

Solarthermische Kraftwerke mit Fresnel-Kollektoren

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol
HAW Hamburg/ Prismaplex GmbH & Co. KG
Prof. Dr.-Ing. Thomas Veese

Freitag, 16. 05. 2008
6th LEIBNIZ CONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE



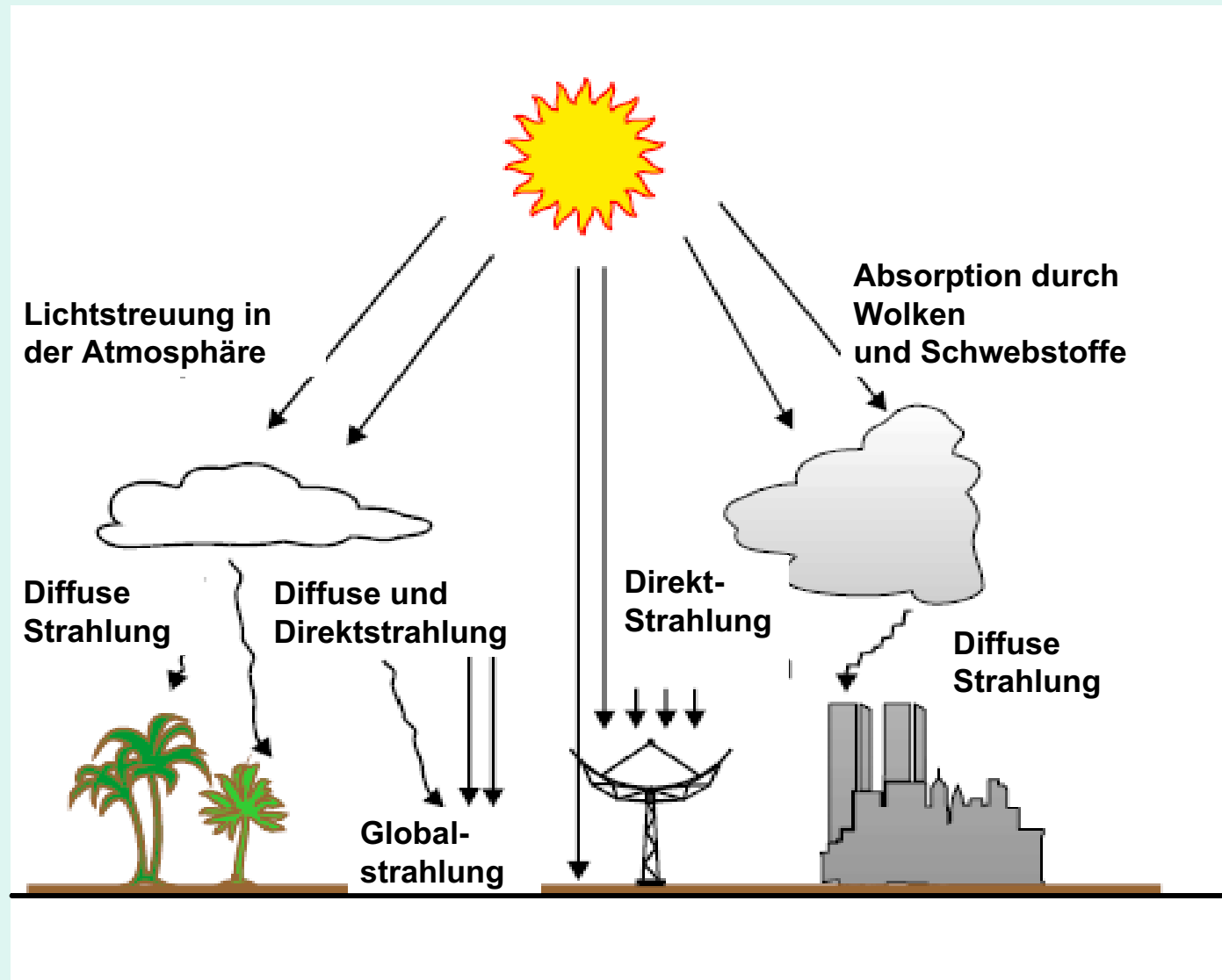
Gliederung:

- Energiethemen im Maschinenbau der HAW
- Solare Einstrahlung
- Konzentrierende Systeme
- Solarkraftwerke
- Fresnel-Kollektoren

Energiethemen im Maschinenbau der HAW

- Lehre:
 - Bachelor: Maschinenbau / Energie- und Anlagensysteme
 - Master: Innovative Energiesysteme
- Projektbeispiele:
 - Erdwärme mit Hilfe von Wärmepumpen
 - Solarthermische Kühlung mit Absorptionskältemaschinen
 - Speicherung thermischer Energie
 - Brennstoffzellen
 - Effiziente Motorenkonzepte
 - Wellen- und Strömungskraftanlagen

Solare Einstrahlung



Solarkonstante
 1370 W/m^2

90 % im
Spektralbereich
400 nm bis $1 \mu\text{m}$
(sichtbar, nahe
Infrarot)

Bild1:

Anteile der
Sonnen-
einstrahlung
auf die Erde

4

Solare Einstrahlung

Grundproblem:

- Niedrige Energiedichte hat niedrige erreichbare Temperaturen zur Folge
- Niedrige Temperatur hat niedrigen Carnot-Wirkungsgrad zur Folge

