

Solarthermische Kraftwerke

Was hat die Energiewende mit Astronomie zu tun?

Vortragender:

Klaus Hennecke

Klaus.hennecke@web.de

Inhalt:

- Grundkonzept solarthermischer Kraftwerke
- Konzentratortypen
- Qualitätssicherung
- Funktionsweise und Betriebsoptionen
- Beitrag zur Energiewende
- Was Sie behalten sollten

Danksagung und Quellenhinweis

Diese Präsentation basiert wesentlich auf der 2021 erschienen DLR-Broschüre Solarthermische Kraftwerke, deren Redaktion ich vor meinem Renteneintritt noch mitverantworten durfte. Download:

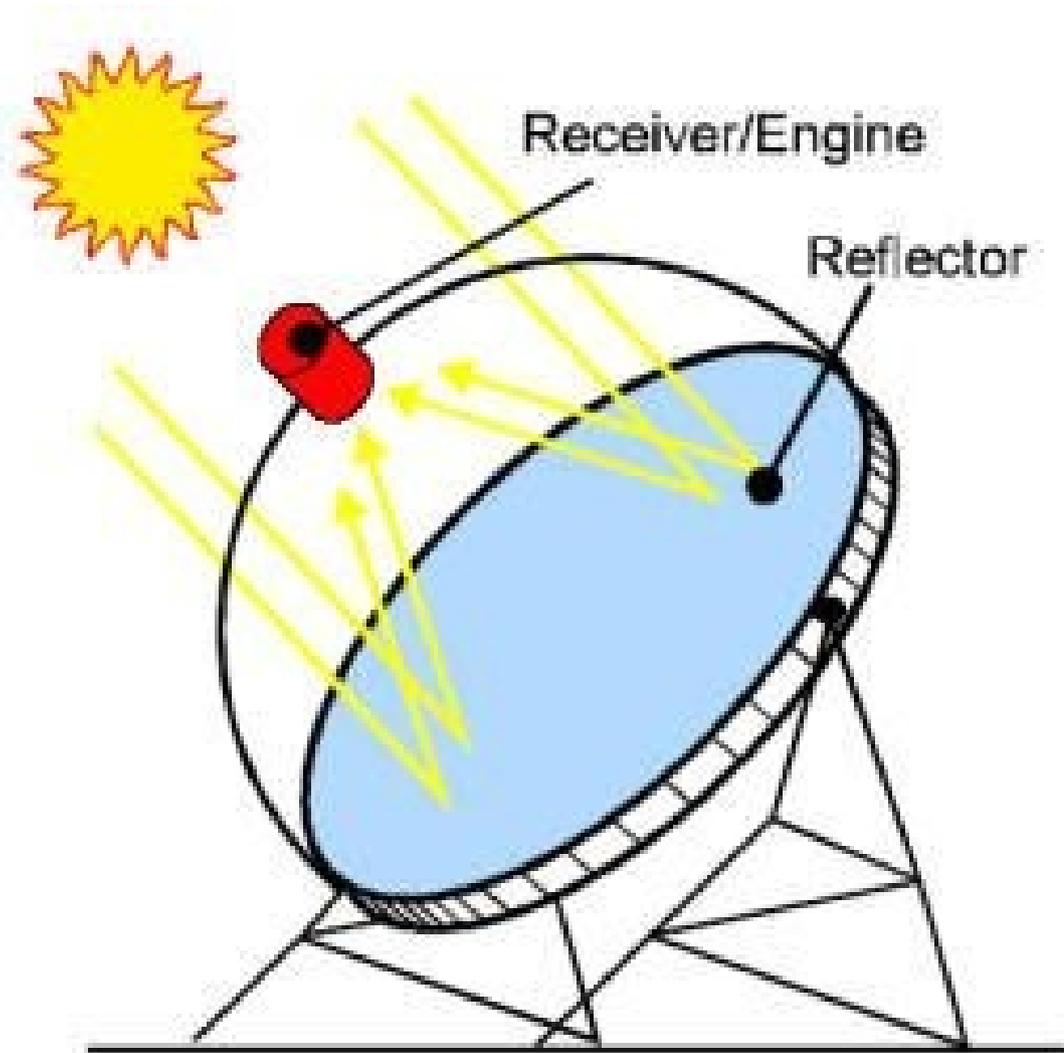
https://www.dlr.de/sf/PortalData/73/Resources/dokumente/publikationen_medien/dlr_und_sf/Studie-Solarthermische-Kraftwerke_DLR_2021-03.pdf

Außerdem profitierte ich von dem in über 30-jähriger guter Zusammenarbeit von Kolleginnen und Kollegen der DLR Solarforschung Gelernten.

Solarthermische Kraftwerke

Grundkonzept

- Konzentration direkter Solarstrahlung
- Nachführung dem Lauf der Sonne folgend
- Hohe Temperatur im Fokalbereich
- Thermischer Energie-wandlungsprozess



Quelle:

<https://www.solarpaces.org/how-csp-works/>

Solarthermische Kraftwerke Dish-Stirling-Systeme

- Testinstallation auf der Plataforma Solar de Almería
- Durchmesser 8,5 m
- Nennleistung 10 kW

Konzentration ca. 4000

Temperatur im Receiver
bis 800°C



Bild: DLR

Solarthermische Kraftwerke

Dish-Stirling-Systeme

- Big Dish Australian National University ANU
 - Apertur rund 500 m²
 - Durchmesser ca. 25 m
 - Fokallänge 13 m
 - Masse > 25 t
 - projektierter Wirkungsgrad:
>26%
- => Nennleistung <150 kW



Quelle:

<http://www.sunriseesp.com/our-products/the-big-dish/>

Solarthermische Kraftwerke

Auslegungskriterien

Direktstrahlung extraterrestrisch ca. 1300 W/m^2
auf Meereshöhe max. ca. 1000 W/m^2

=> Hoher Flächenbedarf für große Leistungen

Wirkungsgrad thermischer Energiewandlungsprozesse temperaturabhängig

=> Hoher Konzentrationsfaktor ermöglicht hohe Temperaturen

=> Hohe Präzision von Spiegeln und Nachführung erforderlich

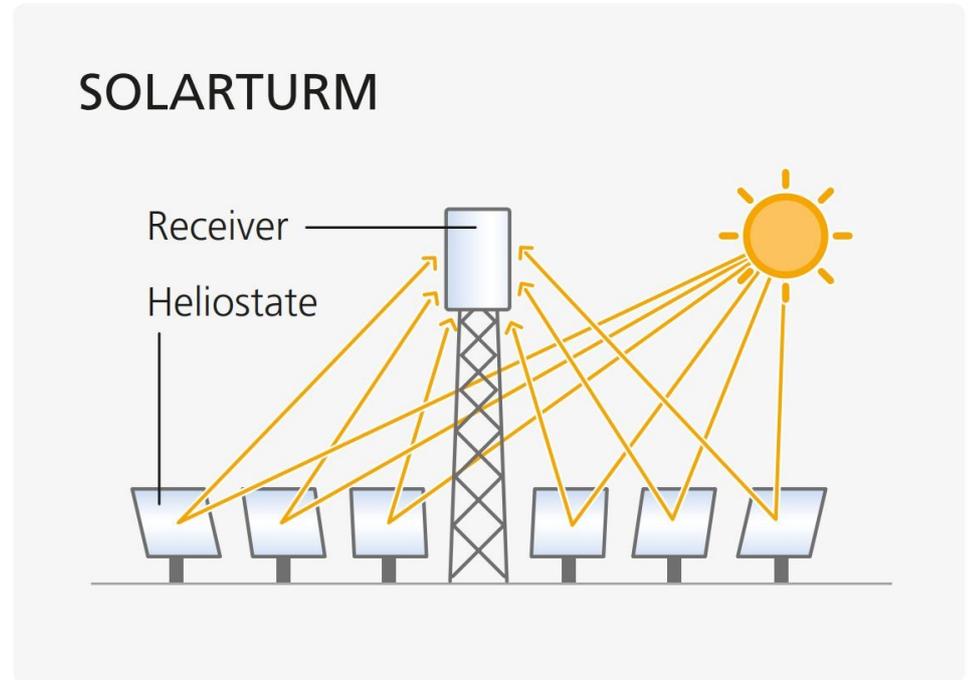
Robustheit gegen Umwelteinflüsse (Wind, Temperaturschwankungen)

