

Parabolrinne  $\sim 300^\circ$

Spiegel  $\sim 1000^\circ$

Hohlspiegel - Stirling Motor

- Peltier Element

Absorptionsgrad vom Flammen:

$\rightarrow$  Absorb. durch 90%

$$B = \frac{P}{A} = \frac{\Delta Q}{A \cdot t} = \frac{c_{\text{te}} \cdot \Delta T \cdot m}{A \cdot t}$$



$$m_H = 51,5 \pm 0,1 \text{ g}$$

$$m_D = 50,6$$

$$d_H = 5,5 \text{ cm}$$

$$d_D = 6,9 \text{ cm}$$

$$d_{\text{HT}} = 6,95 \pm 0,05$$

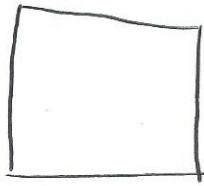
$$d_H = 5,5 \pm 0,1$$

1 Spiegel

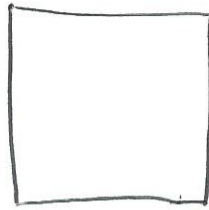
$$B = 990 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

| $\Delta T_D$ | $\Delta T_H$ [ $^\circ\text{C}$ ] $\pm 0,1^\circ\text{C}$ |
|--------------|---|
| 0            | 40,8  |
| 0,5          | 54,3  |
| 1            | 77,4  |
| 1,5          | 89,9  |
| 2            | 116,2   |
| 2,5          | 133,0   |
| 3            | 148,5   |
| 3,5          | 162,1   |
| 4            | 174,6   |
| 4,5          | 185,5   |
| 5            | 196,0   |

② Absen



Sand

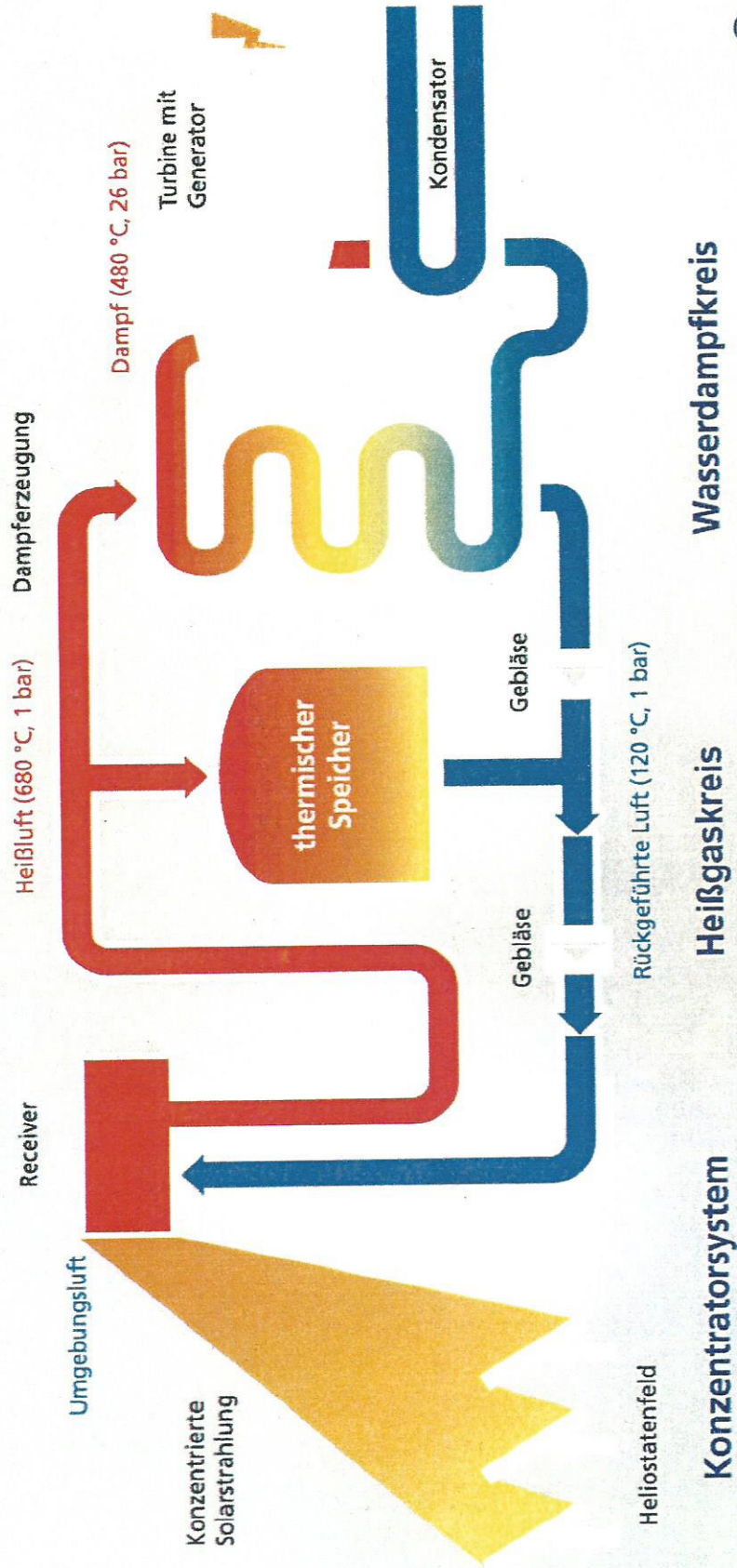


H<sub>2</sub>O

$$m_{H_2O} = 10 \overset{1}{\cancel{4,5}} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand}} = 10 \overset{1}{\cancel{1,5}} \text{ kg} \overset{+ 1 \text{ kg}}{0,5 \text{ g}}$$

| $t$ | $\Delta T_{H_2O}$ | $\Delta T_{\text{Sand}}$ |
|-----|-------------------|--------------------------|
| 0   | 21,48             | 23,6 24,1                |
| 0,5 | 24,8              | 24,9                     |
| 1   | 25,8              | 28,4                     |
| 1,5 | 26,7              | 34,3                     |
| 2   | 28,0              | 39,9                     |
| 2,5 | 29,7              | 46,7                     |
| 3   | 31,7              | 52,3                     |
| 3,5 | 33,2              | 57,9                     |
| 4   | 35,5              | 64,4                     |
| 4,5 | 37,5              | 69,2                     |
| 5   | 39,9              | 74,2                     |



- Energie im Material speichern
- Salz als Wärmespeicher
- Leistung Sonne: Solar konstante  
 $\rightarrow$  auf Atmosphäre

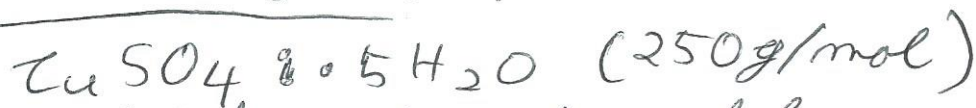
$$\begin{array}{l} T_{\text{Antarg}} = 22,4^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C} \quad \text{Abstand} = 30 \text{ cm} \\ T_{\text{Erde}} = 74,2^\circ\text{C} \quad \tau = 6,5 \text{ min} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} T_{\text{Antarg}} \\ T_{\text{Erde}} \end{array}} \right\} \text{Quelle}$$

$$T_{\text{Antarg}} = 22,7^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C} \quad \tau = 19 \text{ sec}$$

$$T_{\text{Erde}} = 74,2^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C}$$

$$\text{glycerin} < \tau < \text{H}_2\text{O}$$

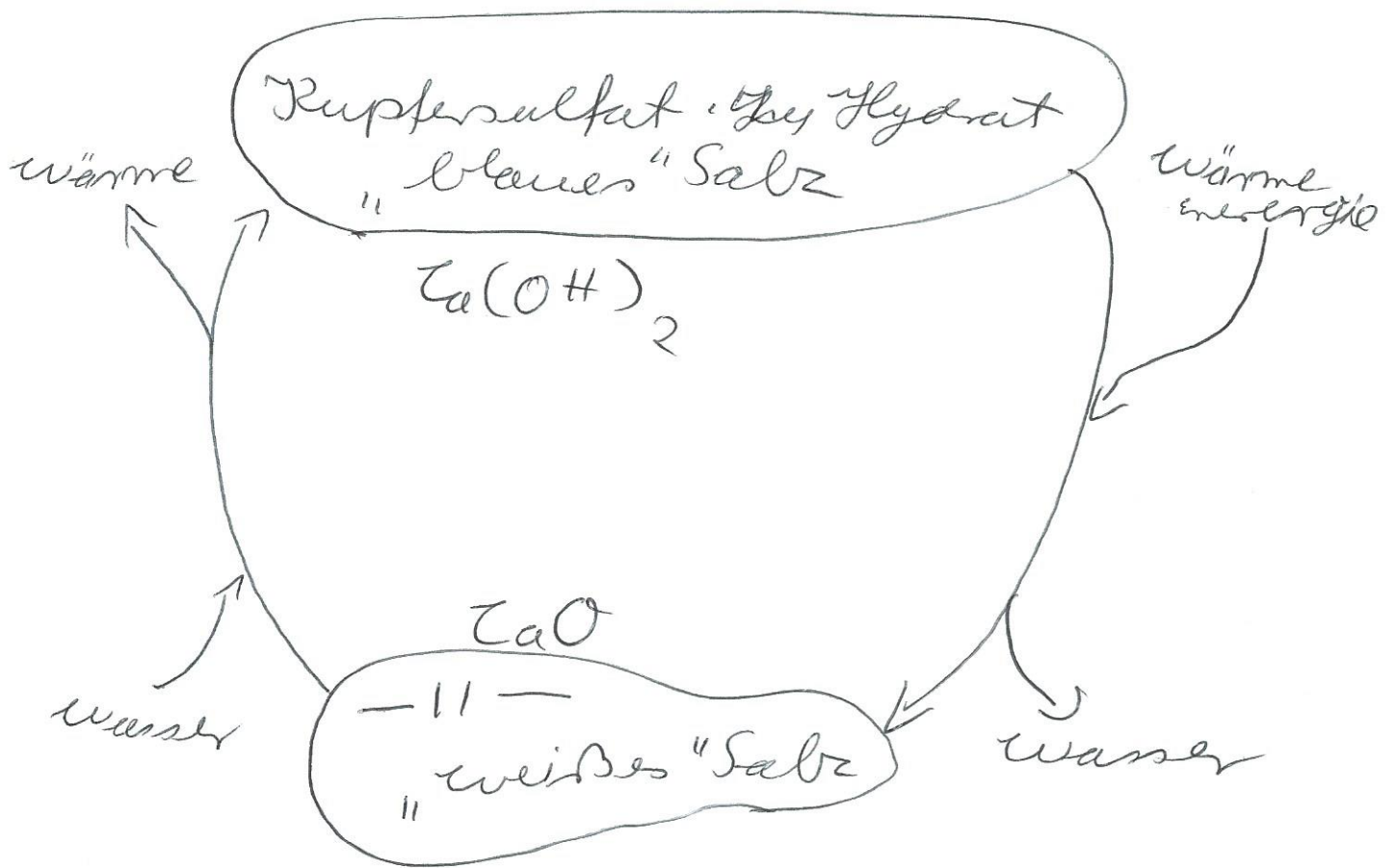
- Phasenübergang benötigt Energie bei  $T = \text{const}$
- Paraffin als Latentwärmespeicher  
 $\rightarrow$  Phasenübergang
- Paraffin: - Semilwärmespeicher  
 $\quad$  - Latentwärmespeicher
- thermochemischer Speicher: Stoffänderung  
 $\rightarrow$  Endotherm

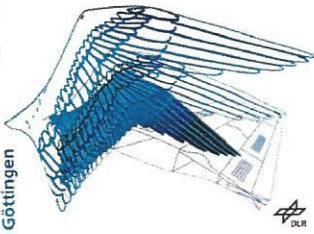


in Silikageel rot zu blau

- Realkreislauf







## Untersuchung eines Salzhydrates

Mit „blauem“ Kupfersulfat-Pentahydrat lässt sich zeigen, dass ein Salz-Hydrat beim Erhitzen das gebundene Kristallwasser abgeben und es unter Wärmefreisetzung wieder aufnehmen kann.

### Versuchsdurchführung:

Zuerst erhitzt ihr in einem Reagenzglas vorsichtig blaues Kupfersulfat-Pentahydrat. Das Reagenzglasende mit der Substanz wird dazu durch eine kleine Brennerflamme geschwenkt bis sich das Salz nahezu entfärbt hat, d.h. insgesamt weiß geworden ist. Achtet darauf, dass die Substanz beim Erhitzen keinesfalls schwarz wird; in diesem Fall hat sich das weiße, wasserfreie Kupfersulfat zum schwarzen Kupferoxid zersetzt! Was beobachtet ihr an den kühlen Stellen des Reagenzglases?

Anschließend lasst ihr das Reagenzglas in einem Gestell wieder auf Umgebungstemperatur abkühlen.

Danach stellt ihr ein Thermometer in das Reagenzglas mit dem abgekühlten, weißen Salz und gebt mit einer Spritze vorsichtig einen Tropfen Wasser zu. Beobachtet, wie sich das Kupfersulfat dabei verhält und ob es sich löst. Kontrolliert dabei mit dem Thermometer den Verlauf der Temperatur.

### Versuchsauswertung:

Formuliert für den ersten und letzten Vorgang jeweils ein Reaktionsschema unter Angabe der energetischen Verhältnisse.

Fasst beide Vorgänge zu einem Stoffkreislauf (Skizze) zusammen; ergänzt in diesem Kreisprozess den Energieverlauf.

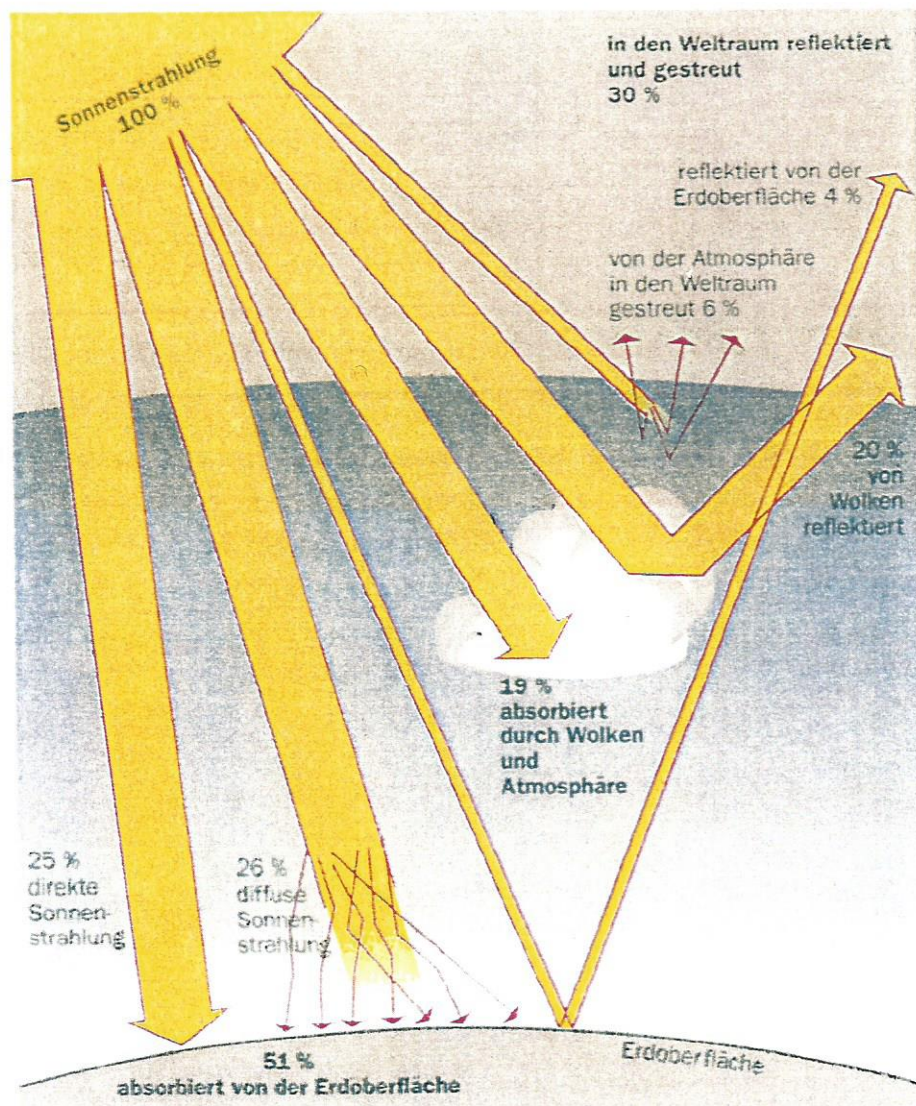
Diskutiert an diesem Stoffbeispiel eine mögliche Verwendung als „Wärmespeicher“.

Aus der Solarkonstanten und dem Erdradius ( $r_E = 6378 \text{ km}$ , Äquator) kann man den gesamten Energiestrom  $P_E$  bestimmen, der auf die Erde trifft:

$$P_E = S_E \cdot \pi \cdot r^2 = 1,75 \cdot 10^{17} \text{ W}$$

Das entspricht einer Leistung von über 100 Millionen Kraftwerken, weit mehr als die Menschheit benötigt.

Die durch den gedachten Erdquerschnitt (mit der Fläche  $\pi \cdot r_E^2$ ) fließende Sonnenenergie trifft in Wirklichkeit auf eine (relativ schnell) rotierende Kugel mit einer viermal so großen Oberfläche (Kugelfläche:  $4 \cdot \pi \cdot r_E^2$ ); als **mittlere Leistungsdichte** ergibt sich demnach  $\frac{1}{4} S_E$ . Wenn man vom Einfluss der Lufthülle und der Wolken absieht, trifft demnach auf  $1 \text{ m}^2$  Erdoberfläche durchschnittlich ein Energiestrom von  $342 \text{ W}$ . Je nach Breitengrad und mittlerer Wolkenbedeckung kann der tatsächliche Wert darunter oder darüber liegen. In unseren Breiten misst man nur etwa  $100 \text{ W/m}^2$ . Zum Äquator hin nimmt die Energiestromdichte zu.





## Strahlung und Erwärmung

Wüstennächte sind frostig kalt. Nach Sonnenaufgang erwärmt sich der Boden jedoch schnell. In der Sahara werden dabei Temperaturen von über 50°C erreicht. Die Energie dazu schickt uns die Sonne.



Der Transport dieser Energie durch Wärmeleitung oder Wärmeströmung kommt nicht in Frage, da sich im Weltraum zwischen Sonne und Erde kaum Materie befindet. Aber die Sonne sendet in alle Richtungen elektromagnetische Strahlung aus, und ein kleiner Teil davon trifft die Erde. Was geschieht damit?

Ein Teil der auf den Wüstenboden treffenden Sonnenstrahlung wird allseitig *zurückgeworfen* (Reflexion); dadurch erscheint uns die Wüste nicht schwarz sondern hell und farbig. Der Rest der Sonnenstrahlung wird *absorbiert*; dadurch steigt die Energie der ungeordneten Teilchenbewegung des Bodens an. Wir nehmen diese *Zunahme der inneren Energie* des Bodens als *Temperaturanstieg* wahr. Diese Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne in zusätzliche innere oder *thermische* Energie eines Stoffes wird als Thermalisierung der Sonnenstrahlung bezeichnet.

### Wie viel Sonnenenergie gelangt auf die Erde?

Während ihres jährlichen Umlaufs um die Sonne ist die Erde annähernd gleich weit von der Sonne entfernt. Daher ändert sich der Energiestrom von der Sonne zur Erde praktisch nicht, d.h. pro Zeiteinheit strömt stets gleich viel Strahlungsenergie auf die Erde.

Wir betrachten eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$ , die senkrecht zur Sonnenstrahlung gerichtet ist und die den Abstand zur Sonne wie die Erde hat. Für den Energiestrom durch diese Fläche misst man im Weltraum außerhalb der Atmosphäre einen Wert von 1,37 kJ/s oder 1,37 kW. Der Quotient aus Energiestrom und Fläche  $P/A$  wird als **Leistungsdichte  $S$**  oder **Intensität der Strahlung** bezeichnet. Der Wert für die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung  $S_E = 1370 \text{ W/m}^2$  wird **Solarkonstante** der Erde genannt.

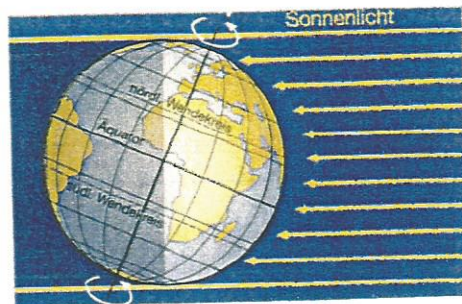
Auf der Erdoberfläche kommt aber nur ein Teil dieses Energiestroms an. Gründe dafür sind u.a. Absorption und Streuung an Dunst und Wolken.



## Sonnenwärme - Bestimmung der Strahlungsleistung der Sonne (Solarkonstante)

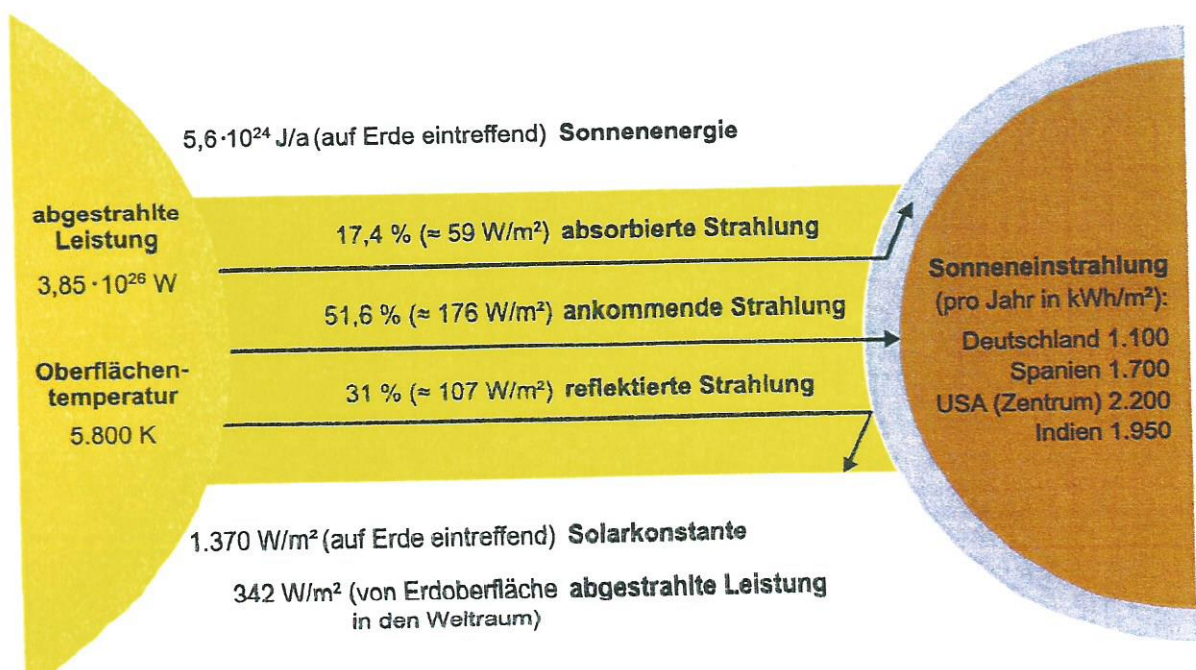
Die „Sonne“ (Strahler) scheint senkrecht auf die schwarze Heizplatte mit der Fläche ( $A = \pi \cdot r^2$ ;  $\varnothing = 80 \text{ mm}$  ohne Randwulst)  $A_p = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  und erwärmt diese in 5 Minuten ( $t_s = 300 \text{ s}$ ) von Raumtemperatur ( $22^\circ\text{C}$ ) auf eine konstante Endtemperatur ( $98^\circ\text{C}$ ). Diese Endtemperatur erreicht die kalte Heizplatte durch die elektrische Heizleistung  $P_{el} = 150 \text{ W}$  in 20 Sekunden ( $t_{el} = 20 \text{ s}$ ).

Die von der „Sonne“ empfangene Strahlungsleistung  $P_s$  liefert in 5 Minuten der Platte etwa dieselbe Heizenergie  $W_H$  wie deren elektrische Heizleistung  $P_{el}$  in 20 Sekunden. Mit  $W = P \cdot t$  gilt  $P_s \cdot t_s = P_{el} \cdot t_{el}$ ; daraus ergibt sich für die Strahlungsleistung  $P_s = P_{el} \cdot t_{el} / t_s$ .



