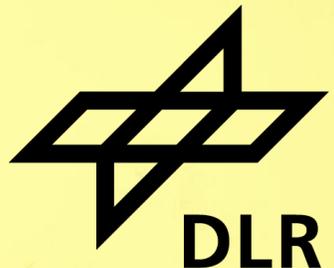


Solar-Wärme bei 100 bis 800°C im Megawatt-Maßstab für deutsche und europäische Produktionsstandorte

VEA Bundesverband der Energie-Abnehmer e.V.

**VEA Seminar 28. September 2023 - Wie die Dekarbonisierung gelingen kann:
Einsatz alternativer Energien und Technologien im Unternehmen**

Eckhard Lüpfert – DLR, Institut für Solarforschung, Köln

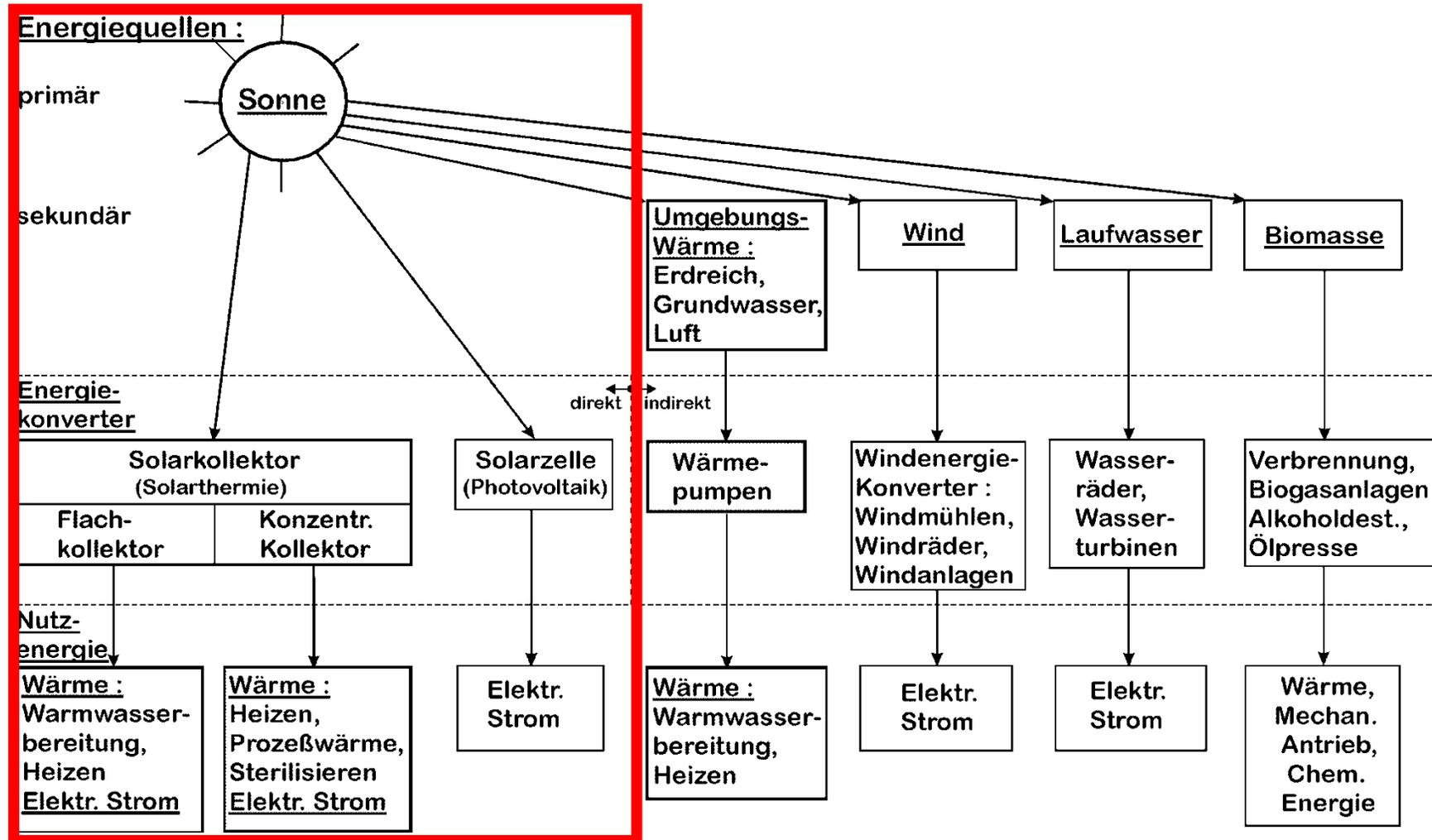


Eckhard Lüpfer, DLR Institut für Solarforschung



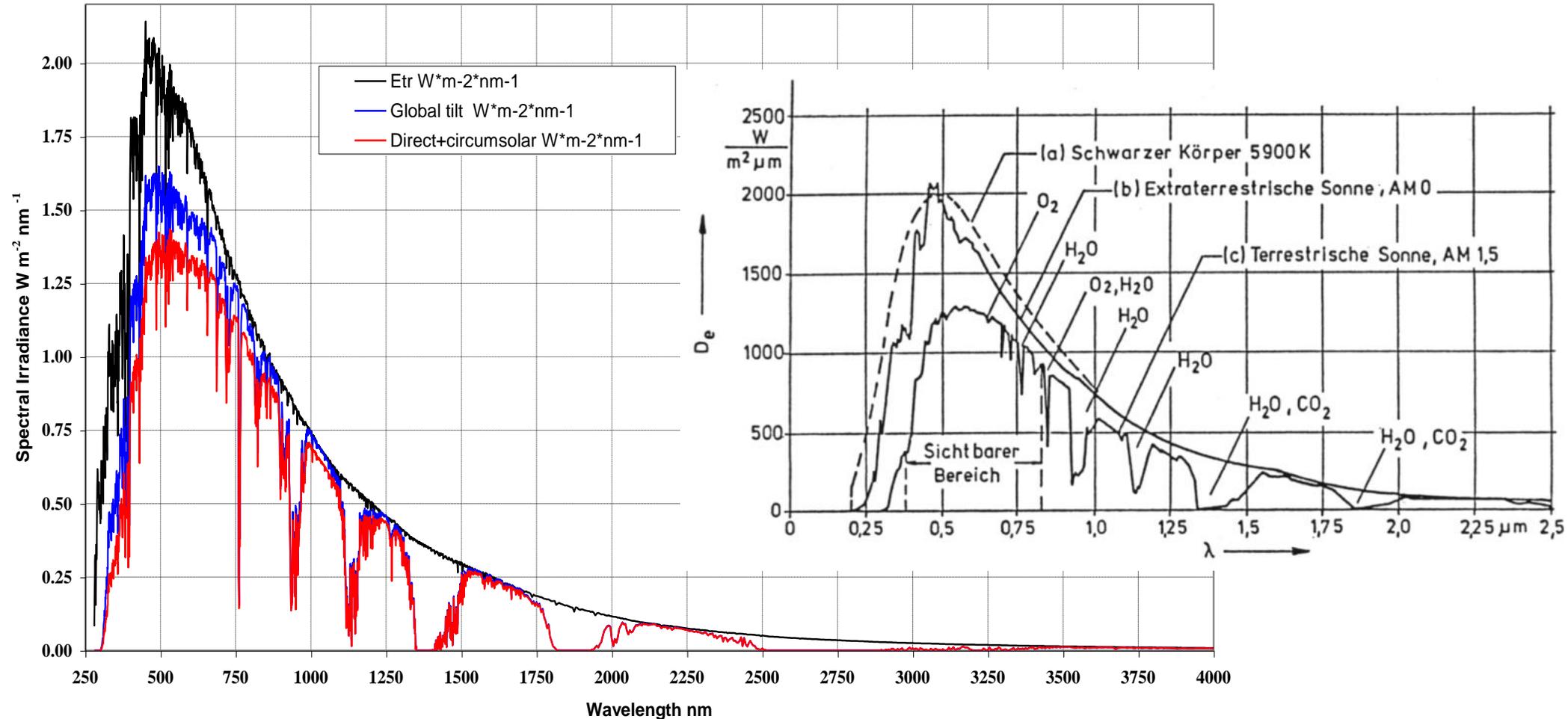
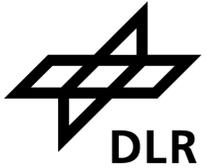
- Studium RWTH Aachen, Maschinenbau und Physik
- Diplom Maschinenbau Energietechnik Kraftwerkstechnik Verfahrenstechnik 1992
- Promotion Maschinenbau Technische Thermodynamik 1996
- DLR Köln, Solare Energietechnik, seit 1992
- Plataforma Solar de Almería 1997-2005
- DLR Köln, Institut für Solarforschung
- CSP Services GmbH und weitere Unternehmensgründungen

Sonne als Energiequelle



[Krug 2002]

Das verfügbare Sonnenspektrum - ASTM G173 (direct)

