

# *Umgang mit Kältemitteln*



## Vorwort

Die Aufgabe jeder Kälteanlage oder Wärmepumpe ist der **Wärmetransport**. Daher mussten zu Beginn der Kältetechnik geeignete «**Transportgebilde**» für dieses spezifische Transportgut «Wärme» gefunden werden. Es ist bekannt, dass die Effizienz eines Transports in hohem Masse von der «Verpackung» des Transportgutes abhängt. Diese Funktion übernimmt im Kältesystem das **Kältemittel**. Allerdings mussten solchermaßen geeignete Stoffe zuerst entwickelt werden, welche allen Anforderungen und Ansprüchen gerecht werden.

- **Ansprüche an die Arbeitsdrücke**

Geeignete **Arbeitsdrücke** liegen nicht zu hoch aber auch nicht im Vakuum. Ein zu hoher Verflüssigungsdruck stellt ein Sicherheitsrisiko dar und der Materialaufwand steigt. 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 vermieden werden. Die Betriebsstoffe sollen die Lebensdauer der Gesamtanlage erreichen.

- **Ansprüche an die Energetik**

Schon in den Anfangszeiten der kommerziellen Kältetechnik wurde versucht, mittels geeigneter Kältemittel eine möglichst hohe Leistungsziffer zu erreichen. Dies bedeutet, möglichst **viel Wärmeenergie** mit möglichst **wenig Transportenergie** vom Verdampfer zum Verflüssiger bewegen zu können.

- **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.

Diese bestätigt, dass die inhabende Person die Folgen von Emissionen\* abschätzen kann. Sie soll motiviert und fähig sein, Emissionen von Kältemitteln zu vermeiden.



# Impressum

Umgang mit Kältemitteln

Homepage

Kontakt

Verfasser

Auftraggeber

Herausgeber / Bezugsquelle

Stückpreis

Grundlagen zum Erwerb der Fachbewilligung  
Version Februar 2024-21  
basierend auf der ChemRRV

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

[fachbewilligung@svk.ch](mailto:fachbewilligung@svk.ch)

Patrick Goetz, Visconsil AG, Neuenegg

Bundesamt für Umwelt BAFU

Schweizerischer Verband für Kältetechnik SVK  
Eichstrasse 1  
6055 Alpnach Dorf

Fr. 25.00 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 9 «Fachbegriffe» eine Erläuterung.

### Meldestelle für Neuanlagen:

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

- [www.cooling-reg.ch](http://www.cooling-reg.ch)

### Meldung von Neuanlagen:

Informationen zur Anmeldung von meldepflichtigen Anlagen finden sie unter:

[svk-asf-atf.ch/fachwissen/meldestelle/](http://svk-asf-atf.ch/fachwissen/meldestelle/)

### BAFU:

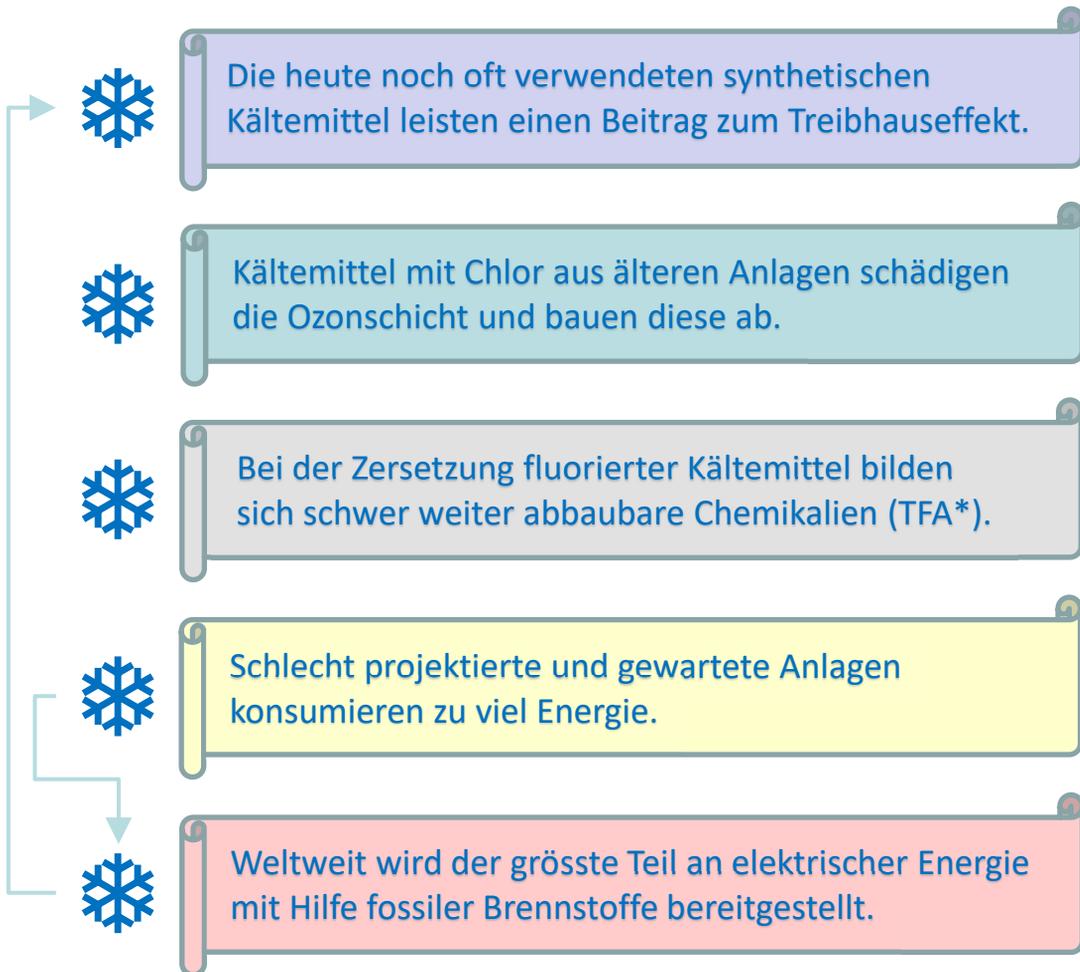
Das Bundesamt für Umwelt kann unter folgender Internetadresse erreicht werden:

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

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ökologie &amp; Kältetechnik</b>	<b>5</b>
1.1	Auswirkungen auf das Ökosystem	6
1.1.1	Ozonsäudünnung	6
1.1.2	Treibhauseffekt	7
1.1.3	Abbauprodukte	7
1.2	Ökosystem & Energie	8
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Ökologie</b>	<b>9</b>
2.1	Die Lebensräume	10
2.2	Die Atmosphäre	11
2.3	Zusammensetzung der Atmosphäre	12
2.4	Ozon in der Troposphäre	13
2.5	Die Ozonschicht	14
2.6	Ozonabbau in der Stratosphäre	15
2.7	Der Treibhauseffekt	16
2.8	Gewässerbelastung	17
2.9	Eigenschaften und Umweltverträglichkeit	18
2.10	PFAS & TFA	19
2.11	Emission und Verlauf	20
2.12	Begriffe zu Ozonschicht & Treibhauseffekt	21
<b>3</b>	<b>Toxikologie</b>	<b>23</b>
3.1	Aufnahme über die Atmung	23
3.2	Aufnahme über die Haut	24
3.3	Aufnahme über den Mund	24
3.4	Toxizität	25
3.5	Risikoabschätzung und Prävention	27
<b>4</b>	<b>Gesetzgebung</b>	<b>28</b>
4.1	Chemikaliengesetz	28
4.2	Chemikalien Risikoreduktionsverordnung	29
4.3	Fachbewilligung und Beizugspflicht	29
4.4	Pflichten & Verbote	30
4.5	Force-Triangle	30
4.6	Einfuhr und Verwendung von Chemikalien	31
4.7	Zuständige Behörden / Verbände	31
<b>5</b>	<b>Organische Kältemittel</b>	<b>32</b>
5.1	Herstellung synthetischer Kältemittel	33
5.2	HFO / H-FKW	34
5.3	Bezeichnung nach ASHRAE	35
5.3.1	Zusammenfassung organische Kältemittel	36
5.4	Organische Kältemittelmischungen	37
5.4.1	Zeotrope Mischungen	37
5.4.2	Azeotrope Mischungen	38
5.4.3	Nahe azeotrope Mischungen	38
<b>6</b>	<b>Anorganische Kältemittel</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Tabelle der wichtigsten Kältemittel</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Recycling und Entsorgung</b>	<b>41</b>
8.1	Entsorgung durch Vernichtung	41
8.2	Primärrecycling	41
8.3	Sekundärrecycling	41
<b>9</b>	<b>Fachbegriffe</b>	<b>42</b>

Kältetechnik und Ökologie? Diese beiden Fachgebiete haben auf den ersten Blick nichts gemeinsam. Das Ökosystem funktioniert unabhängig vom Kältesystem. Aber leider kann das Kältesystem sehr wohl das Ökosystem beeinflussen. Und dies leider nicht im positiven Sinne. Die Auswirkungen lassen sich grob wie folgt unterteilen:



Elektrische Verbraucher verhalten sich bezüglich ihres Energiebedarfs auf den ersten Blick klimaneutral. Riskiert man einen zweiten Blick rückt auch die Art der Energiebereitstellung in den Fokus. Gerade Elektrizität kann auf vielerlei Arten bereitgestellt werden, auch fossile Energieträger kommen zum Einsatz - weltweit machen diese mehr als 60 % aus. Daher verursacht jede kWh an elektrischer Energie für 600 Wh einen CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Wird die Klima- oder Kälteanlage direkt über einen Verbrennungsmotor angetrieben, wächst dieser Anteil auf 100%.

### **Primäremissionen:**

Durch Leckagen verursachter Treibhauseffekt.

### **Sekundäremissionen:**

Durch Energiebedarf und Materialbereitstellung ausgelöster Treibhauseffekt.

Unter diesem Blickwinkel müssen Anlagen optimal geplant, fachgerecht installiert und gewartet werden. Dadurch kann einerseits das durch den Energiebedarf ausgelöste zusätzliche Treibhauspotential geringgehalten werden und andererseits Emissionen\* vermieden werden.

Kenntnisse über unsere Umwelt und der Ökologie gehörten ursprünglich nicht zu den für die Kältetechnik notwendigen Grundlagen. Dies hat sich seit 1992 grundlegend geändert. Damals wurde schlüssig bewiesen, dass das Loch in der atmosphärischen Ozonschicht zum grössten Teil von den FCKWs\* ausgelöst wurde. Diese Stoffe wurden auch in Kälteanlagen eingesetzt und galten als für die Umwelt unproblematisch. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde daher das Kältemittel aus solchen Anlagen einfach an die Umwelt abgeblasen. In alten Lehrmitteln konnte man sogar solche Sätze finden wie: „zum Reinigen von luftgekühlten Kondensatoren kann R12 verwendet werden“. Der sehr leichtfertige Umgang mit diesen Stoffen von deren Einführung 1928 bis 1992 hat dazu beigetragen, dass Millionen von Kilotonnen dieser Stoffe noch immer latent in der Atmosphäre schweben: sehr viele der FCKW-Verbindungen\* weisen atmosphärische Verweilzeiten von weit über 200 Jahren auf. Diese Tatsache zeigt schon, dass es sich hier um sehr stabile Verbindungen handelt. Gerade die Tatsache, dass diese Stoffe mit der Umwelt nicht interagieren, daher meistens weder brennbar noch giftig sind, führte damals zur Behauptung, FCKWs\* seien für die Umwelt unschädlich

Heute ist es leicht, den Fehler in dieser Überlegung zu sehen: für Mensch und Tier ungefährliche Stoffe können trotzdem an der Umwelt ein erhebliches Schadpotential entfalten. 1928 jedoch stand der Mensch immer im Zentrum der Überlegungen, er galt als „Krönung“ der evolutionären Schöpfung. Daher übersah man, dass der Mensch nicht stellvertretend für das gesamte Ökosystem steht.

Zusätzlich muss noch bedacht werden, dass die Reise der FCKW\*-Moleküle bis zum Erreichen der stratosphärischen Ozonschicht 15 bis 30 Jahre dauert. Das 1977 entdeckte Ozonloch war dementsprechend auf FCKW-Emissionen\* zurückzuführen, welche vor 1957 stattfanden.

Synthetische Kältemittel machen es notwendig, dass sich die Kältetechnik mit Ökologie beschäftigt.

Synthetische (künstlich hergestellte) Kältemittel dürfen nicht an die Umwelt abgeblasen werden.

