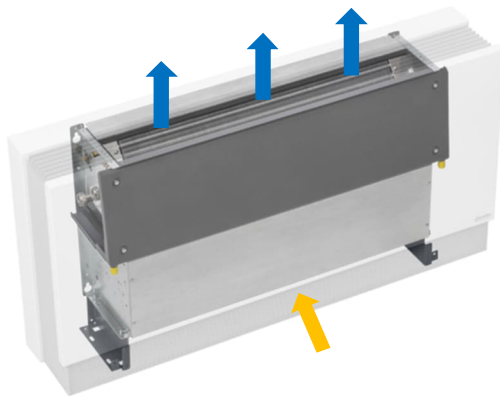


Fig. 6-78 Fan-Coil-Gerät mit Raumluftansaug (unten) und Zuluftausblas (oben)
Innenansicht (links) und mögliche Einbau-Situation (rechts)

(Quelle: Kampmann)

Fan-Coil-Anlagen sind ideale Luftheiz- und Luftkühl-Apparate für Hotelzimmer.

Diese sind oft im Eingangsbereich eines Hotelzimmers im Deckenbereich eingebaut.

Im Heizbetrieb liefert eine außentemperaturgeführte Zentralheizung (Fußbodenheizung) die Grundheizung. Dabei wird die Raumtemperatur in den nicht belegten Hotelzimmern auf ca. 16-18 °C gehalten. In diesen Räumen bleiben die Fan-Coil-Geräte außer Betrieb. Bei Umschaltung auf Komfortbetrieb erreicht der Raum durch das Fan-Coil-Gerät innerhalb weniger Minuten die gewünschte Komforttemperatur (z.B. 22 °C).

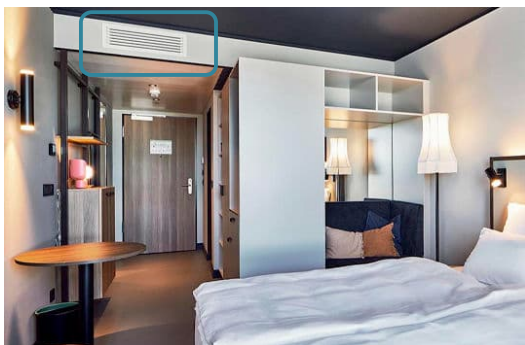


Fig. 6-79 Fan-Coil-Gerät in Doppeldecke beim Eingangsbereich in einem Hotelzimmer eingebaut (Quelle: Kampmann)

Fan-Coil-Anlagen mit Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Fan-Coil-Anlagen können vorteilhaft mit einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe betrieben werden.

Dabei erzeugt der Kondensator die Wärme für den Heizkreis und der Verdampfer die Kälte für den Kühlkreis. Eine solche Kombination beinhaltet auch eine optimale Wärmerückgewinnung zwischen Heiz- und Kühlkreis. Der für den Wärmepumpenbetrieb erforderliche Warmwasserspeicher kann außerdem noch mit einem Sonnenkollektor-Kreislauf kombiniert werden, weil relativ niedrige Warmwasser-Vorlauftemperaturen für den Heizkreis ausreichen.

Fan-Coil-Geräte mit Direktverdampfer-Luftkühler

Fan-Coil-Geräte, die mit einem Direktverdampfer-Luftkühler ausgerüstet sind, bilden den lufttechnischen Teil eines Split-Systems. Für den Heizbetrieb wird zusätzlich ein Warmwasser-Luftwärmer oder – in Ausnahmefällen – ein Elektro-Luftwärmer eingebaut.

Fan-Coil-Anlagen mit Primärluft und Induktionsanlagen

Die, zur Einhaltung der gewünschten Luftqualität, notwendige Luft wird zentral erwärmt und evtl. befeuchtet oder gekühlt und evtl. entfeuchtet. Sie wird dann über ein Kanalsystem den einzelnen Räumen als sogenannte „Primärluft“ zugeführt. In den Räumen werden entweder Fan-Coil-Geräte oder Induktionsgeräte (kombiniert mit Hochgeschwindigkeitsanlagen) zur Erwärmung oder Kühlung der Raumluft platziert.

Fan-Coil-Anlagen mit Primärluft

Die Primärluft wird über ein Kanalsystem im Gebäude verteilt und kann entweder in die Fan-Coil-Geräte oder durch separate Luftauslässe, direkt in den Raum eingeblasen werden.

Um die Raumtemperaturregelung nicht zu stören, wird die Primärluft in der Regel mit einer konstanten Temperatur, die normalerweise dem Heiz-Sollwert der Raumtemperatur entspricht oder etwas darunter, eingeblasen.

Induktionsanlagen

Die Induktionsanlage ist ein heute eher selten eingesetztes Luft-/Wasser-System. Mit Induktionsgeräten der neuesten Generation können allerdings bestehende Anlagen saniert und damit auch einiges energieeffizienter betrieben werden als die ursprünglich gebauten Systeme. Induktionsanlagen eignen sich für den gleichen Anwendungsbereich wie die Fan-Coil-Anlage mit Primärluft. Die in den Räumen platzierten Induktionsgeräte enthalten - wie die Fan-Coil-Geräte - die erforderlichen Rippenrohr-Wärmeübertrager zum Erwärmen oder Kühlen der Raumluft bzw. Sekundärluft. Die Induktionsgeräte benötigen jedoch keine Ventilatoren. Die zentral aufbereitete Außenluft wird als Primärluft über ein Hochgeschwindigkeits-Kanalsystem im Gebäude verteilt und den einzelnen Induktionsgeräten zugeführt.

Anstelle eines Ventilators enthalten die Induktionsgeräte eine geräuschabsorbierende Primärluft-Kammer, durch welche die Primärluft mit hoher Geschwindigkeit in eine Mischkammer ausgeblasen wird und dort Unterdruck erzeugt. Durch diesen Unterdruck wird Raumluft als sogenannte „Sekundärluft“ angesaugt (induziert) und dabei durch die Rippenrohr-Wärmeübertrager geführt, wo sie nach Bedarf erwärmt oder gekühlt wird (vgl. Fig. 6-80, links).



Fig. 6-80 Induktionsgerät: Prinzip, Innenansicht und Einbau-Beispiel (Quelle: LTG)

Die Wärmeübertrager werden, je nach Bedarf, mit Warm- oder Kaltwasser versorgt. Die induzierte Sekundärluft nimmt im Wärmeübertrager die erforderliche Sekundär-Heiz- oder Kühlleistung auf und vermischt sich anschließend mit der Primärluft. Das Gemisch von Sekundär- und Primärluft wird schließlich in den Raum ausgeblasen.

Weil der Primärluft-Volumenstrom nur dem erforderlichen Außenluftanteil entspricht, sind die Luftverteilkäle für nur ca. 1/4 bis 1/5 des Luft-Volumenstromes eines Nur-Luft-Systems dimensioniert. Dies reduziert den Platzbedarf für das Kanalsystem entsprechend. Beim Induktionssystem wird die Abluft normalerweise nicht direkt aus den klimatisierten Räumen abgesaugt. Die gesamte, der Primärluftmenge entsprechende Abluft wird aus Korridoren, Lagerräumen, Toiletten etc. abgesaugt und geht als Fortluft ins Freie. Daraus ergibt sich in den klimatisierten Räumen ein leichter Überdruck, wodurch eine Vermischung von Luft aus verschiedenen Räumen verhindert wird.

Wie bei der Fan-Coil-Anlage mit Primärluft wird die im Raum oder in der entsprechenden Raumzone anfallende Heiz- oder Kühllast grundsätzlich durch das Wassersystem übernommen. Die Primärluft kann jedoch die erforderliche Be- oder Entfeuchtung übernehmen.

Als Spezial-Ausführung einer Induktionsanlage kann das Kühldecken-Induktionssystem bezeichnet werden.

