

Betrieb von Parabolrinnen- und Fresnel-Kraftwerken mit Direktverdampfung

16. Kölner Sonnenkolloquium, 12. Juni 2013

Fabian Feldhoff (DLR)

Markus Tscheche (Novatec Solar)

Joachim Krüger (Solarlite)

Tobias Hirsch (DLR)



Wissen für Morgen

Überblick

- Einführung und Grundlagenforschung
- Betrieb Fresnelkraftwerk: PE-2
- Betrieb Parabolrinnenkraftwerk: TSE-1
- Aktuelle Demonstrationsanlagen
- Fazit



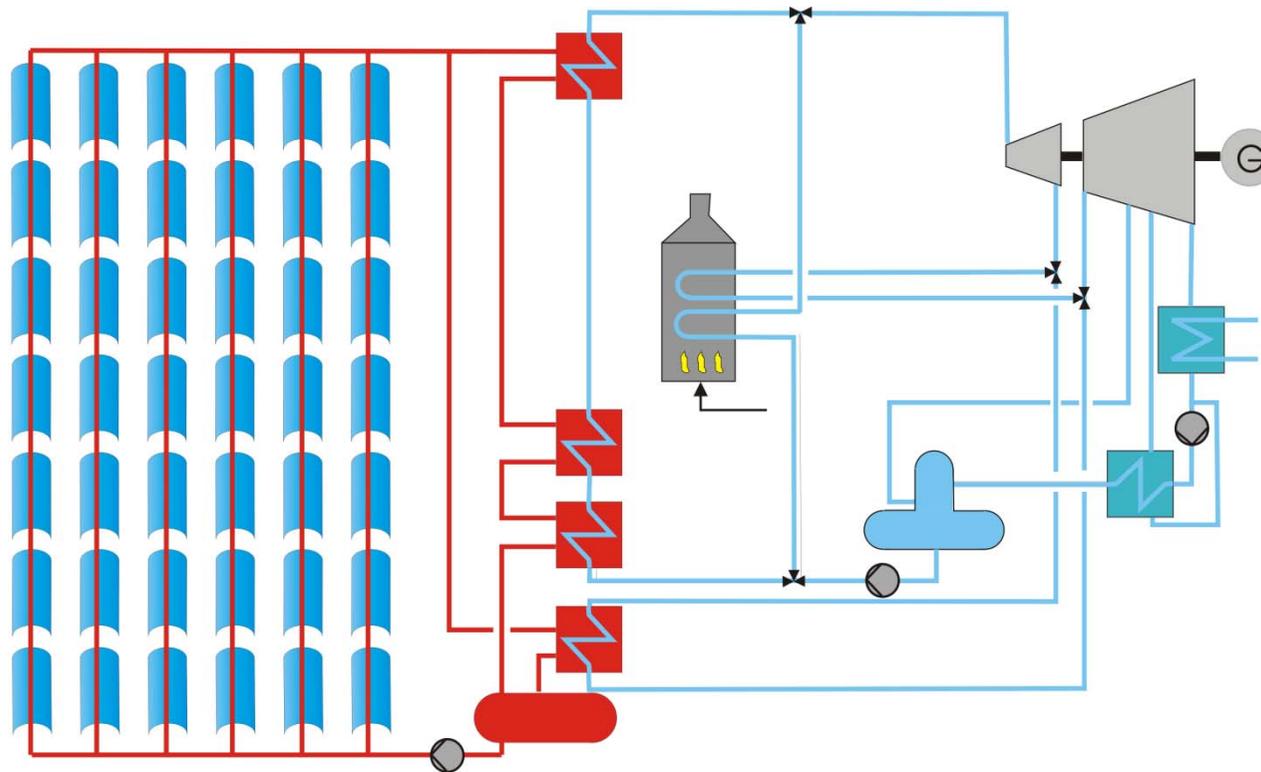
PE-2, Foto: DLR



TSE-1, Foto: Solarlite

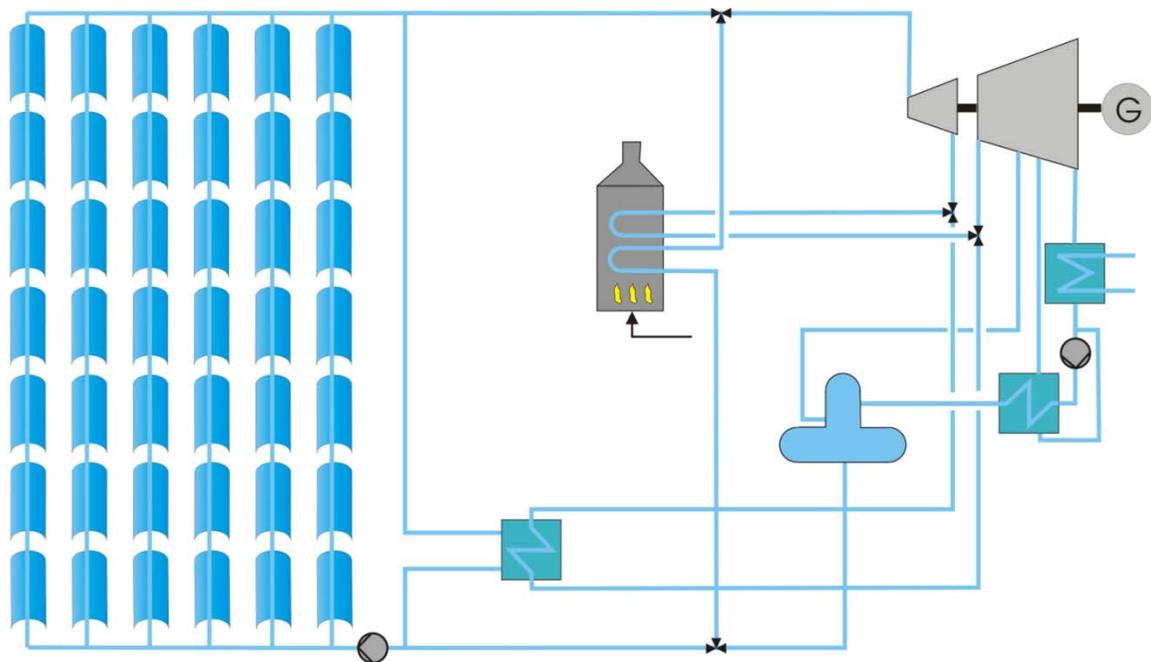


Parabolrinnen-Kraftwerk mit Thermoöl



Parabolrinnen-Kraftwerk mit Direktverdampfung (Direct Steam Generation, DSG)

- + Keine Wärmetauscher
- + Hohe Temperaturen