## 1.1.1

## Ozонаusdünnung

Der Zusammenhang zwischen Ozonausdünnung und Kältemittlemissionen wurde nicht unmittelbar hergestellt. Dazu kam noch, dass die grossen Hersteller dieser Stoffe begrifflicherweise nicht von der Idee angetan waren, die Produktion zu stoppen. Daher konnten erst ab 1990 international gültige Beschlüsse zur Reduktion der FCKW-Herstellung und -Emissionen gefasst werden, welche zumindest für die industrialisierten Länder verbindlichen Charakter hatten. Diese Beschlüsse beinhalten auch die Umgangsregeln für Kältemittel. Vernünftigerweise hat man diese Regeln als für alle Kältemittel gültig erklärt. Daher wird es nie mehr ein künstlich hergestelltes Kältemittel geben, welches einfach an die Umwelt abgeblasen werden darf.

Moderne Kältemittel bauen die Ozonschicht nicht mehr ab: seit 2002 ist in der Schweiz und der EU der Neubau von Kälteanlagen, welche ozonabbauende Kältemittel enthalten, verboten. Kälteanlagen können aber sehr hohe Standzeiten erreichen. Daher ist es durchaus möglich, dass man noch während einiger Zeit in der Praxis ab und zu auf nicht umgerüstete Anlagen treffen kann.

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

Die Problematik um die Ozonschicht gilt in der Öffentlichkeit mittlerweile als gelöst. Da die internationale Ächtung der FCKWs\* durch länderspezifische Verbote und Regulierungen aber erst nach 1990 vollzogen wurde, dauerte es bis zur Bestätigung der Wissenschaft, dass die Massnahmen tatsächlich greifen, bis ins Jahr 2014. Messungen ergaben damals, dass sich die Ozonschicht langsam wieder erholt. Bis zum Stand von vor 1950 wird es aber mindestens bis ins Jahr 2050 dauern.

### 1.1.2

## Treibhauseffekt

Nachdem die Problematik mit dem Ozonabbau durch das Weglassen des Halogens Chlor bei der Kältemittelherstellung als gelöst betrachtet wurde, rückte schon das nächste Problem auf: die meisten vor 2020 eingesetzten synthetischen Kältemittel besitzen ein erhebliches Treibhauspotential.

**Stabile synthetische Kältemittel besitzen oft ein erhebliches Treibhauspotential.**

Auch wenn Kälteanlagen bezüglich Emissionen\* weit hinter der global ausgestossenen Menge an CO<sub>2</sub> liegen, muss das um den Faktor 50 bis 5'000 gesteigerte Treibhauspotential der stabilen synthetischen Kältemittel berücksichtigt werden.

Die hohe Stabilität dieser Verbindungen ist hier ein Problem: Nach einer Emission\* verbleiben diese durchschnittlich 15 Jahre an der Atmosphäre bestehen, bevor sie durch die Sonneneinstrahlung und den an der Luft vorhandenen Sauerstoff abgebaut werden. Die Lösung dieses Problems liegt in der Anwendung weniger stabilen Kältemittel, welche sich schneller abbauen. Der Umgang mit solchen Kältemitteln erfordert aber gut ausgebildete und motivierte Fachpersonen, da solche Kältemittel oft brennbar und / oder giftig sind. Zudem dürfen sich die Kältemittel keinesfalls bereits im Kältesystem abbauen, was aber bei Verschmutzungen im Kältesystem, verursacht durch mangelnde Sauberkeit bei Montage und Service, initiiert werden kann.

### 1.1.3

## Abbauprodukte

Die Problematik synthetischer Kältemittel an der Atmosphäre hat sich vom Ozonabbaupotential hin zum Treibhauseffekt und seit 2020 vermehrt in Richtung Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS\*) verschoben. Hier globale Einigkeit zu erreichen, ist ungleich schwieriger, als es dies bei der Ozonproblematik war. Denn praktisch alle Gewerbe- und Industriebetriebe stossen direkt oder indirekt Treibhausgase aus. Zudem bilden viele Produkte des Alltags bei der Entsorgung unter anderem auch PFAS\*.

Auch die Kältebranche ist wieder betroffen: Die Idee, den hohen GWP vieler persistenter\* synthetischer Kältemittel durch den Einsatz kurzlebiger Stoffe zu minimieren, führt zu einer höheren Konzentration der Zersetzungsprodukte\* (PFAS\*) in der Umgebung der Emission\*.

**Synthetische Kältemittel mit kurzer atmosphärischer Verweilzeit bilden bei der Zersetzung TFA\*.**

Die Entwicklung neuer Ersatzstoffe mit für die Umwelt kleinerem Gefährdungspotential hat sich als schwierig herausgestellt: Meistens weisen die umweltverträglichen Stoffe ein für den Menschen gesteigertes Gefährdungspotential auf. Was im ersten Moment unlogisch scheint, kann leicht begründet werden: die Forderung nach schneller Abbaubarkeit der Kältemittel nach einer Emission bedeutet, dass diese Stoffe mit der Umwelt interagieren müssen. Daher sind Stoffe, die diese Forderung zu 100 % erfüllen, in der Regel giftig und / oder brennbar. Damit wird aber der Einsatz solcher Kältemittel aus sicherheitsrelevanten Überlegungen teuer. Somit entsprechen die heute eingesetzten Kältemittel oftmals einem Kompromiss zwischen Stabilität im Kältekreislauf und Abbaubarkeit an der Umwelt.

was	Energieträger	Bereitstellung / Funktion	Zeithorizont verfügbar nach	Speicher
Grünpflanzen Lebewesen	erneuerbare Energieträger <i>Biomasse → chemische Energie</i>	<b>Verbrennung:</b> Besteht aus Holz, Pflanzen und weiteren organischen Produkten. Wird häufig aus Abfällen, Überresten und Kadavern gewonnen.	Monate bis Jahre	Lagern der Produkte  günstig
Grünpflanzen Lebewesen	nicht erneuerbare Energieträger  <i>fossile Energieträger → chemische Energie</i>	<b>Verwesung:</b> wird aus Brennstoffen gewonnen, die in geologischer Vorzeit aus Abbauprodukten von toten Pflanzen und Tieren entstanden sind. Dazu gehören Braunkohle, Steinkohle, Torf, Erdgas und Erdöl. → fossile Energieträger oder fossile Brennstoffe.	Millionen von Jahren	Lagern der Produkte  günstig
Grünpflanzen Lebewesen	Biogas  <i>chemische Energie</i>	<b>Verdauung:</b> Alle Arten von Kohlenwasserstoffen. Entstehen bei der Verwesung pflanzlicher und tierischer Produkte. Der Metabolismus* (Stoffwechsel) bei Menschen und Tieren produziert durch die Nahrungsverwertung ebenfalls Biogas.	Tage bis Monate	Lagern in Druckbehältern  teuer
Thermik	Wind  <i>kinetische Energie</i>	Temperaturunterschiede in der atmosphärischen Luft durch ungleichmässigen Einfall der Sonnenstrahlung (Tag / Nacht; Bewölkung; etc.) ergeben Luftbewegungen durch Druckunterschiede. Dieser Wind ( <i>kinetische Energie</i> ) kann in Windkraftwerken umgesetzt werden, z.B. in elektrischen Strom.	unmittelbar	Akku  sehr teuer (noch)
Höhendifferenz geodätisch	Höhenlage  <i>potenzielle Energie</i>	Durch die Sonne erwärmte Luft kann mehr verdunstetes Wasser aufnehmen. Damit steigt diese Feuchtigkeit bis in grosse Höhen. Sinkt die Temperatur kann die Luft das Wasser nicht halten, wird als Regen ausgeschieden. Dadurch füllen sich die Stauseen, wodurch diese potentielle Energie in elektrischen Strom umgewandelt werden kann.	unmittelbar bei Regen und bei Schneeschmelze	Stausee  teuer
Photovoltaik	Strahlung  <i>Energie der elektromagnetischen Wellen</i>	Die Sonnenenergie wird in einem Sonnenkollektor direkt in elektrische Energie umgewandelt.  (Prinzip der Solarzellen)	unmittelbar bei Sonnenschein	Akku  sehr teuer (noch)
thermische Kollektoren	Strahlung  <i>Energie der elektromagnetischen Wellen</i>	Die Sonnenenergie wird in einem thermischen Sonnenkollektor in Wärme umgewandelt.  (Prinzip des Treibhauseffektes)	unmittelbar bei Sonnenschein	Wärmespeicher  teuer
Kernenergie	Materie  <i>Energie der Masse</i>	Masse ist gleich Energie. Diese Energie wird in Kernkraftwerken durch Kernspaltung oder Kernfusion in Wärmeenergie umgesetzt, welche wiederum eine Turbine antreiben kann. Dadurch entsteht ein Masseverlust.	Milliarden von Jahren	Materie  günstig

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 so viel wie «verbundenes Haus». Der Begriff Ökosystem wurde als Lebensgemeinschaft von Organismen innerhalb ihrer unbelebten Umwelt, welche als Lebensraum, Habitat oder Biotop bezeichnet wird, definiert.

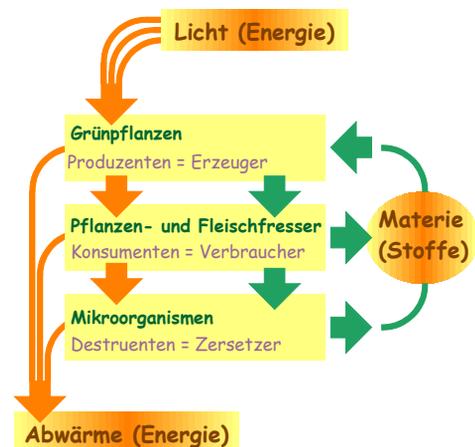
Aber warum soll sich die Technik im Allgemeinen und die Kältetechnik sogar im Speziellen mit Themen der Ökologie beschäftigen? Vereinfacht lässt sich sagen, dass primär der Betriebsstoff «Kältemittel» und seine Auswirkungen nach einer Emission\* eine bessere Kenntnis von Fachpersonen sowohl über die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

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.

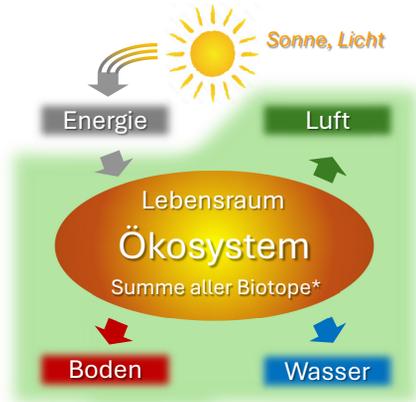
**Menschen** und **Tiere** wiederum benötigen den Sauerstoff aus der Atmosphäre, um den Verbrennungsprozess des Stoffwechsels aufrecht zu erhalten. Mit dieser Energie arbeiten Muskeln, Gehirn und Zellen. Das als Abfallprodukt entstehende  $\text{CO}_2$  wird an die Atmosphäre abgegeben, womit sich der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



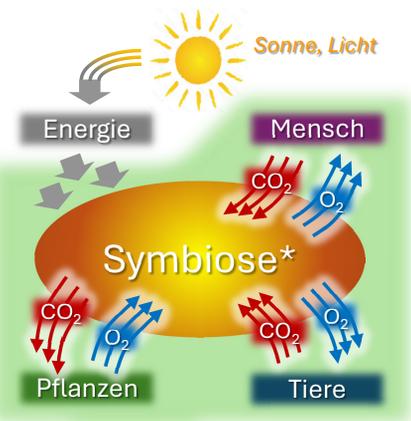
Je nach Organismus und Spezialisierungsgrad beschränkt sich der Aufenthaltsort eines Individuums auf einen dieser Lebensräume. So ist der menschliche Organismus darauf ausgelegt, den Sauerstoff aus der Luft mittels unserer Lungen aufzunehmen, während die Fische die gleiche Aufgabe ihren Kiemen überlassen. 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 dann von einem **industrialisierten Ökosystem**\*.

Da der Kohlenstoff\* beim Stoffkreislauf (**Metabolismus**\*) 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 **R744** (Kohlendioxid;  $\text{CO}_2$ ). Denn Verbrennungsprodukte organischer Stoffe, zu denen auch  $\text{CO}_2$  gehört, werden selbst nicht mehr zu den organischen Stoffen gezählt.