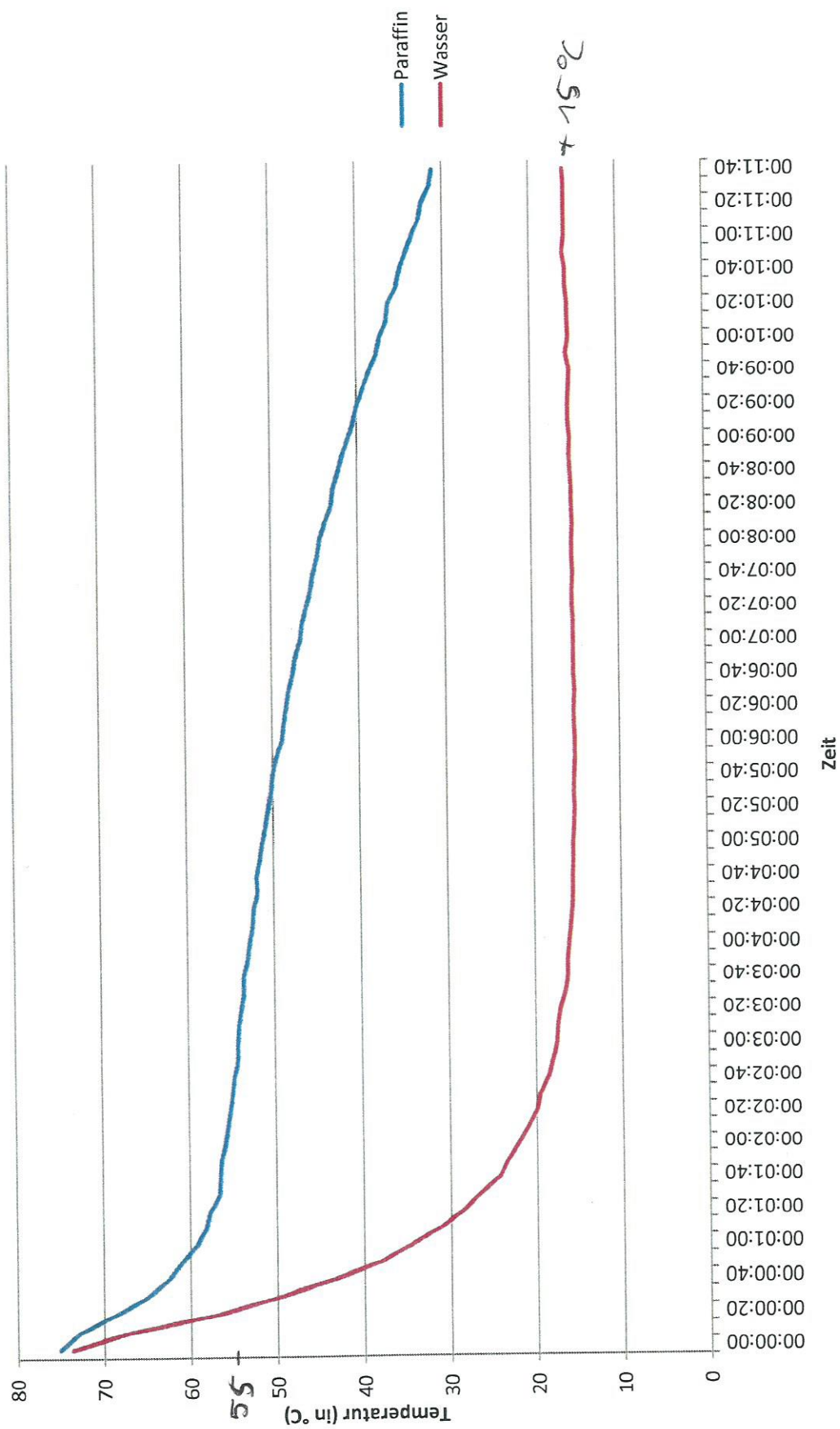
Mit den obigen Messwerten erhält man für die Strahlungsleistung  $P_s$  etwa  $10 \text{ W}$  welche senkrecht auf die Plattenfläche  $A_p$  trifft. Für die **Leistungsdichte  $S$**  der Strahlung, dem Quotienten  $S = P / A$ , ergibt sich demnach für  $S_p = P_s / A_p$  ein Wert von  $2000 \text{ W/m}^2$ . Für die **Intensität** der Sonnenstrahlung in unseren Breiten schwanken die Werte nach Sonnenstand von  $500$  bis  $1000 \text{ W/m}^2$ . Die Sonnenstrahlung wird durch die irdische Lufthülle geschwächt. Im Weltraum, knapp außerhalb der Atmosphäre, misst man für die **Leistungsdichte der Sonnenstrahlung  $S_E = 1370 \text{ W/m}^2$** ; diesen Wert bezeichnet man als **Solarkonstante** der Erde.

### Fakten zur Sonnenenergie



# Abkühlung Paraffin und Wasser

08.04.2014





# Gebündelte Sonnenstrahlen – Solarforschung im DLR

Die Sonne liefert Energie im Überfluss, sie hat das Potenzial, den Bedarf der gesamten Bevölkerung der Erde zu decken – zehntausendfach. Die Herausforderung besteht darin, diese klimaneutrale Energie effizient und kostengünstig nutzbar zu machen. Sonnenwärmekraftwerke, an denen das DLR seit über 30 Jahren forscht, können einen wesentlichen Beitrag zu dieser Nutzung und damit zur Energieversorgung der Zukunft leisten.

## Strom rund um die Uhr

Sonnenwärmekraftwerke konzentrieren direktes Sonnenlicht, um technisch nutzbare hohe Temperaturen zu erzeugen. So können sie in sonnenreichen Regionen in großen Mengen umweltfreundlichen Strom aus erneuerbaren Quellen liefern. Und diese Technik hat einen weiteren wichtigen Vorteil: Energie kann hier in Form von Wärme zu relativ geringen Kosten gespeichert werden. Mit thermischen Speichern, zum Beispiel großen Salzspeichern, können diese Kraftwerke daher auch in den Abend- und Nachtstunden zuverlässig Strom liefern.

