

ENERGIE.  
ZUKUNFT.  
ZAE.

# Solare Kühlung und Klimatisierung

## Technologie und Entwicklungen

Bauzentrum München Web-Forum  
Potentiale und Techniken in der Solarthermie  
11.05.2022

Dr.-Ing. Manuel Riepl



# Inhalt

1. Solares Kühlen | Die Grundlagen
2. Solarthermische Kühlung
3. Solarelektrische Kühlung (“PV-Kühlung”)
4. Vergleich zw. solarthermischer und PV-Kühlung | Bevorzugte Anwendungen
5. ZAE-Projekt zum Thema “Solare Kühlung in der SunBelt Region”
6. Zusammenfassung
7. Interessante Links, Literatur Tipps, etc.

# 1 – Solares Kühlen - Grundlagen

## Ist Kühlen ein relevanter Sektor im Energieverbrauch?

**JA!**

- Gebäude sind der dominante Sektor im Energieverbrauch
- 40% der Primärenergie (und damit der CO<sub>2</sub>- und Treibhausgasemissionen) wird für den Gebäudebereich verbraucht
- Energieverbrauch für Klimatisierung steigt stark an durch
  - Steigende interne Lasten (Elektronisches Equipment)
  - Gesteigerter Komfortanspruch
  - Architektonische Trends (Glassfassaden,..)

# 1 – Solares Kühlen - Grundlagen

## Schritte zu einem reduzierten Energieverbrauch für Kühlen (und Heizen)

- (1) Verringern der Kühllasten (optimierte Gebäude, Verschattungen,...)
- (2) Verwendung von hocheffizienten Wandlungstechnologien  
(Kältemaschinen, Wärmepumpen,...)
- (3) Einsatz von Erneuerbaren Energien und/oder passiver Kühlmethoden

