

Solarthermische Klimatisierung

Samstags-Forum Regio Freiburg
Kühle Gebäude mit Sonnenwärme
30.06.2007

Alexander Morgenstern

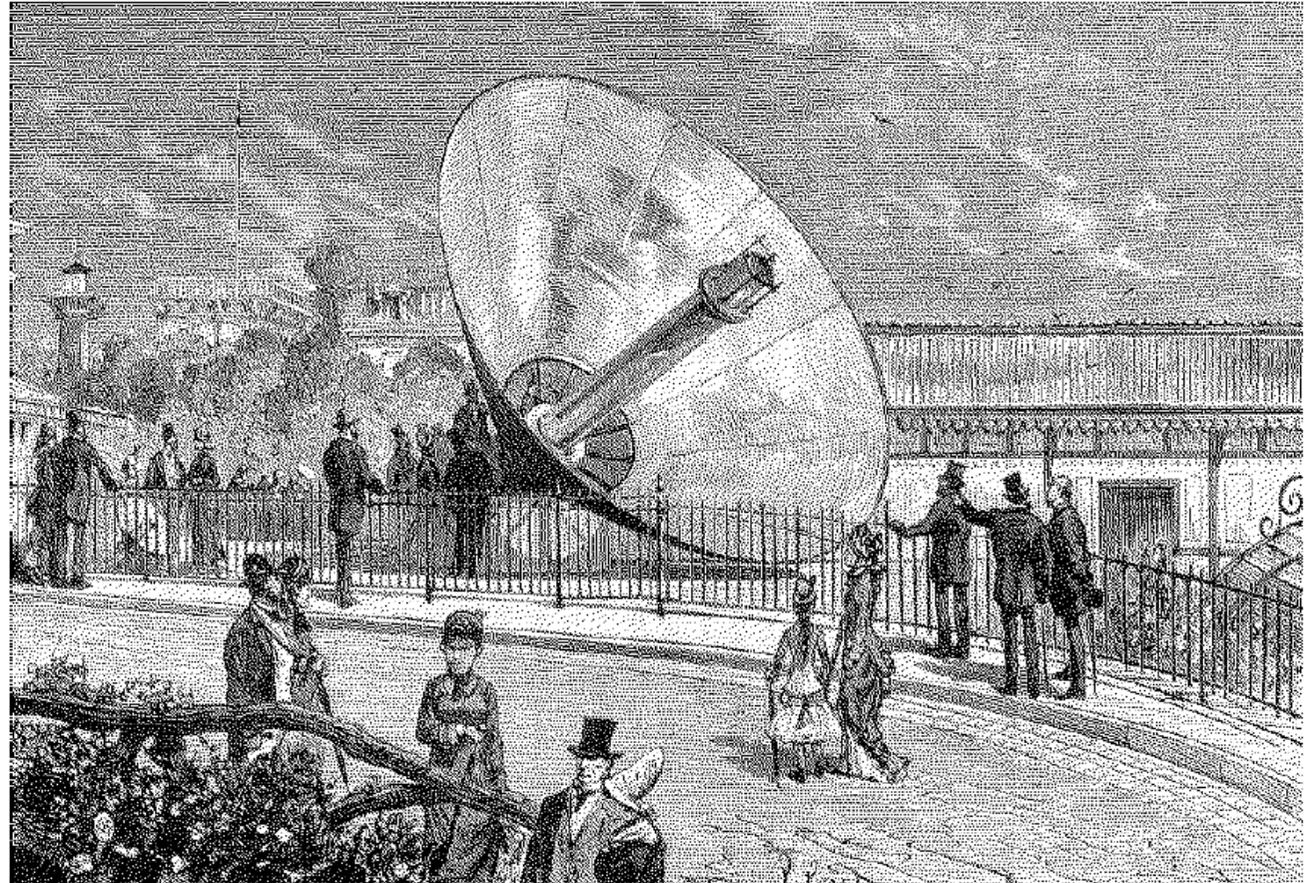
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Erste Erfahrungen

Weltausstellung 1878 in Paris:

Erzeugung eines Eisblocks
am 29. September durch
Augustin Mouchot mit ei-
ner periodisch arbeitenden
Absorptionskältemaschine
nach dem Prinzip von
Edmund Carré

Mouchot, Augustin:
La chaleur Solaire et ses Applications
Industrielles
(deutsche Ausgabe, Olynthus Verlag,
1987)



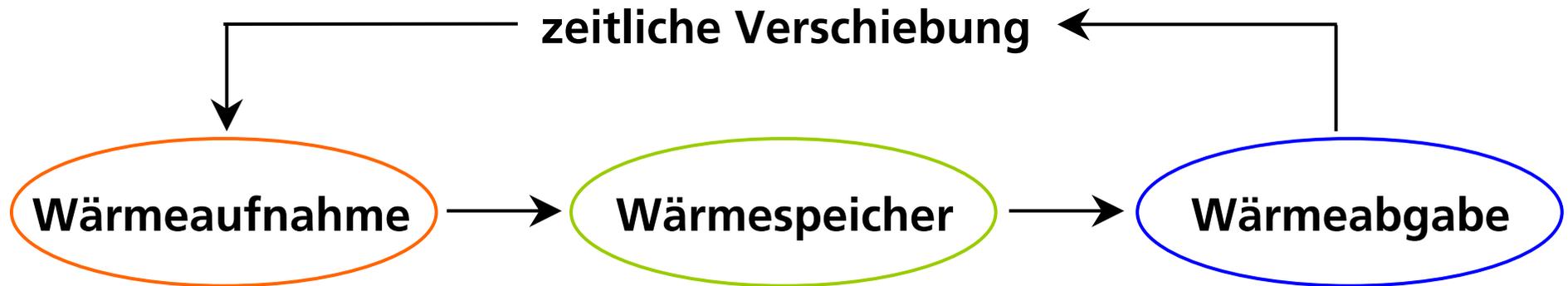
Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Inhaltsübersicht

- **Passive Kühltechniken**
- **Grundlagen**
- **Techniken**
 - ◆ **Kaltwassererzeugung**
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ **Offene Verfahren**
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- **Systemauswahl und Bewertung**
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- **Solare Klimatisierung in Europa**
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Passive Kühlung



solare Kühllast :

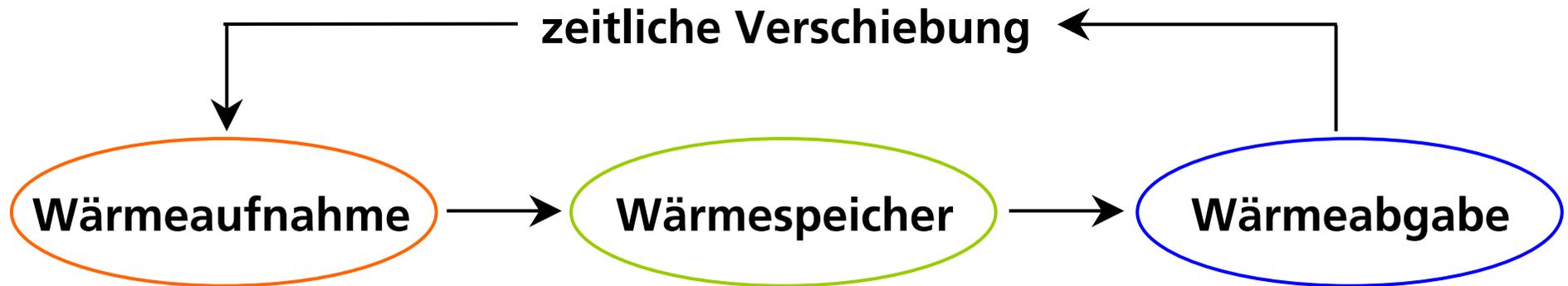
- Glasanteil
- g-Wert
- Verschattung

interne Kühllast :

- Licht
- Ausstattung
- Personen



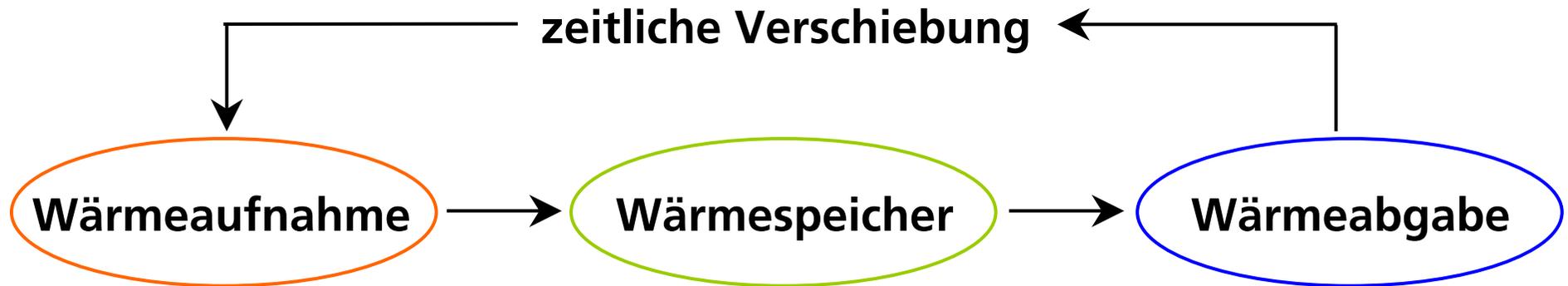
Passive Kühlung



nutzbare Speicherkapazität :

- Stoffwerte
- Gebäudestruktur
- Bauteilstärke
- Wärmetransport

Passive Kühlung



Natürliche Wärmesenken :

- Nachtluft
- Erdreich

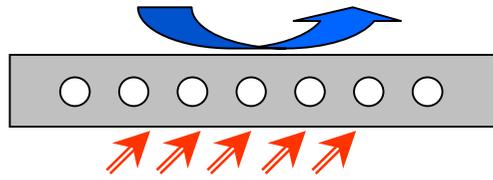
Technologien

- Nachtlüftung
- Bauteilkühlung
- Erdwärmetauscher

Passive Kühlung

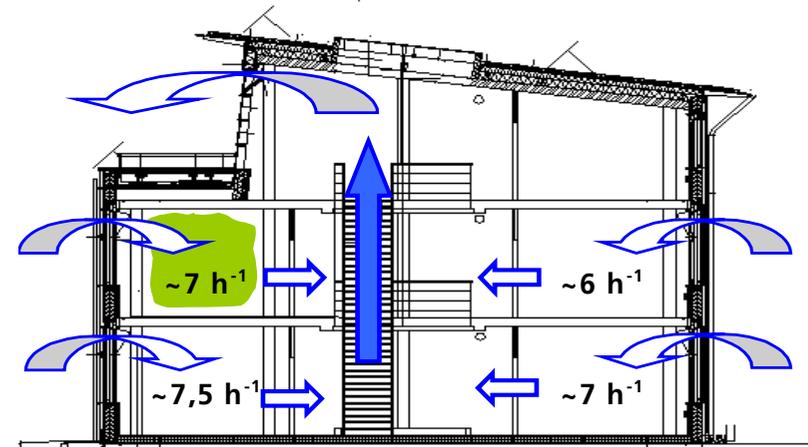
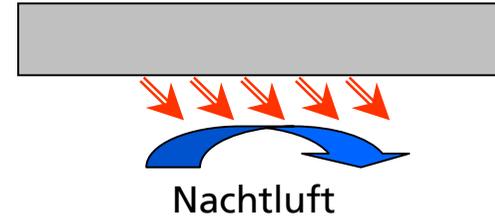
Bauteilkühlung

Erdreich / Kühlturm



Fraunhofer SOBIC, Freiburg

Nachtlüftung



Lamparter, Weilheim

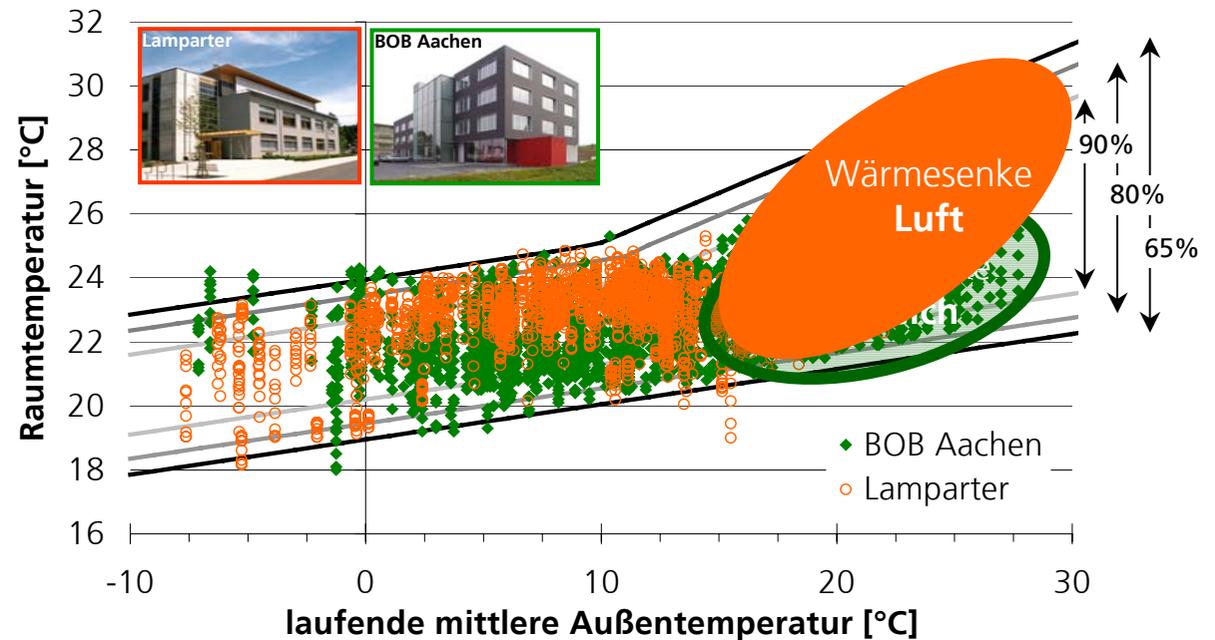
Luft- oder wassergeführte Systeme ?

