

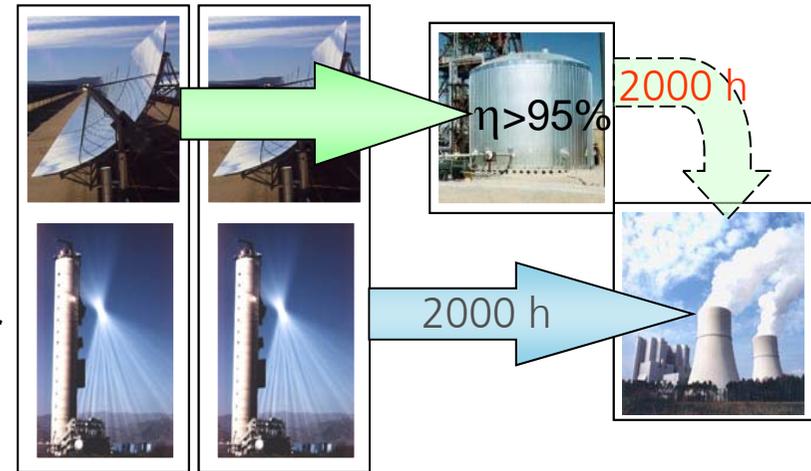
Solarforschung für Morgen – eine Übersicht

Robert Pitz-Paal, Bernhard Hoffschmidt
Institut für Solarforschung



Status und Potenzial

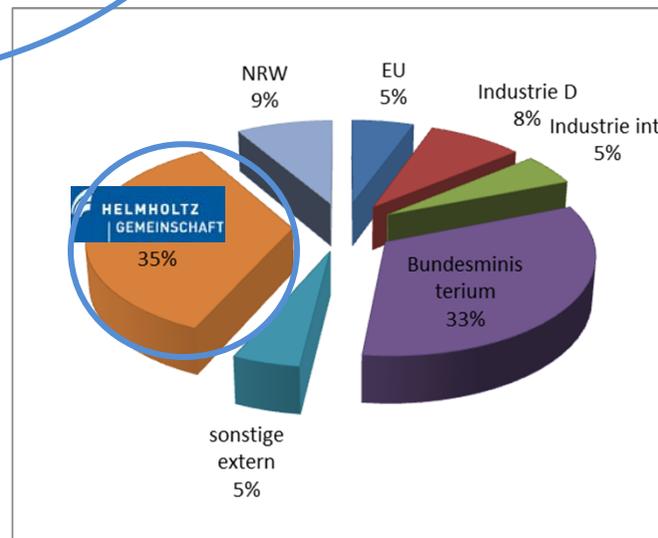
- Frühe Vermarktungsphase mit **3 GW_e** im **Sonnengürtel** seit 2007 meist mit Parabolrinnen
- CSP mit **Wärmespeicher** ist wesentlich für die **Versorgungssicherheit** auf globaler Ebene (IEA 2DS: **800 GW_e** bis 2050)
- **Deutsch Industrie** und Helmholtz-Forschung sind Technologie-Pioniere in der gesamten **Wertschöpfungskette**
- Jährliche Systemwirkungsgrade **heute bei $\eta_{\text{sys}} \approx 12 - 16\%$**
- LCOE zwischen **14-18 € Cent / kWh**
- **30 % Kostenreduktion** in den letzten 5 Jahren



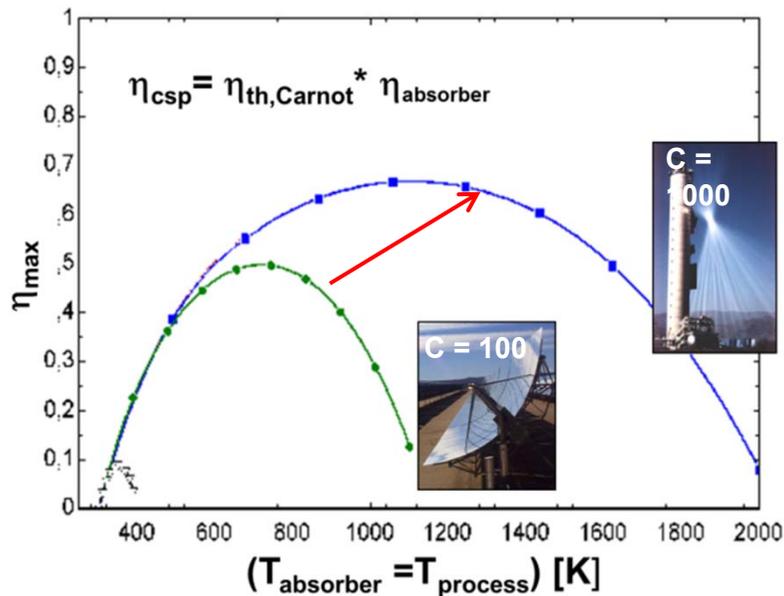
Mission: Institut für Solarforschung

- grundlegende wissenschaftliche Fragen, die Technologien der nächsten Generation für Strom, Wärme, Treibstoff und Wasser mit Hilfe von konzentrierenden solarthermischen Systemen ermöglichen

