

Wohnen und Kühlen

*** Problem**

Der Bedarf an Kälte zur Klimatisierung von Gebäuden und zur Kühlung von Prozessen steigt stark an. Bei der Gebäudenutzung führen steigende Wärmelasten, große Verglasungen von Fassaden und ein steigender Komfortanspruch - auch in gemäßigten Klimazonen der EU - zu einem erhöhten Bedarf für Kühlung. Der Klimawandel, der sich durch eine Tendenz hin zu wärmeren Sommern auszeichnet, könnte diesen Kühlbedarf noch weiter steigern.

Nach den Heizenergiesystemen sind solche zur Kühlung die mit dem höchsten Anteil des End-Energiebedarfs, zumindest bei gekühlten Gebäuden. Für Kühlsysteme fehlen Pilotprojekte für die Verringerung des Energiebedarfs jedoch weitgehend. GebäudeeignerInnen und ArchitektInnen sind über die Möglichkeiten passiver und sparsamer aktiver Kühlung meist schlecht informiert.

Bisher installierte Kühlungen arbeiten ineffizient und sind dadurch teuer. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der gesellschaftlichen Aufgabe Ressourcenschonung wird die Herausforderung immer dringender, Kühlung entweder zu vermeiden oder aber mit klimafreundlichen energiesparenden Technologien bereitzustellen.

*** Politische Instrumente und Ziele**

In Anbetracht der globalen Klimaerwärmung und des vermehrten Einsatzes von Raumklimatisierung auch in Deutschland steigen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Die nationale Umsetzung der Gesamtenergieeffizienz-Richtlinie der EU für Gebäude (EPBD) fordert in diesem Zusammenhang die Einführung von ganzheitlichen Primärenergiegrenzwerten, die die Kühlung und Klimatisierung einbeziehen und damit dem Mehrverbrauch zukünftig zumindest Grenzen setzen. Die deutsche Energiesparverordnung EnEV regelt Aspekte der Raumkühlung für Neubauten und in abgeschwächter Form auch für wesentliche Änderungen bei Altbauten. Aus Sicht des Umweltschutzes sind diese Regelungen jedoch unzureichend.

Anstelle der relativ schwachen Vorschriften der EU und der EnEV ist als politisches Ziel erstrebenswert, nicht nur den Mehrverbrauch durch Raumkühlung zu begrenzen, sondern allenfalls durch Solarenergie zu gestatten. Darüber hinaus wären eine Reihe von Maßnahmen (wie sie unter „Gute Beispiele“ aufgeführt sind) notwendig, um den Einsatz von Energie zur Kühlung extrem niedrig zu halten oder ganz zu vermeiden. Diese Wege müssten dann in die Gesetze bzw. Verordnungen sinngemäß übernommen werden.

*** Gute Beispiele**

Dass es gut möglich ist, Energieverbrauch für die Kühlung von Gebäuden zu vermeiden oder zumindest extrem niedrig zu halten, zeigt eine Reihe von guten Beispielen. Zudem haben Einzelpersonen die Möglichkeit, durch einfache Maßnahmen Hitzestress in Gebäuden zu vermeiden. Im Abschnitt „Gute Beispiele“ werden Hinweise und bauliche Wege dazu unter „Gekonnt Kühlen“ dargestellt. Beschrieben werden zudem: Latentwärmespeicher, Kühlung mit Grundwasser, die Absorptions- und Adsorptionskältemaschine, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit BHKW u.a. Zudem können Gebäude dank moderner Technik relativ kostengünstig und ggf. ohne Zusatzenergie mit Solarwärme gekühlt werden, siehe: Anlagen mit solarthermischen Kollektoren, solare Kraftwärme-(Kälte-)Kopplung)

***Energiebilanzen (Daten und Graphiken)**

Bei einigen der guten Beispiele sind konkrete Daten und Grafiken angegeben. Statistische Daten zum Markt der Gebäudekühlung sind in ganz Europa Mangelware. ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/doc/slides/coolregion.ppt

Problem

Falsche Bau- und Betriebsweise bei Gebäuden, mangelnde Kenntnisse und falsches Verhalten der GebäudenutzerInnen sowie hohe Wärmelasten in Gebäuden, zum Beispiel durch hohen Stromverbrauch - dies sind einige der Hauptgründe, warum auch in Deutschland immer mehr Gebäude, ob Wohn-, Büro- oder öffentliche Gebäude, mit erheblichem Energieeinsatz gekühlt werden.¹ Zudem geht der Deutsche Wetterdienst (DWD) aufgrund des Klimawandels von einer steigenden Anzahl heißer Sommertage und -nächte in Deutschland aus. Ende April 2009 prognostizierte der DWD besonders für Ballungsräume einen Temperaturanstieg. Die Anzahl heißer Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C und der Tropennächte mit Lufttemperaturen nicht unter 20 °C wird demnach deutlich zunehmen – und damit auch der Kühlbedarf weiter steigen.

Wissenschaftliche Studien ergaben, dass bereits bei 27°C die Leistungsfähigkeit eines Menschen um 30 Prozent sinkt und sich bei zirka 31°C halbiert. Auch im Krankenhaus- und Pflegebereich führen hohe Raumtemperaturen zu schlechteren Heilungserfolgen, da der Körper einem zusätzlichen Stress ausgesetzt ist. Ziel sind maximale Raumtemperaturen von etwa 25°C. Vermietete Räume müssen für die Nutzung angemessene sommerliche Raumtemperaturen aufweisen (so bestätigen es Gerichtsurteile, die in Folge des Jahrhundertssommers 2003 gefällt wurden). Andernfalls liegt ein Mangel vor, der eine Mietminderung rechtfertigt und bauliche (Sonnenschutz) oder anlagentechnische Nachrüstungen (Kühlung) erforderlich macht.² Zusätzliche Kühlung von Gebäuden steigert aber den Energieverbrauch deutlich.

Der Bedarf an Klimatisierung wächst vorwiegend in Südeuropa stark an. Dieser Bedarf wird bisher zumeist mit elektrisch betriebenen Klimaanlage gedeckt. Dadurch kommt es zu einer massiven Belastung der Stromnetze vor allem in der sonnenreichen Mittagszeit (Steigerung der Spitzenlast). Werden anstelle der elektrisch betriebenen Klimaanlage verstärkt solar betriebene Klimaanlage eingesetzt, würde dies zu einer effektiven Reduzierung der elektrischen Spitzenlast führen. Somit könnte die Nutzung der solaren Klimatisierung einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung der Stromnetze und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit leisten.³

Der Bedarf an Kälte zur Klimatisierung von Gebäuden und zur Kühlung von Prozessen steigt weltweit stark an. Bisher installierte Kühlungen arbeiten ineffizient und sind dadurch teuer. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der gesellschaftlichen Aufgabe Ressourcenschonung wird die Herausforderung immer dringender, Kühlung entweder zu vermeiden oder aber mit klimafreundlichen energiesparenden Technologien bereitzustellen. Ganzheitliche Kühlsysteme als Teil integraler Planung sind der Schlüssel. Längst existieren effiziente und klimafreundliche Lösungen (einige werden unter „Gute Beispiele“ erläutert).

Aus einem anderen Blickwinkel schreibt die Agentur für erneuerbare Energien:

„Kühlen ist ein elementares Bedürfnis der Menschen, denn es garantiert eine konstante Versorgung mit Lebensmitteln. Schon die Römer holten Eis aus der Alpenregion und transportierten es in die Städte (...). Moderne Architektur mit großen Glasflächen und interne Wärmequellen wie Computer, Beleuchtung und andere Elektrogeräte erfordern darüber hinaus Kühlleistung. In Europa werden vor allem Büroräume, Lager und Industriebauten gekühlt. Der Kühlbedarf bei Wohnungen variiert stark. (...) Bei entsprechenden Voraussetzungen ist die Nutzung von Wärme zum Kühlen eine echte Alternative zu konventionellen Klimaanlage. Problematische Kältemittel wie FCKW und FKW werden hierbei vermieden und die CO₂-Emissionen werden durch die sehr starke Stromeinsparung gegenüber Klimaanlage entscheidend verringert.“⁴

„Die persönliche Klimakatastrophe“: Strom-Verbrauch und Strom-Rechnung verdoppeln

Wer ein 2-kW-Heimklimagerät nutzt, um eine 2-Zimmer-Wohnung drei Sommermonate ein wenig zu kühlen, verdoppelt seinen Stromverbrauch und seine jährliche Stromrechnung um 350 Euro bei halber Auslastung des Geräts (92 Tage mal 0,5 mal 24 Stunden mal 2 kW mal Strompreis pro kWh). Dabei werden 2.200 kWh Strom bzw. über 6.000 kWh Primärenergie verbraucht, um Solar- und andere Wärme aus der Wohnung zu schaffen.⁵

¹ u.a. siehe COOLREGION Energy Efficient Cooling in Regions of North and Central Europe EIE/06/026/SI2.439974 11/2006 – 04/2009

ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/doc/slides/coolregion.ppt

² nach Fraunhofer ISE 14.5.2007 PM zu Forschungsbericht Karsten Voss/Wupp./Jens Pfafferoth/ISE

³ www.unendlich-viel-energie.de/de/waerme/detailansicht/article/175/solare-kuehlung-in-der-praxis.html

⁴ www.unendlich-viel-energie.de/de/waerme/kuehlen-mit-waerme.html

⁵ verändert nach: Oliver Stens in: Energiedepesche Nr. 2-2004, Hrsg. Bund der Energieverbraucher e.V.

Politische Instrumente und Ziele

In Anbetracht der vorhergesagten globalen Klimaerwärmung und des vermehrten Einsatzes von Raumklimatisierung auch in Deutschland steigen die Anforderungen an sommerlichen Wärmeschutz. Die nationale Umsetzung der Gesamtenergieeffizienz-Richtlinie der EU fordert in diesem Zusammenhang die Einführung von ganzheitlichen Primärenergiegrenzwerten, die die Kühlung und Klimatisierung einbeziehen und damit dem Mehrverbrauch zukünftig zumindest Grenzen setzen.

Zum Geltungsbereich, zu Definitionen und einigen Regelungen der EnEV 2009:

Die deutsche Energiesparverordnung EnEV (Okt. 2009) regelt für Neubauten und in abgeschwächter Form auch für wesentliche Änderungen bei Altbauten Aspekte der Raumkühlung (Festsetzungen durch den Autor; Näheres siehe Fact Sheets zu Neubauten und Altbauten):

Die EnEV gilt „1. für Gebäude, soweit sie unter Einsatz von Energie beheizt oder **gekühlt** werden, und 2. für Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl-, Raumluft- und Beleuchtungstechnik sowie der Warmwasserversorgung von Gebäuden nach Nummer 1. Ausnahmen sind geregelt. Dabei sind Wohngebäude solche Gebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dienen, einschließlich Wohn-, Alten- und Pflegeheimen sowie ähnlichen Einrichtungen.“ (EnEV 2009)

Anforderungen an neue Wohngebäude (§ 3): Im Kern bestimmt die Verordnung folgendes:

Zu errichtende Wohngebäude dürfen für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und **Kühlung** den Wert des Jahres- Primärenergiebedarfs eines Referenz- oder „Vergleichs“-Gebäudes, das die gleiche Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung aufweist, nicht überschreiten. Für dieses Referenzgebäude, das für die realen Bauten manche Freiheiten erlaubt, ist die Meßlatte richtigerweise bei der Begrenzung des Primärenergieverbrauchs angesetzt. Anforderungen hierfür sind in der Tabelle 1 der Anlage 1 der Verordnung beschrieben für verschiedenste Gebäude-Bauteile, für die Luftdichtigkeit, die Heizungsanlage einschl. Warmwasserbereitung und für die Luftdichtheit und Lüftung, und das meist mit Fallunterscheidungen.

Zu errichtende Wohngebäude sind außerdem so auszuführen, dass die Anforderungen an den **sommerlichen Wärmeschutz** (d.h. gegen Überhitzung) eingehalten werden. Wichtig ist hier insbesondere eine Wärmedämmung gegen Hitze etwa von der solar erhitzten Dacheindeckung her oder Schutz vor Solareinstrahlung durch Verglasungen. Andererseits kann auch die in der EnEV genannte Lüftung, hier gezielte Nachlüftung, verstärkt durch Ventilatoren, für erträglichere Temperaturen sorgen (siehe gute Beispiele).

Anstelle der relativ schwachen Vorschriften der EU und der EnEV ist als politisches Ziel erstrebenswert, nicht nur den Mehrverbrauch durch Raumkühlung zu begrenzen, sondern allenfalls durch Solarenergie zu gestatten. Darüber hinaus wären eine Reihe von Maßnahmen (wie sie unter „Gute Beispiele“ aufgeführt sind) notwendig, um den Einsatz von Energie zur Kühlung extrem niedrig zu halten oder ganz zu vermeiden. Diese Wege müssten dann in die Gesetze bzw. Verordnungen sinngemäß übernommen werden.

Gute Beispiele und Lösungsmöglichkeiten

Übersicht: Kühlen - Überhitzung vermeiden ⁶

- <kühlendes> Verhalten
- gute Nutzung vorhandener Ausstattung
- gute bauliche Planung
- passive technische Ausstattung
- aktive Kühlung (fast) ohne Energieeinsatz
- aktive Kühlung mit geringem Energieeinsatz
- solar-aktive Kühlung
- Kraft-Wärme-Kältekopplung
- vermeiden: konventionelle Kühlung mit erheblichem Energieeinsatz

Gekonnt kühlen (1): individuell als Person

Personen haben viele Möglichkeiten, eine Überhitzung des Körpers zu vermeiden. Dazu gehört: weniger anziehen, dünnere Bettdecken, mehr trinken - dies für mehr Verdunstung (Schwitzen) mit dem Effekt der Kühlung, Luft zufächern, Kühles trinken, keine heißen Speisen essen, kalt duschen, besonders (aufsteigend) an Beinen und Armen, Schatten aufsuchen bei mäßiger Luftbewegung, einen

⁶ Als Lichtbilder-Vortrag: Dr. G. Löser in: www.ecotrinova.de unter Projekte/Samstags-Forum 13.6.2009

Sonnenschirm nutzen, (Solar-)Schwimmbäder oder kühleres Bergland aufsuchen, eine Kopfbedeckung verwenden, den Kopf vorsichtig etwas kühlen, mit mäßigem Tempo Radfahren, was bei ausreichendem Trinken mehr Verdunstungskühlung bewirkt.

Gekonnt kühlen (2): bei und in Gebäuden

1. Besonnte Fenster abschatten:

besonnte Fenster sind besonders gute Solarwärmekollektoren! Tags besonnte Fensterflächen am besten von außen verschatten, Rollläden teilweise schließen usw., Sonnenschutz von außen ist effektiver als von innen! „Außen liegende Rollläden reduzieren die Sonneneinstrahlung um bis zu 75 Prozent, innen angebrachte Jalousien hingegen nur noch um 25 Prozent,“ so Hermann Dannecker, Energieberater und Vorstand des deutschen Energieberater-Netzwerk (DEN). Eine Verschattung solcher Fenster durch Solargeneratoren hilft ebenfalls und erzeugt zugleich Strom. Als Notbehelf dient nach außen helles Papier, das innen an den Scheiben befestigt ist. Wer Laubbäume vor Fenstern stehen hat, nutzt damit eine <biologische Abschattung>, die auch die Aufheizung etwa der Wand vermindert, aber bei Schlechtwetter oft zum Lichtansalten veranlasst. Zudem schafft die Verdunstung der Laubbäume in deren Nähe niedrigere Außentemperaturen.

2. Hitze weglüften und Zuluft vorkühlen:

Abends, nachts und frühmorgens per Fenster oder Oberlichter querlüften; dabei Insekten- und Einbrecherschutz berücksichtigen! Niedrigenergie- und Passivhäuser mit kontrollierter mechanischer Ventilatorlüftung haben es leichter, verbrauchen dabei aber (bei sparsamen Ventilatoren!) ein wenig Strom. Die Lüftung sollte tagsüber auf das Notwendigste beschränkt werden.

Kühles Erdreich ist zur Luftvorkühlung gut nutzbar, es kann sogar im Naturzug funktionieren: Oben entweicht die warme Luft, die kühle strömt von unten nach! Nach diesem Prinzip besitzen traditionelle Häuser im heutigen Iran innen angenehme Temperaturen. Manche Gebäude in Deutschland greifen darauf zurück (siehe unten das Beispiel Solarfabrik in Freiburg). All das ist ohne Wärmepumpe, vielfach sogar ohne Ventilatoren möglich!

3. Den Stromverbrauch senken, d.h. interne Wärmequellen minimieren:

Stromverbrauch führt im Gebäude generell zur Freisetzung von Wärme. Mit Zwischenstecker-Strommessgeräten, die bei den einschlägigen Beratungsstellen verliehen werden, können Stromfresser in der Wohnung aufgespürt und dann abgeschaltet oder ersetzt werden. Bei Anschaffungen ist auf stromsparende Geräte zu achten, insbesondere bei Kühl- und Gefriergeräten, Fernsehern und PCs.

4. Verdunstungskühlung einsetzen:

Verdunstendes Wasser erbringt einen kühlenden Effekt. Bei Dächern, Zelten usw. kann man bei Hitze über UV-resistente perforierte Schläuche (Farbe passend zur Dacheindeckung wählen) zur Verdunstungskühlung etwas Wasser verrieseln und dabei den unverdunsteten Teil über die Regenrinnen zur Gartenbewässerung auffangen. Bei Zelten ist der Effekt bei Sonnenschein drastisch und unmittelbar.

Falls all das nicht reicht oder nicht anwendbar ist: Ein kleiner Tischventilator mit etwa 10 bis 20 Watt - statt einer 2000-Watt-Raumklimaanlage verstärkt die Verdunstungskühlung auf der Haut. Doch es besteht ein Erkältungsrisiko!

5. Richtig planen:

Überhitzung beruht oft auf Planungsfehlern bei der Stadt- und Gebäude-Planung. Überspitzt kann man sagen: In Mitteleuropa ist der Bedarf an energieaufwendiger Kühlung bei Wohn- und Bürobauten ein Fehler der Architektur und Gebäudeplanung. Bei hohem Sonnenstand können die Räume vor Überhitzung geschützt werden durch:

- Überstände von Dach und Balkonen, Auf-Dach-Solaranlagen, verschattete Fenster und Wände,
- Teilverschattung durch Solarstromanlagen, auch mit teilweise transparenten Solarmodulen,
- bei Ost- und West-Fenstern: im Sommer bei morgendlicher bzw. abendlicher Sonneneinstrahlung am besten durch von außen voll verschattbare Fenster, z.B. mit Einsatz von Rollläden.

Auch die Stadtplanung bzw. Gebäudeausrichtung sollte hier eine wichtige Rolle spielen: beispielsweise sind längs in Nord-Süd-Richtung stehende Gebäudeblocks und Reihenhäuser recht ungünstig: Ihre überwiegend nach Ost bzw. West ausgerichteten Fenster werden von der Morgen- und Abendsonne belastet und können kaum durch Überstände geschützt werden. Außerdem sind die Dächer solcher Gebäude deutlich ungünstiger für Sonnenkollektoren und Solarstromanlagen. Dagegen sind mit First bzw. Längsseite in Ost-West-Richtung angeordnete Gebäude günstig für die Abschattung durch Überstände, für Solarenergienutzung auf ihren Steil-Dächern und für passive Solarnutzung durch die Südfenster im Winter.



links: Verschattung durch Dachüberstand und Balkon. Rechts: Ostfenster teils durch Rolladen, teils durch Dachüberstand und Pflanzen verschattet, Aufnahmen mittags im Sommer. Fotos © G. Löser

7. Sommerlicher Hitzeschutz durch Wärmedämmung von Dach und Außenfassaden:

Gute Wärmedämmung von Dach und Außenfassaden verringert die Überhitzung von Räumen. In Dachgeschossen kann starke Wärmedämmung nicht nur im Winter den Heizenergieverbrauch stark senken, sondern im Sommer eine Überhitzung um zehn Grad Celsius oder mehr senken, so das Umweltministerium Baden-Württemberg und das Energieberater-Netzwerk (DEN) in einer Mitteilung. Zusammen mit nächtlicher Querlüftung kann die Wärmedämmung unter Umständen ausreichen. Von Klimaanlage rät der Bauexperte des DEN ab. Ihre Nutzung sei aufgrund des hohen Stromverbrauchs unwirtschaftlich und unökologisch.

8. Massive Bauweise und wärmespeichernde Bauteile:

Massive Bauweise und wärmespeichernde Bauteile verzögern die Erwärmung, wie in einigen der Beispiele näher erläutert wird. Vor allem bei Büro- und Zweckbauten finden solche Technologien wie Betonkern-Aktivierung Anwendung.⁷ Besonders elegant ist der Einsatz von Latentenergie-Materialien zur Temperaturstabilisierung von Räumen (siehe Beispiel Sonnenschiff). Solche auch Phasen-Wechsel-Materialien genannten Baustoffe sind inzwischen kommerziell im Handel und können z.B. als neuartige Gipsfaserplatten eingesetzt werden.

Sonnenschiff der Solarsiedlung Freiburg: ohne mechanische Klimatisierung

In den Decken und Wänden dieses für Büros und Läden genutzten Gebäudes befinden sich zusätzliche „Kälteakkus“: Diese **Latentwärmespeicher** verändern ihren Aggregatzustand bei einer Temperatur von 23 - 26°C, nehmen dabei Wärme auf und stabilisieren so die Raumtemperatur ohne zusätzlichen Energieaufwand. Kühlt sich der Raum ab, geben sie Wärme ab. Fassadenintegrierte Lüftungselemente (von außen farblich markiert, siehe Fotos, auf der Westseite/Straßenseite schalldämmend) wirken auch für Wärmerückgewinnung im Winter und für natürliche nächtliche Bauteilkühlung im Sommer. Die **Gebäudemasse** (insbesondere Betondecken, die als schwere Baumasse hinsichtlich der Temperaturänderung bremsend wirken), und Latentwärmespeicher (s.o.) sorgen für passive Klimatisierung. „Durch die außen liegende Verschattung und die wärmespeichernde Bauweise (für sommerliche Kühle) kann auf eine mechanische Klimatisierung verzichtet werden“, so Rolf Disch, der bekannte Solar-Architekt der Solarsiedlung Freiburg und des so genannten Sonnenschiffs.



li.: Sonnenschiff der Solarsiedlung Freiburg re: geöffnetes Lüftungselement, Innenansicht. G. Löser, 2007, 2008

⁷ Vortrag Dr. Jens Pfafferott, Fraunhofer ISE, bei Samstags-Forum Regio Freiburg, 22.11.2008, pdf-Datei siehe www.ecotrinova.de unter Projekte/Samstags-Forum und Datum

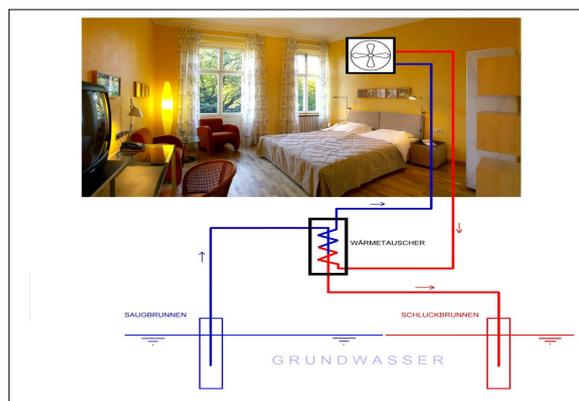
Solarfabrik Freiburg: passive Kühlung „persisch“ per Naturzug aus Erdreich



Links: Der kleine Turm mit Lufteinlass für den Erdreichkanal der Zuluft
 Rechts: Die teilweise mit Solargeneratoren verschattete Südseite der Solarfabrik. Fotos: G. Löser
 anl. einer Führung des Samstags-Forums Regio Freiburg von ECOtrnova e.V., 14.6.2008

Hotel Victoria in Freiburg i.Br.: Kühlung mit Grundwasser

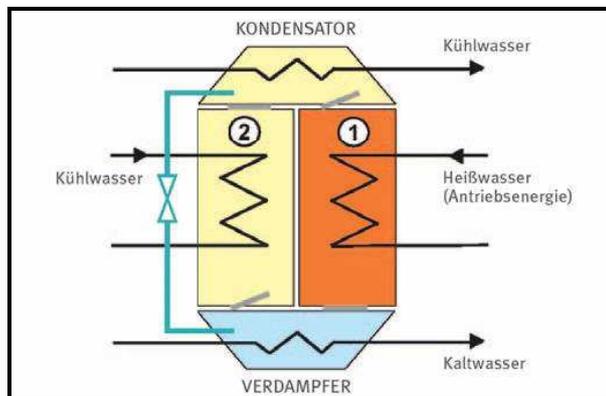
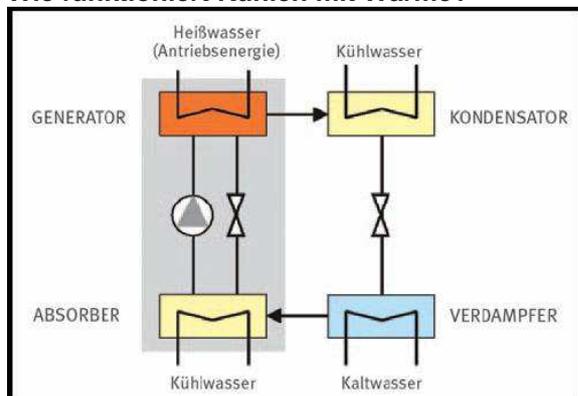
Seit 2007 ist im Haupthaus in der warmen Jahreszeit eine intelligente, kaum Energie verbrauchende Klimaanlage in Betrieb: sparsame Umwälzpumpen (nicht: Wärmepumpen!) entnehmen kühles Wasser von 10-13 Grad dem hoteleigenen Saugbrunnen und schicken es zu den Flurdecken der Zimmer, wo kleine Ventilatoren abgekühlte Luft verteilen. Ein Schluckbrunnen nimmt das dabei auf maximal 16 Grad erwärmte Wasser auf. Quelle der Abbildung: Hotel Victoria. Die nebenstehende Abbildung zeigt das Prinzip.



Mit Sonnenwärme kühlen

Das Interesse an solarer Klimatisierung nimmt stark zu, vor allem im Süden der EU. Solare Kühlung nutzt - statt der üblichen elektrischen Kälteproduktion - thermisch angetriebene Systeme. Daher kommen Sonnenkollektoren, teils auch Luft-Sonnenkollektoren, zum Einsatz. Das funktioniert auch in Deutschland gut! Je stärker die Sonneneinstrahlung, desto höher ist die Leistung der Sonnenkollektoren für die Kühlzwecke.

Wie funktioniert Kühlen mit Wärme?⁸



Grafik links: **Absorptionskältemaschine**; rechts: **Adsorptionskältemaschine** (Quelle: Berliner Energieagentur)

⁸ Dieser Abschnitt ist mit Umstellungen gekürzt übernommen aus:
www.unendlich-viel-energie.de/de/waerme/kuehlen-mit-waerme.html

Bei dem Vorgang „Kühlen mit Wärme“ wird mit Hilfe von Wärme als Energiequelle Kälte erzeugt. Dafür werden spezielle thermische Kältemaschinen eingesetzt. Die so erzeugte Kälte wird bei der Raumklimatisierung zur Kühlung verwendet. Generell machen Kältemaschinen Verdunstungskälte nutzbar, die entsteht, wenn eine Flüssigkeit verdampft. Dieser physikalische Vorgang entzieht der Umgebung Wärme und senkt so die Temperatur. Übertragen auf die Trägermedien Wasser und Luft wird diese Kältewirkung zur Kühlung eingesetzt.

Neben einer angenehmen Raumtemperatur ist die Luftfeuchtigkeit ein wichtiger Faktor. Deshalb ist in vielen warmen Regionen der Erde die Luftentfeuchtung eine zentrale Aufgabe klimatechnischer Anlagen. Grundsätzlich lässt sich das Verfahren der thermischen Kühlung in ein geschlossenes und ein offenes Verfahren unterteilen.

Geschlossene sorptionsgestützte Verfahren

Das mittels Wärme erzeugte Kaltwasser wird als Medium benutzt. Dieses Kaltwasser wird zur Kühlung der Raumluft in Klimaanlage verwendet oder über ein Kaltwassernetz zu dezentralen Kälteaggregaten in einzelnen Räumen geleitet. Das Grundprinzip aller thermischen Kältemaschinen ist die Sorption, also die Bindung des Kältemittels in einer chemischen Lösung (Absorption) oder an der Oberfläche eines Festkörpers (Adsorption).

Offene sorptionsgestützte Verfahren

„Offen“ bedeutet, dass das Kältemittel, nachdem es seine Kühlwirkung erfüllt hat, nicht in das System zurückfließt, sondern von einem frischen Kältemittel ersetzt wird. Dieser Kreislauf ist eine Kombination von Verdunstungskühlung und Luftentfeuchtung durch ein Trockenmittel, das Feuchtigkeit an sich zieht. Da ein direkter Kontakt mit der Atmosphäre besteht, kann nur Wasser als Kältemittel eingesetzt werden. Bei Anlagen dieser Art wird generell die Luft behandelt, deshalb sind diese Anlagen auch immer Lüftungsanlagen.

Absorptionskältemaschinen

(...) Damit die Absorptionsstoffe wieder Feuchtigkeit speichern können, werden diese durch Wärme getrocknet. Absorptionskältemaschinen sind die weltweit am häufigsten verbreiteten Kältemaschinen. Als Träger werden ein flüssiges Kältemittel und ein flüssiges Lösungsmittel verwendet. Die Antriebswärme ersetzt die elektrische Energie eines mechanischen Kompressors.

Adsorptionskältemaschinen

Adsorption bedeutet Anlagerung. Bei diesem Verfahren bindet sich eine Flüssigkeit bzw. Dampf, in der Regel Wasser, an einen Feststoff. Dieser Feststoff wird als Sorbent, der flüssige oder gasförmige Stoff als Sorbat bezeichnet. Das Kältemittel Wasser wird bei der Adsorption durch ein poröses Material adsorbiert, beispielsweise durch Silikagel.

Während in einer ersten Kammer (Nr.1) heißes Wasser erzeugt und so der Dampf aus dem Sorbent ausgetrieben wird, adsorbiert die zweite Kammer (Nr. 2) den Wasserdampf, der aus dem Verdampfer in die Kammer strömt. Dabei entsteht die nutzbare Kälte. Ist alle Feuchtigkeit verdampft, wird der Prozess umgekehrt. Das bedeutet, dass die Adsorberkammern zwischen Beladung und Regeneration wechseln, damit der Prozess aufrechterhalten werden kann. Ein großer Vorteil bei diesem Verfahren ist die einfache und robuste Konstruktion. Nachteilig ist der große Umfang der Anlage. Daher eignen sich diese Anlagen eher für Bürogebäude oder Fabrikhallen.

Solare Kühlung in der Praxis

Die Nutzung von solarthermisch angetriebenen Kältemaschinen ist eine zukunftsweisende Möglichkeit, um den Strombedarf für die Klimatisierung zu reduzieren. Herkömmliche Klimaanlagen und Kühlschränke arbeiten mit elektrisch betriebenen Kompressoren. Je wärmer die zu kühlende Luft ist, umso höher ist der Energieverbrauch. Der große Vorteil bei solaren Kältemaschinen ist die zeitliche Übereinstimmung von Kühlbedarf und Sonneneinstrahlung. Immer dann, wenn es besonders heiß ist, bringen sie die höchste Kühlleistung. (...) Die Solare Kühlung wird schon seit einigen Jahrzehnten eingesetzt. Doch die flächendeckende Nutzung steht noch am Anfang. Speziell in Europa wurden in den letzten Jahren neue Kältemaschinen, die mit Sonnenenergie arbeiten, im kleinen Leistungsbereich entwickelt. Daher eignet sich der Einsatz dieser Apparaturen besonders in privaten Wohngebäuden. (...)

Beispiele für Anlagen mit solarthermischen Kollektoren

1. IHK (Handelskammer) Freiburg: Autonome Kühlung mit Solarwärme aus Luftkollektoren

In der Handelskammer in Freiburg (IHK Südlicher Oberrhein) ist seit 2001 die erste autonom mit Solarwärme betriebene Desiccant-Klimaanlage Deutschlands in Betrieb. Sie dient zur Klimatisierung von zwei IHK-Veranstaltungsräumen, zur Kühlung im Sommer und zur Vorbeheizung im Winter. Der kleinere Raum hat eine Fläche von 65 m², der größere über 148 m². Die beiden Räume mit einem Gesamtvolumen von 815 m³ bieten insgesamt Platz für etwa 120 Personen. Die Glasfassaden sind innen und außen mit Beschattungsvorrichtungen versehen.

Der Luftdurchsatz der Klimaanlage, die 60 kW Kühlleistung erreichen kann, ist zwischen 2.500 m³/h und 10.200 m³/h variierbar. Auf ein Notsystem für die Kühlung wurde verzichtet, da eine recht gute Ausgewogenheit zwischen Kühllasten und solaren Gewinnen besteht. (...). Durch den Einsatz von 100 Quadratmetern Luftkollektoren und dem ausgewogenen Verhältnis zwischen solaren Gewinnen und Kühllast ist keine Wärmespeicherung vorgesehen. Seit Inbetriebnahme der Anlage kam es dank des autonomen Solarbetriebs im Sommer nur vereinzelt zu Abweichungen im Behaglichkeitszustand nach DIN 1946, Teil 2.

Durch die kostengünstige Installation der Luftkollektoren betragen die spezifischen Kollektorkosten einschließlich der Stützkonstruktion 210 €/m² Bruttofläche. Das entspricht 10 Prozent der Gesamtkosten für die Anlage (210.000 €). (...) Das Projekt wurde mit Unterstützung durch die Europäische Kommission realisiert (NNE5-1999-531). Die Einsparungen an Umweltkosten und Primärenergie werden abgeschätzt, indem man die Wärme- und Stromverbrauchszahlen der sorptionsgestützten Klimatisierungsanlage mit jenen eines herkömmlichen Luftaufbereitungssystems mit Wärmezufuhr im Winter über einen Gaskessel und einer elektrisch betriebenen Kältemaschine zur Kühlung der Zuluft im Sommer vergleicht. Nach dieser Schätzung betragen die Einsparungen an Primärenergie 30.000 kWh und an CO₂ etwa 8.800 kg pro Jahr.⁹

2. Labor- und Installationsräume und Kosmetikfabrik solar gekühlt

In Oberhausen wird beim Fraunhofer UMSICHT seit 2002 Sonnenenergie zum Kühlen eingesetzt. Die Kälte wird vornehmlich zur Kühlung von Labor- und Installationsräumen genutzt. Die erzielbare Kälteleistung beträgt maximal 58 kW. Einer der größten Solaranlagen zur solaren Klimatisierung steht rund 50 km nordöstlich von Athen. Kollektoranlagen versorgen zwei Adsorptionskältemaschinen mit je 350 kW Leistung zur Klimatisierung einer Kosmetikfabrik.¹⁰

3. Solaranlagen, die sowohl Wärme als auch Kälte aus Sonnenlicht erzeugen

Die Solitem GmbH aus Aachen hat gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und vielen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft ein Verfahren entwickelt, um aus Sonnenlicht gleichermaßen Kälte und Wärme zu erzeugen. Grundlage dieser Technik sind parabolförmige Kollektoren, die das Licht bündeln. Ein Absorberrohr im Brennpunkt der Spiegel heizt sich dadurch bis zu 250 Grad Celsius auf und produziert heißen Wasserdampf. Eine zweistufige Absorptionskältemaschine wandelt den Dampf in Kälte um. Das System funktioniert nach demselben Prinzip wie ein Kühlschranks. In mehreren Großhandelsmärkten und Hotels in der Türkei, Jordanien und Marokko ist das Solitem-System im Einsatz oder in Planung. Der heiße Dampf soll dort zusätzlich für Industrieprozesse, für die Wäscherei und zum Heizen in den Wintermonaten eingesetzt werden.

Für genau diesen Einsatzbereich produziert das Bielefelder Unternehmen Schüco International KG innovative solare Kältesysteme. Die Gebäudekühlung basiert auf Flachkollektoren, die auf dem Dach angebracht werden. Der Energiebedarf einer Kältemaschine wird bis zu 98 Prozent aus Sonnenenergie gedeckt. Wird keine Kühlung benötigt, unterstützt das Kollektorfeld die Gebäudeheizung oder erwärmt das Brauchwasser. Das weltweite Marktpotenzial für solare Kühlung ist groß. „Exportländer sind vor allem Frankreich, Italien und Spanien“, so Thomas Lauritzen, Pressesprecher des Unternehmens.¹¹

⁹ Beschreibung (redaktionell geringfügig geändert und gekürzt) nach: Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg, seinerzeit Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Viele weitere Informationen auch allgemeiner Art zur Kühlung (in engl. und franz. Sprache: www.raee.org/climasol). Weitere Informationen zur solaren Kühlung und den Ergebnissen des Projektes Climasol auf www.energiesparverband.at

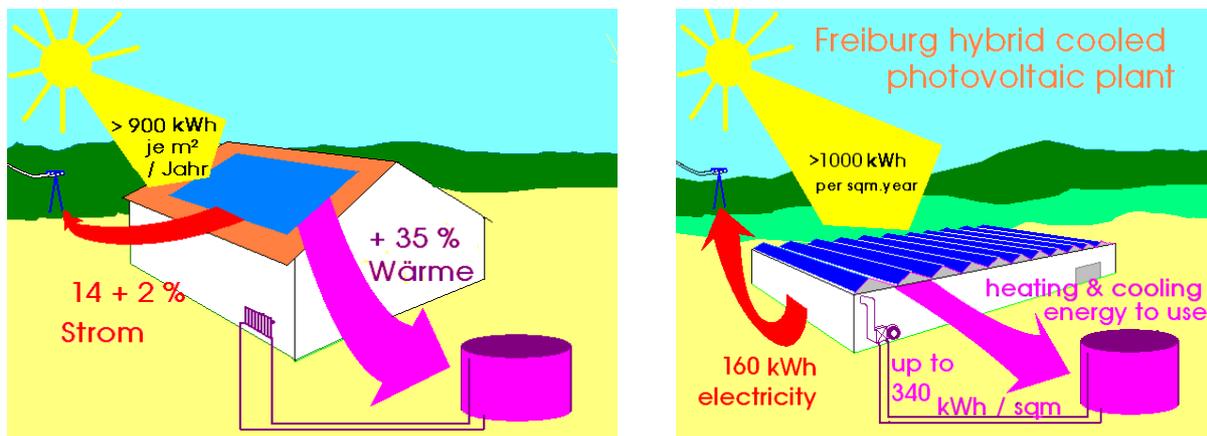
¹⁰ Zitiert aus: www.unendlich-viel-energie.de/de/waerme/detailansicht/article/175/solare-kuehlung-in-der-praxis.html
Links: www.solarserver.de/solarmagazin/artikelmai2004.html
www.fv-sonnenenergie.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005_02_04.pdf

¹¹ gekürzt zitiert aus:

www.unendlich-viel-energie.de/de/waerme/detailansicht/article/175/kuehler-kopf-mit-solarenergie.html

4. Das Freiburger Hybridmodul: solare Kraftwärme-(Kälte-)Kopplung

Solargeneratoren liefern bei Hitze weniger Strom als bei Kälte, gleiche Solareinstrahlung vorausgesetzt. Statt mit normaler Photovoltaik-Technik mit z.B. 14 Prozent elektrischen Wirkungsgrad bei Hitze 86 Prozent der Sonnenenergie zu verschenken, will ein Freiburger Entwickler die Solargeneratoren kühlen und die so gesammelte Wärme für Heizungs- oder Kühlzwecke nutzen (siehe Abbildungen). Die Idee ist nicht neu, aber technisch nicht einfach. Diplom-Chemiker Hans-Dieter Stürmer vom Freiburger-Institut für Umweltchemie e.V. hat einen Weg zur Realisierung gefunden.¹²



Kühlung von Solargeneratoren für Solarwärmenutzung.
Abb. © Freiburger Inst. für Umweltchemie e.V.,2009

Lüftungs- und Klimaanlage modernisieren und 40 Prozent Stromkosten sparen:

Unternehmen und öffentliche Einrichtungen können durch eine Modernisierung ihrer Lüftungs- und Klimaanlage bis zu 40 Prozent ihrer Stromkosten und entsprechend viel beim Stromverbrauch einsparen. Bei Klimatisierungskosten von 7.000 Euro im Jahr ergeben sich damit Einsparungen von jährlich rund 3.000 Euro. Sowohl Eigentümer als auch Mieter von Bürogebäuden können laut *dena* auf mehreren Wegen aktiv werden: z.B. mit optimalen Betriebseinstellungen und sparsamem Nutzerverhalten: Oft ist es sinnvoll, die Klimaanlage zeitweilig abzuschalten, die Fensterlüftung intelligent zu steuern oder die Raumtemperaturen geringfügig zu erhöhen. Die höchste Energieeffizienz kann erreicht werden, wenn die Lüftungs- und Klimatisierungsanlage neu konzipiert oder von Grund auf modernisiert wird.¹³

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit BHKW für den Deutschen Bundestag:

Wärme und Kühlung zu 100 Prozent erneuerbar

Das Reichstagsgebäude und die umliegenden Bundestagsbauten sind mit umweltschonender und ressourcensparender Technik ausgestattet. (...) Kernstück des Ökokonzepts sind die Blockheizkraftwerke. Ihre Motoren arbeiten mit Biodiesel, der aus Raps gewonnen wird. Nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung wird die bei der Stromerzeugung entstehende Abwärme zum Heizen der Parlamentsgebäude genutzt. Durch diese Technik können die Kraftwerke für die Parlamentsbauten rund 50 Prozent der Elektroenergie und 100 Prozent der Wärme und Kälteenergie liefern.