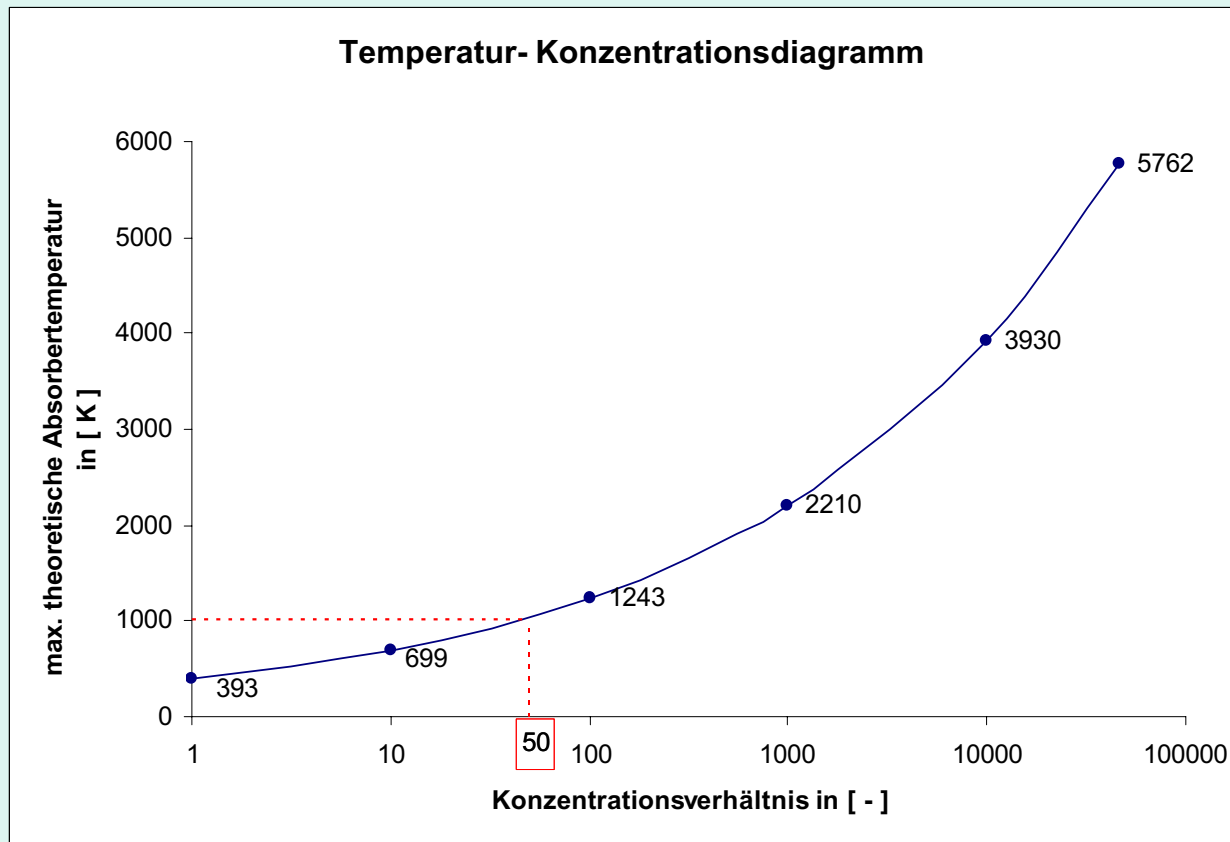
Lösung:

- Aufkonzentration der Lichtstrahlung durch Linsen oder Spiegel

Aber:

- $C_{\max} = 46\,200$, da Sonnenstrahlen nicht ideal parallel sind
- Bei Aufkonzentrierung kann nur Direktstrahlung genutzt werden
- Konzentrationssysteme müssen nachgeführt werden

Konzentrierende Systeme



$$T_A = T_S \cdot \left(\frac{C}{C_{\max}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$C_{\text{faktisch}} < \sim 3\,000$$

Bild 2: Zusammenhang zwischen dem Konzentrationsfaktor und der theoretisch maximal möglichen Betriebs-Receivertemperatur

Konzentrierende Systeme

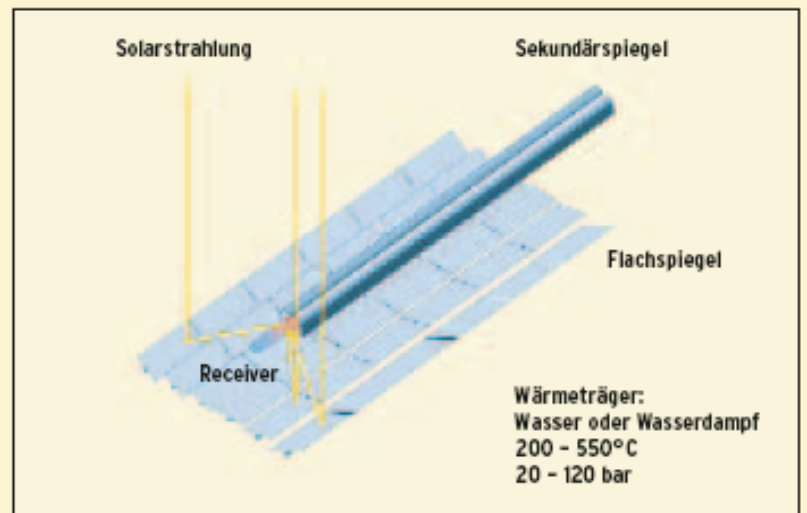
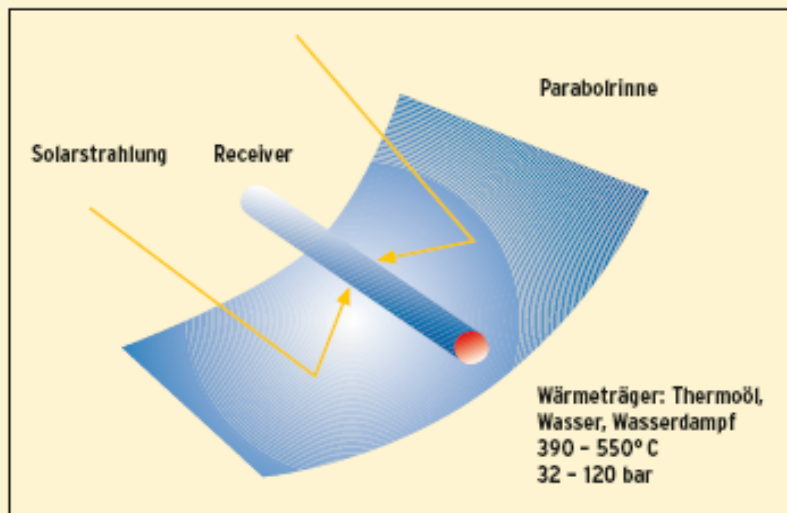
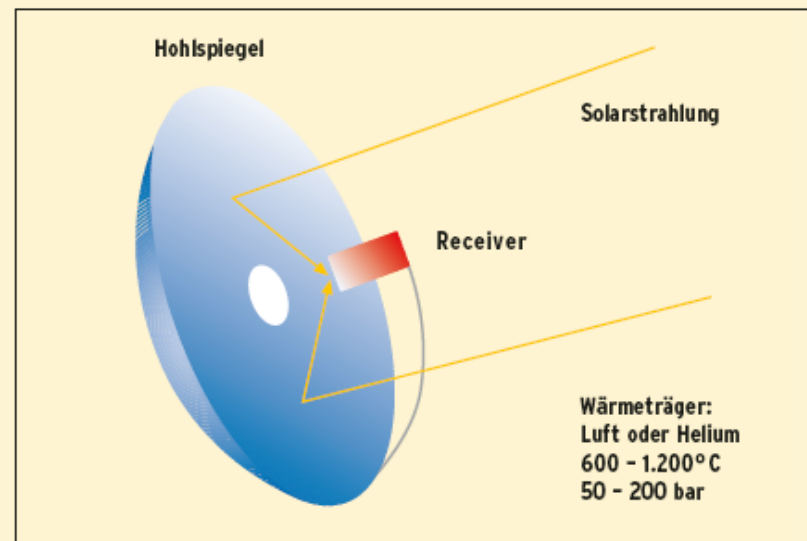
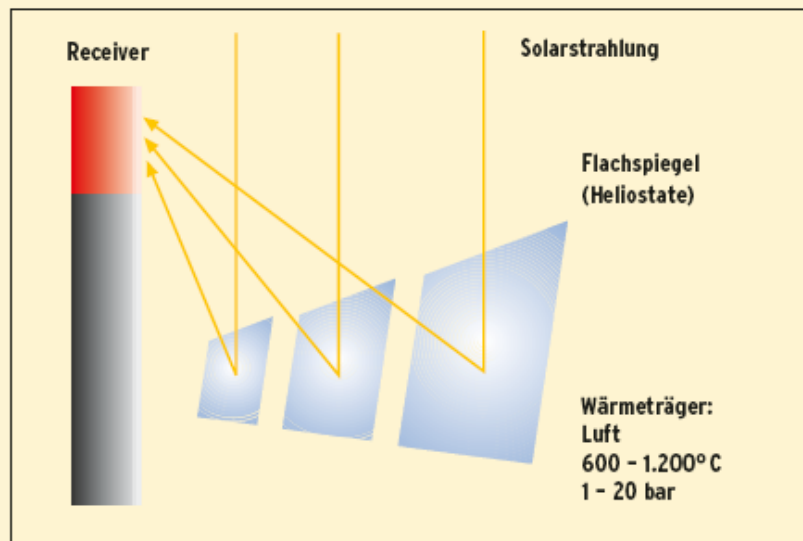


Bild 3: Grundprinzipien bekannter konzentrierender Systeme

Konzentrierende Systeme



Dish-Stirling



Solarturm



Parabolrinnen



Linearer Fresnel-Spiegel

Bild 4: Energiegewinnung in thermischen Solarkraftwerkssystemen

Solkraftwerke

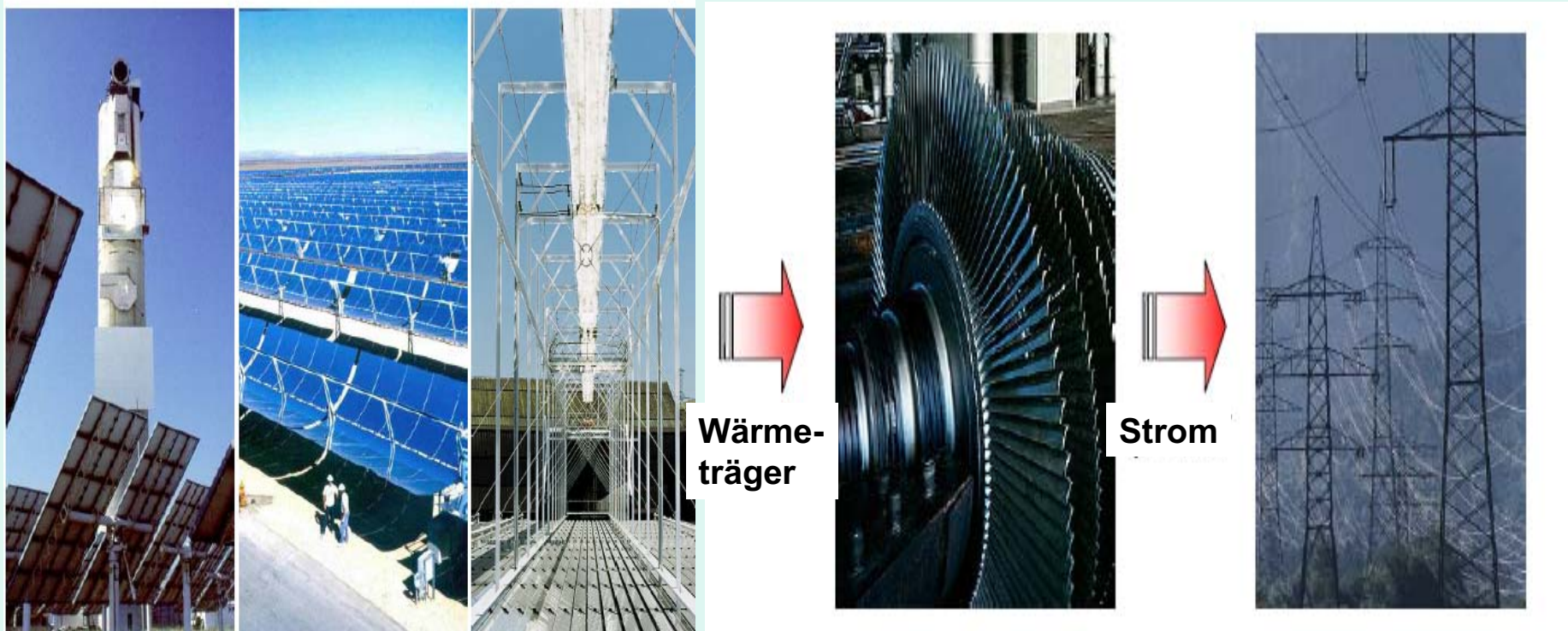


Bild 5: Nutzung der Sonnenenergie in Verbindung mit dem Kraftwerksprozess

Solkraftwerke

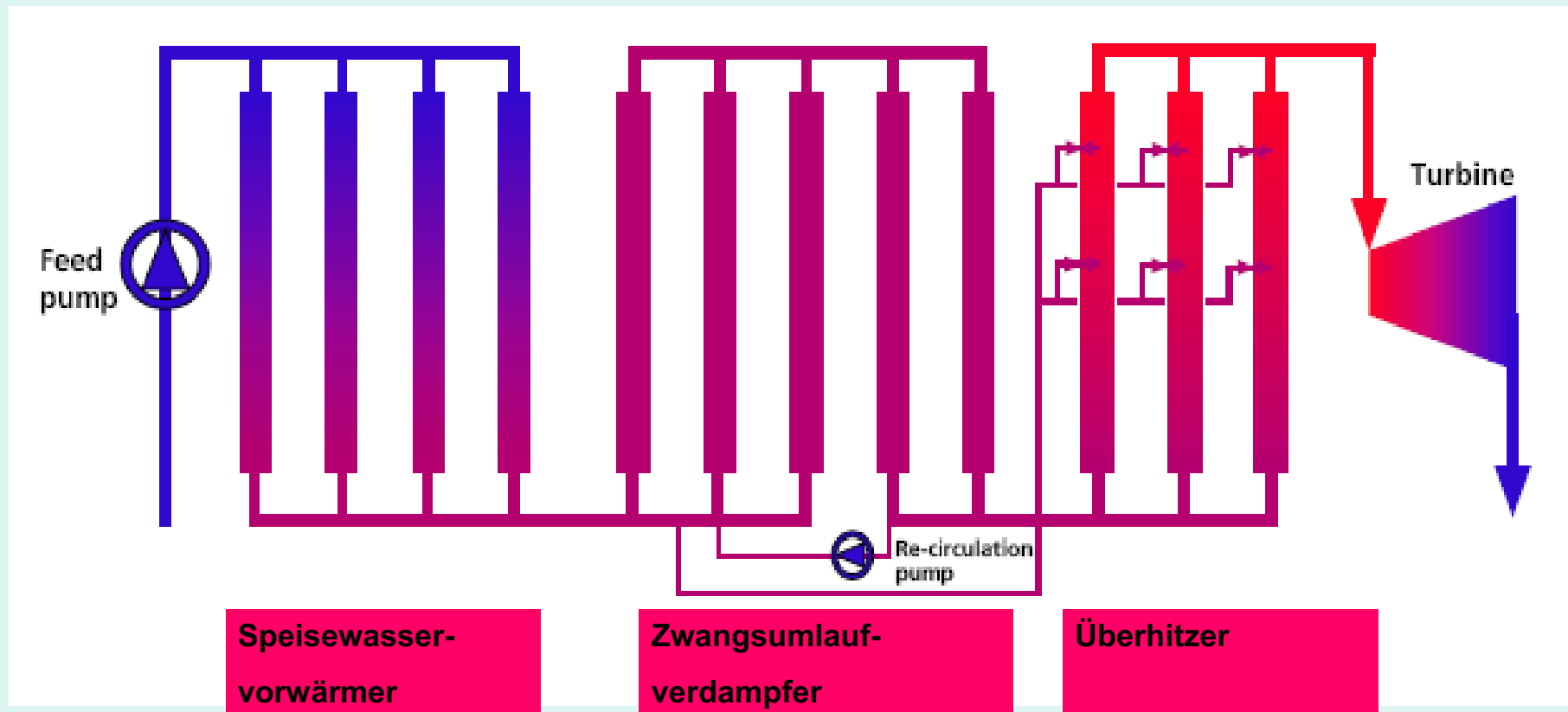


Bild 6: Schaltbild eines solaren Kraftwerksprozesses

10

Solarkraftwerke

Solar Power Tower
Example: PS 10

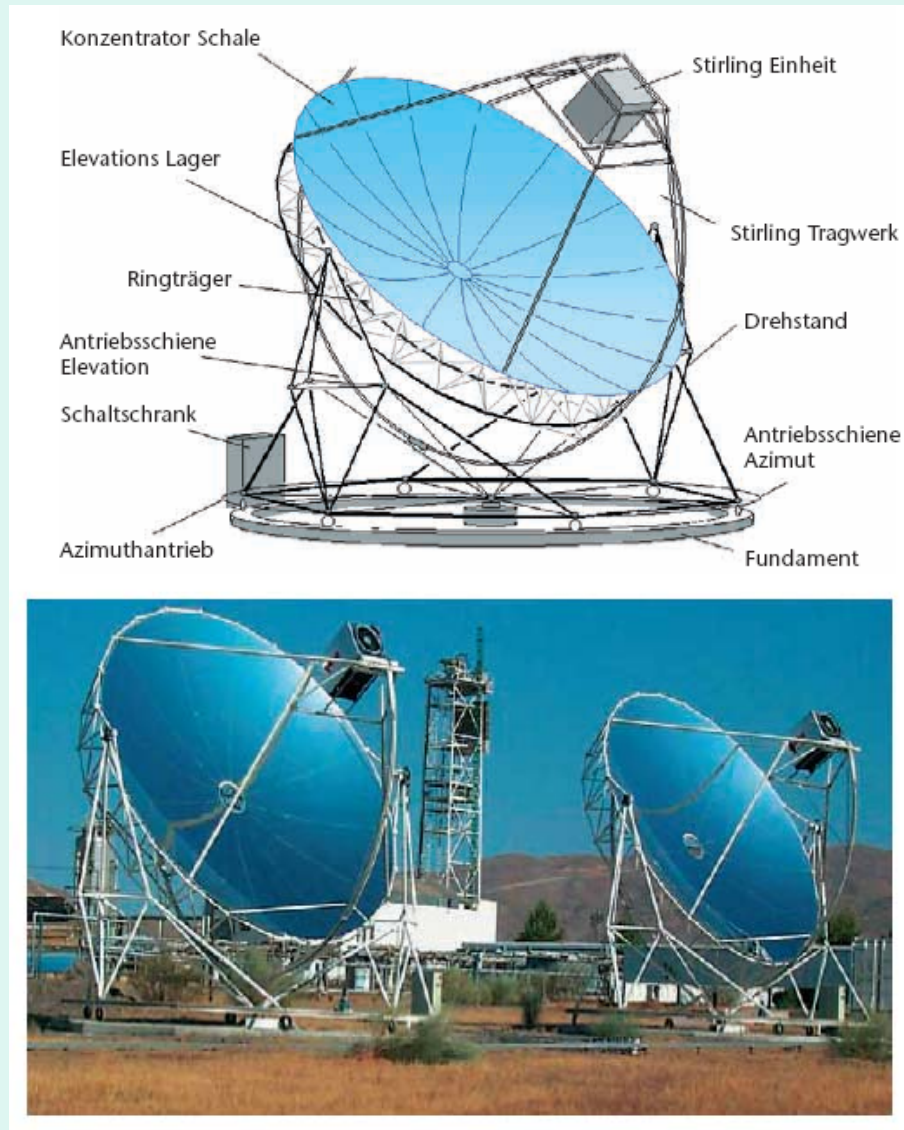


Projekt	Land	Elektr. Leistung in MW	Wärmeträger	Speichermedium	Inbetrieb- nahme
SSPS	Spanien	0,5	Flüssiges Natrium	Natrium	1981
EURELIOS	Italien	1	Dampf	Nitratsalz/Wasser	1981
SUNSHINE	Japan	1	Dampf	Nitratsalz/Wasser	1981
Solar One U.S.A.	USA	10	Dampf	Öl/Gestein	1982
CESA-1	Spanien	1	Dampf	Nitratsalz	1983
MSEE/Cat B	USA	1	Nitratsalz	Nitratsalz	1983
THEMIS	Frankreich	2,5	Hitech Salz	Hitech Salz	1984
SPP-5	Ukraine	5	Dampf	Wasser/Dampf	1986
TSA	Spanien	1	Luft	keramisches Festbett	1993
Solar Two	USA	10	Nitratsalz	Nitratsalz	1996

Bild 7: Ausgeführte Solarturmkraftwerke

11

Solkraftwerke



Receiver bestehend aus
78 Rohren
Außen-Ø: 3 mm
Nickelbasislegierung

Max. Temperatur Rohrvorderseite
ca. 900 °C
Arbeitsgasdruck bis 150 bar

Euro-Dish System

$\varnothing = 8,5 \text{ m}$
 $A = 57 \text{ m}^2$
 $P_{el} = 9,2 \text{ kW}$

Max. P_{el} ca. 50 kW

Bild 8: Aufbau eines Dish-Stirling Systems (Plataforma Solar)

12

Solkraftwerke

EuroTrough Collector Plataforma Solar



50 MW Parabolrinnen-Kraftwerk

400.000 Spiegel
Temperaturniveau 400°C

Abmessungen der FLAG-SOL
Parabolrinnenkollektoren
SKaL-ET 150

Länge: 12 m
Höhe: 5,7 m

Parabolic trough systems:
Andasol



Project Site:
Plateau of Guadix, Spain

Design Capacity:
2 x 49,9 MW_e

Storage:
Two-tank molten salt
for 7 full load hours

Net electricity
production:
2 x 157 Mio. kWh/a

Investment budget:
2 x ~260 Mio. €

Source: Flagsol

Bild 9: Parabolrinnenanlage Andasol (Almeria)

13

Solarkraftwerke

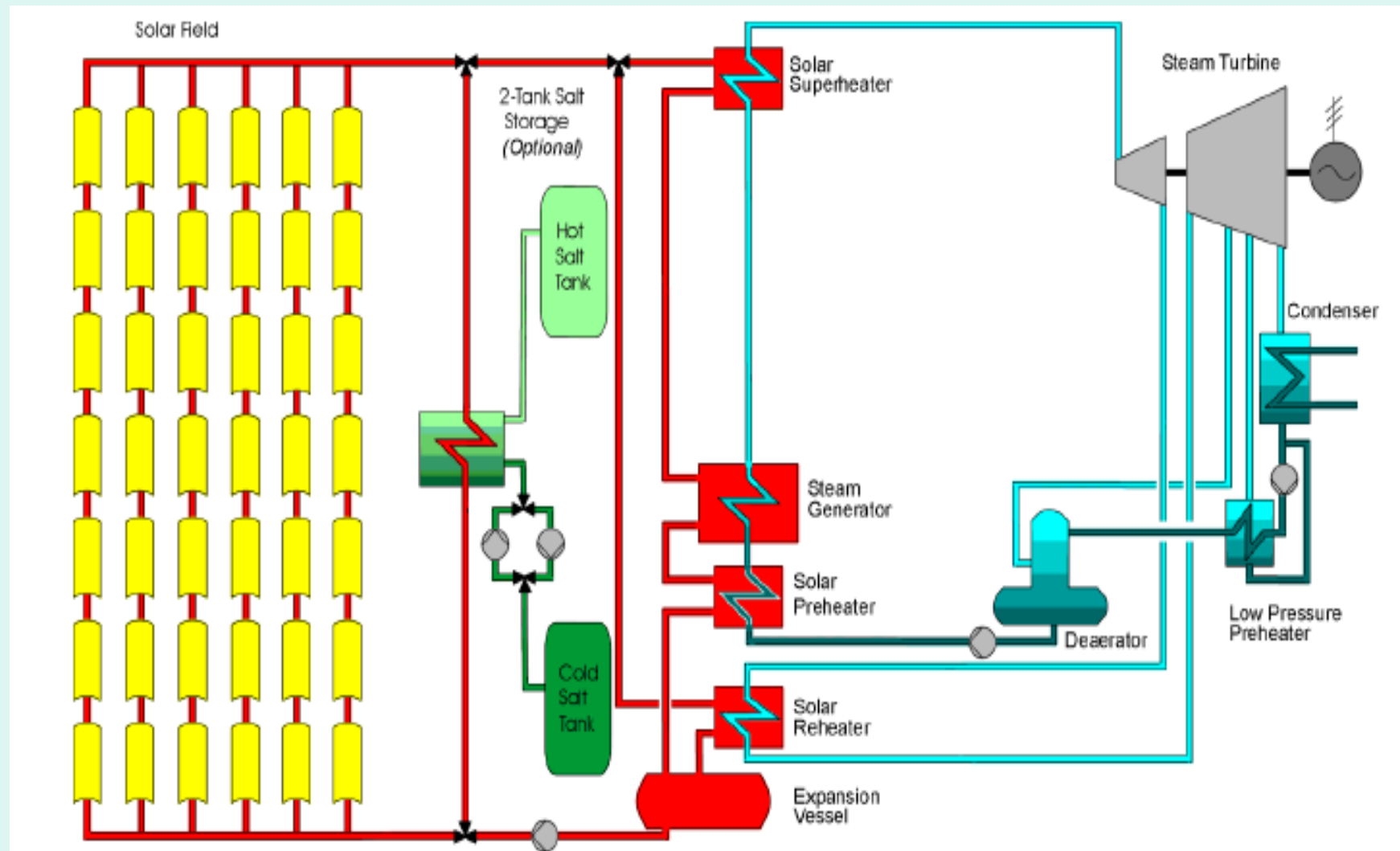


Bild 10: Schaltbild des Parabolrinnenkraftwerkes Andasol

14

Solarkraftwerke

Projekt Andasol/Spanien:

Fläche	Leistung		Investitionskosten		Stromkosten
1 000 000m ²	100MW	100W/m ²	500 000 000€	5000€/kW	>=16ct/kWh

Quelle: [neue energie](#) 8/2004 S.54ff

Projekt ist kommerziell möglich, da spanische Einspeisevergütung den 3-fachen Satz des mittleren Erzeugerstrompreises von gut 7 cent garantiert

15

Solarkraftwerke

	Solarturm	Solarturm (RE-FOS)	Parabolrinne	Parabolrinne	Paraboloid	Linear Fresnel
Leistung (solar) MW _{el}	5 - 200	5 - 200	5 - 200	5 - 200	0,01 - 0,1	5 - 400
Einsatz	Dampfturbine, ISCCS	Gasturbine, GuD-Kraftwerk	Dampfturbine, ISCCS	Dampfturbine, ISCCS	Gasturbine, Stirling Motor	Dampfturbine
Receiver/Absorber	Rohrbündel od. drucklose volumetrische Receiver	Volumetrische Receiver	Absorberrohr	Hochdruck-Absorberrohr	Rohrbündel od. Heat Pipe	Hochdruck-Absorberrohr
Wärmeträger	Luft, Salz, Dampf	Luft	Thermoöl	Dampf	Luft, Helium, Wasserstoff	Dampf
Spitzenwirkungsgrad %	18 - 23	ca. 30	18 - 21	20 - 23	20 - 29	18 - 20
mittl. Wirkungsgrad %	14 - 19	ca. 25	10 - 15	14 - 18	16 - 23	10 - 11
Betriebstemperatur °C	600 - 800	800 - 1200	300 - 400	400 - 500	900 - 1200	400 - 550
Betriebsdruck bar	< 5	15 - 20	< 5	100 - 120	< 15	100 - 120
Status	Demonstration	Demonstration	kommerziell	F&E	Demonstration	F&E

GuD: Gas- und Dampfturbinenkraftwerk, DSG: Direct Stream Generation, REFOSS: Solar Receiver für Fossile Gasturbinen und GuD-Anlagen, ISCCS: Integrated Solar and Combined Cycle System, Beschreibungen siehe Text. Die angegebenen Wirkungsgrade beziehen sich auf die Umwandlung der eingestrahnten Energie in Wechselstrom am Netz.

Bild 11: Übersicht Leistungsparameter derzeitiger Solarkraftwerke

16

Fresnel-Kollektoren

Lineare Fresnel-Kollektoren bestehen aus langen Panels flacher Spiegel.

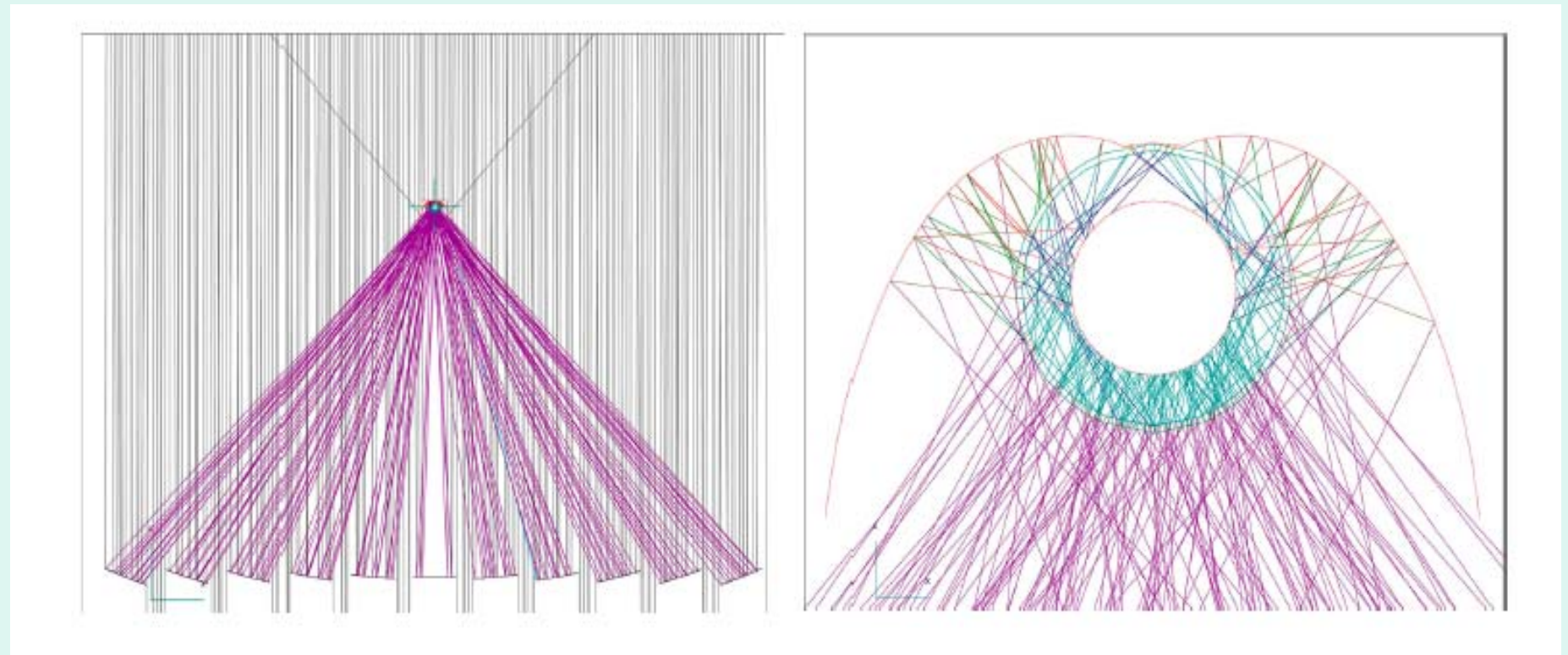
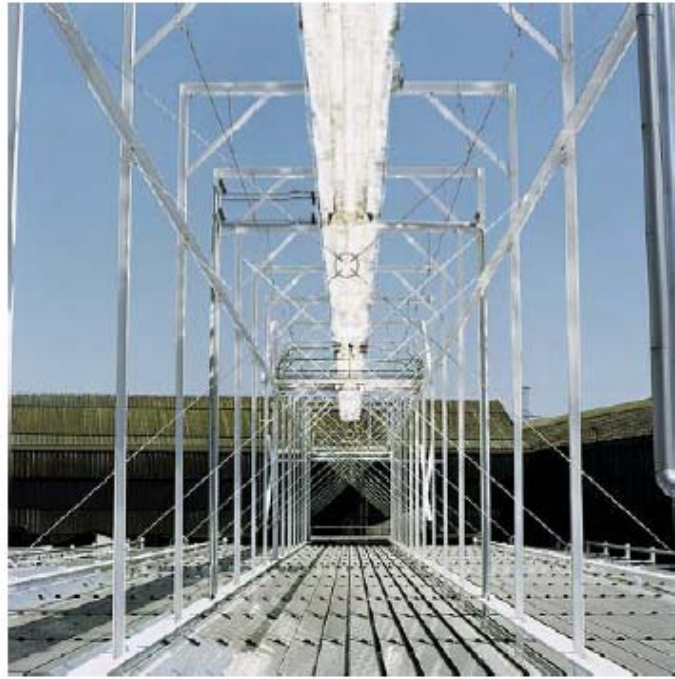


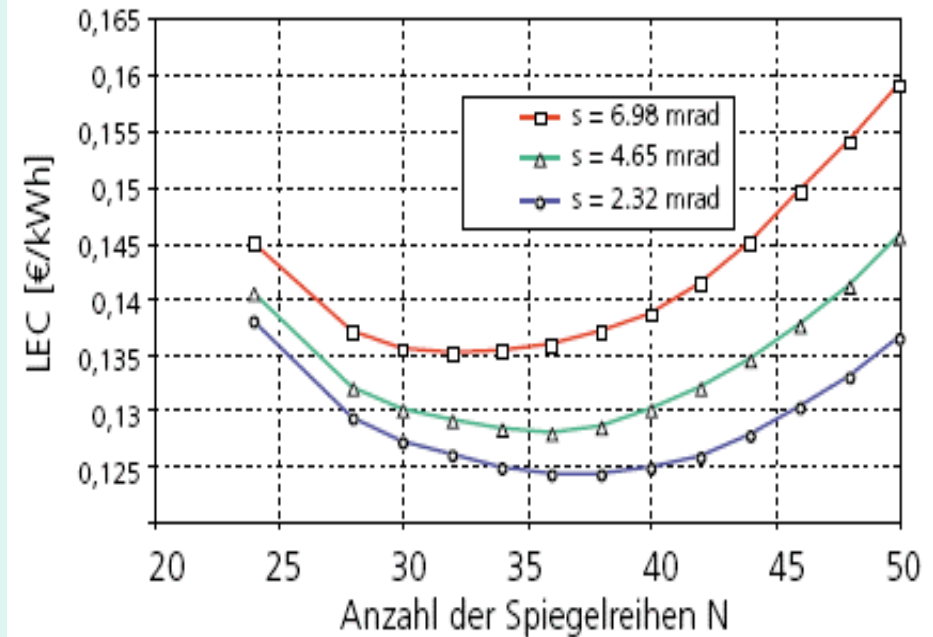
Bild 12: Strahlungsverlauf linearer Fresnel-Spiegel