- + Hohe Effizienz
- + Nicht toxisch, nicht brennbar
- 2-Phasen-Strömung
- Hoher regelungstechnischer Aufwand
- Höhere Temperaturgradienten
- Relativ teurer Speicher (bisher)



Mit Direktverdampfung fing alles an...



Shuman Kollektor in Ägypten

John Ericsson

- New York, USA, 1870
- 3,25 m² Aperturweite
- 373 W Maschine.

Frank Shuman

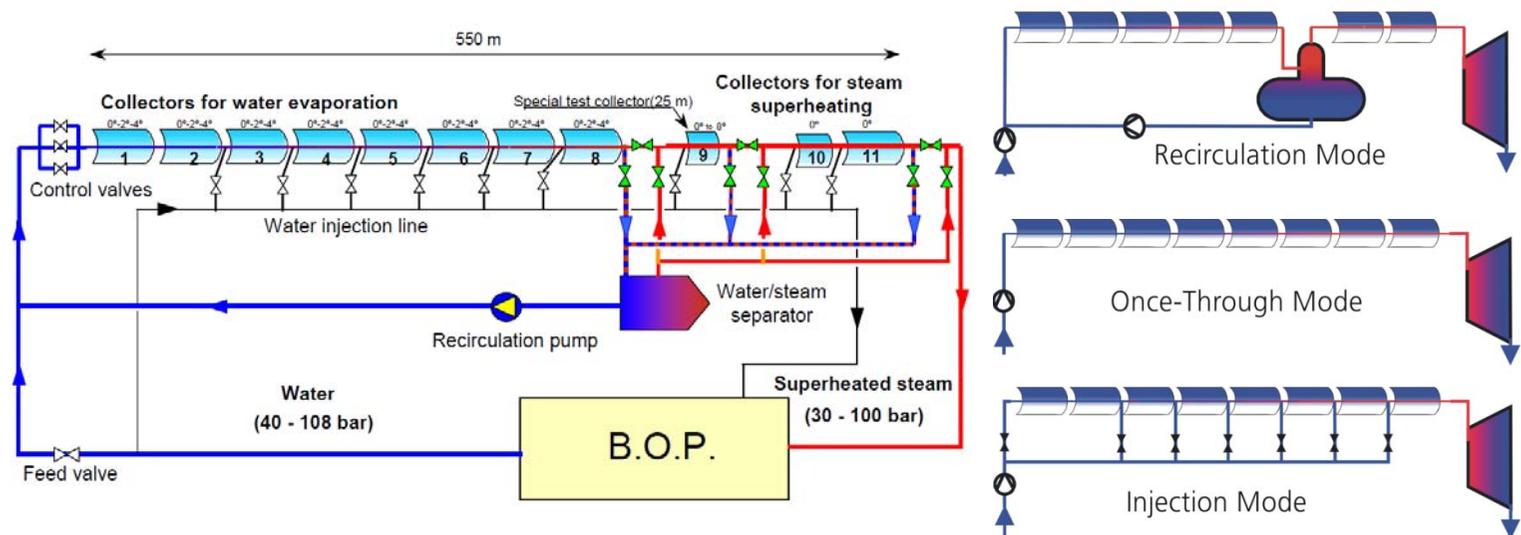
- Meadi, Ägypten, 1912-1913
- 5 Kollektoren a 62 x 4 m
- Ca. 40 kW Maschine
- Für Bewässerungspumpen

Fernández-García, A., Zarza, E., Valenzuela, L., et al., 2010, "Parabolic-trough solar collectors and their applications," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, pp. 1695 - 1721.