Möglichst niedrige Kosten

Solarthermische Kraftwerke

Solarturm

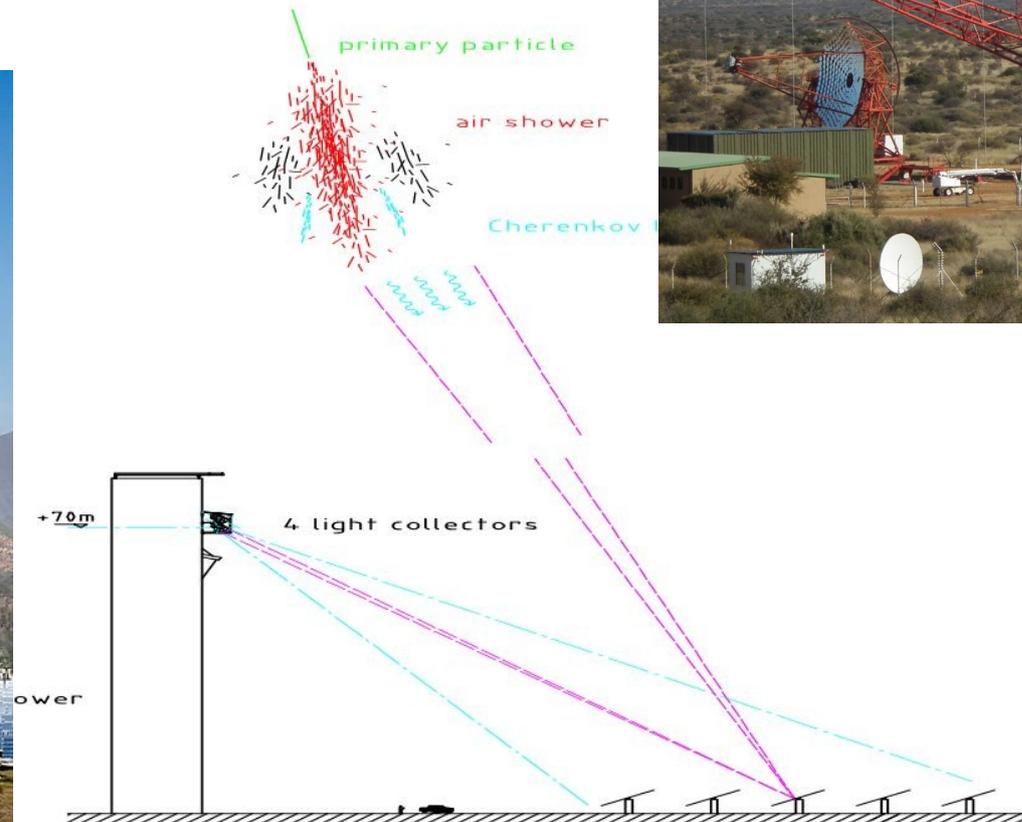
- Aufteilung des Parabolspiegels in einzelne, 2-achsig nachgeführte Facetten („Heliostate“)
- Konzentrationsfaktor ca. 1000
- Temperaturen im zentralen Receiver bis über 1000°C möglich
- je nach Wärmeträgermedium 300°C bis 700°C in der Praxis
- Heliostatgrößen bis ca. 200 m² realisiert



Solarthermische Kraftwerke und Astronomie

Tscherenkow Teleskope

- rechts: H.E.S.S II Teleskop in Namibia (2012)
- unten: GRAAL Project (Gamma Ray Astronomy at Almeria) (1999)



Quellen:

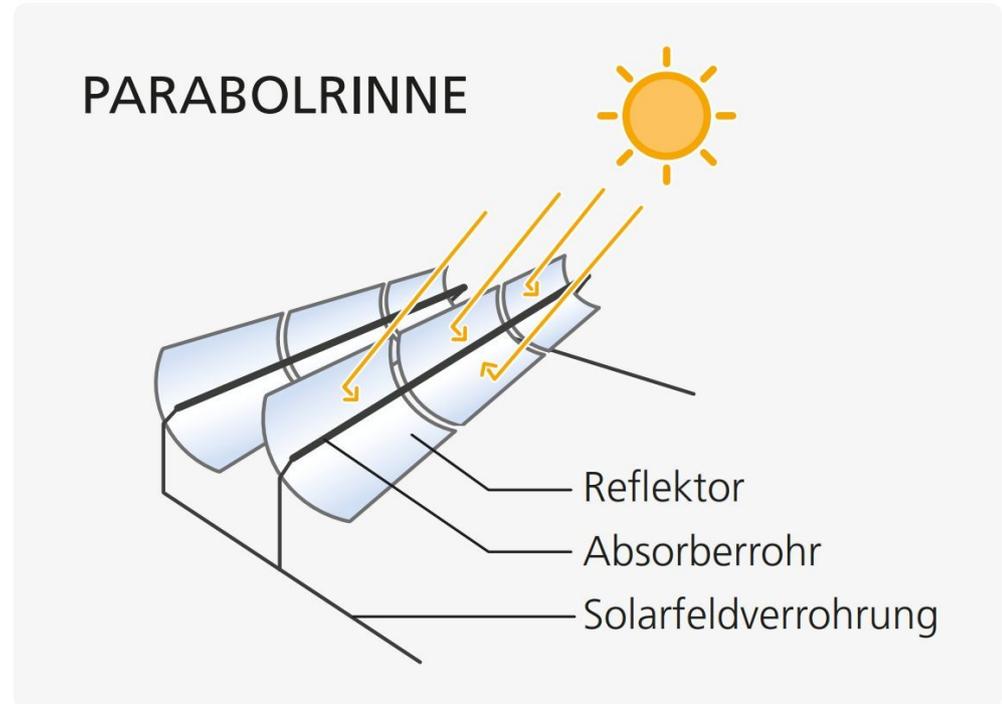
<https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0108270.pdf>

<https://www.fau.de/2012/08/news/wissenschaft/weltgrostes-tscherenkow-teleskop-sieht-sein-erstes-licht/>

Solarthermische Kraftwerke

Parabolrinne

- Einachsig nachgeführte parabolische Spiegelrinnen
- Absorberrohr in der Brennnlinie
 - selektive Beschichtung
 - evakuiertes Glashüllrohr
- Konzentrationsfaktor ca. 100
- Temperatur bis ca. 550°C möglich
- Heutiges Wärmeträgeröl bis max. 400°C einsetzbar
- kommerziell am häufigsten realisierte Variante
- Kollektoren bis 7m breit und 200m lang



Solarthermische Kraftwerke

Parabolrinne – Schlüsselkomponente Absorberrohr



Foto: E. Lüpfer:

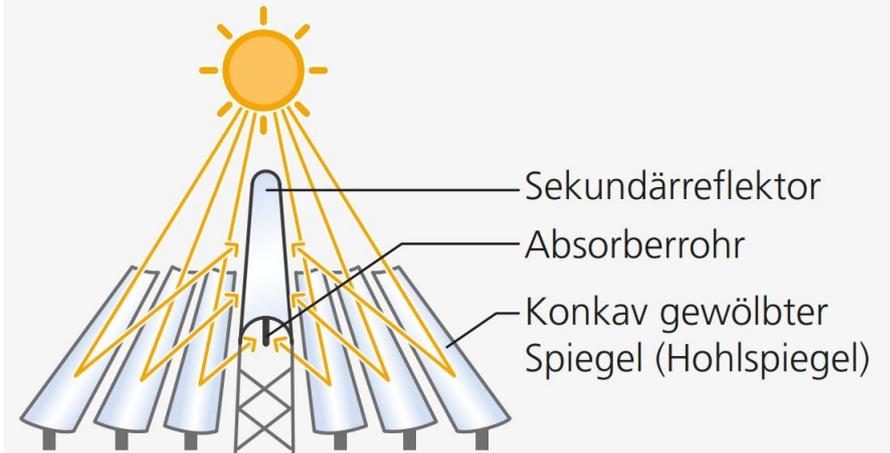
Solarthermische Kraftwerke

Linear Fresnel Reflektor

- Aufspaltung der Parabolrinne in langgestreckte, nachgeführte Facetten
- feststehendes Absorberrohr
- reduzierte Windlasten

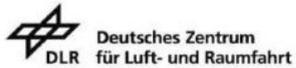
=> reduzierte Kosten
=> reduzierter optischer Wirkungsgrad

LINEAR-FRESNEL-REFLEKTOR (LFR)



