

# Produzieren mit Sonneenergie

---

## – Nutzung des solarthermischen Potentials für produzierende Betriebe

www.joanneum.at

Christoph Brunner  
JOANNEUM RESEARCH  
Institute for Sustainable Techniques and Systems  
WWW.JOANNEUM.AT/NTS

- Potentiale
- Überblick über Prozesskollektoren
- Einbindungsmöglichkeiten in Produktionsprozesse/Hydraulik
- Fallbeispiele aus der Industrie
- Solare Hallenheizung

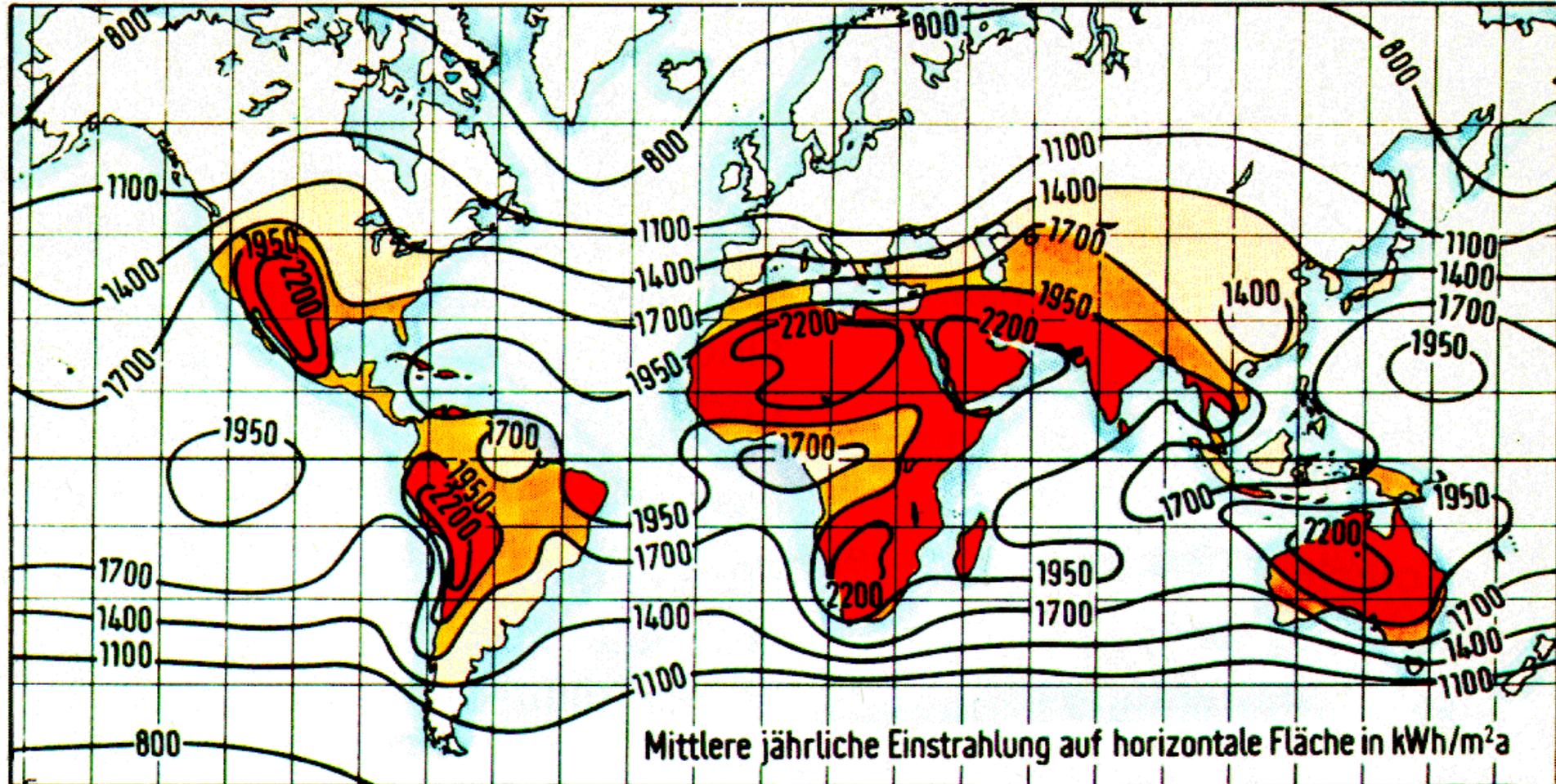
# Projekte

- PROMISE – Produzieren mit Sonnenenergie (Fabrik der Zukunft)
- IEA Task 33 – SHIP: Solar Heating for Industrial Processes (BMVIT)
- PARASOL - Entwicklung und Optimierung eines Parabolrinnenkollektorsystems zur Erzeugung von Prozesswärme (Fabrik der Zukunft)
- SolProBat - Entwicklung einer Optimierungs-methode zur Integration von Solarthermie in Produktionsprozessen im Batch-Betrieb (Energiesysteme der Zukunft)
- SOLBIZ - Solares Businessmodell (Energiesysteme der Zukunft)
- Styrian Promise (steirischer Zukunftsfonds)
- PROMISE Application (Neue Energie 2020)

# Sonnenstrahlung

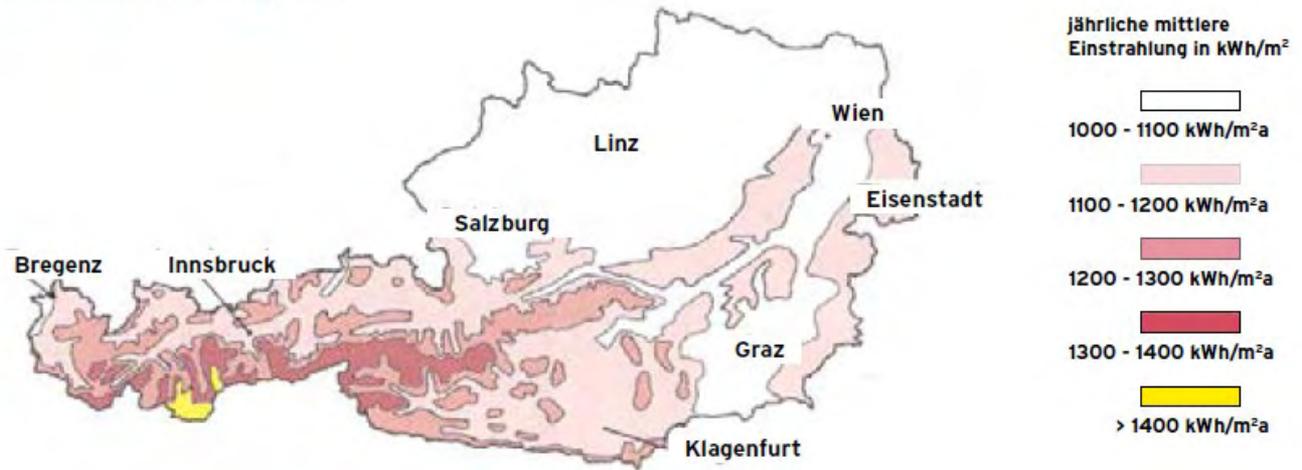
- extraterrestrische Strahlung Solarkonstante  $E_0 = 1,367 \text{ kW/m}^2$
- Jährliche Einstrahlung der Sonne auf die Erde:  $1,5 \cdot 10^{18} \text{ kWh}$  (jährlichen Energiebedarfs entspricht 0,07 Promille davon)
- Terrestrische Strahlung:
  - Sonnenschein, klarer bis leicht diffuser Himmel
    - Sommer:  $600\text{--}1000 \text{ W/m}^2$
    - Winter:  $300\text{--}500 \text{ W/m}^2$
  - Sonnenschein bei leichter bis mittlerer Bewölkung
    - Sommer:  $300\text{--}600 \text{ W/m}^2$
    - Winter:  $150\text{--}300 \text{ W/m}^2$
  - stark bewölkt bis nebelig-trüb
    - Sommer:  $100\text{--}300 \text{ W/m}^2$
    - Winter:  $50\text{--}150 \text{ W/m}^2$

# Typische Werte der Globalstrahlung



# Globalstrahlung in Österreich

Globalstrahlung in Österreich



# Energieverbrauch der Industrie in Europa

## □ **Endenergieverbrauch der Industrie: 28% of total in EU25 (Transport: 31%)**

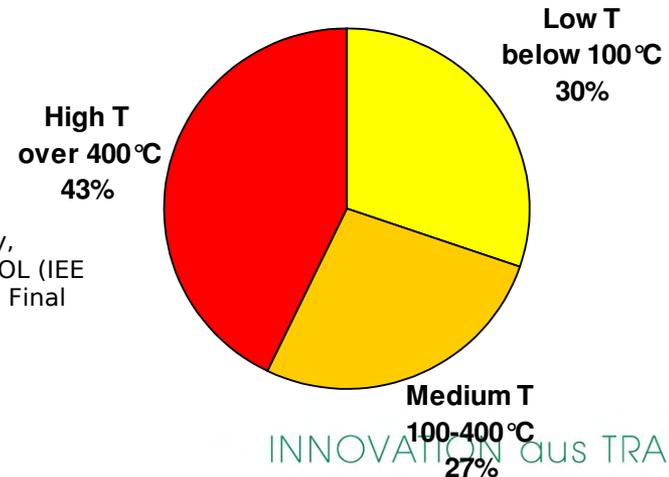
Data for 2004. Based on EUROSTAT statistics

## ▪ **Endenergieverbrauch für Wärme in der Industrie:**

Data for 2004. Based on EUROSTAT statistics

**69.5%**

## ▪ **Industrieller Wärmeverbrauch aufgeteilt nach Temperatur :**

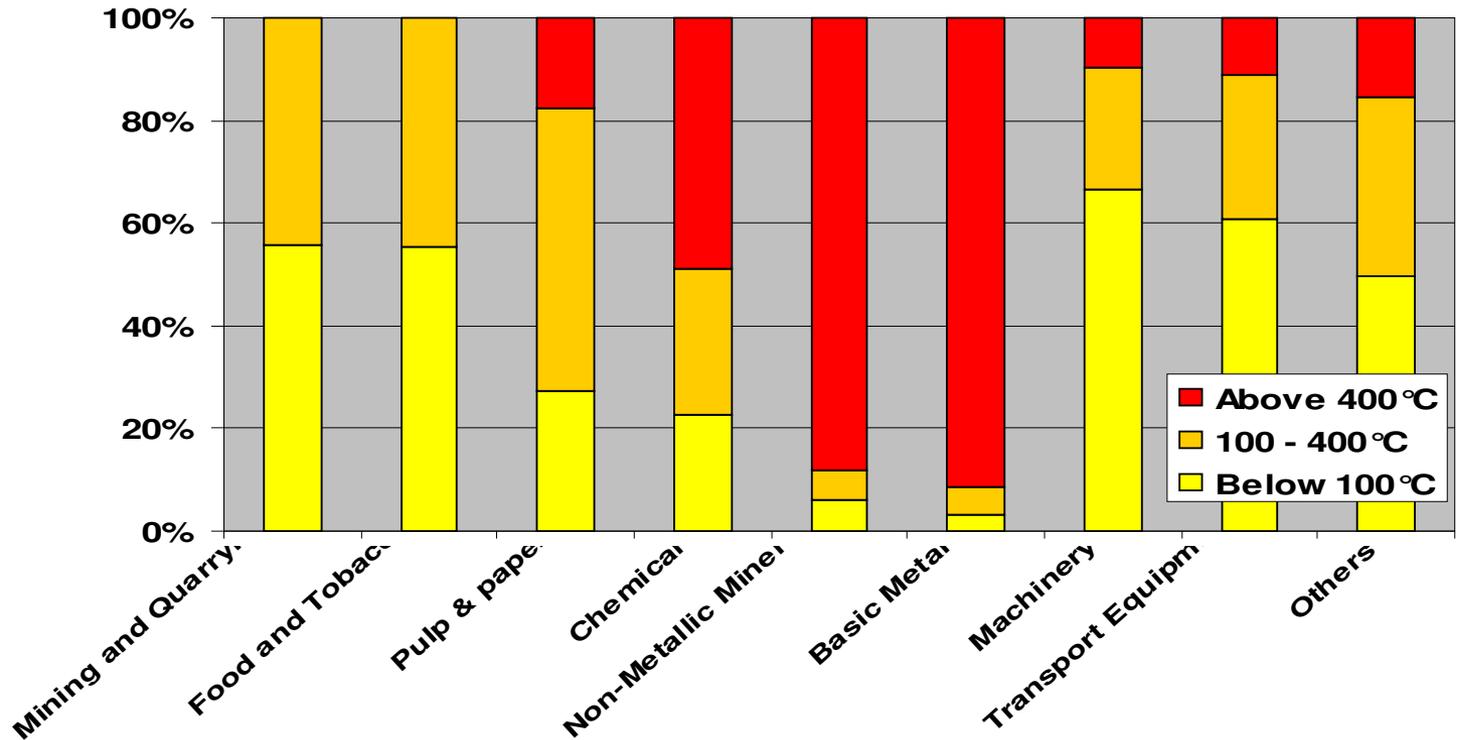


Data for 2003, 32 Countries: EU25 + Bulgaria, Romania, Turkey, Croatia, Iceland, Norway and Switzerland. Source: ECOHEATCOOL (IEE ALTENER Project), The European Heat Market, Work Package 1, Final Report published by Euroheat & Power

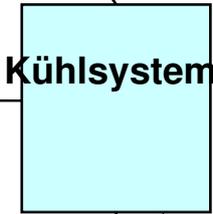
# Energieverbrauch in der Industrie nach Sektoren

Data for 2003, 32 Countries: EU25 + Bulgaria, Romania, Turkey, Croatia, Iceland, Norway and Switzerland.

Source: ECOHEATCOOL (IEE ALTENER Project), The European Heat Market, Work Package 1, Final Report published by Euroheat & Power