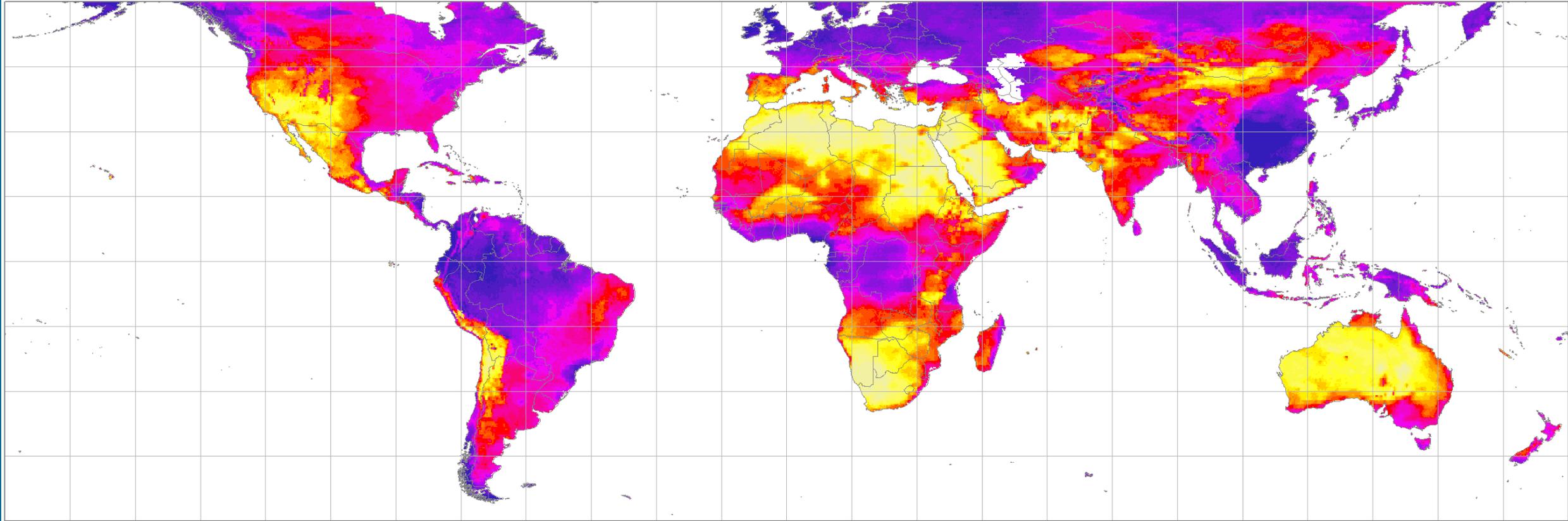


Resource: Solare Einstrahlung, Direktstrahlung

Mitteleuropa: immerhin noch halb so viel wie Südspanien, hauptsächlich Sommermonate



Direct Normal Irradiation (DNI)

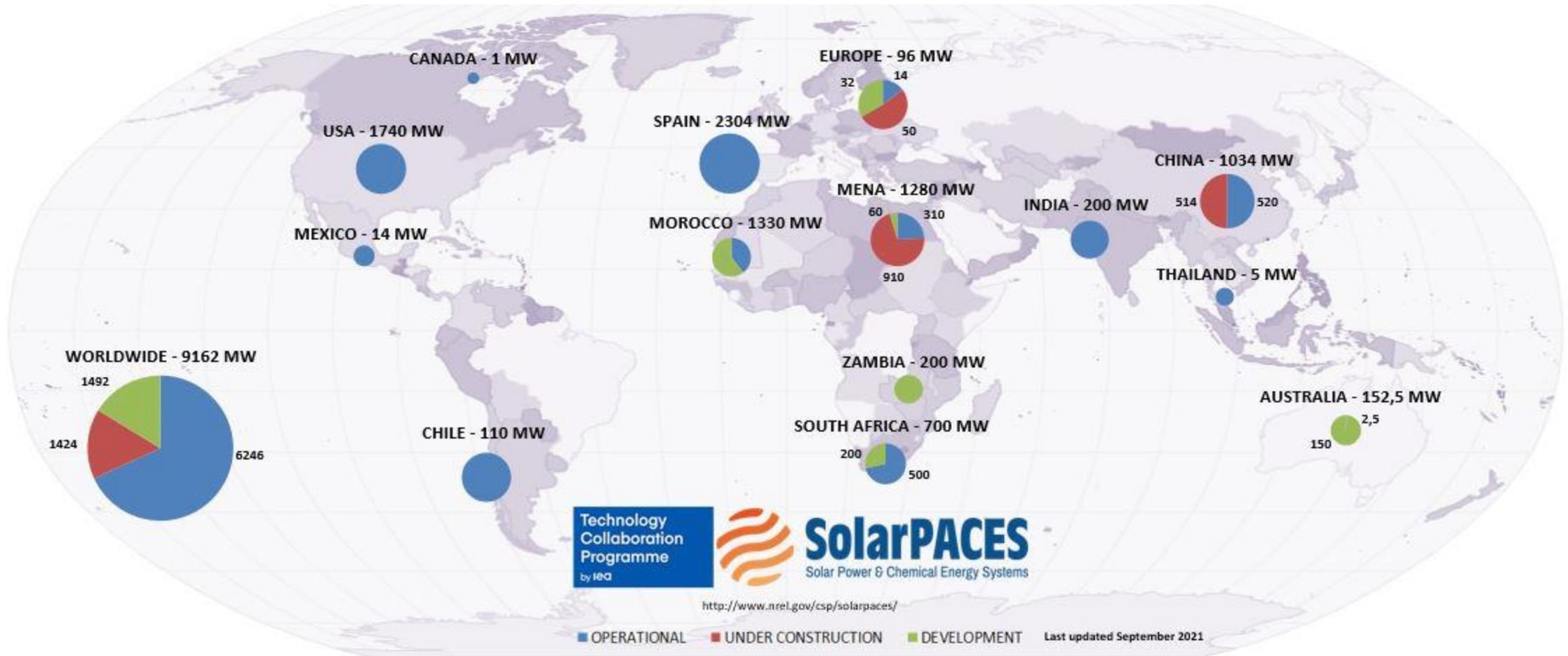


7.0 (www.meteonorm.com); uncertainty 15%
5; grid cell size: 0.25°

September 2012 The logo for METEOTEST, featuring a stylized sun or starburst above the word 'METEOTEST'.