Neuere Grundlagen durch DISS Projekt

EU-Projekt: Testloop auf Plataforma Solar de Almería



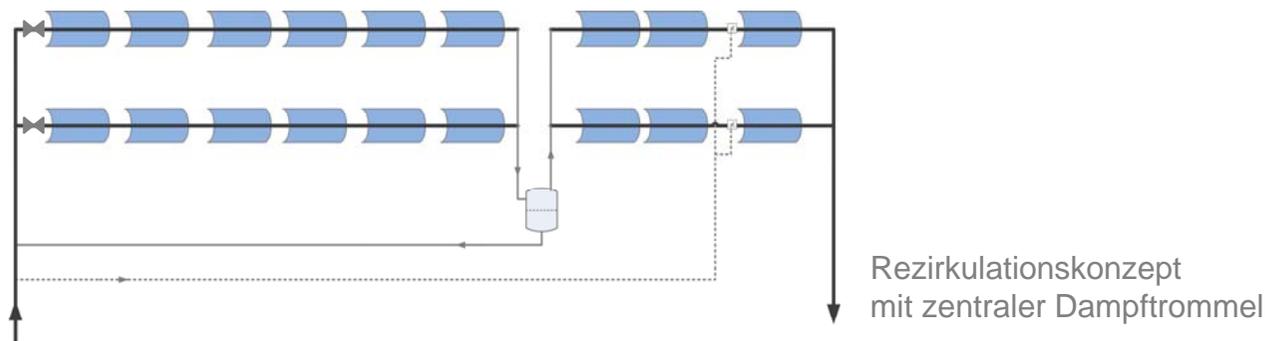
DISS = Direct Solar Steam

Zarza, E., Valenzuela, L., León, J., et al., 2004, "Direct steam generation in parabolic troughs: Final results and conclusions of the DISS project," Energy, 29 (5-6), pp. 635-644.1721.



Lessons learned

- Solare Direktverdampfung in horizontalen Rohren funktioniert
 - Rezirkulationskonzept am robustesten und sichersten
 - Eintrittsmassenstrom in jeden Verdampfer-Loop sollte geregelt werden
 - Austrittstemperatur sollte durch Einspritzer in jedem Loop geregelt werden
- In kommerziellen Kraftwerken umgesetzt



Fresnel-Kraftwerk PE-2

Novatec Solar: 30 MW_e bei Murcia in Spanien

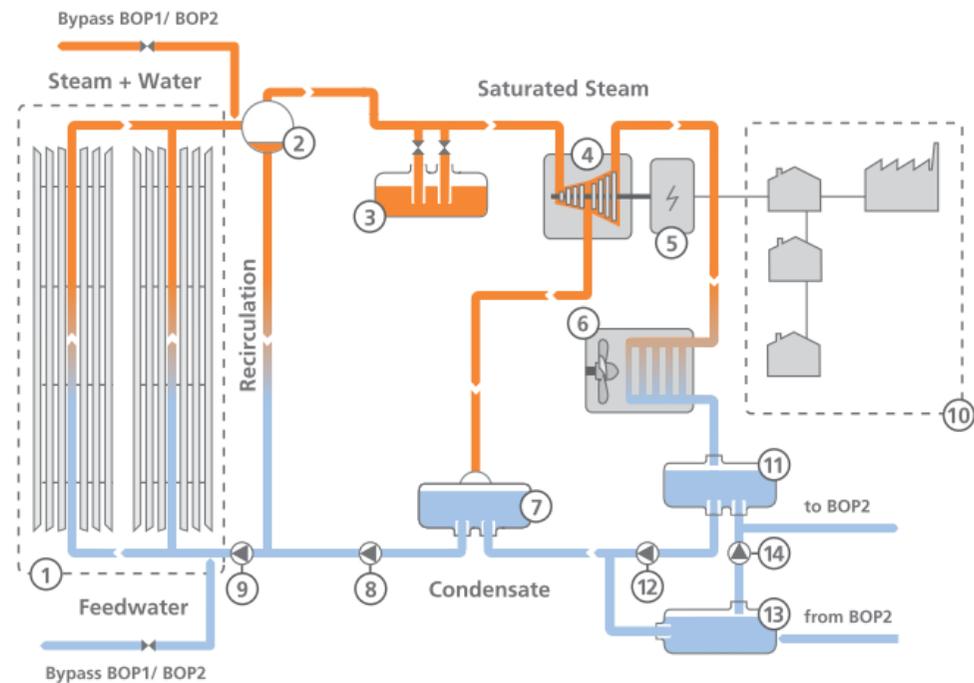


Foto: Novatec Solar



PE-2: Eckdaten und Kraftwerksschema

- Sattdampf bei 270°C/ 55 bar
- 2 x 15 MW_{el} Spitzenleistung bei zusammen 150 MW_{th}
- 28 parallele Verdampferstränge
- 940 m Stranglänge
- 302.000 m² Kollektorfläche
- Luftgekühlter Kondensator
- In Betrieb seit Sommer 2012
- Vollautomatisiertes Kraftwerk

