

Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.1

1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

...Dank an Prof. Robert Pitz-Paal für
zahlreiche Folien und Bilder !

Der Autor



Robert Pitz-Paal, geb. 1963 in Kleve, Physik-Diplom 1988 an der Universität München, promoviert 1992 an der Universität Bochum. Seit 1993 in der Solarforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Köln-Porz, seit 2002 Abteilungsleiter Solarforschung, seit 2003 Professor an der RWTH Aachen.

Anschrift

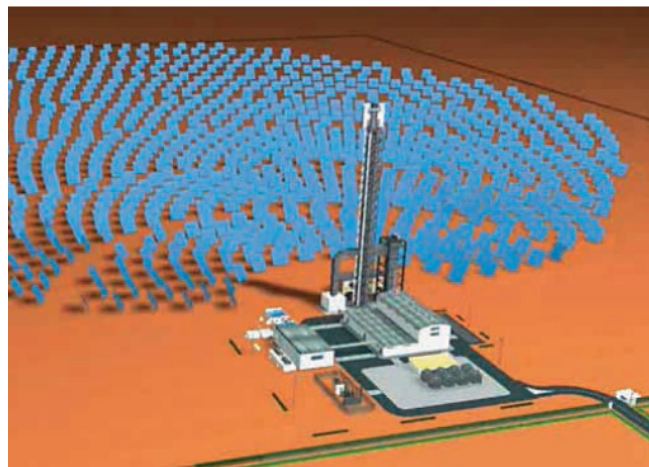
Prof. Dr.-Ing. Robert Pitz-Paal, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln. Robert.Pitz-Paal@dlr.de

Solarthermische Kraftwerke

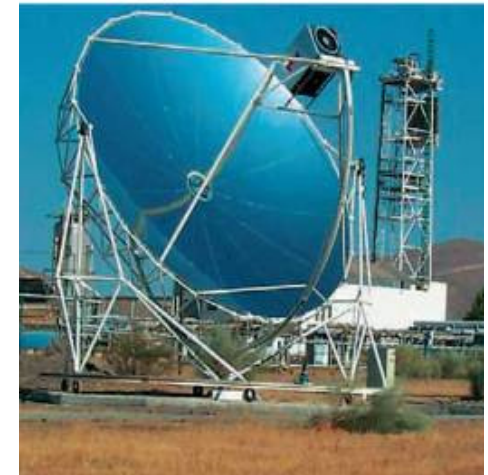
Parabolrinnensysteme



Solarturmkraftwerk



Dish-Stirling-Systeme



- für den effizienten Betrieb einer Wärmekraftmaschine sind Temperaturen $> 300\text{ °C}$ erforderlich
- alle solarthermischen Kraftwerke erfordern eine ausreichend starke direkte Sonneneinstrahlung und nachfolgende Konzentration (keine Nutzung der diffusen Strahlung)
- wirtschaftlicher Betrieb nur zwischen Äquator und 35 ° nördlicher (südlicher) Breite

SEGS: Impressionen ...

Solar Electric Generating System 1..9

SEGS: Eine Erfolgsgeschichte in
Südkalifornien



¹ SEGS Solar Electric Generating Systems



Parabolrinnenkollektoren konzentrieren die solare Strahlung und erzeugen Hochtemperaturwärme (400 °C). Das Foto zeigt einen Ausschnitt aus dem größten Solar-kraftwerk der Welt in Kalifornien.

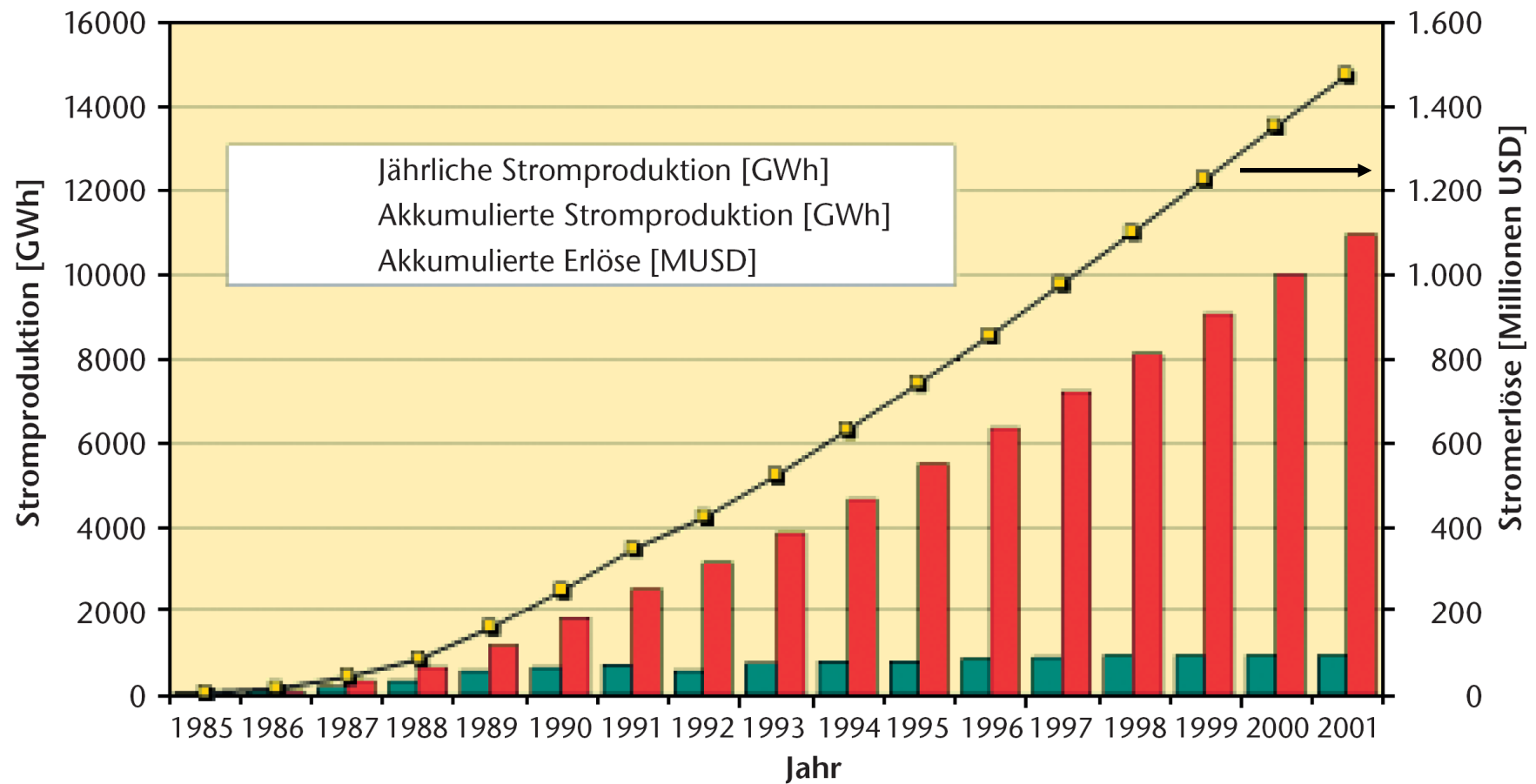
SEGS: Fakten...

SEGS Anlage	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Jahr der Inbetriebnahme	1985	1986	1987	1987	1988	1989	1989	1990	1991
Nettoleistung [MW]	13.8	30	30	30	30	30	30	80	80
Aperturfläche Solarfeld [1000m ²]	83	190	230	230	251	188	194	464	484
Solarfeld Auslasstemperatur [°C]	307	321	349	349	349	391	391	391	391
Turbinenwirkungsgrad [%]									
Solar-Betrieb	31,5 ^a	29,4 ^b	30,6	30,6	30,6	37,6 ^c	37,6	37,6	37,6
Gas-Betrieb	-	37,3	37,3 ^d	37,3	37,3	39,5	39,5	37,6 ^e	37,6
Dampfparameter am Turbineneinlass im Solar-Betrieb									
Druck [bar]	35,3	27,2	43,5	43,5	43,5	100	100	100	100
Temperatur [°C]	415 ^a	360	327	327	327	371	371	371	371
Jährliche Betriebsdaten (Auslegung)									
Thermischer Wirkungsgrad Solarfeld [%]	35	43	43	43	43	43	43	53	50
Solar-elektrischer Wirkungsgrad, netto [%]	9,3	10,7	10,2	10,2	10,2	12,4	12,3	14,0	13,6
Stromerzeugung, netto [GWh/a]	30,1	80,5	91,3	91,3	99,2	90,9	92,6	252,8	256,1
Gasverbrauch [10 ⁶ m ³ /a]	4,8	9,5	9,6	9,6	10,5	8,1	8,1	24,8	25,2
Spez. Installationskosten [US\$/kW]	4490	3200	3600	3730	4130	3870	3870	2890	3440
a) Dampferzeugung mit Solarenergie, Überhitzung durch Gas (18% des Energieeinsatzes) b) Im Solarbetrieb wird der Dampf mit Solarenergie erzeugt und überhitzt (SEGS II-IX) c) Turbine mit Zwischenüberhitzung (SEGS VI-IX) d) Im Gasbetrieb sind die Dampfparameter am Turbinenansatz 105 bar/510°C (SEGS III-VII) e) Der Wärmeträgeröl-Erhitzer wurde eingeführt. Dampfparameter sind im Solar- und Gasbetrieb identisch.									

- installierte SEGS Gesamtleistung: 354 MW
- Stromerzeugung: ca. 500 GWh/a (.. entsprach 2003 noch ungefähr der Netzeinspeisung aller Photovoltaik-Anlagen der Welt !!)
- Stromgestehungskosten ca. 12-15 €ct/kWh (..zum Vergleich PV: >30 €ct/kWh)

SEGS-Fakten

12.6



Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.7

1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

Maximale Konzentration

12.8

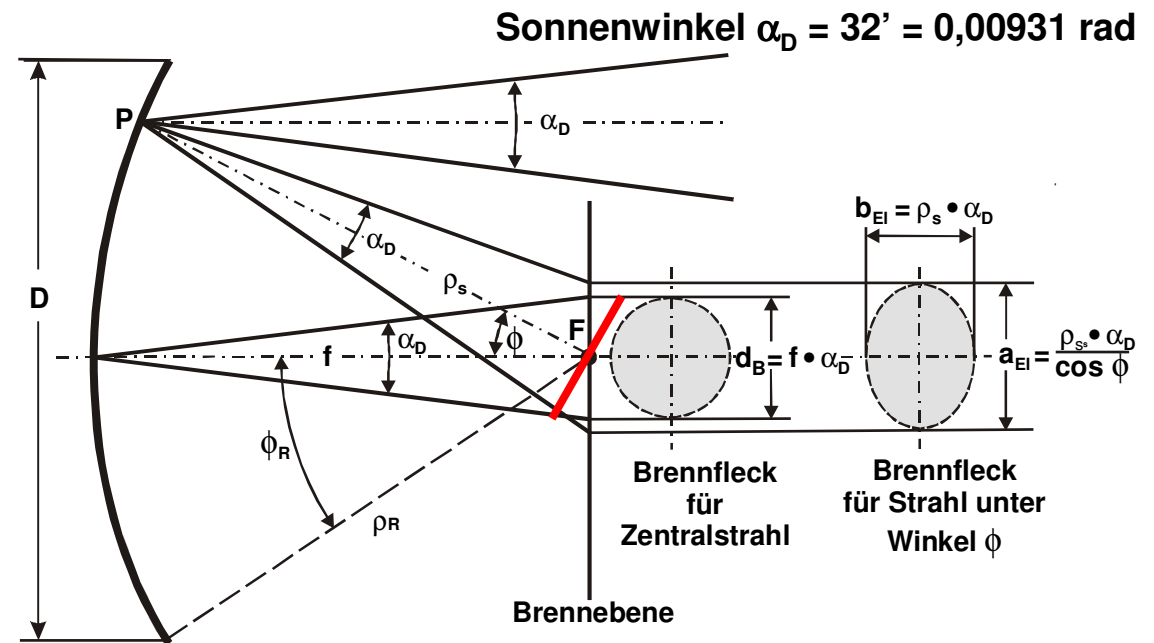
Aperturfläche des Konzentrators

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \pi \cdot (\rho_R \cdot \sin \phi_R)^2 = \pi \cdot \rho_R^2 \cdot \sin^2 \phi_R$$