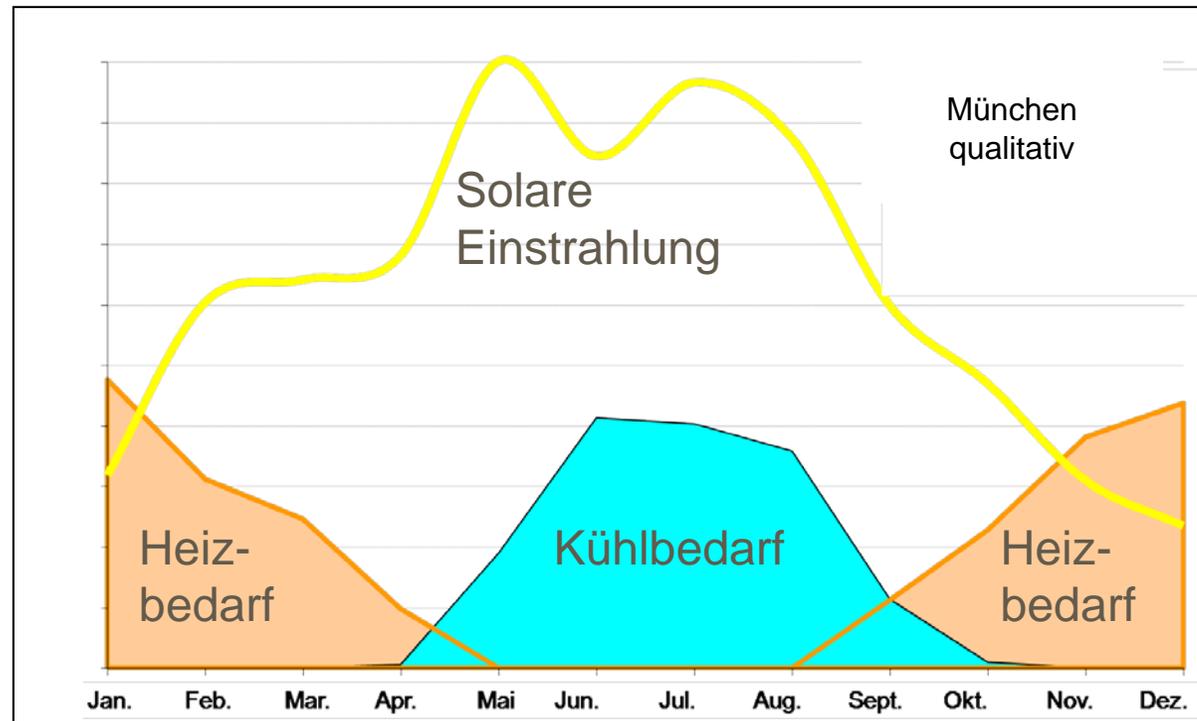
# 1 – Solares Kühlen - Grundlagen

**Ein geschickter Weg: kombiniere (2) und (3) = Solares Kühlen (und Heizen)**

- (2) Verwendung von hocheffizienten Wandlungstechnologien
- (3) Einsatz von Erneuerbaren Energien und/oder passiver Kühlmethoden

# 1 – Solares Kühlen - Grundlagen

## Solar Cooling – warum?



Koinzidenz von solarem Angebot und Kühlbedarf

Oder

Je stärker die Sonne scheint, desto höher der Kühlbedarf!

# 1 – Solares Kühlen - Grundlagen

## Die Sonne und ihre Strahlung ist

- (1) Die Ursache für heiße Umgebungstemperaturen und den Bedarf an Kühlung
- (2) Teil der Lösung zur umweltfreundlichen Kühlung

