



---

## **Bestandsaufnahme Solare Kühlung**

---

**Materialien für die Weiterbildung  
zum/zur Gebäudeenergieberater/-in (HWK)**

# Bestandsaufnahme: Solare Kühlung

---

Lerneinheit: Solare Kühlung

Stand: 06.02.2016

ID (Abk.): BSA\_SKG

Herausgeber: BTZ der Handwerkskammer Berlin und IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung

Autor/-innen: Scharp, Michael

Typ: Text

Offline nutzbar: ja

Online nutzbar: ja

Umfang (Dauer Min. /Seiten): 45 / 36

Technische Voraussetzungen: Computer und/oder Drucker (pdf), Tablet oder Smartphone (E-Book)

Kurzbeschreibung: In der Lerneinheit „Solare Kühlung - Grundlagen“ werden grundlegende Themen der solaren Kühlung dargestellt und erläutert. Die Lerneinheit beginnt mit der Einordnung der Themen Kühlung und Klimatisierung und die Bedeutung von Energie- und Umweltfragen. Anschließend wird der strombetriebene Stand der Technik und deren Verwendung vorgestellt. Es folgt die Erläuterung wie Anlagen zur Solaren Kühlung die Sonnenenergie nutzen, um Kälte zu produzieren. Anschließend werden die physikalischen Prozesse wie Absorption, Adsorption oder Verdunstung vorgestellt, die der Kältegewinnung zu Grund liegen. Danach folgt ein Überblick über die drei wichtigsten technischen Systeme: geschlossene Ab- und Adsorptionsanlagen sowie Anlagen zur sorptionsgestützten Klimatisierung. Abschließend werden die Grenzen und die Vorteile, aber auch die Hemmnisse der Solaren Kühlung erörtert.

Nutzung: Dieser Lernstoff ist veranstaltungsbegleitend zur Präsentation des Dozenten / der Dozentin. Bitte lesen Sie sich das Material eigenständig durch. Notieren Sie sich Fragen für die Veranstaltung. Im E-Book können Sie die Notizfunktion nutzen.

## **Inhalt**

1. Solare Kühlung und Klimatisierung .....	4
2. Die Bedeutung der Kühlung und Klimatisierung .....	5
3. Energie- und Umweltfragen .....	7
4. Der Stand der Technik strombetriebener Kühlung .....	10
5. Typen von Klimaanlage.....	12
6. Kälteerzeugung durch Absorption oder Adsorption .....	15
7. Das Prinzip der Kälteerzeugung mit Wärme .....	17
8. Typen der Kälteanlagen.....	18
9. Geschlossene Absorptionskälteanlagen mit Lösungen .....	20
10. Beispiele für geschlossene Absorptionskälteanlagen.....	22
11. Geschlossene Feststoff-Adsorptionskälteanlagen.....	24
12. Beispiele für geschlossene Feststoff-Adsorptionskälteanlagen .....	26
13. Offene Adsorptionskälteanlage mit Feststoffen.....	27
14. Adsorptionsgestützte Klimatisierung – Beispiele .....	29
15. Bewertung der solaren Kühlung nach EnEV .....	32
16. Zusammenfassung .....	33
Quellenverzeichnis .....	34
Abbildungsverzeichnis .....	36
Glossar.....	38
Impressum .....	41

# 1. Solare Kühlung und Klimatisierung

## Lernziele

Beschreiben, wie Solare Kühlung und Klimatisierung zusammenhängen.

## Schlagworte

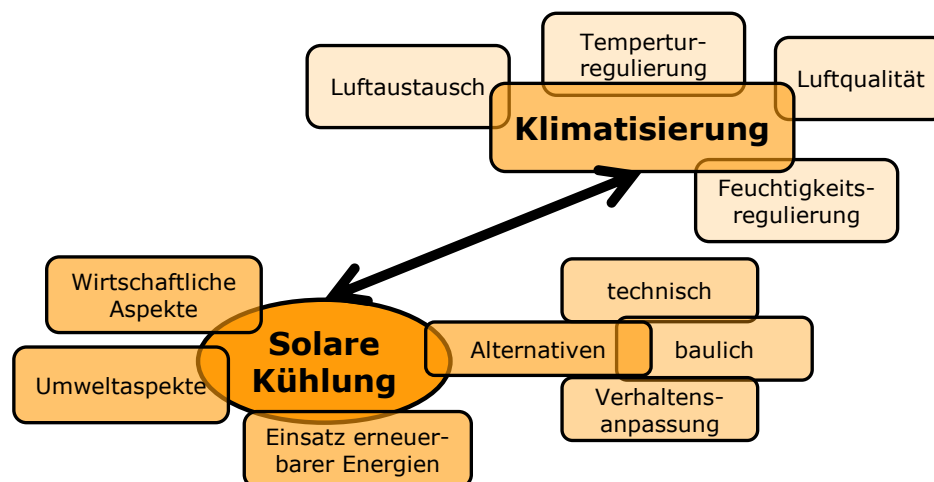
Solare Kühlung, Klimatisierung

## Inhalt

„Solare Kühlung“ ist die Nutzung der Solarenergie zum Zwecke der Kühlung. Was ist so interessant an diesem Thema? Handelt es sich hierbei um eine Zukunftstechnologie wie die Photovoltaik? Aber warum wird im Gegensatz zur Photovoltaik, Brennstoffzelle und Windenergie kaum darüber berichtet?

Um diese Fragen zu beantworten, muss man solare Kühlung richtig einordnen können. Zunächst einmal muss man die Kühlung von der Klimatisierung unterscheiden. „Kühlung“ ist hierbei nur der Aspekt der Temperaturregulierung. Unter „Klimatisierung“ wird die Konditionierung der Raumluft hinsichtlich der Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftaustausch und Luftqualität (Gerüche, Staubpartikel, Schadstoffe) gemäß den Komfortanforderungen verstanden.

**Abb.: Einordnung der solaren Kühlung**



Quelle: Eigene Darstellung.

Die solare Kühlung nutzt die Solarenergie für die Kühlung. Hierbei stellt sich die Frage, ob es auch andere, umweltfreundliche Energien gibt, die hier eingesetzt werden können. Es stellt sich auch die Frage nach alternativen anlagentechnischen oder baulichen Möglichkeiten, oder gibt es auch Möglichkeiten durch Verhaltensänderungen? Welche Vorteile hat die konventionelle Klimatisierung der Hotelzimmer, die weltweit verbreitet ist? Wie verträgt sich dies mit der Umwelt und der Wirtschaftlichkeit?

Heutzutage muss jede Technologie auf den Prüfstand und in einem größeren Rahmen gesehen werden. Nicht alles, was machbar ist oder was uns vorteilhaft erscheint, muss im Hinblick auf Ressourcenaufwand, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit zukunftsfähig sein. In den nachfolgenden Kapiteln sollen diese Fragen beantwortet werden.

## 2. Die Bedeutung der Kühlung und Klimatisierung

### Lernziele

Erläutern, welche Bedeutung Kühlung und Klimatisierung für Deutschland haben.

### Schlagworte

Kühlung, Kühlbedarf, Raumklima, Behaglichkeit

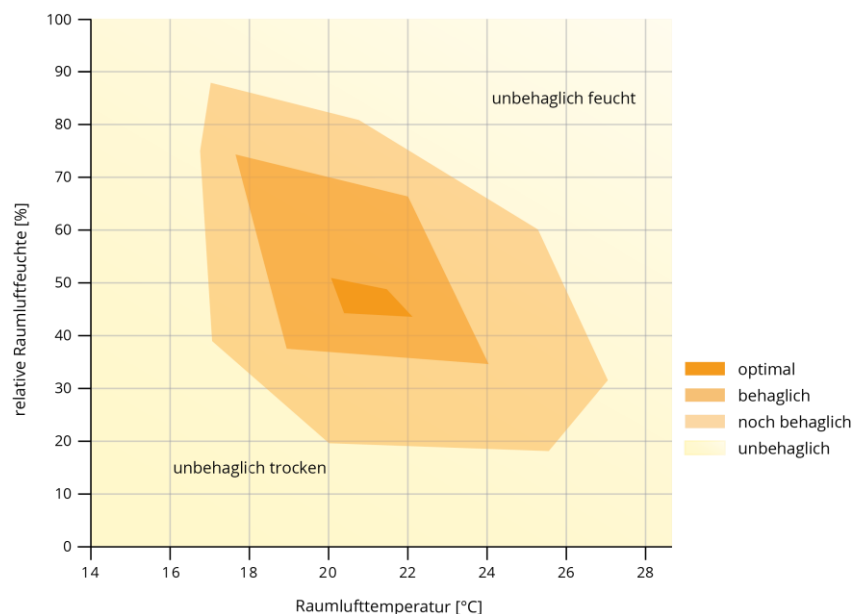
### Inhalt

Die Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden wird heutzutage überwiegend mit elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen durchgeführt, die bei einem hohen Anteil von fossilen Energieträgern an der Stromerzeugung zum Klimawandel beitragen. Mit der Solaren Kühlung kann die Sonnenenergie genutzt werden, um thermisch zu kühlen oder zu klimatisieren. Grundsätzlich sind Anlagen zur solaren Kühlung vorteilhaft, da in den Sommermonaten der hohe Bedarf an Kühlung oder Klimatisierung mit dem hohen Angebot an Solarenergie zeitlich zusammen fallen.

„Kühlung“ ist ein physikalischer Prozess bei der die Temperatur eines Gegenstandes oder eines Systems durch Wärmeübertragung abgesenkt wird. Die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit sind von entscheidender Bedeutung nicht nur für die Behaglichkeit, sondern auch für unsere Leistungsfähigkeit, wie jeder aus Erfahrung weiß. Wenn wir frieren, können wir uns viel weniger konzentrieren und bewegungsarme Arbeiten sind nur schwierig durchzuführen.

Eine Raumtemperatur oberhalb von 24 Grad Celsius in Verbindung mit einer Luftfeuchtigkeit oberhalb von 65 % wird in der Regel bereits als unbehaglich empfunden, bei 25 Grad Celsius und 70 % Luftfeuchtigkeit erreicht man die Bedingungen eines botanischen Tropenhauses (vgl. Plewa und Weipert 2014:8).

### **Abb.: Das Behaglichkeitsfeld**



Quelle: Eigene Abbildung nach Bundesbaublatt o.J.

Deutschland liegt in einer gemäßigten Klimazone, weshalb eine aktive Kühlung in Gebäuden eigentlich nicht erforderlich wäre. Wir haben nur geringe langjährige durchschnittliche Temperaturen von 7 bis 11 Grad Celsius, selbst im Juni und August liegen diese durchschnittlichen Außentemperaturen nur zwischen 18 und 20 Grad Celsius. (DWD o.J.). Bei Gebäuden mit großen Fensterflächen und hohen internen Wärmequellen Aufgrund von Beleuchtung, elektrischen Geräten etc. kann es dazu führen, dass schon bei kühlen Außentemperaturen und hohen solaren Einträgen eine Kühlung erforderlich werden kann.

**Abb.: Glasfassade von Bürogebäude**



Quelle: Fotolia / von Lieres / 50606181

### **3. Energie- und Umweltfragen**

#### Lernziele

Erklären, welche Kältemittel zu Kühlzwecken eingesetzt werden und welche Umweltwirkungen mit ihnen verbunden werden.

#### Schlagworte

FCKW, Kältemittel, Kältemittelverbote, Treibhauseffekt

#### Inhalt

Heutzutage werden mehr als die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude klimatisiert, im Wohnungsbereich sind es nur wenige Promille (UBA 2016a). Der Anteil der Endenergie für die Klimakälte liegt im Sektor Handel, Gewerbe und Dienstleistungen bei 1 % bzw. 12,4 PJ bzw. 3.400 GWh (BMWi 2015:Tab.7). Im Haushaltsbereich spielt Klimakälte noch keine Rolle und wird von den Energiestatistiken deshalb auch noch nicht erfasst. Bundesweit liegt der Einsatz von Endenergie für Klimakälte nur bei 0,4 % bzw. 32 PJ, was jedoch immerhin 8.900 GWh entspricht (Deutschland: Endenergieverbrauch 8.650 PJ in 2014, BMWi 2015).

Betrachtet man die Bedeutung der Klimatisierung für den Stromverbrauch, so zeigen sich andere Verhältnisse. Der Anteil der Endenergie für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden liegt in Deutschland im Sektor Handel, Gewerbe und Dienstleistungen bei 4 % bzw. bei rund 24 TWh der Bruttostromerzeugung in Deutschland (Gesamt: 610 TWh in 2014, BMWi 2015).

Die Klimawirkung der Klimatisierung ist abhängig von der genutzten Energieform. Sofern Strom genutzt wird, ist sie mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktor für strombasierte Anwendungen zu berechnen. Viele industrielle oder gewerbliche Klimaanlageanlagen nutzen jedoch Abwärme oder Wärme aus BHKW. In diesen Fällen sieht die Emissionsbilanz deutlich besser aus.

In südlichen Ländern spielt die konventionelle Klimatisierung mit Hilfe von strombetriebenen Geräten eine wesentlich größere Rolle. Besonders problematisch ist, dass die Klimatisierung vor allem um die Mittagszeit zur Spitzenlastzeit genutzt wird (Frey und Drück 2011).

**Abb.: Außengeräte von Kompressionskälteanlagen**



Quelle: Fotolia / kanvag / 30855544

Elektrisch angetriebene Kälteanlagen verbrauchen nicht nur Strom und tragen somit beim heutigen Energiemix erheblich zum Treibhauseffekt bei, sondern verwenden auch ein Kältemittel, das Auswirkungen auf die Umwelt hat. Die ersten Kältemittel waren Fluor-Schwefelverbindungen, die von Sonnenlicht in der Atmosphäre zersetzt wurden und die zum Abbau des Ozons in der Stratosphäre führten. Die Folge war eine erhöhte UV-Strahlung an der Erdoberfläche mit den Folgen eines erhöhten Hautkrebsrisikos.

Für Kälteanlagen sind viele Substanzen geeignet, die bei geringen Temperaturen verdampfen und leicht komprimiert werden können (Siemens o.J.). Weitere Anforderungen sind u.a. dass sie nicht giftig oder nicht-korrosiv sind. Dies trifft teilweise auf Fluor-Chlor-Kohlenstoffe oder Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW oder teilhalogenierte FCKW), Fluor-Kohlenwasserstoffe oder Kohlenwasserstoffe (FKW bzw. HFKW) bzw. Gemische davon zu.

FCKW sind für Kühlgeräte seit den 90iger-Jahren aufgrund ihres Ozonabbaupotenzials in der oberen Atmosphäre (FCKW-Halon-VV 1991, UBA 2009) verboten worden. Seit 2015 sind auch alle HFCKW (chlorierte Verbindungen) für Klimaanlage europaweit verboten (UBA 2014), so dass derartige Anlagen nicht mehr instandgesetzt werden dürfen. Aufgrund der langen



Lebensdauer von Kühlgeräten werden heutzutage immer noch FCKW-haltige Kühlgeräte entsorgt.

In Kälte- und Klimaanlage werden heutzutage Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW wie z.B. R134a, d.h.  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) Propan und Butan-Gemische bzw. Isobutan eingesetzt. In Großanlagen mit mehr als 50 kW Leistung werden HFKW-Gemische wie R410a oder R407c verwendet. Mit der EU Verordnung 517/2014 ist der Ausstieg aus den teilhalogenierten HFKW beschlossen worden, da diese Substanzen auch einen erheblichen Beitrag zum Treibhauseffekt haben (Ziel: 20 % der heutigen Verkaufsmenge bis 2030, UBA 2015b, UBA 2016a). Zum Beispiel haben die geschätzten 400 t Emissionen im Jahr 2010 aufgrund von entweichenden Kältemitteln aus Kühlanlagen in die Atmosphäre eine äquivalente Treibhausgaswirkung von 715.000 t  $\text{CO}_2$ .

Aufgrund aller negativen Umwelteffekte der aktiven Kühlung ist es eine Herausforderung, die vielen Anwendungsbereiche der Kühlung umweltfreundlicher zu gestalten. Charakteristisch für hohe Kühlbedarfe sind meistens die zeitgleich vorhandene hohe Wärmelasten bzw. das hohe Dargebot von solarer Wärme und/oder von Abwärme. Dieser Zusammenhang sollte mit der thermischen bzw. solaren Kühlung als Chance erkannt und effizient genutzt werden. Im Sinne einer Umweltbilanzierung ist immer erst abzuwägen, ob eine aktive Kühlung notwendig für einen Anwendungsfall ist oder ob sie nur eine Frage des Komforts ist, die auch anderweitig zum Beispiel durch eine passive Kühlung zu lösen wäre.

## 4. Der Stand der Technik strombetriebener Kühlung

### Lernziele

Erklären, wie eine Kältemaschine funktioniert.

### Schlagworte

Kälteerzeugung, Kompressionskälteanlage, Kühlmittel, Kühlschrank, Verdunstung, Verdampfung, Wärmeübertragung

### Inhalt

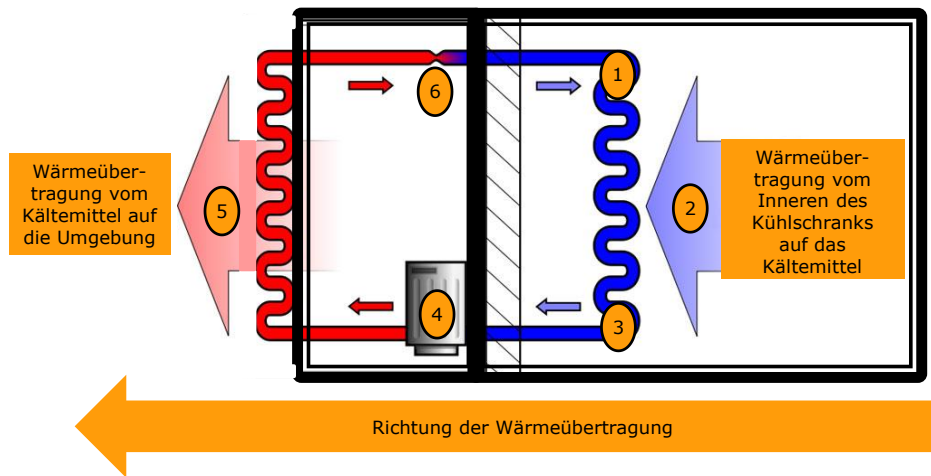
Die am Markt am häufigsten verbreiteten Kältemaschinen sind strombasierte Kompressionskältemaschinen, die nach dem gleichen Funktionsprinzip wie ein haushaltsüblicher Kühlschrank funktionieren. Diese werden überwiegend zur Kühlung in Wohn- und Nichtwohngebäuden eingesetzt. Neben den strombasierten Kompressionskältemaschinen gibt es thermisch angetriebene Kältemaschinen auf dem Markt: Absorption-, Adsorption und sorptionsgestützte Kältemaschinen.

Im Folgenden wird immer nur die Kühlung betrachtet und nicht die Klimatisierung. Das Prinzip einer Kältemaschine kann an einem einfachen Beispiel erläutert werden. Die natürliche Kühlung des menschlichen Körpers erfolgt durch Schwitzen. Die Körperwärme lässt den Schweiß auf der Haut verdunsten. Dieser Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Zustand ist nur durch Energieaufwand möglich. Im Ergebnis wird der Haut Wärme entzogen, sie kühlt ab. Grundlegend sind hierbei zwei Prinzipien:

- eine Wärmeübertragung vom Medium höherer Temperatur zum Medium mit niedriger Temperatur mittels eines sogenannten Kälte-trägers wie z.B. Luft oder Wasser sowie
- die Verdampfung eines flüssigen (gelösten, angelagerten) Kältemittels durch Wärmeaufnahme.

Das wohl bekannteste Beispiel einer Kältemaschine ist der Kühlschrank. Ein flüssiges Kältemittel (1) fließt durch das Innere des Kühlschranks. Es nimmt die Wärme der Lebensmittel auf (2). Das Kältemittel verdampft und die Lebensmittel kühlen ab. Das gasförmige Kältemittel (3) wird von einem elektrisch betriebenen Kompressor verdichtet (4) und anschließend im Kondensator (5) durch Wärmeabgabe über die Kühlrippen verflüssigt (5). Anschließend fließt das abgekühlte Kältemittel durch ein Drosselventil, welches den Druck mindert und dadurch das Kältemittel weiter abkühlt (6). Das entspannte, flüssige Kühlmittel fließt wieder in den Kühllinnenraum und der Kreislauf beginnt von vorne.

Abb.: Funktionsprinzip eines Kühlschranks (blau = Verdampfer, rot = Kondensator)



Quelle: Eigene Darstellung nach Wikipedia

## 5. Typen von Klimaanlage

### Lernziele

Aufzählen, welche Kompressionskältemaschinen es gibt.

### Schlagworte

Außengeräte, Innengeräte, Kompressionskältemaschine, Monogeräte, Splitgeräte

### Inhalt

Klimaanlagen können in dezentrale und zentrale Anlagen oder nach ihrer Funktion unterschieden werden:

**Abb.: Einteilung von Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlage nach DIN EN 13779**

	Lüftung	Heizung	Kühlung	Befeuchtung	Entfeuchtung	Anlagenbezeichnung
THM C0	✓					Einfache LA
THM C1	✓	✓				LA mit Heizfunktion
THM C2	✓	✓		✓		KA mit Befeuchtung
THM C3	✓	✓	✓		(✓)	TKA mit Kühlfunktion
THM C4	✓	✓	✓	✓	(✓)	TKA mit Kühl- und Entfeuchtung
THM C5	✓	✓	✓	✓	✓	KA mit allen Funktionen (Vollklimaanlage)

Quelle: Eigene Darstellung nach Wikipedia o.J.a. LA = Lüftungsanlage, KA = Klimaanlage, TKA Teilklimaanlage

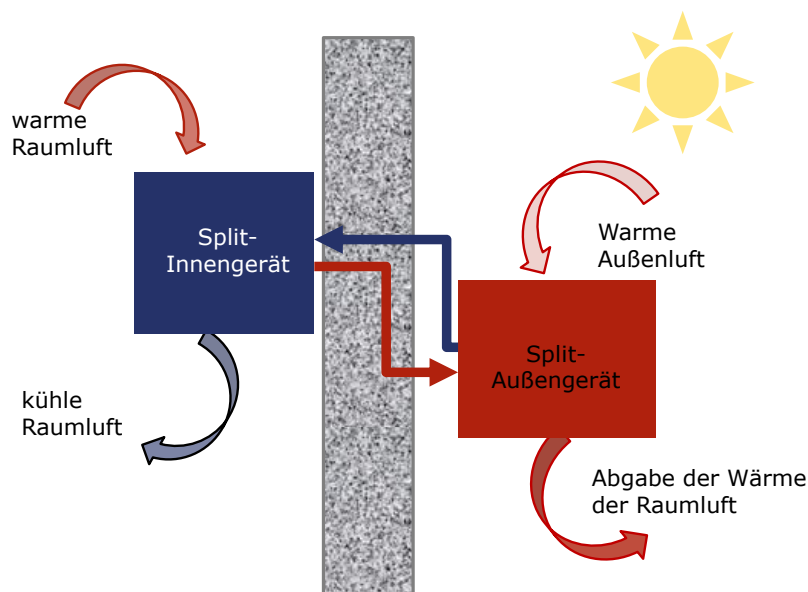
Die am häufigsten vorkommenden dezentralen Klimaanlage sind sogenannte Mono- und vor allem Splitgeräte.

**Monogeräte** sind dezentrale Klimaanlage. Es sind mobile Geräte, die von Raum zu Raum geschoben werden können. Sie haben aufgrund ihrer Konstruktion einen Abluftschlauch, durch den die dem Raum entzogene Wärme abgeführt wird. Dieser Schlauch muss vom Gerät nach außen geführt werden. Hierdurch ergeben sich zwei Probleme: Zum einen muss die Schlauchdurchführung – meist durch ein Fenster – abgedichtet werden. Zum anderen erzeugen die Geräte häufig einen leichten Unterdruck und warme Luft strömt von außen nach. Umweltbundesamt und Umweltverbände raten von der Benutzung dieser Anlagen aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs bei geringer Kühlwirkung ab (UBA 2016).

**Splitgeräte** bestehen aus zwei Bestandteilen. Einem im Außenbereich zum Beispiel an der Außenwand installierten Außengerät mit Kompressor und Kondensator sowie einem zum

Beispiel an der Decke befestigtes Innengerät mit dem Verdampfer. Beide Geräte sind mit Kältemittelleitungen verbunden. Die Vorteile der Splitgeräte sind, dass sie zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden können. Splitgeräte können aus mehreren Innen- und Außengeräten zusammenschaltet werden. Monosplitgeräte haben nur ein Innenteil. Multisplitgeräte haben mehrere Innengeräte (VRF-Systeme, Variable, Refrigerant Flow, Baunetz-Wissen o.J.). Splitgeräte können auch mit mehreren Außengeräten zusammen betrieben werden. Der maßgebliche Vorteil dieser Anlagen ist, dass sie leicht zu montieren sind, keinen hohen Planungsaufwand erfordern, preiswert sind und überall dort genutzt werden können wo ein Stromanschluss gelegt werden kann.

**Abb.: Prinzip eines Splitgerätes**



Quelle: Eigene Darstellung nach Baulinks o.J.a

**Zentrale Klimaanlage** werden vor allem in größeren Nichtwohngebäuden eingesetzt. Die zentrale Klimamaschine wird meist an zentraler Stelle – meist unter oder auf dem Dach – installiert. Von der Zentraleinheit verteilen Luftkanäle die temperierte und befeuchtete Luft in die einzelnen Räume.

**Abb.: Rückkühlturm einer zentralen Klimaanlage auf einem Dach**



Quelle: Fotolia / pedrosala / 75886508

## 6. Kälteerzeugung durch Absorption oder Adsorption

### Lernziele

Erklären, wie sich Adsorption und Absorption unterscheiden und wie durch sie Kälte erzeugt werden kann.

### Schlagworte

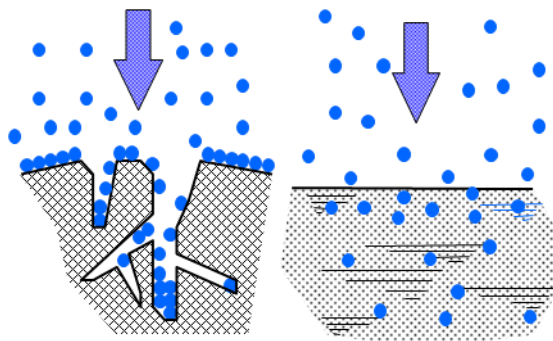
Absorption, Adsorption, Adsorbat, Adsorbens, Ammoniak, Silikagel, Verdampfung, Verdampfungsenthalpie, Zeolithe,

### Inhalt

In den vorangegangenen Kapiteln wurde das Prinzip der strombasierten Kompressionskälteerzeugung vorgestellt. Ein anderes Prinzip nutzt die **Ab- bzw. Adsorption** zur Kälteerzeugung. Diese zwei Formen der Sorption können wie folgt beschrieben werden:

- Bei der **Adsorption** wird ein flüssiger oder gasförmiger Stoff (Adsorptiv) an einer festen, porösen Substanz angelagert. Diese Substanz ist das sogenannte Adsorbens, das z.B. Wasser anlagert (und zum Adsorbat wird). Bekannte Beispiele sind Silikagel, welches als Trocknungsmittel vielfältig eingesetzt wird, oder Zeolithe, die sehr gut reversibel genutzt werden können. Bei der Anlagerung des adsorbierten Stoffes wird Wärme frei, die jedoch zumeist gering ausfällt (10 bis 50 kJ/mol = 0,014 kWh/mol). Für ein kg Wasser (55 mol) wären dies 0,8 kWh.
- Bei der **Absorption** wird ein flüssiger oder gasförmiger Stoff (Absorptiv) von einer Flüssigkeit oder einem Feststoff aufgenommen (Absorbens). Ein Beispiel für ein Absorbens ist eine konzentrierte Salzlösung, die der Luft Feuchtigkeit entziehen kann. Aber auch Wasser kann gegenüber Ammoniak als Absorbens wirken. Bei der Lösung des adsorbierten Stoffes wird ebenfalls Wärme frei.

**Abb.: Prinzip der Adsorption (links) und der Absorption (rechts)**



Quelle: Eigene Abbildung nach gängigen Vorbildern.

Ab- und Adsorption sind Prozesse, bei denen Wärme frei wird, aber keine Kälte erzeugt wird. Wie kann man nun dieses Prinzip für die Kälteerzeugung nutzen?

Hierzu muss man nicht auf die Sorption schauen, sondern auf den Systemteil, aus dem das Ad- bzw. Absorptiv stammt und der nun frei hiervon ist. Im einfachsten Falle ist ein Trocknungsprozess vollzogen worden, d.h. Feuchtigkeit ist aus der Luft entfernt worden.

Hiermit eröffnet sich nun die Möglichkeit Kälte zu erzeugen, indem die trockene Luft z.B. durch Zerstäuben befeuchtet wird. Aufgrund des Dampfdruckes von kleinsten Wasserbläschen verdampfen diese unter Wärmeaufnahme. Die Wärme wird aus der Luft entnommen, was zur Abkühlung der Luft führt. Die Verdampfungsenthalpie von Wasser bei 20°C ist 44,2 kJ/mol oder 2,46 MJ/kg bzw. 0,68 kWh/kg (energielexikon o.J.). Dieser Wert ist sehr hoch für Flüssigkeiten und gründet in den starken Wasserstoffbindungen des Wassers.

Um ein Kubikmeter Luft um 1 Kelvin abzukühlen bzw. zu erwärmen, benötigt man 0,34 Wh an Kühl- bzw. Wärmeenergie ( $c_v = 1,005 \text{ kJ/kg K}$ ,  $\Delta T = 1 \text{ K}$ , 78 % N<sub>2</sub>, 21 % O<sub>2</sub>). Als Richtwert kann man sich merken, dass

- 0,34 Wh benötigt werden, um 1 Kubikmeter Luft um 1 Kelvin abzukühlen oder zu erwärmen.
- Mit der Verdampfungsenthalpie von einem Liter Wasser kann man somit 2.000 Kubikmeter Luft um 1 Kelvin abkühlen oder erwärmen.



## 7. Das Prinzip der Kälteerzeugung mit Wärme

### Lernziele

Erklären, wie die thermische Kälteerzeugung funktioniert.

### Schlagworte

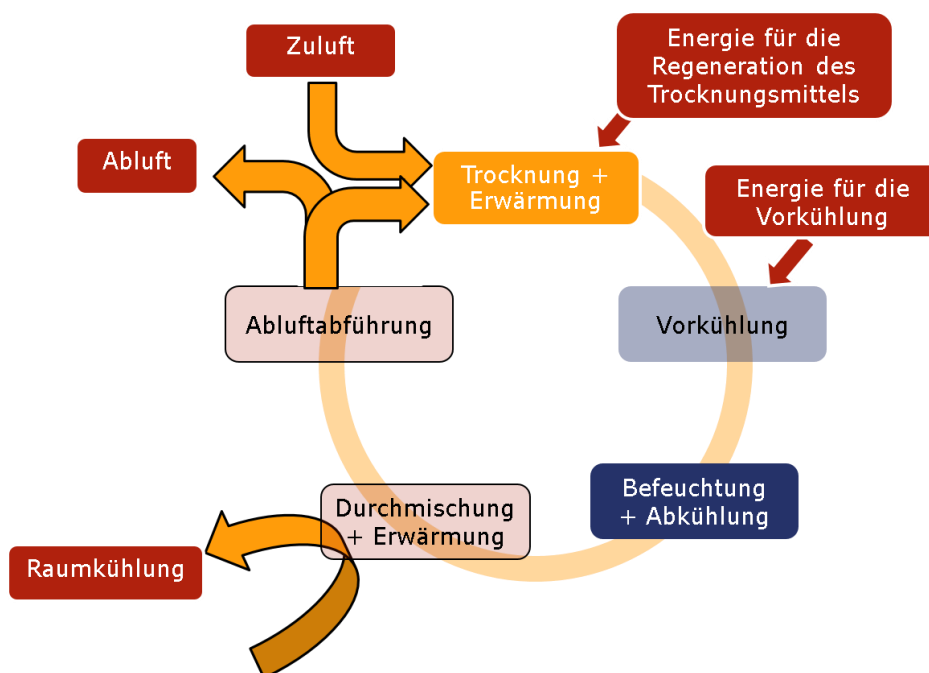
Kälte, Kältemittel, Kälte­träger, Kühlung, Verdunstung

### Inhalt

Wie kann man sich die Erzeugung von Kälte aus Wärme vorstellen? Hierzu braucht man zunächst ein Kältemittel, welches leicht verdampft werden kann, wie z.B. Wasser. Zum anderen braucht man einen Kälte­träger, mit dem man Räumlichkeiten kühlen bzw. klimatisieren kann, wie z.B. Wasser bzw. Luft. Das Prinzip der Kälteerzeugung durch Wärme und der Kühlung kann dann wie folgt in einem offenen System ablaufen, welches mit Luft und Wasser arbeitet:

1. Dem Kälte­träger Luft wird die Feuchtigkeit entzogen, er wird getrocknet. Das Trocknungsmittel nimmt die Feuchtigkeit auf.
2. Durch die Trocknung wird der Kälte­träger erwärmt, er wird deshalb vorgekühlt.
3. Der Kälte­träger wird befeuchtet und durch die Verdunstung von Wasser gekühlt.
4. Der gekühlte Kälte­träger Luft wird in die Räumlichkeiten zur Kühlung geleitet und entzieht den Räumen Wärme bzw. vermischt sich mit der warmen Raumluft.
5. Die warme Raumluft wird abgeführt.

### **Abb.: Prinzip der Kälteerzeugung**



Quelle: Eigene Darstellung.

Und wozu wird nun die Wärme gebraucht? Wärme wird zur Regeneration des Trocknungsmittels gebraucht, welches die Luft getrocknet hat. Nur so ist es möglich, den ersten Schritt immer wieder von neuem ablaufen zu lassen.

## 8. Typen der Kälteanlagen

### Lernziele

Erklären, wie die Verfahrenstypen für Kälteanlagen eingeordnet werden.

### Schlagworte

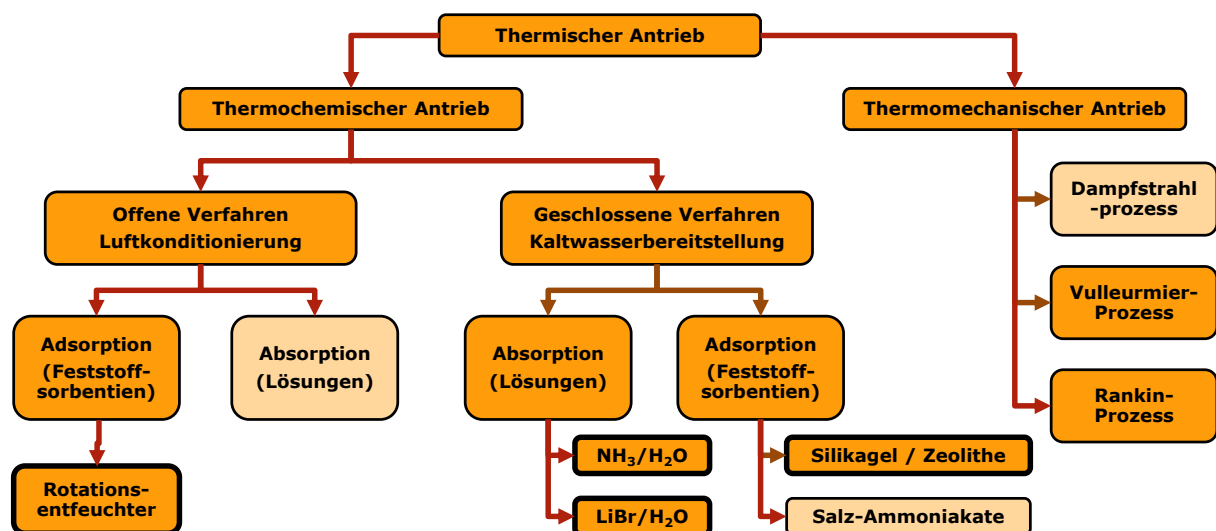
Absorptionsanlagen, Adsorptionsanlagen, geschlossene Verfahren, offene Verfahren, Rotationsentfeuchter, thermischer Antrieb, thermochemischer Antrieb, thermomechanischer Antrieb

### Inhalt

Die Verfahren der thermischen Kälteerzeugung lassen sich untergliedern in thermochemische Verfahren, bei denen es zu Sorptionsprozessen kommt, und thermomechanische Verfahren, bei denen die Wärme für Kompressionsverfahren genutzt wird. Die thermochemischen Verfahren untergliedern sich in offene und geschlossene Verfahren:

- Bei geschlossenen Verfahren wird das Kältemittel in einem Kreislauf geführt. Wichtigstes Beispiel sind Kühlleitungen für das Kältemittel Wasser, die durch Wände und Decken eines Gebäudes verlegt sind (Kaltwassersysteme). Sie sind gleich den Split-Geräten, die über Kühlleitungen mit Kälte versorgt werden und kühle Luft erzeugen. Die geschlossenen Verfahren untergliedern sich wiederum in Verfahren mit Absorption und Adsorption. Diese Technologie ist am weitesten entwickelt, es stehen verschiedene Systeme am Markt zur Verfügung.
- Bei offenen Verfahren steht das Kältemittel Wasser direkt in Kontakt mit der Luft. Die gekühlte Luft wird über Ventilationsschächte zur Kühlung von Räumlichkeiten genutzt. Weiterhin wird das Kältemittel Wasser im offenen System nicht in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Die geschlossenen Verfahren untergliedern sich wiederum in Verfahren mit Absorption und Adsorption. Der Rotationsentfeuchter ist ein auf dem Markt verfügbares System.

Abb.: Verfahrenstypen für Kälteanlagen



Quelle: Eigene Abbildung nach Freu und Drück 2011. Dick umrandet= Geräte am Markt verfügbar, transparent = Anlagen in Erprobung)

Nach Frey und Drück (ebd. 2011: 3) können die Anlagentypen auch in solarautarke oder solarunterstützte Systeme unterteilt werden. Bei den solarautarken Systemen liefert die Solarenergie die vollständige Energie für den Kühlungsprozess. Bei den solarunterstützten Systemen kann ein Teil der Wärme z.B. aus Blockheizkraftwerken stammen oder die Solarthermie kann eine Kompressionskältemaschine unterstützen.

Die wichtigsten marktreifen Verfahren sind derzeit:

- Geschlossene Absorptionsverfahren mit Ammoniak-Wasser oder Lithiumbromid-Wasser,
- Geschlossene Adsorptionsverfahren mit Silikagel oder Zeolithen sowie
- Rotationsentfeuchter wie die sorptionsgestützte Klimatisierung.

## 9. Geschlossene Absorptionskälteanlagen mit Lösungen

### Lernziele

Erklären, wie die Kälteerzeugung in geschlossenen Absorptionskälteanlagen funktioniert.

### Schlagworte

Absorber, Absorptionskälteanlage, Absorptionskältemaschine, Kälteerzeugung, Kälte Träger, Kocher, Kondensator, Verdampfer,

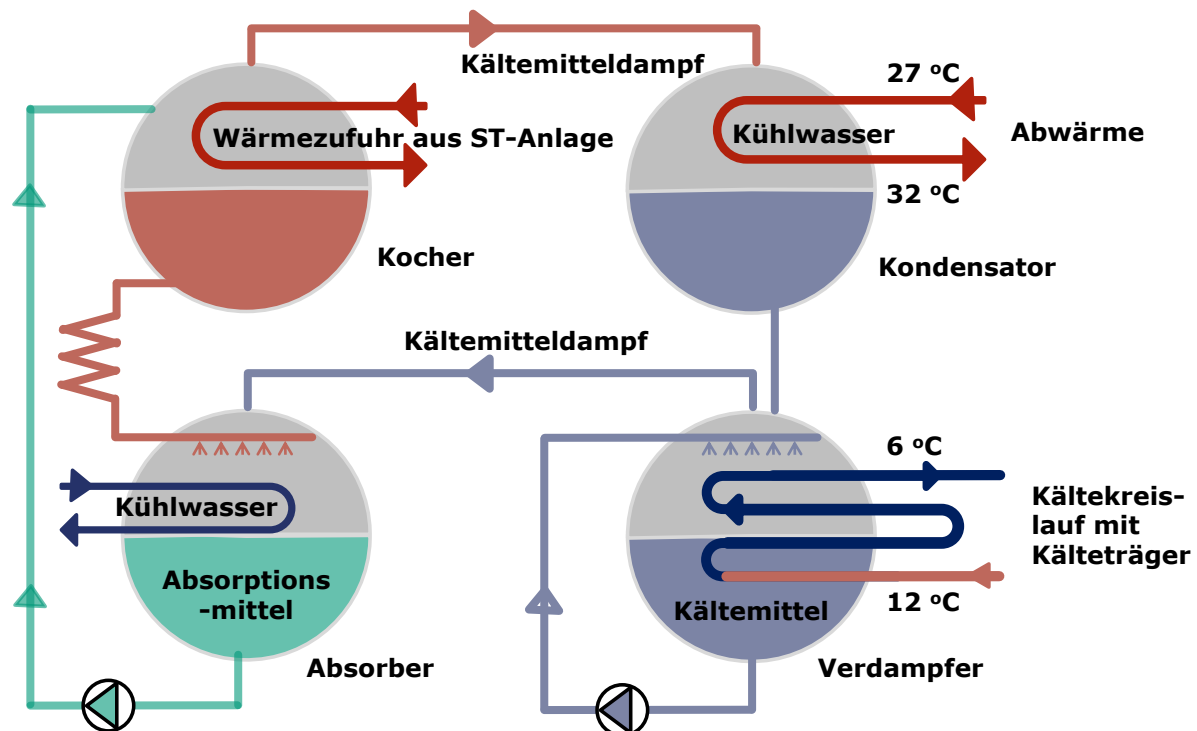
### Inhalt

Absorptionskälteanlagen bestehen aus zwei Behältern: dem kombinierten Verdampfer und Absorber, sowie dem kombinierten Kocher und Kondensator. In diesen Behältern fließen das Kältemittel, das Absorptionsmittel und der Kälte Träger. Der Kälte Träger – zumeist Wasser – durchströmt zusätzlich die zu kühlenden Räumlichkeiten, kühlt die Raumluft ab und nimmt hierbei Raumwärme auf.

1. Der Kühlkreislauf beginnt im Verdampfer. In diesem befindet sich das Kältemittel, welches vom Kälte Träger durchströmt wird. Der aus der Abkühlung der Räume erwärmte Kälte Träger verdampft das Kältemittel und kühlt sich dabei wieder ab.
2. Der Kältemitteldampf fließt danach zum Absorber. Der Dampf wird dort vom Absorptionsmittel aufgenommen. Es entsteht eine Kältemittel-Absorptionsmittel-Lösung, die in den Kocher gepumpt wird.
3. Im Kocher – auch Austreiber genannt – erhitzt die Solarthermie-Anlage die Kältemittel-Absorptionsmittel-Lösung. Dabei wird das Kältemittel aus dem Absorptionsmittel ausgetrieben.
4. Das ausgetriebene Kältemittel wird abschließend in den Kondensator geführt. Mit Kühlwasser wird das Kältemittel abgekühlt wobei es sich verflüssigt. Die Wärme wird abgeführt, das Kältemittel in den Verdampfer zurückgepumpt und der Kreislauf kann erneut beginnen.

Die Grafik zeigt den Kreislauf von Verdampfung, Absorption, Austreibung und Kondensierung.

Abb.: Funktionsweise einer geschlossenen Absorptionskältemaschine



Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an HWK Freiburg / ISE.

Neben der thermischen Energie aus der Solarthermieanlage benötigt die Absorptionskälteanlage nur einen sehr kleinen Teil elektrische Energie für die Pumpe zwischen Absorber und Kocher (rund 0,5 – 2 % der im Verdampfer erbrachten Kälteleistung). Durch die Verwendung von Drosselventilen im restlichen Kreislauf können weitere Pumpen vermieden werden.

Für die Verdampfung des Kältemittels aus der Lösung sind höhere Temperaturen als bei den anderen Systemen notwendig (80-110°C bei einstufigen Verfahren, 130-180°C bei zweistufigen Verfahren, Frey und Drück 2011:14). Deshalb können derartige Anlagen nur mit Vakuumröhrenkollektoren oder konzentrierenden Systemen betrieben werden.

## 10. Beispiele für geschlossene Absorptionskälteanlagen

### Lernziele

Benennen, welche Bedeutung geschlossene Absorptionskälteanlagen haben.

### Schlagworte

Absorptionskälteanlage, Absorptionskältemaschine, Absorberstufen, Kälteerzeugung, Kälte Träger, Leistungszahlen

### Inhalt

Absorptionskälteanlagen sind in verschiedenen Systemformen verfügbar. Hierbei können sie mit unterschiedlichen Arbeitspaaren arbeiten (Ammoniak/Wasser oder Wasser/Lithiumbromid), sie können wie andere Kälteanlagen mit unterschiedlichen Wärmequellen betrieben werden (Solarthermie, Fernwärme, BHKW-Wärme oder Abwärme) oder sie können nach der Anzahl der Absorberstufen unterschieden werden (ein-, zwei- oder dreistufig, vgl. CCI\_Zeitung 2013). Die Leistungszahlen hängen von der Anzahl der Absorber ab und liegen zwischen 0,7 und 1,0. D.h. dass die Wärme nur zu 70 bis 100% in Kälte umgesetzt wird (ebd.). Am Markt verfügbar sind Absorptionskältemaschinen zwischen 6 kW und 5 MW, d.h. Anlagen, die für sehr große Büro- und Gewerbegebäude ausreichen.

Allerdings ist das Marktvolumen relativ gering (CCI-Zeitung 2013). Schätzungsweise 80 Absorptionskältemaschinen mit einer Kälteleistung von 100 kW und einem Wert von 6 bis 6,5 Mio. € werden jährlich verkauft.

Das Umweltbundesamt in Dessau verfügt über eine Absorptionskältemaschine mit einer Leistung von 30 kW. Die benötigte Wärme wird durch eine solarthermische Anlage bereitgestellt, als Backup dient Fernwärme (UBA 2014a). Auch die Technikerschule Butzbach hat eine Absorptionskälteanlage, zu der ein 60 qm Vakuum-Röhrenkollektorfeld und zwei Kühltürme zur Rückkühlung gehören (vgl. Butzbach o.J.). Da es sich hierbei um eine Nachrüstung handelte, wurde die Kälteanlage in die bestehende Lüftungsanlage und die Heizungstechnik integriert. Dieses Beispiel zeigt, dass nicht nur im Neubau die Integration der solaren Kühlung möglich ist. In Kabul (Afghanistan) hat SOLARNEXT in 2010 ein Kinderkrankenhaus mit einer Absorptionskälteanlage mit LiBr/Wasser ausgestattet. Die Kältemaschine hat 18 kW Leistung, die von 350 qm Flachkollektoren mit Wärme versorgt werden. Die Speicher haben ein Fassungsvermögen von 5.000 l Kaltwasser und 20.000 l Heißwasser (SOLARNEXT o.J.),

**Abb.: Absorptionskältemaschine des Umweltbundesamtes Dessau und Solaranlage auf dem Kinderkrankenhaus Kabul**



Quelle: UBA o.J.a / SOLARNEXT

## 11. Geschlossene Feststoff-Adsorptionskälteanlagen

### Lernziele

Erklären, wie die Kälteerzeugung in geschlossenen Adsorptionskälteanlagen funktioniert.

### Schlagworte

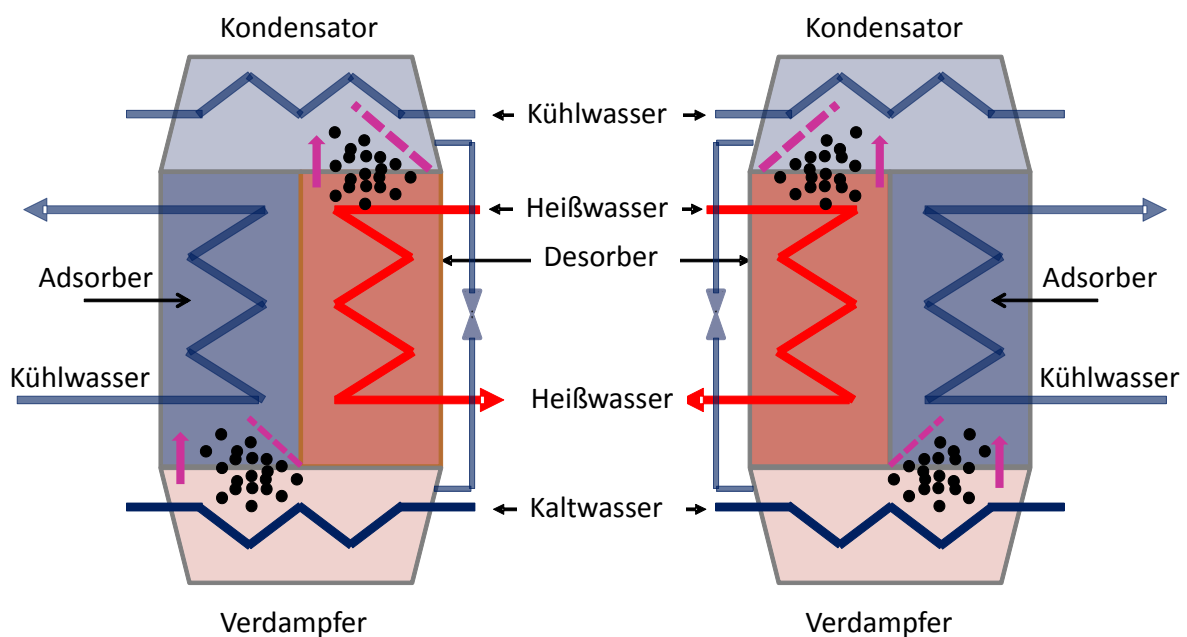
Adsorber, Adsorbens, Adsorption, Adsorptionskälteanlage, Adsorptionskältemaschine, Kondensator, Silikagel, Verdampfer, Zeolithe

### Inhalt

Das Prinzip der Adsorptionskältemaschine ist ähnlich wie der der Absorptionskältemaschine, nur dass hier ein festes Sorptionsmittel verwendet wird, an dem sich das Kältemittel anlagert. Es werden üblicherweise Silikagel oder Zeolithe verwendet. Die Kälte wird durch die Verdampfung des Kältemittels erzeugt. Zur Regeneration des Sorptionsmittels wird dieses erwärmt.

Eine Adsorptionskältemaschine besteht aus vier Kammern, in denen ein stark reduzierter Druck herrscht. In der untenen Kammer, dem Verdampfer, wird das Kühlwasser gekühlt. Der Desorber und der Adsorber enthalten das Adsorbens, an dem sich das Kältemittel anlagert. Die obere Kammer ist der Kondensator, in der das ausgetriebene Kältemittel für Fortführung des Kreislaufes wieder verflüssigt wird. Die Kammern sind durch Klappen miteinander verbunden. Wesentlich ist, dass die Wirkung von Adsorber und Desorber umgekehrt werden kann, so dass der Prozess kontinuierlich läuft.

**Abb.: Funktionsweise einer geschlossenen Adsorptionskältemaschine (links 1. Phase des Kreislaufs, rechts 2. Phase des Kreislaufs)**



Quelle: Eigene Darstellung nach Frey und Drück, 2011 sowie IKZ 2002

Die Schritte sind im Einzelnen (Frey und Drück, 2011 sowie IKZ o.J.):



1. Kaltwasser durchströmt den Verdampfer, in dem bei niedrigem Druck Wasser eingesprüht und durch die Wärme des Kaltwassers verdampft wird.
2. Das Kaltwasser wird hierdurch auf 5 bis 6°C herab gekühlt und kann zur Kühlung verwendet werden.
3. Der Kältemitteldampf strömt durch eine Klappe in den Absorber, der hierdurch auch das Vakuum erzeugt, da er den Dampf aufnimmt.
4. Die Adsorptionswärme wird mit Kühlwasser abgeführt.
5. In der zweiten Kammer, die parallel betrieben wird, wird durch Wärmezufuhr das Adsorbens desorbiert.
6. Das verdampfte Kältemittel Wasser strömt in den Kondensator.
7. Mit Kühlwasser wird das Wasser heruntergekühlt und kondensiert.
8. Über eine Ventilleitung mit Drosselventil wird das kondensierte Kältemittel in den Verdampfer geführt.

## 12. Beispiele für geschlossene Feststoff-Adsorptionskälteanlagen

### Lernziele

Beschreiben, welche Bedeutung Adsorptionskälteanlagen in Wohngebäuden haben.

### Schlagworte

Adsorptionskälteanlage, Adsorptionskältemaschine, Eigenheim, Kälteerzeugung, Kälte Träger

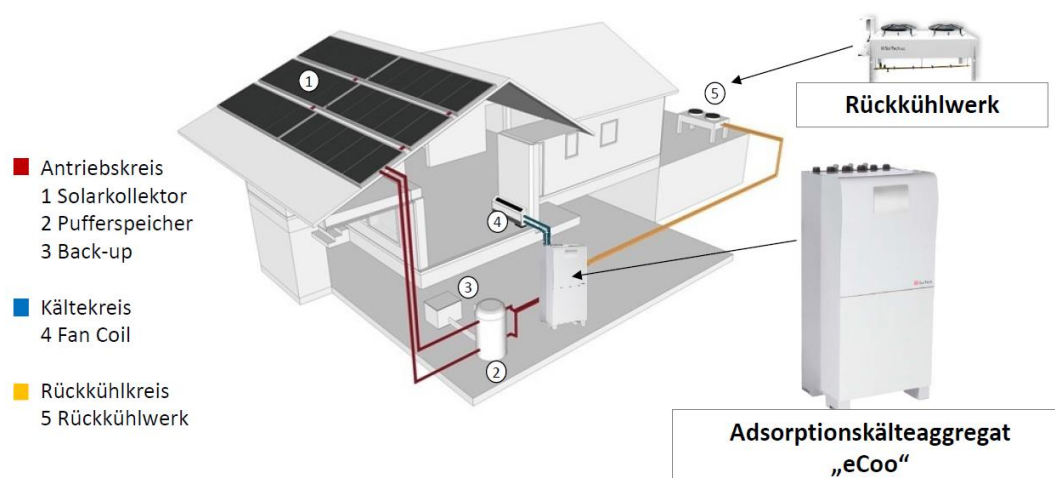
### Inhalt

Der Vorteil von Adsorptionskälteanlagen ist, dass sie mit relativ geringen Temperaturen arbeiten und somit schon mit 55°C warmen Wasser betrieben werden können. Auf der Kälteseite können Temperaturen bis 5°C erreicht werden. Am effizientesten arbeiten die Anlagen zwischen 65 und 85°C auf der Wärmeseite und 10°C auf der Kälteseite (kka-online 2012).

Am Markt verfügbare Systeme arbeiten mit Wasser-Silikagel oder Wasser-Zeolithen. Handelsübliche Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren können die solare Wärme, die für die Regeneration des Adsorbens benötigt wird erzeugen (50-95°C, Frey und Drück 2011:14). Die Kühlleistung der Systeme liegt zwischen 5 und 430 kW.

Am Markt sind verschiedene Anbieter, die Anlagen liefern, die sowohl solarthermisch als auch mit anderen Wärmequellen wie BHKW oder Abwärme betrieben werden können (SorTech, SOLARNEXT). Eines der ersten Beispiele für die Nutzung der solaren Kühlung war 2008 ein Eigenheim in Wiesloch (Sonne und Wärme 2013). Die Technik wurde hierbei von der Fa. SorTech bereitgestellt. Das Projekt war ein mit Bundesmitteln gefördertes Modellprojekt. Bei der Kälteanlage in dem Eigenheim handelt es sich um eine sorptionsgestützte Klimaanlage mit Wasser und Silikagel. Die Kälteleistung betrug 7,5 kW, eine Kälteverteilung erfolgt wie bei den Splitanlagen über Deckenlüfter. Die solare Wärme lieferten 40 qm Flachkollektoren, die einen 2.000 l Warmwasserspeicher erwärmen (2-5 qm Kollektor je kW-Kälte). Die Kosten für die Anlage beliefen sich auf 17.000 €.

### **Abb.: Solare Kühlung für ein Wohngebäude**



Quelle: SorTech AG, Walter Mittelbach (2015)

## 13. Offene Adsorptionskälteanlage mit Feststoffen

### Lernziele

Erklären, wie die Kälteerzeugung in offenen Adsorptionskälteanlagen funktioniert.

### Schlagworte

Adsorber, Adsorbens, Adsorption, Adsorptionskälteanlage, Adsorptionskältemaschine, Sorptionsrotor, Verdunstung, Verdunstungsbefeuchter, Zeolithe,

### Inhalt

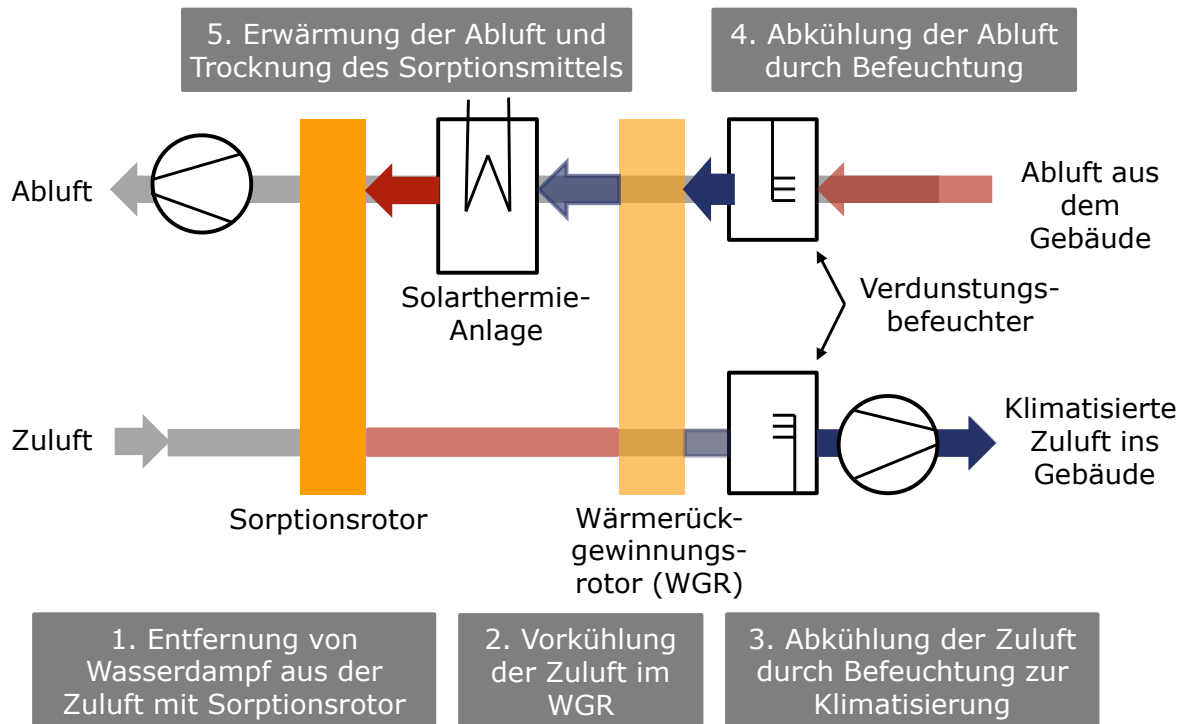
Die offene Adsorptionskälteerzeugung wird auch sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK) genannt. SGK-Anlagen sind Lüftungsanlagen für Gebäude. Sie ersetzen warme, verbrauchte Luft gegen frische, kühle und befeuchtete Luft. Im Unterschied zur Absorptionskälteanlage nutzt die SGK-Anlage ein offenes Verfahren. „Offen“ bedeutet, dass das Kältemittel – zumeist Wasser – in direktem Kontakt mit dem Kälteüberträger Luft steht und zudem nicht im Kreislauf geführt wird.

Die SGK-Anlage besteht aus einem Sorptionsrotor, einem Wärmerückgewinnungsrotor (WGR) und den Verdunstungsbefeuchtern. Die Rotoren werden sowohl von der Zuluft als auch von der Abluft durchströmt. Das Prinzip hierbei ist wie folgt (Frey und Drück 2011, IKZ 2002):

1. Der angesaugten Außenluft wird im Sorptionsrotor ein Teil der Feuchtigkeit durch das Sorptionsmittel, zumeist Silicagel, entzogen. Diese Trocknung durch Adsorption bewirkt eine Erwärmung der Zuluft.
2. Im Wärmerückgewinnungsrotor wird die Zuluft vorgekühlt. Dieser wurde durch die gekühlte Abluft des Gebäudes gekühlt.
3. Im ersten Verdunstungsbefeuchter wird die vorgekühlte Zuluft mit ein wenig Wasser versetzt. Das Wasser verdampft und kühlt dadurch die Zuluft weiter ab (adiabate Kühlung).
4. Die so gekühlte und befeuchtete Zuluft wird dem Gebäude zugeführt. Hier nimmt sie Wärme auf.
5. Die Abluft des Gebäudes strömt durch den zweiten Verdunstungsbefeuchter, der sie mit Feuchtigkeit sättigt. Hierbei kühlt sie sich ab und kann dadurch den Wärmerückgewinnungsrotor abkühlen, welcher anschließend dann die Zuluft vorkühlt.
6. Das Sorptionsmaterial kann nur eine begrenzte Menge an Feuchtigkeit aufnehmen. Es muss deshalb getrocknet werden, um wieder aufnahmefähig zu sein. Hierzu wird zunächst mit der Wärme aus der Solarthermie-Anlage die Abluft erhitzt. Die erwärmte Abluft trocknet das Sorptionsmaterial und der Prozess kann erneut beginnen.

Die Grafik zeigt das Prinzip von Vortrocknung, Vorkühlung, Kühlung, Erwärmung und Regeneration.

**Abb.: Funktionsweise einer sorptionsgestützten Kühlung und Klimatisierung**



Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an HWK Freiburg/ISE und robatherm

SGK-Anlagen mit Silikagel oder festem Lithiumchlorid sind heutzutage für die Luftkonditionierung weit verbreitet. Im Unterschied zu zuvor beschriebenen Anlagen zur Kältebereitstellung ermöglichen Lüftungsanlagen die Luftkonditionierung, d.h. auch die Feuchteregulierung und die Filtration sowie die Abfuhr von „verbrauchter“ Luft. Solarthermie als thermodynamischer Antrieb eignet sich auch bei den offenen Verfahren sehr gut, da das Sorptionsmittel – je nach Typ bei 50 bis 98°C getrocknet werden kann (vgl. Frey und Drück 2011:8). Da es sich um offene Systeme handelt, kann alternativ auch mit Luftkollektoren gearbeitet werden, die analog einer Wärmepumpe die Wärme der Luft entziehen.

## 14. Adsorptionsgestützte Klimatisierung – Beispiele

### Lernziele

Benennen, welche Bedeutung geschlossene Absorptionskälteanlagen haben.

### Schlagworte

Adsorptionskälteanlage, Adsorptionskältemaschine, BHKW, Luftkollektoren,

### Inhalt

Anlagen zur sorptionsgestützten Klimatisierung mit festen Sorptionsmitteln stehen mit einer Leistung von 20 bis 350 kW zur Verfügung (Frey und Drück 2011:14). Die typischen Antriebstemperaturen von 50-95°C reichen schon für Flach- oder Solarluftkollektoren aus. Der Vorteil der Luftkollektoren ist, dass sie preiswert sind, da die Solarthermie erheblich zu den Kosten der Anlage beiträgt. Der Kältebereich, den die Anlagen liefern, liegt zwischen 16 und 20 °C, also im Bereich der Klimatisierung.

**Abb.: SGK-Anlage von WOLF mit Rotationswärmetauscher, Wärmerückgewinnung, Kältemaschine und Wärmepumpe**



Quelle: WOLF o.J.

Sorptionsgestützte Klimatisierung ist heute bei großen Gewerbebauten, bei Messen, Hotels, Krankenhäuser, Einkaufszentren, Museen oder Demonstrationsprojekten in sehr großem Umfang realisiert (vgl. Robatherm, WOLF, SOLARNEXT). Beispiele sind das Klimahaus Bremerhaven, ein Flughangar auf dem Flughafen Düsseldorf oder das Dom-Aquaree in Berlin.

**Abb.: Klimahaus Bremerhaven**



Quelle: Klimahaus Bremerhaven.

Allerdings werden die meisten Anlagen mit Wärme aus Blockheizkraftwerken betrieben, da bei sehr großen Klimatisierungsbedarfen die Dachflächen für große Solarkollektorflächen nicht ausreichend sind. Deshalb gibt es nur wenige Beispiele für die solare Kühlung, auch wenn die Technologie verfügbar ist. Verschiedene Modellprojekte wie das ENERGYbase in Österreich sind intensiv untersucht worden und haben die Praxistauglichkeit und die Energieeffizienz einiger am Markt verfügbarer Technologien exemplarisch nachgewiesen.

Bei ENERGYbase handelt es sich um ein Büro- und Fachhochschulgebäude mit 7.500 qm Nutzfläche (Brychta et al. 2011). Wärmequelle ist eine solarthermische Anlage und eine Erdwärmepumpe. 285 qm Flachkollektoren sind auf dem Dach installiert, der Heißwassertank fasst 15.000 l. Die Wärmepumpe ist vor allem zur Heizung notwendig, da die Solaranlage zwar die Kühlung vollständig übernimmt, aber über das gesamte Jahr hinweg nur 30% der Heizwärme bereitstellt.

**Abb.: Fassade des ENERGYbase-Hauses in Wien**



Quelle: Wikipedia o.J.

## **15. Bewertung der solaren Kühlung nach EnEV**

### Lernziele

Beschreiben, wie die solare Kühlung für Wohngebäude nach EnEV bewertet wird.

### Schlagworte

EnEV, DIN 4108-6, DIN V 4701, DIN V 18599

### Inhalt

Gemäß der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) kann der Jahres-Primärenergiebedarf für Wohngebäude entweder nach den Berechnungsverfahren der aktuellen DIN 4108-6/DIN V 4701 oder der DIN V 18599 bestimmt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Berechnungsverfahren der DIN 4108-6/DIN V 4701 nur angewandt werden dürfen, wenn das Wohngebäude nicht aktiv gekühlt wird. Wohngebäude die aktiv gekühlt werden sind grundsätzlich nach den Berechnungsverfahren der DIN V 18599 zu bilanzieren. Zur energetischen Bewertung der aktiven solaren Kühlung für Wohngebäude wird hiermit auf die DIN V 18599 verwiesen, die nicht Bestandteil dieser Lerneinheit ist.



## 16. Zusammenfassung

- Solare Kühlung ist ein Teilaspekt der Klimatisierung, bei der die Klimakälte durch Solarthermie gewonnen wird.
- Klimatisierung ist in Deutschland vor allem im gewerblichen Bereich verbreitet, im Eigenheimbereich ist Klimatisierung unüblich (jedoch in Südeuropa, Amerika und Asien sehr verbreitet).
- Derzeit werden noch meistens Kompressionskälteanlagen verwendet, die aufgrund ihres Strombetriebs oder der Nutzung von klimarelevanten Kältemitteln nicht umweltfreundlich sind.
- Solarkollektoren sind erprobt, es stehen preiswerte Flachkollektoren sowie hochpreisige aber leistungsstarke Vakuumröhrenkollektoren zur Verfügung.
- Für die solare Kühlung werden vor allem drei erprobte Anlagentypen der Kältetechnik, für die es hunderte Beispiele gibt, genutzt:
  - Offene Verfahren zur Luftkonditionierung (Rotationsentfeuchter),
  - geschlossene Verfahren mit Absorption ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  oder  $\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$ ) und
  - geschlossene Verfahren mit Adsorption (Silikagel oder Zeolithe mit Wasser).
- Für alle Verfahren können meist die gleichen Wärmequellen genutzt werden: BHKW, Fernwärme (soweit vorhanden), Ab- oder Erdwärme oder Solarwärme.
- In den Mitteleuropäischen Breitengraden gibt es mehr oder weniger preiswerte bauliche Maßnahmen wie Verschattungsanlagen oder thermo- bzw. elektrochrome Gläser.
- Die Marktentwicklung für die solare Kühlung wird in Deutschland eher gering sein, es sei denn durch attraktive Fördermaßnahmen
- Die Kosten einer Anlage zur solaren Kühlung liegen in der Größenordnung von 4.500 € bis 2.200 € je Kilowatt in Abhängigkeit von der benötigten Leistung, die von Kompressionsanlagen zwischen 500 und 1.00 € je kW.
- Ein wesentlicher Kostenfaktor sind die Solarkollektoren, da pro kW-Kälteleistung zwei bis fünf qm Kollektorfläche nötig sind.
- Jede Anlage muss individuell geplant werden um die Wirtschaftlichkeit zu berechnen.
- Zur energetischen Bewertung der aktiven solaren Kühlung für Wohngebäude muss die DIN V 18599 angewandt werden.

## Quellenverzeichnis

- AEE 2002: Solare Kühlung – Ein Beispiel für die sorptionsgestützte Klimatisierung. Online: [www.aee.at/aee/index.php?option=com\\_content&view=article&id=589&Itemid=113](http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=589&Itemid=113)
- Baulinks o.J.a: Kleines Klimageräte-ABC. Online: <http://www.baulinks.de/webplugin/2005/1254.php4>
- Baunetzwissen o.J.d: Arten der Klimatisierung. Online: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Arten-der-Klimatisierung\\_2492291.html?](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Arten-der-Klimatisierung_2492291.html?)
- Baunetzwissen o.J.e: Übersicht Speichertypen. Online: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar\\_Solarspeicher-Ausfuehrungen\\_165862.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar_Solarspeicher-Ausfuehrungen_165862.html)
- BMWi 2015a: Energiedaten. Online: <http://bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html>
- Brychta, Markus; Preisler, Anita; Dubisch, Florian 2011: Erfahrung aus dem Anlagenbetrieb der solaren DEC-Anlage im Passivhausbürogebäude ENERGYbase. Online: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien784.pdf>
- Bundesbaublatt :o.J. Das Behaglichkeitsfeld. Online: [http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bildpopup\\_882885.html?image=3](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bildpopup_882885.html?image=3)
- Butzbach o.J.: Kühlen mit der Sonne. Online: <http://berufsschule-butzbach.de/index.php?id=70>
- CCI\_Zeitung 2013: Asorption statt Kompression. Online: [http://www.ruetgers.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/cci-2013-07-moeglichkeiten-von-absorptionskaelteanlagen.pdf](http://www.ruetgers.com/fileadmin/user_upload/pdf/cci-2013-07-moeglichkeiten-von-absorptionskaelteanlagen.pdf)
- Chemie.de o.J.a: Absorption. Online: [http://www.chemie.de/lexikon/Absorption\\_\(Physik\).html](http://www.chemie.de/lexikon/Absorption_(Physik).html)
- Chemie.de o.J.b: Adsorption. Online: <http://www.chemie.de/lexikon/Adsorption.html>
- DWD Deutscher Wetterdienst o.J.: Temperatur – Langjährige Mittelwerte 1981-2010. Online: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp\\_8110\\_fest\\_html.html?view=naPublication&nn=16102](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_8110_fest_html.html?view=naPublication&nn=16102). Zugriff Januar 2016
- Energielexikon o.J. Verdampfungswärme und Kondensationswärme. Online: [https://www.energie-lexikon.info/verdampfungswaerme\\_und\\_kondensationswaerme.html](https://www.energie-lexikon.info/verdampfungswaerme_und_kondensationswaerme.html)
- Fotolia – Glasfassade von Bürogebäude: von Lieres, Bild 50606181.
- Fotolia – Kompressionskälteanlagen:: vib/ kanvag, Bild 30855544.
- Fotolia – Rückkühlturm: pedrosala, Bild 75886508.
- Frey, Patrick; Drück, Harald 2011: Solare Kühlung – Grundlagen. Online: [http://www.itw.uni-stuttgart.de/dokumente/Lehre/solarthermieI\\_solvo\\_kuehlungT1.pdf](http://www.itw.uni-stuttgart.de/dokumente/Lehre/solarthermieI_solvo_kuehlungT1.pdf)
- HWK Freiburg / ISE 2011: Thermische Kühlung – Grüne Kälte aus regenerativer Wärme. Online: <https://www.hwk-freiburg.de/web/adb/output/asset/15628>
- HWK Freiburg / ISE o.J.b: Handwerkskammer Freiburg und Fraunhofer ISE: Schema einer thermisch betriebenen sorptionsgestützten Klimatisierung (SGK). Online:

- <http://www.green-therm-cool-center.de/text/44/de/ausblenden/box-4-schema-sorptionsgestuetzte-klimatisierung.html>, Zugriff Juli 2011
- HWK Freiburg / ISE o.J.a: Geschlossene Verfahren der solaren Kühlung. Online: <http://www.green-therm-cool-center.de/text/38/de/geschlossene-verfahren-.html>, Zugriff Mai 2011
- IKZ 2002: Kühlen mit der Sonne. Ausgabe 6/2002. Online: <http://www.ikz.de/1996-2005/2002/06/0206044.php>
- kka-online 2012: Adsorptionskältemaschinen auf dem Vormarsch. Online: [http://www.kka-online.info/artikel/kka\\_Adsorptionskaeltemaschinen\\_auf\\_dem\\_Vormarsch\\_1418787.html](http://www.kka-online.info/artikel/kka_Adsorptionskaeltemaschinen_auf_dem_Vormarsch_1418787.html)
- klimaheld o.J.: Die Klimaanlage – gängige Varianten sowie Vor- und Nachteile. Online: <http://www.energieheld.de/heizung/klimaanlage-und-lueftung/klimaanlage>
- Mittelbach, Walter; SorTech AG 2015: Darstellung einer Anlage zur solaren Kühlung. Vortrag auf den Berliner Energietagen 2015
- Plewa, Jan-Luca; Weipert, Markus (2014): Potentiale und Technologien für die weltweite Marktentwicklung der solaren Klimatisierung. Online: Google Books – <https://books.google.de/books?id=UVqwBQAAQBAJ&lpq=PP13&ots=N2aiLyx354&dq=warum%20klimatisieren&hl=de&pg=PA1#v=onepage&q=warum%20klimatisieren&f=false>
- Robatherm o.J.: Sorptionsgestützte Klimatisierung – die ökologische Alternative. Online: [http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm\\_Sorption\\_deu.pdf](http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_Sorption_deu.pdf)
- Siemens o.J.: ;Kältetechnik. Online: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=8358>
- SOLARNEXT o.J.: Referenzen. Online: <http://www.SOLARNEXT.eu/ger/ref/referenzen.shtml>
- Solarserver 2011a: Solarstrom-Eigenverbrauch mit Klimaanlage erhöhen. Online: <http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2011/2011/kw22/stiebel-eltron-solarstrom-eigenverbrauch-mit-klimaanlage-erhoehen.html>
- Solarserver o.J.a: Solarthermie – Solarwärme für Heizung und Warmwasser. Online: <http://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/solarthermie.html>
- Solarserver o.J.b: Kollektoren. Online: <http://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/kollektoren.html>
- Solarserver o.J.c: Kombispeicher. Online: <http://www.solarserver.de/wissen/lexikon/k/kombispeicher.html>
- Sonne und Wärme (2013): Kühlen mit Dampf. Online: [http://www.SorTech.de/fileadmin/user\\_upload/images/Publikationen/0613\\_Greenhome\\_Wiesloch\\_Privathaus\\_Solare\\_Kuehlung.pdf](http://www.SorTech.de/fileadmin/user_upload/images/Publikationen/0613_Greenhome_Wiesloch_Privathaus_Solare_Kuehlung.pdf)
- SorTech AG o.J.a: eZea - Efficiency Zeolithe Aggregate. Online: <http://www.SorTech.de/de/produkte/adsorptionskaelteaggregate/ezea/>
- SorTech. AG o.J.b: Referenzen. Online: <http://www.SorTech.de/de/SorTech-ag/referenzen/>
- SorTech AG, Walter Mittelbach 2015: Darstellung einer Anlage zur solaren Kühlung. Vortrag auf den Berliner Energietagen 2015.

- UBA 2009: Kühlgeräte mit FCKW – immer ein Problem. Online:  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3828.pdf>
- UBA 2014a: Das energetische Konzept des im Dienstgebäude des Umweltbundesamtes in Dessau. Online:  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4264.pdf>
- UBA 2014b: HFCKW-Kältemittel ab 1. Januar 2015 verboten. Online:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/hfckw-kaeltemittel-ab-1-januar-2015-verboten>
- UBA 2015b: Neue EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase veröffentlicht. Online:  
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw>
- UBA 2016a: Gebäudeklimatisierung. Online:  
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>
- UBA o.J.a: Absorptionskältemaschine im UBA. Online: :  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gebaeude-klimafreundlich-stromsparend-klimatisieren>
- Wikipedia o.J.a: Einteilung von Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlage nach DIN EN 13779. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Klimaanlage>. Wikipedia o.J.: Die Geschichte der Photovoltaik. Online: [https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_der\\_Photovoltaik](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Photovoltaik)
- Wikipedia o.J.: Kühlschränke. Online:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:K%C3%BChlschrank.svg>
- WOLF o.J.: WOLF Klimagerät: KG / KGW Top. Online: <http://www.wolf-heiztechnik.de/produkte/industrie-gewerbe/klimasysteme/kgkgw-top/>

## Abbildungsverzeichnis

- Kapitel 1 – Einordnung der solaren Kühlung: Eigenes Bild.
- Kapitel 2 – Behaglichkeitsfeld: Eigenes Bild nach Bundesbaublatt o.J.
- Kapitel 2 – Glasfassade von Bürogebäude: Fotolia, von Lieres, Bild 50606181.
- Kapitel 3 – Kompressionskälteanlagen: Fotolia: vib/ kanvag, Bild 30855544.
- Kapitel 4 – Prinzip des Kühlschranks: Eigenes Bild nach Wikipedia o.J.
- Kapitel 5 – Tabelle Klimaanlage: Eigene Darstellung nach Wikipedia.
- Kapitel 5 – Aufbau eines Splitgerätes: Eigenes Bild nach Baulinks o.J.
- Kapitel 5 – Rückkühlturm: Fotolia, pedrosala, Bild 75886508.
- Kapitel 6 – Prinzip Absorption-Adsorption: Eigenes Bild nach gängigen Vorbildern.
- Kapitel 7 – Prinzip Kälteerzeugung: Eigenes Bild.
- Kapitel 8 – Verfahrenstypen für Kälteanlagen: Eigene Abbildung nach Freu und Drück 2011.
- Kapitel 9 – Funktion Absorptionskälteanlage: Eigene Abbildung nach HWK Freiburg / ISE.
- Kapitel 10 – Absorptionskältemaschine: UBA o.J.a (Absorptionskältemaschine).

Kapitel 10 – Kinderkrankhaus Kabul: SOLARNEXT o.J. (Referenzen).

Kapitel 11 – Prinzip Adsorptionskältemaschine: Eigene Darstellung nach Frey und Drück, 2011 sowie IKZ 2002.

Kapitel 12 – Solare Kühlung eines Wohngebäudes: SorTech AG/Walter Mittelbach o.J.

Kapitel 13 – Prinzip sorptionsgestützte Kühlung: Eigene Abbildung in Anlehnung an HWK Freiburg/ISE o.J. und robatherm o.J. (Sorptionsgestützte Klimatisierung).

Kapitel 14 – SGK-Anlage: WOLF o.J. (Klimagerät KGW Top).

## Glossar

**Absorber:** Der Absorber ist der Teil des Solarkollektors, der das einfallende Sonnenlicht in Wärme umwandelt.

**Absorption:** Absorption ist der Prozess der Aufnahme oder des „Lösens“ eines Stoffes in einer anderen Phase. Ein einfaches Beispiel ist das „Zuckern eines Kaffees“.

**Adsorption:** Als Adsorption bezeichnet man die Anlagerung eines Stoffes – vor allem von Gasen und Flüssigkeiten – an die Oberfläche eines Festkörpers. Ein einfaches Beispiel ist ein Lappen, mit dem man Flüssigkeiten oder verstreuten Zucker aufwischt.

**Energie:** Energie ist die Fähigkeit, verschiedene Formen von Arbeit zu leisten: als elektrische Arbeit, mechanische Arbeit oder die Erzeugung von Wärme. Energie wird in unterschiedlichen Einheiten angegeben, z.B. als Wattstunde (Wh), Kilowattstunde (kWh) oder Joule (J). Ein Joule ist eine Wattsekunde (Ws).  $1 \text{ kWh} = 1.000 \text{ Wh} = 3.600.000 \text{ J}$ .

**Energieertrag:** Die in einem bestimmten Zeitraum von einer Anlage erzeugte Energie.

**erneuerbare Energien:** Energieformen, die sich immer wieder erneuern bzw. deren Nutzung nicht zur Erschöpfung der Energiequelle führt. Die erneuerbaren Energien sind Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme und Biomasse.

**Flachkollektor:** Solarkollektor, bei dem der Absorber in einem flachen Kasten untergebracht ist.

**fossile Energieträger:** Zu den fossilen Energieträgern gehören Braunkohle, Steinkohle, Torf, Erdgas und Erdöl. Sie sind in geologischer Vorzeit aus Abbauprodukten von toten Pflanzen und Tieren entstanden.

**Globalstrahlung:** Einheit zur Messung der Strahlungsstärke an einem Ort. Sie wird in  $\text{kWh/m}^2$  gemessen und ist die Summe von direkter und diffuser Strahlung. Zumeist wird sie für einen Zeitraum, z.B. ein Jahr, angegeben.

**Kälte:** Physikalisch gibt es keine Kälte, sondern lediglich mehr oder weniger Wärme. Bei  $-273 \text{ }^\circ\text{C}$  (entspricht 0 Kelvin) liegt der absolute Nullpunkt vor, d.h., in der Atomstruktur findet keine Teilchenbewegung mehr statt. Die Wärmeübertragung findet nur in einer Richtung (von warm nach kalt) statt.

**Kälteanlage:** Kälteanlagen werden verwendet um Räume oder Prozesse zu kühlen. Die Kühlung kann mit Luft oder mit einem Kälteflüssigkeit (z.B. Wasser, Glykol) erfolgen.

**Kältemittel:** Ein Kältemittel wird zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt, d.h. es transportiert die Wärmeenergie vom Kühlgut an die Umgebung. Dabei nimmt es bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme auf, und gibt diese bei höherer Temperatur und höherem Druck wieder ab. Hierbei ändert sich in der Regel der Aggregatzustand des Kältemittels von flüssig zu gasförmig und wieder zu flüssig.

**Kälteflüssigkeit:** Kälteflüssigkeit verdampfen im Unterschied zu Kältemitteln bei Wärmeaufnahme nicht, sondern erwärmen sich nur.

**Klima:** Durchschnittliches Wetter über einen Zeitraum von 30 Jahren.

**Kocher = Austreiber:** Der Kocher - auch Austreiber - genannt ist ein Bestandteil einer Absorptionskälteanlage. Hier erhitzt die Solarthermie-Anlage die Kältemittel-Absorptionsmittel-Lösung, um das Kältemittel wieder vom Absorptionsmittel zu trennen.

**Kompressor:** Ein Kompressor – auch Verdichter genannt – ist eine Maschine, die zum Komprimieren von Gasen verwendet wird.

**Kondensator:** Kondensatoren in Kälteanlagen dienen zur Verflüssigung des Abdampfes bzw. des dampfförmigen Kältemittels. Damit wird in den Kälteanlagen ein geschlossener Kreisprozess möglich.

**Nachheizung = Zusatzheizung:** Heizkessel, der neben der Solarthermie-Anlage installiert ist, um dann zu arbeiten, wenn die Solarthermie-Anlage keine vollständige Versorgung gewährleisten kann.

**Photovoltaik = PV:** Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom.

**Photovoltaik-Anlage = PV-Anlage:** Anlage zur Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom. Die gesamte Anlage besteht aus den Solarmodulen, dem Trägersystem, den elektrischen Verbindungen, dem Wechselrichter und dem Generatoranschlusskasten sowie dem Netzanschluss mit dem Einspeisezähler. Vielfach werden auch nur die zusammengeschalteten Solarmodule als Photovoltaik-Anlage bezeichnet.

**SGK = Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen:** Klimaanlage, die mit offenen Verfahren arbeiten. Die zu klimatisierende Luft steht in direktem Kontakt mit dem Kältemittel. Als Kältemittel kommt Wasser zum Einsatz, was dieser Technologie unter Umweltgesichtspunkten ausgezeichnete Eigenschaften verleiht.

**solar:** Sonnig oder Sonne.

**Solarkollektor:** Solarkollektoren werden bei der Solarthermie benutzt, um Warmwasser bereitzustellen.

**Solarstrahlung = Solareinstrahlung:** Setzt sich aus direkter und diffuser (gestreuter) Strahlung zusammen. Die Solarstrahlung wird auch als solare Einstrahlung oder Bestrahlungsstärke bezeichnet. Die Summe von direkter und diffuser Strahlung an einem bestimmten Ort wird Globalstrahlung (in  $W/m^2$ ) genannt.

**Solarthermie:** Solarthermie ist eine Technik, die Sonnenlicht in Wärme umwandelt.

**Solarthermie-Anlage:** Der Solarkollektor absorbiert die Sonnenwärme und überträgt sie auf eine Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit fließt in den Trinkwasserspeicher einer Heizung und erwärmt dort das Trinkwasser. Solarthermie-Anlagen können auch zur Heizungsunterstützung verwendet werden und Heizwärme bereitstellen.

**Sorptionsmittel = Sorption:** Flüssigkeiten und Festkörper können aus ihrer Umgebung Fremdmoleküle aufnehmen. Dieser Vorgang wird allgemein als Sorption bezeichnet. Der aufzunehmende Stoff (Sorbent) kann dabei in das Innere des aufnehmenden Stoffes (Sorbens) eindringen (Absorption) oder sich an seiner Grenzfläche anreichern (Adsorption). Der Begriff Sorption ist im engeren somit ein Oberbegriff für Ab- und Adsorption.

**Temperatur und Wärme:** Temperatur kann als Maß für die Wärme missverstanden werden. Die Wärme, oder Wärmeenergie, ist jedoch eine von der Temperatur verschiedene physikalische Größe. Die Temperatur beschreibt den Zustand eines Systems, während die Änderung der Wärmeenergie die Änderung des Systemzustandes charakterisiert.

**Thermische Kältetechnik:** Die thermische Kältetechnik nutzt keinen Strom, sondern Wärme als Antriebsenergie.

**Treibhauseffekt:** Effekt, der daraus entsteht, dass die Sonnenwärme aufgrund von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre nur teilweise wieder ins Weltall zurückgestrahlt wird. Es wird zwischen einem natürlichen Treibhauseffekt und einem menschlichen Treibhauseffekt unterschieden. Nur der menschliche Treibhauseffekt ist verantwortlich für den Klimawandel.

**Treibhausgas = Klimagas:** Gas, das die Wärmeabstrahlung der Atmosphäre in den Weltraum verringert und somit zum Treibhauseffekt beiträgt. Wichtige Treibhausgase sind Kohlendioxid oder Methan.

**Vakuum:** In der Umgangssprache spricht man von Vakuum bei einem weitgehend luftleeren Raum.

**Vakuum-Röhrenkollektor:** Vakuum-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren Glasröhren, in denen jeweils ein Absorber mit einem Metallrohr untergebracht ist. Die Glasröhren sind luftleer, um eine optimale Wärmedämmung durch das Vakuum zu erzielen.

**Verschattung:** Schattenwurf auf Solaranlagen. Die Hauptarten von Verschattung sind temporäre Verschattung, standortbedingte Verschattung, gebäudebedingte Verschattung und anlagenbedingte Verschattung. Verschattungen sind bei Photovoltaik-Anlagen gewichtiger als bei Solarthermie-Anlagen, sollten aber immer vermieden werden. Verschattungen von Solarmodulen führen zu Stromverlust. Schlimmstenfalls können sie zum Schmelzen von Leitungsbahnen führen.

**Wärmedämmung:** Materialien zur Verringerung der Abgabe von Wärme. Beispiele für wärmedämmende Materialien sind Styropor oder Schafwolle.

**Wärmespeicher:** Die Wärme aus der Solarthermie-Anlage wird in einem ausreichend großen Wärmespeicher gespeichert werden, um den Wärmebedarf für einige Tage decken zu können.

**Wärmeträger:** Flüssigkeit in den Röhren eines Solarkollektors. Meistens Wasser mit einem Frostschutzmittel, das die Wärme von der Sonnenstrahlung aufnimmt und abtransportiert.



## Impressum



### Partner des Verbundprojekts:

#### Smart Learning – Medieneinsatz in der handwerklichen Weiterbildung

- Bildungs- und Technologiezentrum (BTZ) der Handwerkskammer Berlin
- Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme (FOKUS), Berlin
- Beuth Hochschule für Technik, Berlin
- IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH, Berlin

Das diesem Material zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01PD14002A-D gefördert.

Diese Lerneinheit darf weder ganz noch teilweise ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder sonst veröffentlicht werden.

Diese Lerneinheit wurde mit äußerster Sorgfalt bearbeitet, Herausgeber und Autor/innen können für den Inhalt jedoch keine Gewähr übernehmen.

#### Herausgeber

Bildungs- und Technologiezentrum (BTZ) der Handwerkskammer Berlin, Mehringdamm 14, 10961 Berlin

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin

#### Autor/-innen

##### Lerneinheit:

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH, Michael Scharp, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin, Tel. 030-803088-14, E-Mail m.scharp@izt.de

##### Screencast und E-Book

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH, Michael Scharp und Katrin Ludwig, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin, Tel.: +49 (0)30-803088-14, E-Mail: m.scharp@izt.de