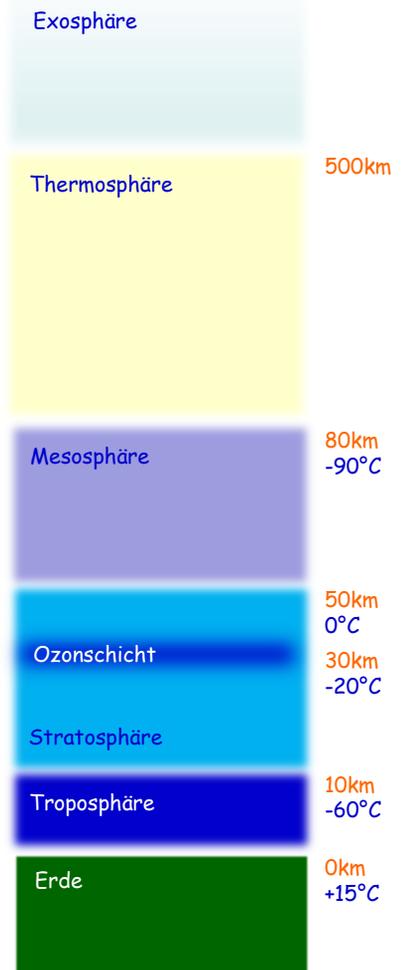
### Symbiose:

Zusammenleben  
verschiedener Arten zum  
gegenseitigen Nutzen / in  
gegenseitiger Abhängigkeit.

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. 30 km über dem Erdboden in der Stratosphäre.

Das Ökosystem 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 offener 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. 16 km Höhe. Typisch für das als **Troposphäre** bezeichnete «Erdgeschoss» sind die nach oben hinlaufend sinkenden Temperaturen. In der nächsten Schicht, der **Stratosphäre**, wird die Luft jedoch wieder wärmer. Hier befindet sich die Ozonschicht, welche als Schutzmantel die Lebens-vernichtende 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 80 km über der Erdoberfläche ausdehnt, wird es wieder kälter, weil ihr der wärmende Ozonfilter fehlt. In der anschliessenden **Thermosphäre** 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** schliesslich ist als Grenzschicht nach oben nicht begrenzt und schliesst die Atmosphäre zur Luftleere des Weltalls ab.



Bis in eine Höhe von etwa 120 km 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 120 km wird wegen ihrer homogenen Zusammensetzung als Homosphäre und wegen der dort dominierenden Turbulenz auch als Turbosphäre bezeichnet, während die Schicht oberhalb von 120 km 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 zu vermeiden.

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

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

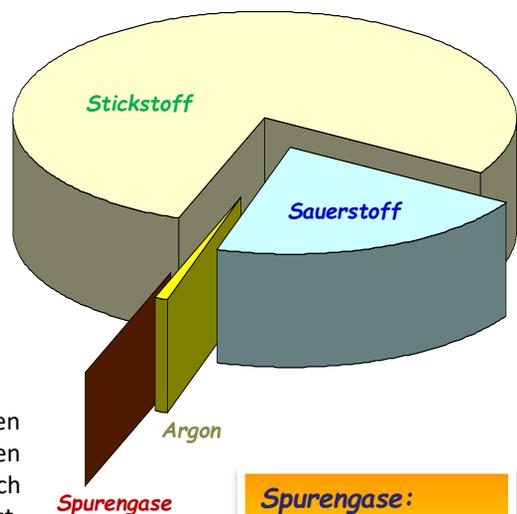
Es gibt eine Vielzahl weiterer Gase, welche sich ebenfalls an der Atmosphäre aufhalten. Da aber die Gesamtsumme dieser Gase nur einen kleinen Teil ausmacht, werden sie zusammengefasst bezeichnet:

- 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 2.4 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.

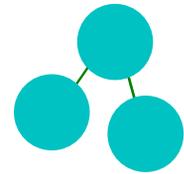
Durch automatisierte Prozesse nimmt der Anteil solcher Spurengase schon seit Beginn der Industrialisierung stark zu. Um die negativen Einflüsse dieser Emissionen\* zu begrenzen, müssen in Zukunft grosse Anstrengungen unternommen werden, um weitergehende Auswirkungen zu vermeiden.



#### 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 30 km 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: saurer Regen

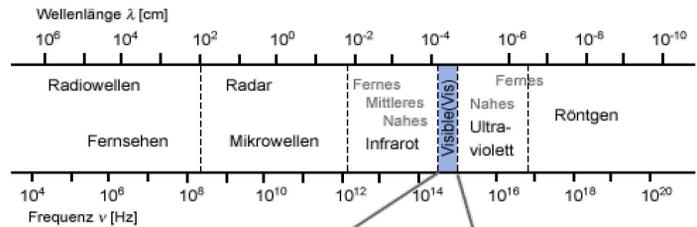
Die sommerliche hohe Ozonbelastung führt periodisch zu sichtbaren Schäden hauptsächlich an den Blättern von Laubbäumen, Sträuchern und Kulturpflanzen.

#### Auswirkungen auf Menschen & Tieren:

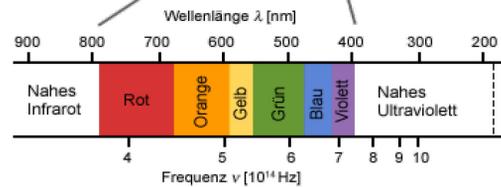
Ebenfalls angegriffen wird der Organismus von Menschen und Tieren. Ozon attackiert die **Schleimhäute** und kann **Kopfschmerzen, Atemnot, Augenbrennen, Husten, Asthma** oder **Brustschmerzen** auslösen. Zudem schmälert das giftige Gas die Leistungsfähigkeit und Abwehrkraft gegen Infektionen. Spitaleinweisungen 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 bleibt der Sauerstoffgehalt konstant.

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



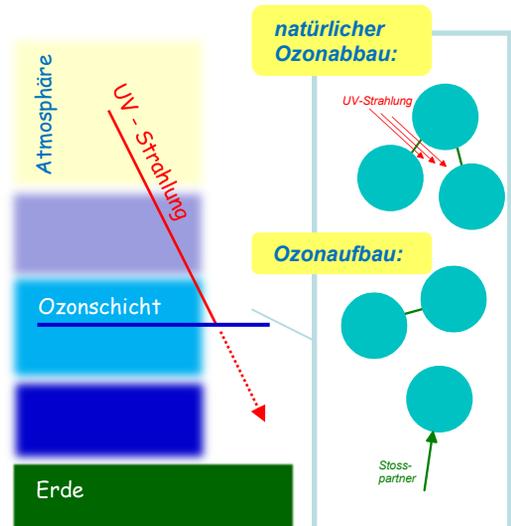
Im Gegensatz zur Infrarot-Strahlung schädigt ein Übermass an UV-Strahlung durch ihr hohes Energiepotential unsere Haut. UV-Strahlung bildet im Körper Vitamin D, ist aber auch für den Sonnenbrand verantwortlich. Daher ist vor dem Sonnenbad die Haut davor zu schützen. Jeder Sonnenbrand erhöht das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken.



Die UV-A Strahlen verursachen Falten und dringen am tiefsten in das **Bindegewebe**\* ein, können dieses zerstören.

Bei einer gesunden Atmosphäre wird der grösste Teil der UV-Strahlung durch die in ca. 30km Höhe, und damit mitten in der Strato-sphäre liegende **Ozonschicht** absorbiert. Die Energie der Strahlung wird dabei das aus drei Sauerstoffatomen ( $O_3$ ) bestehende Ozon-molekül 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 Sauerstoff-molekülen zu Ozon aufbauen. Durch diesen Kreisprozess bleibt die Ozonkonzentration in der Stratosphäre etwa konstant. Zumindest so lange, wie keine weiteren ozonabbauenden Stoffe den Schutzschild belasten.

Die für den Kreisprozess benötigte Energie liefert die UV-Strahlung, welche durch diesen Arbeitsprozess in Wärme umgewandelt wird. Daher steigt die 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 und die Energie der UV-Strahlung in Wärme umgewandelt.
- Mittels Stosspartner\* wird freier Sauerstoff (O) vom Ozonabbau mit vorhandenen Sauerstoffmolekülen ( $O_2$ ) zu Ozon ( $O_3$ ) aufgebaut.

Die UV-A Strahlung dringt am tiefsten in das Bindegewebe ein.

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 selbst so stabile Verbindungen wie die FCKWs\* zersetzen. Auch die weniger stabilen H-FCKWs\* 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. Daher wurden H-FCKW\*- Kältemittel 10 Jahre länger geduldet als die FCKWs\*.

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 so weit fördern, dass das Gleichgewicht aus dem Gefüge gerät. Ein einzelnes Chloratom kann zwischen **10'000** bis **100'000** Ozonmoleküle abbauen. Es entsteht die bedrohliche **Ozonausdünnung**, welche vereinfachend unter dem Begriff **Ozonloch** weltweit bekannt wurde.

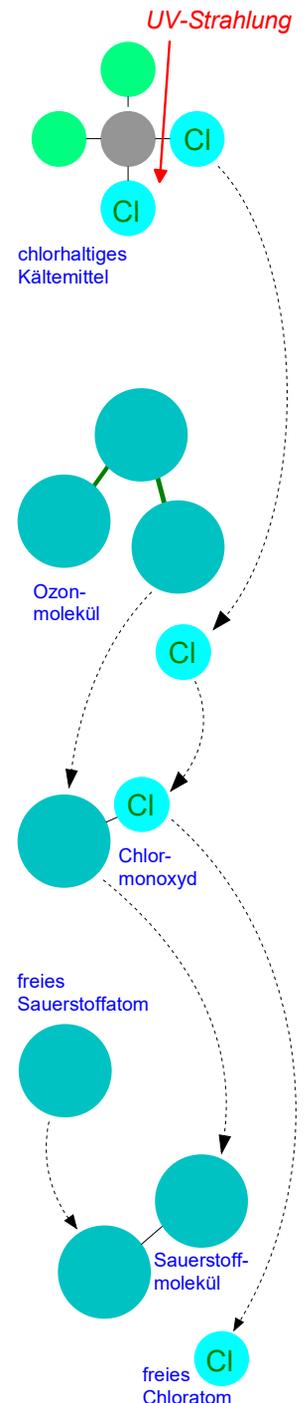
#### Ozonabbau durch FCKW\* und H-FCKW\*:

- 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 Ozonausdünnung, genannt «Ozonloch».

Da die H-FCKW\*-Kältemittel weniger stabil sind als die FCKWs\*, 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 oder der ODP 0,0005 nicht übersteigt.

#### Ozonabbau durch Chlor:



Das Ozonabbaupotenzial eines erlaubten Kältemittels darf nicht höher als 0,0005 sein.

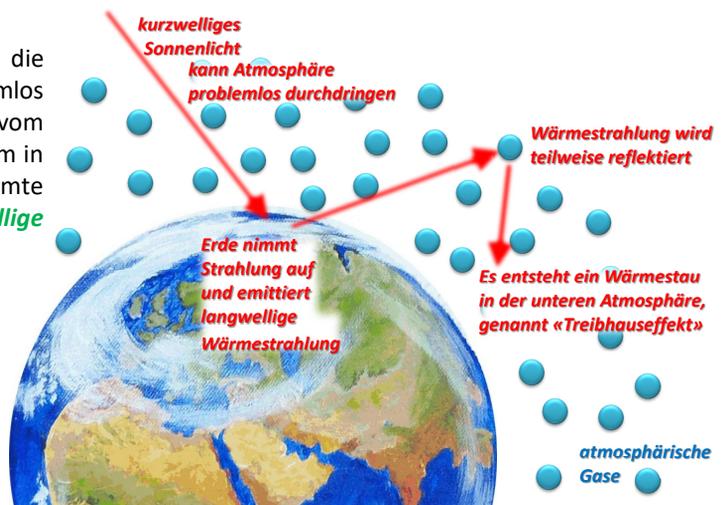
Korrekterweise müsste hier vom **globalen Erwärmungspotential** gesprochen werden. Da die Atmosphäre aber bezüglich Durchlässigkeit gegenüber Strahlung ähnliche Eigenschaften wie eine Glasscheibe aufweist, wird landläufig vom **Treibhauseffekt** gesprochen. Jedes sich an der Atmosphäre aufhaltende Gas trägt dazu bei, allerdings mit stark unterschiedlicher Intensität. So ist die Wirkung von Sauerstoff oder Stickstoff rund 8'000-mal kleiner als diese von Kohlendioxyd, wogegen bekannte synthetische Kältemittel, je nach Gruppe und Typ, um den Faktor 500 bis 10'000 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 schlecht 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 bewirkt. Gerade bei weniger stabilen Verbindungen müssen auch mögliche Auswirkungen der daraus entstehenden **Zersetzungprodukte** berücksichtigt werden.

Da jedes Gas in der Atmosphäre einen Treibhauseffekt bewirkt, 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:

NH<sub>3</sub> / R 717

### Derivate\* der Kohlenwasserstoffe

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 zu rechnen ist. Auch Kohlendioxid entweicht recht schnell aus dem Wasser an die Luft, aus der es gewonnen wurde. Am Ort der Einwirkung muss 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 Temperaturen über 0 °C ist Wasser die beste Alternative.

