

Turmsysteme mit flüssigen Medien

Sonnenkolloquium 19.Mai 2015, Köln

R. Uhlig
Solar Research
German Aerospace Center (DLR)



Wissen für Morgen



Solarturmkraftwerke

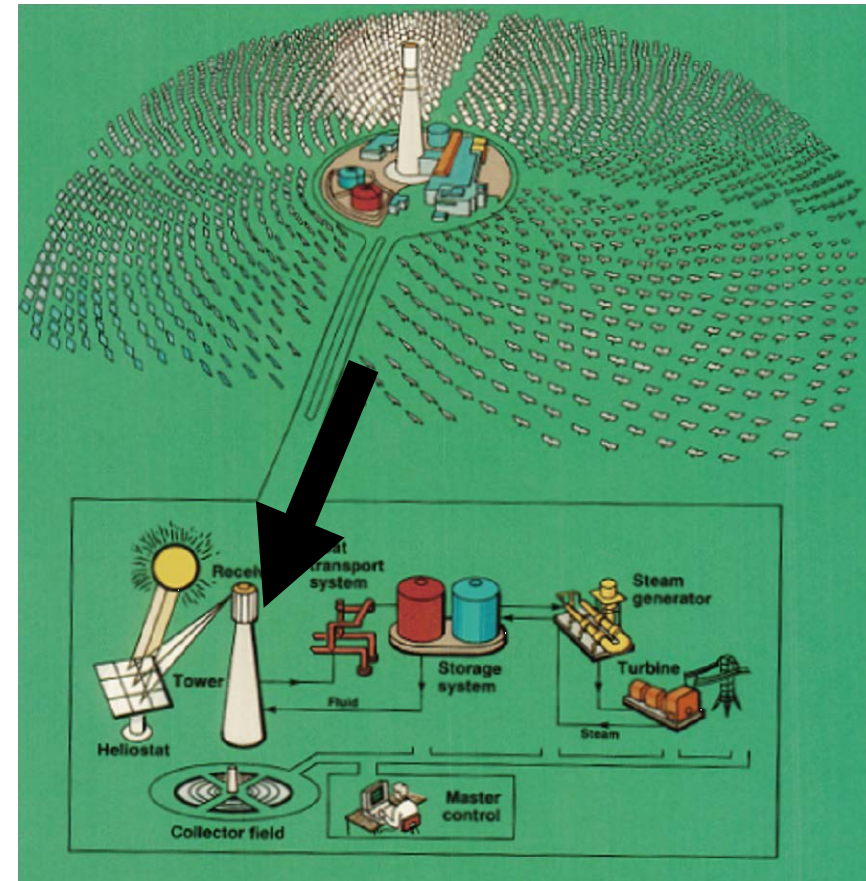
- Heliostatenfeld
- Turm mit Receiver
- Wärmeträgerkreislauf
- Thermischer Energiespeicher
- konventioneller Kraftwerksblock
- Gesamtleistung Solarturmkraftwerk

$$P_{sys} = DNI \cdot A_F \cdot \eta_{HF} \cdot \eta_{Rec} \cdot \eta_{HTF} \cdot \eta_{St} \cdot \eta_{PB}$$

**Optimierung zukünftiger Solarturm-Kraftwerke
im Gesamtsystem unter Berücksichtigung
aktueller Technologie-Entwicklungen**

→ bessere Performance & geringere LCOE

$$LCOE = \frac{\text{total annual cost}}{\int_{t_0}^{t_{end}} P_{sys,el} dt} [EUR / kWh]$$