Lamparter

UAW=0,15
 UAF=1,1
 Zu+Abluft mit WRG
 Erd-Luft-Register und
 freie Nachtlüftung

BOB Aachen

UAW=0,17
 UAF=0,8
 Zu+Abluft mit WRG
 Bauteilkühlung

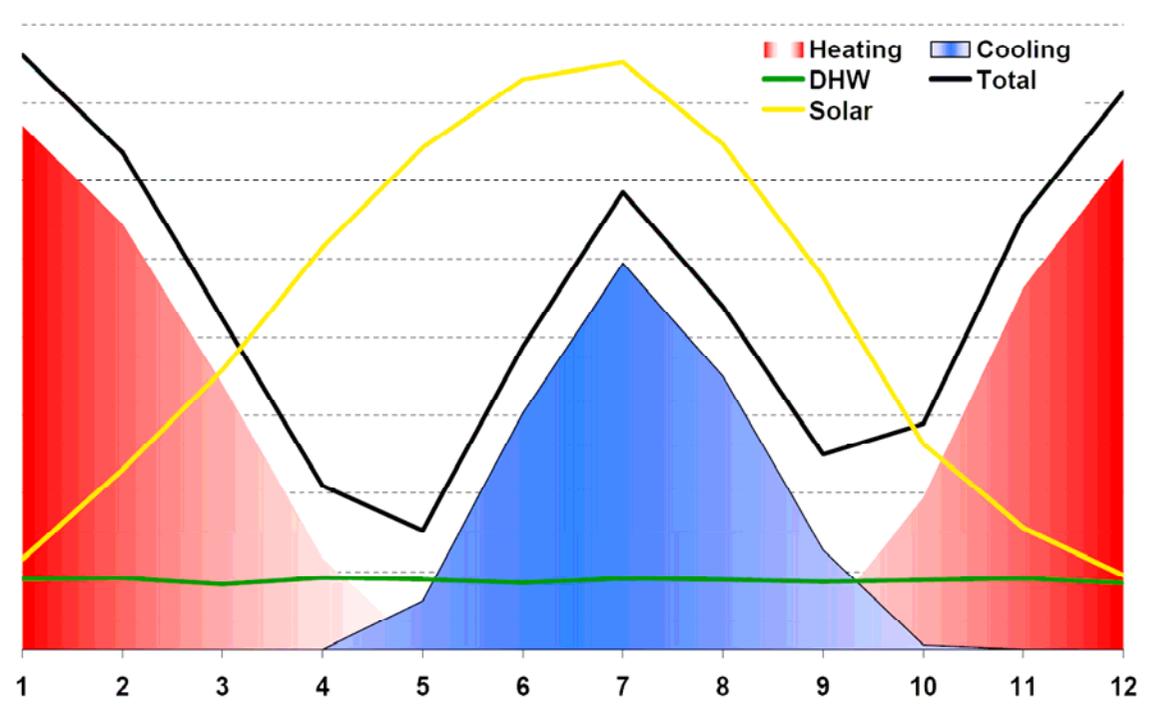


Inhaltsübersicht

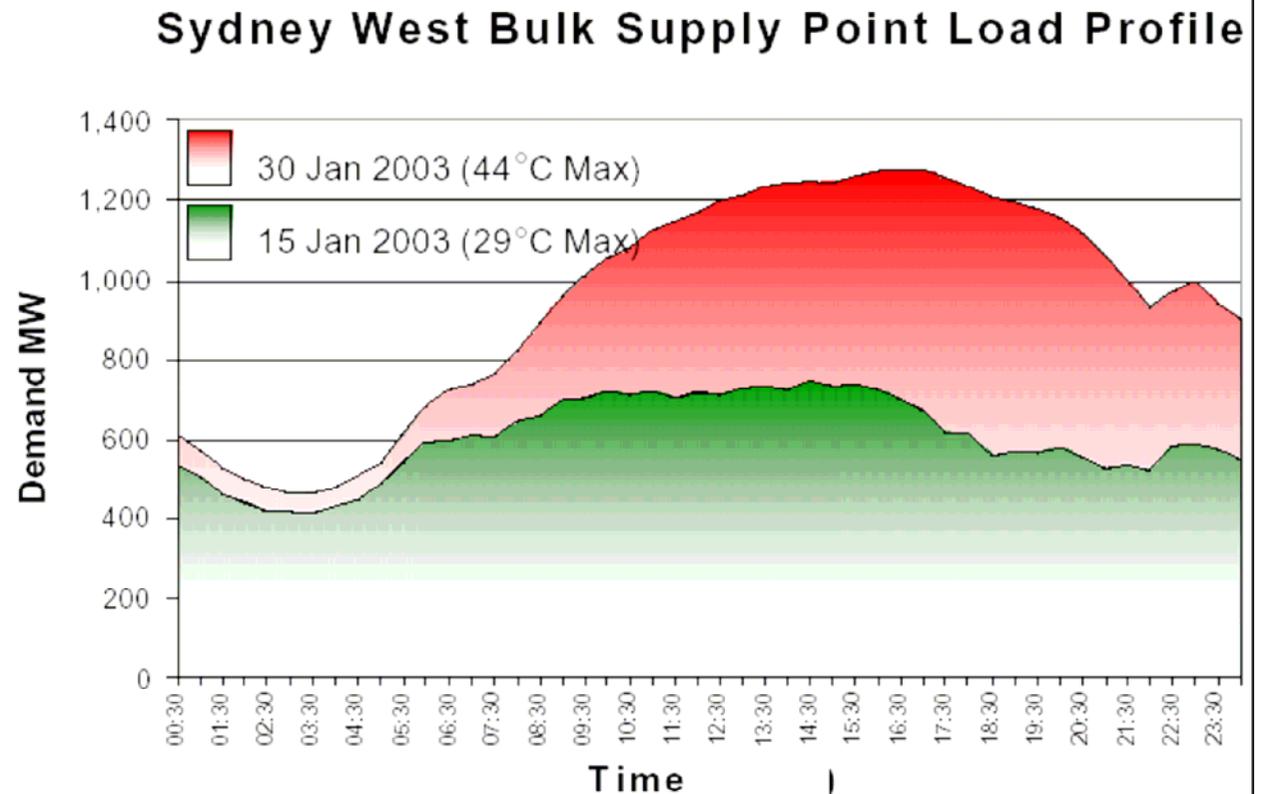
- Passive Kühltechniken
- **Grundlagen**
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Solarangebot und Klimatisierungsbedarf

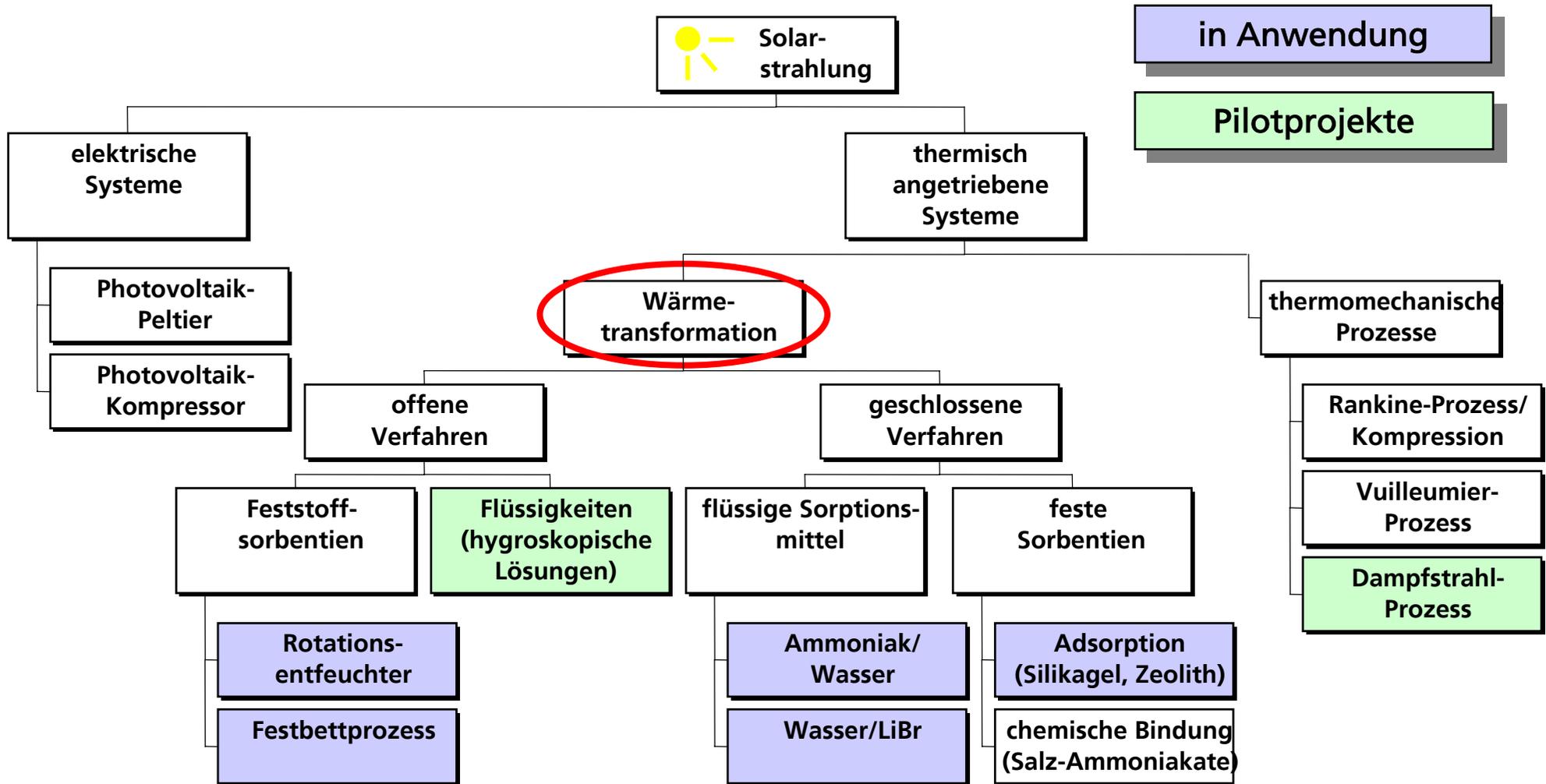
- Ganzjährige Nutzung der Solarenergie für Heizung und Brauchwasser
- Bevorzugte Nutzung in südlichen Regionen (Mittelmeerraum)
- Ergänzung zu Kombisystemen



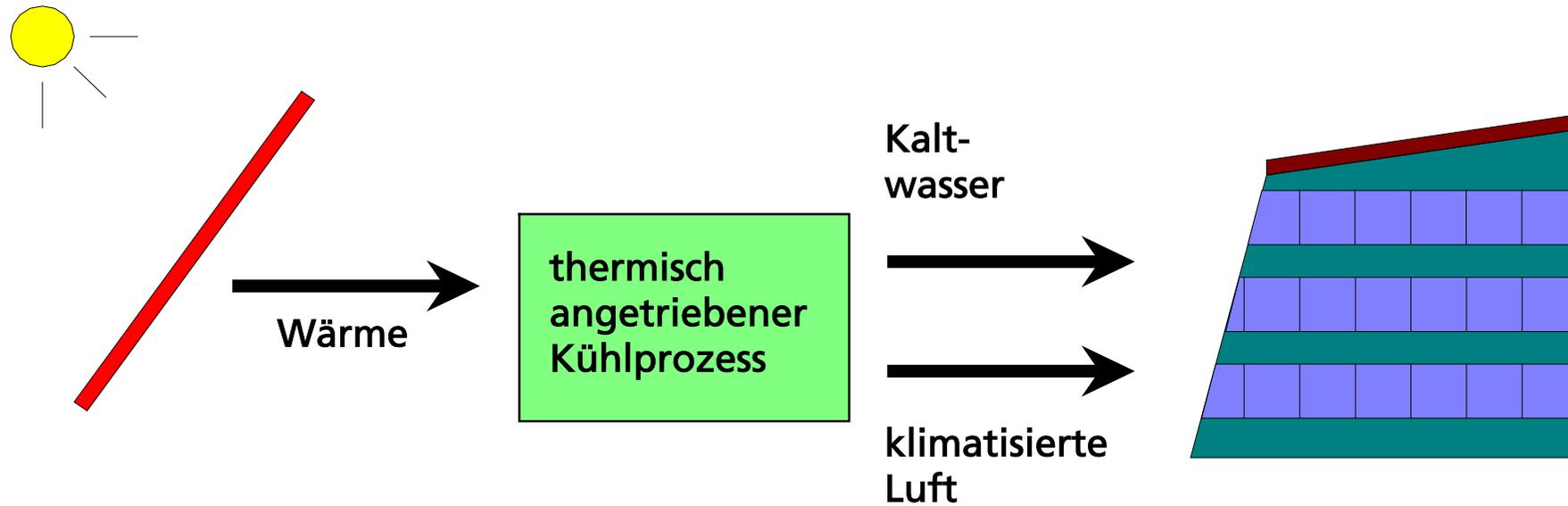
Spitzenbelastung im Sommer



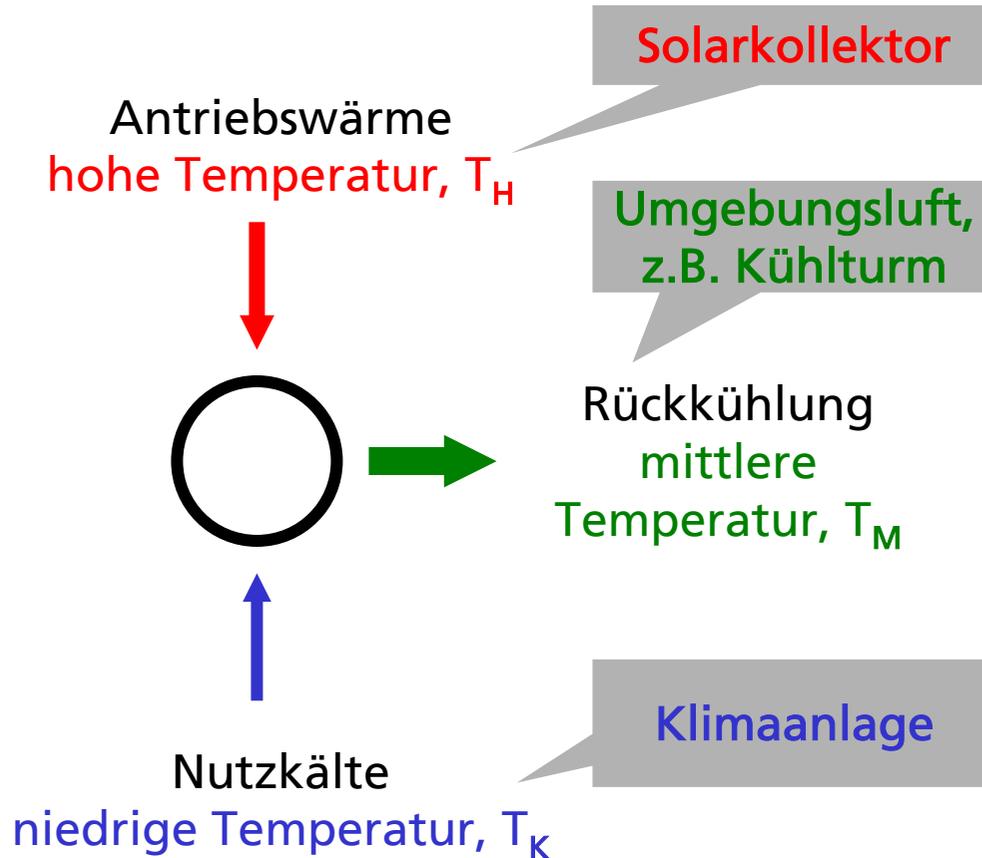
Verfahrensüberblick



Solarthermischer Prozess allgemein



Thermodynamischer Prozess



$$\begin{aligned}
 &\text{Coefficient of} \\
 &\text{Performance} \\
 &(\text{COP}_{\text{thermisch}}) \\
 &= \\
 &\frac{\text{Nutzkälte}}{\text{Antriebswärme}}
 \end{aligned}$$

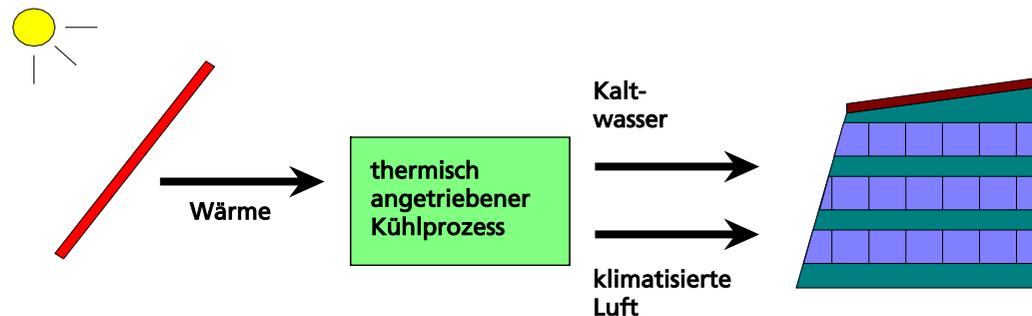
Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

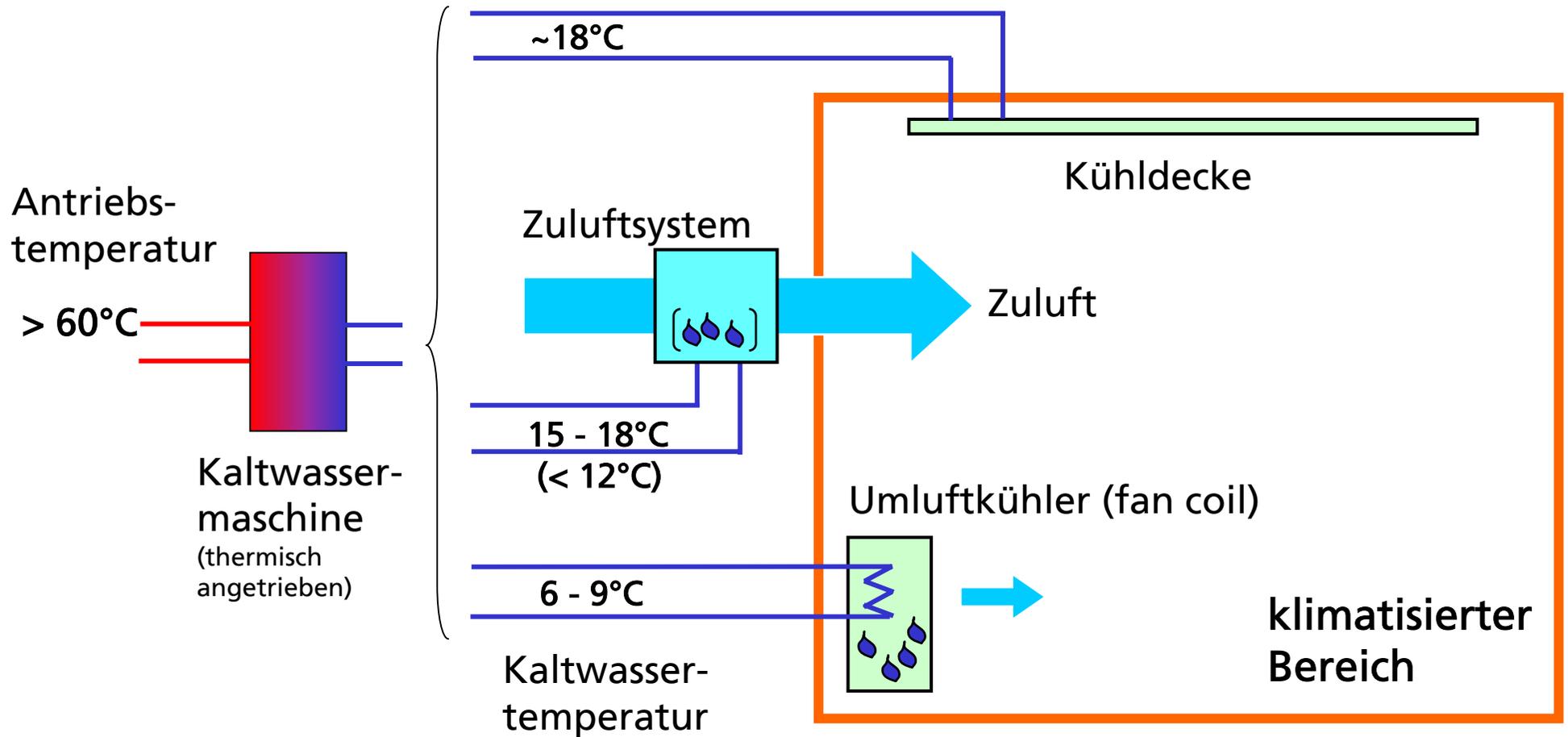
Techniken

Grundsätzlich ist zwischen geschlossenen Verfahren zur Kaltwassererzeugung und offenen Verfahren zur direkten Luftbehandlung zu unterscheiden