Das DLR-Institut für Solarforschung gehört zu den weltweit führenden Instituten auf dem Gebiet der Solarkraftwerke. Das Forschungsspektrum des Instituts reicht von der Labor- und Grundlagenforschung bis zu Betriebstests von kompletten Solarkraftwerken. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die eingesetzten Bau- und Prozessmaterialien zu verbessern sowie die Architektur und den Betrieb der Anlagen zu optimieren. Damit leisten DLR-Wissenschaftler wichtige Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um die Innovationszyklen zu beschleunigen und die Kosten der Stromerzeugung zu senken.

## Bessere Spiegel und Absorberrohre

Sehr anwendungsorientiert arbeitet in Köln das Testlabor QUARZ (Test- und Qualifizierungszentrum für konzentrierende Solartechnik). DLR-Forscher untersuchen hier an eigens entwickelten Prüfständen die Qualität von industriell gefertigten Spiegeln und Absorberrohren. Als ein auf diesem Gebiet weltweit führendes Forschungszentrum arbeitet das DLR derzeit bei der Festlegung von internationalen Standards für die Qualitätsprüfung von Komponenten und deren Messverfahren mit.

Zur Grundlagenforschung nutzen die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Solarforschung den „Sonnenofen“ in Köln, der Sonnenstrahlen mit einem 60 Quadratmeter großen Spiegelfeld konzentriert. Hier wurden unter anderem erste Tests für die Herstellung von Wasserstoff direkt aus Sonnenenergie durchgeführt. Das DLR-Solarturmkraftwerk in Jülich dient als Großforschungsanlage für Experimente zur solaren Hochtemperaturtechnik.

In Südspanien haben DLR-Forscher Zugang zu den Forschungsanlagen der Plataforma Solar de Almería (PSA). Während die Anlagen in Deutschland zur schnellen Technologieentwicklung vom Labormaßstab bis zum industriellen Prototyp dienen, können in Almería Langzeitexperimente unter realen Bedingungen durchgeführt werden. DLR-Wissenschaftler in Köln und Stuttgart forschen an besseren Wärmeträgerfluiden für Parabolrinnen-Systeme, an Receivertechnologien und berechnen zukünftige Solarturmsysteme.

## Höhere Temperaturen für mehr Effizienz

DLR-Wissenschaftler forschen auch an Solarkraftwerken mit höheren Prozess-



Spiegel im Test: Qualitätsuntersuchungen auf der Plataforma Solar in Almería (Südspanien)



DLR-Solarturm in Jülich: Forschungskraftwerk zur Weiterentwicklung der Hochtemperaturprozess-technik

temperaturen. Solche Kraftwerke haben einen höheren Kreislaufwirkungsgrad und benötigen daher weniger Kollektoren pro erzeugter Kilowattstunde, wodurch die Stromgestehungskosten sinken. Ein wichtiger Innovationsansatz bei Parabolrinnen-Kraftwerken ist die solare Direktverdampfung. Hier wird der Wasserdampf, der die Turbine antreibt, direkt im Absorberrohr erzeugt. Dadurch entfällt die Beschränkung auf 400 Grad Celsius, die für den üblichen Wärmeträger (Thermoöl) gilt. Für noch höhere Prozesstemperaturen werden im DLR auch neue Wärmeträgermedien wie Salzschnmelzen, Partikel und Gase erforscht.

## Solarkraftwerke

Sonnenwärmekraftwerke bündeln mit Spiegeln die Strahlen der Sonne und wandeln sie in Wärmeenergie um, man spricht deshalb auch von konzentrierenden Solarkraftwerken (Concentrating Solar Power – CSP). Durch die Konzentration werden Temperaturen von 400 bis 1.200 Grad Celsius erreicht. Diese Wärmeenergie lässt sich wie in einem konventionellen thermischen Kraftwerk oder mit einem Stirling-Motor zur Stromerzeugung nutzen.

Je nach Kraftwerksart wird die Sonnenstrahlung mit vier unterschiedlichen Spiegelformen gebündelt: Bei Parabolrinnen-Kraftwerken sind es rinnenförmige Spiegel, die die Strahlen auf ein Rohr im Brennpunkt bündeln. Teilt man die großen gekrümmten Spiegel in lange flache Streifen auf, so erhält man Fresnel-Kollektoren, die die Strahlen ebenfalls auf ein Rohr bündeln. Bei Turmkraftwerken lenken viele flache Spiegel die Strahlen auf die Spitze eines Turms und bei Dish-Anlagen ist es schließlich ein zusammenhängender paraboloidförmiger Spiegel, der die Sonnenstrahlen auf einen Punkt konzentriert.