Fresnel-Kollektoren



Ca. 15 m aktive Spiegelbreite

Dampftemperatur bis 450 °C

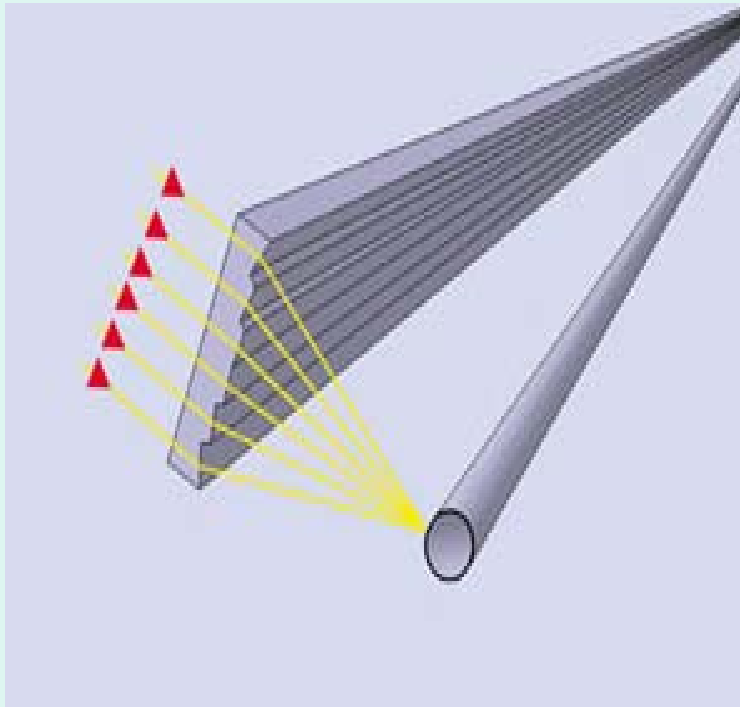


Optimierung der Anzahl der Spiegelreihen mit dem Ziel der Senkung der Stromgestehungskosten. Die Kurven sind für unterschiedliche statistische Abweichungen von der idealen Spiegelform und -position gerechnet – je höher die Zahl desto Ungenauer lenken die Spiegel die Sonne auf die Receiver (Quelle ISE)

Bild 13: Lineare Fresnel-Spiegel Kollektoren

18

Fresnel-Kollektoren



Material PMMA

Fertigung in Bahnen mit:

- Breiten bis zu 1.000 mm
- in beliebiger Länge

**Bahnendicke liegt zur Zeit bei ca. 2mm
(Dicken zwischen 1,5 – 4 mm sind möglich)**

**Gewicht konnte gegenüber den bislang
in Serie produzierten Prismenplatten
drastisch reduziert werden.**

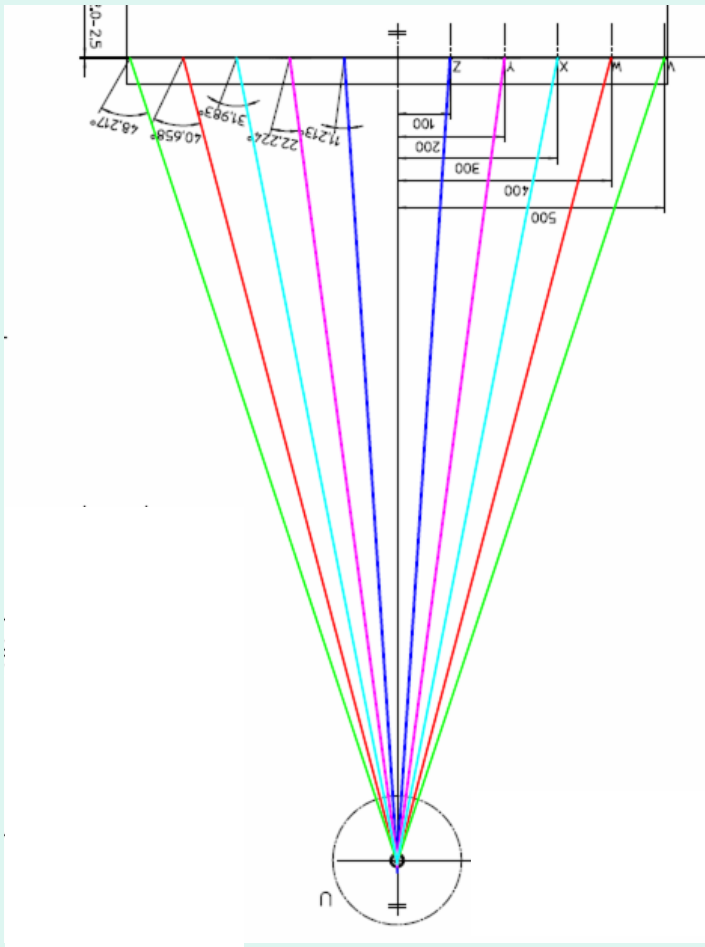
Niedrige Kosten durch:

- geringe Materialstärke
- das niedrige Gewicht
- Einsparungen beim Konstruktions- und Materialaufwand für Halterungen, Einfassungen etc.

Bild 14: Prismaplex Fresnel-Kollektor (Kark AG, Fa. Prismaplex)