- Kaltwassererzeuger stellen Kaltwasser bereit, das jede Art von Klimatechnik versorgen kann (z.B. Lüftungsanlagen, Umluftkühler bzw. fan-coils, Kühldecken, stille Kühlung,...)
- Offene Verfahren werden für die direkte Luftkonditionierung verwendet; sie bestehen generell aus einer Kombination von sorptiver Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung
- Auch eine Kombination von offenen mit geschlossenen Verfahren ist möglich



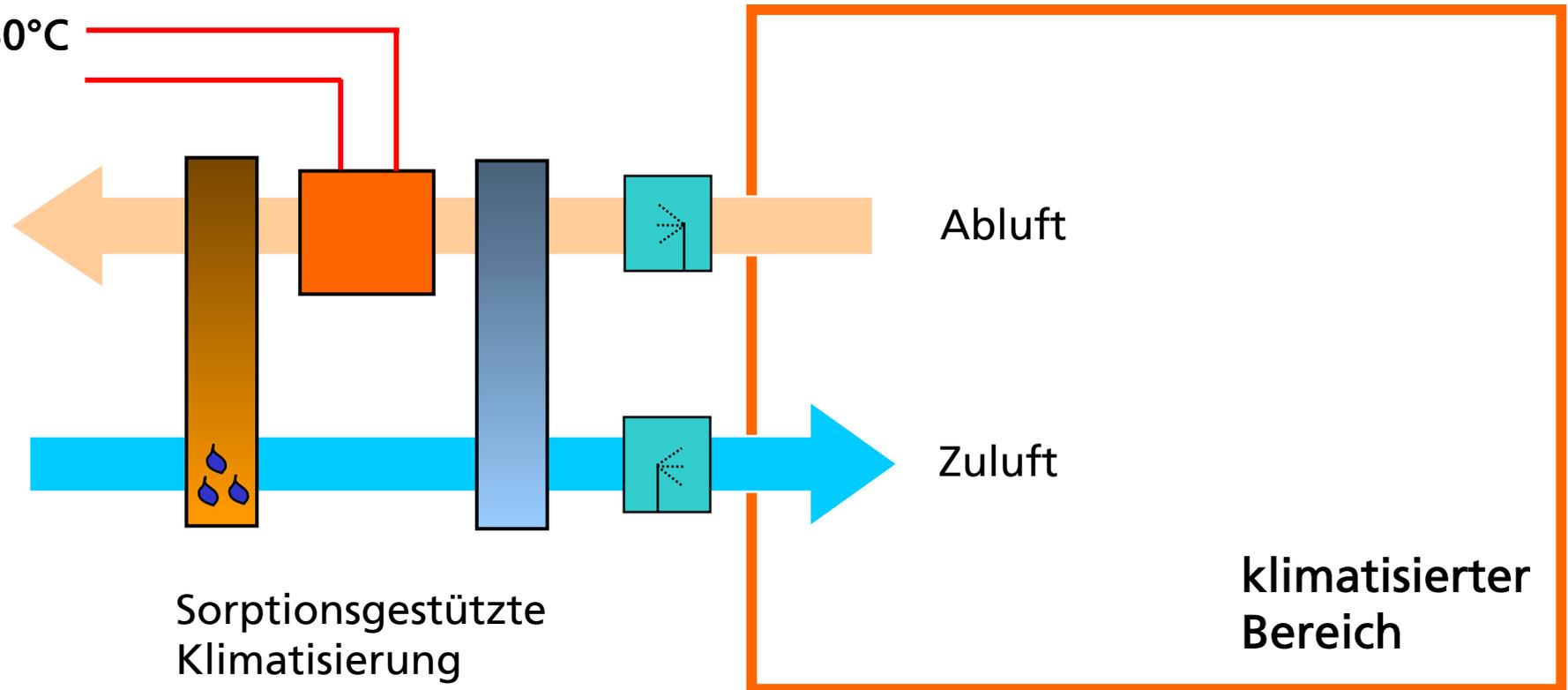
Verteil-Medium: Kaltwasser



Verteil-Medium: konditionierte Luft

Antriebs-
temperatur

> 50°C



marktverfügbare Techniken

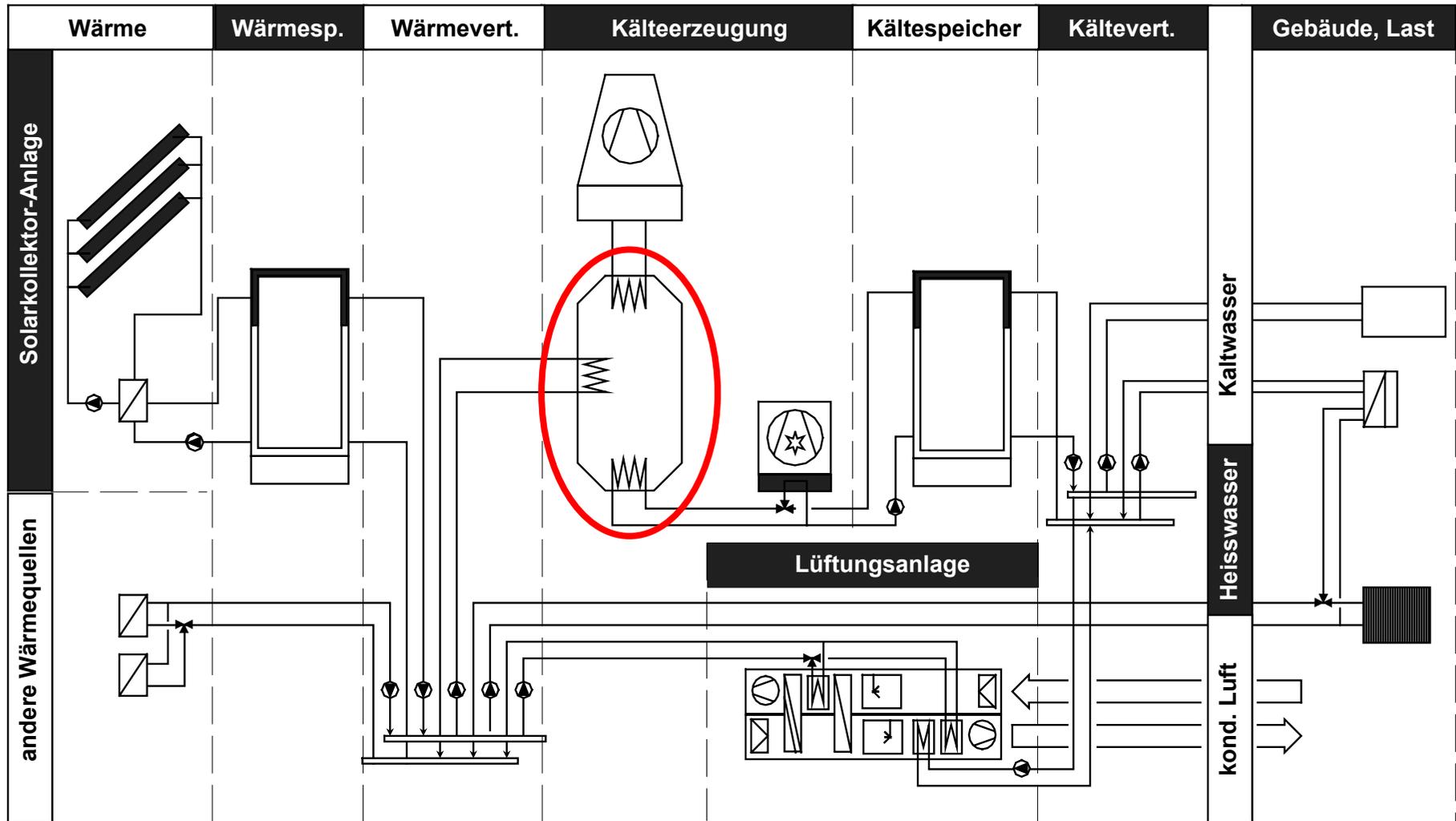
Verfahren	geschlossene Verfahren zur Kaltwasserbereitstellung		offene Verfahren zur Luftkonditionierung	
Art Sorptionsmittel	fest	flüssig	fest	flüssig ¹⁾
				
typische Stoffsysteme (Kältemittel / Sorptionsmittel)	Wasser - Silikagel, Ammoniak - Salz ¹⁾	Wasser - Wasser-Lithiumbromid, Ammoniak - Wasser	Wasser - Silikagel, Wasser - Lithiumchlorid-Zellulose	Wasser - Calciumchlorid, Wasser - Lithiumchlorid
marktverfügbare Technik	Adsorptionskältemaschine	Absorptionskältemaschine	sorptionsgestützte Klimatisierung	Pilotanlagen
marktverfügbare Leistung [kW Kälte]	5 - 430 kW	10 kW bis >5 MW	20 kW - 350 kW (pro Modul)	-
Hersteller	D, 2 japan. Hersteller	D, USA, Asien; wenige im kleinen Leistungsb.	ca. 5 Rotorhersteller; viele Gerätehersteller	
Wärmeverhältnis (COP)	0.5-0.7	0.6-0.75 (1-stufig) < 1.4 (2-stufig)	0.5 bis >1	bis >1
typische Antriebstemperaturen	60-95°C	80-110°C (1-stufig) 130-160°C (2-stufig)	50-95°C	50-70°C
Solartechnik	FK, VRK	VRK , konzentr. Systeme	FK, SLK	FK, SLK

¹⁾ noch in Entwicklung

Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Kaltwassererzeuger



Kaltwassererzeuger - Übersicht

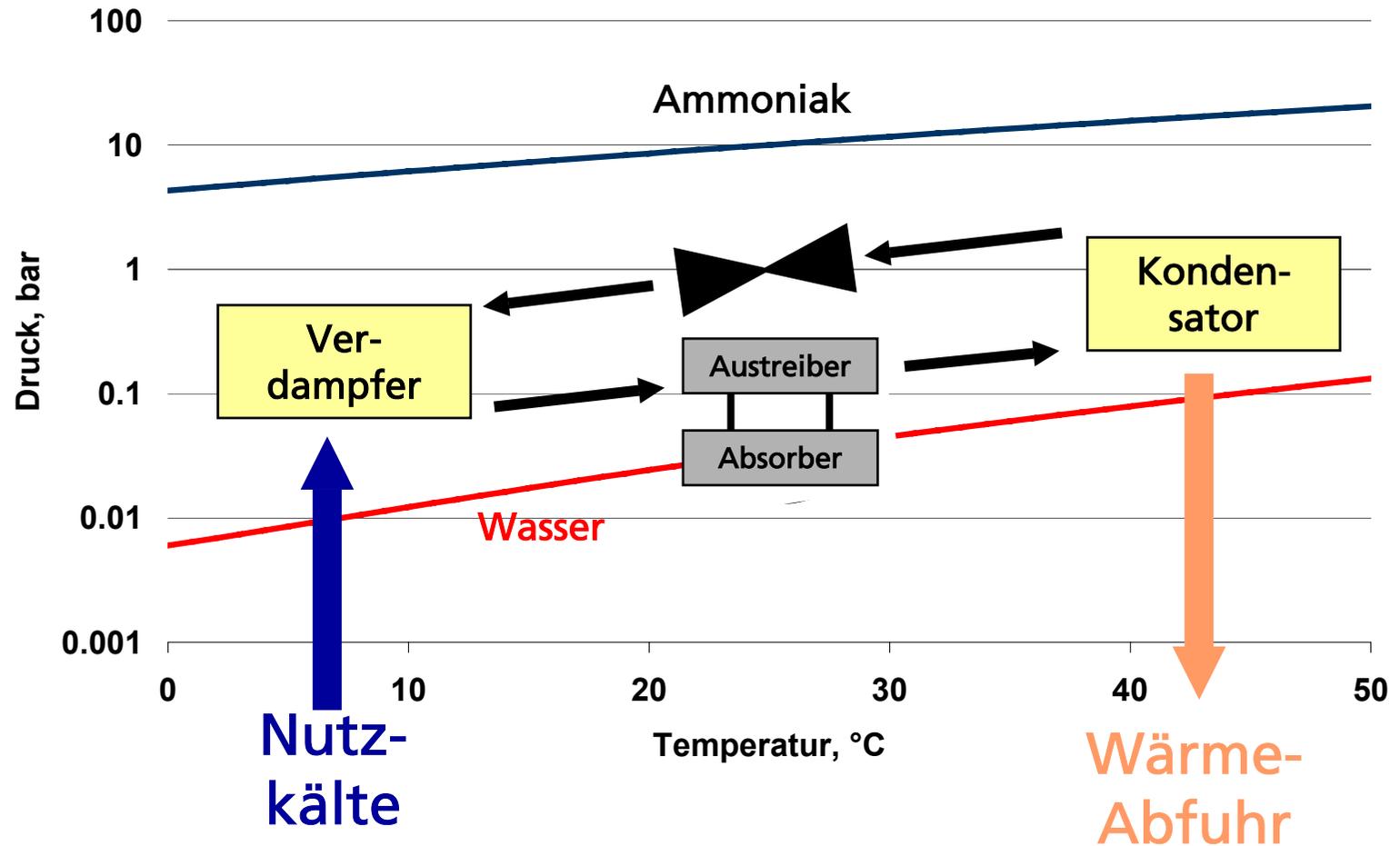
Kaltwassererzeuger stellen Kaltwasser bereit, das jede Art von Klimatechnik versorgen kann (z.B. Lüftungsanlagen, Umluftkühler bzw. fan-coils, Kühldecken, stille Kühlung,...)

1-stufige Absorption	geschlossener Kreisprozeß mit flüssigem Sorptionsmittel und flüssigem Arbeitsstoff
2-stufige Absorption	zusätzlicher zweiter Absorber und Generator führt zu höherer Effizienz bei höheren Antriebstemperaturen
Adsorption	geschlossener Kreisprozeß mit festem Sorptionsmittel und flüssigem Arbeitsstoff; quasi-kontinuierlicher Betrieb

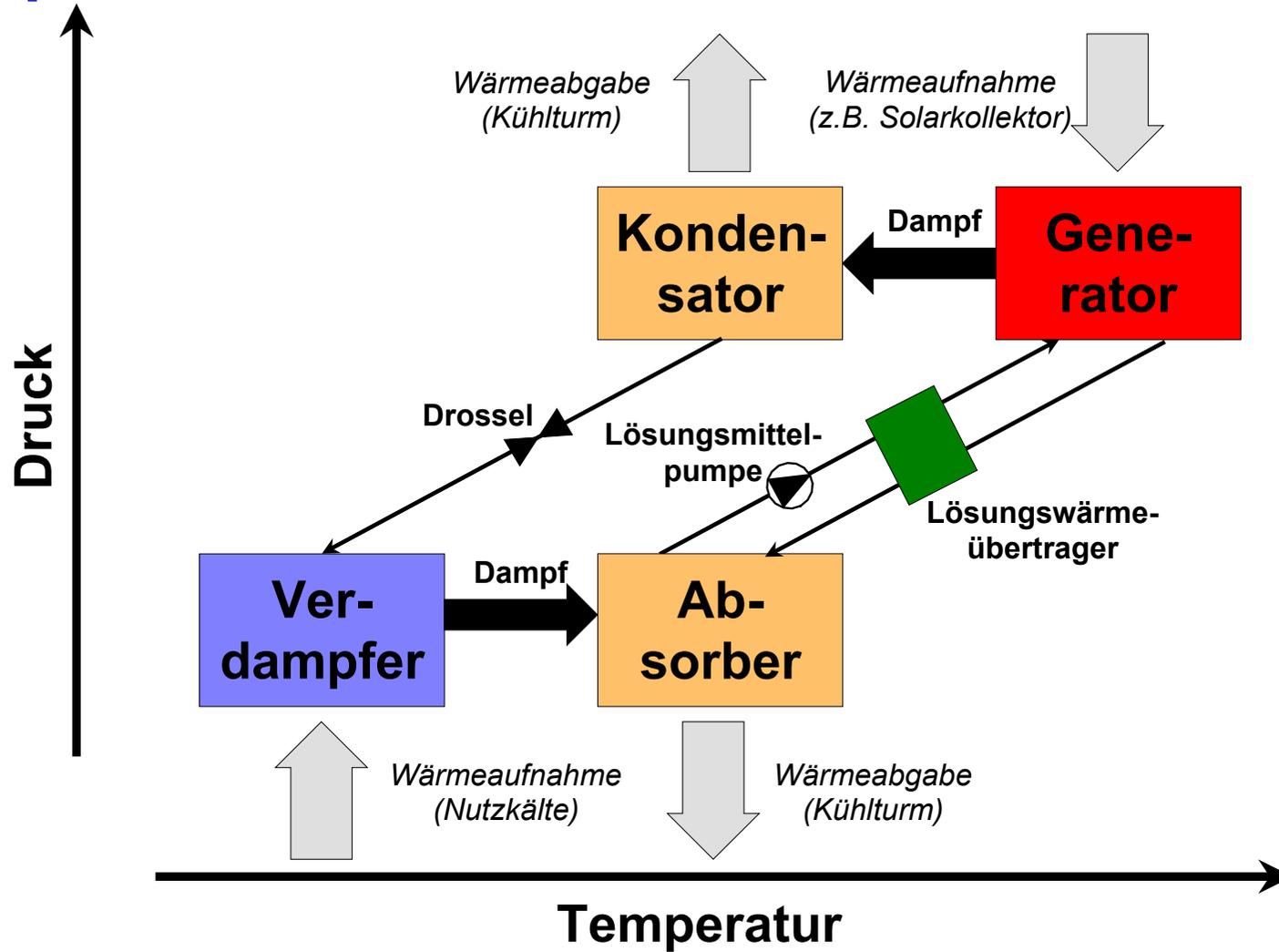
Absorption - grundlegender Prozess

- Absorption ist die Lösung von Molekülen aus der Gasphase in einer Flüssigkeit
- Die Bindung der Moleküle ist reversibel, d.h. der Arbeitsstoff (Kältemittel) kann periodisch absorbiert und desorbiert werden
- Der Gleichgewichtsdampfdruck des Arbeitsmittels ist in der Nähe des nicht gesättigten Absorptionsmittels abgesenkt
- Dieser Effekt kann benutzt werden, um einen geschlossenen Kreisprozess zu realisieren, bei dem das Sorptionsmittel zirkuliert und im Absorber Arbeitsstoff absorbiert und im Generator Arbeitsstoff abgibt