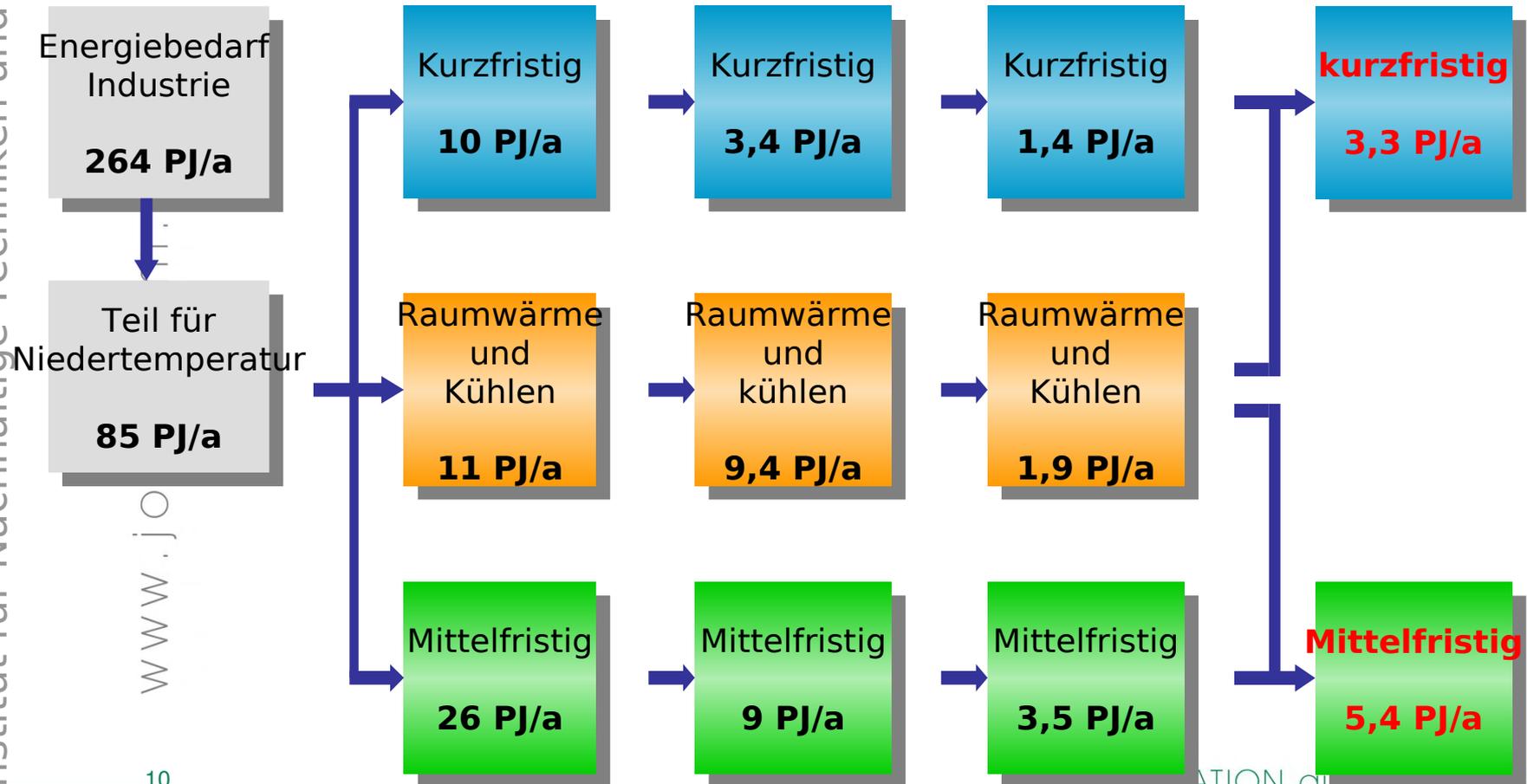
Strom



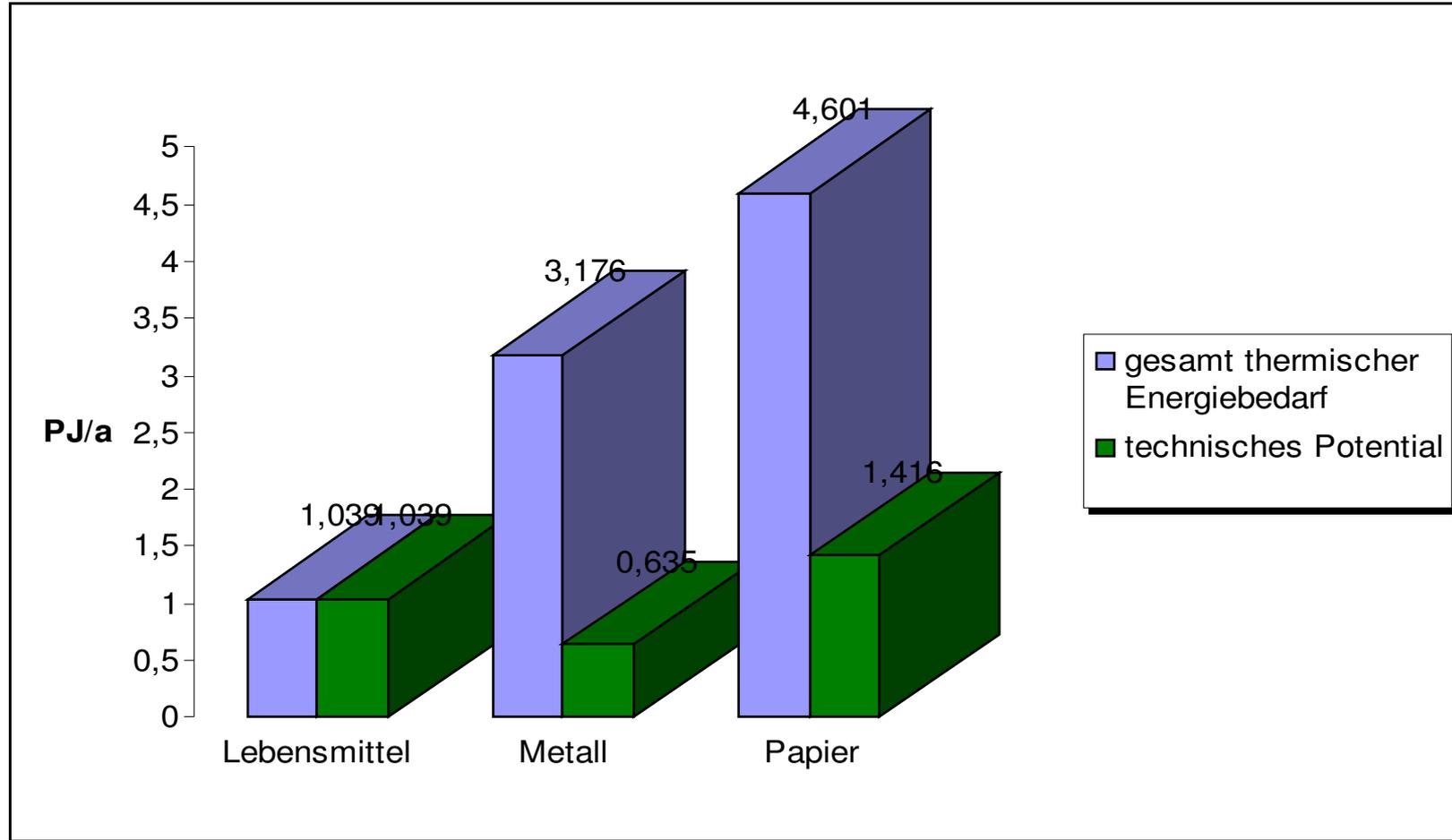
Energieverluste im Abwasser, Luftemissionen und Produkten

# Solar process heat- potential for Austria. Potential in Österreich

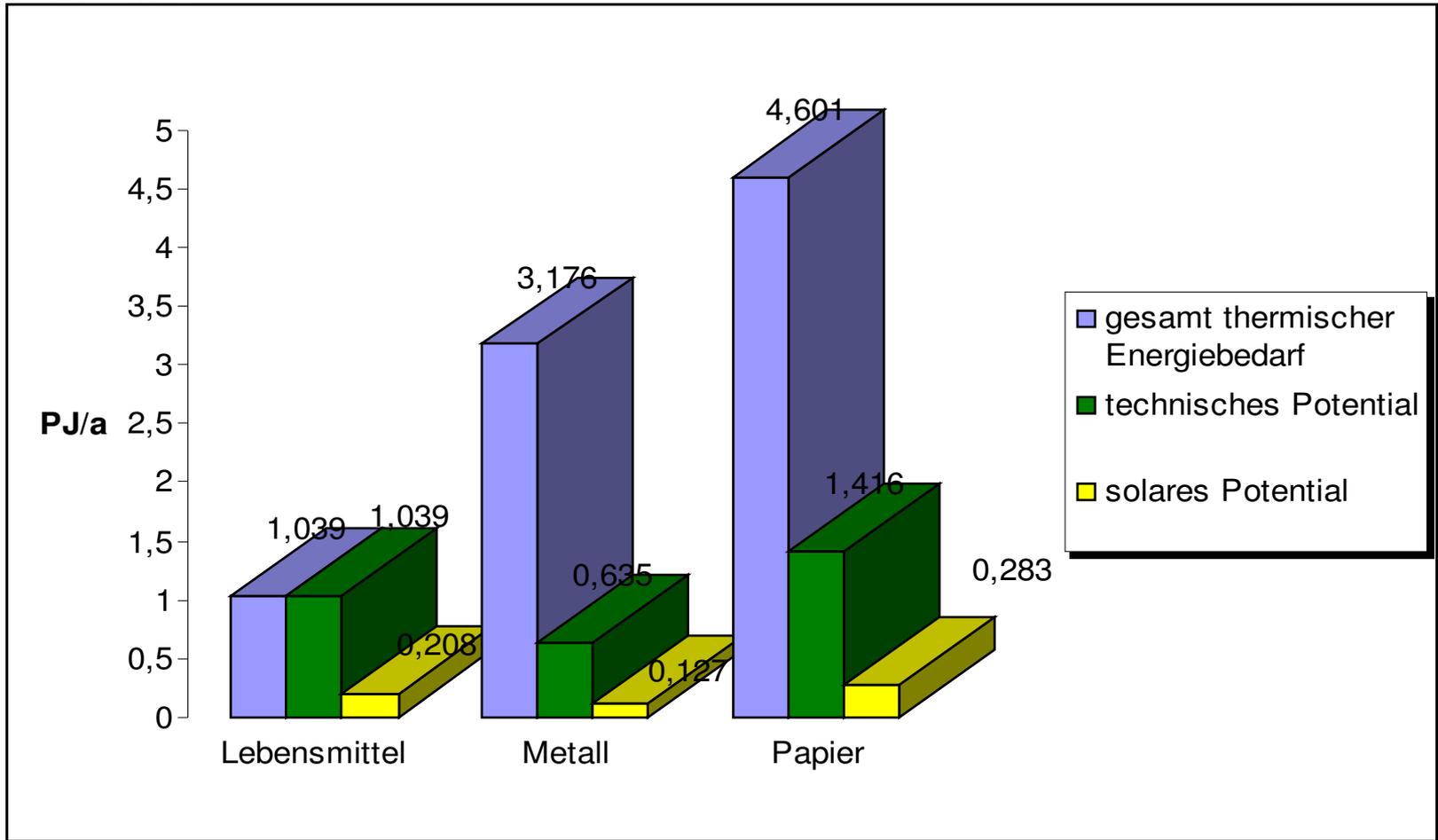
**Industriesektor**   **Verwendbare Prozesse**   **Solarer Deckungsgrad**  
40% / 20%



# Technisches Potential

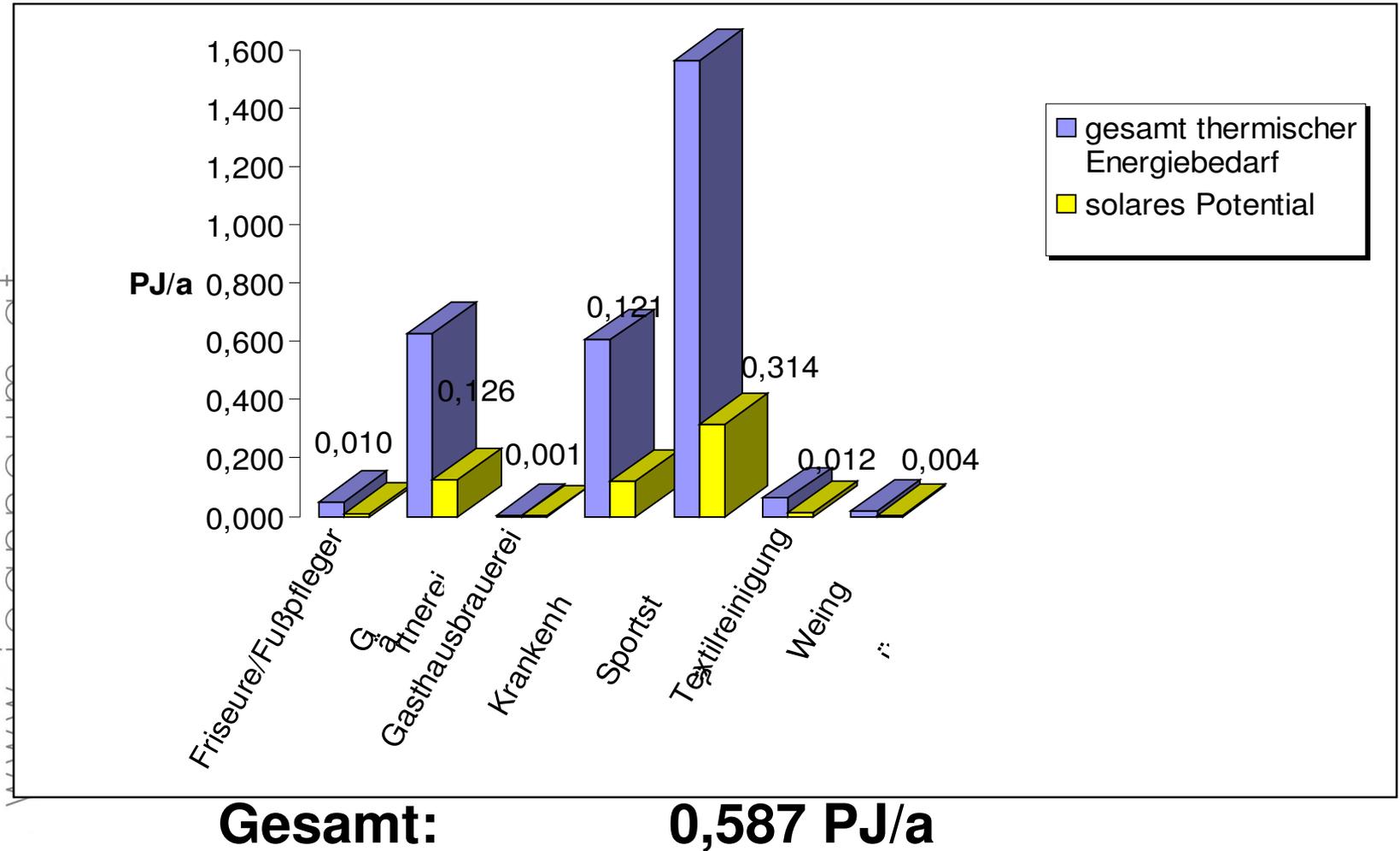


# Solar thermisches Potential für Industrie



**Gesamt: 0,618 PJ/a**

# Solares Potential steirisches Gewerbe

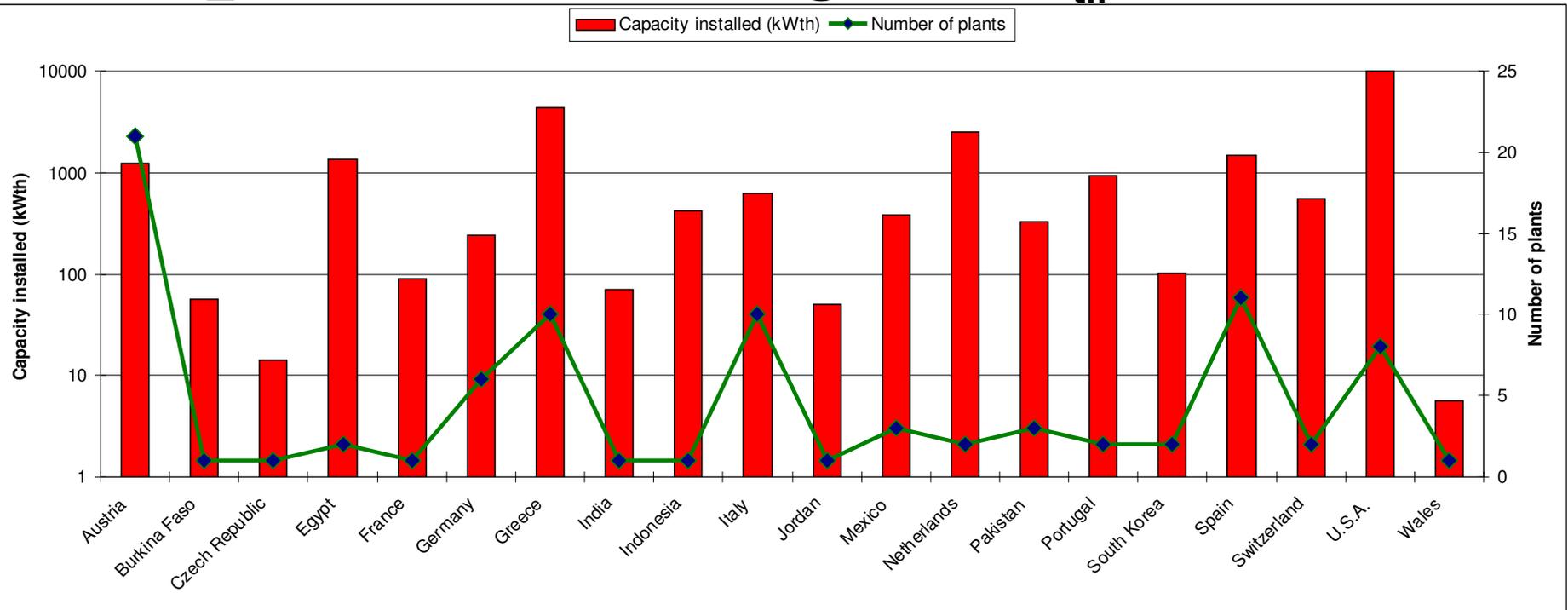


# Errichtete Anlagen weltweit

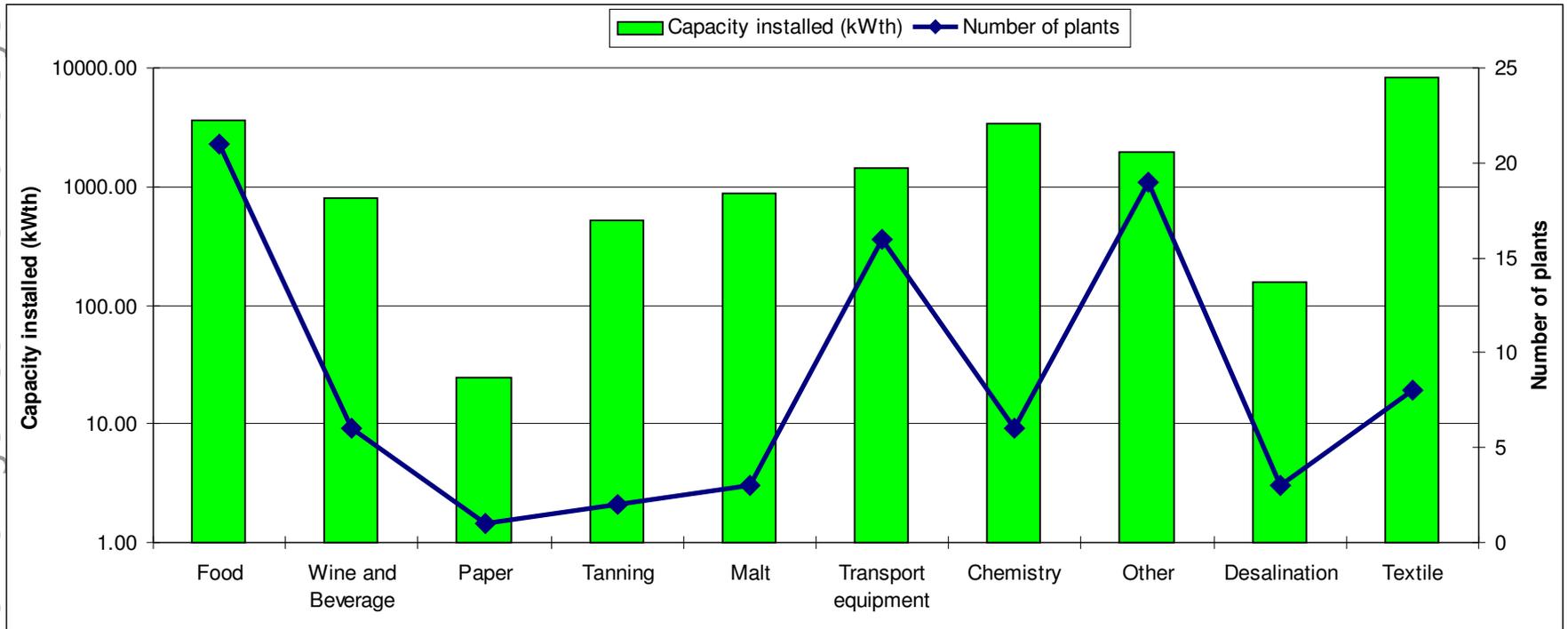
& **Länder: 21**

❖ **Funktionierende Anlagen: 90**

□ **Installierte Leistung: 25 MW<sub>th</sub> (35,000 m<sup>2</sup>)**



# Errichtete Anlagen nach Sektoren



# Solare Deckungsgrad

- Gibt den prozentuellen Anteil der benötigten Energie an, der durch die Solaranlage im Jahresmittel gedeckt wird.
- Er beschreibt also die effektiv genutzte solare Wärme (Solarsystemertrag), die auf den gesamten Wärmebedarf bezogen wird.

$$\text{Solarer Deckungsgrad SD} = \frac{Q_{\text{Solar}}}{Q_{\text{konv. WE}} + Q_{\text{Solar}}} \quad [\%] \quad (\text{Gl. 2-1})$$

$Q_{\text{solar}}$	jährlicher Wärmeeintrag des Solarsystems, gemessen auf der Sekundärseite des Solarkreislaufs, in kWh.
$Q_{\text{konv WE}}$	jährlicher Wärmeeintrag des konventionellen Wärmeerzeugers, gemessen zwischen Energiespeicher und konventionellem Wärmeerzeuger, in kWh.