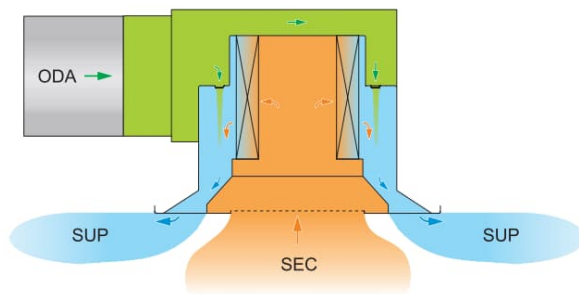


Fig. 6-81 Deckeninduktionsdurchlass, Schnittbild (Quelle: Trox)

Die als Deckenelemente konstruierten Induktionsgeräte (Fig. 6-81) übernehmen die Primärluftzufuhr und die Raumluft-Kühlung, während die Raumheizung durch eine gewöhnliche Radiatoren- oder Konvektoren-Heizung übernommen wird. Man erreicht damit eine optimale Durchlüftung der Räume ohne Zugserscheinungen, weil das System mit der natürlichen Schwerkraft-Zirkulation der Raumluft funktioniert. Die im Raum erwärmte und dadurch spezifisch leichtere Luft steigt zur Decke auf, wird dort gekühlt, mit Primärluft vermischt und fällt wegen ihrer nun höheren Dichte wieder nach unten.

Wasserseitiger Anschluss von Fan-Coil und Induktions-Anlagen

Die Zufuhr der erforderlichen Heiz- und Kühlenergie zu den Räumen erfolgt ausschließlich über Wasserkreisläufe. Das in der Energiezentrale aufbereitete Warm- bzw. Kaltwasser überträgt seine Heiz- bzw. Kühlenergie in einem Fan-Coil (Ventilator-Konvektor) oder Induktionsgerät an die Raumluft. Diese Systeme eignen sich also speziell für Räume, die keine Zwangsbelüftung mit Außenluft benötigen (z.B. Hotelzimmer mit Fensterlüftung).

Zweileiter-System

Bezüglich der Wasserkreisläufe unterscheidet man zwischen Zweileiter-, Dreileiter- und Vierleiter-Systemen. Im Zweileiter-System (Fig. 6-82) kann nur entweder geheizt oder gekühlt werden, weil der gleiche Wasserkreislauf sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlbetrieb genutzt wird.

Die Umschaltung ("Change over") von Heiz- auf Kühlbetrieb erfolgt in der Energieaufbereitungs-zentrale. In der Übergangszeit von Heiz- auf Kühlbetrieb und umgekehrt, kann es bei diesem System Probleme geben, weil bei unterschiedlichem Wärmeeintrag einzelne Räume geheizt und andere gekühlt werden sollten.

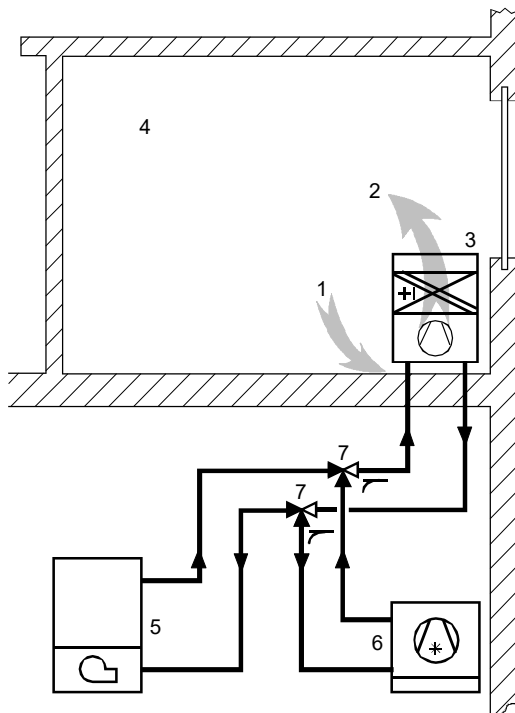


Fig. 6-82 Wasser-Anschluss eines Fan-Coils, Zweileiter-System

- | | | | |
|---|------------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Umluft | 5 | Heizkessel |
| 2 | Zuluft | 6 | Wasser-Kühlmaschine |
| 3 | Raumluftheiz- und -kühlgerät | 7 | Umschalt-Ventile ("Change over") |
| 4 | Raum | | |

Dreileiter-System

Das Dreileiter-System verfügt über je einen separaten Kalt- und Warmwasser-Vorlauf und einen gemeinsamen Rücklauf. Es löst so das Problem des gleichzeitigen gewünschten Heiz- und Kühlbetriebes, ist jedoch nicht energieeffizient, weil im gemeinsamen Rücklauf enthaltene Heizenergie in der Kältemaschine wieder abgekühlt und Kühlenergie im Wärmeerzeuger wieder aufgeheizt werden muss. Es wird deshalb kaum mehr eingesetzt.

Vierleitersystem

Eine saubere Lösung für die vorgenannten Probleme bietet das Vierleiter-System mit zwei separaten Wasserkreisläufen für Heizen oder Kühlen und teilweise auch separaten Wärmeübertragern in Fan-Coil- oder Induktionsgeräten für Heizen und Kühlen.

6.5.5. Einzelraum-Kompakt-Klimageräte

Einzelraum-Kompakt-Klimageräte dienen zur Klimatisierung eines einzelnen Raumes und sind meistens direkt im betreffenden Raum platziert. Ihre Hauptfunktion ist die sensible Kühlung der Raumluft. Entfeuchtung, Heizung und Luftfilterung sind nur in beschränktem Masse möglich. Befeuchtung ist überhaupt nicht möglich. Es handelt sich also hier um "Teilklimageräte", die mit den erforderlichen Komponenten wie Kompressor, Verdampfer, luft- oder wassergekühltem Kondensator, Ventilatoren sowie den Regel-, Steuer- und Sicherheitsorganen, ausgerüstet sind.

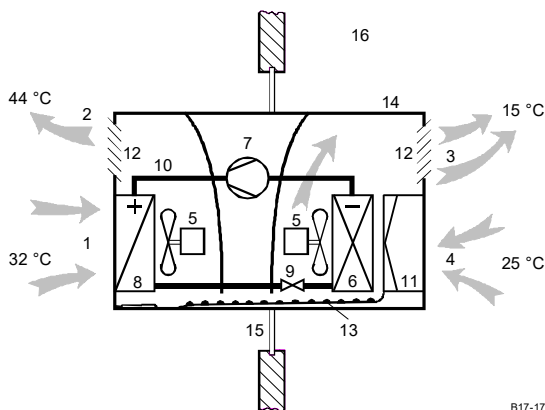
Sie werden als fertig zusammengebaute Einheiten geliefert und deshalb auch als „stecker- oder anschlussfertig" Geräte bezeichnet. Zu dieser Gruppe gehören:

- Fenster-Klimageräte
- Truhen-Klimageräte
- Schrank-Klimageräte
- Split-Klimageräte

Fenster-Klimageräte

Das Gerät wird normalerweise in eine Fensteröffnung installiert. Eine Installation „durch die Wand" ist ebenfalls möglich.

Der Kälteleistungsbereich dieser Geräte liegt etwa zwischen 1 kW und 10 kW. Als Zubehör sind elektrische Lüfterwärmer mit kleiner Leistung erhältlich. Außenluftbeimischung ist nur in beschränktem Maß möglich. Bei Fensterklimageräten, die Kühlung und Heizung ermöglichen (Wärmepumpengeräte), erfolgt die Umschaltung von Kühl- auf Heizbetrieb durch Umkehr des Kältemittelflusses mittels eines Vierwegventils. Dadurch werden die Funktionen zwischen Verdampfer und Kondensator vertauscht.



B17-17

Fig. 6-83 Fensterklimagerät

Ansicht vom Raum her (Quelle: Airwell)

- | | | | |
|---|--------------|----|----------------------------|
| 1 | Außenluft | 9 | Expansions-Ventil |
| 2 | Fortluft | 10 | Kältemittelleitung |
| 3 | Zuluft | 11 | Luftfilter |
| 4 | Umluft | 12 | Lüftungsgitter |
| 5 | Ventilatoren | 13 | Kondenswasser-Auffangblech |
| 6 | Verdampfer | 14 | Gehäuse |
| 7 | Kompressor | 15 | Fenster |
| 8 | Kondensator | 16 | Raum |

Funktionsweise

Die Raumluft wird durch einen Ventilator angesaugt, im Verdampfer gekühlt und teilweise entfeuchtet. Danach wird sie über ein Luftausblasgitter wieder in den Raum zurückgeblasen. Der gewünschte Außenluftanteil kann mittels einer internen Klappe von Hand eingestellt werden. Ein zweiter Ventilator saugt Außenluft zur Kühlung des Kondensators an und bläst diese anschließend wieder ins Freie. Das im Verdampfer aus der Raumluft ausgeschiedene Kondensat wird entweder ins Freie abgeleitet oder auf den Kondensator gesprüht, wo es verdampft. Es handelt sich also um eine Klein-Kompakt-Kälteanlage mit vollhermetischem Kompressor und luftgekühltem Kondensator. Die Thermodynamik des Kältekreislaufs ist im Kapitel 4 Kälteanlagenbeschrieben.

Truhenklimageräte

Das Gerät kann anstelle eines Radiators unter dem Fenster fest eingebaut, oder mobil auf Rollen im Raum platziert werden. Truhenklimageräte sind für den gleichen Leistungsbereich wie Raumklimageräte erhältlich, erfüllen die gleichen Funktionen und haben auch die gleichen Einschränkungen.

Geräte mit eingebauten luftgekühlten Kondensatoren können nur an einer Außenwand montiert werden, da eine Öffnung in der Wand zwecks Luftzufuhr zum Kondensator benötigt wird. Bei mobilen Geräten wird der luftgekühlte Kondensator im Freien platziert und die Kältemittel-Verbindung mit dem Truhengerät über Schläuche hergestellt. Geräte mit wassergekühltem Kondensator können mit fixen Wasseranschlüssen an einer Wand oder mit Wasserschläuchen auch mobil installiert werden.

Elektro- oder Warmwasserluftherwärmer können als Zubehör in diese Geräte eingebaut werden.

Truhenklimageräte, die Kühlung und Heizung ermöglichen, sind ebenfalls auf dem Markt. Die Umschaltung von Kühl- auf Wärmepumpenbetrieb erfolgt auch hier durch Umkehr des Kältemittel-flusses mittels eines Vierwegventils.



Fig. 6-84 Truhenklimagerät für Boden-Aufstellung (Quelle: Daikin)

Schrankklimageräte (mit Kälteerzeugung)

Der Bezeichnung entsprechend, handelt es sich hier um Geräte, bei denen alle Komponenten in einem schrankförmigen Gehäuse untergebracht sind. Schrankklimageräte sind anschlussfertig und für einen Kälteleistungsbereich von etwa 10 bis 250 kW erhältlich. Für einfache Anlagen können diese Geräte direkt und freiblasend im zu klimatisierenden Raum aufgestellt werden. Meistens werden sie jedoch in einem Nebenraum installiert und an ein Kanalnetz angeschlossen, um Geräuschprobleme zu vermeiden.

Elektro-Luftherwärmer und Befeuchtungseinrichtungen sind als Option erhältlich. Der Ventilator ist so ausgelegt, dass der statische Druck zur Überwindung des Luftwiderstandes eines kurzen Kanalnetzes ausreicht. Schrankklimageräte sind oft mit Direktverdampfern und Verdichtern ausgestattet (vgl. Fig. 6-85) und sind mit eingebauten, wassergekühlten Kondensatoren ausgestattet. Varianten mit luftgekühlten Kondensatoren sind ebenfalls erhältlich. Dabei wird der luftgekühlte Kondensator nicht im Schrankgerät eingebaut, sondern als separates Gerät im Freien platziert.

Anwendung

Kleinere Klimaschränke können mit oder ohne Kanalnetz als Einzelraumgeräte verwendet werden. Größere Geräte bedienen dann meistens eine Raumgruppe. Typische Anwendungsfälle sind Büros, Läden etc.

Als Sonderausführung können solche Schrankklimageräte auch zur Luftentfeuchtung in Schwimmbädern eingesetzt werden. Dabei wird die Umluft zuerst im Direktverdampfer gekühlt, bzw. entfeuchtet und anschließend im eingebauten, luftgekühlten Kondensator wieder nachgewärmt.



Fig. 6-85 Schrankklimagerät Außen- und Innenansicht (Quelle: Hiref)

Split-Klimageräte

Als Split-Klimageräte bezeichnet man Geräte, die in einen kältetechnischen Teil, bestehend aus dem Kompressor und dem luftgekühlten Kondensator und einen lufttechnischen Teil, bestehend aus dem Umluft-Ventilator und dem Direktverdampfer-Luftkühler unterteilt sind. Der kältetechnische Teil kann im Maschinenraum oder im Freien, der lufttechnische Teil als Einzelraumgerät im Raum oder als zentrales Luftkühlgerät an einem Kanalsystem im Gebäude platziert werden. Die beiden Teile werden durch Kältemittelleitungen miteinander verbunden.

Funktionsweise

Der funktionelle Aufbau eines Split-Klimagerätes besteht prinzipiell aus einem Kältemittel-Kreisprozess mit Kompressor, luftgekühltem Kondensator, Expansionsventil und Direktverdampfer-Luftkühler. Als Zusatzkomponente im Umluftgerät könnte noch ein Lufterwärmer als Nachwärmer eingebaut werden, falls der Luftkühler auch zur Luftentfeuchtung dienen muss.

Split-Klimageräte werden im Kälteleistungsbereich von ca. 10 bis 500 kW gebaut.

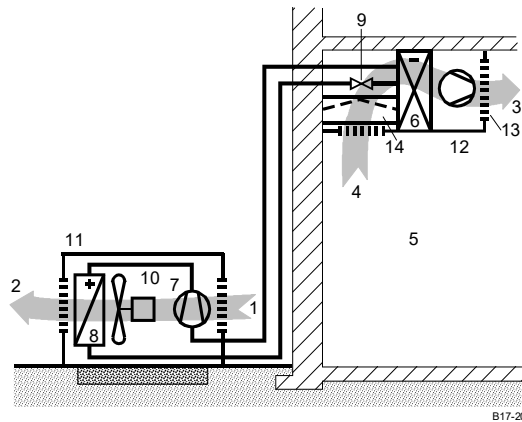


Fig. 6-86 Aufbau eines Split-Klimagerätes

Multizonen-Split-System (Quelle: Daikin)

- | | | | |
|---|--------------------------|----|--------------------|
| 1 | Außenluft (Lufteintritt) | 8 | Kondensator |
| 2 | Fortluft (Luftaustritt) | 9 | Expansionsventil |
| 3 | Zuluft | 10 | Kältemittelleitung |
| 4 | Umluft | 11 | Verflüssigersatz |
| 5 | Raum | 12 | Fan-Coil-Gerät |
| 6 | Verdampfer | 13 | Lüftungsgitter |
| 7 | Kompressor | 14 | Filter |

VRV- oder VRF-System

Es gibt auch Split-Systemlösungen, bei denen eine Außeneinheit mehrere Inneneinheiten bedient. Diese Lösungen werden VRV- (Variable Refrigerant Volume) oder VRF- (Variable Refrigerant Flow) Systeme genannt und bedienen eine beachtliche Anzahl von Räumen. Es ist auch möglich, Räume zu kühlen, währenddessen andere angeschlossene Räume beheizt werden müssen.

6.6. Kontrollierte Wohnraumlüftung

In den letzten Jahren konnte der Energiebedarf bei Neubauten auf Grund der verbesserten Isolation und Konstruktion der Gebäudehülle laufend reduziert werden. Dies hat dazu geführt, dass der Anteil der Lüftungsverluste am gesamten Wärmebedarf einen immer höheren Anteil ausmacht.

Eine kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL) ist eine mechanische Lüftung zur definierten Be- und Entlüftung von Wohnungen.

Man unterscheidet hierbei zwischen dezentraler und zentraler Lüftung.

Je nach Ausstattung entzieht ein Wärmetauscher Wärme aus der Abluft und heizt damit die Zuluft vor.

Es gibt verschiedene Systeme der kontrollierten Wohnraumlüftung. Sie werden nach Geräteart oder Funktionsweise unterschieden:

- Geräteart:
 - Einzelgerät
 - Zentralgerät
- Funktionsprinzip
 - Abluftsystem
 - Zuluftsystem
 - Ab- und Zuluftsystem
 - Mit WRG / ohne WRG
 - Mit Wärmepumpe

Folgen einer dichten Gebäudehülle

Betrachtet man die Entwicklung des Heizwärmebedarfs von Wohn- und Bürogebäuden, dann stellt man fest, dass die Senkung des Wärmebedarfs wesentlich durch die verbesserte Konstruktion der Gebäudehülle (Isolation, Fenster, ... $\Rightarrow$ Verringerung der Transmissionswärmeverluste) erreicht wurde.

Der Anteil der Lüftungswärmeverluste am Wärmebedarf ist kontinuierlich gestiegen und erreicht heute oft die gleiche Größenordnung wie der Transmissions-Wärmebedarf.

Eine Reduzierung des Energieverbrauchs - wie er von Normen und Vorschriften in verschiedenen europäischen Ländern gefordert wird - kann durch dichte Fenster und entsprechend gedämmtes Mauerwerk erreicht werden. Wird jedoch die Sicherstellung des notwendigen Luftaustausches vernachlässigt, droht schlechte Luftqualität in den Räumen durch Feuchte, Radon, organische Substanzen, Formaldehyd und anderen Ausdünstungen aus Baumaterialien, Einrichtungsgegenständen usw.

Dies bedeutet einerseits eine Einschränkung des Wohlbefindens der Bewohner, andererseits die Gefahr von Schäden am Bau, verursacht in erster Linie durch Schimmelpilzbildung.

Kontrollierte Wohnungslüftung

Die Fensterlüftung ist für ein hochgedämmtes Gebäude nicht nur unzureichend, sondern macht auch alle Bemühungen zur Energieeinsparung zunichte. Daher sollte der Einbau eines Lüftungssystems auf jeden Fall in Betracht gezogen werden. Nur durch eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Wärmérückgewinnung kann der Lüftungswärmebedarf ohne die Gefahr von Feuchtigkeitsschäden spürbar gesenkt werden. Der Wohnkomfort wird durch den Einbau einer kontrollierten Wohnungslüftung verbessert:

- Die Außenlärmbelästigung wird reduziert (keine offenen Fenster).
- Die Außenluft wird gefiltert und so von Schmutz, Staub, Ungeziefer und Pollen befreit. Sie gelangt gereinigt in die Wohnräume, was auch für Allergiker von Vorteil ist.

6.6.1. Kontrollierte Wohnungslüftungs-Systeme

Grundsätzlich können die folgenden mechanischen Wohnungslüftungs-Systeme unterschieden werden:

- Einzelraumgeräte
- Einzellüftungsanlagen (für eine Wohneinheit)
- Zentrallüftungsgeräte für ganze Mehrfamilienhäuser

Energieeffizienz

Diese Lüftungsgeräte sollten immer mit Wärmerückgewinnungseinheiten ausgestattet sein, da sonst die geforderten Werte (Normen, Vorschriften) für den Lüftungswärmebedarf nicht erreicht werden können. Ebenso ist bei diesen Lüftungsgeräten auf einen sparsamen Verbrauch der elektrischen Energie zu achten, was mit Drehstrom-Motoren nicht zu erreichen ist. Diese Geräte sind deshalb oft mit Gleichstrom- oder EC-Motoren (elektronisch kommutierte Gleichstrom-Motoren) ausgestattet.

Einzelraumgeräte

Einzelraumgeräte werden direkt in die Außenwand oder die Fensterbrüstung eingebaut. Sie bieten den Vorteil einer einfachen Installation und führen dem Raum filtrierte Außenluft zu. Die Außenluft wird dabei über eine Wärmerückgewinnung von der Abluft vorgewärmt. Der mit dem Einzelgerät verbundene Geräuschpegel wird oft als nachteilig empfunden und der mechanische Wirkungsgrad des Ventilators ist gering.

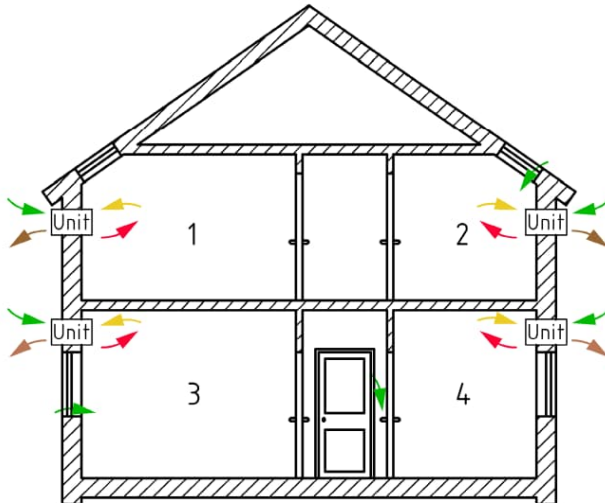


Fig. 6-87 Einzelraum-Zu-/Abluftgeräte mit WRG (Unit) gemäß DIN 1946-6 (A.14)

1	Schlafen	2	Bad
3	Wohnen	4	Küche

Einzellüftungsanlagen

Pro Wohneinheit wird eine separate Lüftungsanlage installiert.

Die Außenluft wird gefiltert und über die Wärmerückgewinnung aufgewärmt, bevor sie den Wohn- und Schlafräumen zugeführt wird. Die Abluft wird in den Nassräumen abgesaugt, wobei die „verbrauchte“ Luft über Türschlitze oder spezielle - in den Wohnungsdecken eingelegte, schalldämmende - Überström-Einbauteile aus den Wohn- und Schlafräumen nachströmt. Diese Anlagen sind oft mit 3-stufigen Ventilatoren bestückt. Sie erlauben dem Benutzer, die zugeführte Luftmenge den Bedürfnissen anzupassen. Bei dieser Lösung entsteht in den Wohnräumen keine Geräuschbelastung, da das Lüftungsgerät in der Wohneinheit entsprechend günstig platziert werden kann. Der mechanische Wirkungsgrad der Ventilatoren ist oft gering.

Es gibt auch Einzellüftungsanlagen, die mit einer Wärmepumpe bestückt sind. Damit kann die Wärme aus der Abluft zur Erwärmung des Warmwassers genutzt werden.

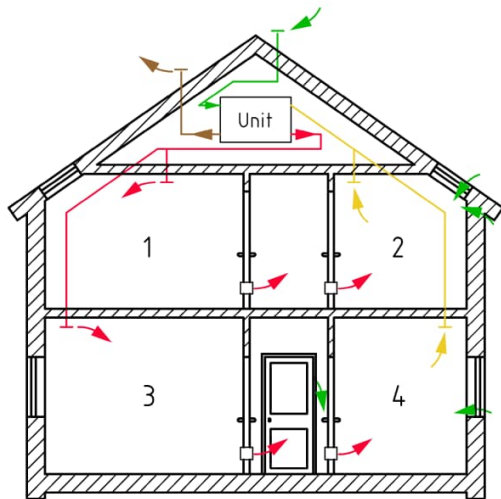


Fig. 6-88 Einzellüftungsanlage mit WRG (Unit) gemäß DIN 1946-6 (A.10)

- | | | | |
|---|----------|---|-------|
| 1 | Schlafen | 2 | Bad |
| 3 | Wohnen | 4 | Küche |

Zentrallüftungsanlagen für Mehrfamilienhäuser

Bei Zentrallüftungsanlagen für Mehrfamilienhäuser wird die Luft zentral aufbereitet und den einzelnen Wohneinheiten zugeführt.

Dies hat einen gewissen Platzbedarf für die Kanalführung zur Folge. Je nach Abrechnung der Heizkosten ist es auch notwendig, die Wärmerückgewinnung dezentral, d.h. in den einzelnen Wohneinheiten zu platzieren, was die Anlage komplexer macht und zu Mehrkosten führen kann.

Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass die Ventilatoren mit einem hohen mechanischen Wirkungsgrad arbeiten.

Außenluftfassung über Erdregister

Sowohl bei Zentrallüftungsanlagen wie auch bei Einzellüftungsanlagen kann die Außenluft über ein sogenanntes Erdregister geführt werden. Dabei wird die Außenluft durch Rohre geführt, die im Erdreich verlegt sind. Im Winter wird die Außenluft dadurch etwas vorgewärmt, im Sommer etwas abgekühlt, was für eine minimale Kühlung der Wohnräume genutzt werden kann.

Wartung

Die oben aufgeführten Arten der Wohnungslüftungs-Systeme brauchen alle nicht sehr viel Wartung. Einzig die Filter müssen regelmäßig ausgewechselt werden. Dies hat sich in der Praxis vor allem bei Einzelraumgeräten und Einzelanlagen als etwas problematisch erwiesen, weil das nicht alle Benutzer regelmäßig machen. Bei einer Zentrallüftungsanlage kann dies durch den Anlagebetreiber vorgenommen werden.

7 Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) und Gebäudeautomation (GA)

7.1. Einleitung

Wie die Bezeichnungen Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) und Gebäudeautomation (GA) schon aussagen, werden in diesem Kapitel die Themen Messen, Steuern und Regeln und Gebäudeautomation behandelt. Durch die Entwicklung der Gebäudeautomation mit digitaler Steuer- und Regeltechnik (DDC-Technik, **D**irekt **D**igital **C**ontrol) hat dieses Thema eine neue und wichtige Bedeutung erlangt. Beim heutigen Entwicklungsstand und Marktpotential der Gebäudeautomation drängt sich ein eigenständiger, fachübergreifender Planungsbereich für die MSR-Technik und die Gebäudeautomation auf, weshalb nun immer mehr MSR- oder GA-Planer ihre Dienstleistungen zur Planung der Steuerung, Regelung, Betriebsführung und Energieverbrauchs-Optimierung der gesamten gebäudetechnischen Anlagen anbieten.

Die Zusammenhänge der MSR-Technik und der Gebäudeautomation sind u.a. in den folgenden Normen definiert:

- DIN IEC 60050-351
Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik
- EN 16484
Systeme der Gebäudeautomation (GA), Teile 1-6
- EN 15232
Energie-Effizienz der Gebäudeautomation
- ...

7.2. Messen

Der Begriff Messtechnik definiert die Gesamtheit der Verfahren und Geräte zur empirischen Bestimmung (Messung) zahlenmäßig erfassbarer Größen in Wissenschaft und Technik. Aufgaben der Messtechnik sind außerdem die Überprüfung der Einhaltung von Maßtoleranzen, Verbrauchszählung, Produktionsüberwachung, sowie allgemein (im Rahmen der Mess- und Regeltechnik) die Steuerung technischer Vorgänge durch Regelung nach Messwerten.

Von den Anfängen des Messens, wo erste Versuche einer Längen- und Zeitdefinition gemacht wurden, bis zu den mechanischen und elektronischen Messgeräten, ist es ein langer und mühsamer Weg, verbunden mit Tausenden von Jahren Kulturgeschichte der Menschheit.

Das präzise Messen von physikalischen Größen ist im Zeitalter der Gebäudeautomation und Facility Management (Bewirtschaftung, Betrieb und Instandhaltung von Gebäuden) von großer Bedeutung. Entscheidungen für Veränderungen oder Aussagen zu Energieverbrauchszahlen und Gebäudeunterhaltskosten sind von der Genauigkeit der erfassten Messwerte abhängig. Exakte Messwert-erfassung hat im Regelkreis einen hohen Stellenwert für die Genauigkeit und Stabilität des Regel-ergebnisses. Die Auswahl der richtigen Messeinrichtung ist entscheidend für ein richtiges Mess-ergebnis, das richtige (zuverlässige) Messergebnis wiederum ist wichtig für eine aussagekräftige Beurteilung.

Die Grundbegriffe der Messtechnik sind in den Normen DIN 1319 und VDI/VDE26000, Blatt 2 definiert.

Basiseinheiten

Durch das Internationale Einheitensystem SI (Système International d'Unité), wie wir es heute kennen, wurde eine übersichtliche Ordnung bezüglich der Maßeinheiten geschaffen:

Basisgröße	SI-Basiseinheit	
	Name:	Zeichen:
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Absolut-Temperatur und Temperaturdifferenz	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Tabelle 7-1 SI-Basiseinheiten

Messen heißt, eine physikalische Größe (Messgröße) wie Temperatur, Feuchte, Druck etc. durch eine geeignete Messeinrichtung erfassen und als bekannte, vergleichbare Größe anzeigen oder in ein Normsignal DC 0... 10 V, 0... 20 mA umwandeln. Ein solches Normsignal kann als Messwert auf einem Messwert-Schreiber aufgezeichnet, auf einem Fernanzeigegerät angezeigt oder in ein Messdaten-Erfassungssystem eingelesen werden.

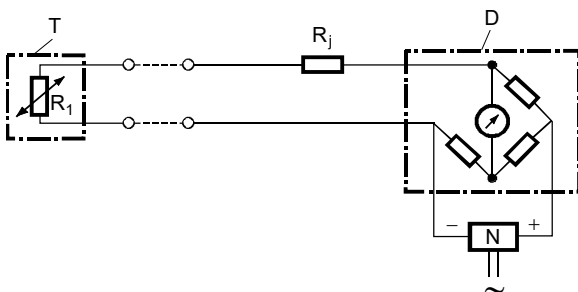


Fig. 7-1 Prinzipieller Vorgang des Messens (Wheatstone'sche-Brückenschaltung)

T	Temperaturfühler	D	Messgerät (Messeinrichtung)
R1	Messelement (Messgröße)	N	Spannungsquelle
Rj	Abgleichwiderstand (Kompensation von Leitungsverlusten)		

7.3. Steuern und Regeln

In der Alltagssprache wird zwischen „Steuern“ und „Regeln“ oft nicht unterschieden. Beide Begriffe werden als Synonyme gebraucht.

Dies ist allerdings nicht richtig. Der wesentliche Unterschied zwischen Steuern und Regeln ist am Verhalten der Steuer- oder Regeleinrichtung bei Störungen erkennbar.

7.3.1. Vergleich zwischen Steuern und Regeln

Steuern

Steuern ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Eingangsgröße(n) auf Grund einer der Anwendung entsprechend festgelegten Gesetzmäßigkeit eine oder mehrere Ausgangsgrößen beeinflussen.

Eine Rückwirkung auf die Eingangsgröße besteht nicht.

→ Offener Wirkungsablauf

Beispiel: Lenken eines Autos

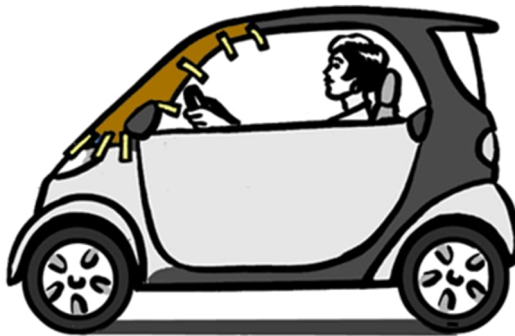
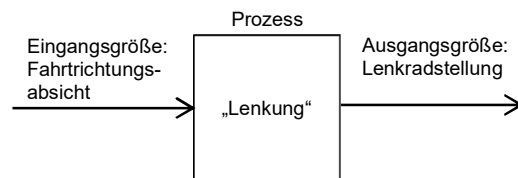


Fig. 7-2 Autofahren: Fahrerin lenkt mit verdeckter Sicht – keine Rückmeldung.



Ziel einer Steuerung:

Durch eine Steuerung soll ein Ausgangswert aufgrund von einem Eingangswert und festgelegten Gesetzmäßigkeiten beeinflusst werden.

Die Autofahrerin achtet nicht auf die Straße und korrigiert den eingeschlagenen Kurs nicht. Der Sollwert (Auto soll auf der Fahrbahn bleiben) wird nicht mit dem Istwert (eingeschlagener Kurs des Autos) abgeglichen.

Regeln

Regeln ist ein Vorgang in einem System, bei dem fortlaufend eine physikalische Größe (Regelgröße) gemessen, mit einer Führungsgröße verglichen, und im Sinne einer Angleichung durch eine Ausgangsgröße beeinflusst wird.

→ Geschlossener Wirkungsablauf

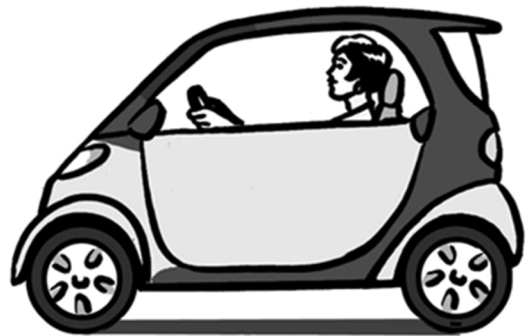
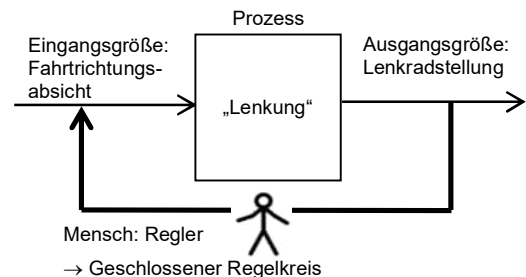


Fig. 7-3 Autofahren: Fahrerin lenkt (regelt)



Ziel einer Regelung:

Die Regelgröße (Istwert) soll fortlaufend dem Wert der Führungsgröße (Sollwert) nachgeführt werden (möglichst ohne Abweichung).

Die Autofahrerin hat die Funktion eines Reglers. Sie überprüft fortlaufend, ob das Auto auf der vorgesehenen Spur (Sollwert) fährt. Sie korrigiert Fahrtrichtungsfehler laufend am Lenkrad. Sie bringt so die Fahrtrichtung des Autos (Istwert) immer wieder auf die gewünschte Spur (Sollwert).

7.4. Regeln

7.4.1. Ziele einer Regelung

Regeln ist ein Vorgang in einem System, bei dem fortlaufend eine physikalische Größe (Regelgröße) gemessen, mit einer Führungsgröße verglichen, und im Sinne einer Angleichung durch eine Ausgangsgröße beeinflusst wird.

Es ist ein geschlossener Wirkungsablauf (Regelkreis).

7.4.2. Funktion einer Regelung

Regeln ist eine fortlaufend wiederkehrende Folge von:

- Regelgröße x messen
- Regelgröße x mit Führungsgröße w vergleichen
- Stellgröße y berechnen
- Stellgröße y ausgeben

7.4.3. Das Regelkreismodell

Eine Regelung besteht aus den zwei Teilen Regelstrecke und Regeleinrichtung.

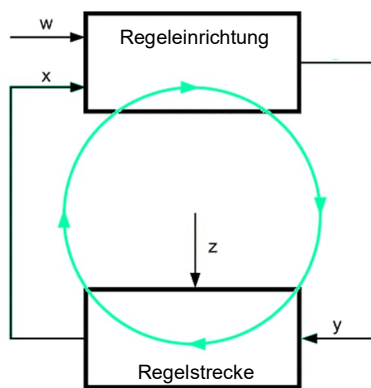


Fig. 7-4 Regelkreismodell

Der Regelkreis entsteht durch die Verbindung von Regelstrecke und Regeleinrichtung zu einem geschlossenen Wirkungsablauf.

Der Ausgang der Regelstrecke wird mit dem Eingang der Regeleinrichtung verbunden, der Ausgang der Regeleinrichtung mit dem Eingang der Regelstrecke.

Das Regelkreismodell ist die abstrakte Darstellung des geschlossenen Regelkreises.

Der Signalfuss findet im Kreis statt (Darstellung üblicherweise im Uhrzeigersinn).

Funktion des Regelkreises

Durch den geschlossenen Kreis kann die Regeleinrichtung, auf die Regelstrecke einwirken und die Regelgröße zielgerecht beeinflussen.

7.4.4. Der Wirkungsplan

Wie bei der Steuerung, braucht es auch beim Regelkreis neben dem Modell einen konkreten Wirkungsplan, um funktionelle Details zu erkennen.

Der Wirkungsplan entsteht durch die Verfeinerung von Regeleinrichtung und Regelstrecke mit Hilfe von Bausteinen und Wirkrichtung. Er stellt die Funktion einer Regelung präziser dar.

Das Ergebnis ist immer auf ein Objekt ausgerichtet:

- Das Anlagenschema zeigt die Regelstrecke.
- Das Funktions-Blockschaltbild zeigt die Regeleinrichtung.

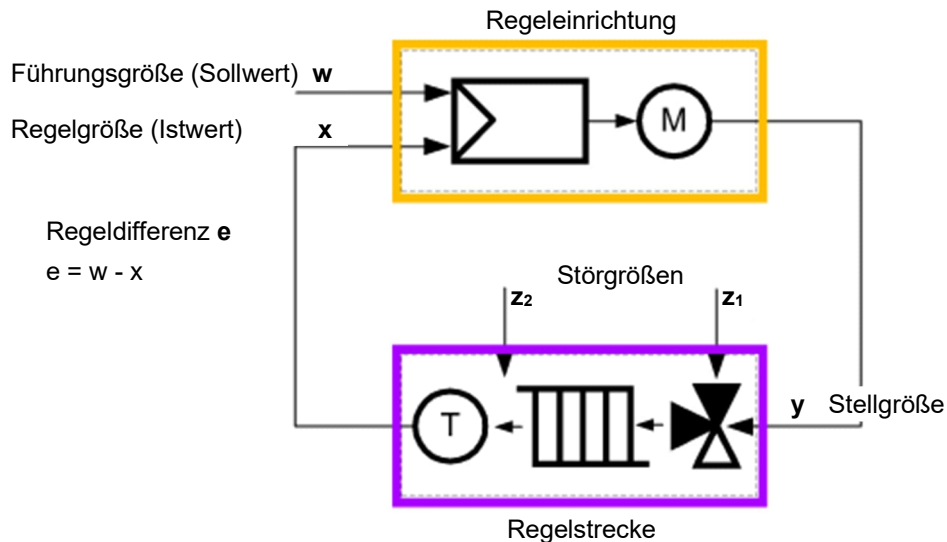


Fig. 7-5 Regelkreis mit wichtigsten Größen

Regelkreisglieder

Die Funktions-Blockschaltbilder und Anlage-Schemata werden aus verschiedenen Bausteinen aufgebaut. Diese Bausteine werden in den DIN-Normen als Regelkreisglieder bezeichnet.

Die Regelkreisglieder sind:

- Komponenten oder Aggregate für die Anlage
- Funktionsbausteine für die Anlagefunktion.

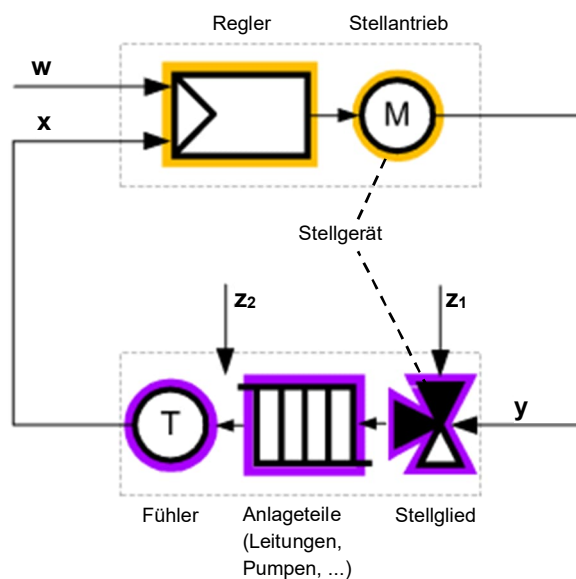


Fig. 7-6 Regelkreisglieder im Wirkungsplan

Beispiel 1, Lenken eines Autos

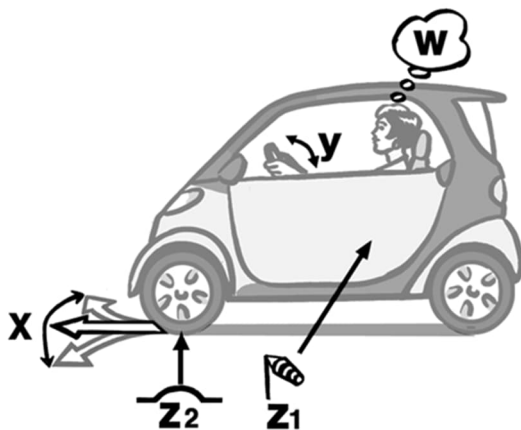


Fig. 7-7 Lenken eines Autos
Mensch als Regeleinrichtung, ...
w Sollwert Fahrtrichtungsabsicht
x Istwert Reale Fahrtrichtung
y Stellgröße Lenkradstellung
z₁, z₂ Störgrößen Seitenwind, Unebenheiten

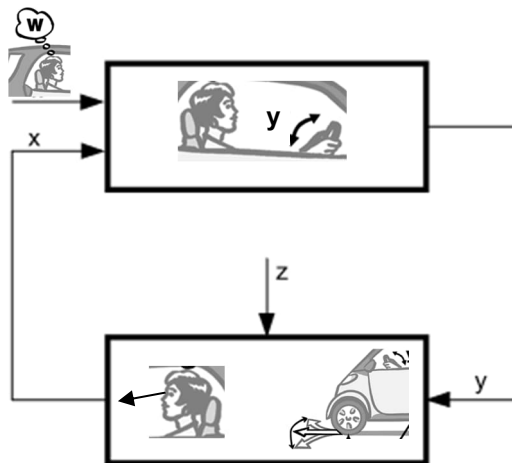


Fig. 7-8 Regelkreismodell
Sollwert w im Hirn der Fahrerin
Regler im Hirn der Fahrerin
Stellantrieb = Hände am Steuerrad
Stellglied = Lenkung im Auto
Fühler = Augen der Lenkerin

Beispiel 2, Regelung einer Raumheizung von Hand

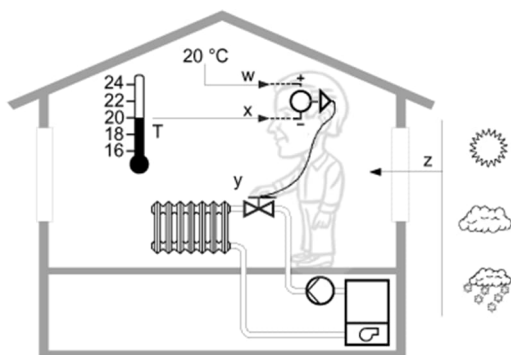


Fig. 7-9 Regelung einer Raumheizung von Hand,
Mensch als Regeleinrichtung, ...
w Führungsgröße
x Regelgröße
y Stellgröße
z Störgrößen

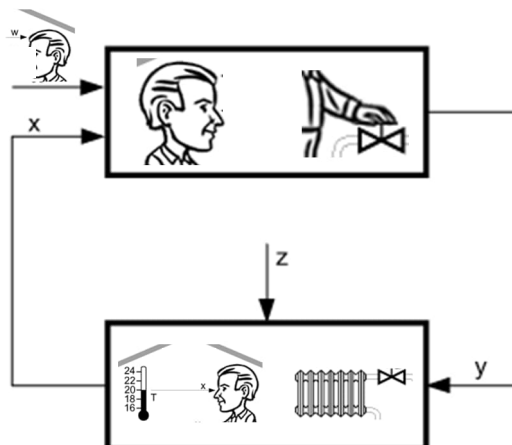


Fig. 7-10 Regelkreismodell
Sollwert w im Hirn des Mannes
Regler im Hirn des Mannes
Stellantrieb = Hand am Ventilrad
Stellglied = Ventil in Leitung
Fühler = Augen des Mannes

Der Raumnutzer vergleicht die Regelgröße x (momentane Raumtemperatur) mit dem Sollwert w (gewünschte Raumtemperatur). Ist die Regelgröße zu groß, so schließt er das Stellglied, ist die Regelgröße zu klein, so öffnet er es.

7.4.5. Automatische Regelung

Ziel der automatischen Regelung

Der Regler soll mit Hilfe von Einstellwerten möglichst gut an die Gegebenheiten der Anlage angepasst werden, und zwar so, dass ein möglichst stabiles Verhalten der Regelung resultiert und Veränderungen genügend schnell ausgeregelt werden.

Beispiel: Automatische Regelung einer Raumheizung

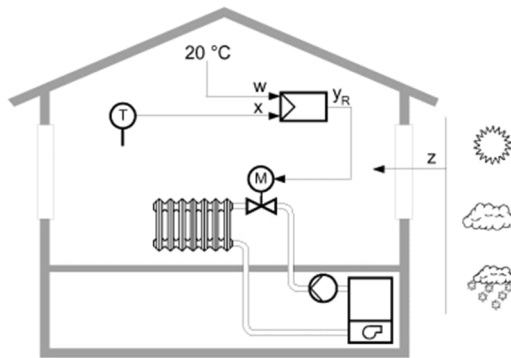


Fig. 7-11 Automatische Regelung einer Raumheizung

w Führungsgröße
x Regelgröße
 y_R Stellgröße
z Störgrößen
T Temperaturfühler
M Stellantrieb

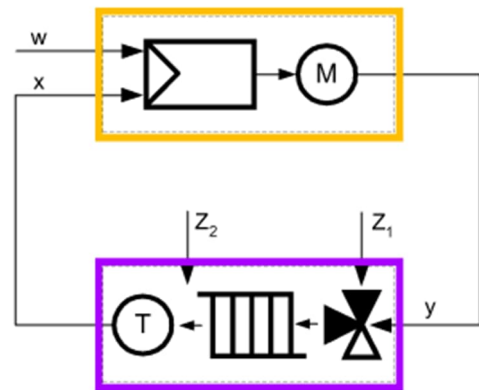


Fig. 7-12 Regelkreismodell
Automatische Regelung einer Raumheizung

Der Regler macht im Prinzip dasselbe wie der Mensch im vorangehenden Beispiel.

Der Regler benötigt einen Fühler zum Erfassen der Regelgröße und einen Stellantrieb zum Umsetzen der Stellgröße am Stellglied.

7.5. Gebäudeautomation (GA)

Unter Gebäudeautomation (GA) werden alle Einrichtungen, Prozesse, Software und Maßnahmen zur automatischen Steuerung und Regelung, Überwachung, Optimierung und Bedienung sowie für das Management des Betriebs der Gebäudetechnik verstanden. Gebäudeautomation ist damit das zentrale Hilfsmittel zum zielorientierten, energieeffizienten und sicheren Betrieb der Gebäude selbst. Die Norm EN 15232 zeigt anhand von Energie-Effizienzklassen auf, welche GA-Funktionen wie viel dazu beitragen können.

Solche Gebäudeautomations-Systeme werden in großen Bürogebäuden, Einkaufszentren, Krankenhäusern, Bahnhöfen, Flughäfen, etc. installiert, wo sich komplexe gebäudetechnische Anlagen gegenseitig beeinflussen und dadurch Möglichkeiten zur Betriebs- und Energieoptimierung bieten. Moderne Gebäudeautomations-Systeme nutzen dabei laufend die aktuellen Informationen aus den Räumen und Zonen und führen die gebäudetechnischen Anlagen dementsprechend nach Bedarf. Dies wird ermöglicht und unterstützt durch die Vernetzung der verschiedenen Automations-Stationen und Geräte mit standardisierten und offenen Kommunikations-Netzwerken wie BACnet, KNX, usw.



Fig. 7-13 Umfangreiche technische Ausrüstungen eines Gebäudes für Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Beschattung, Transport und Sicherheit werden mit Hilfe von Gebäudeautomation-Lösungen effizient und optimal betrieben

Struktur eines Gebäudeautomations-Systems

Ein Gebäudeautomations-System ist hierarchisch strukturiert (vgl. auch EN ISO 16484) und es werden die folgenden 3 Ebenen unterschieden:

- Management-Ebene
- Automations-Ebene
- Feld-Ebene



Fig. 7-14 Die 3 Ebenen eines Gebäudeautomations-Systems

Management-Ebene

Die Management-Ebene ermöglicht das übergeordnete Bedienen und Überwachen einer z.B. HLK, oder verschiedener gebäudetechnischer Installationen (HLK, Beleuchtung, Beschattung, Brandschutz, Sicherheit, ...). Die Automatisierung unterschiedlicher Gewerke wird dazu mit Hilfe von standardisierten Kommunikationsprotokollen integriert.

Die Management-Ebene führt, überwacht und koordiniert die untergeordneten Ebenen und Systeme und übernimmt dabei Funktionen wie:

- Bedienen und Beobachten unterschiedlichster gebäudetechnischer Installationen
- Ausgeben von Betriebs-, Stör- und Alarmmeldungen
- systemübergreifendes Optimieren des Energieverbrauchs
- Sammeln von Systemdaten für die weitere Verarbeitung oder zur Weitergabe an Dritt-Systeme
- Analysieren und Visualisieren von Mess- und Betriebsdaten
- ...

Automations-Ebene

Die Automations-Ebene zur Steuerung, Regelung und Überwachung der gebäudetechnischen Anlagen, arbeitet weitgehend autonom. Sie beinhaltet Automations-Stationen für zentrale gebäudetechnische Anlagen, wie auch Automations-Stationen für Zonen und Räume. Zu dieser Ebene gehören auch Einrichtungen für das Bedienen und Beobachten von Anlagen, Zonen und Räumen.

Diese Automations-Stationen sind untereinander vernetzt was den Datenaustausch (z.B. gemeinsame Nutzung von Messwerten), aber auch den Einsatz von übergreifenden Optimierungsfunktionen auf dieser Ebene ermöglicht.

Die Hardware der Automations-Ebene ist entweder kompakt konzipiert für standardisierte Anwendungen oder erlaubt Prozessgeräte mit modularen Ein-/Ausgangs-Modulen (I/O-Module) zu einer anlagenspezifischen Lösung zu kombinieren.

Die Ein-/Ausgangsmodule (oder die integrierten Ein-/Ausgänge) bilden die Kommunikations-Schnittstelle zwischen den Automations-Stationen und den Mess-, Stell- und Meldegeräten in den Anlagen, Zonen und Räumen (vgl. Feld-Ebene).

Binäre Signale (Ein/Aus, 1/0, High/Low) können dabei direkt verarbeitet, analoge Signale (elektrischer Widerstand, Spannung oder Strom) müssen zuerst durch sogenannte A/D-Wandler (analog/digital) in digitale Signale umgewandelt werden, damit sie von der Automations-Station verarbeitet werden können. Ebenso müssen stetige Stellvorgaben der Automations-Station auf die Signale der Antriebe umgewandelt werden (D/A Wandler).

Die Hauptfunktionen der Automations-Ebene sind:

- Messen, Steuern, Regeln
- Schalten, Melden, Zählen
- Optimieren
- Überwachen
- Bedienen

Feld-Ebene

Die Feld-Ebene mit den Mess-, Stell-, Schalt- und Meldegeräten der gebäudetechnischen Anlagen. In den gebäudetechnischen Anlagen werden über Sensoren aktuelle Betriebszustände erfasst und über Aktoren Betriebszustände verändert. Konkret handelt es sich dabei um:

- die Erfassung von Messwerten wie Temperatur, Feuchtigkeit, Luftqualität, Druck, Volumenstrom oder Zählimpulse (Sensoren)
- das Schalten von Motoren, Beleuchtungs- und Beschattungselementen und anderen Geräten (Aktoren)
- die Rückmeldung der Schalterstellungen von Überwachungsgeräten (Sensoren)
- das Stellen der Ventil- und Klappenantriebe (Aktoren)

Zur Feld-Ebene gehören auch die Mess-, Stell-, Schalt- und Meldegeräte der gebäudetechnischen Installationen in den Räumen und Zonen wie:

- Heizkörperventile
- Warm- und Kaltwasserventile in Ventilatorconvektoren und Heiz-/Kühldecken-Elementen
- Volumenstrom-Regler in VVS-Systemen
- Vorschaltgeräte von Beleuchtungseinrichtungen
- Antriebe von Beschattungseinrichtungen
- Raumfühler für Temperatur, Luftfeuchte, Luftqualität, ...
- Raumbedienelemente wie Taster für Beleuchtung oder Beschattung, Sollwert-Versteller, ...
- Raumbediengeräte die verschiedene Bedienelemente kombinieren
- ...

Standardisierte Kommunikations-Systeme

Ein Gebäudeautomations-System kann eine Vielzahl von Regelkreisen betreiben, Sollwerte fern-einstellen oder Stellgrößen abfragen und daraus – zwecks bedarfsgeführtem Betrieb der Wärme- und Kälteerzeuger – den gesamten Lastzustand der HLK-Anlagen, aber auch der Räume und Zonen ermitteln.

Der Datenaustausch innerhalb des Gebäudeautomations-Systems erfolgt über standardisierte Kommunikations-Netzwerke, wobei je nach Systemgröße, erforderlicher Übertragungsgeschwindigkeit, Ausbaubarkeit oder Betriebssicherheit, unterschiedliche Kommunikationsprotokolle gewählt werden.

Für den Datenaustausch gelten dabei die folgenden Grundsätze:

- der Datenaustausch kann horizontal (innerhalb der Ebene) oder vertikal (zwischen den Ebenen) erfolgen
- jede Ebene arbeitet mit den ihr zugewiesenen Daten
- Daten, die an höhere Ebenen übermittelt werden, sind vorher auf die Wesentlichen zu reduzieren bzw. zu verdichten

Werden diese Grundsätze konsequent befolgt, wird vermieden, dass eine Ebene mit Daten einer anderen überlastet wird, was zwangsläufig zu längeren Verarbeitungs- und Reaktionszeiten führen würde.

Anforderungen an Kommunikations-Systeme in der Gebäudeautomation:

- Übertragung von einfachen Ereignissen bis hin zu komplexen Datenstrukturen
- Integration gleicher und verschiedener Gewerke auf der Ebene mit größtem Nutzen
- Aufschaltung auf bestehende Infrastruktur (LAN, WAN) des Kunden
- zentrale Bedienung und Überwachung, jedoch mit örtlicher Flexibilität
- Reduktion der Installations- und Wartungskosten
- Fernüberwachung
- Effiziente Vernetzung einer großen Anzahl Stationen über weite Distanzen
- Flexibilität in der Installationstechnik
-

Diese Anforderungen können nur mit standardisierten Kommunikations-Systemen erfüllt werden. Um alle Anforderungen abzudecken, sind unterschiedlich Systeme erforderlich.

Viele Datenübertragungs- und Kommunikationssysteme sind heute normiert. Die nachfolgende Übersicht zeigt die wichtigsten Kommunikationsprotokolle, die in Siemens Systemlösungen (z.B. Desigo) unterstützt und genutzt werden. Dabei sind die Kommunikations-Protokolle der Automations- und Managementebene nach verschiedenen EN-Normen standardisiert. Die Kommunikationsprotokolle, die Geräte und Produkte der Feldebene erschließen und einbinden, sind größtenteils Industrie-Standards, welche sich im Laufe der Zeit für verschiedene Anwendungsbereiche etabliert haben, z.B. M-Bus für Zähler, DALI für Beleuchtungsgruppen, ...

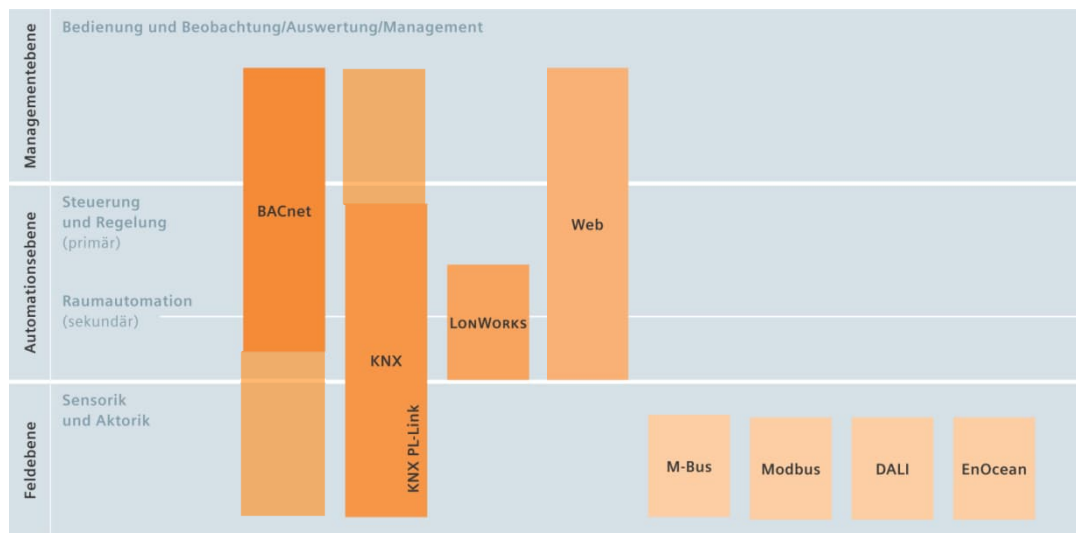


Fig. 7-15 Standardisierte Kommunikations-Systeme in Siemens Systemlösungen (LonWorks nur in bestehenden Systemen)

Smart Infrastructure verbindet auf intelligente Weise Energiesysteme, Gebäude und Industrien und verbessert die Art und Weise, wie wir leben und arbeiten, um Effizienz und Nachhaltigkeit deutlich zu steigern.

Gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern schaffen wir ein Ökosystem, das sowohl intuitiv auf die Bedürfnisse der Menschen reagiert als auch Kunden dabei unterstützt, ihre Geschäftsziele zu erreichen.

Ein Ökosystem, das unseren Kunden hilft zu wachsen, das den Fortschritt von Gemeinschaften fördert und eine nachhaltige Entwicklung begünstigt, um unseren Planeten für die nächste Generation zu schützen.

Creating environments that care.

[siemens.com/smart-infrastructure](https://www.siemens.com/smart-infrastructure)

Herausgeber
Siemens Schweiz AG

Smart Infrastructure
Global Headquarters
Theilerstrasse 1a
6300 Zug
Schweiz
Tel. +41 58 724 24 24

Siemens AG
Smart Infrastructure
De-Saint-Exupéry-Straße 5-7
60549 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel. +49 69 797-0

Siemens AG Österreich
Smart Infrastructure
Siemensstraße 90
1210 Wien
Österreich
Tel. +43 (51707) 0

Siemens Schweiz AG
Smart Infrastructure
Sennweidstrasse 47
6312 Steinhausen
Schweiz
Tel. +41 585 579 200

Siemens S.A.
Smart Infrastructure
21, rue Edmond Reuter
5326 Contern
Luxembourg
Tél. +352 43843 900

Schutzgebühr € 50

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

© Siemens 01/2026