Absorption - Verfahren



Absorption - Verfahren



Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

■ einstufige Absorptionskältemaschinen

- ◆ viele Produkte im Leistungsbereich > 100 kW; wenige Produkte < 100 kW
- ◆ Antriebstemperatur $75^{\circ}\text{C} \dots 110^{\circ}\text{C}$
- ◆ für Klimatisierung fast ausschließlich Systeme mit Wasser/LiBr; für Tieftemperaturkälte Ammoniak/Wasser
- ◆ die meist genutzte Maschine in Verbindung mit solarer Klimatisierung ist die WFC 10 von Yazaki (35 kW)
- ◆ neue Maschine von EAW (Westenfeld) mit 15 kW Leistung



■ zweistufige Absorptionskältemaschinen

- ◆ einige Hersteller von 2-stufigen Absorptionskältemaschinen; oft direkt befeuerte Systeme; keine Produkte < 100 kW
- ◆ Antriebstemperatur $140^{\circ}\text{C} \dots 160^{\circ}\text{C}$ (Dampf, Druckwasser)



Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

- einstufige Absorptionskältemaschinen;
 - ◆ Entwicklung bei der SK Sonnenklima GmbH (Berlin): 10 kW-Anlage für solare Klimatisierung, Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser



SK SonnenKlima GmbH

Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

■ einstufige Absorptionskältemaschinen;

- ◆ Entwicklung bei der SK Sonnenklima GmbH (Berlin): 10 kW-Anlage für solare Klimatisierung, Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Rotartica, Spanien: 4.5 kW-Anlage mit Wärmepumpenfunktion; luftgekühlt
Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser



Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

■ einstufige Absorptionskältemaschinen;

- ◆ Entwicklung bei der SK Sonnenklima GmbH (Berlin): 10 kW-Anlage für solare Klimatisierung, Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Rotartica, Spanien: 4.5 kW-Anlage mit Wärmepumpenfunktion; luftgekühlt
Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei ClimateWell, Schweden: 10 kW-Anlage mit integriertem Speicher, Stoffpaar: Lithium-Chlorid



Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

■ einstufige Absorptionskältemaschinen;

- ◆ Entwicklung bei der SK Sonnenklima GmbH (Berlin): 10 kW-Anlage für solare Klimatisierung, Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Rotartica, Spanien: 4.5 kW-Anlage mit Wärmepumpenfunktion; luftgekühlt
Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Climatewell, Schweden: 10 kW-Anlage mit integriertem Speicher, Stoffpaar: Lithium-Chlorid
- ◆ Entwicklung bei Robur, Italien: ca. 17 kW-Anlage; luftgekühlt
Stoffpaar: Wasser/Ammoniak



Absorptionskältemaschinen - Stand der Technik

■ einstufige Absorptionskältemaschinen;

- ◆ Entwicklung bei der SK Sonnenklima GmbH (Berlin): 10 kW-Anlage für solare Klimatisierung, Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Rotartica, Spanien: 4.5 kW-Anlage mit Wärmepumpenfunktion, luftgekühlt
Stoffpaar: Lithium-Bromid/Wasser
- ◆ Entwicklung bei Climatewell, Schweden: 10 kW-Anlage mit integriertem Speicher, Stoffpaar: Lithium-Chlorid
- ◆ Entwicklung bei Robur, Italien: ca. 17 kW-Anlage;
luftgekühlt
Stoffpaar: Wasser/Ammoniak
- ◆ weitere Entwicklungen kleiner Anlagen:
z.B. FH Stuttgart, Joanneum Research/Österreich,
SolarFrost/Österreich, INETI/Portugal, ...)



Absorptionskältemaschinen - Vor- und Nachteile

■ Vorteile

- ◆ kontinuierlicher Betrieb durch flüssiges, umlaufendes Sorptionsmittel; dadurch keine Schwankungen in den Temperaturen
- ◆ höhere Leistungsdichte als Adsorptionskältemaschinen
- ◆ gute Möglichkeit der internen Wärmerückgewinnung: dadurch gute COP-Werte möglich (einstufig bis 0,7, zweistufig bis 1,4)

■ Nachteile

- ◆ Kristallisationsgefahr bei Wasser-LiBr-Maschinen: erhöhter interner Regelungsaufwand zur Vermeidung von Kristallisation
- ◆ Lösungsmittelpumpe erforderlich (außer bei Verwendung einer Blasenpumpe, die aber vom Betriebsverhalten her schwieriger ist)
- ◆ Hohe Anlaufzeit: Kaltwasser verfügbar in ca. 30-45 Minuten nach Maschinenstart

➔ heute beste Alternative im größeren Leistungsbereich (> 50 kW)

Adsorption - grundlegender Prozess

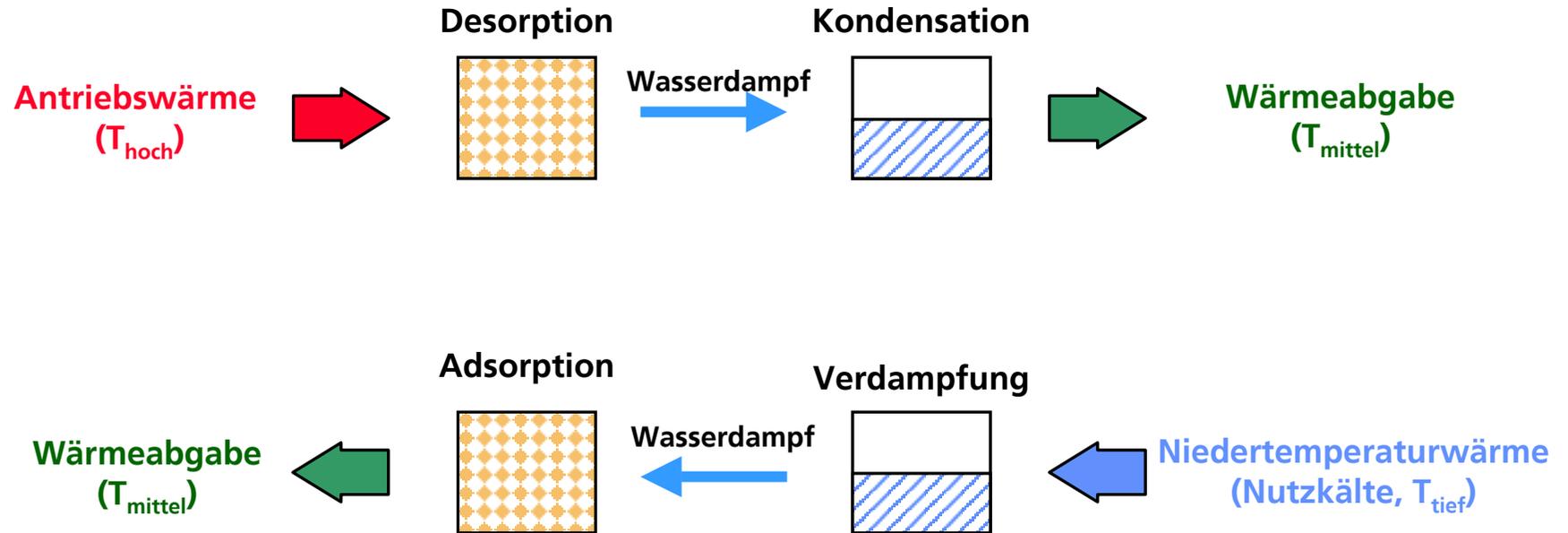
- Adsorption ist die Bindung von Molekülen aus der Gasphase an der Oberfläche eines Feststoffs
- Technische Adsorbentien sind hochporöse Materialien mit einer großen inneren Oberfläche
- Die Bindung der Moleküle ist reversibel, d.h. der Arbeitsstoff (Kältemittel) kann periodisch adsorbiert und desorbiert werden

Technische Adsorbentien:

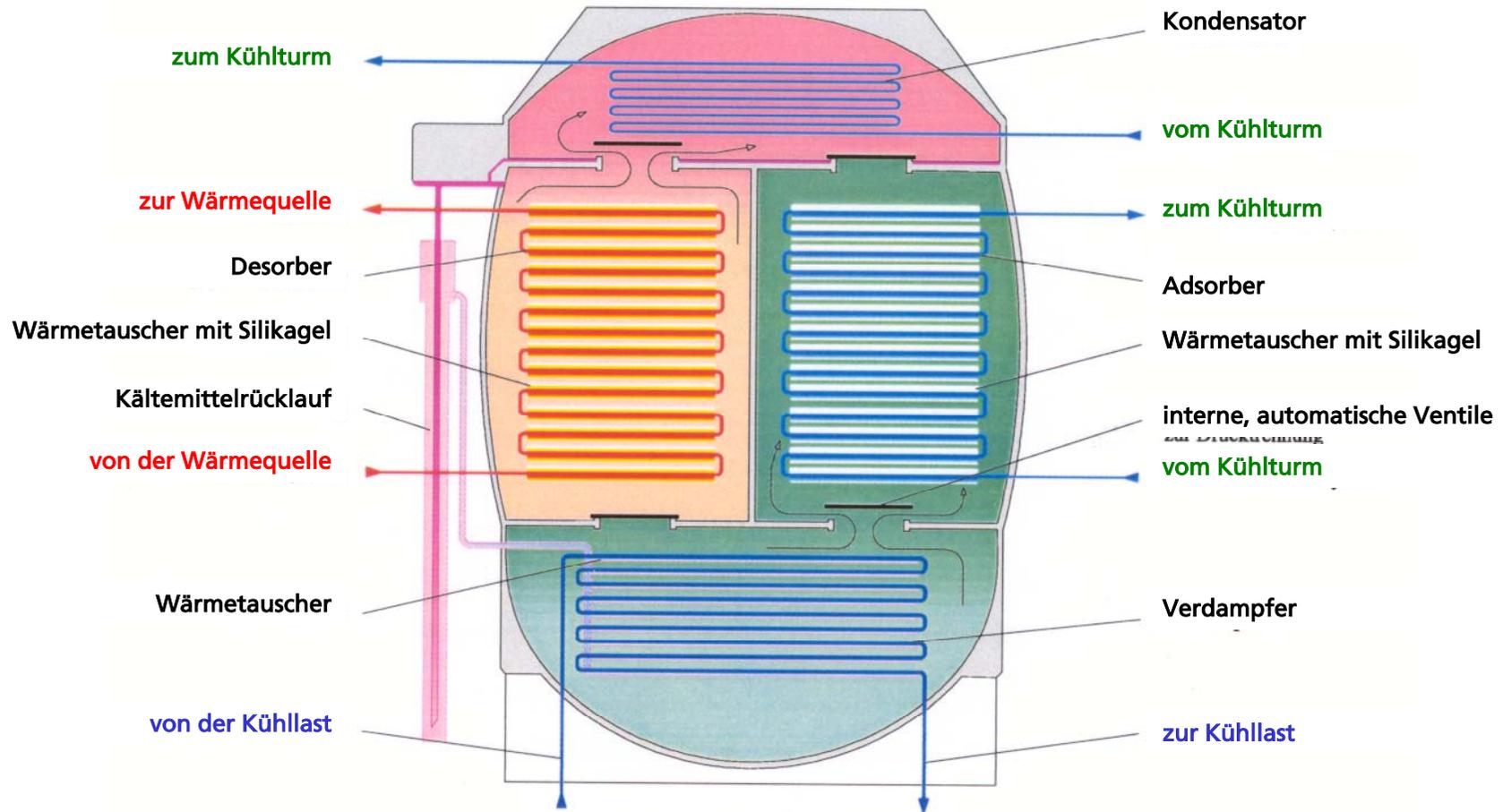
Silicagele (SiO_2)
oder Zeolithe ($\text{AlO}_4\text{-SiO}_4$)



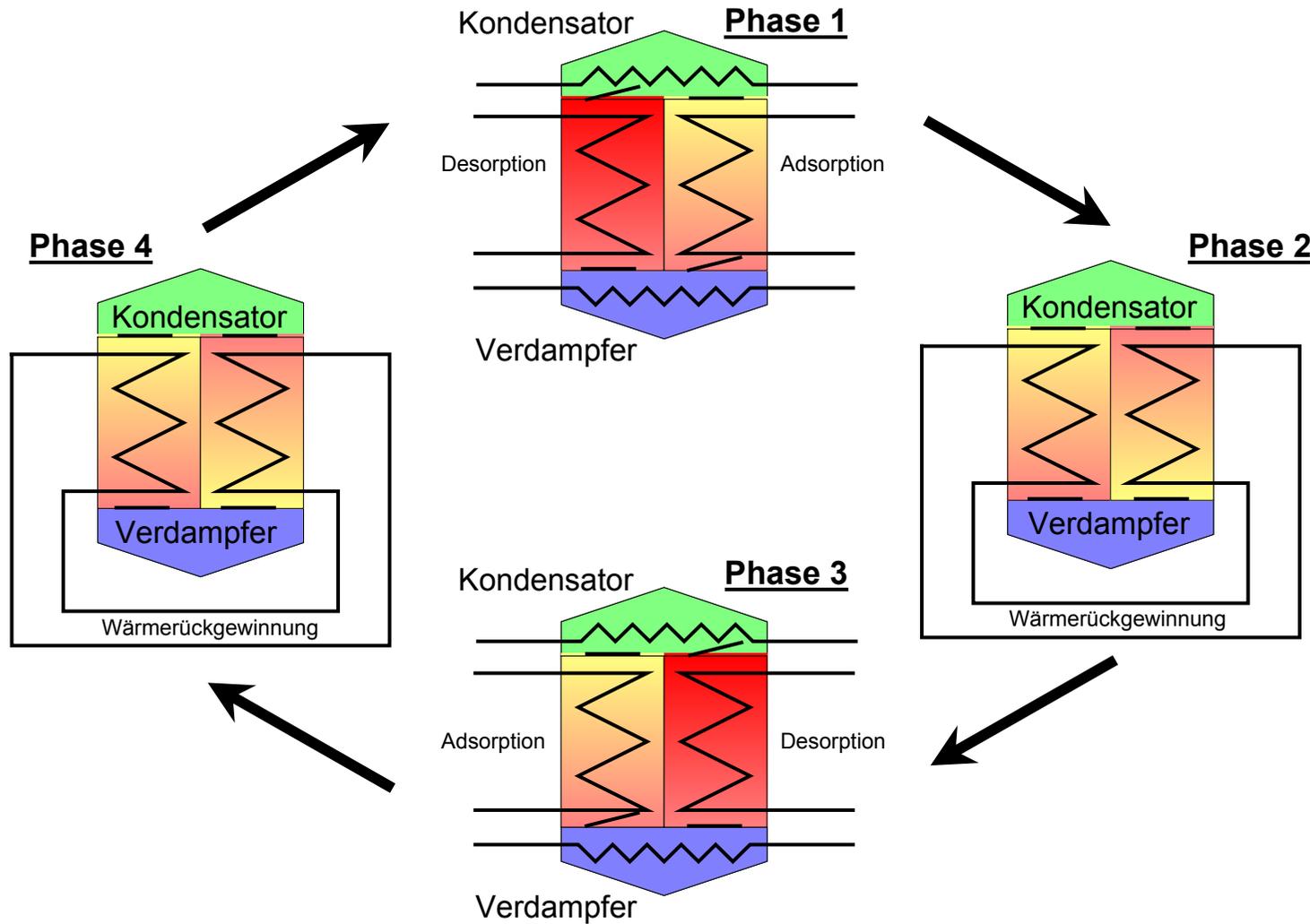
Adsorption - grundlegender Prozess



Schema einer Adsorptionskältemaschine



Maschinenzyklus



Adsorptionskältemaschinen - Stand der Technik

- zwei kommerzielle Systeme (Japanische Hersteller); teurer als 1-stufige Adsorptionskälteanlagen; großes Volumen, schwer; Leistung ca. 50 kW - 400 kW
- evtl. demnächst auf dem Markt: neue Anlage mit 35 kW (Hersteller aus Singapur)