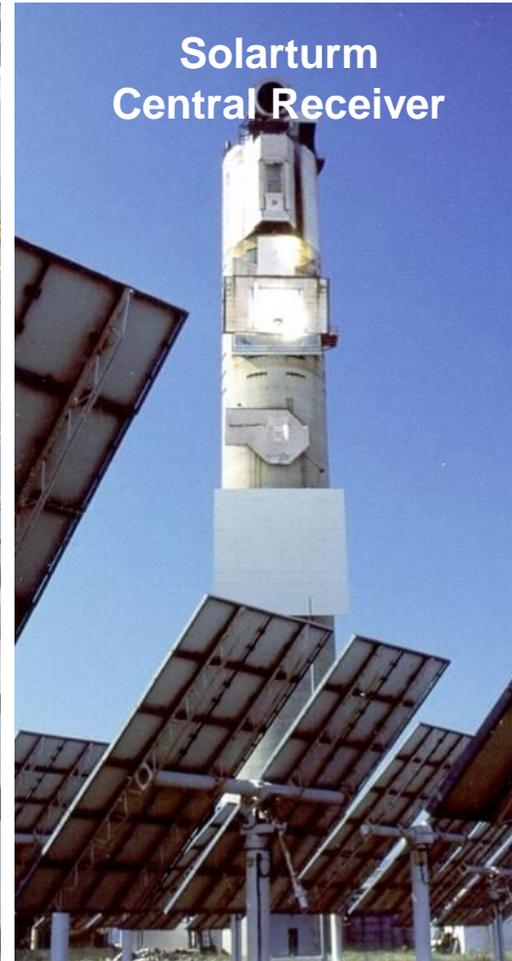
Solkraftwerke weltweit

Stromerzeugung CSP vorrangig an Standorten mit viel Solarstrahlung

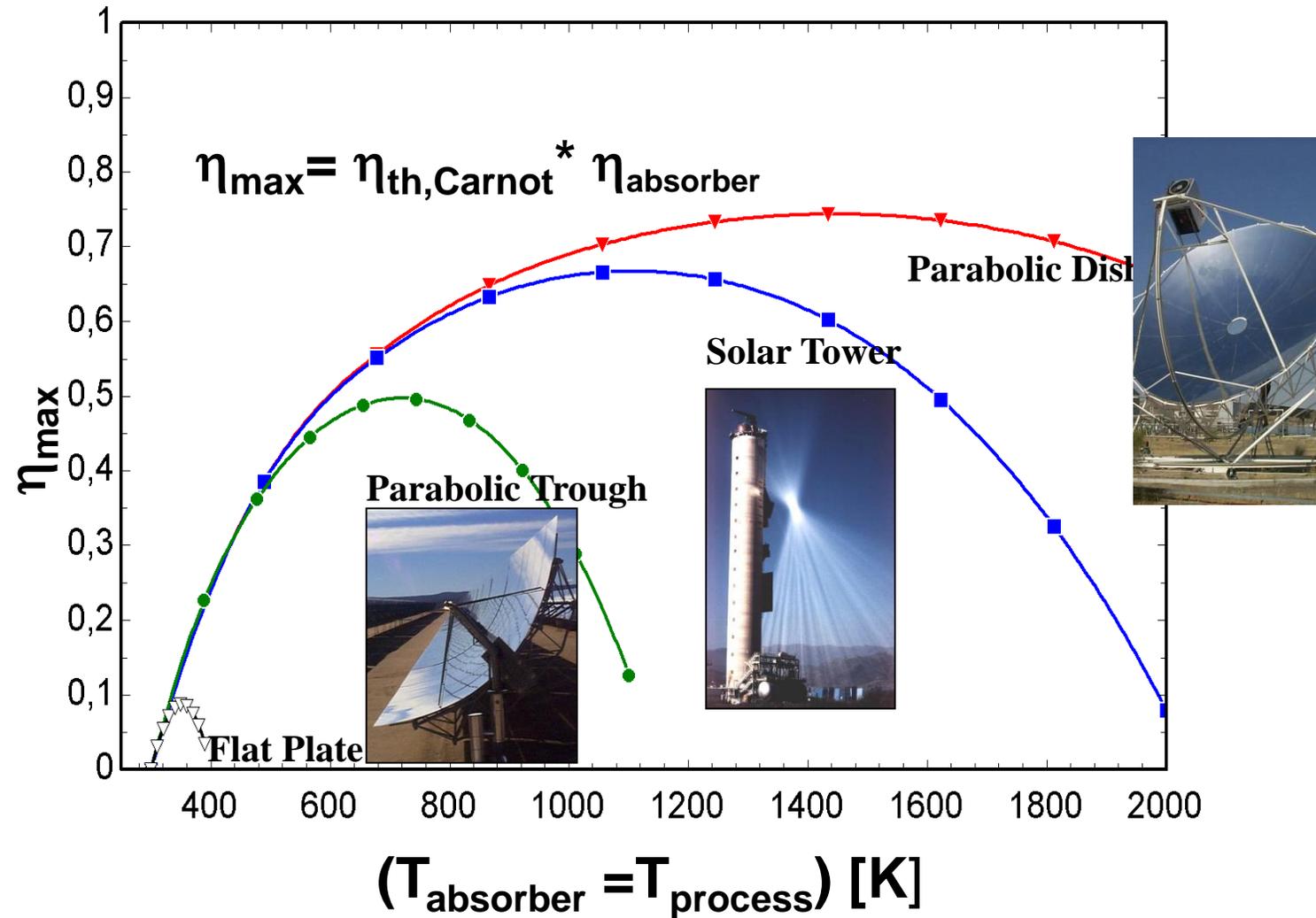


<https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world/>

vier Typen konzentrierende Kollektoren solarthermische Kraftwerke, solare Prozesswärme $>100^{\circ}\text{C}$

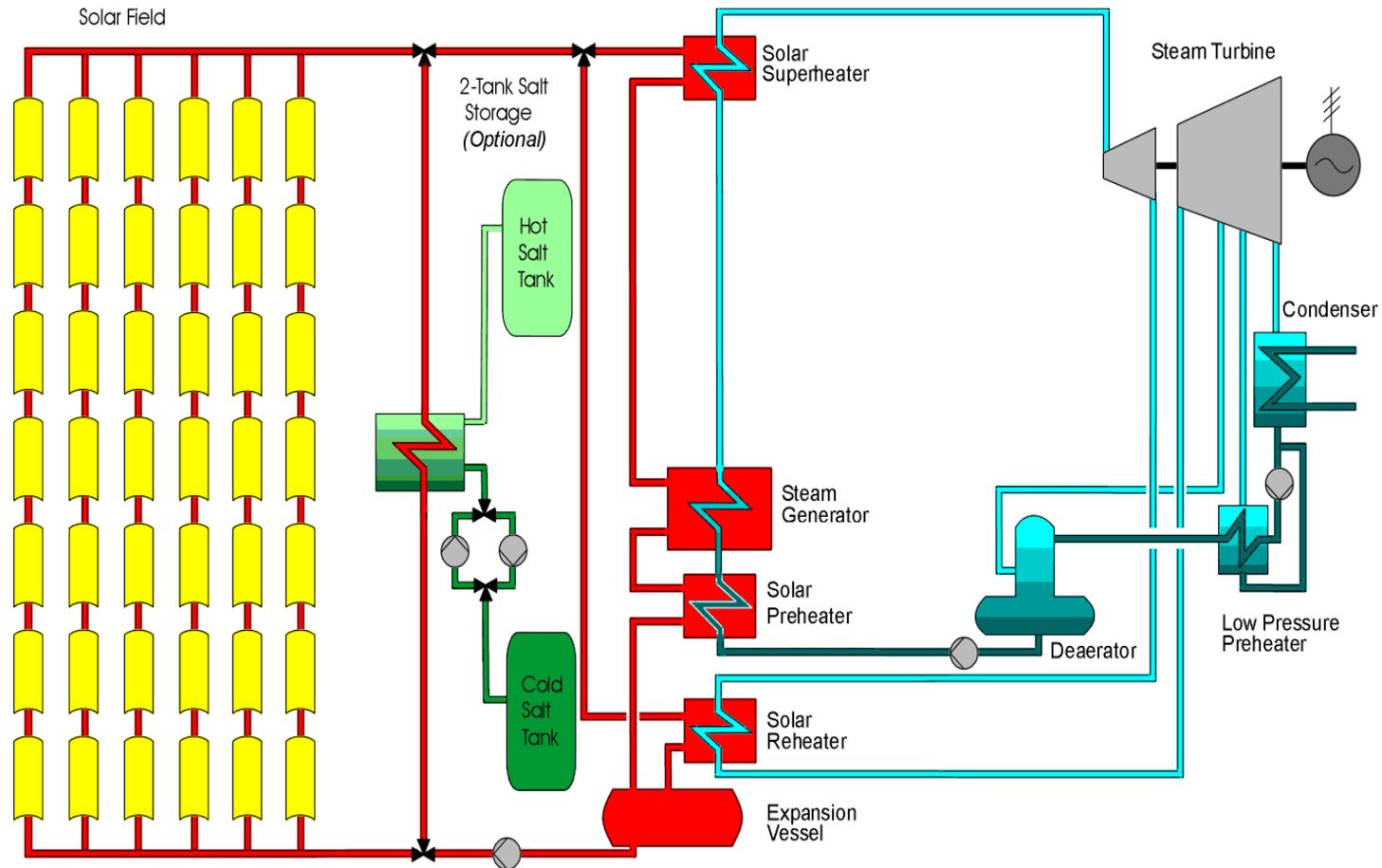


Potenzial CSP-Systeme (thermodynamisch)



Parabolrinnenkraftwerk Schema Andasol

50 MW, 8 Stunden Pufferspeicher, 500.000 m² Parabolrinnen



SEGS Solar Electric Generating Systems 1980'er USA



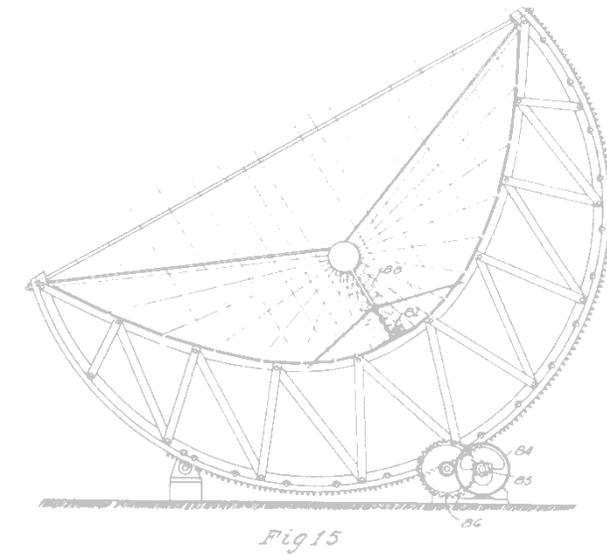
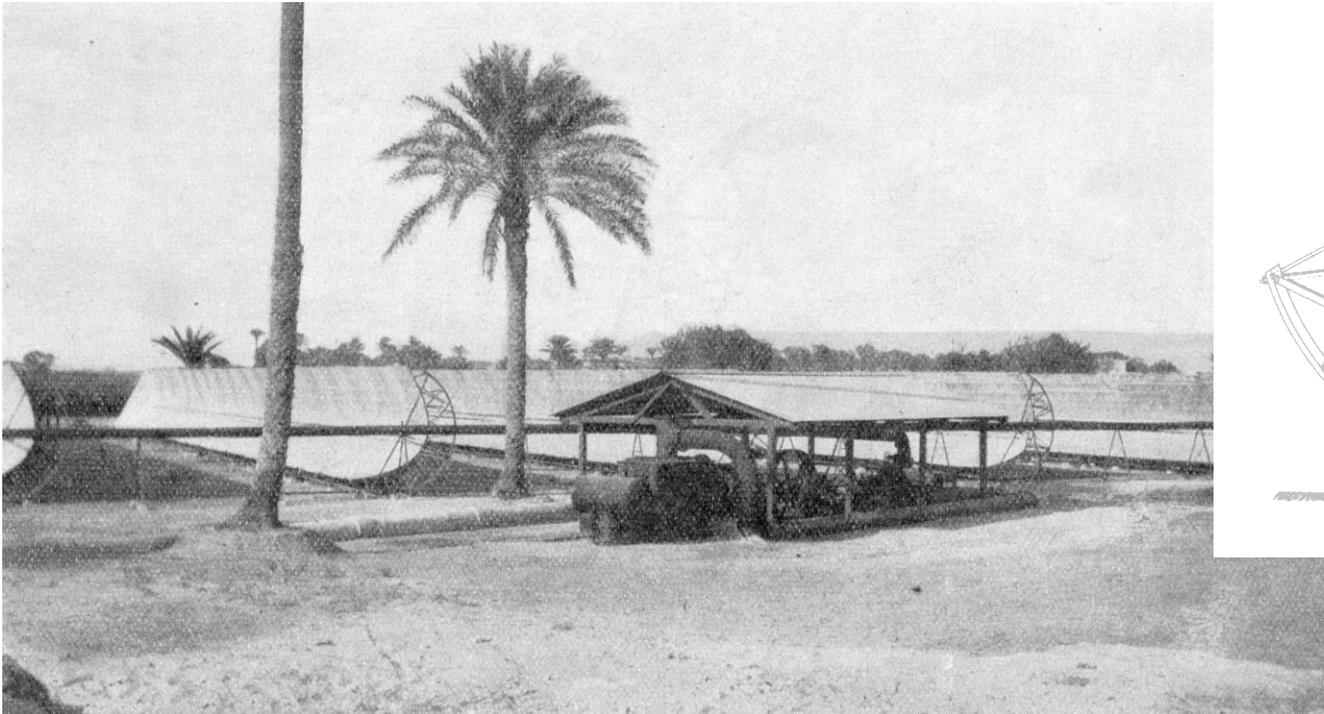
EuroTrough, Plataforma Solar de Almería, Spanien