Durchmesser des Brennflecks

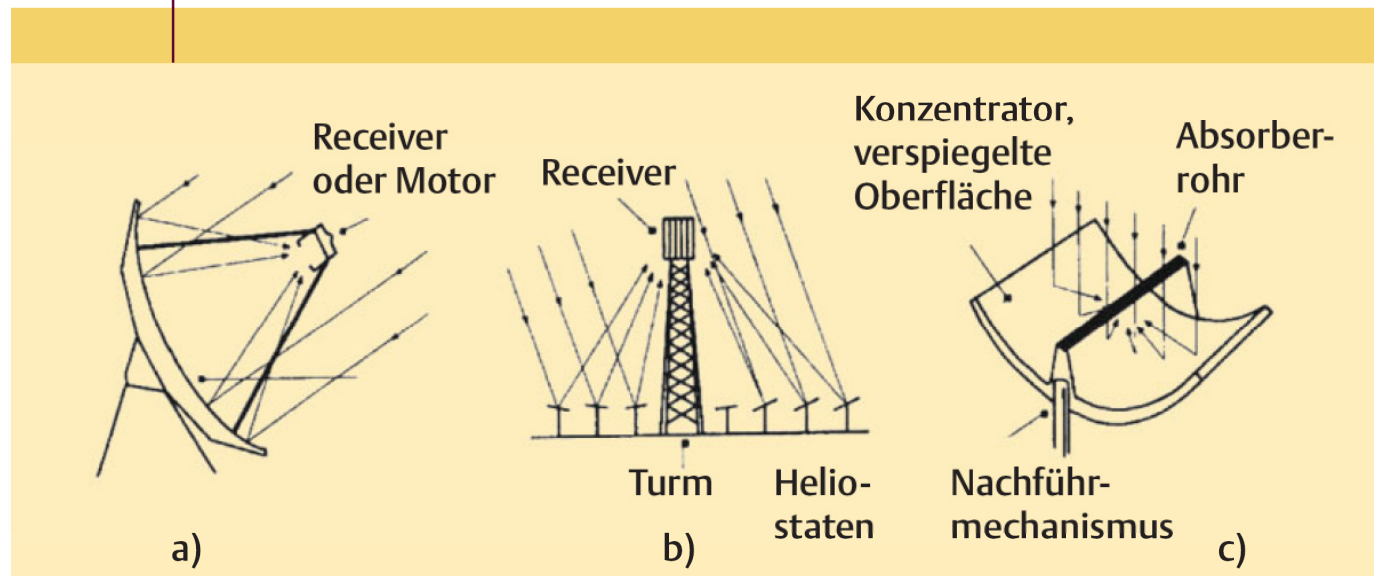
$$A_B = \frac{\pi}{4} \cdot b_{el}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_R^2 \cdot \alpha_D^2$$

Konzentration



$$k = \frac{A_p}{A_B} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \rho_R^2 \cdot \sin^2 \phi_R}{\pi \cdot \rho_R^2 \cdot \alpha_D^2} = \frac{4 \cdot \sin^2 \phi_R}{\alpha_D^2}; \quad k_{\max} = \frac{4}{\alpha_D^2} = \frac{4}{0,00931^2} = 46164$$

ABB. 1 | KONZENTRATION DES SONNENLICHTS



Drei mögliche Varianten zur Konzentration der solaren Strahlung: a) Dish-Konzentrator, b) Zentral-Receiver-System, c) Parabolrinne.

- in der technischen Realisierung:

dish: 5000...8000

Turm: 500...1000

Parabolrinne: 100

Entwicklungsreihen Kollektor

12.10

-Kollektordesign
von LUZ

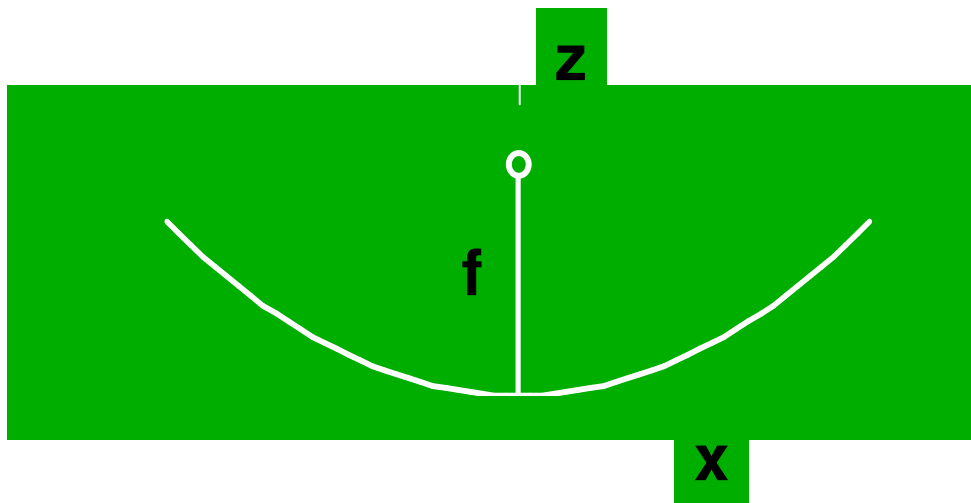
www.solel.com



	<u>LS-1</u>	<u>LS-2</u>	<u>LS-3</u>	<u>Eurotrough</u>
Aperturweite	2.5m	5m	5.76m	5.8m
Kollektorlänge	50 m	48 m	99 m	100-150 m
Stützenabstand	6 m	12 m	17.3 m	12 m
Refl. Fläche	128m ²	235m ²	545m ²	545m ²
Konzentration	61:1	71:1	82:1	82:1

SEGS

Parabolische Form

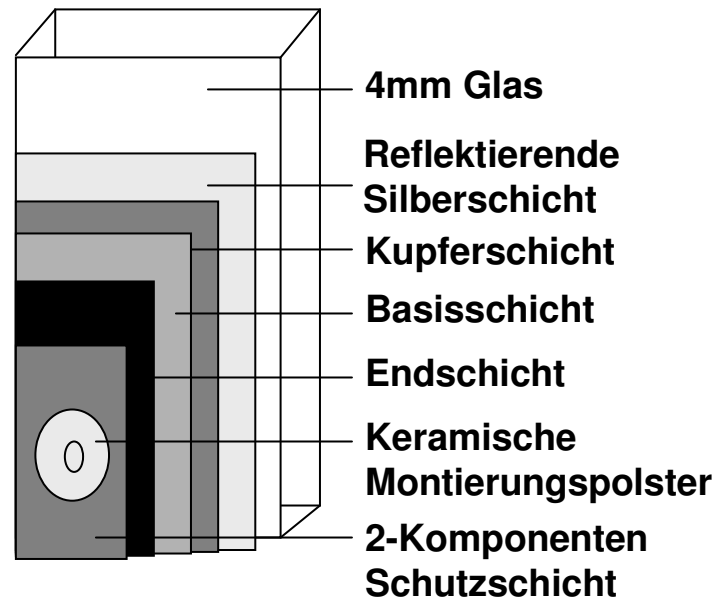


$$z = x^2 / 4f$$

f = 1.71 (Eurotrough)

- einachsige Nachführung des Reflektors

Aufbau Spiegel



Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.12

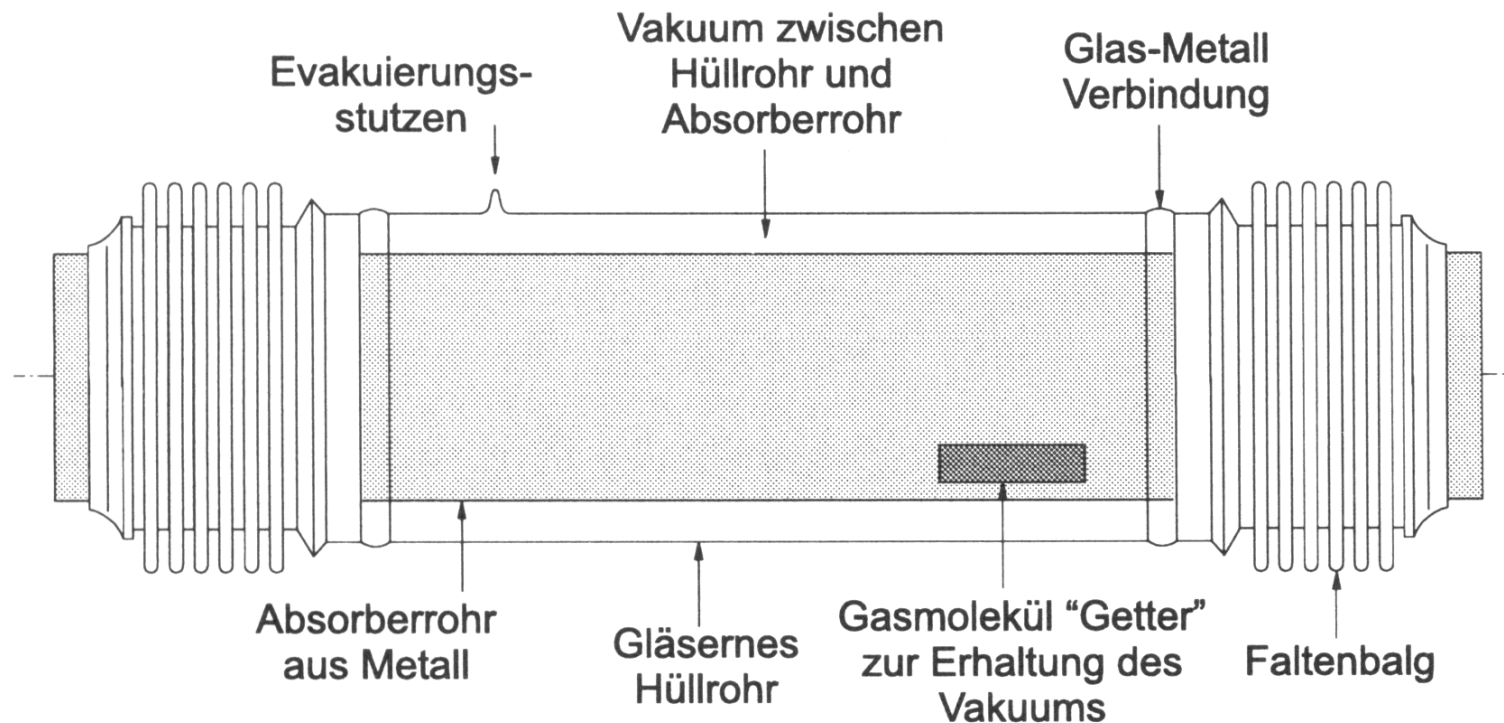
1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

Absorberrohr

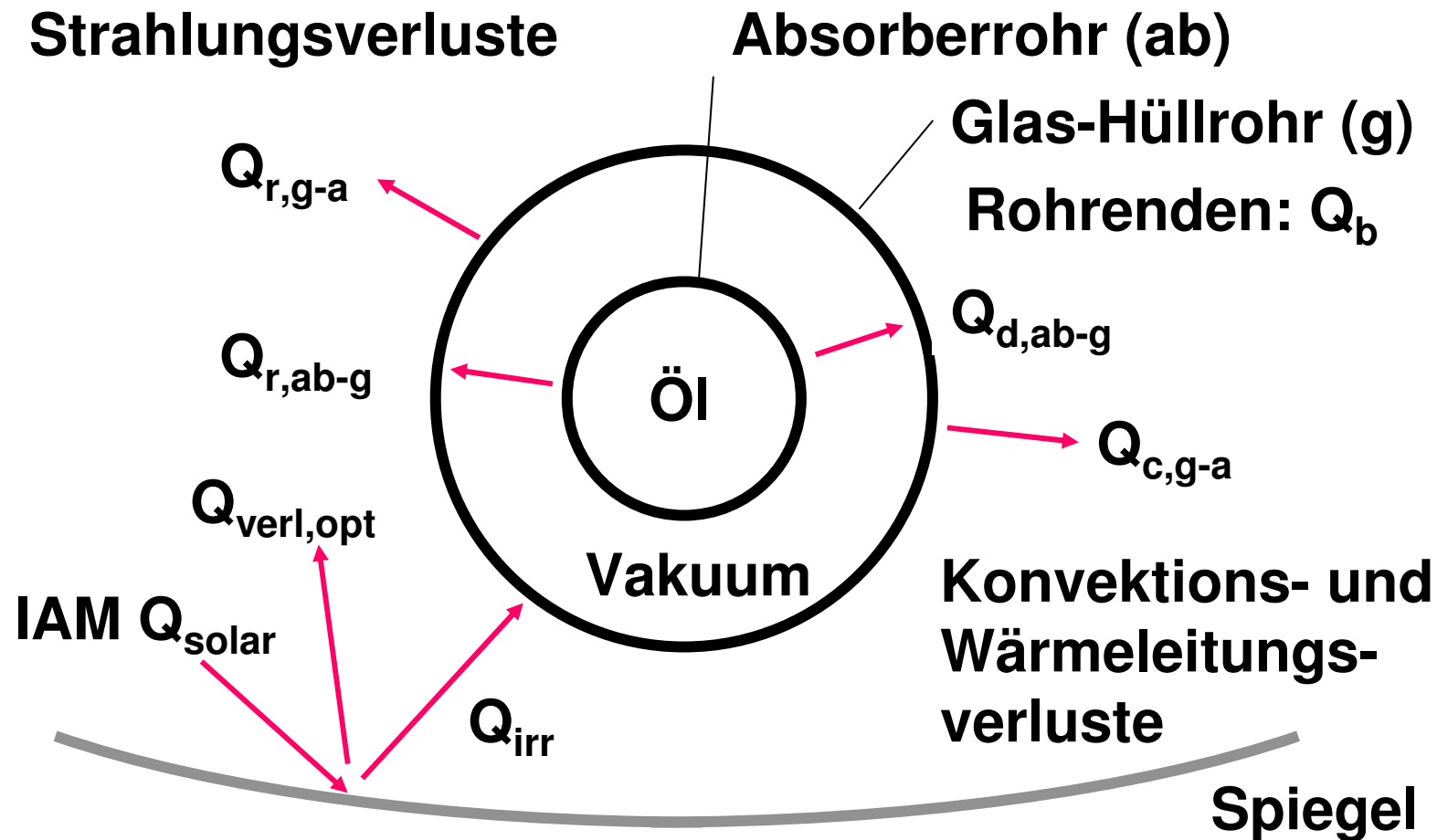
12.13



- selektive Beschichtung
- Vakuum zwischen Absorberrohr und äußerem Glasrohr

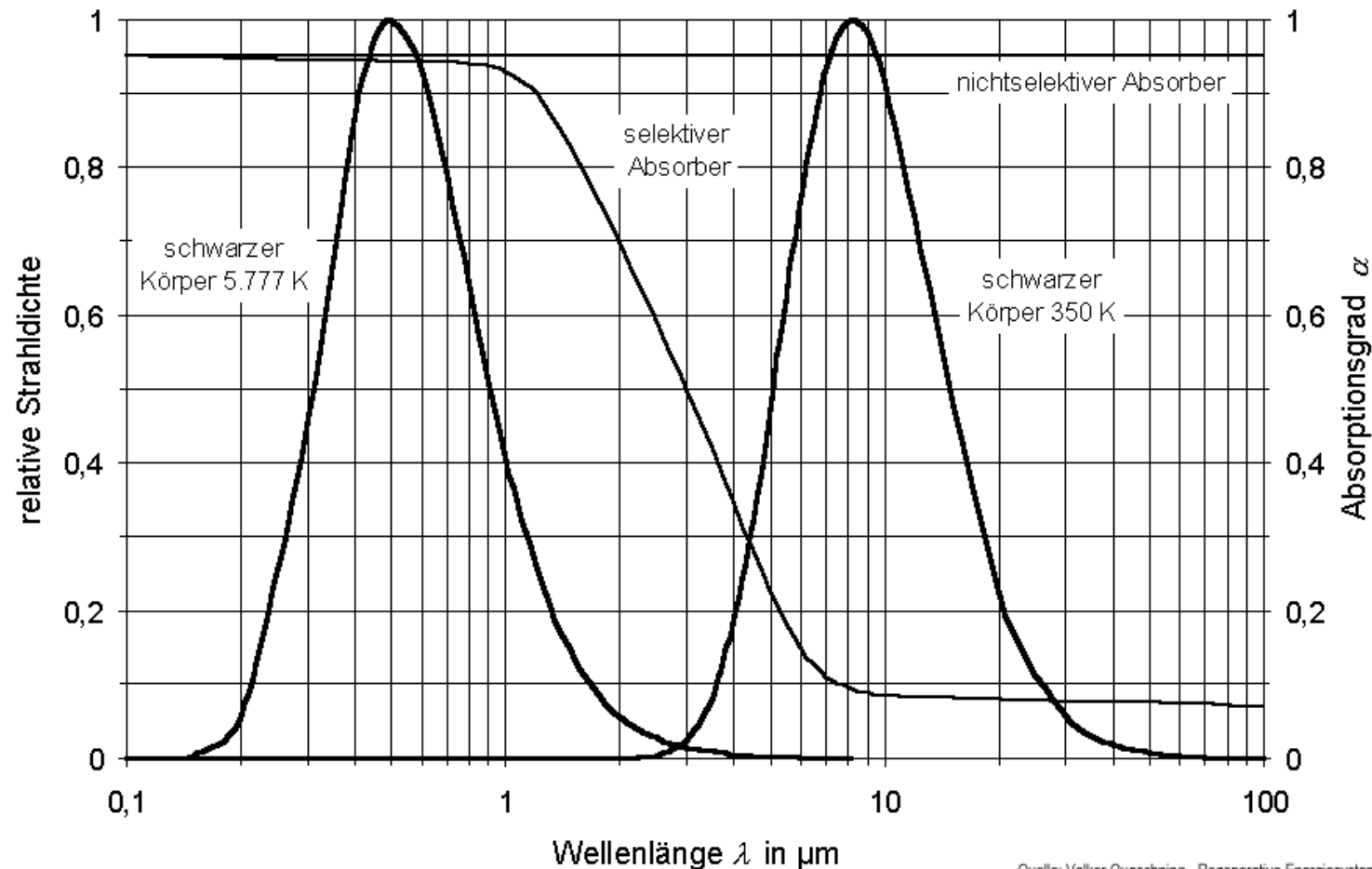
Thermische Verluste am Absorberrohr

12.14



$_r$: Strahlung; $_d$: Wärmeleitung; $_c$: Konvektion

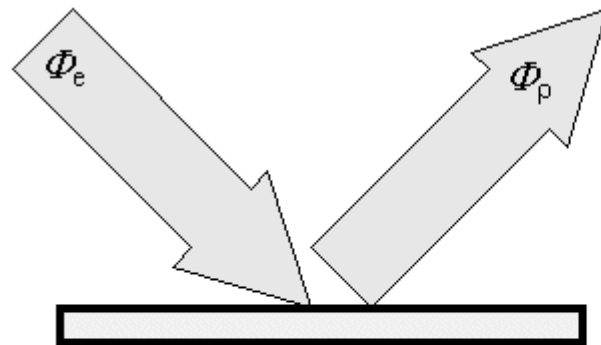
Emission und Absorption selektiver und nichtselektiver Absorber^{12,15}



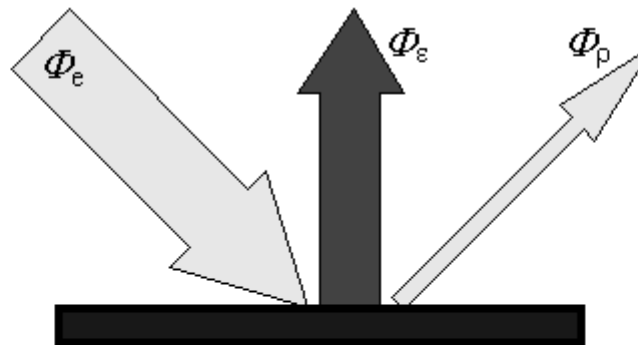
Hauptemission der Sonne – Schwarzer Körper der Temperatur von 5777 K - bei Wellenlängen $< 2 \mu\text{m}$. Absorptionsgrad sollte dort groß sein!

Hauptemission des Absorbers – Schwarzer Körper der Temperatur von 350 K – im Bereich von $3 - 30 \mu\text{m}$. Emissionsgrad = Absorptionsgrad dort möglichst klein!

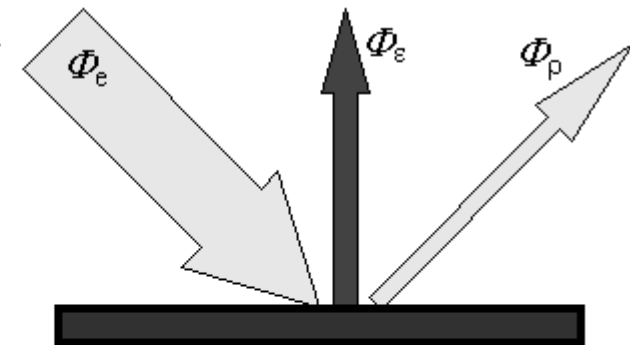
Selektive Absorberbeschichtung



Spiegelnde Oberflächen
reflektieren das Sonnenlicht



Schwarz lackierte Oberflächen
absorbieren die Sonnenstrahlung
und geben einen großen Teil als
Wärmestrahlung wieder ab.



Selektiv beschichtete Oberflächen
absorbieren die Sonnenstrahlung
und geben einen geringen Teil als
Wärmestrahlung wieder ab.

Quelle: Volker Quaschnig - Regenerative Energiesysteme

Material	sichtbar			infrarot		
	$\alpha = \varepsilon$	τ	ρ	$\alpha = \varepsilon$	τ	ρ
nicht selektiver Absorber	0,97	0	0,03	0,97	0	0,03
Schwarzchrom	0,87	0	0,13	0,09	0	0,91
Schwarznickel	0,88	0	0,12	0,07	0	0,93
TiNOX (TiN + TiO + TiO ₂)	0,95	0	0,05	0,05	0	0,95

Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.17

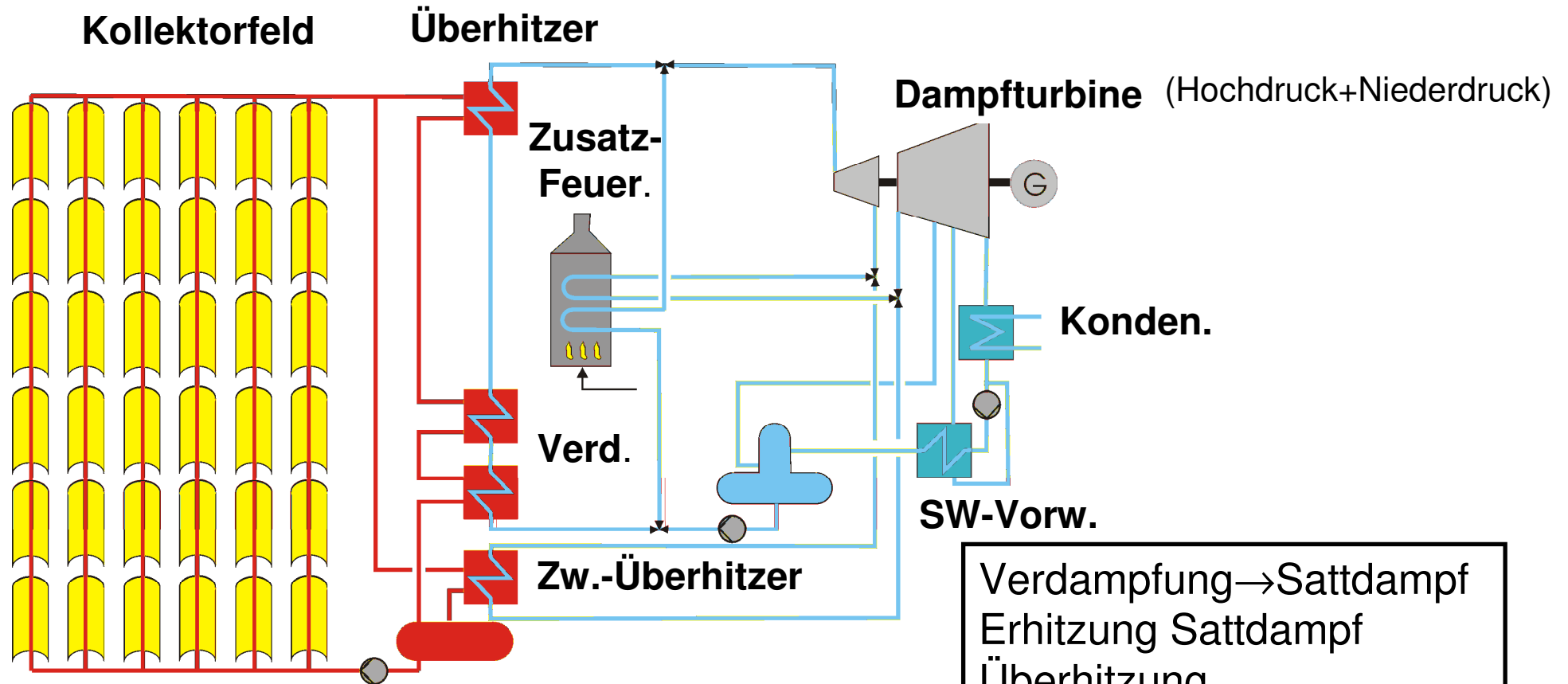
1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

Schema Parabolrinnenkraftwerk SEGS

12.18



- Thermoöl als Wärmeträgermedium
- Temperaturen bis ca. 400 °C

Modifizierter „Clausius-Rankine“-Prozess

Verdampfung → Sattdampf
Erhitzung Sattdampf
Überhitzung
Expansion in HD-Turbine
Zwischenüberhitzung
Expansion in ND-Turbine
Kondensation
Speisewasservorwärmung

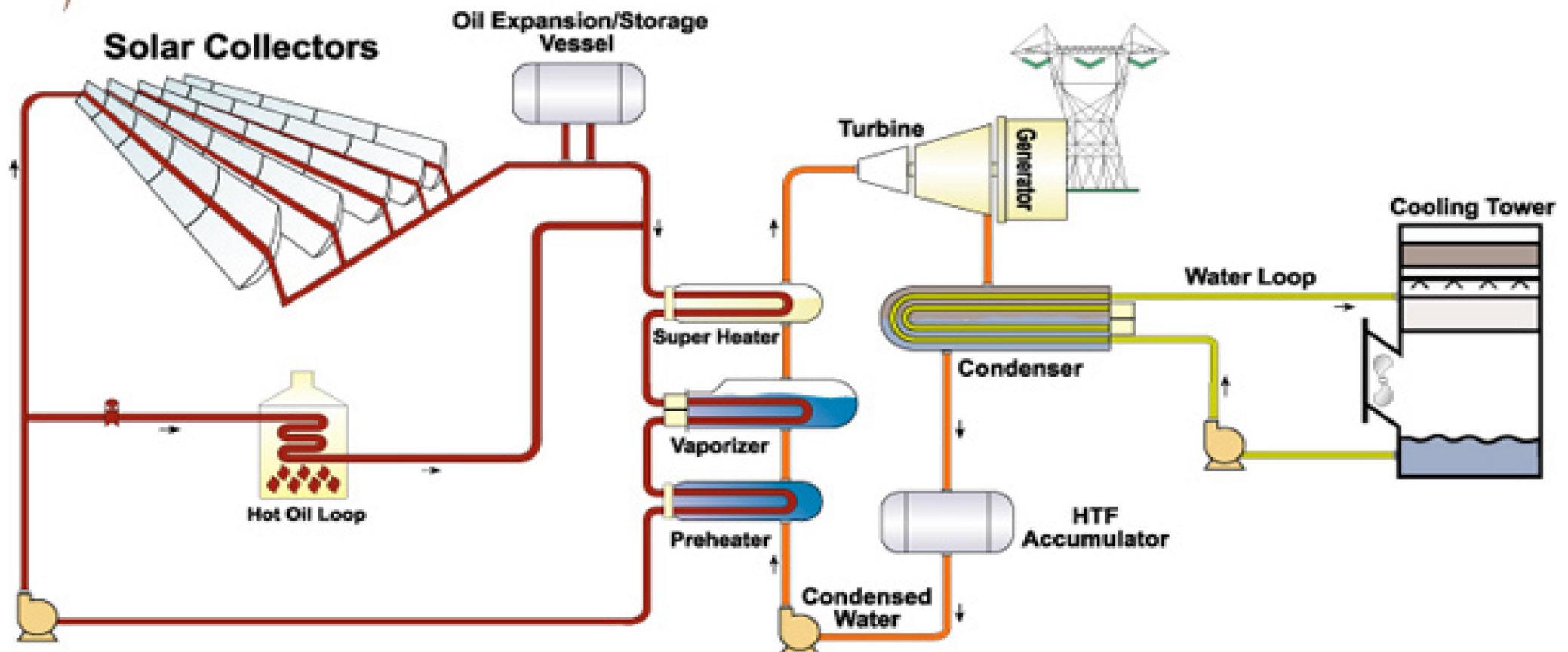
1. Central Solar Power Schematics



thermischer Gesamtwirkungsgrad: $< 50 \%$

Wirkungsgrad Stromerzeugung im Dampfkraftwerk: $< 45 \%$

solar-elektrischer Gesamtwirkungsgrad SEGS VIII: 14%



Zusammenfassung Parabolrinnenkraftwerke ^{18.20}

- 2 Mqm Parabolrinnenfelder
- 354 MW Kapazität installiert
- geringer Materialeinsatz: pro qm Aperturfläche
18 kg Stahl, 11 kg Glas
- 30-50 % weniger Landbedarf als bei Dish-/
Turmanlagen
- beste solare Wirtschaftlichkeit (10-15 €ct/kWh)
- gute Modularität
- Parabolspiegel und Absorberrohrfertigung in D



*Neue Entwicklungen: Bau eines 50 MW Kraftwerkes in Andalusien
 Bau eines 64 MW Kraftwerkes in Nevada*

Das Projekt Andasol

12.21

Projektentwicklung der weltgrößten solarthermischen Kraftwerke in Andalusien (Spanien)



Das Projekt Andasol

12.22

Auf einen Blick: Daten zu einem Andasol-Kraftwerk

<i>Elektrische Leistung</i>	<i>50 Megawatt (MW)</i>
<i>Investitionsvolumen</i>	<i>300 Millionen Euro</i>
<i>Brutto-Stromproduktion</i>	<i>~ 176 Gigawattstunden pro Jahr (GWh/Jahr)</i>
<i>Flächenbedarf</i>	<i>2 km²</i>
<i>Oberfläche der Solarkollektoren</i>	<i>512.000 m²</i>
<i>Thermische Speicher</i>	<i>28.500 Tonnen Salz, ausreichend für den Betrieb von 7,5 Volllaststunden</i>
<i>Solarenergie ...</i>	<i>... für bis zu 200.000 Menschen</i>
<i>Baubeginn, Bauzeit</i>	<i>Juni 2006; 24 Monate</i>
<i>Zahl der Arbeitskräfte in der Bauphase</i>	<i>bis zu 500</i>
<i>Zahl der Arbeitskräfte im Betrieb</i>	<i>~ 40</i>

Nevada Solar one

12.23

Nevada Solar One” parabolic trough power plant located in Boulder City, near Las Vegas, Nevada (USA). This 64 megawatt (MW) power plant is the first large solar thermal power plant to be built in 15 years and it will generate approximately 129 million kilowatt hours (kWh) of solar electricity annually. This will sufficiently cover the power requirements of 15,000 American households. “Nevada Solar One” takes up an area of 1.4 million square meters and is roughly the same size as 212 soccer fields. Acciona Solar Power Inc., a subsidiary of the Spanish Acciona group that is becoming increasingly active within the energy sector, has been responsible for building the plant and will operate it. Solar receivers from SCHOTT, the German technology group, are at the heart of “Nevada Solar One”.



Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.24

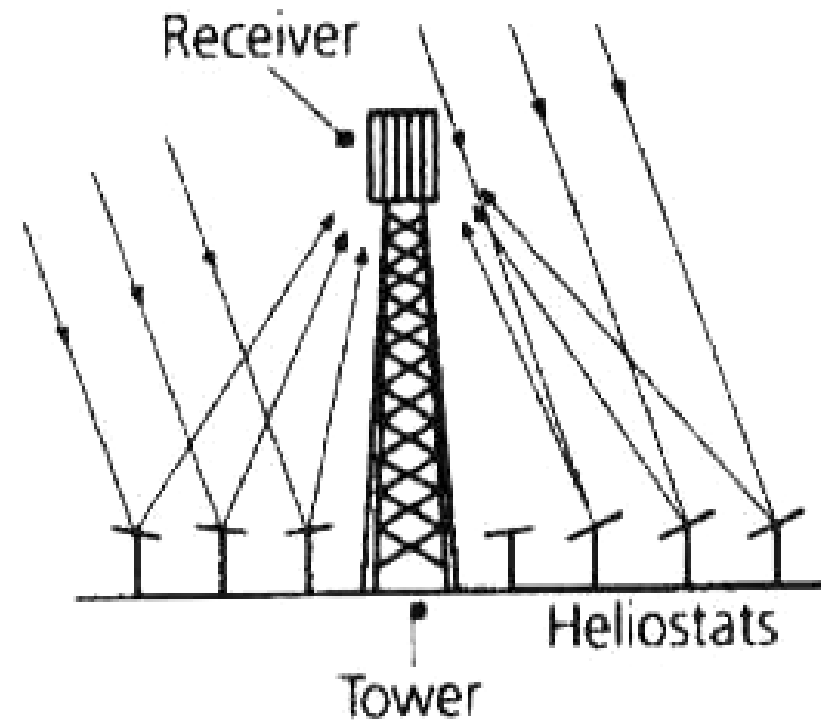
1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

Solare Turmkraftwerke

12.25



**Turmkraftwerk = Sonne + Heliostaten + Receiver
+(Speicher) + konventionelles Wärmekraftwerk**



Entwurf und Planung eines fortschrittlichen Groß-Heliostaten mit Drehstandnachführung und einzelner, mit Dünnglasspiegeln ausgestatteter 150 m² Metallmembran-Konzentrator zur Verwendung in einem Turm-Solarkraftwerk vom Phoebus-Typ.

Durchmesser 14 m
Spiegelfläche 150 m²

Temperatur ca. 1000 °C

Konzentration: einige 100 Mal bis 2000 Mal

Zweiachsig nachgeführt

Spitzenwirkungsgrade von 18-23%

Wärmeträger:

- ⇒ Dampf (Probleme mit schwankender Einstrahlung, Speicherung)
- ⇒ Salzschnelze (kostengünstig, gute Wärmeübertragungseigenschaften, Speicherung; Problem: Schmelzpunkt >100 °C, Korrosion)
- ⇒ Luft (Problem: schlechte Wärmeübertragung; aber kostengünstig, geeignet zum Antrieb von Dampf- oder Gasturbinen)

Solare Turmkraftwerke: Wärmeträgermedium^{12.26}?

- schwankende Einstrahlung führt zu schnell schwankenden Parametern bei Verwendung von Wasser als Medium
- Alternativen: Salzschnmelzen, Natrium, Luft, ...

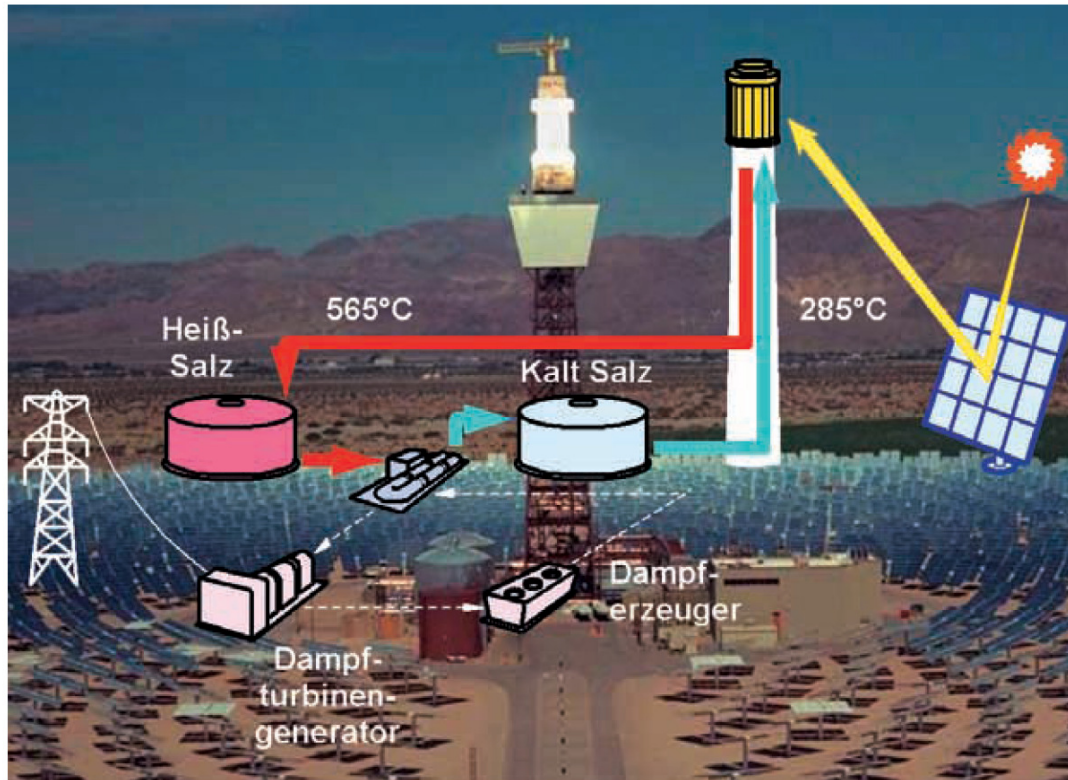
Projekt	Land	Elektr. Leistung in MW	Wärmeträger	Speichermedium	Inbetriebnahme
SSPS	Spanien	0,5	Flüssiges Natrium	Natrium	1981
EURELIOS	Italien	1	Dampf	Nitratsalz/Wasser	1981
SUNSHINE	Japan	1	Dampf	Nitratsalz/Wasser	1981
Solar One U.S.A.	USA	10	Dampf	Öl/Gestein	1982
CESA-1	Spanien	1	Dampf	Nitratsalz	1983
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

*Abbildung 1
Übersicht über die
bislang weltweit
betriebeenen Demon-
strationsprojekte von
Solarturmsystemen*

SSPS: Zerstörung des Kraftwerkes durch Natriumbrand

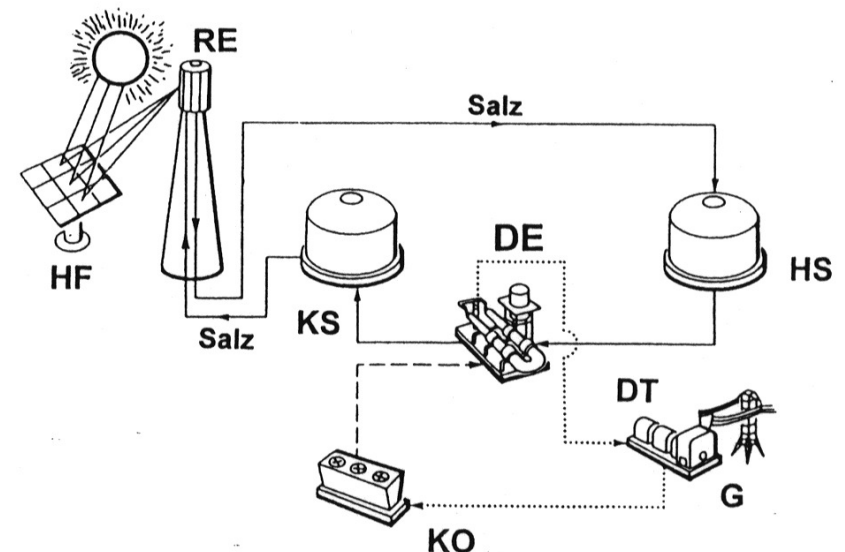
Salzturmkraftwerke

12.29



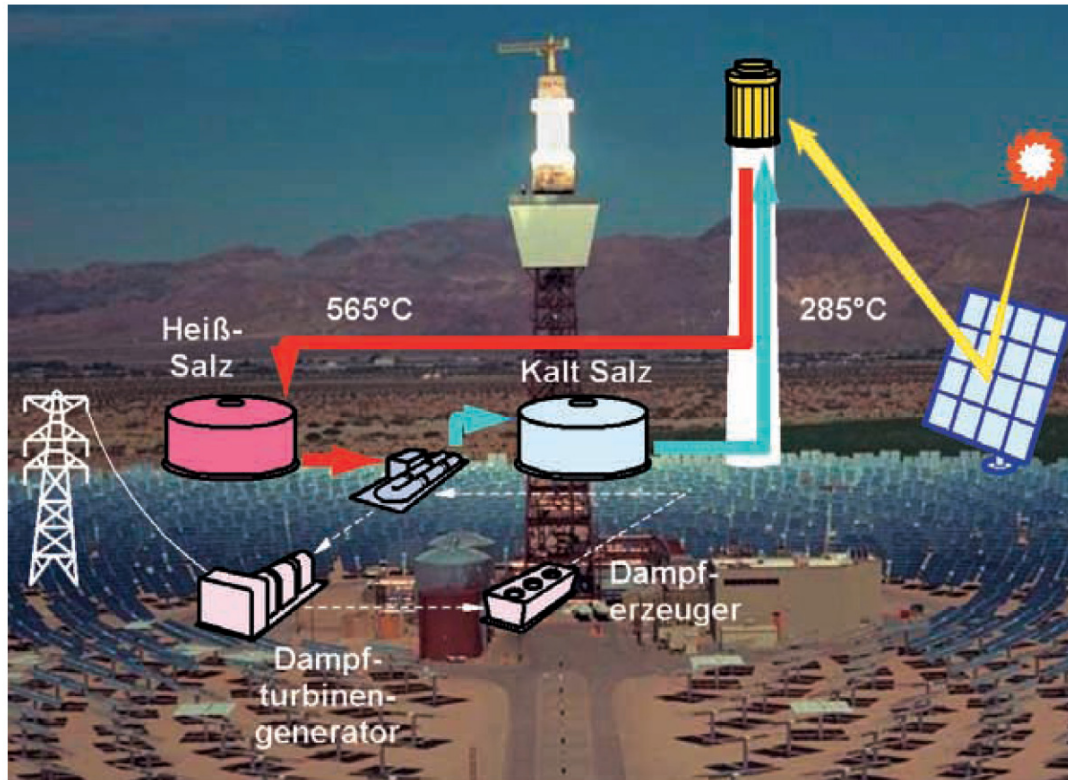
Schema des Salzturm-systems; Hintergrund Demonstrationskraftwerk Solar Two in Kalifornien (Quelle: Sandia National Laboratories)

- Salz wird von 285 °C auf 565 °C erhitzt
- Speicherung möglich
- Betrieb einer Dampfturbine
- Rückführung in Kaltsalztank



Salzturmkraftwerke

12.30

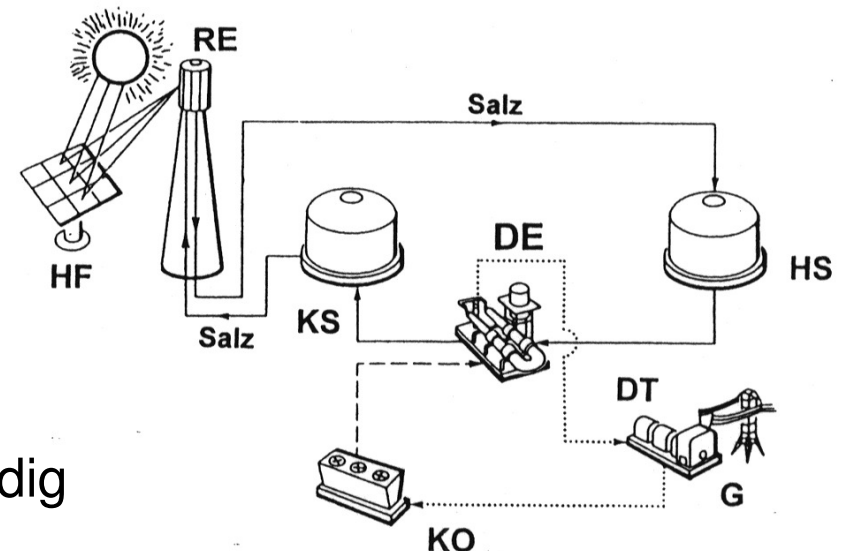


Schema des Salzturm-systems; Hintergrund Demonstrationskraft-werk Solar Two in Kali-fornien (Quelle: Sandia National Laboratories)

Nachteile/Probleme:

- hohe Schmelzpunkt,
- elektrische Beheizung notwendig
- Korrosion

- Salz wird von 285 °C auf 565 °C erhitzt
- Speicherung möglich
- Betrieb einer Dampfturbine
- Rückführung in Kaltsalztank



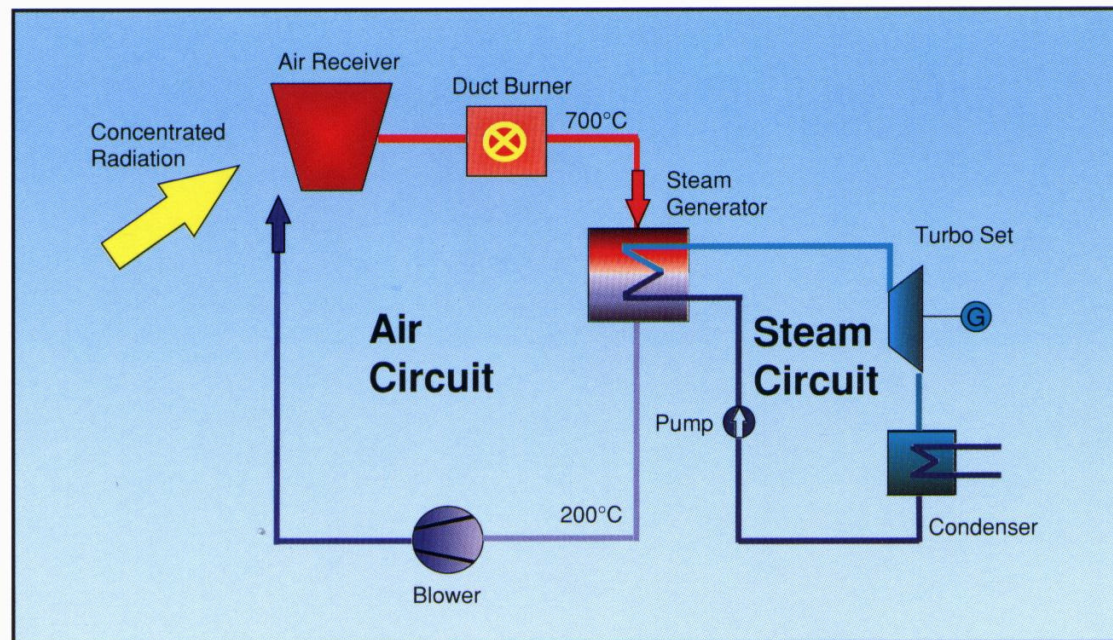
Luft als Wärmemedium

12.31

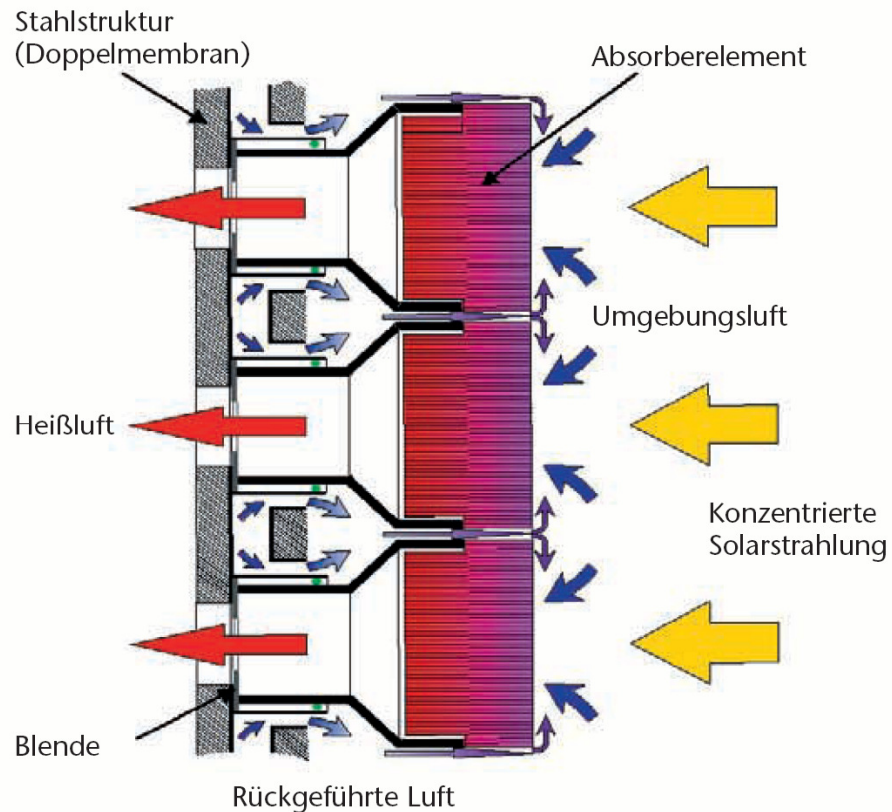
Vorteile: einfache Handhabbarkeit
hohe Temperaturen (hohe Wirkungsgrade)
keine Temperaturbeschränkungen

Nachteile: schlechte Wärmeübertragung

Bsp:
Phoebus-Konzept

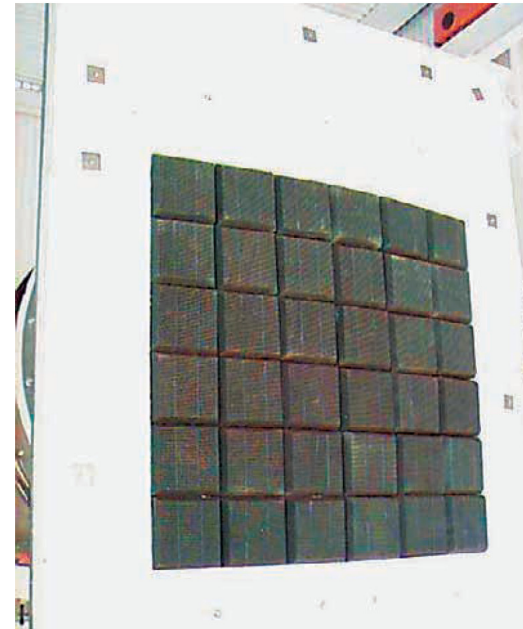


Atmosphärischer Luftreceiver „volumetrischer Receiver“



„HITREC“-Luftreceiver

Absorbermaterialien:
Drahtgeflechte, keramische Schäume,
keramische/metallische Wabenstrukturen



Receiver SOLAIR 200

Erhöhte Wirkungsgrade durch:

GuD-Prozeß

dazu erforderlich:

Hohe Temperaturen

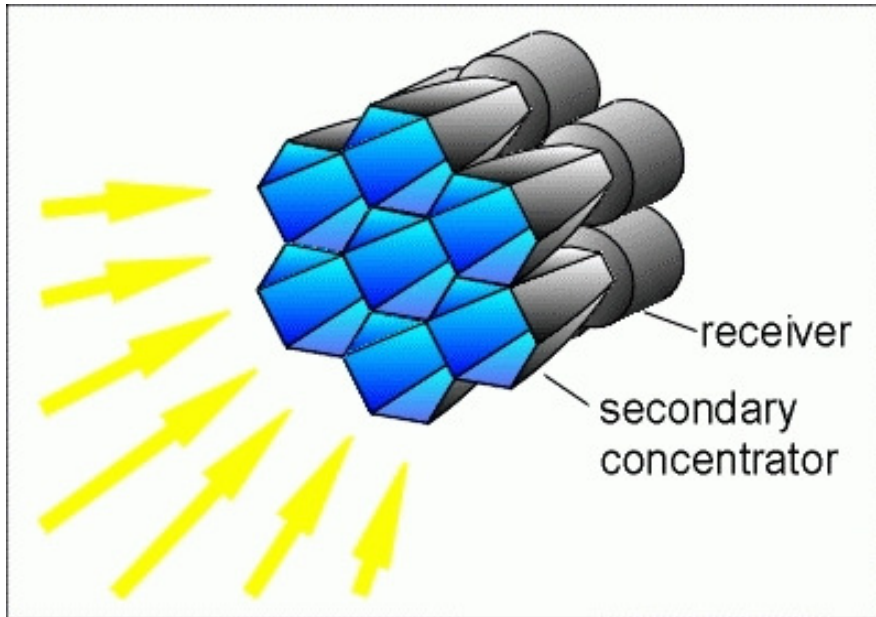
erzeugbar durch:

Hohe Konzentration

ausserdem erforderlich:

Druckreceiver

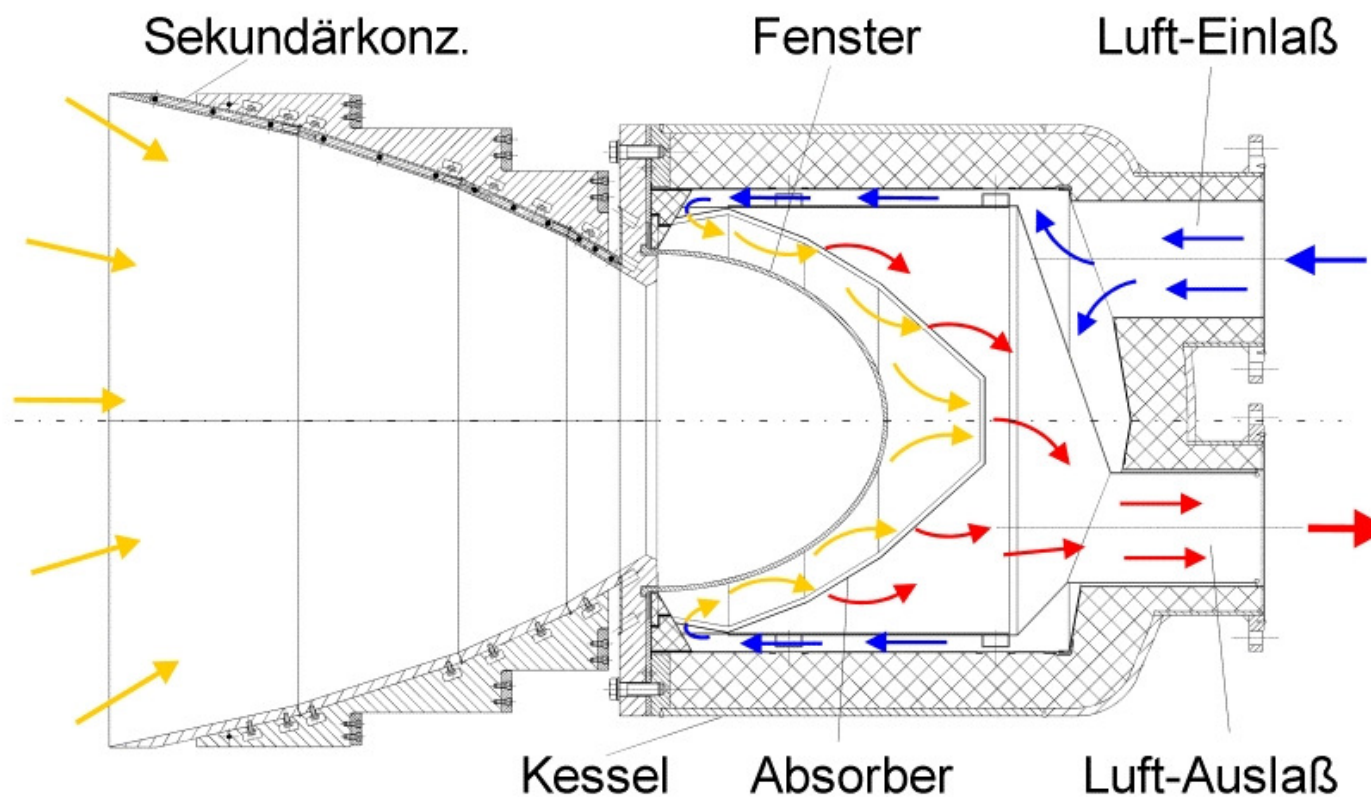
Hohe Konzentration durch Sekundärkonzentratoren^{12.34}



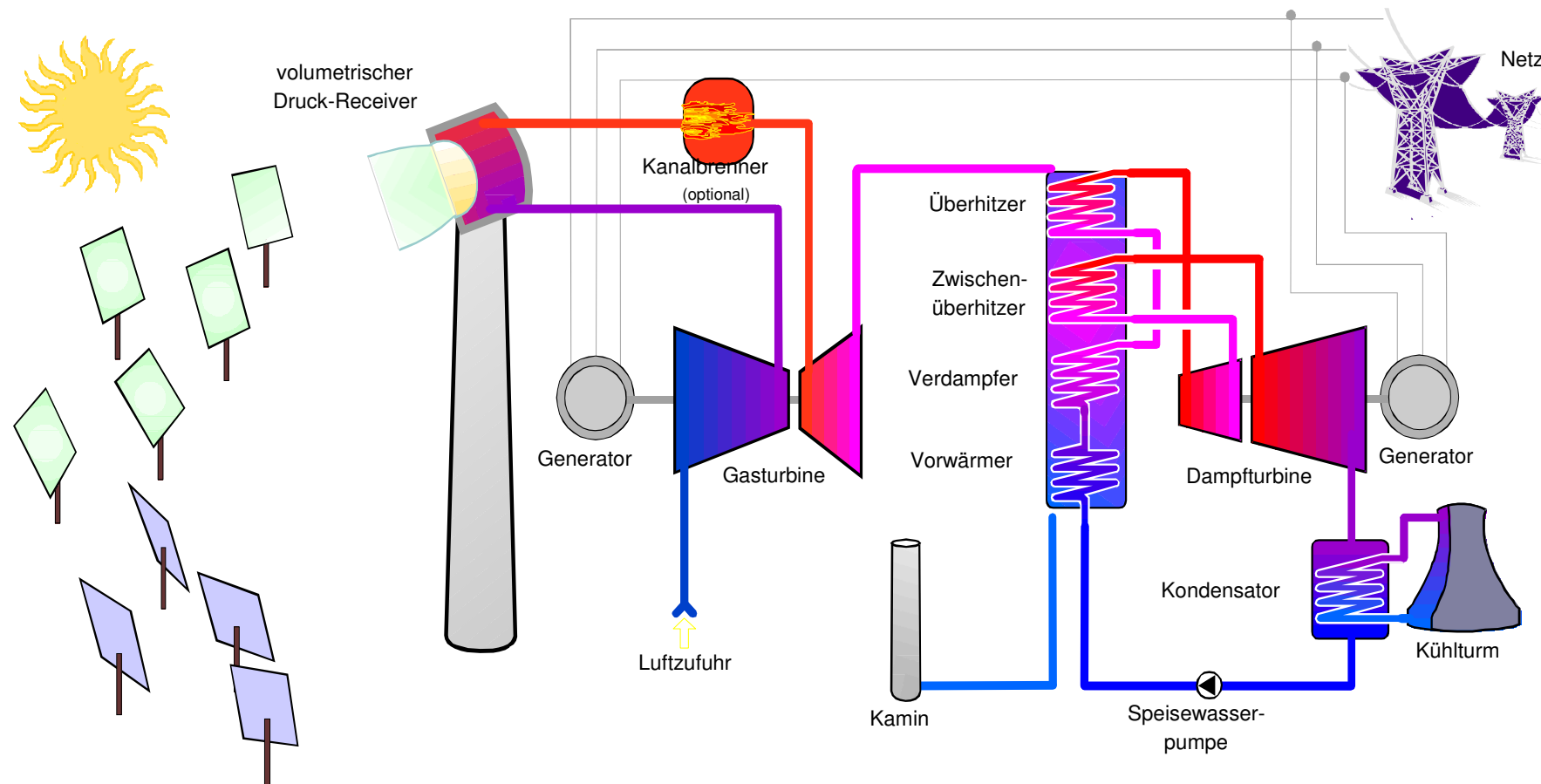
- Reduktion des Brennflecks auf einen einzelnen Receiver
- wirtschaftlicher, höhere Temperaturen möglich

Druckreceiver mit volumetrischem Absorber

12.35



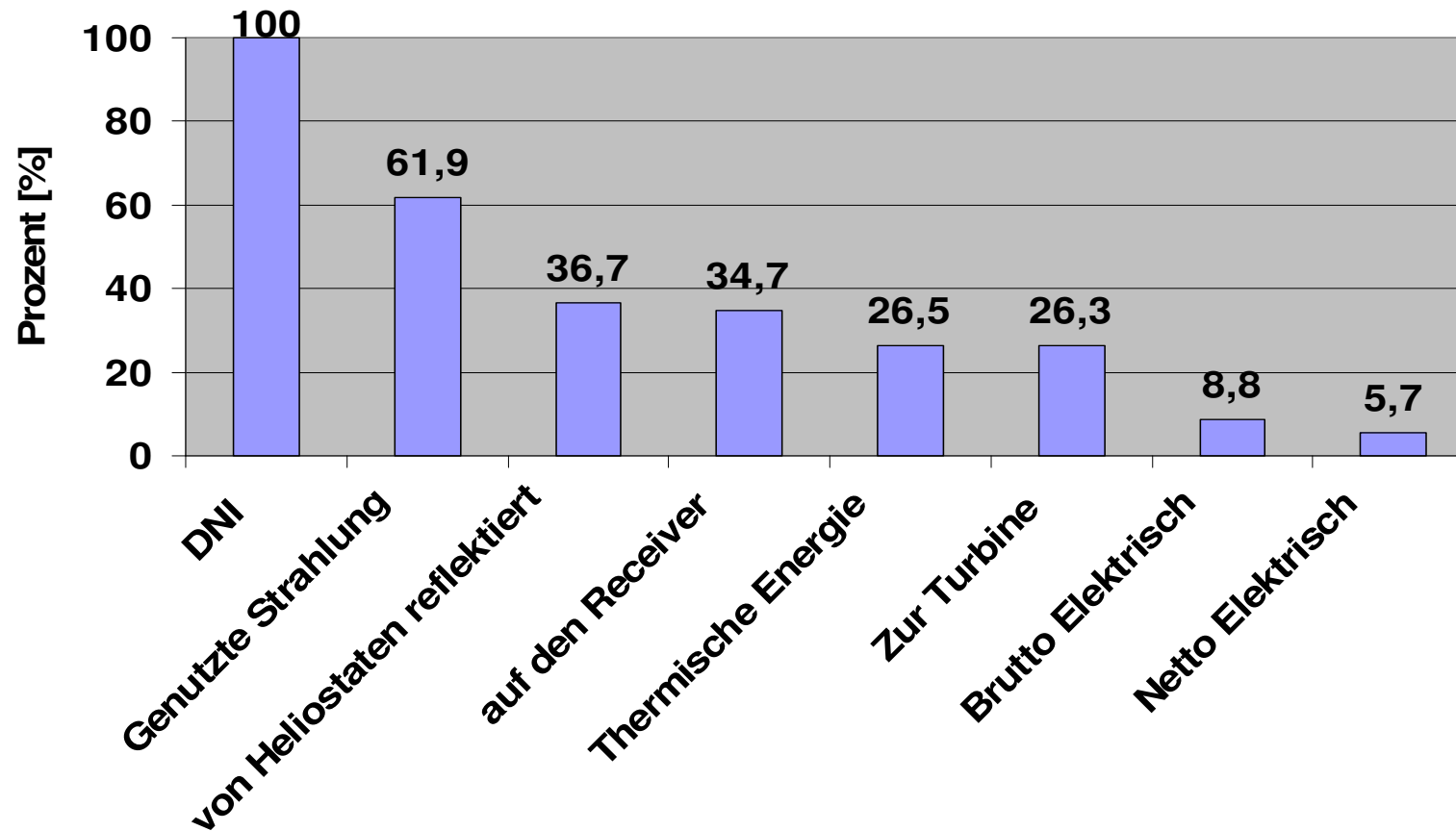
Prinzip



- Steigerung des Gesamtwirkungsgrades durch zweistufigen Prozess
- Betrieb einer Gasturbine bei hohen Temperaturen
- nachgeschaltetes konventionelles Dampfkraftwerk

Wirkungsgradkette: Bsp. Solar One

12.37



Bisher relativ langsame Entwicklung;

Gründe:

- große Projekte mit hohen Investitionskosten -> finanzielles Risiko
- Erfordert internationale (politische) Kontakte
- wenig verlässliche Informationen zu solaren Energieressourcen, Flächenressourcen und Ausbaupotenzialen
- Lohnt sich (noch) nicht

Einspeisevergütung für solarthermisch erzeugten Strom, Spanien 2002

Nutzungsmöglichkeiten: Umstellung der Stromerzeugung im Sonnengürtel; Stromverbund zwischen Nordafrika und Europa

- noch keine kommerzielle Reife
- konkurrierende Techniken Salzturm/Luftreceiver
- Ziel GuD-Kombikraftwerke mit Hochtemperaturwärme 1100 °C
- potentiell geringere Stromgestehungskosten durch höhere Wirkungsgrade



In March 2007, Europe's first commercial concentrating solar power tower plant was opened near the sunny southern Spanish city of Seville. The 11 MW plant, known as the PS10 solar power tower, produces electricity with 624 large heliostats. Each of these mirrors has a surface measuring 120 square meters (1,290 square feet) that concentrates the Sun's rays to the top of a 115 meter (377 foot) high tower where a solar receiver and a steam turbine are located.

Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.40

1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

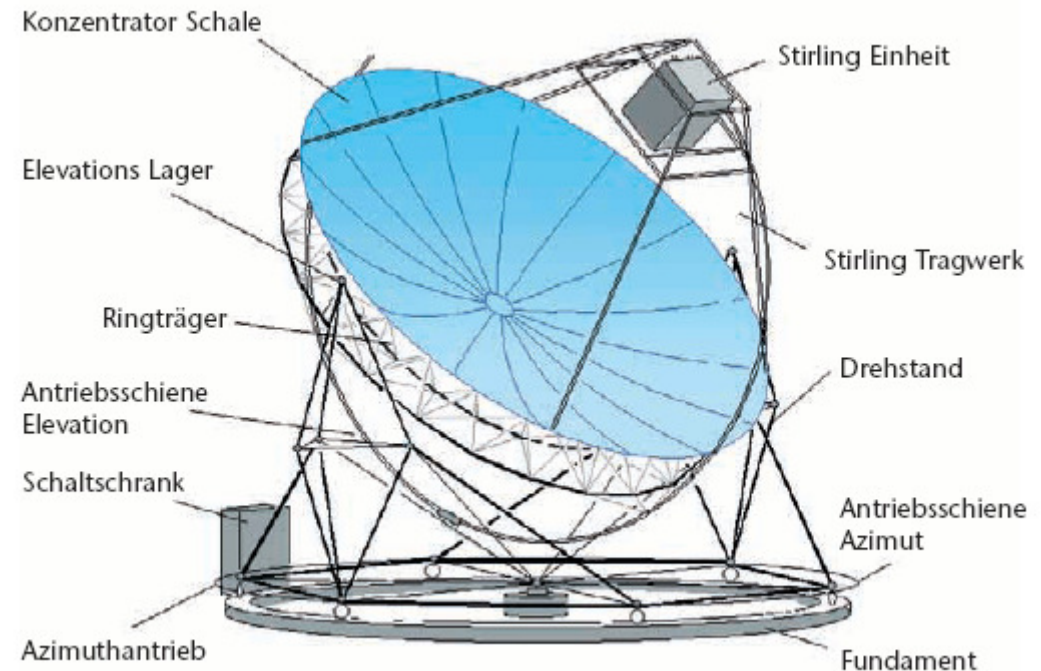
10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

Dish-Stirling-Systeme

12.41

- typische elektrische Leistung zwischen 5 und 50 kW
- geeignet zur dezentralen solaren Stromerzeugung



- gute Konzentration durch parabolischen Reflektor
- zweiachsige Nachführung

Stirling - Kreisprozess

Funktionsprinzip^{12.42} Stirling-Motor

Bild 1:

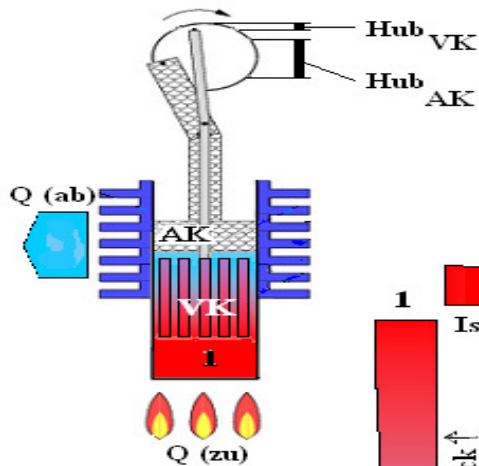


Bild 2:

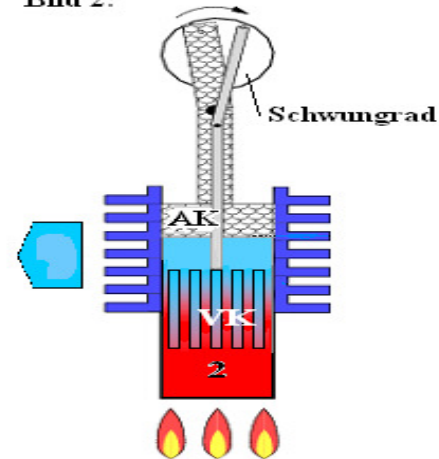


Bild 4:

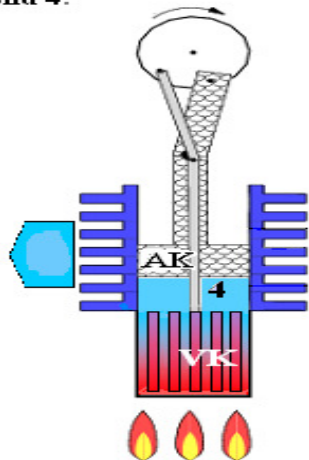
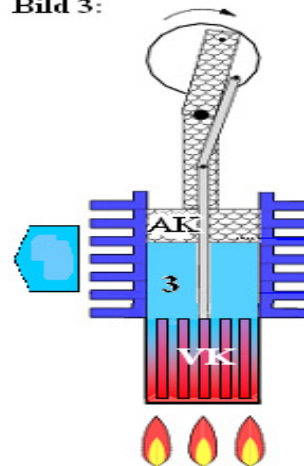


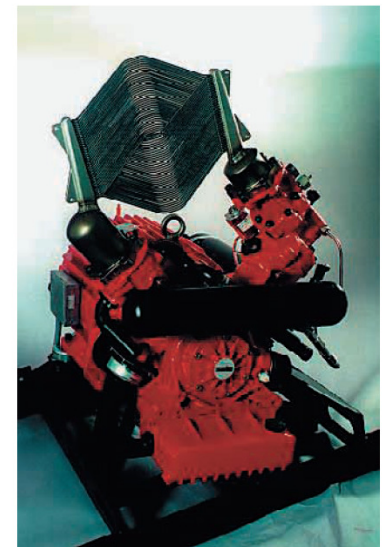
Bild 3:



AK Arbeitskolben
VK Verdrängerkolben
(Regenerator)
T_u untere Prozesstemperatur
T_o obere Prozesstemperatur

Q (zu) Wärmezufuhr von außen
Q (ab) Wärmeabfuhr/Kühlwärme
1, 2, 3, 4 Aufenthaltsort eines
Gasteilchens entsprechend
den Eckpunkten im p-V- und
T-s-Diagramm

Stirling V161
Fa. Solo



p=150 bar (He)
650 °C
1500 U/min
9-10 kW

Aufbau der Dish-Systeme

12.43

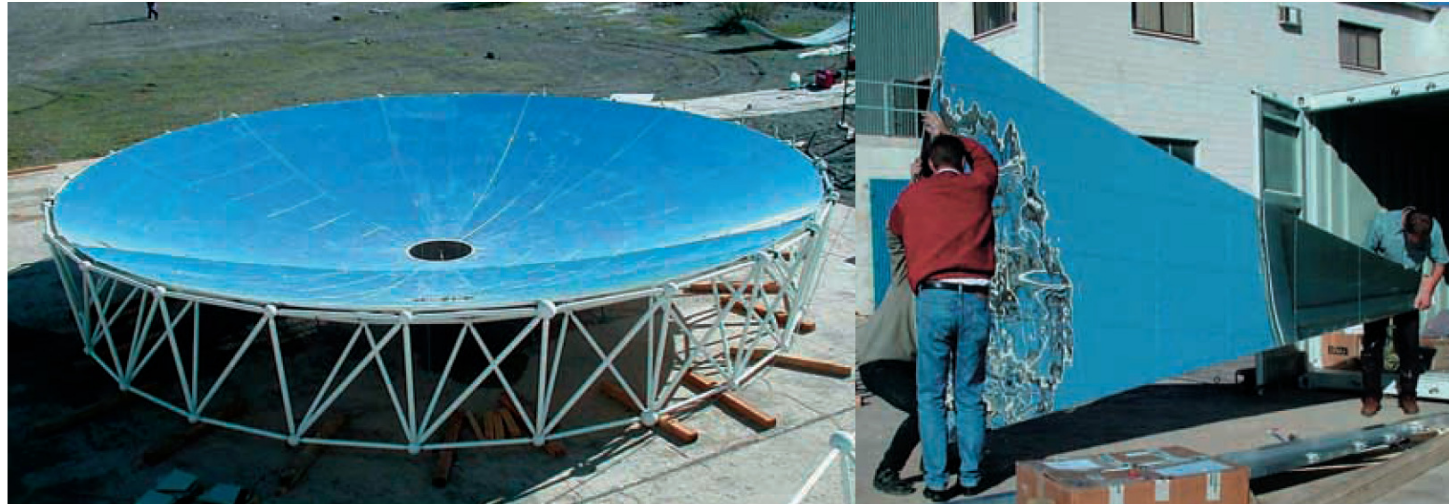
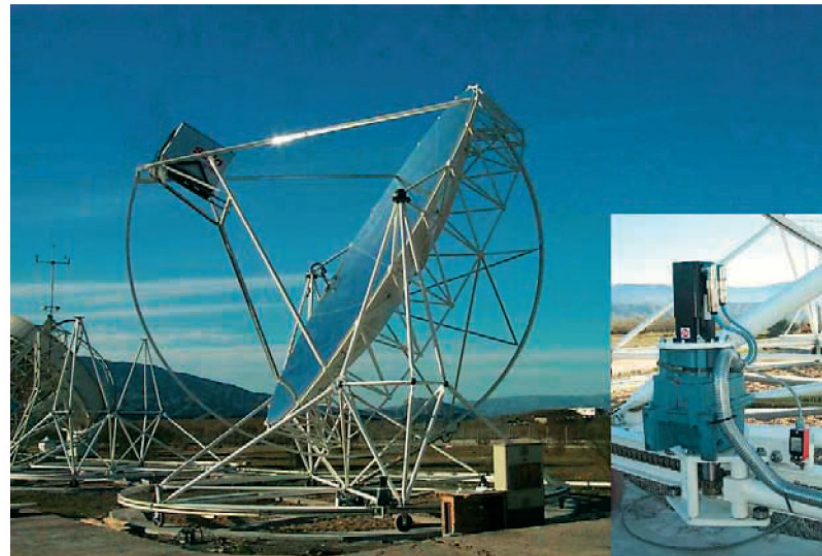