- beauftragte Entwicklungsaufgaben für die / mit der Industrie, um Produkte und Technologien zu optimieren



Strategie und Ansatz Stromerzeugung



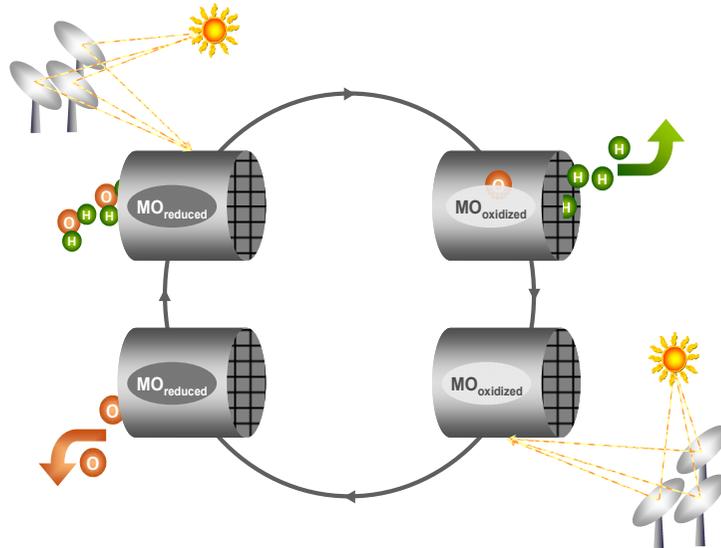
- **Hohe Konzentration + Hohe Temperatur = Hohe Effizienz = Niedrige Kosten**
 - **Fortschrittliche Wärmeträgermedien** benötigt für:
 - Hochtemperaturbetrieb
 - effiziente Speicher-Integration
- um die **Temperaturgrenze von 550 °C zu durchbrechen**

Helmholtz-Förderung für einen zukunftsweisenden Ansatz:

- Turmsysteme die neue **Salz Mischungen (DLR-TT)**, **flüssige Metalle (KIT)** oder **Feststoffpartikel (DLR –SF)** bei $T > 650 \text{ °C}$ nutzen um $\eta_{sys} > 20\%$ bei der solaren Stromerzeugung zu erreichen
- Einkopplung von **Hochtemperaturwärme** in **thermochemische Kreisprozesse** zur Erzeugung von Brennstoffen
- **wissenschaftliches Verständnis des Gesamtsystems** um die Industrie davon zu überzeugen in eine kommerzielle Verwertung einzusteigen



Strategie und Ansatz: Brennstofferzeugung



* M. Roeb, H. Müller-Steinhagen, *Wissenschaft*, August 2010

■ Inhalt

- Thermochemische Verfahren betrieben von **solarthermischen Kraftwerken (CSP)**
- Umwandlung *und* Speicherung von Sonnenenergie mit hohem Wirkungsgrad (bis zu 25% Jahreswirkungsgrad möglich)

Herausforderungen

- Steigerung der Effizienz (jetzt $\sim 3,6\%_{\text{peak}}$)
- Langzeitstabilität ($> 1000\text{h}$)
- Entwicklung neuer Katalysatoren und Redoxsysteme
- Konzepte für die Massenproduktion in Solarturm-Anlagen ($> 100 \text{ MW}_{\text{th}}$) entwickeln

■ Ziele bis 2020

- Verbessertes Reaktordesign mit optimierter Energierückgewinnung; Test und Modellierung im 10-kW-Maßstab
- Wirkungsgrad $> 8\%_{\text{peak}}$



Wissenschaftliche Fragestellungen

Neue Wärmeträgermedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeträger bei $T > 650^\circ$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre unter Wüstenumgebung betrieben zu werden?



Wissenschaftliche Fragestellungen



**Ziel 2019:
Proof-of-Concept im 100 bis 500 kW Maßstab als Grundlage für Tech-Transfer**

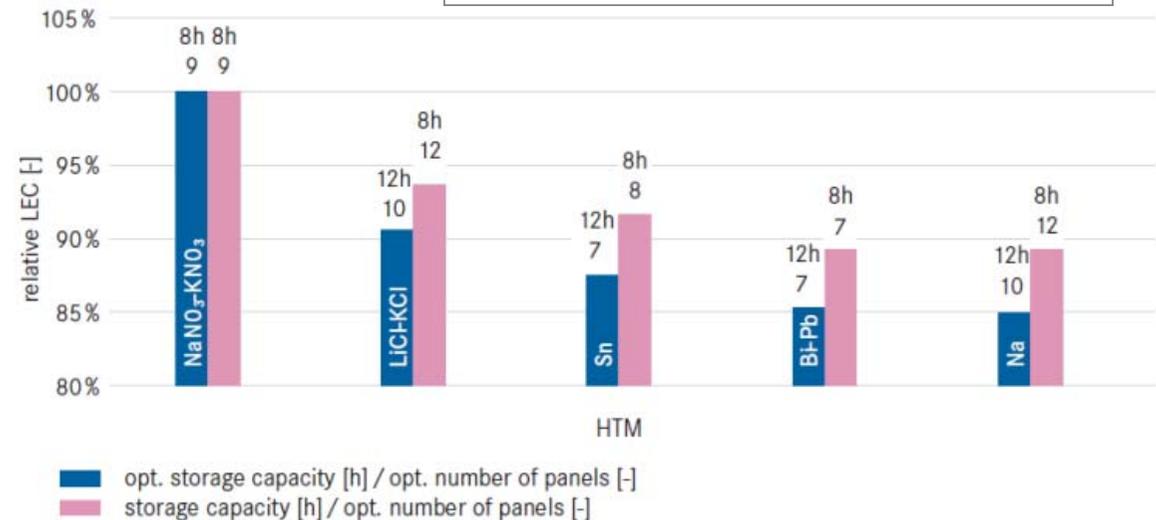
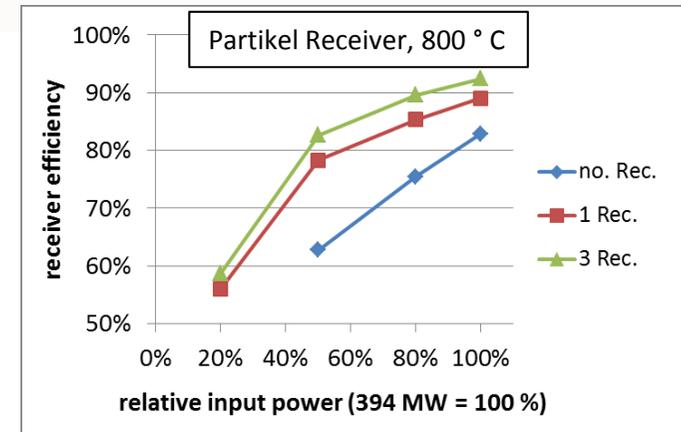


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^{\circ}\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Bisherige Ergebnisse

- Systemmodelle zeigen hohe Effizienzpotenziale
- Konzepte führen zu geringeren Stromgestehungskosten

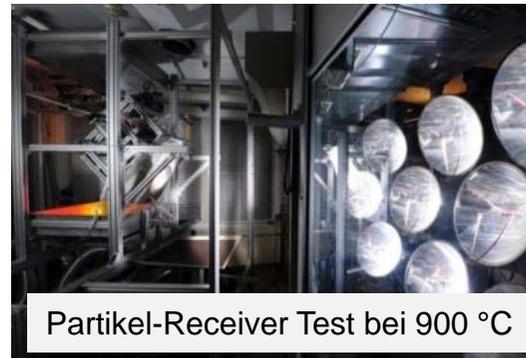


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^{\circ}\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Bisherige Ergebnisse

- Systemmodelle zeigen hohe Effizienzpotenziale
- Prototyp des Partikel-Receiver beweist Machbarkeit im 10 kW Maßstab bei Temperaturen bis 900°C

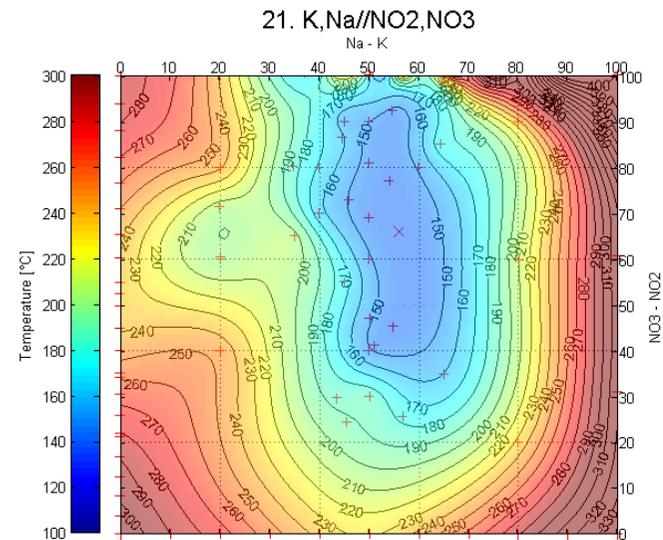


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^\circ\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Bisherige Ergebnisse