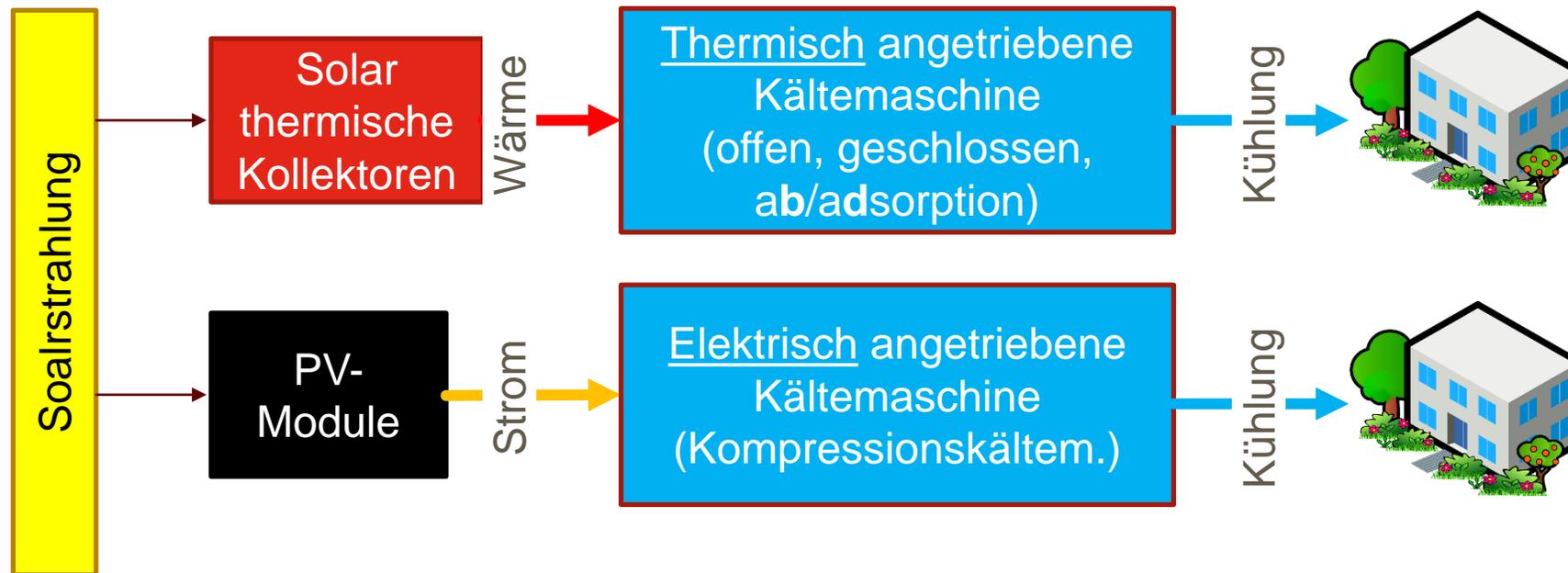


**Kühle mit der Sonne, Solare Kühlung!**

# 1 – Solares Kühlen und Heizen

## Die Basics

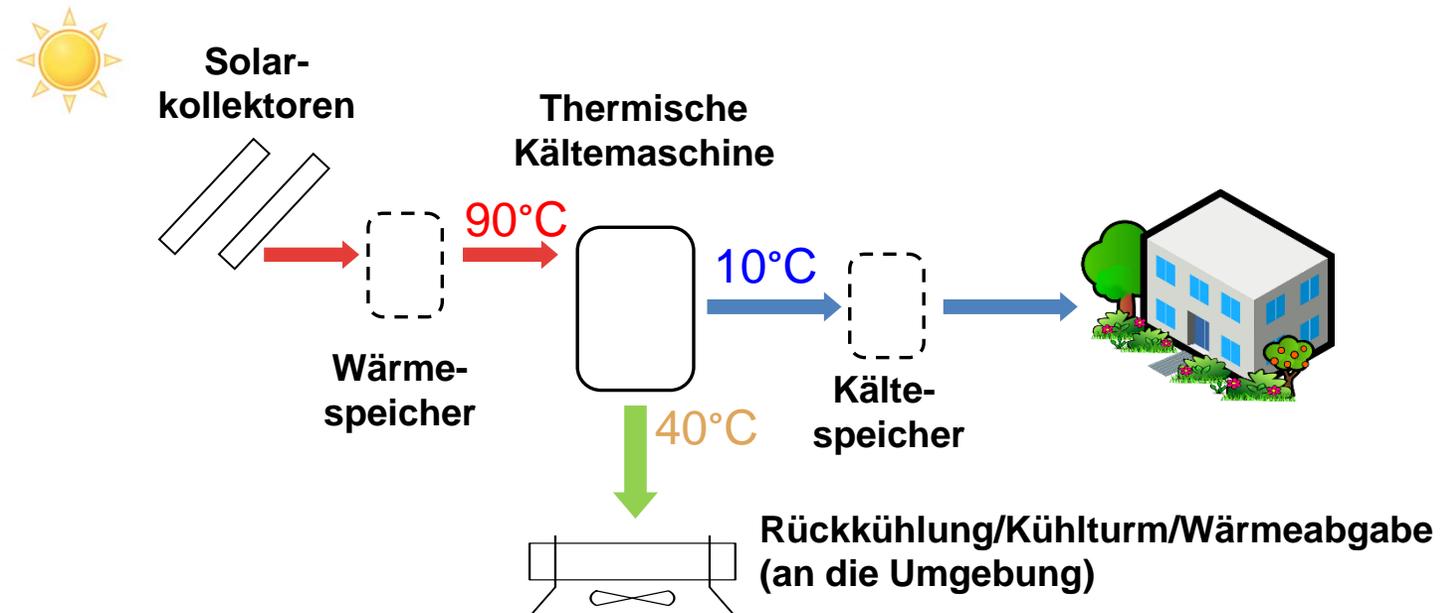
### Solare Kühlung – wie? Zwei generelle Wege:



## 2 – Solar-Thermische Kühlung

### Grundlagen

### Grundschema einer solarthermischen Kühlanlage



## 2 – Solar-Thermische Kühlung

### Komponenten

### Solarkollektoren



Eigenschaften / Typ	Flachkollektor	Vakuurröhrenkollektor	Konzentrierender Kollektor (Parabolrinne or Fresnel)
Temperatur $\Delta T$ ( $T_{\text{Fluid}} - T_{\text{Amb}}$ ) in [K]	Bis zu 80	220	Bis zu 400
Effizienz	30-45%	45-50%	40-70%
Kommentar	Günstig, relativ niedrige Effizienz und Temperaturen	Teurer, effizienter, höhere Temperaturen möglich	Teuer, aber sehr hohe Effizienz und Temperaturen

## 2 – Solar-Thermische Kühlung

### Komponenten

### Thermisch angetriebene Kältemaschinen

Eigenschaften / Typ	Absorptions-KM	Adsorptions KM	Offene Sorption
<b>Benutzt für:</b>	Klimatisierung (6-18°C) Prozesskälte (-40-6°C)	Klimatisierung, Prozesskühlung (6-18°C)	Luftentfeuchtung, Trocknungsprozesse
<b>Effizienz (EER)</b>	0,4-1,8	0,4-0,6	0,4-0,9
<b>Kommentar</b>	Weit verbreitet, in allen Leistungen verfügbar, flexibel	Kompakt, aber kleine Leistungen	Ideal für A/C-Lüftungsgeräte und Entfeuchtung