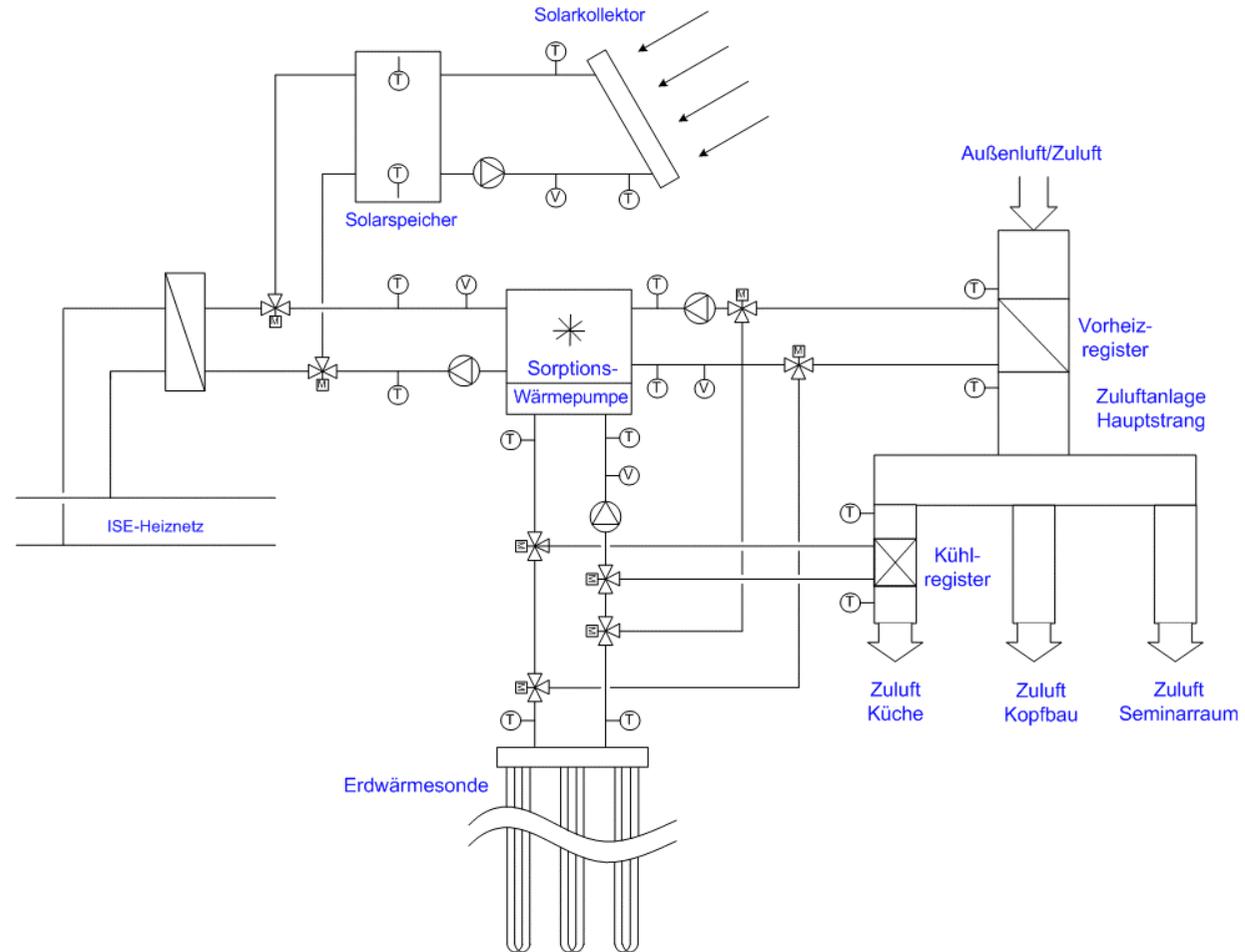


Adsorptionskältemaschinen - Stand der Technik

- Entwicklung der Fa. SorTech (Halle):
Adsorptionswärmepumpe für
solare Kühlung (5,5 kW) und
Heizen (13 kW), COP 0,6



 SorTech AG



Adsorptionskältemaschine - Vor- und Nachteile

■ Vorteile

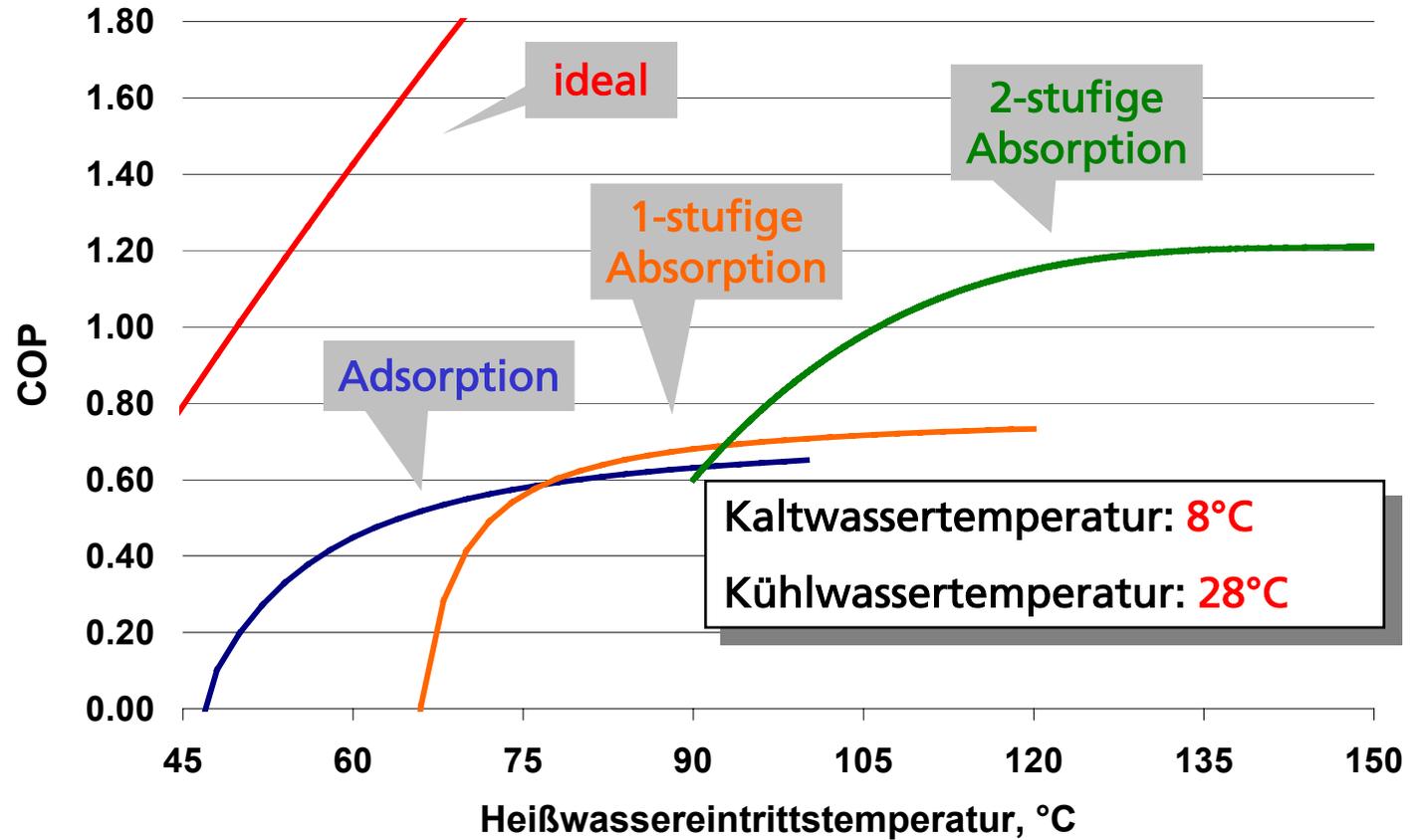
- ◆ keine internen bewegten Teile
- ◆ keine Kristallisationsgefahr; dadurch einfachere interne Regelung
- ◆ arbeitet auch noch bei niedrigen Antriebstemperaturen
- ◆ COP bis 0,6
- ◆ relativ schnelle Verfügbarkeit von Kaltwasser nach Maschinenstart (1-2 Zyklen)
- ◆ unproblematische Materialien

■ Nachteile

- ◆ periodische Betriebsweise: dadurch schwankende Temperaturen auf allen drei Temperaturniveaus
- ◆ geringere Leistungsdichte als Absorptionskältemaschinen
- ◆ eventuell etwas geringere COP-Werte als Absorptionskältemaschinen

➔ insgesamt gute Aussicht für Maschinen im kleinen Leistungsbereich (< 15 kW)

COP von Kaltwassererzeugern: Stand der Technik



COP (Coefficient of Performance)

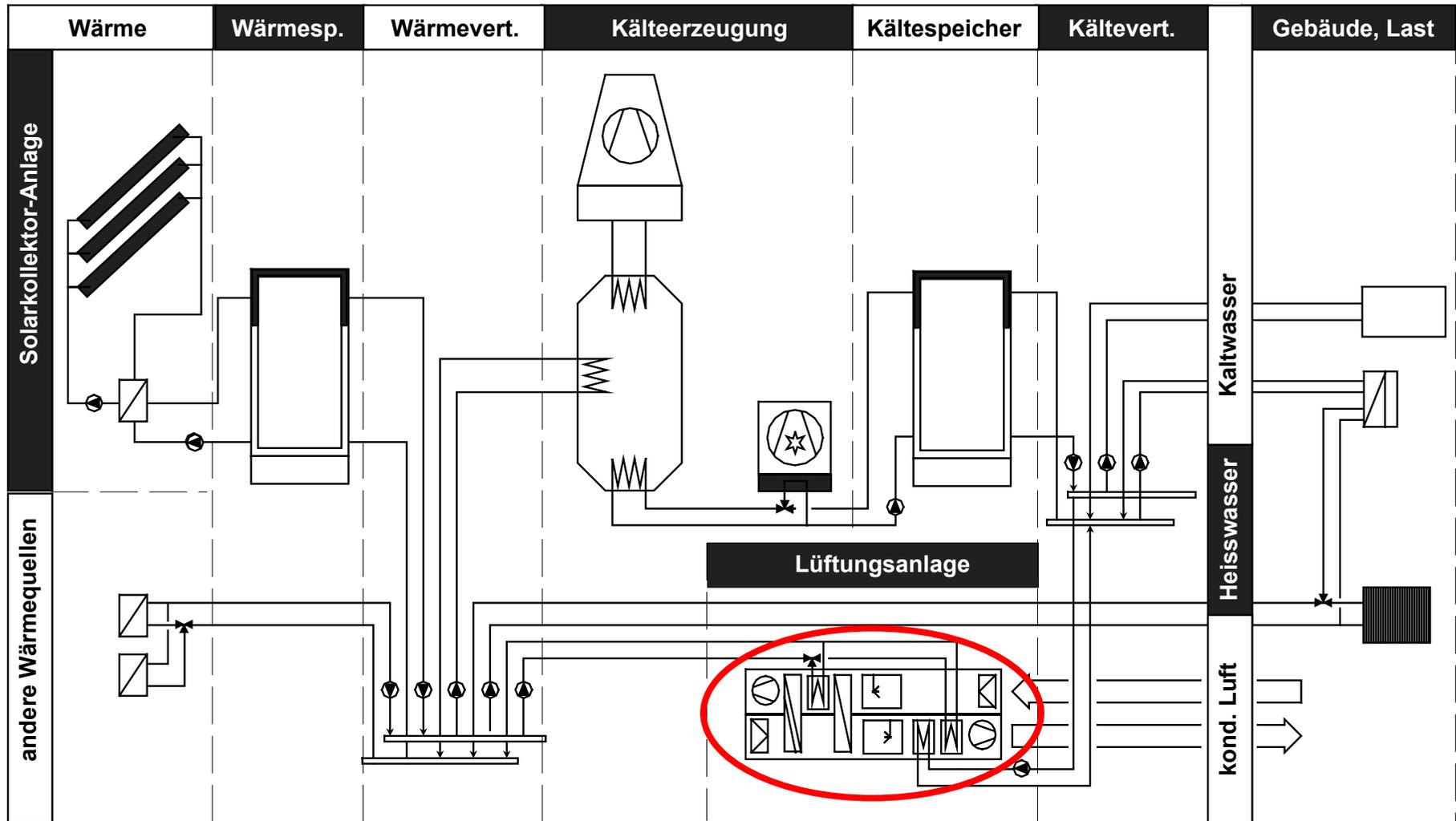
=

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

Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Offene Verfahren - direkte Luftkonditionierung