- Systemmodelle zeigen hohe Effizienzpotenziale
- Prototyp des Partikel-Receiver beweist Machbarkeit im 10 kW Maßstab bei Temperaturen bis 900°C
- Geeignete Salzmischungen identifiziert

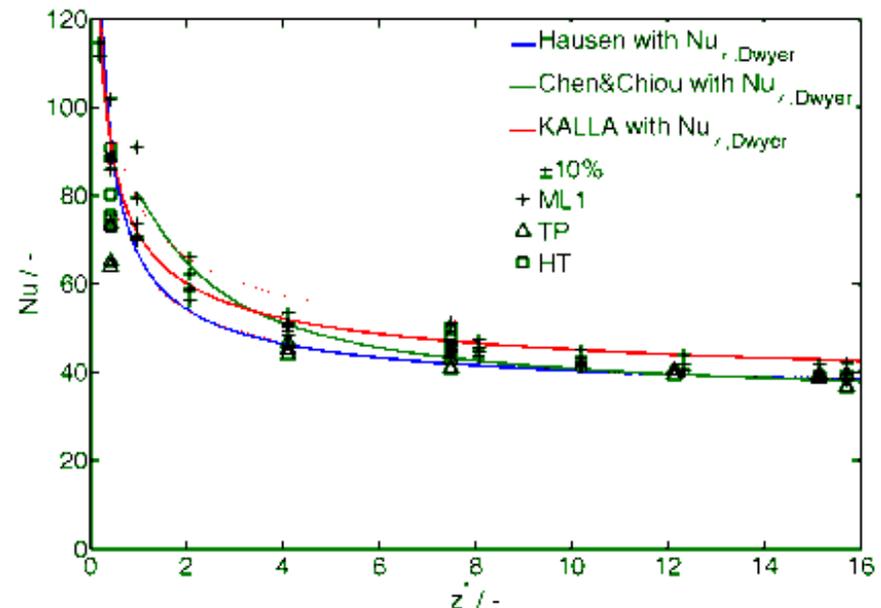


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^\circ\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Bisherige Ergebnisse

- Systemmodelle zeigen hohe Effizienzpotenziale
- Prototyp des Partikel-Receiver beweist Machbarkeit im 10 kW Maßstab bei Temperaturen bis 900°C
- Geeignete Salzmischungen identifiziert
- Wärmeübertragungs-Korrelationen für Kanalbündel bei 500 kW/m^2 in PbBi etabliert



Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^{\circ}\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Ziele und Meilensteine

- 10 kW Prototypen Receiver-Systeme, gebaut und für alle Fluide getestet



Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^{\circ}\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Ziele und Meilensteine

- 10 kW Prototypen Receiver-Systeme, gebaut und für alle Fluide getestet
- Bewertung der Degradationsauswirkungen auf Strukturmaterialien für alle HTM

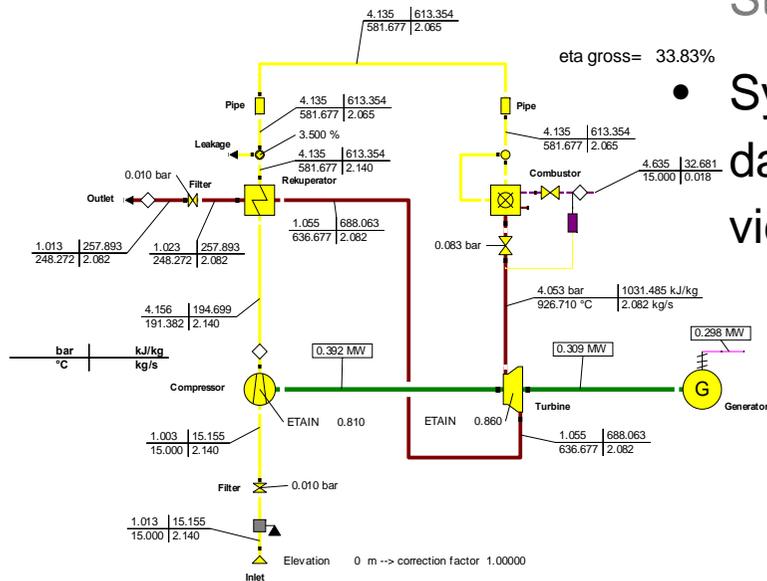


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^\circ\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Ziele und Meilensteine