Solarthermische Kraftwerke Qualitätssicherung

- Messung der Formtreue der Spiegel



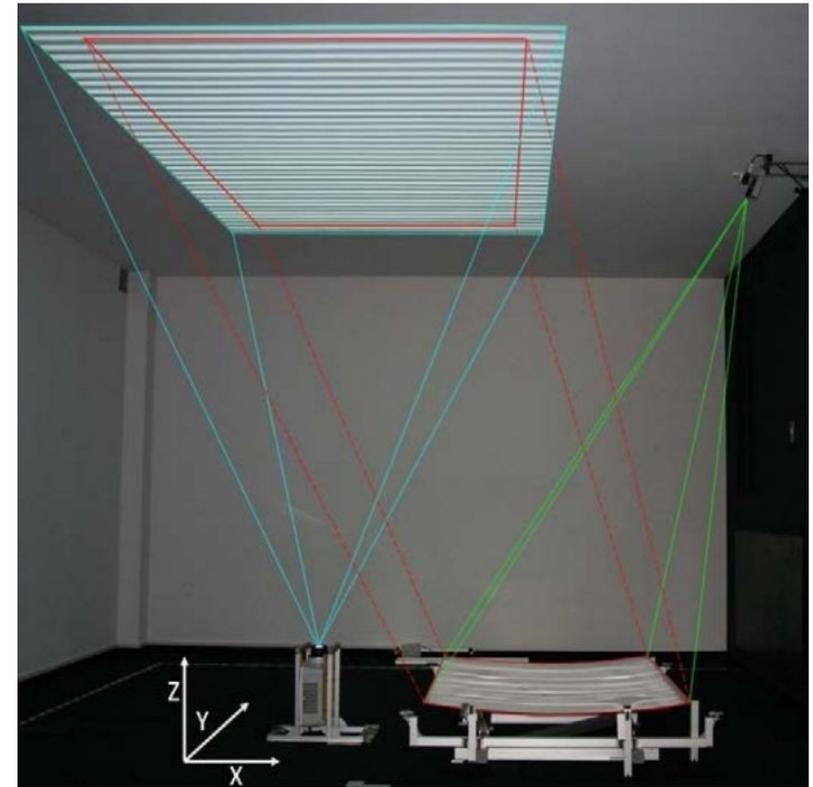
QDec Measurement Summary

Measurement Information			
Panel:	RR1410-O-hl-G-203	Meas. Date:	10.11.2014 - 17:43:26
Paneltype:	RP3 outer - glass	Operator:	DLR
Setup:	Horizontal_loose	Comment:	_1
Negl. Rim:	5 mm	System:	QDec DLR Cologne
Orientation:	On Mounting Points	Location:	QUARZ Center Cologne

Result Overview			
Quality:	no specifications	Evaluated Surface: 98.6 %	
Value	Measurement	Specification	Description
SDx	1.30 mrad		Slope deviation in x-direction (rms)
SDy	2.79 mrad		Slope deviation in y-direction (rms)
FDx	6.40 mm		Focus deviation in x-direction (rms)
FDy	9.56 mm		Focus deviation in y-direction (rms)
IC70	100.00 %		Intercept laser on tube of 70mm
IC60	99.97 %		Intercept laser on tube of 60mm
IC40	99.52 %		Intercept laser on tube of 40mm
ICSun70	98.86 %		Intercept sun on tube of 70mm

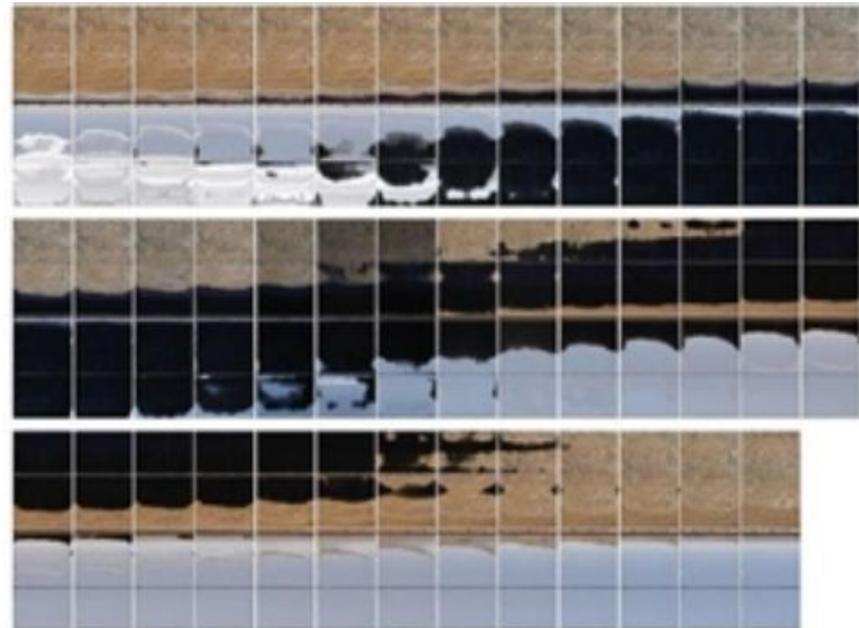
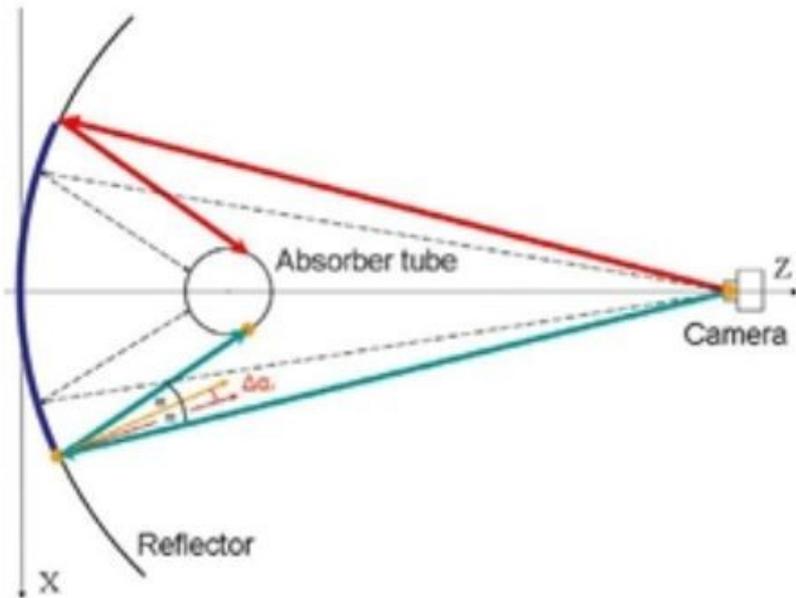
Result Graphs			

Measurement System Information			
Config File:	ConfigFile_Rp3_outer_140325		
Evaluation Date:	10.11.2014 - 16:42:10		
Last Calibration:	-		
PDF Filename:	...	QDec Version:	3.1.3634 (27.03.2014)



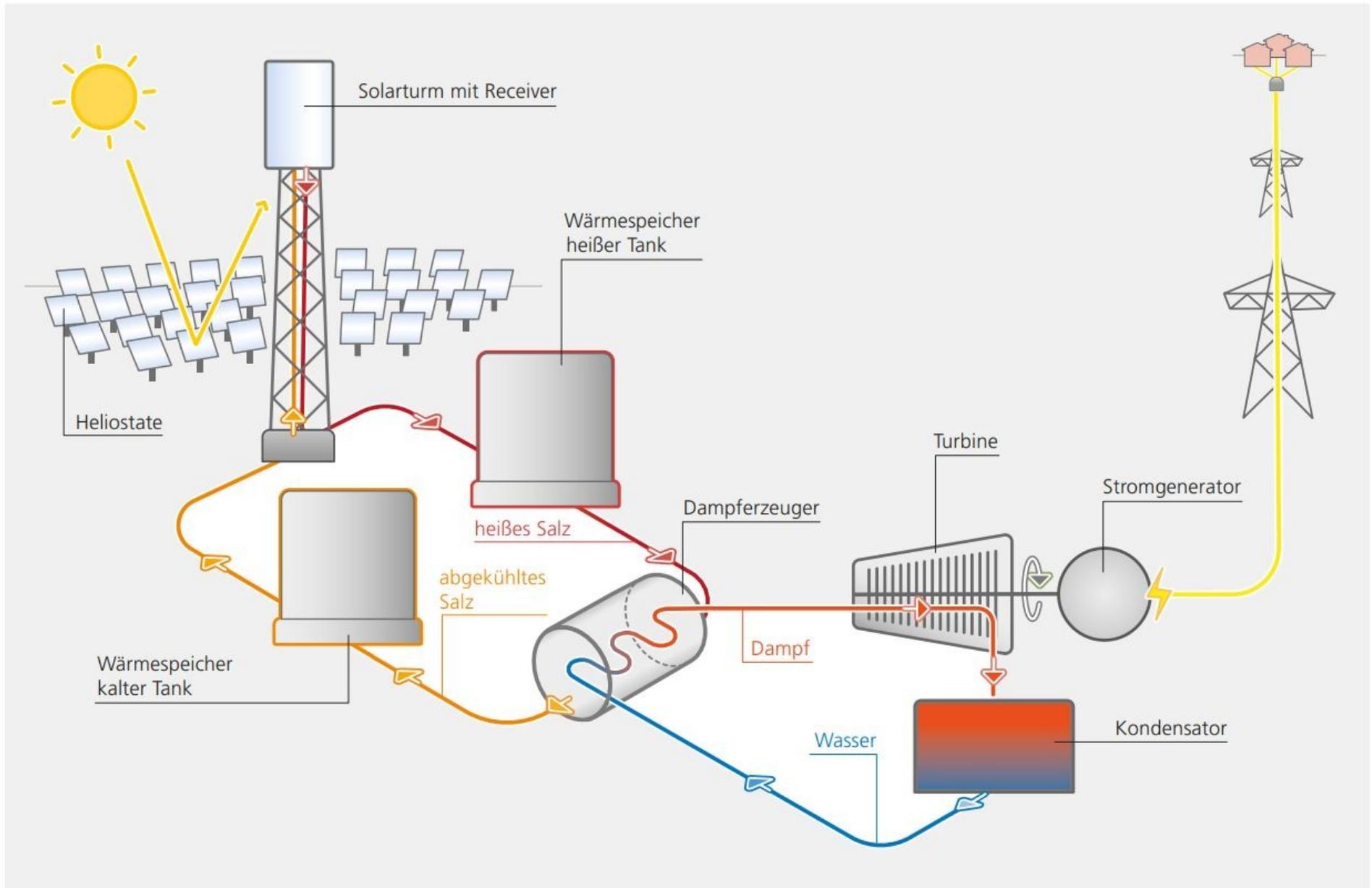
Solarthermische Kraftwerke Qualitätssicherung