## 2 – Solar-Thermische Kühlung

### Komponenten

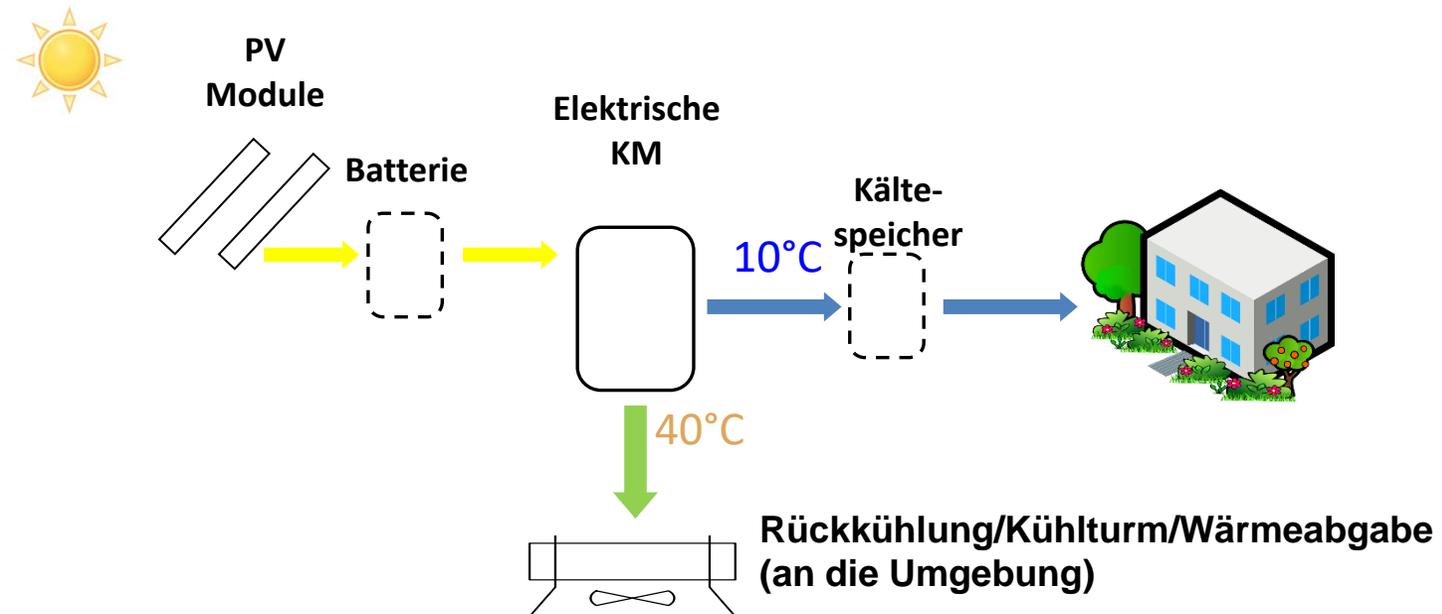
### Rückkühlung

Eigensch. / Typ	Trockenkühler	Kühlturm (Verdunstungskühler)	Adiabatische Kühltürme
<b>Pros</b>	Günstig, kein Wasserverbrauch, sehr wenig Wartung	Kompakt, niedrige Temperaturen möglich (Feuchtkugeltemp.)	Verwendet Wasser nur bei Bedarf, in anderen Fällen trockene Rückkühlung
<b>Cons</b>	Abhängig von der Umgebungstemperatur -> hohe Rückkühltemperaturen	Wasser und Wasseraufbereitung erforderlich (teuer), Wasser nicht ständig verfügbar	-

# 3 – PV getriebene Kühlung

## Grundlagen

### Grundschema einer PV-basierten Kühlanlage



## 3 – PV getriebene Kühlung

### Komponenten

### PV-Module

Specs / Typ	Mono-kristallin	Poly-kristallin
Effizienz	15-20%	8-14%
Kommentar	Teuer	Günstig, Standard

## 3 – PV getriebene Kühlung

### Komponenten

#### Elektrisch angetriebene Kältemaschinen

- Es gibt sehr viele verschiedene Typen von Dampfkomppressionskältemaschinen, fast 99% aller weltweit installierten Kaltwassersätze sind von diesem Typ.
- Es können alle Arten von Anwendungen bedient werden (Kühlung, Tiefkälte, Eiszeugung...)
- Sie können unterschieden werden durch
  - Verdichtertyp (Kolben, Schraube, Schnecke...)
  - Arbeitsflüssigkeit (Kältemittel) (natürlich, HFKW, ...)

## 4 – Vergleich Solarthermische und PV-Kühlung

SE: Single Effect  
 DE: Double Effect  
 DL: Double Lift

	Außen- temperatur	PV	Solarthermisch	
		KKM	NT (<100°C)	HT (>160°C)
			AKM SE	AKM DE
Systemwirkungsgrad Solaranlage $\eta$		13,5%	55%	45%
COP der Kältemaschine	25 °C	4,6	0,75	1,35
	35 °C	3,4	(0,75)	(1,35)
<b>Wandlungseffizienz „Sonne zu Kälte“</b>  = $\eta \cdot \text{COP}$	25 °C	0,61	0,41	0,61
	35 °C	0,46	(0,41)	(0,61)

## 4 – Vergleich Solarthermische und PV-Kühlung

### Effizienz

- PV-Kühlung bringt die höchsten Wirkungsgraden bei moderaten Umgebungsbedingungen
- Thermische Kühlsysteme können die gleiche Effizienz erreichen, aber nur in mehrstufigen Konfigurationen (Hoch-T-Kollektoren).
- Aber bei hohen Umgebungstemperaturen können solarthermische Kühllösungen vorteilhaft sein! (innovative Konzepte)