5,8 m Aperturbreite, 150 m Kollektorlänge (818 m²), 395°C

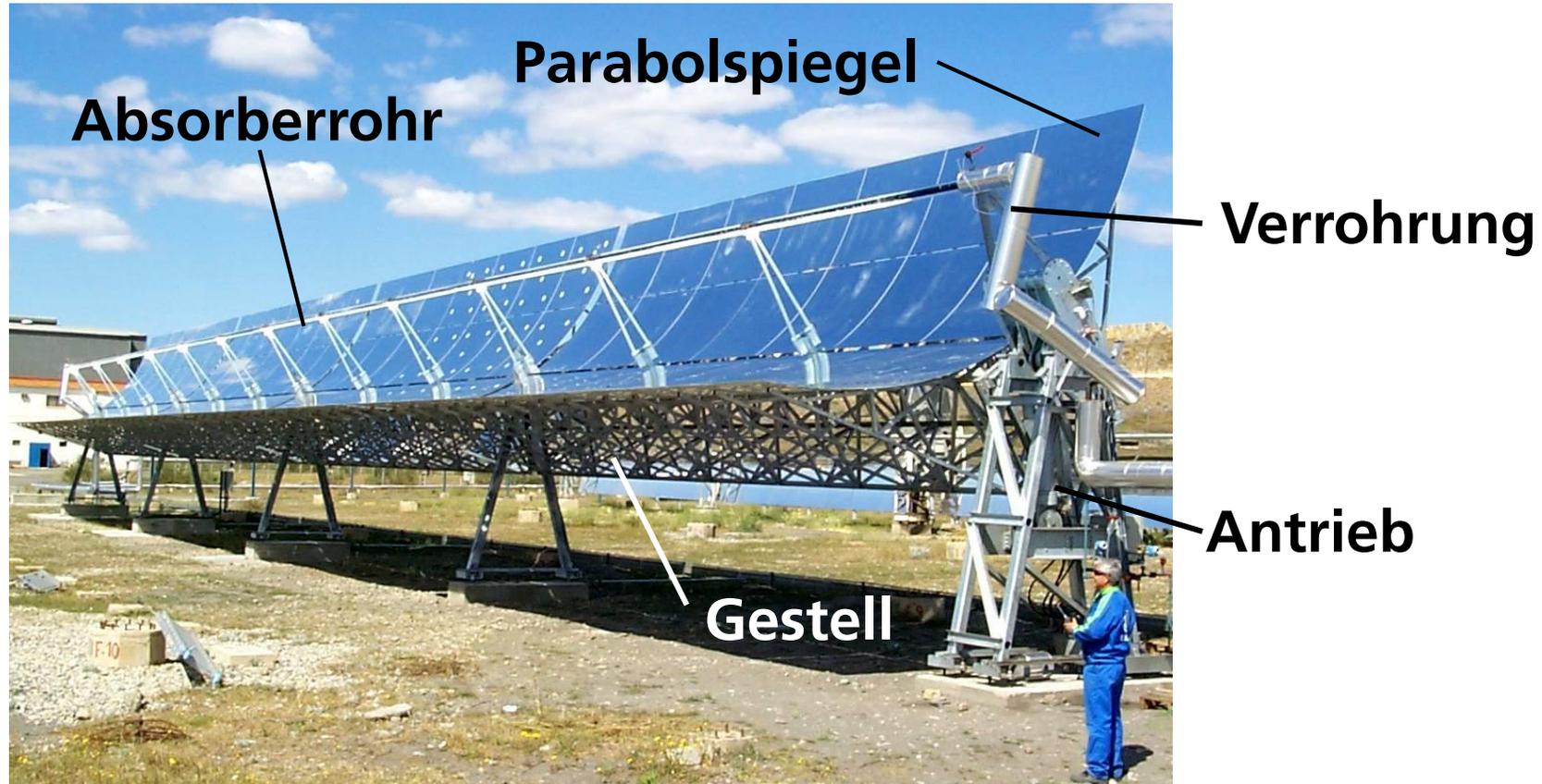


Geschichte des Parabolrinnenkollektors

- Patent von Wilhelm Meier und Adolf Remshardt im Jahr 1907
- Erstes Kraftwerk in Ägypten 1912
 - Sattdampf mit 100°C und 1 bar mit 1200 m^2
 - Dampfmotor mit 45 kW für eine Wasserpumpe (380 l/s)

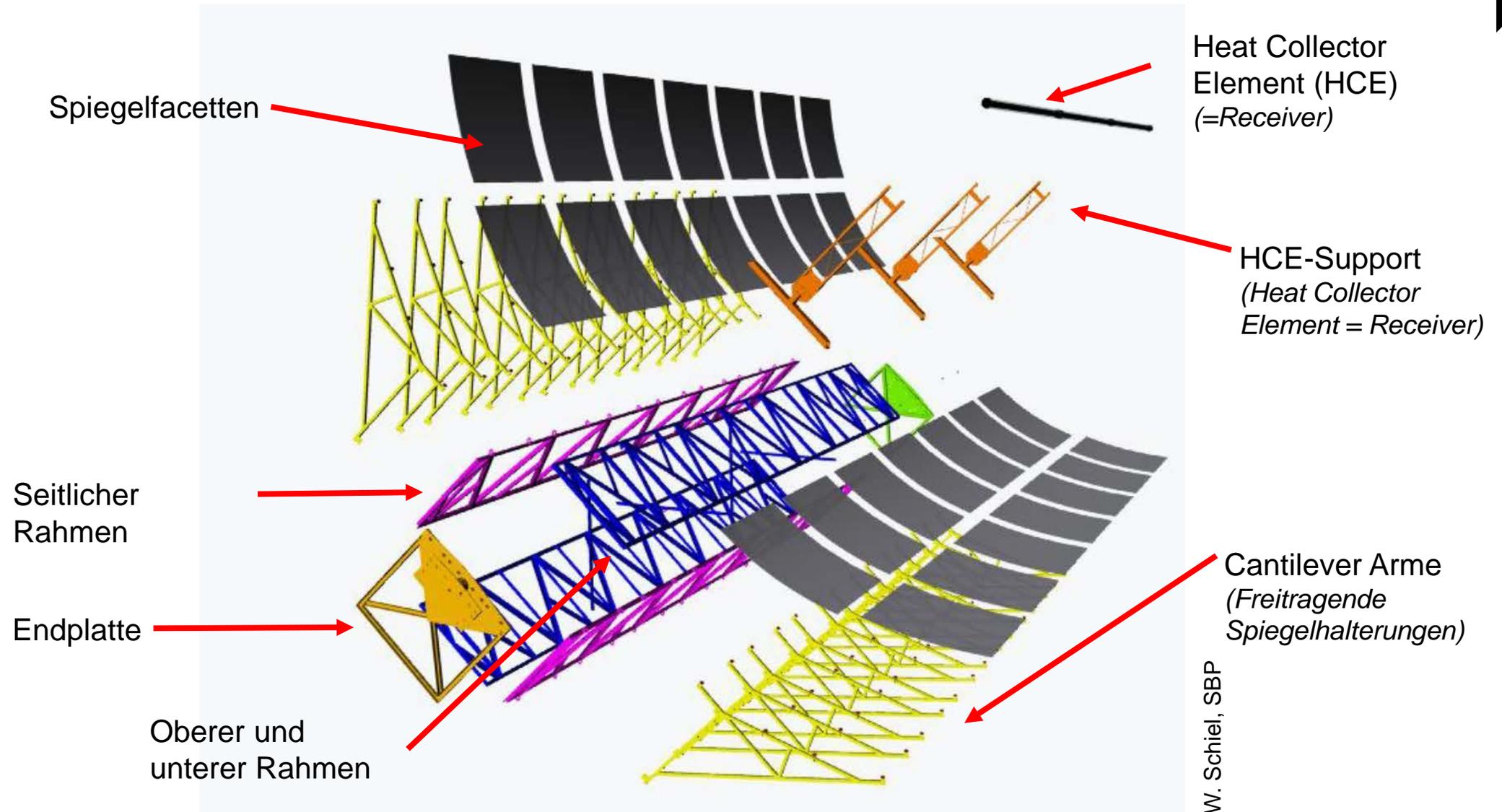


Einzelkomponenten Kollektor



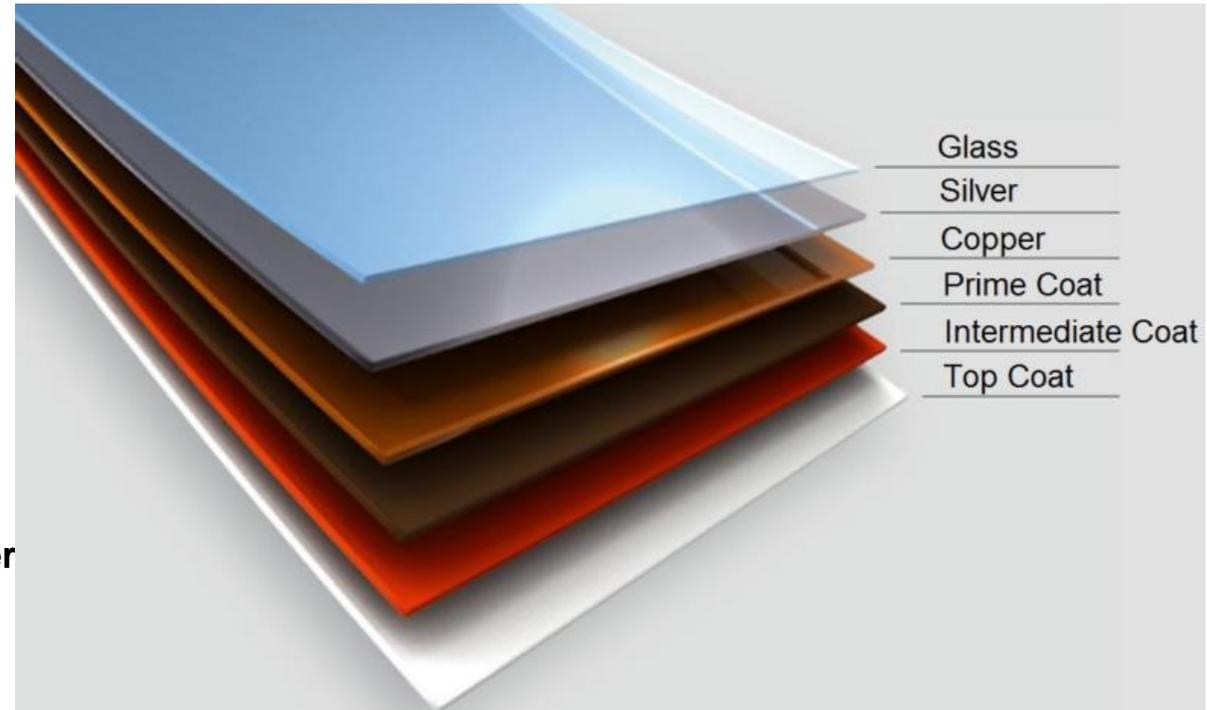
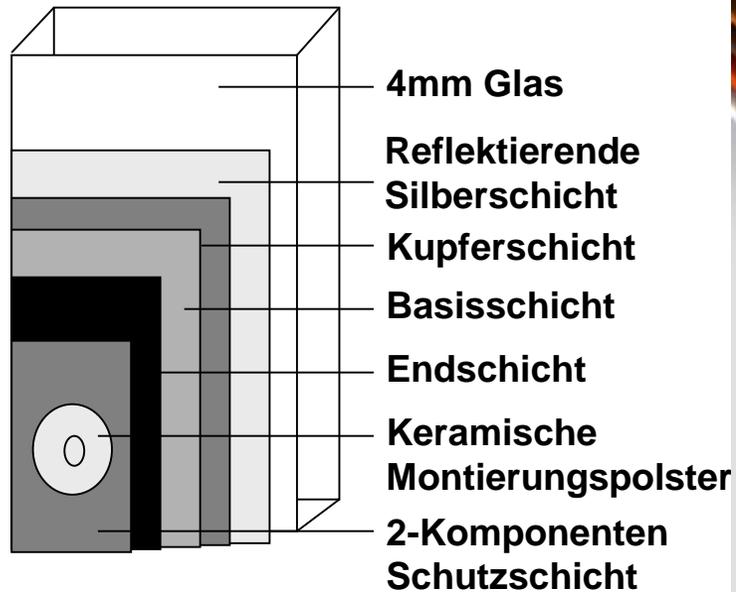
Eurotrough-Kollektor

Stahlstruktur (EuroTrough) – Serienfertigung modular



Aufbau der Glas-Spiegel

Aufbau Spiegel



Flabeg

Anforderungen Solarspiegel

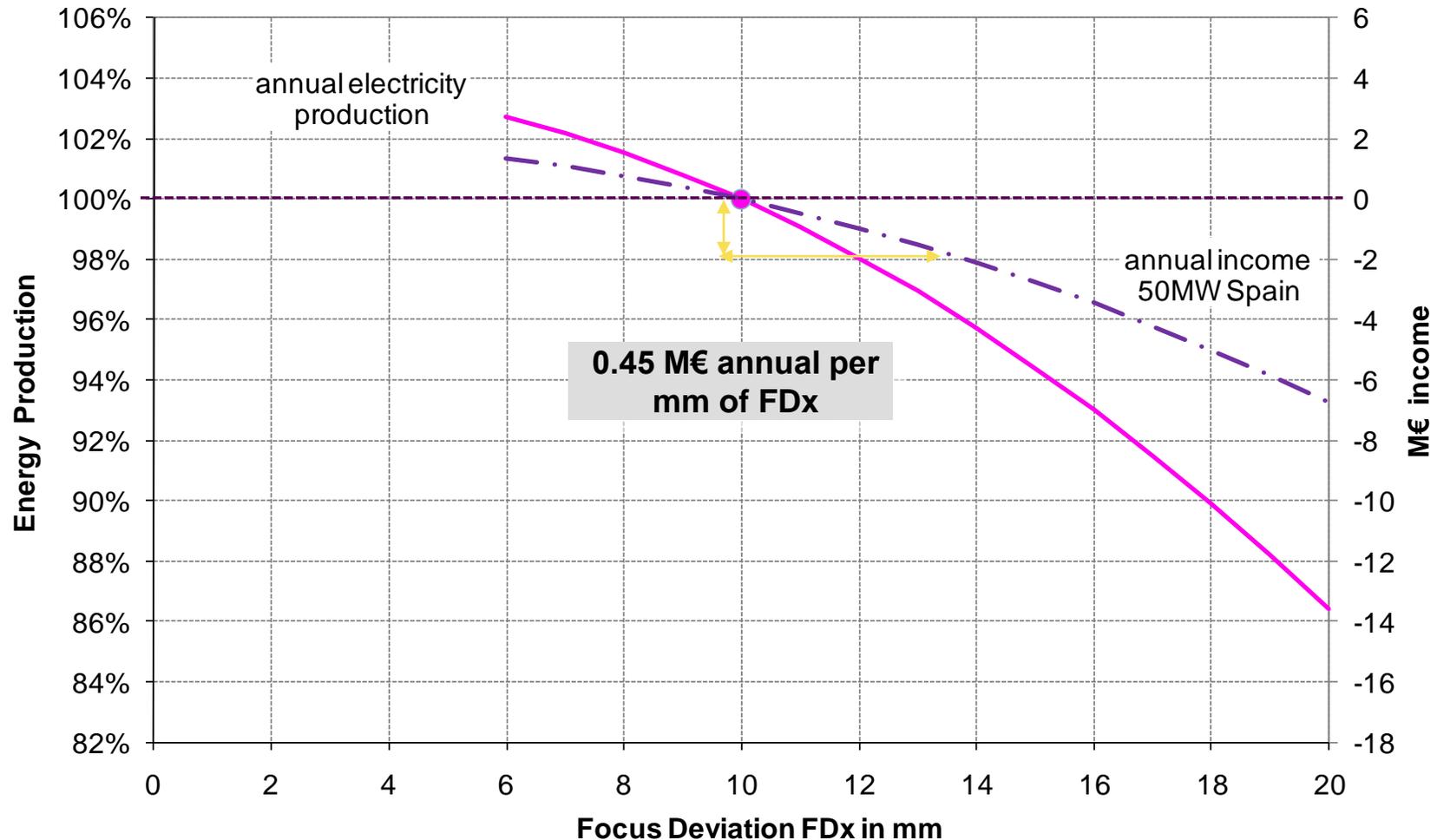
typische Spezifikationen für Kollektorkomponenten



- Solargewichteter Reflexionsgrad:
88-96%
Glasspiegel: 94-95% (Benchmark)
- Formgenauigkeit (SD):
2-3 mrad
Glasspiegel: FDx 8-10 mm, 7 mm (10% von Absorber Durchmesser)
- Haltbarkeit:
>>25 Jahre ohne Degradation

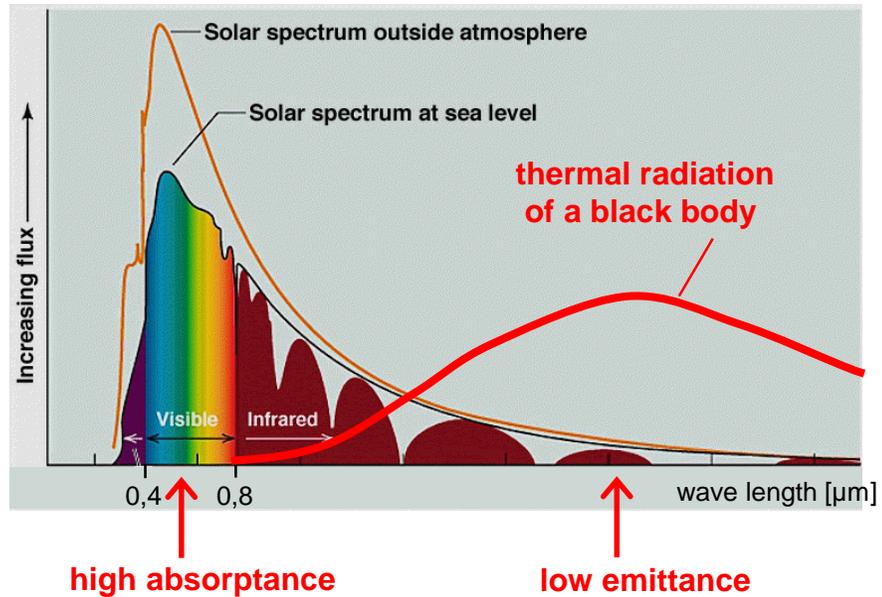
Einfluss Spiegelqualität auf Erträge

minderwertige Komponenten müssen vermieden werden



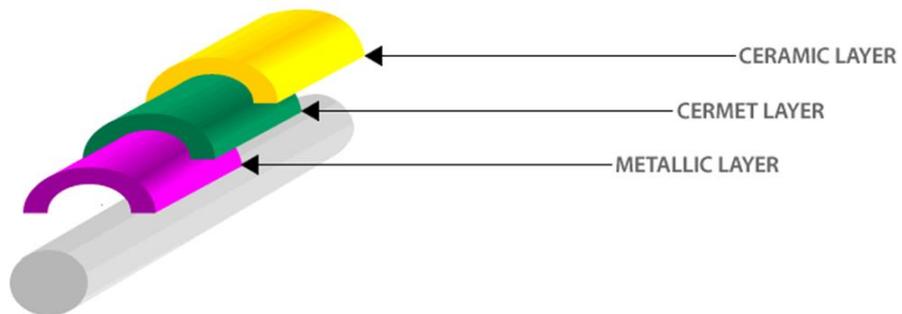
0.45 M€ annual per mm of FDx

Absorber: selektive Beschichtung und Vakuum-Hüllrohr



Typical optical properties of the absorber surface

- Absorption coefficient at 350°C = 0.95
- Emission coefficient at 350°C = 0.10
- Transmission coefficient = 0.96