- Messung der Formabweichung am Kollektor
- Bilderserien von Reflektionen des Absorberrohres in unterschiedlichen Positionen
- Vermessung ganzer Kollektorfelder aus der Luft



Funktionsweise solarthermischer Kraftwerke

Beispiel: Turmkraftwerk



Funktionsweise solarthermischer Kraftwerke

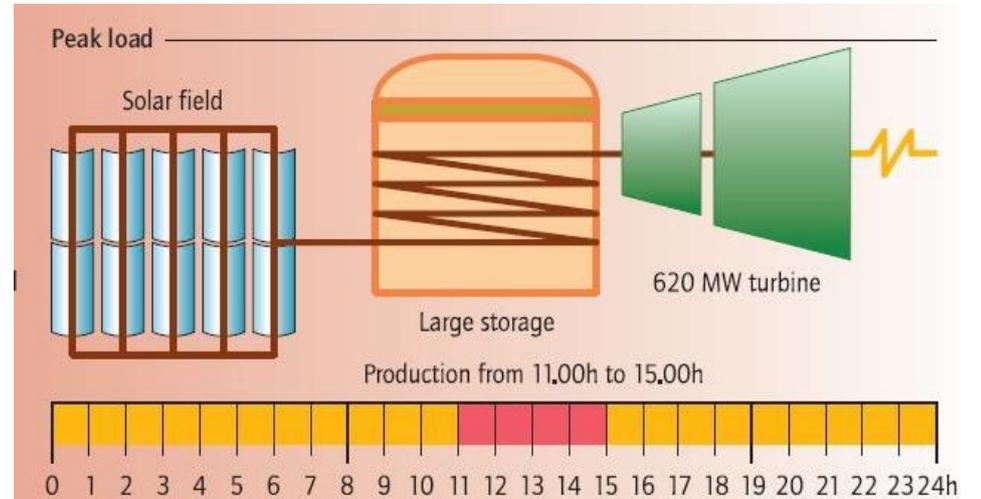
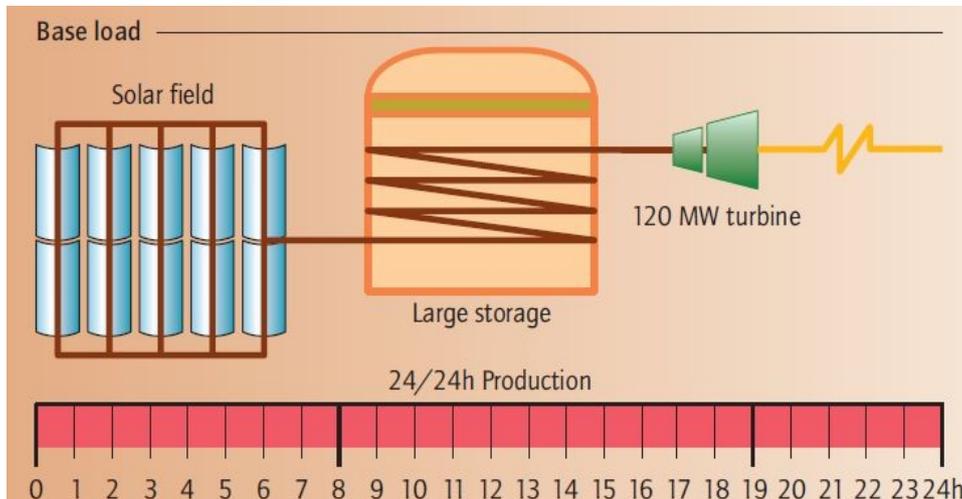
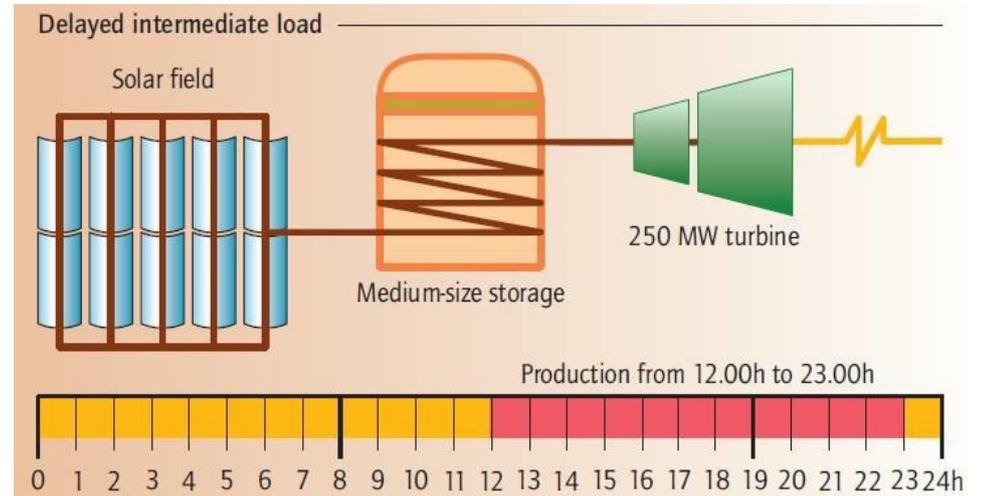
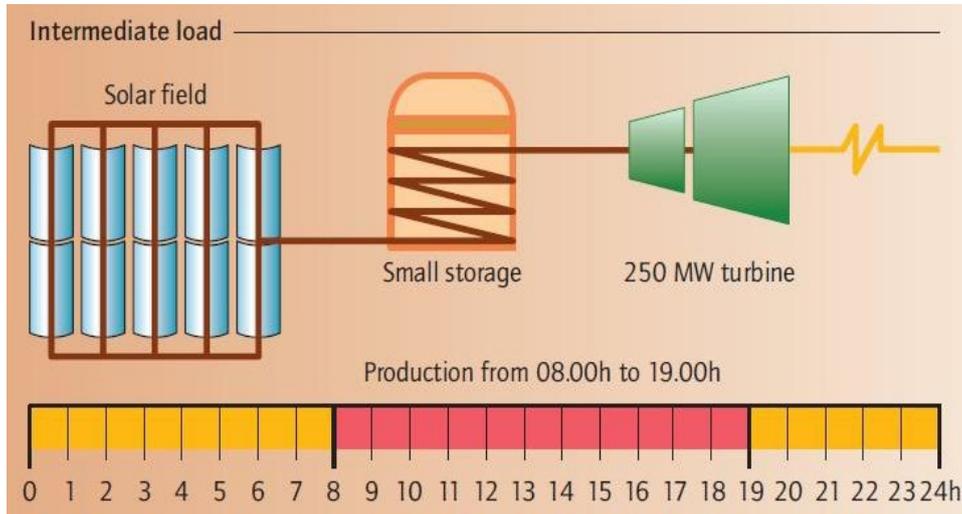
Schlüsselkomponente Wärmespeicher

- Ziel: Bedarfsgerechte Stromproduktion
- Große Wärmespeicher 80-90% kostengünstiger als Stromspeicher
 - Speicherung des Zwischenprodukts Wärme statt Endprodukt Strom
- Speichermedium Flüssigsalz
 - Zweitank-Speichersystem
 - „kalt“: 250°C
 - „heiß“: bis zu 560°C
- Behältergröße (typisch):
 - Durchmesser 40m
 - Höhe 15m
- Speicherkapazität 6-15 Volllaststunden



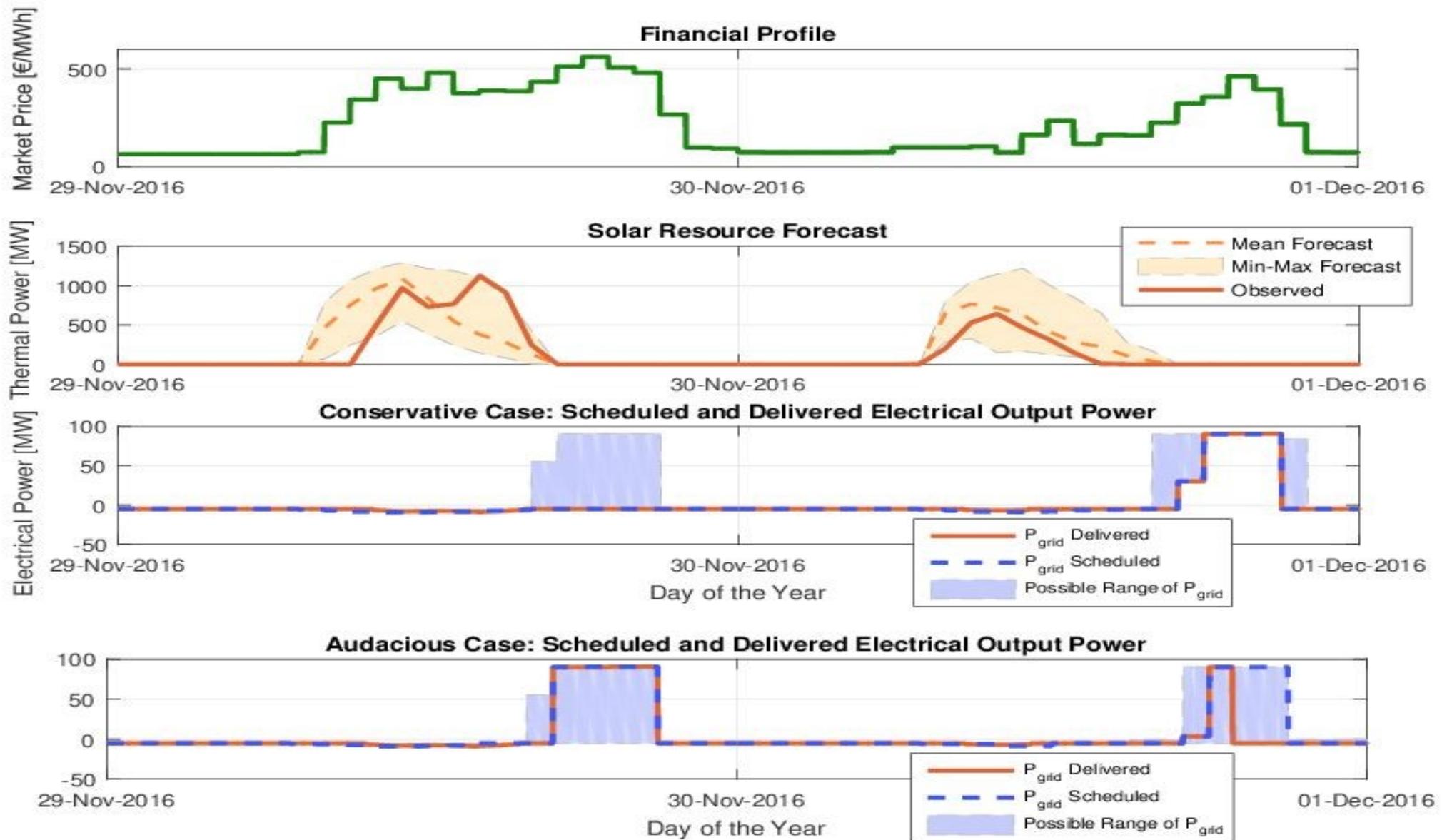
Funktionsweise solarthermischer Kraftwerke

Auslegungsoptionen



Funktionsweise solarthermischer Kraftwerke

Betriebsoptimierung



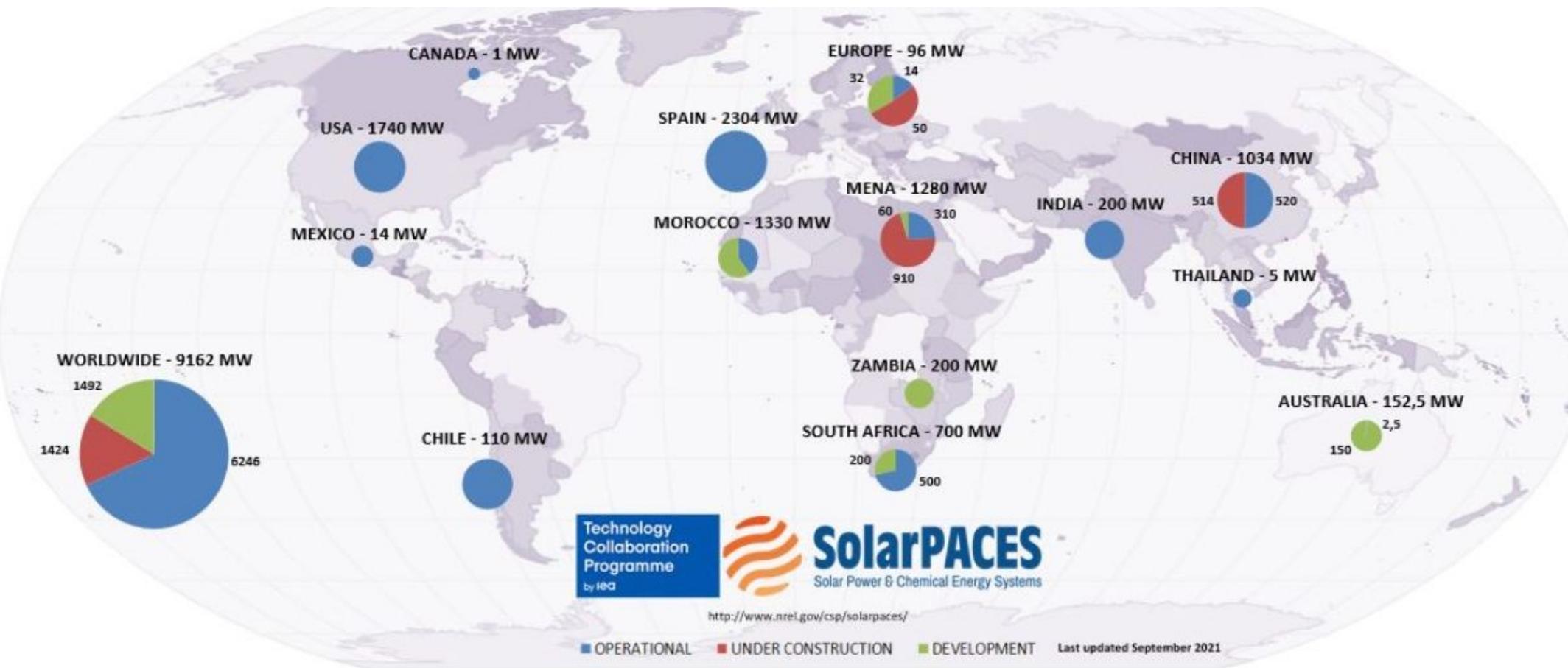
=> Erhöhung der jährlichen Einnahmen um bis zu 9%

Solarthermische Kraftwerke

Weltweite Verbreitung (Stand Sept. 2021)

Installierte Leistung: 6246 MW

In Bau: 1424 MW



Quelle:

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

Solarthermische Kraftwerke

Vergleich mit anderen erneuerbaren Energietechnologien

Stand 2016

CSP*: 5 GW

PV: 304 GW

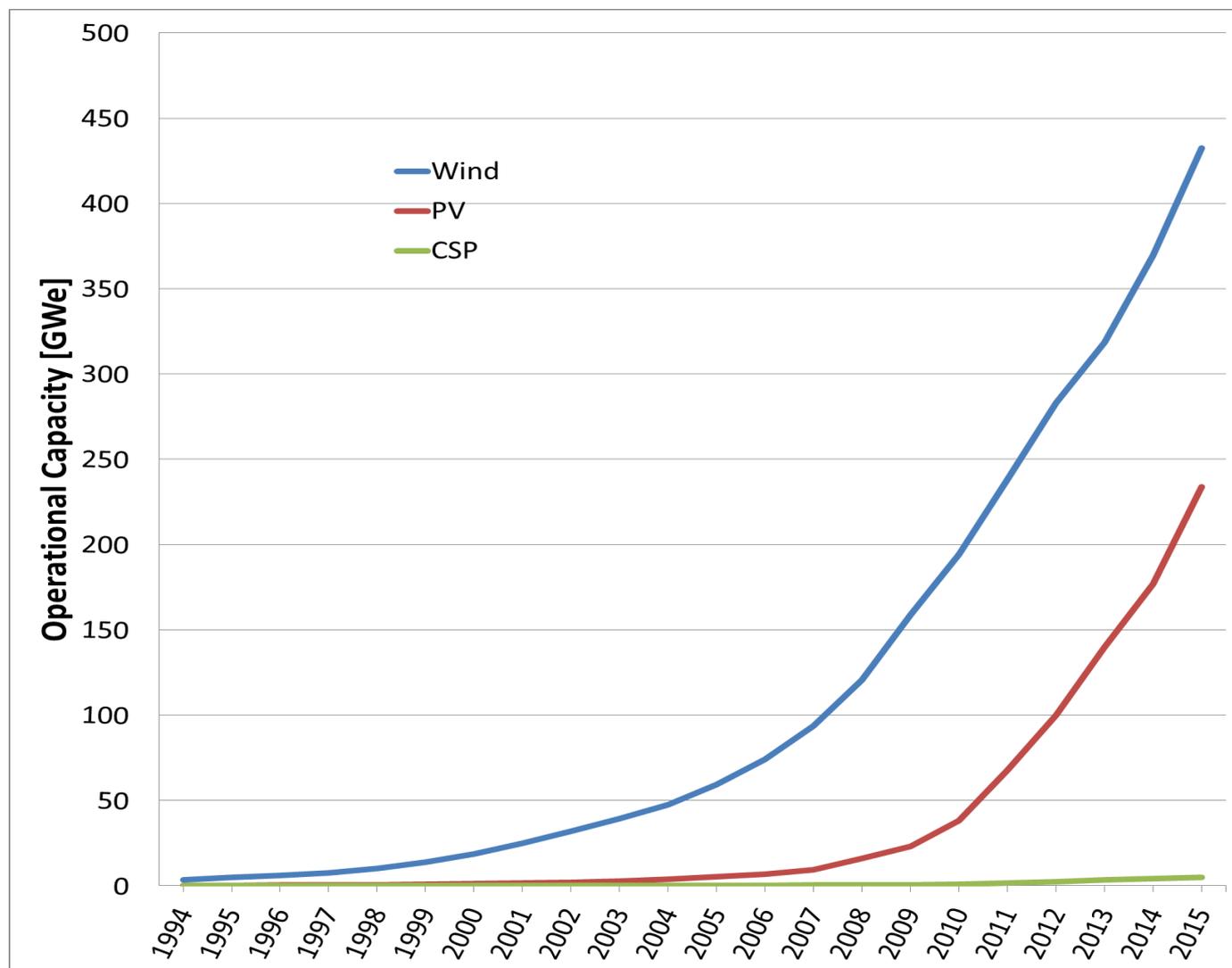
Wind: 487 GW

Hydro: 1.200 GW

Gesamtkapazität (fossil,
nuklear, erneuerbar)
weltweit: 6.473 GW

Argumente für CSP*:

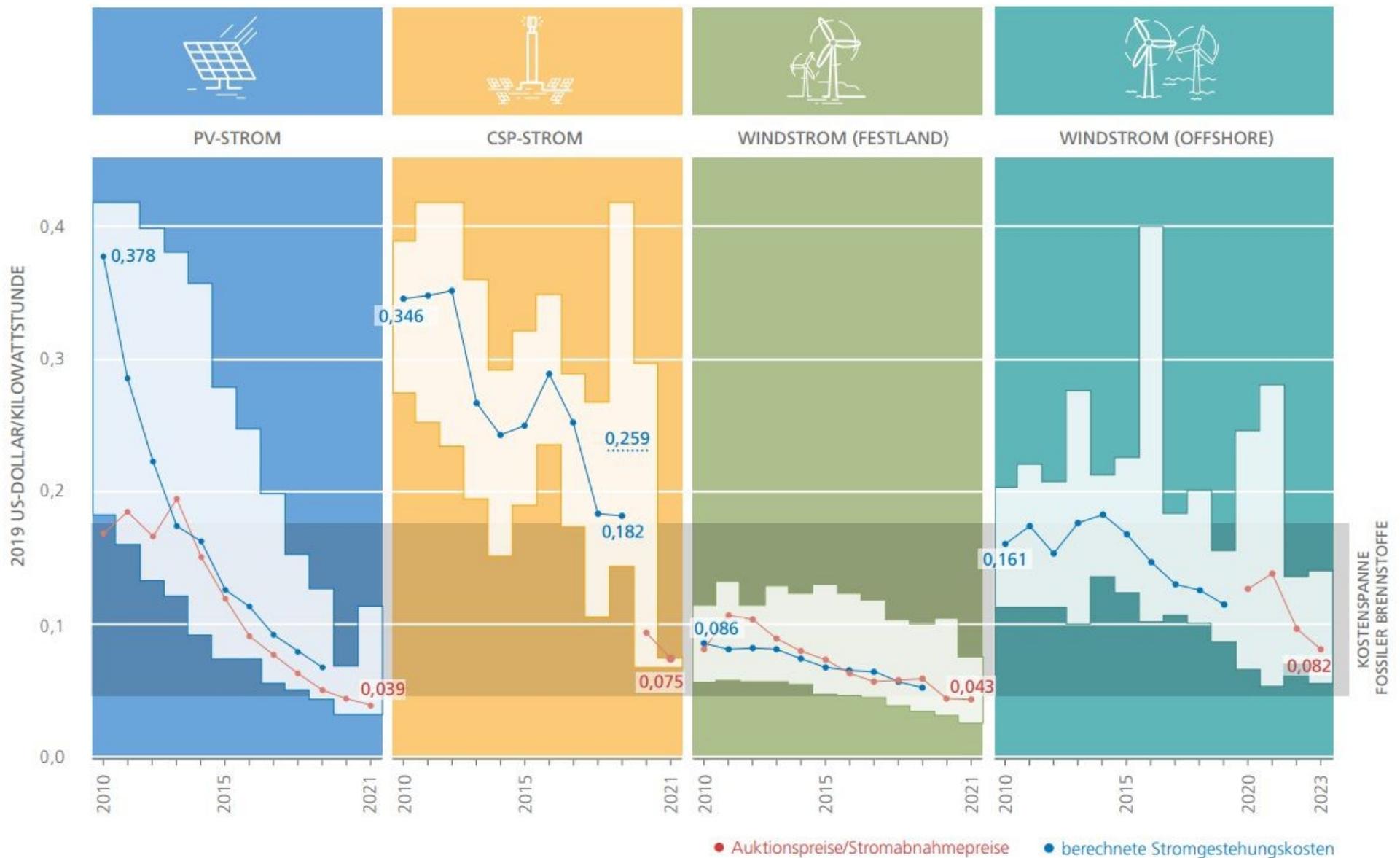
- gesicherte Leistung
- Speicher
- Zusatzfeuerung
- Sektorenkopplung
- Prozesswärme
- Brennstoffherzeugung