## 4 – Vergleich Solarthermische und PV-Kühlung

### Weitere wichtige Kriterien

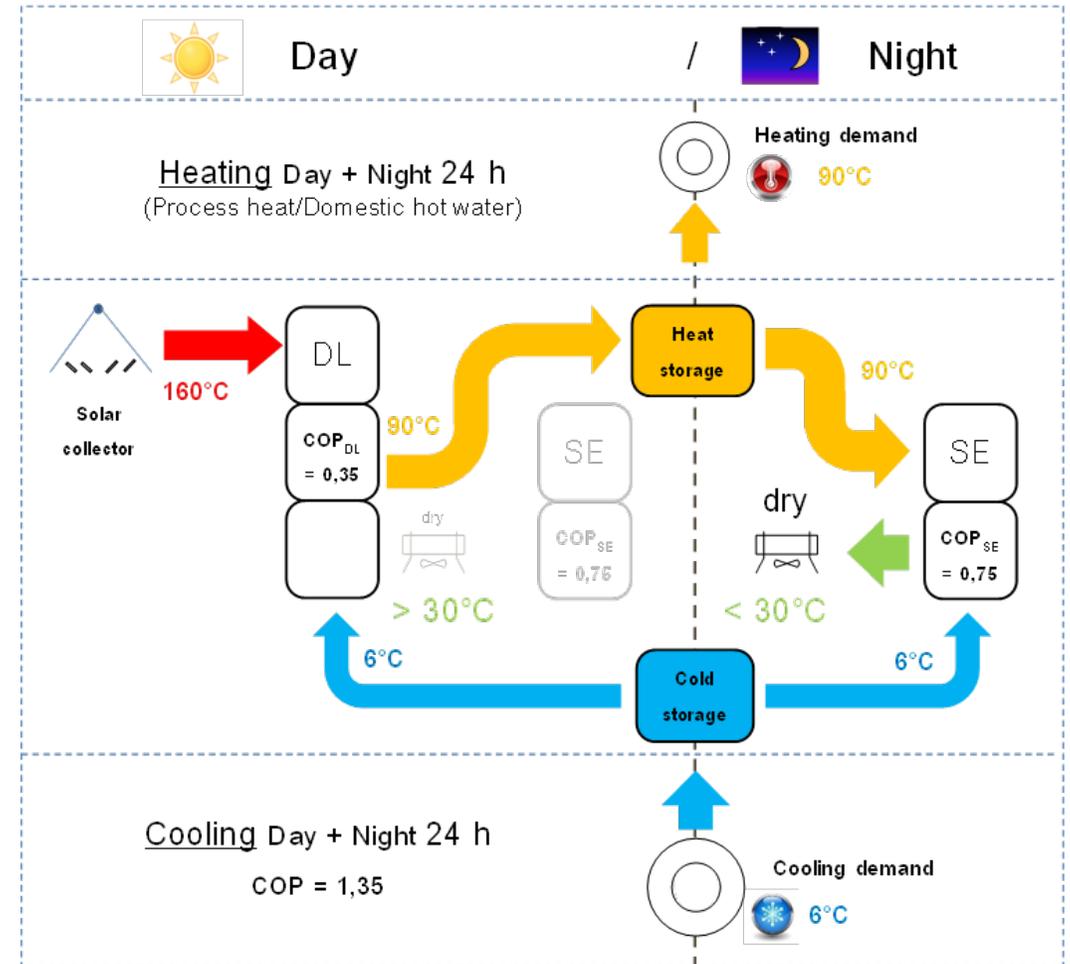
- Thermische Systeme sind oft komplexer und teurer
- Thermische Systeme zeichnen sich besonders bei hohen Umgebungstemperaturen aus und wenn zusätzlich Wärme benötigt wird (Warmwasser, Prozesswärme, ...)
- PV-getriebene Systeme mit Kompressionskältemaschinen enthalten oft ozon- und klimaschädliche Kältemitteln ("F-Gase") und könnten eine negative Auswirkung auf die Umwelt haben.

