

# Solare Zwangdurchlaufkessel für Parabolrinnen- und Fresnel-Kraftwerke

18. Kölner Sonnenkolloquium (19. Mai 2015)

Jan Fabian Feldhoff

DLR-Institut für Solarforschung  
Abt. Linienfokussierende Systeme  
Gruppe Prozessentwicklung



Wissen für Morgen

# Wo stehen die solaren Durchlaufkessel?



Frau Ing:

will neue kostengünstige Technik für ihr Projekt nutzen, nämlich die solare Direktverdampfung (DSG) oder genauer: das „solare Durchlaufkonzept“



Herr Fin:

soll Geld für das Projekt geben und ist eher konservativ

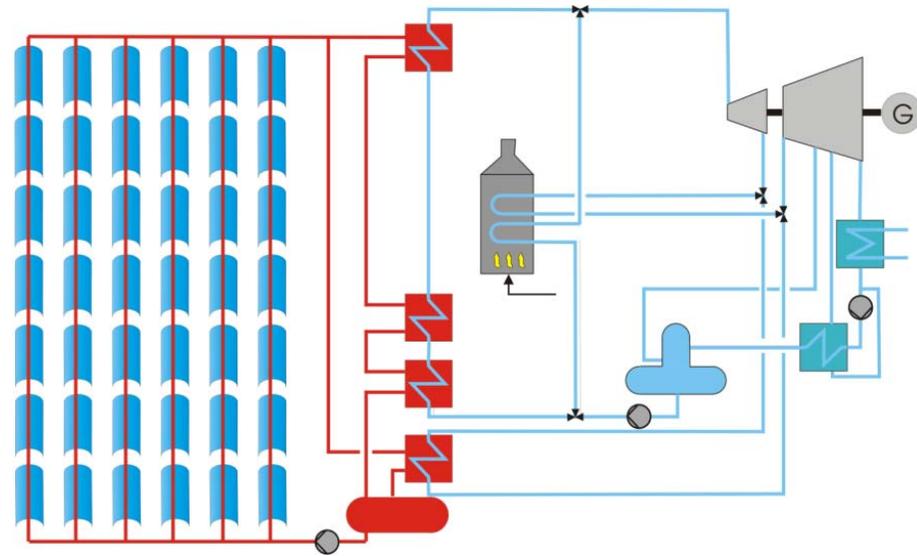




# Warum kein bewährtes Thermo-Öl-Solarfeld?



- Mittelfristiges Kostensenkungspotenzial bei Öl gering
- Beschränkung der Wirkungsgrade durch 400°C-Limit des Thermo-Öls
- Direktverdampfung (DSG) zum Beispiel über 8 % effizienter  
[Feldhoff, Schmitz et al. (2012), Sol. Energy, Vol. 86]
- Relativ teures Fluidsystem
- Umweltauflagen