19

Fresnel-Kollektoren



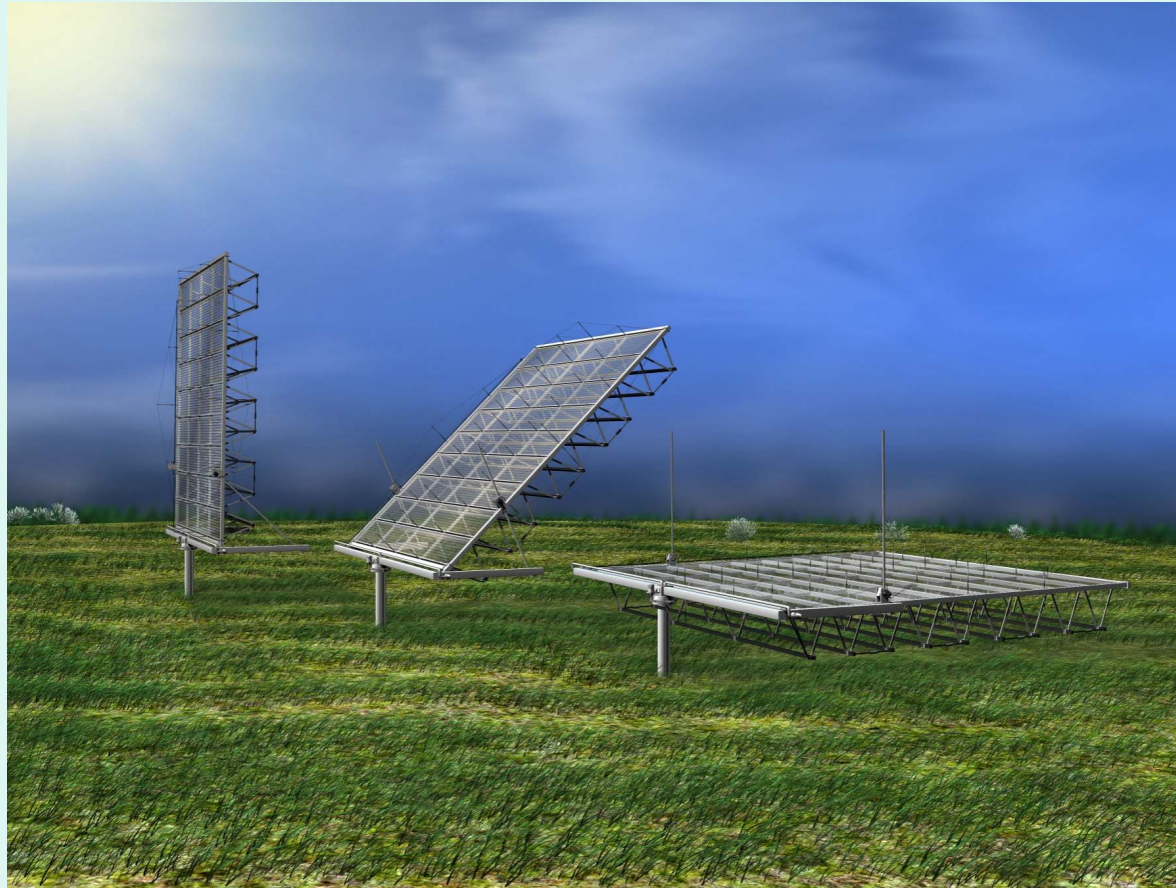
Zur Sonnenlicht-Konzentration werden transparente Bahnen mit linear fresnefförmiger Struktur (line-focusing system) verwendet.

Breite ca. 1000 mm

Brennweite der Linse ca. 1500 mm

Bild 15: Daten transparenter Prismaplex-Bahnen

Fresnel-Kollektoren



Fläche je Kollektor
ca. 100 m²

Vorteil:

Keine Verschattung
unterhalb des Kollektors

Bild 16: aktuelle Entwicklung Prismaplex:
zweiachsig der Sonne nachgeführter Solarkollektor **PrismaSun CSP**

21

Aktuelle Untersuchung der Prismaplex Fresnel-Kollektoren an der HAW Hamburg

1. Versuchsanlage zur Ermittlung der:
 - Maximalen Oberflächentemperatur des Absorberrohres
 - am Kollektor auftretenden Verluste
 - optimalen Gestaltung des Absorberrohres
2. Theoretische Modellierung der Konzentration mit der Fresnel-Linse
3. Untersuchung eines geeigneten Prozesses zur Stromerzeugung
4. Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten der Wärmeenergie in Prozessen

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Fresnel-Kollektoren

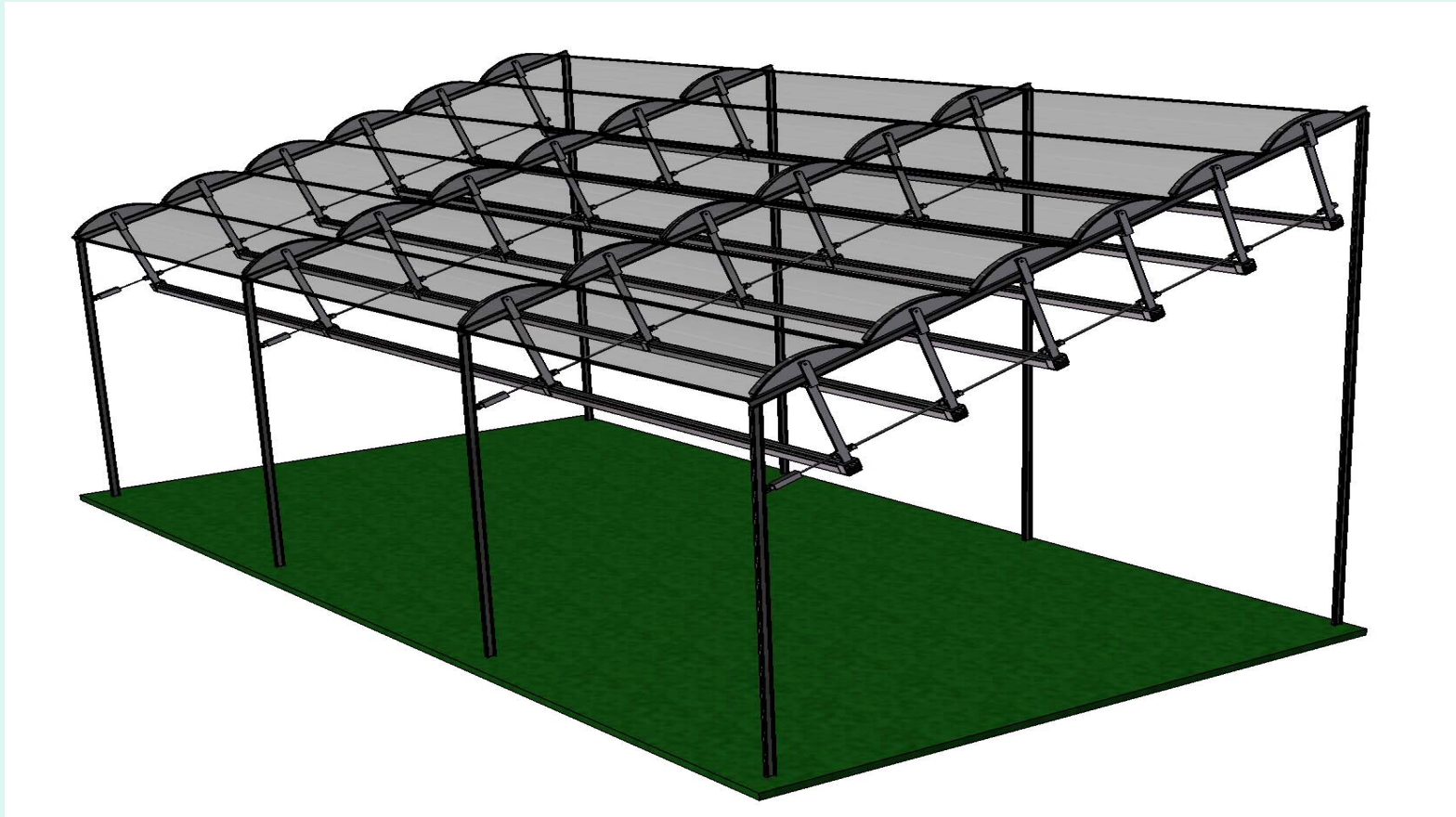


Bild 17: Anwendung der Fresnel-Linsen zur Gewächshauskühlung und Energiegewinnung

22