

# *Umgang mit Kältemitteln*



Grundlagen zum Erwerb der Fachbewilligung

## Vorwort

Zu Beginn der Kältetechnik mussten zuerst geeignete «Transportgebilde» für das Transportgut «Wärme» gefunden werden. Denn die Aufgabe jeder Kälteanlage oder Wärmepumpe ist in ihrem Kern der Wärmetransport. Es leuchtet ein, dass die Qualität des Transports in hohem Masse von der «Verpackung» des Transportgutes abhängt. Diese Funktion übernimmt im Kältesystem das Kältemittel. Allerdings mussten geeignete Stoffe zuerst entwickelt werden, um alle Anforderungen erfüllen zu können.

- **Ansprüche an die Arbeitsdrücke**

Ein sehr hoher Verflüssigungsdruck stellt ein Sicherheitsrisiko dar, zudem steigt der Materialaufwand erheblich. Ein zu tiefer Verdampfungsdruck lässt die Dimensionen von Leitungen und Komponenten anwachsen, läuft die Anlage gar im Vakuum wird die Überwachung komplexer, das Abdichten wird schwieriger.

- **Ansprüche an die Stabilität**

Obschon im Kältesystem per Definition nur Kältemittel und Kälteöl vorkommen dürfen, muss eine genügende Stabilität dieser Betriebsstoffe vorhanden sein, damit chemische Reaktionen untereinander oder mit im System verwendeten Materialien ausbleiben. Im Idealfall sollen die Betriebsstoffe die Lebensdauer der Gesamtanlage erreichen.

- **Ansprüche an die Energetik**

Schon zu Beginn der Kältetechnik wurde versucht, mittels geeigneter Kältemittel eine hohe Leistungsziffer zu erreichen. Somit einen möglichst grossen Wärmetransport bei möglichst kleiner Leistungsaufnahme des Verdichters zu realisieren.

- **Ansprüche an das Umweltverhalten**

Man könnte rückblickend sagen, dass die Ansprüche an die Stabilität bei der Entwicklung der synthetischen Kältemittel eine zu hohe Priorität genossen hat. Denn genau deswegen mussten ab 1990 die ökologischen Aspekte verstärkt in die Überlegungen einbezogen werden. Die Stabilität der FCKW-Kältemittel lässt diese nämlich nach einer Emission lange an der Atmosphäre verweilen. Die dadurch als Sekundäreffekt ausgelösten Probleme sind einerseits ein verstärkter **Treibhauseffekt** durch das hohe Treibhauspotential, andererseits ein Ausdünnen der für uns überlebenswichtigen **Ozonschicht** durch den Chlorgehalt, welcher im Kältemittelmolekül bis in die Stratosphäre transportiert wird. Internationale Forderungen verlangen nach einer Reduktion dieser Sekundäreffekte durch die Entwicklung alternativer Kältemittel ohne Chlorgehalt und vermindertem Treibhauspotential sowie einem fachkundigen und verantwortungsbewussten Umgang mit diesen Stoffen. Letzteres gelingt durch Sensibilisierung und Schulung betroffener Personenkreise. In der Schweiz ist die **Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln** die Antwort auf diese Forderung.

### **Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln:**

Vermittelt das Wissen über die Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Kältetechnik in Bezug zu den eingesetzten Kältemitteln.

Jede Person, welche autonom mit diesen Stoffen arbeitet, muss über eine Fachbewilligung verfügen.

Sie soll motiviert sein, Emissionen von Kältemitteln auf ein nicht vermeidbares Minimum zu beschränken.



# Impressum

Umgang mit Kältemitteln:	Grundlagen zum Erwerb der Fachbewilligung Version Juli 2021-63 basierend auf der ChemRRV
Homepage:	<a href="http://www.svk.ch/fachbewilligung">www.svk.ch/fachbewilligung</a>
Kontakt:	<a href="mailto:fachbewilligung@svk.ch">fachbewilligung@svk.ch</a>
Verfasser:	Patrick Goetz / Visconsil AG 3176 Neuenegg
Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt BAFU
Herausgeber / Bezugsquelle:	Schweizerischer Verband für Kältetechnik SVK Eichstrasse 1 6055 Alpnach Dorf
Stückpreis:	Fr. 25.- zuzüglich Porti, Verpackung und MWST

## Hinweise zum Lehrmittel:

Alle Rechte vorbehalten, die Übernahme von Auszügen dieses Lehrmittels setzt die schriftliche Bewilligung des Herausgebers voraus.

Im gesamten Lehrmittel wird die männliche Form verwendet. Dies dient der einfacheren Lesbarkeit und soll keinesfalls die weiblichen Fachpersonen (von denen es in technischen Berufen leider immer noch zu wenige gibt) diskriminieren.

Zum Querlesen sind Schlüsselwörter im Text *kursiv und in grün* gehalten.

Schlüssel- und Kernaussagen finden sich jeweils in solchen gelben Feldern.

### Fachbewilligung im Internet:

Dieses Lehrmittel ist eine Hilfestellung zum Erlangen der Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln. Zusätzliche oder aktualisierte Informationen können im Internet bezogen werden:

- [www.fachbewilligung.ch](http://www.fachbewilligung.ch)

Solche Hinweise sind jeweils im Lehrmittel am Seitenende durch eine orange Kugel hinter dem Text gekennzeichnet.

### Fachbegriffe:

Ist ein Wort im Text mit einem \* versehen, findet sich hierzu im Kapitel 11 «Fachbegriffe» eine Erläuterung.

### Meldestelle für Neuanlagen:

Neue Kälteanlagen und Wärmepumpen mit mehr als 3 kg Kältemittel müssen hier gemeldet werden:

- [www.smkw.ch](http://www.smkw.ch)

### Wegleitung:

Eine Wegleitung als Hilfestellung zur Anmeldung von meldepflichtigen Anlagen kann bei der Meldestelle ([meldestelle-kaelte.ch](http://meldestelle-kaelte.ch)) heruntergeladen werden.

### BAFU:

Das Bundesamt für Umwelt kann unter folgender Internetadresse erreicht werden:

- [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Ökologie</b>	<b>5</b>
1.1	Die Lebensräume	6
1.2	Die Atmosphäre	7
1.3	Zusammensetzung der Atmosphäre	8
1.4	Ozon in der Troposphäre	9
1.5	Die Ozonschicht	10
1.6	Ozonabbau in der Stratosphäre	11
1.7	Der Treibhauseffekt	12
1.8	Gewässerbelastung	13
1.9	Eigenschaften und Umweltverträglichkeit	14
1.10	Emission und Verlauf	15
1.11	Begriffe zu Ozonschicht und Treibhauseffekt	16
<b>2</b>	<b>Toxikologie</b>	<b>17</b>
2.1	Aufnahme über die Atmung	17
2.2	Aufnahme über die Haut	18
2.3	Aufnahme über den Mund	18
2.4	Toxizität	19
2.5	Risikoabschätzung und Prävention	21
<b>3</b>	<b>Gesetzgebung</b>	<b>22</b>
3.1	Chemikaliengesetz	22
3.2	Umweltschutzgesetz	23
3.3	Gewässerschutzgesetz	23
3.4	Arbeitsgesetz	23
3.5	Unfallversicherungsgesetz	24
3.6	Chemikalienverordnung	24
3.7	Chemikalien Risikoreduktionsverordnung	24
3.8	Fachbewilligung und Beizugspflicht	25
3.9	Kennzeichnung	26
3.10	Einfuhr und Verwendung von Chemikalien	27
3.11	Zuständige Behörden	27
<b>4</b>	<b>Schutz der Gesundheit</b>	<b>28</b>
4.1	Erste Hilfe	28
4.2	Notfallplanung	28
4.3	Alleine arbeiten	28
4.4	Jugendliche	28
4.5	Neu am Arbeitsplatz	29
4.6	Nicht ortsfeste Arbeitsplätze	29
4.7	Arbeitsmittel, Maschinen und Werkzeuge	29
4.8	Arbeiten mit Kältemittel und Chemikalien	30
<b>5</b>	<b>Kältemittel</b>	<b>31</b>
5.1	Herstellung synthetischer Kältemittel	32
5.2	Bezeichnung der Kältemittel	33
5.3	Kältemittelmischungen	35
5.4	Anorganische Kältemittel	36
5.5	Tabelle wichtiger Kältemittel	37
<b>6</b>	<b>Kälteöl</b>	<b>38</b>
6.1	Wahl des Kälteöls	38
<b>7</b>	<b>Recycling und Entsorgung</b>	<b>40</b>
7.1	Entsorgung durch Vernichtung	40
7.2	Primärrecycling	40
7.2	Sekundärrecycling	40
<b>8</b>	<b>Kältetechnik</b>	<b>41</b>
8.1	Kältetechnische Grundlagen	42
8.2	Kälteanlage und Wärmepumpe	43
8.3	Die Hauptkomponenten	44
8.4	Die Klimaanlage in Fahrzeugen	46
<b>9</b>	<b>Anlagebau</b>	<b>47</b>
9.1	Leitungsmontage und Leitungsführung	48
9.2	Vermeidung von Leckagen	49
9.3	Die Ölrückführung	50
<b>10</b>	<b>Service und Unterhalt</b>	<b>51</b>
10.1	Kontrollpunkte am System	52
10.2	Fehlersuche und Diagnose	53
<b>11</b>	<b>Fachbegriffe</b>	<b>54</b>

Die Ökologie, hervorgegangen aus der Biologie (Lehre vom Leben), befasst sich mit dem Haushalt der Natur. Sie versucht, die Natur als Ganzes zu erfassen und beschreibt die Wechselbeziehungen (Symbiosen) zwischen den Lebewesen und ihrer unbelebten Umgebung. Der Begriff Ökosystem setzt sich im weitesten Sinne aus den beiden Wörtern «Haus» und «verbunden» zusammen, bedeutet somit soviel wie «verbundenes Haus».

Aber warum soll sich die Technik im Allgemeinen und die Kältetechnik sogar im Speziellen mit Themen der Ökologie beschäftigen? Vereinfacht lässt sich sagen, dass primär der Betriebsstoff «Kältemittel» und seine Auswirkungen nach einer Emission\* eine bessere Kenntnis von Fachpersonen sowohl über die Ökologie als auch über als Kältemittel eingesetzte Stoffe erzwingt.

Synthetische Kältemittel besitzen oft ein erheblich gesteigertes Treibhauspotential.

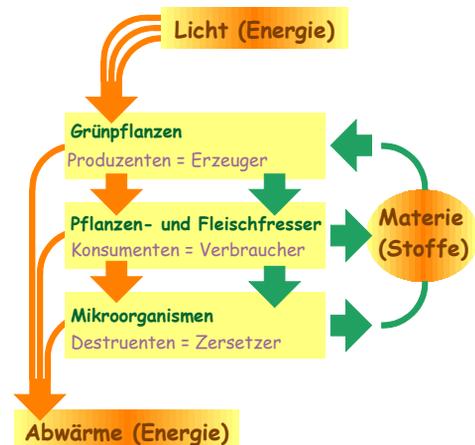
Chlorhaltige Kältemittel in alten Anlagen schädigen bei einer Emission die Ozonschicht.

Ein Ökosystem kann gross oder klein sein. So kann ein Wassertümpel oder ein Ozean, ein Gemüsegarten oder eine ausgedehnte Ackerlandschaft in Russland oder Amerika als Ökosystem betrachtet werden. Keines dieser Systeme ist eindeutig begrenzt, da sie sich mit den benachbarten Ökosystemen überschneiden. Nicht nur natürliche Gebiete, wie Teiche, Seen, Flüsse, Moore, Wälder, Naturwiesen usw. sind Ökosysteme, sondern auch künstliche Systeme wie z.B. Getreideäcker und Siedlungsgebiete. Somit lässt sich der gesamte Planet Erde als Ökosystem auffassen.

## Ökosystem:

unbelebte Umgebung (Lebensraum) plus Gemeinschaft der Lebewesen

Bei näherer Betrachtung zeigen sich viele gegenseitige Einflüsse und Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Tieren. Auch die Umgebung, z.B. der Boden, das Wasser und die Luft, steht in Beziehung zu den Lebewesen. Die Biologen bezeichnen deshalb das Ganze als Ökosystem und unterscheiden grundsätzlich zwischen unbelebter Umgebung, dem **Lebensraum** und der **Gemeinschaft der Lebewesen**. Ein Ökosystem wird demnach als die Summe der Lebewesen innerhalb deren Lebensräume verstanden. Wichtigste Voraussetzung für das **Leben** und den hierfür benötigten **Stoffwechsel** ist **Energie**, welche in Form von Licht von der Sonne emittiert wird.



**Pflanzen** beispielsweise nutzen in der **Fotosynthese** die Energie des Lichtes zum Aufbau eigener Körpersubstanz. Diese wird mit Hilfe des  $\text{CO}_2$  - Gehaltes der Atmosphäre gebildet: der Kohlenstoff wird absorbiert, während der Sauerstoff an die Atmosphäre zurückgegeben wird. Zudem benötigen Pflanzen Dünger als Nährstoffe, die im Wasser unter anderem als Nitrat\* gelöst sind.

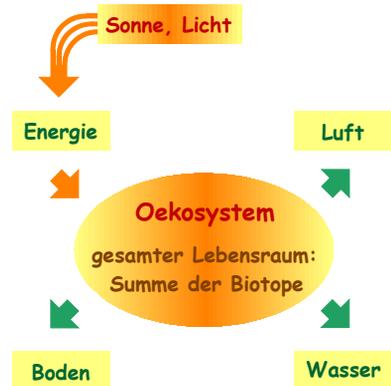
**Menschen** und **Tiere** wiederum benötigen den Sauerstoff aus der Atmosphäre, um den Verbrennungsprozess des Stoffwechsels aufrecht zu erhalten. Mit dieser Energie arbeiten Muskeln, Gehirn und Zellen. Das als Abfallprodukt entstehende  $\text{CO}_2$  wird an die Atmosphäre abgegeben, womit sich der Kreislauf zwischen Pflanzen einerseits sowie Menschen und Tieren andererseits schliesst.

Ein sich im energetischen Gleichgewicht befindlicher Körper ist tot.

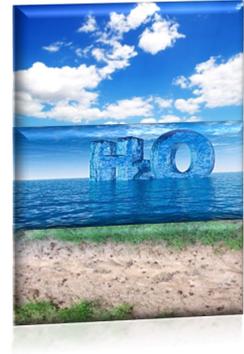
Meist sieht man in einem Ökosystem nur die einzelnen Teile. Die gegenseitigen Einflüsse und Kreisläufe müssen untersucht, können aber oft nur indirekt sichtbar gemacht werden. Dass der Klimawandel die Lebensgemeinschaften in den Lebensräumen beeinflussen wird, steht außer Frage. Zwar haben Veränderungen in den Ökosystemen meist mehrere Ursachen, doch spielen der steigende Kohlendioxidgehalt und andere Treibhausgase in der Atmosphäre und die dadurch verstärkte globale Erwärmung eine entscheidende Rolle. Offen ist, wie stark Lebensgemeinschaften dadurch in ihrer Entwicklung gestört werden können.

Ökosysteme sind in ihrem Aufbau in der Regel sehr vielfältig. Dies gilt erst recht für den gesamten, von Lebewesen bewohnten Teil der Erde. Es ist deshalb sinnvoll, die Teile eines Ökosystems einzeln zu betrachten, da das Ganze nicht auf einmal vollständig erfasst werden kann:

Die unbelebte Umgebung umfasst einerseits die grundlegenden **Lebensräume** wie die **Luft**, das **Wasser** und den **Boden**. Andererseits wird dieses System durch den Energielieferanten, die Sonne, ergänzt. Das gesamte Leben spielt sich innerhalb dieser Lebensräume ab, wobei auch Stoffe zwischen diesen ausgetauscht werden.

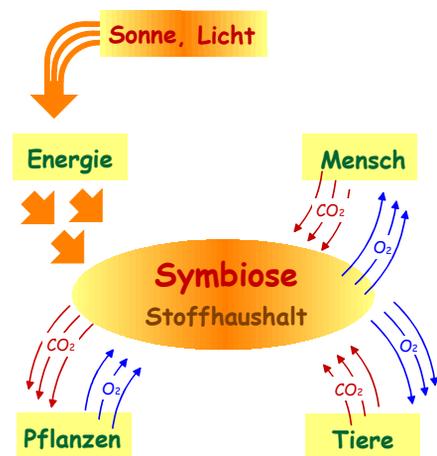


Je nach Organismus und Spezialisierungsgrad beschränkt sich der Aufenthaltsort eines Individuums auf einen dieser Lebensräume. So ist der menschliche Organismus darauf ausgelegt, den Sauerstoff aus der Luft mittels unserer Lungen aufzunehmen, während die Fische die gleiche Aufgabe ihren Kiemen überlassen. Dies ist einer der Gründe, warum unser Lebensraum die Luft, derjenige der Fische das Wasser ist. Pflanzen wiederum nehmen das **Kohlendioxid**\*  $\text{CO}_2$  aus der Luft auf, lagern den **Kohlenstoff**\* C und seine Verbindungen als **Biomasse** ab und emittieren den **Sauerstoff**. Dieses «Abgas» der Pflanzen ist elementar für Mensch und Tier. Dessen Abgase wiederum, das Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , benötigt die Pflanze für die Photosynthese. Damit hat sich der Kreislauf geschlossen.



Dieses Prinzip, welches ein Abfallprodukt des einen Prozesses zum Rohstoff des nächsten macht, nennt man **Symbiose**\*. Im Zuge der Industrialisierung und der damit einhergehenden Umweltverschmutzung wird vermehrt versucht, dieses Prinzip zu kopieren. Man spricht dabei vom industrialisierten Ökosystem.

Da der Kohlenstoff beim Stoffkreislauf der Organismen eine wichtige Rolle spielt und er auch als «Informationsträger» der Gene zum Einsatz kommt, wird die gesamte Kohlenstoffchemie als **organische Chemie**\* bezeichnet. Somit entstammen auch alle Kältemittel, welche Kohlenstoff enthalten, der organischen Chemie, egal, ob diese natürlichen Ursprungs sind oder synthetisch hergestellt wurden.



Eine Ausnahme von dieser Regel bildet das Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ . Als Kältemittel mit der Bezeichnung **R744** versehen ist dieses Molekül das Produkt einer sauberen Verbrennung. Und Verbrennungsprodukte gelten nicht mehr als organisch.

Da sich die Kältemittel nach einer Emission\* in der Atmosphäre aufhalten, muss dieser Lebensraum etwas näher betrachtet werden. Sowohl **Treibhauseffekt** wie auch **Ozonschicht** wirken in der Atmosphäre. Während der Treibhauseffekt vorwiegend in den unteren Bereichen (Troposphäre) aktiv ist, befindet sich die Ozonschicht ca. 30km über dem Erdboden in der Stratosphäre.

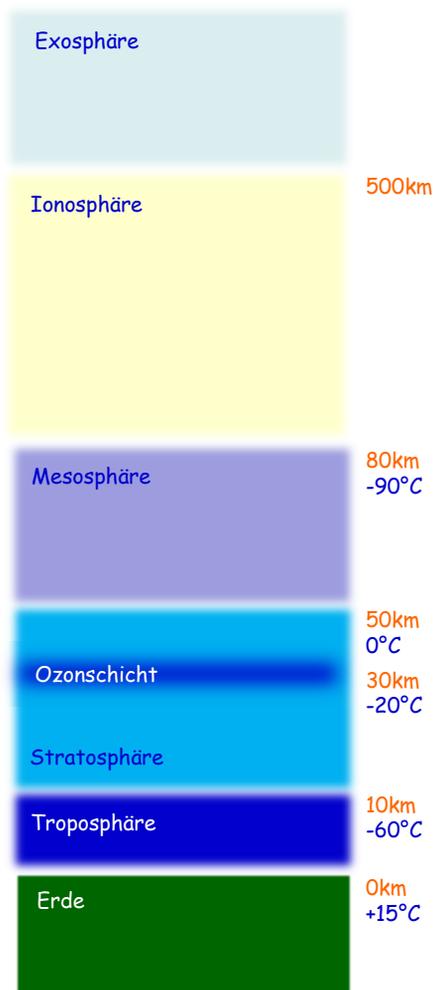
Das Ökosystem mit seinen Lebensformen besteht aus den 3 Lebensräumen **Wasser**, **Erde** und **Luft**. Der Luft gilt hier besondere Aufmerksamkeit, da sich fast alle Kältemittel nach der Emission an dieser befinden. Die gesamte Luftsäule wird als Atmosphäre bezeichnet, welche sich bis in eine Höhe von 500km erstreckt. Daher hat man diese in 5 abgeschlossene Schichten und, da die Atmosphäre nicht übergangslos ins Weltall mündet, eine nach oben offene Schicht unterteilt. Man spricht auch von den **Stockwerken der Atmosphäre**.

Das unterste Stockwerk reicht an den Polen bis ca. 8km und am Äquator bis in ca. 16km Höhe. Typisch für das als **Troposphäre** bezeichnete «Erdgeschoss» sind die nach oben hin laufend sinkenden Temperaturen. In der nächsten Schicht, der **Stratosphäre**, wird die Luft jedoch wieder wärmer. Hier befindet sich die Ozonschicht, welche als Schutzmantel die Lebensvernichtende UV-Strahlung des Sonnenlichts durch einen chemischen Prozess in Wärme umwandelt. Somit steigt in der Stratosphäre die Temperatur. Erst in der **Mesosphäre**, die sich von 50 bis 80km über der Erdoberfläche ausdehnt, wird es wieder kälter, weil ihr der wärmende Ozonfilter fehlt. In der anschliessenden **Ionosphäre** steigt die Temperatur stark an. Dies infolge der Aufnahme von Strahlungsenergie durch die Atmosphärenpartikel. Trotzdem ist die Wärme kaum spürbar, weil die Luftdichte bereits millionenfach geringer als in Bodennähe ist und somit zwischen den Teilchen kaum ein Energieaustausch (Zusammenstösse) stattfindet. Die Temperatur von 300 bis 500 °C äussert sich lediglich in der raschen Bewegung der Gasteilchen.

Die **Exosphäre** ist nach oben nicht begrenzt und schliesst die Atmosphäre zur Luftleere des Weltalls ab.

Bis in eine Höhe von etwa 120km liegen die atmosphärischen Gase in einem konstanten Mischungsverhältnis zueinander vor. In grösseren Höhen kommt es zu einer Entmischung der Gase. So konzentrieren sich die schwereren Gase wie z.B. Stickstoff und Sauerstoff in geringerer Höhe, während leichtere Gase wie z.B. Helium und Wasserstoff in größere Höhen aufsteigen. Folglich verschiebt sich das Mischungsverhältnis mit zunehmender Höhe allmählich zu Gunsten der leichteren Gase. Die Schicht bis 120km wird wegen ihrer homogenen Zusammensetzung als Homosphäre und wegen der dort dominierenden Turbulenz auch als Turbosphäre bezeichnet, während die Schicht oberhalb von 120km Heterosphäre bzw. Diffusosphäre genannt wird.

Zwei Drittel der Atmosphärenmasse finden sich in der untersten Luftschicht. Wegen der zu geringen Luftdichte kann der Mensch nur in der Troposphäre leben. Hier spielen sich auch alle Wettererscheinungen ab. Ausgerechnet diese empfindliche Hülle muss jedoch Millionen Tonnen an Schadstoffen schlucken.



Ohne die Atmosphäre, welche unseren Planeten umhüllt, gäbe es auf der Erde kein Leben. Dieses Gasgemisch steuert den Wärmehaushalt und verhindert extreme Temperaturschwankungen. Sowohl die in diesem Lehrmittel wichtigen Kapitel «**Treibhauseffekt**» und «**Abbau der Ozonschicht**» beschreiben Abläufe innerhalb der Atmosphäre. Daher soll diese hier etwas genauer betrachtet werden.

Die Atmosphäre besteht aus Luft, welche wiederum ein Gasgemisch darstellt. Die Luft gilt von allen Lebensräumen als unser grösstes Transportunternehmen: flüchtige Stoffe, welche in diese entsorgt werden, verteilen sich global. Durch die dabei auftretende starke Verdünnung der Emissionsgase reduziert sich die Konzentration auf ein nicht kritisches Minimum. Allerdings lässt sich die Lufthülle nicht erweitern, sollte sich ihre «Verdünnungskapazität» als zu schwach erweisen. Gerade in Bezug auf Schadstoffe und an der Luft stabilen Gase gilt daher die Devise, Emissionen auf ein nicht vermeidbares Minimum zu beschränken.



Lufthülle der Erde: die Atmosphäre  
(nicht massstäblich)

Dies gilt auch für Stoffe ohne direkt toxische Wirkung, da jedes Gas während seiner Verweilzeit in der Atmosphäre einen mehr oder weniger grossen Treibhauseffekt verursacht. Zudem können nicht alle Auswirkungen von Emissionen im Labor geklärt werden, da sich ein künstliches Umfeld anders verhält als die Natur.

Emissionen von an der Luft stabilen Stoffen sind auf ein nicht vermeidbares Minimum zu beschränken.

Die Atmosphäre setzt sich hauptsächlich aus den folgenden drei Gasen zusammen:

- 78,08% **Stickstoff**
- 20,95% **Sauerstoff**
- 0,93% **Argon**

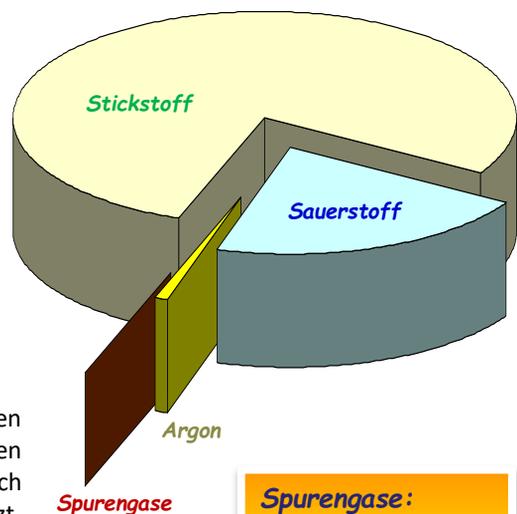
Es gibt eine Vielzahl weiterer Gase, welche sich ebenfalls an der Atmosphäre aufhalten. Da aber die Gesamtsumme dieser Gase nur einen kleinen Teil ausmacht, werden sie zusammengefasst bezeichnet:

- 0,04% **Spurengase**

**Kohlendioxid**, welches bei allen industrialisierten Prozessen (direkt oder indirekt) auftritt, macht den grössten Anteil aus. **Lachgas** wird hauptsächlich durch die Landwirtschaft beim Düngen freigesetzt.

**Ozon** in der Troposphäre wird im Kapitel 1.4 gesondert behandelt. Die brennbaren Kohlenwasserstoffe (KW: Methan, Ethan, Propan, Butan, Isobutan, Pentan, etc.) entstehen vor allem bei der Veredelung von Nahrungsmitteln auf dem Weg von der Pflanze zum Fleisch. So tragen grosse Rinderherden einen nicht unerheblichen Anteil zum globalen Treibhauseffekt bei. Auch die durch Emissionen\* an die Luft gelangten **Kältemittel** gehören in die Gruppe der Spurengase.

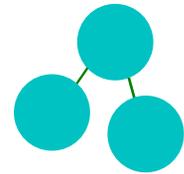
Durch automatisierte Prozesse nimmt der Anteil solcher Spurengase schon seit Beginn der Industrialisierung stark zu. Um die negativen Einflüsse dieser Emissionen zu begrenzen, müssen in Zukunft grosse Anstrengungen unternommen werden, um weitergehende Auswirkungen zu vermeiden.



#### Spurengase:

- Kohlendioxid
- Lachgas
- Ozon
- Methan
- ...
- Kältemittel

Bodennahes Ozon wird nicht wie andere Luftschadstoffe direkt emittiert, sondern bildet sich in der Luft aus sogenannten Vorläuferstoffen, den Stickoxiden und organischen Gasen und Dämpfen unter Einwirkung des Sonnenlichts. Hohe Temperaturen wirken reaktionsbeschleunigend. **Ozon wird aus drei Sauerstoffatomen aufgebaut.** Sauerstoff ist zu ca. 21% am Aufbau unserer Atmosphäre beteiligt. Sauerstoff kommt elementar in der Natur nur selten vor. In aller Regel tritt er als Sauerstoffmolekül  $O_2$  auf. In dieser Form ist er auch für uns überlebenswichtig. Unter gewissen Bedingungen kann auch das Molekül  $O_3$  (Ozon) aufgebaut werden.