* CSP: Concentrating Solar Power

Solarthermische Kraftwerke

Vergleich mit anderen erneuerbaren Energietechnologien



Beitrag solarthermischer Kraftwerke zur Energiewende

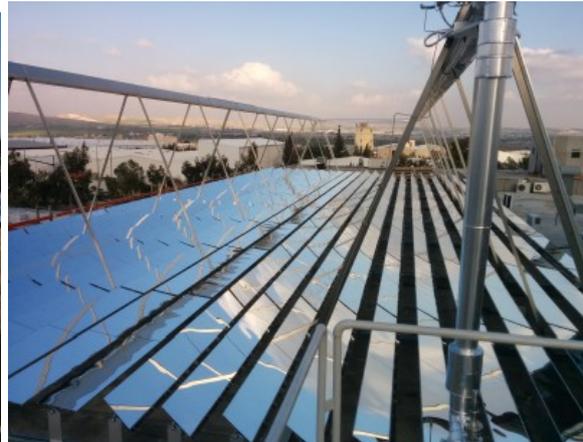
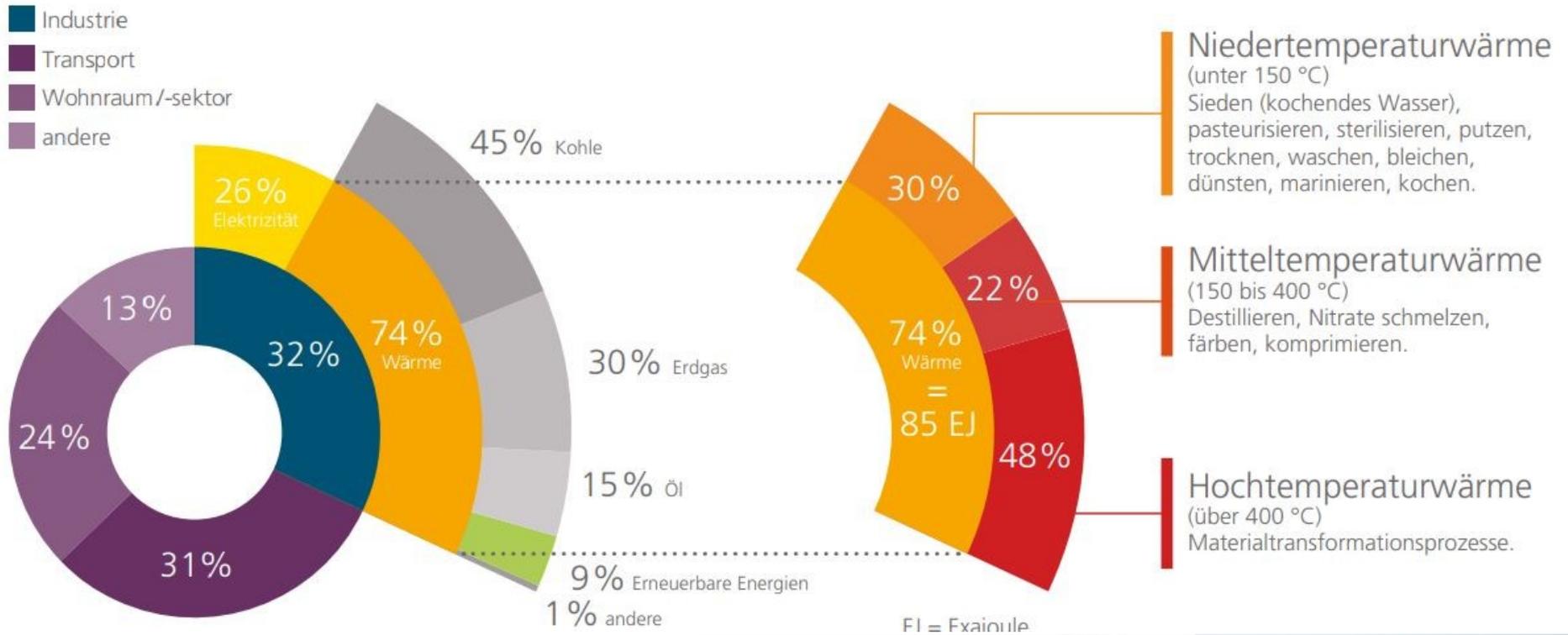
Beispiel: Stromverbund (DESERTEC)



Grafik: DLR

Beitrag solarthermischer Kraftwerke zur Energiewende

Beispiel: Prozesswärme

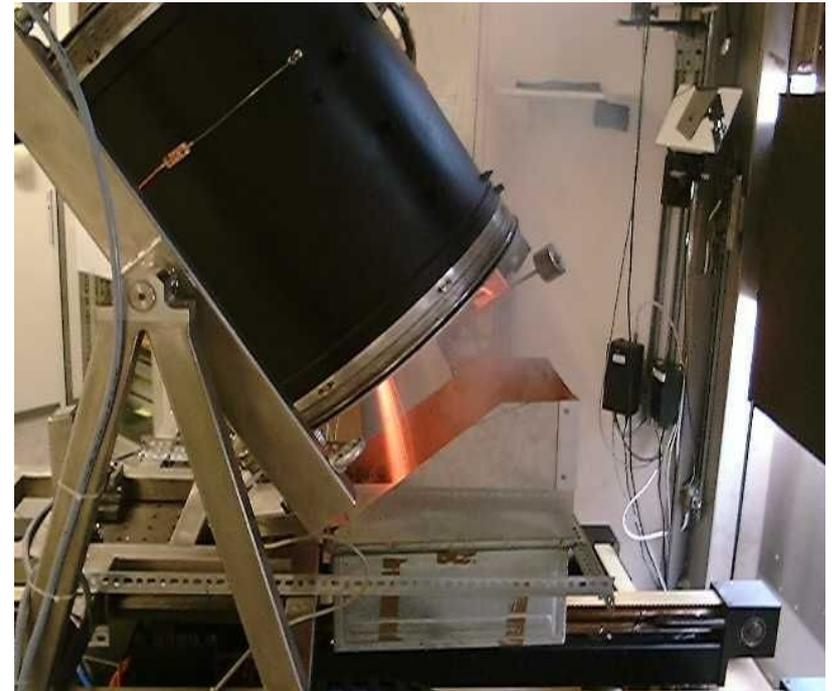
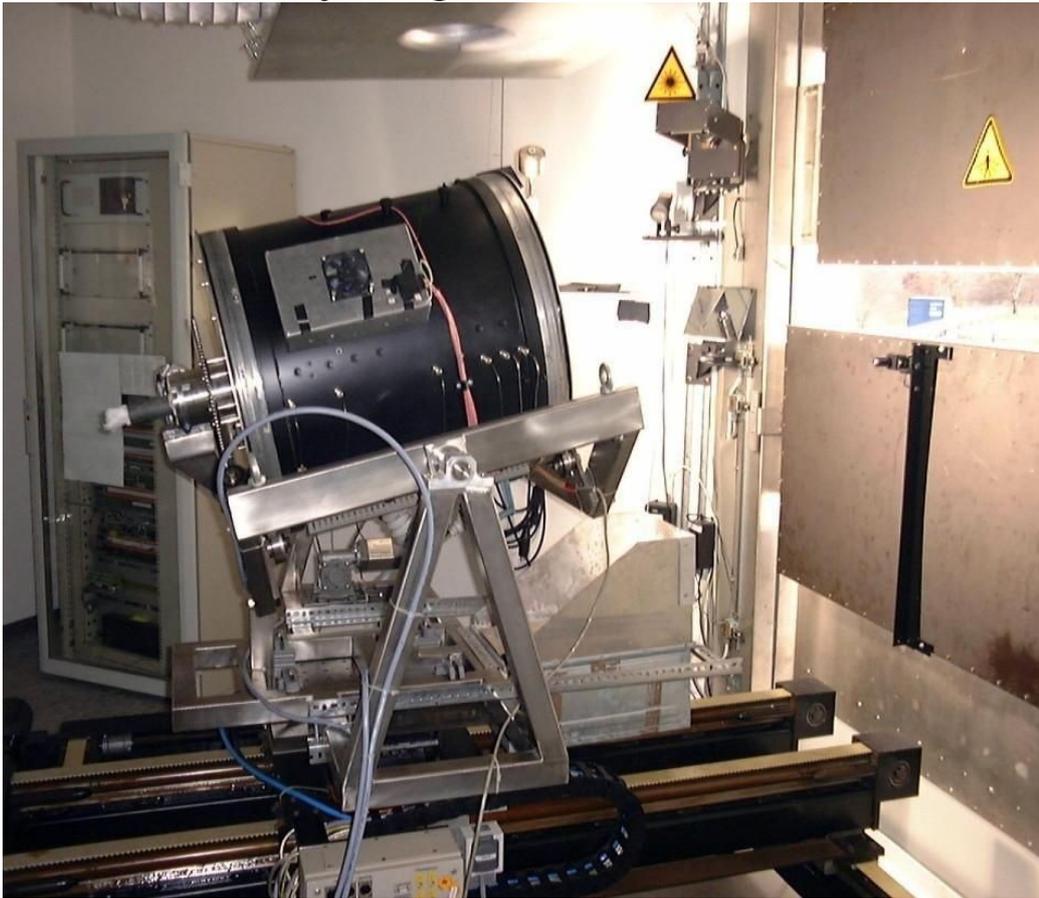