#### Sekundärmedien\*:

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

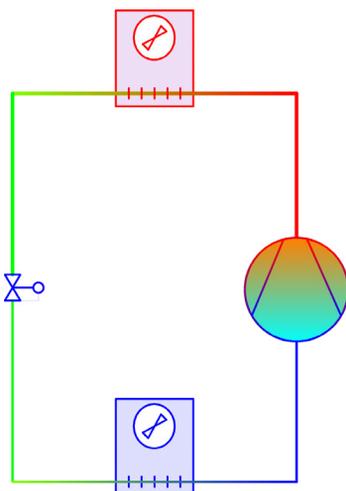
Zu Beginn der Kältetechnik wurde als Kältemittel eingesetzt, was immer funktionierte. Die nicht immer sicheren Kältemittel der 1. Generation führten zu Serien von Unfällen. Als 1928 das Ammoniak und andere teils giftige oder brennbare Stoffe als Kältemittel abgelöst werden sollte, wurde daher vorwiegend auf die Sicherheit geachtet: die neuen Stoffe durften weder giftig noch brennbar sein. So wurden mit den **FCKWs\*** 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» sein.
- 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\*.
- Verdampfungsdruck nicht im Vakuum.
- Verflüssigungsdruck im Rahmen der Materialspezifikationen.

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.

Fast alle synthetischen Kältemittel basieren auf Kohlenwasserstoffen, bei welchen ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Fluor ersetzt wurde. Durch diese Massnahme konnte einerseits die Brennbarkeit reduziert oder eliminiert, andererseits die physikalischen Werte den Bedürfnissen angepasst werden. Allerdings finden sich die entsprechenden Zersetzungsprodukte\* nach einer Emission\* in der Umwelt.

**PFAS:**

Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen

**TFA:**

Trifluoracetat

Nebst den synthetischen Kältemitteln finden entsprechende fluorierte Chemikalien grosse Verbreitung, beispielsweise in Kochgeschirren (Beschichtung) oder Bekleidung (wasserabstossend). Alle diese fluorierten Chemikalien bilden bei der Zersetzung an der Umwelt sogenannte **PFAS\*** (Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen), welche selbst sehr schwer abbaubar sind.

Daher werden diese auch als «**forever chemicals**» bezeichnet, welche bei typischen Abbauprozessen in der Umwelt nicht zersetzt und erst bei Temperaturen von über 1000 °C zerstört werden.

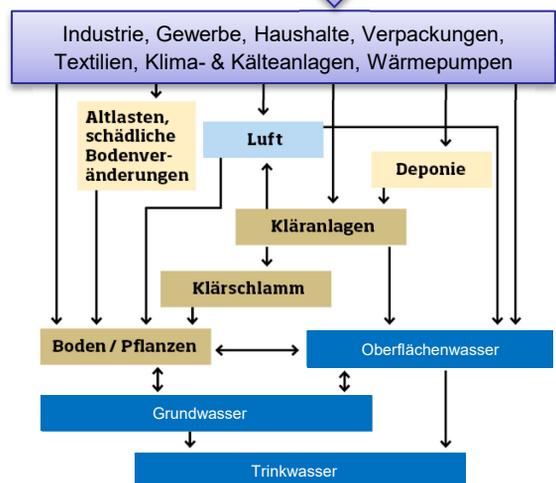
PFAS\* sind schwer abbaubare Chemikalien, die jahrzehntelang verarbeitet wurden. Sie finden sich heute in der Umwelt und in der Nahrungskette. Auf der Basis der neusten Beurteilung der europäischen Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) prüft das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) jeweils neu zu ergreifende Massnahmen.

**TFA** steht für Trifluoressigsäure. Diese Chemikalie gehört zu der Gruppe der PFAS\*. Es ist eine farblose, stark hygroskopische\* Flüssigkeit mit einem stechenden Essig-Geruch. Sie ist gesundheitsschädlich beim Einatmen, verursacht schwere Verätzungen und ist auch in Verdünnung schädlich für Wasserorganismen. In der Umwelt entsteht sie unter anderem durch Photooxidation fluoriertes Kältemittel.

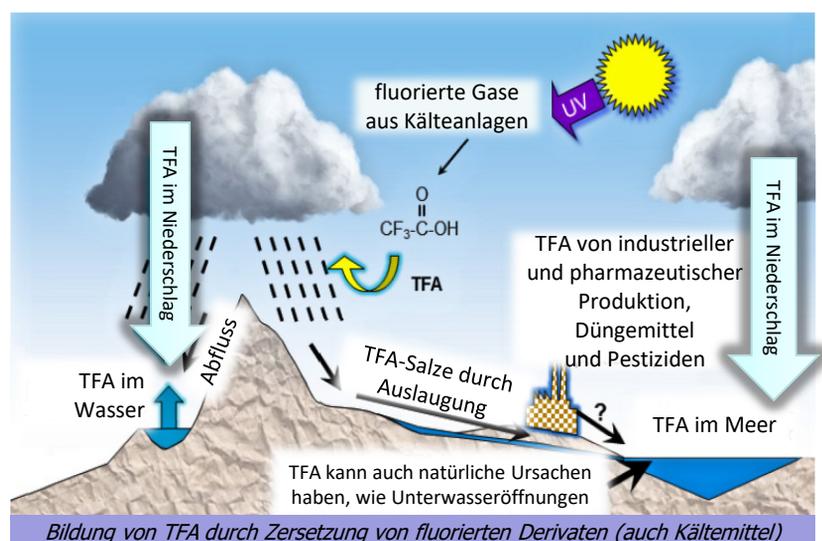
Durch die geringere Stabilität der HFO\*-Kältemittel (Derivate\* von Alkenen\*) ist die Konzentration in der Umgebung der Emission höher als bei den stabileren H-FKW\*-Kältemitteln (Derivate\* von Alkanen\*). Dies führt zur Diskrepanz, dass gerade die HFOs mit kleinerem GWP zu einer höheren Konzentration von TFA\* in der Umgebung der Emission führen.

**PFAS**

enthalten in:



**TFA**



Bildung von TFA durch Zersetzung von fluorierten Derivaten (auch Kältemitteln)

Der physikalische **Treibhauseffekt** und der chemische **Ozonabbau** durch **Katalysatoren**\* sind zwei verschiedene Vorgänge. Die heute in der Kältetechnik eingesetzten Kältemittel fördern den Treibhauseffekt in der **Troposphäre**, während solche, welche die **Ozonschicht** in der **Stratosphäre** abbauen, nur noch in alten Anlagen anzutreffen sind.

Nach einer Emission\* tritt das Kältemittel in der Atmosphäre zuerst als **Treibhausgas**\* in Erscheinung. Jedes Gas an der Atmosphäre besitzt ein kleineres oder grösseres **Treibhauspotential**. Ein Ozonabbau tritt nur bei chlorhaltigen Kältemitteln nach Erreichen der Ozonschicht auf.

Wie stark ein solches dann die Ozonschicht schädigt, hängt von dessen Chorgehalt und Stabilität ab. Weniger stabile Verbindungen zersetzen sich schon vor dem Erreichen der Ozonschicht.

Fluorierte Kältemittel, welche aus **Alkanen**\* gebildet wurden, besitzen durch ihre Stabilität ein erhöhtes Treibhauspotential. Bei der Zersetzung bilden sie unter anderem auch **TFA**\* (Trifluoracetat), was sich im Grundwasser anreichert und nur schwer weiter abbaubar ist. TFA gehört zu den **PFAS**\* (Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen).

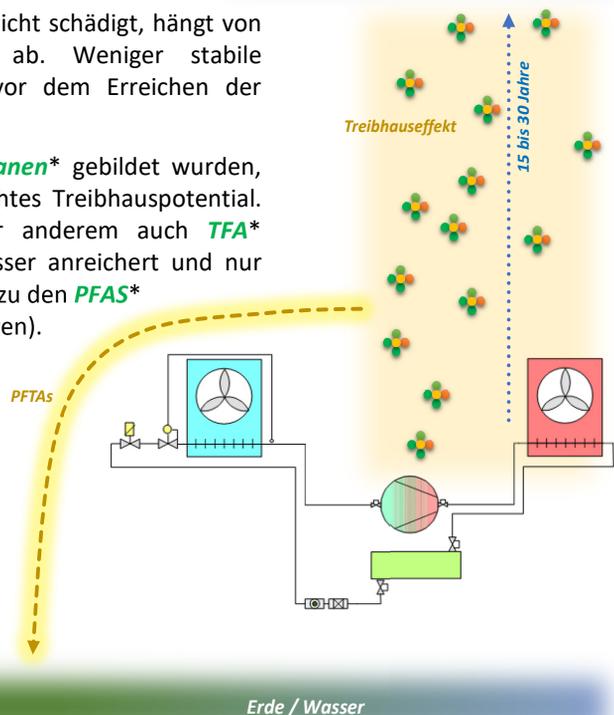
Fluorierte Kältemittel, welche auf **Alkenen**\* aufbauen, sind weniger stabil, bauen sich an der Atmosphäre schnell ab und besitzen daher nur ein kleines Treibhauspotential. Die Konzentration an TFA\* ist daher im Bereich der Emission grösser.

Generell sollen daher **Emissionen** von synthetischen Kältemitteln vermieden werden.

Durch einwandfreie Montage und einen fachkundigen Service soll späteren Leckagen vorgebeugt werden. Trotzdem auftretende müssen erkannt und eliminiert werden. Kältemittelverlust darf nicht toleriert werden. Die heutigen Materialien und Werkzeuge ermöglichen bei korrekter Anwendung das Auftreten von Lecks zu minimieren. Aussagen wie beispielsweise «absolut Dichte Anlagen gibt es nicht» dürfen nicht toleriert werden. Durch die vermeintliche Normalität wird sonst jegliche Motivation, sich hier zu verbessern, schon im Keim erstickt.

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

Ozonschicht (ca. 30km Höhe)



#### 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.

**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 (*Sekundäremissionen*) durch Energiebedarf und Recyclingverluste.

- *Energiebedarf zum Betrieb*
- *direkte Emissionen durch Betriebsstoffe*
- *Recyclingverluste*

Während der GWP jedes Gases direkt gemessen werden kann, ist die Bestimmung des TEWI komplexer. Denn um die zu erwartenden Leckage- und Recyclingverluste im Voraus bestimmen zu können, bräuchte man fast «prophetische» Fähigkeiten. Daher wurde mit Hilfe der vorhandenen statistischen Daten eine Näherungsformel abgeleitet.

Mit folgender Formel lässt sich der TEWI näherungsweise bestimmen. Angaben für die jährliche Leckrate und zu erwartende Recyclingverluste können aus statistischen Erhebungen gewonnen werden.

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times [1 - \alpha_r]) + (n \times E_a \times \beta)$$

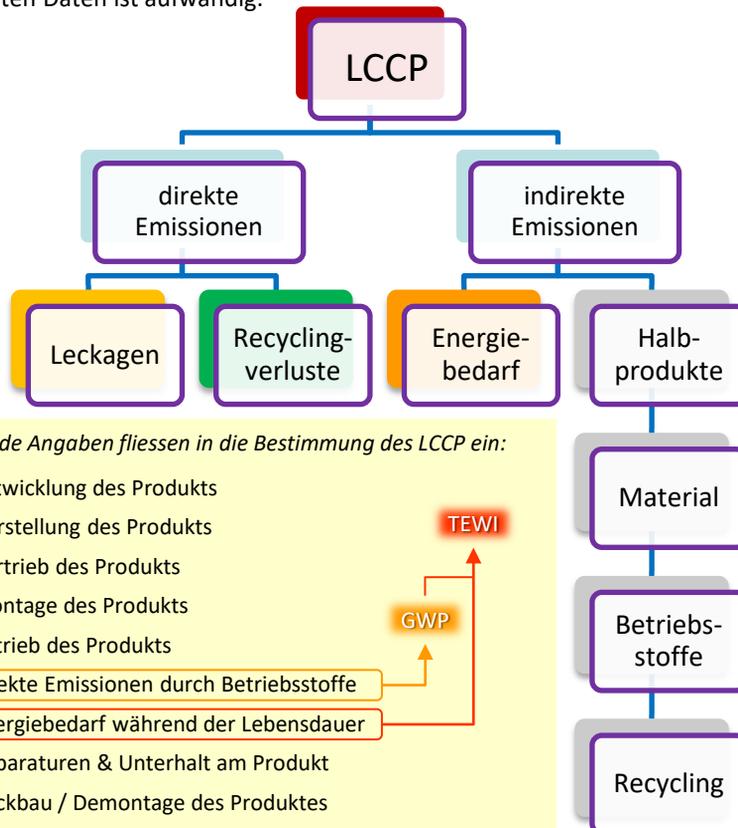
TEWI:	total equivalent warming impact	enthält auch Sekundäremissionen
GWP:	global warming potential	CO <sub>2</sub> -Äquivalent nach IPCC IV
L:	Leckrate pro Jahr	in kg
n:	Betriebszeit der Anlage	in Jahren
m:	Füllgewicht an Kältemittel	in kg nach Herstellerangaben
$\alpha_r$ :	Recycling Faktor	Verluste beim Recycling
$E_a$ :	Energiebedarf	in KWh pro Jahr
$\beta$ :	CO <sub>2</sub> -Emission pro KWh	Energiebereitstellung

## Life cycle climate performance

Enthält Primär- und Sekundäremissionen

# LCCP

Der LCCP berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus der Anlage, inklusive Halbprodukte und deren Ressourcenbedarf bei Herstellung, durch Verschleiss sowie den Energiebedarf bei Montage und Service. Die Erhebung der dazu benötigten Daten ist aufwändig.



Folgende Angaben fließen in die Bestimmung des LCCP ein:

- Entwicklung des Produkts
- Herstellung des Produkts
- Vertrieb des Produkts
- Montage des Produkts
- Betrieb des Produkts
- direkte Emissionen durch Betriebsstoffe
- Energiebedarf während der Lebensdauer
- Reparaturen & Unterhalt am Produkt
- Rückbau / Demontage des Produktes
- Entsorgung / Recycling der Roh- und Betriebsstoffe

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. Zurzeit 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 **Aufnahme-wege** 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

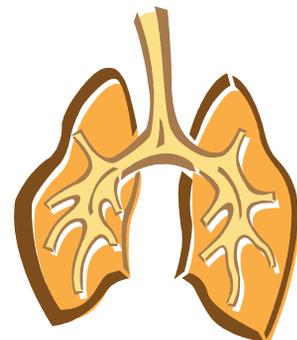
## 3.1

### 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 10 m<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.

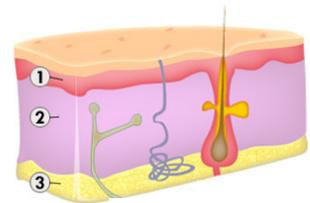


## 3.2

# Aufnahme über die Haut

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.

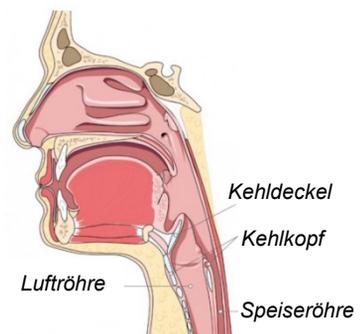


- 1 Oberhaut
- 2 Lederhaut
- 3 Unterhaut

## 3.3

# Aufnahme über den Mund

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 den 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 (siehe Osmose\*) 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:

<b>Brennbarkeit</b>	<b>Giftigkeit / Toxizität*</b>	
	<b>geringer</b>	<b>höher</b>
nicht entflammbar	<b>A1</b>	<b>B1</b>
schwer entflammbar	<b>A2L</b>	<b>B2L</b>
entflammbar	<b>A2</b>	<b>B2</b>
leicht entflammbar	<b>A3</b>	<b>B3</b>

Die jeweilige Einteilung der Kältemittel ist in der Tabelle auf Seite 40 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 Staubbildung 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. Exposition\*en 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

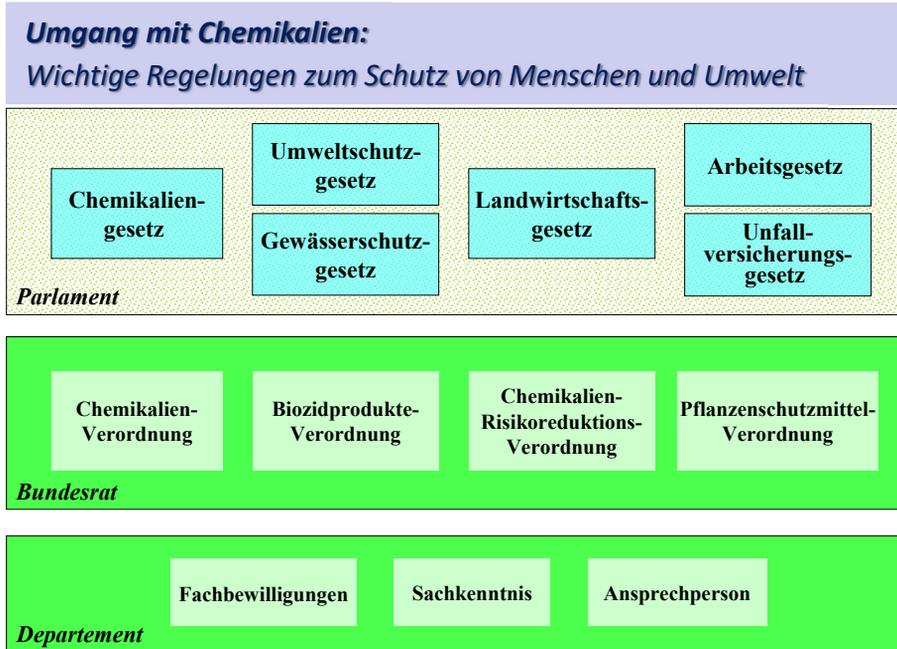
#### Kältemittel:

- Verbrennungsgefahr durch Spritzer von Flüssigkeit
- Verdrängt den Sauerstoff
- Auch ungiftige Kältemittel können toxische Abbauprodukte bilden.

#### 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.



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 Gefährdung 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, leichtfertigem Umgang verleitet.

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.

## Fachbewilligung & Beizugspflicht

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 (siehe Kapitel «Force Triangle»).

**Kennzeichnung**

Anlagen mit in der Luft stabilen Kältemitteln (entsprechend Liste, Seite 40) unterliegen der Kennzeichnungspflicht. Die Aufschrift enthält:

- *fluorierte Treibhausgase*
- *ASHRAE\*-Bezeichnung*
- *Füllmenge und Tonnen des CO<sub>2</sub>-Äquivalentes*
- *Treibhauspotential (GWP) des Kältemittels*
- *Sofern zutreffend, der Zusatz «hermetisch geschlossen»*

Das Nachfüllen von in der Luft stabilen Kältemitteln (Neuware) mit einem GWP von mehr als 2'500 in Anlagen mit einer Füllmenge von mehr als 40 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ist verboten.

**Wartungsheft**

Der Inhaber von Geräten und Anlagen mit **mehr als 3 kg Kältemittel** ist dafür verantwortlich, dass ein Wartungsheft mit folgenden Angaben geführt wird:

- *Name des Inhabers*
- *ausgeführte Arbeiten mit Datum*
- *Dichtheitskontrolle mit Ergebnis*
- *Menge und Typ des entnommenen oder eingefüllten Kältemittels*
- *Name der ausführenden Firma mit Namen und Unterschrift der Fachperson.*

Beispiel R404A (GWP = 3'922):

$$\text{Füllmenge max.} = \frac{40'000}{3'922} = 10,2 \text{ kg}$$

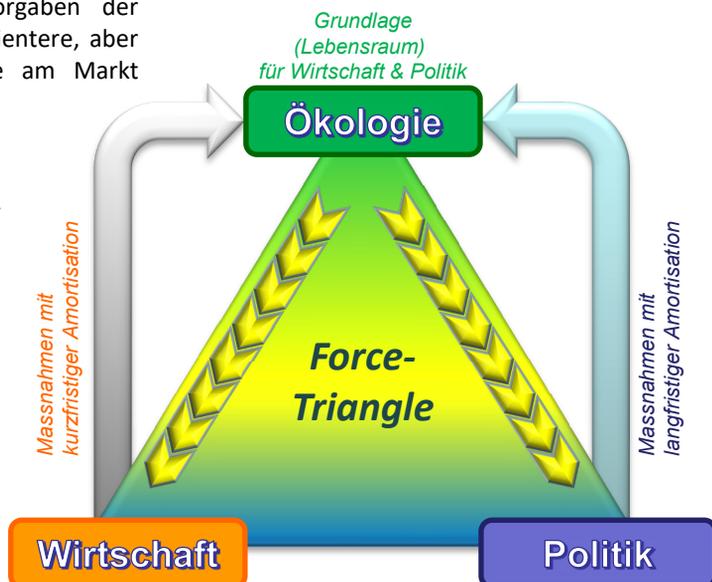
**Ziel:** Durch entsprechende Vorgaben der Politik können bessere und effizientere, aber vorerst noch teurere Produkte am Markt etabliert werden.

**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 schlechtere Lösungen angeboten werden.

Damit wird garantiert, dass auch der Laie ein Produkt erhält, welches dem Stand der Technik entspricht.

**Beispiel:** Da die Politik strengere Energievorschriften bei Heizungsanlagen durchgesetzt hat, wurden die Hersteller von Umwälzpumpen praktisch gezwungen, ihre Produkte auf effiziente Motoren umzurüsten. Somit konnte sich diese früher teure Technik etablieren, die Stückzahlen stiegen, während gleichzeitig die Preise sanken. 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.



Der Hersteller oder die Distribution eines neuen Stoffes muss diesen 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. Stationäre Anlagen mit mehr als 3kg Füllmenge müssen unter [cooling-reg.ch](http://cooling-reg.ch) gemeldet und registriert werden.

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.

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 als Verbindungsglied zwischen Behörden und Gewerbe. Er widmet sich der Aus- und Weiterbildung von Fachpersonen.

Der **Auto Gewerbe Verband Schweiz (AGVS)** ist der Verband der Schweizer Garagisten. Er nimmt die Interessen der Fahrzeugbranche wahr und übernimmt die Aufgabe als Verbindungsglied zwischen Behörden und Gewerbe. Er widmet sich der Aus- und Weiterbildung von Fachpersonen.

#### **Behörden & Verbände:**

- Kantone
- BAFU
- BFE
- SUVA
- SVK
- AGVS

# 5

## Organische Kältemittel

Organische Chemie basiert auf Kohlenstoff (Ausnahme: CO<sub>2</sub>; R744 als Verbrennungsprodukt). Die KWs Propan, Propen und Isobutan finden heute zunehmend als umweltfreundliche Kältemittel Verwendung. Werden KWs mit Halogenen\* (meist Fluor\*) versetzt, erhält man synthetische organische Kältemittel, welche je nach Fluorgehalt weniger oder nicht brennbar sind.

### Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind natürliche, brennbare Stoffe und können als Kältemittel mit guter Effizienz eingesetzt werden. KW's sind die Ausgangsstoffe zur Herstellung von synthetischen Kältemitteln.

natürlich

**KW**

*natürliche Kältemittel*

ODP: **nein**      zu beachten: **brennbar**  
 GWP: **sehr tief**      Neuanlagen: **erlaubt**

### Hydro - Fluoro - Olefins

Das Halogen\* Fluor ersetzt einen Teil des Wasserstoffes im KW-Molekül. Durch die Doppelbindung (Alkene\*) sind HFO's weniger stabil als die H-FKW's und bewirken daher einen geringeren GWP.

synthetisch

**HFO**

*teilhalogenisierte Kältemittel*

ODP: **nein**      zu beachten: **bilden TFA\* beim Abbau**  
 GWP: **sehr tief**      Neuanlagen: **erlaubt**

### Hydrogen - Fluorkohlenwasserstoffe

H-FKW's sind aus denselben Elementen aufgebaut wie die HFO's, besitzen aber wegen der fehlenden Doppelbindung (Alkane\*) einen erhöhten GWP, sind dafür meist unbrennbar.

synthetisch

**H-FKW**

*teilhalogenisierte Kältemittel*

ODP: **nein**      zu beachten: **bilden TFA\* beim Abbau**  
 GWP: **hoch**      Neuanlagen: **teilweise verboten**

### Hydrogen - Fluorchlorkohlenwasserstoffe

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

synthetisch

**H-FCKW**

*teilhalogenisierte Kältemittel*

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

### Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Der gesamte Wasserstoffanteil wird durch die Halogene\* Chlor und Fluor ersetzt, was ein sehr stabiles Molekül ergibt. Dadurch hohe ODP- sowie GWP-Werte. Kaum mehr anzutreffen.