# Systemnutzungsgrad

- Er beschreibt den Wirkungsgrad des gesamten Solarsystems (bestehend aus Kollektor, Rohrleitung, Wärmetauscher und Speicher). Er gibt an, wie viel von der auf den Kollektor eingestrahlten Sonnenenergie als warmes Wasser genutzt werden kann.  
Überdimensionierte Anlagen besitzen zwar einen hohen solaren Deckungsgrad, durch die nicht nutzbaren Wärmeüberschüsse im Sommer jedoch einen niedrigen Systemwirkungsgrad.
- Beschreibt die Anlageneffizienz

# Systemnutzungsgrad

$$\text{Systemnutzungsgrad SN} = \frac{Q_{\text{Solar Speicher}}}{Q_{\text{Solar Kollektorfläche}}} \quad [\%]$$

$Q_{\text{Solar Speicher}}$   
 $Q_{\text{Solar Kollektor}}$

jährlicher Energieeintrag in Solarspeicher in kWh

jährliche Energieeinstrahlung auf Kollektorfeld in kWh

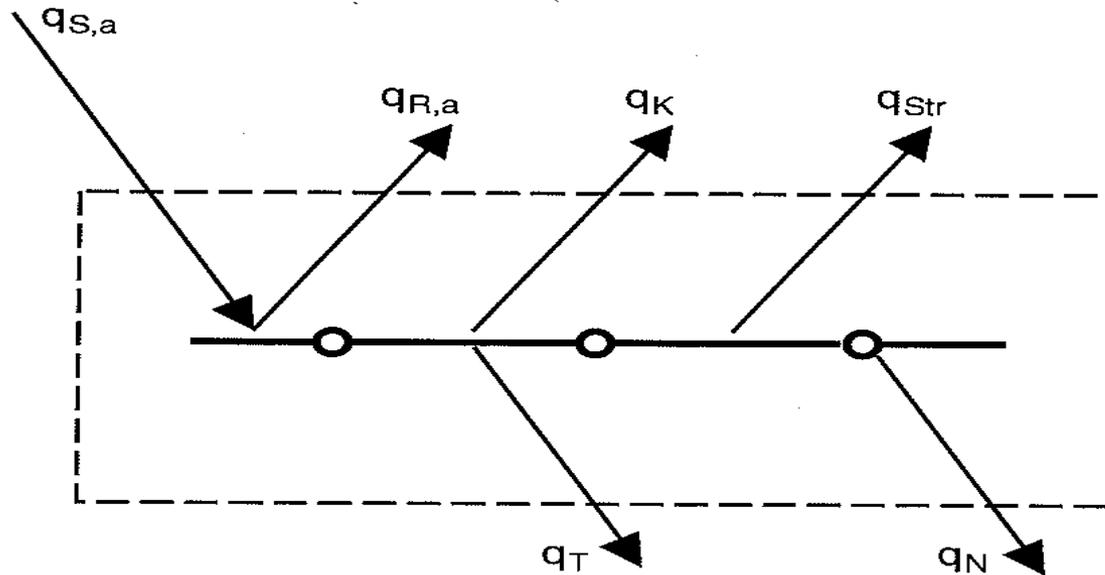
# Spezifischen solare Erträge

- Die Energiemenge in kWh die ein m<sup>2</sup> Kollektor pro Jahr abgeben kann.
- Der spezifische solare Ertrag kann trotz höheren solaren Deckungsgrad kleiner werden – die ist auf Grund von höheren Leitungsverlusten auf Grund von höher Temperaturen zu begründen

$$\text{Spezifischer Kollektorertrag SE} = \frac{Q_{\text{Solar}}}{A_{\text{Bruttokolli}}} \quad [\text{kWh/m}^2\text{a}] \quad (\text{Gl. 2-2})$$

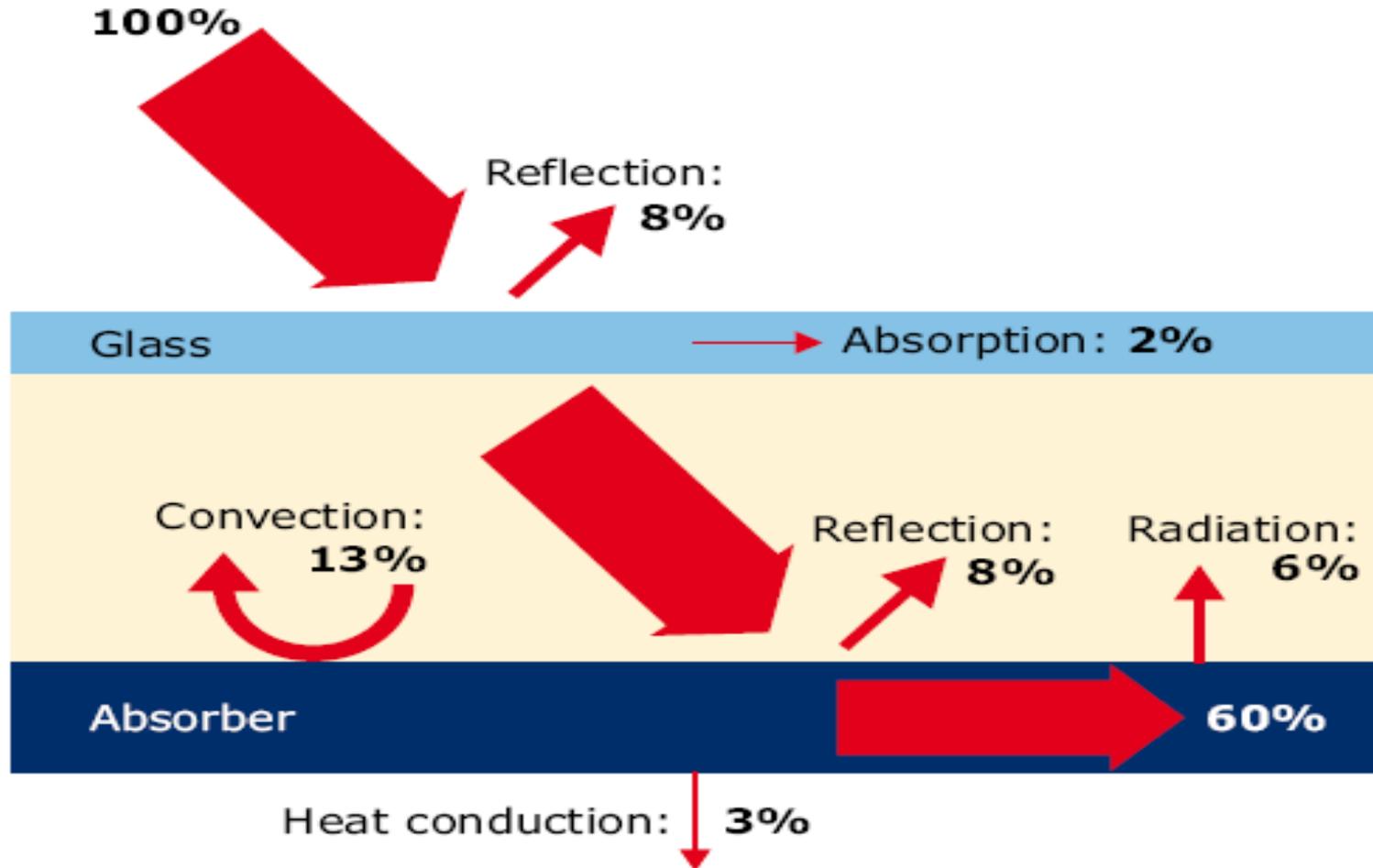
$Q_{\text{Solar}}$  jährlicher Wärmeeintrag des Solarsystems, gemessen auf der Sekundärseite des Solarkreislaufes, in kWh  
 $A_{\text{Bruttokolli}}$  Bruttokollektorfläche in m<sup>2</sup>

# Bilanz der Energieströme am Absorber

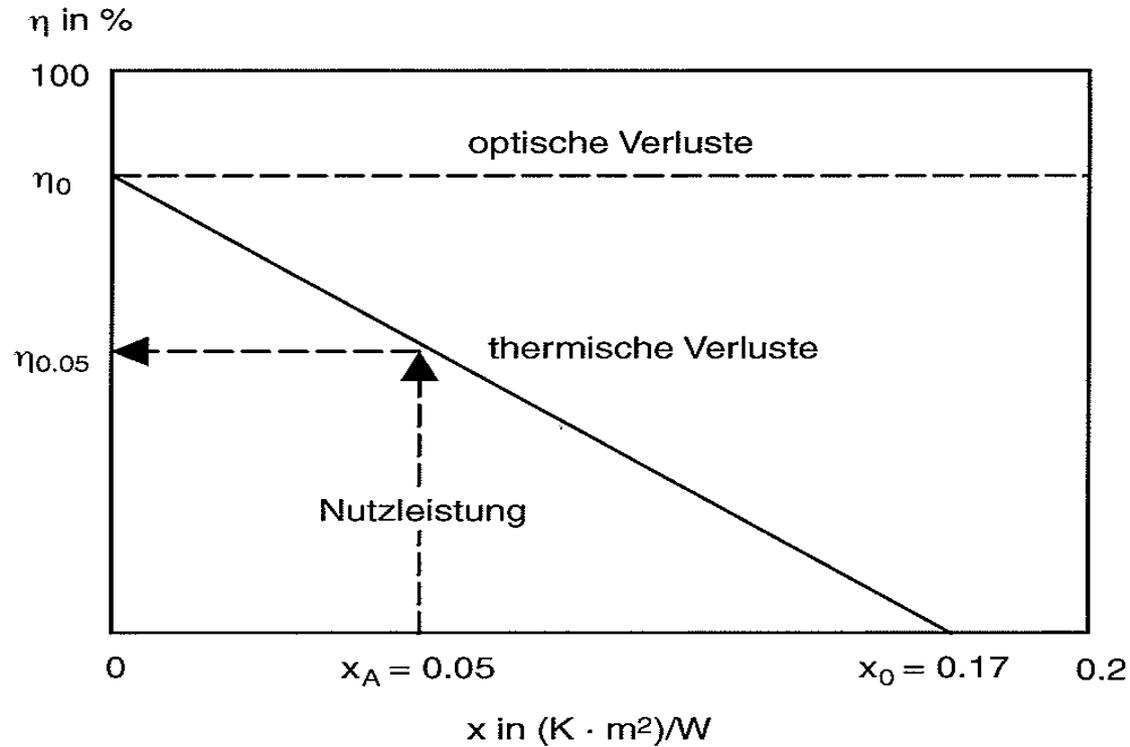


- $q_{S,a}$  spez. Solarstrahlungsleistung auf den Absorber
- $q_N$  spez. Nutzleistung
- $q_K$  spez. Konvektionsverlustleistung
- $q_{Str}$  spez. Strahlungsverlustleistung
- $q_T$  spez. Transmissionsverlustleistung
- $q_{R,a}$  spez. Reflexionsverlustleistung am Absorber.

# Verluste

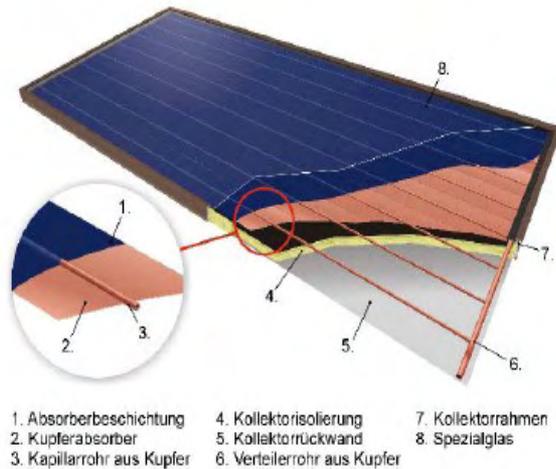


# Kollektorkennlinie



$$\eta_K = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\vartheta_a - \vartheta_u}{q_S} - k_2 \frac{(\vartheta_a - \vartheta_u)^2}{q_S}$$

# Prozesskollektoren



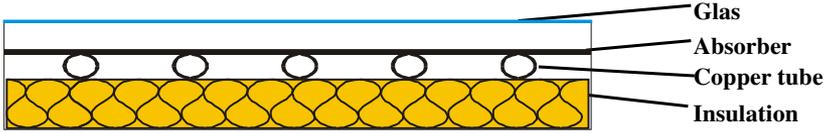
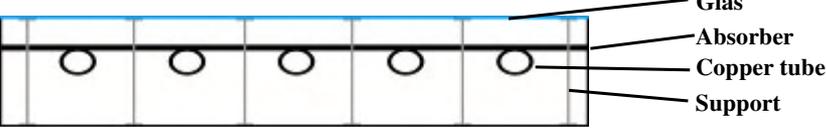
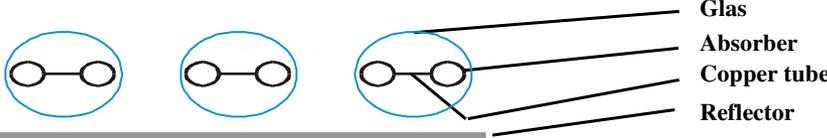
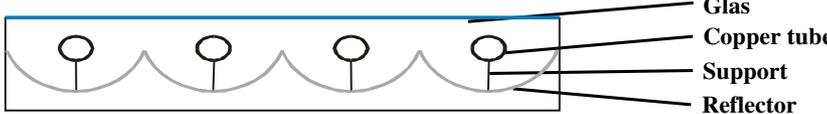
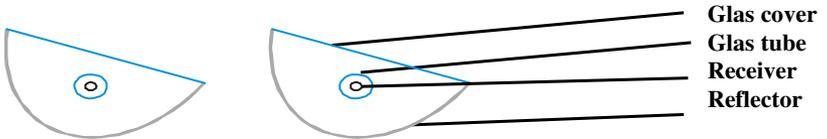
Flachkollektoren bis 80°C

niedriger  
Temperatur-  
bereich

Parabolrinnenkollektoren für 400°C

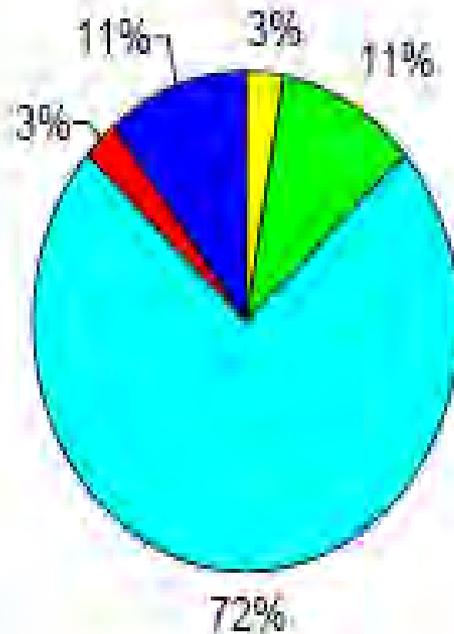
hoher  
Temperatur-  
bereich

# Solarkollektoren für industrielle Prozesswärme

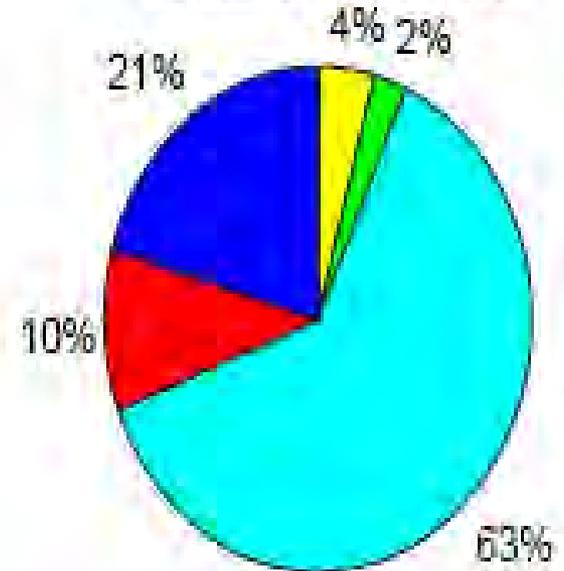
collector type		working-temperature in °C
FPC flat plate collector		<p>30 80*</p> <p>30 – 90**</p>
EFPC evacuated flat plate collector		<p>60 – 100</p>
VTC Vacuum tube - collector with or without reflector		<p>50 – 190</p>
collector with reflector CPC Compound Parabolic Concentrator		<p>60 – 180</p>
parapolic through collector		<p>70 – 290*</p>