Übersicht und Vergleich der Wärmeträger-Fluide

(Heat Transfer Fluid – HTF)



HTF	Max. Temperatur	Gefrierpunkt	Vol. Wärmekapazität in kWh/m ³ K	Gefahrstoff	Kosten
Wasser/Dampf	f(p) / -	0°C	1,1/0,0086	-	Sehr niedrig
Mineral. Öl	300°C	-5°C	0,55	Xi	Gering
Synth. Öl	400°C	12°C	0,57	Xi, N	Hoch
Silikon-Öl	420°C	-40°C	0,53	-	Hoch
HTSalt	450°C	149°C	0,75	T, N, O	Mittel
Solar Salt	550°C	238°C	0,8	Xn, O	Niedrig
Natrium	850°C	98°C	0,3	F, C	Mittel
Bauxit-Granulat	1100°C	Entfällt	2	-	Niedrig

F: Brennbar, T: Giftig, Xn: Gesundheitsschädlich, Xi: Reizend, F: Brennbar, C: Ätzend, N: Umweltgefährlich

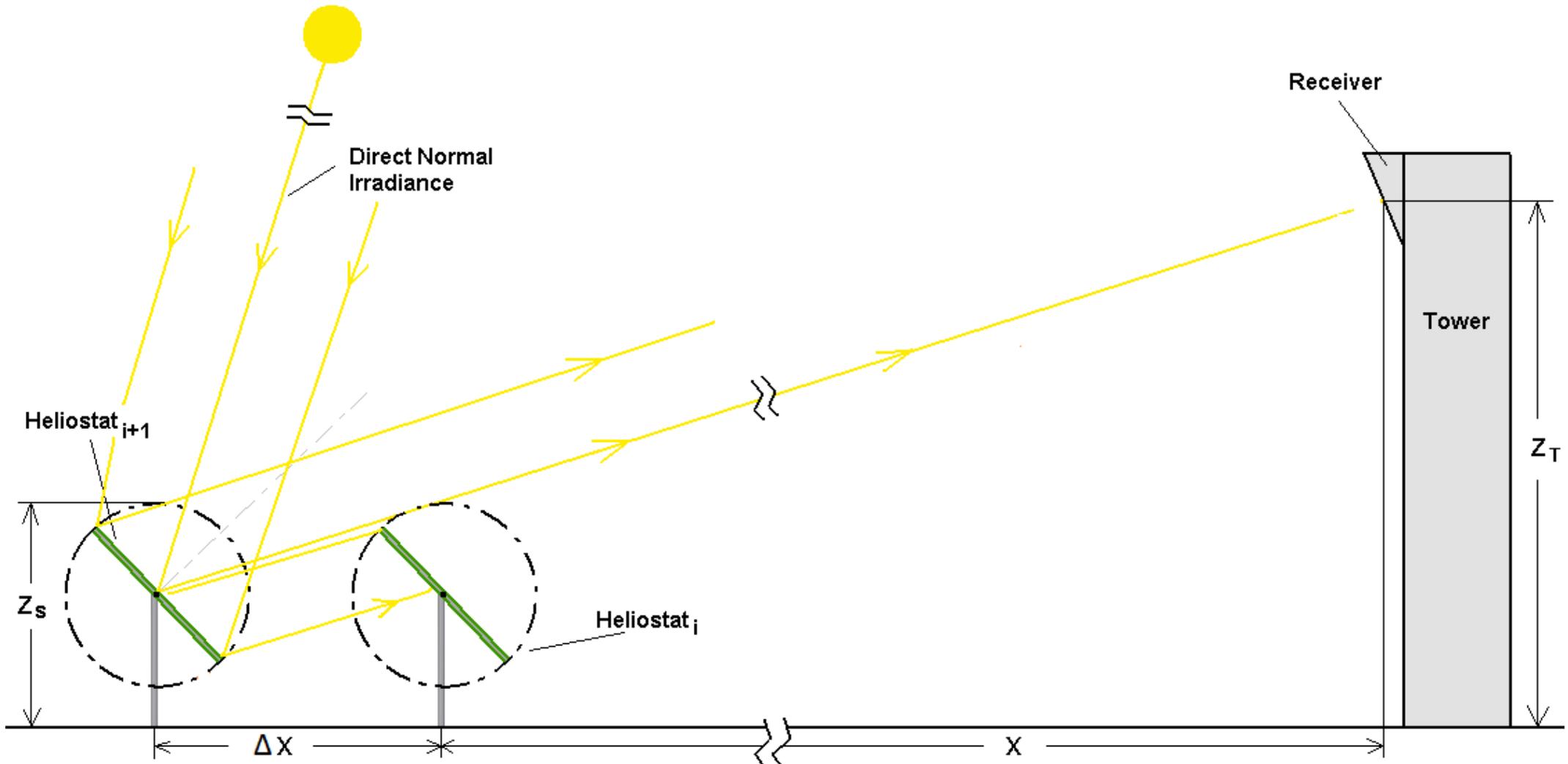
Solarturm-Kraftwerk Jülich



Solar Tower Research Facility in Jülich
Germany, 1,5 MWe

Heliostat-Feld

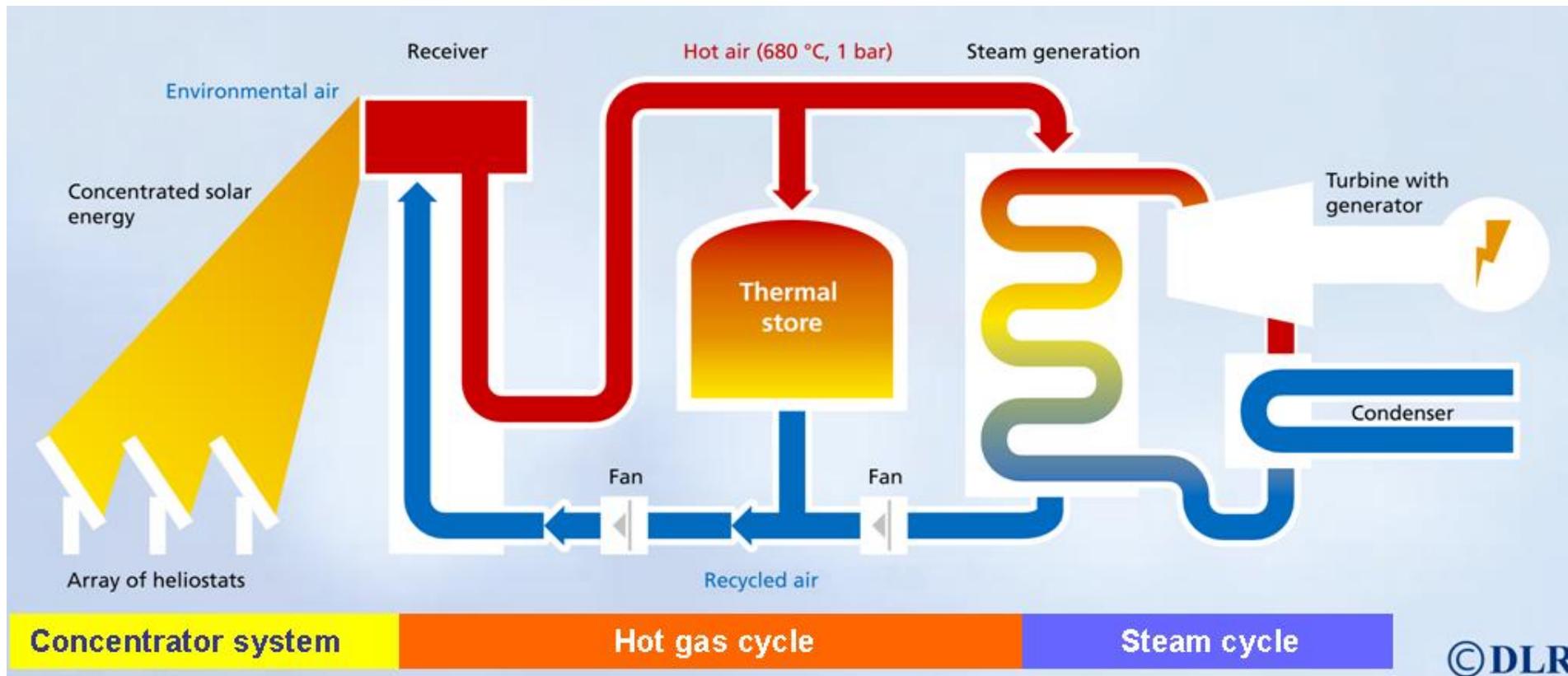
Solarturm-Kraftwerk, Konzentrationsfaktor 250-2500x