# 5 – Aktuelle Entwicklungen

## Das neue ZAE-Projekt: SunBeltChiller FKZ: 03ETW026

Kooperation mit *Industrial Solar*  **INDUSTRIAL SOLAR**  
thermal solutions

- Sehr energie- und kosteneffizientes Konzept für solare Kühlung und Heizung
- Entwickelt für die Region des Sunbelts (hohe Umgebungstemperaturen)
- Hoch-T-Kollektoren, innovatives Absorptionskältemaschinenkonzept, keine Nasskühltürme erforderlich (Trockenkühlung möglich)
- Interessante Anwendungen
  - Hotels (Kühlung, Warmwasserbereitung)
  - Industrie (Prozesskühlung und Prozesswärme)



# 4 – Vergleich Solarthermische und PV-Kühlung

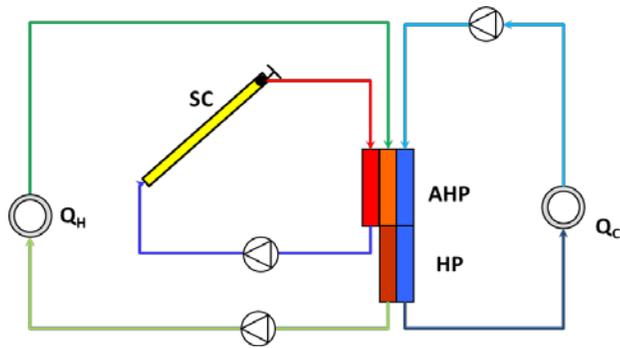
SE: Single Effect  
 DE: Double Effect  
 DL: Double Lift

	Außen- temperatur	PV	Solarthermisch		
		KKM	NT (<100°C)	HT (>160°C)	
			AKM SE	AKM DE	AKM SE-DL
Systemwirkungsgrad Solaranlage $\eta$		13,5%	55%	45%	45%
COP der Kältemaschine	25 °C	4,6	0,75	1,35	1,35
	35 °C	3,4	(0,75)	(1,35)	1,35
<b>Wandlungseffizienz „Sonne zu Kälte“</b>  = $\eta \cdot \text{COP}$	25 °C	0,61	0,41	0,61	0,61
	35 °C	0,46	(0,41)	(0,61)	0,61

# 5 – Aktuelle Entwicklungen

## Hybridkonzepte

### SolarHybrid

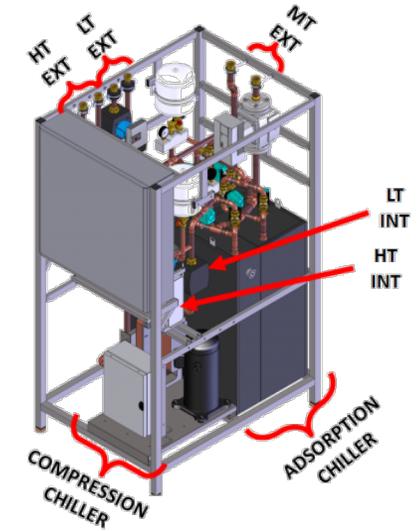
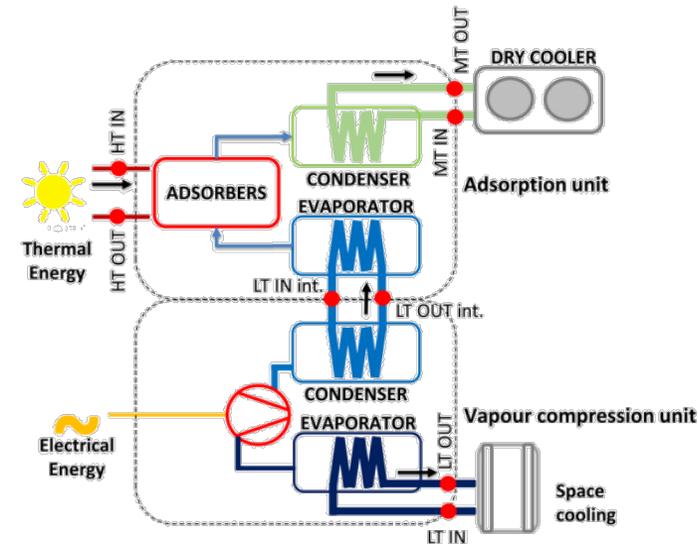


Solarthermisch betriebener Absorber  
+ Ergänzender Kompressor (ca. 20 kW)