Ozonmolekül:  $O_3$ 

Da in der Troposphäre das Sonnenlicht nicht mehr die erforderliche Energie hat, um Ozon direkt aus Sauerstoff zu bilden, müssen Luftverunreinigungen bei ihrem photochemischen Abbau Hilfestellung geben. Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen aus dem Verkehr, der Industrie und den privaten Haushalten spielen als sogenannte Ozonvorläuferstoffe eine besondere Rolle.

#### Bildung von Ozon in der Troposphäre:

- hohe Lufttemperatur
- starke Sonneneinstrahlung
- lange Sonnenscheindauer
- niedrige Luftfeuchte
- geringe Windgeschwindigkeit

Im Sommer primär in Grossstädten auftretender **Smog\*** besteht zum grössten Teil aus Ozon. Die erhöhten Ozonkonzentrationen in der Troposphäre, dem «Erdgeschoss» der Atmosphäre, können den Abbau des Schutzgürtels (Ozonschicht) in der Stratosphäre nicht kompensieren. Was uns in 30km Höhe vor lebensbedrohenden Sonnenstrahlen bewahrt, wirkt am Boden als aggressives Zellgift.

Ozon ist heute der Luftschadstoff mit den schädlichsten Folgen für die Vegetation. Es wirkt als Zellgift und vermindert die Leistung der Fotosynthese, somit das Wachstum der Pflanzen.

Ozon in der Troposphäre wirkt als Zellgift und fördert zudem den Treibhauseffekt.

#### Auswirkungen auf die Vegetation:

Bei den heutigen Ozonbelastungen treten nachweislich Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen auf. Die Ertragsausfälle liegen je nach Kultur, Region und Jahr zwischen 5 und 15 %. Auch die Forstwirtschaft ist betroffen. Ozon gilt in Kombination mit anderen Schadstoffen als Stressfaktor für Waldbäume und somit als Mitverursacher von Waldschäden. Ozon schwächt die Bäume und verlangsamt das Holzwachstum, was sich negativ auf die Stabilität der Schutzwälder auswirken kann.



Auswirkung von Ozon auf Bäume

Die sommerliche hohe Ozonbelastung führt periodisch zu sichtbaren Schäden hauptsächlich an den Blättern von Laubbäumen, Sträuchern und Kulturpflanzen.

#### Auswirkungen auf Mensch & Tier:

Ebenfalls angegriffen wird der Organismus von Mensch und Tier. Ozon attackiert die Schleimhäute und kann Kopfschmerzen, Atemnot, Augenbrennen, Husten, Asthma oder Brustschmerzen auslösen. Zudem schmälert das giftige Gas die Leistungsfähigkeit und Abwehrkraft gegen Infektionen. Spitaleinweisungen und Sterblichkeit nehmen bei erhöhter Ozonkonzentration zu.

Ein verstärktes Auftreten von Ozon in der Atmosphäre verstösst nicht gegen deren prozentualen Aufbau, da das Ozon aus einem sich bereits an der Atmosphäre vorhandenen Gas gebildet wird. Somit ändert sich am eigentlichen Sauerstoffgehalt nichts.

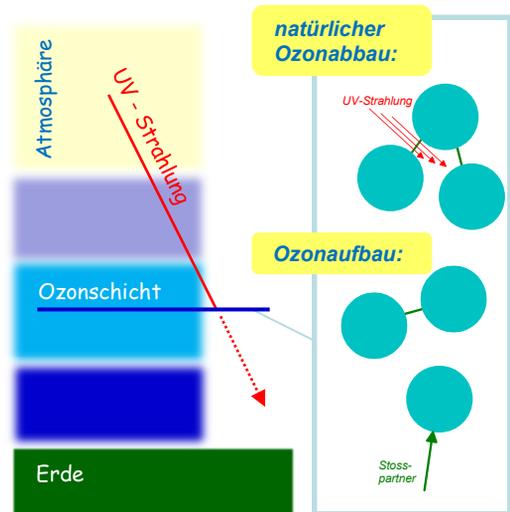
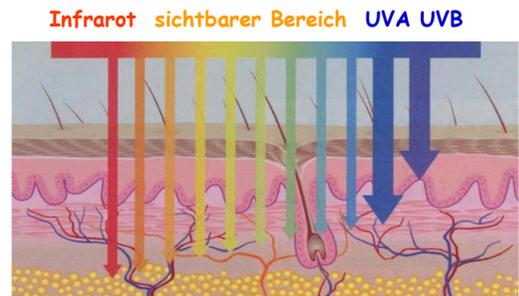
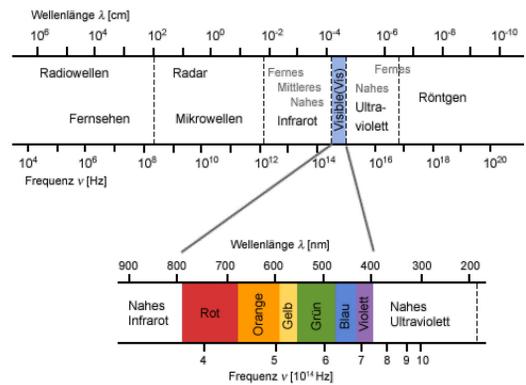
Das **Strahlungsspektrum** der Sonne umfasst nicht nur den für das menschliche Auge sichtbaren Bereich. Oberhalb des sichtbaren Lichtes liegt der **ultraviolette** (kurzwellige), unterhalb der **infraroten** (langwellige) Bereich.

Während die Infrarot-Wärmestrahlung für unsere Haut harmlos ist, kann diese durch UV-Strahlung geschädigt werden. UVB-Strahlung bildet im Körper Vitamin D, ist aber auch für den Sonnenbrand verantwortlich. Vor dem Sonnenbad ist die Haut daher zu schützen. Jeder Sonnenbrand erhöht das Hautkrebsrisiko.

Noch tiefer dringen die UVA-Strahlen in das Gewebe ein. Auch diese bräunen die Haut, zerstören aber das **Bindegewebe\*** und verursachen Falten. Auch ist erwiesen, dass diese Strahlen Hautkrebs auslösen.

Bei einer gesunden Atmosphäre wird der grösste Teil der UV-Strahlung durch die in ca. 30km Höhe, und damit mitten in der Stratosphäre liegende **Ozonschicht** absorbiert. Die Energie der Strahlung wird dabei das aus drei Sauerstoffatomen ( $O_3$ ) bestehende Ozonmolekül in ein Sauerstoffmolekül ( $O_2$ ) und ein radikales Sauerstoffatom O aufspalten. Der so genannte «Stosspartner» wiederum begünstigt den Ozonaufbau, da sich durch dessen Hilfe die radikalen Sauerstoffatome mit Sauerstoffmolekülen zu Ozon aufbauen. Durch diesen Kreisprozess bleibt die Ozonkonzentration in der Stratosphäre etwa konstant. Zumindest solange, wie keine weiteren Ozon abbauenden Stoffe den Schutzschild belasten.

Die für den Kreisprozess benötigte Energie liefert die UV-Strahlung, welche durch diesen Arbeitsprozess in Wärme umgewandelt wird. Daher zeigt die Temperaturmessung eine steigende Temperatur im Bereich der Ozonschicht.



### Ozonhaushalt in der Stratosphäre:

- Die Ozonschicht in der Stratosphäre hält die UV-Strahlung durch einen chemischen Prozess von der Erdoberfläche fern.
- Durch diesen Prozess wird Ozon abgebaut.
- Mittels Stosspartner wird freier Sauerstoff ( $O$ ) vom Ozonabbau mit vorhandenen Sauerstoffmolekülen ( $O_2$ ) zu Ozon ( $O_3$ ) aufgebaut.
- Der Ozonauf- und -abbau ist im Gleichgewicht, die Energie der UV-Strahlung wird in Wärme umgewandelt.

Grundsätzlich muss ein Kältemittel **Chlor** enthalten und eine genügende Stabilität an der Atmosphäre aufweisen, um die Ozonschicht schädigen zu können. Es dauert ca. 15 bis 30 Jahre, bevor die Kältemittelmoleküle nach einer Emission\* die Ozonschicht in der Stratosphäre erreichen können und damit in das Einflussgebiet der harten UV-Strahlung gelangen. Dadurch lassen sich sogar so stabile Verbindungen wie die FCKW's zersetzen. Auch die weniger stabilen H-FCKW's enthalten Chlor, werden aber nach einer Emission zu ca. 90 – 95% schon in der Troposphäre zersetzt. Somit kann das Chlor seine ozonauddünnende Wirkung nur zu einem geringen Teil ausüben. Dies ist auch der Grund, warum H-FCKW-Kältemittel 10 Jahre länger als die FCKW's geduldet wurden.

Wird in der Ozonschicht durch die **UV-Strahlung** vom Kältemittelmolekül ein Chloratom abgespalten, wird dieses reaktionsfreudige Element dem nächstgelegenen Ozonmolekül ein Sauerstoffatom entreissen und sich mit diesem zu einem **Chlormonoxyd** verbinden.

Chlormonoxyd ist keine stabile Verbindung. Gelangt ein freies Sauerstoffatom in dessen Nähe, werden sich die beiden Sauerstoffatome zu einem Sauerstoffmolekül  $O_2$  verbinden. Somit ist das Chlor wieder frei und kann das nächste Ozonmolekül abbauen. Der Prozess beginnt von neuem.

Das in FCKW und H-FCKW Kältemitteln enthaltene Chlor kann als **Katalysator**\* den Ozonabbau soweit fördern, dass das Gleichgewicht aus dem Gefüge gerät. Ein einzelnes Chloratom kann zwischen **10'000** bis **100'000** Ozonmoleküle abbauen. Es entsteht die bedrohliche **Ozonschichtdünnung**, welche vereinfachend unter dem Begriff **Ozonloch** weltweit bekannt wurde.

#### Ozonabbau durch FCKW und H-FCKW:

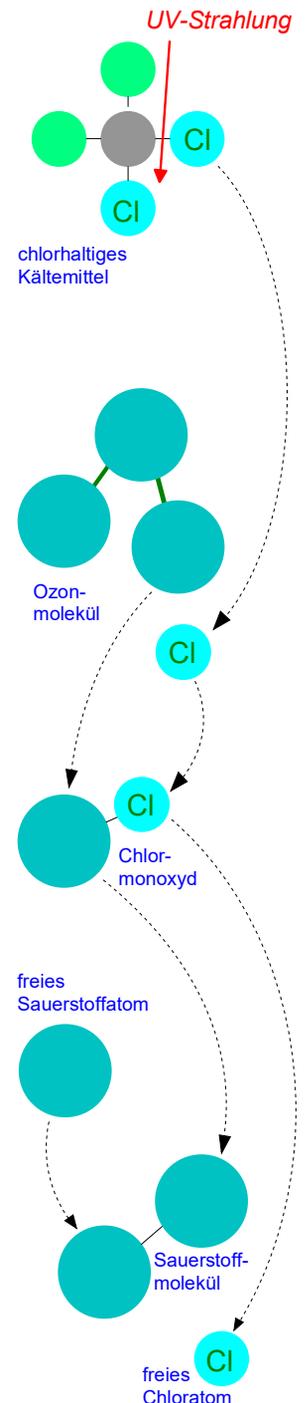
- Das stabile Kältemittelmolekül kann durch die normale Sonneneinstrahlung nicht abgebaut werden, das Chlor bleibt gebunden.
- Das Kältemittelmolekül erreicht nach 15 bis 30 Jahren die Ozonschicht. Hier wird durch die UV-Strahlung das Molekül zersetzt.
- Das freiwerdende Chlor wirkt als Katalysator des Ozonabbaus.
- Durch diese Kettenreaktion entsteht eine starke Ozonschichtdünnung, genannt «Ozonloch».

Da die H-FCKW-Kältemittel weniger stabil sind als die FCKW's, bauen diese die Ozonschicht rund 10 bis 20 mal weniger ab: sie zerfallen meistens schon vor Erreichen der Ozonschicht.

Als Konsequenz werden heute nur noch Kältemittel zugelassen, welche kein Chlor enthalten und somit die Ozonschicht nicht schädigen können.

Das Ozonabbaupotenzial eines modernen Kältemittels muss «0» sein.

#### Ozonabbau durch Chlor:

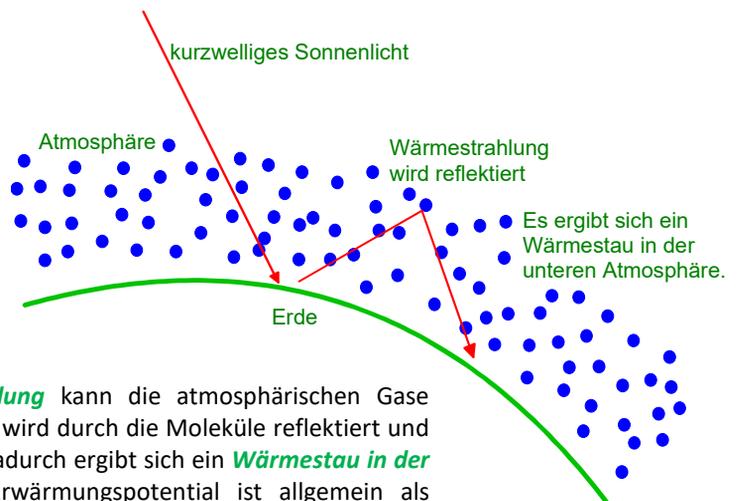


Korrekterweise müsste hier vom **globalen Erwärmungspotential** gesprochen werden. Da die Atmosphäre aber bezüglich Durchlässigkeit gegenüber Strahlung ähnliche Eigenschaften wie eine Glasscheibe aufweist, wird landläufig vom **Treibhauseffekt** gesprochen. Jedes sich an der Atmosphäre aufhaltende Gas trägt zum Erwärmungspotential bei, allerdings mit stark unterschiedlicher Intensität. So ist die Wirkung von Sauerstoff oder Stickstoff rund 8'000 mal kleiner als diese von Kohlendioxid, wogegen bekannte Kältemittel, je nach Gruppe, um den Faktor 1'000 bis 3'000 grössere Auswirkungen zeigen.

Das **Treibhauspotential** der natürlichen Gase ist dafür verantwortlich, dass die Erdmitteltemperatur ca. +15°C beträgt. Ohne Treibhauseffekt käme diese Temperatur auf ca. -18°C zu liegen. Der Treibhauseffekt war und ist somit wichtig für die Entwicklung des Ökosystems, wobei sich über die Jahrtausende immer wieder umweltbedingte Änderungen der Mitteltemperatur ergeben haben. Diese Änderungen dürfen aber nur sehr langsam ablaufen, soll das Ökosystem damit schritthalten um ausreichend reagieren zu können. Der von Menschenhand geschaffene, zusätzliche Treibhauseffekt durch Industrieabgase lässt dem Ökosystem aber keine Reaktionszeit. Im letzten Jahrhundert nahm der Treibhausgasausstoss innerhalb einer einzigen Generation Dimensionen an, welche dem Ökosystem zu wenig Spielraum lassen, um sich auf natürliche Weise anzupassen.

### Funktion:

Kurzweiliges Sonnenlicht kann die atmosphärischen Gase problemlos durchdringen. Die Strahlen werden vom Boden aufgenommen und von diesem in **Wärme** umgewandelt. Der erwärmte Boden beginnt nun, langwellige Wärmestrahlung zu emittieren.



Diese **langwellige Wärmestrahlung** kann die atmosphärischen Gase schlechter durchdringen: ein Teil wird durch die Moleküle reflektiert und gelangt damit zurück zur Erde. Dadurch ergibt sich ein **Wärmestau in der unteren Atmosphäre**. Dieses Erwärmungspotential ist allgemein als Treibhauseffekt bekannt. Wie stark ein atmosphärisches Gas die Wärmestrahlung reflektiert und somit zum Treibhauseffekt beiträgt, hängt hauptsächlich von 3 Faktoren ab.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass jedes Gas während seiner atmosphärischen Verweilzeit einen Treibhauseffekt bewirken wird. Gerade bei weniger stabilen Verbindungen müssen auch mögliche Auswirkungen daraus entstehender **Zersetzungsprodukten** berücksichtigt werden.

Da jedes Gas in der Atmosphäre einen Treibhauseffekt hat, ist es weiterhin wichtig, dass Massnahmen getroffen werden, um unnötige Emissionen von Kältemitteln in die Atmosphäre zu vermeiden.

#### Einflussfaktoren auf das Treibhauspotential eines Gases:

1. die Grösse des Moleküls
2. seine «Spiegeleigenschaften»
3. die atmosphärische Verweilzeit

Das Treibhauspotential eines modernen Kältemittels soll so gering wie möglich sein.

Im Bereich der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik können durch die Betriebsstoffe Belastungen der Gewässer entstehen. Sowohl **Kältemittel** und **Kälteöl** als auch zur Wärmeübertragung eingesetzte **Sekundärmedien** können im Wasser lebende Organismen und Pflanzen schädigen, zerstören oder in ihrer Fortpflanzung beeinflussen. Speziell zu beachten sind Anlagen, die mit dem Boden oder mit einem Gewässer (Oberflächengewässer, Grundwasser) direkt in Kontakt stehen. Bezüglich Kältemittel besteht eine Gefahr für die Verschmutzung von Gewässern nur in einigen speziellen Fällen, da diese üblicherweise bei Normalluftdruck gasförmig sind:

Die Betriebsstoffe Kältemittel und Kälteöl dürfen keinesfalls ins Wasser gelangen.

### Ammoniak

Ammoniak lässt sich sehr gut in Wasser lösen, deutlich besser als beispielsweise Sauerstoff oder Kohlenstoffdioxid. Es wirkt auf Wasserorganismen und Fische stark toxisch. Die Löslichkeit ist abhängig von der Temperatur und dem Partialdruck des gasförmigen Ammoniaks. Aus **Ammoniakwasser** verdunstet Ammoniak wegen seines höheren Dampfdrucks wesentlich schneller als das Wasser selbst, weshalb die Ammoniak-Konzentration in offenen Gefäßen mit der Zeit abnimmt. Dabei tritt der typische, stechend-scharfe Ammoniakgeruch auf. Beim Entweichen von R717 aus einer Anlage lässt sich dieses somit mit Wasser gut lösen. Die Reaktionsfähigkeit an der Umwelt ist so gross, dass nach Leckagen keine länger als einige Stunden bis Tage dauernden Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

#### Ammoniak:

$\text{NH}_3$  / R 717

### Abkömmlinge von Kohlenwasserstoffen (KW-Derivate)

In den Boden austretende Sicherheitskältemittel können das Grundwasser gefährden, deren Abbauprodukte versauern das Grundwasser. Fluorierte Verbindungen werden durch Mikroorganismen in **toxische Umweltgifte** abgebaut. Je nach Umgebungsbedingungen können diese Stoffe biologisch kaum abbaubar sein. Auch ungiftige Stoffe können durch ihre persistente\* Anwesenheit stören.

#### KW-Derivate:

- HFO
- H-FKW
- H-FCKW
- FCKW

### Kohlenwasserstoffe (KW)

Kohlenwasserstoffe werden auch durch biologische Verwesungsprozesse gebildet und üben keinen grossen Einfluss auf die Umgebung aus. Zudem sind sie relativ gut und schnell abbaubar.

#### reine KW:

- Propan R290
- Isobutan R600a
- Propen R1270

### Sekundärmedien

Soll die Kältemittelfüllmenge reduziert werden oder kommen giftige und / oder brennbare Kältemittel zum Einsatz, kann zur Wärmeübertragung von und / oder zu der Kälteanlage ein Sekundärmedium eingesetzt werden. Die hauptsächlich eingesetzten Medien sind **Wasser**, **Salzwasser** (Sole) **Ethylenglykol**, **Propylenglykol** oder **Kohlendioxid**. Diese sind gut biologisch abbaubar, so dass nicht mit einer länger andauernden Beeinträchtigung gerechnet werden muss. Auch Kohlendioxid entweicht recht schnell aus dem Wasser an die Luft, aus der es gewonnen wurde. Am Ort der Einwirkung muss aber kurzzeitig mit einer Übersäuerung gerechnet werden. Kohlendioxid ist das einzige Sekundärmedium, bei welchem über eine Teilverdampfung auch die latente Wärme genutzt werden kann. Bei Systemen mit Verdampfungstemperaturen über 0°C ist das Wasser die beste Alternative: ungiftig, reaktionsarm, nicht brennbar und zudem mit dem höchsten c-Wert\* aller Sekundärmedien\* versehen. Je tiefer der Stockpunkt eines Sekundärmediums liegen soll, desto kleiner wird der c-Wert, der benötigte Massenstrom nimmt entsprechend zu.

#### Sekundärmedien:

- Wasser  
Stockpunkt 0°C
- Ethylenglykol  
Stockpunkt -12,9°C
- Propylenglykol  
Stockpunkt -59,6°C
- Kohlendioxid  
Stockpunkt -78°C

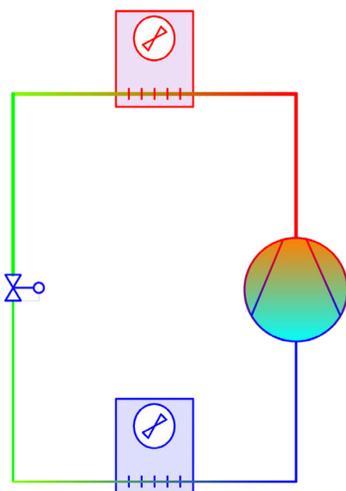
Zu Beginn der Kältetechnik wurde als Kältemittel eingesetzt, was immer funktionierte. Die nicht immer sicheren Kältemittel der 1. Generation führten zu Serien von Unfällen. Als 1928 das Ammoniak und andere teils giftige oder brennbare Stoffe als Kältemittel abgelöst werden sollte, wurde daher vorwiegend auf die Sicherheit geachtet: die neuen Stoffe durften weder giftig noch brennbar sein. So wurden mit den **FCKW's** Stoffe eingeführt, die Jahrzehnte später gerade wegen ihrer Stabilität eine der grössten ökologischen Diskussionen auslösen sollten. Daher musste 1992 die Liste der erwünschten Eigenschaften um folgende Einträge erweitert werden:



#### Erwünschte ökologische Eigenschaften:

- Nach einer Emission möglichst wenig umweltbelastend.
- Das Ozonabbaupotential muss «Null» betragen.
- Der Treibhauseffekt soll möglichst tief liegen.
- An der Umwelt möglichst schnell in unkritische Zersetzungsprodukte abbaubar.

Es darf aber nicht geschehen, dass mit dem Fokus auf ökologisches Verhalten andere Eigenschaften, wie zum Beispiel eine gute **Energetik**, vernachlässigt werden. Damit ein sicherer und störungsfreier Betrieb der Anlage gewährleistet werden kann, muss ein als Kältemittel geeigneter Stoff auch in kältetechnischer Hinsicht einige Anforderungen erfüllen:



#### Erwünschte kältetechnische Eigenschaften:

- Stabil im Kältesystem bei allen auftretenden Drücken und Temperaturen.
- Darf weder mit im System verwendeten Materialien noch mit dem Kälteöl reagieren.
- Möglichst ungiftig und unbrennbar.
- Möglichst grosse Verdampfungsenthalpie\*.
- Mischbar mit dem verwendeten Kälteöl.
- Verdampfungsdruck nicht im Vakuum.
- Verflüssigungsdruck nicht über 40bar.

Je mehr Eigenschaften ein Produkt auf sich vereinigen muss, desto eher müssen **Kompromisse** toleriert werden. Es ist offensichtlich, dass sich einige der Forderungen aus beiden Kategorien sogar widersprechen (Siehe Pfeil zwischen den beiden Eigenschaftsfenstern). Damit der Druck von politischer und öffentlicher Seite auf die Kältemittel nicht noch grösser wird, müssen daher auch von Seiten der Planung, des Anlagebaus und des Services alle möglichen Massnahmen zur Reduktion von Emissionen ergriffen werden.

**Treibhauseffekt** und **Ozonloch** sind beides Begriffe, welche heute in der Öffentlichkeit bekannt sind. Der auf Physik basierende Treibhauseffekt und der chemisch ablaufende Ozonhaushalt sowie deren Abbau durch **Katalysatoren\*** sind zwei verschiedene Erscheinungen, welche nichts miteinander zu tun haben. Die in der Kältetechnik eingesetzten Kältemittel können aber sowohl den Treibhauseffekt in der **Troposphäre** wie auch den Ozonabbau in der **Stratosphäre** fördern. Unmittelbar nach einer Emission bewirkt jedes Kältemittel einen Treibhauseffekt, sofern es sich in der Atmosphäre aufhält. Ozonabbauend wirken nur Kältemittel mit **Chlor**, sofern sie stabil genug sind, um die 15 - 30 Jahre dauernde Reise bis zur Ozonschicht zu bewältigen.

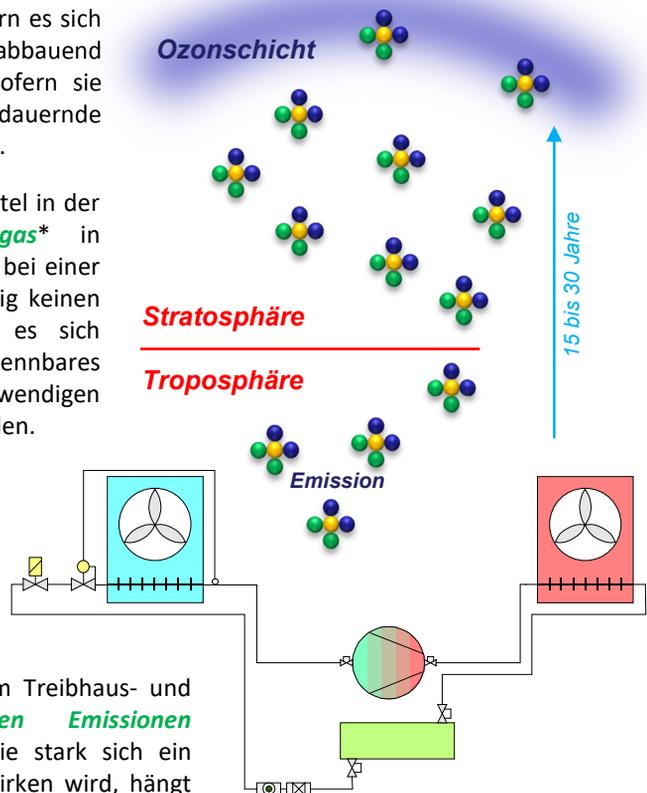
Nach einer Emission\* tritt das Kältemittel in der Atmosphäre zuerst als **Treibhausgas\*** in Erscheinung. Es gibt kein Gas, welches bei einer atmosphärischen Verweilzeit gleichzeitig keinen Treibhauseffekt verursacht. Handelt es sich zudem um ein giftiges und / oder brennbares Kältemittel, müssen auch die notwendigen Sicherheitsmassnahmen getroffen werden.

Wie stark ein chlorhaltiges Kältemittel später die Ozonschicht abbauen wird, hängt primär von dessen Chlorgehalt und Stabilität ab. Weniger stabile Verbindungen zersetzen sich schon vor dem Erreichen der Ozonschicht.

Auch bei Kältemitteln mit nur kleinem Treibhaus- und keinem Ozonabbaupotential **sollen Emissionen vermieden werden**. Denn ob und wie stark sich ein freigesetzter Stoff als Schadstoff auswirken wird, hängt nur zu einem Teil von dessen bekannten Eigenschaften ab. Schädliche Auswirkungen werden zudem oft erst Jahrzehnte später bemerkt.

Durch einwandfreie Montage und fachkundigen Service müssen potentielle Leckstellen erkannt und eliminiert werden. Kältemittelverlust darf **nicht als normal** betrachtet werden, wird mit dieser Einstellung doch jede Motivation zur Qualitätssteigerung schon im Keim erstickt. Auch wenn es (nur akademisch gesehen!) keine absolut dichte Anlage geben kann, ist es doch möglich, Anlagen zu konstruieren, bei welchen während des gesamten Anlagelebens kein Kältemittel nachgefüllt werden muss, was bereits mehrfach bewiesen wurde.

- Jedes Kältemittel, welches sich nach der Emission an der Atmosphäre aufhält, bewirkt einen Treibhauseffekt.
- Kältemittel mit Chlor bewirken einen Ozonabbau in der Stratosphäre.