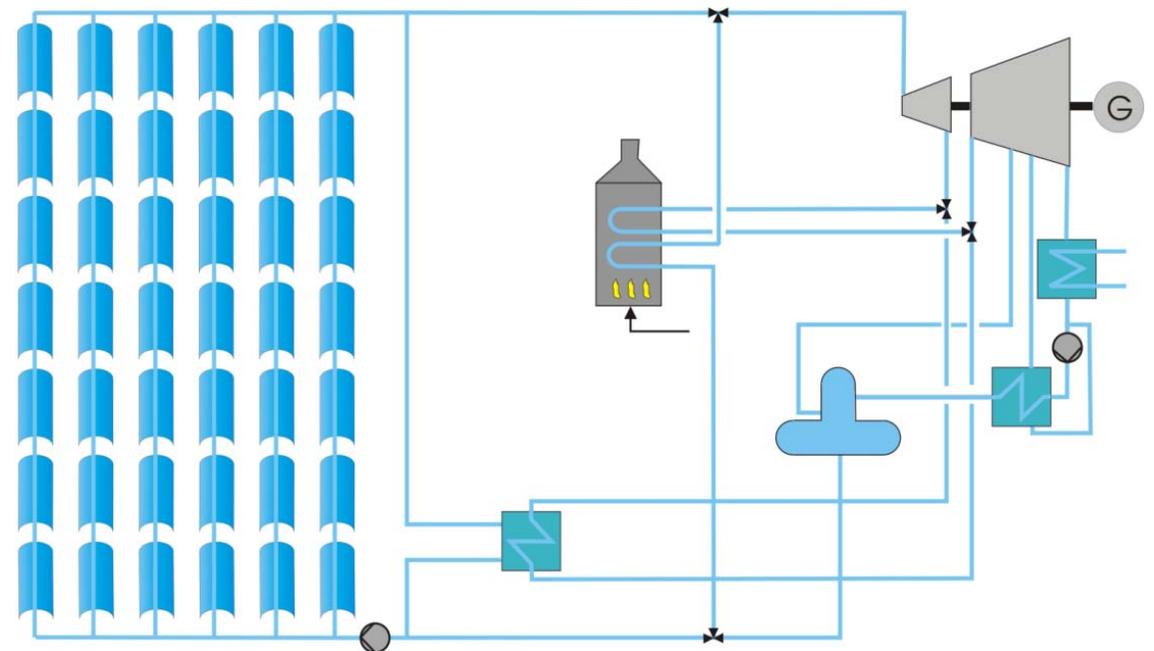




# Was ist denn Direktverdampfung?



- Sehr ähnlich zu konventionellem Kraftwerk; allerdings mit Dampferzeugung direkt im Solarfeld





## Funktioniert das denn?

*Verdampfung in horizontalen, verteilten Rohren?*

- Dank langjähriger Forschung und Innovatoren ja!
- Im „Rezirkulationskonzept“ schon kommerziell nachgewiesen



PE-2 Kraftwerk, Spanien, 30 MWel (Novatec Solar)



TSE-1 Kraftwerk, Thailand, 5 MWel (Solarlite)



DLR





# DSG Innovationsverlauf

# Produkt

John Ericsson  
3 m<sup>2</sup> Mikro-DSG  
1870/1883



Shuman Collector  
Meadi, Ägypten  
1913

PE-1, PE-2, TSE-1 Kraftwerke



Real-DISS / ITES Versuchsanlagen

INDITEP, DIVA...

DISS-Versuchsanlage

GUDE, PRODISS ...



# Idee

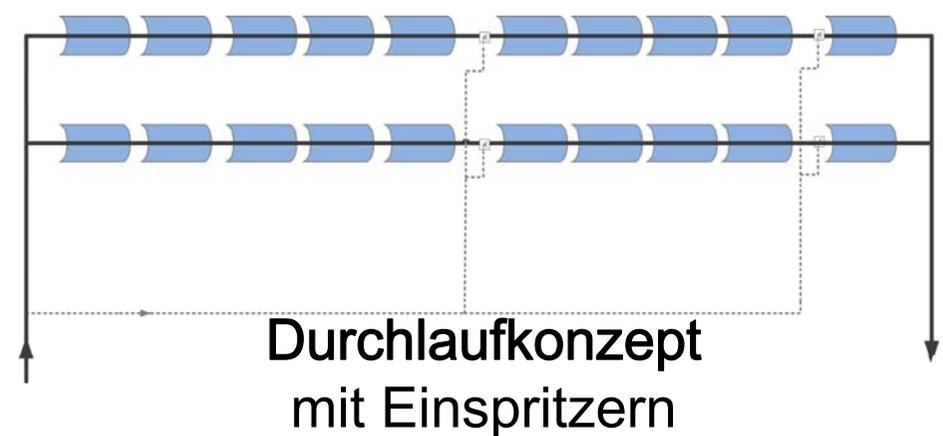
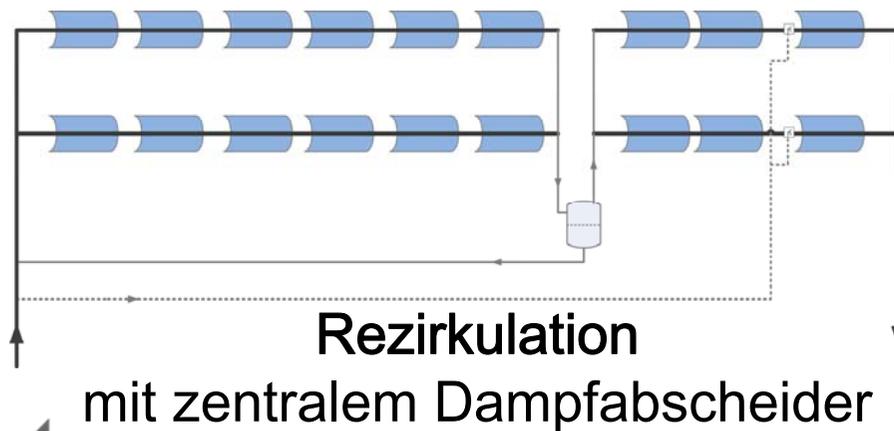




