

Keramische Partikel als Wärmeträger der nächsten Generation in Solarturmanlagen

17. Kölner Sonnenkolloquium

5.6.2014

Lars Amsbeck

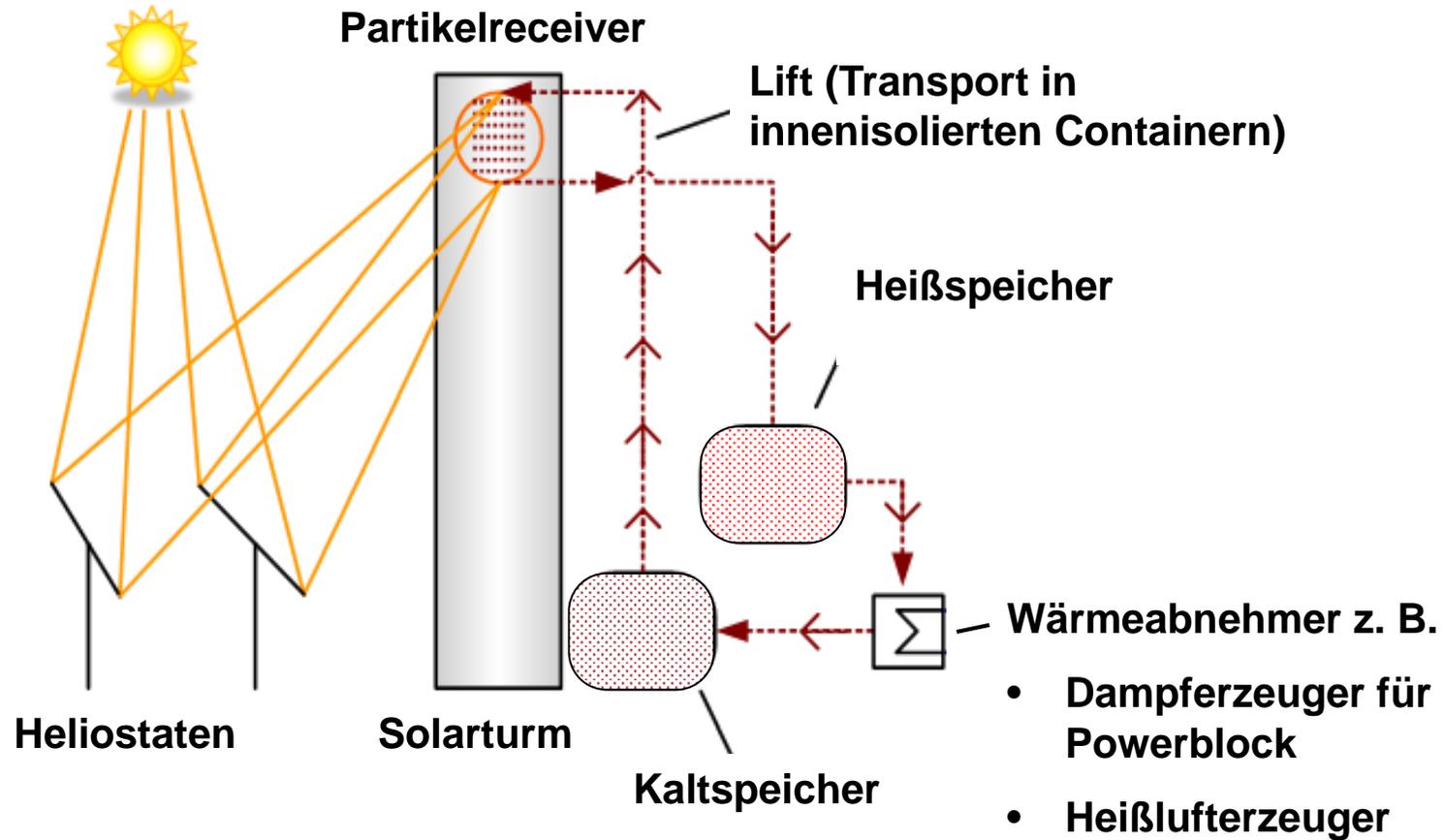


Warum Partikelreceiver?

- bis min. 1000° C einsetzbar
- Direktabsorption ermöglicht hohe Wirkungsgrade und Leistungsdichten
- Direktkontaktwärmeübertragung auf Luft möglich
- Hohe Temperaturspreizungen möglich, dadurch kleine Speichergrößen
- Druckloser Receiver und Speicher
- Keine Erstarrungs-, Zersetzungs- oder Korrosionsproblematik
- Sintern und Abrieb erscheinen beherrschbar
- geringe Parasitics



Partikelreceiver- System



Partikel

- Verwendung in der Ölindustrie zum Offenhalten von Rissen nach hydraulischer Risserzeugung in Bohrlöchern (Proppants, für „Fracking“)
- In Studien von SANDIA als geeignet identifiziert
- Gesintertes Bauxit, Eisenanteil bewirkt Schwarzfärbung
- Kosten ca. 0.5-1 €/kg
- $d=250\mu\text{m}$ bis 1.8mm kommerziell verfügbar
- bis 1000°C keine Agglomeration auch im Partikelbett mit hohen Schütthöhen und Feinanteil
- Rundheit > 0.9
- Thermoschockbeständigkeit sehr hoch
- Alterung (Absorption nimmt mit der Zeit leicht ab)



Vergleich Speicherkapazitäten

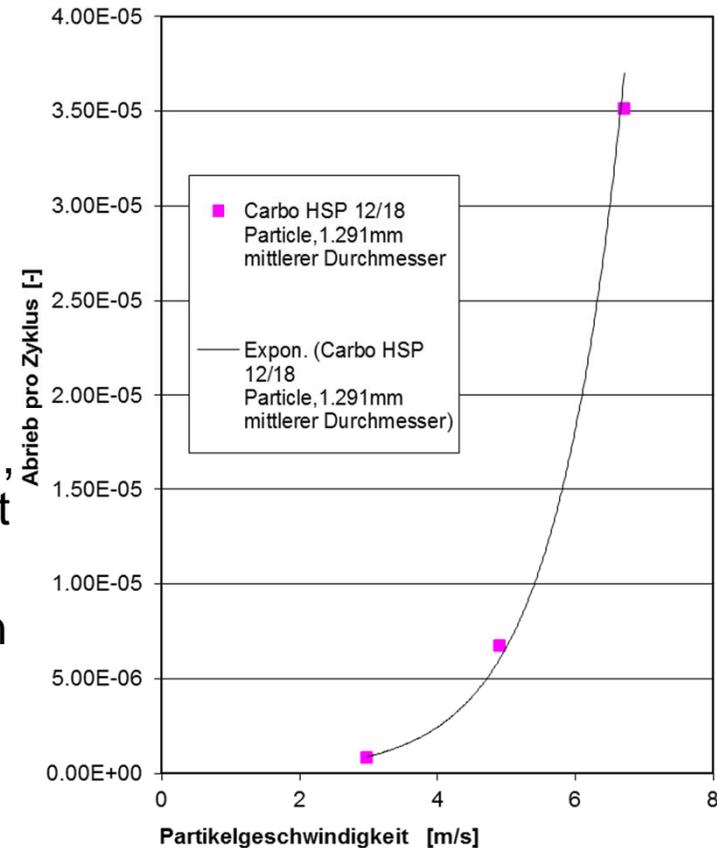
	Spezifische Wärme [kJ/kg]	Masse pro kWh [kg/kWh]	Volumetrische Speicherkapazität [kWh/m ³]	Materialkosten pro kWh bei 1 €/kg [€/kWh]
Solar Salt (60%NaNO ₃ ,40%KNO ₃) T = 288°C - 565°C	446	8.1	204	8.1
Gesintertes Bauxite, T = 288°C - 565°C	314	11.5	175	11.5
Gesintertes Bauxite, T = 200°C - 800°C	694	5.2	385	5.2



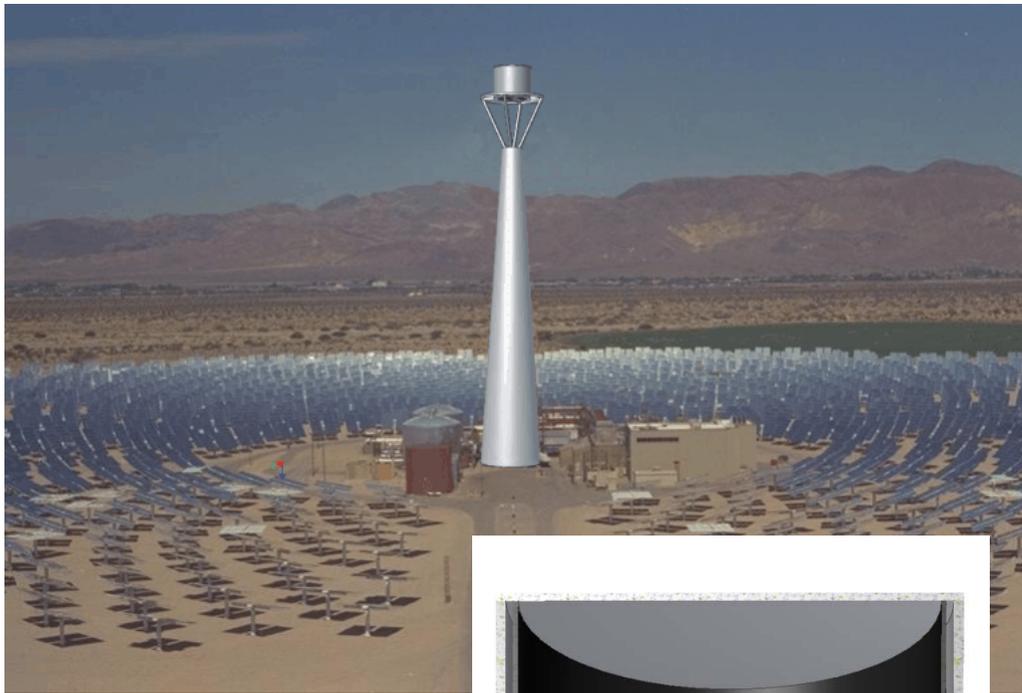
Abrieb

- Hauptquelle für Abrieb: Prall der Partikel
- Messungen mit Fallstrecken zeigen eine Staubentwicklung von ca. 5ppm vom Massenstrom im Bereich 4m/s
- Damit Staubentwicklung 25g/MWh_{th} (pro ~5t Partikel), Kosten von 0.025€/MWh_{th} für das Nachfüllen der Partikel sind vernachlässigbar
- Geringe Datenbasis mit großen Messfehlern, endgültigen Aufschluss gibt nur ein Systemtest mit ausreichender Laufzeit
- Schutz der Komponenten an hochbelasteten Stellen durch Einfangen einer Partikelschicht auf einer aufgerauten Oberfläche („Selbstschutz“)

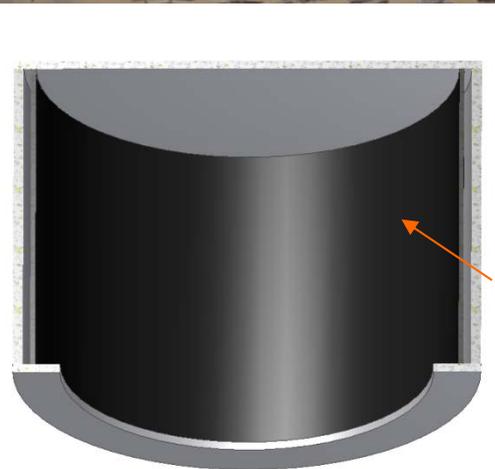
Abrieb pro Zyklus im Abhängigkeit von der Partikelgeschwindigkeit



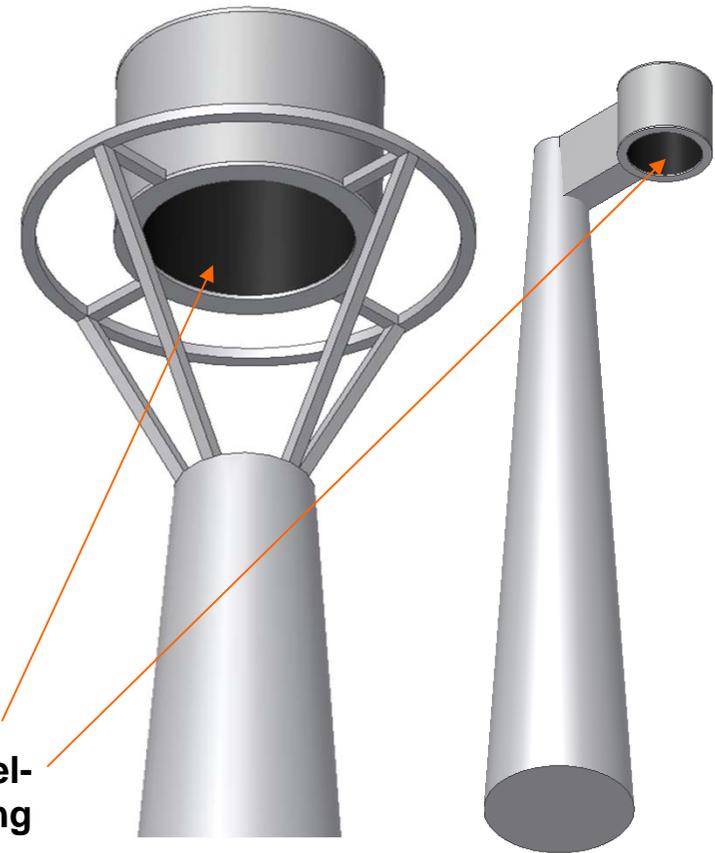
Fallfilm-Receiver



Horizontale Öffnung zur Reduzierung der Konvektionsverluste und Windeffekte

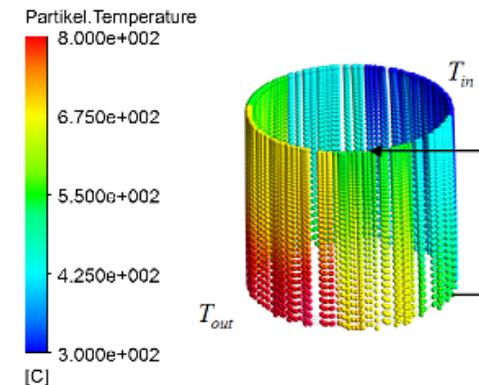
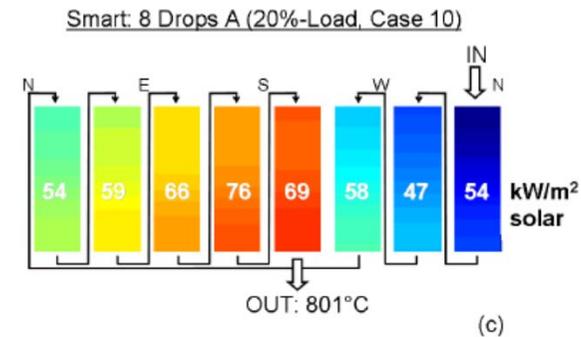
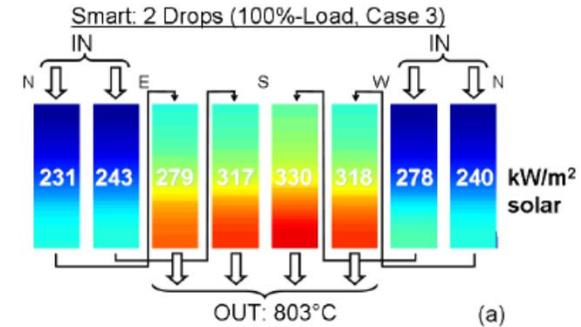


Partikelvorhang

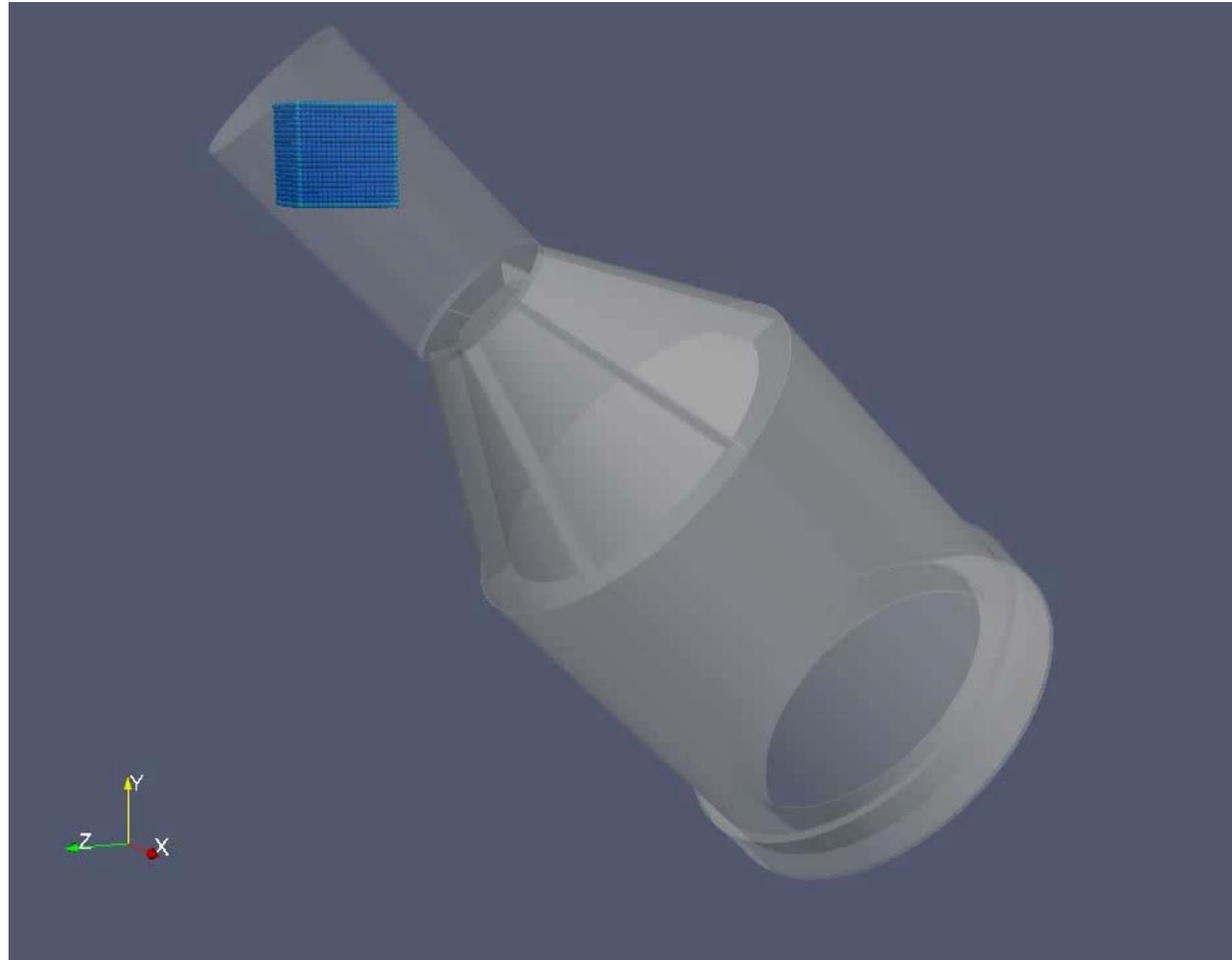


Fallfilm-Receiver Rezirkulation

- Rezirkulation der Partikel zur Anpassung der Aufenthaltszeit an unterschiedliche Einstrahlleistungen durch Aufteilung des Vorhanges und serielles Durchlaufen der Vorhänge
- Partikelvorhang bleibt immer dicht ⇒ reduzierte Verluste in Teillast
- CFD-Modell mit Raytracer gekoppelt zeigt 91% Wirkungsgrad bei Partikelerwärmung von 300° C auf 800° C bei 1.1MW/m2 mittlerer Konzentration in der Apertur mit 3 Rezirkulationen



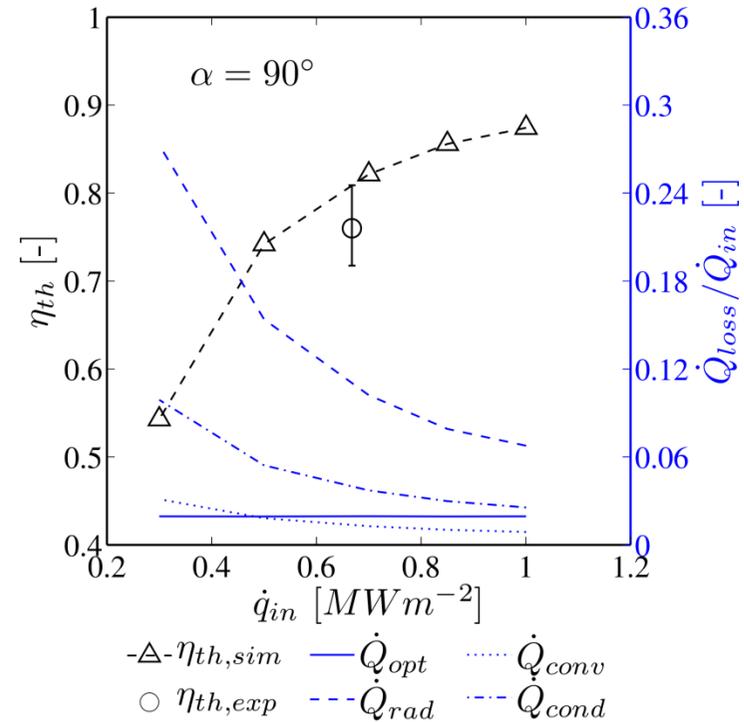
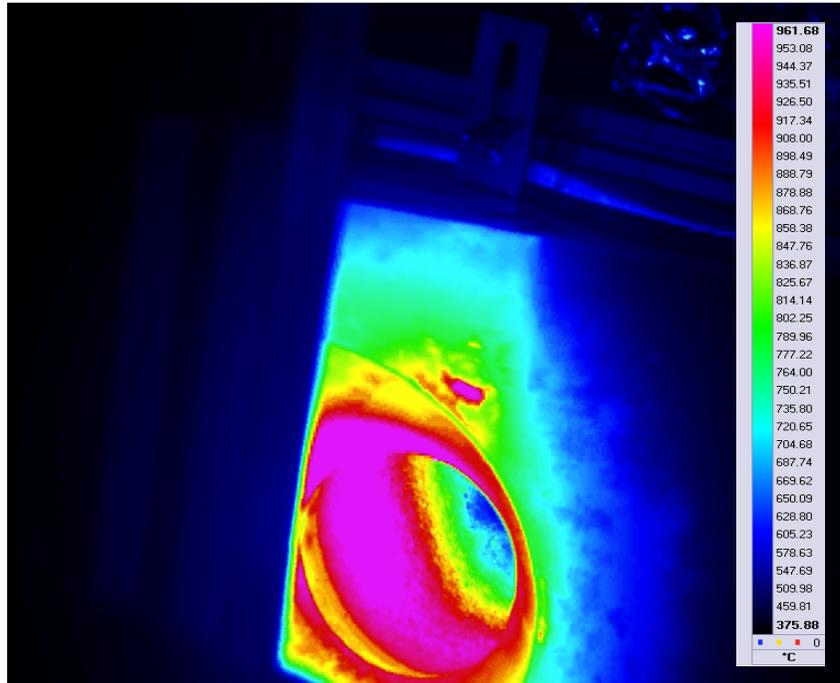
Funktionsprinzip Zentrifugal-Partikelreceiver (CentRec)



CentRec-Tests in Laborgröße



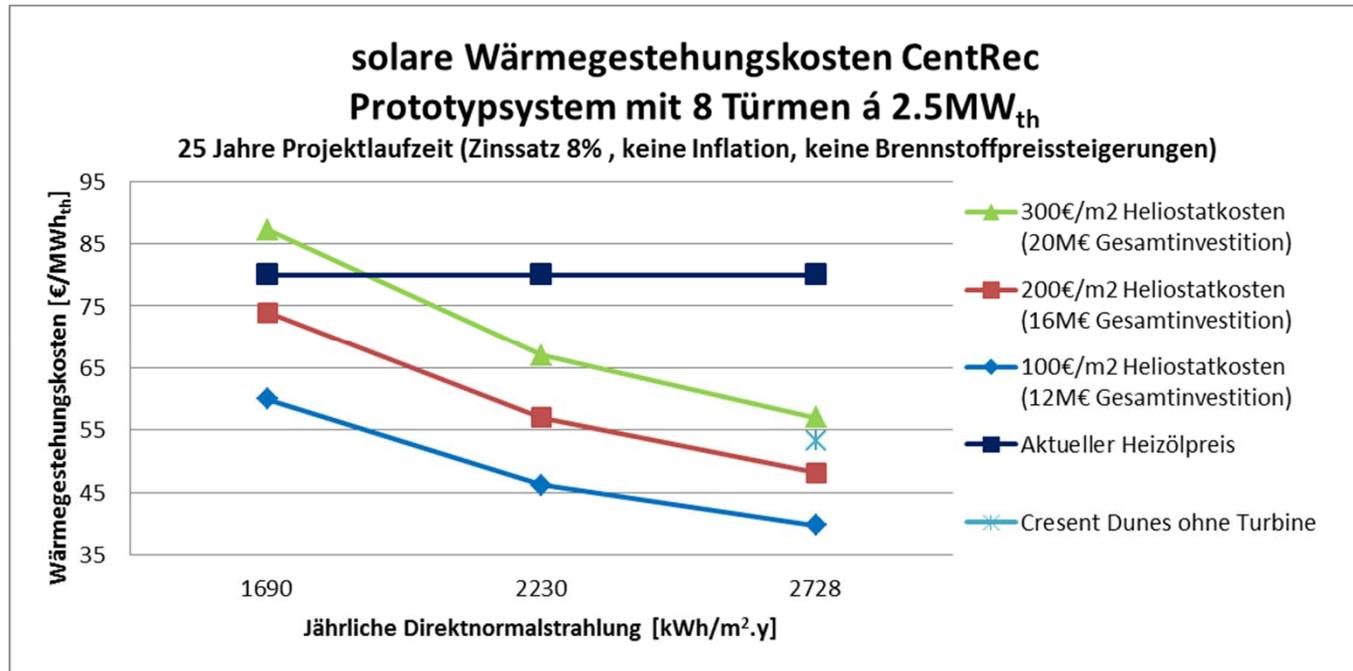
Messergebnisse CentRec



- 900° C Partikelaustrittstemperatur bei ca. 10kWth erreicht
- Gemessener Wirkungsgrad $75 \pm 4\%$ bei ca. 700kW/m² mittlerer Konzentration in der Apertur, bei 2.5MW/m² > 90% prognostiziert
- Spreizung in der Partikelaustrittstemperatur <50° C



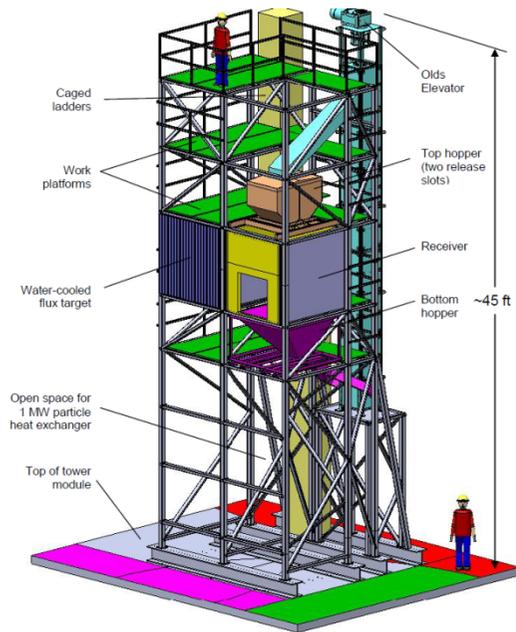
Anwendung für Hochtemperatur-Prozesswärme



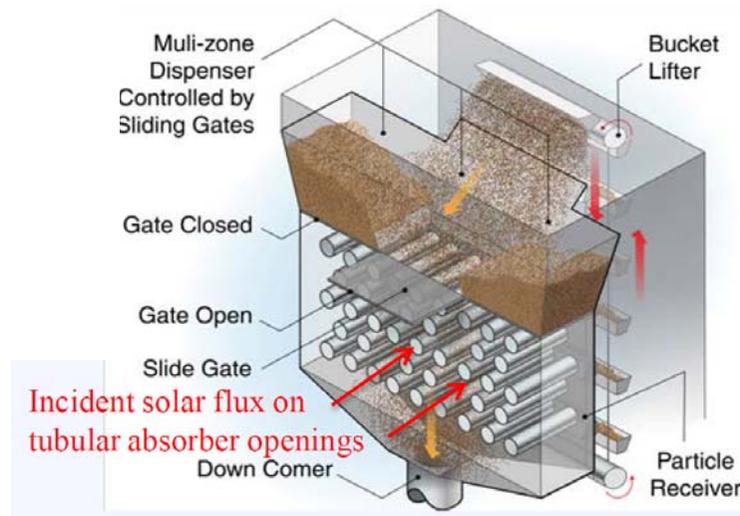
- Systemauslegung für ein Gipskartonplattenwerk mit 6.2MW_{th} Grundlastbedarf (700° C Heißluft) in Zusammenarbeit mit Grenzebach zeigt Konkurrenzfähigkeit gegenüber flüssigen Brennstoffen
- Hoher Systemwirkungsgrad (>50%), geringe Systemkosten durch hohe Leistungsdichte, geringe Parasitics



Aktuelle Partikelreceiver-konzepte anderer Gruppen



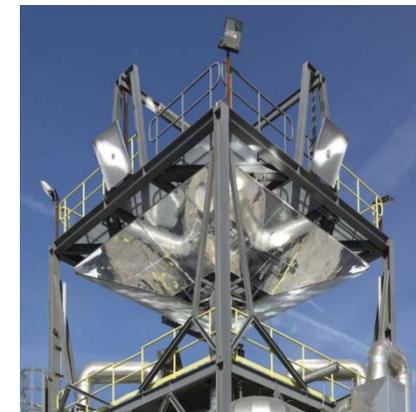
Fallfilmreceiver
Sandia



Indirekt beheiztes Fließbett
NREL



Indirekt beheiztes
Fließbett in Rohren
PROMES-CNRS

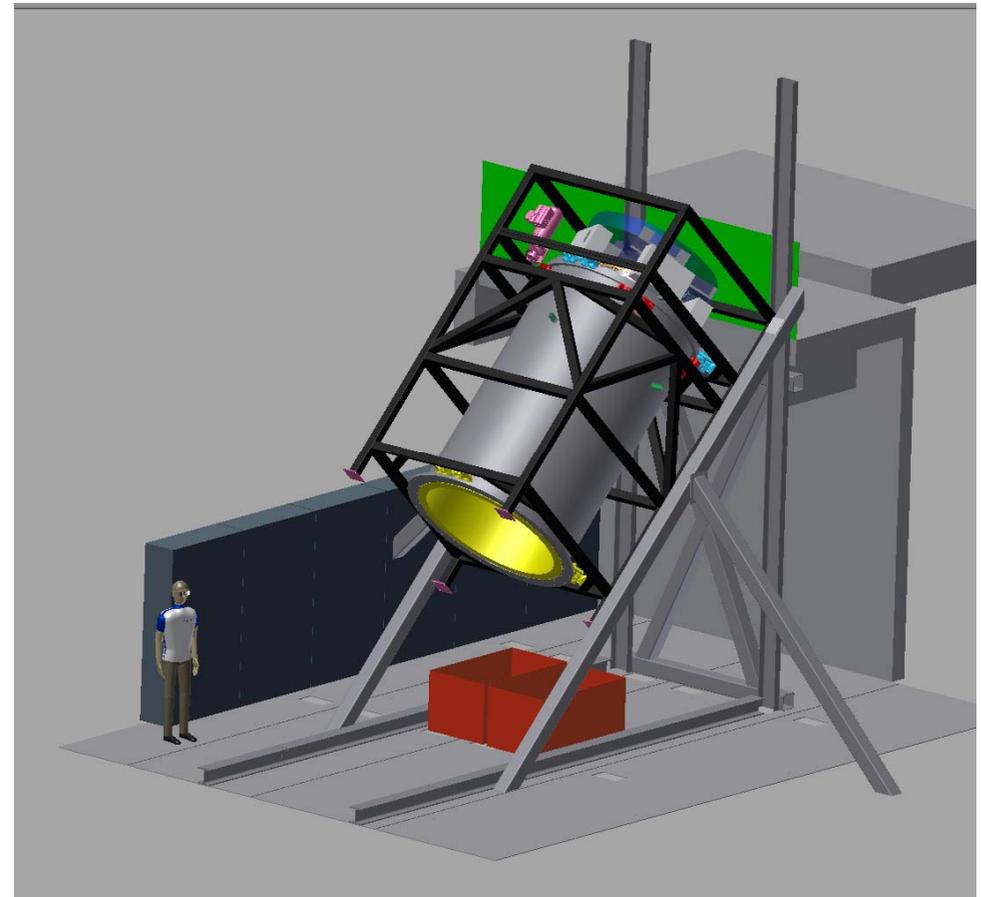


Direktbestrahltes Fließbett
Magaldi Industrial Group



Ausblick

- Aktuell Konstruktion und Fertigung eines Zentrifugalreceivers mit 1m^2 -Apertur
- Tests mit elektrischem Heizstrahler in 2014 geplant (100kW_{el})
- solare Tests im Solarturm Jülich bis 500kW_{th} angestrebt: Herbst 2014
- Analyse von Zielmärkten geplant (Hybridisierung von Dampfkesseln, Trocknern und sonstigen industriellen Feuerungen, Vorwärmung des Ausgangsmaterials für Lichtbogenöfen, etc.)



15 / 4.6.2019

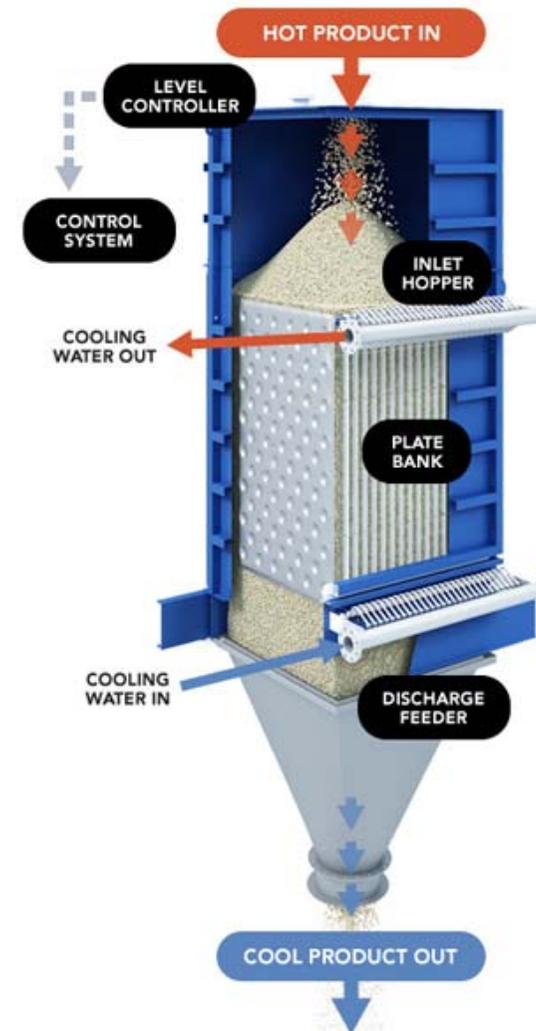
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: lars.amsbeck@dlr.de



Mögliche Anwendungen Stromerzeugung

- Einblasen von solar erhitzter Luft in Dampferzeuger in Öl-/Kohle-/Gaskraftwerken (Fuel Saver)
- Partikel-Dampferzeuger (70bar/ 280°C kommerziell verfügbar, für Dampfturbinen in Entwicklung bei TT)
- In Dampfturbinen sind in großen überkritischen Blöcken auch Wirkungsgrade >50% möglich
- Einkopplung in Gasturbinen über indirekte keramische HX oder Direktkontakt mit Schleusensystem
- weiterentwickelte Gasturbinen mit Zwischenkühler und Rekuperator können Wirkungsgrad > 50% ohne Wasserverbrauch erreichen



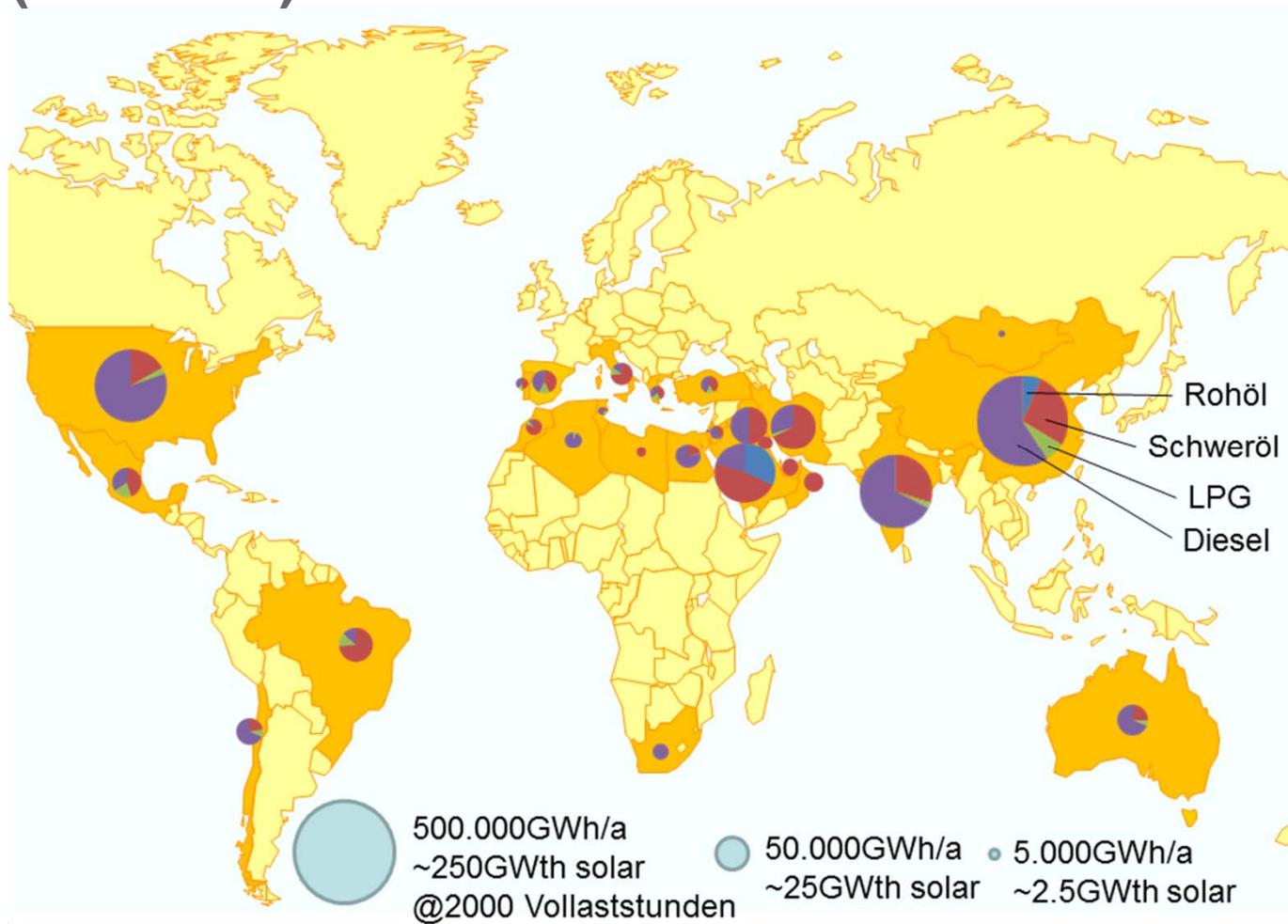
Mögliche Anwendungen Prozesswärme

- Hybridisierung/Solarisierung von industriellen Feuerungen durch solar erhitzte Verbrennungsluft
 - Industriedampferzeuger
 - Raffinerien, chemische Industrie
 - Eisen- und Stahlindustrie
 - Grundstoffindustrie (Zement, Magnesia, Branntkalk, Aluminiumoxid, ...)
 - Glasherstellung / -Verarbeitung
 - Keramikherstellung (Ziegel, Haushaltskeramik, Refraktärkeramik,...)
 - Nahrungsmittelindustrie
 - Papier- und Holzindustrie
 - Metallverarbeitung (Gießereien, Warmumformung etc.)