#### Grundsätze für den Anlagebau:

- Das System soll möglichst hermetisch aufgebaut sein, ohne jedoch die Möglichkeiten zur Diagnose oder den Service zu schmälern.
- Die Kältemittelfüllmenge soll so klein wie möglich gehalten werden, ohne jedoch unter Vollastbedingungen leistungsschmälernd zu wirken.
- Anlagen mit regulierendem Expansionsventil müssen über einen Sammler verfügen.

**Ozone depletion potential**

Ozonverarmungspotential

Referenzstoff: R11

**ODP**

Die Ozonausdünnung wird primär durch Chlor verursacht. Chlor kann aber nur als Bestandteil einer stabilen Verbindung in die Ozonschicht gelangen. Diese wird dann durch die UV-Strahlung abgebaut, das Chlor wird frei. Das Ozonabbaupotential eines Stoffes wird auf der Basis des Methanderivates R11 gemessen (R11 = ODP 1). Dieses FCKW fand in der Industrie die grösste Verbreitung: Als Zellgas in Schaumstoffen, in der Reinigung als Fettlöser, als Treibgas\* in Spraydosen und nicht zuletzt als Kältemittel. Seine Stabilität verhindert einen schnellen Abbau an der Atmosphäre, wodurch der grösste Teil einer Emission die Stratosphäre erreichen kann. Der Chloranteil im Molekül führt dann zum Abbau der Ozonschicht.

**Global warming potential**

Globales Erwärmungspotential

Referenzstoff: CO<sub>2</sub>**GWP**

Jedes sich an der Luft (Atmosphäre) aufhaltende Gas verursacht einen Treibhauseffekt. Dieser ist mitverantwortlich dafür, dass sich auf der Erde überhaupt Leben entwickeln konnte. Ohne Treibhauseffekt betrüge die Mitteltemperatur auf der Erde ca. -18°C. Ein industriell verursachter, zusätzlicher Treibhauseffekt führt aber zu einer Temperaturerhöhung innerhalb eines sehr kurzen Zeitraumes. Dies lässt der Natur (und dem Menschen) praktisch keine Reaktionszeit. Üblicherweise wird der Treibhauseffekt auf der Basis von CO<sub>2</sub> gemessen (CO<sub>2</sub> = GWP 1). Das früher ebenfalls als Referenzstoff eingesetzte R11 soll nicht mehr verwendet werden. Neben anderen Faktoren ist primär die atmosphärische Verweilzeit eines Gases für dessen Treibhauseffekt verantwortlich.

**Total equivalent warming impact**

gleichwertiges Erwärmungspotential

Referenzstoff: CO<sub>2</sub>**TEWI**

Im Unterschied zum GWP berücksichtigt der TEWI nicht nur den direkten Treibhauseffekt, welcher beim Freisetzen eines Gases entsteht. Ebenfalls berücksichtigt wird beim TEWI der indirekte Treibhauseffekt, verursacht durch die sogenannten **Sekundäremissionen**:

- *Entwicklung*
- *Herstellung*
- *Montage*
- *direkte Emissionen durch Betriebsstoffe*
- *Energiebedarf zum Betrieb*
- *Abbau / Rückbau*
- *Entsorgung / Recycling*

Toxikologie ist die Wissenschaft, die sich mit der **schädlichen Wirkung** von Stoffen auf die Gesundheit beschäftigt. Der Begriff «Toxikologie» setzt sich zusammen aus den griechischen Worten «toxicon» (Gift) und «logos» (Lehre). Neue toxikologische Erkenntnisse haben oft eine grosse und sofortige öffentliche Resonanz. Zur Zeit ist die Furcht vor Schädigungen der Gesundheit und Umwelt durch Chemikalien ein viel diskutiertes Thema.

Gerade durch die Forderung, dass sich Kältemittel nach einer Emission an der Atmosphäre schnell abbauen sollen, ergibt sich ein gewisses Gefährdungspotential für Mensch, Tier und Pflanzen. Denn Stoffe mit dieser Eigenschaft interagieren mit anderen Stoffen (Körpern) oder unter Zuhilfenahme von Energie. Sie sind dann brennbar oder wirken toxisch. Denn Reaktionen mit unserem Körper sind in der Regel nicht erwünscht. Gleichzeitig steigt auch die Gefahr, dass sich solche Kältemittel schon innerhalb des Kältesystems zersetzen können. Die Zersetzungsprodukte wiederum schädigen Komponenten oder verbinden sich mit dem Kälteöl.

### Einwirkung

Die Menge, resp. **Konzentration** und die **Dauer** der Exposition\* gegenüber einem Stoff beeinflussen dessen Wirkung im Organismus am stärksten. Aber auch der Weg, auf welchem ein Stoff in den Körper und in den Blutkreislauf gelangt, beeinflusst die Wirkung. Drei Hauptexpositionen und damit **Aufnahmewege** von Stoffen sind von Bedeutung: Atmung (Inhalation), über die Haut und über den Mund (oral).

#### Aufnahme von Stoffen:

- Atmung (Inhalation)
- über den Mund (oral)
- über die Haut

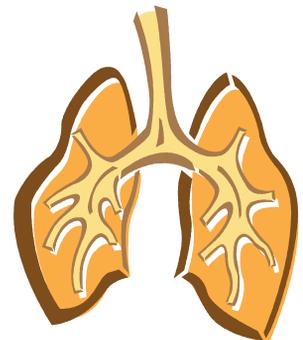
## 2.1

### Aufnahme über die Atmung

Durch die regelmässige Atmung ist jedermann gegenüber gasförmigen Stoffen exponiert. Bei ca. 12 Atemzügen pro Minute und einem Luftvolumen von ca. 500 ml ergibt sich ein Minutenvolumen von etwa 6 Litern. Bei einem normalen Arbeitstag von 8 Std. kann dies 2800 Liter eingeatmete Luft ergeben; bei körperlich schwerer Arbeit ist ein Volumen von 10m<sup>3</sup> Luft pro Arbeitstag möglich.

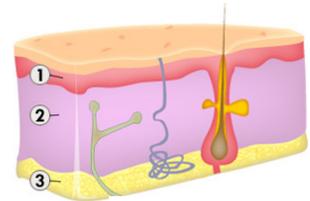
Inhalieren werden können **Gase** und **Dämpfe** wie z.B. organische Lösungsmittel, Aerosole\* von Schneide- oder Bohrölen in der Metallbearbeitung, Aerosole\* von Farbsprays und Stäube oder Rauch. Auch Kältemittel oder deren Zersetzungsprodukte gelangen über die Atmung in den Körper.

Abhängig von der **Partikelgrösse** wird ein Teil des eingeatmeten Stoffes bereits in den oberen Luftwegen deponiert. Durch die Bewegung der Flimmerhaare in den Bronchien werden die Partikel wieder nach oben befördert und durch Husten ausgeschieden oder durch Schlucken in den Verdauungstrakt aufgenommen. Deponierte Partikel können abhängig von ihrer Zusammensetzung aufgelöst und resorbiert\* werden. Sehr schwer lösliche Partikel können unter Umständen sehr lange im Lungengewebe liegen bleiben (Staublunge, Raucherlunge), was zu einer starken Schädigung des Lungengewebes führen kann.



Eine Besonderheit der Haut im Vergleich zu den meisten anderen Organen ist ihr **direkter Kontakt mit der Umwelt**. Sie stellt daher die wesentliche Barriere zwischen Organismus und der Umgebung dar. Die Aufnahme von Stoffen über die Haut hängt unter anderem von der **Molekülgrösse** des aufzunehmenden Stoffes ab. Vor allem kleinmolekulare Stoffe können die Haut durchdringen. Grosse Moleküle wie z.B. Peptide\* und Proteine\* können die gesunde Haut kaum penetrieren\*. Auch die Löslichkeit eines Stoffes spielt eine Rolle. Wasserlösliche Stoffe penetrieren\* weniger durch die Haut als fettlösliche Stoffe.

Stoffe, welche auf die Haut gelangen, werden in den äussersten Schichten der **Epidermis** (Oberhaut) festgehalten. Zum Teil werden sie mit der natürlichen Schuppenbildung wieder abgestossen und üben keine schädigende Wirkung auf den Organismus aus. Sie können aber auch langsam an die unter der Epidermis liegende, durchblutete Dermis (Lederhaut) abgegeben werden. Eine Verteilung im ganzen Körper nach Exposition\* auf die Haut findet also erst statt, wenn der Stoff die gesamte Epidermis\* passiert hat und von den Blutgefässen in der Dermis aufgenommen worden ist. Ist die Barriere der Haut durch Säuren oder Laugen geschädigt (Verätzung) oder ist die Haut verletzt (Schnitte, Verbrennungen), so können sowohl grössere Moleküle aufgenommen werden, als auch der resorbierte\* Anteil eines niedermolekularen Stoffs stark erhöht sein. Auch die Gefahr der Aufnahme von Bakterien und Abgabe direkt in die Blutbahnen steigt bei Verletzungen erheblich.



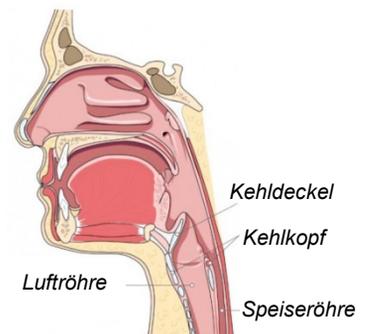
- 1 Oberhaut
- 2 Lederhaut
- 3 Unterhaut

Für den Laien scheint sich die Aufnahme von Stoffen über den Mund oder via Atmung zuerst einmal nicht gross zu unterscheiden, führen doch beide Wege über den Mund. Erst über dem Kehlkopf wird via dem Kehldeckel entschieden, ob der Stoff zum Magen oder in die Lunge geführt wird.

Stoffe können über **Nahrungsmittel** oder versehentlich, über **verschmutzte Hände**, Ansaugen von Flüssigkeiten mit Pipetten, etc. aufgenommen werden. Die orale Aufnahme ist in der Regel für die gewerbliche Exposition\* von kleiner Bedeutung.

Eine erste Resorption\* von Stoffen (z.B. Alkohol) kann bereits durch die Mundschleimhäute und im Magen erfolgen. Der wichtigste Resorptionsbereich befindet sich jedoch im Dünndarm, wo die Darmoberfläche durch die vielen Ausstülpungen (Mikrovilli) stark vergrössert ist.

Eine Besonderheit der oralen Aufnahme von Stoffen ist, dass sie nach der Darmpassage nicht direkt über das Blut im Organismus verteilt, sondern zuerst in die Leber transportiert werden. Die **Leber** ist das wichtigste metabolisierende\* Organ und kann Stoffe vor der Verteilung im Organismus durch das Blut umwandeln. Die Umwandlungsprodukte können eine weniger toxische\* oder eine stärker toxische Eigenschaft als der Ursprungsstoff besitzen. Dies bedeutet, dass ein Stoff im Organismus je nach Aufnahmeweg **verschiedene Umwandlungsprodukte** bilden und damit verschiedene Wirkungen zeigen kann.



Je nachdem über welchen Weg ein toxischer Stoff in den Körper gelangt, können die Auswirkungen stark unterschiedlich sein. Kann unmittelbar nach der Einwirkung bereits eine Reaktion beobachtet werden, ist die Diagnose in der Regel einfach. Auswirkungen auf innere Organe lassen sich aber meistens nicht unmittelbar feststellen. Die Gefahr besteht dabei, dass ein schädigender Einfluss nicht als solcher wahrgenommen wird. Daher ist es bedeutsam, dass alle Personen, welche mit Stoffen arbeiten, die ein gewisses Risiko darstellen können, über mögliche Auswirkungen Bescheid wissen.

### Lokale Reaktionen

Bei der gewerblichen Exposition gegenüber Stoffen (meist Chemikalien), spielen lokale Effekte eine wichtige Rolle. Im Vordergrund stehen die direkten, reizenden und ätzenden Wirkungen von Stoffen auf **Haut, Auge** und obere **Luftwege**.

#### Lokale Reaktion:

an der Oberfläche,  
wirkt auf Haut, Augen

Charakteristisch für solche Reizungen ist, dass sie sehr rasch nach Exposition auftreten, dass sie in der Regel auf die Expositionsfläche beschränkt bleiben und dass sie klar konzentrationsabhängig sind. Je höher die Konzentration desto stärker die reizende Wirkung.

Reizungen oder Irritationen der Haut können auf eine leichte Rötung beschränkt sein und ohne bleibenden Schaden abheilen. In schwereren Fällen können sie aber auch zu Blasen und/oder lokalem Gewebetod (Nekrose) führen. Eine Heilung erfolgt in diesen Fällen nur mit dem Verbleib von Narben. Der Stoff wird dann als «ätzend» gekennzeichnet. Expositionen am Auge können zu Rötungen und Schwellungen der Augenlider, zu Effekten auf die Iris oder zu Trübungen der Cornea\* führen. Effekte auf die Augenlider sind meist reversibel, Trübungen der Cornea können zu bleibenden Sehbehinderungen oder zu gänzlicher Erblindung führen. Grober Staub oder Rauch können zu Reizungen der oberen Luftwege führen. Bei Feinstaub, der bis tief in die Lungen gelangt, können Reizungen bis in die Alveolen (Lungenbläschen) erfolgen. Husten, erschwertes Atmen bis zur Atemnot kann auftreten. Bei chronischen, schwachen Reizungen der Atemorgane kann es auch zu Überempfindlichkeit des gesamten Atemtrakts kommen, z.B. gegen kalte Luft, ohne dass die Exposition gegenüber dem primären Stoff noch besteht. Solche persistierende\* Wirkungen können zu permanenter Arbeitsunfähigkeit führen und sind deshalb auch aus versicherungstechnischen Gründen von grosser Bedeutung

### Systemische Wirkungen

Gelangen Stoffe über die **Haut**, die **Lunge** oder nach **Verschlucken** in den Blutkreislauf und gelangen so zu ihrem Wirkungsort (z.B. die inneren Organe), so spricht man von systemischer Wirkung.

#### Systemische Wirkung:

auf innere Organe

Die am häufigsten betroffenen Organe bei systemischer Wirkung sind die Leber und die Niere als Ausscheidungsorgan. Schädigungen können jedoch in praktisch jedem anderen Organ auch vorkommen. Je nach betroffenem Organ und Reversibilität der Effekte ist die Störung der normalen physiologischen\* Mechanismen von kleinerer oder grösserer Bedeutung.

**Kältemittel** können sehr unterschiedliche Wirkungen haben. Unabhängig von der toxischen Wirkung wird flüssig auf die Haut gelangtes Kältemittel abhängig von seiner Verdampfungstemperatur zu einer Verbrennung führen. Dampfförmig eingeatmete **Sicherheitskältemittel** haben ausser einer **sauerstoffverdrängenden Wirkung** keine negativen Auswirkungen auf den Körper. **Ammoniak** hingegen führt schon in kleinsten Mengen zu Problemen, in höherer Konzentration zum Tod. Durch seinen intensiven Geschmack macht es aber auf sich aufmerksam. **Kohlendioxid** stört den osmotischen Gasaustausch in der Lunge nachhaltig.

## Allergien

Hautreaktionen vom allergischen Typ, ausgelöst durch sensibilisierende Stoffe, stehen zwischen den rein lokalen und den systemischen Wirkungen. Bei lokaler Exposition\* kann ein Stoff, unabhängig von seiner lokalen Verträglichkeit, vom immunologischen System in der Epidermis\* als fremd bewertet werden. Diese Information wird über das Immunsystem an die nächstgelegenen Lymphknoten weitergeleitet und von da über spezifische Gedächtniszellen im ganzen Organismus verteilt. Die Entstehung einer Kontaktallergie ist nur bedingt konzentrationsabhängig. Das Auslösen einer allergischen Reaktion nach wiederholtem Kontakt mit der gleichen Substanz ist praktisch konzentrationsunabhängig. Kleinste Spuren der Substanz können eine Reaktion auslösen und, im Gegensatz zu der Reizung, kann die Reaktion über die reine Expositionsfläche hinausgehen. Eine einmal erworbene Allergie bleibt das ganze Leben erhalten. Die Intensität kann jedoch im Alter abnehmen. Stoffe mit kontaktallergischem (sensibilisierendem) Potential kommen in verschiedenen Bereichen vor. Beispiele sind: pflanzliche Stoffe, Ausgangsprodukte von Kunststoffen (Monomere), Metalle (Nickel, Chrom), Konservierungsmittel in Kosmetika, Anstrichfarben oder Industrieölen etc.

## Beurteilung toxischer Wirkungen

Auswirkungen von toxischen Substanzen auf unseren Organismus werden nach lokalen und systemischen Symptomen sowie deren Auftretensform (akut oder chronisch) untersucht.

Mit **akuten Versuchen** sollen mögliche Effekte nach kurzer Exposition simuliert werden, etwa bei irrtümlicher Einnahme oder Unfällen.

Bei **chronischen Versuchen** mit kleinen Dosen wird untersucht, wie sich der Organismus bei dauernder Belastung verhält.

## Auswirkungen von Kältemitteln

Die **Klassifizierung** der Kältemittel nach ihrem Gefahrenpotential besteht aus einem A oder B, gefolgt von einer Ziffer 1, 2 oder 3. Während der Buchstabe **chronische** Auswirkungen angibt (Toxizität), zeigt die Ziffer mögliche **akute** Auswirkungen durch Brennbarkeit:

	Gifigkeit / Toxizität	
	geringer	höher
Brennbarkeit		
nicht brennbar	A1	B1
kaum brennbar	A2L	B2L
schlecht brennbar	A2	B2
brennbar	A3	B3

Die jeweilige Einteilung der Kältemittel ist in der Tabelle auf Seite 37 angegeben.

### Akute Auswirkungen:

- Ursache und Symptom liegen zeitlich nahe beieinander
- einmalige Anwendung
- einmaliges Auftreten
- unmittelbare Beschwerden
- heftiger Verlauf
- sich schnell entwickelnd
- kurz dauernd

### Chronische Auswirkungen:

- Ursache und Symptom liegen zeitlich lange auseinander
- wiederkehrende Vorgänge
- bleibende Schäden
- bleibende Beschwerden
- sich langsam entwickelnd
- lange dauernd oder
- beständig wirkend

Die Vermeidung der Exposition\* gegenüber schädlichen Stoffen ist sicher der beste Schutz. Ist dies nicht möglich, sind Massnahmen zu treffen, um die Exposition wenigstens so klein wie möglich zu halten. Dies ist auf verschiedenen Ebenen möglich. Kenntnisse bezüglich der Stoffe, mit denen gearbeitet werden soll, sind dabei eine notwendige Voraussetzung. Nur dann lässt sich das Gefährdungspotential abschätzen und aus einer Vielzahl von Schutzmassnahmen die Richtigen wählen. :

**Physikalisch-chemischer Zustand des Stoffes:** Das Einatmen von Stäuben ist wesentlich geringer, wenn der Stoff in grober, körniger Form vorliegt und nicht als feines Pulver (vermehrte Staubbildung). Beim Umgang mit flüchtigen Stoffen sollte auf die Verarbeitungstemperatur geachtet werden. Mit steigender Temperatur erhöhen sich der Dampfdruck und die Konzentration des Stoffes pro m<sup>3</sup>. Die Exposition wird damit erhöht.

**Arbeitsplatz:** Die Arbeitsplätze sollten sauber sein. Nahrungsmittel dürfen, um Kontaminationen\* und/oder Verwechslungen zu vermeiden, nicht am Arbeitsplatz eingenommen werden. Arbeiten mit Staubentwicklung oder mit Gasen in geschlossenen Räumen sollten nur bei adäquater Ventilation durchgeführt werden. Der Luftzug muss vom Arbeiter weg erfolgen. Der Abzug der Ventilation ist den verwendeten Stoffen entsprechend zu platzieren; z.B. am Boden bei schweren Dämpfen, über Tischen oder an der Decke. Expositionen gegen Lösungsmittel sollten möglichst vermieden werden. Wichtig ist auch die sorgfältige Lagerung von Chemikalien.

**Persönlicher Schutz:** Die persönliche Schutzausrüstung muss vorhanden sein und auch benutzt werden. Das Tragen von Schutzbrille, Schutzkleidern und Handschuhen kann wesentlich vor Expositionen gegenüber Chemikalien schützen; z.B. können Spritzer von Flüssigkeiten in die Augen oder auf die Haut gut vermieden werden. Handschuhmaterialien können gegenüber bestimmten Substanzen durchlässig sein, weshalb die Auswahl des Handschuhtyps sehr wichtig ist. Die sorgfältige Reinigung der exponierten Körperteile am Ende eines Arbeitsprozesses ist wichtig, um die Aufnahme von langsam eindringenden Stoffen zu vermeiden. Zu häufiges Waschen der Hände kann aber auch zu einer «Schädigung» des natürlichen Hautschutzes führen. Die Behandlung mit einer Hautschutzsalbe am Ende der Arbeit hilft mit, den natürlichen Schutz schneller wieder aufzubauen.

**Sicherheitsdatenblatt:** Dem beruflichen und gewerblichen Verwender von gefährlichen Stoffen und Zubereitungen muss ein Sicherheitsdatenblatt abgegeben werden.

**Einhalten der MAK-Werte:** Die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegender Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet. MAK-Werte werden meist in ppm (parts per million) oder mg/m<sup>3</sup> definiert. Die in der Schweiz geltenden MAK-Werte werden von der SUVA\* publiziert.

#### Gut lüften:

- Beim Löten / Schweißen
- Arbeiten mit Gasen
- Arbeiten mit Leim und Lösungsmittel

#### Chemikalien:

- Eindeutig beschriften
- Sorgfältig lagern
- Korrekt bezeichnen

#### Risikoarbeiten (z. B. Löten):

Tragen von Schutzkleidung wie Brille / Handschuhe

#### Kältemittel:

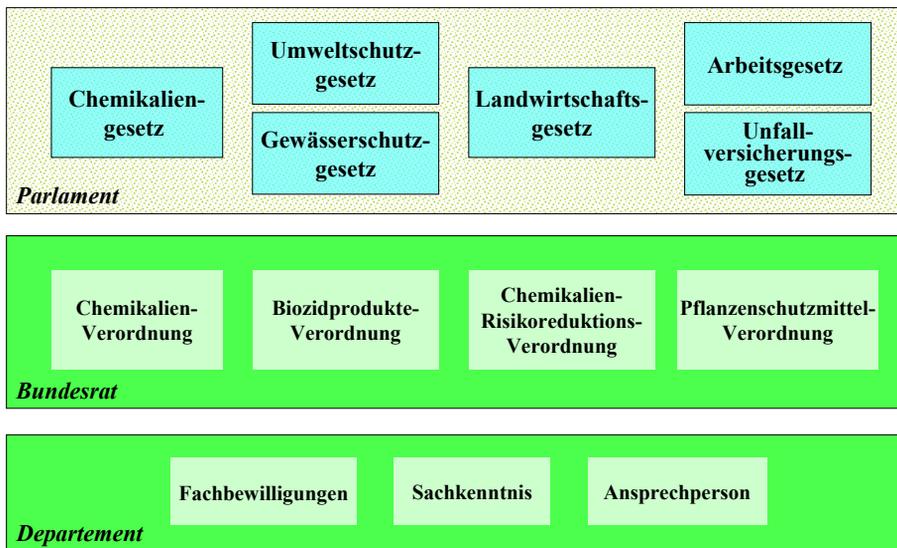
- Verbrennungsgefahr durch Spritzer von Flüssigkeit
- Verdrängt den Sauerstoff

#### MAK - Wert:

maximale Arbeitsplatzkonzentration von Schadstoffen am Arbeitsplatz

Die zahlreichen rechtlichen Grundlagen zu den diversen Fachbewilligungen befinden sich in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen. Es ist notwendig, diese zumindest im Überblick zu kennen, damit Konflikte mit Behörden oder mit der Polizei vermieden werden können. Dies gilt besonders für Berufsleute und Personen, welche eine Fachbewilligung besitzen.

#### Umgang mit Chemikalien: Wichtige Regelungen zum Schutz von Mensch und Umwelt



Generell werden im Gesetz die wichtigsten Grundsätze festgelegt, welche in darauf abgestützten Verordnungen konkretisiert werden. Im Falle von Chemikalien sind es drei Bereiche, die vor einer Gefährdungen durch solche geschützt werden sollen. Der Schutz der Bevölkerung ist im Chemikaliengesetz, der Schutz der Umwelt im Umweltschutzgesetz und der Schutz der Arbeitnehmenden im Arbeitsgesetz und im Unfallversicherungsgesetz geregelt.

Zweck des Chemikaliengesetzes ist es, das Leben und die Gesundheit des Menschen vor schädlichen Einwirkungen durch Stoffe und Zubereitungen («Chemikalien») zu schützen. Das ChemG legt die grundlegenden Anforderungen fest, die beim Umgang mit Chemikalien zu beachten sind. Wer mit Chemikalien umgeht, also z.B. Chemikalien herstellt, in Verkehr bringt, lagert, transportiert, verwendet oder entsorgt, muss dafür sorgen, dass Leben und Gesundheit des Menschen nicht gefährdet werden. Konkretisiert wird das Gesetz durch verschiedene Verordnungen.

Als gefährlich gelten Stoffe und Verbindungen, die das Leben oder die Gesundheit durch physikalische, chemische oder toxische Wirkung gefährden können. Wer mit solchen Stoffen oder Verbindungen umgeht, muss deren gefährliche Eigenschaften beachten und die zum Schutz von Leben und Gesundheit erforderlichen Massnahmen treffen. Insbesondere sind diesbezügliche Informationen der Herstellerin zu beachten.

Das ChemG schreibt vor, dass das Anbieten (Werbung) von Stoffen mit einem Gefährdungspotential nicht zu einem Irrtum in Bezug zur Gefährlichkeit führen kann oder zu unsachgemäßem, leichtfertigen Umgang verleitet.

Das Umweltschutzgesetz hat zum Ziel, **Menschen, Tiere, Pflanzen** und ihre **Lebensgemeinschaften** und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen zu schützen, sowie die natürlichen Lebensgrundlagen, insbesondere die biologische Vielfalt und die Fruchtbarkeit des Bodens, dauerhaft zu erhalten.

Einwirkungen in diesem Sinne sind Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterungen, Strahlen, Gewässerverunreinigungen, Bodenbelastungen, etc., welche durch den Bau und Betrieb von Anlagen, durch den Umgang mit Stoffen, Organismen oder Abfällen oder durch die Bewirtschaftung des Bodens erzeugt werden.

Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterungen und Strahlen werden beim Austritt aus Anlagen als **Emissionen**, am Ort ihres Einwirkens als **Immissionen** bezeichnet.

Luftverunreinigungen sind Veränderungen des natürlichen Zustandes der Luft, namentlich durch Rauch, Russ, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe, **Kältemittel** oder Abwärme.

Zwei wichtige Grundsätze des USG sind **das Vorsorgeprinzip**: Vorbeugen ist besser als heilen und erst noch billiger (Art. 1 USG) und **das Verursacherprinzip**: Wer Umweltschäden verursacht, hat die Kosten ihrer Beseitigung zu tragen (Art. 2 USG).

Das Gesetz wird durch verschiedene Verordnungen konkretisiert: z.B. durch die Luftreinhalte-Verordnung (LRV), die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), die Störfallverordnung (StFV) und die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV; hier sind die Verbote und Beschränkungen zu Chemikalien zusammengefasst).

Das Gewässerschutzgesetz hat zum Ziel, die Gewässer als **natürlichen Lebensraum** von Tieren und Pflanzen, als **Speicher für gesundes Trinkwasser** sowie als **Bestandteil der Erholungsräume** zu schützen und zu erhalten. Dazu gehören sowohl Oberflächengewässer als auch das Grundwasser. Das GSchG verbietet es, Stoffe, die Wasser verunreinigen können, direkt oder indirekt in ein Gewässer einzubringen oder sie versickern zu lassen. Es verbietet auch, solche Stoffe ausserhalb eines Gewässers abzulagern oder auszubringen, wenn dadurch die konkrete Gefahr einer Verunreinigung des Wassers entsteht (Art. 6).