## Und Sie machen das jetzt genauso, oder anders?



- Noch kosten-effizienter durch Zwangdurchlauf:  
Einsparung der Dampftrommel, weniger Rohrleitungen und Pumpen
- Entwicklung analog konventioneller Dampferzeuger
  - Konventioneller Benson®-Kessel: überkritisch ohne Verdampfungsstadien
  - Solarer Zwangdurchlauf: unterkritisch wegen Solarfeld-Komponenten





## Wurde das schon gemacht?



- An einem Kollektorloop durch Forschung prinzipiell nachgewiesen
- DUKE-Projekt (Durchlaufkonzept-Entwicklung und Erprobung):
  - DISS-Anlage mit 3 Solarlite-Kollektoren auf 1000 Meter verlängert
  - Sensoren zur genauen Analyse des Durchlaufkonzepts
  - Robustes, einfach zu implementierendes Regelkonzept entwickelt und demonstriert

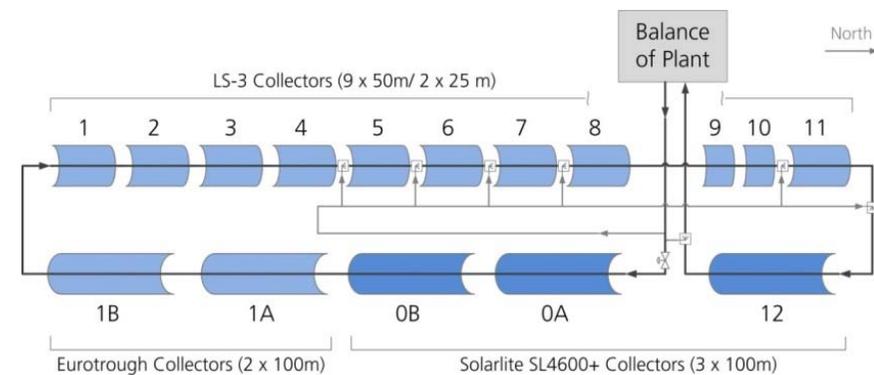
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Erweiterte DISS-Versuchsanlage





## Und was sind dabei die Herausforderungen?



- Verdampfungsende ist nicht fixiert (keine Dampftrommel), sondern schwankt innerhalb eines Kollektorstrangs
- Geringe thermische Trägheit durch Fehlen der Dampftrommel
  - Schnelle Regelung erforderlich
- Hohe Dichteunterschiede des Fluids zwischen Ein- und Austritt
  - Massenstromänderung am Eintritt wirkt erst nach 5 bis 35 min am Austritt
  - Lokale Einstrahlungsunterschiede führen am Austritt zu Temperaturverlauf mit anfänglich gegenläufigem Charakter