# Prozesskollektoren

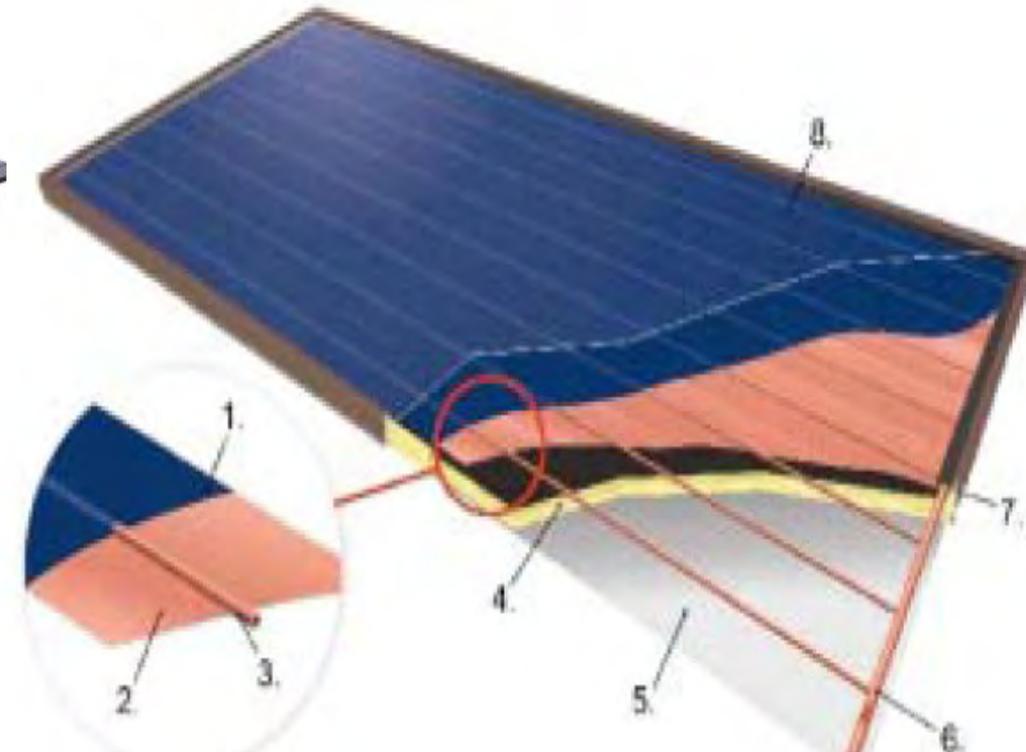
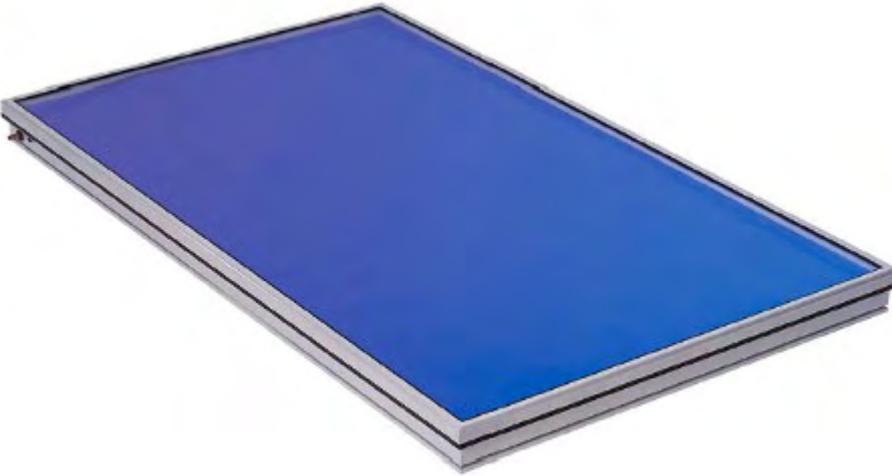
By number of plants



By capacity installed



# Flachkollektor

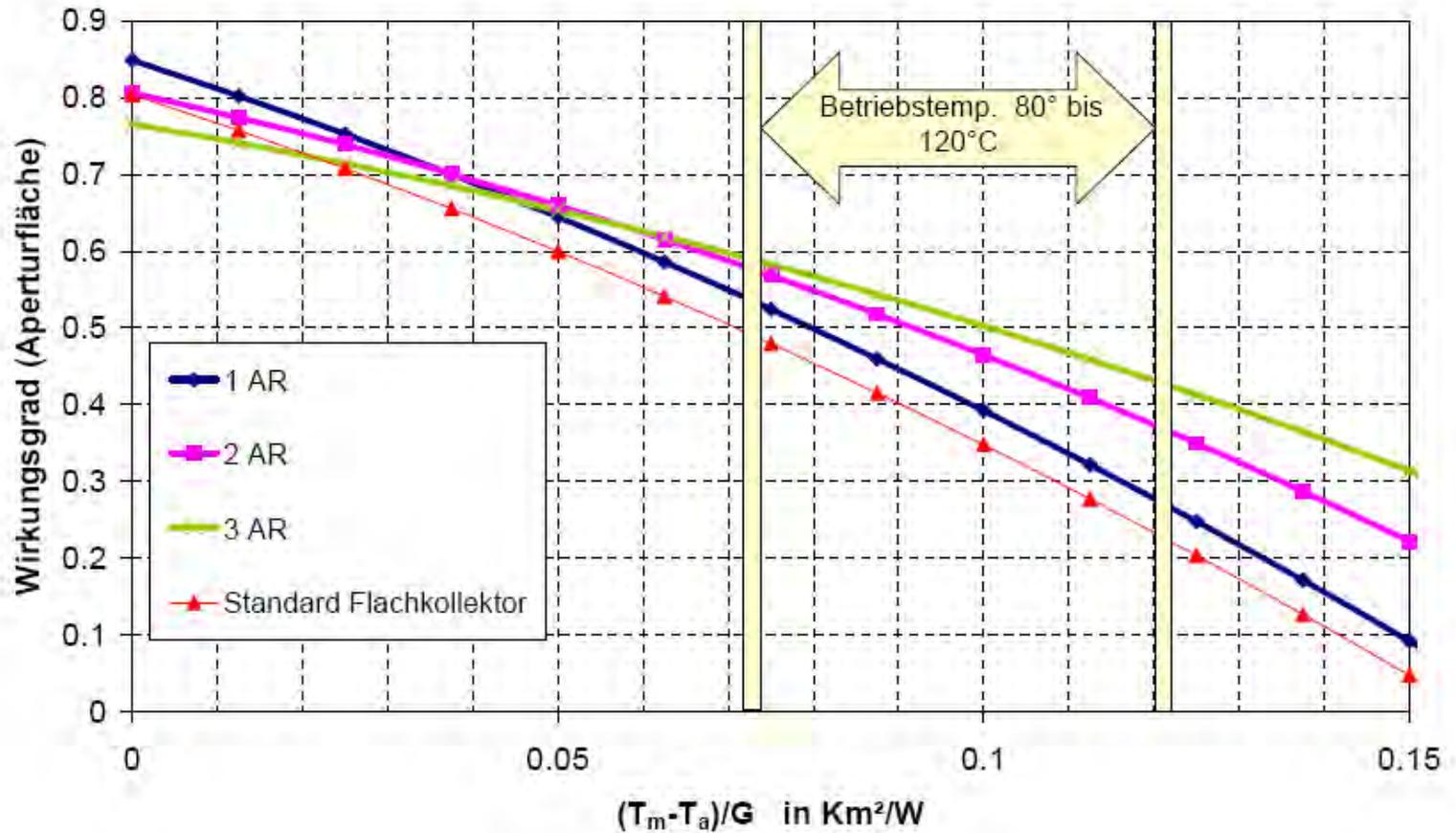


1. Selective Coating
2. Absorber
3. Tube
4. Insulation
5. Rear panel
6. Manifold
7. Frame
8. Transparent cov

- **Verbesserte Flachkollektoren**

- zweifach abgedeckte Kollektoren mit Antireflex-Glas
- hermetisch dichte Kollektoren mit Edelgasfüllung

# Kollektorkennlinien



## Meerwasserentsalzungsanlage mit 100m<sup>2</sup> Kollektorfläche

100 m<sup>2</sup>  
2AR-Kollektoren  
Kapazität 1600  
Liter pro Tag



# CPC Kollektor

- **Stationäre konzentrierende Kollektoren**
  - schwach konzentrierende Kollektoren mit CPC Reflektoren



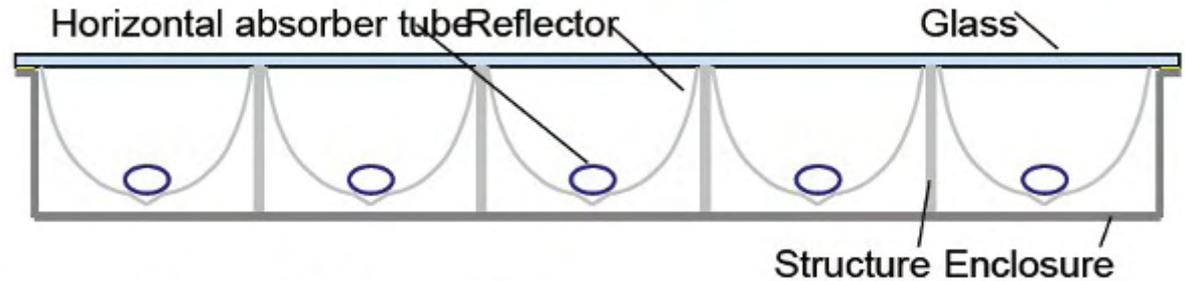
Reduzieren der  
Wärmeverluste durch  
Konzentration aber  
Vermeidung von  
Nachführung

# CPC Kollektoren

## Stationäre CPC Kollektoren



Aosol Kollektor, INETI, Portugal  
CPC Kollektor mit 1.7-facher Konzentration



Entwicklungsarbeiten ZAE-Bayern zu evakuierten CPC-Flachkollektoren



Solarfocus CPC, Österreich

# Vakuummöhrrenkollektoren mit CPC Reflektoren



# Konzentrierende Systeme

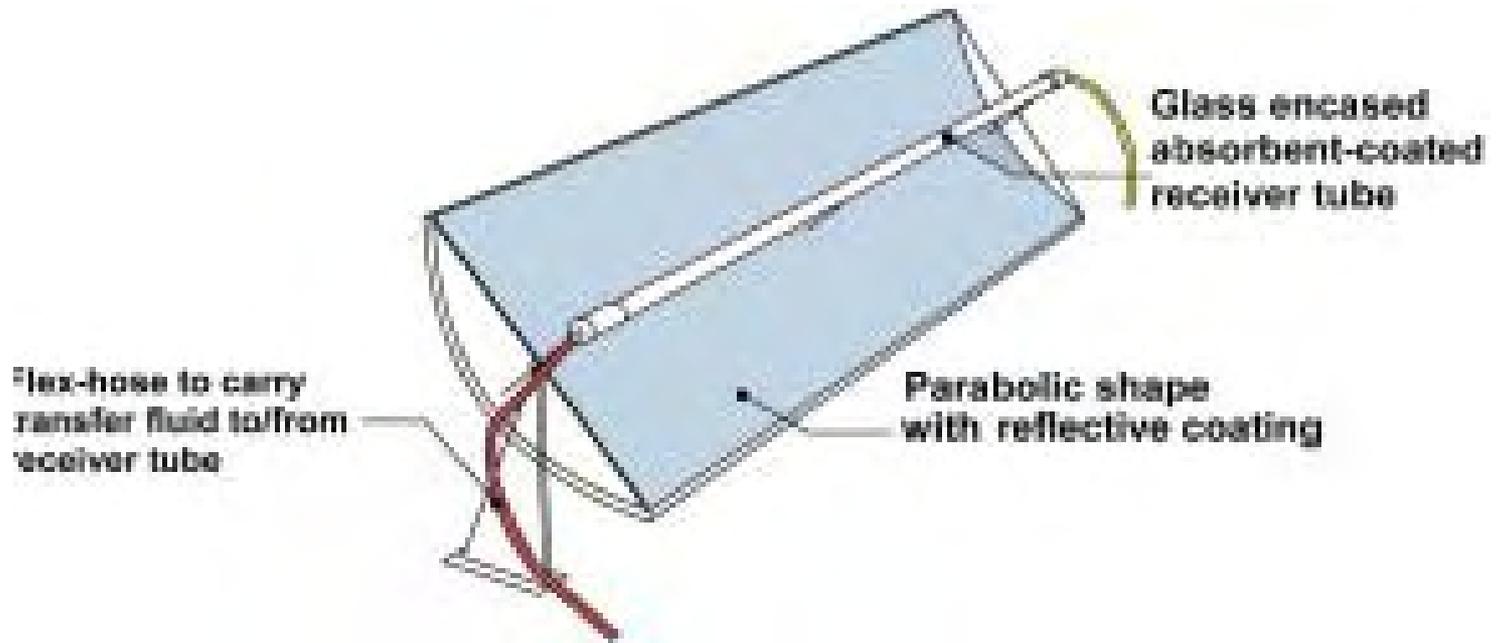
- **Nachgeführte konzentrierende Kollektoren**
  - Parabolrinnenkollektoren
  - Fresnelkollektoren mit feststehendem Receiver