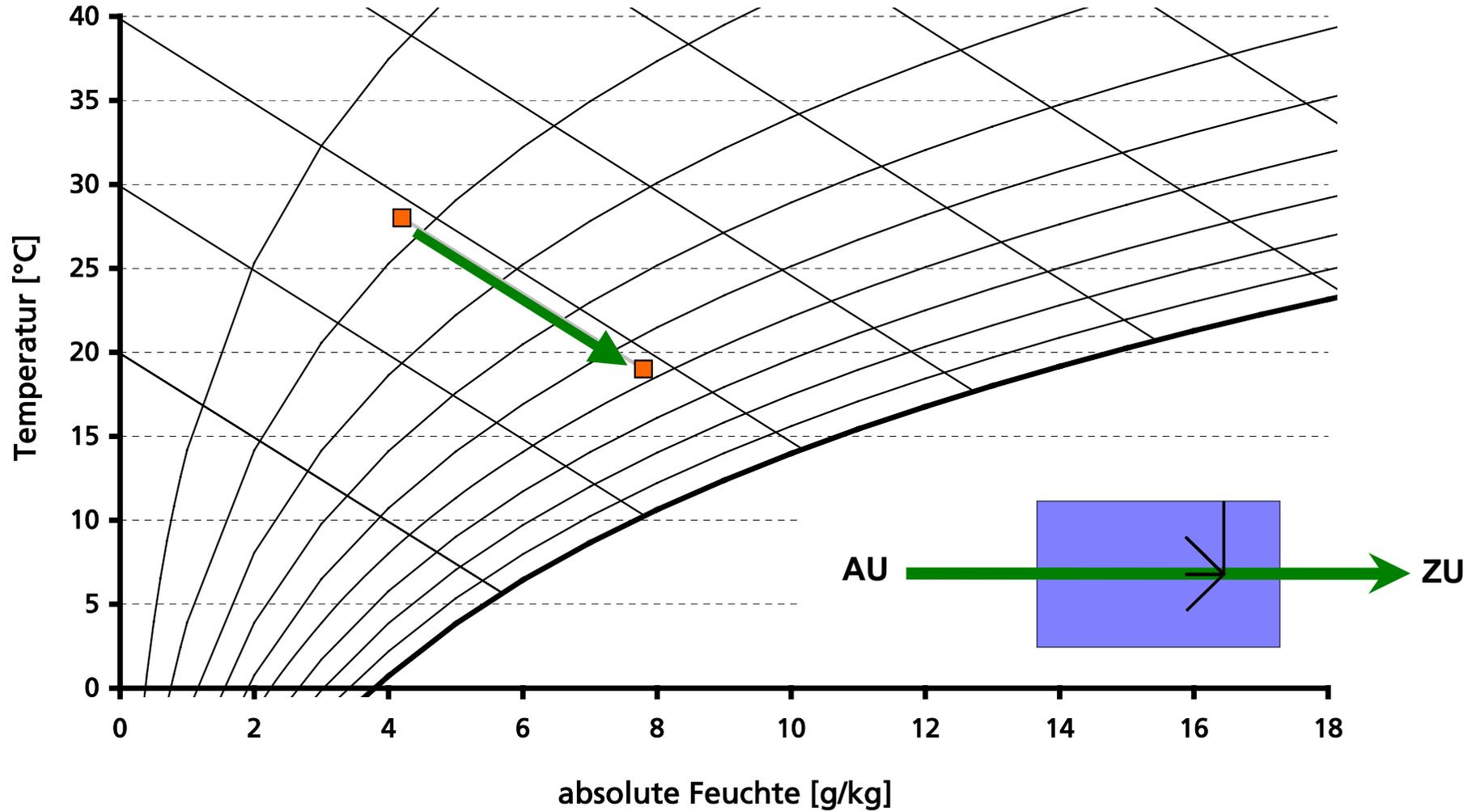


Offene Verfahren

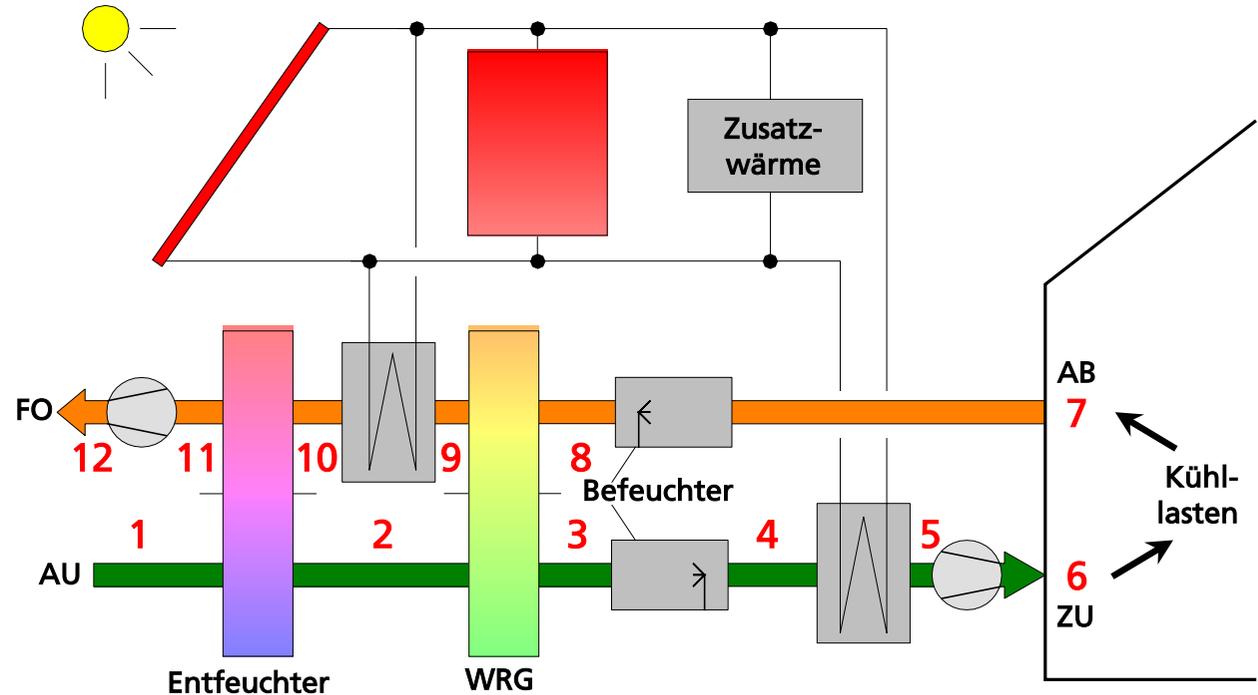
- Offene Systeme werden für die direkte Luftkonditionierung hinsichtlich Temperatur und Feuchte verwendet.
- Keine Produktion von Kaltwasser.
- Sie bestehen generell aus einer Kombination von sorptiver Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung - Trennung der Schritte Entfeuchtung und Kühlung
- Typische Antriebstemperaturen: 45°C bis 90°C
- COP 0,5 – 0,8
- besonders geeignet für Klimatisierungslösungen, in denen größere Zuluftvolumenströme gefragt sind

- Bezeichnungen:
 - ◆ Sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK) oder
 - ◆ Desiccant evaporative cooling (DEC)

Direkte Verdunstungskühlung



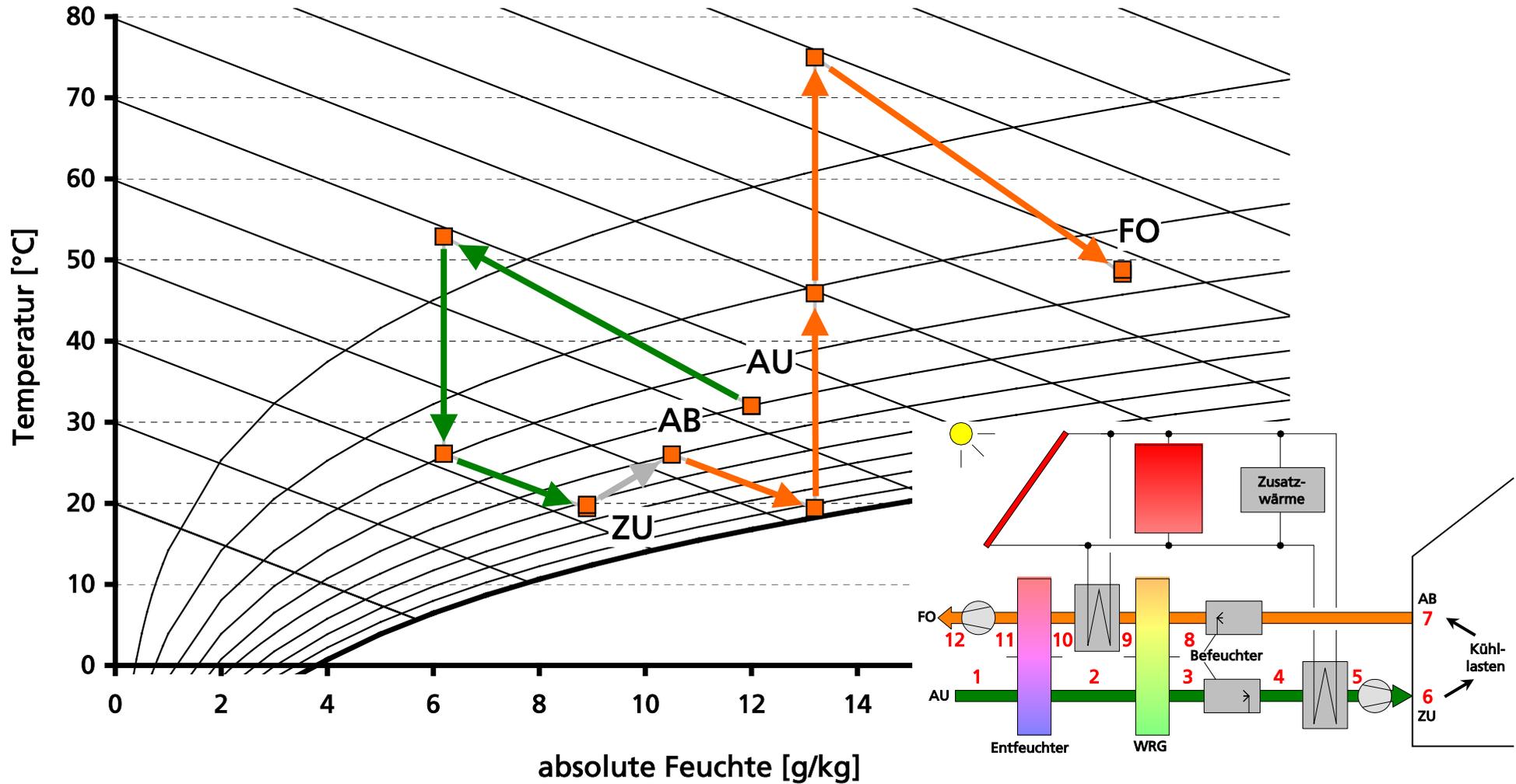
Standardprozess für moderates Klima (z.B. Mitteleuropa)



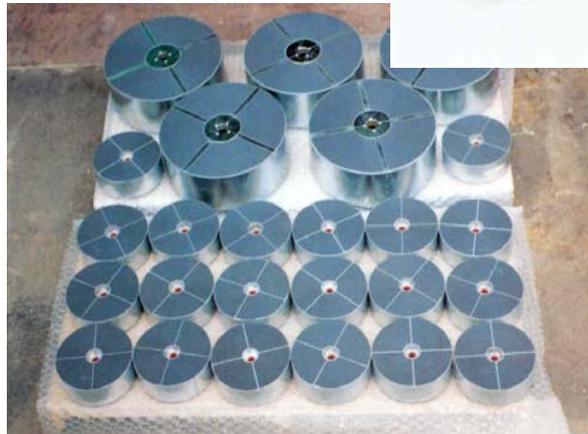
Standard-SGK-Verfahren

Entfeuchter zusätzlich zum System mit kombinierter Verdunstungskühlung

Standardprozess für moderates Klima (z.B. Mitteleuropa)



Beispiele: Sorptionsrotoren



Offene Verfahren - Stand der Technik

Systeme mit Sorptionsrotoren



- Sorptions-Rotoren sind in einem großen Leistungsbereich verfügbar
- eingesetzte Sorptionsmaterialien entweder Silikagel oder LiCl
- In Deutschland zur Zeit ca. 120 Anlagen.
- (ca. 8 Hersteller weltweit: Japan, USA, Indien, Schweden, Deutschland)
- verschiedene Schaltungsvarianten für gemäßigte und feuchte Klimata möglich

Festbettsysteme mit festen Sorptionsmittel

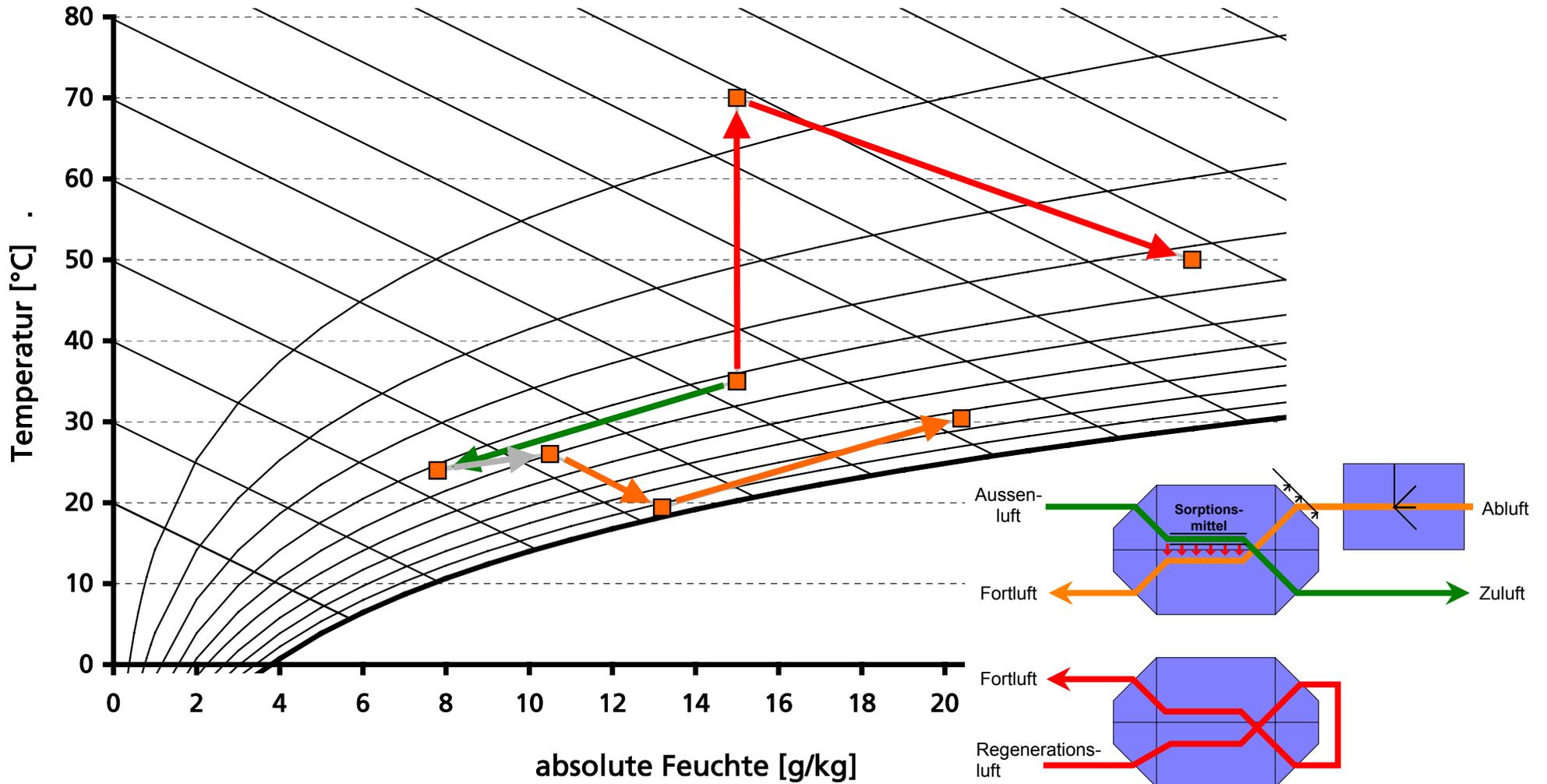
- nur wenige Hersteller und Anlagen
- aktuelle Neuentwicklung mit gekühltem Sorptionsprozess

Systeme mit flüssigem Sorptionsmittel

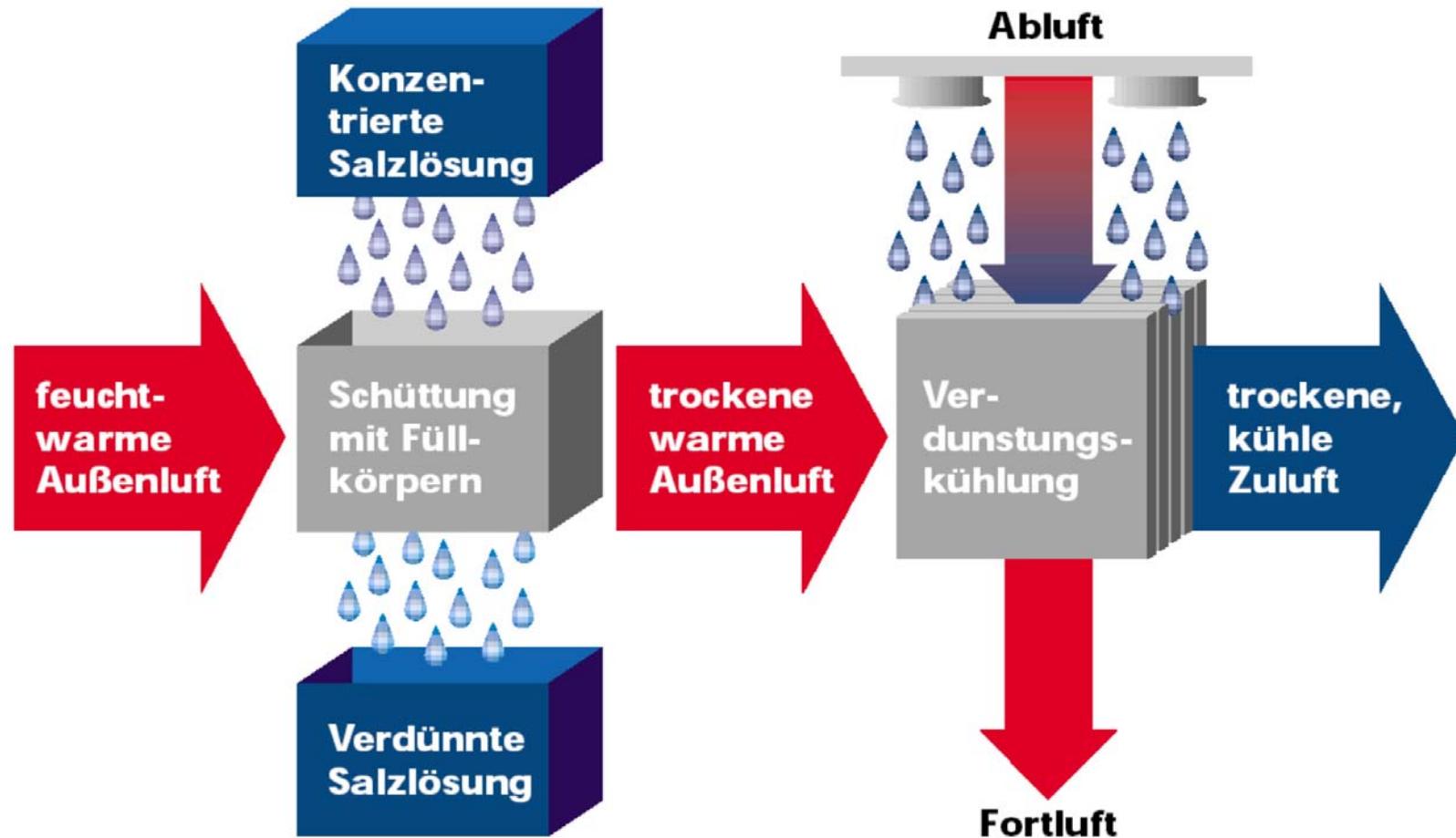
- einige Systeme befinden sich in der Phase von Tests oder Pilotanlagen; Sorptionsmittel LiCl-Lösung

=> alle 3 Systemvarianten sind im Prinzip technisch geeignet für Up- und Downscaling