- 10 kW Prototypen Receiver-Systeme, gebaut und für alle Fluide getestet
- Bewertung der Degradationsauswirkungen auf Strukturmaterialien für alle HTM
- Systemmodellierung, um die Leistungsfähigkeit und das Betriebsverhalten zu verstehen, und die vielversprechendsten Optionen auszuwählen

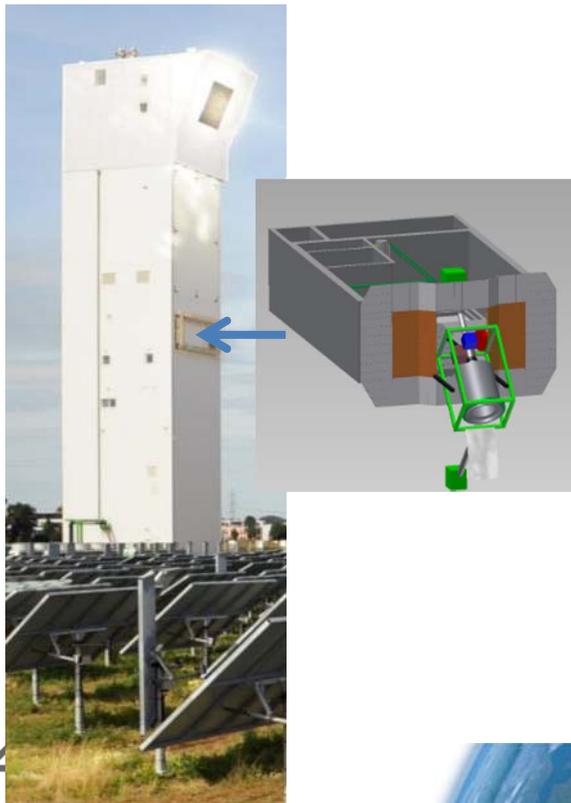


Neue Wärmeübertragungsmedien

Können Salzmischungen, flüssige Metalle oder keramische Partikel als effiziente Wärmeübertragungsmedien bei $T > 650^{\circ}\text{C}$ verwendet werden um $\eta_{\text{sys}} > 20\%$ zu erreichen?

Ziele und Meilensteine

- 10 kW Prototypen Receiver-Systeme, gebaut und für alle Fluide getestet
- Bewertung der Degradationsauswirkungen auf Strukturmaterialien für alle HTM
- Systemmodellierung, um die Leistungsfähigkeit und das Betriebsverhalten zu verstehen, und die vielversprechendsten Optionen auszuwählen
- Entwurf und Test einer 100 bis 500 kW Pilotinstallation im STJ

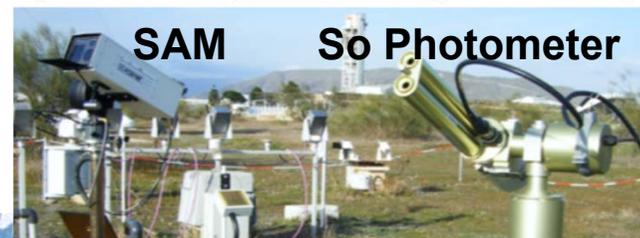
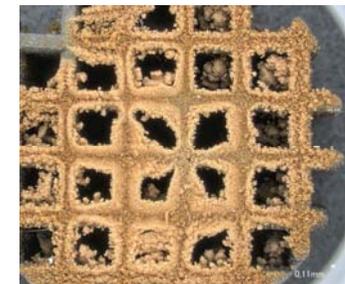
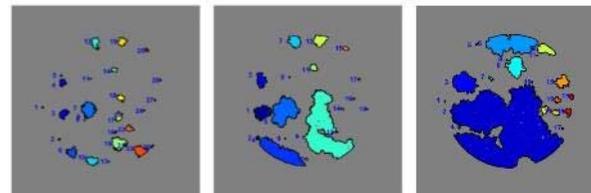
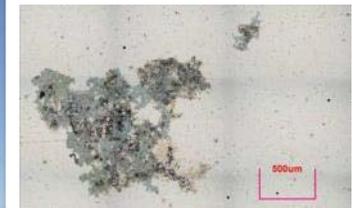


Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Bisherige Ergebnisse

- Charakterisierungsmethoden entwickelt und an 10 verschiedenen Wüstenstandorten installiert
- Accelerated Aging-Verfahren für Aluminium-Reflektoren entwickelt
- Sunshape Bewertungssystem entwickelt
- Auswirkungen von Staub auf Hochtemperatur-Keramik untersucht



Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Ziele und Meilensteine

- Einfluss von Aerosolen auf optische Effizienz der Anlage basierend auf standort-spezifischen Sunshape und Extinktionsdaten erforschen

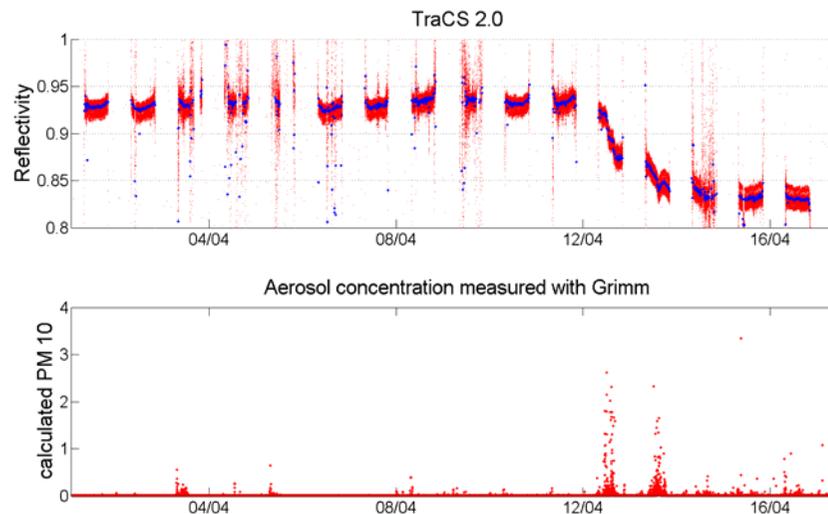


Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Ziele und Meilensteine

- Einfluss von Aerosolen auf optische Effizienz der Anlage basierend auf standort-spezifischen Sunshape und Extinktionsdaten erforschen
- Quantifizierung von Verschmutzungseffekten

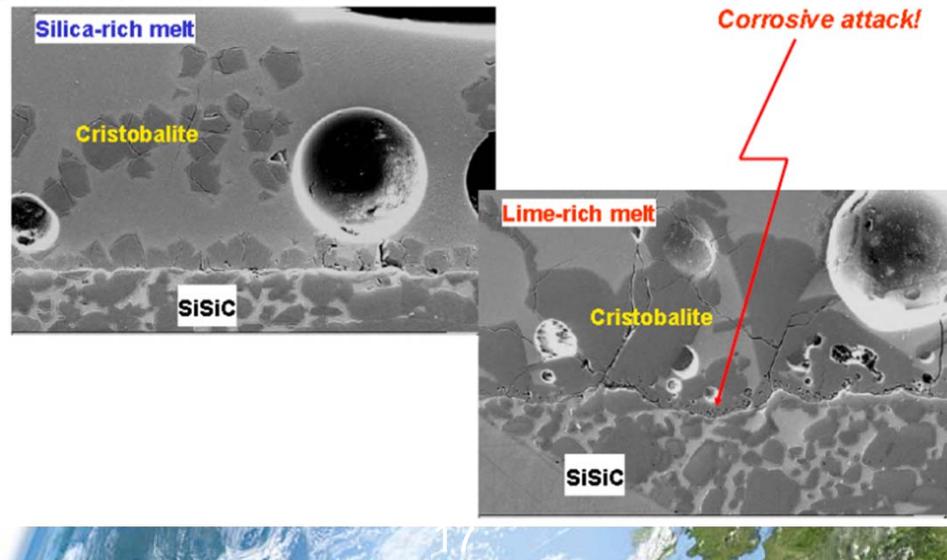


Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Ziele und Meilensteine

- Einfluss von Aerosolen auf optische Effizienz der Anlage basierend auf standort-spezifischen Sunshape und Extinktionsdaten erforschen
- Quantifizierung von Verschmutzungseffekten
- Auswirkungen von Staub auf Abrieb und Korrosion der Strukturwerkstoffe

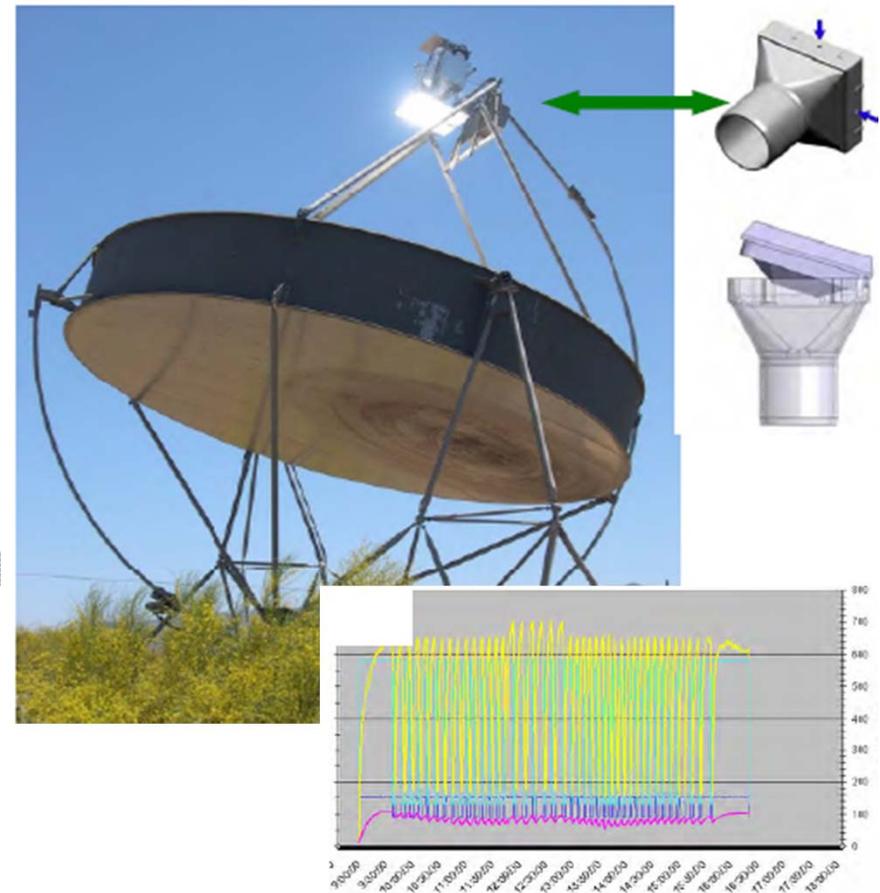


Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Ziele und Meilensteine

- Einfluss von Aerosolen auf optische Effizienz der Anlage basierend auf standort-spezifischen Sunshape und Extinktionsdaten erforschen
- Quantifizierung von Verschmutzungseffekten
- Auswirkungen von Staub auf Abrieb und Korrosion der Strukturwerkstoffe
- Beschleunigte Alterungsmethoden der Umgebung ausgesetzter Receiverwerkstoffe

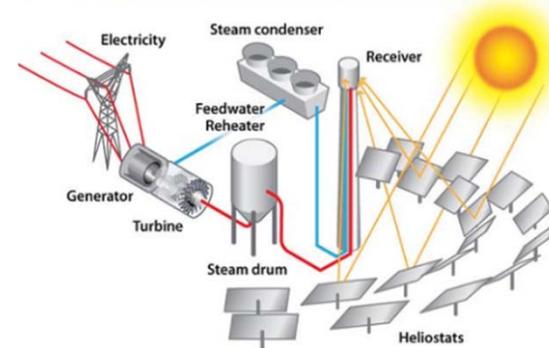


Umwelteinflüsse an Wüstenstandorten

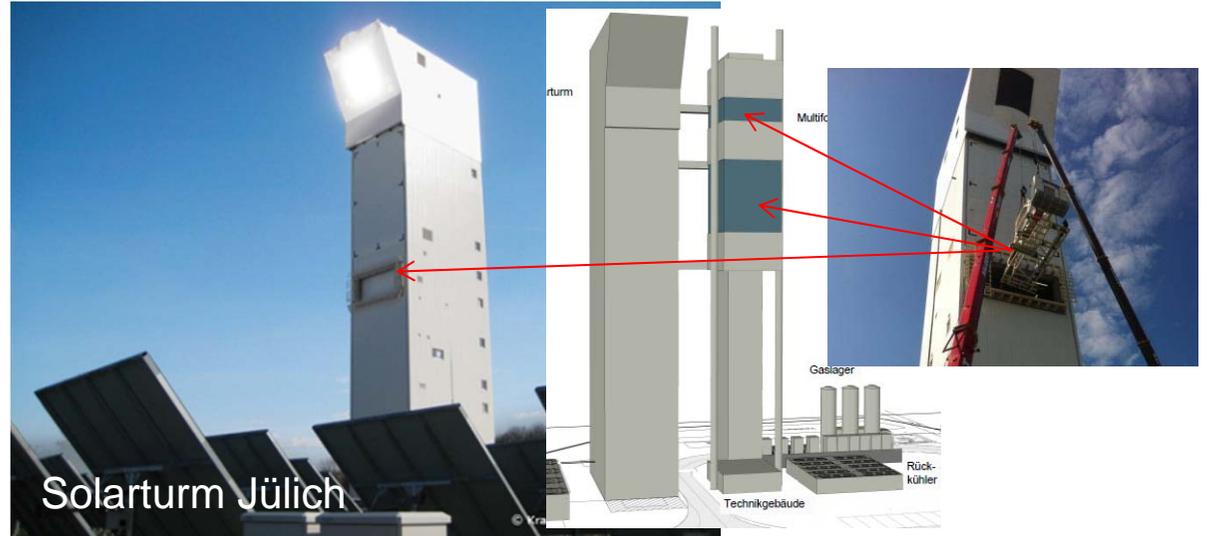
Ist das Konzept geeignet um für > 20 Jahre in einer Wüstenumgebung betrieben zu werden?