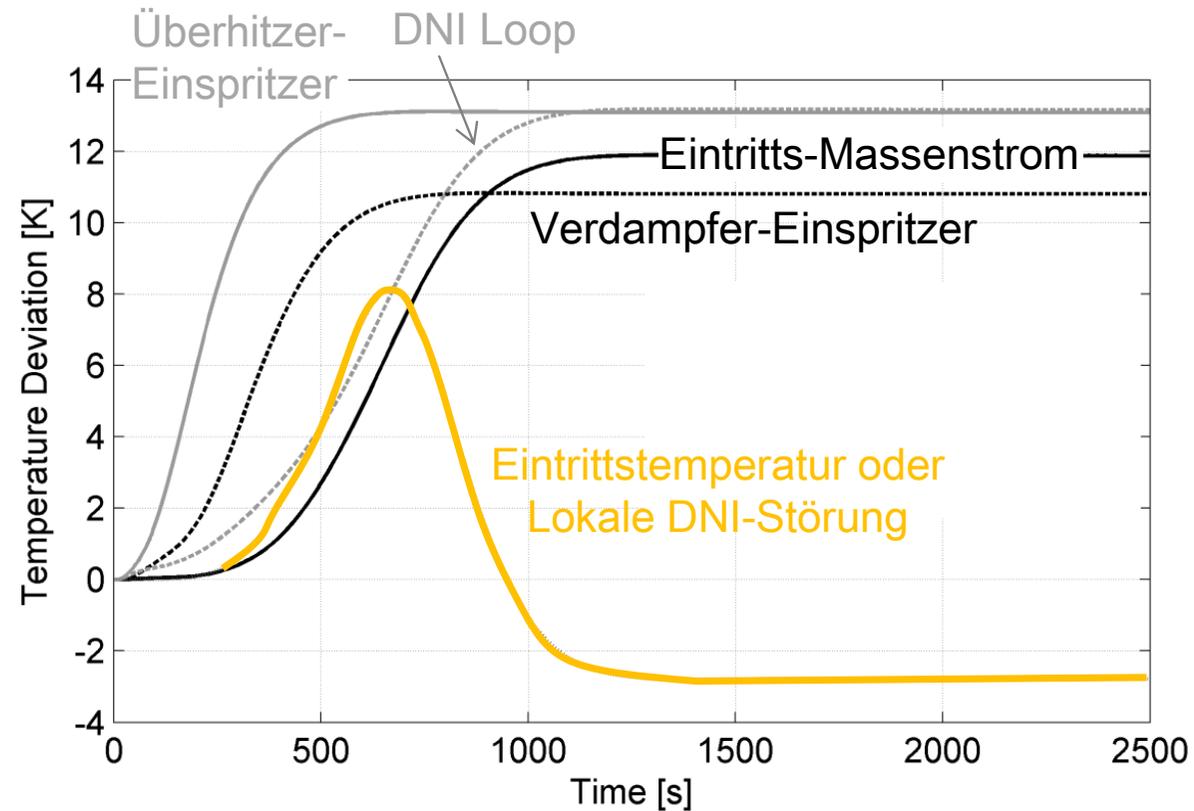
Und das ist lösbar?