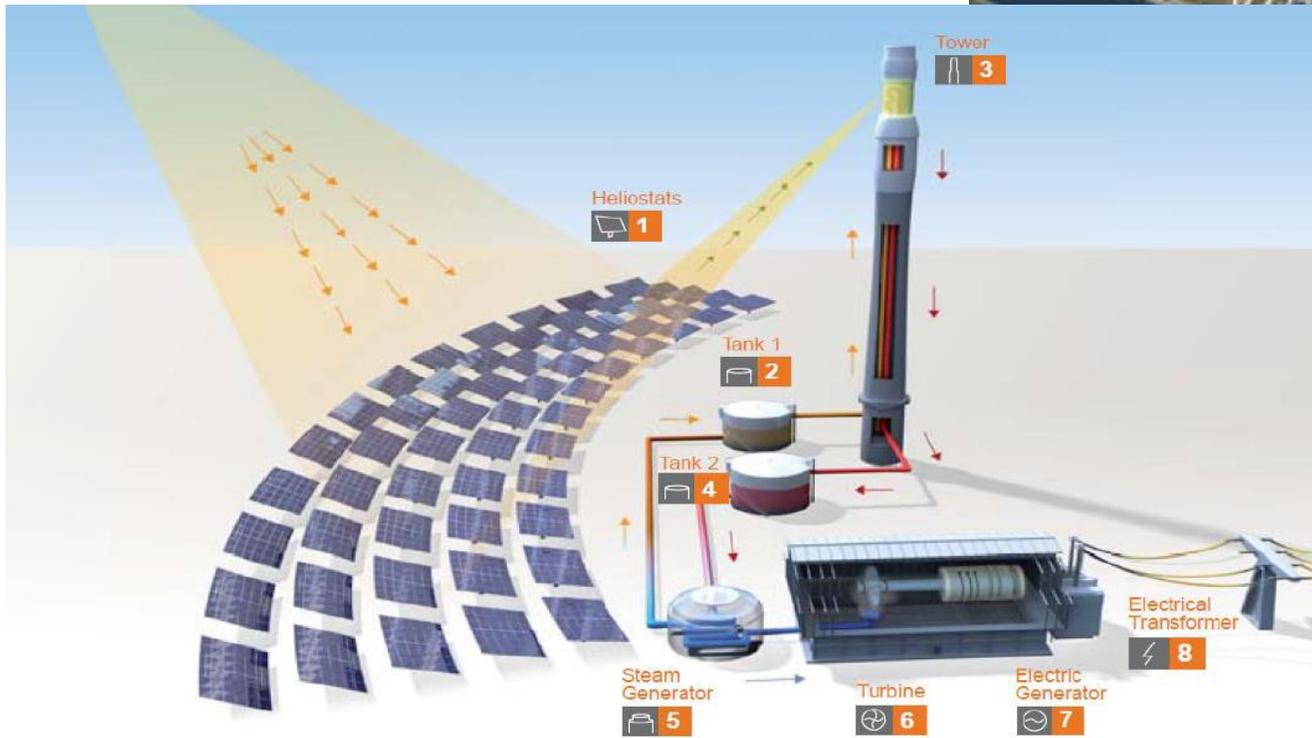
Luft-Receiver

Offener Volumetrischer Receiver – Solarturm Jülich (DLR)

700-1000°C, Pufferspeicher 1-2 Stunden, Abhitzekessel, Turbine

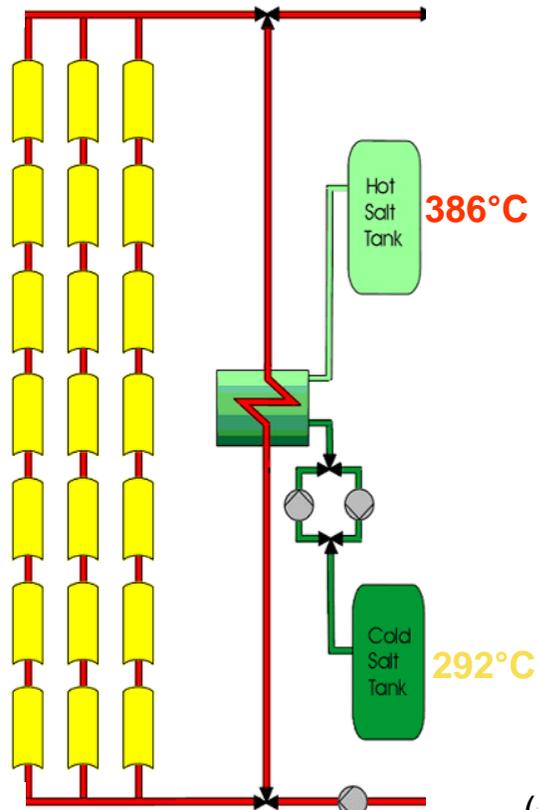


Solarturm Salzschmelze als Wärmeträger



Salzschmelze als Speicher

60% NaNO_3 + 40% KNO_3 , Schmelzpunkt 222°C



(about 30.000 tons of molten salt for 8 hours of 50MW_{el} production)

Thermische Speichertypen für CSP



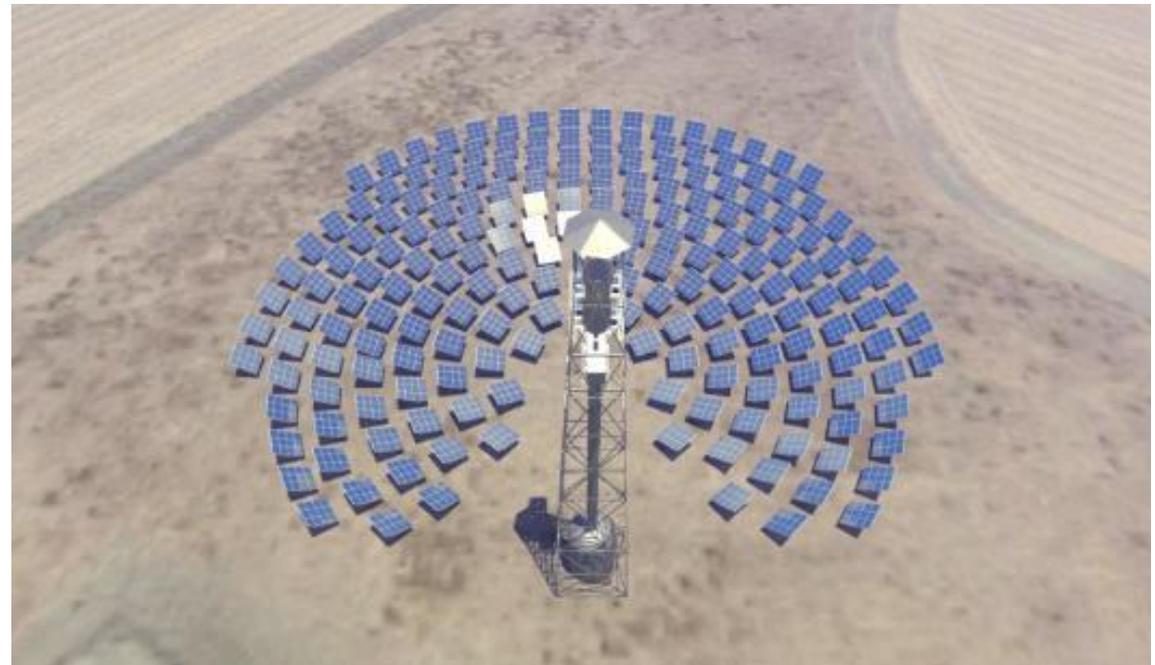
- Salzschnmelze als direkter Speicher (ca. 565°C für Nitratsalz)
 - Zwei-Tank-Systeme (kalt / heiß)
 - Schichtenspeicher (ein Tank)
- Sand, Granulat, Partikel, Schotter (kaum Temperaturbegrenzung)
 - als Füllmaterial
 - über Direktkontakt (z.B. Luft als Wärmeträgermedium)
- Partikelsysteme
- Flüssigsysteme: leichte Handhabung, aber Probleme von Einfrieren und Überhitzen
- Feststoffsysteme mit Wärmeabgabe an anderes Fluid: kaum Temperaturgrenzen
 - Festbett
 - fluidisiert
- Latent-Speicher (Phasenwechsel) vs. sensible Speicher (Temperatur-Bereich)
- Thermochemische Systeme: hohe Energiedichte, lange Speicherdauer möglich

- HIFLEX hiflex-project.eu Prozesswärme für Pasta-Produktion Italien, Solarturm mit Hochtemperatur Partikel-Receiver 800°C DLR/Barilla
- Brauerei Heineken Sevilla Spanien Parabolrinnen 220°C solarlite.de
- Avery Denisson Turnhout Belgien Parabolrinnen 380°C Solarlite
- Saftproduktion Zypern Protarget Parabolrinnen 110/380°C protarget-ag.com
- Pharma Jordanien Linear-Fresnel 160°C industrial-solar.de
- u.v.m.