Das Arbeitsgesetz regelt neben dem **Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz** (namentlich Arbeitshygiene und Ergonomie) die **Arbeitszeiten**, die **Arbeitsräume** und deren **Einrichtungen**, die **Fluchtwege** und weitere Fragen. Ferien oder Lohn sind privatrechtliche Angelegenheiten und deshalb nicht Gegenstand des Arbeitsgesetzes. Sie sind im Obligationenrecht (SR 220) geregelt. Die Verordnungen 1 bis 4 zum Arbeitsgesetz (SR 822.111 bis SR 822.114) konkretisieren das Gesetz bezüglich verschiedener Themenbereiche. Die Anforderungen zum Schutz der Gesundheit werden in der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV3, SR 822.113) definiert.

Der **Arbeitgeber** ist verpflichtet, zum Schutze der Gesundheit der Arbeitnehmer alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den Verhältnissen des Betriebes angemessen sind. Für den Gesundheitsschutz hat der Arbeitgeber die **Arbeitnehmer** zur Mitwirkung heranzuziehen. Diese sind verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über den Gesundheitsschutz zu unterstützen.

Das UVG ist primär ein **Sozialversicherungsgesetz**, das die Bezahlung der Heilungskosten und allfällige Entschädigungen (Renten, Integritätsentschädigungen) bei **Unfällen** und **Berufskrankheiten** regelt. Zusätzlich enthält das UVG ein Kapitel über die Arbeitssicherheit und die Prophylaxe zur Vermeidung von Berufskrankheiten. Dieses Kapitel wird in der Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV, SR 832.30) konkretisiert.

**Obligatorisch versichert** sind nach diesem Gesetz die in der Schweiz beschäftigten **Arbeitnehmer**, einschliesslich der Heimarbeiter, Lehrlinge, Praktikanten, Volontäre sowie der in Lehr- oder Invalidenwerkstätten tätigen Personen.

Die Chemikalienverordnung präzisiert, wie **Gefahren** und **Risiken**, die von Chemikalien ausgehen, beurteilt werden müssen, und sie benennt insbesondere die Pflichten für das Inverkehrbringen (vermarkten). Gefährliche chemische Stoffe und Zubereitungen dürfen nur abgegeben (verkauft) werden, wenn Sie im Rahmen der Selbstkontrolle hinsichtlich ihres Gefahrenpotentials eingestuft, verpackt und gekennzeichnet sind (Etikette, ChemV Art. 35-56. Weitere Infos unter «Einstufung und Kennzeichnung»). Für bestimmte Chemikalien bestehen zudem Melde-, Anmelde- oder Zulassungspflichten (Anmeldestelle für Chemikalien [www.bag.admin.ch/anmeldestelle](http://www.bag.admin.ch/anmeldestelle)). Allgemeine Anforderungen bei der Abgabe von Chemikalien (z.B. Informationspflicht, Sicherheitsdatenblatt) sowie über die Aufbewahrung (Lagerung) und Verwendung (Art. 70-83) sind ebenfalls Gegenstand der ChemV.

Der Hersteller eines neuen Stoffes oder der Alleinvertreter muss den neuen Stoff bei der Anmeldestelle anmelden, bevor dieser als Reinstoff, in einer Zubereitung oder in einem Gegenstand, aus dem er unter normalen oder vernünftigerweise vorhersehbaren Verwendungsbedingungen freigesetzt werden soll / kann, erstmals in Verkehr gebracht wird.

Bestimmungen über einzelne Gruppen von Substanzen oder Produkte sind der Hauptgegenstand der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung. Darin sind die Beschränkungen und Verbote wie beispielsweise das Asbestverbot oder das Quecksilberverbot enthalten. Diese Beschränkungen und Verbote sind in verschiedene Anhänge gegliedert und bilden den Hauptinhalt dieser Verordnung.

Ebenfalls in der ChemRRV sind die Tätigkeiten definiert (Art. 7), die nur von Personen oder unter Anleitung von Personen ausgeführt werden dürfen, die über die entsprechende **Fachbewilligung** verfügen. Der ganze dritte Abschnitt der ChemRRV enthält die allgemeinen Bestimmungen zu den Fachbewilligungen, während die detaillierten Anforderungen in Departementsverordnungen konkretisiert sind.

Seit dem 1. Dezember 2013 ist das Inverkehrbringen (Einfuhr und Bereitstellung) von **Klimaanlagen**, **Wärmepumpen**, **Kälteanlagen** in Industrie oder Gewerbe, die in der Luft stabile Kältemittel enthalten (insbesondere **H-FKW**) und die bestimmte Kühl-/Heizleistungen überschreiten, **verboten**. Liegt bei FCKW oder H-FCKW Anlagen ein Kältemittelmangel vor, muss die Anlage umgerüstet oder ersetzt werden.

Nach der ChemRRV kann das BAFU für eine bestimmte Anlage auf der Grundlage eines detaillierten Gesuchs eine Ausnahmegewilligung erlassen, wenn es nach dem Stand der Technik nicht möglich ist, die geltenden Normen ohne Verwendung eines in der Luft stabilen Kältemittels einzuhalten.

Umwelt- und gesundheitsschädliche Stoffe werden bei vielen Tätigkeiten, welche eine Fachbewilligung erfordern, eingesetzt. Deshalb sollen sich Personen, die eine **Fachbewilligung** besitzen, auch über die **Beizugspflicht** im Klaren sein und sich vergewissern, dass der Betrieb diesen Verpflichtungen nachkommt:

Die Verordnung über die Unfallverhütung verlangt, dass in Betrieben, in welchen Arbeiten mit «besonderen Gefahren» anfallen, zur Gewährleistung von Gesundheitsschutz und Sicherheit am Arbeitsplatz entsprechendes Fachwissen vorhanden ist. Ist dies nicht gegeben, so muss der Betrieb das fehlende Wissen von extern beziehen, er wird «beizugspflichtig».

Zu den oben erwähnten «besonderen Gefahren» gehört auch der Umgang mit Produkten mit entsprechender Gefahrenkennzeichnung.

Eine Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln benötigt, wer autonom mit diesen Stoffen arbeitet.

Muss eine Arbeit ausgeführt werden, für welche man nicht qualifiziert ist, wird man beizugspflichtig.

Nur Fachbewilligungsinhaber sind berechtigt, Kältemittel zu beziehen.

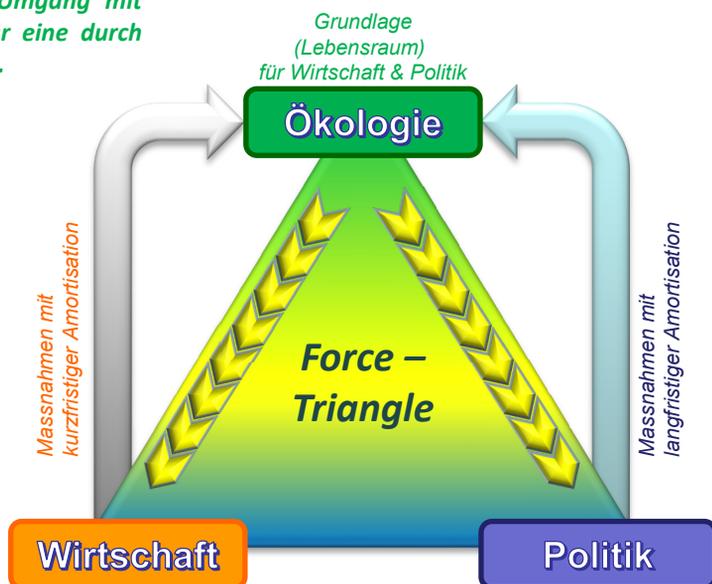
## Massnahmen zum Schutze der Umwelt

Massnahmen zum Schutze der Umwelt kosten Geld. Die Marktwirtschaft ist in der Lage, eigendynamisch geeignete Massnahmen zu treffen, wenn sich der Mehraufwand innerhalb nützlicher Frist amortisiert. Auf der Basis zu erwartender Gewinne werden Investitionen getätigt. So lässt sich eine bessere Gebäudedämmung verkaufen, wenn der Eigentümer damit genügend Heizkosten einsparen kann. Übersteigt aber der Amortisationszeitraum den geschäftsüblichen Zeitraum, muss die Politik mit entsprechenden Vorgaben die Umsetzung ermöglichen.

**Die Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln ist ein Beispiel für eine durch die Politik initiierte Massnahme.**

Durch die Vorgabe gelten für alle Beteiligten dieselben Voraussetzungen. Somit wird verhindert, dass billigere und dabei schlechtere Lösungen überhaupt offeriert werden.

Als weiteres Beispiel mag die Einführung der EC-Motortechnik auf breiter Front gelten: als bezüglich Wirkungsgrad dem klassischen Asynchronmotor weit überlegene Antriebsart, wurde diese (der höheren Investition wegen) bisher nur selten eingesetzt.



Da die Politik strengere Energievorschriften bei Heizungsanlagen durchgesetzt hat, wurden die Hersteller von Umwälzpumpen praktisch gezwungen, auf EC-Motoren zu setzen. Somit konnte sich diese Technik in diesem Bereich mittlerweile etablieren. Auch Kältemittelverdichter mit solchen Motoren finden sich bereits.

Die Politik in industrialisierten und entwickelten Ländern wird in Zukunft vermehrt lenkend einwirken, um bessere und sparsamere, aber zunächst teurere Technik am Markt etablieren zu können.

**Gefahren:****zu beachten:****Vorsicht gefährlich**

Kann die Haut irritieren, Allergien oder Ekzeme auslösen, Schläfrigkeit verursachen. Kann nach einmaligem Kontakt Vergiftungen auslösen. Kann die Ozonschicht schädigen.

Hautkontakt vermeiden. Nur die benötigte Menge verwenden. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**hochentzündlich**

Kann sich durch den Kontakt mit Flammen und Funken, durch Schläge, Reibung, Erhitzung, Luft- oder Wasserkontakt entzünden. Kann sich bei falscher Lagerung auch ohne Fremdeinwirkung selber entzünden.

Zündquellen vermeiden. Geeignete Löschmittel bereithalten. Auf die Lagertemperatur achten. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**brandfördernd**

Kann Brände verursachen oder beschleunigen. Setzt bei Brand Sauerstoff frei, lässt sich daher nur mit speziellen Mitteln löschen. Ein Ersticken der Flammen ist nicht möglich.

Immer entfernt von brennbaren Materialien aufbewahren. Geeignete Löschpräparate bereithalten. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**explosiv**

Kann durch Kontakt mit Flammen oder Funken, nach Schlägen, Reibung oder Erhitzung explodieren. Kann bei falscher Lagerung auch ohne Fremdeinwirkung zu Explosionen führen.

Nur von Fachleuten oder ausgebildetem Personal anzuwenden. Bei Lagerung und Anwendung Umgebungswärme beachten. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**Gas unter Druck**

Enthält komprimierte, verflüssigte oder gelöste Gase. Geruchlose oder unsichtbare Gase können unbemerkt entweichen. Behälter mit komprimierten Gasen können durch Hitze oder Verformung bersten.

Vor Sonneneinstrahlung schützen, an gut belüfteten Orten (nicht im Keller) lagern. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**gewässergefährdend**

Kann Wasserorganismen wie Fische, Wasserinsekten und Wasserpflanzen schon in geringen Konzentrationen akut oder durch Langzeitwirkung schädigen.

Gefahren- und Sicherheitshinweise auf der Etikette beachten, Gebrauchsanweisung und Dosierungsvorschriften befolgen.

**ätzend**

Kann schwere Hautverätzungen und Augenschäden verursachen. Kann bestimmte Materialien auflösen. Ist schädlich für Mensch, Tier, Pflanzen und Organisches Material aller Art.

Beim Umgang immer Handschuhe und Schutzbrille tragen. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**gesundheitsschädigend**

Kann bestimmte Organe schädigen. Kann zu massiver Beeinträchtigung der Gesundheit führen, Krebs erzeugen, das Erbgut oder die Fruchtbarkeit schädigen. Kann beim Eindringen in die Atemwege tödlich sein.

Niemals einnehmen, jeden unnötigen Kontakt vermeiden, längerfristige Schädigung bedenken. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

**hochgiftig**

Kann schon in kleinsten Mengen zu schweren Vergiftungen und zum Tode führen.

Mit grösster Vorsicht anwenden. Geeignete Schutzausrüstung wie Kleidung und Schutzmaske verwenden. Gefährdung Unbeteiligter ausschliessen. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.



Der Hersteller oder die Distribution eines neuen Stoffes muss diesen bei der Anmeldestelle registrieren lassen. Die Berechtigung zum Vertrieb ist gegeben, wenn gewährleistet werden kann, dass die Prüfmethode genügen und zu validen Ergebnissen führen.

Das **Sicherheitsdatenblatt** wird benötigt, sobald ein Stoff eine Gefährdung darstellen kann. Dieses soll bei der ersten und auf Verlangen auch bei einer späteren Abgabe des Stoffes ausgehändigt werden.

Eine zulässige Bezeichnung muss eindeutig sein, darf weder verharmlosen noch falsche Angaben beinhalten.

**Eine Chemikalie darf in der Schweiz vertrieben werden wenn:**

- die Prüfungen erfolgreich abgeschlossen wurden.
- ein Sicherheitsdatenblatt erstellt wurde.
- eine Korrekte Bezeichnung vorliegt.
- eine geeignete Verpackung mit Kennzeichnung vorliegt.
- der Stoff dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht.

**Kantonale Behörden** sind für den Vollzug der Bestimmungen gemäss ChemRRV verantwortlich.

Das **Bundesamt für Gesundheit (BAG)** ist zuständig für den Schutz des Lebens und der Gesundheit des Menschen. Das Amt ist - zusammen mit den Kantonen - für die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung und für die Entwicklung der nationalen Gesundheitspolitik verantwortlich. Zudem vertritt das BAG die Schweiz in Belangen der Gesundheit in internationalen Organisationen und gegenüber anderen Staaten.

Das **Bundesamt für Umwelt (BAFU)** regelt alle Belange des Umweltschutzes und des mittelbaren Schutzes des Menschen. Das Amt hat den Auftrag, die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser, Luft und Wald sicherzustellen. Es ist verantwortlich für den Schutz vor Naturgefahren, bewahrt die Umwelt und die Gesundheit der Menschen vor übermässigen Belastungen, sorgt für die Erhaltung der Biodiversität und ist zuständig für die internationale Umweltpolitik.

Das **Bundesamt für Energie (BFE)** ist das Kompetenzzentrum für Fragen der Energieversorgung und der Energienutzung im UVEK.

Das **Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)** ist für die «Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln» zuständig.

Das **Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)** ist das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Kernfragen der Wirtschaftspolitik. Sein Ziel ist es, für ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum zu sorgen. Dafür schafft es die nötigen ordnungs- und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen.

Die **schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA)** ist eine selbstständige Unternehmung des öffentlichen Rechts. Sie ist die grösste Trägerin der obligatorischen Unfallversicherung in der Schweiz. Die SUVA ist unter anderem für das Verfassen von Richtlinien im Umgang mit gefährlichen Chemikalien zuständig.

Der **schweizerische Verband für Kältetechnik (SVK)** nimmt die Interessen der Kältebranche wahr und übernimmt die Aufgabe des Verbindungsgliedes zwischen Behörden und Gewerbe. Er widmet sich der Aus- und Weiterbildung von Fachpersonen.

**Behörden & Verbände:**

- Kantone
- BAG
- BAFU
- BFE
- UVEK
- SECO
- SUVA
- SVK

# 4

## Schutz der Gesundheit

Der Arbeitgeber muss vorerst sämtliche Massnahmen zur Verhütung oder Minderung von Krankheits- oder Unfallgefährdungen bei den Beschäftigten treffen. Das bedeutet, dass die chemischen, physikalischen, biologischen, ergonomischen und psychosozialen Arbeitsbedingungen so gestaltet werden müssen, dass die Menschen auch langfristig nicht krank werden. Wenn trotzdem eine Gefährdung besteht, müssen unentgeltlich persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung gestellt und die Arbeitnehmer in ihrer Anwendung instruiert werden.

Benötigte Schutzausrüstung muss vorhanden sein und auch benutzt werden.

### 4.1

## Erste Hilfe

Um Erste Hilfe leisten zu können, müssen entsprechend den Betriebsgefahren stets die erforderlichen Mittel verfügbar sein. Die Erste-Hilfe-Ausstattung muss gut erreichbar sein und überall dort aufbewahrt werden, wo die Arbeitsbedingungen dies erfordern. Es ist zu empfehlen, dass die aktuellen **Sicherheitsdatenblätter\*** (SDB) der im Betrieb verwendeten Chemikalien am gleichen Ort und gut sichtbar vorhanden sind.



### 4.2

## Notfallplanung

Der Betrieb muss dafür sorgen, dass eine gut funktionierende Notfallplanung existiert und dass sie allen Beschäftigten bekannt ist. Die Notfallplanung ist periodisch zu überprüfen und gegebenenfalls geänderten Bedingungen anzupassen.



### 4.3

## Alleine arbeiten

Allein arbeitende Personen unterstehen besonderen Gefahren und haben ein erhöhtes Unfallrisiko durch körperliche, intellektuelle und psychische Zusatzbelastung. Nach einem Unfall fehlt meistens die Hilfeleistung oder sie kommt verspätet. Es gilt deshalb der Grundsatz, dass Alleinarbeit nicht zulässig ist, wenn die Arbeit zu einer Verletzung führen kann, die sofortige Hilfe einer zweiten Person nötig macht. Es muss gewährleistet sein, dass benötigte Qualifikationen (z. B. eine Fachbewilligung) zum Ausführen der entsprechenden Arbeit vorliegen.



### 4.4

## Jugendliche

Junge Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer müssen geschützt werden. Erstens, weil in Bezug auf ihr Alter bestimmte Arbeiten anstrengender sein können. Zweitens besuchen sie häufig eine Schule, was bei der Arbeitseinteilung berücksichtigt werden muss. Drittens ist es wichtig, ihre körperliche, soziale und psychische Entwicklung vor schädigenden Einflüssen zu schützen.



## 4.5

# Neu am Arbeitsplatz

Der Arbeitgeber muss dafür sorgen, dass alle Arbeitnehmer über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden Gefahren informiert sind. Sie müssen die erforderlichen Massnahmen zur Verhütung kennen. Diese Informationen und Anleitungen müssen bei Stellenantritt und bei jeder wesentlichen Änderung der Arbeitsbedingungen erfolgen und sind bei Bedarf zu wiederholen. Das Ausführen von Arbeiten mit erhöhtem Gefahrenpotential muss instruiert werden, der Umgang mit Spezialwerkzeugen gelernt. Denn Neueintretende haben ein doppelt so hohes Unfallrisiko als erfahrene Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter.

Eine seriöse Einarbeitung schützt vor Unfällen.

## 4.6

# Nicht ortsfeste Arbeitsplätze

Bei nicht ortsfesten Arbeitsplätzen ist es besonders wichtig, eine gut organisierte, allen bekannte Notfallplanung zu haben und über funktionierende Erste Hilfe-Massnahmen sowie instruiertes Personal zu verfügen. Nur dann kann in Notfällen ohne Verzögerung und richtig geholfen werden.

Bei temporären Arbeitsplätzen über mehrere Tage oder Monate empfiehlt es sich, eine mobile Werkstattausrüstung aufzubauen und die Ordnung zu pflegen. Der entsprechende Raum ist nach Arbeitsende zu verschliessen. Die Unfallgefahr reduziert sich in dem Mass, wie ein Arbeitsplatz dem Auftrag entsprechend organisiert ist und benötigte Hilfsmittel verfügbar sind.



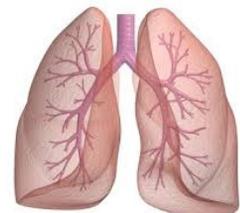
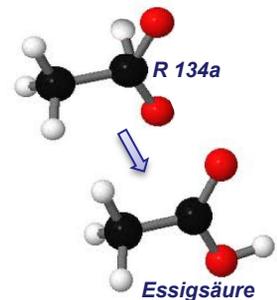
## 4.7

# Arbeitsmittel, Maschinen & Werkzeuge

Arbeitsmittel, Maschinen und Werkzeuge müssen bestimmungsgemäss verwendet werden. Insbesondere dürfen sie nur für Arbeiten und an Orten eingesetzt werden, wofür sie geeignet sind. Vorgaben des Herstellers über die Verwendung des Arbeitsmittels sind zu berücksichtigen. (Betriebsanleitung, Konformitätserklärung, etc.). Werden Arbeitsmittel wesentlich geändert oder für andere als vom Hersteller vorgesehene Zwecke oder in nicht bestimmungsgemässer Art verwendet, so müssen die neu auftretenden Risiken so reduziert werden, dass die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer gewährleistet bleiben. Arbeitsmittel sind ferner gemäss den Angaben des Herstellers fachgerecht in Stand zu halten. Dabei ist dem jeweiligen Einsatzzweck und Einsatzort Rechnung zu tragen. Die Instandhaltung ist zu dokumentieren.



- Brennbare Kältemittel (z.B. R290 oder R600a) stellen eine Brand- und Explosionsgefahr dar. Die Bildung von explosionsfähigen Atmosphären ist durch genügende Lüftung zu verhindern. In explosionsgefährdeten Bereichen müssen wirksame Zündquellen vermieden werden.
- Es gibt Kältemittel, die toxisch auf den Menschen wirken (z.B. Ammoniak). Auch mögliche Zersetzungsprodukte müssen beachtet werden (z.B. beim Löten in kontaminierten Räumen).
- Spritzer von flüssigem Kältemittel auf die Haut werden dieser aggressiv die Wärme entziehen. Die dabei entstehende Verletzung entspricht einer Verbrennung.
- Beim Arbeiten mit ungiftigen Chemikalien ist zu beachten, dass durch gewisse Arbeitsschritte giftige Zersetzungsprodukte entstehen können. So entsteht zum Beispiel beim Rauchen, Löten oder Schweißen in einem mit chloriertem Kältemittel kontaminierten Raum das schwer giftige Phosgen, welches im ersten Weltkrieg als Kampfgas eingesetzt wurde. Auch Zersetzungsprodukte von fluorierten Derivaten sind giftig und dürfen keinesfalls eingeatmet werden.
- Einige Kältemittel haben eine leicht berauschende Wirkung. Daher kann hier bei Sauerstoffmangel die Einsicht zur Selbstrettung fehlen.
- Die sauerstoffverdrängende Wirkung auch ungiftiger Kältemittel ist zu beachten. Gerade bei Kältemittel mit einer Dichte grösser als Luft besteht Erstickungsgefahr ohne dass einem der Sauerstoffmangel bewusst wird.
- Inhaber und Inhaberinnen einer Fachbewilligung arbeiten oft während Jahren mit gesundheitsschädigenden Substanzen. Sie müssen sich bewusst sein, dass sich ohne entsprechende Vorsichtsmassnahmen Langzeitschädigungen einstellen können.
- Personen, die mit Chemikalien umgehen, müssen sich über deren Gefahren bewusst sein und die Gefahrensymbole, Risiko- und Sicherheits-Sätze auf der Verpackung beachten. Vor dem erstmaligen Gebrauch ist das Sicherheitsdatenblatt\* (SDB) zu lesen.
- Leere Verpackungen und Reste von Chemikalien sind fachgerecht zu entsorgen.
- Auf eine sichere Aufbewahrung der Chemikalien muss geachtet werden: Verschlussbare und entsprechend markierte Lagerräume, Lüftung, Brandschutz, Zusammenlagerverbote (gefährliche Reaktionen), keine Lebensmittel, Futtermittel oder Heilmittel in der Nähe, Verwechslung mit Lebensmitteln ausschliessen, usw..
- Nach der Anwendung von Chemikalien in geschlossenen Räumen ist in der Regel eine Wartezeit einzuhalten, damit sich gesundheitsschädigende Substanzen verflüchtigen können. Die Räume sind vor dem Betreten gut zu lüften. Beim Applizieren von Chemikalien ist meistens das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) vorgeschrieben. Diese ist nach Gebrauch fachgerecht zu reinigen und zu lagern.



# 5

## Kältemittel

Ein Grossteil der in modernen Kältesystemen eingesetzten Kältemittel basieren auf den natürlichen Kohlenwasserstoffen (Methan, Ethan, Propan). Durch das Ersetzen von Wasserstoff durch Fluor (früher auch Chlor) entsteht die Familie der synthetischen Kältemittel.

Anlagen mit einer Füllmenge von mehr als 3kg an der Luft stabiler Kältemittel müssen angemeldet werden. Ein Serviceheft muss geführt werden. Die spätere Ausserbetriebnahme unterliegt ebenfalls der Meldepflicht.

### Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind natürliche, brennbare Stoffe und können als Kältemittel mit guter Effizienz eingesetzt werden. Achtung: Sicherheitsbestimmungen müssen beachtet werden.

**KW**

ODP: nein zu beachten: brennbar  
GWP: vernachlässigbar Neuanlagen: erlaubt

*natürliche Kältemittel*

### Hydro - Fluoro - Olefins

HFO's sind aus denselben Elementen aufgebaut wie die H-FKW's. Durch eine Doppelbindung im Molekül sind sie aber unstabiler und bewirken daher einen geringeren GWP. Sie können brennbar sein.

**HFO**

ODP: nein zu beachten: Anmeldung erforderlich  
GWP: sehr tief Neuanlagen: erlaubt

*teilhalogenierte Kältemittel*

### Hydrogen - Fluorkohlenwasserstoffe

Das Halogen\* Fluor ersetzt einen Teil des Wasserstoffes im KW-Molekül. Teilhalogenierte Kältemittel besitzen einen erhöhten GWP, sind dafür meist unbrennbar.

**H-FKW**

ODP: nein zu beachten: Anmeldung erforderlich  
GWP: hoch Neuanlagen: teilweise verboten

*teilhalogenierte Kältemittel*

### Hydrogen - Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Zusätzlich zum Fluor wird noch mit Chlor halogeniert, womit sich ein ODP ergibt. Ein Teil des ursprünglichen Wasserstoffs verbleibt im Molekül. Nur noch in bestehenden Anlagen anzutreffen.

**H-FCKW**

ODP: ja zu beachten: nur noch Betrieb erlaubt  
GWP: hoch Neuanlagen: verboten

*teilhalogenierte Kältemittel*

### Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Der gesamte Wasserstoffanteil wird durch die Halogene Chlor und Fluor ersetzt, was ein sehr stabiles Molekül ergibt. Dadurch ergeben sich jedoch hohe ODP und GWP Werte.

**FCKW**

ODP: ja zu beachten: nur noch Betrieb erlaubt  
GWP: sehr hoch Neuanlagen: verboten

*vollhalogenierte Kältemittel*

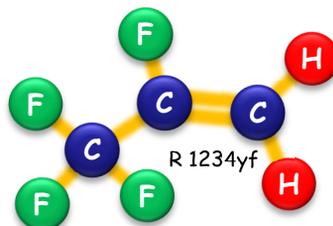
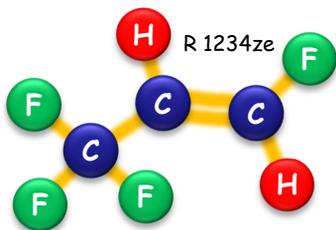
Im Jahre 1928 wurde eine Basis zur Entwicklung neuer, als Kältemittel geeigneter Stoffe gesucht. Man wollte damals vor allem die giftigen und brennbaren Kältemittel eliminieren. Bei Versuchen wurde entdeckt, dass sich der Wasserstoff an den Kohlenwasserstoffen wie Methan, Ethan oder Propan gut durch Elemente aus der Familie der Halogene\* ersetzen lässt. Dadurch nimmt die Brennbarkeit des Moleküls ab, gleichzeitig wird der Siedepunkt erhöht.

Wird ein Teil des Wasserstoffes durch Halogene ersetzt, spricht man von einem **teilhalogenierten Kältemittel**. Wird der Wasserstoff vollständig durch Halogene ersetzt, spricht man von einem **vollhalogenierten Kältemittel**. Diese sehr stabilen Verbindungen wurden ab 1930 bevorzugt eingesetzt, denn Stabilität bedeutete auch **Sicherheit**. Gerade dieser Stabilität aber verdanken diese Stoffe einerseits ihr hohes Treibhauspotential, andererseits wird das ozonabbauende Chlor über 30 Jahre in die Stratosphäre transportiert.

Zum halogenierten wurden hauptsächlich Fluor und Chlor eingesetzt. Man spricht dann, je nach Ausgangsstoff von einem **Methan-, Ethan-, oder Propanderivat\***. Seit man die Ozon abbauende Wirkung des Chlors nachweisen konnte, wird praktisch nur noch mit Fluor halogeniert. Dies hat natürlich die Anzahl möglicher Derivate stark reduziert. Dies ist der Grund, das heute sehr viele Kältemittelmischungen am Markt zu finden sind.