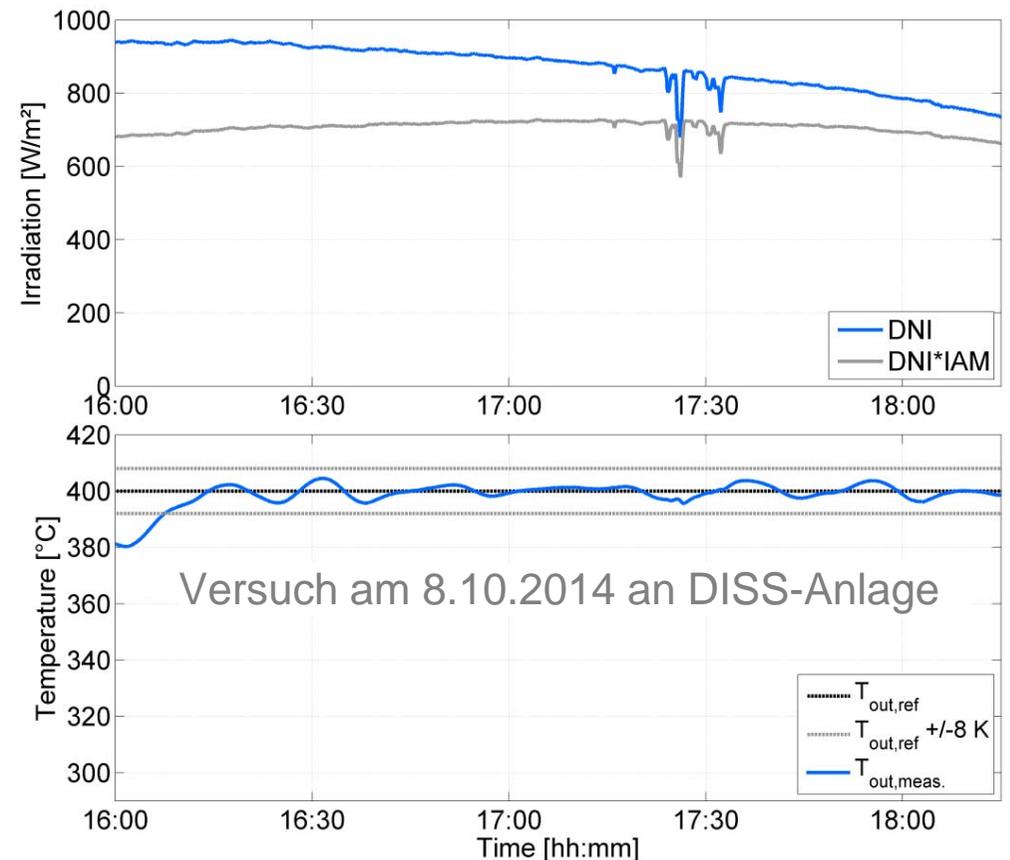
# Temperaturverhalten bei Störungen

- Hauptregelziel:  
Konstante Austrittstemperatur
- Grundidee:  
Massenstrom der jeweiligen Einstrahlung anpassen
- Aber: Starke Verzögerung bei Eintrittsmassenstrom
  - Regelung kann Temperaturstabilität verschlechtern!
  - Aufteilung in zwei oder drei Teilabschnitte durch Einspritzer