synthetisch

**FCKW**

*vollhalogenisierte Kältemittel*

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

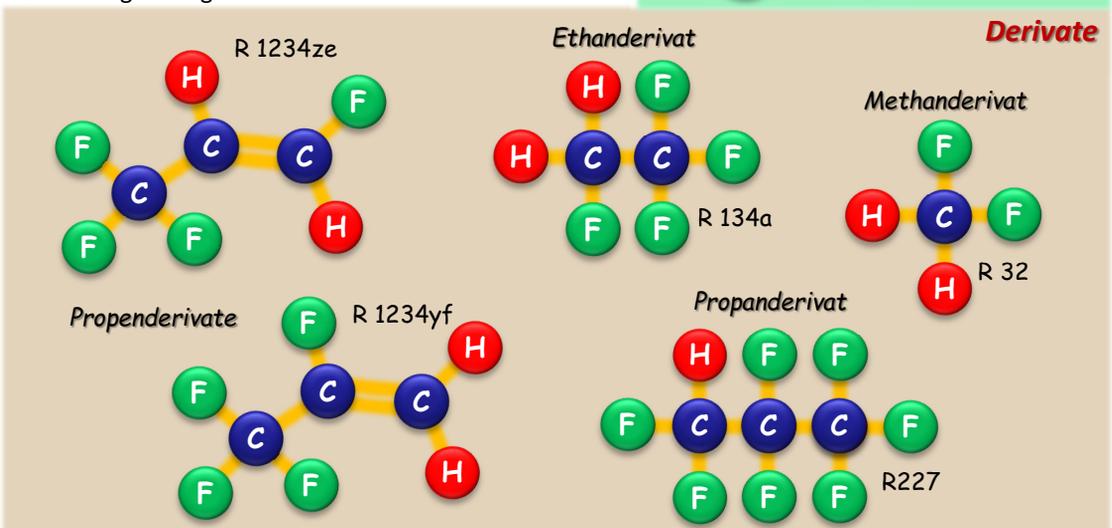
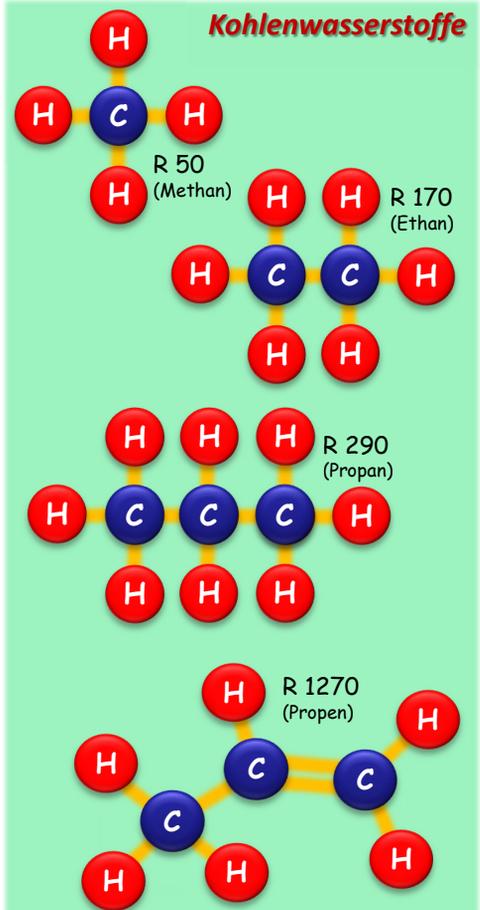
Informationen zum Anmeldeverfahren können aus dem Internet bezogen werden. Wegleitung: «Bewilligung von Anlagen mit an der Luft stabilen Kältemitteln».

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 Kohlenwasserstoffen wie **Methan**, **Ethan**, **Propan** oder **Propen** gut durch Elemente aus der Familie der Halogene\* ersetzen lässt. Dadurch nimmt die Brennbarkeit ab, gleichzeitig wird der Siedepunkt erhöht. Wird ein Teil des Wasserstoffes durch Halogene ersetzt, spricht man von einem **teihalogenisierten Kältemittel**.

Wird der Wasserstoff vollständig durch Halogene ersetzt, spricht man von einem **vollhalogenisierten 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 dadurch über 30 Jahre in die Stratosphäre transportiert.

Die Halogene\* Fluor und Chlor wurden am häufigsten eingesetzt. Man spricht dann, je nach Ausgangsstoff von einem **Methan-, Ethan-, oder Propanderivat**. Auf diese Art ist es möglich, eine gewisse Anzahl von Derivaten, basierend auf Methan, Ethan, Propan oder Propen, herzustellen. Seit man die ozonabbauende Wirkung des Chlors nachweisen konnte, wird praktisch nur noch mit Fluor halogenisiert, was natürlich die Anzahl möglicher Derivate stark reduziert hat. Daher wurden vermehrt Kältemittelmischungen am Markt eingeführt. 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.

Alle synthetischen Kältemittel basieren auf den organischen Kohlenwasserstoffen, sind daher auch organisch.



Die Stabilität der H-FKW Kältemittel mit der damit einhergehenden langen Verweilzeit an der Atmosphäre führt zu einem hohen Treibhauspotential nach einer Emission\*. Daher wurden weniger stabile Verbindungen entwickelt, welche sich an der Atmosphäre schneller abbauen. Da Stabilität früher ein Kriterium war, kamen fast ausschliesslich Alkane\* als Grundstoff für die Herstellung synthetischer Kältemittel zur Anwendung. Nachdem aber das Treibhauspotential in den Fokus des Interesses gelangt war, wurde die Entwicklung von Kältemitteln auf der Basis von Alkenen\* vorangetrieben. Da aber nach wie vor jegliche chemischen Reaktionen im Kältesystem unerwünscht sind, ist sauberes Arbeiten am Kältesystem die wichtigste Voraussetzung, um eine genügende Stabilität im Kältekreislauf zu garantieren. Da sich die Kältemittel an der Atmosphäre mit Hilfe des Sauerstoffs abbauen, darf sich im Kältesystem weder Sauerstoff noch ein Sauerstoffträger befinden.

HFO und H-FKW Kältemittel basieren auf denselben Elementen: Kohlenstoff\*, Wasserstoff und Fluor.

**atmosphärische Verweilzeit:**

- H-FKW: ca. 15 Jahre
- HFO: einige Tage

**Alkane:**

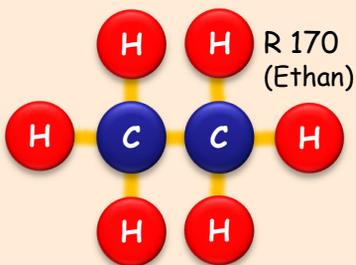
Kohlenwasserstoffe mit Einfachbindung (stabil).

**Alkene:**

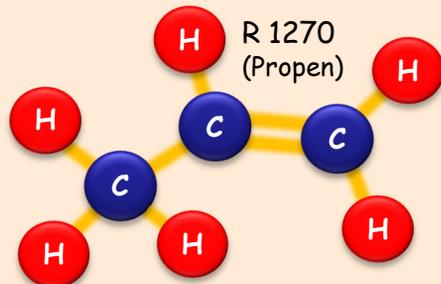
Kohlenwasserstoffe mit Doppelbindung (weniger stabil).

**natürliche organische Kältemittel**

**Alkan**



**Alken**



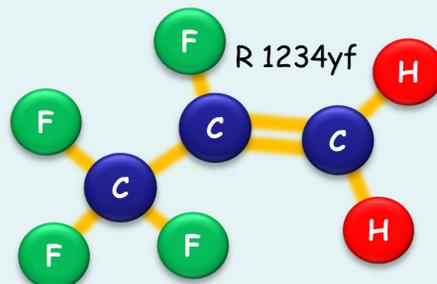
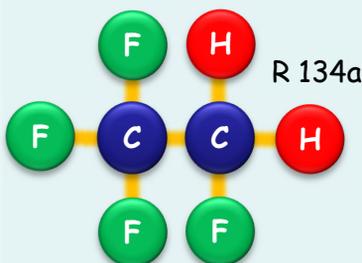
Ethanderivat



Propenderivat



**synthetische organische Kältemittel**



Gruppe:	H-FKW	HFO
GWP:	1'430	4
Klasse:	A1	A2L

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 herstellerunabhängige **ASHRAE-Bezeichnung**\* hat sich als Standard für die Benennung von Kältemitteln praktisch weltweit etabliert. Um Missverständnissen vorzubeugen, sollten nur diese Bezeichnungen benutzt werden.

**Bedeutung der einzelnen Buchstaben und Ziffern:**

## Refrigerant (Kältemittel)

Eine ASHRAE - Bezeichnung für ein Kältemittel beginnt immer mit dem Buchstaben «R». Es wird empfohlen, nur diese Bezeichnungen zu verwenden. So können Verwechslungen vermieden werden.

### 1. Ziffer = Anzahl Doppelbindungen

Besitzt das Molekül keine Doppelbindung (Derivat\* von Alkanen\*), wird eine 0 gesetzt. Führende Nullen werden nicht geschrieben. Alle Bezeichnungen mit 2 oder 3 Ziffern sind somit Einfachbindungen.

### 2. 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. Steht hier eine «1», handelt es sich um ein Ethanderivat.

### 3. 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 und somit der Wasserstoffgehalt, umso eher ist das Molekül brennbar.

### 4. Ziffer = Anzahl Fluor

Der Chlorgehalt wird nicht direkt angegeben und ergibt sich über die jetzt noch freien «Arme» des Moleküls. Ist ein anderes Halogen vorhanden, muss dies explizit erwähnt werden: R1311 bedeutet beispielsweise, es befindet sich 1 Atom des Halogens Iod im Molekül.

## Anordnung Atome um Kohlenstoff - Kern

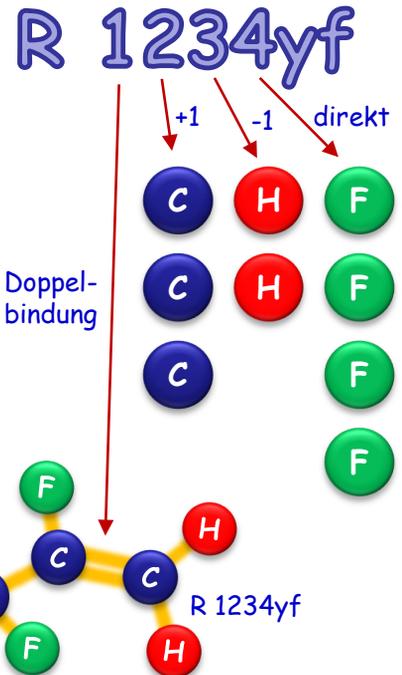
Es können ein oder zwei **Kleinbuchstaben** der numerischen Bezeichnung folgen. Diese geben die Anordnung der Atome um den Kohlenstoffkern an. Sie werden vergeben und folgen keiner Logik. Achtung: in Kältemittelmischungen zeigt der **Grossbuchstabe** die prozentuale Verteilung der Mischungsbestandteile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

**Hinweis:** Führende Nullen werden nicht geschrieben. So ergebe sich beispielsweise für alle Derivate des Methans nur 2 Ziffern.



Am Beispiel von R1234yf wird hier gezeigt, wie man von der ASHRAE-Bezeichnung zur Strukturformel gelangt. Der ASHRAE-Schlüssel bezieht sich auf Derivate des Methans, Ethans, Propans oder Propens. Der Kohlenstoff ist immer im Kern des Moleküls. Da Verbindungen mit Kohlenstoff der organischen Chemie entsprechen, sind alle synthetischen Kältemittel der Gruppen KW, HFO, H-FKW, H-FCKW und FCKW organische Kältemittel.

Die logische Ableitung lässt zu, jedes organische **Kältemittel** in seine **Bestandteile** zu zerlegen. Damit gewinnt man Rückschlüsse auf die **physikalischen** und **chemischen** Eigenschaften, **gesetzliche Einschränkungen** durch Zuordnung zu einer Gruppe sowie zum **Einsatzgebiet**. Auch die generelle objektbezogene Eignung lässt sich besser abschätzen.



5.3.1

### 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: KWs\* sind brennbar

- kleiner GWP
- kein ODP
- brennbar (A3)

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: HFOs 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 Halogenisieren\* nur noch mit Fluor zulässig. Daher finden sich auf dem Markt gegenüber früher nur noch eine deutlich reduzierte Anzahl an noch zulässigen, synthetischen Verbindungen. Zudem muss der beste Kompromiss zwischen GWP und Brennbarkeit gefunden werden.

Dies führte dazu, dass einerseits andere, nicht organische Stoffe auf ihren Einsatz als Kältemittel geprüft werden und andererseits die bekannten, erlaubten organischen Kältemittel in Mischungen unter neuen Namen auf dem Markt sind. Der gewünschte Siedepunkt wird durch Vermischen von bis zu fünf **Einstoffkältemittel\*** erreicht.

Durch das Mischen wird versucht, die positiven Eigenschaften eines Einstoffkältemittels zu erhalten, ohne dessen Nachteile zu übernehmen. Beispielsweise ein möglichst kleiner GWP bei Erhalt der Unbrennbarkeit.

Damit man bei einer Mischung nicht jedes einzelne daran beteiligte Kältemittel nennen muss, erhält die Mischung eine neue Nummer. Für solche Kältemittelmischungen wurde die **Gruppe 400** eingeführt. Die erste angemeldete Mischung erhielt die Bezeichnung R400. Daher kann durch die Höhe der Bezeichnung ein Rückschluss auf das Datum der Markteinführung gezogen werden.

Der gewünschte **Siedepunkt** wird durch die Vermischung mit entsprechenden Massenanteilen erreicht. Leichte Anpassungen sind dabei auch durch Verschiebung der prozentualen Mischungsanteile machbar. Mischungen gleicher Kältemittel aber unterschiedlicher prozentualer Verteilung erhalten dieselbe 400er-Nummern. Die Unterscheidung geschieht durch einen angehängten Grossbuchstaben. So bestehen die beiden Mischungen R454A und R454B aus denselben Kältemitteln, jedoch mit unterschiedlichen Anteilen.

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

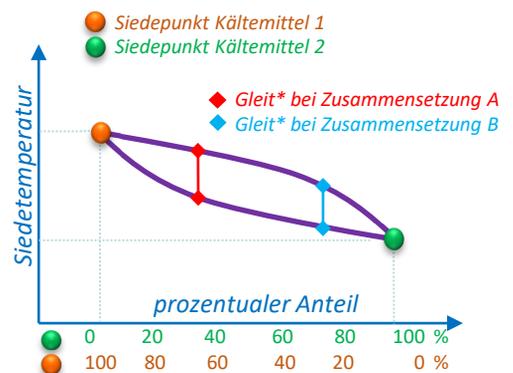
Daher müssen solche Mischungen **flüssig in das System eingefüllt werden**, was zum Schutze des Verdichters einen nach dem Sammler montierten **Füllhahn** erforderlich macht. Ein Füllen in der Dampfphase ist nur zulässig, wenn der gesamte Inhalt der Flasche eingefüllt wird oder ein zuvor auf die korrekte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

Für die Kältemittelmischungen mit **Gleit** (zeotrope Mischungen) wurde die Gruppe der 400er Kältemittel eingeführt.

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.

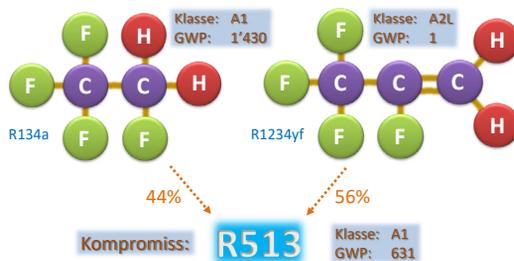


## 5.4.2

## Azeotrope Mischungen

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.

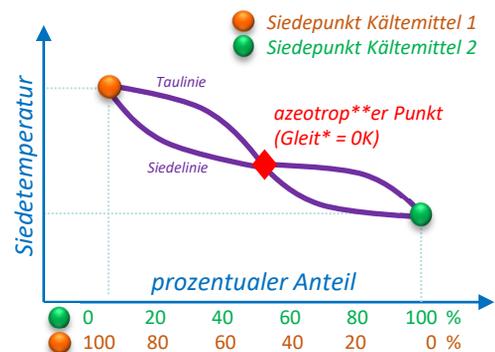
**Beispiel:** Die azeotrope Mischung R513 ist ein Kompromiss zwischen Unbrennbarkeit und tiefem GWP.



Für die Kältemittelmischungen ohne **Gleit** (azeotrope Mischungen) wurde die Gruppe der 500er Kältemittel eingeführt.

azeotrope Kältemittelmischungen bestehen in der Regel nur aus zwei Einstoffkältemittel.

azeotrope Mischungen dürfen wie ein Einstoffkältemittel behandelt werden.



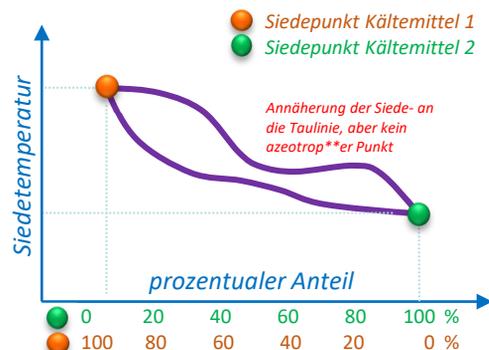
## 5.4.3

## Nahe azeotrope Mischungen

Kältemittel der Gruppe 400 mit einem Gleit kleiner 1K werden auch als **nahe-azeotrop** bezeichnet. Bei solchen Mischungen sind keine negativen Auswirkungen bezüglich der Mischungszusammensetzung zu erwarten, selbst wenn versehentlich einmal dampfförmig gefüllt wird. Trotzdem gilt die Regel des Füllens in der Flüssigphase auch hier, aber die Auswirkungen sind weniger gravierend.

Während bei Mischungen mit einem Gleit von mehr als 5 K nach einer Leckage und anschließendem Auffüllen mit der Originalmischung bereits Verschiebungen der Betriebspunkte festgestellt werden können, ist dies bei nahe-azeotropen Mischungen in der Regel nicht der Fall.

Mischungen mit nur kleinem Gleit werden von den Herstellern auch als „nahe azeotrope“ Kältemittel bezeichnet.



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 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 718 Wasser  $\text{H}_2\text{O}$
- R 744 Kohlendioxyd  $\text{CO}_2$

#### R 717 (Ammoniak; $\text{NH}_3$ )

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 praktisch keinen Treibhauseffekt. Da sich Ammoniak nicht mit Buntmetallen verträgt, darf **kein Kupfer** beim Anlagebau verwendet werden. Daher kommen fast ausschliesslich **offene Verdichter** zum Einsatz.



#### R 718 (Wasser; $\text{H}_2\text{O}$ )

Die Suche nach umweltfreundlichen Kältemitteln liess auch Wasser in den Fokus diverser Hersteller geraten. Die Idee ist nicht neu, wurde aber wegen der früher schlecht handhabbaren Systemdrücke tief im **Vakuum** nicht weiter verfolgt - bis heute. Wasser als Kältemittel eignet sich für Prozesse mit hoher Verdampfungstemperatur über 0 °C. Ideale Anwendungsbereiche sind die Industriekälte, die Kühlung von Serverräumen und die Gebäudekühlung.

#### R 744 ( $\text{CO}_2$ ; Kohlenstoffdioxyd)

Da  $\text{CO}_2$  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. Die **sehr hohen Systemdrücke** bedürfen aber angepasster Bauteile.

#### $\text{CO}_2$ an der Luft:

Stört den osmotischen\* Gasaustausch beim Abatmen des  $\text{CO}_2$  aus dem Körper.

Zudem führt eine Temperatur oberhalb von +31 °C zu einer Wärmeabgabe im überkritischen Bereich, was zu einem transkritisch arbeitenden Prozess führt. Dies ist für die **Performance** nicht förderlich und schränkt den Einsatz in warmen Regionen ein. Läuft der Prozess transkritisch, wird der zum sonst grössten Teil latent arbeitende Verflüssiger zu einem rein sensibel arbeitenden Enthitzer, auch Gaskühler\* genannt.

Gruppe	Bemerkungen	ASHRAE	Klasse	GWP zu CO <sub>2</sub>	Gleit in K	besteht aus	to in °C			
organische Kältemittel	FCKW	R502	A1	4657	azeotrop	22 / 115	-46,0			
		R11	A1	4750			+24,0			
		R12	A1	10900			-29,8			
	H-FCKW	Für Neuanlagen und Nachfüllen verboten. Betrieb erlaubt. Nach Leckagen muss umgerüstet oder ersetzt werden.	R13B1	A1	7140	Einstoff		-57,8		
			R22	A1	1810			-41,0		
			R401A	A1	1182			4,9	22 / 152a / 124	-33,0
			R402A	A1	2788			1,6	22 / 290 / 125	-49,0
			R408A	A1	3152			0,5	22 / 125 / 143a	-44,0
			R409A	A1	1585			6,4	22 / 124 / 142b	-34,0
			R23	A1	14800			Einstoff		-80,1
	R32	A2L	675	-52,0						
	R134a	A1	1430	-26,3						
	R143a	A2	4470	-47,6						
	R125	A1	3500	-48,5						
	R507	A1	3985	azeotrop	125 / 143a	-46,7				
	R513	A1	630		1234yf / 134a	-29,2				
	H-FKW	begrenzte Anwendung: so lange kein besser geeigneter Stoff wirtschaftlich vertretbar ist. Serie 400: Ist der Glide > 5K Trennung der Komponenten bei nicht korrekter Handhabung. Ist der Glide < 1K sind keine Probleme zu erwarten (nahe azeotrop**).  ab R444B: H-FKW / HFO-Blends: gehören bezüglich ChemRRV zu den H-FKW.	R404A	A1	3922	0,7	125 / 134a / 143a	-46,6		
			R407A	A1	2107	6,4	32 / 125 / 134a	-46,0		
			R407C	A1	1774	7,2	32 / 125 / 134a	-43,8		
			R407D	A1	1627	6,8	32 / 125 / 134a	-39,5		
			R407F	A1	1825	6,4	32 / 125 / 134a	-45,5		
			R407H	A1	1495	7,1	32 / 125 / 134a	-44,7		
			R410A	A1	2090	0,2	32 / 125	-52,3		
			R413A	A1	2050	6,9	134a / 218 / 600a	-35,0		
			R417A	A1	2346	5,6	125 / 134a / 600	-43,0		
			R422A	A1	3140	2,5	125 / 134a / 600a	-47,0		
			R422D	A1	2729	3,4	125 / 134a / 600a	-45,0		
			R427A	A1	2140	7,1	32/125/143a/134a	-43,0		
			R444B	A2L	295	7,8	32 / 152a / 1234ze	-36,7		
			R445A	A2L	135	k. A.	134 / 1234ze / CO <sub>2</sub>	-48,3		
			R448A	A1	1387	5,4	32/125/134a/1234yf/1234ze	-46,0		
			R449A	A1	1397	4,0	32/125/134a/1234yf	-46,0		
			R450A	A1	547	0,4	134a / 1234ze	-22,8		
	R452A	A1	2140	3,7	32 / 125 / 1234yf	-47,0				
	R452B	A2L	676	0,9	32 / 125 / 1234yf	-51,0				
	R454A	A2L	238	5,0	32 / 1234yf	-48,3				
	R454B	A2L	467	1,5	32 / 1234yf	-50,9				
	R454C	A2L	146	6,0	32 / 1234yf	-45,9				
	R455A	A2L	145	6,0	32 / 1234yf / CO <sub>2</sub>	-52,1				
	H-FIKW	enthält Iod	R466A	A1	733	1,5	32 / 125 / 1311	-51,0		
	HFO	Kältemittel mit Doppelbindung. Bilden bei der Zersetzung TFA*.	R1233zd	A1	3	Einstoff		+19,0		
			R1234yf	A2L	4			-29,3		
			R1234ze	A2L	4			-18,2		
			R1336mz	A1	2			+31,8		
			R514	B1	2			azeotrop	1336 / t-DCE	+29,1
	KW	natürliche Kältemittel. unkritische Abbauprodukte.	R50	A3	30	Einstoff	Methan	-161,6		
			R170	A3	6		Ethan	-88,6		
R290			A3	3	Propan		-42,0			
R600			A3	3	Butan		-0,5			
R600a			A3	3	Isobutan		-11,7			
R1270			A3	2	Propylen		-47,6			
anorganische Kältemittel			natürliche Kältemittel.	R717	B2L		0	azeotrop	Ammoniak	-33,4
	R718	A1		1	Wasser	100,0				
	R744	A1		1	Kohlendioxid -56,6°C bei 5,18bar	<=				
	R723	k. A.		8	NH <sub>3</sub> / DME	-36,6				

Bei atmosphärischem Normdruck von 1'013,25hPa. Bei zeotropen\* Mischungen (ASHRAE\*-Reihe 400) gilt der Wert „to“ für die tiefere Verdampfungstemperatur.

# 8

## 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.

### 8.1

## 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 stattfinden, 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.

### 8.2

## 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.

### 8.3

## Sekundärrecycling

Beim Sekundärrecycling werden die Ausgangsstoffe in ihre **Bestandteile zerlegt**, man erhält Sekundärrohstoffe. Aus diesen entstehen unter Zugabe weiterer Stoffe **neue Produkte** (industrialisierten Ökosystems\*). Die Bedeutung der Sekundärrohstoffe ergibt sich einerseits durch eine Kostenersparnis im Vergleich zur entsprechenden ausschliesslich auf Primärmaterialien basierenden Produktion und andererseits bleiben die Stoffe im Wirtschaftskreislauf, anstatt in Form von Abgasen an die Umwelt abgegeben zu werden. Für die rohstoffverarbeitende Industrie hat die Nutzung von Sekundärrohstoffen bei steigenden Rohstoffpreisen ein zum Teil erhebliches Einsparpotenzial.

### Sekundärrecycling:

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

- Flusssäure
- Salzsäure
- Diverse Salze

**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.

**Alkane:** Kohlenwasserstoffe, welche nur Einfachverbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen besitzen. Sie sind recht stabil und bilden die Ausgangsprodukte zur Herstellung der H-FKW\*'s.

**Alkene:** Kohlenwasserstoffe, welche zwischen den Kohlenstoffatomen mindestens eine Doppelbindung besitzen. Sie sind weniger stabil als die Alkane\* und bilden die Ausgangsprodukte zur Herstellung der HFO\*'s.

**Alveole:** Lungenbläschen. Dienen dem Gasaustausch zwischen Lunge und Blut. Das Blut nimmt den Sauerstoffgehalt aus der eingeatmeten Luft auf und gibt den CO<sub>2</sub> 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 Nukleinsäuren (DNA-Träger) die Grundbausteine des Lebens.

**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 Siedetemperaturen, welche in der Mischung einen einheitlichen, aber tieferen Siedepunkt aufweisen. azeotrope Mischungen verhalten sich nach aussen wie Reinstoffe.

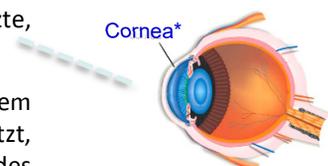
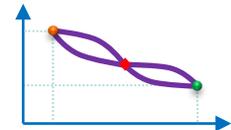
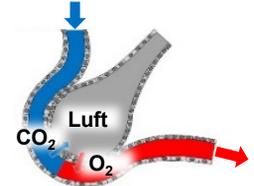
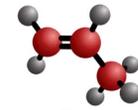
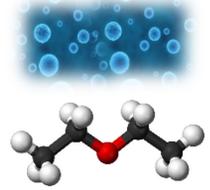
**BAFU:** Bundesamt für Umwelt. Behörde der schweizerischen Eidgenossenschaft, welche für die Fachbewilligung über den Umgang mit Kältemitteln zuständig ist.

**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.

**Biotop:** Ein Biotop definiert einen bestimmten Lebensraum einer Lebensgemeinschaft. Die Summe aller Biotope ergibt zusammen mit der Biozönose (Gemeinschaft von Organismen) das Ökosystem.

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

**Derivat:** Bedeutet so viel wie Abkömmling. Wird beispielsweise dem Methan Wasserstoff entfernt und durch ein anderes Element ersetzt, so erhält man ein Methan-Derivat. Es gibt ebenfalls Derivate des Ethans, Propane und Propene.



**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.

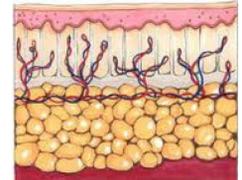


**Einstoffkältemittel:** Kältemittel, welches nur aus einer einzigen Verbindung besteht. Der Umgang mit solchen Stoffen ist einfacher gegenüber den Mischungen.



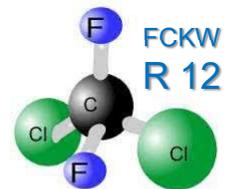
**Emission:** Eine Abgabe von Substanzen an die Umwelt. Emissionen von Gasen und Dämpfen erreichen einen grösseren Verteilungsgrad als von Flüssigkeiten oder Feststoffen.

**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.

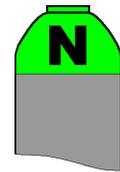


**Exposition:** Das Ausgesetzt sein gegenüber der Wirkung von Umwelteinflüssen, Strahlen, Erregern, etc.

**FCKW:** Derivat auf der Basis von Kohlenwasserstoffen, bei welchem der Wasserstoff komplett durch Fluor und Chlor ersetzt wurde. Sind heute auf Grund des hohen Treibhaus- und Ozonabbaupotentials verboten.

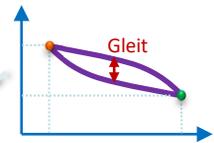


**Fluor:** Element aus der Familie der Halogene\*. Wird oft zur Herstellung synthetischer Kältemittel auf der Basis von Kohlenwasserstoffen verwendet.

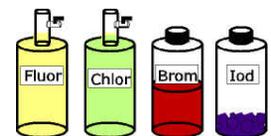


**Formiergas:** Inertes Gas, welches während dem Lötten durch die Leitung geblasen wird, um den Sauerstoff zu verdrängen. Dadurch wird die Bildung von Zunder\* vermieden. Als Formiergas wird meistens Stickstoff eingesetzt.

**Gaskühler:** Wärmetauscher, welcher die Wärmeenergie des Mediums rein sensibel abgibt. Es findet kein Aggregatzustandswechsel statt.

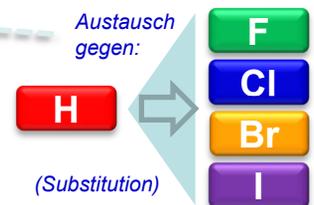


**Gleit:** Siedetemperaturdifferenz in Kältemittelmischungen zwischen der höchstsiedenden zur tiefstsiedenden Komponente. Je grösser der Gleit, desto eher treten Entmischungserscheinungen nach Leckagen und nicht korrektem Befüllen der Anlage auf.



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

**halogenisieren:** 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 halogenisiert.

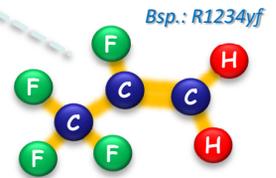


**H-FCKW:** Derivat auf der Basis von Kohlenwasserstoffen, bei welchem ein Teil des Wasserstoffes durch Fluor und Chlor ersetzt wurde. Sind heute auf Grund des Ozonabbaupotentials verboten.

**H-FKW:** Organische synthetische Kältemittel, welche auf der Basis von Alkanen\* hergestellt wurden. Sie sind stabiler als Kältemittel der Gruppe HFO\*.



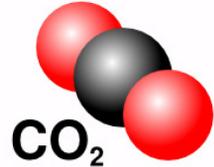
**HFO:** Organische synthetische Kältemittel, welche auf der Basis von Alkenen\* hergestellt wurden. Sie sind weniger stabil als Kältemittel der Gruppe H-FKW\*.



**hygroskopisch:** Bindet Feuchtigkeit aus der Luft.

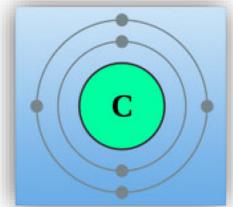
**industrialisiertes Ökosystem:** Versuch, die Symbiose\*n der Natur in die Technik zu übertragen.

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



**Kohlendioxid:** Verbrennungsprodukt einer sauberen Verbrennung von Biomasse. Kohlendioxid 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.

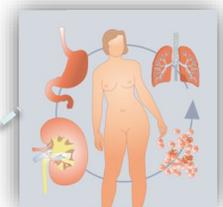
**Kohlenstoff:** Element aus dem Periodensystem der Elemente. Einziges Element, welches mit sich selbst ganze Kettenmoleküle bilden kann. Auch Erbinformationen (Gene) sind an solche Ketten gekoppelt. Daher wird die Kohlenstoffchemie auch als organische Chemie bezeichnet. Alleine mit Kohlenstoff\* sind 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 Kohlendioxid und Kohlenmonoxid 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.



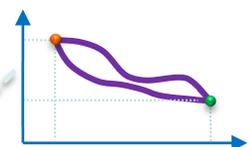
**KW:** Abkürzung für Kohlenwasserstoff. Familie der Moleküle, welche ausschliesslich auf Kohlenstoff\* und Wasserstoff basieren. Sie bilden die Ausgangsstoffe für die Herstellung aller synthetischen Kältemittel.



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

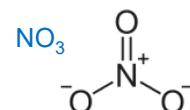
**Metabolismus:** Stoffwechsel. Beim Menschen der gesamte Haushalt von zugeführten und ausgeschiedenen Stoffen.

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



**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 Nitratre (in der Gülle enthalten) als Dünger eingesetzt, was zu erheblichen Umweltproblemen (Gewässer) geführt hat.



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

**Osmose:** Wanderung von Molekülen durch eine Membran, um Unterschiede der Partialdrücke auszugleichen.

**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.

**PFAS:** Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (Englisch: Per- and polyfluoroalkyl substances). Diese entstehen unter anderem beim Abbau von fluorierten Kältemitteln an der Atmosphäre. Sie sind schwer weiter abbaubar und reichern sich im Wasser und im Boden an. PFAS werden daher auch als «forever chemicals» bezeichnet.

**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.

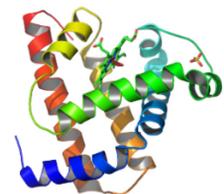
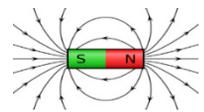
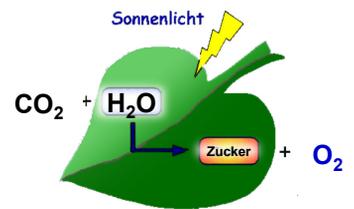
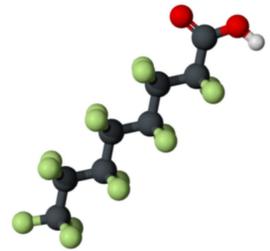
**physiologisch:** Auf die Physiologie bezogen. Physiologische Einwirkungen haben keine mechanische oder chemische Beeinflussung zur Folge. Physiologie: Lehre der Lebenserscheinungen oder Vorgänge der Organismen.

**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.

**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.

**Retrofit:** Umrüstung einer Kälteanlage oder Wärmepumpe, bei welcher nebst dem Kältemittel auch das Kälteöl, manchmal auch einzelne Komponenten ersetzt werden.



**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.

**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 Kälteträger 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 (SDB) 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.

**Stockpunkt:** Der Temperaturpunkt, an welchem ein flüssiges Medium in den festen Zustand wechselt.

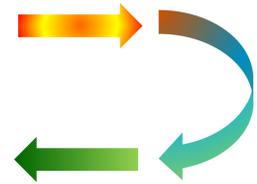
**Stosspartner:** Molekül, welches die chemische Reaktion zweier anderer Moleküle oder Elemente durch einen «Stoss» in die Wege leitet. Der Stosspartner selbst nimmt an der dabei entstehenden Verbindung nicht teil.

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

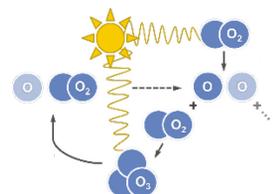
**Symbiose:** Der Abfallstoff des einen Prozesses ist zugleich ein Rohstoff für einen anderen Prozess. Symbiosen helfen mit, die Menge an eigentlichen Abfallprodukten klein zu halten. So geben die Grünpflanzen den für uns wichtigen Sauerstoff ab, während der Mensch diesen benötigt. Man spricht nur von einer Symbiose, wenn alle Teilnehmer davon einen Vorteil erfahren.

**TFA:** Trifluoressigsäure oder Trifluoracetat entsteht beim Abbau von synthetischen Kältemitteln der Gruppe HFO\* und H-FKW\*. TFA gehört zu den PFAS\*.

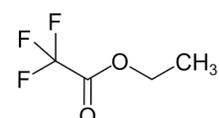
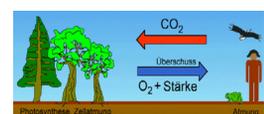
**toxisch:** Als Gift wirkend oder Gifte enthaltend.



**SDB**



**suva**



**Toxizität:** Grad der schädlichen Wirkung. Giftigkeit = Fähigkeit einer Chemikalie, in die normalen Funktionen eines bestimmten biologischen Systems störend einzugreifen. Dies äussert sich durch körperliche Beschwerden.



**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.



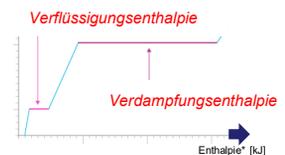
**Treibhausgas:** Gas mit überdurchschnittlich hohem Treibhauspotential. Als Referenz für die Messung wurde CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) gewählt und zu 1 gesetzt. Gase mit diesem oder höherem Treibhauspotential gelten als Treibhausgase. Kältemittel der Gruppe HFO\* haben Werte zwischen 1 bis 120, die Gruppe der H-FKW\* zwischen 450 bis über 10'000.



**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.



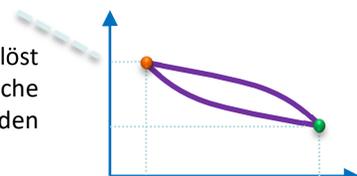
**Verdampfungsenthalpie:** Benötigte Wärmemenge, um einen Stoff bei konstanter Temperatur vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand zu überführen.



**Zellgas:** In den Poren eines Schaumstoffes enthaltenes Gas. Wegen der unzähligen Wärmeübertritte innerhalb eines solchen Stoffes ist der Wärmeleitwert sehr tief. Zellgase werden in weichen wie in harten Schaumstoffen 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 Löten 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.