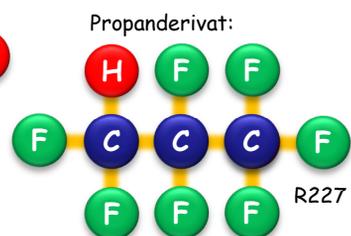
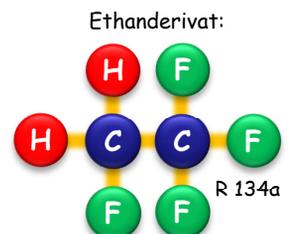
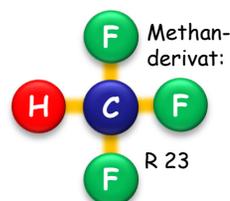
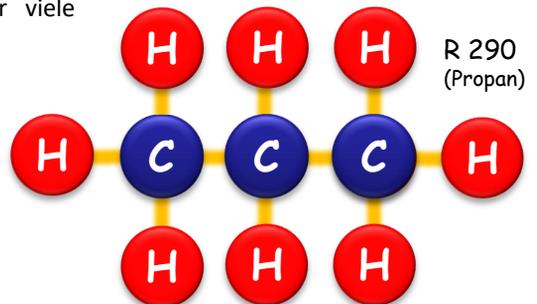
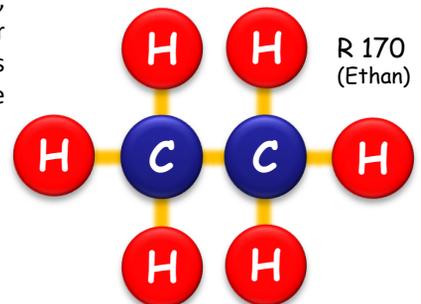
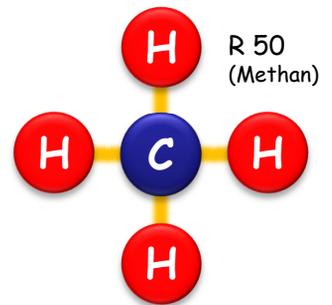
Auf diese Art ist es möglich, eine gewisse Anzahl von Derivaten, basierend auf Methan, Ethan oder Propan, herzustellen. Je mehr Wasserstoff das KW enthält, desto mehr Derivate sind realisierbar. Da es neben den genannten eine Vielzahl an weiteren Kohlenwasserstoffen gibt, sind weitere Verbindungen möglich.

Gerade mit dem Ziel kleinerer Stabilität (und damit schnellerer Abbaubarkeit nach einer Emission → kleinerer GWP) werden vermehrt Verbindungen mit Doppelbindung eingesetzt. Sauberes Arbeiten garantiert aber eine genügende Stabilität im Kältekreislauf.



Alle diese Verbindungen sind ungiftig, können aber bei der unkontrollierten Verbrennung zu giftigen Zersetzungsprodukten führen.

Weitergehende Informationen zur Herstellung wie z.B. Kältemitteldreiecke können aus dem Internet bezogen werden.



Jeder Hersteller kann seine Kältemittel unter eigenem Namen auf den Markt bringen. Gerade die häufig eingesetzten Stoffe werden dann, je nach Hersteller, unter diversen Bezeichnungen angeboten. Dabei die Übersicht zu behalten und gleiche oder ähnliche Stoffe unterscheiden zu können, ist nicht einfach. Es gibt aber eine international anerkannte Alternative zu diesen herstellerspezifischen Bezeichnungen: die sogenannte **ASHRAE\*-Bezeichnung**, hat sich als Standard für Kältemittelbezeichnungen praktisch weltweit etabliert. Nach Möglichkeit sollten nur diese Bezeichnungen verwendet werden. Missverständnissen können so vermieden werden, weil die ASHRAE-Bezeichnung herstellerunabhängig ist.

## Refrigerant (Kältemittel)

Eine ASHRAE - Bezeichnung erkennt man daran, dass diese immer mit dem Buchstaben «R» beginnt. Es wird empfohlen, nur diese Bezeichnungen zu verwenden.

### 4. Ziffer = Anzahl Doppelbindungen

Besitzt das Molekül keine Doppelbindung, wird eine 0 gesetzt. Führende Nullen werden nicht geschrieben. Alle Bezeichnungen mit 2 oder 3 Ziffern sind somit Einfachbindungen.

### 3. Ziffer + 1 = Anzahl Kohlenstoff

Besitzt das Molekül nur ein Kohlenstoffatom, wird diese Ziffer zu 0. Führende Nullen werden nicht geschrieben. Alle Bezeichnungen mit zwei Ziffern sind somit Methanderivate.

### 2. Ziffer - 1 = Anzahl Wasserstoff

Moleküle ohne Wasserstoff erhalten an dieser Stelle eine 1. Somit ist ausgeschlossen, dass diese Ziffer zu 0 wird. Je höher diese Ziffer, umso eher ist das Molekül brennbar.

### 1. Ziffer = Anzahl Fluor

Der Chlorgehalt wird nicht direkt angegeben und ergibt sich über die jetzt noch freien «Arme» des Moleküls, wird somit im Ausschlussverfahren bestimmt.

## Anordnung Atome um C-Kern

Es können ein oder zwei **Kleinbuchstaben** der numerischen Bezeichnung folgen. Diese geben die Anordnung der Atome um den Kohlenstoffkern an. Sie werden vergeben und folgen keiner Logik. Achtung: in Kältemittelmischungen zeigt der **Grossbuchstabe** die prozentuale Verteilung der Mischungsbestandteile an.



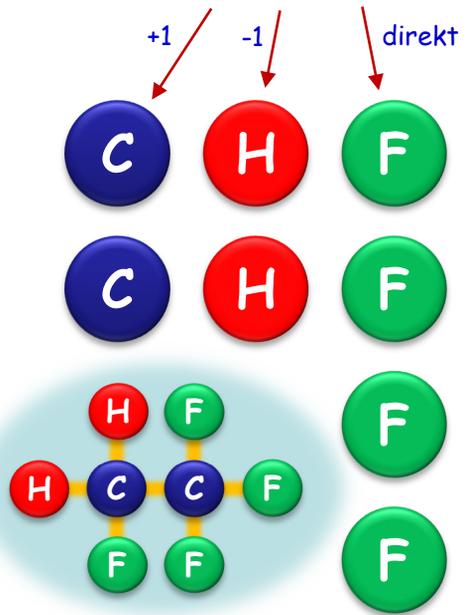
**Hinweis:** Die Ziffern sind von rechts nach links zu betrachten (z.B. 1. Ziffer = **1. Ziffer von rechts** = Anzahl Fluor).

## Beispiel:

# R 134a

Am Beispiel von R134a wird hier gezeigt, wie man von der ASHRAE-Bezeichnung zur Strukturformel gelangt. Der ASHRAE-Schlüssel bezieht sich auf Derivate des Methans, Ethans oder Propans. Der Kohlenstoff ist immer im Kern des Moleküls. Da Verbindungen mit Kohlenstoff der organischen Chemie entspringen, sind alle Kältemittel der Gruppen KW, H-FKW, H-FCKW, FCKW und HFO organische Kältemittel.

Dank der Logik der Bezeichnung ist es möglich, jedes organische **Kältemittel** auf seine **Bestandteile** zu untersuchen und in der zugehörigen Gruppe zuzuordnen. Damit lässt sich auch beurteilen, ob das gewählte Kältemittel gesetzlich erlaubt und objektbezogen eine vernünftige Lösung darstellt.



### Zusammenfassung organische Kältemittel:

#### Kältemittel enthält nur Kohlenstoff & Wasserstoff:

- Es handelt sich um ein **KW** - Kältemittel
- Gute Alternative mit kleinem GWP und keinem ODP
- Sicherheitsvorschriften beachten: KW's sind brennbar

- kleiner GWP
- kein ODP
- brennbar

natürlich

#### Kältemittel enthält Kohlenstoff, Wasserstoff, Fluor & Doppelbindung/en:

- Es handelt sich um ein **HFO** - Kältemittel
- Moderne Alternative ohne ODP und nur kleinem GWP
- Sicherheitsvorschriften beachten: HFO's können brennen

- kleiner GWP
- kein ODP
- meist kaum brennbar (A2L)

synthetisch

#### Kältemittel enthält Kohlenstoff, Wasserstoff & Fluor:

- Es handelt sich um ein **H-FKW** - Kältemittel
- Kältemittel ohne ODP aber grossem GWP
- Teilweise verboten

- grosser GWP
- kein ODP
- meist nicht brennbar (A1)

synthetisch

#### Kältemittel enthält Kohlenstoff, Wasserstoff, Fluor & Chlor:

- Es handelt sich um ein **H-FCKW** - Kältemittel
- Nur noch bestehende Anlagen, sonst verboten
- Nicht mehr am Markt

- grosser GWP
- kleiner ODP
- heute verboten

synthetisch

#### Kältemittel enthält Kohlenstoff, Fluor & Chlor:

- Es handelt sich um ein **FCKW** - Kältemittel
- Nur noch bestehende Anlagen, sonst verboten
- Nicht mehr am Markt

- grosser GWP
- grosser ODP
- heute verboten

synthetisch

Vom ökologischen Standpunkt aus wären die natürlichen, reinen Kohlenwasserstoffe als Kältemittel ideal. Nicht für jeden Fall geeignete physikalische Daten und ihre Brennbarkeit haben zu den Derivaten geführt. Heute ist ein Halogenieren nur noch mit Fluor zulässig. Daher finden sich auf dem Markt gegenüber früher nur noch eine deutlich reduzierte Anzahl an noch zulässigen, synthetischen Verbindungen.

Dies führte dazu, dass einerseits andere, nicht organische Stoffe auf ihren Einsatz als Kältemittel geprüft werden, andererseits die bekannten, erlaubten organischen Kältemittel in Mischungen unter neuen Namen auf dem Markt sind. Der gewünschte Siedepunkt wird durch Vermischen von bis zu vier Einstoffkältemittel\* erreicht. Für solche Kältemittelmischungen wurde die **Gruppe 400** eingeführt. Anpassungen sind dabei auch durch Verschiebung der prozentualen Mischungsanteile machbar. Mischungen gleicher Kältemittel aber unterschiedlicher prozentualer Verteilung werden mit identischen Nummern gekennzeichnet. Die Unterscheidung geschieht durch einen angehängten Grossbuchstaben.

Mischungen von Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen neigen dazu, sich beim Verdampfen oder Verflüssigen aufzutrennen, da die eine Flüssigkeit vor der anderen zu sieden oder kondensieren beginnt. Man spricht hier von einem **zeotropen** Verhalten. Die Differenz der Siedepunkte der höchst-siedenden zur tiefst-siedenden Komponente wird als **Gleit** bezeichnet.

Daher müssen solche Mischungen **flüssig in das System eingefüllt werden**, was zum Schutze des Verdichters einen nach dem Sammler montierten **Füllhahn** erforderlich macht. Ein Füllen in der Dampfphase ist nur zulässig, wenn der gesamte Inhalt der Flasche eingefüllt wird oder ein zuvor auf die korrekte Menge gefüllter **Füllzylinder** zum Einsatz kommt.

In besonderen Fällen ist es möglich, dass die Mischung zweier Einstoffkältemittel unterschiedlicher Siedetemperatur trotzdem zu einem einheitlichen Siedepunkt führt. Der **Gleit\*** wird dann entsprechend zu 0. Solche Mischungen werden als **azeotrop\*** bezeichnet, und sind in der **Gruppe 500** eingereiht. Da kein Siedeversatz auftritt, dürfen solche Kältemittel wie ein Einstoffkältemittel behandelt werden. Azeotrope Mischungen sind bedeutend seltener als zeotrope. Daher findet man heute eine Vielzahl 400er, aber nur wenige 500er Mischungen. 400er Kältemittel werden auch als nahe-azeotrop\* bezeichnet.

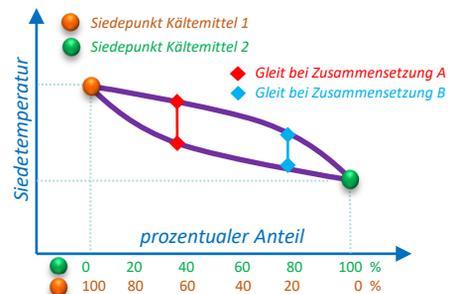
Weitergehende Informationen zum speziellen Verhalten von Kältemittelmischungen, physikalischen Vor- und Nachteilen können im Internet bezogen werden

Da mit Derivaten heute nicht mehr der gesamte benötigte Bereich abgedeckt werden kann (Wegfall von Chlor), müssen die gewünschten Daten oft durch Mischen diverser Kältemittel erzielt werden.

Der **Gleit** zeigt auf, wie stark eine Mischung zum Auftrennen der Komponenten neigt. Kältemittelmischungen mit **Gleit** sind in der Gruppe 400 eingegliedert.

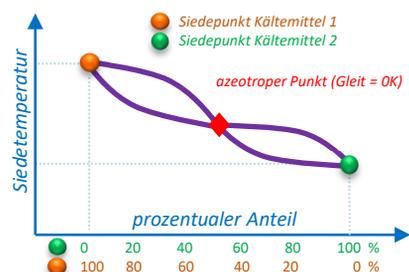
Kältemittel der Gruppe 400 müssen unbedingt flüssig in das System eingefüllt werden.

Nach Leckagen kann sich die prozentuale Zusammensetzung der 400er - Mischungen ändern.



Kältemittelmischungen ohne **Gleit** sind in der ASHRAE-Gruppe 500 aufgeführt. Es handelt sich um azeotrope Mischungen.

Azeotrope Mischungen dürfen wie ein Einstoffkältemittel behandelt werden.



Anorganische Kältemittel enthalten entweder **keinen Kohlenstoff** oder sie sind das **Verbrennungsprodukt** einer organischen Verbindung. Die ASHRAE-Bezeichnung identifiziert diese Gruppe dadurch, dass die Bezeichnung mit der Ziffer «7» beginnt. Die reinen Kohlenwasserstoffe und die auf deren Basis entstandenen Kältemittel gehören somit in die Gruppe der organischen Kältemittel.

Alle anorganischen Kältemittel finden sich in der 700er - Reihe.

Nicht alle als Kältemittel geeigneten Stoffe sind aber reine Kohlenwasserstoffe oder bauen auf diesen auf (Derivate). Gerade in den Anfängen der Kältetechnik im neunzehnten Jahrhundert wurden anorganische Stoffe wie Schwefeldioxyd, Ammoniak oder Kohlendioxyd eingesetzt. Die beiden letztgenannten Verbindungen erleben heute eine Renaissance als Kältemittel.

In der Nomenklatur dieser Kältemittel folgen auf die führende «7» zwei weitere Ziffern. Die daraus gebildete Zahl entspricht dem Molekulargewicht\* der Verbindung. Die in diesem Lehrmittel genannten 700er Kältemittel gelten als umweltfreundlich und sind somit echte Alternativen. R717 und R744 sind in der Kältetechnik schon lange bekannt. Es müssen aber gewisse Einschränkungen berücksichtigt werden.

#### anorganische Kältemittel:

- R 717 Ammoniak  $\text{NH}_3$
- R 723 azeotrope Mischung
- R 744 Kohlendioxyd  $\text{CO}_2$

#### R 717

Ammoniak verhalf bereits 1876 der Kältetechnik zum Durchbruch. Als giftiges Kältemittel wurde dieses ab 1928 mehr und mehr durch die synthetischen Verbindungen ersetzt. R 717 wird wegen seiner außergewöhnlichen thermodynamischen Eigenschaften hauptsächlich in der Industrie in Grossanlagen eingesetzt. Ausserdem zersetzt es sich nach der Emission schnell und hat daher fast keinen Treibhauseffekt.



#### R 723

Es waren primär die **Probleme der Ölrückführung** bei Einsatz von R717 in Systemen mit Direktverdampfung, welche zur Entwicklung dieses Kältemittels auf der Basis von Ammoniak führten. Gleichzeitig wurde eine Reduktion der Verdichtungs- endtemperatur angestrebt, um einen erweiterten Anwendungsbereich bei einstufiger Verdichtung zu ermöglichen. Das mit dieser Zielsetzung entwickelte Gemisch R723 besteht aus 60%  $\text{NH}_3$  und 40% Dimethylether (DME). Die Mischung zeigt ein azeotropes Verhalten.

#### R 744

Da dieses Gas bei jeder sauberen Verbrennung entsteht, kann es leicht gewonnen werden und verursacht selbst bei einer Emission keinen zusätzlichen Treibhauseffekt. Als Kältemittel der ersten Generation wurde  $\text{CO}_2$  bis 1930 eingesetzt und erlebt heute eine Renaissance. **Sehr hohe Systemdrücke** bedürfen aber angepasster Bauteile, zudem läuft der Prozess oberhalb von  $31^\circ\text{C}$  überkritisch ab, was der **Performance** schadet und den Einsatz in warmen Regionen einschränkt.

#### Zusammenfassung ASHRAE-Bezeichnung:

**erste Ziffer ungleich 0:** (z.B. R1234yf)  
organische Einstoffkältemittel mit Doppelbindung

**zweite Ziffer 0, 1 oder 2:** (z.B. R134a)  
organische Einstoffkältemittel

**dreistellig, erste Ziffer 4:** (z.B. R410A)  
zeotrope, organische Kältemittelmischungen

**dreistellig, erste Ziffer 5:** (z.B. R507)  
azeotrope, organische Kältemittelmischungen

**erste Ziffer 7:** (z.B. R717)  
Anorganische Kältemittel

=> Führende Nullen werden weggelassen. <=

ASHRAE Bezeichnung	Besteht aus Bemerkung	Gleit [K]	GWP	Klasse	Siedepunkt [°C] Normdruck
-----------------------	--------------------------	--------------	-----	--------	------------------------------

**H-FKW**

R23	Trifluormethan	0	14'800	A1	- 80,1
R32	Difluormethan	0	675	A2L	- 52,0
R134a	Tetrafluorethan	0	1'430	A1	- 26,3
R507	R125 / 143a 50 / 50 %	azeotrope Mischung	3'980	A1	- 46,7 bis - 46,3
R404A	R125 / 134a / 143a 44 / 4 / 52 %	0,7	3'920	A1	- 46,6 bis - 45,7
R407C	R32 / 125 / 134a 23 / 25 / 52 %	7,2	1'770	A1	- 43,8 bis - 36,6
R407F	R32 / 125 / 134a 30 / 30 / 40 %	6,4	1'824	A1	- 45,5 bis - 39,1
R410A	R32 / 125 50 / 50 %	0,2	2'090	A1	- 52,3 bis - 52,1
R437A	R134a / 125 / KW 78,5 / 19,5 / 2 %	6,9	1'680	A1	- 35,0 bis - 28,1
R417A	R125 / 134a / 600 46 / 50 / 4 %	5,6	2'350	A1	- 43,0 bis - 37,4
R422D	R125 / 134a / 600a 65 / 32 / 3 %	4,7	2'729	A1	- 46,2 bis - 41,5

Gleit < 1K: in der Praxis keine Probleme zu erwarten  
Gleit > 5K: Probleme nach Leckagen / nicht korrektem Befüllen

**HFO**

R1234yf	Einstoffkältemittel	0	3	A2L	- 29,4
R1234ze	Einstoffkältemittel	0	3	A2L	- 19,0

**KW**

R170	Ethan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	3	A3	- 88,6°C
R290	Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0	3	A3	- 42,0°C
R600a	Isobutan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	3	A3	- 11,7°C
R1270	Propylen C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	3	A3	- 47,6°C

**anorganisch**

R717	Ammoniak NH <sub>3</sub>	0	0	B2L	- 33,4
R723	R717 / DME 60 / 40%	azeotrope Mischung	0	B2L	- 36,6
R744	Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	0	1	A1	- 56,6 / 5,18bar (Tripelpunkt)

Das Kälteöl als zweiter Betriebsstoff nebst dem Kältemittel gilt als «notwendiges Übel». Versuche mit ölfreien Systemen zeigten bisher mehr Nachteile, als sich durch einen ölbehafteten Betrieb ergeben: laute Betriebsgeräusche, hoher Verschleiss, etc. Die Hauptaufgabe des Kälteöls ist die Schmierung aller beweglichen Teile, vorwiegend des Verdichters. Je nach Anlagentyp kann das Öl aber noch bis zu drei Sekundäraufgaben übernehmen.

#### Aufgaben des Kälteöls:

- primär:* Schmierung der beweglichen Teile
- sekundär:* 1. Geräuschdämmung  
2. Abdichtung  
3. Kühlung

Jedes System erreicht durch das Kälteöl einen **leiseren Betrieb**. Auftretende Geräusche (Reibung) infolge Öl Mangels lassen die entsprechende Komponente übermässig verschleissen. **Abdichten** ist speziell bei offenen Verdichtern wichtig, um Kältemittellemissionen beim Wellensiegel zu vermeiden. Aber auch innerhalb des Verdichters wird ein Zurückfliessen der Kältemitteldämpfe von der Hoch- zur Niederdruckseite durch einen Ölfilm vermieden. In den Lagern **kühlt** das Kälteöl die Reibungsflächen und gibt die Wärme an das Kältemittel weiter.

Hermetische Verdichter in Haushaltskühlschränken lassen das zirkulierende Öl an der Kapselinnenwand herunterfliessen, wobei dessen Wärme an das Gehäuse (Kapsel) übertragen wird. Somit kann in einer aufmontierten Schale das Abtauwasser verdunsten, ein Ablauf wird nicht benötigt.

Nicht alle Kältemittel können mit jedem Kälteöl betrieben werden. So ergeben sich beispielsweise grosse Mischungslücken, wenn Mineralöl in Systemen mit H-FKW oder HFO Kältemitteln zur Anwendung gelangt.

Verschmutzungen im Kältesystem können zur Zersetzung des Kälteöls führen. Insbesondere bei vorhandenem Sauerstoff bilden sich Säuren, welche Komponenten angreifen und zerstören sowie das Kältemittel zersetzen können. Chemisch bedingte Ausfälle werden aber unter Umständen erst Jahre später zu Symptomen führen, was die Diagnose erschwert.

#### Erwünschte Eigenschaften:

- schmierfähig bei allen auftretenden Temperaturen und Drücken.
- mischbar mit dem verwendeten Kältemittel (kleine Mischungslücke\*).
- darf weder mit im System vorhandenen Materialien noch mit dem Kältemittel reagieren.
- darf vorhandene Kunststoffe nicht zum Aufquellen bringen.

Welches Öl eingesetzt wird hängt in erster Linie vom eingesetzten Kältemittel und den verwendeten Materialien ab: die erwünschten Eigenschaften müssen erfüllt sein.

Das typische Kälteöl für chlorhaltige oder nicht halogenierte organische Kältemittel (FCKW, H-FCKW, KW) war das Mineralöl. Dieses vermischt sich nur mit nicht polaren\* Molekülen, es ergeben sich bei Verwendung mit H-FKW oder HFO Kältemitteln grosse **Mischungslücken\***. Daher ist bei einer Umrüstung von FCKW oder H-FCKW auf H-FKW oder HFO auch das Kälteöl zu ersetzen. Der Restgehalt an Mineralöl nach der Umrüstung darf dabei 5% im Klimabereich, 3% im Normalkühlbereich und 1% im Tiefkühlbereich nicht überschreiten. Grössere Restmengen können zu Ausscheidungen von Paraffin führen, welche im Verdampfer den Wärmefluss hemmen.

Mineralöl

Für Anlagen mit chlorfreien Sicherheitskältemitteln (H-FKW) wird heute üblicherweise Esteröl oder POE-Öl eingesetzt. Da es sich um polare Verbindungen handelt muss beachtet werden, dass diese durch ihr **hygroskopisches Verhalten** dazu neigen, sich mit Feuchtigkeit aus der Luft zu sättigen. Daher darf das Gebinde erst unmittelbar vor dem Einfüllen geöffnet werden und soll danach möglichst schnell aufgebraucht werden.

Esteröl

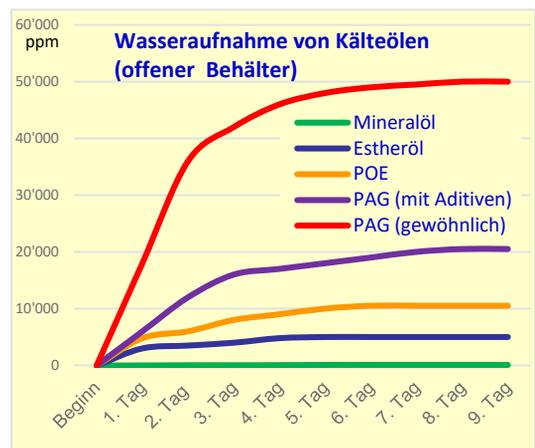
POE-Öl

Die **Schutzgasfüllung** eines mit Esteröl vorgefüllten Verdichters darf erst unmittelbar vor dem Vakuumieren abgelassen werden. Wird durch das Einbinden des Verdichters ins System ein Abblasen unumgänglich und wird danach nicht unmittelbar vakuumiert, muss die Schutzgasfüllung mit **trockenem Stickstoff** wieder hergestellt werden.

**modifizierte PAG-Öle** sind stärker hygroskopisch als Esteröle. Daher kommen diese nur dort zum Einsatz, wo Probleme mit der Materialkompatibilität (z.B. aufquellende Dichtungsmaterialien) den Einsatz von Esteröl verhindern. Das PAG-Öl besitzt eine höhere Kompatibilität mit den schon bei Mineralöl eingesetzten Materialien, kann daher auch bei Umrüstungen zum Einsatz kommen.

PAG-Öl

Nimmt PAG, POE oder Esteröl aus der Luft Feuchtigkeit auf, wird diese chemisch gebunden. Somit kann dieses durch Vakuumieren des Systems nicht mehr getrocknet werden. Feuchtes Öl muss ersetzt werden. Mit Feuchtigkeit gesättigtes Kälteöl kann Säure bilden und Komponenten sowie Kältemittel angreifen. Es ist daher schon während der Montage auf peinliche Sauberkeit zu achten. Keinesfalls dürfen Wasser oder andere Fremdstoffe in die Kälteleitungen gelangen. Solche können als Katalysatoren zur Bildung von Säuren und anderen Zersetzungsprodukten wirken. Sowohl Kälteöl als auch Kältemittel enthalten die zur Säurebildung notwendigen Stoffe. Daher sind Komponenten und Leitungsegmente auch während der Montage immer verschlossen zu halten.



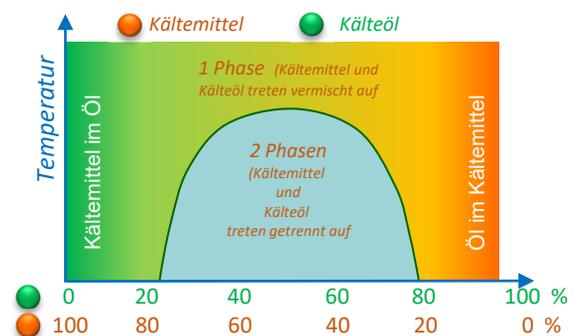
Besteht der Verdacht nach einer beginnenden **Versäuerung**, muss unbedingt ein Öltest vorgesehen werden. Ist dieser positiv, müssen nebenstehend aufgeführte Arbeiten exakt und in der richtigen Reihenfolge ausgeführt werden. Werden nicht sämtliche Säurezellen entfernt oder gebunden, beginnt die Versäuerung immer wieder von neuem.

**Vorgehen bei saurem Kälteöl:**

- Altes Öl entfernen, System mit erlaubten Stoffen spülen.
- System Vakuumieren, Vakuum mit trockenem Stickstoff brechen.
- Filtertrockner ersetzen, Säurefilter in die Saugleitung einbauen.
- Füllen mit Kältemittel und Kälteöl.
- Monatliche Kontrollen, nötigenfalls beide Filter mehrmals ersetzen.

**Ölverlagerungen**

Ins System ausgeworfenes Kälteöl muss kontinuierlich zum Verdichter zurückbefördert werden. Da das Öl in kalten Bereichen (Verdampfer, Saugleitung) schlechte Fließeigenschaften aufweist, muss dieses durch dampfförmiges Kältemittel soweit verdünnt werden, dass es mittels der strömenden Dämpfe mitbefördert wird. Dies gelingt nur, wenn sich Kältemittel und Kälteöl prinzipiell vermischen lassen. Das **Mischungslückendiagramm** zeigt für jede Paarung eines Kältemittels / Kälteöls diese charakteristischen Eigenschaften und zeigt nicht mischbare Bereiche auf.