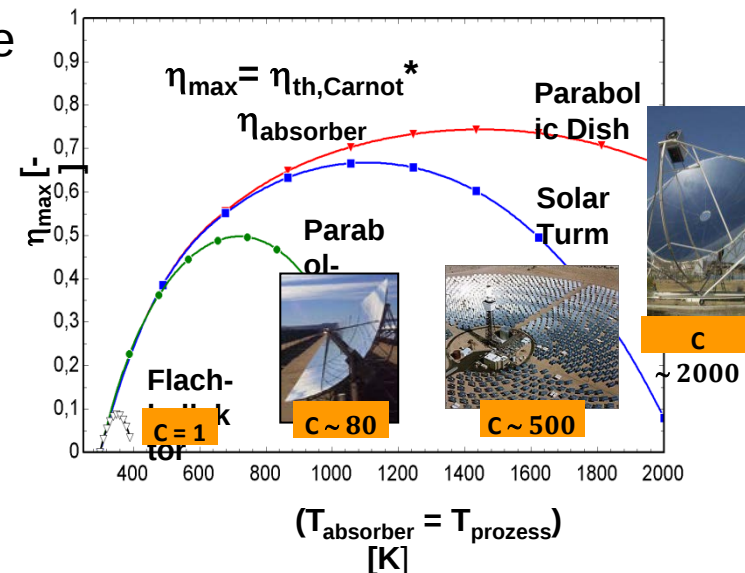
Beispiel: Salzturm-Anlage

Optionen zur weiteren Kostenreduktion

- Kostenreduktion durch Up-scaling
- Kostenreduktion durch Massenproduktion → z.B. Heliostate
- Kostenreduktion durch Weiterentwicklung von Komponenten
- Kostenreduktion durch höhere Effizienz der Kreisprozesse:
 - Moderate Erhöhung der Prozesstemperatur
(Receiver Temperatur 600°C bis 700°C)
 - Moderne Dampfprozesse (600°C/620°C)
 - Überkritische CO₂ Prozesse (bis 700°C)
 - Signifikante Erhöhung der Prozesstemperaturen
(Receiver Temperatur > 900°C)
 - Gasturbinen-Prozesse und GuD Prozesse
- Erhöhung des Receiver Wirkungsgrades

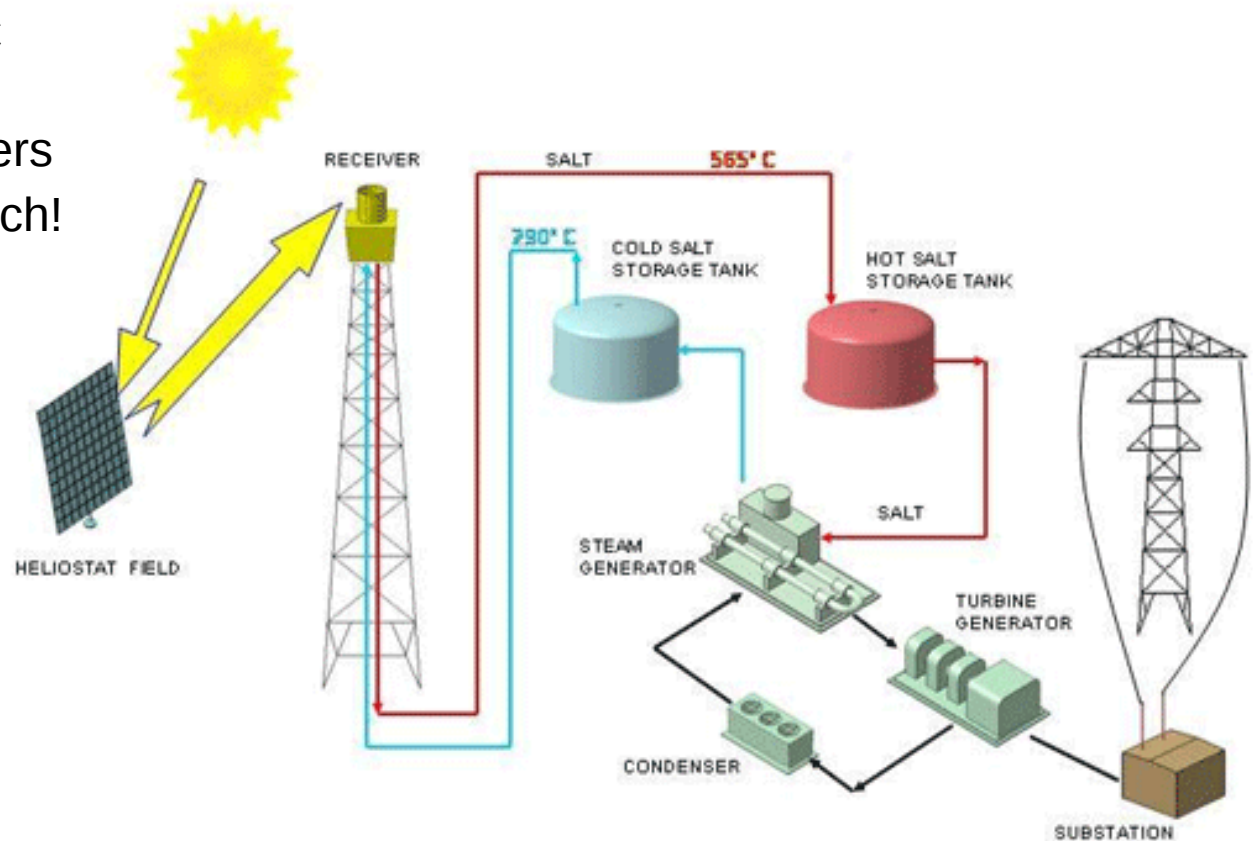
aber:

$$LCOE = \frac{\text{Kosten}}{\text{Ertrag}} [EUR / kWh]$$

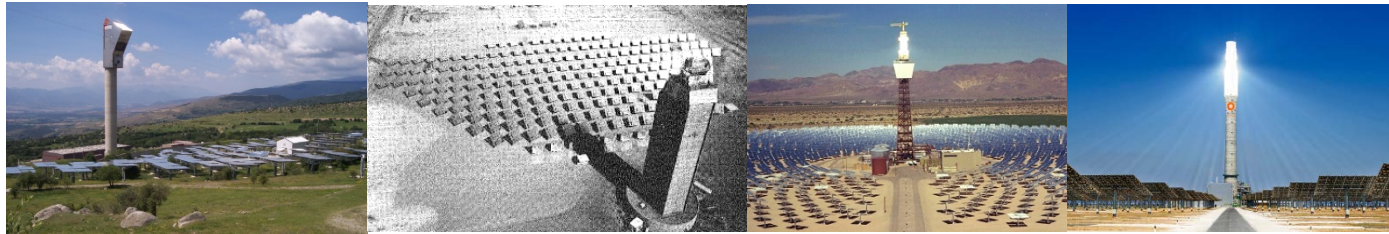


Flüssigsalz

- Mischung aus Nitrat-Kaliumsalzen
- Niedrige Kosten → Wärmeträger- und Speichermedium in einem
- Temperaturen bis ca. 565°C → überhitzter Dampf
- Guter Wärmeübergang
- Einfrieren unterhalb 220°C
 - Begleitheizung
 - Entleeren des Receivers
- Temperaturen > 585° kritisch!
(Zersetzung → Korrosion)



Receiver-Anlagen mit Salzschnmelze



	Thémis (1983-1986)	MSEE (1985)	Solar Two (1996-1999)	Gemasolar (2011 bis heute)
Standort:	Targassonne (Frankreich)	Albuquerque (New Mexico)	Daggett (California)	Sevilla (Spanien)
Design:	CNIM	Martin Marietta	Rocketdyne	SENER/CIEMAT
Projekttyp:	Demonstration	Demonstration	Demonstration	Kommerziell
Nennleistung:	9 MW _{th}	5 MW _{th}	42.2 MW _{th}	120 MW _{th}
Wärmeträger:	Hitec	Solar Salt	Solar Salt	Solar Salt
Receivertyp:	Kavität	Kavität	Extern	Extern



