

SOLARE KÜHLUNG

TEIL 2: OFFENE VERFAHREN



Bild 1: Klimageräte in Hongkong

Mitte 2011 kam eine Meldung über den Spiegel-Online Ticker: "Mehr als 20 Milliarden US-Dollar verbrauchen die Klimaanlage in den Zelten und Militärbasen im Irak und in Afghanistan pro Jahr ¹⁾". Grund hierfür ist der Aufwand für Transport des Benzins und für den Betrieb der Anlagen. Im Vergleich: diese Summe ist höher als das Budget der Nasa und entspricht etwa der Hälfte des Etats für die Bundeswehr. Neben dieser zugegebenermaßen etwas speziellen Anwendung spielt die Klimatisierung weltweit eine zunehmend bedeutende Rolle in einem kontinuierlich wachsenden Markt.

Die im ersten Teil (SONNENENERGIE 4/2011) vorgestellten Möglichkeiten der Solaren Kühlung umfassten den Aufbau und die Funktion geschlossener Systeme (Absorptions- und Adsorptionkälteanlagen). In diesem Beitrag geht es um die sogenannten offenen Verfahren, bei denen ein direkter Kontakt mit der Umgebungsluft besteht, der gewünschte Effekt über die reine Temperaturveränderung hinausgeht und um eine Veränderung des Feuchtegehalts erweitert wird.

Offene Verfahren der Solaren Kühlung/Klimatisierung

In offenen Verfahren

- wird Luft direkt im Hinblick auf Temperatur und Feuchte konditioniert: sorptiv entfeuchtet, befeuchtet, durch Verdunstung abgekühlt oder erwärmt,
- wird als Kältemittel Wasser eingesetzt (ist allerdings bei den meisten AdKM auch der Fall),
- liegen die typischen Antriebstemperaturen zwischen 45 und 90°C,
- kann auf einen Kühlturm verzichtet werden.

Um die vergleichsweise komplexen Vorgänge bei der offenen Sorptionsgestützten Klimatisierung, abgekürzt SGK (engl.: desiccative and evaporative cooling, abgekürzt DEC) besser verstehen zu können, bietet sich die Einführung des Temperatur-Feuchte-Diagrammes an, auch Mollier-h-x-Diagramm genannt.

Isoplethen und Isenthalpen

In diesem Diagramm sind im Wesentlichen die Linien gleicher relativer Feuchte (Isoplethen) und Linien gleichen Energie-, bzw. Enthalpieinhalts (Isenthalpen) in Abhängigkeit vom Wasserdampfgehalt und der Lufttemperatur eingetragen. Das Diagramm ermöglicht die Darstellung der in offenen Systemen stattfindenden Vorgänge bzw. Zustandsänderungen von Luft in Bezug auf ihre Temperatur, den Wasserdampfgehalt (relative und absolute Feuchte), die Dichte und ihren Energieinhalt (Enthalpie).

Im Diagramm (Bild 2) sind beispielhaft vier mögliche Zustandsänderungen dargestellt: Wir betrachten Luft bei einer

Temperatur von 25°C und einem Wasserdampfgehalt von 10 g/kg ①. Eine sorptive Entfeuchtung ist verbunden mit einem Temperaturanstieg aufgrund der freiwerdenden Adsorptionswärme. Da dieser Vorgang jedoch nahezu ohne Änderung des Energieinhalts der Luft erfolgt (adiabatisch ²⁾), vollzieht sich dieser Prozess entlang der Isenthalpen von ① nach ②. Eine durch Befeuchtung erzielte Verdunstungskühlung erfolgt von ① nach ③, ebenfalls entlang der Isenthalpen. Eine über eine Wärmerückgewinnung stattfindende Erwärmung bzw. Abkühlung verläuft in diesem Diagramm parallel zur Ordinate, also entweder von ① nach ④ als Erwärmung oder von ① nach ⑤ als Abkühlung ohne Änderung der absoluten, sehr wohl aber der relativen Feuchte.

Der in SGK-Anlagen zentrale Vorgang der sorptiven Entfeuchtung findet entweder in einem sogenannten Sorptionsrad statt (feste Sorptionsmittel Silicagel, Zeolith oder Lithiumchlorid) oder mit Hilfe flüssiger Sorptionsmittel (Salzlösung).

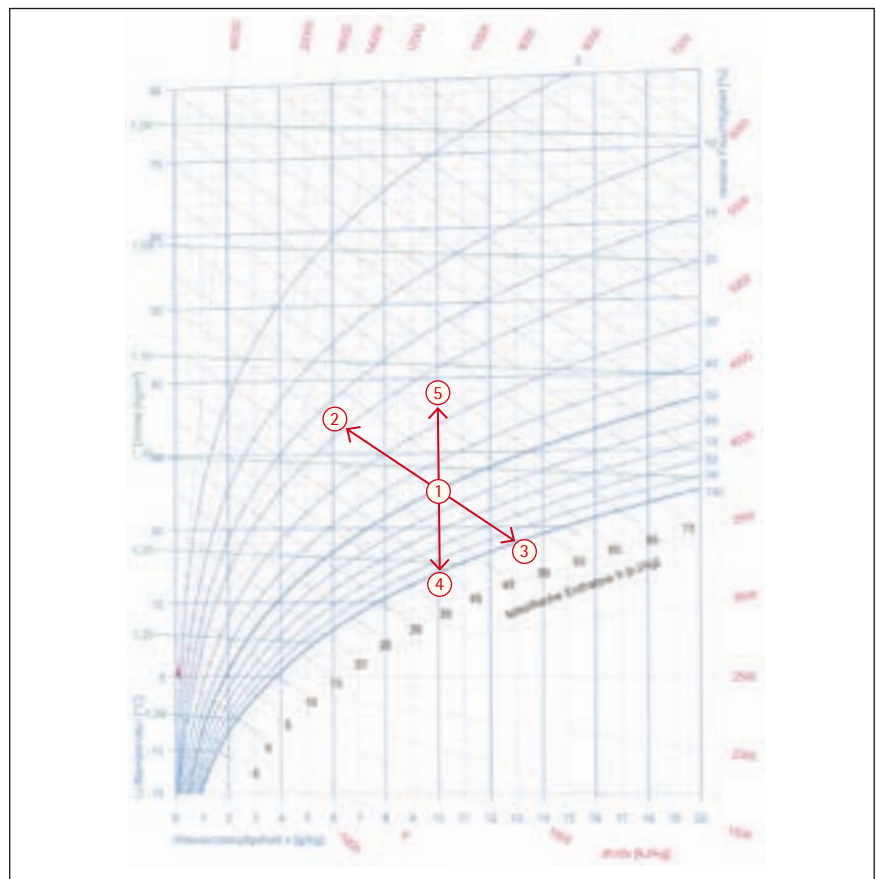


Bild 2: Mollier-h-x-Diagramm mit Beispiel

Die Wärme aus einem solarthermischen System kann hierbei im Bedarfsfall zur Vorwärmung der Zuluft/Abluft oder für die Trocknung des Sorptionsmaterials genutzt werden.

Der Aufbau und die Funktionsweise eines sorptionsgestützten Klimatisierungssystems sieht prinzipiell folgendermaßen aus, wobei beispielhaft jeweils die Temperaturen, die relativen und die absoluten Feuchtwerte eingetragen sind (Bild 3):

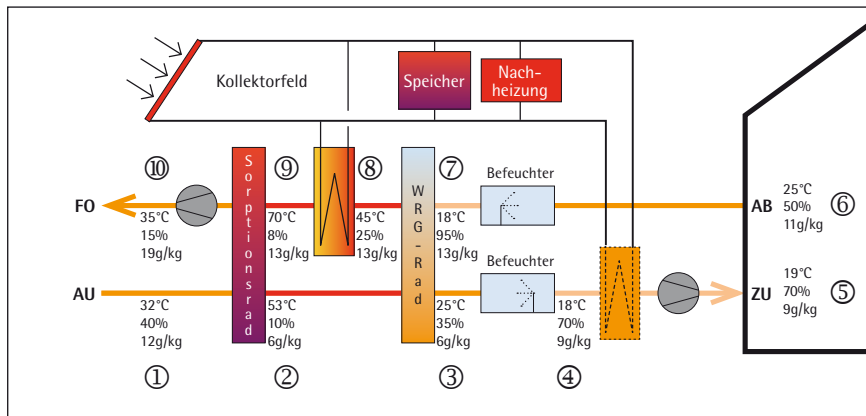


Bild 3: prinzipieller Aufbau einer SGK-Anlage und Kenngrößen

- ① → ② Die warme und feuchte Außenluft wird über den Ventilator angesaugt und beim Durchgang durch das Sorptionsrad entfeuchtet sowie durch die freiwerdende Adsorptionswärme gleichzeitig aufgeheizt.
- ② → ③ Durch die Wärmeabgabe an die Abluft über das Wärmerückgewinnungsrad bzw. Kälteaufnahme wird die Luft abgekühlt.
- ③ → ④ Im Luftbefeuchter erfolgt eine weitere Abkühlung durch Verdunstung
- ④ → ⑤ Die im Vergleich zur Außenluft nun getrocknete und gekühlte Luft wird dem Gebäude als Zuluft zugeführt, wobei eine Erwärmung über ein Heizregister optional für den Winterfall möglich ist.
- ⑤ → ⑥ Kühllasten und Personen führen zu einem Temperatur- und Feuchteanstieg in der abgesaugten Abluft.
- ⑥ → ⑦ Im Befeuchter findet eine Abkühlung durch Verdunstung und ein Anstieg der absoluten Feuchte bis an den Taupunkt statt
- ⑦ → ⑧ Im Wärmerückgewinnungsrad erfolgt nun eine Wechselwirkung mit der Zuluft (Abgabe der Kälte bzw. Wärmeaufnahme)
- ⑧ → ⑨ Die für die Regeneration des Sorptionsrades notwendige Wärme wird von der solarthermischen Anlage über einen Wasser-/Luft-Wärmeübertrager geliefert
- ⑨ → ⑩ Die abschließende Durchströmung des Sorptionsrades sorgt für die notwendige Trocknung und Kontinuität im Entfeuchtungsprozess der Außenluft.

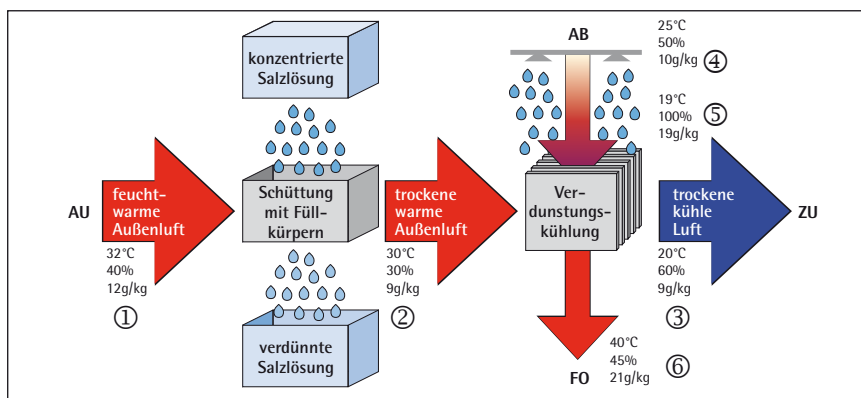


Bild 4: Prinzip der Klimatisierung mit flüssiger Salzlösung

Neben diesem Konzept existieren die Systeme mit flüssigem Sorptionsmittel. Hier durchläuft die Außenluft ebenfalls einen Sorptionsprozess, der sich jedoch durch die Absorption der Luftfeuchtigkeit durch eine hygroskopische Lösung von dem zuvor beschriebenen Verfahren unterscheidet. Beispielhaft zeigt die Bild 4 den schematischen Aufbau.

Die Außenluft durchläuft hierbei zunächst den mit einer Salzlösung berieselten Schüttkörper, wobei sie ohne nennenswerte Temperaturänderung entfeuchtet wird. Die Vorgänge im Einzelnen:

- ① → ② Die warme, feuchte Außenluft wird beim Passieren der Schüttung von der Sole entfeuchtet, ohne nennenswerte Veränderung der Temperatur. Die Sole selbst wird verdünnt.
- ② → ③ Abkühlung durch Verdunstung im Gegenstrom mit der Abluft.
- ③ → ④ Kühllasten und Personen führen zu einem Temperatur- und Feuchteanstieg in der Abluft
- ④ → ⑤ Hier erfolgt die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit.
- ⑤ → ⑥ Weitere Feuchtezunahme und Erwärmung, Abführung der Wärme als Fortluft.

Temperaturbereich von 60°C bis 70°C das absorbierte Wasser aus der verdünnten Salzlösung austreibt. Auf diese Art und Weise lässt sich im Prinzip Solarenergie in Form konzentrierter Salzlösungen verlustfrei speichern!

Im Vergleich zu den geschlossenen können offene Systeme einen thermischen Wirkungsgrad (COP_{th}) von 1,5 erreichen und sind damit nur noch um den Faktor 2 ungünstiger als elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen. Grundsätzlich sind auch Kombinationen von geschlossenen und offenen Verfahren möglich. Über eine Solarstromanlage kann an sie sogar mit einer elektrisch betriebenen Kompressionsanlage zu einem Gesamtkonzept ergänzt werden.

Fußnoten

- 1) Der pensionierte US-General Steven Anderson in einem Spiegel-Online-Artikel vom 27.06.2011
- 2) adiabatisch = Zustandsänderung ohne Austausch von thermischer Energie mit der Umgebung

ZUM AUTOR:

► *Dipl.-Met. Bernhard Weyres-Borchert*
DGS LV Hamburg/Schleswig-Holstein e.V.
weyres-borchert@dgs.de



Bild 5: Einblick in eine offene, sorptionsgestützte Klimaanlage

In diesem Verfahren kann Solarenergie in der Form genutzt werden, dass sie im