

H

h, x-Diagramm

Von R. → Mollier entwickeltes schiefwinkliges Diagramm zur übersichtlichen Darstellung der für die Luftbehandlung wesentlichen Zustandsgrößen. Abzisse ist der Wassergehalt x , an der Ordinatenachse sind zwar die → *Trockenkugeltemperaturen* (Raumlufttemperaturen) angeschrieben, die Isothermen verlaufen aber fächerförmig auseinander. Parallel zueinander verlaufen die Isenthalpen, jedoch nicht rechtwinklig zu den x -Linien. Die Werte des h, x-Diagramms werden meist für $p = 1013,25 \text{ hPa}$ oder 980 hPa ausgelegt, bei anderen Drücken (abhängig von der Meereshöhe) ist umzurechnen. Heute gestatten PC-Programme die Ermittlung der Werte für beliebige Drücke. Den typischen Verlauf der Iso-Linien zeigt die folgende Abbildung:

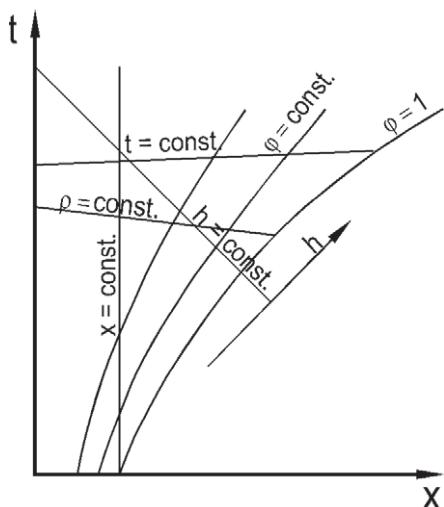


Bild 87: Verlauf der Iso-Linien im h, x-Diagramm.

Haarharfe

Messelement hochwertiger → *Haarhygrometer*, bestehend aus mehreren parallelen Faserbündeln, die abhängig von der → *relativen Luftfeuchte* ihre Länge ändern.

Haarhygrometer

→ *Hygrometer*.

HACCP-Konzept

Hazard Analysis Critical Control Point-Konzept, deutsch: Gefährdungsanalyse und kritische Lenkungspunkte. System zur Vorbeugung von Gesundheitsgefährdungen durch Lebensmittel, das 1959 in den USA für die Herstellung weltausgewandter Astronautennahrung entwickelt wurde, seit 1993 von der Food and Agriculture Organization der UNO empfohlen wird und seit 1998 im deutschen Lebensmittelrecht verankert ist. Seit dem 1. Januar 2006 dürfen in der EU nur noch Lebensmittel, die die HACCP-Richtlinien erfüllen, gehandelt werden. Das HACCP-Konzept fordert die Analyse der Risiken, die Überwachung der für Hygiene kritischen Punkte, Dokumentation der Maßnahmen usw.

H

Halbhermetischer Hubkolbenverdichter

Bei dieser heute vorherrschenden Bauform befinden sich → Verdichter und Elektromotor in einem gemeinsamen Gehäuse, das jedoch zu Servicezwecken geöffnet werden kann. Die Vorteile gegenüber offenen Hubkolbenverdichtern sind in der einfacheren Montage (Ausrichtung von Motor und Verdichter entfällt), geringeren Leckagemöglichkeit (keine Wellenabdichtung erforderlich) und verminderter Geräuschentwicklung zu sehen.