Ziele und Meilensteine

- Einfluss von Aerosolen auf optische Effizienz der Anlage basierend auf standort-spezifischen Sunshape und Extinktionsdaten erforschen
- Quantifizierung von Verschmutzungseffekten
- Auswirkungen von Staub auf Abrieb und Korrosion der Strukturwerkstoffe
- Simulationsmodell das den Einfluss von Verschmutzung und Degradation auf die Anlageneffizienz berücksichtigt



Forschungsinfrastruktur



Zusammenarbeit

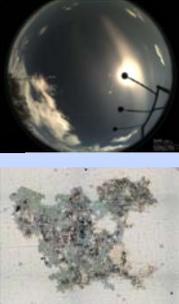
Thema: Wärmespeicher (TT-TPT)

- Salzschnmelze Zusammensetzung und Degradation
- Flüssig-Metall-Speicher Integration
- Partikel Wärmetauscher



CIEMAT

- Meteorologische Analyse
- Lebensdauer von Schlüsselkomponenten



Thema: Methoden für die Materialentwicklung (WF, FZJ, KIT)

- Korrosion und Abbau Strukturmaterialien bei hoher Temperatur



NREL

- Atmosphärische Abschwächung
- Verschmutzungen auf Komponenten
- Modellierung von Spiegel Korrosion



Systemanalyse TT-STB

- Wert der Wärmespeicher im Energiesystem in verschiedenen Szenarien



Sandia

- Partikel-Receiver Entwicklung
- Receiver Simulationstools
- Analyse des Partikelabriebs



Was sagen die Gutachter zu unserem Vorschlag:

- The panel rates the quality of the research as **world leading**. DLR has the **preeminent position** in the world in CSTT development community, and also the expertise of KIT in liquid metal technology is **excellent**.
- The centres are **addressing the right questions**
- The plans for the POF III activities are **perfectly aligned** with the research needs in the field, and the funds allocated to the activities seem to be appropriate
- DLR and KIT bring the **necessary critical mass** and **range of disciplines** to this work, helped in a very significant way by the third-party industry funding levels double those of this program
- **Education, training and recruitment programs** (including joint professorships, post-docs, and more than 30 PhD candidates from 4 countries) are **excellent**.
- CSTT management at DLR has long-term experience in CSTT technology development, and the thoroughness of the proposal and associated briefings at this review **attest** to that **management quality**.
- **Cooperation and outreach programs** with IEA SolarPACES, Sandia, NREL, CIEMAT/PSA, and numerous universities and industry partners are **truly world class** and substantially strengthen the program.
- By one measure, **DLR is the leader** in **worldwide CSTT publications** by a considerable margin



DLR Center of Excellence 2014 -2016

Kriterien

- wissenschaftlich-technische Exzellenz
- instituts- und programmübergreifende Aktivitäten,
- die Schaffung von Synergien außerhalb des eigenen Fachgebietes
- Sichtbarkeit der Forschungsaktivitäten

Nachgewiesen in den letzten drei Jahren

Sieger: DLR Center of Excellence für Hochtemperatur-Solarturm-Technologie

- SF: Solarturmkraftwerke, Qualifizierung, Hochtemperatur Thermochemische Kreisprozesse zu Brennstoffherzeugung
- TT: Thermische und thermochemische Energiespeicher
- VT: Solarisierte Gasturbinenkonzepte
- WF: Hochtemperaturwerkstoffe

2 Preisträger in 2013: Dotiert mit je 375 T€



**Damit können wir beitragen die Kosten von
konzentrierenden Solarsystemen langfristig deutlich
zu senken**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