# 7

## Recycling & Entsorgung

Hat die Kühlanlage ihre Standzeit erreicht, so müssen die in ihr enthaltenen Betriebsstoffe fachgerecht entsorgt oder recycelt werden. Idealerweise wird eine Anlage nach Erstellung mit ihrer ersten Füllung in Betrieb gesetzt, während ihrer Betriebszeit fachgerecht gewartet und nach Ablauf der Standzeit mit ihrer ersten Füllung fachgerecht entsorgt. Ziel: Leckagen und damit Emissionen sind auf ein nicht vermeidbares Minimum zu beschränken. Emissionen werden sich nie zu 100% vermeiden lassen. Aber je verantwortungsbewusster die Fachpersonen mit diesen Stoffen umgehen, desto näher kann man diesem Ziel kommen. Denn wenn praktisch keine Emissionen mehr stattfinden, muss die Politik auch nicht lenkend eingreifen.

### 7.1

## Entsorgung durch Vernichtung

Kältemittel und Kälteöl aus einer zu entsorgenden Anlage wird dem Lieferanten zurückgegeben. Dieser wird es sammeln und zu einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage weiterleiten. Damit keine giftigen Zersetzungsprodukte entstehen muss die Verbrennung bei über 2'000°C stattfindet, wobei die entstehenden Zersetzungsprodukte kontrolliert werden müssen. Die ungiftigen Abgase werden danach an die Umwelt abgegeben.

### Entsorgung:

Die Betriebsstoffe werden kontrolliert bei Temperaturen von über 2'000°C verbrannt.

### 7.2

## Primärrecycling

Damit ein Primärrecycling durchgeführt werden kann, muss das Kältemittel sortenrein sein. Sind die Kältemittel vermischt, werden diese entsorgt. Das Aufbereiten macht aber nur Sinn, wenn der recycelte Stoff danach wieder eingesetzt werden darf, also gesetzlich erlaubt ist.

Das Kältemittel wird in der Recyclinganlage zuerst von hochsiedenden Rückständen (z.B. Kälteöl) getrennt, entsäuert und getrocknet. Danach gelangt es in Originalqualität zurück in den Verkauf.

### Bedingungen für das Recycling:

- Das Kältemittel muss gesetzlich erlaubt sein.
- Das Kältemittel muss sortenrein sein.

### 7.3

## Sekundärrecycling

Im Sinne des «industrialisierten Ökosystems» \* ist es an und für sich schade, hochraffinierte Stoffe wie gebrauchte, halogenierte Kältemittel (z.B. R12, R22, etc.) durch Verbrennung zu vernichten. Zudem entstehen auch dabei Abgase, welche den Treibhauseffekt fördern. Beim Sekundärrecycling werden die Kältemittel zuerst thermisch zersetzt. Die entstehenden Zersetzungsprodukte werden unter Zuführung anderer Reaktionsstoffe (Wasserstoff und Sauerstoff) in weiter verwendbare Produkte umgewandelt. Je nach zugegebenem Kältemittel entsteht Flusssäure, Salzsäure und diverse Salze, welche für weitere Prozesse und Anwendungen verwendet werden können.

### Sekundärrecycling:

Das Kältemittel wird chemisch in seine Bestandteile zersetzt, es entstehen neue Verbindungen:

- Flusssäure
- Salzsäure
- Diverse Salze

Was der Laie als **Kälte** bezeichnet, ist lediglich ein Zustand mit **kleinem Wärmeinhalt**. Kühlen heisst dementsprechend, dem zu kühlenden Raum Wärme zu entziehen. Die Kühlanlage darf somit als «Wärmetransportanlage» bezeichnet werden. Daher soll zuerst die Wärme (eine Energieform) als eigentliches «Transportgut» jeder Kälteanlage oder Wärmepumpe definiert werden:

Die Bausteine der Materie, die Atome und Moleküle, stehen im Raum nicht still, sondern sie schwingen mit einer gewissen Amplitude\*. Die Intensität dieser Bewegung ist für uns spürbar und wird als Temperatur bezeichnet: Materie mit starken Schwingungen wird als warm oder gar heiss, solche mit tiefem Schwingungsniveau als kalt empfunden. So empfindet der Laie «Wärme» und «Kälte» primär als Gefühl, erst in zweiter Linie als Energieform. Durch die Definition der Wärme als **kinetische Energie der Moleküle** erscheint es logisch, dass es einen **absoluten Nullpunkt** geben muss, bei welchem die Moleküle eines Stoffes keinerlei molekulare Schwingungen mehr aufweisen.

Man kann einem Körper nicht mehr Wärme entziehen als dieser enthält, also bis zum absoluten Nullpunkt. Werden zwei Körper unterschiedlicher Temperatur zueinander gebracht, so wird der wärmere (höhere Schwingungsintensität) dem kälteren (tiefere Schwingungsintensität) prozentual mehr «Stösse» verabreichen, bis ein Gleichgewicht erreicht wird. Daher verläuft der Wärmefluss stets von Orten höherer zu Orten tieferer Temperatur.

Dieses Verhalten ist allen Energieformen zu eigen: Es muss ein Potential vorhanden sein, damit Energie in Arbeit umgewandelt werden kann. Der grösste Stausee kann nur dann zur Gewinnung von Elektrizität dienen, wenn zur Turbine hin eine Höhendifferenz (Potential) besteht. Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass der **absolute Nullpunkt** nicht erreicht werden kann: Man bräuchte dazu eine Dämmschicht, welche den Wärmefluss komplett verhindert. Eine solche totale Isolation gegen den Wärmefluss ist nicht machbar.

Die wichtigsten Kriterien aus diesen Gedanken wurden zu den Hauptsätzen der Wärmelehre zusammengefasst. Jede Kälteanlage / Wärmepumpe muss diese beachten, damit das System funktionieren kann.

Jeder Stoff kann in drei unterschiedlichen **Aggregatzuständen** auftreten: **fest**, **flüssig** und **gasförmig**. In welchem Zustand uns ein Stoff begegnet, hängt von seiner Temperatur und dem Umgebungsdruck ab. Energetisch gesehen ist der feste der energieärmste, der gasförmige der energiereichste Zustand. Insbesondere das Verdampfen einer Flüssigkeit benötigt viel Energie. Daher wurde die Idee, eine Flüssigkeit durch eine Druckabsenkung zum Verdampfen zu zwingen, umgesetzt. Die dazu benötigte Energie muss dann der Umgebung entzogen werden, welche sich dadurch abkühlt.

Energie ist das Vermögen, Arbeit zu verrichten.

Wärme ist molekulare Schwingungsenergie.

Der Wärmeinhalt wird als Enthalpie bezeichnet.

Die Temperatur ist ein Mass für die molekulare Schwingungsintensität.

Der absolute Nullpunkt, bei welchem keine molekulare Schwingung mehr besteht, liegt bei  $-273,15^{\circ}\text{C}$  oder OK.

#### Hauptsätze der Wärmelehre:

1. Wärme ist eine Form von Energie.
2. Wärme fliesst immer von warm nach kalt.
3. Es gibt einen absoluten Nullpunkt.

Normalerweise wird die Energie zum Verdampfen einer Flüssigkeit mittels Wärmequelle bereitgestellt. Die Idee, die benötigte Energie der Umgebung zu entziehen, wird über den **Joule-Thomson-Effekt** umgesetzt. Kompressionskälteanlagen funktionieren nach diesem Prinzip. Die Flüssigkeit, welche hierzu Verwendung findet, wird sinngemäss **Kältemittel** genannt: die benötigte Verdampfungsenthalpie\* zur Verrichtung der Volumenänderungsarbeit wird dem Kühlgut entzogen, welches sich dadurch abkühlt. Entsprechend dem zu kühlenden Objekt werden vier Bereiche der Kältetechnik unterschieden:

### Gewerbekälte

Die Wärme wird **Lebensmitteln** entzogen. Durch die Senkung der Lagertemperatur wird das Fortschreiten von Reife- und Alterungsprozessen verlangsamt (Normalkühlung) oder fast gänzlich gestoppt (Tiefkühlung). Die mögliche Lagerdauer wird erhöht und die Ware vor vorzeitigem Verderb geschützt.

### Prozess- oder Industriekälte

Die Wärme wird für die Verrichtung **automatisierter Prozesse** installierten Maschinen entzogen. Da oft grosse Wärmemengen abgeführt werden müssen, kommt üblicherweise ein Kaltwassersystem zum Einsatz. Somit entsprechen die meisten Prozesskältemaschinen einer **Kaltwasseranlage**.

### Komfortkälte

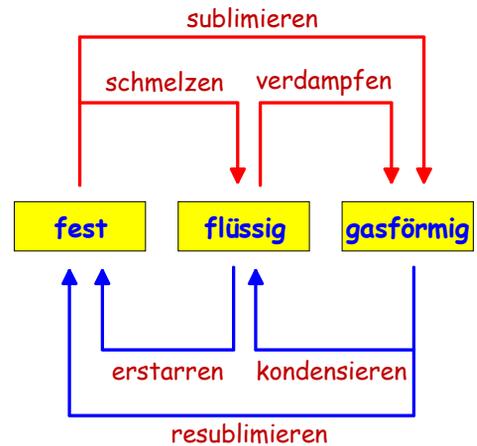
Kältetechnik zu Komfortzwecken, wobei die Wärme **Wohn-, Verkaufs- oder Büroräumen** entzogen wird. Landläufig wird von einer **Klimaanlage** gesprochen. Da das Klima aber nebst der Temperatur auch über die Luftfeuchte definiert wird, handelt es sich bei den üblichen sogenannten Klimaanlage lediglich um Komfortkühlanlagen. Im Falle der PW-Kühlung müssen grosse Wärmemengen innerhalb kurzer Zeit aus dem Innenraum befördert werden.

### Kühlen zu Heizzwecken

Wird anstelle der kalten Seite (Verdampfer) die warme (Verflüssiger) genutzt, spricht man von einer **Wärmepumpe**. Das tiefe molekulare Schwingungsniveau der Umgebung (**Wasser, Erde oder Luft**) wird mittels Kältetechnik auf ein für Heizzwecke brauchbares Niveau angehoben.

### Unterscheidung

Bei gewissen Objekten kann es schwierig sein, eindeutig zu Unterscheiden. So kann eine Kühlanlage für einen Serverraum sowohl als Klima- wie auch als Prozessanlage betrachtet werden. Nach welchen Grundlagen die Anlage letztlich projektiert und ausgeführt wird, soll über deren Wichtigkeit (Redundanz, Folgeschäden bei Ausfall, etc.) entschieden werden.



Energie zuführen :

erwärmen schmelzen erwärmen verdampfen erwärmen

Energie abführen :

abkühlen erstarren abkühlen kondensieren abkühlen



### Joule-Thomson Effekt:

Eine Flüssigkeit wird durch Druckabsenkung zum Verdampfen gezwungen. Die hierzu benötigte Energie zum Vollbringen der Volumenänderungsarbeit wird der Umgebung entzogen, welche sich dadurch abkühlt.

Jede Kühlanlage/Wärmepumpe muss den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre einhalten: Wärme wird nur dann vom Kühlgut zum Verdampfer fließen, wenn dieser kälter ist als seine Umgebung. Umgekehrt wird der Verflüssiger nur dann die Wärme an die Umgebung oder an das Sekundärmedium\* abgeben können, wenn dieser wärmer ist als seine Umgebung/das Sekundärmedium.

Diese Gesetzmässigkeit gilt für die Wärmeübertragungsarten Wärmeleitung (Transmission) und Wärmestrahlung. Wärmetransport (Konvektion) ist in jede beliebige Richtung möglich, sofern Energie von aussen zugeführt wird. Daher muss innerhalb des Kältesystems Energie zugeführt werden, um das Kältemittel und dessen **Wärme** mittels Verdichter vom Verdampfer zum Verflüssiger zu **transportieren**. Das passive Kältemittel übernimmt somit die Aufgabe des Transportbehälters für die Wärme.

### Wärmefluss

Die Wärme des Kühlgutes wird via Luft oder einem flüssigen Sekundärmedium\* (Wasser, Sole, Glykol, etc.) zum Verdampfer transportiert, welches diese an das Kältemittel abgibt. Luft zur Wärmeübertragung wird üblicherweise bei Gewerbekühlanlagen, Komfortkühlanlagen und Wärmepumpen mit der Wärmequelle Aussenluft (Luft/Wasser Wärmepumpe) eingesetzt. Ein flüssiges Sekundärmedium kommt bei Industriekälteanlagen und Wärmepumpen mit der Wärmequelle Erde (Sole/Wasser Wärmepumpe) oder Grundwasser (Wasser/Wasser Wärmepumpe) zum Einsatz.

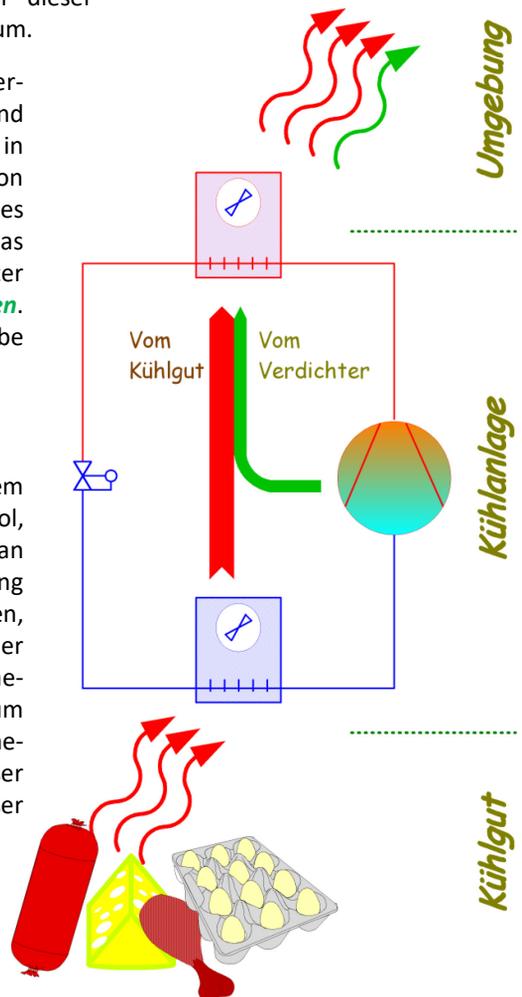
Mit Hilfe dieser Wärme verdampft das Kältemittel. Dieses enthält somit die Wärme aus dem Kühlgut, welches nach diesem Verlust eine tiefere Temperatur aufweist.

Das Kältemittel (und die darin enthaltene Wärme) wird vom Verdichter angesogen, welcher dieses auf einen höheren Druck und eine höhere Temperatur verdichtet. Das Kältemittel gelangt danach zum Verflüssiger, welcher die Wärme an die Umgebungsluft oder an ein Sekundärmedium\* (AWN, Rückkühlnetz, etc.) abgibt.

Der Wärmefluss vom Kühlgut (WP: Wärmequelle) bis zur Umwelt oder dem Sekundärmedium\* (WP: Heiz- oder Brauchwasser) darf nicht unterbrochen oder gehemmt werden. Gerade bei Lastschwankungen ist die Laufzeit von Ventilantrieben zu berücksichtigen.

Alle **Wärmeübertragungswege** sind, wie bei einer **Kette**, in Serie hintereinander angeordnet. Somit gibt das schwächste Glied die maximale Leistung der Anlage vor. Keines dieser Glieder kann nennenswert Wärme speichern, womit ein Stau unmittelbar zu einer Störung führt. Gewünschte Speichermedien werden immer ausserhalb der Anlage angeordnet.

Die Aufgabe der Kälteanlage / Wärmepumpe ist der Wärmetransport.



### Energiebilanz:

Verdampfer  
(aufgenommene Wärme)

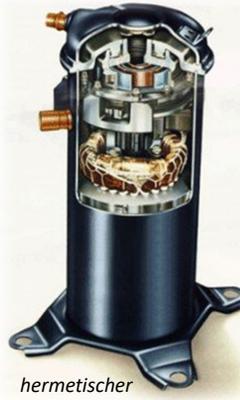
+ Verdichter  
(Antriebsenergie)

= Verflüssiger  
(abgegebene Energie)

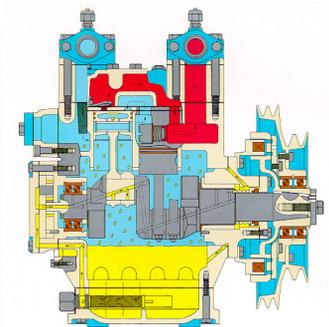
Als Hauptkomponenten werden diese Bauteile bezeichnet, auf welche für den Betrieb eines geschlossenen Kältesystems nicht verzichtet werden kann: Verdichter, Verflüssiger, Drosselorgan und Verdampfer.

### Der Verdichter (Kompressor)

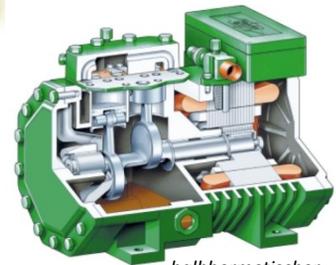
Der Verdichter fördert das Kältemittel von einem tiefen Druck und tiefer Temperatur auf einen höheren Druck und höhere Temperatur. Üblicherweise wird der Verdichter von einem Elektromotor angetrieben, welcher oft im Gehäuse des Verdichters integriert ist (hermetische oder halbhermetische Bauform). Damit kann auf ein Wellensiegel verzichtet werden, die Gefahr einer Leckage verringert sich. Wird der Elektromotor von den Kältemitteldämpfen umströmt spricht man von einem **saugdampfgekühlten** Verdichtermotor.



hermetischer  
Scrollverdichter



offener Hubkolbenverdichter



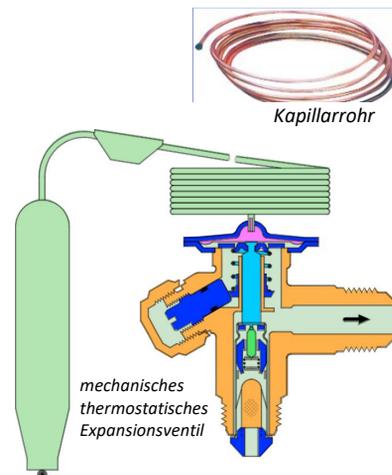
halbhermetischer  
Hubkolbenverdichter

Offene Verdichter sollen nur eingesetzt werden, wenn der Antriebsmotor kein Elektromotor ist oder das Kältemittel die Motorenwicklung angreifen kann (z.B. beim Ammoniak).

### Das Drosselorgan

Das Drosselorgan stellt den Gegenpart zum Verdichter dar: Es bewirkt die nötige Druckabsenkung, damit das eingespritzte Kältemittel seinen Dampfdruck unterschreitet und zu verdampfen beginnt. Im einfachsten Fall (Kühlschrank) handelt es sich lediglich um ein Kapillarrohr\* ohne jede Regelfunktion: der Druckabfall ergibt sich über Länge und Durchmesser des Kapillarrohres. Regelnde Drosselorgane, wie die hier abgebildeten thermostatischen Expansionsventile, verfügen über einen Temperatur- und Drucksensor. Durch Auswertung der gelieferten Signale kann die einzuspritzende Kältemittelmenge auf den einfallenden Wärmestrom angepasst werden. Elektronische Expansionsventile bedürfen einer Regeleinheit und müssen in die Steuerung eingebunden werden.

**Regelnde Drosselorgane** beeinflussen den Massenstrom. Bei verringertem Wärmestrom wird weniger Kältemittel eingespritzt, bei grösserer Last entsprechend mehr. Daher benötigen Anlagen mit regelndem Drosselorgan einen **Sammelbehälter** (Sammler), welcher nicht benötigtes Kältemittel speichern und bei Bedarf ein Mehr an Kältemittel liefern kann.



mechanisches  
thermostatisches  
Expansionsventil



elektronisches  
thermostatisches  
Expansionsventil  
mit Regler

## Der Verdampfer

Der Verdampfer nimmt die Wärme des zu kühlenden Mediums (Luft oder Wasser / Flüssigkeit) auf und gibt diese an das Kältemittel weiter. Verdampfer, welche die Wärme der Luft entziehen, müssen periodisch abgetaut werden, sofern dessen Oberflächentemperatur 0°C unterschreiten kann. Der Lamellenabstand wird dann grösser gewählt als beispielsweise bei einem Verdampfer des Klimabereiches oder bei luftgekühlten Verflüssigern. Wird die Wärme einer Flüssigkeit (Sekundärmedium) entzogen, finden sich hauptsächlich die Bauformen als Platten-, Koaxial- oder Bündelrohrtauscher. Letzterer wird auch als Chiller bezeichnet.

Bei **trockener Verdampfung** wird über ein Drosselorgan nur gerade soviel Kältemittel in den Verdampfer eingespritzt, wie bei der anliegenden Last beim Durchströmen verdampfen kann.

Bei **überfluteter Verdampfung** wird der Verdampfer (hier auch Abscheider genannt) über eine Schwimmerregulierung mit flüssigem Kältemittel überflutet.

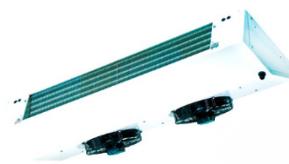
## Der Verflüssiger (Kondensator)

Der Verflüssiger nimmt die Wärme des Kältemittels auf und gibt diese an die Umgebung (Luft) oder an ein Sekundärmedium weiter. Luftgekühlte Verflüssiger müssen periodisch gereinigt werden. Kommt ein flüssiges Sekundärmedium zum Einsatz findet man dieselben Bauformen wie schon beim Verdampfer: Platten-, Koaxial- oder Bündelrohrtauscher.

**Verdampfer** und **Verflüssiger** sind von ihrer Aufgabe her miteinander **verwandt**: beides sind Wärmetauscher. Daher sind sich die Konstruktionen und Bauformen ähnlich. Handelt es sich bei dem Wärme zuführenden (Verdampfer) oder Wärme abführenden (Verflüssiger) Medium um Luft, besitzt der Tauscher meist eine grosse Anzahl Lamellen, um den schlechten Wärmeübergang\* von der Luft / an die Luft mit einer grossen äusseren Oberfläche zu kompensieren. Auf jeden Fall soll der Wärmetauscher aus einem Material bestehen, welches die Wärme gut leitet (hoher Wärmeleitwert\*), z.B. Kupfer oder Aluminium. Bereits Chromstahl leitet die Wärme deutlich schlechter, womit dieses Metall nur bei Anwendungen in aggressiver Umgebung eingesetzt werden soll.

## Der Filtertrockner

Obschon der Filtertrockner nicht zu den Hauptkomponenten gehört, ist er in jeder Anlage vorhanden. In seinem Inneren befindet sich ein **Molekularsieb**\*. Wie der Name schon sagt, ist dessen Aufgabe, im System vorhandene Restfeuchtigkeit und Fremdpartikel zu absorbieren. Die Aufnahmefähigkeit ist beschränkt, daher muss Sauberkeit als oberstes Gebot im Anlagebau akzeptiert werden. Der Filtertrockner wird nach jedem Öffnen des Systems ersetzt.



Verdampfer für die Luftabkühlung



Verdampfer für die Flüssigkeitsabkühlung (Chiller)

Verdampfer zu Komfortkühlanlage (Klimaanlage)



Verdampfer für überflutete Verdampfung



luftgekühlter Verflüssiger



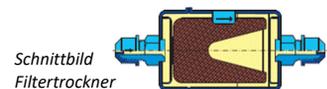
Koaxialverflüssiger



wassergekühlter Verflüssiger



Plattentaucher (Verdampfer oder Verflüssiger)

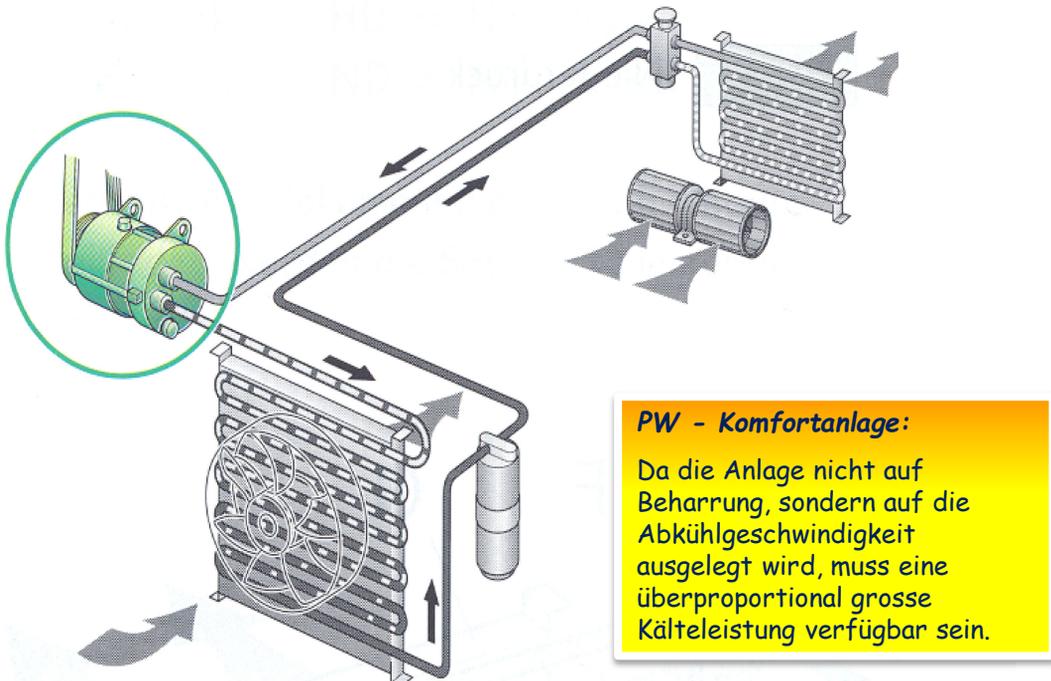


Schnittbild Filtertrockner

### Hauptkomponenten:

- Verdichter (Kompressor)
- Verflüssiger (Verflüssiger)
- Drosselorgan
- Verdampfer

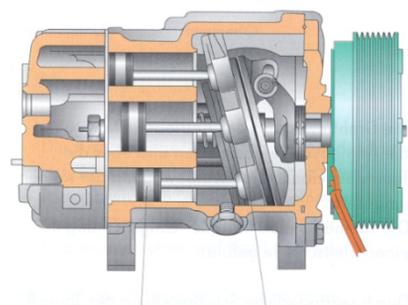
Die Komfortkühlanlage (Klimaanlage) im Fahrzeug nimmt innerhalb der Kältetechnik eine Sonderstellung ein. Einerseits muss sie an einem heissen Sommertag innerhalb kürzester Zeit eine grosse Masse an aufgeheizten Materialien auf eine erträgliche Temperatur abkühlen (die Passagiere stellen dabei den kleinsten Aufwand dar), andererseits sollen die gesamten Komponenten das Gesamtgewicht des Fahrzeuges nicht unnötig erhöhen. Da der Antrieb üblicherweise über den Fahrzeugmotor erfolgt, müssen offene Verdichter eingesetzt werden. Wenn diese elektrisch angetrieben werden, handelt es sich meist um halbhermetische Kompressoren.



Fahrzeuganlagen sind speziell auf dieses Einsatzgebiet optimiert. **Obschon dieselbe Physik wie bei Gewerbe- oder Prozessanlagen zur Anwendung gelangt, erfordern andere Anforderungen angepasste Bauteile und Leitungen.** So ist ein Verdichter gleicher Leistung aus dem Gewerbebereich erheblich schwerer als sein Pendant aus der Autobranche. Diese Einsparung an Material ist aber nur möglich, weil eine Autoklimaanlage im gesamten, ca. 10 bis 15 Jahre dauernden Autoleben nur die Betriebszeit erreicht, welche eine Gewerbe- oder Industriekühlanlage schon nach einem halben Jahr aufweist. Es ist daher auch nicht erstaunlich, dass sich Wartungs- und Umrüstanweisungen der Gewerbe- und Industriekälte nicht auf den Bereich Fahrzeugklimatisierung übertragen lassen.

Es werden üblicherweise (aus Sicherheitsgründen) keine natürlichen, brennbaren KW-Kältemittel eingesetzt. Da im Fahrzeug die Gefahr von Leckagen durch Vibrationen oder Unfälle grösser ist als bei ortsfesten Installationen, müssen alle möglichen Präventivmassnahmen ergriffen werden.

Zwischen 1992 bis 2011 wurde primär das Kältemittel **R134a (H-FKW)** eingesetzt, welches bei Fahrzeugen jüngerer Datums nach und nach durch **R1234yf (HFO)** ersetzt wird. Einige Fahrzeughersteller bieten Klimaanlagen bzw. Wärmepumpensysteme mit dem Kältemittel **R744 (CO<sub>2</sub>)** an. Die hohen Betriebsdrücke (Materialbelastung) sind technisch realisierbar, allerdings zu massiv teureren Kosten.



Kolben  
Taumelscheibe

Bei der Planung soll ein Kältemittel gewählt werden, welches ein objektbezogenes Optimum darstellt. Betriebssicherheit, Energetik und Ökologie müssen beachtet werden. Nur wenn jeder Teil der Anlage korrekt ausgelegt, aufgebaut und in Betrieb gesetzt wird, können die hohen Anforderungen erfüllt werden. Der bereits mit dem Kälteöl vorgefüllte Verdichter darf erst unmittelbar vor dem Vakuumieren zum System hin geöffnet werden: das hygroskopische Öl nimmt sonst Feuchtigkeit aus der sich noch im System befindlichen Luft auf. Vor dem Befüllen der Anlage mit Kältemittel muss zuerst eine **Dichtheitsprobe** durchgeführt werden. Danach muss mittels Vakuumpumpe die Luft und andere Fremdgase aus dem System entfernt werden. Es ist eine zweistufige Vakuumpumpe mit **Gasballast\*** erforderlich, damit ein Enddruck von **0,25mbar** absolut erreicht werden kann. Handelt es sich um eine Kältemittelumrüstung (keine Luft im System) genügt ein weniger tiefes Vakuum. In jedem Fall muss aber der Wasserdampfdruck deutlich unterschritten werden.

Im ersten Schritt wird auf einen Druck unterhalb des Wasserdampfdruckes vakuumiert. Danach soll das Vakuum mit trockenem Stickstoff bis leicht in den Überdruck gebrochen werden. Dieser Vorgang reduziert nach dem anschließenden zweiten Vakuumieren den verbleibenden Sauerstoffgehalt erheblich, zudem nimmt trockener Stickstoff Feuchtigkeit auf. Zur Kontrolle des Enddruckes wird ein elektronisches **Vakuummeter** (Torrmeter) benötigt. Dieses ist am entferntesten Teil der Anlage (nicht an der Vakuumpumpe!) anzuschließen. Das Niederdruckmanometer der Messbrücke ist zur Kontrolle nicht geeignet. Befindet sich noch freies Wasser im System, wird dies beim Erreichen des Dampfdruckes zu einem Stagnieren der Vakuumanzeige führen. Bei 20°C Umgebungstemperatur liegt dieser Haltepunkt bei 0,023bar. Hier wird das Wasser ausdampfen, danach wird der Druck weiter fallen (**Vakuumtrocknen**). Da bei fallender Umgebungstemperatur ein immer tieferer Dampfdruck des Wassers unterfahren werden muss, soll bei möglichst hohen Umgebungstemperaturen vakuumiert werden. So beginnt das Wasser bei 5°C erst bei 0,009bar zu verdampfen, bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (0,0061bar und tiefer) findet lediglich noch ein Sublimieren statt.

Da die feuchte Luft durch die Vakuumpumpe gefördert wird, sättigt sich das Vakuumpumpenöl nach einiger Zeit mit Feuchtigkeit. Bei Erreichen des Wasserdampfdruckes bildet sich dann eine Blase im Vakuumpumpenöl, womit ein Erreichen des benötigten Enddruckes unmöglich wird. Daher muss dieses nach **ca. 15 Betriebsstunden ersetzt werden**. Ein Indiz auf gesättigtes Öl liegt auch vor, wenn trotz dichtem System der gewünschte Enddruck nicht erreicht werden kann.

### Grundsätze für den Anlagebau:

- Das eingesetzte Kältemittel soll die Umwelt möglichst wenig belasten (TEWI).
- Die Kältemittelfüllmenge soll so klein wie möglich gehalten werden, ohne jedoch die Leistungsfähigkeit der Anlage zu beeinträchtigen.
- Das System soll so hermetisch wie möglich aufgebaut sein, ohne jedoch Service- und Diagnosemöglichkeiten zu beeinträchtigen.
- Sauberkeit als oberstes Gebot ist unbedingt zu beachten.

### Formieren:

Während dem Lötens ein den Sauerstoff verdrängendes Inertgas durch die Leitung strömen lassen.



Vakuummeter



Vakuumpumpe

Beim Vakuumieren muss ein Enddruck von 0,25mbar absolut erreicht werden.

Das Vakuum ist 1x mit trockenem Stickstoff zu brechen.

Der Verdichter ist erst vor dem Vakuumieren zu öffnen, oder die Schutzgasfüllung muss wieder hergestellt werden.

Vakuumieren bei möglichst hohen Umgebungstemperaturen.

Das Öl der Vakuumpumpe ist periodisch (nach ca. 15 Betriebsstunden) zu ersetzen.

Vom Verdichter ins System ausgeworfenes Öl soll durch das strömende Kältemittel **kontinuierlich** zu diesem zurückbefördert werden. Auch ein Ölabscheider kann nicht verhindern, dass gewisse Ölmengen in die Leitungen gelangen. Es muss gewährleistet sein, dass es bei keinen Betriebsbedingungen (Teillastbetrieb beachten) zu **Ölverlagerungen** kommen kann, oder dass das Öl in Steigzonen während dem Teillastbetrieb zurückfliesst. Bei Anlagestillstand soll das Öl nur bis zum nächsten Über- oder Unterbogen zurückfliessen können.

Die hier aufgeführten Montagebeispiele gelten nur für dampfführende Leitungen. In Flüssigkeitsleitungen besteht keine Gefahr von Ölverlagerungen, da sich in diesen sowohl Kältemittel als auch Kälteöl im gleichen Aggregatzustand befinden und sich somit - sofern Druck und Temperatur nicht innerhalb einer **Mischungslücke** liegen - vermischen lassen.

Der korrekten Montage ist somit oberste Priorität einzuräumen. Nebst benötigten Über- und unterbogen muss bei Verbundanlagen ein korrekter **Saugkollektor** erstellt werden.

Bei einem grossen Bereich der Leistungsregulierung kann in Steigzonen auch eine **doppelte Leitungsführung** notwendig werden. Als Alternative kann die Anlage von Zeit zu Zeit auf Volllast geschaltet werden, auch wenn kein Bedarf vorliegt. Damit wird die Geschwindigkeit in den Leitungen erhöht, das Öl zurück geführt.

Öl in Heissdampfleitungen darf nicht auf die Ventilplatte des Verdichters zurückfliessen können. Bei dessen Start kann dieses Öl sonst die Ventilplatte beschädigen.

Von unten in eine Stammleitung mündende Segmente sollen von oben in diese eingeführt werden damit in der Stammleitung mitgeführtes Öl nicht in die Segmentleitungen fließen kann.

Steigsaugleitungen sollen mit **Über- und Unterbogen** ausgeführt werden. Der Unterbogen verhindert im Stillstand oder Teillastbetrieb ein Auffüllen des Verdampfers oder der horizontalen Leitung mit Öl, während der Überbogen schon gefördert Öl am Zurückfliessen hindert. Steigzonen nach flachen Leitungssegmenten müssen mit einem Unterbogen versehen werden, sobald das Steigsegment höher ist als der Durchmesser der Leitung. Ist die zu überbrückende Höhe grösser als ca. 5m, muss im Steigsegment ca. alle 3m ein Ölbogen vorgesehen werden. Bei grossen Lastschwankungen muss zudem eine Doppelsteigleitung vorgesehen werden.

Um eine Beeinflussung der Expansionsventile durch in den Verdampfer gedrücktes Öl zu verhindern, sollen Steigzonen nach den Kühlstellen in gesonderten Leitungen überwunden werden. So kann jede Leitung auf ihre spezifische Last ausgelegt werden, Schwankungen in der Strömungsgeschwindigkeit bleiben gering.

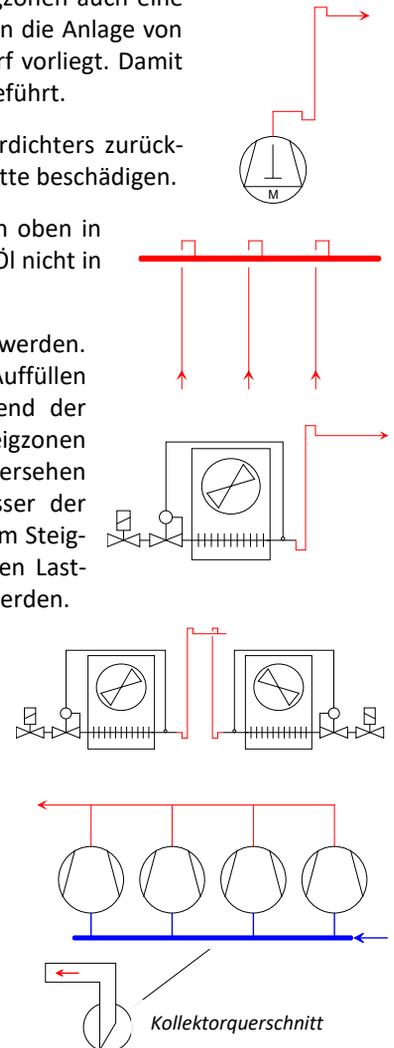
Der Saugkollektor\* von Verbundanlagen soll so konstruiert werden, dass aus dem System zurückkommende Flüssigkeit (Öl und nicht verdampftes Kältemittel) **gleichmässig** auf laufende Verdichter verteilt wird. Durch ein grosses Kollektorrohr kann zudem die Wirkung eines Flüssigkeitsabscheiders erzielt werden, wenn die Leitungen zu den Verdichtern als Injektoren an das Kollektorrohr angeschlossen werden.

### Bedingungen für die Ölrückführung:

- Korrekte Leitungsmontage
- Korrekte Leitungsdimensionierung
- Beachten der Mischungslücke\*

### Ziel:

Ins System ausgeworfenes Kälteöl soll kontinuierlich und gleichmässig zum Verdichter zurückbefördert werden.



Kältemittlemissionen sind auf ein nicht vermeidbares Minimum zu beschränken. Daher muss das Kältesystem eine **hohe Dichtigkeit** aufweisen. Eine sorgfältige Dichtigkeitsprobe muss nicht nur bei der Inbetriebnahme, sondern periodisch erfolgen. Eine absolute Dichtigkeit im akademischen Sinne gibt es nicht. Leider wird diese Tatsache oft missbräuchlich zitiert, um sich der Mühe einer souveränen Dichtigkeitskontrolle zu entziehen. Es darf davon ausgegangen werden, dass eine Anlage, welche eine Leckrate kleiner 3g pro Jahr aufweist, als dicht gilt. Bei einer Füllmenge von beispielsweise 3kg würde eine solche Anlage nach 20 Betriebsjahren immer noch eine Füllmenge von 2'940g enthalten, was weder eine Leistungseinbusse noch eine Verschlechterung der Effizienz nach sich zieht. Eine Leckrate von 3g pro Jahr ist mit jedem tauglichen Leckdetektor festzustellen. Nachfolgend sind die für Sicherheitskältemittel üblichen Methoden aufgeführt sowie deren Nachweisempfindlichkeit. Diese gilt als Richtwert für die feststellbaren Leckraten in g pro Jahr mit dem später eingefüllten Kältemittel. Die aufgeführten Leckraten gelten für R134a.

### Prüfmethoden für die Inbetriebsetzung

Bei grösseren Systemen hat es sich bewährt, die einzelnen Segmente mit **trockenem Stickstoff** auf ca. 15 bar abzudrücken. Obschon die so nachweisbare Leckrate nur ungenau angegeben werden kann, hat man doch die Sicherheit, dass während der Bauphase nicht andere Fremdstoffe ins System gelangen können.

#### Methoden zur Dichtigkeitskontrolle:

Abdrücken mit trockenem Stickstoff  
Seifenwasser (Spray / Pinsel)  
Elektronischer Leckdetektor  
Additives Verfahren

Werden zum Schluss der Montagearbeiten die Segmente der einzeln abgedrückten Leitungen im Maschinenraum zusammengehängt, kann zumindest davon ausgegangen werden, dass keine groben Leckagen vorliegen: undichte oder vergessene Lötstellen, vergessene Verschraubungen, etc. Man kann danach die Lecksuche auf den betroffenen Anlagenteil beschränken.

Bei der **Vakuumprobe** riskiert man bei einem undichten System ein Eindringen von feuchter Luft. Hält sich aber das Vakuum, kann von einem dichten System ausgegangen werden. Diese Methode eignet sich nicht bei Anlagen, die schon in Betrieb waren: Aus dem Öl diffundierendes Kältemittel wird immer einen Druckanstieg zur Folge haben. Zur Anzeige nicht das Manometer, sondern ein Vakuummeter verwenden!



Varianten von Vakuummetern, wobei das analoge nicht mehr empfohlen wird

### Prüfmethoden bei laufender Anlage

Mit dem so genannten **Seifenblasentest** können Leckraten bis auf **250g pro Jahr** lokalisiert werden. Dazu ist Seifenwasser auf die zu kontrollierende Stelle aufzutragen. Bildet sich eine Blase, liegt eine Rinnstelle vor. Übliche Seifenlösung eignet sich, im Fachhandel sind aber auch Lecksuchsprays erhältlich. Der Seifenblasentest eignet sich nur für kleine Systeme, oder aber um in einem kontaminierten Raum die Rinnstelle genau zu lokalisieren.

Am weitesten verbreitet ist die Lecksuche mit Hilfe eines **elektronischen Leckdetektors**. Hierbei wird das gesamte System mit einem Fühler abgesucht. Das Gerät kann Leckagen akustisch oder optisch signalisieren. Mit diesen Geräten kann man Leckraten bis auf **3g pro Jahr** erkennen. Da diese Geräte auch auf andere Umwelteinflüsse reagieren können empfiehlt es sich, die Empfindlichkeitseinstellung nicht zu übertreiben, da sonst diverse Fehlalarme entstehen können. (bei heftiger Bewegung, schlechter Batterie, etc.)



elektronischer Leckdetektor

Bei dem **additiven Verfahren** wird ein Indikatorstoff zusätzlich zum Kältemittel und Kälteöl ins System gegeben. Dieser Stoff tritt bei Leckagen ebenfalls aus. Wird die Rinnstelle mit einer UV-Quelle beschienen, entsteht dort ein stark fluoreszierendes Leuchten. Bei dieser Methode gilt es zu bedenken, dass nach dem Einfüllen des Additivs, je nach Grösse des Systems, zwischen einer Stunde bis mehrere Tage gewartet werden muss, bevor der Indikatorstoff die Rinnstelle erreicht und durch diese austritt. Zudem kann beim Einfüllen eines Drittstoffes ein Verstoß gegen die Garantiebedingungen der Komponentenhersteller vorliegen. Das additive Verfahren ist besonders im Autogewerbe beliebt.



Das Verfahren mit der **gasbetriebenen Absuchlampe** darf nicht mehr eingesetzt werden, da dieses Verfahren nur auf Chlor reagiert und zudem stark toxische Zersetzungsprodukte entstehen. Mit dem Wegfall der chlorierten Kältemittel FCKW und HFCKW ist es daher nicht mehr anwendbar.



### Prüfmethoden für Ammoniak

Bei Ammoniakanlagen kann ebenfalls der Seifenblasentest angewendet werden. **Elektronische Detektoren** liefern aber auch hier die besten Ergebnisse. Die von früher her bekannten Methoden mittels **Schwefelschnitte** oder **Phenophtaleinpapier** sollen nicht mehr angewandt werden.



Leckdetektor für R717

## 9.3

## Die Ölrückführung

Auch wenn ein Ölabscheider montiert ist, wird bei laufender Anlage eine gewisse Menge **Öl ins System** gelangen. Dieses Öl muss kontinuierlich zum Verdichter **zurückbefördert** werden. Keinesfalls darf es zu einer Ölverlagerung kommen mit anschliessender schlagartigen Rückführung einer grösseren Menge, welche den Verdichter durch Ölschläge zerstören kann. Daher muss der Ölrückführung grösste Sorgfalt gewidmet werden. Drei Faktoren müssen berücksichtigt werden:

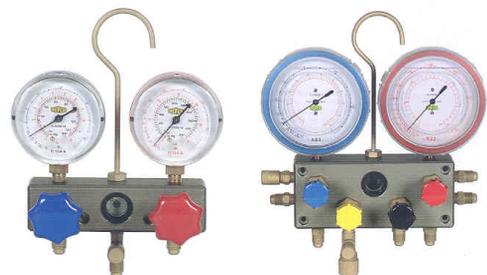
**Der Anlagebauer** muss schon bei der Montage durch Unter- und Überbogen, Siphons, bei Leistungsregelung doppelter Leitungsführung dafür sorgen, dass mitgeführtes Öl nicht zurückfliessen kann und es nicht zu Verlagerungen kommt.

**Der Planer** muss die Leitungen korrekt dimensionieren, damit bei Vollast nicht zu grosse Druckverluste entstehen, bei Teillast aber die Kältemittelgeschwindigkeit nicht unter ein kritisches Mass sinken kann, da sonst das Öl zurückbleibt.

Um den **Öltransport** auch in kalten Segmenten (Saugleitung, Verdampfer) zu garantieren, soll sich das Kältemittel mit dem Kälteöl vermischen lassen. Trennt sich das Öl vom Kältemittel tritt die Gefahr einer Ölverlagerung auf. Man spricht dann von einer **Mischungslücke\***.

### Massnahmen zur Ölrückführung:

1. korrekte Montage (Über- und Unterbogen)
2. korrekte Leitungsdimensionierung
3. beachten der Mischungslücke



Monteurhilfe für Diagnose

Monteurhilfe für Inbetriebsetzung

Wartungsfreie Kälteanlage. Diese Aussage trifft höchstens auf Kleinstgeräte wie Kühl- oder Tiefkühlschränke zu. Jede grössere Anlage jedoch bedarf der regelmässigen Kontrolle und Wartung um **kostspielige Folgeschäden** und **teure Betriebsausfälle** zu vermeiden. Zudem wird der Thermostat bei einer immer schlechter arbeitenden Kälteanlage oder Wärmepumpe die schlechte Leistung **über die Laufzeit kompensieren**. Der Kunde bemerkt dies erst, wenn 24 Stunden Laufzeit pro Tag (abzüglich eventueller Abtauzeiten) nicht mehr ausreichen, um den Wärmetransport zu realisieren.

Denn dann kann die gewünschte Temperatur nicht mehr gehalten werden. Aber zu diesem Zeitpunkt lief die Anlage unter Umständen schon über **Jahre mit einer miserablen Leistungsziffer**. Auch teure Folgeschäden können resultieren, geraten Betriebsparameter allzu weit weg von den erlaubten Einsatzgrenzen. **Dem Kunden ist dieser Sachverhalt unbedingt zu erläutern**.

Ein guter Service soll nicht nur Routinearbeiten beinhalten, sondern auch durch gezielten Einsatz des Fachwissens helfen, nicht disponierbare Störfälle und somit Piketteinsätze zu vermeiden. So ist es mit Hilfe moderner Diagnose- und Messgeräten unter Konsultation von Inbetriebsetzungsprotokoll und Servicejournal möglich, eine **Trendanalyse\*** zu erstellen. Mit den richtigen Diagnosegeräten unter Einsatz des Fachwissens kann immer besser abgeschätzt werden, welche Komponente die nächste Serviceperiode nicht überleben wird. Bevor es zum Ausfall kommt, kann auf diese Art die Störung im Entstehungsstadium diagnostiziert und behoben werden. Der Kunde kann informiert, Material beschafft oder bestellt und der Schaden innerhalb der **normalen, disponierbaren Arbeitszeit** behoben werden. Diese Massnahmen helfen auch mit, Emissionen von Kältemitteln und unnötige **Energiekosten zu vermeiden**. Es sei auch bemerkt, dass die Motivation, eine saubere Arbeit zu leisten, während der regulären Arbeitszeit höher ist als in den Nachtstunden oder am Wochenende.

#### Servicevertrag: 3 x «win»

1. **Kunde** spart Energie, Zeit und Geld. Vermeiden von Betriebsausfällen.
2. **Betrieb** kann übers Jahr disponieren, Umsatz lässt sich abschätzen.
3. **Fachperson** arbeitet überwiegend während der disponierbaren Arbeitszeit, keine Piketteinsätze.

Keine Kälteanlage oder Wärmepumpe ohne einen Servicevertrag!

#### Serviceablauf:

- Vorstellen beim Kunden, Begrüssung, nach dessen Wünschen fragen.
- Konsultieren der Rapportkopien oder des Servicejournals nach früher ausgeführten Service- und Reparaturarbeiten.
- Konsultieren des Inbetriebsetzungsprotokolls nach relevanten Betriebsdaten.
- Kältemittelstand mittels Durchfluss- und Sammlerschauglas überprüfen.
- System auf Undichtheiten absuchen.
- Sichtkontrolle der Lötstellen und Verschraubungen (Ölspuren?).
- Kälteöl auf Verschmutzungen (Abriebteile, Verschlammung, Geruch, etc.) überprüfen.
- Einstellungen aller Thermostate, Pressostate und anderer Regler überprüfen, wenn nötig justieren.
- Betriebsdrücke kontrollieren und mit Sollwerten vergleichen.
- Verdichtungsendtemperatur messen und mit früheren Werten vergleichen.
- Reinigen aller relevanten Apparate und Teile wie Wärmetauscher, Tropfschalen, etc.
- Expansionsventil kontrollieren, eventuell Überhitzung einstellen.
- Allgemeine Reinigungs- und Reglagearbeiten.
- Arbeitsrapport ausfüllen, vom Kunden unterschreiben lassen.
- Servicejournal nachführen oder eine Kopie des Arbeitsrapportes deponieren.
- Verabschiedung.

#### Argumente für einen Servicevertrag:

- Der Kunde muss nicht selbst an den Servicezeitpunkt denken und die Fachfirma aufbieten.
- Eine optimale Einstellung der Anlage ergibt eine gute Leistungsziffer, Energie wird eingespart.
- Teure Folgeschäden oder Betriebsausfälle werden vermieden.
- Die Umwelt wird geschont, Emissionen vermieden.

Die hier dargestellten Kontrollpunkte gelten für eine einfache Standardanlage ohne weitere Funktionen und Komponenten. Die **grün hinterlegten Arbeiten** erfordern die Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln.

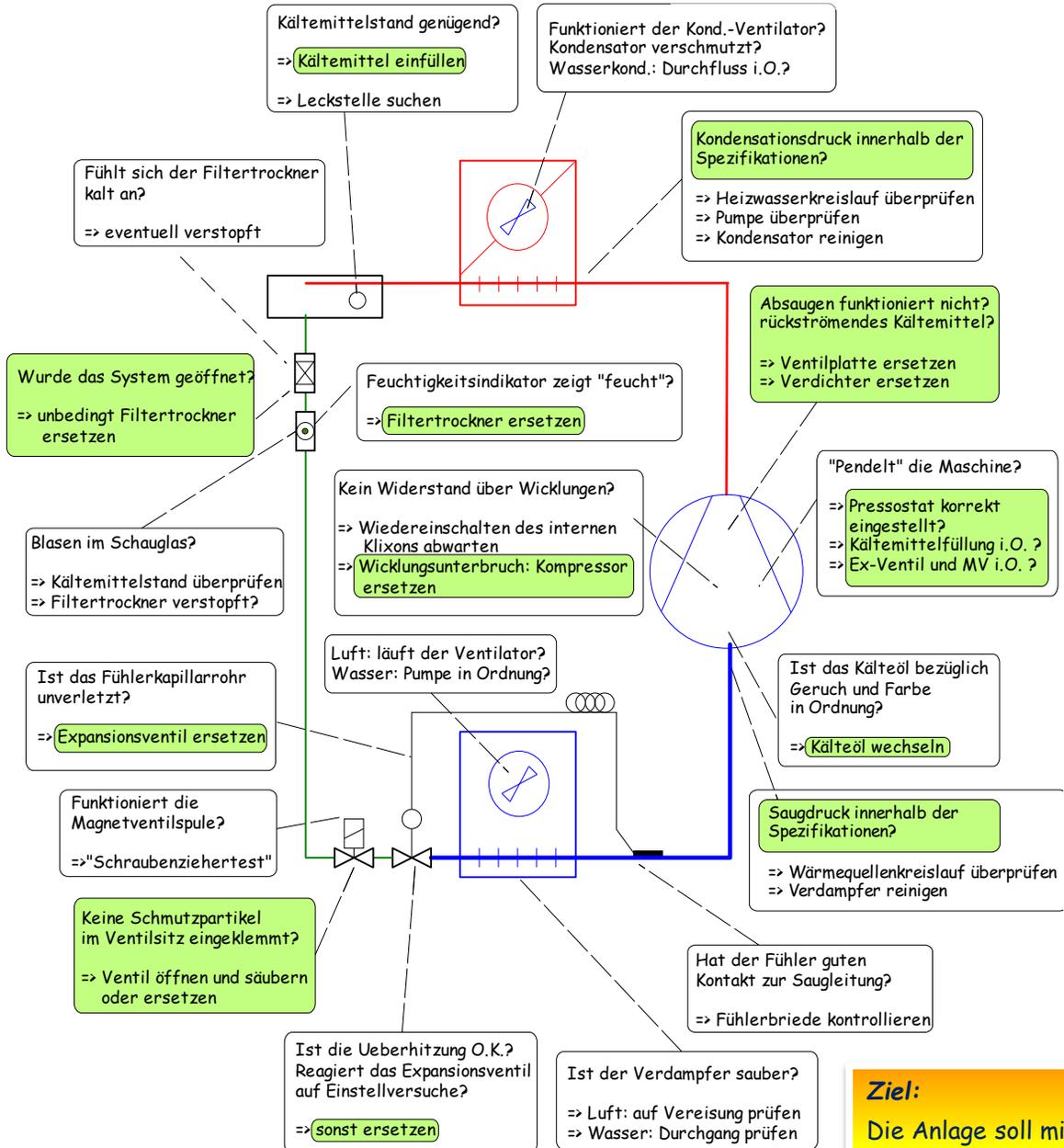
Komplexere Systeme bedürfen **grosser Sachkenntnis**. Die Fachbewilligung berechtigt lediglich zum Umgang mit Kältemitteln indem auf Probleme nach Emissionen aufmerksam gemacht wird. Sie erhebt keinen Anspruch, eine kältetechnische Fachausbildung zu sein.

## Grundsatz:

Störungen verhindern,  
nicht Störungen beheben!

Der Service erschöpft sich nicht in der Feststellung «Anlage läuft» oder «Anlage läuft nicht».

Die korrekte Diagnose gelingt, wenn Fachwissen und Erfahrung verknüpft werden.



