

Das Konzept eines integrierten Regelungs- und Betriebsführungssystems für Solarturmkraftwerke

Daniel Maldonado Quinto, Peter Schwarzbözl, Robert Flesch, Stefano Giuliano, Mark Geiger

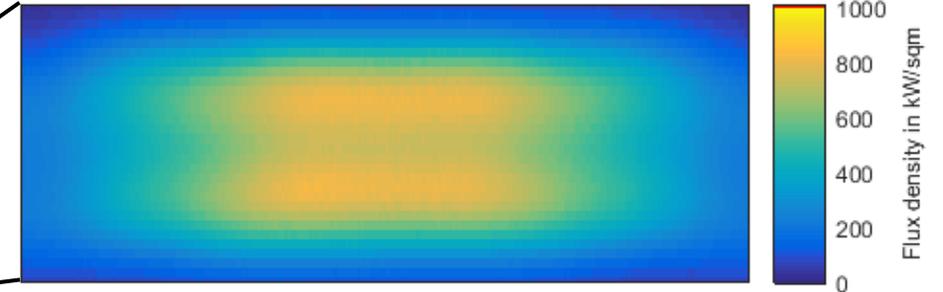
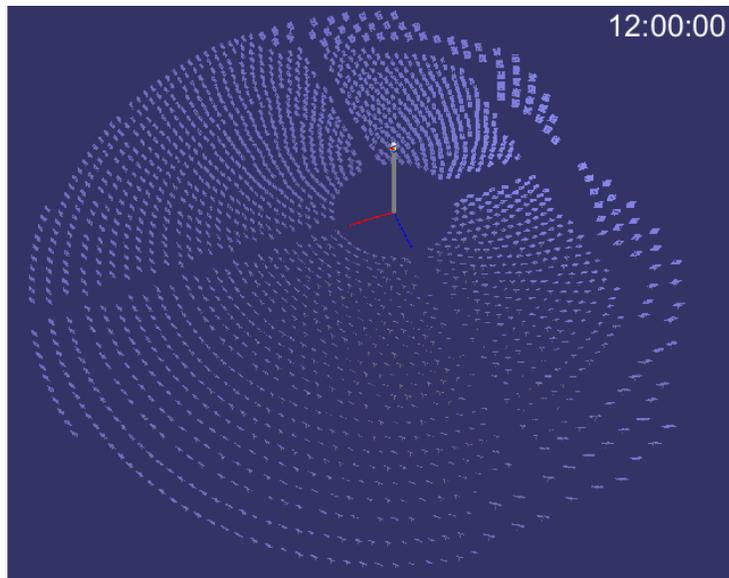


Wissen für Morgen



Digitalisierung: Lösung für welche Herausforderungen?

- Extrem dynamisches System
- Sehr hohe Anforderungen an die Regelungs- und Betriebsführung



- Temperaturgrenzen
- Grenzen für zeitliche Temperaturgradienten
- Lebensdauer der Komponenten
- Ertragssteigerung

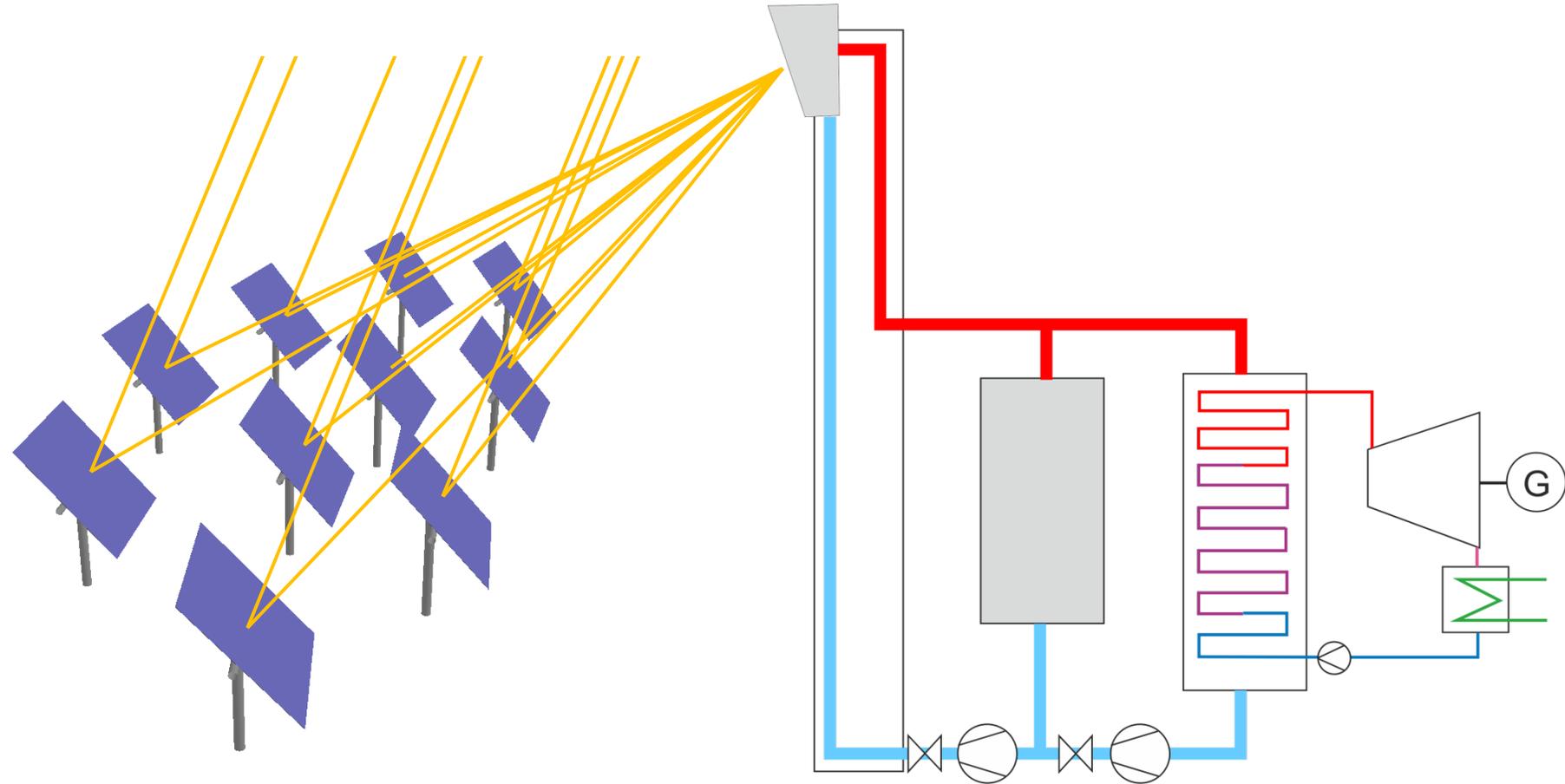


Übersicht

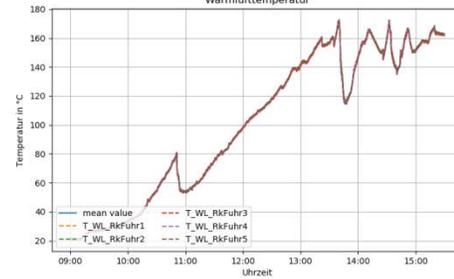
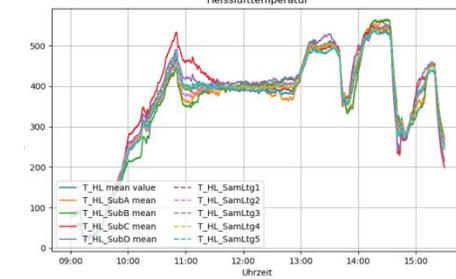
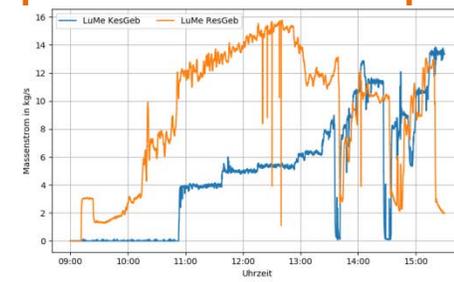
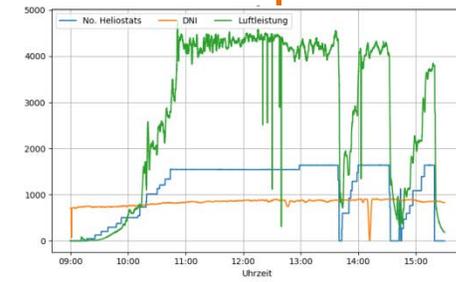
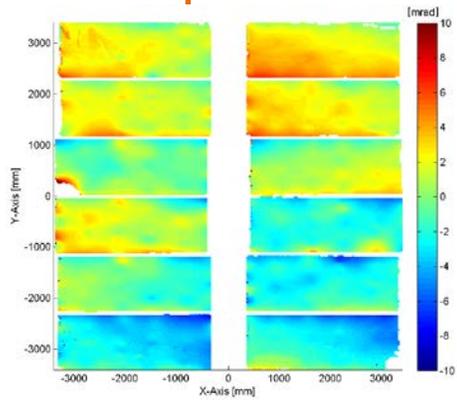
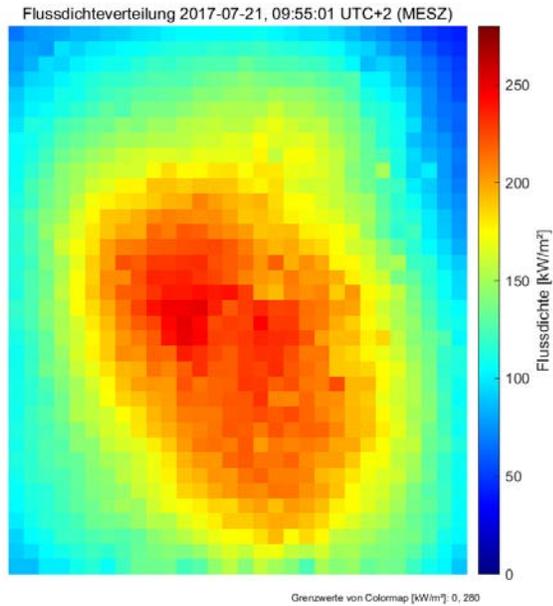
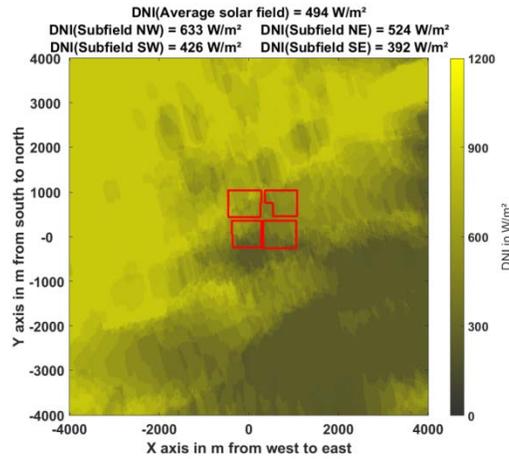
- Motivation
- Die zu vernetzenden Komponenten eines Solarturmkraftwerks
- Daten, Modelle und Algorithmen made by DLR-SF
- Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz



Vernetzte Komponenten eines Solarturmkraftwerks

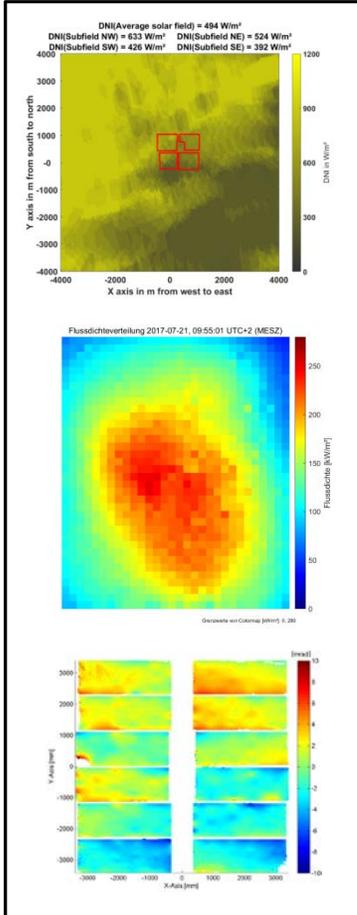


Vernetzte Komponenten eines Solarturmkraftwerks



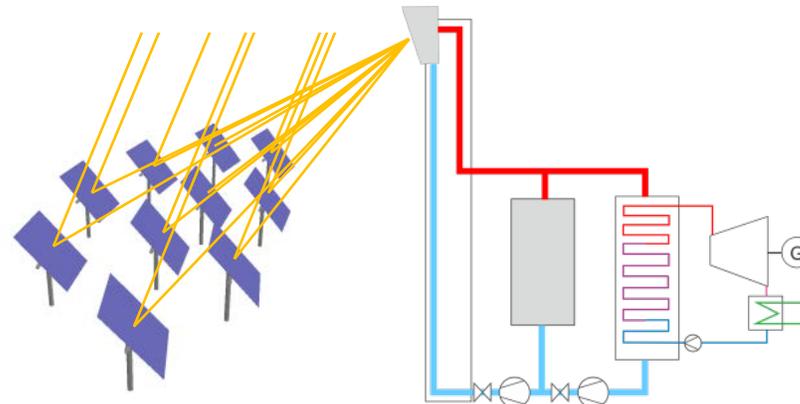
Regelungs- und Betriebsführungssystem

Messdaten



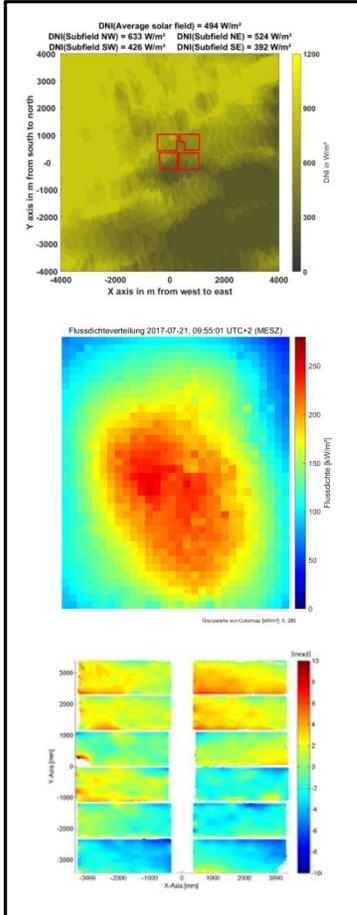
Regelung: Gewährleistet sicheren Betrieb
(Temperaturgrenzen, Gradienten, Lebensdauer)

ZPV
Receiver-Stellgrößen
Kraftwerk-Stellgrößen



Regelungs- und Betriebsführungssystem

Messdaten



Betriebsführung

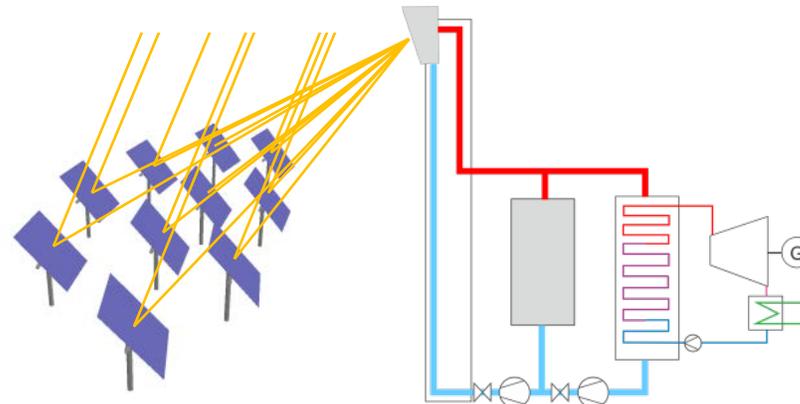
Optimierung von Betriebsstrategien

Regelung: Gewährleistet sicheren Betrieb
(Temperaturgrenzen, Gradienten, Lebensdauer)

ZPV

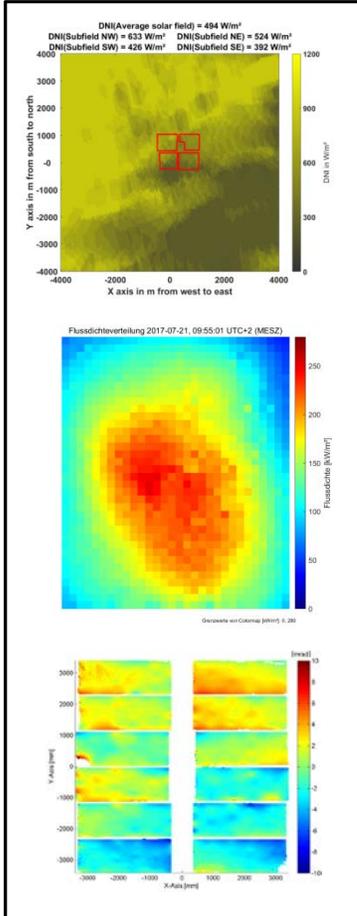
Receiver-Stellgrößen

Kraftwerk-Stellgrößen



Regelungs- und Betriebsführungssystem

Messdaten

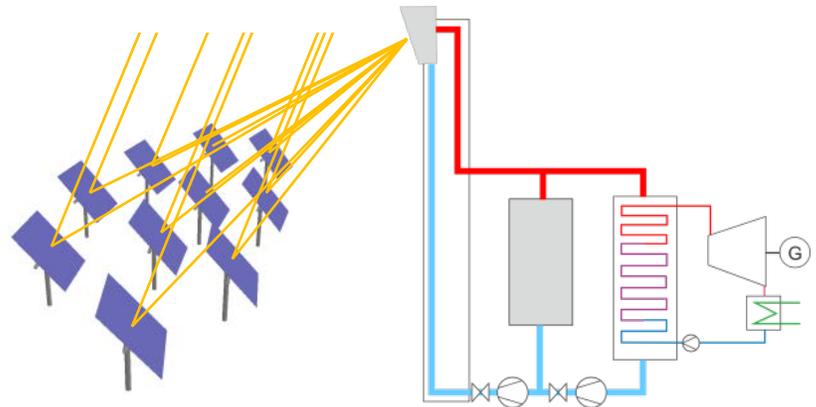


Betriebsführung
Optimierung von Betriebsstrategien

Soll ZPV Soll Receiver-Stellgrößen Soll Kraftwerk-Stellgrößen

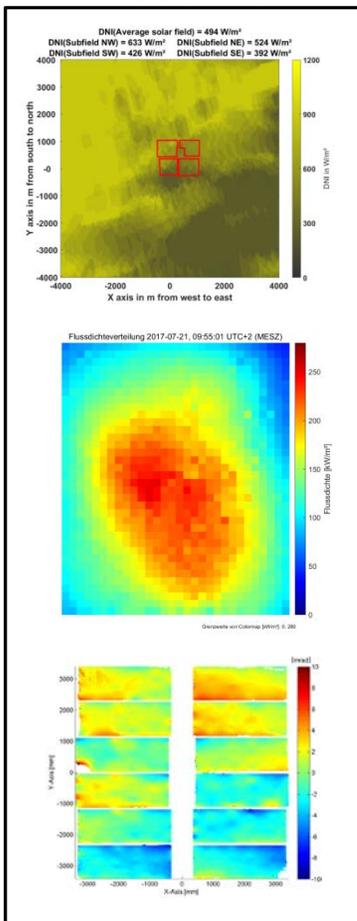
Regelung: Gewährleistet sicheren Betrieb
(Temperaturgrenzen, Gradienten, Lebensdauer)

ZPV Receiver-Stellgrößen Kraftwerk-Stellgrößen



Regelungs- und Betriebsführungssystem

Messdaten



Betriebsführung
Optimierung von Betriebsstrategien

Gehobene Prozessführung

Soll ZPV Soll Receiver-Stellgrößen Soll Kraftwerk-Stellgrößen

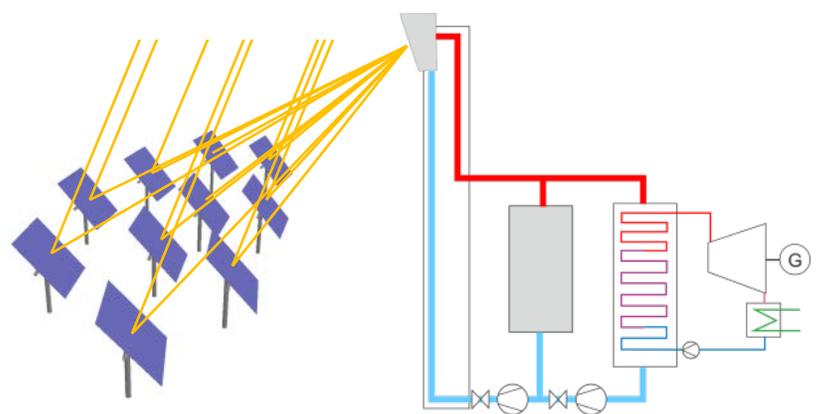
Kommunikationsebene

Regelung: Gewährleistet sicheren Betrieb
(Temperaturgrenzen, Gradienten, Lebensdauer)

Leitsystemebene

ZPV Receiver-Stellgrößen Kraftwerk-Stellgrößen

Kommunikationsebene



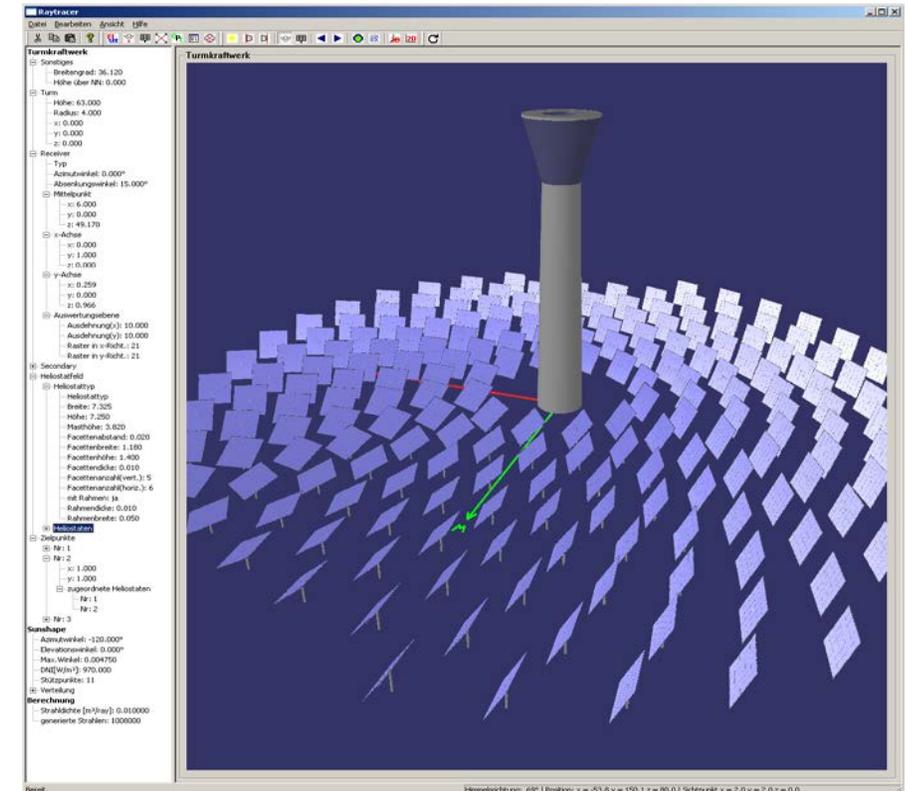
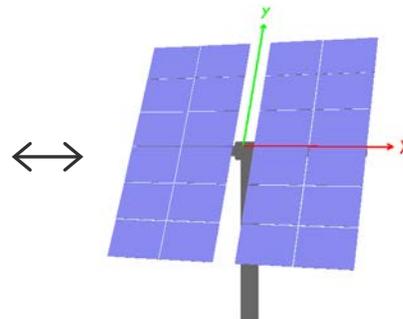
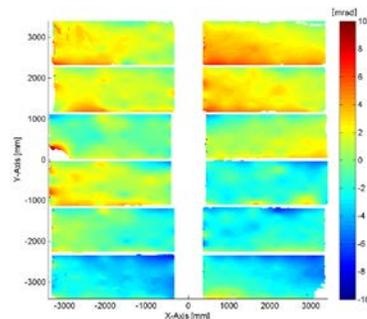
Heliostat- und Kraftwerksebene



Daten, Modelle und Algorithmen made by DLR-SF

Solar Tower Raytracing Laboratory: **STRAL**

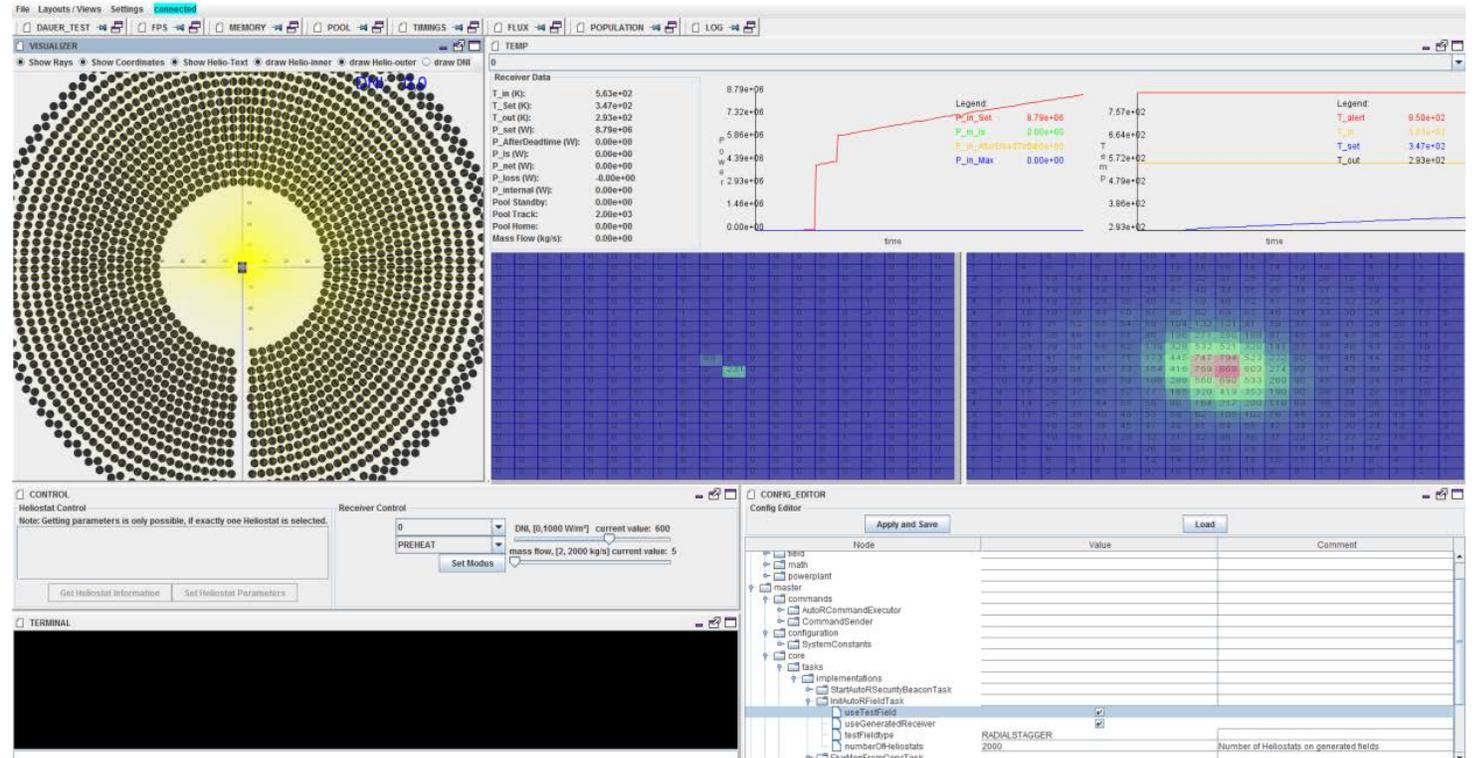
- Hochgenaue Berechnung der Einstrahlungsverteilung
- Einsatz von Deflektometriedaten
- Dynamische Receivermodelle
- Tool-Kopplung (z.B. Simulation WDK mit EBSILON®)
- Optimierung von Betriebsstrategien



Daten, Modelle und Algorithmen made by DLR-SF

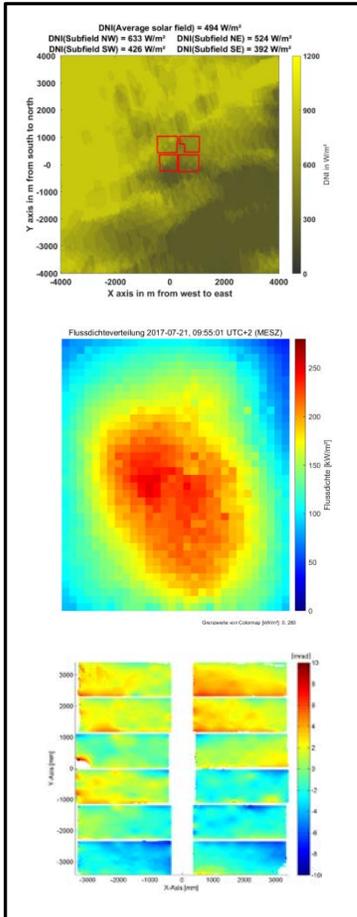
Heliostatleitsystem: HeliOS

- Heliostat-Management
- Kalibrationsroutinen
- Benutzer-Management
- Regelstrategien
- Gewährleistet sicheren Betrieb



Daten, Modelle und Algorithmen made by DLR-SF

Messdaten



Betriebsführung STRAL

```

double Q_cup_Rair = absorberModule::real_Q_cup_Rair
[AN->getZeta()*uData[0], uData[1], Q_Rair_abe, Q_Rair_pipe);
double Q_abe_cup3 = absorberModule::real_Q_abe_cup3(uData[0], uData[1]);
fData[0] = F_abe + F_gap - Q_abe_air - Q_cup_Rair - Q_abe_cup3;
// EQUATION (1)
fData[1] = uData[0] * (uData[1] - uData[2]) + Q_abe_air;
// EQUATION (2)
fData[2] = AN->getZeta()*uData[0] * uData[1] - uData[2] * Q_cup_Rair;
    
```

Gehobene Prozessführung

Soll ZPV Soll Receiver-Stellgrößen Soll Kraftwerk-Stellgrößen

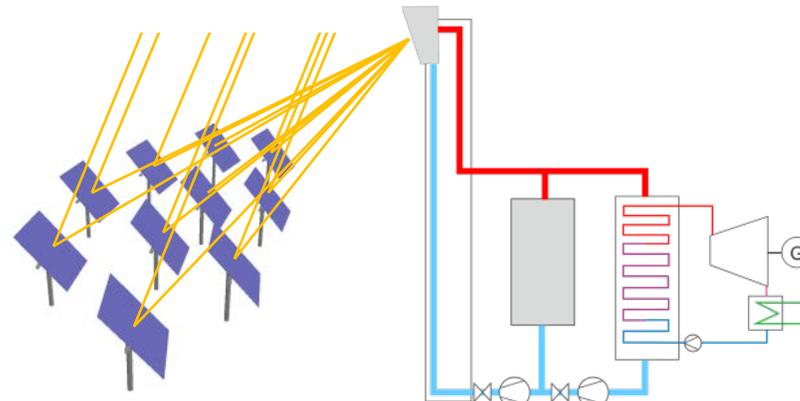
Kommunikationsebene

Regelung HeliOS

Leitsystemebene

ZPV Receiver-Stellgrößen Kraftwerk-Stellgrößen

Kommunikationsebene



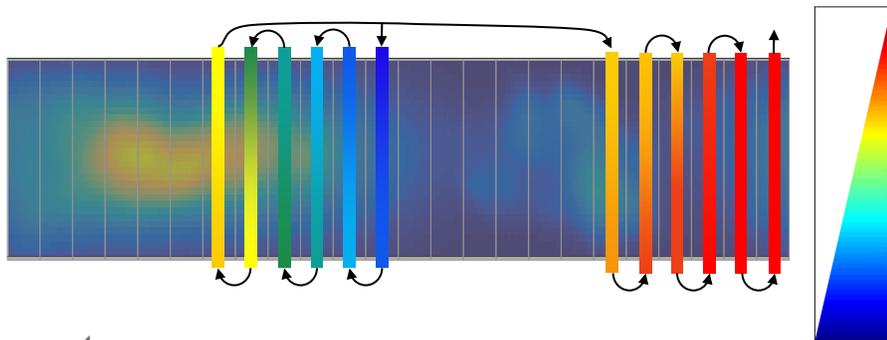
Heliostat- und Kraftwerksebene



Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz Beispiel Salzreceiver

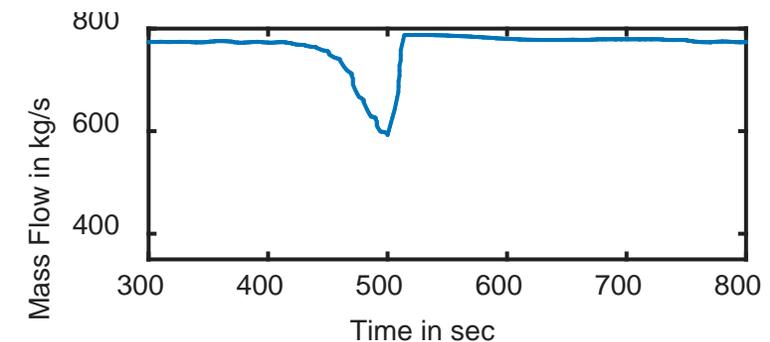
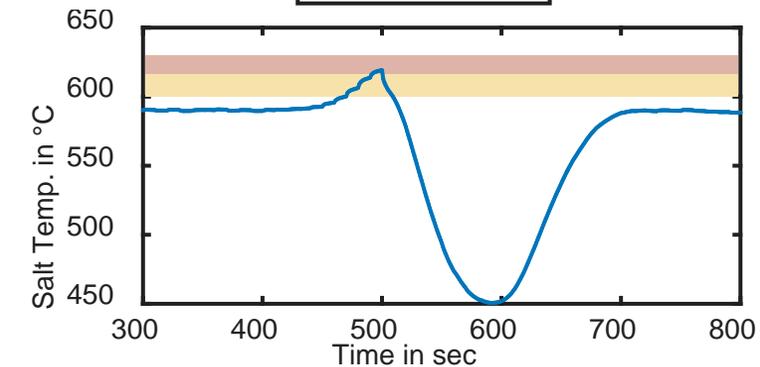
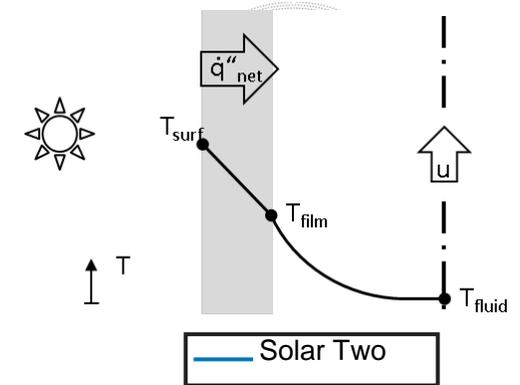
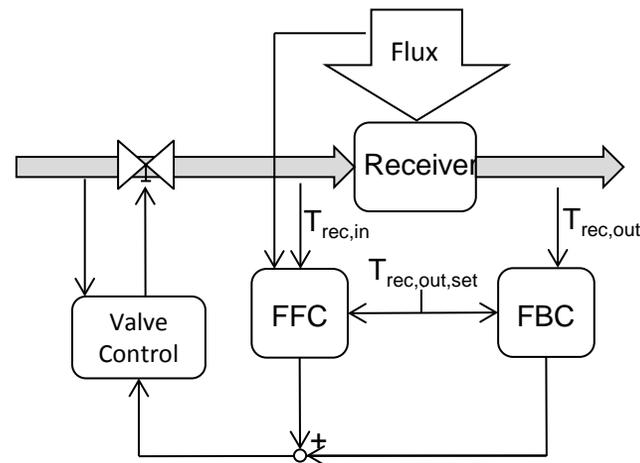
Herausforderungen

- Sequentielle Durchströmung
- Dynamisch inhomogene Einstrahlung
- Dynamische Flussdichte-Grenzwerte
 - Massenstrom
 - Temperatur



Stand der Technik

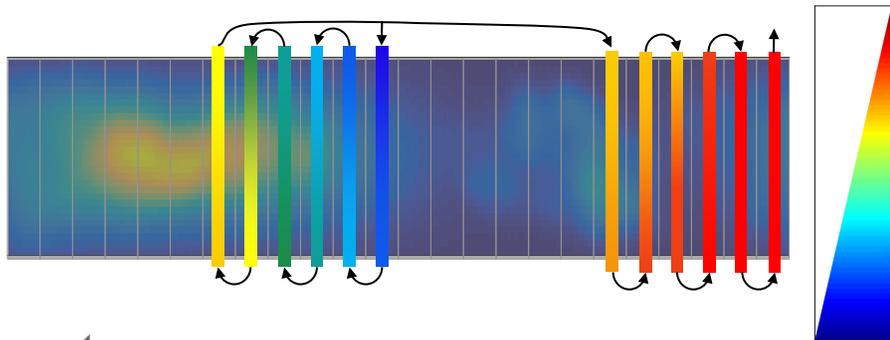
- PID-Regler mit Störgrößen-aufschaltung
- „Cloud-Standby“ als Sicherheitsmodus mit erhöhtem Massenstrom



Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz Beispiel Salzreceiver

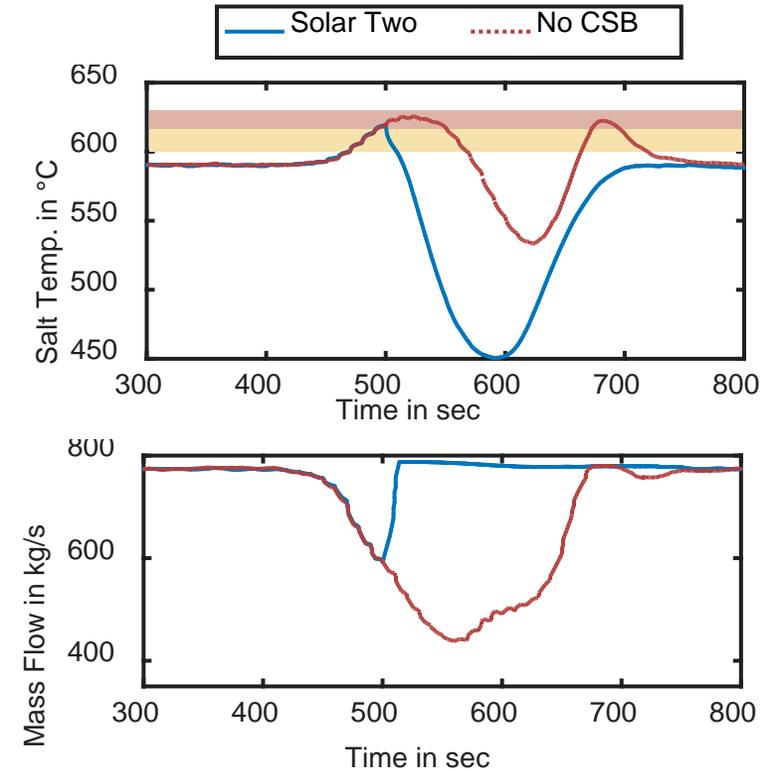
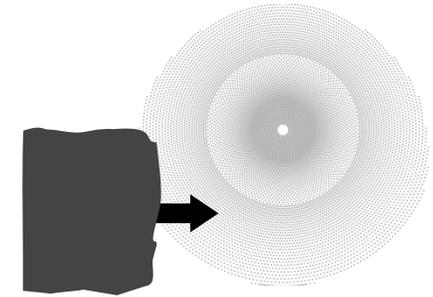
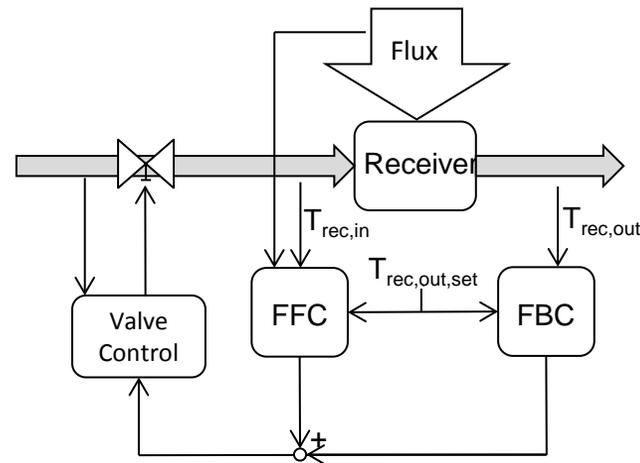
Herausforderungen

- Sequentielle Durchströmung
- Dynamisch inhomogene Einstrahlung
- Dynamische Flussdichte-Grenzwerte
 - Massenstrom
 - Temperatur



Stand der Technik

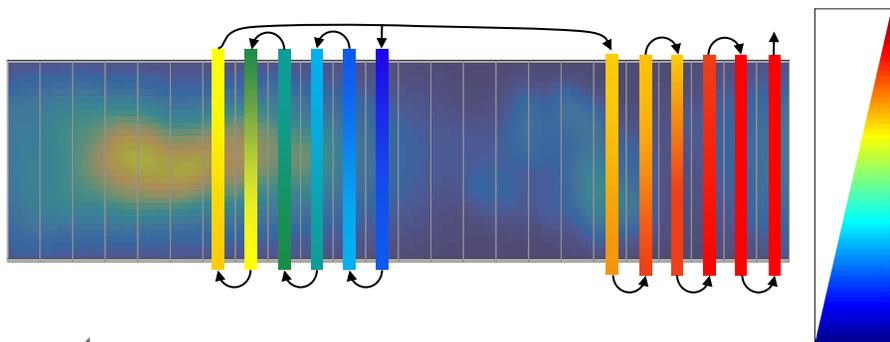
- PID-Regler mit Störgrößen-aufschaltung
- „Cloud-Standby“ als Sicherheitsmodus mit erhöhtem Massenstrom



Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz Beispiel Salzreceiver

Herausforderungen

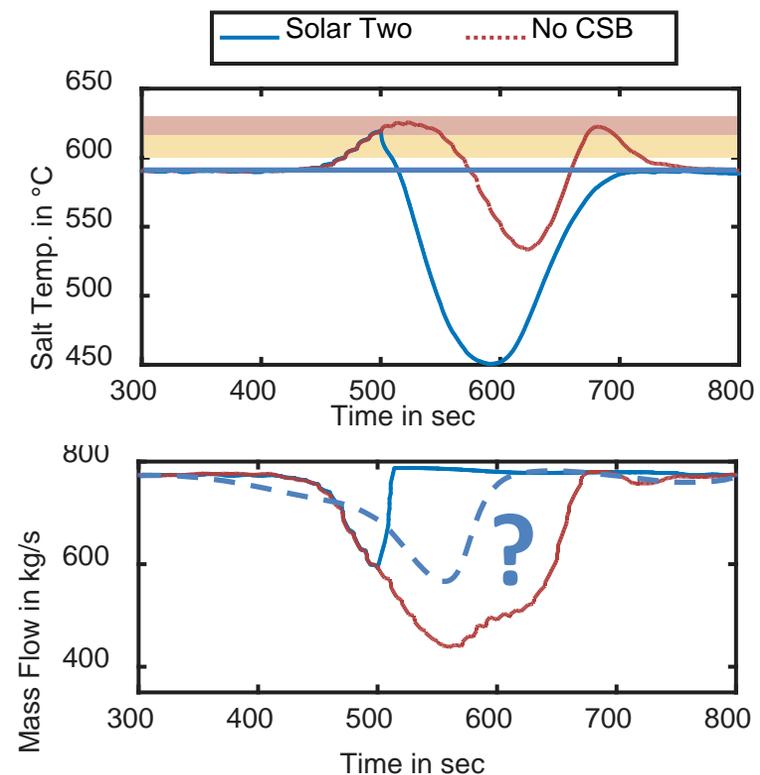
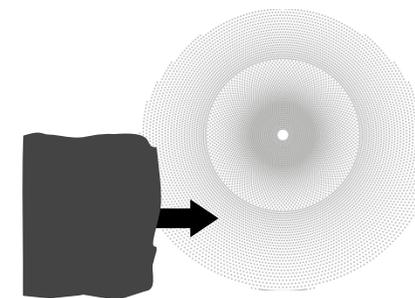
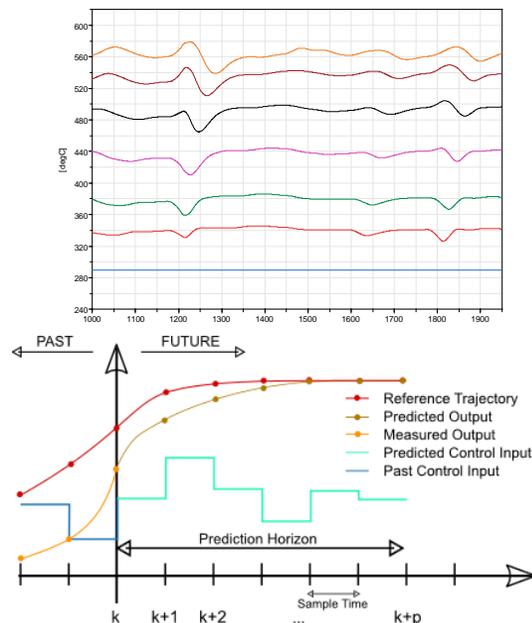
- Sequentielle Durchströmung
- Dynamisch inhomogene Einstrahlung
- Dynamische Flussdichte-Grenzwerte
 - Massenstrom
 - Temperatur