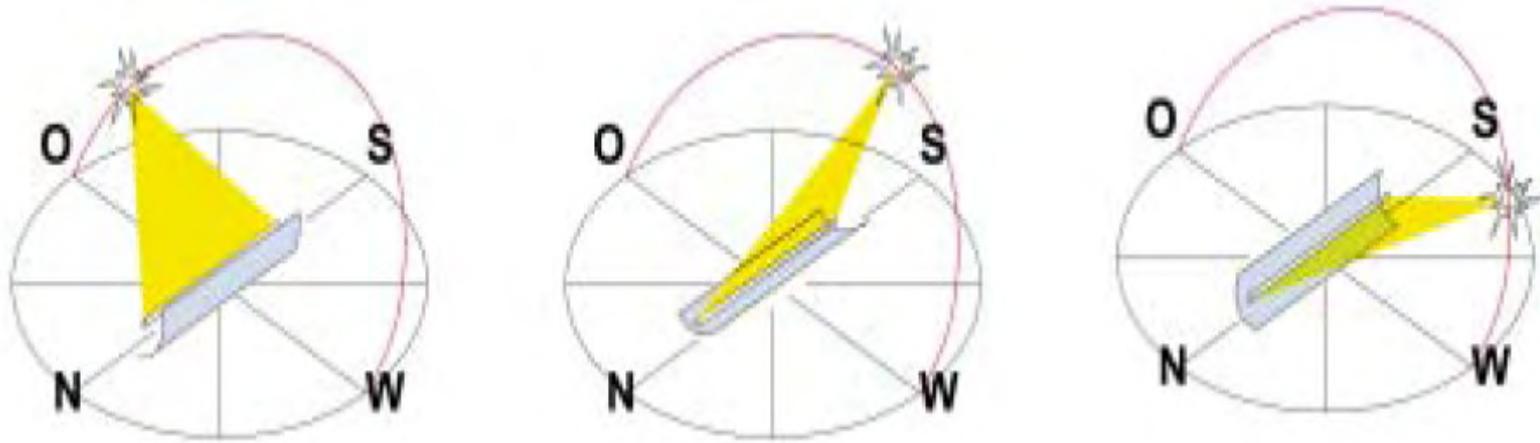
WWW

# Parabolrinnenkollektor

- Parabolrinnenkollektoren können Temperaturen von 100°C bis 450°C erreichen



# Parabolrinnenkollektor

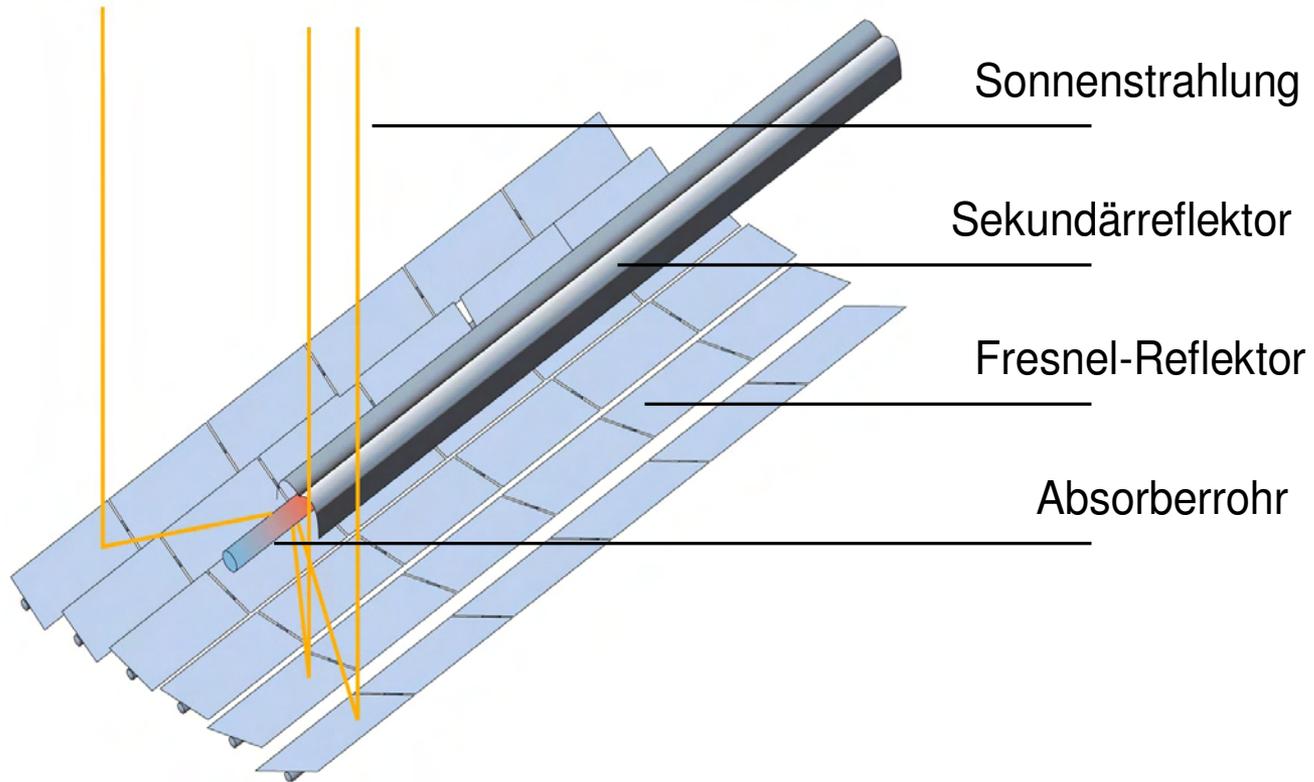


*Tracking of the sun by a parabolic trough collector with the collector axis oriented north-south  
(picture source: AEE INTEC, Austria)*

*180 m<sup>2</sup> aperture area  
of parabolic trough  
collectors at a hotel  
in Turkey  
(picture source:  
SOLITEM, Germany)*



# Linear konzentrierender Fresnel-Kollektor



# Fresnel Kollektor

## Temperaturen 150 – 200 °C

- Ansatz: den Kollektor im Vergleich zu Kraftwerkskollektoren etwa einen Faktor 2 kleiner skalieren
- »Fresnel-Vorteile« sind immer noch gültig
  - ◆ Stationärer Receiver
  - ◆ Niedrige Windlast
  - ◆ Flache Spiegel
  - ◆ Hohe Flächenausnutzung
- Neu: Aufdach-Installation



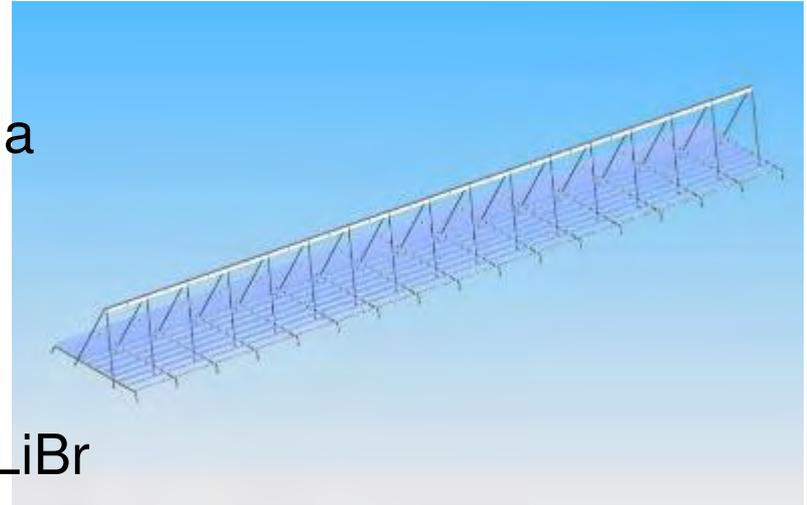


# Kollektor Parameter

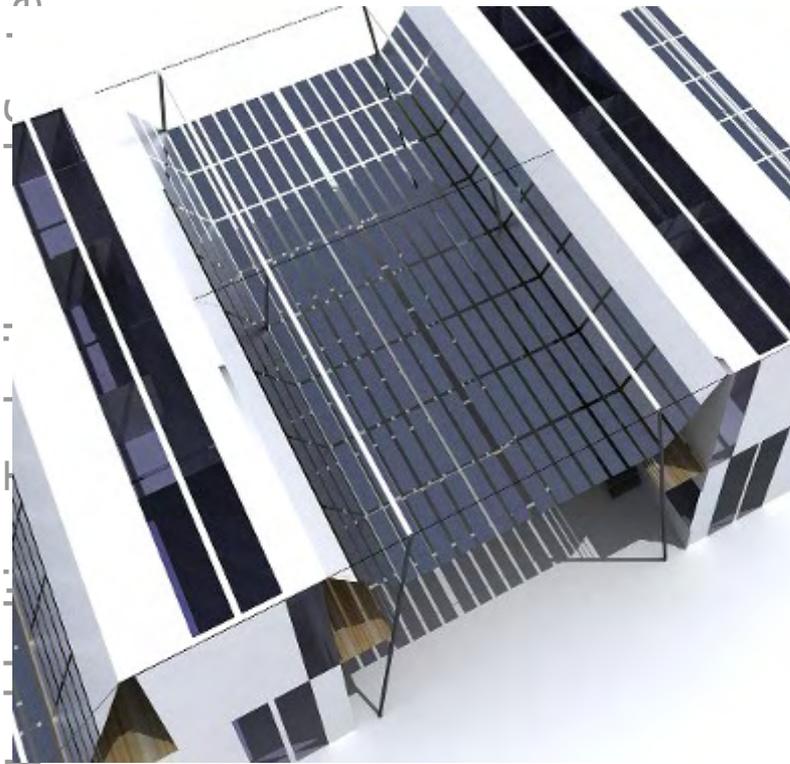
Länge	Modular in Schritten von 4 m
Breite des Spiegelfeldes	7,5 m
Aperturbreite	5,5 m
+ Abstand zwischen einzelnen ○ Spiegeln	0,2 m
○ Höhe	4 m
○ Anzahl der Primärspiegel	11
○ Breite eines Primärspiegels	0,5 m
○ Gewicht	40 kg/m <sup>2</sup>
○ Optischer Wirkungsgrad	0,58
~ Wärmeverluste	4,3 10 <sup>-4</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
~ Spitzenleistung	500 W/m <sup>2</sup>
~ Nominalleistung	300 W/m <sup>2</sup>

# 352m<sup>2</sup> Fresnelkollektor zum Antrieb einer zweistufigen H<sub>2</sub>O-LiBr-Kältemaschine in Sevilla

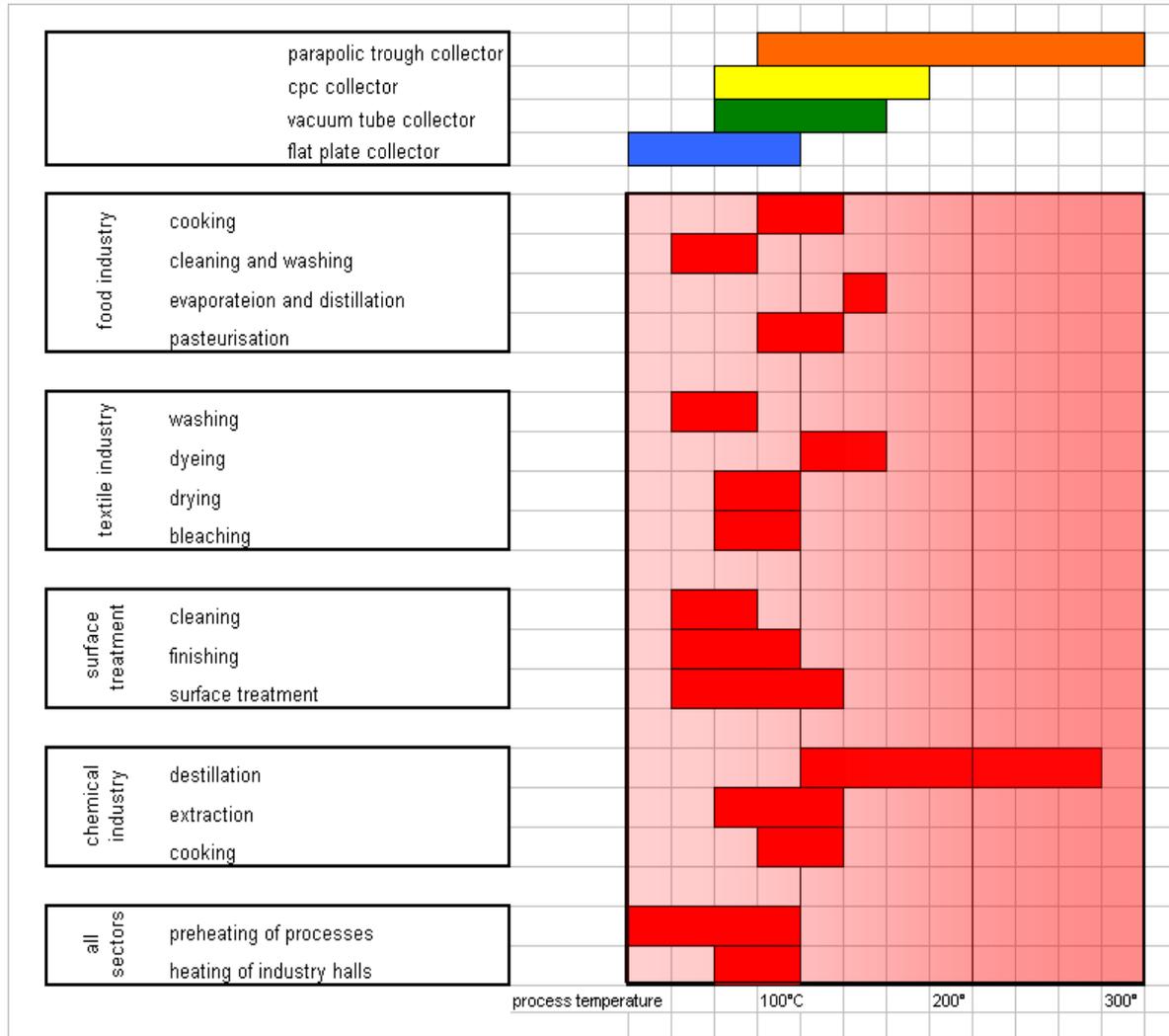
- Kunde: Gas Natural / Spanien
- Standort: Universität von Sevilla
- Fresnel Collector: 64m lang, 352m<sup>2</sup> Primärspiegelfläche
- Anwendung: Solare Kühlung
- Kältemaschine: 2-stufige H<sub>2</sub>O-LiBr Broad BZH 15, max. Kühlleistung 174 kW
- Backup: Integrierter Gas Brenner
- Installation: Okt / Nov 2007



# Konzepte für die Gebäudeintegration von Fresnelkollektoren



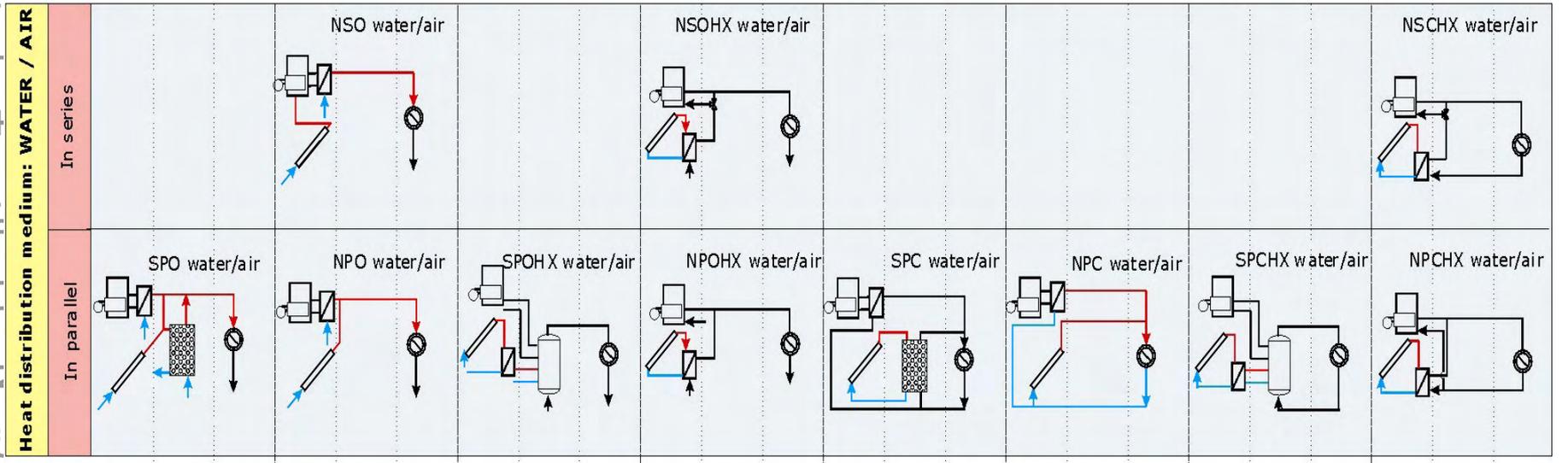
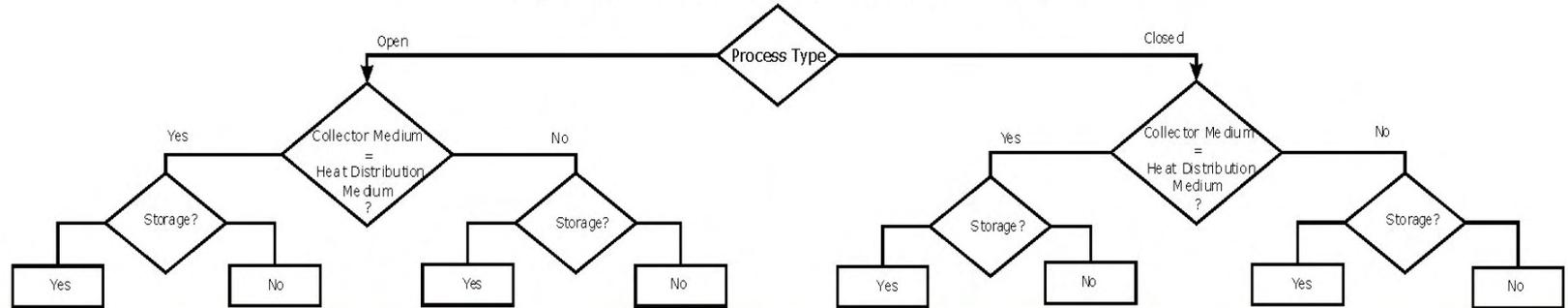
# Typische Niedertemperaturprozesse