- Kein HW-Speicher nötig
- SPFeI > 15
- Primärenergieeinsparungen bis zu 80 %

Quelle:  
[www.uibk.ac.at](http://www.uibk.ac.at)

## HyCool



$T_{LT} = 5^{\circ}\text{C}$ , Ziel- $10^{\circ}\text{C}$

Integriertes KKM-Modul (R290)

- Redundanz und hoch effizient
- Für Peak und Mittellasten

Sorptionsmodul zur Kühlung des KKM-Kondensators

- $T_{cond} \text{ VCC} \sim 20^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{EER}_{\text{HHP}}$  geht hoch auf 7-8

Quelle:  
[www.ecotherm.com](http://www.ecotherm.com)  
[www.hycool-project.eu](http://www.hycool-project.eu)  
[www.fahrenheit.cool](http://www.fahrenheit.cool)

## 5 – Aktuelle Entwicklungen

### Neuer IEA-SHC Task 65: Solar cooling for the Sunbelt regions



#### Ziel

- Fokus auf Innovationen für bezahlbare, sichere und zuverlässige solare Kühlsysteme für die Sunbelt-Regionen weltweit
- Die Umsetzung/Anpassung von Komponenten und Systemen für die unterschiedlichen Randbedingungen wird durch die Zusammenarbeit mit der Industrie und mit Unterstützung von Zielländern wie den VAE durch die *Mission Innovation IC7* forciert
- Der Innovationstreiber ist die Anpassung bestehender Konzepte/Technologien an die Regionen des „Sunbelt“ unter Verwendung von Solarenergie, entweder Solarthermie (ST) oder Photovoltaik (PV).



#### Umfang

- Aufbauend auf den vorherigen Tasks 25, 38, 48 und 53
- **Leistung für Kühlung und Klimatisierung zwischen 2 kW und 5.000 kW (PV und ST)**
- Dauer: Juli 2020 – Juni 2024
- <https://task65.iea-shc.org>



## 6 – Zusammenfassung

- Solare Kühlung und Klimatisierung: Antrieb mit PV oder Solarthermie (oder beides)
- Thermisch: Ab- oder Adsorptionskälte, abhängig von Temperaturen und Leistungsklasse
- Offene Sorptionssysteme für Luftkonditionierung
- Wirtschaftlichkeit in Deutschland für Gebäudeklimatisierung häufig schwierig aufgrund geringer Betriebsstunden  
→ interessant bei zusätzlicher Nutzung von Wärme
- Weltweit Kälte ein Wachstumsmarkt, im Sunbelt ist Solare Kühlung (PV und Solarthermie) eine kommerziell verfügbare Technologie, die immer wirtschaftlicher wird

## 7 - Literatur

Für Ihre weitere Informationen

### Solar Cooling Guide Book

Solar Cooling Handbook – Henning, Motta, Mugnier, 2013 – A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes – ISBN 978-3-99043-438-3

### Infos und Arbeit der Internationalen Energieagentur (IEA) zum Thema solares Heizen und Kühlen (SHC)

**Umfassende und detaillierte Informationen zum Thema solare Kühlung**

- Task 38: Solar Air-Conditioning and Refrigeration <http://task38.iea-shc.org/>
- Task 48: Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems <http://task48.iea-shc.org/>
- Task 53: New Generation Solar Cooling & Heating Systems (PV or solar thermally driven systems), <http://task53.iea-shc.org/>

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

**Dr.-Ing. Manuel Riepl**

ZAE Bayern  
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.  
Bereich: Energiespeicherung

Walther-Meißner-Straße 6  
85748 Garching

Tel.: +49 89 329442-43  
Fax: +49 89 329442-12

Manuel.Riepl@zae-bayern.de  
<http://www.zae-bayern.de>

Danke an das

Fraunhofer ISE in Freiburg, Gerrit Földner  
GreenChiller Verband, Uli Jakob

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages