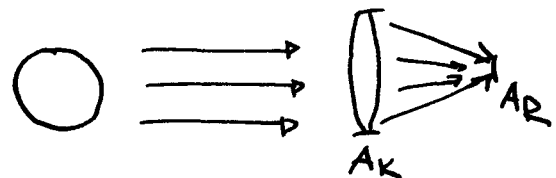


5 Konzentrierende Solarthermie

Gute Vakuumkollektoren können wie wir in der letzten Vorlesung gesehen haben ca. 200°C erreichen. Bei diesen hohen Temperaturen geht allerdings der Wirkungsgrad durch Verluste schon in die Knie. Zur Stromerzeugung und als Prozesswärme für chemische Prozesse sind jedoch höhere Temperaturen notwendig. Dies erreicht man durch konzentrierende Systeme. Wie zuvor lehnt sich auch dieses Kapitel eng an Volker Quaschnig's Buch an...

5.1 Konzentration von Solarstrahlung

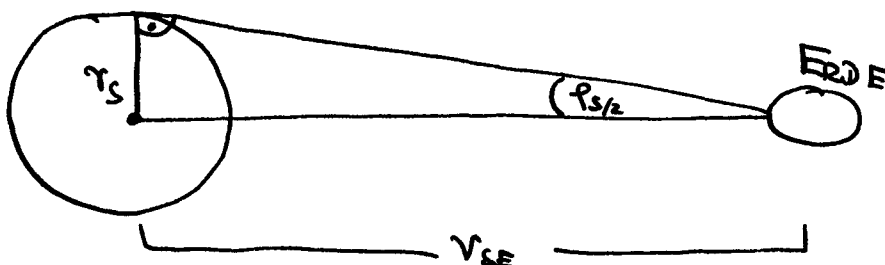
Der Konzentrator mit Aperturfläche A_K konzentriert auf den "Receiver" A mit Fläche A_R die Sonnenstrahlung:



Was den Konzentrationsfaktor

$$C = \frac{A_K}{A_R}$$

definiert. Nun ist die Sonnenstrahlung auf Grund der (beschränkten) Größe der Sonne nicht exakt parallel:



Geometrisch ergibt sich $f_{s/2} \approx 0.27^\circ$

Aus der Optik folgt dann die maximale Konzentration

$$C_{\max} = \frac{1}{f_{s/2}^2} \approx 46200$$

Was sich für nur einachsig nachgeführte Systeme weiter auf

$$C_{\max, \text{linear}} = \sqrt{C_{\max}} \approx 215$$

reduziert.

Dabei können wir die Konsistenz von C_{\max} daran sehen, daß eine Optik stets die Oberflächenhelligkeit erhält. D.h. im besten Fall gelingt es der Konzentration, genauviel Strahlungsleistung pro Fläche im Absorber zu konzentrieren, wie auf der Sonne pro Fläche abgestrahlt wird:

E_0 : Solarkonstante

G : Stefan-Boltzmann Konstante

T_A : Absorbertemperatur

$$\Rightarrow C \cdot E_0 = G T_A^4$$

$$\Rightarrow T_A = \sqrt[4]{\frac{C E_0}{G}} \Rightarrow T_{A, \max} = \sqrt[4]{\frac{C_{\max} E_0}{G}} = 5777 \text{ K} = \underline{\underline{T_{\text{Sonne}}}}$$

oder auch:

$$C E_0 = G T_A^4 \quad ; \quad C_{\max} E_0 = G T_{\text{Sonne}}^4$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{T_A = T_{\text{Sonne}} \sqrt[4]{\frac{C}{C_{\max}}}}}$$

5.3 Konzentrierende Kollektoren

Bei großtechnischer Nutzung kommen ausschließlich Reflektoren zum Einsatz. Dabei gibt es einachsige und zweiachsige Reflektoren.

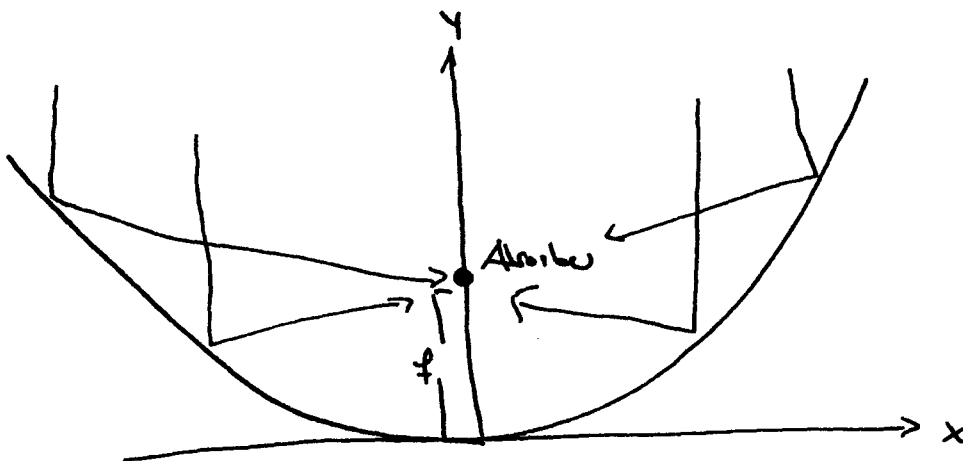
(Folie!)

5.3.1 Linien Kollektoren

Einachsige Linienkollektoren sind normalerweise Parabolrinnen. Wenn der Konzentrator auf mehrere einzelnen nachgeführten Spiegel verteilt wird, spricht man vom "Fresnel Kollektor".

Die Parabolform wird bestimmt durch

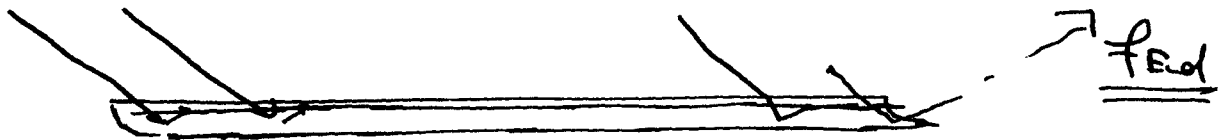
$$y = \frac{x^2}{4f} \quad ; \quad f: \text{Fokallänge}$$



(Folie!)

Nutzleistung u. Wirkungsgrad:

Da die Rinne nur 1-Achsig nachgeführt wird, muss man einen Faktor $\cos \theta$ für den Sonnenstand entlang der Rinne einführen. Auch kommt es durch die endliche Länge bei schrägem Anfall entlang der Rinne zu Verlusten f_{Erd} an Erde der Rinne:



$$\Rightarrow E_{\text{direkt, K}} = E_{\text{dir, Sonn}} \cos \theta \underbrace{(1 - f_{\text{Erd}})}_{\approx 0.997}$$

Und der Nutzleistung des Kollektors

$$\dot{Q}_{\text{KNutz}} = E_{\text{direkt, K}} \cdot A_K \cdot \eta_{\text{opt}} - \dot{Q}_V$$

\dot{Q}_V : Verluste

η_{opt} : optischer Wirkungsgrad: Reflexion, Sauberkeit etc

Reinigung alle 2 Tage, dann Sauberkeitsverlust
going (5-10%).

Die Verluste spalten sich auf in Konvektion u. Abstrahlung:

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_k + \dot{Q}_s = \alpha_k A_{\text{absorber}} (T_{\text{glas}} - T_{\text{umgebung}}) + \epsilon \cdot \underset{\substack{\nearrow \\ \text{emissivität}}}{G} \cdot A_{\text{absorber}} (T_{\text{absorber}}^4 - T_{\text{umgebung}}^4)$$

↑
Stefan-Boltzmann

Da $C \propto \frac{A_k}{A_{\text{absorber}}} \Rightarrow \dot{Q}_v \propto \frac{A_k}{G}$

d.h. für größeres G nehmen die Verluste zu.

Der "Kollektoreffizienzgrad" wird bei senkrechtem Lichteinfall definiert, d.h. $E_{\text{dir},k} = E_{\text{dir},\text{sonne}}$

und es ergibt sich oben

$$\eta_k = \frac{\dot{Q}_{KN}}{E_{\text{dir},\text{sonne}} \cdot A_k} = \frac{E_{\text{dir},\text{sonne}} \cdot A_k \cdot M_{\text{opt}} - \dot{Q}_v}{E_{\text{dir},\text{sonne}} \cdot A_k}$$

$$= M_{\text{opt}} - \frac{\dot{Q}_v}{E_{\text{dir},\text{sonne}} \cdot A_k}$$

(Folie!)

Längenausdehnung: Ist grundsätzlich ein Problem von Rinnen, da z.B. Stahl mit $100\text{m} = l$ bei $\Delta T = 350\text{K}$ um $\Delta l = 0.5\text{m}$ A Länge wird.

Faltenbalge gleichen die unterschiedliche Längenausdehnung von Glasanzwehler und Stahlabsorber aus.

Felder: Folge von Kollektorfeldleistung.

5.4 Wärmekraftmaschinen

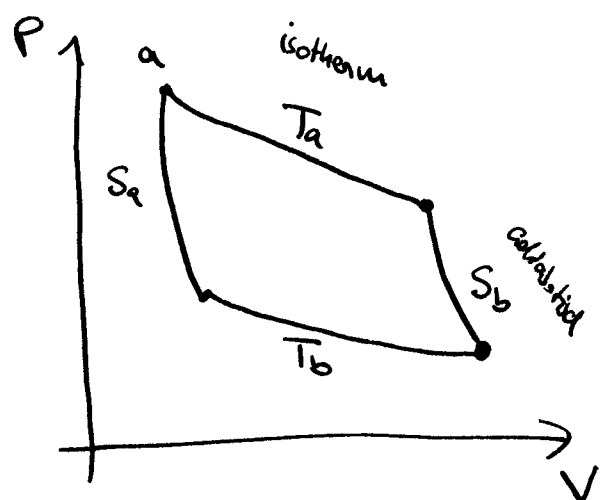
Carnot: Wie wir wissen ist der theoretisch maximale Wirkungsgrad im Carnot-Prozess realisiert

$$\eta_{\max} = \frac{|W|}{Q_{\text{zu}}} = \frac{T_{\text{zu}} - T_{\text{ab}}}{T_{\text{zu}}}$$

T_{zu} : Wärmequelle

T_{ab} : Wärmesenke

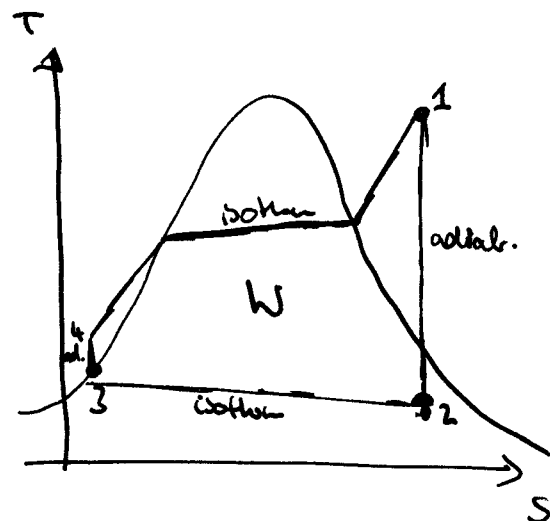
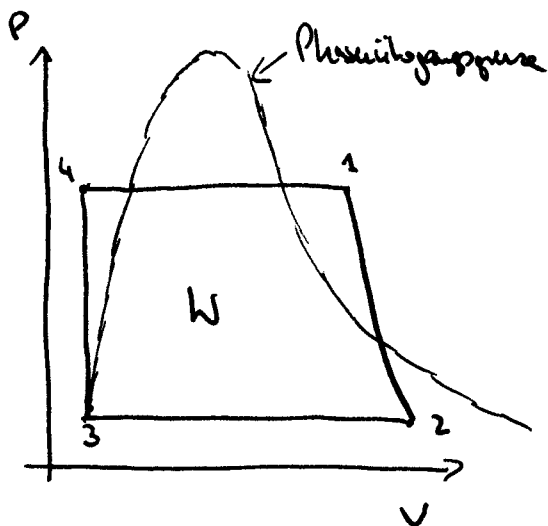
W : geleistete Arbeit



Clausius-Raukine:

Der Prozess von Clausius-Raukine ist eine gute Näherung für eine Dampfturbine:

- adiabatische Expansion in Turbine von $1 \rightarrow 2$
- isobar + isotherme Kondensation des Dampfes mittels Kühlkreislauf ($2 \rightarrow 3$)
- adiabatische Druckerhöhung von $3 \rightarrow 4$ mittels Speisepumpe
- isobare Wärmezufuhr von $4 \rightarrow 1$, zunächst bis zum Verdampfen, danach weiter, sogenannte "Überhitzung".