# 23 Systemkonzepte Flachkollektor

3rd draft version, September 2005

## SHIP - Systematics of System Concepts



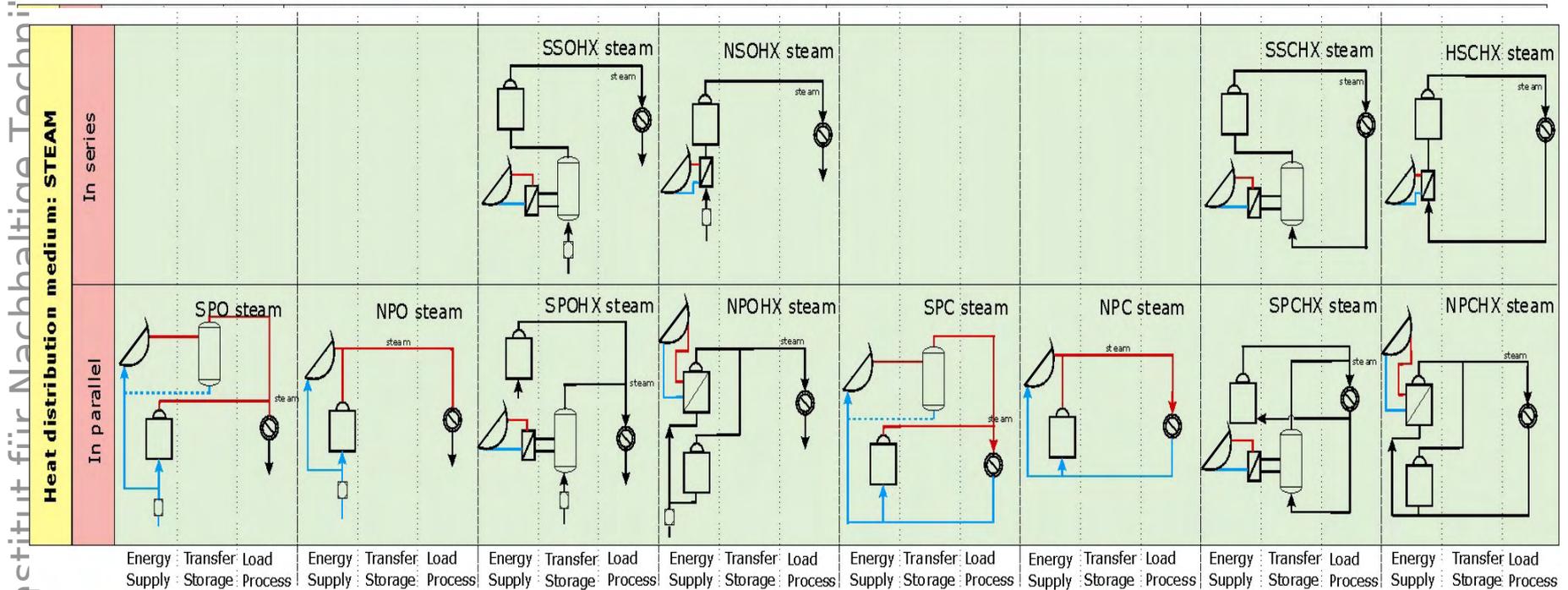
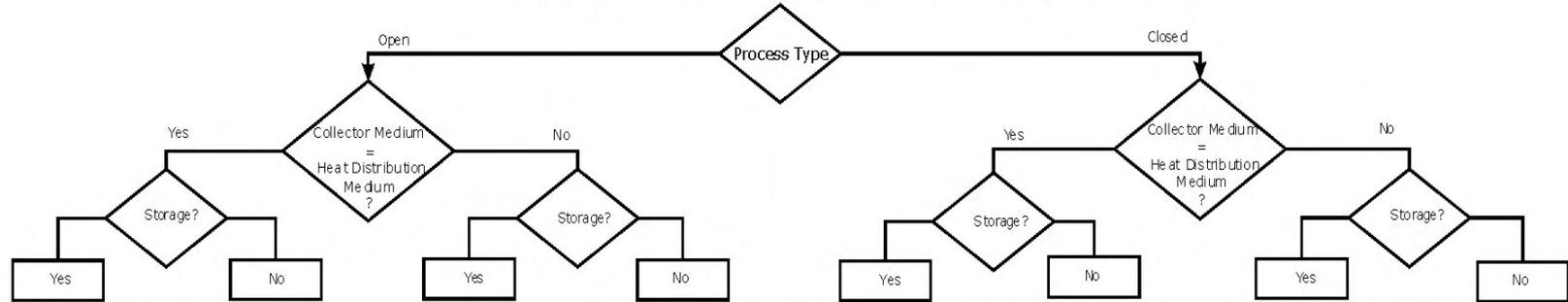
Energy : Transfer : Load							
Supply : Storage : Process							

# 23 Systemkonzepte Konzentrierende

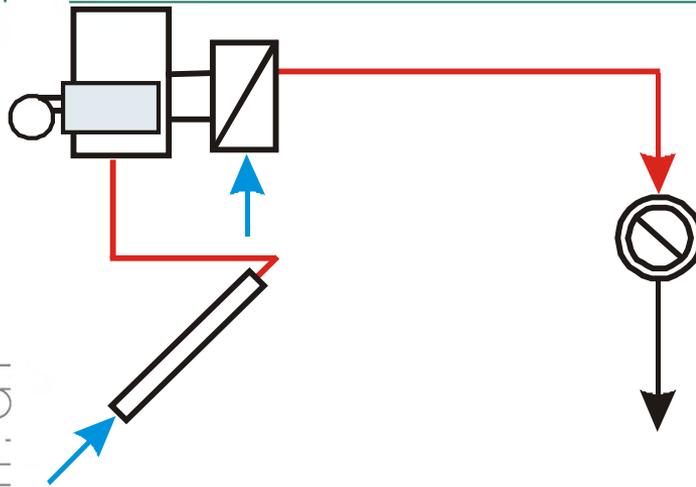
3rd draft version, September 2005



## SHIP - Systematics of System Concepts



# Trocknungsprozesse - Luft



## Hauptanwendungen:

- Kaffee
- Tee
- Mais
- Tabak

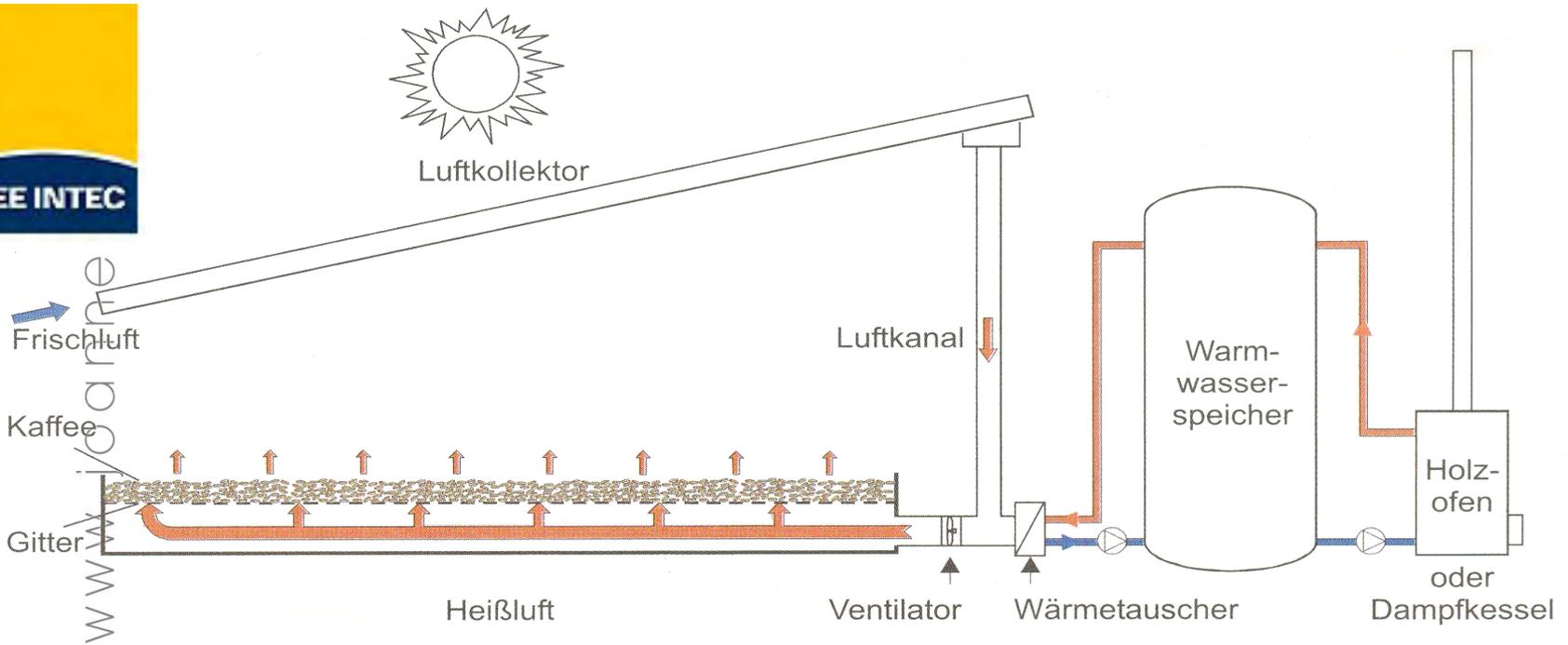
**Typische Prozesstemperaturen: 30 - 80 °C**

**Wärmeträger: Luft**

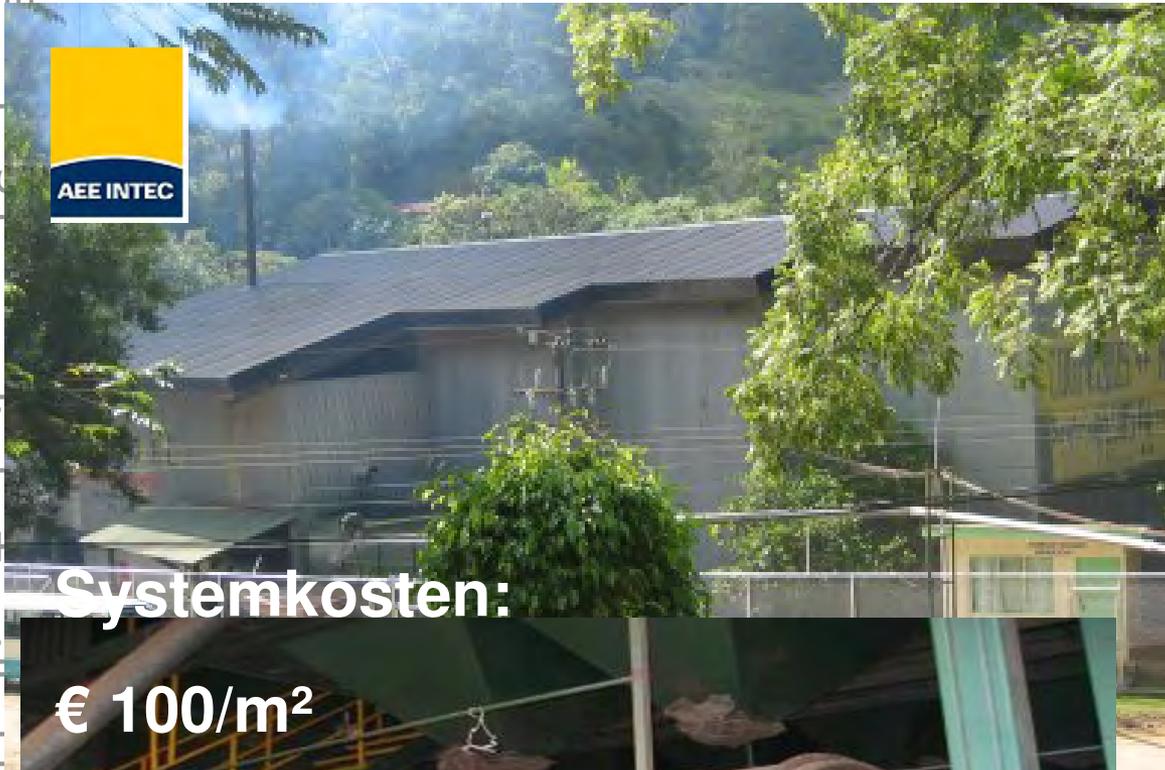
**Kollektoren:**

- verlaste- oder unverglaste Luftkollektoren
- Solar Wall ®

# Solar Kaffee Trockner



# Trocknungsprozesse - Luft



**Systemkosten:**

**€ 100/m<sup>2</sup>**

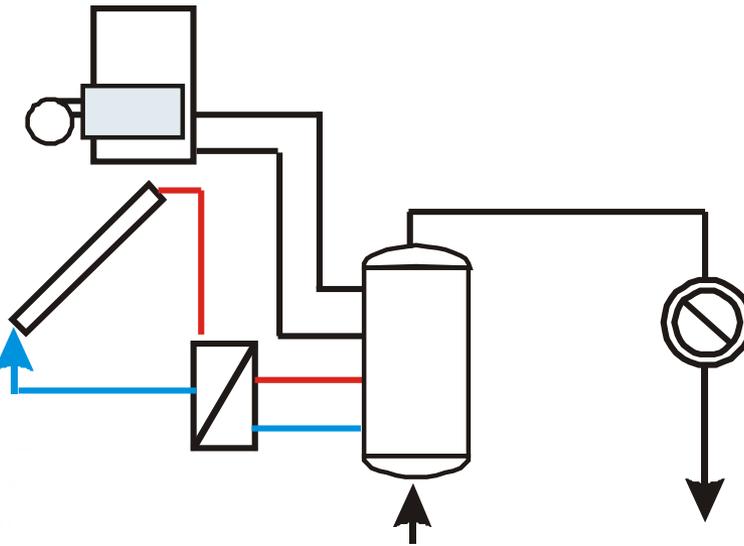
**€ 143/kW<sub>th</sub>**

**Kaffeetrocknung,  
Coopeldos, Costa Rica**

**Installierte Leistung: 595  
kW<sub>th</sub> (850 m<sup>2</sup>**

**Luftkollektoren)**  
INNOVATION aus TRADITION

# Wasch- und Trocknungsprozesse



## Hauptanwendungen

- Flaschen
- Textilien
- Fahrzeuge, Container
- Holz Trocknung

**Typische Prozesstemperaturen: 40 - 90 °C**

**Wärmeträger:**

**Wasser (Luft)**

**Kollektoren:**

**Flachkollektoren**



**Molkerei TYRAS S.A. , Trikala, Griechenland**  
**Installierte Leistung: 728 kW<sub>th</sub> (1040 m<sup>2</sup> FK)**



# Realisierte Anlagen - Waschprozesse

Systemkosten:

€ 349/m<sup>2</sup>

€ 498/kW<sub>th</sub>

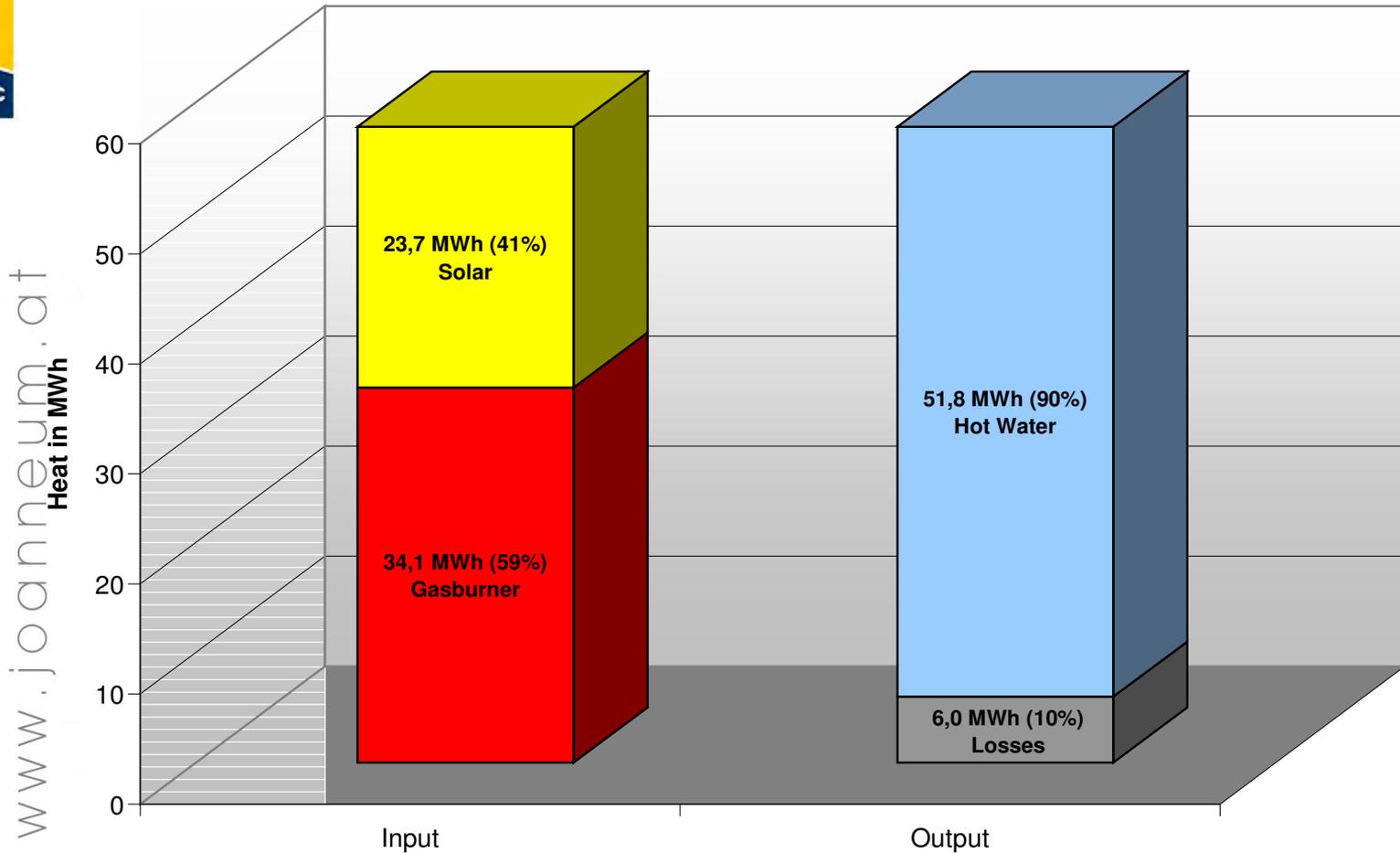


**Autowaschanlage: Gratwein, Österreich**

**Installierte Leistung: 30 kW<sub>th</sub> (43 m<sup>2</sup>)**

# SunWash – Energiebilanz - 2005

Sunwash - Energy Balance Year 2005



www.joanneum.at  
Heat in MWh

# SunWash – Energiebilanz - 2005

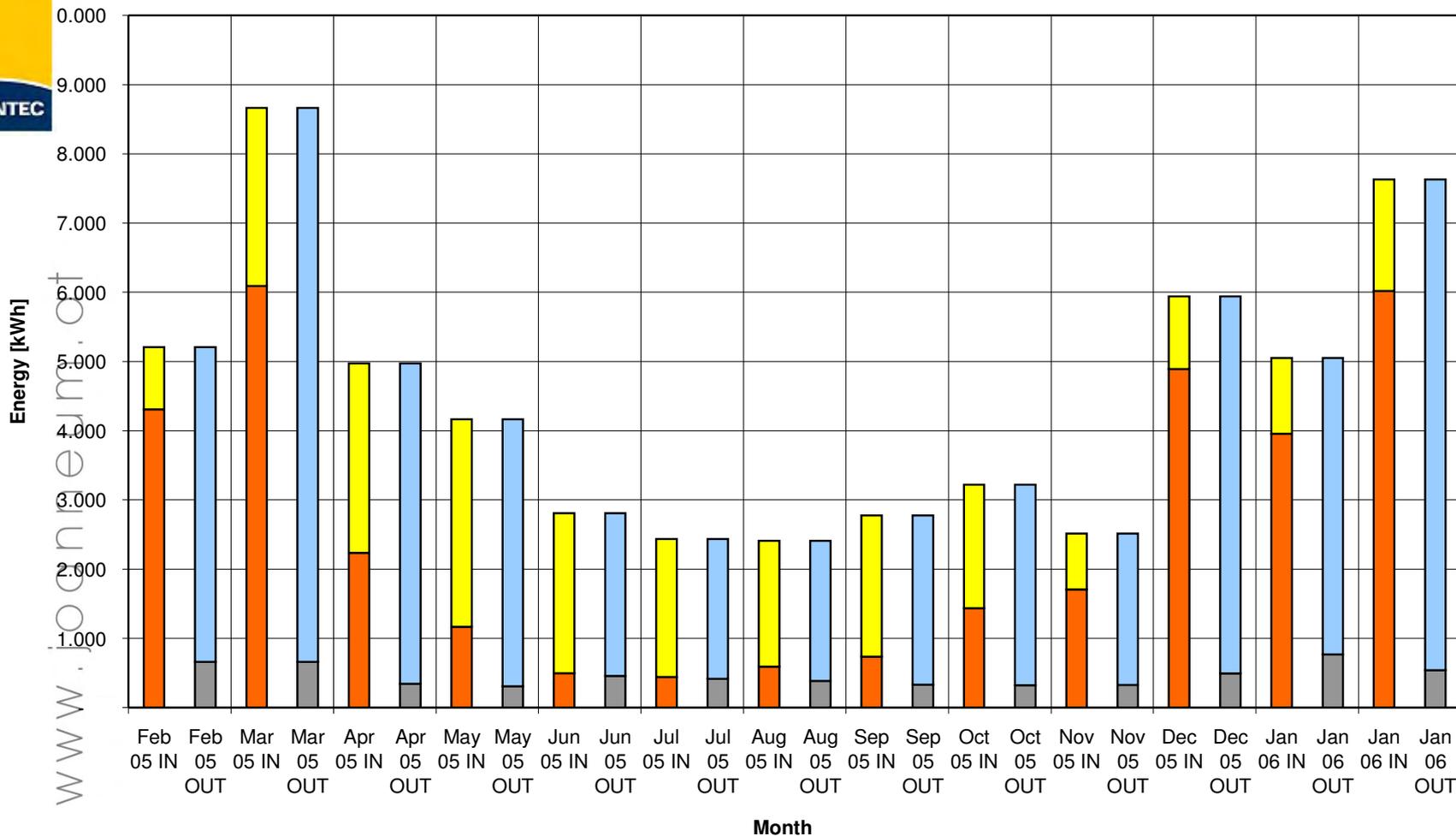
Energy Balance SunWash - Gratwein

Q\_Burner

Q\_Solar

Q\_Loss

Q\_Water







# Holztrocknung



**Holztrocknung**  
**Lohnsburg, Österreich**

Installierte Leistung:  $62 \text{ kW}_{\text{th}}$  (88 m<sup>2</sup> FP)

# Pasteurisieren und Flaschenwaschen



## Fruchtsaft Gangl, Tischen

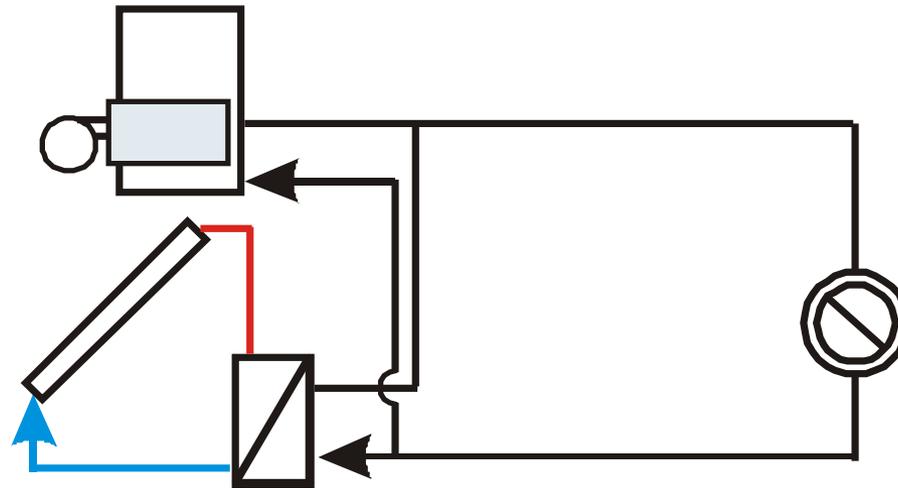
Installierte Leistung: 42 kW<sub>th</sub> (60 m<sup>2</sup>)

Speicher: 21,9 m<sup>3</sup> (1 x 20 m<sup>3</sup>, 1 x 1,9 m<sup>3</sup>)

Fruchtsaftpasteurisierung  
Flaschenwaschen  
Essigproduktion

Back-up: Ölkessel

# Galvanikindustrie



**Typische Prozesstemperaturen : 30 - 90 °C**

**Wärmeträger: Wasser**

**Kollektoren: FP, ETC, CPC**

# Galvanikindustrie, Deutschland

70 kW<sub>th</sub> (100 m<sup>2</sup>) Vakuum-Röhrenkollektoren



**Systemkosten:**

**€ 550/m<sup>2</sup>**

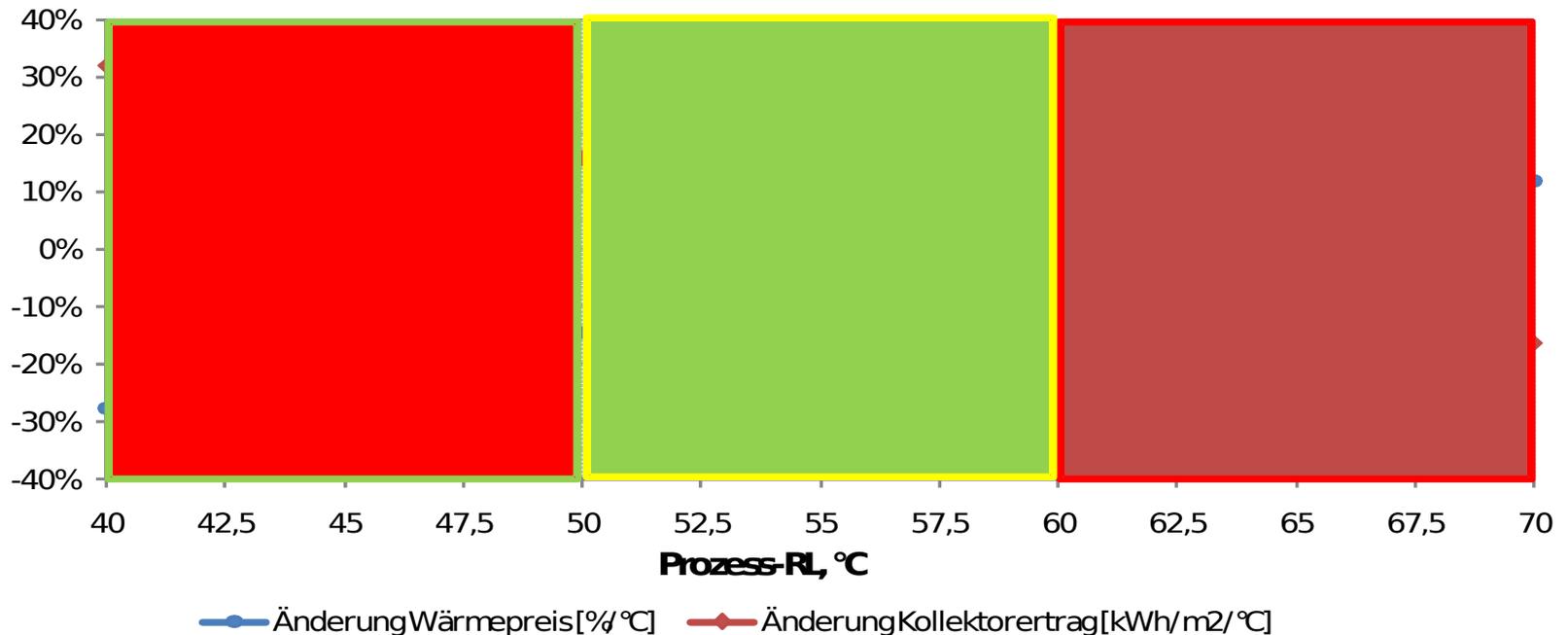
**€ 785/kW<sub>th</sub>**

# Ergebnisse der Fallstudie in Österreich

## Einbindung der thermischen Solaranlage - Ergebnis

- Beste Variante – gemessene Betriebsparameter (83/63/20)
  - 588 m<sup>2</sup> (brutto) Hochleistungs- Flachkollektoren (411,6 kW) mit 40m<sup>3</sup> Speicher
  - **Verwendung: Prozesswärme in den Vorbehandlungsbädern der Pulverbeschichtung (Entfetten, Phosphatieren)**
  - Einsparungspotential: 209,6 MWh Erdgas/a
- Optimierte Variante – modifizierte Betriebsparameter (75/55/20)
  - **bei veränderter Anlagenhydraulik für die Prozesswasserverteilung**
  - Einsparungspotential: 260,2 MWh Erdgas/a (~ +20 %)

# Ergebnisse der Fallstudie



- Eine Absenkung der Prozessrücklauf­temperatur zum Speicher um 10°C bewirkt eine Reduktion des Wärmepreises Solar um ca. 13% und eine Steigerung des solaren Ertrages um ca. 16%.

# Brauerei Neuwirth

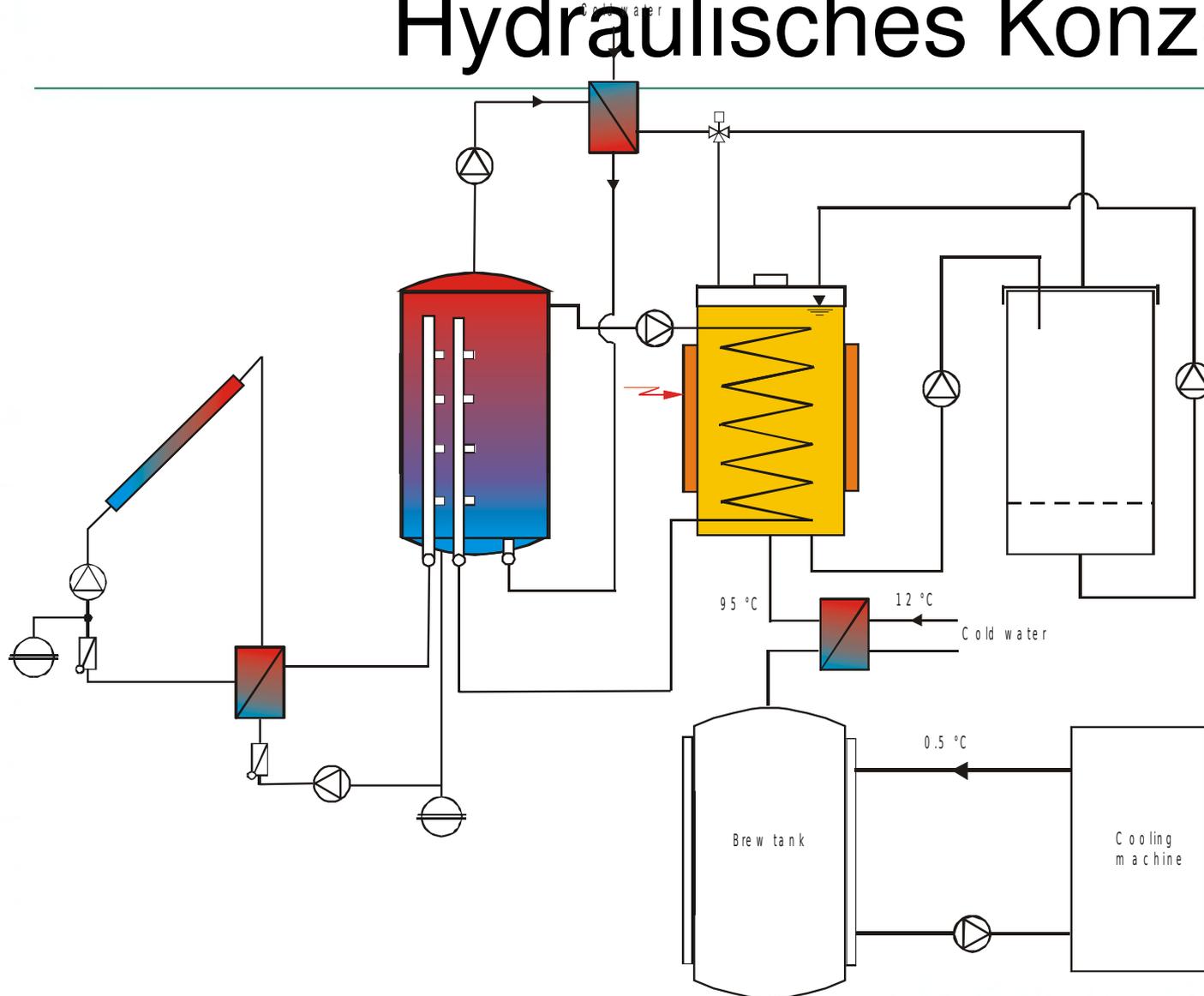


Kollektor:  $14 \text{ kW}_{\text{th}}$  ( $20 \text{ m}^2$ )

