



SOLARES KÜHLEN

FÜR BÜRO- UND DIENSTLEISTUNGSGEBÄUDE



StadT+Wien
Wien ist anders.



Eigentümer, Herausgeber:

MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung
Energie und SEP-Koordinierungsstelle
Schlesingerplatz 2
1082 Wien
E: post@meu.magwien.gv.at

Interessenten können die Broschüre
„Solares Kühlen für Büro- und Dienst-
leistungsgebäude“ downloaden unter
www.sep.wien.at

Copyright ©:

MA 27, Dezember 2007

Autor:

Österreichisches Forschungs- und
Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.
Giefinggasse 2
A-1210 Wien, Austria

Kontakt:

Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme
Ing. Anita Preisler
T: +43 (0) 50 550-6634
E: anita.preisler@arsenal.ac.at

Layout:

Georg Flor Mediendesign
www.georgflor.at
E: office@georgflor.at

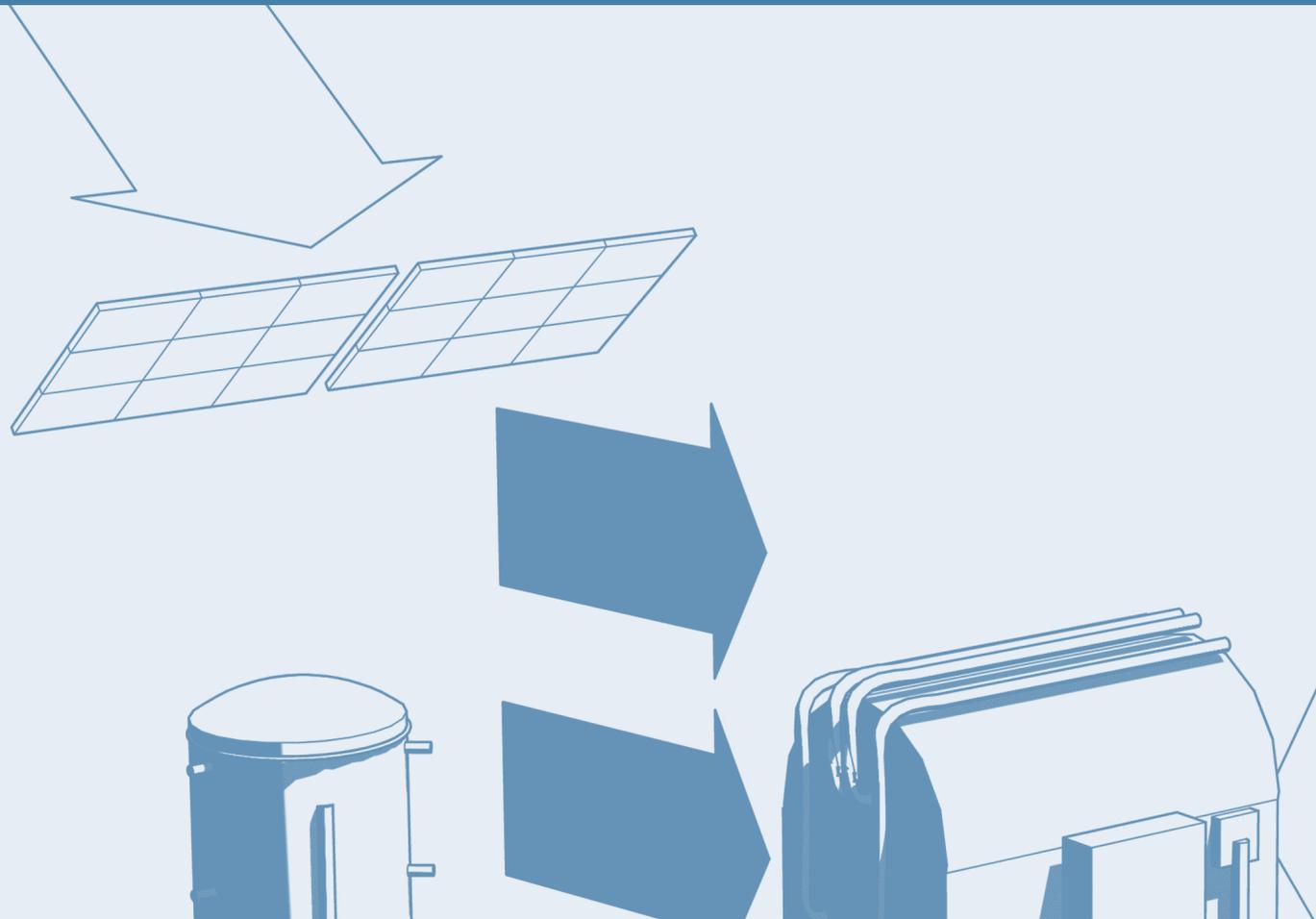
Druck:

Auf ökologischem Papier aus der Mustermappe
von „ÖkoKauf Wien“.

IMPRESSUM

1. MOTIVATION	05
Technische Vorteile	06
Ökologische Vorteile	07
2. TECHNOLOGIE	09
Anwendungsgebiete solarer Kühlverfahren	10
Absorptionskälteanlage	11
Adsorptionskälteanlage	12
Sorptionsgestützte Klimatisierung	13
Solarthermische Kollektoren	14
Kollektortypen	15
Speicher	17
3. ARCHITEKTUR	19
Hinweise zur Gebäudekonzeption	20
4. PLANUNG	25
Planungsrelevante Einflussgrößen zur Gebäudekühlung	26
Wahl des Klimageräts bzw. Kälteerzeugers	27
Analyse der Einsetzbarkeit unterschiedlicher Kühltechnologien	28
5. BEISPIELE	31

INHALT



Prognostizierte Veränderung des Gebäudebestandes in Österreich von Büro- und Dienstleistungsgebäuden und der daraus resultierende Klimatisierungsbedarf bis 2030 (Quelle: EEG 2007)

Gebäudekategorie	Anzahl 2005	Anzahl 2030	Veränderung	Fläche Schnitt	2005			2030			Strombedarf	
					Nichtklimat.	Teilklimat.	Vollklimat.	Nichtklimat.	Teilklimat.	Vollklimat.	2005	2030
	Stk	Stk	%	m ²	%	%	%	%	%	%	GWh	GWh
Bürogebäude, groß	8.295	9.826	18,5	1.992	50,0	30,0	20,0	20,0	40,0	40,0	119	258
Bürogebäude, klein	26.342	30.704	16,6	335	88,0	10,0	2,0	65,0	25,0	10,0	10	44
Büros in Wohngebäuden	10.404	12.416	19,3	1.062	96,0	3,0	1,0	80,0	10,0	10,0	5	44
Handel, groß	10.140	10.875	7,2	529	85,0	10,0	5,0	40,0	40,0	20,0	11	45
Handel, klein	23.543	25.346	7,7	378	88,0	10,0	2,0	65,0	25,0	10,0	10	41
Summe Büro- und Dienstleistungsgebäude	78.724	89.167	13,3								155	432



Der Kategorie der Büro- und Dienstleistungsgebäude wird für die nächsten beiden Jahrzehnte ein sehr hoher Zuwachs prognostiziert. Aber nicht nur die Anzahl an Gebäuden wird zunehmen, die Ansprüche an den Raumkomfort und damit die Klimatisierung. Bei einem prognostizierten Gebäudezuwachs von 13,3% ergibt das nahezu eine Verdreifung des Strombedarfs zur Raumkühlung in dieser Gebäudekategorie, falls der Energiebedarf zur Gänze mit Kompressionskältetechnik abgedeckt wird. Der Grund liegt darin, dass nicht nur die neuen Gebäude mit einer Teil- oder Vollklimatisierung ausgestattet werden, sondern auch ein großer Anteil der bestehenden Büro- und Dienstleistungsgebäude nachgerüstet wird.

Die negativen Folgen wären eine Verdreifung des CO₂-Ausstoßes in diesem Bereich und ein erheblicher Beitrag zur Sommerspitze. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, gilt es nun, einerseits den Kühlbedarf für diese Gebäudekategorie so niedrig wie möglich zu halten und andererseits einen möglichst hohen Anteil des verbleibenden Kühlbedarfs durch alternative, umweltfreundliche Kühlsysteme wie solare Kühlung abzudecken.

1. MOTIVATION

Technische Vorteile

Saisonale Gleichzeitigkeit von Kühllasten und solarer Einstrahlung beim Einsatz thermischer Solarenergienutzung

In praktisch allen Fällen wird die enorme Kühllast vieler Gebäude in den Sommertagen durch die steigende solare Einstrahlung begründet. Hinzu kommt, dass das Nutzungsprofil der meisten Räume den gleichen Tagesverlauf wie der Verlauf der Solarstrahlung aufweist.

Diese weitgehende Zeitgleichheit (sowohl saisonal als auch über den Tag betrachtet) von Kühllast und dem Angebot an Solarenergie legt den Einsatz solarthermischer Kollektoren zur Kälteproduktion nahe.

Durch mehr oder weniger große Speichermassen der Gebäude tritt die Kühllast zwar etwas zeitversetzt auf, die solaren Kühlsysteme nutzen diese Zeit, um hochzufahren und gleichen Abweichungen mit Pufferspeichern aus.

Mehrfachnutzen von thermischer Solarenergie zur solaren Kühlung, Raumheizung und Brauchwassererwärmung

Solares Kühlen stellt neben der bereits vielfach eingesetzten solaren Brauchwassererwärmung und der solargestützten Raumheizung ein weiteres und umweltfreundliches Anwendungsgebiet der thermischen Solarenergienutzung dar.

Anlagen zur solaren Kühlung beinhalten eine relativ große Fläche an Solarkollektoren, welche im Winter und in den Übergangszeiten ungenutzt stillstehen würden. Mit nur sehr kleinem Aufwand kann dieser Anlagenteil in das Heiz- und Warmwassersystem integriert werden. Oft kann so eine deutliche Reduktion des Heizenergiebedarfs und des Energiebedarfs zur Brauchwassererwärmung erzielt werden.

Beitrag zur Verringerung der von Kompressionskältemaschinen verursachten Sommerspitze

Der Stromverbrauch zu den Mittagszeiten heißer Sommertage weist immer öfter ausgeprägte Spitzen auf. Diese werden zu einem Großteil von herkömmlichen Kompressionskältemaschinen verursacht, die im Vergleich zu den solaren Kühlsystemen, einen hohen Stromverbrauch aufweisen. Die Tatsache, dass viele Endverbraucher immer noch dazu tendieren eher ineffiziente Kleingeräte zu kaufen, führt dazu, dass die auftretenden Spitzen im elektrischen Netz noch unberechenbarer werden.

Solare Kühlsysteme können in diesem Fall Abhilfe schaffen, da sie einen sehr niedrigen Stromverbrauch bei gleicher Kälteleistung aufweisen. Durch gemeinschaftliche Nutzung größerer Anlagen können die derzeit noch hohen Investitionskosten für solare Kühlanlagen reduziert und damit die niedrigeren Betriebskosten vom Endverbraucher genutzt werden.

Ökologische Vorteile

CO₂-Einsparung als Beitrag zur Erreichung der Kyoto-Ziele

Mit der Verwendung von Solarenergie zur Kühlung und Klimatisierung entsteht eine deutliche Reduktion des Stromverbrauchs und der Lastspitzen im Sommer.

Der niedrigere Stromverbrauch reduziert die CO₂-Emissionen, da der eingesparte Strom zu einem gewissen Anteil aus fossilen Brennstoffen hergestellt worden wäre.

Die wegfallenden Spitzenlasten, die zum Großteil durch Gasturbinen gedeckt werden, tragen ebenfalls einen wichtigen Teil zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei.

Primärenergieeinsparung im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen werden elektrisch angetrieben. Elektrischer Strom stellt eine sehr hochwertige Energieform dar und wird mit sehr hohem Primärenergieeinsatz hergestellt. Durch

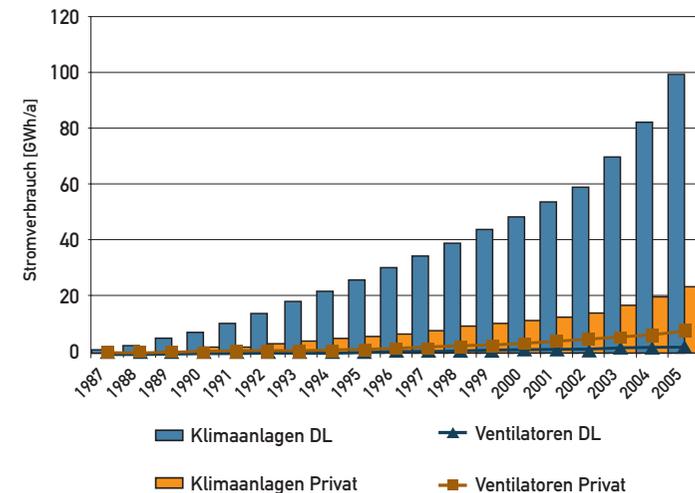
den Einsatz von solaren Kühlsystemen kann der gleiche Kühlbedarf mit einem wesentlich geringeren Stromverbrauch gedeckt werden. Dies bewirkt eine enorme Einsparung an Primärenergie und alle damit verbundenen ökologischen Vorteile.

Um durch die Verwendung von thermischer Solarenergie zum Antrieb von Kühlanlagen eine Primärenergieersparnis zu erzielen, sollten Anlagen mit solaren Deckungsanteilen von mindestens 50% arbeiten.

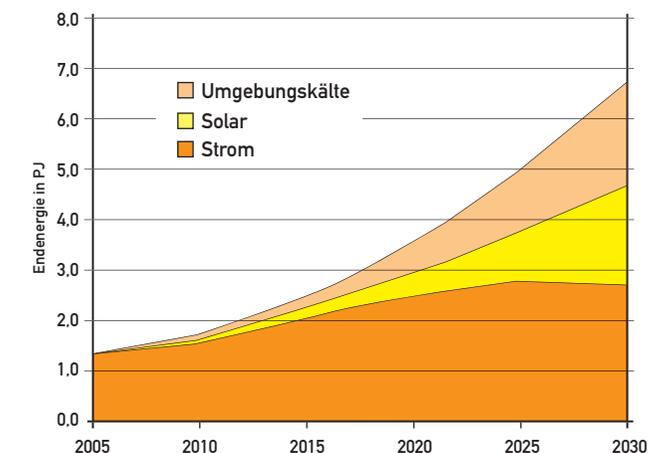
Jahr	GWh
2005	365
2010	470
2015	670
2020	970
2025	1.380
2030	1.875

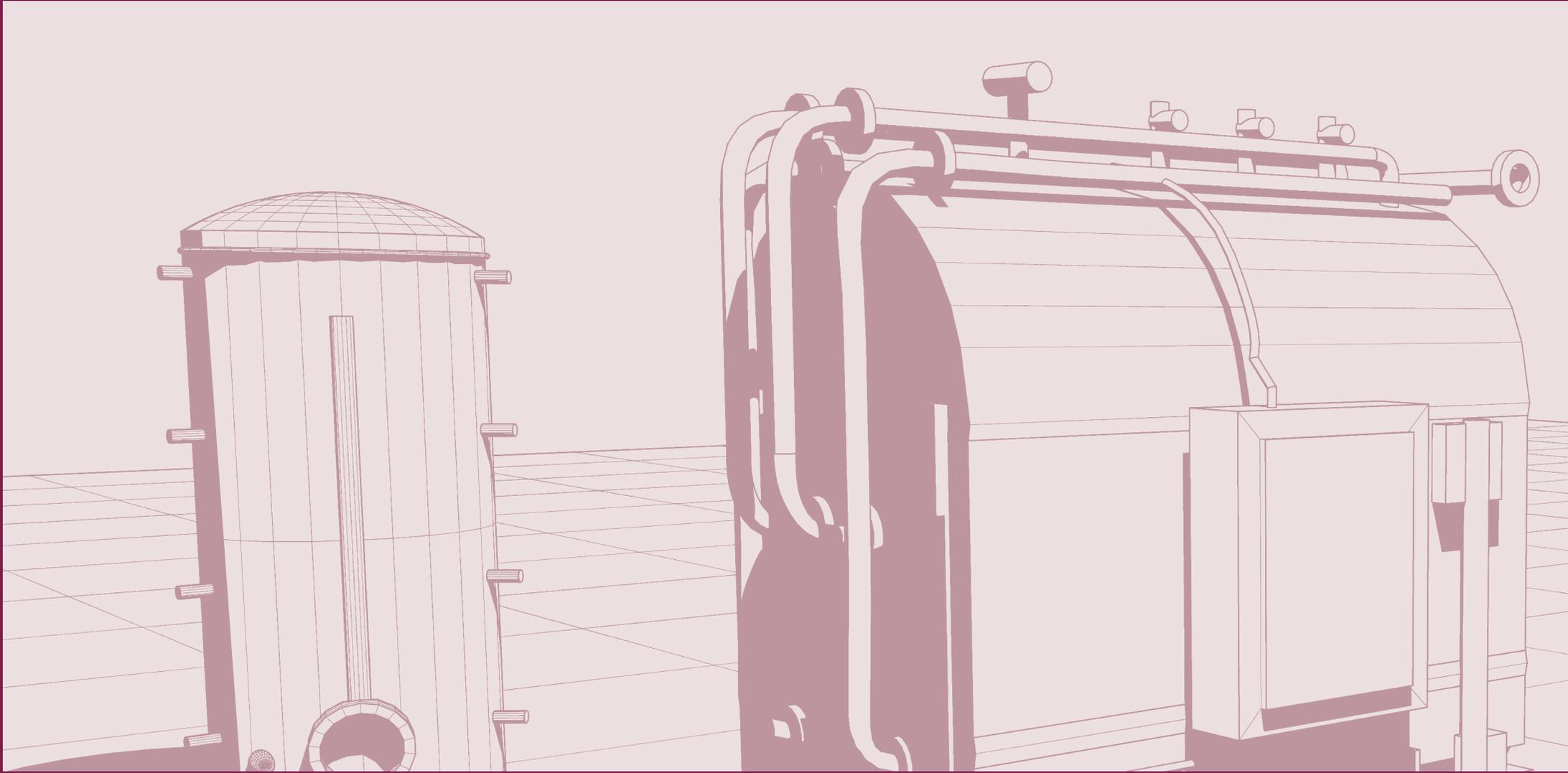
▲ Berechnete Werte für den Stromverbrauch für Gebäudekühlung mit herkömmlicher Kühltechnologie bis 2030; Quelle: EEG (2007)

Potentielle Entwicklung der Marktdiffusion der solaren Kühlung (Solar) und der Erdkälte (Umgebungskälte) für Gebäudekühlung in Österreich; Quelle: EEG (2007)



▲ Abschätzung des Stromverbrauchs von Klimatisierungsgeräten in Wien (Büros, Gewerbe und Wohnungen), 1987 – 2005 (Quelle: Energiesparkonzept für die Stadt Wien, TU-Wien, Dezember 2007)





Die Technologie der solare Kühlung zeichnet sich durch ein Zusammenspiel unterschiedlicher Anlagenteile aus: Solaranlage, Kältemaschine bzw. Lüftungsanlage, Speicher, hydraulische Verschaltung und Regelungskomponenten. Diese Einzelteile sind derzeit in unterschiedlicher Qualität, Leistungsgröße und Standardisierungsgrad erhältlich. Beispielsweise sind Ab-/ und Adsorptionskältemaschinen noch nicht in beliebigen Leistungsgrößen verfügbar, wobei sich der kleine Leistungsbereich (<5 kW) noch im Forschungsstadium befindet. Die große Herausforderung derzeit besteht darin, die beste Kombination aus bestehenden Anlagenkomponenten für die jeweilige Anwendung zu konzipieren und umzusetzen.

2. TECHNOLOGIE



Anwendungsgebiete solarer Kühlverfahren

Solare Kühlverfahren können in nahezu allen Bereichen der Klima- und Kältetechnik eingesetzt werden. Sie können nachträglich in bereits bestehende Anlagen integriert werden und dort konventionelle Kompressionskältemaschinen ersetzen. Als umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Anlagen finden sie aber auch in Neuplanungen Anwendung.

Welches der verschiedenen Verfahren letztendlich eingesetzt wird, hängt von den jeweiligen Rahmenbedingungen der geplanten Anlage ab. Während DEC-Anlagen (Desiccant Evaporative Cooling) ausschließlich zur Gebäudekühlung verwendet werden können, verfügen Ab- und Adsorptionskältemaschinen über ein weitaus breiteres Anwendungsgebiet und werden auch zur Kälteerzeugung

für Industrieprozesse und andere Kaltwasseranwendungen eingesetzt.

Grundsätzlich sind die wesentlichsten Vorteile der solaren Kühlung die Anwendbarkeit von thermischer Energie als Antriebsenergie, die geringen Betriebskosten, die niedrigen elektrischen Anschlussleistungen, die Langlebigkeit und die absolute Umweltverträglichkeit. Als Antriebsenergie können verschiedenste Energiequellen genutzt werden. So ist der Einsatz von solarthermischer Energie genauso möglich wie die Nutzung von lokal verfügbarer Abwärme oder auch Fernwärme.

Diesen Vorteilen stehen vor allem hohe Investitionskosten und ein größerer Platzbedarf zur Anlagenaufstellung gegenüber. Die derzeit relativ niedrigen Primärenergiepreise wirken sich ebenso negativ auf die Wirtschaftlichkeit dieser alternativen Technik zur Kälteerzeugung und Raumkühlung aus wie die geringen Produktionsmengen und das Fehlen von Maschinen für kleine Leistungsbereiche. Mit steigendem Bewusstsein für umweltfreundliche Kühlung, einer breiteren Anwendung der bereits vorhandenen Technologie sowie weiterführender Forschung und Entwicklung in diesem Bereich sollten diese Nachteile gegenüber den konventionellen Kompressionskältemaschinen, schon in einigen Jahren der Vergangenheit angehören.

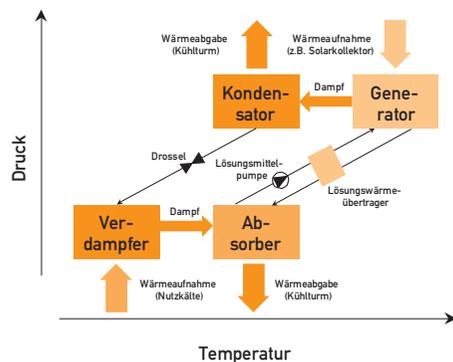
	Absorption (Wasser-Lithiumbromid)	Absorption (Ammoniak-Wasser)	Adsorption	DEC-Anlagen
Verfahrensprinzip	Kaltwassererzeugung	Kaltwassererzeugung	Kaltwassererzeugung	Luftentfeuchtung u. Verdunstungskühlung
Kältemittel	Wasser	Ammoniak	Wasser	-
Sorptionsmittel	Lithiumbromid	Wasser	Silikagel	Silikagel
Kälte Träger	Wasser	Wasser-Glykol	Wasser	Luft
Kältetemperatur-Bereich	6 bis 20°C	-60 bis +20°C	6 bis 20°C	15 bis 20°C
Antriebstemperaturen	75 bis 160°C	80 bis 120°C	60 bis 90°C	45 bis 95°C
Kälteleistung je Einheit	ab 15 kW	ab 80 kW	ab 50 kW	6 bis 300 kW
COP	0,6 – 1,2	0,3 – 0,7	0,4 – 0,7	0,5 – 1
Solarantrieb	Vakuurröhrenkollektoren, Flachkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren	Vakuurröhrenkollektoren, Flachkollektoren	Flachkollektoren, Luftkollektoren

Antriebstemperaturen – Kälteleistung
– erforderliche Kollektortypen

Absorptionskälteanlage

Funktionsweise

Der Hauptunterschied zur Kompressionskältetechnik liegt darin, dass in einer Absorptionskälteanlage der Kältemitteldampf nicht mechanisch in der Gasphase, sondern nach der Absorption im Absorber als Flüssigkeit verdichtet werden kann, was wesentlich weniger Energie in Anspruch nimmt. Durch Wärmezufuhr (z.B. Solarenergie oder auch Abwärme im Temperaturbereich von ca. 75 - 160°C) wird das Kältemittel anschließend wieder aus der Lösung ausgetrieben und kann ebenso wie bei einer Kompressionskälteanlage wieder im Kondensator verflüssigt werden. Dadurch kann gegenüber der Kompressionskältemaschine ein Großteil der elektrischen Energie für die Verdichtung eingespart werden.



Funktionsprinzip Absorptionskältemaschine
(Quelle: Fraunhofer ISE/Freiburg)

Anlagenarten

Die beiden wichtigsten Anlagenarten zur solaren Kühlung sind:

- Wasser/Lithiumbromid- und
- Ammoniak/Wasser-Absorptionsanlagen

Eine weitere Unterscheidung ergibt sich durch die Verwendung von 1-stufigen und 2-stufigen Absorptionskältemaschinen. Die 1-stufige Absorptionskältemaschinen mit Wasser/Lithiumbromid können über einen Solarkollektor mit einer Antriebstemperatur (=Austreibertemperatur) von 75°C bis 95°C betrieben werden und erreichen dabei einen COP (Coefficient of Performance) von 0,6 bis 0,8. 2-stufige Absorptionskältemaschinen mit Wasser/Lithiumbromid benötigen hingegen eine Austreibertemperatur von 140°C bis 160°C, erreichen aber dafür einen höheren COP von 0,9 bis 1,2. 1-stufige Absorptionskältemaschinen auf Ammoniak/Wasser-Basis brauchen Austreibertemperaturen von 80°C bis 120°C und erreichen derzeit einen COP von 0,3 bis 0,7.

$$\text{COP} = \frac{\text{Nutzkälte}}{\text{Antriebswärme}}$$

Anwendungsgebiete

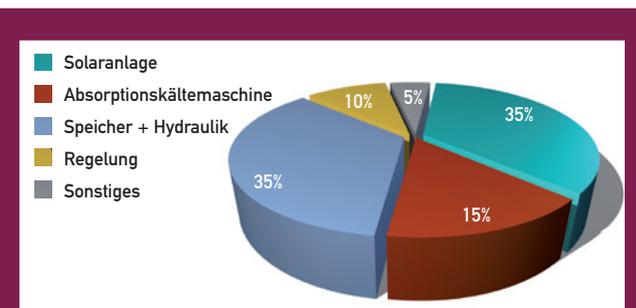
Absorptionskälteanlagen bieten auch die Möglichkeit, „überflüssige“ (billige) Abwärme zu nutzen. Die niedrigen Betriebskosten machen sie daher zu einer attraktiven Alternative zu konventionellen Kompressionskälteanlagen. Typische Einsatzgebiete sind

- Bürobauten, Hotelanlagen, Krankenhäuser
- Brauereien
- Druckereien
- Freizeitparks und Erholungsanlagen
- Landwirtschaft
- Rechenzentren
- Chemie- und Lebensmittelindustrie
- Fernwärmenetze

Wirtschaftlichkeit

72 % der derzeit installierten Anlagen zur solaren Kühlung basieren auf Absorptionskältetechnik. Der Investitionsaufwand für Material und Installation beträgt 3500 bis 5000 €/kW_{Nutzkälte} (Quelle: EU-Projekt ROCOCO)

Kostenverteilung der Investitionskosten für Material und Installation bei Anlagen mit 1-stufigen Absorptionskältemaschinen
(Quelle: EU-Projekt ROCOCO)



Adsorptionskälteanlage

Funktionsweise

Unter Adsorption versteht man prinzipiell einen physikalischen Prozess, bei dem Moleküle eines Stoffes an der inneren Oberfläche eines anderen festen Stoffes (Sorptionsmittel) aufgenommen (adsorbiert) werden. Durch Verdampfen und Adsorbieren eines Kältemittels (häufig Wasser) wird der nutzbare Kälteeffekt erzeugt. Die Regenerierung des Sorptionsmittels erfolgt anschließend mittels Wärmezufuhr. Die für die Desorption notwendige Wärme kann aus verschiedenen Quellen, wie z.B. Solarwärme, Fernwärme usw., bereitgestellt werden. Wie beim Absorptionskälteprozess ist auch hier kein mechanischer Verdichter notwendig.

Anlagenarten

Die verfügbaren Anlagenarten unterscheiden sich durch die eingesetzten Stoffpaare, bestehend aus der nichtflüchtigen Substanz, dem so genannten „Sorbens“ (Sorptionsmittel), und der flüchtigen Substanz, dem so genannten „Sorbat“ (Kältemittel).

Die für den Adsorptionsvorgang verwendeten Stoffpaare müssen einige Kriterien erfüllen – ihre ökologischen, ökonomischen und physikalischen Eigenschaften sind entscheidend. Die gängigsten Stoffpaare sind in folgender Tabelle angeführt.

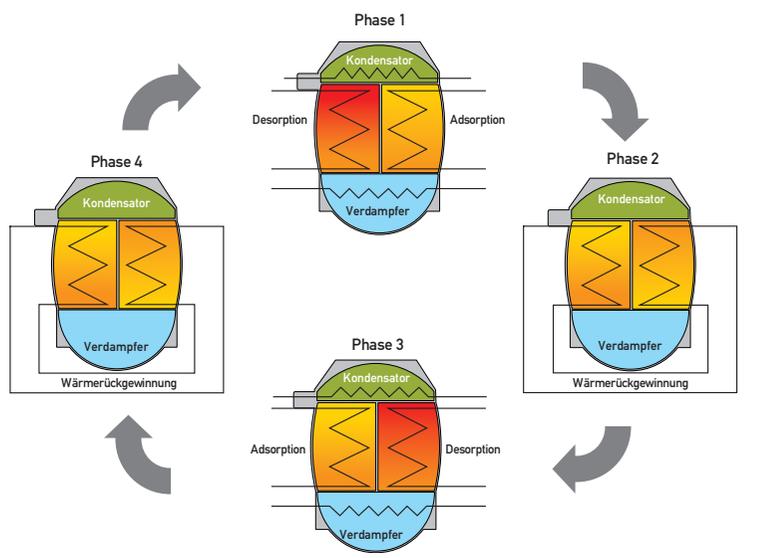
Sorbens	Sorbat
Silikagel	Wasser
Silikagel	Ammoniak
Silikagel	Schwefeldioxid
Aktivkohle	Ammoniak
Aktivkohle	Methanol
Zeolithe	Wasser
Kalziumchlorid	Ammoniak

Grundlasten eingesetzt. Zur Lastspitzenabdeckung werden Kompressionskältemaschinen dazugeschaltet. Adsorptionskältemaschinen können überall dort eingesetzt werden, wo die Kaltwassertemperaturen nicht unter 5°C liegen müssen. Als Energiequelle für Adsorptionskältemaschinen eignet sich neben dem Einsatz von Fernwärme vor allem Sonnenenergie. Da Adsorptionskältemaschinen bereits mit Temperaturen ab 55°C funktionieren, können verschiedenste Sonnenkollektoren verwendet werden.

Grundsätzlich decken sich die Anwendungsmöglichkeiten mit jenen der Absorptionskältemaschinen. Welche der beiden Möglichkeiten schließlich zum Einsatz kommt, ist von den jeweiligen Randbedingungen der geplanten Anlage abhängig.

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit verhält sich ebenfalls ähnlich wie bei den Absorptionskältemaschinen. Der Anteil der Adsorptionskältemaschinen an den derzeit bereits installierten Anlagen zur solaren Kühlung beträgt lediglich 10%, eine genauere Spezifikation der Kosten im Vergleich zu Absorptionskältemaschinen ist daher erst bei einer größeren Anzahl installierter Anlagen möglich.



Anwendungsgebiete

Zurzeit werden Adsorptionskältemaschinen vorwiegend zur Deckung von

Funktionsprinzip
Adsorptionskältemaschine
(Quelle: Fraunhofer ISE/Freiburg)

Sorptionsgestützte Klimatisierung

Funktionsweise

Die sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK), auch Desiccant Evaporative Cooling (DEC) genannt, stellt eine neue und innovative Möglichkeit zur Klimatisierung dar. Die wesentlichen Vorteile der DEC-Technik liegen hauptsächlich im ökologischen und wirtschaftlichen Bereich. Die Verdunstungskühlung ermöglicht den Verzicht auf chemische Kältemittel. Durch den Einsatz von alternativen Energien (Sonnenenergie, Abwärme, etc.) als Antriebsenergie kann wertvolle Primärenergie eingespart werden. Im Winter wird die Klimaanlage zur Wärmerückgewinnung eingesetzt - dadurch erfolgt ein zusätzlicher Wärmegewinn durch die Solarkollektoren (siehe Grafik).

Anlagenarten

Sorptionsgestützte Klimaanlage werden in verschiedensten Verschaltungsmöglichkeiten angeboten, um den individuellen Anforderungen gerecht zu werden. Die einzelnen Stufen der Anlage können unterschiedlich ausgeführt werden. So ist es zum Beispiel möglich, die Regenerationsluft vor dem Sorptionsrad direkt über Luftkollektoren oder über eine andere Energiequelle mittels Luft/Wasser-Wärmetauscher aufzuheizen. Zusätzliche Module in der Anlage ermöglichen den optimierten Einsatz zur Raumheizung über die Zuluft im Winter.

Anwendungsgebiete

DEC-Anlagen sind ideal für Anwendungen mit hohem Frischluftbedarf geeignet, vor allem dann, wenn neben dem Kühlbedarf auch eine Be- oder Entfeuchtung notwendig ist. DEC-Anlagen finden in folgenden Bereichen Anwendung

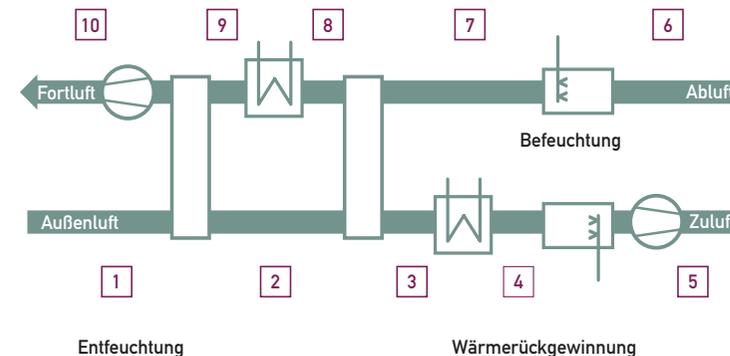
- Sitzungssäle und Versammlungsräume
- Büros
- Museen, Bibliotheken, Kinos, Theater
- Produktionshallen
- Schwimmhallen
- Hotels, Gaststätten
- Verkaufsräume

Wirtschaftlichkeit

Rund 18% der installierten Anlagen zur solaren Kühlung basieren auf sorptionsgestützter Klimatisierung. Die Investitionskosten für DEC-Anlagen bewegen sich zwischen 1300 und 5600 €/kW_{Nutzkälte} (Quelle: EU-Projekt ROCOCO).

In einer DEC-Anlage durchströmt die angesaugte gefilterte Außenluft (1) zunächst den Sorptionsrotor (2), wird dabei getrocknet und gibt Kondensationswärme frei, die zu einer Temperaturerhöhung des Luftstromes führt. Diese trockene warme Luft wird dann im Wärmerückgewinnungsrad (3) vorgekühlt. Um den gewünschten Zuluftzustand zu erreichen, wird die Luft anschließend in einem regelbaren Befeuchter (Verdunstungskühler) (4) weiter abgekühlt, wird dann in die Räume verteilt (5). Die aus den Räumen abgeführte Abluft (6) wird zunächst in einem weiteren Befeuchter (7) annähernd bis zum Sättigungszustand befeuchtet und dadurch abgekühlt. Man erhält so ein großes Temperaturpotential zur Wärmerückgewinnung. Anschließend nimmt die feuchte kalte Abluft im

Wärmerückgewinnungsrad Wärme der getrockneten warmen Zuluft auf (8) und kühlt diese. Dann durchströmt die Abluft einen weiteren Nacherhitzer (9), um die Desorption des darauf folgenden Sorptionsrotors (9) sicherzustellen. Danach verlässt der Luftstrom das System durch den Abluftventilator (10).



Solarthermische Kollektoren

Solarthermie bezeichnet die Umwandlung von kurzwelliger Solarstrahlung in Wärme. Ein wesentlicher Bestandteil aller Sonnenkollektoren ist der Absorber, der meist unter der Abdeckung zu finden ist. Kurzwellige Lichtstrahlen, welche nicht von der Abdeckung reflektiert oder absorbiert werden, treffen auf die Absorberfläche und sollten möglichst zur Gänze in Wärme umgewandelt werden. Teilweise wird diese Energie wieder in Form von langwelliger Wärmestrahlung abgegeben. Zusätzlich entstehen Wärmeverluste auch aufgrund von konvektiven Luftströmungen im Kollektor.

Kenngößen von Kollektoren

Bei jeder Energieumwandlung entstehen Verluste, die nicht genutzt werden können. Im Allgemeinen ist der **Wirkungsgrad** definiert als das Verhältnis von nutzbarer zu eingesetzter Energie.

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{eingesetzte Energie}}$$

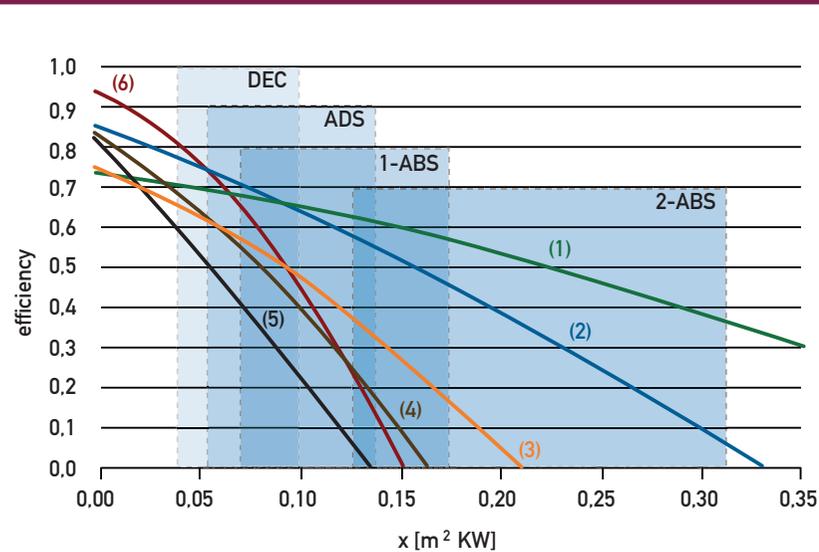
In der Solartechnik beschreibt der Wirkungsgrad das Verhältnis von nutzbarer zu vorhandener Sonnenenergie.

Der so genannte **Kollektorwirkungsgrad** hingegen stellt die maximal erreichbare Wärmemenge dar, die ein Kollektor bei einer bestimmten Solarstrahlung erbringen kann. Dieser Wirkungsgrad ist keine konstante Kennzahl eines Kollektors,

sondern von Betriebsparametern, Einsatzart und Umgebungsbedingungen abhängig.

Die **Kollektorkennlinie** ist eine Kurve, deren Form den betreffenden Kollektor und seine Leistungsfähigkeit charakterisiert. Sie wird auch als Wirkungsgrad-Kennlinie bezeichnet und zeigt den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von einem variablen Parameter (meist Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Kollektortemperatur und der Umgebungstemperatur durch die Solarstrahlung). Anhand dieser Kennlinie kann die beste Einsatzmöglichkeit für einen bestimmten Kollektor ermittelt werden.

Die **Stillstandstemperatur** gibt an, ab welcher Kollektortemperatur – bei Stillstand der Anlage – die solaren Gewinne durch die entstehenden Verluste an die Umgebung zur Gänze aufgewogen werden.



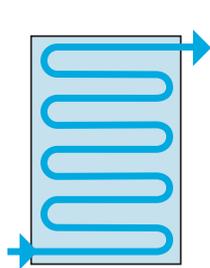
Kollektorkennlinien unterschiedlicher solarthermischer Kollektoren und deren Einsatzgebiet als Antrieb für thermische Kühlverfahren.

Kollektortypen

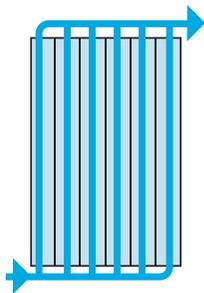
Flachkollektoren

Flachkollektoren bestehen aus einem Kasten (meist Holz oder Blech) mit eingelegter Wärmedämmung, auf welcher die Absorber aufliegen. Der Kasten ist mit Solarglas abgedeckt. Ist der Zwischenraum zwischen Absorberfläche und Abdeckglas evakuiert, spricht man von einem Vakuum-Flachkollektor. Die Wärmedämmung besteht meist aus einem Mineralfaserdämmstoff, da im Kollektor sehr hohe Stillstandstemperaturen auftreten können – teilweise sogar 200°C –, die die Dämmung ohne Schaden aushalten muss.

Serpentinenabsorber



Streifenabsorber



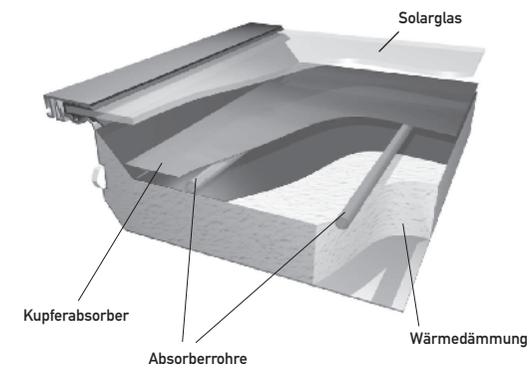
Die Absorberflächen können quer (Serpentinenabsorber) oder längs (Streifenabsorber) ausgeführt sein. Der Absorber besteht meist aus Kupfer, Aluminium oder Edelstahl. Heute weit verbreitet sind Kupfer-Absorber in Streifen oder Serpentin mit hochselektiver Beschichtung.

Vakuumkollektoren

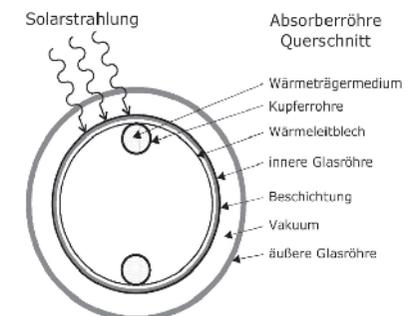
Beim **Vakuumkollektor** befindet sich zwischen Absorber und Abdeckglas ein evakuierter Raum. Dadurch entfallen die Wärmeverluste durch Konvektion innerhalb des Kollektors, der somit nur durch Strahlung, Leitung und eventuell Reflexion des Absorbers Wärme verliert.

Vakuum-Röhrenkollektoren können in direkt durchströmte Kollektoren und Kollektoren nach dem Heat-Pipe-Prinzip eingeteilt werden. Sie sind nicht flach, sondern werden als mehrere parallel liegende Glasrohre mit innen liegendem Absorber hergestellt. Damit dieser Kreislauf funktioniert, muss der Kollektor beim Heat-Pipe-Prinzip eine Neigung von mindestens 30° haben.

Aufbau eines Flachkollektors



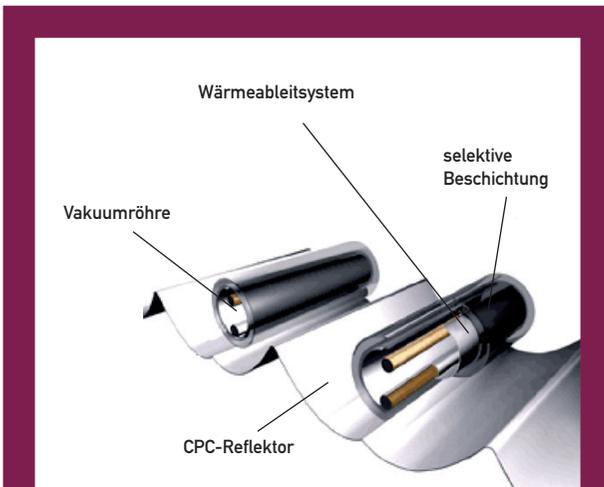
Aufbau eines Vakuumkollektors.





Konzentrierende Kollektoren

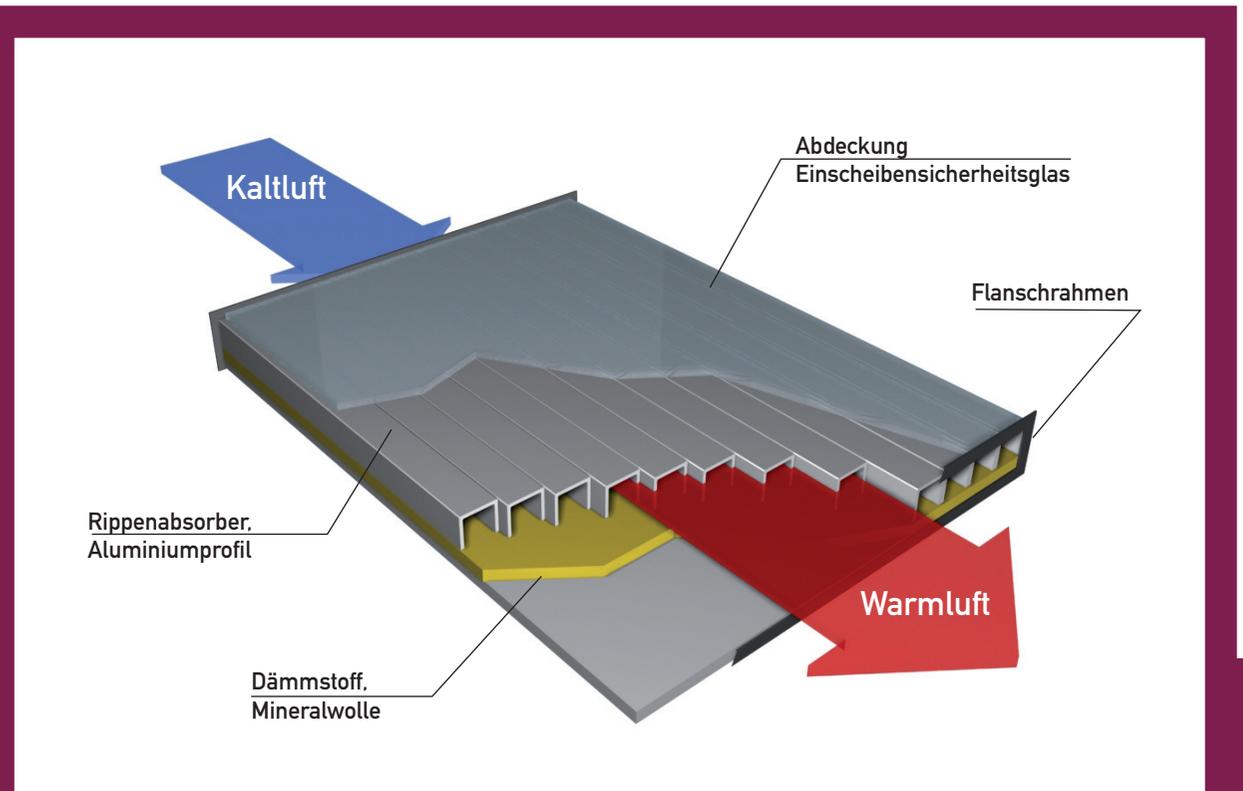
Konzentrierende Kollektoren werden meist als Vakuum-Röhrenkollektoren ausgeführt. Sie erreichen bei gleicher Absorberfläche höhere Temperaturen, da durch gezielt positionierte gekrümmte Spiegel mehr Solarstrahlung auf die gleiche Absorberfläche trifft. Dieser Vorteil kann bei diffuser Strahlung nicht genutzt werden, da nur gerichtete Strahlen konzentriert werden können. Nach der Form der Spiegel unterscheidet man zwischen CPC- (compound parabolic concentrator) und OPC- (optimized parabolic collector) Kollektoren.



Luftkollektoren

Luftkollektoren sind Strahlungswärmetauscher, die ungebündelte solare Strahlungsenergie absorbieren und an den Wärmeträger Luft übertragen. Luftkollektoren sind vor allem im Niedertemperaturbereich einzusetzen. Die Vorteile von Luft als Wärmeträger gegenüber Wasser sind die geringe Korrosionsgefahr, die Sicher-

heit, dass kein Phasenwechsel auftritt, die geringe Schadensgefahr durch Leckagen sowie die Möglichkeit leichter, einfacherer und kostengünstigerer Konstruktionen. Die niedrige Dichte und Wärmeleitfähigkeit von Luft erfordern jedoch sehr hohe Volumenströme und bedingen somit höhere Strömungsverluste und Antriebsleistungen.



Speicher

Das Energieangebot der Sonne ist nicht beeinflussbar und stimmt nicht immer mit Zeit und Ausmaß des Wärme- und Kühlbedarfs überein. Ein Wärmespeicher stellt daher eine Wärmesenke dar, die genützt wird, um die eingestrahelte – und vielleicht gerade nicht benötigte – Energie der Sonne zu speichern.

Wärmespeicher werden im Groben nach der Art der Be- und Entladung und der Speicherdauer (Kurz- oder Langzeitspeicher) unterschieden.

Wärmespeichermedien müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

- **hohe Wärmekapazität**
- **hohe Dichte**
- **geringe Kosten**
- **keine bzw. unwesentliche Alterung**
- **keine Toxizität**
- **keine Feuer- bzw. Explosionsgefahr**
- **keine korrodierenden Eigenschaften**
- **Eignung für den betreffenden Temperaturbereich**

Der Vergleich der spezifischen Wärmekapazitäten von typischen Wärmespeichermedien in der anschließenden Tabelle zeigt, dass für solare und Heizungsanwendungen vor allem Wasser als Speichermedium in Frage kommt. Für Luftsysteme

wird der Einfachheit halber oft auch Schotter (Stein) als Speichermedium verwendet.

Stoff	spez. Wärmekapazität cp [kJ/kgK]	volumetrische spez. Wärmekapazität cp [kJ/m³K]
Normalbeton (r=2400 kg/m³)	2,1	5040
Kiesschüttung (trocken, ~ 1800 kg/m³)	0,70	1260
Vollziegel (r=1600 kg/m³)	0,68	1088
Wasser	4,18	4178
Luft	1	~1

Herkömmliche **Wärmespeichertypen** sind mit Wasser als Speichermedium gefüllt. Je nach Anwendung ist eine bestimmte Speicherart vorzuziehen. Der einfache **Pufferspeicher** findet am häufigsten Anwendung, hat jedoch den Nachteil, dass sich konvektive Strömungen im Inneren des Speichers ausbilden und sich somit, nebst leichter Verluste, eine niedrigere Mischtemperatur im ganzen Speicher einstellt.

Um diesen Effekt zu verhindern, werden **Schichtspeicher** eingesetzt. Das Wasser in diesen Speichern ist in Schichten mit ansteigender Temperatur geteilt. Dies unterbindet die Konvektion und ermöglicht eine Zapfung sehr heißen Wassers vom höchsten Punkt des Speichers. Allerdings kann dieser Effekt nur bei langsamen Lade- und Entladevorgängen genutzt werden. Zu schnelle Strömung würde die Schichtungen durchmischen und der aufwändige Speicheraufbau wäre überflüssig.

Für die Speicherung von Wärme für Heizung und Warmwasserbereitung kommen so genannte Kombispeicher zum Einsatz. Hierbei ist im Speicher meist ein kleinerer Warmwasserspeicher integriert, der vom umgebenden Heißwasser erwärmt wird.

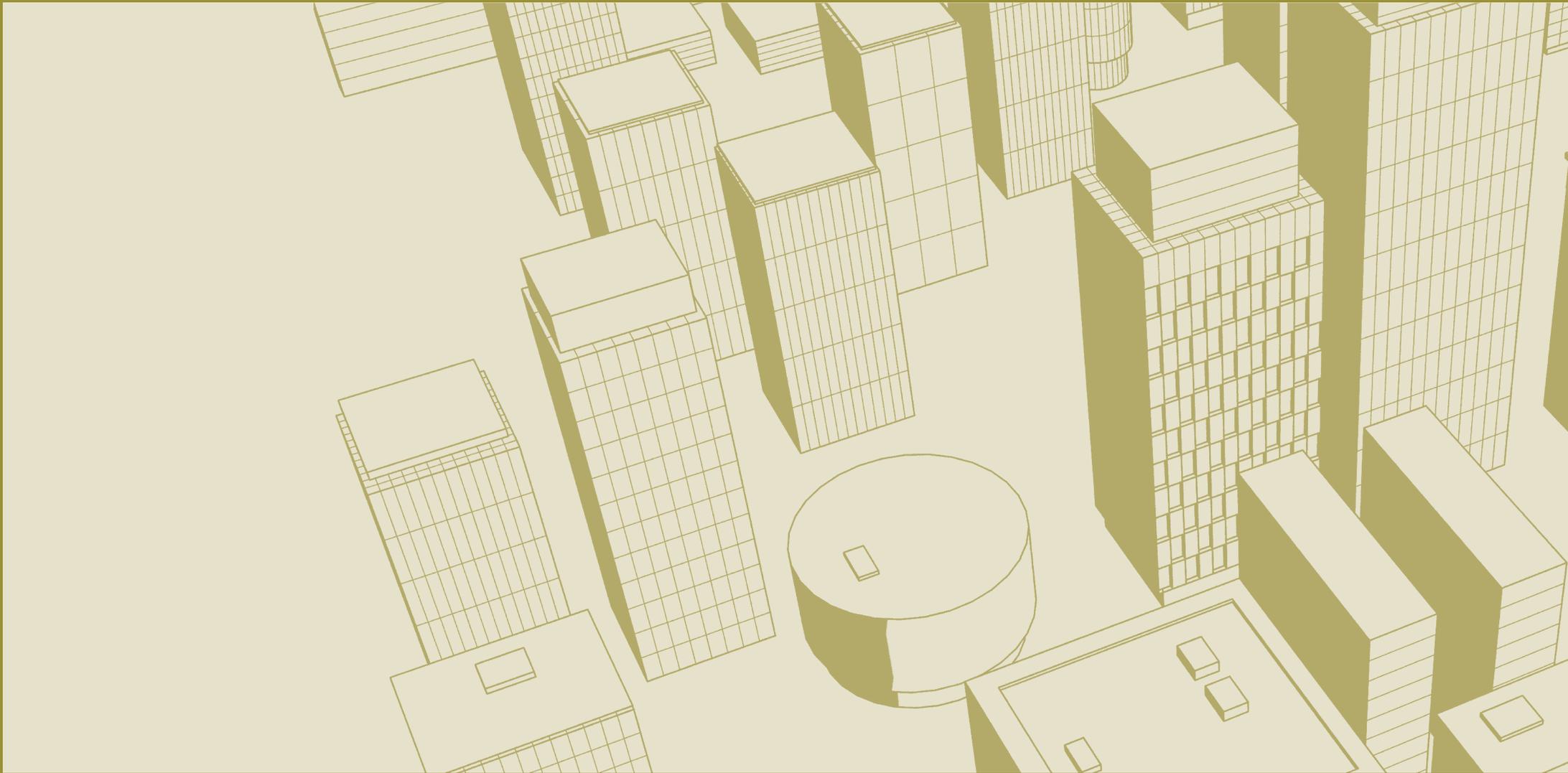
Zu den Neuentwicklungen zählen die Latentwärmespeicher und die Sorptionsspeicher.

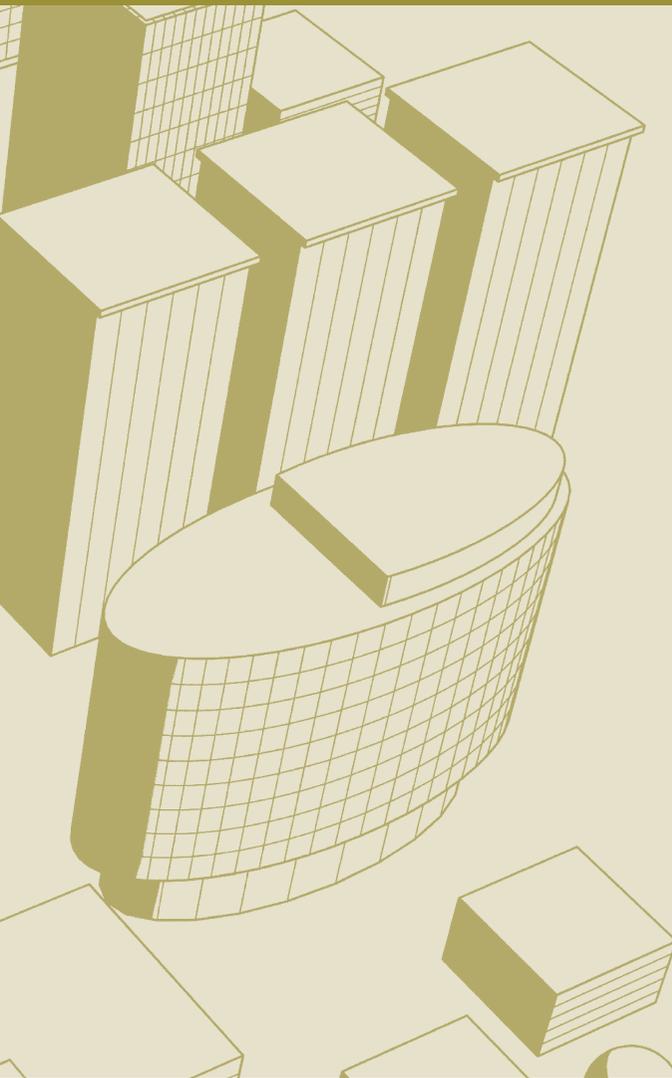
Latentwärmespeicher nutzen die Energie, die einem Stoff zu- oder abgeführt werden muss, wenn dieser einen Phasenwechsel (meist festflüssig) erfährt. Durch diese Technik entstehen sehr hohe Energiedichten auf einem bestimmten Temperaturniveau.

Sorptionsspeicher wiederum nutzen den Effekt, dass einem Stoff, der ein Gas ab- oder adsorbiert, Energie entnommen werden kann und im Umkehrfall Energie zugeführt werden muss, um eine Desorption zu erreichen.



Drei Arten von Energiespeicher (v.l.n.r.): Pufferspeicher, Kombispeicher, Schichtladespeicher





Der Innenraumkomfort am Arbeitsplatz auch in den Sommermonaten hat sich in den letzten Jahren zu einem zunehmend wichtigen Thema entwickelt. Die meisten neu gebauten Büro- und Dienstleistungsgebäude sind daher bereits standardmäßig mit Anlagen zur Raumkühlung ausgestattet, und auch bestehende Gebäude werden laufend mit Klimageräten nachgerüstet.

Die Baubranche ist durchaus bereit, energieeffiziente und umweltfreundliche Technologien einzusetzen. Vor allem vor dem Hintergrund der weltweiten Klimadiskussion sollte der Einsatz der solaren Kühlung daher vor allem für Büro- und Dienstleistungsgebäude in Zukunft forciert werden.

3. ARCHITEKTUR



Analyse äußerer und innerer Lasten

Klimadaten

Die Klimadaten eines Standortes sind ein wichtiger Faktor bei der Entscheidung, ob solare Kühlung eingesetzt werden soll und auch welche der möglichen Technologien am sinnvollsten anwendbar ist. Die wichtigsten Werte sind hierbei die Temperaturverläufe (Mittelwerte, Spitzenwerte), die zu erwartende Globalstrahlung und die Luftfeuchte. Standorte in Küstennähe können beispielsweise so hohe Feuchtwerte aufweisen,

dass der Einsatz von DEC-Anlagen technisch nicht sinnvoll ist, während die klimatischen Rahmenbedingungen in Österreich für den Einsatz der DEC-Technologie sehr günstig sind.

Orientierung des Gebäudes

Die Orientierung des Gebäudes spielt bei solarer Kühlung in zweierlei Hinsicht eine wichtige Rolle. Einerseits beeinflusst der solare Eintrag

in die Räume die Kühllast, welche durch eine Kühlanlage abgeführt werden muss. Andererseits ergeben sich durch die Wahl der Fassadenflächen auch Integrationsmöglichkeiten für solarthermische Kollektoren, die somit gleich an geeigneten Flächen (möglichst südorientiert) mit berücksichtigt werden können. Effiziente solare Kühlung im Gebäude spielt daher schon bei der grundsätzlichen Überlegung zur Orientierung des Gebäudes eine wichtige Rolle.

Raumluft-Temperatur	24 °C				26 °C			
	500	600	800	1000	500	600	800	1000
Speichermasse (kg/m ³)								
A Fenster / A Boden								
0,075	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
0,1	●	●	●	◇	●	◇	◇	◇
0,15	▼	▼	●	●	●	●	◇	◇
0,2	▼	▼	●	●	●	●	●	◇
0,25	▼	▼	▼	●	●	●	●	●
0,3	▼	▼	▼	●	●	●	●	●
0,4	▼	▼	▼	▼	▼	●	●	●
0,5	▼	▼	▼	▼	▼	▼	●	●

◇ kein Sonnenschutz erforderlich

● Abminderungsfaktor Sonnenschutz mindestens 0,35 ... 0,43

▼ geforderte Raumlufttemperatur ist nur durch zusätzliche Kühlung zu erreichen

Die Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen der Größe der transparenten Fassade, der thermisch nutzbaren Raumspeichermasse, der Raumtemperatur und den resultierenden Anforderungen an Sonnenschutz und Kühlung.
(Quelle: ILF-Beratende Ingenieure)

Kühllast von Gebäuden

Die Kühllast eines Gebäudes ergibt sich aus seinen inneren und äußeren Kühllasten. Diese sind durch die thermische Qualität der Gebäudehülle (u-Wert, g-Wert), den Fassadenaufbau (Glasanteil, opake Flächen), die elektrischen Geräte im Gebäude, Personenbelegung, die Verschattung und das Lüftungsverhalten bestimmt.

Glasanteil in Fassade

Einen wesentlichen Anteil an der äußeren Kühllast hat die Fassade eines Gebäudes. Sind große Flächen der äußeren Hülle des Hauses durchlässig für Solarstrahlung, muss eine Ausblendung des Sonnenlichts in den ohnedies heißen Sommertagen erfolgen. Denn Glas lässt bis zu 90% des Sonnenlichts in das Innere des Gebäudes, wo dieses absorbiert und in Wärme umgewandelt wird. Neben der Verschattung von Glasflächen sind auch Glasarten auszuwählen, welche einen niedrigeren Energiedurchlassgrad (g-Wert) aufweisen.

Vereinfachend gilt folgender Zusammenhang:
Ein großer transparenter Fassadenanteil, gerin-

ge Speichermasse und niedrige Raumtemperatur erfordern einen ausgezeichneten Sonnenschutz und meist eine Zusatzkühlung.

Speichermassen

Speichermassen, wie zum Beispiel Betonkonstruktionen und andere massive Elemente im Gebäude, können überschüssige Wärme aufnehmen und die Veränderung der Raumlufttemperatur dämpfen. Mittels Bauteilaktivierung oder Nachtlüftung kann so ein wesentlicher Teil der am Tag anfallenden Wärme gespeichert und in der Nacht abgeführt werden

Sonnenschutz

Man unterscheidet zwischen äußerem und innerem Sonnenschutz. Äußerer Sonnenschutz hat den Vorteil, dass er Sonnenstrahlen gar nicht erst durch das Glas lässt, sondern vorher schon reflektiert und der absorbierte Anteil der Strahlung als Wärme an die Außenluft abgegeben wird. Allerdings sind Installationen im Außenbereich wetterfest und massiv auszuführen. Dies bedeutet höhere Kosten und ein voluminöseres

Erscheinungsbild. Innen liegende Verschattungen sind zwar billiger, können aber lediglich den Anteil der Strahlungsenergie abhalten, der reflektiert werden kann. Der Rest wird von der Verschattung absorbiert und in den Innenraum abgegeben.

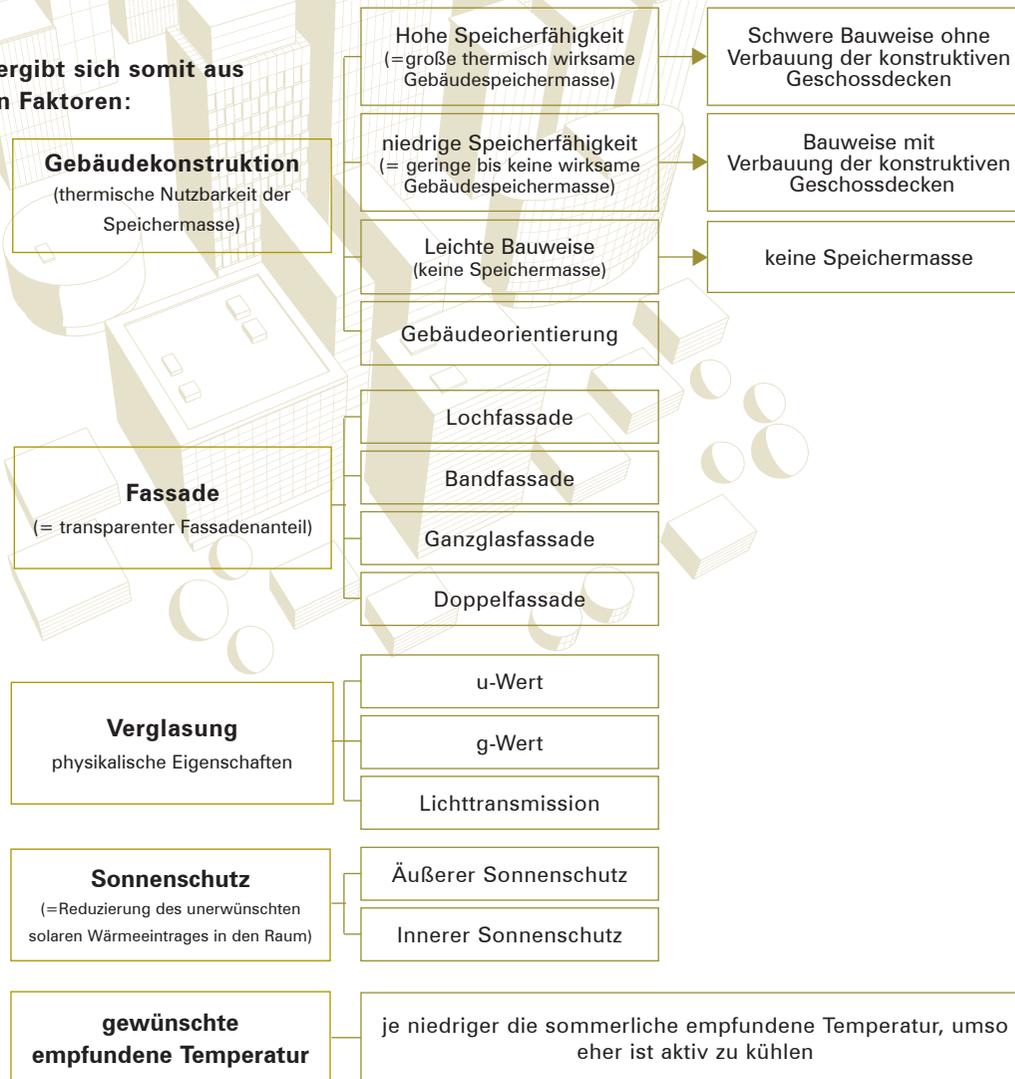
Die Tabelle (siehe unten) zeigt als Orientierung den Einfluss von Einbaulage, Art der Sonnenschutzvorrichtung und Verglasung auf den solaren Eintrag in den Raum (g-Wert total).

Bis zu 60% der in der Solarstrahlung enthaltenen Energie dringt in das Innere des Gebäudes, wenn bei einer gewöhnlichen 2-Scheibenverglasung Innenjalousien verwendet werden. Bei Außenjalousien und Sonnenschutzverglasung kann dieser Wert auf 13% reduziert werden.

Einfluss von Einbaulage, Art der Sonnenschutzvorrichtung und Verglasung auf den solaren Eintrag in den Raum (g-Wert total)

	Sonnenschutz- Verglasung	Wärmeschutz- Isolierverglasung	2-Scheiben Isolierverglasung
Innenliegende Jalousien, Rollos oder Vertikaljalousien	0,29	0,46	0,60
Zwischen den Scheiben liegende Jalousien oder Rollos	0,18	0,29	0,38
Außenliegende Jalousien oder Rollos	0,13	0,20	0,26

Die Kühllast ergibt sich somit aus aus folgenden Faktoren:



Der Energieeintrag durch transparente Fassaden wird (neben Größe und Orientierung der Öffnung) durch folgende Faktoren bestimmt:

■ **Lichtdurchlässigkeitsfaktor**

Der Lichtdurchlässigkeitsfaktor gibt an, wie viel Prozent des Tageslichtes von außen durch eine Scheibe in den Raum gelangt

Ziel: möglichst hoher Tageslichteintrag, damit bei geschlossenem Sonnenschutz nicht das Kunstlicht eingeschaltet werden muss

■ **Energiedurchlassfaktor g-Wert**

Die Energiedurchlässigkeit (g-Wert) gibt an, wie viel Prozent der außen auftreffenden Strahlung in den Raum gelangt (Summe aus der direkten Energiedurchlässigkeit und der Sekundär-Wärmeabgabe nach innen)

Ziel: möglichst (im Sommer) geringer solarer Eintrag

■ **Abminderungsfaktor Z**

Der Abminderungsfaktor eines Sonnenschutz-elementes gibt an, wie viel der auftreffenden Sonnenenergie durch den Sonnenschutz dringt-

Ziel: möglichst (im Sommer) hoher Abminderungsfaktor (= niedriger Z-Wert)

Personenbelegung

Einen wesentlichen Anteil an der inneren Kühllast kann die Personenbelegung eines Raumes ausmachen. Grundsätzlich sind je Person 10m² an Fläche vorzusehen, um keine zu großen Kühllasten zu bewirken. Weiters ist zu unterscheiden, welcher Tätigkeit die Personen in einem Raum nachgehen. Büroarbeit generiert wesentlich weniger Wärme als schwere körperliche Betätigung oder sportliche Aktivität.

Beleuchtung

Oft wird die Beleuchtung eines Gebäudes unterschätzt. Anschlussleistungen von mehreren tausend Watt sind nicht selten, wenn es einen großen Saal auszuleuchten gilt. Diese Leistung bleibt praktisch zur Gänze im Raum erhalten, da die meisten Beleuchtungsmittel nur einen Bruchteil der elektrischen Energie in Licht umwandeln können und dieses wiederum auf Gegenstände trifft, die es absorbieren und in Wärme umwandeln. Darum sollte ein ausgeklügeltes System von Verschattung und Beleuchtung gewählt werden. Nicht selten sieht man Räume, die bei hellem Sonnenschein vollkommen verschattet und mit künstlichem Licht ausgeleuchtet sind.

Solarthermische Kollektorfläche

Bei Projekten in denen solare Kühlung eingesetzt werden soll, müssen die Kollektorflächen bereits in der Machbarkeitsstudie abgeschätzt und als integraler Teil des Entwurfskonzeptes betrachtet werden. Nur dann sind eine sinnvolle Umsetzung und Synergien bei den Investitionskosten zu erzielen. Die optimale Abstimmung zwischen Architekturkonzept und Kühllast ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den Einsatz von solarer Kühlung.

Dachkollektoren

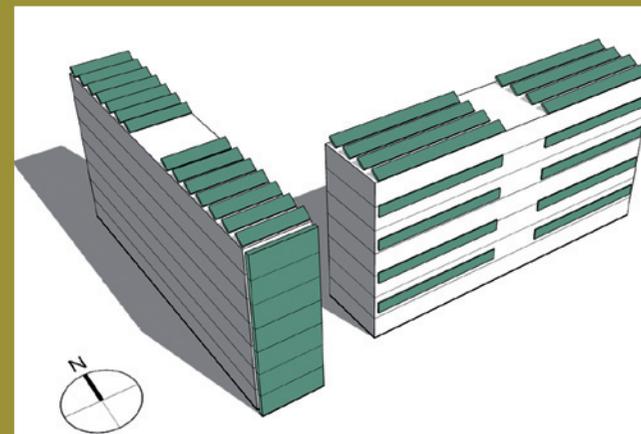
Die einfache Aufständerung am Dach ist die preiswerte Standardlösung, sofern der Dachbereich nicht für Sondernutzungen (Terrassennutzung für Rekreation und Events, Standort für Haustechnik, u. Ä.) vorgesehen ist.

Optimal ausgerichtete Flachkollektoren sichern hohen Ertrag und beschatten (und kühlen damit) gleichzeitig die Dachfläche. Bei wachsender Gebäudehöhe kann diese Kollektorfläche jedoch rasch nicht mehr ausreichen.

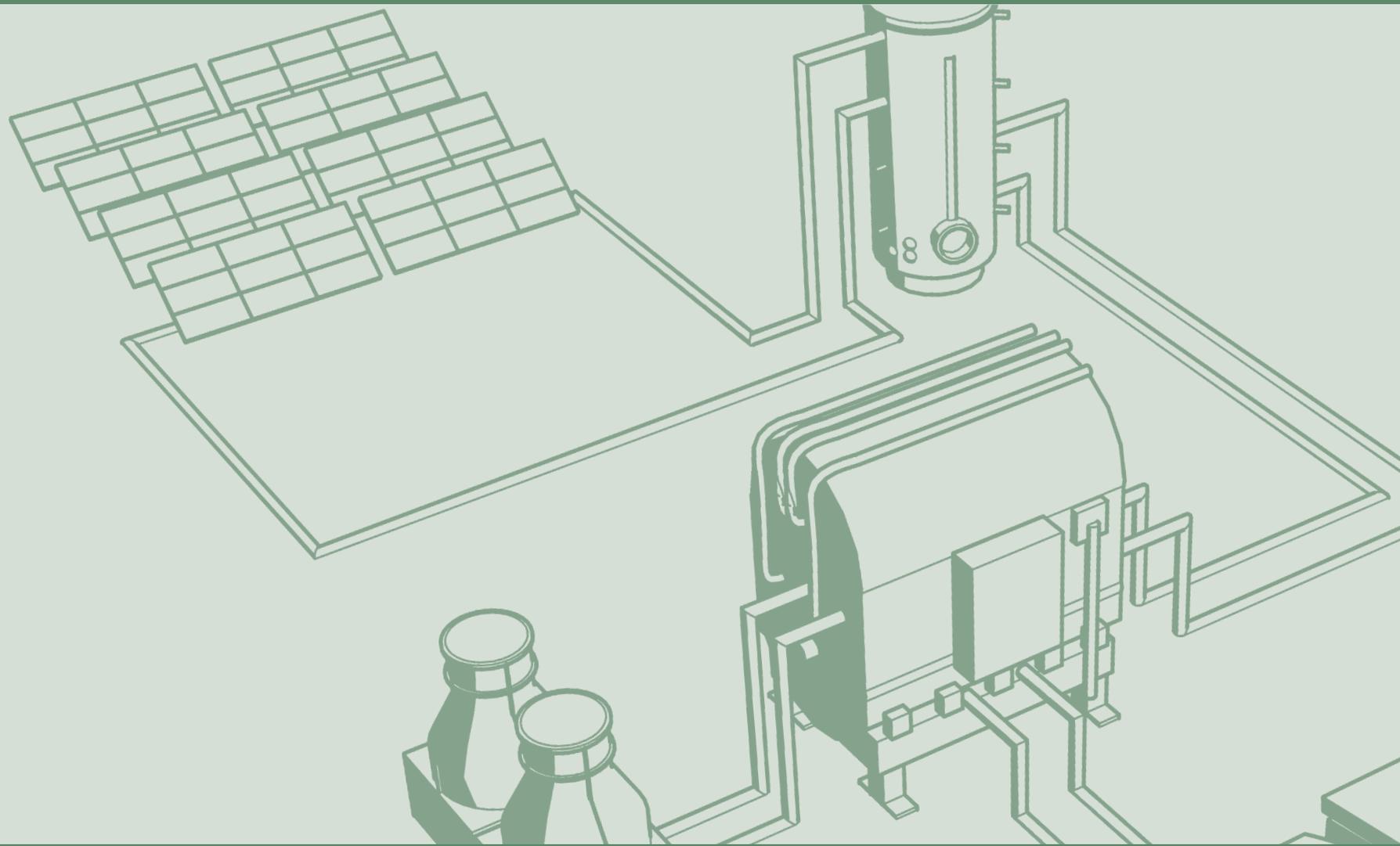
Fassadenkollektoren

Vor allem in Büro- und Dienstleistungsgebäude, die zumeist ein größeres Bauvolumen mit entspre-

chender Fassadenfläche aufweisen, ist eine Integration der solarthermischen Kollektoren in die Fassade anzustreben. Hier ist es besonders wichtig, schon bei der Grundkonzeption der Fassade die solarthermischen Kollektoren einzuplanen, da sowohl Orientierung, Neigung der Fassade, verfügbarer Flächenanteil, aber auch der konstruktive Aufbau der Fassade und die entsprechenden Anschlüsse für das erforderliche hydraulische System über eine effiziente und ökonomisch vorteilhafte Anwendung entscheiden.



Integrationsmöglichkeiten von solarthermischen Kollektoren für Bürogebäude
(Quelle: pos architekten)



Solare Kühlanlagen bestehen aus mehr Komponenten als konventionelle Kompressionskälteanlage. Von der grundsätzlichen Auswahl und Dimensionierung der solaren Kühltechnologie, über die Kälteverteilung bis zur Regelung existieren derzeit noch keine genormten Standards, auf die sich das Planungsteam beziehen könnte. Daher beruht das effiziente und störungsfreie Zusammenspiel dieser Anlagenteile derzeit noch sehr stark auf dem individuell vorhandenen Ingenieurwissen der verantwortlichen Planer. Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation kann Antworten auf ein gefordertes Anlagenverhalten mit solarer Kühlung liefern.

4. PLANUNG

Planungsrelevante Einflussgrößen zur Gebäudekühlung

Das sommerliche Wärmeverhalten von Büro- und Dienstleistungsgebäuden wird im Wesentlichen geprägt durch:

■ **innere Wärmelasten, verursacht durch Büromaschinen, Beleuchtung, Personen, usw.**
in der Regel durch den Planer **nicht maßgeblich** beeinflussbar

■ **äußere Wärmelasten, verursacht durch den Gebäudetyp in Form von solarem Strahlungseintrag, Transmission, Infiltration**
in der Regel durch den Planer **maßgeblich** beeinflussbar

■ **Lüftungsmöglichkeiten eines Gebäudes (z.B. Nachtauskühlung)**
in der Regel durch den Planer **nur bedingt** beeinflussbar

■ **den baulichen Wärmeschutz**
in der Regel durch den Planer **maßgeblich** beeinflussbar

Innere und äußere Wärmelasten, Möglichkeiten der Gebäudewärmung usw. führen je nach ihrer Intensität und ihrem Zusammenwirken zu einem Anstieg der Raumtemperatur, die insbesondere im Sommer

die zulässigen oder gewünschten Grenzwerte übersteigen kann.

Neben der Einhaltung des thermischen Komforts für die Nutzer erfordern z.B. technisch genutzte Räume wie Serverräume, EDV-Zentralen usw. betriebsbedingt ganzjährige Kühlung.

Cafeterias, Küchen und Kantinen, Konferenzbereiche usw. erfordern ebenfalls die Bereitstellung von Kälteenergie zur Raumkühlung.

Um die thermische Behaglichkeit der Nutzer, die Einhaltung max. Raumlufttemperaturen / -feuchten usw. zu gewährleisten, ist die Durchführung einer detaillierten Kühllastberechnung bis hin zu einer dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation für die optimierte Auslegung der Anlagen erforderlich.

Die bereitzustellende Kälteenergie (=Kälteleistung) definiert sich vereinfacht als

$$\begin{aligned}
 & \text{Gebäudekühllast} \\
 & \text{(Summe innere und äußere Kühllast des Gebäudes und der Nutzungen zur Zeit t)} \\
 & + \\
 & \text{Energie zur Aufbereitung der Außenluft} \\
 & \text{(Summe Kühlung und Entfeuchtung der erforderlichen Außenluft zur Zeit t)} \\
 \hline
 & = \text{erforderliche Kälteleistung}
 \end{aligned}$$

Der inneren Kühllast liegen folgende Werte zugrunde:

Personenbelegung: 10 m² / Person

Normale EDV-Ausstattung (10 ... 25 W/m²)

Abgeschaltete fassadennahe Beleuchtung: (6 W/m²)

AFenster / ABoden	Innere Wärmelast [W/m ²]	Äußere Wärmelast [W/m ²]	Gesamt [W/m ²]
0,1	17 ... 29	8 ... 12	25 ... 41
0,15	17 ... 29	11 ... 15	28 ... 44
0,2	17 ... 29	16 ... 18	33 ... 47
0,3	17 ... 29	23 ... 26	40 ... 55
0,4	17 ... 29	31 ... 34	48 ... 63
0,5	17 ... 29	39 ... 42	56 ... 71
0,7	17 ... 29	55 ... 60	72 ... 89

Serverräume	100 ... 300 W/m ² Raumfläche
EDV-Zentralen	500 ... 1.000 W/m ² Raumfläche
Konferenzräume	100 ... 140 W/m ² Raumfläche
Besprechungsräume	55 ... 75 W/m ² Raumfläche

Wahl des Klimageräts bzw. Kälteerzeugers

Eine zentrale Frage bei der Planung der Klimatisierung und Kältebereitstellung stellt die Wahl der Technologie und deren Einsetzbarkeit für das konkrete Projekt dar.

Es gilt zu entscheiden, ob das System mit Wasser oder mit Luft als Wärmeträgermedium ausgeführt sein soll. Weiters stellt sich die Frage, ob nur die Temperatur oder auch die Feuchte geregelt werden soll.