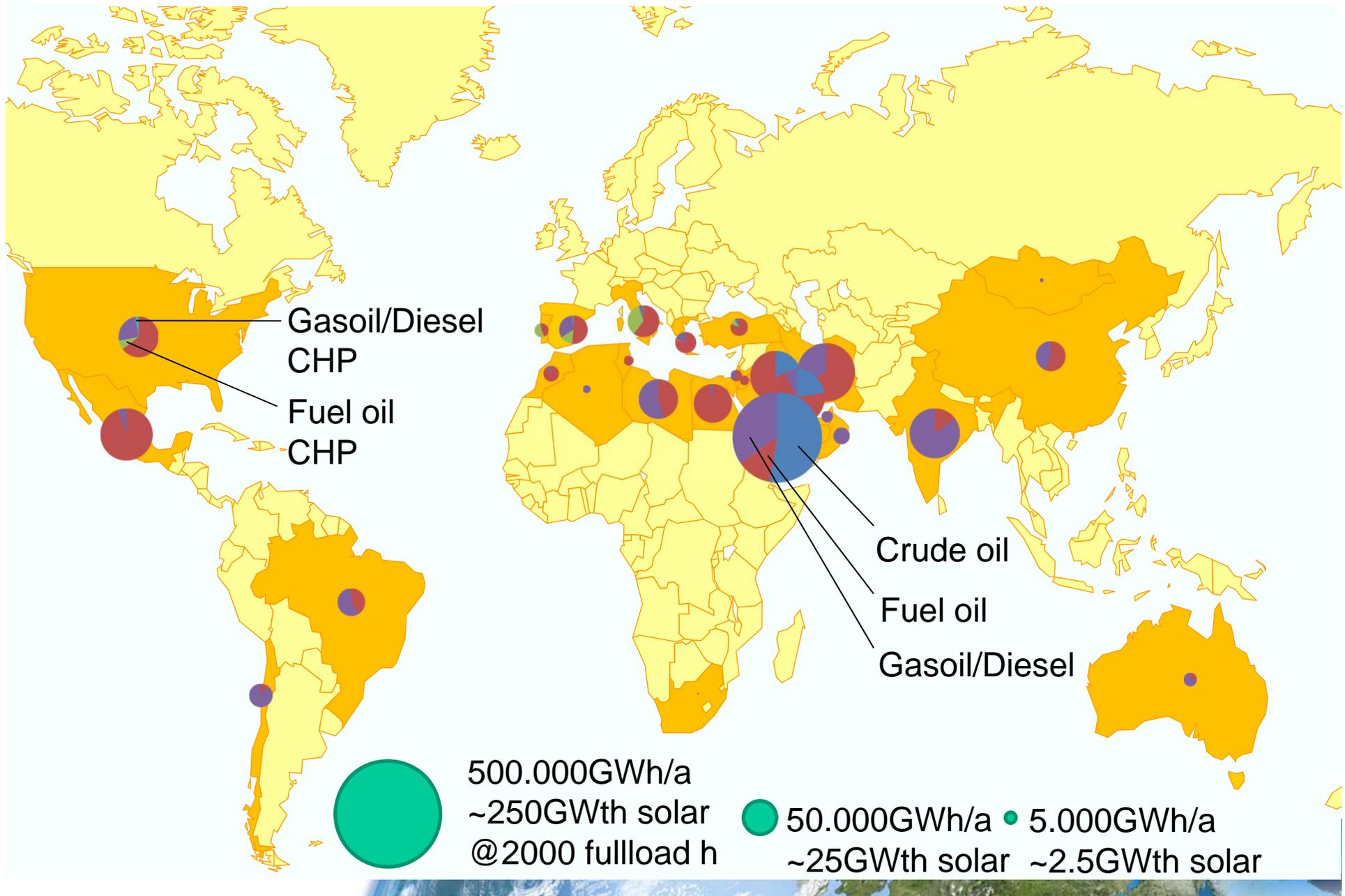
- Solar fuels: thermochemische Kreisprozesse, kontinuierlicher Betrieb



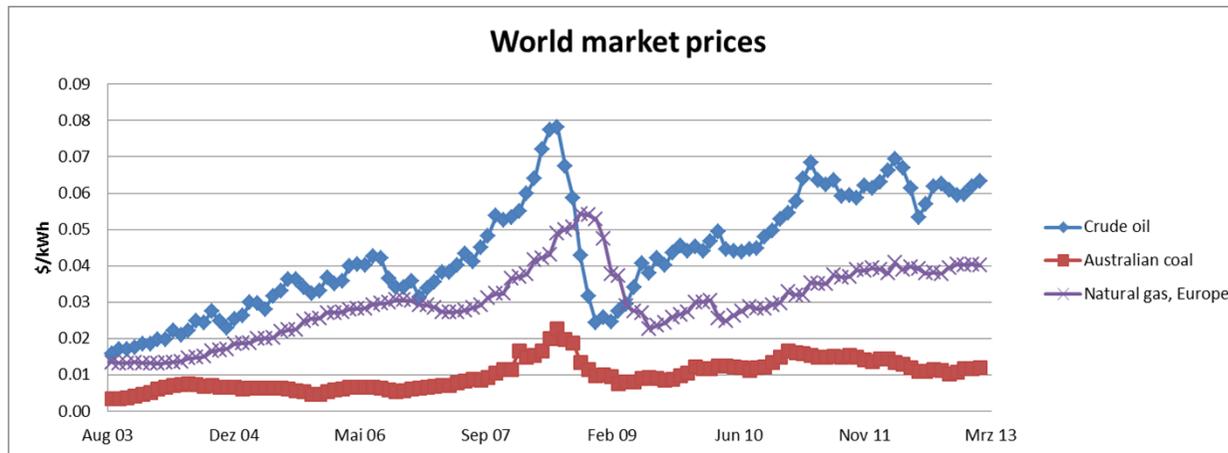
Verbrauch flüssiger Brennstoffe in der Industrie (IEA 2009)



Liquid fuel use in electricity plants in sunbelt countries (IEA 2009 d)



Wirtschaftlichkeitsabschätzung



- Weltmarktpreise + Raffineriekosten + Steuern + Transportkosten ergeben Preise für flüssige Brennstoffe, bei denen CSP unsubventioniert konkurrieren kann (deshalb z.B. das große CSP-Bauprogramm in Saudi-Arabien)
- z.B. aktueller durchschnittlicher Heizölpreis in Deutschland: 0.867€/l entspricht bei 10.34kWh/l Brennwert 0.084€/kWh