Neuentwicklung: Sorptions-Gegenstromentfeuchter

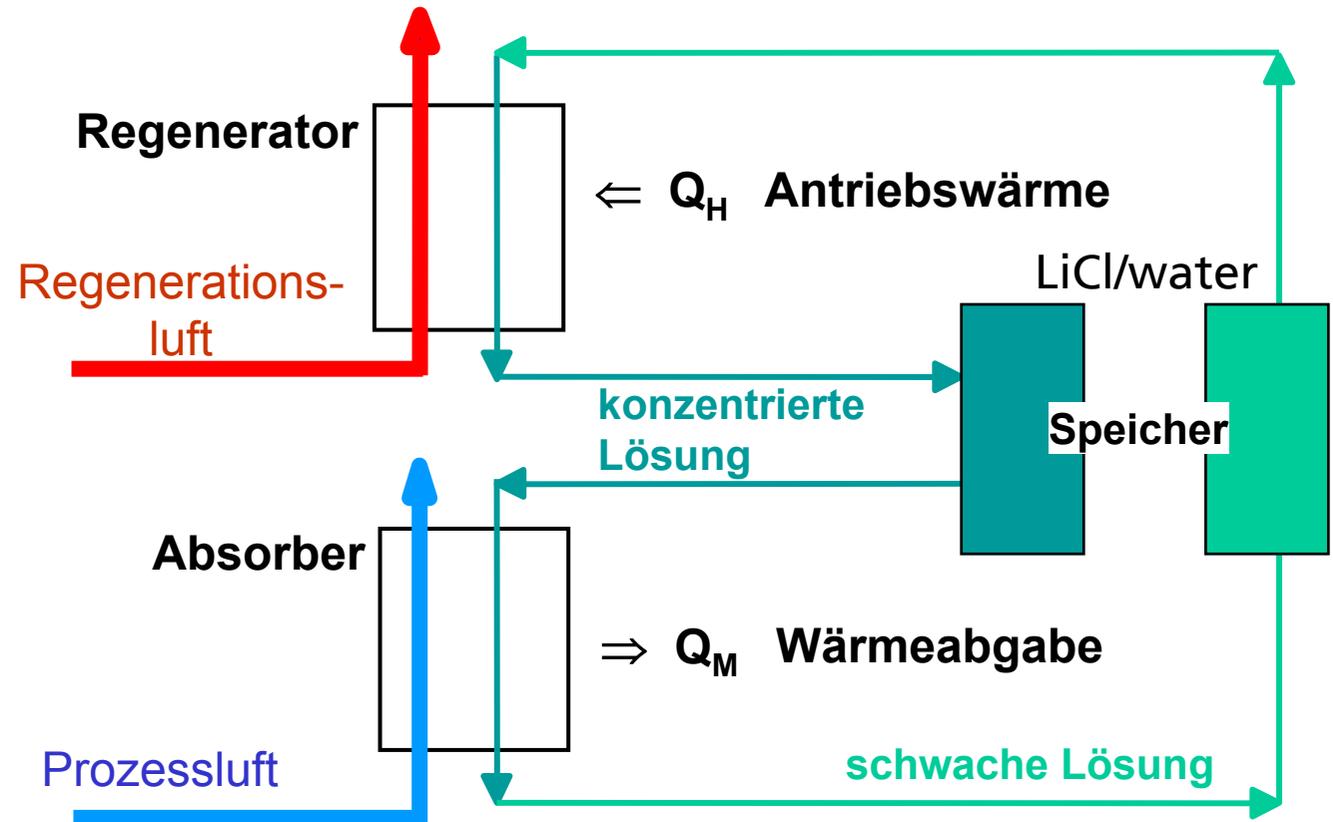


Offene Systeme mit Flüssigsorption - Prinzip



Offene Systeme mit Flüssigsorption

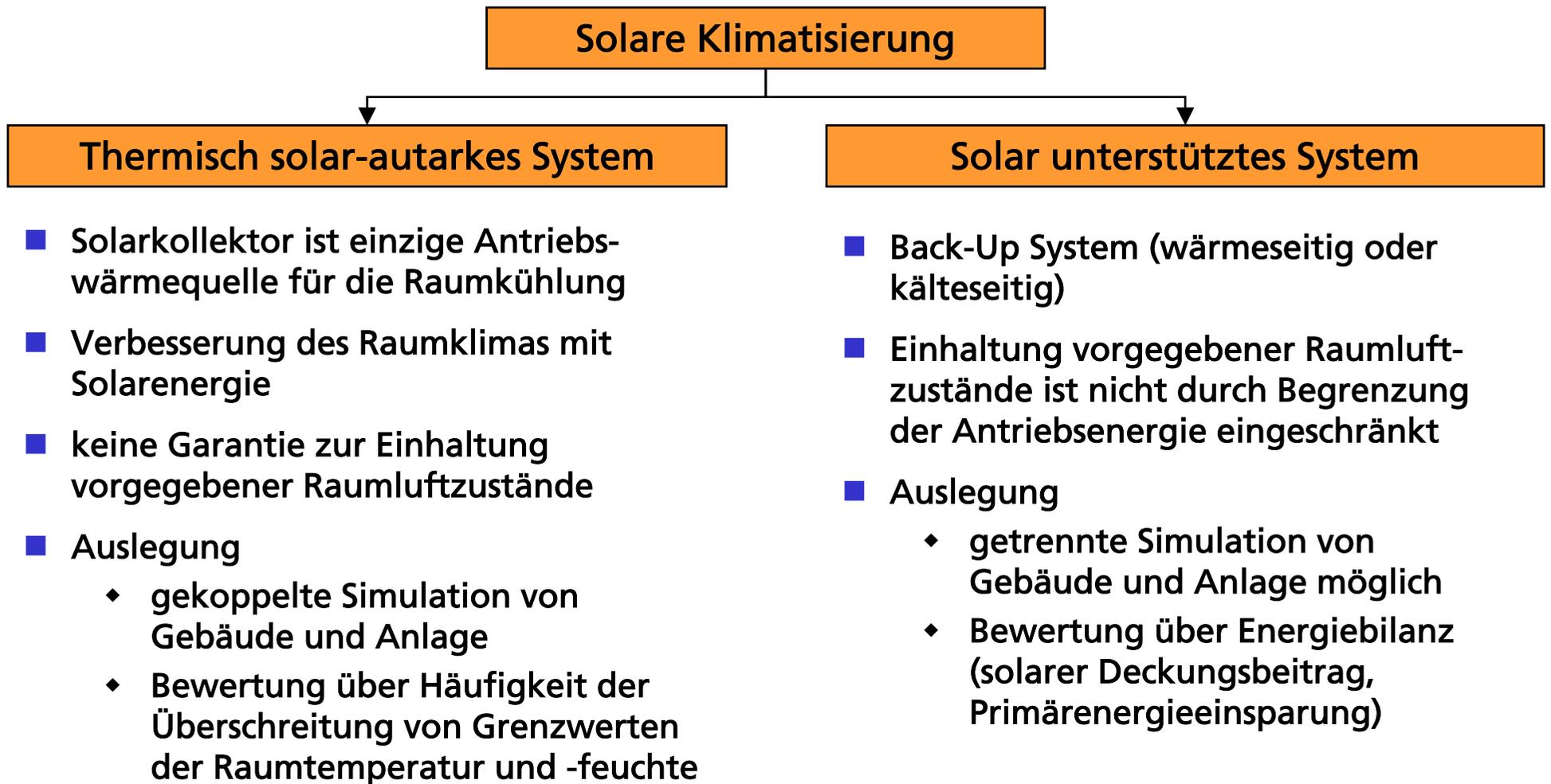
- Offene **Ab**Sorption
- Möglichkeit der verlustlosen Energiespeicherung in Salzlösung
- zeitlich versetzte (solare) Regeneration möglich
- Pilotanlagen:
Menerga (Deutschland)
Technion Haifa (Israel)
ZAE (Deutschland)



Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Solar autarke Kühlung \Leftrightarrow solar unterstützte Kühlung



Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Temperatur



Solarluftkollektor

direkte Luft-
erwärmung



Flachkollektor

Erwärmung
einer Flüssigkeit
(Wasser-Glycol);
mit/ohne selektive
Beschichtung



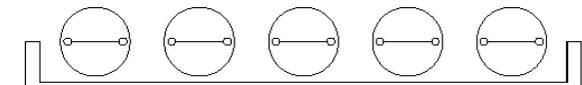
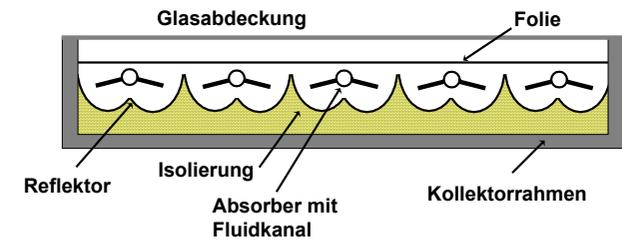
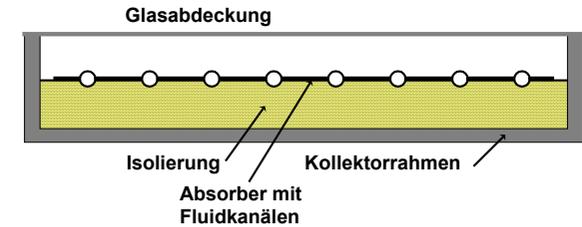
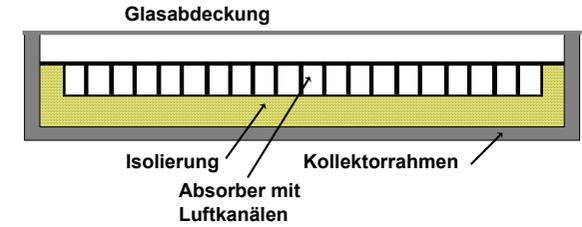
Konzentrierender Kollektor (z.B. stationärer CPC)

Erwärmung
einer Flüssigkeit
(Wasser-Glycol)
Strahlungskonz.
ohne Nachführung



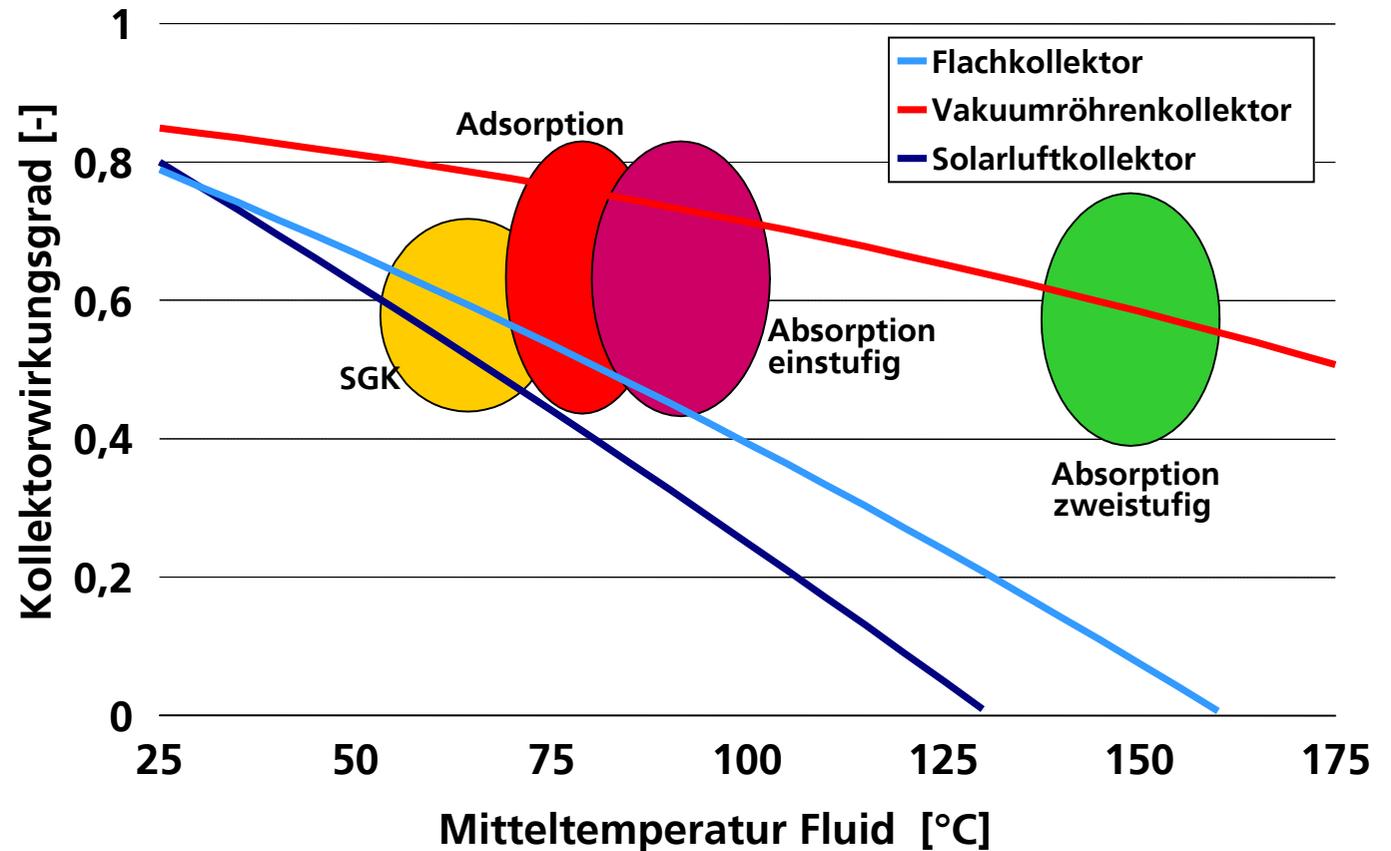
Vaku- m-Röhrenkollektor

evakuierte Glasröhre;
direktdurchströmt
oder Heat-pipe;
evtl. Konzentrator



Solar-Kollektoren und thermisch angetriebene Kühlverfahren

$T_{\text{Umgebung}} = 25^{\circ}\text{C}$
 Einstrahlung = 800 W/m^2



Solar-Kollektoren

- Interessant insbesondere für Anwendungen in Mitteleuropa:
2-Scheiben Flachkollektor mit Anti-Reflex-Beschichtung
- Problem, insbesondere bei großen Vakuum-Röhrenkollektorfeldern:
Stillstandssicherheit !

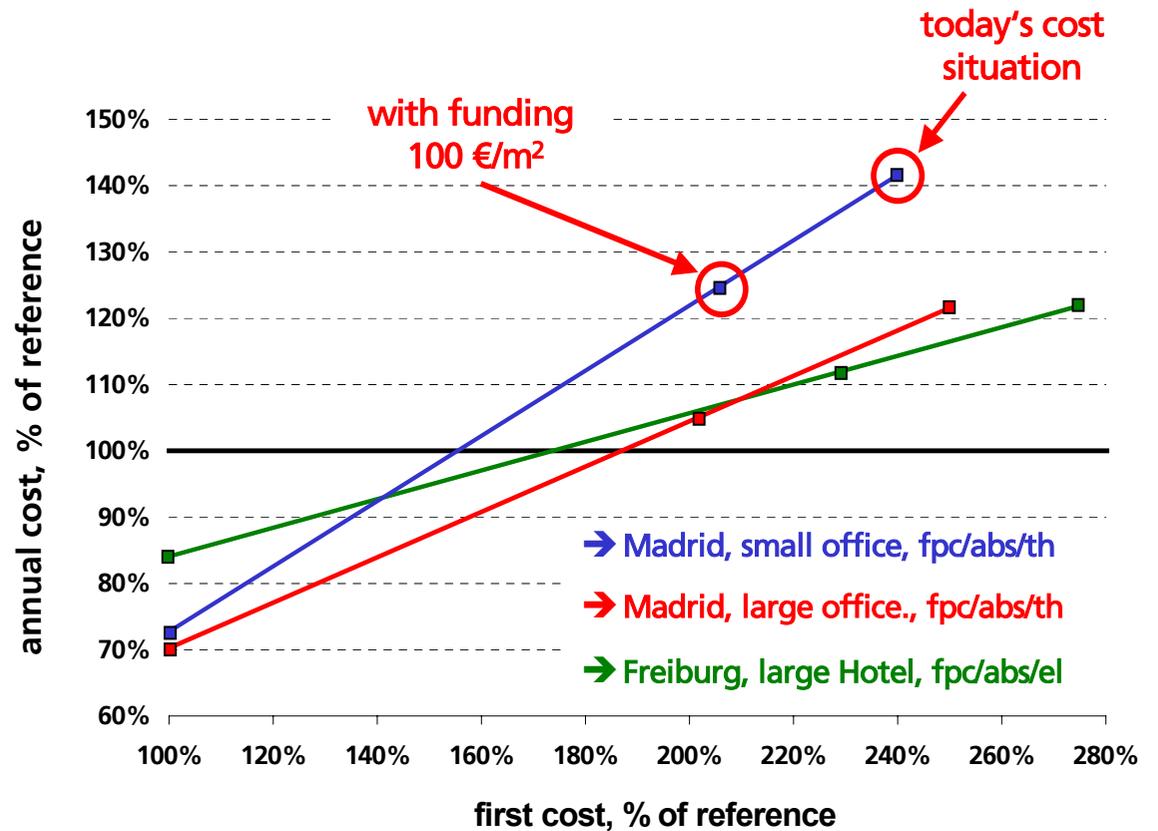
Erfahrungen in realisierten Anlagen:

- Durchströmungsprobleme
 - Stagnation, Teilstagnation
 - Zersetzung Wasser/Glykol-Fluid durch hohe Stillstandstemperaturen;
Verstopfung der Absorberröhren durch feste Glykolablagerungen
- ⇒ sorgfältige hydraulische Auslegung des Kollektorkreises !
(Einbeziehen des Kollektorherstellers in Planung)
 - Notwendig: gezielte Aufarbeitung von Erfahrungen in großen VRK-Solaranlagen