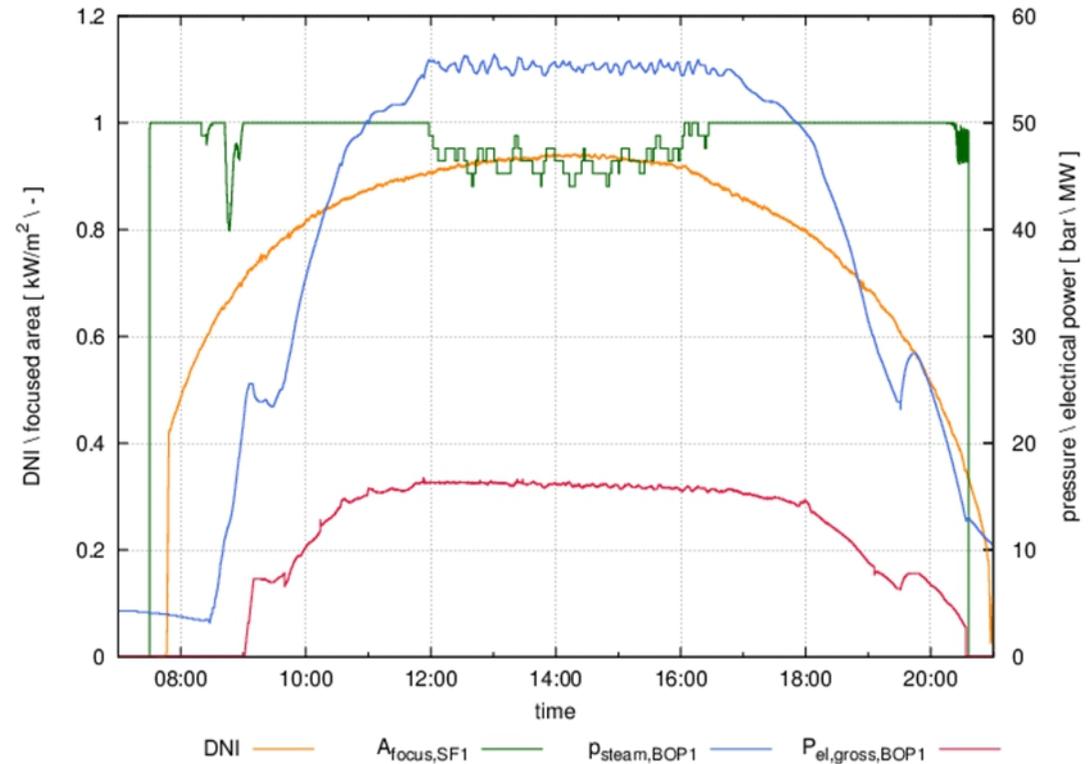


Quelle: Novatec Solar



PE-2: Betrieb an schönem Tag

- Clear Sky
- Juli 2012
- Betriebsdaten BoP1
- Defokussierung aufgrund maximaler Turbinenleistung

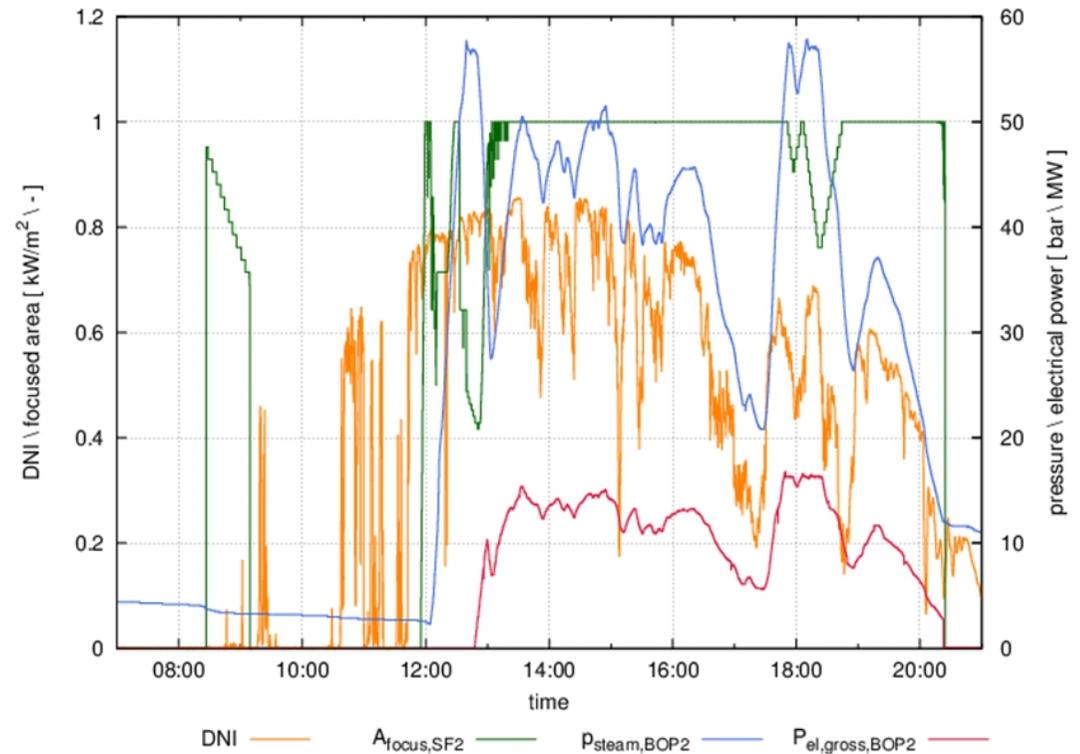


Quelle: Novatec Solar



PE-2: Betrieb an bewölktem Tag

- Bewölkt
- Juli 2012
- Betriebsdaten BoP2
- Bewölkter Tag mit späterem Start-Up während des Tages
- Dampfdruck folgt Einstrahlung



Quelle: Novatec Solar



Parabolrinnen-Kraftwerk TSE-1

Solarlite: 5 MW_{el} bei Kanchanaburi in Thailand



Foto: Solarlite



TSE-1: Eckdaten und Kraftwerksschema

- Überhitzer Dampf bei 330°C und 30 bar
- Rezirkulation mit zentraler Dampftrommel
- 5 MW_{el} Spitzenleistung bei ca. 19 MW_{th}
- 12 Verdampferstränge (ca. 720 m)
- 7 Überhitzerstränge (240 m)
- 45.000 m² Kollektorfläche
- In Betrieb seit Anfang 2012