Ausblick kommerzielle Anlagen

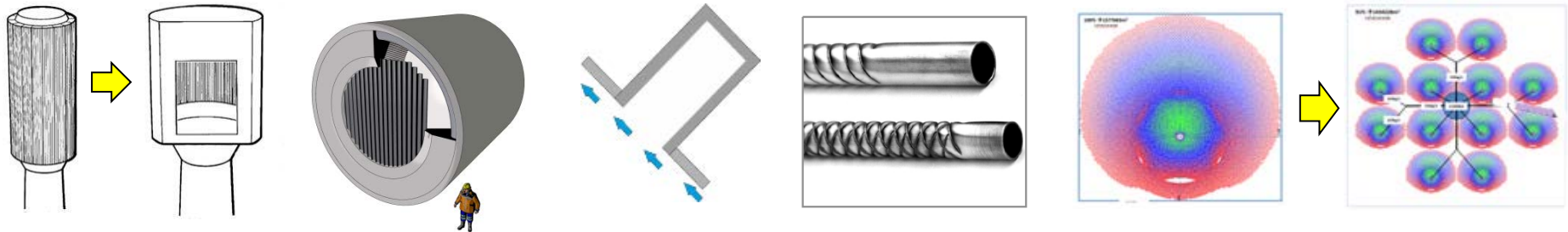


	Crescent Dunes	Cerro Dominador	Supcon Solar
Status:	Baubeginn April 2011	Baubeginn Mai 2014	Im Bau
Standort:	Tonopah, Northern Nevada	Calama, Chile	Delingha, China
Design:	SolarReserve	Abengoa	Supcon Solar
Nennleistung:	110 MW _{el}	110 MW _{el}	50 MW _{el}
Wärmeträger:	Solar Salt	Molten Salt	Molten Salt
Receivertyp:	Extern	Extern	Extern



Potential Flüssigsalz Systeme

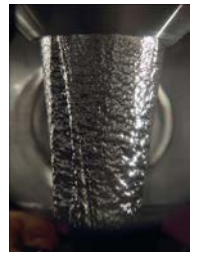
- 1) Erhöhung der oberen Salztemperatur → Höhere Kraftwerkswirkungsgrade
 - Korrosion → Materialaufwand / Betriebsführung → Kosten? LCOE entscheidet!
- 2) Steigerung Receiverwirkungsgrad:
 - Verbesserte Beschichtungen (höhere Absorptivität, selektive Beschichtungen)
 - Reduktion der Verluste (Wind, Abstrahlung)
 - Cavity / Face down Receiver
 - Transparente Abdeckungen, Luftvorhang, Vorbauten
 - Erhöhung des Wärmeübergangs (z.B. durch strukturierte Rohre)
- Reduktion der Verluste durch Pumpen (Rückgewinnung hydrostatischer Druck)
- Verbesserung der Betriebsführung (Anfahrzeit, Regelung, Wolkendurchgang)
- Multitower vs. Single Tower → Verbesserte Performance geringeres Risiko



- 3) Reduktion der Receiverkosten (Vereinfachung, Reduktion Größe, Serienfertigung)



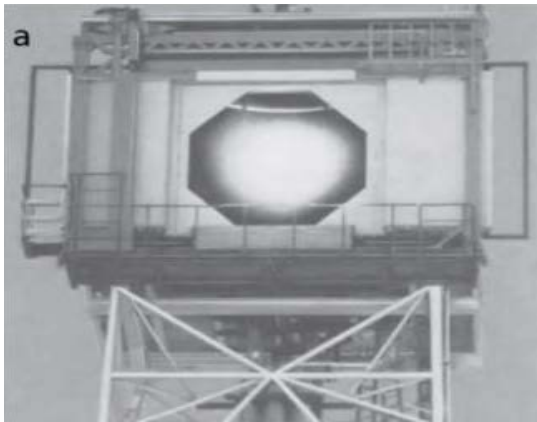
Motivation für die Nutzung von Flüssigmetallen



Receiver Test's in den
80'er in Almeria, Spanien

„Industriestandard“ ist heute
der Salzturm

Zukunft?



Aufgrund eines Feuers im
Zusammenhang mit einem
Natriumreceiver wurde die
Weiterentwicklung
gestoppt.

- Temperaturbegrenzung
 - Schmelzpunkt: 220°C
 - Einsatzgrenze: 585°C
- Korrosionsprobleme

Weitere Kostenreduktion:

- Komponentenkosten
- Steigerung Wirkungsgrad

Flüssigmetalle könnten zur
Wirkungsgradsteigerung
beitragen.

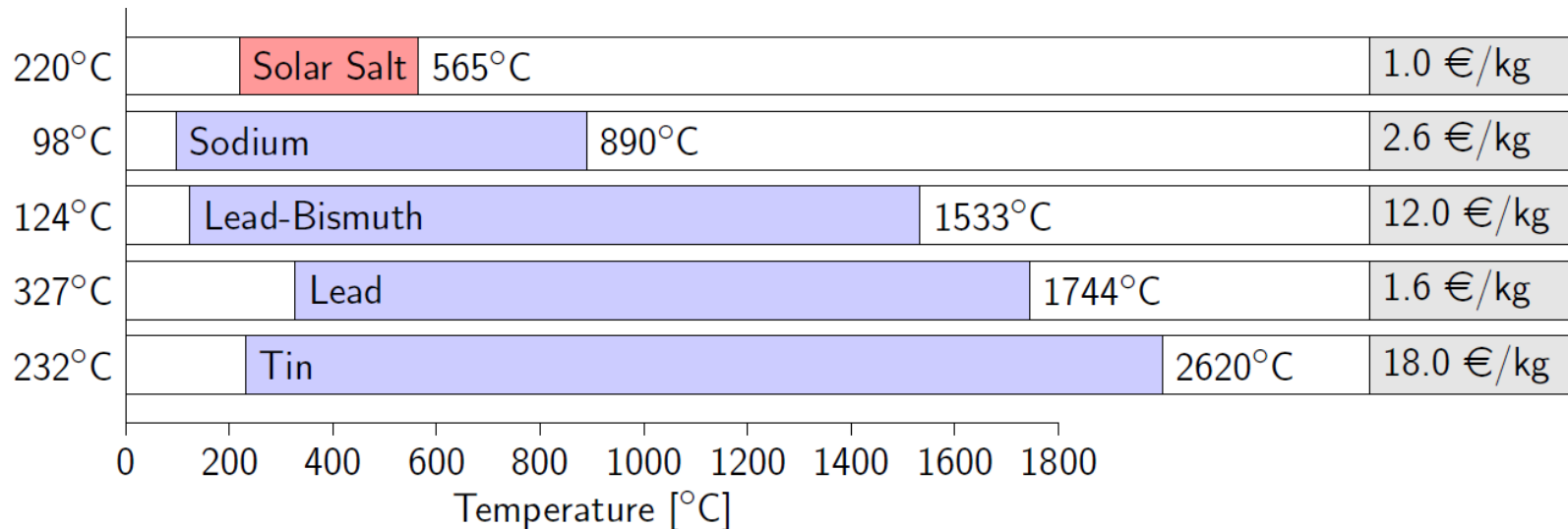
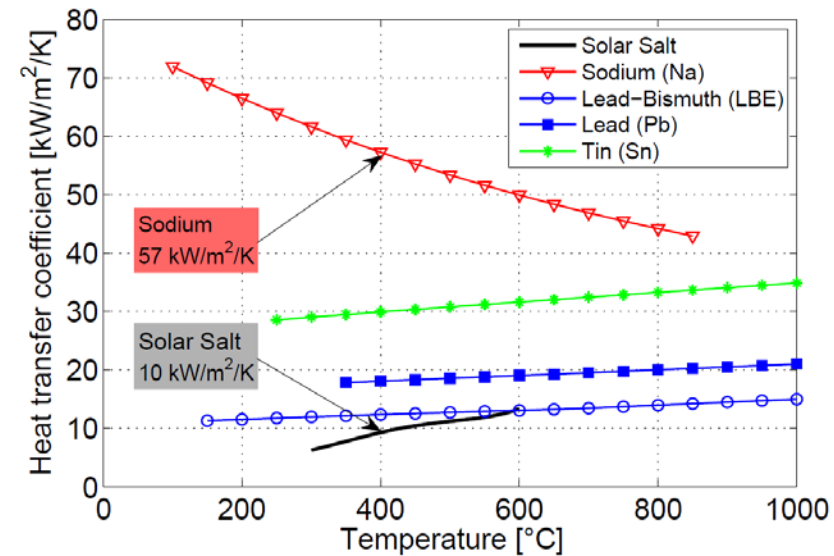
Umgang mit Risiko:

- Erfahrungen aus
Nuklearindustrie
- Verbesserte Mess- Steuer-
und Regelungstechnik
- Verbesserte
Sicherheitsstrukturen



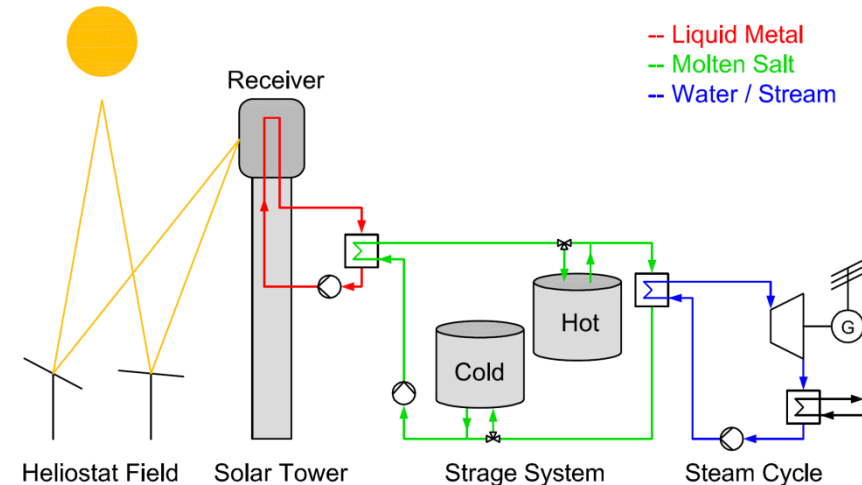
Vorteile von Flüssigmetallen im Vergleich zu Solar Salt

- Großer Temperaturbereich in Flüssigphase:
 - Niedrigerer Schmelzpunkt
 - Höhere obere Temperatur
- Hohe Wärmeübergangskoeffizienten
 - Höhere Flusssichten → kleinere Receiver
 - Geringere Übertemperaturen
- Geringer Dampfdruck (druckloser Betrieb)
- Chemisch stabil



System Konzepte mit Flüssigmetallen (1)

- Flüssigmetall nur als Wärmeträger im Receiver
- Speicherung in Flüssigsalz
- Flüssigmetall / Salz Wärmeübertrager
- Konventioneller Power Block



Vorteile:

- Effizienterer Receiver (höherer Wirkungsgrad, kleinerer Receiver → Kosten)
- Höhere Speichertemperatur möglich da einfacherer Betrieb
- Relativ geringe Mengen an Flüssigmetall (Receiver + Kreislauf)

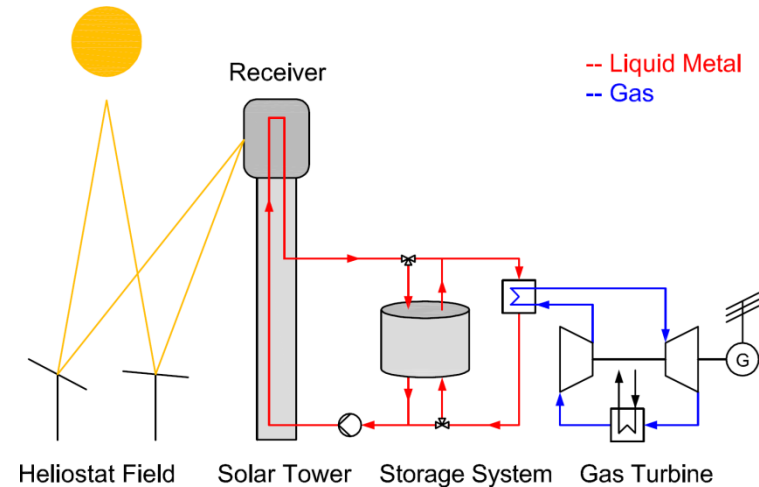
Nachteile:

- Zusätzliche Komponenten (Metallkreislauf, Wärmeübertrager)
- Potential von Flüssigmetall wird nicht voll ausgeschöpft



System Konzepte mit Flüssigmetallen (1)

- Reines Flüssigmetallsystem
- Speicherung in Flüssigmetall oder Kombination mit Füllmaterialien
- Höherwertige Kreisprozesse
 - Dampf Ultra superkritisch
 - Brayton Prozess (Luft/CO₂)
- GuD Prozess → Speicherung in Flüssigsalz?



Vorteile:

- Höherwertige (effizientere) Prozesse nutzbar
- Nur ein Medium (Flüssigmetall)

Nachteile:

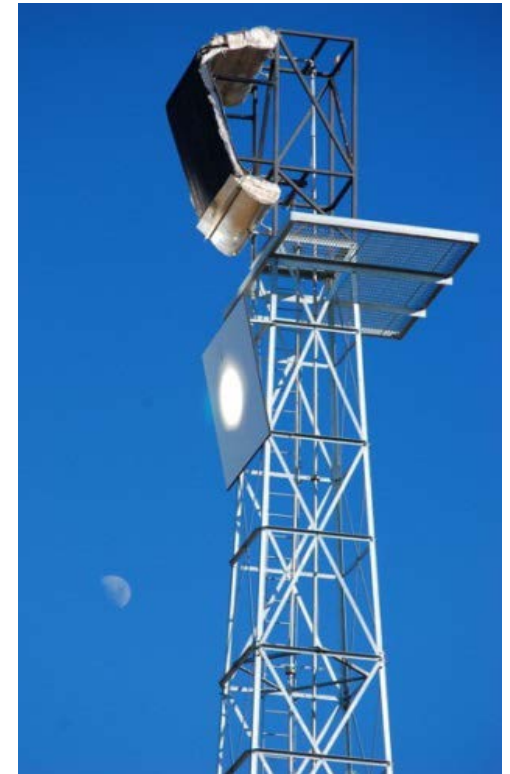
- Große Mengen an Flüssigmetall im System → Kosten, Sicherheit
- Wärmeübertrager bei hohen Temperaturen erforderlich



Jemalong Solar Thermal Station Forbes, Australia

- Wärmeträger: Natrium
- Erste Versuche (ein Modul) seit 2012
- Thermische Leistung: $1.25 \text{ MW}_{\text{th}}$
- Panel Größe: 2 m^2
- Turmhöhe: 25m
- 700 Heliostate

➡ Seit 2014: Upscaling für Multi Tower System (6 MW_{th})
mit 5 Türmen und 3h Speicher (Natrium)

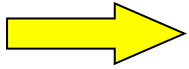


Zusammenfassung

- Flüssige Wärmeträger zeigen eine Reihe von positiven Eigenschaften für die Nutzung in solarthermischen Kraftwerken.
- Flüssigsalz mit externen Receivern entwickelt sich zum „Industriestandard“.
- Potential bei Salzsystemen durch:
 - Anhebung der Salztemperatur (höherwertige Dampfprozesse).
 - Erhöhung Receiver Wirkungsgrad.
 - Verbesserte Betriebsführung (Start up, Wolkendurchgang).
- Flüssigmetalle erlauben höhere Prozesstemperaturen (als Salz).
- Signifikant höherer Wärmeübergang erlaubt höhere Receiver Wirkungsgrade (geringere Übertemperaturen, kleinere Receiver).

→ Bewertung muss durch Betrachtung des gesamten Systems erfolgen!





Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Quelle: SOLARRESERVE.com

Diese Arbeit wurde unter anderem finanziert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie der Helmholtz Gemeinschaft



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



HELMHOLTZ
GEMEINSCHAFT