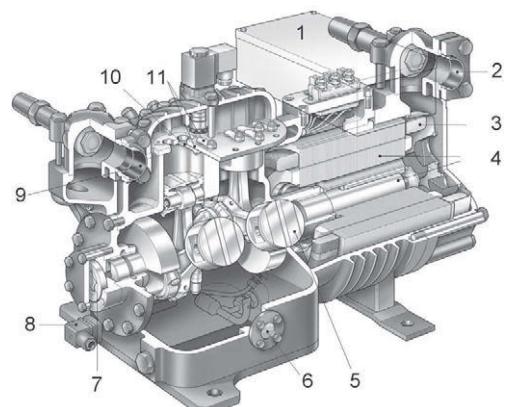


Bild 88: Sauggasgekühlter halbhermetischer 6 Zylinder-Hubkolbenverdichter (Bitzer): 1 Anschlusskasten mit Anschlussklemmen, 2 Saugstutzen, 3 Stator, 4 Welle mit Rotor, 5 Kolben mit Nut zu Aufnahme der Saugventillamellen, 6 Ölsumpf mit Schauglas, 7 Öl-pumpe, 8 Anschluss Ölumpfheizung, 9 Druckstutzen, 10 Saugventillamelle, 11 Ventilplatte mit Druck-ventilen, Saugventile unterhalb nicht sichtbar.

Nachteilig sind die geringere Variabilität im Antrieb und vor allem die Tatsache, dass ein Wicklungsschaden am E-Motor eine Verschmutzung des gesamten Kältemittelkreislaufs nach sich zieht (→ *Wicklungsbrand*).

Die Abwärme des Elektromotors wird entweder durch das über die Wicklung geführte Sauggas aufgenommen (→ *Sauggaskühlung*) oder direkt an die Umgebung abgegeben, unterstützt z.B. durch besondere Ventilatoren (Luftkühlung) oder in Kombination beider Verfahren abgeführt. → *Zusatzkühlung*.

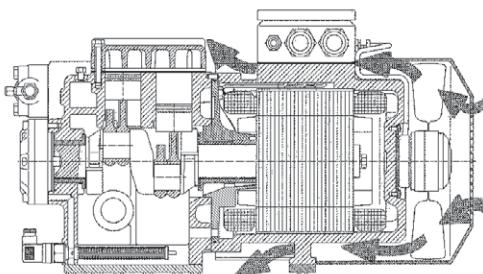


Bild 89: Schnitt durch einen luftgekühlten halbhermetischen 4 Zylinder-Verdichter (Bock): Durch einen außen angebrachten Ventilator wird Luft gezielt über das Verdichtergehäuse geleitet und so die Abwärme des Elektromotors abgeführt.

Halbhermetischer Verdichter

Antriebsmotor und → *Verdichter* haben eine gemeinsame Welle und sind in einem kältemittel dichten Gehäuse ohne äußere Welle oder Wellenabdichtungen untergebracht, das aber geöffnet werden kann (Montagedeckel). Dadurch arbeitet der Motor in einem Gemisch aus Kältemitteldampf und Öl. → *Halbhermetischer Hubkolbenverdichter*.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Auch Halogenkohlenwasserstoffe, → *Kältemittel* auf Basis von → *Kohlenwasserstoffen*, meist Methan (CH_4) oder Ethan (C_2H_6), bei denen einzelne (teilhalogeniert) oder alle (vollhalogeniert) H-Atome des Basismoleküls durch Fluor, Chlor oder Brom ersetzt wurden, z.B. R-12, CCl_2F_2 – Dichlordifluormethan, R-22 – CHClF_2 , R-13 B1 – CF_3Br – Bromtrifluormethan, R-115 C_2ClF_5 – Chlorpentafluorethan, R-134a Tetrafluorethan $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ usw. → *FCKW*, → *FKW*, → *HFCKW*, → *HFKW*.

Halogen-Prüflampe

Nicht mehr zugelassenes Gerät zur Lecksuche bei chlorhaltigen Kältemitteln (FCKW, HFCKW). Eine Gasflamme, die durch ein Siebplättchen aus Kupferdraht strömt, bekommt einen Teil ihrer Ansaugluft über einen Schlauch zugeführt, der an die potenziellen Leckstellen gehalten wird. Bei Anwesenheit von Chlor (im chlorhaltigen Kältemittel) färbt sich die Flamme grünlich. Die Halogen-Prüflampe ist verboten. In der Flamme bilden halogenierte Kältemittel giftige Zersetzungprodukte (→ *Chlorwasserstoff*, → *Fluorwasserstoff*, → *Phosgen*).

Halogen-Schnüffeltest

→ *Montagelecksuchgeräte*.

Haltepunkt

Falls sich Wasser in flüssiger Form in den zu evakuierenden Anlagenteilen befindet, kann sich beim → *Evakuieren* ein Haltepunkt ergeben, d.h., der Druck sinkt nicht weiter ab, sondern bleibt, die zum Verdampfen notwendige Wärme vorausgesetzt, so lange konstant, bis das Wasser verdampft ist. Die Lage des Haltepunkts entspricht dem Wasserdampfdruck bei der jeweiligen Temperatur.

Handbetätigtes Expansionsventile

Bei Anlagen mit → *überfluteter Verdampfung* kann die Zufuhr von Kältemittel zum Verdampfer über ein Magnetventil, das seine Impulse von einem Niveauregler bekommt, geregelt werden. Die Drosselung auf den niederen Verdampfungsdruck erfolgt dann in einem dem Magnetventil nachgeordneten handbetätigten Drosselventil.

Hauptsatz

Grundlage der Thermodynamik sind fundamentale Erkenntnisse, die in den Hauptsätzen zusammengefasst werden. Dabei sind verschiedene Formulierungen möglich, die sich jeweils auf die gleiche Erfahrungstatsache beziehen.

Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt eine Erfahrungstatsache über das thermische Gleichgewicht, die lange Zeit als so selbstverständlich erschien, dass man sie erst ausdrücklich formulierte, als die Bezeichnung Erster Hauptsatz bereits vergeben war: Zwei Systeme, die mit einem dritten im thermischen

Gleichgewicht stehen, stehen auch untereinander im thermischen Gleichgewicht.

Der Erste Hauptsatz überträgt das Prinzip von der Erhaltung der Energie aus der Mechanik auf die Wärmelehre und definiert damit den Begriff → *Wärme* als Energieform. Sowohl durch Wärme als durch Arbeit lässt sich die → *innere Energie* eines Systems verändern: Wärme und Arbeit sind gleichwertig.

Der Zweite Hauptsatz beschreibt das Wesen natürlicher Vorgänge bzw. das Prinzip der Irreversibilität. Formulierung von → *Clausius*: Wärme kann nie von selbst von einem Körper niedriger Temperatur auf einen Körper höherer Temperatur übergehen. Formulierung von *Planck*: Alle Prozesse, bei denen Reibung auftritt, sind irreversibel. Formulierung von *Baehr*: Alle natürlichen Prozesse sind irreversibel. Weitere Formulierung in Abwandlung von *Clausius*: Wärme fließt von selbst stets nur vom Körper höherer Temperatur zum Körper niedriger Temperatur.

Das Nernstsches Wärmetheorem wird auch als Dritter Hauptsatz bezeichnet und ermöglicht die Berechnung absoluter Entropien. Formulierung von → *Planck* in der über Nernst hinausgehenden Fassung: Die Entropie jedes festen Körpers aus lauter gleichartigen Bestandteilen, der sich im ungehemmten Gleichgewichtszustand befindet, nähert sich bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt $T = 0$ unbegrenzt dem Wert Null.

Hauptteile der Kälteanlage

Der Kaltdampfkompressionsprozess benötigt prinzipiell vier Bauteile, damit das → *Kältemittel* den Kreisprozess durchlaufen kann: → *Verdampfer*, → *Verdichter*, → *Verflüssiger*, → *Drosselorgan*. Der → *Sammler* ist nicht in jeder Kälteanlage vorhanden und als Vorratsbehälter kein Hauptteil, zumal in ihm keine Zustandsänderung stattfindet. → *Kaltdampfkompressionsprozess einstufig*.

HD

Abkürzung für → *Hochdruck*.

Heat Pipe

→ *Wärmerohr*.

Heißgasabtauung

Bei dieser → *Abtauung* für → *Lamellenverdampfer* wird die Wärme des heißen → *Druckgases* genutzt, wodurch gegenüber der → *elek-*

trischen Abtauung erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden. Dem stehen je nach Verfahren höhere Kosten für den schaltungstechnischen Aufwand gegenüber, die sich jedoch je nach Anlagengröße in einem Zeitraum von $\frac{1}{2}$ bis 1,5 Jahre amortisieren. Der Abtauvorgang ist sehr kurz und dauert je nach Verdampfergröße nur wenige Minuten. Dazu gibt es zahlreiche Varianten, z.B.:

1. Das vom Verdichter kommende heiße Druckgas wird durch eine Heißgasrohrleitung mit Magnetventil, zum Verdampfereingang in Strömungsrichtung zwischen Expansionsventil und Verdampfereintritt geführt. Dazu schließt das Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung und gleichzeitig öffnet das Magnetventil der Heißgasleitung. Der in den Verdampfer eintretende heiße Kältemitteldampf kühlt sich sehr schnell ab, teilweise bis zur Verflüssigung, und wird als Kaltdampf wieder vom Kältemittelverdichter angesaugt.
2. Umkehrung des Kältemittelkreislaufs mittels Vierwege-Umschaltventil: → *Funktionsumkehr* von Verdampfer und Verflüssiger.
3. Wechselseitige Heißgasabtauung: Bei zwei Verdampfern wird jeweils einer durch Heißgas abgetaut, der andere arbeitet währenddessen als Verflüssiger (Bäckström-Schaltung).

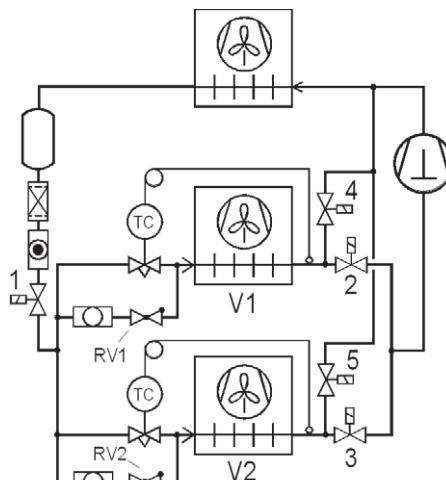


Bild 90: Heißgasabtauung nach Bäckström: Abtauung Verdampfer V1: Magnetventil 1, 2 und 5 geschlossen, Druckgas strömt über MV4 durch V1, umgeht das TEV durch RV1, und kommt durch V2 und MV3 wieder zum Verdichter zurück.

4. Abwechselnde Heißgasabtauung: Bei mehreren Verdampfern werden einzelne abgetaut, die anderen kühlen weiter.

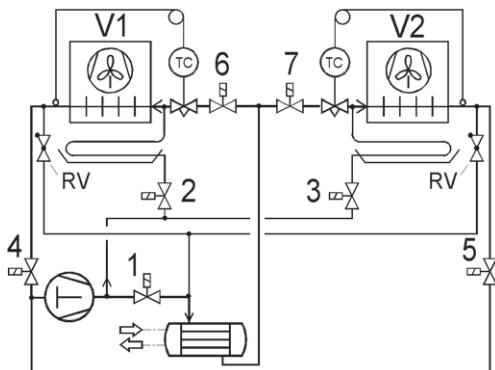


Bild 91: Abwechselnde Heißgasabtauung bei 2 Verdampfern: Kühlbetrieb: MV 1, 4, 5, 6, 7 geöffnet, MV 2 und 3 geschlossen; Abtauung V 1: MV 1, 3, 4, 6 geschlossen, MV 2, 5, 7 geöffnet; Abtauung V 2: MV 1, 2, 5, 7 geschlossen, MV 3, 4, 6 geöffnet. Die jeweiligen Rückschlagventile RV verhindern ein Überströmen des abgekühlten Druckgases in die Saugleitung des jeweils kühlenden Verdampfers.

5. → Thermobank System.

Heißgasbypass-Regelung

Eine Form der → Leistungsregelung von Verdichtern, bei der Heißgas aus der Druckleitung auf die Saugseite geleitet wird.

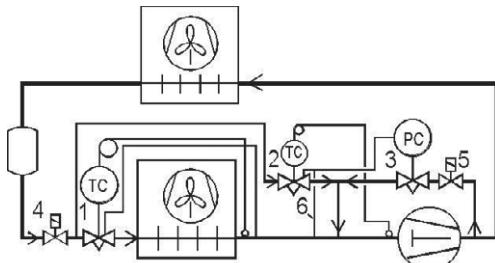


Bild 92: Heißgasbypass mit thermostatischer Nacheinspritzung: 1 Thermostatisches Expansionsventil, 2 Thermostatisches Nacheinspritzventil, 3 Heißgasbypass-Regler, 4 Magnetventil Flüssigkeitsleitung, 5 Magnetventil Bypass, 6 Druckimpulslitung für 2 und 3.

Der Heißgasbypass-Regler öffnet, sobald der Saugdruck unter einen eingestellten Wert sinkt, so dass der Verdichter weiter läuft, aus dem Verdampfer aber einen entsprechend geringeren

Massenstrom befördert. So wird ein → Taktbetrieb vermieden und die Leistung kann bis auf 10 Prozent runtergeregt werden. Energetisch sehr ineffizient, denn die → Kälteleistungszahl sinkt stark. Zur Vermeidung zu hoher Druckgastemperaturen wird beim Bypass in die Saugleitung häufig eine von der Sauggasttemperatur abhängige thermostatische Nacheinspritzung vorgenommen:

Bei einem Bypass in den Verdampfereingang erübrigt sich die Nacheinspritzung, weil das → TEV der Anlage auf die ansteigende Überhitzung reagiert:

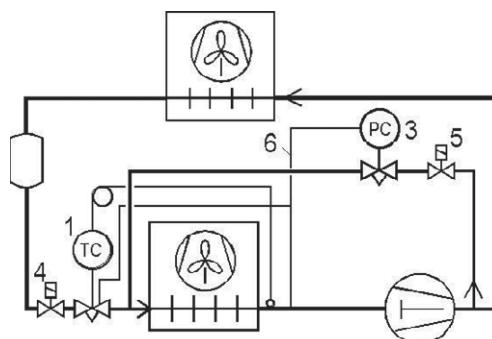


Bild 93: Heißgasbypass in den Verdampfereingang.

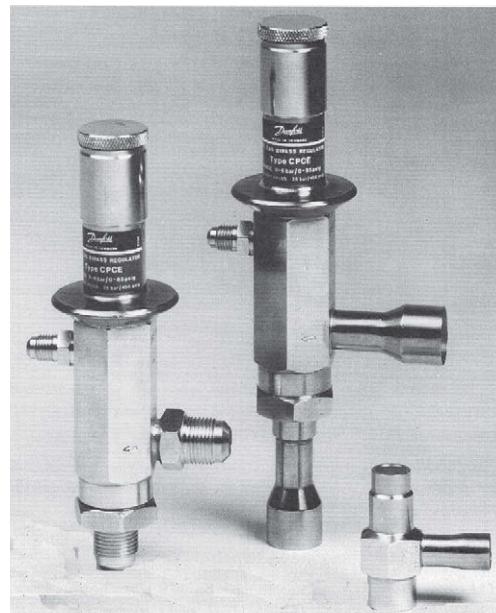


Bild 94: Heißgasbypassregler der Firma Danfoss.

Heißgasleitung

Überhitzten Kältemitteldampf führende Druckleitung, die nicht zum Verflüssiger führt, z.B. eine Rohrleitung zur Verdampferabtauung mit Heißgas (→ *Heißgasabtauung*) oder zur → *Heißgasbypass-Regelung*. → *Rohrleitungen der Kälteanlage*.

Heißgasmischer

Bei der → *Heißgasbypass-Regelung* ggf. verwendetes spezielles T-Stück, das in die → *Einspritzleitung* montiert beim Heißgasbypass in den Verdampfereingang die homogene Vermischung von bygepasstem Heißgas mit der durch das TEV eingespritzten Flüssigkeit im Verdampfereingang gewährleistet.

Heizbetrieb

Bezeichnung für den bei (Split)Klimageräten mit → *Funktionsumkehr* möglichen Betriebszustand „Heizen“. Durch die Funktionsumkehr arbeiten die Geräte als → *Wärmepumpe*.

Heizzahl

Auch Primärenergiefaktor. Verhältnis von abgegebener Wärmemenge zu eingesetzter Energie bei → *Wärmepumpen*.

Bei mit Verbrennungsmotor angetriebenen → *Wärmepumpen* nach dem → *Kaltdampfkompressionsprozess* bzw. → *Absorptionswärmepumpen* aussagekräftiger als die Wärmeleistungszahl ε_w :

$$\text{Heizzahl} = \frac{\text{abgegebene Wärmemenge}}{\text{zugeführte Primärenergie}}$$

Heliumlecksuche

Verfahren der → *Dichtheitsprüfung* vor Inbetriebnahme. Bei einer → *Druckprobe* wird dem Prüfgas (Stickstoff) ein kleiner Heliumanteil zugefügt und anschließend mit einem Heliumdetektor geprüft.

Das Verfahren ist sehr genau aber auch teuer und wird deswegen feldmäßig kaum angewendet. Das Helium-Stickstoff-Gemisch kann ohne Umweltgefährdung abgelassen werden.

HEPA-Filter

High Efficiency Particulate Air Filter, Schwebstofffilter, → *Faserfilter*.

Hermetisch geschlossenes System

Im Sinne der → *F-Gase-Verordnung* ein System, bei dem alle Kältemittel enthaltenen Teile durch Schweißen, Löten oder eine ähnlich dauerhafte Verbindung gefügt sind. Ein solches System kann auch gesicherte Ventile und gesicherte Zugangsstellen für Reparatur und Wartung enthalten. Diese müssen eine geprüfte Leckagerate von weniger als drei Gramm pro Jahr bei einem Druck von wenigstens einem Viertel des höchstzulässigen Drucks aufweisen. Hermetisch geschlossene Systeme müssen als solche gekennzeichnet sein.

Nach dieser Definition gelten Anlagen mit z.B. Bördel- und Schneidring- sowie Flanschverbindungen nicht als hermetisch geschlossen. Gleichermaßen gilt für → *Splitklimageräte* mit „Schnappverschlüssen“.

Hermetischer Hubkolbenverdichter

Bei dieser Bauform befinden sich → *Verdichter* und Elektromotor in einem (meist) verschweißten Gehäuse aus Stahlblech, sodass sie nicht zugänglich sind. Im Servicefall wird die gesamte Kapsel ausgetauscht.

Die Ausfallquote ist jedoch sehr gering, die Lebensdauer von hermetischen Hubkolbenverdichtern im Bereich der Haushaltstisch- und -gefriergeräte beträgt über 10 Jahre bei 50 000 bis 80 000 Betriebsstunden. Hermetische Hubkolbenverdichter werden für kleinste (Kühlschrank) und kleine bis mittlere Leistungen hergestellt. Verdichter und Antriebsmotor bilden eine federnd in der Kapsel aufgehängte Einheit.

Das Sauggas wird meist aus dem unter Saugdruck stehenden Gehäuse angesaugt, wodurch unvollständig verdampftes Kältemittel im erwärmten Verdichtergehäuse nachverdampfen kann. Der Nachteil dieses Sicherheitsverfahrens ist die relativ starke Sauggasaufheizung und somit geringere Leistungszahl. Die Kühlung des Elektromotors erfolgt über das Sauggas und/oder durch eine Ölschleudererkühlung, bei der das von der Motorwicklung erwärmte Öl innen gegen das Verdichtergehäuse geschleudert wird und dort Wärme abgibt (vgl. Bild 95).