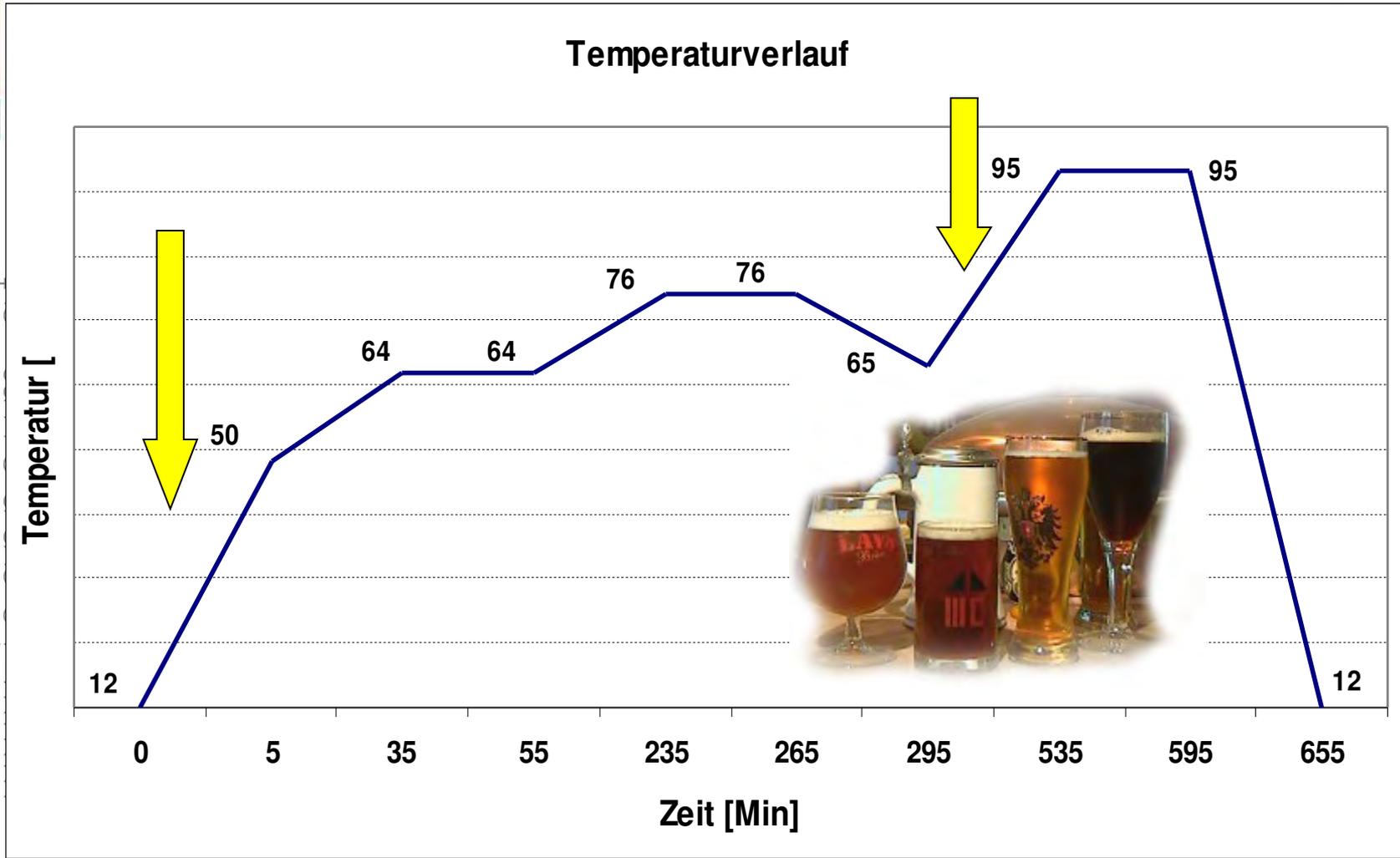
Warmwasserspeicher:  $1 \text{ m}^3$

Sudkessel: 400 liter

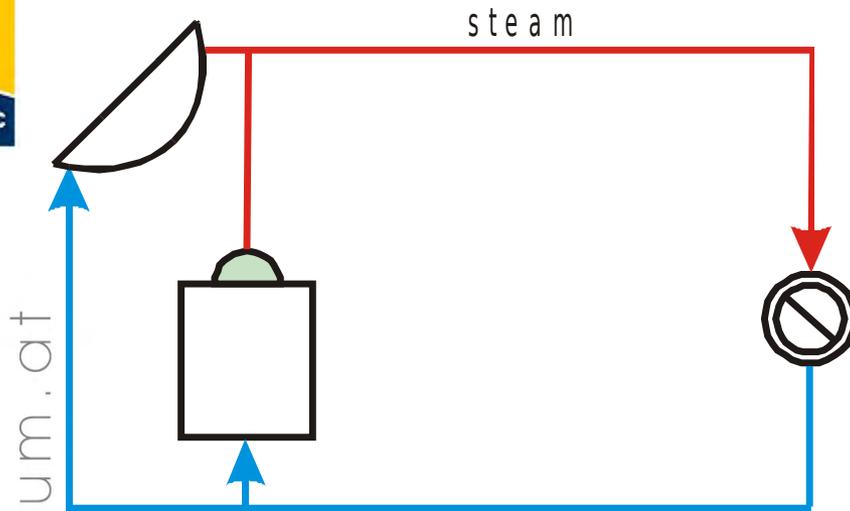
# Hydraulisches Konzept



# Brauprozess - Kleinbrauerei



# Systeme für Dampfnetze



## Anwendungen:

- Chemische Industrie
- Lebensmittelindustrie
- Wäschereien

**Typische Prozesstemperaturen : 120 - 200 °C**

**Wärmeträger: Dampf**

**Kollektoren: Parabolrinnen, Fresnel**

# Destillation und chemische Prozesse

**EI NASR Pharmaceutical Chemicals, Ägypten**  
**Installierte Leistung: 1,33 MW<sub>th</sub>**  
**(1900 m<sup>2</sup> Parabol-Rinnenkollektoren)**  
**Dampfproduktion: 1,3 t/hr / 170 °C, 7,5 bar**

Quelle: FICHTNER SOLAR GmbH

# Solare Hallenheizung

Beheizung von Industriehallen bietet günstige Voraussetzungen für den Einsatz von Solarthermie

- Niedrige geforderte Raumtemperaturen
- Fußbodenheizung wird immer beliebter → Niedrige Vorlauftemperaturen des Heizkreises
- Sehr einfaches Systemkonzept möglich durch Verwendung des vorhandenen Betonfußbodens als Speicher



Quelle: velta / uponor



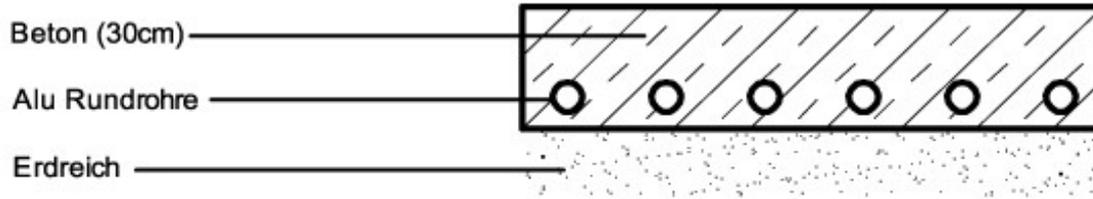
# Solare Hallenheizung

## Welche Faktoren sind für die Auslegung von Solaranlagen für Industriehallen wichtig?

- Isolierung (Wände, Dach, Boden)
- Luftwechsel (offenen Hallentore etc.)
- Interne Gewinne (Betrieb von Maschinen, Licht, Personen)
- Fußbodenheizung machbar? Notwendige Verlegungstiefe (Befestigung von Maschinen etc.)
- Mitbeheizung von Bürogebäuden, Warmwasserbedarf

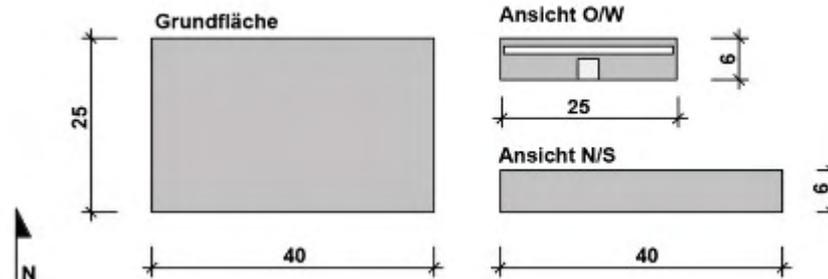
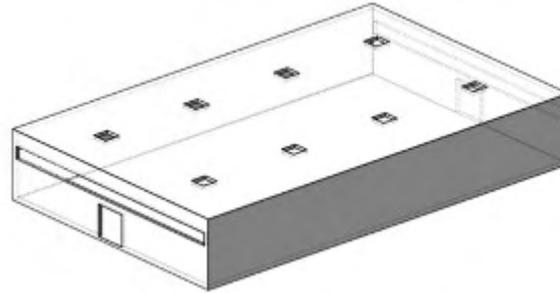


# Wie ist eine typische Industriehalle gebaut?



- **Fußbodenaufbau:**
  - Betonplatte (20 - 50 cm)
  - Verlegungstiefe FBH: 15 – 35 cm
  - Häufig unisoliert, einige Beispiele mit 10-12 cm XPS oder Styrodur-Dämmung

# Definition einer Referenzhalle



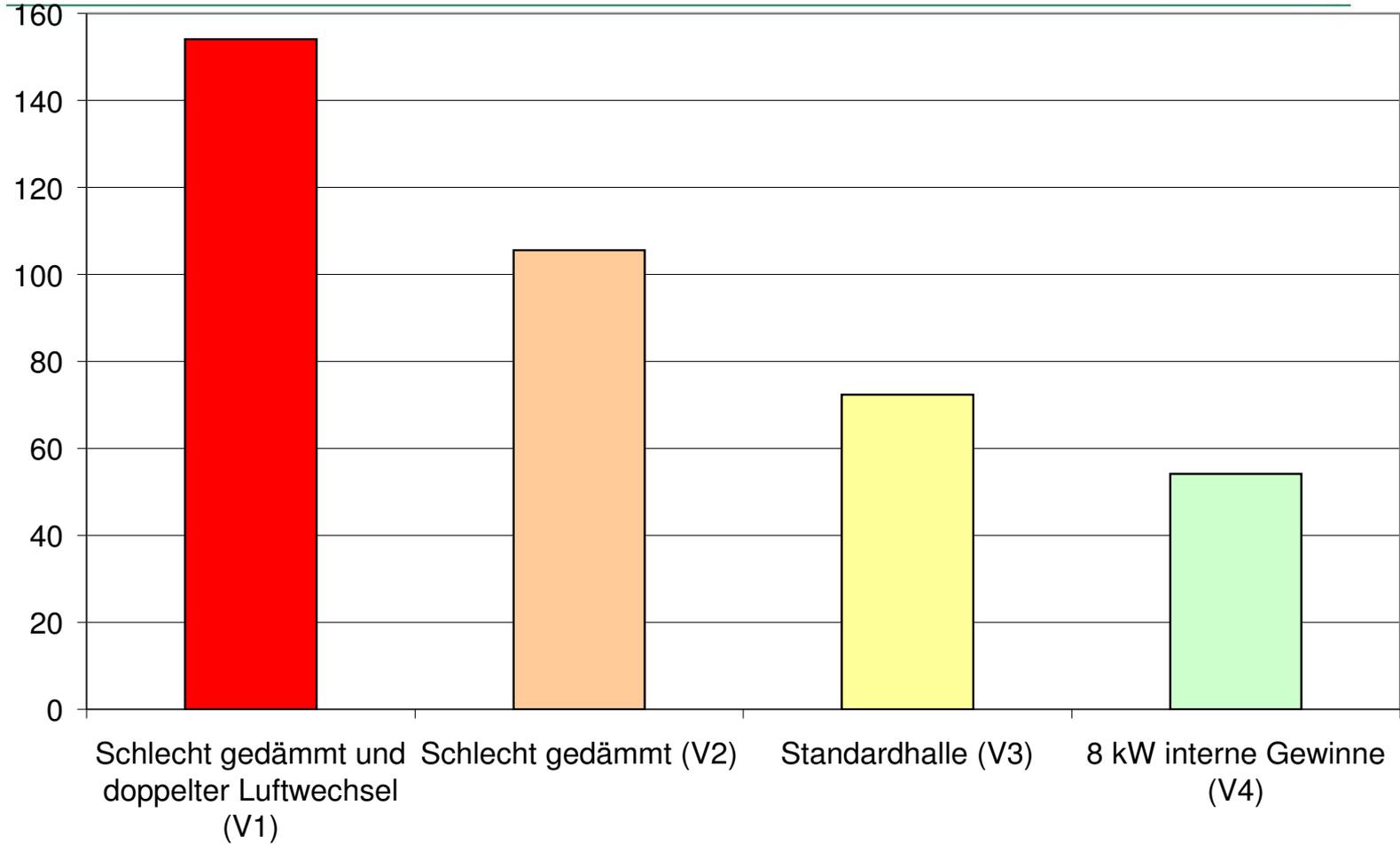
1000 m<sup>2</sup>, 6 m hoch, 16 cm Wandisolierung,  
Fenster auf Ost- und Westseite und im Dach  
Südfassade frei für Kollektoren

Luftwechsel 0,3 h<sup>-1</sup>

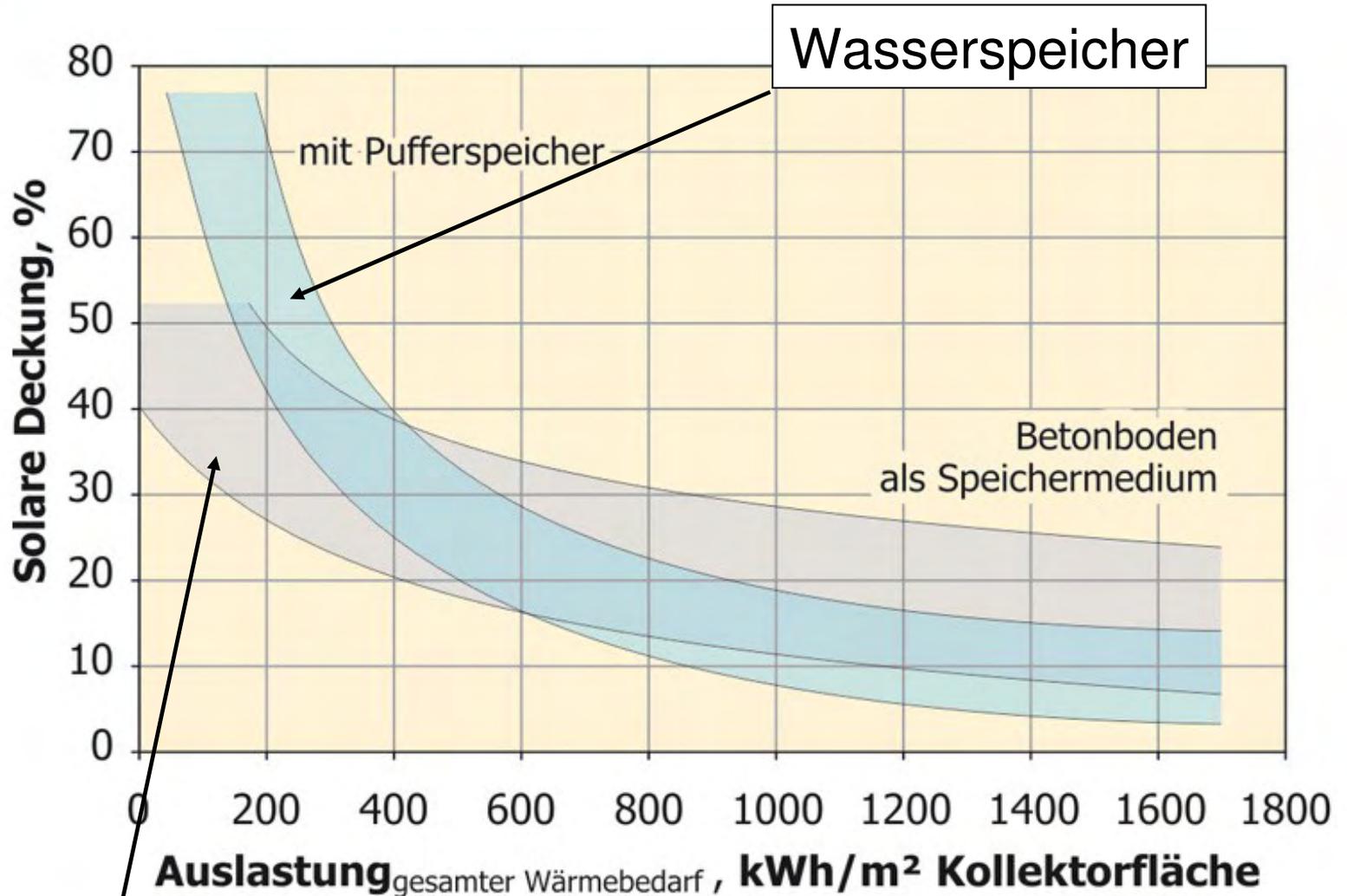
U-Werte Wände: 0,23 W/(m<sup>2</sup> K)

Heizwärmeverbrauch: 72 kWh/(m<sup>2</sup> a)

# Hallenvarianten- Energieverbrauch



# Speicher im Vergleich



Fußboden als Speicher

# Zusammenfassung solare Hallenheizung

- Solare Beheizung von Industriehallen ist besonders günstig, da die geforderten Raumtemperaturen meist niedrig sind (ca. 16° C).
- Fußbodenheizung empfehlenswert
- Einfache Systemkonzepte sind möglich.
  - Verzicht auf konventionellen Wasserspeicher
  - Nutzung des Betonfußbodens als Speichermasse
- Betonboden als Speichermasse kann bis etwas 40% solarer Deckung Wasserspeicher ersetzen.
- Bei hoher Auslastung (rel. kleine Kollektorflächen) kann der Betonfußboden sogar einen höheren Deckungsgrad als ein Wasserspeicher bringen.
- Wenn an wenigen sehr kalten Tagen auch etwas niedrigere Raumtemperaturen akzeptabel sind, kann der Deckungsgrad auch 100% erreichen.

# Zusammenfassung solare Prozesswärme

- Einbindung der solaren Prozesswärme bedarf im Vorfeld einer Prozessoptimierung (Technologieoptimierung und Systemoptimierung)
- Systemoptimierung sollte über die Pinchanalyse durchgeführt werden – Hinweis auf Einspeistemperatur
- Kurzfristig großes Potential im Niedertemperaturbereich (bis 100 °C) - Mittelfristig bis 250 °C
- Bestimmte Industriesektor und Prozesse besonders geeignet
- Weiterentwicklung von Kollektoren notwendig
- Prozessintensivierung (verbesserter Stoff- und Energietransport) notwendig um die Effizienz von Solarthermie zu steigern