Kaltwasser- / Luftgestützte Kühlung

Die Möglichkeiten der Raumkühlung lassen sich grob, nach der Art des Energietransportes, in folgende Hauptgruppen gliedern:

- **NUR-LUFT-SYSTEME**
- **LUFT-WASSER-SYSTEME**
- **NUR-WASSER-SYSTEME**

Bei **NUR-LUFT-SYSTEMEN** wird die Kühllast ausschließlich über die dem Raum zugeführte Zuluft gedeckt, die vorher in einer Zentrale aufbereitet (= gekühlt) wird.

Diese Variante bedingt in Abhängigkeit der Kühllast die bei weitem größten Luftmengen, da die Zuluft-

menge nicht nach dem für Menschen aus hygienischen Gründen erforderlichen Mindestmaß, sondern nach der für die Kühllastkompensation erforderlichen Luftmenge ausgelegt wird.

Diese großen Luftmengen bedingen entsprechende

- **Technikflächen für Zentralen u. Versorgungsschächte**
- **Energiebedarf für Erwärmung und Kühlung**
- **Energie für Luftförderung**

Aus energetische Gründen sollte der Einsatz von **NUR-LUFT-SYSTEMEN** auf entsprechende Sonderfälle beschränkt bleiben (Küchen, Räume aus denen belastete Luft abgeführt werden muss usw.)

Bei **LUFT-WASSER-SYSTEMEN** wird die Kühllast über die Zuluft - in Form eines minimalen Luftwechsels auf Basis der hygienisch erforderlichen Luftmenge (LW 1,5 bis 2,0⁻¹) - in Verbindung mit Zusatzeinrichtungen im Raum gedeckt. Diese Variante bedingt die geringsten zu transportierenden Luftmengen.

Dies bedeutet:

- **Verringerte Technikflächen für Zentralen und Schächte**
- **Verringerter Energiebedarf für Erwärmung und Kühlung**
- **Verringerter Energiebedarf für Lufttransport**

Bei **NUR-WASSER-SYSTEMEN** wird die Kühllast über Kühleinrichtungen im Raum gedeckt. Diese Variante ist für Gebäude oder Bereiche möglich, in denen keine Frischluftversorgung in Form einer mechanischen Lüftung vorgesehen bzw. erforderlich ist.

Dies bedeutet

- **Absolut minimierte Technikflächen f. Zentralen u. Schächte**
- **minimierter Energiebedarf für Erwärmung und Kühlung**
- **Kein Energiebedarf für Lufttransport**

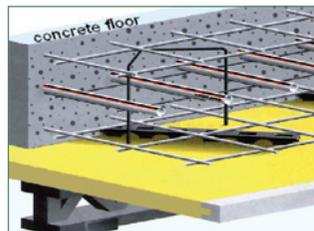
Luftfeuchte

Grundsätzlich sollte bei allen Kühlsystemen nicht nur die abzuführende Wärme, sondern auch die relative Luftfeuchte des zu kühlenden Raumes betrachtet werden. Über luftgestützte Anlagen kann neben der Temperatur auch die Luftfeuchte in gewissen Grenzen reguliert werden. Dies ermöglicht eine wesentliche Verbesserung der Raumzustände zur Erreichung der Behaglichkeit.

Analyse der Einsetzbarkeit unterschiedlicher Kühltechnologien

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung ermöglicht die Ab- und Zufuhr von Wärme über tragende Bauteile eines Gebäudes. Dies erfordert eine durchdachte Planung und Regelung und ermöglicht es, große Speichermassen und Flächen zu nutzen, ohne zusätzliche Installationen (Radiatoren, Ventilatoren, u.a.) in den Räumen vornehmen zu müssen. Dadurch erreicht man eine freie Raumgestaltung und komfortable, weil kaum wahrnehmbare, aber effektive Kühlung. Nachteilig wirken sich die große Trägheit der Massen und fehlende Flexibilität nach der Fertigstellung des Systems aus. Es können Kühlleistungen von 40 Watt pro m² aktive Fläche erreicht werden, was im Falle von schnell auftretenden Lastspitzen zu wenig sein kann.



Decke mit Bauteilaktivierung

Bauteilaktivierung kann mittels Wasser oder Luft als Wärmeträgermedium ausgeführt werden. Luftkanäle müssen bei gleicher Leistung wesentlich größer dimensioniert werden als Wasserrohre und führen zu einer wesentlichen Schwächung des Bauteils. Dies kann unter Umständen jedoch gewünscht sein, um etwa Deckengewichte zu optimieren.

Kühldecken-Systeme:

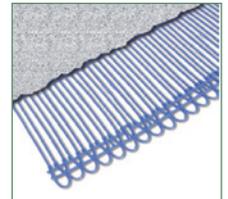
Aktive Kühlung durch an die Betondecken angebaute Kühlsysteme

(z.B. angeputzte Kapillarrohrsysteme).

Erzielbare Leistungen:

60 bis 70 Watt pro m² aktive Fläche.

Beispiel: Kapillarrohrmatte mit Putzbeschichtung



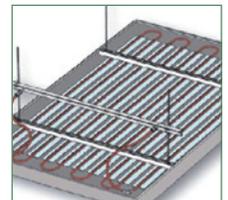
Aktive Kühlung durch gekühlte Abhangdecken

(Akustikdecken, Metallpaneeldecken, Gipskartondecken)

Erzielbare Leistungen:

Geschlossene Kühldecke: 60 – 80 Watt/m² aktive Fläche
Offene Kühldecke: 80 – 120 Watt/m² aktive Fläche (konvektiv)
Kühlsegel: 100 – 120 Watt/m² aktive Fläche (konvektiv)

Beispiel: Kühlsegel mit Kupfermäandern



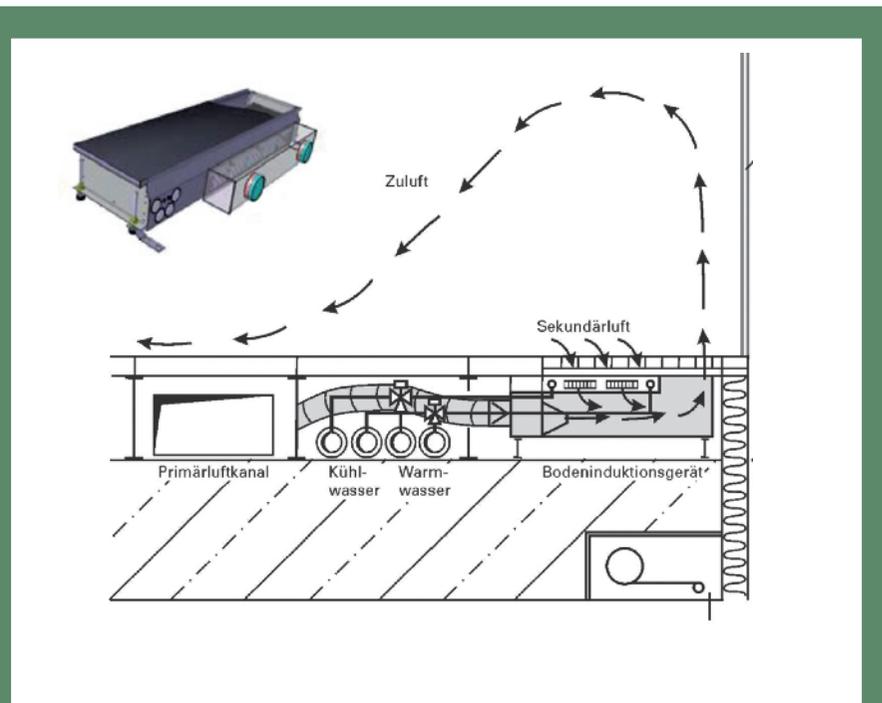
Induktionsanlage

Induktionsgeräte blasen frische Luft in den Raum so ein, dass sich Raumluft und Zuluft zum Großteil sofort vermischen. Über eine entsprechende Regulierung der Zuluft kann die Raumluft gekühlt oder erwärmt und die Luftfeuchte eingestellt werden. Die Kühlung oder Erwärmung kann raumspezifisch über ein Wassernetz oder über eine zentrale Klimatisierungseinheit erfolgen. Bei großen Kühlleistungen können durch die tangentialen Strömungswalzen Zugscheinungen entstehen. Der Einbau kann nachträglich erfolgen, erfordert jedoch großen Platzbedarf und ist nur eingeschränkt flexibel. Erzielbare Leistungen liegen bei 40 bis 80 Watt pro m² Bürofläche.

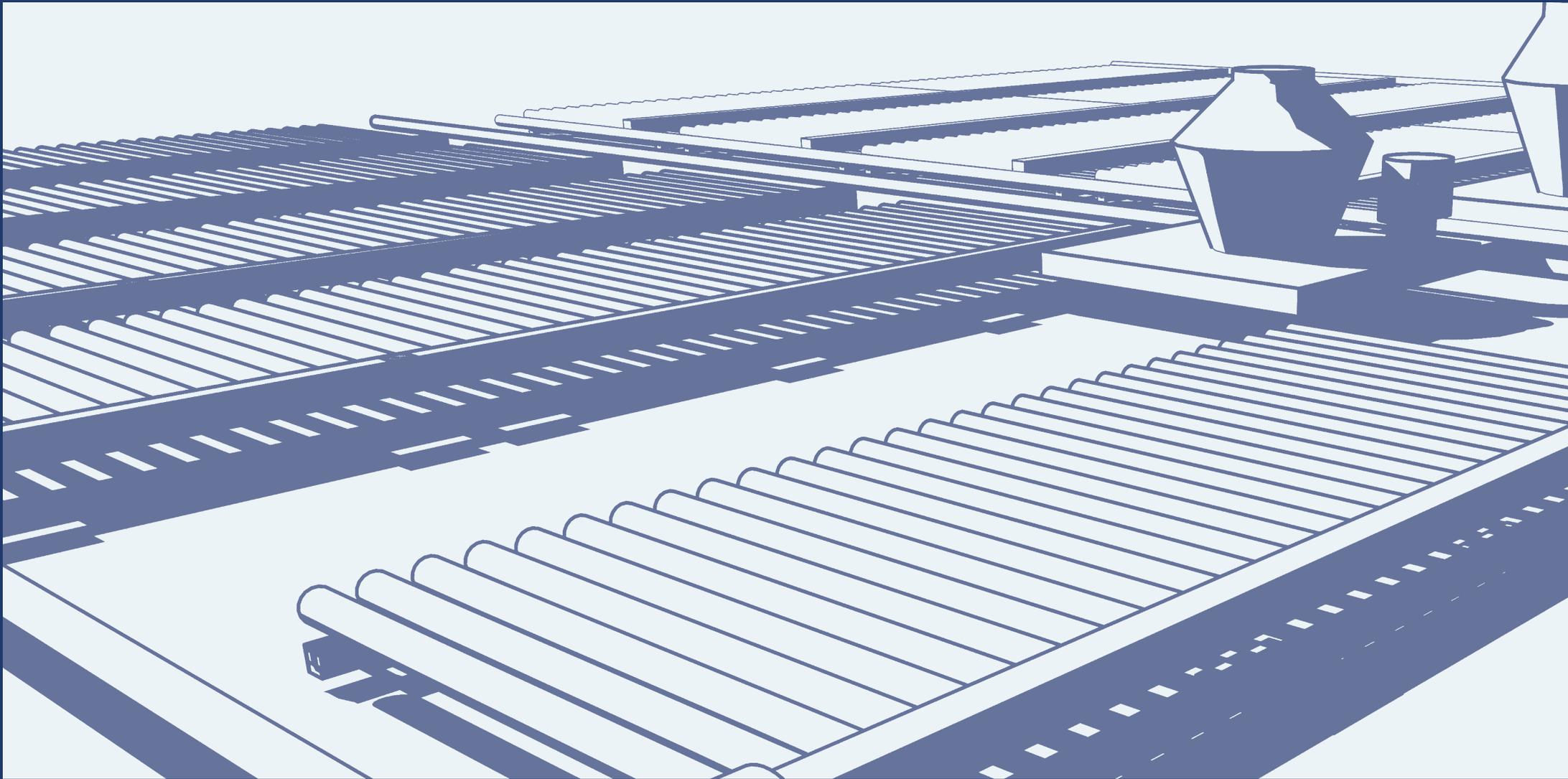
Induktionsgeräte können je nach Raumnutzung und Geometrie an der Decke, im Boden oder am Parapet installiert werden.

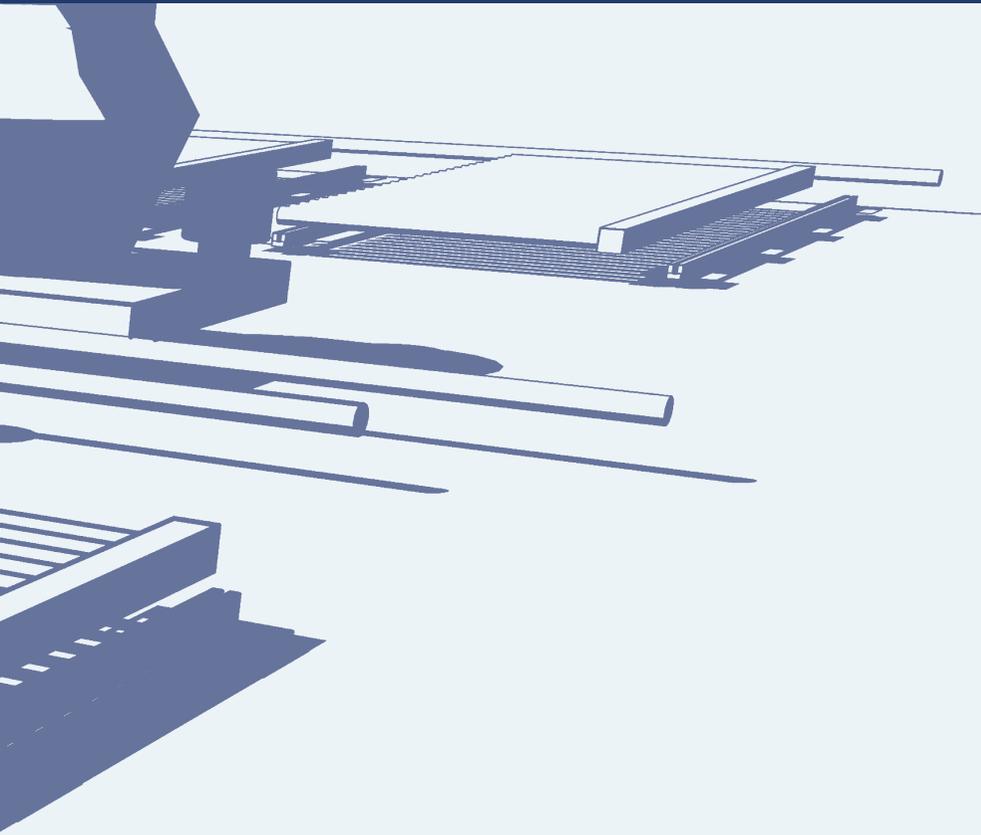
Fan Coils

Bei der Kühlung mit Fan Coils wird dem Raum meist keine frische Luft zugeführt, sondern die Raumluft an einer Stelle angesaugt, über Fan Coils gekühlt oder erwärmt und wieder dem Raum zugeführt. Dadurch ist eine Abkühlung und gleichzeitige Entfeuchtung sowie eine Erwärmung möglich. Wird keine Frischluft zugeführt, so reduziert sich der Installationsaufwand für die Rohrführung. Dieses System spricht sehr schnell auf Lastwechsel an und kann für jeden Raum individuell arbeiten. Allerdings sind die Fan Coils wartungsintensiv, erfordern einen Luftwechsel über Fensterlüftung und können Zugscheinungen bewirken. Die Kästen mit den Fan Coils können an der Decke, im Boden oder am Parapet installiert werden. Erzielbare Leistungen liegen bei 40 bis 80 Watt pro m² Bürofläche.



Induktionsgerät im Boden
(Quelle: ILF-Beratende Ingenieure)





Derzeit sind weltweit rund 100 Anlagen zur solaren Kühlung im Gebäudebereich in Betrieb. 90% davon stehen in Europa, wobei der Anteil an Büro- und Dienstleistungsgebäude mit 60% den Hauptteil der Anwendungen einnehmen. 20% der Anlagen sind Teil von Forschungseinrichtungen und dienen zur Erprobung und Weiterentwicklung der Technologie. Die restlichen 20% verteilen sich auf Hotels, Krankenhäuser, Industrie und Sondernutzungen wie Bibliothek, Sportzentrum und Weinkühlung. Es zeigt sich also, dass solare Kühlung für ein breites Anwendungsspektrum in Frage kommt. Vor allem der Büro- und Dienstleistungsbereich ist für unsere Klimazone eine viel versprechende Anwendung.

5. BEISPIELE

Anlagenbeispiele in Europa

EAR-Tower Pristina/Kosovo

Der neun Stockwerke hohe EAR-Tower verfügt insgesamt über 2.300 m² Geschoßfläche, wovon ca. 1.426 m² beheizt bzw. gekühlt werden. Der Tower wurde während des Krieges im Kosovo stark beschädigt und musste umfassend renoviert werden. Bei dieser Renovierung gelang es, eine der weltweit größten solaren Kühlanlagen zu realisieren. Das solare System des EAR-Towers wurde für die Bereitstellung von Warmwasser, für die Kühlung und die Raumheizung geplant. Das heißt, im Sommer wird die Solarenergie zum Antrieb der Kühlmaschinen und für die Bereitstellung von Warmwasser eingesetzt. Im Frühling, Herbst und Winter kann die Solarenergie auch zur Raumheizung eingesetzt werden. Die installierten Absorptionskühlmaschinen arbeiten mit Lithiumbromid als Sorbens und Wasser als Kältemittel und versorgen sowohl eine zentrale Lüftungsanlage als auch so genannte „Fan Coils“ in den einzelnen Büroräumen. Um die Kühlmaschinen betreiben zu können, werden Heißwassertemperaturen zwischen 75°C und 95°C benötigt. Im



EAR-Tower wird ein Heißwasserspeicher mit 4000 l und ein Kaltwasserspeicher mit 1000 l eingesetzt. Wenn die Sonnenwärme und der Speicher nicht ausreichen, um die Kältemaschinen zu betreiben, wird zusätzlich die elektrische Kühlmaschine als Back-up gestartet. Dieser Fall kann während des frühen Morgens oder auch am Abend auftreten. Die solare Deckung für die Kühlung wurde mit 75% kalkuliert. Die Regelung der gesamten Solar- und Kühlanlage ist mit einem Fernüberwachungssystem (Telemonitoring-System) ausgestattet, so dass das gesamte System mit allen Kontrollparametern mittels PC überall auf der ganzen Welt dargestellt werden kann. Alle wesentlichen Parameter der Anlage können über dieses Fernüberwachungssystem geändert werden.

Technische Daten

Absorber-Kälteleistung	2 x 45 kW
Kühlturm	220 kW
Kaltwassertemperaturen	8°/16°C
Kühlwassertemperaturen	27°/33°C
Heizwassertemperaturen	91°/85°C
Solarkollektorfläche	227 m²
Kaltwasserspeicher	1000 l
Heizwasserspeicher	4000 l
Kühlleistung	110 kW
Heizleistung	170 kW
COP	0,75
Elektrisches Backup	30 kW

Uni-Klinikum Freiburg/Deutschland

An der Universitätsklinik in Freiburg wird im Sommer durch eine Adsorptionskältemaschine solar erwärmtes Wasser zur Kühlung der Zuluft von Laboratorien mit einer Gesamtfläche von 550 m² genutzt. Im Winter dient die Anlage der solaren Heizungsunterstützung und hilft so, Heizkosten zu sparen. Die Bereitstellung der für den Betrieb der Anlage notwendigen thermischen Energie erfolgt entweder durch Sonnenkollektoren oder das hausinterne Dampfversorgungsnetz. Zusätzlich wird die Ausnutzung der Solarwärme durch Wärmespeicher verbessert. Aufgrund der getakteten Betriebsweise der Adsorptionskältemaschine ist

Technische Daten

Absorber-Kälteleistung	70 kW
Kaltwassertemperaturen	9°/14°C
Heizwassertemperaturen	72°-85°C
Solarkollektorfläche	171 m²
Rückkühlwerksleistung	180 kW
Kaltwasserspeicher	2 500 l
Heizwasserspeicher	8 000 l
COP	0.60 – 0.65



zur Stabilisierung der Kaltwassertemperaturen ein Kältespeicher in das Anlagensystem integriert. Die Solaranlage übergibt über einen Plattenwärmetauscher die generierte Wärme aus dem Primärkreis an den Sekundärkreis. Die Pumpe im Primärkreis wird stufenlos regelbar betrieben. Im Sekundärkreis ist die Backup-Wärmeversorgung in Form eines Dampfwärmetauschers eingebunden. Der Sekundärkreis liefert die Antriebswärme für die Adsorptionskältemaschine während des Kühlbetriebs und stellt entsprechend auch Wärme für den Heizbetrieb bereit. Beide Heizkreise sind mittels einer hydraulischen Weiche miteinander verbunden.

Dadurch sind verschiedene Varianten der Wärmeversorgung möglich:

- Die Wärmeversorgung erfolgt ausschließlich über die Solaranlage, je nach Bedarf mit gleichzeitigem Laden oder Entladen der Speicher.
- Die Wärmeversorgung erfolgt mittels Solaranlage und der Backup-Wärmeversorgung, bei Bedarf auch mit gleichzeitigem Entladen der Speicher.
- Die Wärmeversorgung erfolgt ausschließlich über die Backup-Wärmeversorgung, bei Bedarf mit gleichzeitigem Entladen der Speicher.
- Laden der Speicher mittels Solaranlage.

Um die betreffenden Labors an der Uniklinik zu temperieren, wird eine Kühlleistung von 70 kW benötigt. Diese Kühlleistung erfordert bei einer konventionellen Anlage eine nominelle

Anschlussleistung von rund 23 kW elektrisch (ohne Kühlturm). Im Gegensatz dazu arbeitet die Anlage zur solaren Kühlung mit einer nominellen elektrischen Leistung von rund 9 kW (ohne Kühlturm). Im Wesentlichen wird der Strom für den Transport von Wasser durch die Pumpen angefordert. Bisher wurde an der Universitätsklinik Freiburg die Laborluft mit umweltschädlichen chemischen Verbindungen wie FCKW- und FKW-haltigen Kältemitteln sowie einer enormen Menge an elektrischer Energie gekühlt. Mit Hilfe der neuen Adsorptionskälteanlage sollen demgegenüber pro Jahr ungefähr 30.000 kWh Strom eingespart und durch die Energiversorgung über Solarkollektoren und das Blockheizkraftwerk mehr als 16 Tonnen an CO₂-Emissionen vermieden werden. Die Anlage ist seit 2002 in Betrieb – Messwerte wurden vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) über einen Zeitraum von zwei Jahren aufgezeichnet und ausgewertet.

Ökopark Hartberg/Österreich

Die DEC-Anlage im Ökopark Hartberg ermöglicht eine Kühlung im Sommer, eine Belüftung in der Übergangszeit und eine Beheizung des Gebäudes im Winter. Für den Aufbau der Anlage wurden ausschließlich serienmäßig gefertigte Module der konventionellen Lüftungstechnik verwendet. Das DEC-Gerät wurde für eine Außenaufstellung wetterfest ausgeführt und neben dem Gebäude platziert. Einer

der wichtigsten Aspekte für den Betrieb der DEC-Anlage war die Entwicklung einer Regelung für einen vollautomatischen Ganzjahresbetrieb. Dafür wurde eine kommerziell verfügbare DDC-Regelungstechnik mit Prozessvisualisierung, Datenspeicherung und Fernüberwachung verwendet. Es wurde ein Regelungskonzept für den Heiz- und Kühlbetrieb der Anlage entwickelt, mit dessen Hilfe verschiedene Verbesserungen der Regelstrategie vorgenommen werden konnten. Die Anlage wurde im September 2000 erstmals in Betrieb genommen – Messwerte wurden über einen Zeitraum von drei Jahren aufgezeichnet und ausgewertet.

Technische Daten

Kühlleistung	30 kW
Luftleistung	6000 m³/h
Zulufttemperatur	17.5°C
Solarkollektorfläche	12 m²
Solarpufferspeicher	3000 l
COP	0.60



Bürogebäude SOL-ution Sattlet / OÖ

- **Anwendung:** Büros
- **Technologie:** Absorptions
- **Kälteleistung:** 15 kW
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 40 m²
- **Status:** In Betrieb seit 2005



Industrie- u Handelskammer Freiburg/ D

- **Anwendung:** Konferenzraum
- **Technologie:** DEC
- **Kälteleistung:** 70 kW
- **Kollektortyp:** Luftkollektoren
- **Kollektorfläche:** 100 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1999



Landesamt für Umweltschutz Augsburg/ D

- **Anwendung:** Seminarraum, Labore
- **Technologie:** Adsorption
- **Kälteleistung:** 352 kW
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren (Solardach)
- **Kollektorfläche:** 2000 m²
- **Status:** In Betrieb seit 2000



Passivhaus-Büro ENERGYbase Wien

- **Anwendung:** Büros
- **Technologie:** DEC
- **Volumenstrom:** 16.000 m³/h
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 285 m²
- **Status:** Beginn Sommer 2008



Weinkühlung Banyuls/ Südfrankreich

- **Anwendung:** Weinkühlung
- **Technologie:** Absorptions
- **Kälteleistung:** 52 kW
- **Kollektortyp:** Vakuum-Röhrenkollektoren
- **Kollektorfläche:** 130 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1991



Bürogebäude Verhuelst/ NL

- **Anwendung:** Büros
- **Technologie:** Adsorption
- **Kälteleistung:** 70 kW
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 70 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1996



Götz, Würzburg/ D

- **Anwendung:** Büros
- **Technologie:** Adsorption
- **Kälteleistung:** 70 kW
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 70 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1996



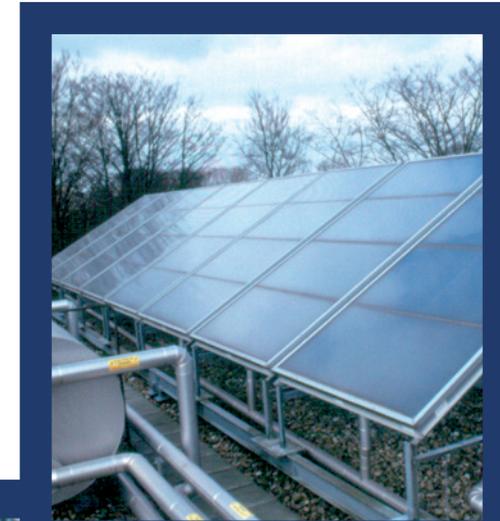
Stadtwerte Remscheid/ D

- **Anwendung:** Büros
- **Technologie:** Adsorption
- **Kälteleistung:** 105 kW
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 150 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1999



Energieversorger EZK; Heemstede/ NL

- **Anwendung:** Konferenzraum
- **Technologie:** DEC
- **Kälteleistung:** 7700 m³/h
- **Kollektortyp:** Flachkollektoren
- **Kollektorfläche:** 77 m²
- **Status:** In Betrieb seit 1999





**Magistratsabteilung 27
EU-Strategie und
Wirtschaftsentwicklung**

**Energie und
SEP-Koordinierungsstelle**
Doblhofgasse 6
A-1082 Wien, Austria
www.wien.gv.at/wirtschaft/eu-strategie



**Österreichisches Forschungs- und
Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.**
Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme
Giefinggasse 2
A-1210 Wien, Austria
www.arsenal.ac.at



www.sep.wien.at