Abbildung 4
Konzentratorschale
und Segmenthandling

Abbildung 5
Drehstand und
Antriebseinheit mit
Servomotor und
Getriebe



Probleme:

- kostengünstige Fertigung
- zu hohe Montagekosten

Übersicht über die Vorlesung Solarenergie

12.44

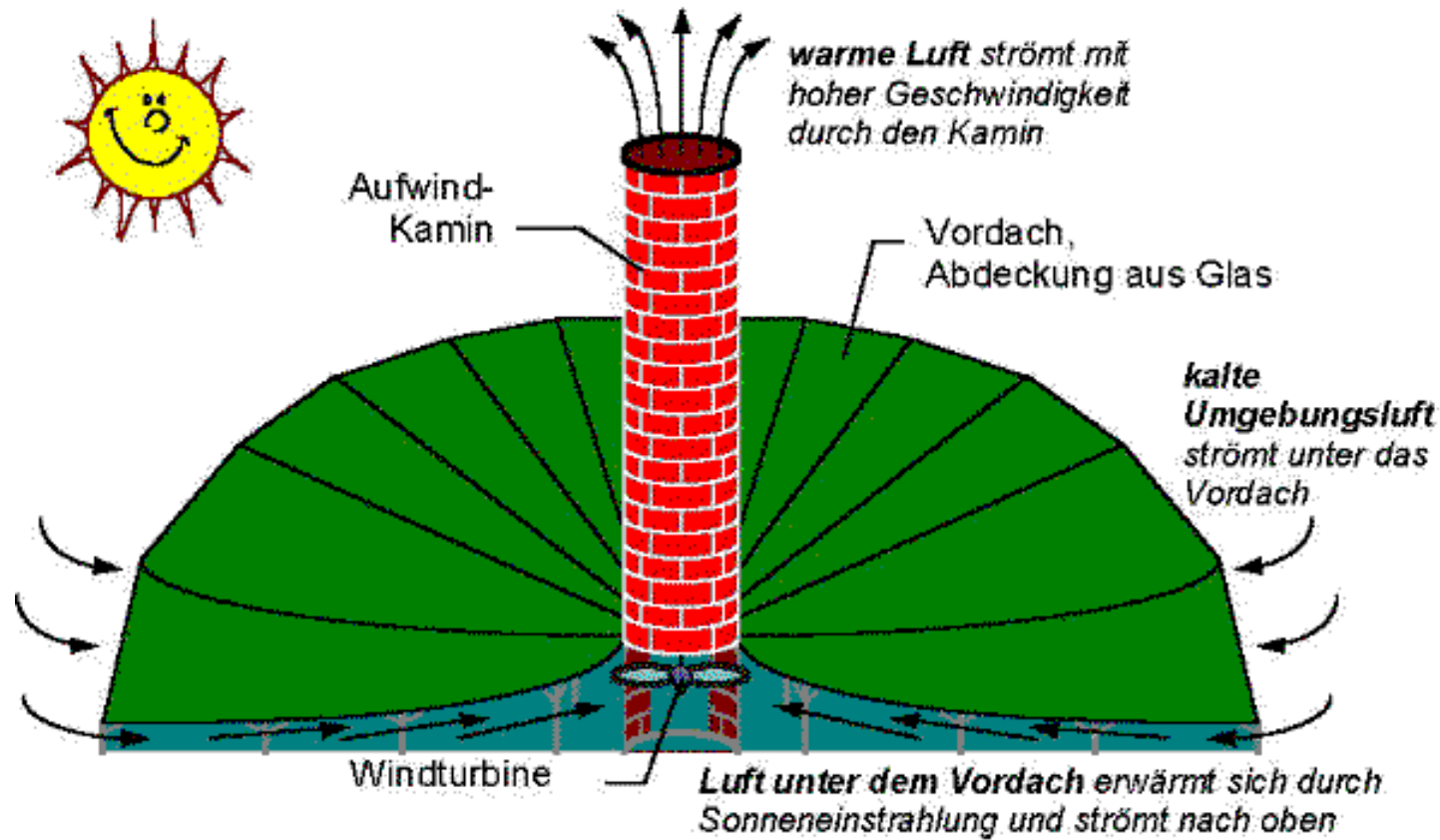
1. Einleitung
2. Die Sonne als Energiequelle
3. Halbleiterphysikalische Grundlagen
4. Kristalline pn-Solarzellen
5. Elektrische Eigenschaften
6. Optimierung von Si-Solarzellen
7. Anorganische Dünnschichtsolarzellen
8. Third Generation Photovoltaics
9. PV-Systemtechnik
 - 9.1 Kennlinienfelder
 - 9.2 Erweiterung des Ersatzschaltbildes
 - 9.3 Solarmodule
 - 9.4 Photovoltaische Anwendungen
 - 9.4 Spannungsanpassung (fortgesetzt)
 - 9.5 MPP-Tracking
 - 9.6 Speicherung
 - 9.7 Wechselrichter
 - 9.8 PV-Kraftwerke

10. Solarthermische Kraftwerke

- 10.1 Einleitung
- 10.2 Konzentration solarer Strahlung
- 10.3 Absorberrohre
- 10.4 Parabolrinnenkraftwerke
- 10.5 Solare Turmkraftwerke
- 10.6 Dish-Stirling-Systeme
- 10.7 Aufwindkraftwerke

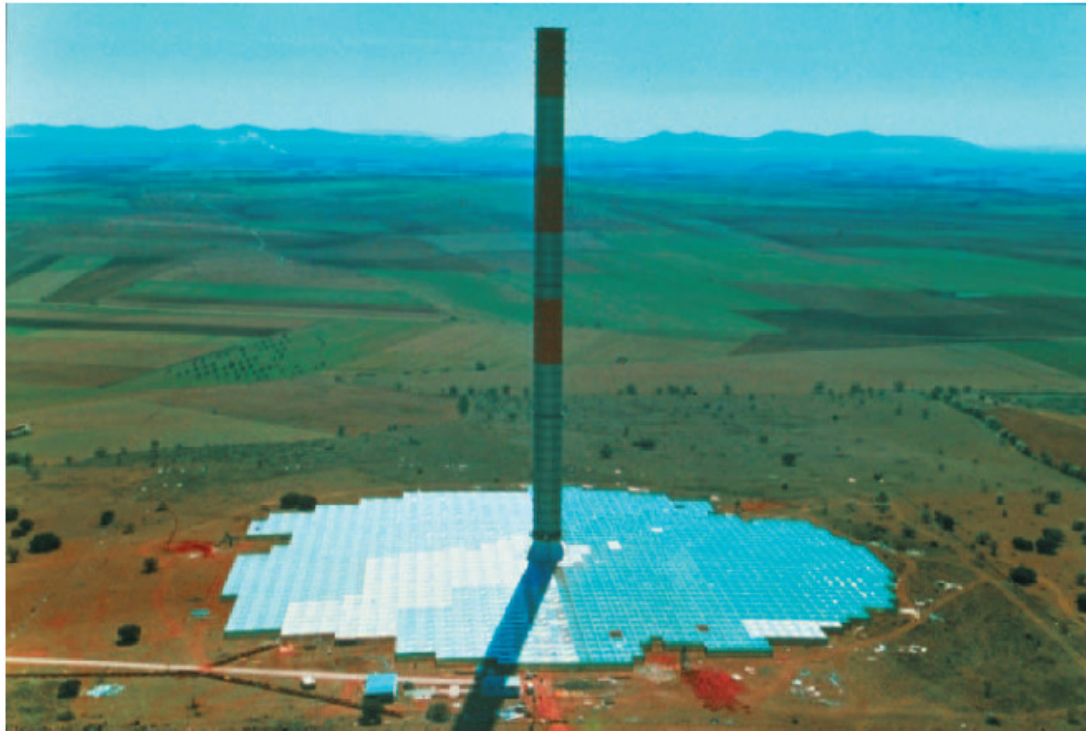
Aufwindkraftwerk

12.45



Aufwindkraftwerk

12.46



*Abbildung 3
Prototyp für ein
Aufwindkraftwerk in
Manzanares Spanien*

- bisher ein Versuchskraftwerk mit 100 kW
- 250 m Durchmesser , 2 m Kamindurchmesser, 200 m Höhe
- Windgeschwindigkeiten 9 -15 m/s
- geringer Wirkungsgrad (0.2 %)
- geringe Investitionen
- 1988 nach Kamineinsturz demontiert

Das Aufwind-Kraftwerk benötigt kein Kühlwasser und ist deshalb für den Einsatz in extremen Trockenregionen prädestiniert.

Das Aufwind-Kraftwerk kann auch die diffusen Anteile der Sonnenstrahlung nutzen und funktioniert daher auch bei Bewölkung.

Das Aufwind-Kraftwerk ist besonders zuverlässig und wenig störanfällig.

Wegen der Einfachheit seiner Komponenten kann das Aufwind-Kraftwerk auch in industriell wenig entwickelten Ländern gebaut werden. Die für den Bau von Aufwind-Kraftwerken notwendigen Materialien Beton, Glas und Stahl sind überall in ausreichenden Mengen vorhanden.

Durch den Einbau einfacher thermischer Speicher kann das Aufwind-Kraftwerk als Grundlastkraftwerk rund um die Uhr Strom produzieren.

Aufwindkraftwerk

12.48



Leistung 200 MW

Durchmesser ca. 6.000 m bis 7.000 m

Höhe 1.000 m

Grundfläche max. rund 38 km²

200 MW Aufwindkraftwerk (in Planung ??)

Ort Mildura, Australien

Bauart Aufwindkraftwerk mit Stahlbetonturmröhre und Stahl/Glas-Luftsolarkollektor (alternativ mit Kunststoffeindeckung)

Bauherr Enviromission

Schlaich, Bergermann und Partner (www.sbp.de)

Tabelle 7.10
Solarthermische Kraftwerke im Vergleich

Solar-Kraftwerks(KW)-Typ	Solarwärme	Umwandlungs- Wirkungsgrad		Spiegel-Flächen (30° geogr. Breite)	heutige Kosten			künftige Kosten (Serien-Fertig.)		
					Kollektor	Investition	Stromgestehung	Kollektor	Investition	Stromgestehung
	[°C]	$\frac{\text{Wärme}}{\text{Licht}}$	$\frac{\text{Strom}}{\text{Licht}}$		$\left[\frac{\text{DM}}{\text{m}^2} \right]$	$\left[\frac{\text{DM}}{\text{kW}_{el}} \right]$	$\left[\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \right]$	$\left[\frac{\text{DM}}{\text{m}^2} \right]$	$\left[\frac{\text{DM}}{\text{kW}_{el}} \right]$	$\left[\frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \right]$
2-dim. Trog	400	0.6	0.2	1 km ² 200 MW _{peak} 7 bis 10 h/Tag 3 h/Tag über WSP	700	6 200	0.35	500	5 000	0.20
3-dim. Heliostat (Turm-KW)	800	0.7	0.35	0.5 km ² 200 MW _{peak} sonst wie Trog	350	9 000	0.50	150		
				1.7 km ² 200 MW _{peak} , WSP 24 h/Tag	(350)		(150)	4 700	0.14	
3-dim. Parabol- Schüssel („Dish“)	650	0.6	0.2	ca. 50 m ² 10 kW _{el} 8 m ø 7-10 h/Tag o. WSP (Einzel-Schüssel-Anl.)	600	13 000	1	230	3 800	0.26
Aufwind-KW	ca. 40	–	0.01	20 km ² 200 MW _{peak} o. WSP ca. 12 h/Tag	–	4 000?	0.15?			
				40 km ² 200 MW _{peak} m. WSP 24 h/Tag	–	?	?			

KW = Kraft-Werk
WSP = Wärme-Speicher