HIFLEX Barilla Produktionsstandort Foggia, Italien



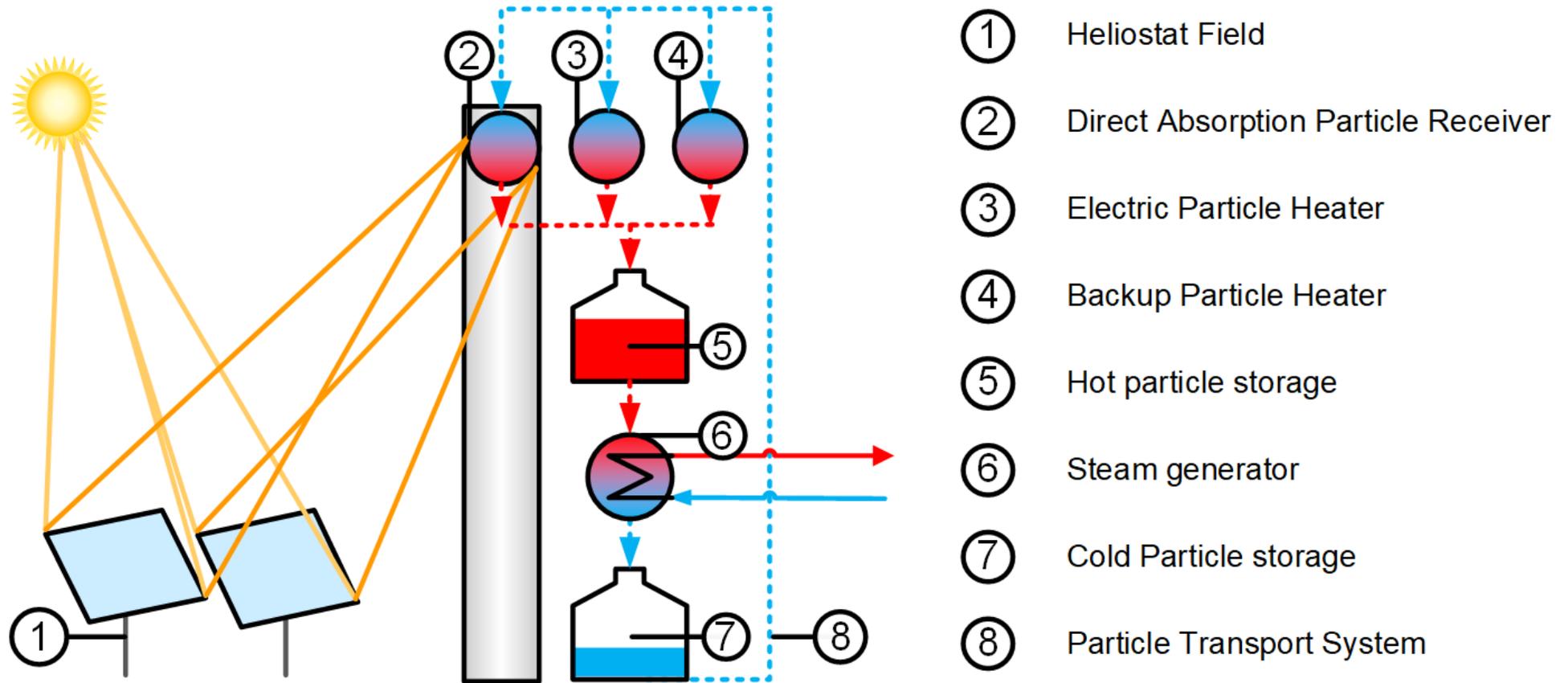
Develop and demonstrate complete pre-commercial flexible CSP plant; 2,5x higher storage density with 50% lower costs, dispatchable power (solar industrial process heat)



HIFLEX Barilla Produktionsstandort Foggia, Italien

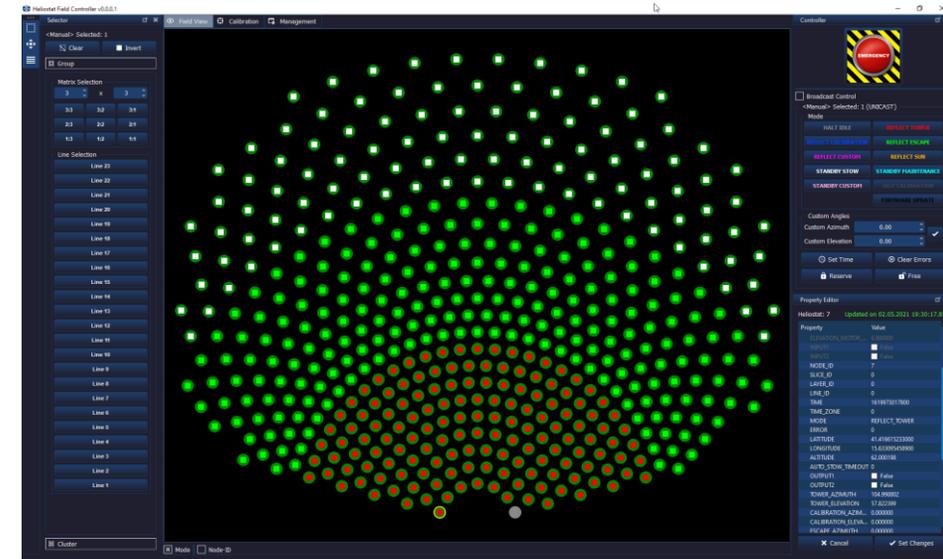
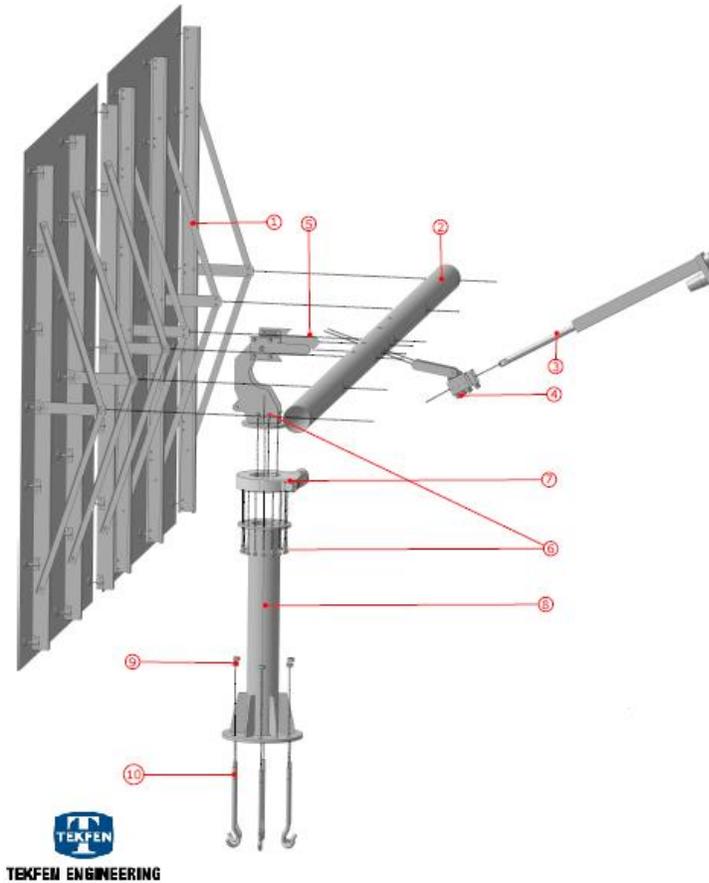
Prozesswärme 800°C

Wärmeträgermedium: Bauxit-Granulat



Heliostat-Spiegel

16 m² Glas-Metall-Heliostat mit Nachführung



Solarlite / Brauerei Heineken Sevilla, Spanien



https://www.solarlite.de/projekt_heinekensevilla.cfm

Solarlite / Brauerei Heineken Sevilla, Spanien

- Bisher 89% der Wärme mit Erdgas, 11% mit Biogas
- Solarfeld 68 HYT-6000 Parabolrinnenkollektoren
Aperturfläche 43.414 m²
Leistung 30 MW
- geschlossener Kreislauf mit Druckwasser 120°C / 210°C 30 bar
- Der Primärkreislauf versorgt den Sekundärkreislauf über einen Wärmetauscher.
- thermische Speichereinheit mit einer Kapazität von 68,8 MWh
8 Tanks mit jeweils 100 m³
- Solar Deckungsgrad $\geq 53\%$



Solarlite / Brauerei Heineken Sevilla, Spanien



Solarlite / Avery Dennison, Turnhout, Belgien



- Solarfeld Parabolrinnen
5.530 m² Aperturfläche
2,5 MW Leistung
1,7 GWh jährlich gelieferte Wärme
- Wärmespeicher
4,5 MWh
380°C, 22 bar
- Wärmeträgermedium
Helisol (Silikonöl, primär) 280-380 °C
Therminol (Mineralöl, sekundär)
- CO₂-Einsparung 105 t/Jahr



Solarlite / Avery Dennison, Turnhout, Belgien



Solarlite / Avery Dennison, Turnhout, Belgien



<https://solarthermalworld.org/news/green-heat-subsidy-scheme-in-flanders-supports-concentrating-solar-heat-plants/>

Videos und Links DLR



- [DLR Solarforschung Imagefilm dt. 2023](#)
- [DLR Solarforschung](#)
- [DLR](#)
- www.dlr.de/sf/
- [DLR Solarforschung LinkedIn](#)

Zusammenfassung

Solare Prozesswärme für die Industrie



- Temperatur 90°C und höher mit gebogenen Spiegeln
- Parabolrinne bis etwa 400°C
- Solarturm 600-1000°C
- Wärmeträger Wasser, Thermoöl, Salzschmelze, Granulat
- Anlagengrößen x Kilowatt bis xx Megawatt 100m² bis 100.000m²
- Kosten der Wärme 2-10 ct/kWh
- Technologie-Anbieter in Deutschland
- Projekte Deutschland und international
- Industrieverband www.deutsche-csp.de
- F&E in Deutschland: [DLR](#), [ISE](#)



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
German Aerospace Center

Institut für Solarforschung
Linder Höhe
51147 Köln

Eckhard Lüpfer, Dr.-Ing.
+49 2203 601-4714
eckhard.luepfert@dlr.de
<http://www.dlr.de/sf>