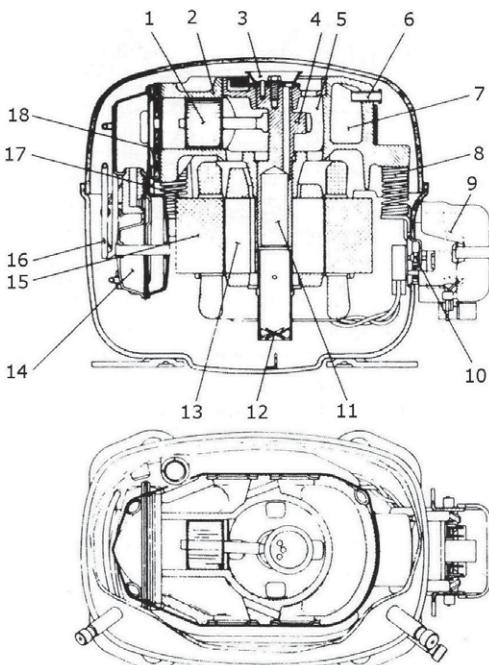


Bild 95: Schnitt durch einen hermetischen Hubkolbenverdichter (Kapsel) (Werkbild Danfoss): 1 Kolben, 2 Zylinder, 3 Ölschleuder, 4 Pleuel, 5 Kurbelgehäuse, 6 innerer Ansaugstutzen, 7 Saugschalldämpfer, 8 Aufhängefeder, 9 elektrische Anlassvorrichtung (Leichtanlauf), 10 Stromdurchführung, 11 Kurbelwelle, 12 Ölzpumpe (Zentrifugalwirkung), 13 Rotor, 14 Druckschalldämpfer, 15 Stator, 16 Druckrohrsleife (entkoppelt mechanische Schwingungen), 17 Aufhängefeder, 18 Ventilplatte.

Hermetischer Verdichter

Bei dieser sehr Platz sparenden Bauform sind Motor und → Verdichter gemeinsam in einem kältemitteldichten, meist verschweißten Stahlblechgehäuse (Kapsel) untergebracht. Hermetische Verdichter werden überwiegend als → Hubkolben- aber auch als → Rollkolben- und → Scrollverdichter hergestellt. → *Hermetischer Hubkolbenverdichter*.

HFKW

Teilfluorierte Hydro-Fluor-Kohlenwasserstoffe, z.B. R-134a ($C_2H_2F_4$), ODP = 0, aber → *Treibhauspotenzial*.

HFCKW

Teilhalogenierte Hydro-Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, z.B. R-22, $CHClF_2$, Ozonschäd-

lichkeit wegen geringerer Lebensdauer in der Atmosphäre geringer als bei → FCKW, jedoch auch → *Treibhauspotenzial*, Verwendung auslaufend. → *EG-Verordnung 2037/2000*.

HFO1234yf

→ R-1234yf.

HGWP

Halocarbon Global Warming Potential, drückt den Beitrag eines → Kältemittels zum → *Treibhauseffekt*, bezogen auf R-11 = 1, aus. Die HGWP-Werte beziehen sich auf einen unendlichen Zeithorizont. Das → *Treibhauspotenzial* wird heute meist auf CO₂ bezogen. → GWP.

Tabelle 7: HGWP-Werte ausgewählter Kältemittel.

R-	HGWP	R-	HGWP
11	1,0	407C	0,36
12	3,0	22	0,33
13B1	1,5	410A	0,41
115	35	404A	0,83
32	0,15	507A	0,84
134a	0,3	23	8,4

Hitzdraht-Anemometer

Auch thermisches → *Anemometer*, nutzt den Kühlereffekt der Luftströmung an einem durch elektrischen Strom erhitzten Widerstand zur Messung der Luftgeschwindigkeit. Die zur Konstanthaltung der Temperatur nötige Energie ist das Maß für die Luftgeschwindigkeit.



Bild 96: Messsonde eines Hitzdraht-Anemometers auf einem Teleskopstab (Testo).