Forschungsthema

- Modellprädiktiver Regler
- Optimierung Massenstrom-

Verlauf

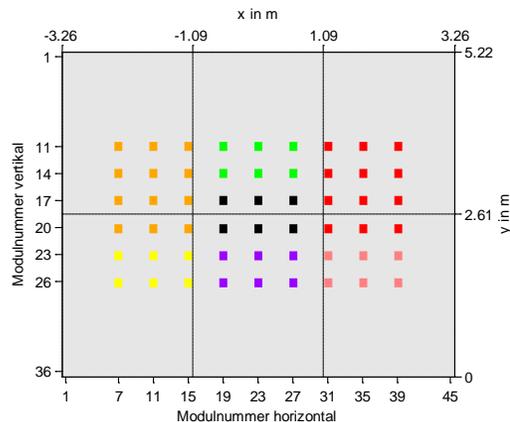
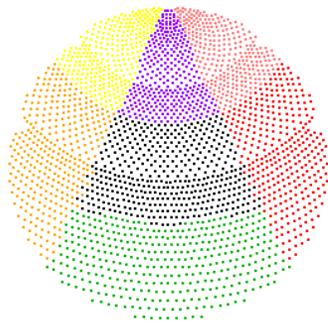


Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz

Beispiel Zielpunktoptimierung

Herausforderungen

- Komplexitätsklasse NP-vollständig
- Lösungsraum $S = n_z^{n_h}$
- Dynamische Flusssichte-Grenzwerte
 - Massenstrom
 - Temperatur

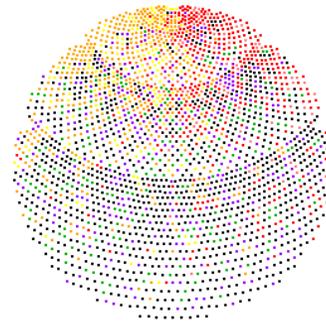


Forschungsthema

- Kombinatorische Optimierung
- Ameisenalgorithmus
- Hybridisierung mit Local-Search

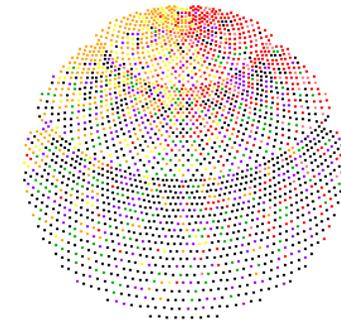
Intercept - Optimierung

Massenstromerhöhung **+11.31%**



Massenstrom - Optimierung

Massenstromerhöhung **+13.62%**



Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz Beispiel Zielpunktoptimierung

Herausforderungen

- Komplexitätsklasse NP-vollständig
- Lösungsraum $S = n_z^{n_h}$
- Dynamische Flussdichte-Grenzwerte
 - Massenstrom
 - Temperatur

Forschungsthema

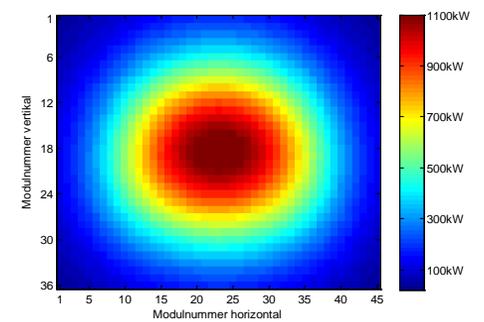
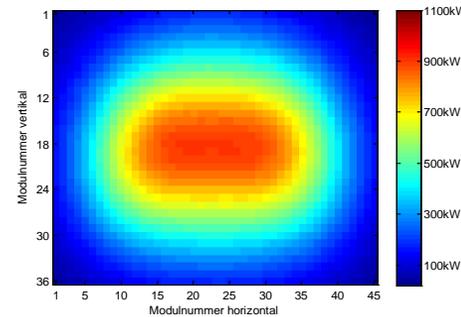
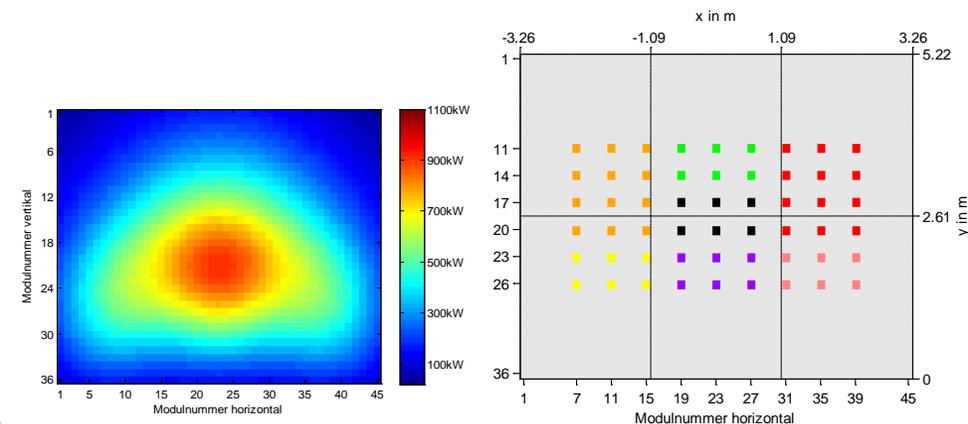
- Kombinatorische Optimierung
- Ameisenalgorithmus
- Hybridisierung mit Local-Search

Intercept - Optimierung

Massenstromerhöhung **+11.31%**

Massenstrom - Optimierung

Massenstromerhöhung **+13.62%**



Das Regelungs- und Betriebsführungssystem im Einsatz

- Erprobung am STJ im Projekt HeliBo
- Übertragen und Verarbeiten der Messdaten
 - Integrität
 - Synchronisierung
 - Umgang mit Abweichungen zwischen Messwert und Simulationsdaten
- Zielpunktmanagement
- Regelung und Optimierung von Receiver und Kraftwerksprozess
- Management der Kalibrationsroutinen



Ministerium für Innovation,
Wissenschaft und Forschung
des Landes Nordrhein-Westfalen



ETN

Projektträger Energie · Technologie · Nachhaltigkeit
Forschungszentrum Jülich GmbH
in der Helmholtz-Gemeinschaft