- Bis ca. 400°C kommerzielle Technologien verfügbar

Beitrag solarthermischer Kraftwerke zur Energiewende

Beispiel: Hochtemperatur-Prozesswärme

- Experiment SOLAM
- Solares Recycling von Aluminium im Sonnenofen

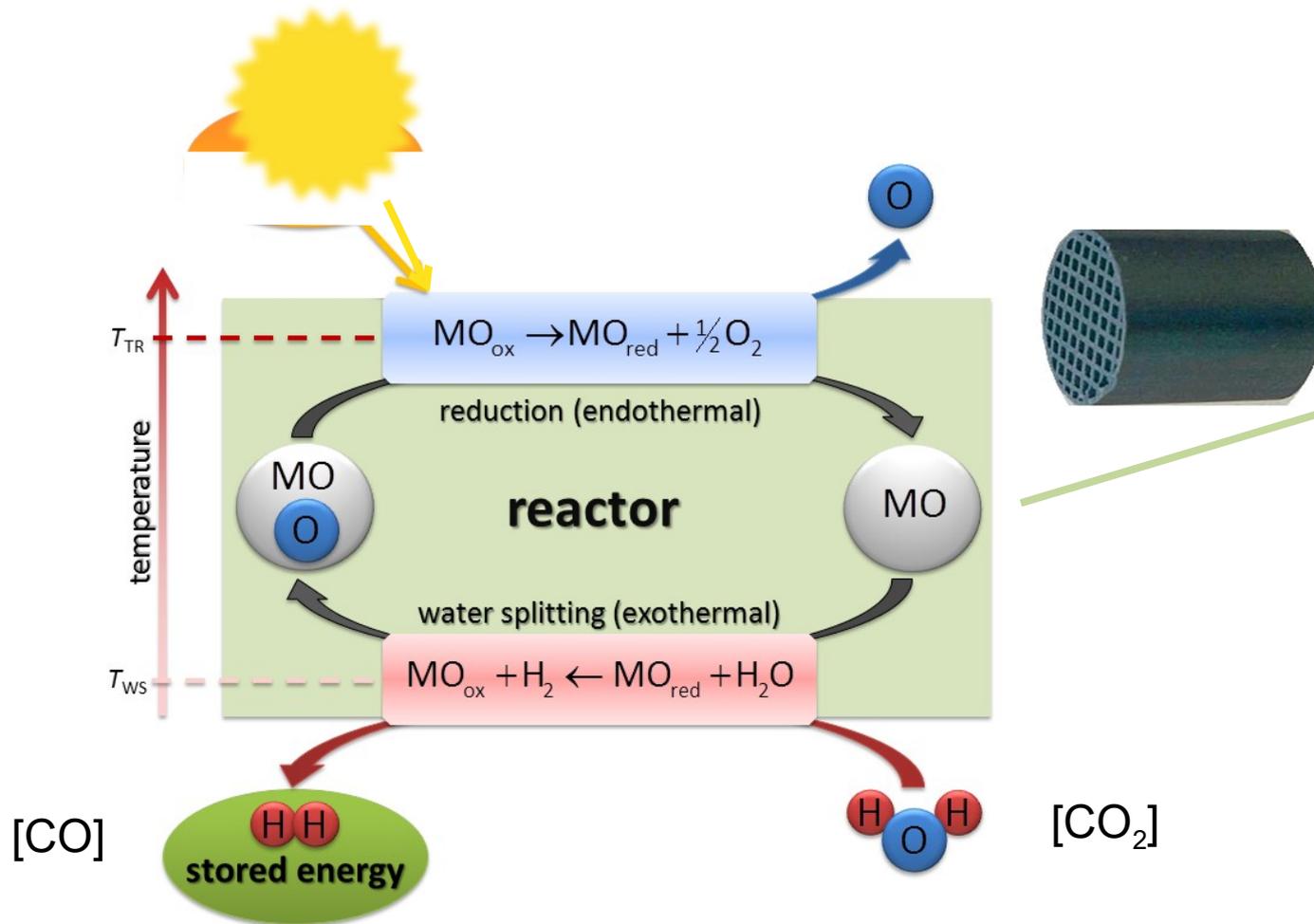


- weitere Experimente: Calzinierung (Zementherstellung), Reduzierung von Metalloxiden, Behandlung von Erzen und Abfällen

Beitrag solarthermischer Kraftwerke zur Energiewende

Beispiel: Solare Brennstoffe

- zweistufiger solarer Redox-Kreislauf
- z.B. Wasserstoffherzeugung

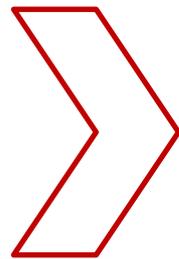
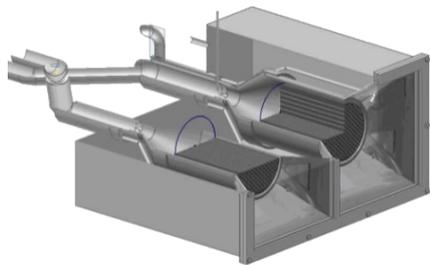
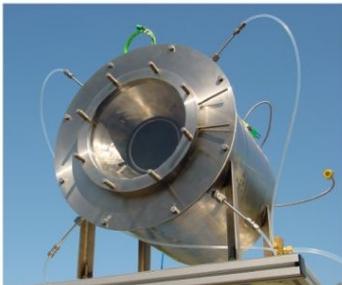


Beitrag solarthermischer Kraftwerke zur Energiewende

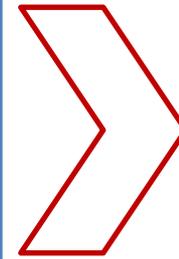
Beispiel: Solare Brennstoffe

Hochskalierung der Wasserspaltung vom Labor in industriellen Maßstab

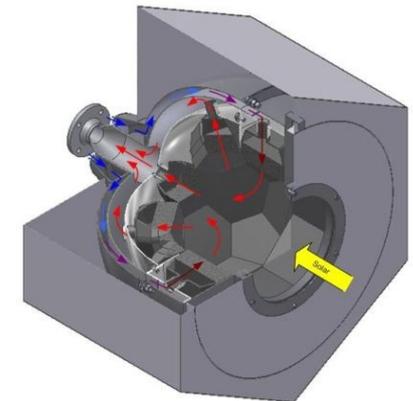
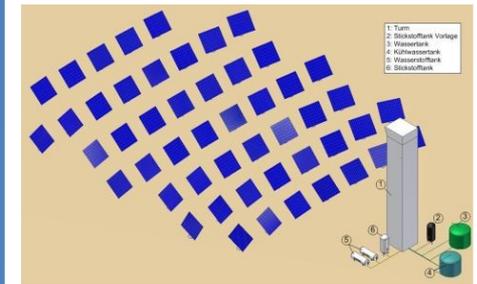
Hydrosol I
2002 – 2005
< 10 kW



Hydrosol II
2006 – 2009
100 kW

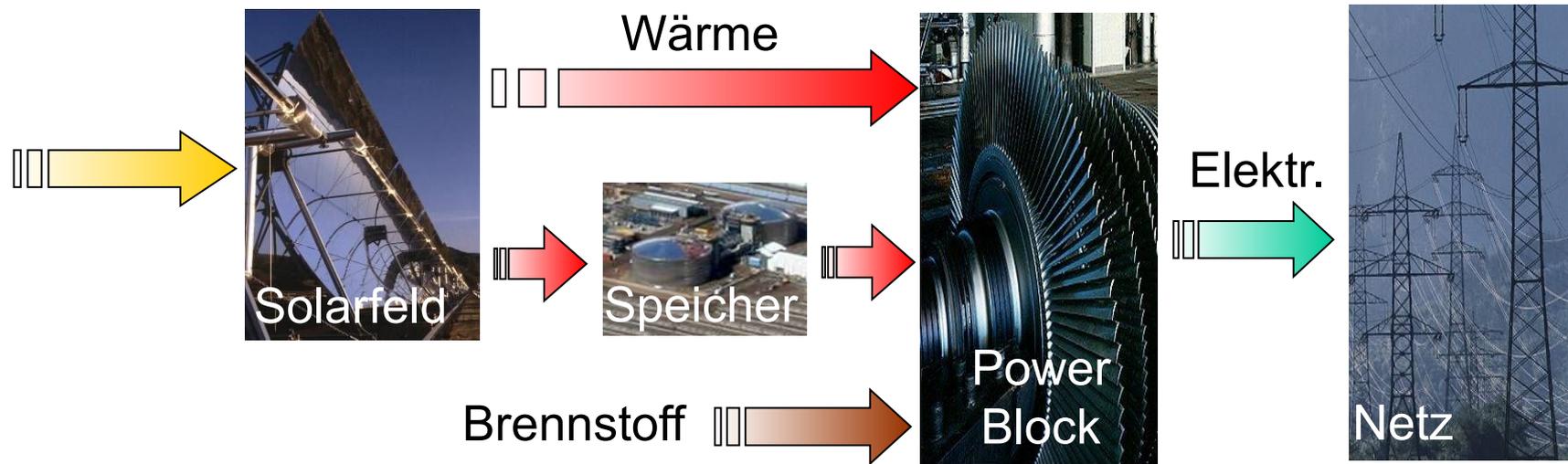


Hydrosol 3D
2010 – 2012
1 MW



Solarthermische Kraftwerke

Zusammenfassung



Solare Stromerzeugung

Bereitstellung gesicherter Leistung durch integrierte Wärmespeicherung

Zusatzfeuerung möglich (Überbrückung längerer strahlungsarmer Phasen)

Sektorenkopplung

Solare Prozesswärme bis ca. 400°C Technologien verfügbar

Hochtemperaturprozesse und solare Brennstoffe in der Entwicklung