Die erste Priorität der Kälteerzeugung besteht in der Speicherung von Umweltkälte im Winter, die über Wärmetauscher an das Grundwasser abgegeben wird. Am Ende der winterlichen Kälteperiode wird dieser Vorgang abgeschlossen und zu Beginn der Frühlingszeit durch Umdrehung der Fließrichtung das kalte Wasser entnommen, welches zunächst mit zirka 6°C aus dem jeweiligen kalten Brunnen gefördert werden kann. Im Laufe des Sommers steigt diese Temperatur je nach Bedarf bis auf die natürliche Temperatur von 11°C an. Wenn ein größerer gleichzeitiger Kältebedarf in den Bundestagsgebäuden besteht als aus den Kältespeicherbrunnen entnommen werden kann, wird diese Kälte zunächst in kleinen konventionellen Kältemaschinen erzeugt. Steigt der Bedarf noch weiter an und ist aufgrund der sommerlichen Temperaturen ein längerer Bedarf zu erwarten, so werden die drei Absorptionskältemaschinen über die Abwärme der Motorheizkraftwerke angetrieben.¹⁴

¹² Näheres ist bei fiuc@umweltchemie.org erfragbar.

¹³ Quelle: Pressemitteilung dena, März 2009, www.dena.de. Die Initiative EnergieEffizienz der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) informiert in der Broschüre "Frische Luft für wenig Geld" über rentable Maßnahmen für eine energieeffiziente Lüftung und Klimatisierung in Bürogebäuden.

¹⁴ Zitiert aus: www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2007/energiekonzept/index.html und www.bundestag.de/kulturundgeschichte/architektur/energie/index.html

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit BHKW für Pflegeheim in March/Breisgau¹⁵

Eine deutlich kleinere Anlage zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung als die beim Bundestag ist seit 2008 in einem Pflegeheim in March in Betrieb. Betreiber der Anlage ist die EBV, eine gemeinsame Gesellschaft des Bauvereins Breisgau e.G. und des regionalen Energieunternehmens Badenova. Beheizt und gekühlt werden 67 Pflegeplätze mit insgesamt 36.000 m² beheizter Fläche in diesem Neubau. Technische Daten sind: ein Erdgaskessel 230 kW_{th}, ein Erdgas-BHKW mit 20 kW_{el} Strom, 43 kW_{th} Wärme sowie 30 kW_{th} Absorptionskälte. Erzeugt werden 450 MWh Heizenergie im Jahr, 175 MWh Strom und 60 MWh Kälte im Jahr. Die CO₂-Einsparung beträgt 85 Tonnen jährlich.

Elektro- und brennstoffgetriebene Wärmepumpen zum Kühlen von Gebäuden:

Wärmepumpen eignen sich nicht nur zum Heizen, sondern in umgekehrter Betriebsweise auch zum Kühlen von Gebäuden (zum Thema Heizen siehe extra Fact Sheet). Bei Verwendung zum Kühlen verführen sie leicht zur Vernachlässigung der vielen möglichen passiven Kühlmaßnahmen, die oben unter „gekonnt Kühlen“ aufgeführt sind. Bei der Temperierung von Wohn- und Büroarbeitsräumen sollte Wärmepumpeneinsatz, der wertvolle Brennstoffe oder gar erhebliche Mengen an elektrischer Energie erfordert, vermeidbar sein. Bei Büro- und anderen Zweckbauten kann solare Kühlung ggf. der Ausweg sein.

Energiebilanzen (Daten und Graphiken)

Bei einigen der guten Beispiele sind konkrete Daten und Grafiken angegeben. Statistische Daten zum Markt der Gebäudekühlung sind in ganz Europa Mangelware. ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/doc/slides/coolregion.ppt

Quellen

Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg <http://www.ecotrinova.de/downloads/060000hindenburg4jihksolar kuehl.pdf>
Sorptionsgestütztes Klimatisierungssystem mit 100 m² SolarLuftkollektoren – vier Jahre Betriebserfahrungen (...), Hrsg. IHK, Freiburg i.Br., zirka 2006

Vortrag Dr. Alexander Morgenstern, Fraunhofer ISE, am 30.6.2007 beim Samstags-Forum Regio Freiburg, siehe www.ecotrinova.de unter Projekte/Samstags-Forum:

Vortrag Dr. Georg Löser, 13.6.2009 beim Samstags-Forum Regio Freiburg: Intelligent und solar kühlen. www.ecotrinova.de/projekteprojets/samstagsforum/index.html

Autor

Dr. Georg Löser, D-79194 Gundelfingen. Energie- und Umweltbüro Dr. Löser. georg.loeser@gmx.de
(Vorsitzender von ECOtrinoVA e.V., www.ecotrinova.de, ecotrinova@web.de)

* Herausgeber dieser Version des Faktenblattes: ECOtrinoVA e.V., Weiherweg 4 B, D-79194 Gundelfingen ecotrinova@web.de, www.ecotrinova.de, dies als geringfügig überarbeiteter Nachdruck des Originaltextes des Fact Sheet 27 für die **European Energy Radio Campaign - EER Campaign**, siehe unten.

*** Hinweis:**

Dieses Faktenblatt wurde vom Autor erstellt für die Radio-Kampagne <Dynamo-Effekt> von 30 Radiosendern in der Europäischen Union für eine klimagerechte Energievorsorge, die **European Energy Radio Campaign – EER Campaign**. Kontakt-Radio in Deutschland: Radio Dreyeckland, Adlerstr. 12, D-79098 Freiburg i.Br. eercampaign@rdl.de, www.rdl.de (Dynamo); <http://dynamoeffekt.org/DE/>, www.eercampaign.org/DE/project/



unterstützt von der Europäischen Union <http://ec.europa.eu/energy/intelligent/> im Rahmen von



Intelligent Energy  **Europe**



¹⁵ nach Vortrag Klaus Schipek, Samstags-Forum Regio Freiburg, 27.6.2010 www.ecotrinova.de unter Projekte/Samstags-Forum/Datum