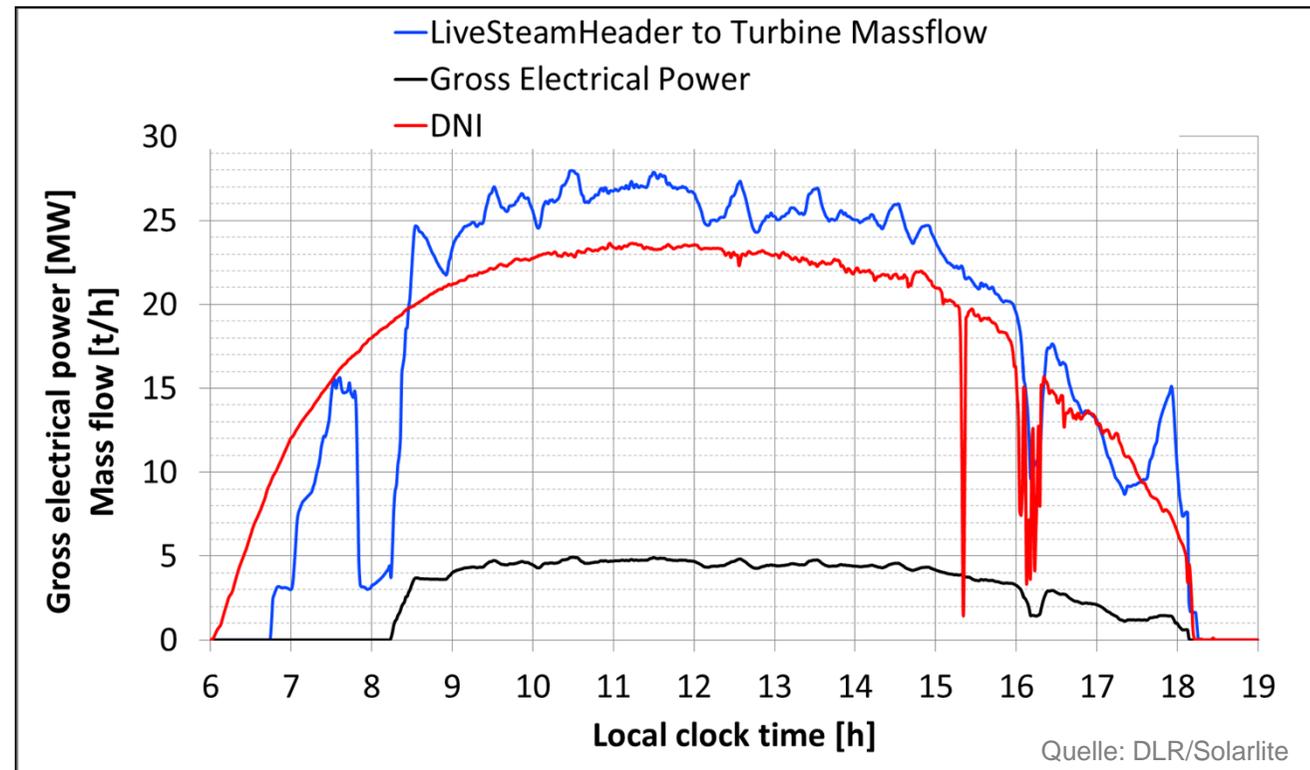


Quelle: Solarlite



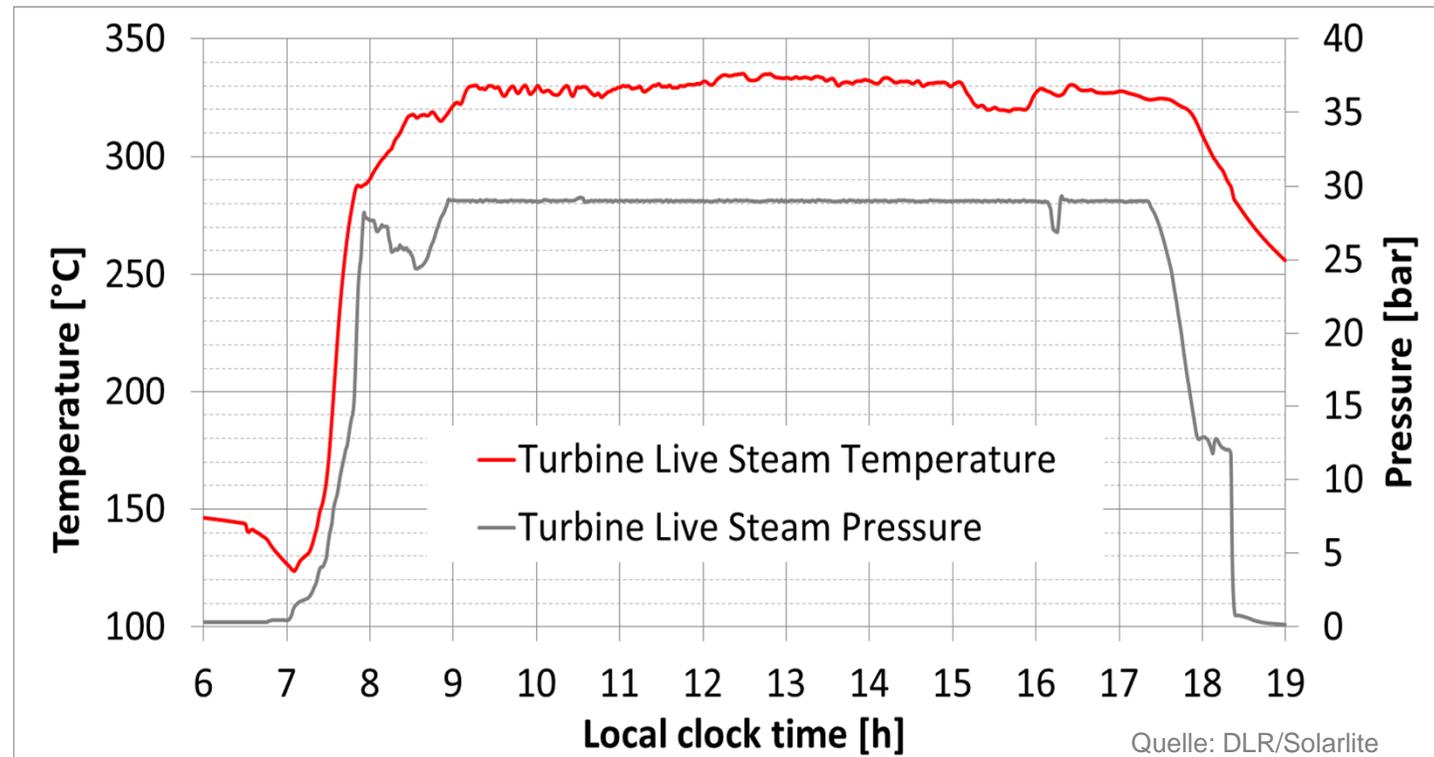
TSE-1 : Festdruckbetrieb, klarer Tag (1)

- April 2012
- Massenstrom gleicht DNI-Schwankungen aus



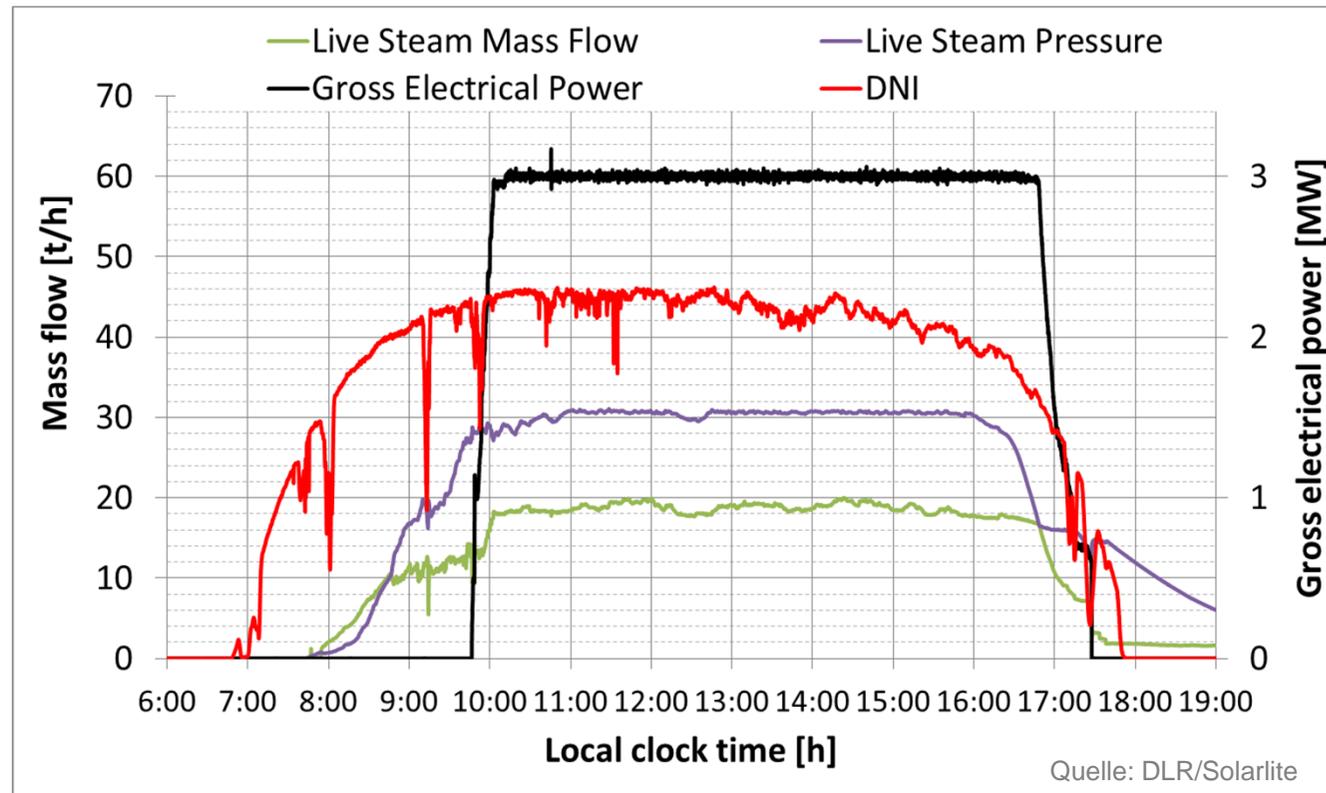
TSE-1 : Festdruckbetrieb, klarer Tag (2)

- April 2012
- Druck kann trotz kürzerer DNI-Einbrüche (15:20h) gehalten werden
- Erst bei langem DNI-Einbruch (16h) muss Druck reduziert werden



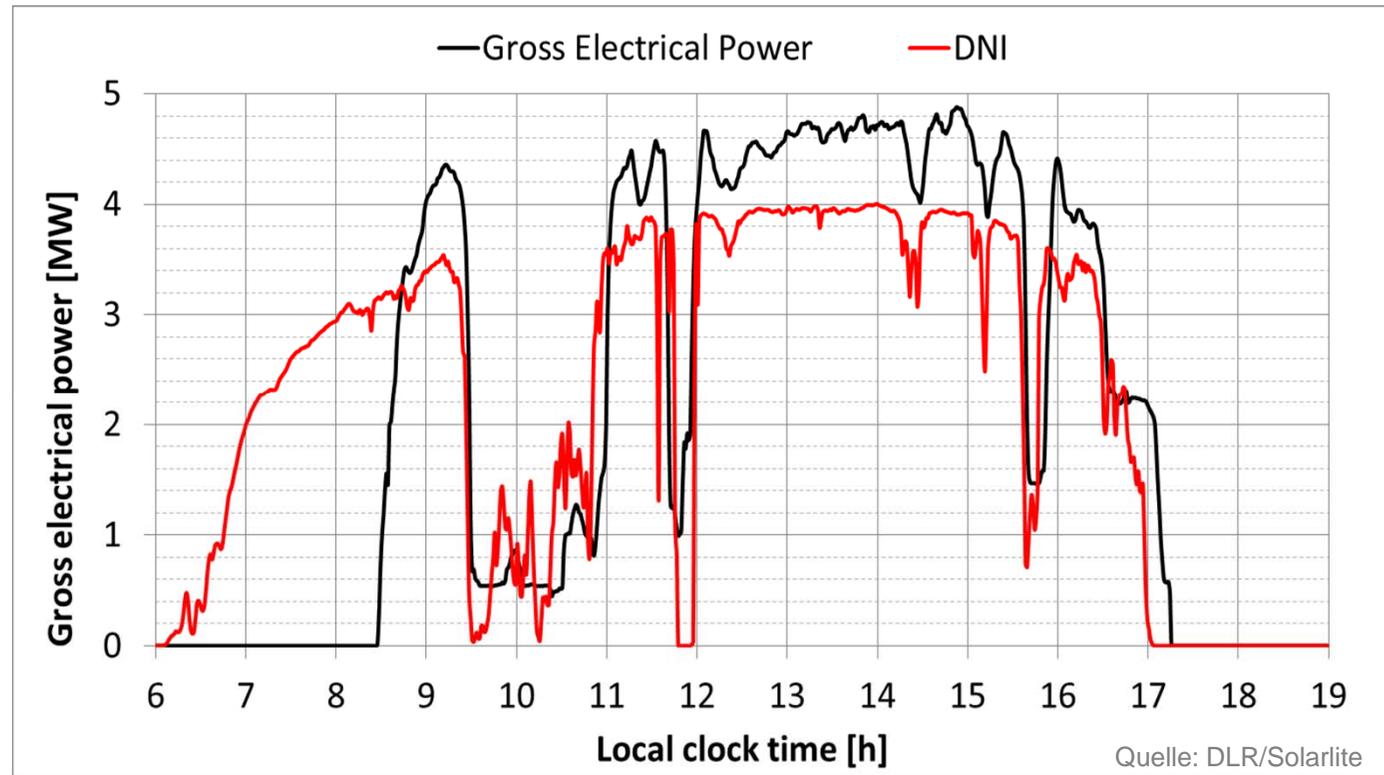
TSE-1 : Leistungsregelung

- Januar 2012
- Während Inbetriebnahme
- Leistungssetpoint für Turbine
- Druck und Massenstrom stellen sich ein



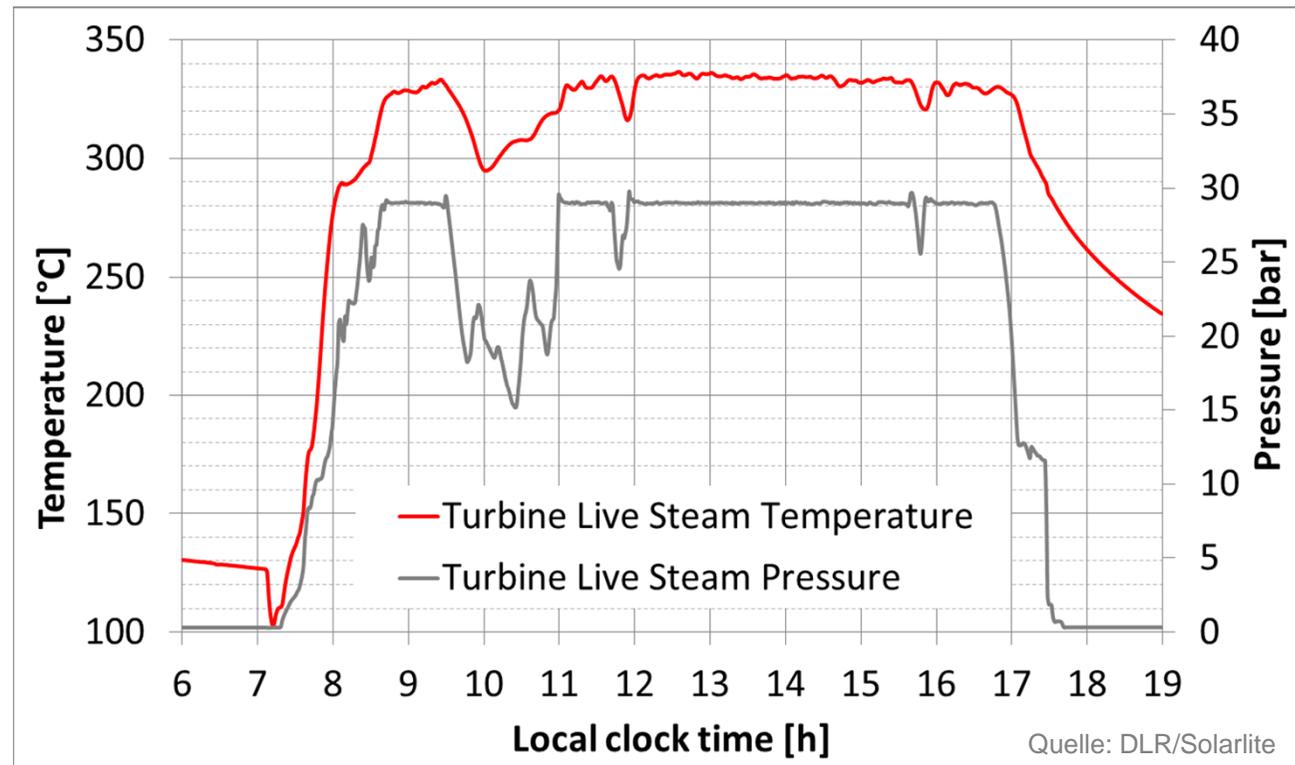
TSE-1 : Leistungsregelung bei Bewölkung (1)