# Regelkonzept experimentell validiert

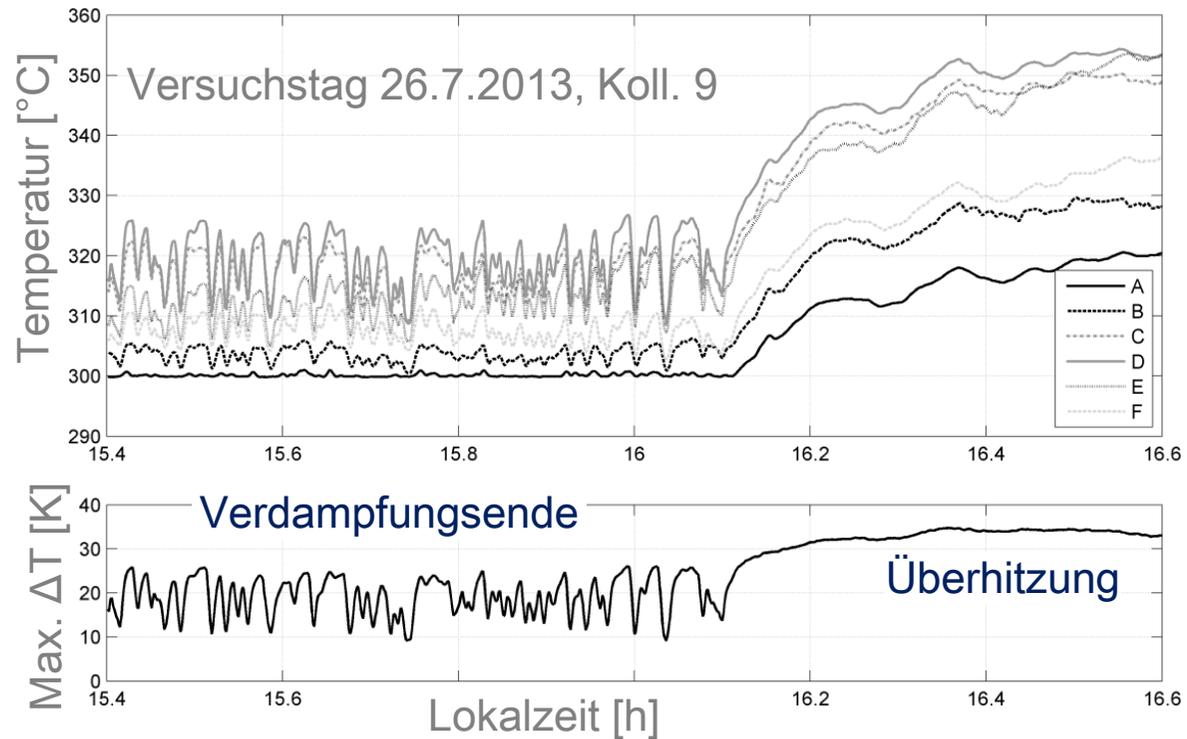
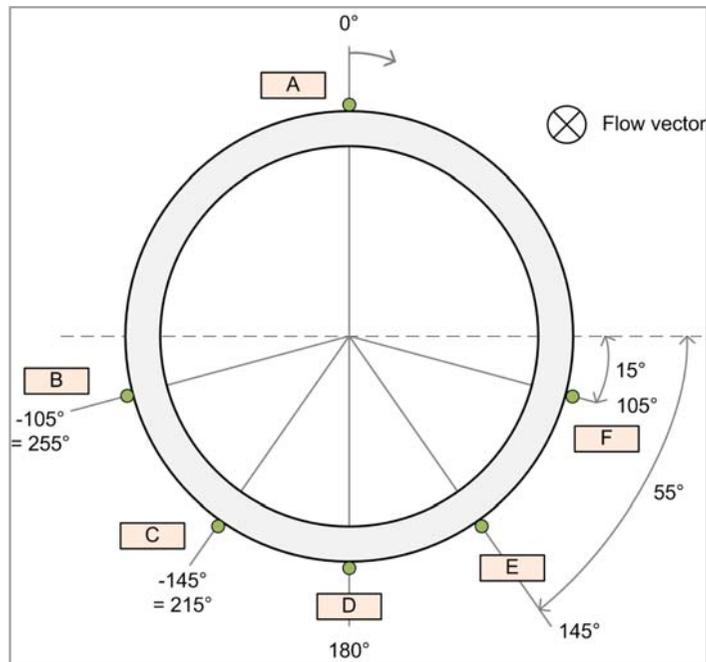
- Neue robuste Basisregelung:
  - Adaptierte PI-Regler für Einspritzer
  - Nicht-lineare Vorsteuerung für Überhitzer-Einspritzer und Eintritt
- Konzept an DISS-Anlage experimentell validiert
- Mittelfristig: lokale DNI-Messung oder -Vorhersage gekoppelt mit modellprädiktiver Regelung





# Visualisierung Verdampfungsende (Rohrwand)

- 24 SCHOTT Cross-Section Receiver  
(Temperaturmessung um den Umfang an Rohrwand im Vakuum)



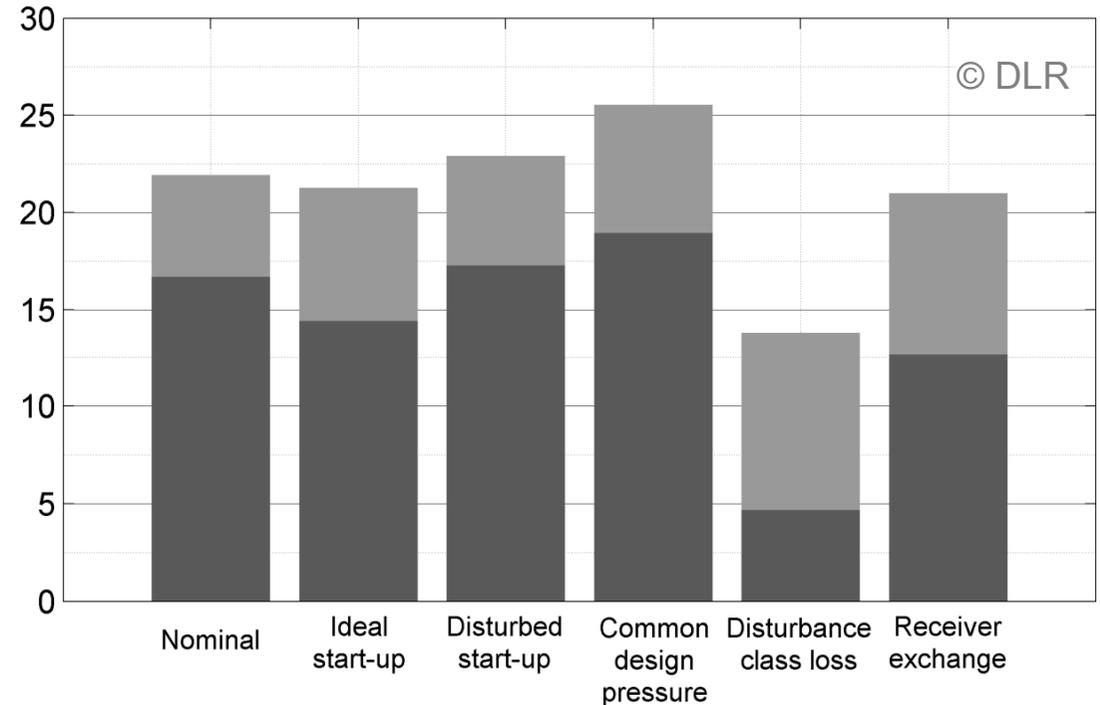


# Macht das denn ökonomisch Sinn?



- Vergleich 245 MW<sub>th</sub> Solarfelder
- Zwangdurchlauf ist 16..22 % günstiger als Rezirkulation (Wärme)
- Auch sehr konservative Annahmen für Unsicherheiten bei Betriebsverhalten und Verdampfungsende führen noch zu Kostenreduktion
- Rezirkulationsfeld schon > 10 % günstiger als Öl-Feld (Strom, ohne Speicher) [Feldhoff, Schmitz et al. (2012), Sol. Energy, Vol. 86]

Potenzial der Wärmegestehungskosten  
Durchlauf vs. Rezirkulation [%]





## Was meinen Sie?

- Funktionsfähigkeit des solaren Zwangdurchlaufkessels demonstriert (vor allem robustes Regelkonzept vorhanden)
- Bereit für kommerzielle Ausgestaltung
- Erscheint trotz Unsicherheiten lohnenswert
- Weitere Forschung für Detailfragen und Weiterentwicklungen
- Lebensdauer der Receiver scheint unkritisch, aber unsicher: im Kraftwerk über Monitoring-System an einem Loop überwachen  
→ Wettbewerbsvorteil durch zuverlässigere Bewertung bei Folgekraftwerken



# Fragen oder Anregungen?

Jan Fabian Feldhoff

DLR-Institut für Solarforschung | Linienfokussierende Systeme | Prozessentwicklung  
Standort Stuttgart

[jan.feldhoff@dlr.de](mailto:jan.feldhoff@dlr.de)



**Nicht vergessen:** ab 16:30 h besteht die Möglichkeit zur Besichtigung des Sonnenofens, CeraStorE® und Quarz®

→ Bitte tragen Sie sich vorab in die entsprechende **Anmeldeliste** ein!