## Ziel:

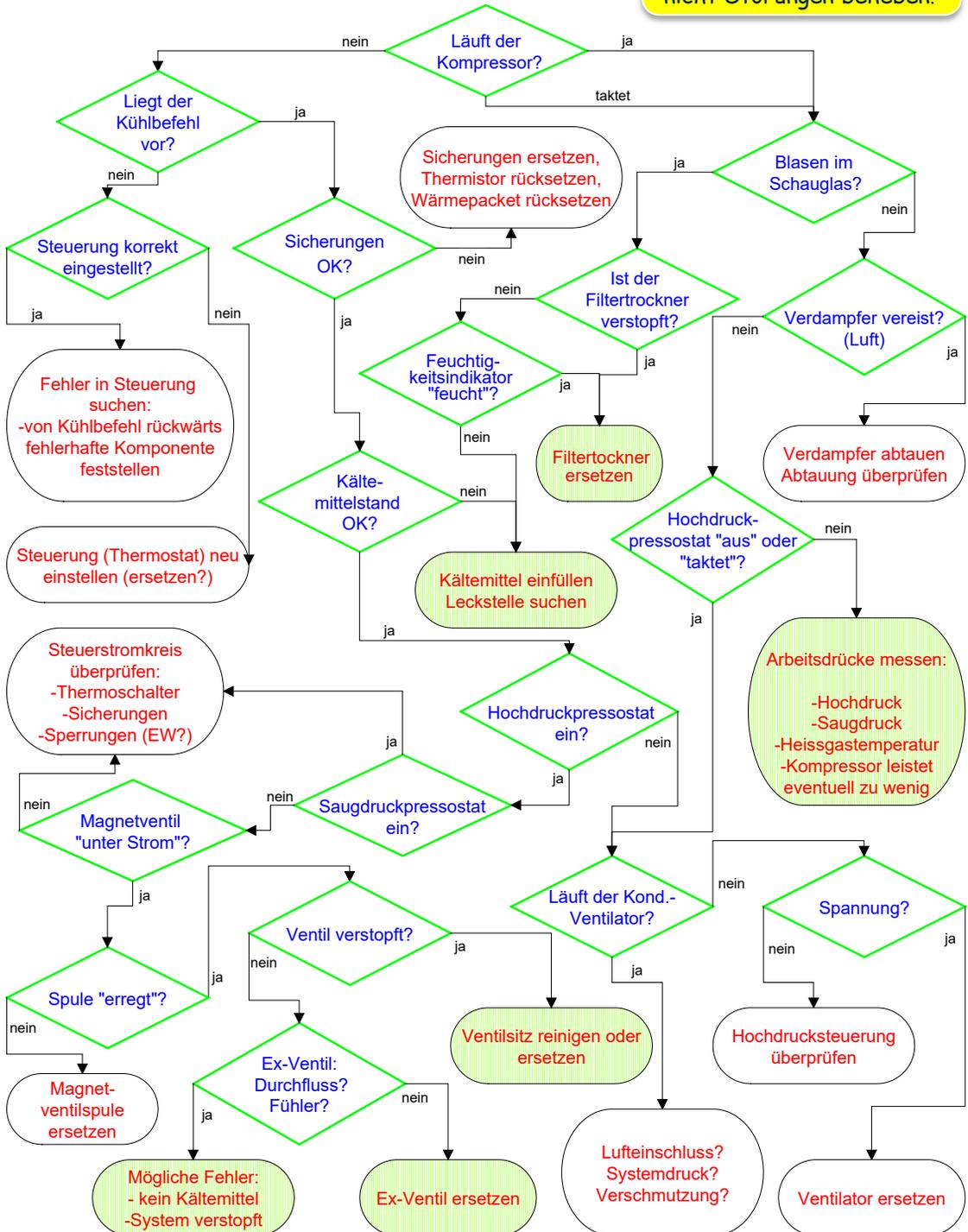
Die Anlage soll mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Nutzen erreichen.

Diese Darstellung erhebt nicht den Anspruch, auf alle Systeme uneingeschränkt anwendbar zu sein. Sie kann aber der noch unerfahrenen Fachperson eine Hilfestellung und bei der Diagnose einen Überblick bieten.

Die Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln ist für alle **grün hinterlegten Arbeiten** erforderlich.

## Grundsatz:

Störungen verhindern,  
nicht Störungen beheben!



Diese Darstellung erhebt nicht den Anspruch, auf alle Systeme uneingeschränkt anwendbar zu sein. Sie kann aber der noch unerfahrenen Fachperson eine Hilfestellung und bei der Diagnose eine Übersicht bieten.

Die Diagnose am Kältesystem erschöpft sich nicht in der Aussage «Anlage läuft» oder «Anlage läuft nicht».

**Absorber:** Kühlgerät welches anstelle des Verdichters einen Sorptionsstoff einsetzt, welcher das Kältemittel nicht transportiert sondern absorbiert. Nach der Sättigung des Stoffes muss das Kältemittel mittels Wärmezufuhr ausgetrieben werden.

**Aerosole:** Ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und Luft. In seltenen Fällen dienen auch andere Gase als Träger.

**Äther:** War das erste, in der Versuchsanlage von Perkins eingesetzte Kältemittel. Wurde auch als erstes Narkose- und Lösungsmittel bekannt.

**Alveole:** Lungenbläschen. Dienen dem Gasaustausch zwischen Lunge und Blut. Das Blut nimmt den Sauerstoffgehalt aus der eingeatmeten Luft auf und gibt den  $\text{CO}_2$  Gehalt des Blutes an die auszuatmende Luft ab.

**Aminosäure:** Werden von der biologischen Zelle als Bausteine verwendet. Die proteinogenen Aminosäuren sind die Bausteine sämtlicher Proteine allen Lebens auf der Erde, sind also nebst den Nucleinsäuren (DNA-Träger) die Grundbausteine des Lebens.

**Amplitude:** Schwingungsbreite. Je höher beispielsweise die Temperatur eines Stoffes, desto stärker seine molekulare Schwingung. Die Amplitude wird grösser.

**ASHRAE:** American society of heating, refrigeration and air-conditioning engineers. Vereinigung amerikanischer Heizungs-Lüftungs- und Kälteingenieure. Legen auch diverse Normen fest, wie z.B. die Kältemittelbezeichnung.

**azeotrop:** Eine Mischung aus Flüssigkeiten unterschiedlicher Siedetemperatur, welche in der Mischung einen einheitlichen aber tieferen Siedepunkt aufweisen. Azeotrope Mischungen verhalten sich nach aussen wie Reinstoffe.

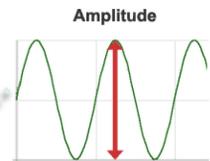
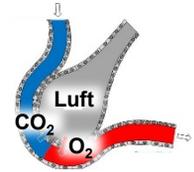
**BAFU:** Behörde der schweizerischen Eidgenossenschaft: Bundesamt für Umwelt. Ist zuständig für die Fachbewilligung über den Umgang mit Kältemitteln.

**Bindegewebe:** Funktionell dient es innerhalb des Organismus nicht nur als Füllmaterial, sondern auch als Wasserspeicher, Verschiebeschicht und als Aufenthaltsraum für zahlreiche freie Zellen. Es dient auch als Stütze, schützt und stabilisiert Organe und trennt sie.

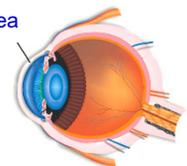
**Cornea:** Hornhaut. Ist der glasklare, von Tränenflüssigkeit benetzte, gewölbte vordere Teil der äusseren Augenhaut.

**c-Wert:** Spezifische Wärmekapazität eines Stoffes. Gibt an, welche Energiemenge aufgebracht werden muss, um 1kg dieses Stoffes um 1K zu erwärmen. Der Stoff mit dem höchsten c-Wert ist Wasser.

**Derivat:** Abkömmling. Wird beispielsweise dem Methan Wasserstoff entfernt und durch ein anderes Element ersetzt, so spricht man vom Derivieren. Das Ergebnis ist ein Derivat. So gibt es in der Kältetechnik nebst den Methan- auch Ethan- und Propanderivate.



Cornea



**Drop-in Umrüstung:** Wird eine Kälteanlage von einem bestehenden auf ein neues Kältemittel umgerüstet, ohne dass Komponenten oder das Kälteöl ersetzt werden muss, so spricht man von einer drop-in-Umrüstung. Vorteil: Schnell und einfach. Nachteil: Die Effizienz steht bei diesem schnellen Verfahren nicht im Vordergrund.

**Einstoffkältemittel:** Kältemittel, welches nur aus einer einzigen Verbindung besteht. Der Umgang mit solchen Stoffen ist einfacher gegenüber den Mischungen.

**Emission:** Eine Abgabe von Substanzen an die Umwelt. Emissionen von Gasen und Dämpfen erreichen einen grösseren Verteilungsgrad als von Flüssigkeiten oder Feststoffen.

**Enthalpie:** Wärmehalt. Jeder Stoff «speichert» die ihm zugeführte Wärme und gibt sie, abhängig von der Temperaturdifferenz, wieder an die Umgebung ab. Die Enthalpie ist ein Mass für die Energie eines Stoffes oder Systems.

**Epidermis:** Oberhaut bei Tieren und beim Menschen. Sie bildet die äusserste Hautschicht, die eigentliche Schutzhülle gegenüber der Umwelt. Sie ist mehrschichtig und besteht zu 90% aus Keratinozyten, den eigentlichen Epidermiszellen. In den obersten Schichten besteht die Epidermis aus verhornten Plattenepithelzellen.

**Exposition:** Das Ausgesetztsein gegenüber der Wirkung von Umwelteinflüssen, Strahlen, Erregern, etc.

**Formiergas:** Inertes Gas, welches während dem Lötten durch die Leitung geblasen wird, um den Sauerstoff zu verdrängen. Dadurch wird die Bildung von Zunder\* vermieden. Als Formiergas wird meistens Stickstoff eingesetzt.

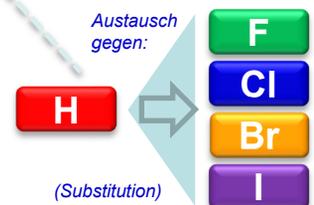
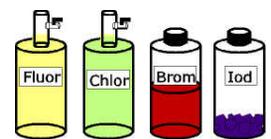
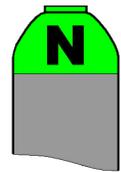
**Gasballast:** Der Gasballast verhindert bei damit ausgerüsteten Vakuumpumpen ein Kondensieren der Luftfeuchtigkeit innerhalb der Vakuumpumpe.

**Gleit:** Siedetemperaturdifferenz in Kältemittelmischungen zwischen der höchst-siedenden zur tiefst-siedenden Komponente. Je grösser der Gleit, desto eher treten Entmischungserscheinungen nach Leckagen und nicht korrektem Befüllen der Anlage auf.

**Halogene:** Familie von Elementen mit hoher chemischer Aktivität. Dazu gehören Elemente wie Fluor, Chlor, Brom und Jod. Die Halogene liegen neben den Edelgasen.

**halogenieren:** Dem Molekül werden Elemente entzogen und durch solche aus der Familie der Halogene ersetzt. Zur Herstellung von organischen Kältemitteln wird einem KW-Molekül Methan, Ethan oder Propan ein Teil des Wasserstoffs entzogen und jeweils durch ein Element aus der Familie der Halogene ersetzt. Moderne Kältemittel werden nur noch mittels Fluor halogeniert.

**H-Sätze:** Die H- und P-Sätze und die ergänzenden EUH-Sätze sind knappe Sicherheitshinweise für Gefahrstoffe, die im Rahmen des global harmonisierten Systems zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS) verwendet werden. Die H- und P-Sätze haben in der GHS-Kennzeichnung eine analoge Aufgabe wie die bei der EU-Kennzeichnung verwendeten R- und S-Sätze.



**industrialisiertes Ökosystem:** Versuch, die Symbiosen der Natur in die Technik zu übertragen.

**Initialzündung:** Ursprünglicher Auslöser

**Kapillarrohr:** Rohr mit einem so kleinen Durchmesser, dass bereits Kapillarkräfte wirksam werden. Wird in der Kältetechnik als einfachste Form des Drosselorgans eingesetzt.

**Katalysator:** Reaktionsbeschleuniger. Das Katalysatorelement wird am Ende der Reaktion immer wieder frei und kann so weitere Reaktionen einleiten.

**Kohlendioxyd:** Verbrennungsprodukt einer sauberen Verbrennung von Biomasse. Kohlendioxyd wurde schon in der Frühzeit der Kältetechnik als Kältemittel eingesetzt, wurde aber dann wegen der hohen Systemdrücke und dem überkritischen Prozess von den Sicherheitskältemitteln verdrängt.

**Kohlenstoff:** Element aus dem Periodensystem der Elemente. Einziges Element, welches mit sich selbst ganze Kettenmoleküle bilden kann. Auch Erbinformationen (Gene) sind an solche Ketten gekoppelt. Daher wird die Kohlenstoffchemie auch als organische Chemie bezeichnet. Alleine mit Kohlenstoff sind mehr Verbindungen herstellbar als mit allen im Periodensystem aufgeführten Elementen zusammen. Eine wertvolle Auftretensform ist der Diamant. Beim Erhitzen zerfällt dieser in Grafit. Kohlenstoff ist auch die Basis für die organischen Kältemittel. Die Verbrennungsprodukte Kohlendioxyd und Kohlenmonoxyd werden, trotz Kohlenstoffgehalt, nicht zur organischen Chemie gerechnet.

**Kontamination:** Verseuchung, Verunreinigung, Vergiftung. Beaufschlagung der Umgebung durch Drittstoffe. Die Vergiftung oder Verunreinigung eines Organismus oder eines Systems durch unerwünschte oder schädliche Stoffe.

**leichtentzündlich:** Sind Chemikalien, wenn sie sich bei sehr niedriger Temperatur entzünden können.

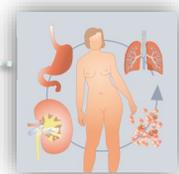
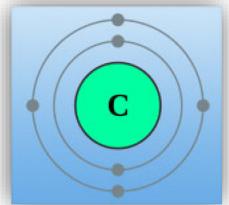
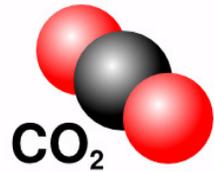
**Metabolismus:** Stoffwechsel. Beim Menschen der gesamte Haushalt von zugeführten und ausgeschiedenen Stoffen.

**Mischungslücke:** Temperatur- und Druckbereich, in welchem sich das Kältemittel nicht mit dem Kälteöl vermischt.

**Molekulargewicht:** Die Summe der Atomgewichte aller am molekularen Aufbau beteiligten Elemente.

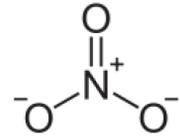
**Molekularsieb:** Stoff, welcher durch seine Kapillarwirkung kleine Teile aufhält und grössere passieren lässt. Die Wirkung ist also genau umgekehrt deren eines normalen, mechanischen Siebes. In der Kältetechnik kommt als Molekularsieb meistens Silicagel im Filtertrockner zum Einsatz.

**Monteurhilfe:** Wichtiges Kontrollinstrument des Kältefachmanns. Aufgebaut ist dieses durch einen zentralen Balken, auf welchen ein HD- und ein ND-Manometer aufgebaut ist. Zusätzlich sind, je nach Ausführung, zwei oder vier Hahnen vorhanden. Es gibt herkömmliche, analoge Instrumente und auch elektronische, welche zusätzliche Aufgaben, wie z.B. Datenaufzeichnung, übernehmen können.



**nahe-azeotrop:** Hersteller von Kältemittelmischungen verwenden diese Bezeichnung, wenn der Gleit der Mischung so klein ist, dass in der Praxis nicht mit negativen Auswirkungen zu rechnen ist.

**Nitrat:** Unter Nitraten versteht man in der anorganischen Chemie die Salze der Salpetersäure. Viele von ihnen haben Trivialnamen, die auf Salpeter enden. Früher wurden Nitrate (in der Gülle enthalten) als Dünger eingesetzt, was zu erheblichen Umweltproblemen (Gewässer) geführt hat.



**organische Chemie:** Auf Kohlenstoff basierender Teilbereich der Chemie.

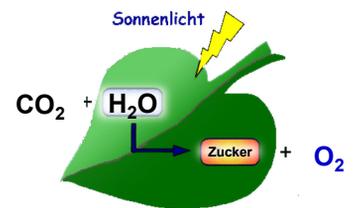
**Penetrieren, Penetration:** Eindringen, durchstechen, einwachsen. Beispielsweise das aktive Eindringen eines Erregers in den Körper.



**Peptide:** Sind organische Verbindungen, die aus einer Verknüpfung mehrerer Aminosäuren\* hervorgegangen sind.

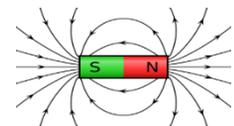
**persistent:** Ohne direkte Schädigung, aber alleine durch seine lange Anwesenheit lästig. Das Gegenteil von Persistenz ist die Transistenz.

**Photosynthese:** Ist die Erzeugung (Synthese) von organischen Stoffen in Lebewesen und Pflanzen unter der Verwendung der im Licht enthaltenen Energie. Der hierzu benötigte Kohlenstoff stammt entweder aus einfachen organischen Verbindungen oder aus Kohlendioxid, welches aus der Luft genommen wird. Der Kohlenstoff wird dabei zum Aufbau des Gewebes verwendet, während der Sauerstoff in Form von O<sub>2</sub> abgegeben wird.

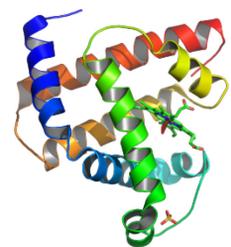


**physiologisch:** Auf die Psyche bezogen. Physiologische Einwirkungen haben keine mechanische oder chemische Beeinflussung zur Folge. Physiologie: Lehre der Lebenserscheinungen oder Vorgänge der Organismen.

**polar:** Teilchen mit elektrischer Ladung, also ungleicher Anzahl Protonen im Kern und Elektronen in der Hülle, sind polar (Ion). Überwiegen die negativen Elektronen liegt ein Anion vor. Bei Protonenüberschuss liegt ein Kation vor.



**Proteine:** Werden in der Umgangssprache auch als Eiweiße bezeichnet. Es handelt sich um Makromoleküle, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff aufgebaut sind und auch andere Elemente wie Schwefel und Selen beinhalten können. Sie gehören zu den Grundbausteinen aller Zellen. Sie verleihen der Zelle nicht nur Struktur, sondern sind die molekularen «Maschinen», welche Stoffe transportieren, Ionen pumpen und Signalstoffe erkennen.



**P-Sätze:** Die H- und P-Sätze und die ergänzenden EUH-Sätze sind knappe Sicherheitshinweise für Gefahrstoffe, die im Rahmen des global harmonisierten Systems zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS) verwendet werden. Die H- und P-Sätze haben in der GHS-Kennzeichnung eine analoge Aufgabe wie die bei der EU-Kennzeichnung verwendeten R- und S-Sätze.

**Resorption, resorbieren :** Stoffaufnahme in biologischen Systemen. Bei Menschen und Wirbeltieren versteht man darunter insbesondere die Aufnahme von Spaltprodukten der Nahrungsmittel während der Verdauung. Bei Menschen findet der grösste Teil der Resorption im Dünndarm statt. Bei einigen Stoffen (z.B. Salben, Kontaktgifte) kann die Resorption auch über die Haut stattfinden.



**R-Sätze:** Die so genannten R-Sätze (R für Risiko) sind Hinweise auf die besonderen Gefahren, die von Chemikalien ausgehen. Es gibt insgesamt 68 dieser R-Sätze, nummeriert von R1 bis R 68.

*Ab 1. 6. 2017 dürfen keine Produkte mehr auf dem Markt sein, welche mit R- und S- Sätzen gekennzeichnet sind. Diese werden durch H- und P-Sätze ersetzt.*

**Rückgabepflicht:** Der Kunde muss Reste gefährlicher oder die Umwelt schädigenden Chemikalien und Apparate (z.B. Batterien) an die Verkaufsstelle oder an eine Sammelstelle bringen.

**Rücknahmepflicht:** Der Verkäufer ist zur Rücknahme aller gefährlicher Chemikalien (betrifft auch Biozide) von Privatkunden verpflichtet (Artikel 22, Chemikaliengesetz). Kleinere Mengen müssen kostenlos entgegengenommen werden.

**Sachkenntnis:** Wer besonders gefährliche chemische Produkte an Privatpersonen verkauft, muss ein besonderes Wissen (Sachkenntnis) über diese Produkte haben. Die Sachkenntnis besteht aus dem Grundwissen und dem produktespezifischen Wissen.

**Saugkollektor:** Aufteilung der Stammsaugleitung auf die Verdichter des Verbundes. Ein Saugkollektor muss gewisse Bedingungen erfüllen und daher einem entsprechenden Design entsprechen.

**Sekundärmedien:** Wird die Wärme nicht nur über das Kältemittel, sondern über ein weiteres (meist flüssiges) Medium zum Verdampfer oder vom Verflüssiger weg transportiert, spricht man von einem Sekundärkreislauf. Auf der Seite des Verflüssigers wird dann von einem Wärmeträger, auf der Seite des Verdampfers von einem Kälte-träger gesprochen, obschon letzteres im physikalischen Sinne keine korrekte Bezeichnung darstellt. Gerade bei Einsatz von giftigen und / oder brennbaren Kältemitteln wird auf den Einsatz eines Sekundärmediums zurückgegriffen. Auch die eingesetzte Kältemittelmenge kann damit verringert werden.

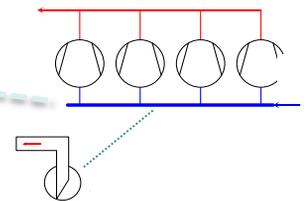
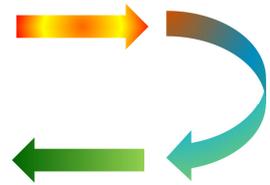
**Sicherheitsdatenblatt:** Im Sicherheitsdatenblatt finden sich detaillierte Informationen über Gefahren, Verwendung und Schutzmassnahmen. Grundlage des Sicherheitsdatenblatts ist die Einstufung des Produktes.

**Smog:** Das Wort «Smog» ist eine Wortkreuzung aus dem englischen «smoke» (Rauch) und «fog» (Nebel). Wissenschaftlich gesehen bezeichnet Smog eine stark erhöhte Schadstoffkonzentration an der Luft über dicht besiedelten Gebieten infolge besonderer meteorologischer Bedingungen. Eines der Gase, welches an der Smogbildung beteiligt ist, ist Ozon.

**S-Sätze:** Die so genannten S-Sätze (S für Sicherheit) sind Sicherheitsratschläge für die gefahrlose Verwendung von Chemikalien. Es gibt insgesamt 64 dieser S-Sätze, nummeriert von S1 bis S 64.

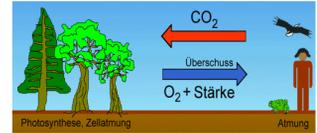
*Ab 1. 6. 2017 dürfen keine Produkte mehr auf dem Markt sein, welche mit R- und S- Sätzen gekennzeichnet sind. Diese werden durch H- und P-Sätze ersetzt.*

**Stosspartner:** Molekül, welches die chemische Reaktion zweier anderer Moleküle oder Elemente durch einen «Stoss» in die Wege leitet. Der Stosspartner selbst nimmt an der dabei entstehenden Verbindung nicht teil.



**SUVA:** Abkürzung der schweizerischen Unfallversicherungsanstalt. Arbeitnehmer in der Gebäudetechnik sind oft dort versichert.

**Symbiose:** Der Abfallstoff des einen Prozesses ist zugleich ein Rohstoff für einen anderen Prozess. Symbiosen helfen mit, die Menge an eigentlichen Abfallprodukten klein zu halten. So geben die Grünpflanzen den für uns wichtigen Sauerstoff ab, während der Mensch diesen benötigt.



**toxisch:** Als Gift wirkend oder Gifte enthaltend

**Toxizität:** Grad der schädlichen Wirkung. Giftigkeit = Fähigkeit einer Chemikalie, in die normalen Funktionen eines bestimmten biologischen Systems störend einzugreifen. Dies äussert sich z.B. in Kopfschmerzen, Atemnot, Benommenheit, Erbrechen oder sonstiger Krankheit.

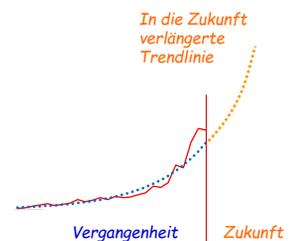
**Treibgas:** Flüssigkeiten in geschlossenen Behältern können mit Hilfe einer Drucküberlagerung ausgestossen werden. Dabei wird ein Gas unter Druck in den Behälter gegeben, welches auf den Flüssigkeitsspiegel wirkt. Konstruktiv muss darauf geachtet werden, dass die Austrittsöffnung im Flüssigkeitsbereich liegt, da sonst nur das Treibgas ausgestossen wird. Aus Sicherheitsgründen kamen früher FCKW's als Treibgas zum Einsatz. Wegen deren umweltschädigenden Wirkung findet man heute hauptsächlich brennbare Alternativen wie z. B. Pentan.



**Treibhausgas:** Gas mit überdurchschnittlich hohem Treibhauspotential. Als Referenz für die Messung wurde CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) gewählt und zu 1 gesetzt. Gase mit diesem oder höherem Treibhauspotential gelten als Treibhausgas. Kältemittel der Gruppe HFO haben Werte zwischen 1 bis 120, H-FKW's zwischen 650 bis 4'000.



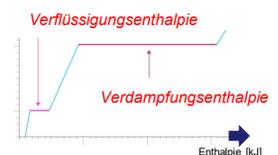
**Trendanalyse:** Durch gute Kenntnisse des Objektes lässt sich durch Beobachtung, Messung und Konsultation der technischen Unterlagen beschränkt vorhersagen, wie sich ein System in naher Zukunft verhalten wird. Störungen können so vor dem Eintritt teurer und gravierender Folgeschäden erkannt und während der disponiblen Arbeitszeit behoben werden. Piketteinsätze können deutlich reduziert werden. Neue elektronische Überwachungssysteme beinhalten teils einen Algorithmus zur Trendanalyse.



**umweltgefährlich:** (Symbol: N) sind Chemikalien, wenn sie selbst oder ihre Umwandlungsprodukte die Beschaffenheit des Naturhaushalts von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart verändern können, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können.



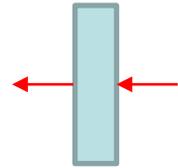
**Verdampfungsenthalpie:** Benötigte Wärmemenge, um einen Stoff bei konstanter Temperatur vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand zu überführen.



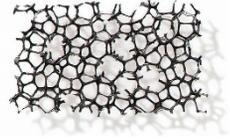
**Wärmeleitwert:** Zeigt den Widerstand, den ein Material der Wärmedurchdringung entgegensetzt (Weitergabe der molekularen Bewegungen). Wärmetauscher benötigen Stoffe mit hohem, Dämmschichten Bewegung mit tiefem Wärmeleitwert. So besitzt beispielsweise Aluminium einen Wärmeleitwert von 204W/mK, Kupfer 384W/mK und PU-Schaum lediglich 0,028W/mK.



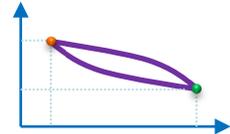
**Wärmeübertritt:** Zeigt die Weitergabe der Wärme von einem Medium auf das andere. Ein Wärmeübertritt zwischen zwei einander berührender Feststoffe ist sehr hoch, während der Übertritt von einem festen auf einen gasförmigen Stoff oder umgekehrt sehr niedrige Werte liefert. Bei einer klassischen Doppelverglasung trägt beispielsweise nicht (wie oft fälschlicherweise angenommen) das dazwischen liegende Gas zur guten Dämmung bei, sondern die zusätzlich notwendigen zwei Wärmeübertritte. Daher konnte man gegenüber früher die beiden Scheiben der Doppelverglasung näher zueinander rücken, ohne dabei die Verluste zu vergrößern.



**Zellgas:** In den Poren eines Schaumstoffes enthaltenes Gas. Wegen der unzähligen Wärmeübertritte innerhalb eines solchen Stoffes, ist der Wärmeleitwert sehr tief. Solche Stoffe werden zu Isolationszwecken eingesetzt.



**zeotrop:** Dieses Verhalten zeigt eine Mischung von zwei Flüssigkeiten (Kältemitteln), welche beim Verdampfen einen Temperaturanstieg aufweisen. Die Temperaturdifferenz zu Beginn und am Schluss des Vorgangs wird dabei als Gleit\* bezeichnet.



**Zersetzungsprodukt:** Wird eine Verbindung zersetzt / entsorgt, so löst sie sich nicht in Nichts auf. Es entstehen neue Produkte, welche wiederum bezüglich ihrer Wirkung auf die Umwelt untersucht werden müssen.

**Zunder:** Zunder ist die Verbindung von Sauerstoff mit Kupfer. Er entsteht beim Erhitzen von Kupfer unter Reaktion mit dem in der Umgebungsluft enthaltenen Sauerstoff. Zunderbildung beim Lötén kann vermieden werden, wenn während des Vorgangs der Sauerstoff durch ein anderes Gas, das so genannte Formiergas, verdrängt wird. Als Formiergas kommt hauptsächlich Stickstoff zum Einsatz. Ein mit Zunder verunreinigtes System kann aus diversen Gründen ausfallen: einerseits fördert der Zunder die Säurebildung, andererseits verliert das Öl, welches den Zunder aufnimmt, seine Schmierfähigkeiten.