- Starke Bewölkung nach Anfahren
- Umschalten auf Leistungsregelung
- Trotz 90 min Störung bleibt Turbine am Netz



TSE-1 : Leistungsregelung bei Bewölkung (2)

- Umschalten zwischen Festdruck und Leistungsregelung durch Operator
- Temperaturabsenkung mit Druck möglich



DSG Status und Entwicklungsziele

Direktverdampfung ist in der Industrie angekommen

Themen für Industrie:

- Höhere Dampfparameter umsetzen → bis 110 bar und 500 °C
- Parameteroptimierung → Design-Druck/Temperatur vs. Rohrleitungskosten
- Kraftwerkskonfiguration → Komponentenoptimierung und -zusammenspiel

Themen für Forschung:

- Verbesserung Solarfeld → Rezirkulation optimieren, Durchlaufkonzept
- Betriebsoptimierung → Start-up, Regelung, Überwachung
- Thermische Speicher → Kostenreduktion, Performance
- Integrationskonzept → Hybrid, Speicherintegration



Demonstrationsanlagen: Real-DISS/ ITES



2010/2011
Komponententests
bei 112 bar / 500 °C

Quelle: DLR



Demonstration
PCM Speicher

Quelle: DLR



Neue Demonstrationsanlagen: Optinel



Seit 2012
Bei PE-1
Überhitzung mit Fresnel
 $T > 490^{\circ}\text{C}$ erreicht

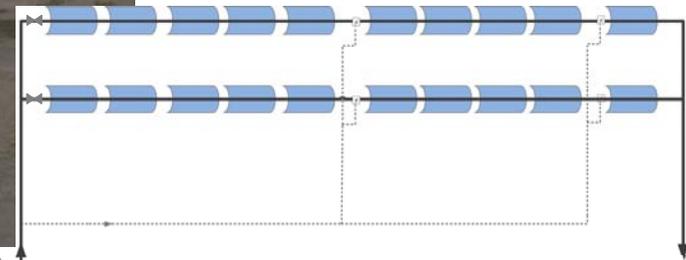
Quelle: Novatec



Neue Demonstrationsanlagen: DUKE



Seit 2013
Erweiterte DISS-Anlage auf PSA
1000 m Strang
Dampf bis 110 bar / 500 °C
Demonstration Durchlaufkonzept



Quellen: DLR



Fazit Direktverdampfung

- Sicherer Betrieb der Kraftwerke nachgewiesen
- Deutsche Firmen führend bei Direktverdampfung
- Weiterentwicklungen um Führung zu halten
- Kurz- und mittelfristig:
 - CSP Kraftwerke ohne oder mit kleinem Speicher
 - Kraftwerke mit Zufeuerung bzw. “Fuel-saver”
- Langfristige DSG-Perspektive:
 - Entwicklung eines kommerziellen PCM-Speichers notwendig
 - Optimierung von Solarfeld und Betrieb



Quelle: Novatec (oben), DLR (unten)



Kontakt für Fragen und Entwicklungen...

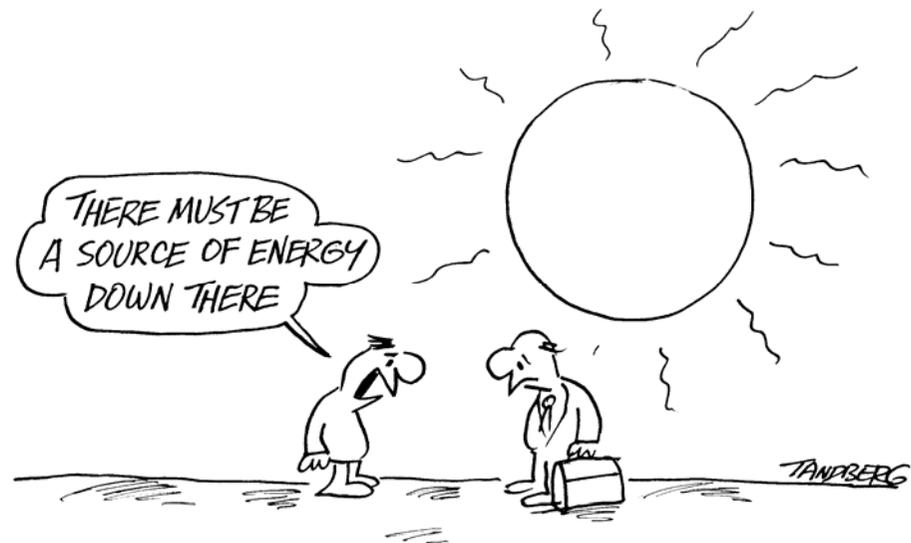
Jan Fabian Feldhoff

DLR Institut für Solarforschung
Linienfokussierende Systeme

Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

jan.feldhoff@dlr.de

+49 711 6862 362



By Ron Tandberg