(Tolle)

Bsp.: $T = 538^\circ\text{C}$
 $p = 167 \text{ bar} \Rightarrow \eta_{\text{Clausius}} = 42\%$

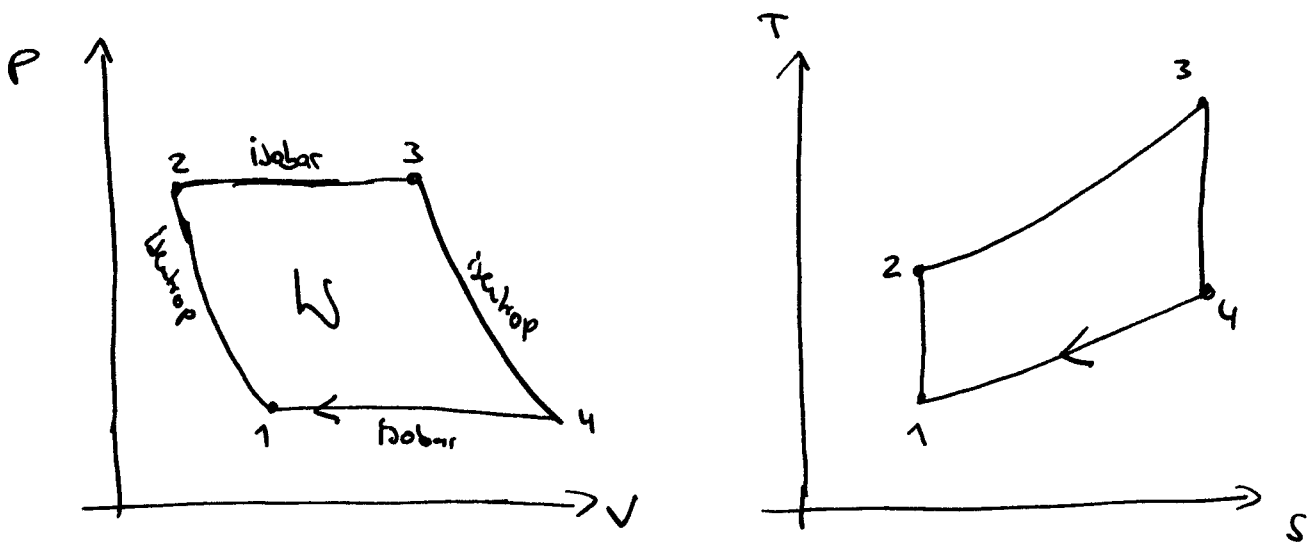
$T = 720^\circ\text{C}$
 $p = 300 \text{ bar} \Rightarrow \eta_{\text{Clausius}} = 47.5\%$

Solarthermie: $p = 100 \text{ bar}$
 $T = 371^\circ\text{C} \Rightarrow \eta_{\text{Clausius}} = 38\%$

Joule-Prozess

Der Joule Prozess ist der Vergleichsprozess der Gasturbine:

- 1→2 isentrope Kompression : Verdichten
- 2→3 isobare Wärmezufuhr : heiße Luft erzeugen
- 3→4 isentrope Expansion : durch Turbine Strömen
- 4→1 isobare Wärmeabfuhr : durch Kühlung an Umgebung



Der Joule Prozess kann zur Erhöhung des Gesamtertragsgrades mit dem Clausius-Rankine Prozess kombiniert werden:

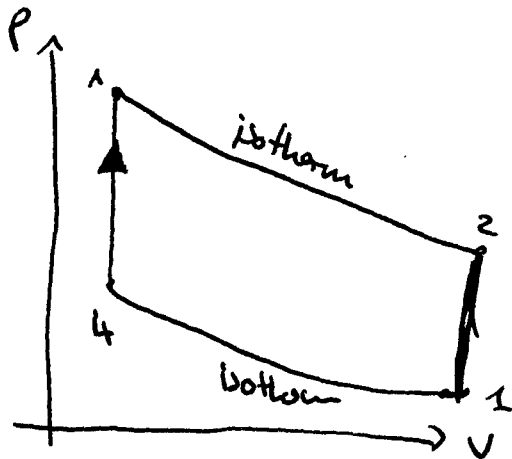
- hohes T : Gasturbine
- Abwärme der Turbine \Rightarrow Wasserdampf

\Rightarrow "GuD" - Anlagen erreichen $\eta = 60\%$.

\uparrow Gas (und) \uparrow Dampf

Stirling Prozess

- 1 → 2 : isotherme Expansion
- 2 → 3 : isochore (dV=0) Wärmeabfuhr
- 3 → 4 : isotherme Kompression
- 4 → 1 : isochore Wärmezufuhr



Der Stirlingmotor existiert in vielen Spielarten. Es wird mittels zweier gekoppelter Kolben eine Kurbelwelle angetrieben, wobei stets Wärme in das Arbeitsgas von außen zugeführt wird. (Siehe wiki.pwv.de)

Der Stirlingmotor eignet sich durch sein in sich geschlossenes System gut für solare Erwärmung.

Nachteil: $\eta_{\text{Stirling}} \approx \frac{1}{2} \eta_{\text{Carnot}}$

also noch etwas schlechter als bei Clausius-Rankine.
Stirling Motoren werden in 2-achsigen "Dish" Systemen eingesetzt.

5.5 Solar - Kraftwerke

5.5.1 Parabolrinnenkraftwerke

In Kalifornien gibt es einige kommerzielle Kraftwerke. Um die Turbine besser auszulasten, wird bis zu 25% der Energie durch Erdgas hinzugefügt.

(Folie!) Typische Betriebsgrößen siehe Folie.

Normalerweise verwendet man Turmsöl bei ca. 400°C , welches die Wärme dann an Wasser abgibt. Leider begrenzt das Turmsöl die erreichbaren Temperaturen. Daher entwickelt man an Wasser-Systemen, bei denen Wasser direkt im Absorberrohr bei $\sim 100\text{bar}$ auf $T \sim 500^{\circ}\text{C}$ erhitzt wird. Summa summarum sind Parabolrinnenkraftwerke ernsthafte Konkurrenten zu konventionellen Kraftwerken in sonnenreichen Gegenden.

5.5.2 Solarturbin Kraftwerke

Hunderte von Einzelspiegeln konzentrieren das Sonnenlicht auf die Spitze eines Turmes. Dort wird Luft oder geschmolzenes Salz erhitzt: $T \sim 1000^\circ\text{C}$, d.h. bessere Wirkungsgrade sind möglich. Dabei gibt es clevere Bauweisen, die die Abstrahlverluste minimieren. Allerdings existieren noch keine kommerziellen Anlagen. Versuchsanlagen liegen im $\sim 10\text{MW}$ Bereich.

5.5.3 Dish-Stirling-Anlagen

Dish-Stirling-Anlagen sind naturgemäß modular und daher auch zur Versorgung von kleinen Ortschaften einsetzbar.

(Folie!)

5.6 Stromimport

Nordafrika bietet sich geradezu als Einsatzort der Solartechnik an:

- Gestehungskosten 3-4 Cent/kWh
- Transportverluste: +0.5 Cent/kWh
- Betrieb + Bau der Leitungen: +0.5-1 $\frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$

\Rightarrow 4-5 Cent / kWh

\Rightarrow Wirtschaftlicher Anschluss in Nordafrika

Verluste durch Stromtransport:

$l = 5000 \text{ km}$, 600 kV Gleichstrom: $\sim 18\%$.

" 800 kV " : $\sim 14\%$.

Verluste durch Wasserstoffherzeugung, Transport,
Ausschöpfende Verstromung: $\sim 50\%$.

Daher ist H_2 nur sinnvoll, falls es für
Autos etc. eh hergestellt werden muß.