Kostensituation

Vergleich zum Referenzsystem
 Investitionskosten 2-3 fach höher
 Jährliche Kosten 1.2-1.5
 (ohne Förderung)

fpc: flat-plate collector
 abs: absorption chiller
 th: thermal back-up
 el: el. compression chiller back-up

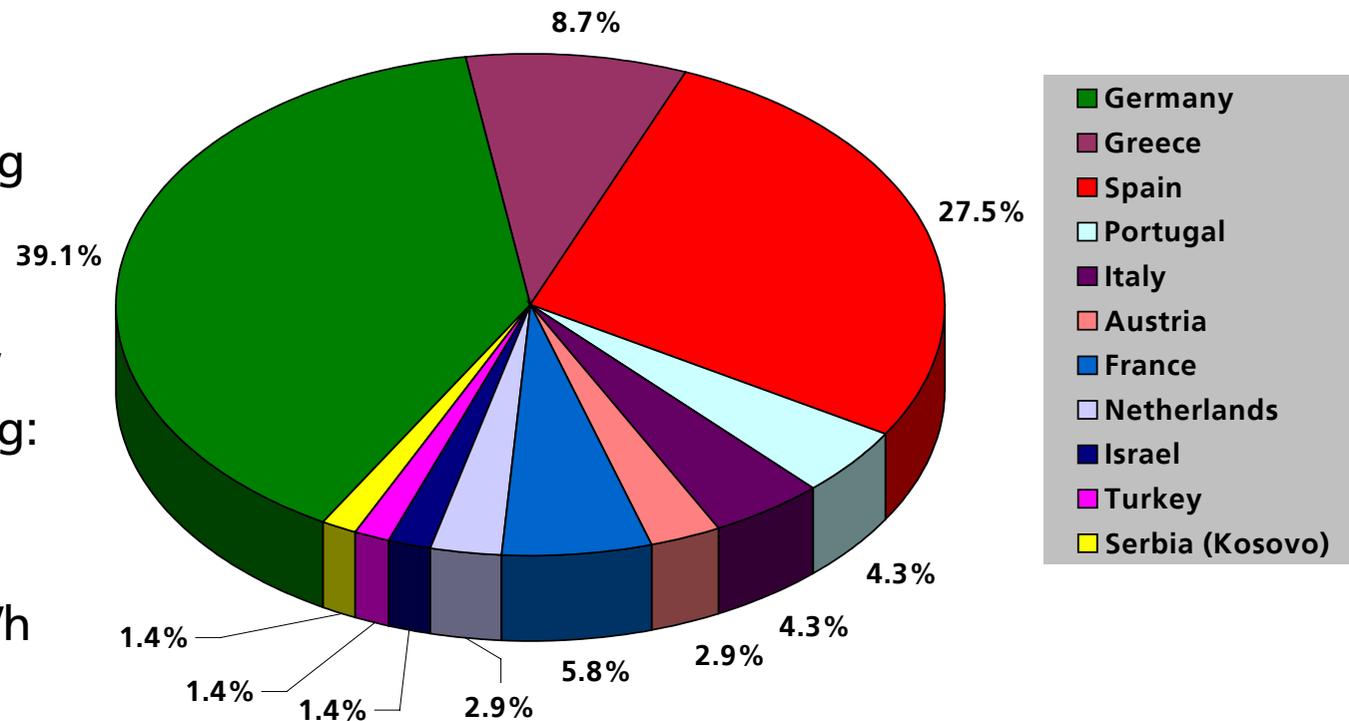


Inhaltsübersicht

- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- **Solare Klimatisierung in Europa**
 - ◆ **Beispiele realisierter Anlagen**
- Zusammenfassung und Ausblick

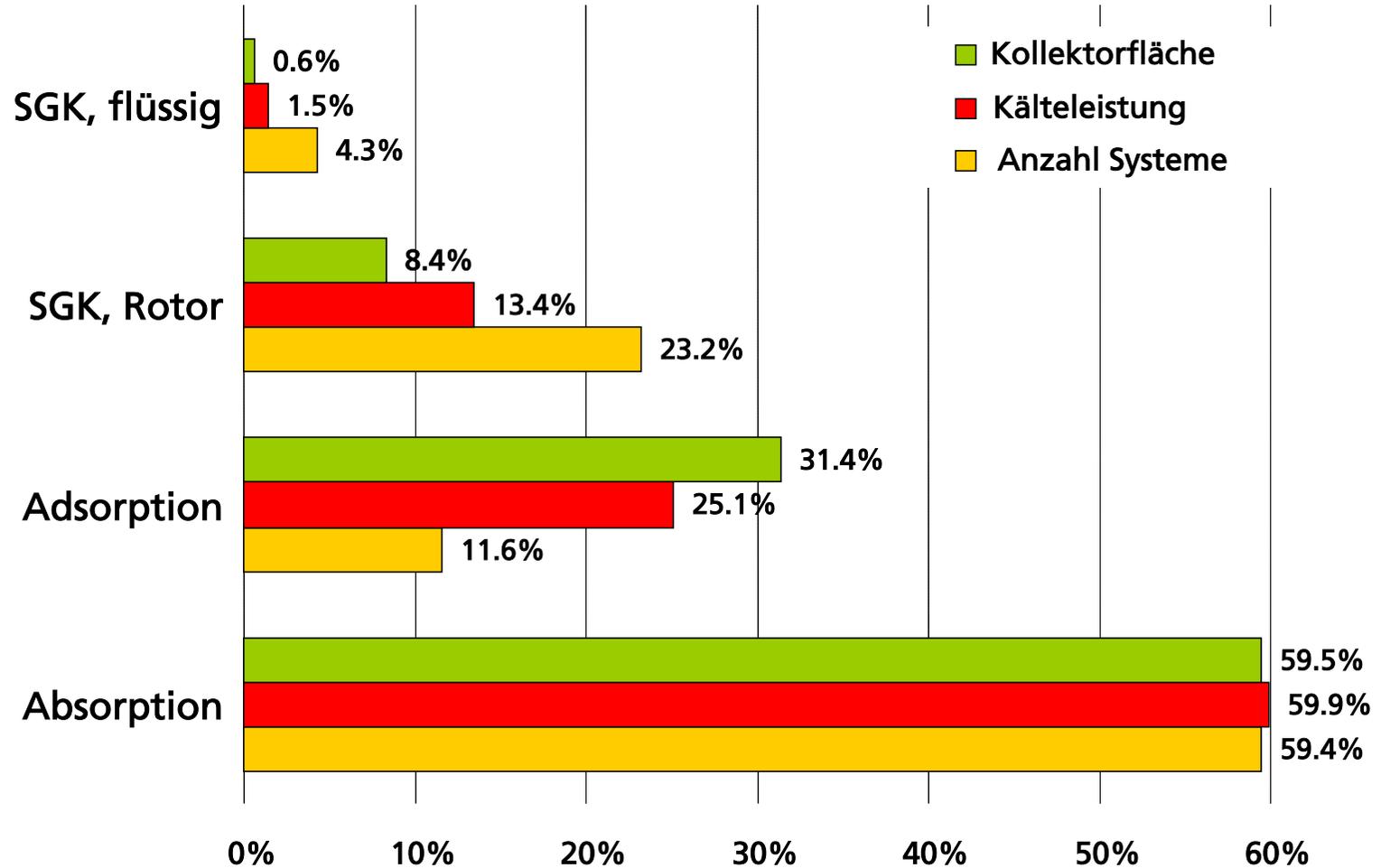
Solare Klimatisierung in Europa

- Schätzungsweise 120 Anlagen in Europa
- Installierte Kälteleistung ca. 12 MW
- Durchschnittliche Kollektorfläche pro kW installierte Kälteleistung:
 - 3 m²/kW für Kaltwassersysteme
 - 10 m² pro 1000 m³/h für DEC-Systeme



Stand 2004

Solare Klimatisierung in Europa - Technologien



Beispiele ausgeführter Anlagen - 1

Klimatisierung einer Kosmetik-Produktionsstätte

Standort: Inofita Viotias (ca. 50 km nordöstlich von Athen)

Derzeit größte Anlage weltweit

2700 m² Flachkollektoren

2 Adsorptionskältemaschinen mit je 350 kW Kälteleistung

3 Kompressionskältemaschinen mit je 350 kW

Zuluftkühlung und Fan-coils

Ziel: Einsparung von elektrischem Strom



Beispiele ausgeführter Anlagen - 2

Klimatisierung von Veranstaltungsräumen

Standort: IHK Südlicher
Oberrhein, Freiburg

**Klimatisierung von zwei
Veranstaltungsräumen (ca. 210
m² Raumfläche)**

Technik: SGK, Rotor
10200 m³/h Nennvolumen-
Luftstrom

**100 m² Luftkollektoren zum
Kühlen und Heizen**

Kein Speicher

**Konzept:
solar autarke Kühlung**

In Betrieb seit 2001



Beispiele ausgeführter Anlagen - 3

Klimatisierung einer Bibliothek

Standort: Mataro/Spanien
(Katalonien)

Betreiber: öffentliche Bibliothek

Systembeschreibung:

SGK-System (12000 m³/h)

105 m² Solarluftkollektoren und
Vorwärmung der Luft durch eine
Photovoltaik-Fassade

Anwendung:

Klimatisierung eines audiovisuellen
Zentrums (2.120 m³)



Beispiele ausgeführter Anlagen - 4

Kühlung eines Weinkellers

Standort: Banyuls (Südfrankreich)

Systembeschreibung:

Absorptionskältemaschine (52 kW Kälteleistung)

130 m² Vakuum-Röhren-Kollektoren

1 m³ Pufferspeicher

180 kW Kühlturm (offen)

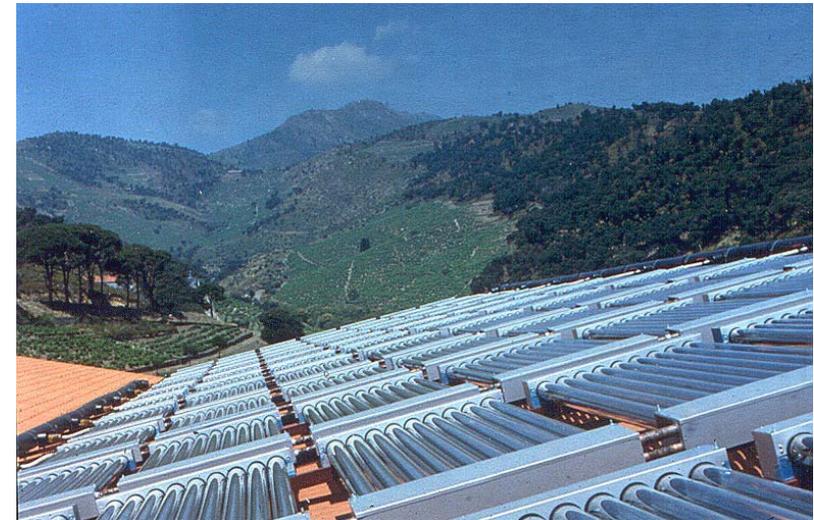
Anwendung:

Kühlung eines Weinkellers (3 Millionen Flaschen)
durch 3 Klimaanlage mit insgesamt 25.000 m³/h
Luftleistung

Besonderheit:

kein Back-up

kein größerer Speicher (Speicherung auf Lastseite)



Beispiele ausgeführter Anlagen - 5

Klimatisierung eines Laborgebäudes

Standort: Freiburg

Betreiber: Universitätsklinikum Freiburg

Systembeschreibung:

Adsorptionskältemaschine (70 kW Kälteleistung)

170 m² Vakuum-Röhrenkollektoren

2x3 m³ Solarpufferspeicher

2 m³ Kältespeicher

2 m³ Rücklaufpuffer zum Solarspeicher

Anwendung:

Klimatisierung eines Laborgebäudes
mit 2 Lüftungsanlagen

Back-Up:

thermisch über Dampfnetz des Klinikums



Beispiele ausgeführter Anlagen - 6

Klimatisierung von Seminarflächen

Pilotanlage im Solar Info Center, Freiburg:

SGK-Anlage mit flüssiger Salzlösung

17 m² Flachkollektoren

1,5 m³ Pufferspeicher

1500 m³/h Nennvolumenstrom

360 m² klimatisierte Fläche

verlustfreie Solar-
energiespeicherung

Kühlung und Heizung



Beispiele ausgeführter Anlagen - 7

Hotelklimatisierung

Standort: Dalaman (Türkische Mittelmeerküste)

Parabolrinnen-Kollektor mit 180 m² Aperturfläche zur Erzeugung von 180°C Warmwasser

2-stufige Absorptionskältemaschine mit 116 kW Nenn-Kälteleistung (4 bar Sattedampf; COP > 1.2)

Klimatisierung des Hotels und Dampflieferung für die Hotelwäscherei

Flüssiggas-betriebener Backup-Dampfkessel

- Erste Anwendung mit 2-stufiger Kältemaschine
- Hohe Effizienz
- Interessantes Konzept für Standorte mit hoher Direkteinstrahlung



Inhaltsübersicht

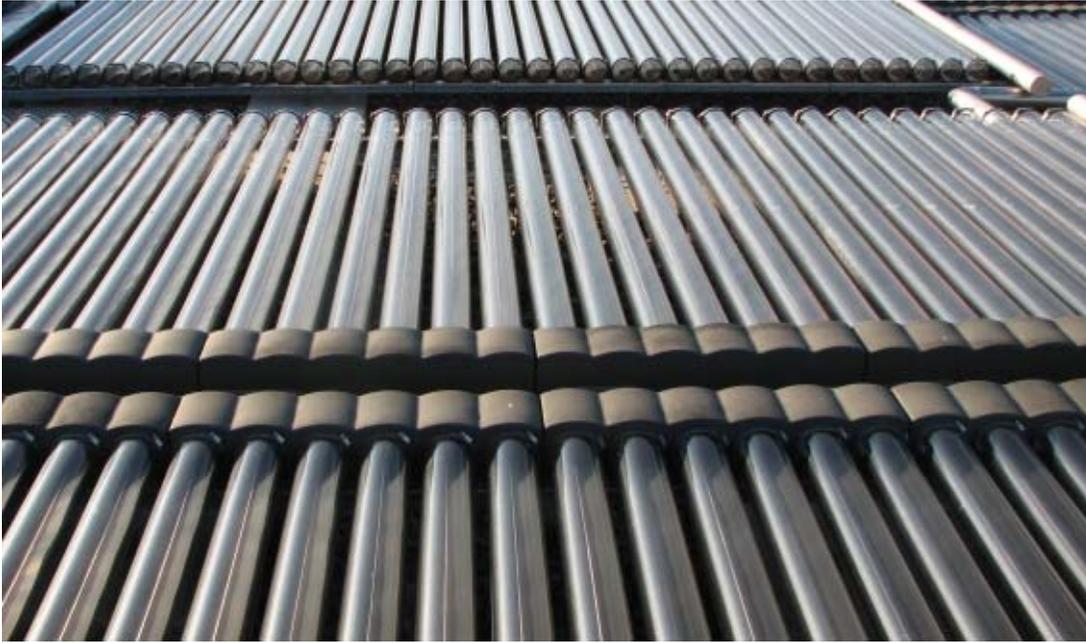
- Passive Kühltechniken
- Grundlagen
- Techniken
 - ◆ Kaltwassererzeugung
 - Absorption
 - Adsorption
 - sonstige
 - ◆ Offene Verfahren
 - feste Sorptionsmittel
 - flüssige Sorptionsmittel
- Systemauswahl und Bewertung
 - ◆ Systemauswahl
 - ◆ Kollektoren
 - ◆ Kostenbetrachtung
- Solare Klimatisierung in Europa
 - ◆ Beispiele realisierter Anlagen
- Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick I

- Zunehmendes Interesse an Solarer Kühlung
- Verschiedene Techniken zur solarthermischen Gebäudeklimatisierung marktverfügbar, aber
- nur vergleichsweise wenige Anlagen wurden bis heute installiert - die Technik befindet sich noch in einem Stadium der Entwicklung
- Erfahrungen mit ausgeführten Anlagen zeigen, dass vielfach noch Unzulänglichkeiten bestehen, insbesondere in der hydraulischen Auslegung und der Regelung
- Solare Klimatisierung ist heute in der Regel noch nicht wirtschaftlich, meist nur mit Förderung
- Standardisierung in Anlagenkonzepten und Regelung sind notwendig, um zu niedrigeren Kosten zu gelangen

Zusammenfassung und Ausblick II

- Engpässe in der Stromversorgung durch Klimaanlage (wie aktuell in Griechenland) zeigen die Notwendigkeit nach neuen Wegen
- Primärenergieeinsparungen zwischen 40 – 60 % möglich
- Weiterer Bedarf aus der Sicht der Solarnutzung:
Installation von solare Kombianlagen für Brauchwasser und Heizungsunterstützung
 - => hier stellt sich massiv die Frage nach einer Nutzenanwendung der Überschüsse im Sommer
 - => Bedarf an kleinen Geräten (< 15 kW Kälteleistung) für den Wohnbereich oder kleinen Gewerbeeinheiten, vorwiegend in südlichen Klimazonen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit