

Solare Energiesysteme im Sonnengürtel: Neue Entwicklungen

Bernhard Hoffschmidt

AKE, 21.03.2019

Bad Honnef



Wissen für Morgen



Inhalt

- CSP Technologie
- Kosten- und Marktentwicklung
- CSP 4.0
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- Hybridkraftwerke
- Wärmespeicherkraftwerke

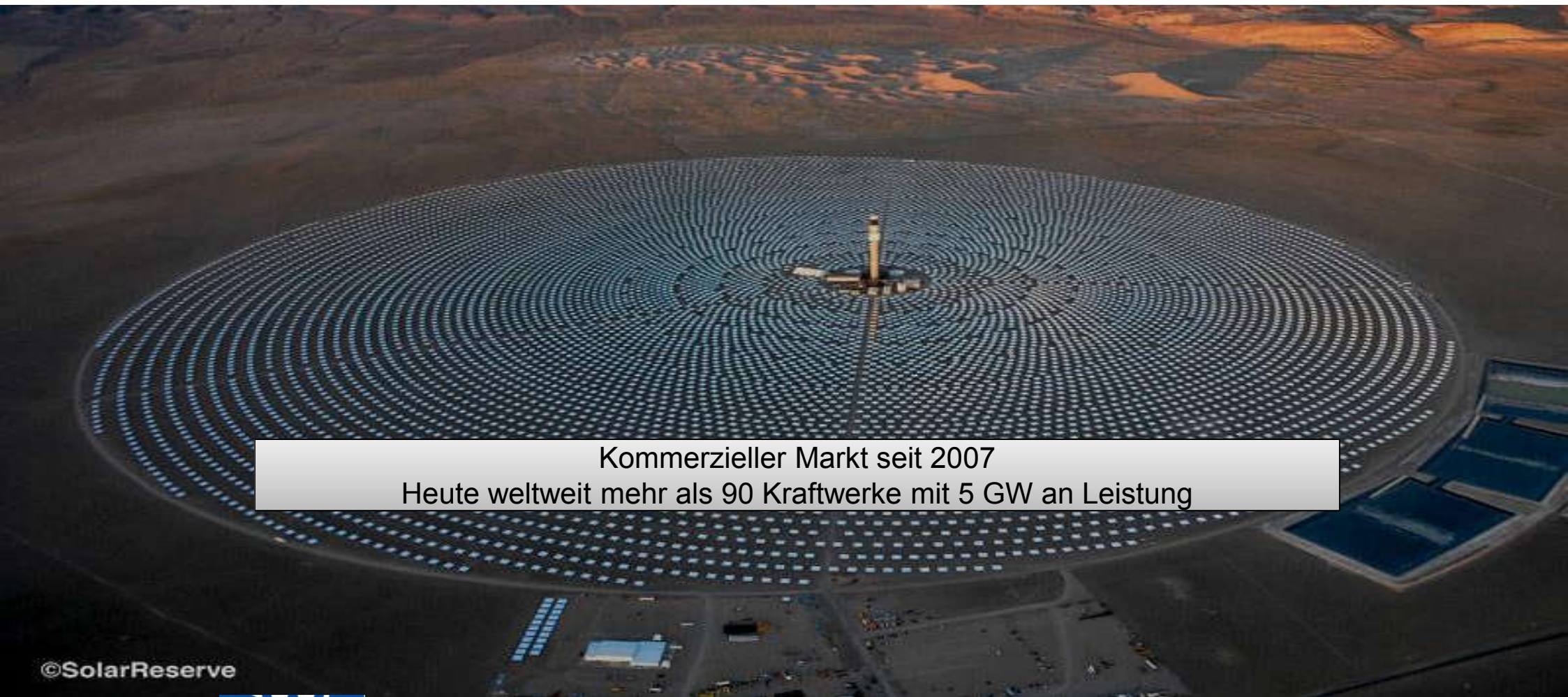


Inhalt

- **CSP Technologie**
- Kosten- und Marktentwicklung
- CSP 4.0
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- Hybridkraftwerke
- Wärmespeicherkraftwerke



Große thermische Speicher in solarthermischen Kraftwerken entwickelt und erprobt

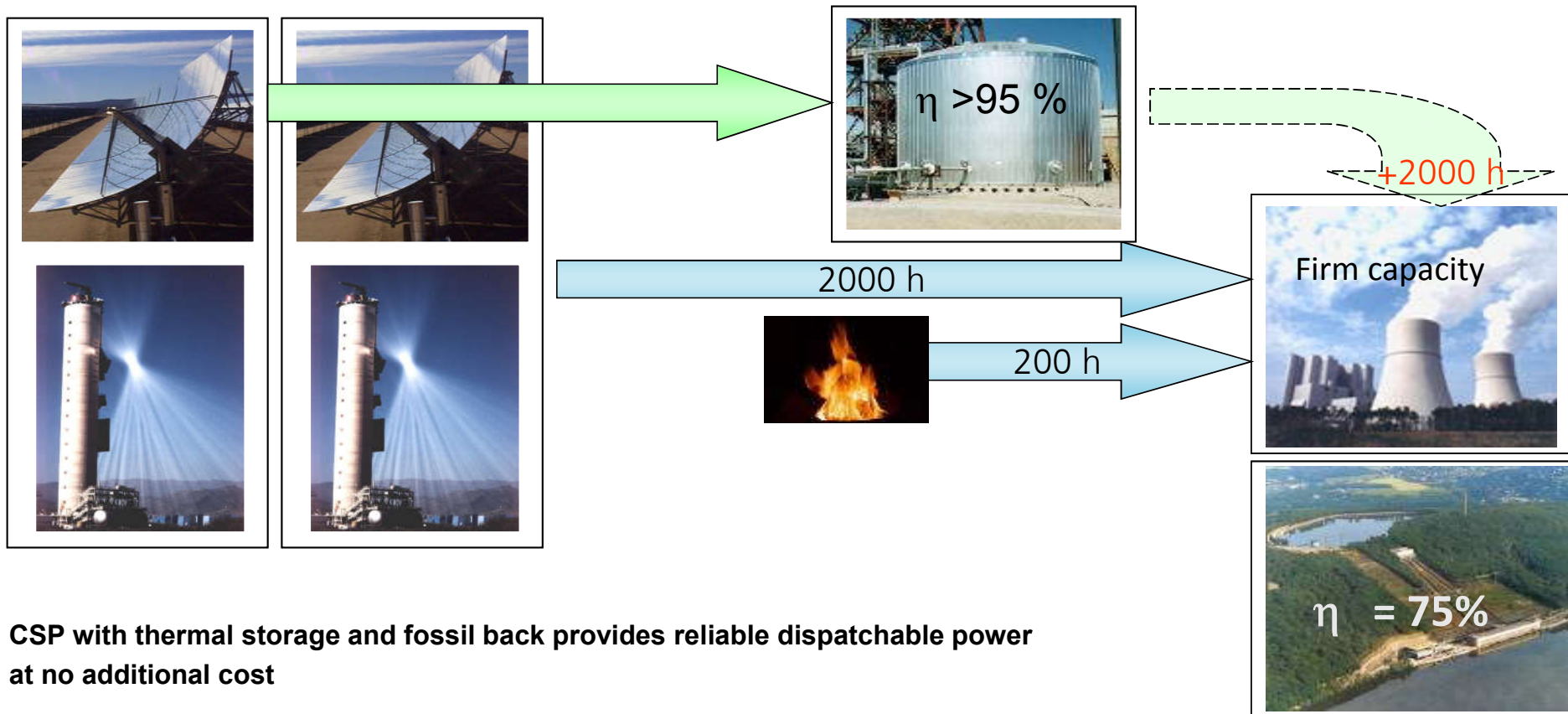


Kommerzieller Markt seit 2007
Heute weltweit mehr als 90 Kraftwerke mit 5 GW an Leistung

©SolarReserve



Thermal Storage vs. Electric Storage



CSP with thermal storage and fossil back provides reliable dispatchable power at no additional cost



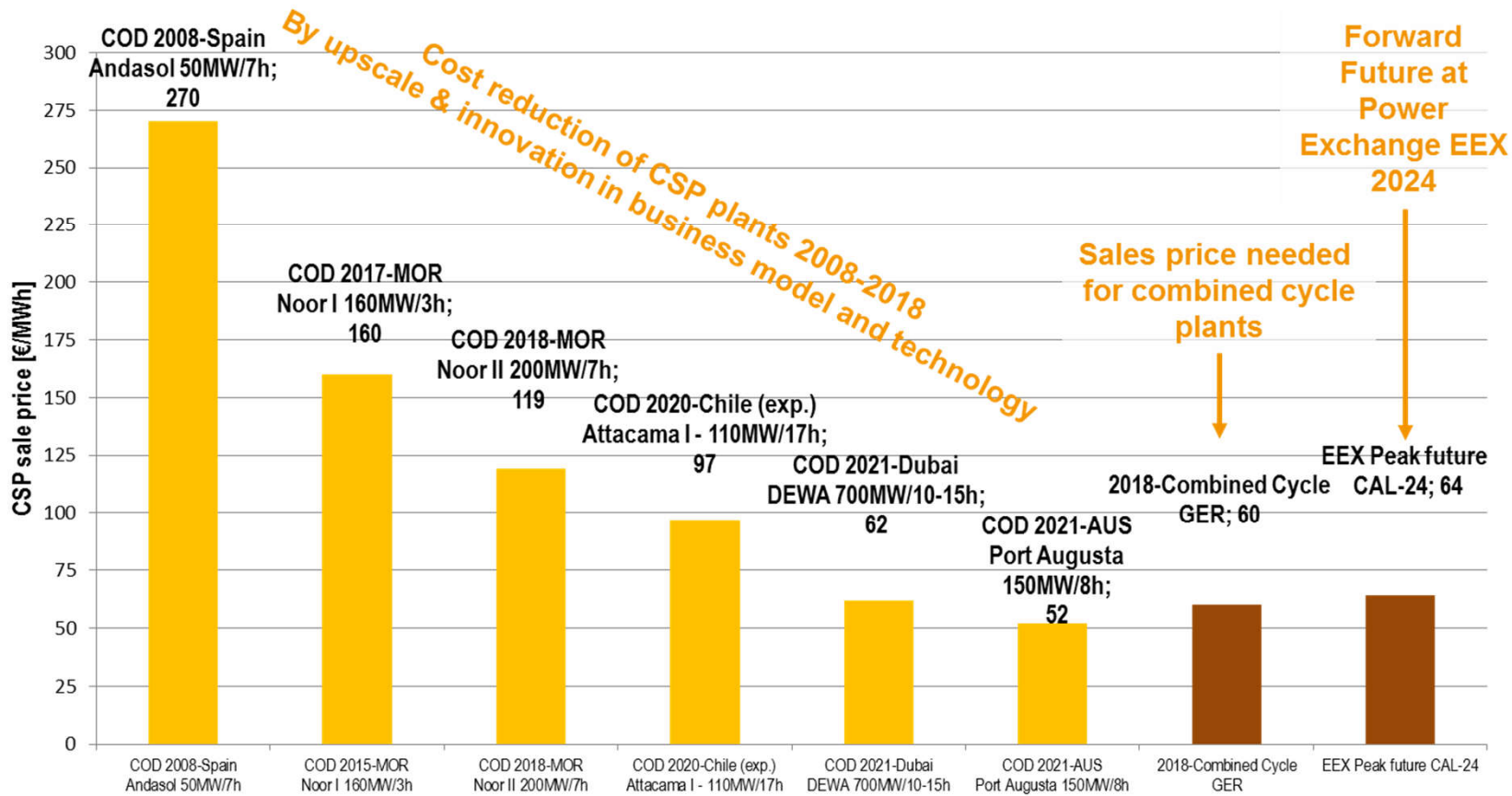
Inhalt

- CSP Technologie
- **Kosten- und Marktentwicklung**
- CSP 4.0
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- Hybridkraftwerke
- Wärmespeicherkraftwerke



CSP PPA Sales Price

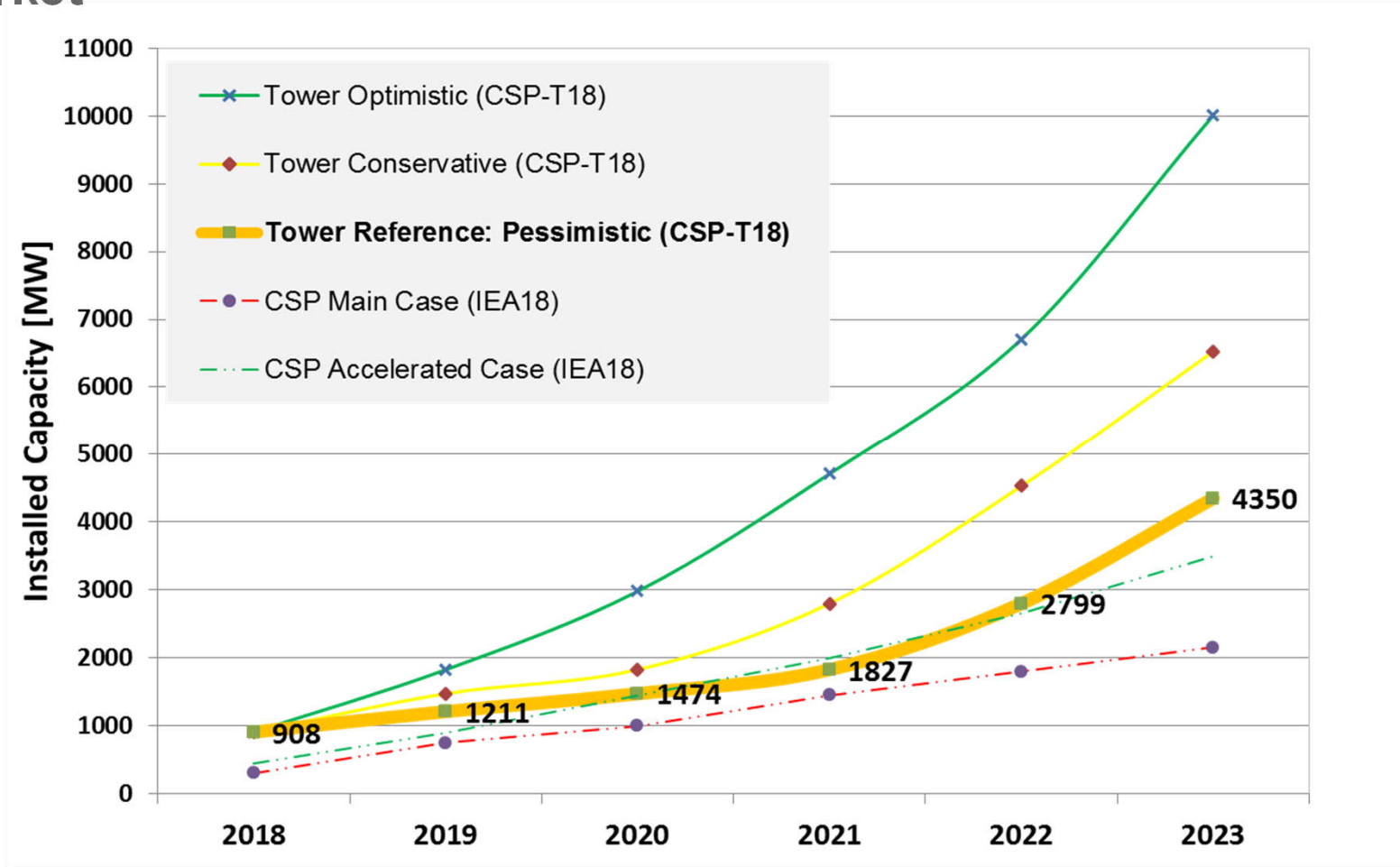
PPA sales price development for CSP vs. GT combined cycle & EEX



Source: IA Tech GmbH



CSP Market



Source: IA Tech GmbH

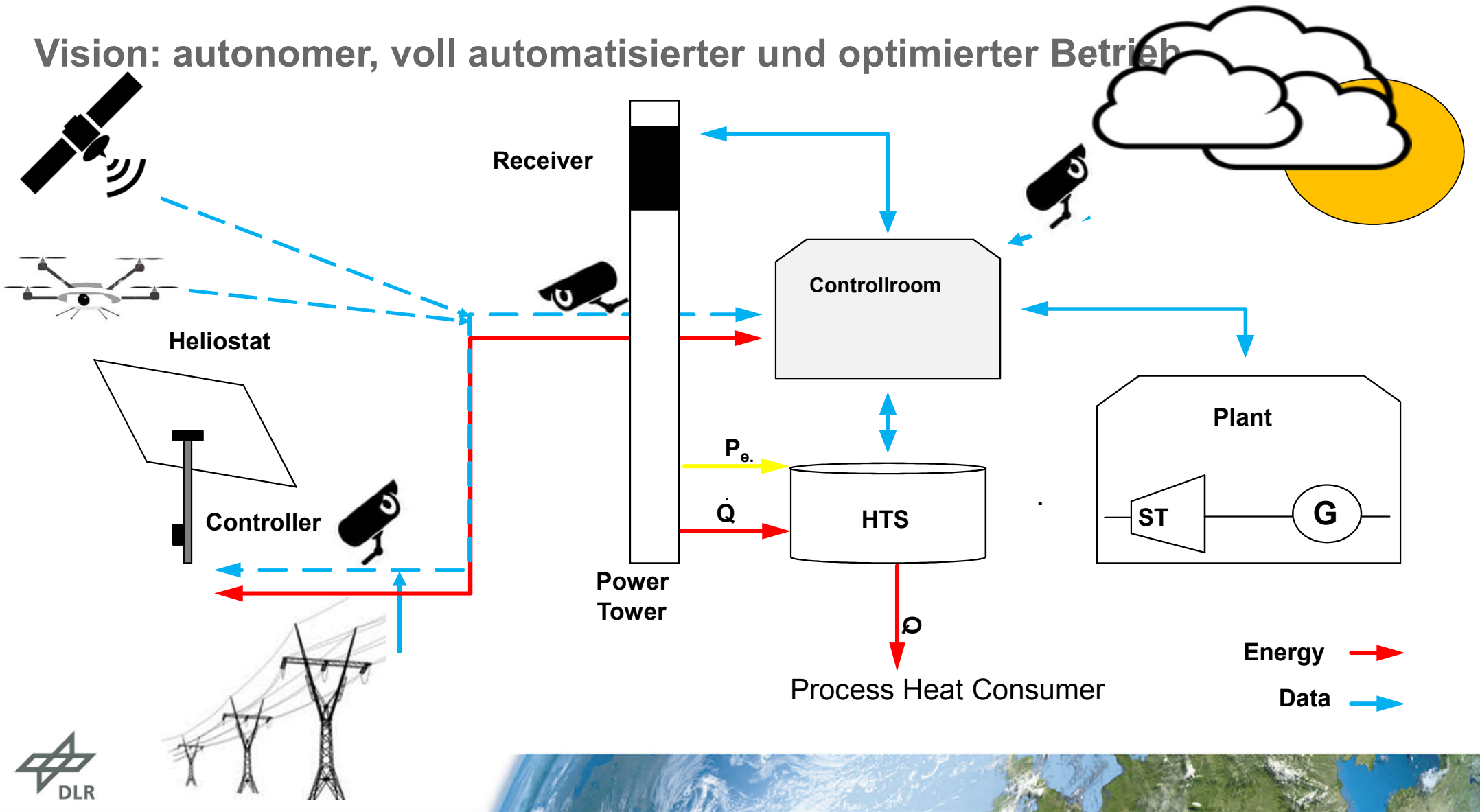


Inhalt

- CSP Technologie
- Kosten- und Marktentwicklung
- **CSP 4.0**
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- Hybridkraftwerke
- Wärmespeicherkraftwerke

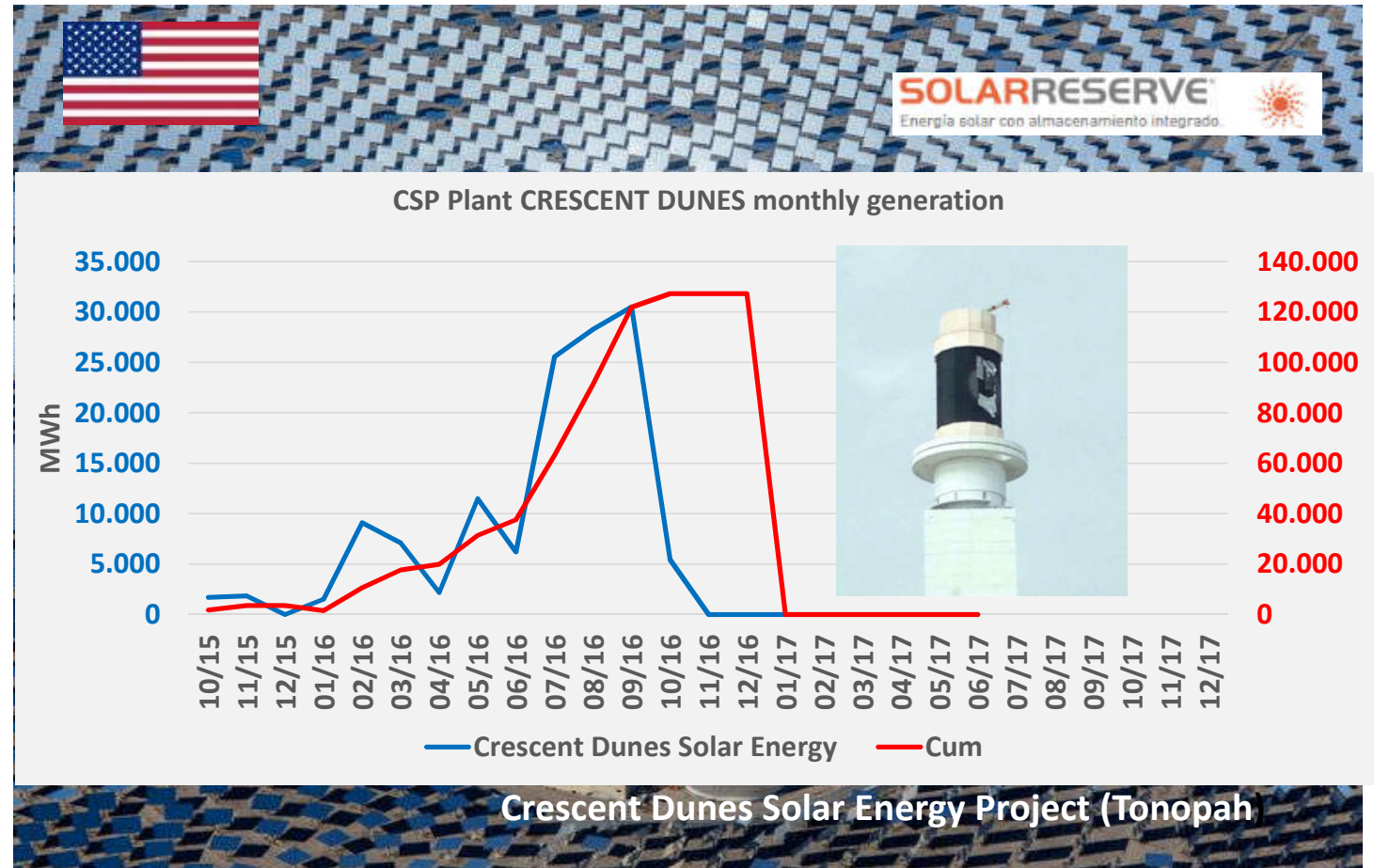


Vision: autonomer, voll automatisierter und optimierter Betrieb



Solarthermische Kraftwerke sind komplexe Systeme

- 110 MW
- 10 h Speicher
- > 10.000 Heliostate á 115 m²
- Turmhöhe 195 m
- 500 GWhe Jahresproduktion (entspricht ca. 200 MW PV)

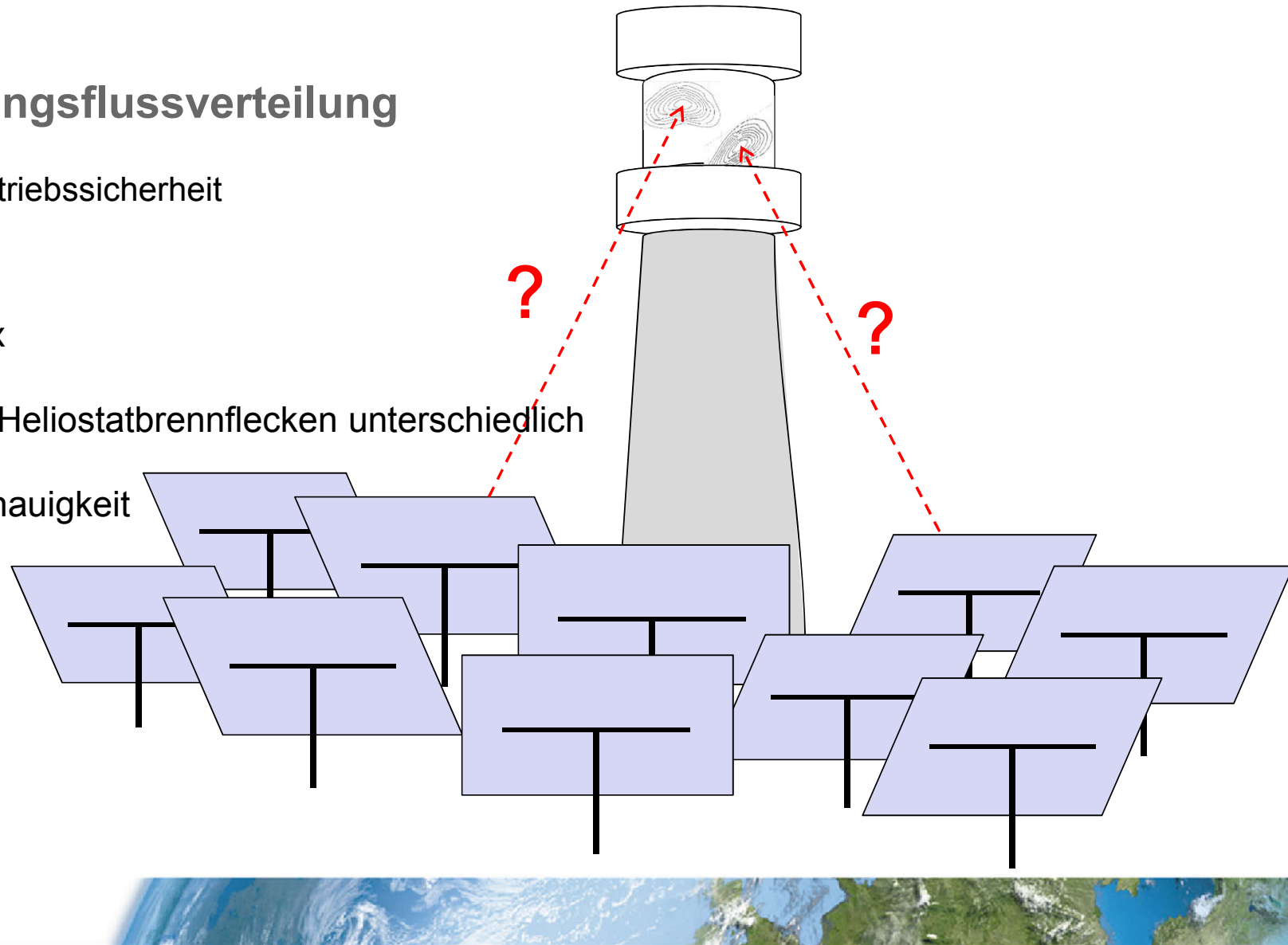


Herausforderung: Regelung der Strahlungsflussverteilung

Optische Effizienz ↔ Betriebssicherheit

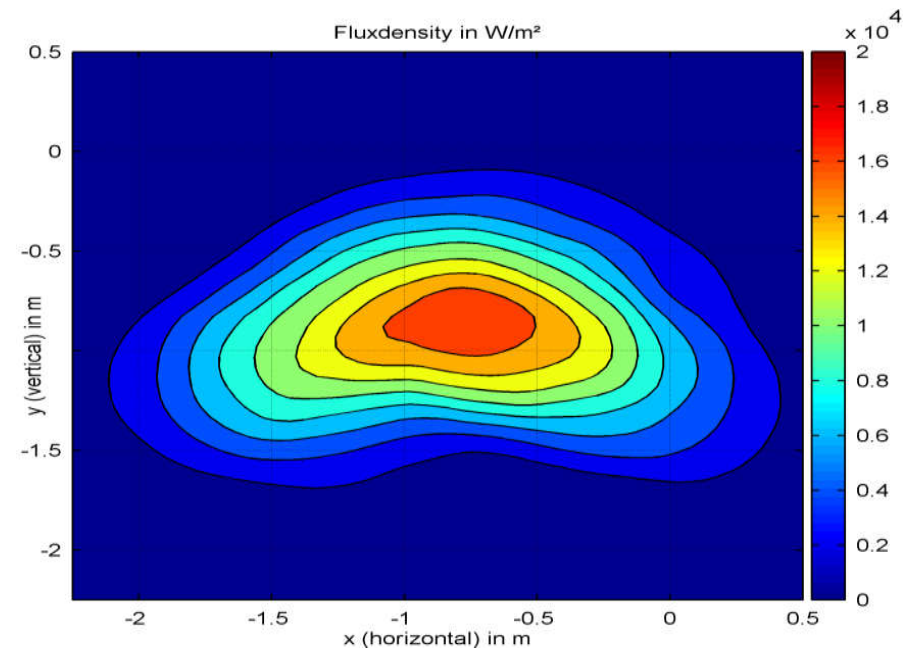
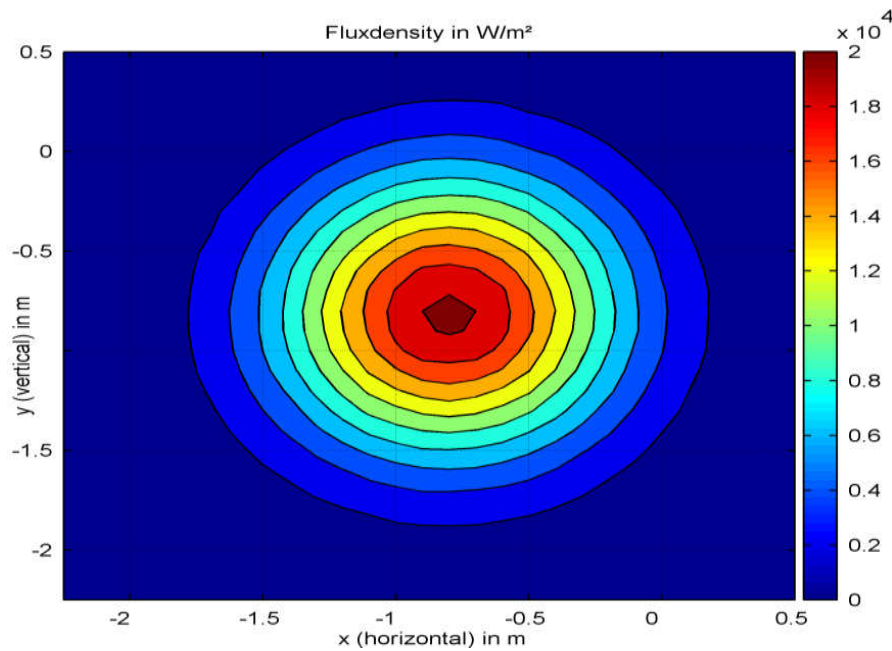
Das Problem ist komplex

- hoher Freiheitsgrad
- Größe und Form der Heliostatbrennflecken unterschiedlich
- zeitlich variable
- endliche Nachführgenauigkeit



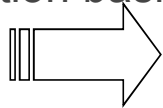
Stand der Technik

Gemessene und simulierte Strahlungsflussverteilung eines einzelnen Heliostaten



Simulation basiert auf statistischen Fehlerannahmen

gemessen



Geringe Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung

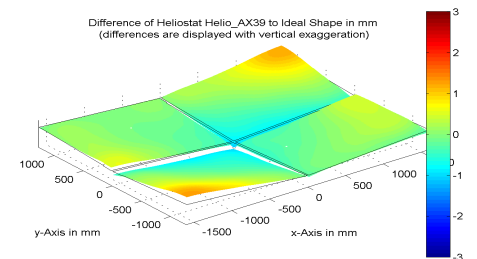
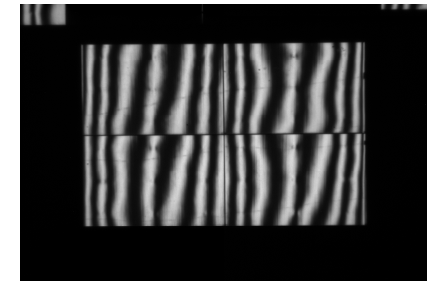
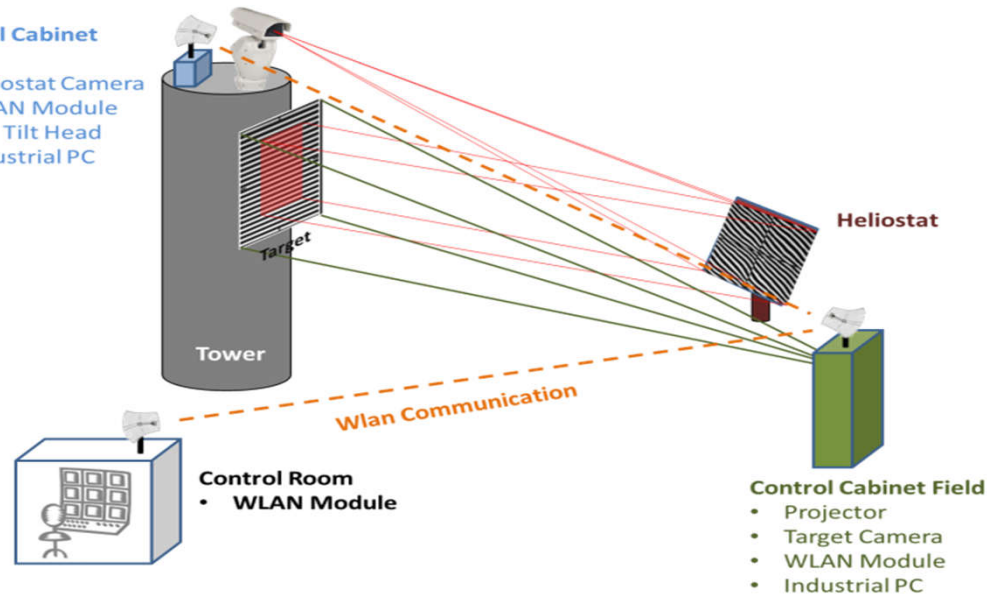


Berücksichtigung der Reflektorform mittels Deflektometrie

Automatisches Deflektometrie Messsystem



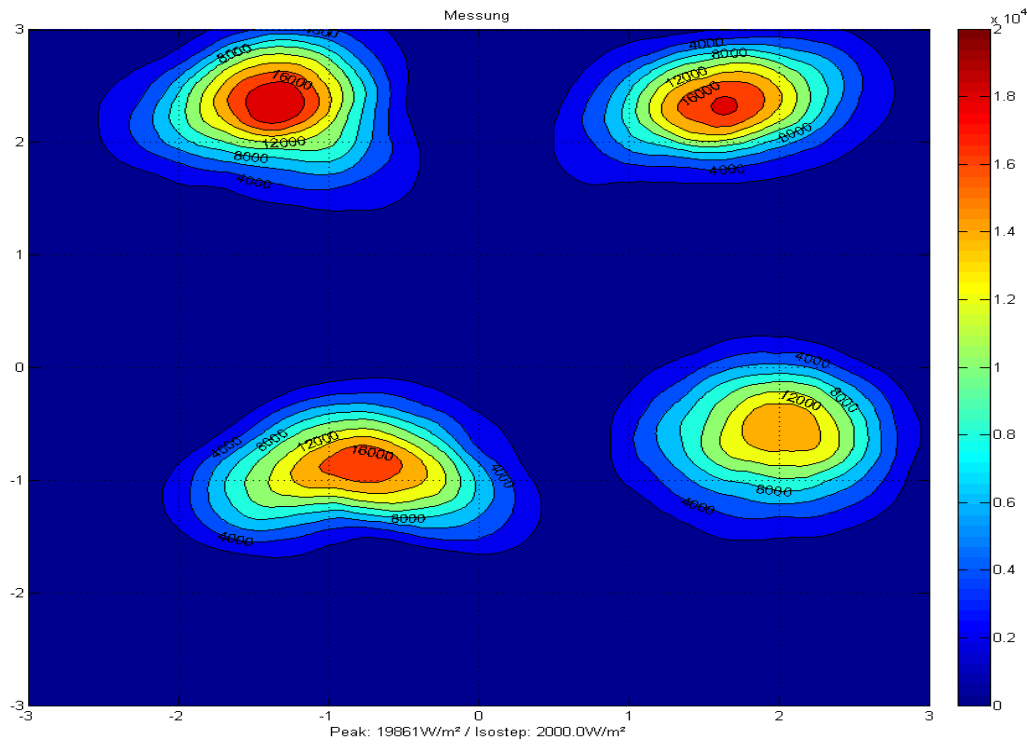
- Control Cabinet Tower**
- Heliostat Camera
 - WLAN Module
 - Pan Tilt Head
 - Industrial PC



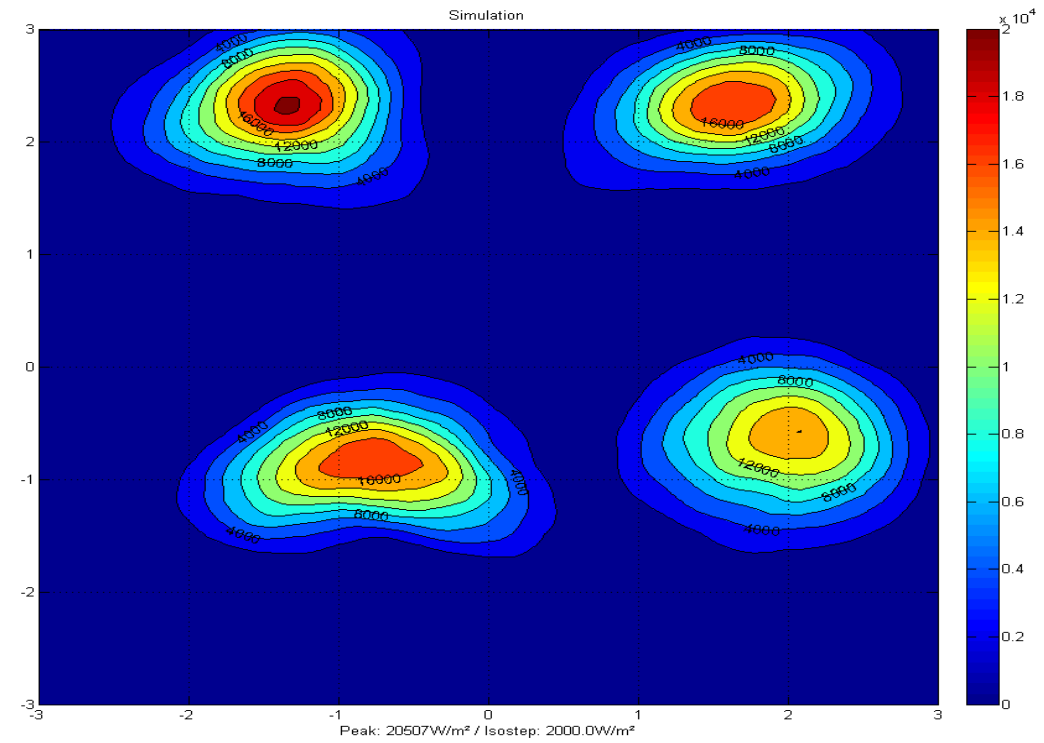
- Automatische Auswahl der Heliostaten
- Automatische Messung und Auswertung
- Messintervall: ~60sec./hel.



Validierung durch Vergleich von Messung und Simulation



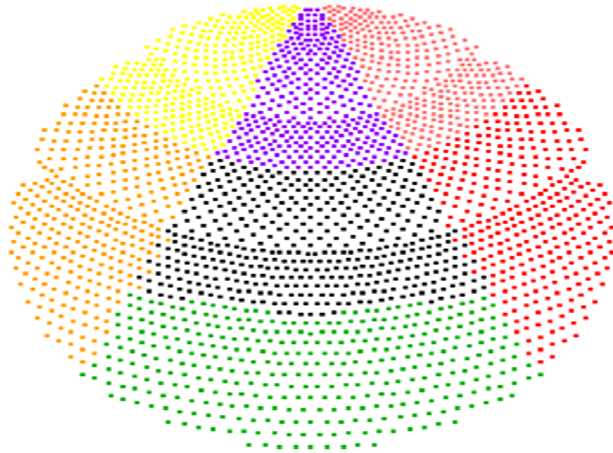
Messung



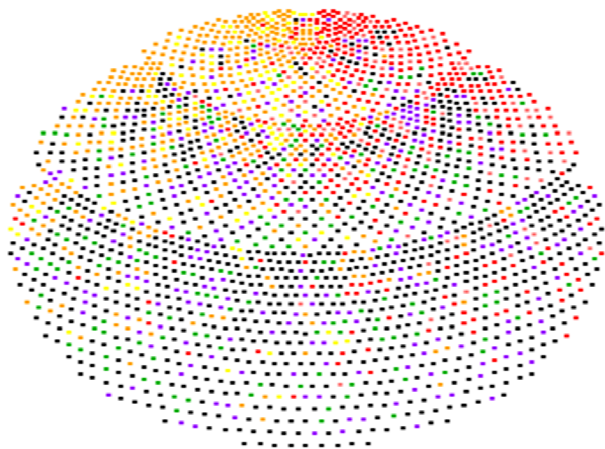
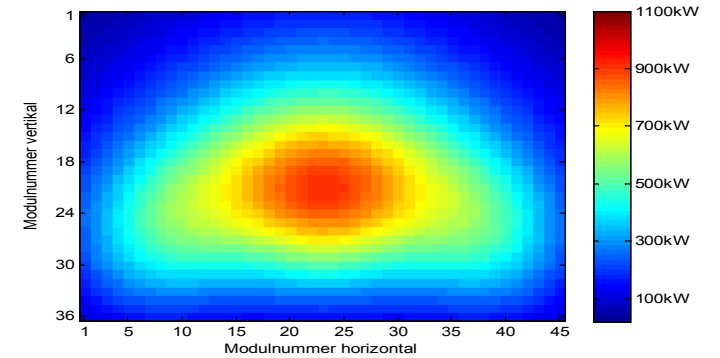
Simulation



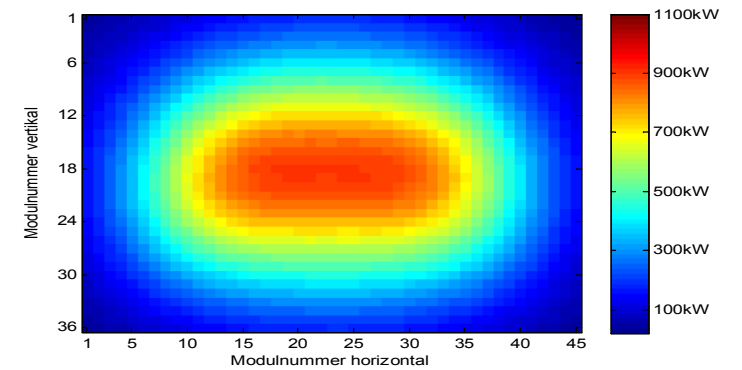
Zielpunkt Optimierung @ Solar Tower Jülich



Referenz Fall
Erfahrung des Operators
Leistung = 100%

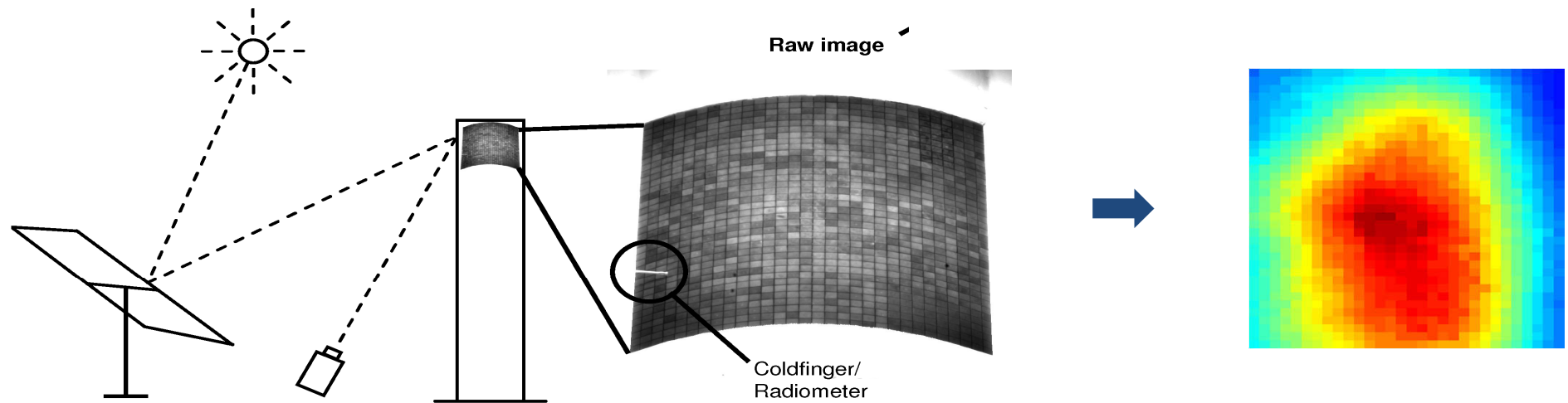


Intercept Optimierung
➔ Power Output **111.31 %**

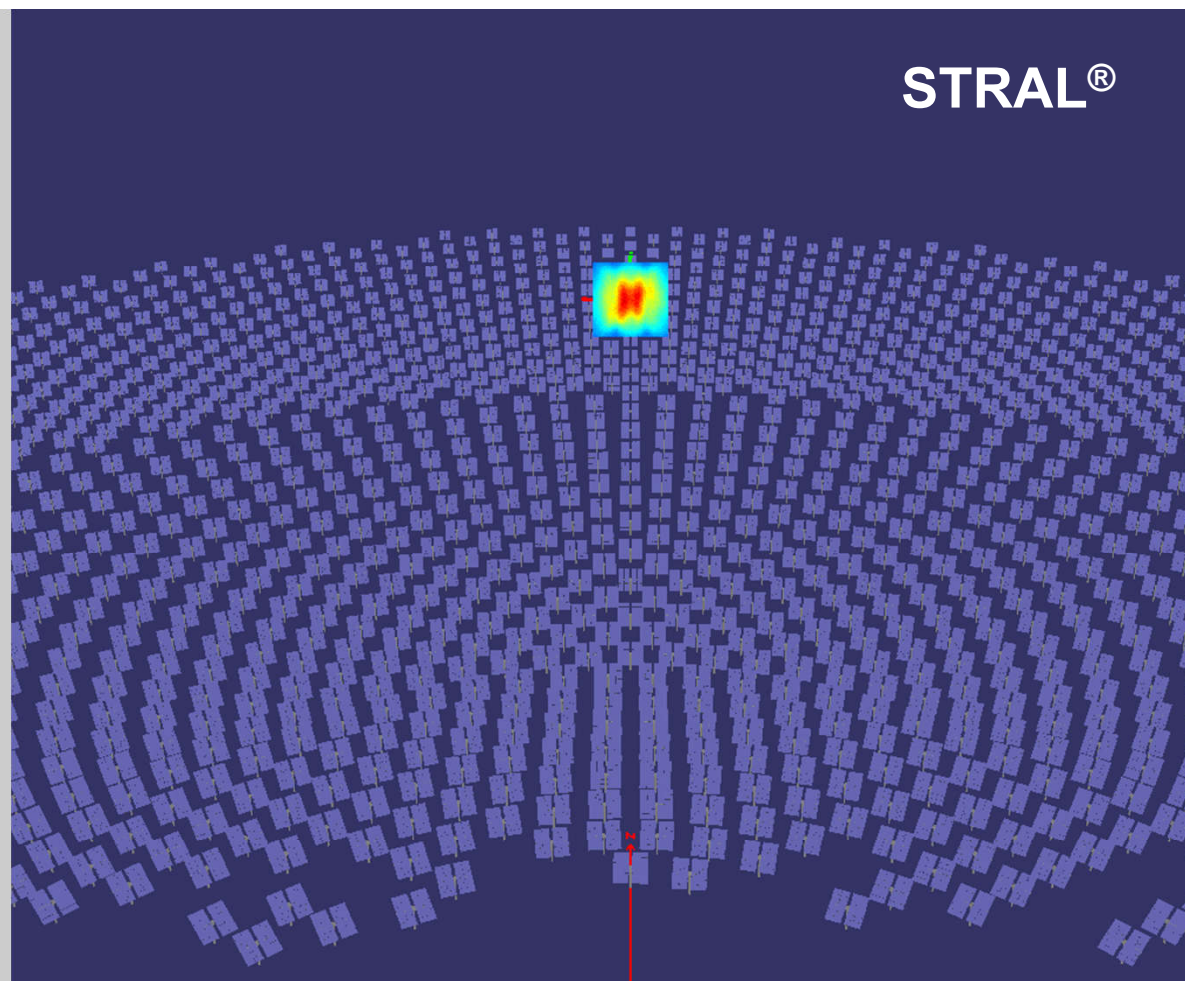
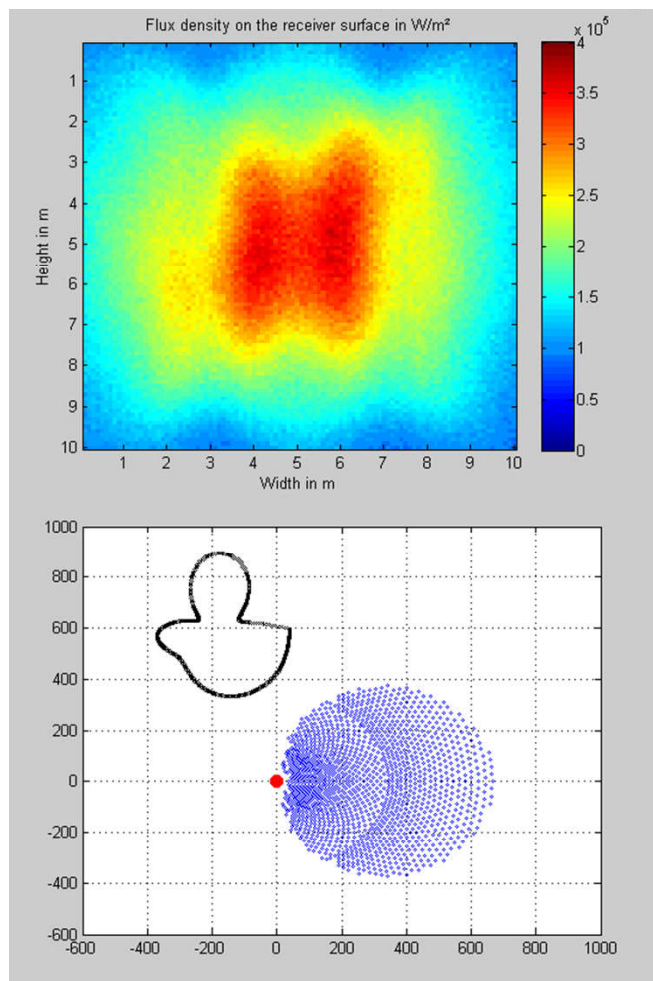


Messung der Strahlungsflussdichte auf einem großen Receiver

- Große Receiver ohne Target, das durch den Strahlengang gefahren wird.
- Strahlungsflussmessung auf Receiveroberfläche bislang sehr ungenau
- Neues Verfahren mit Genauigkeit $< 8\%$



Was passiert bei Wolkendurchgängen?

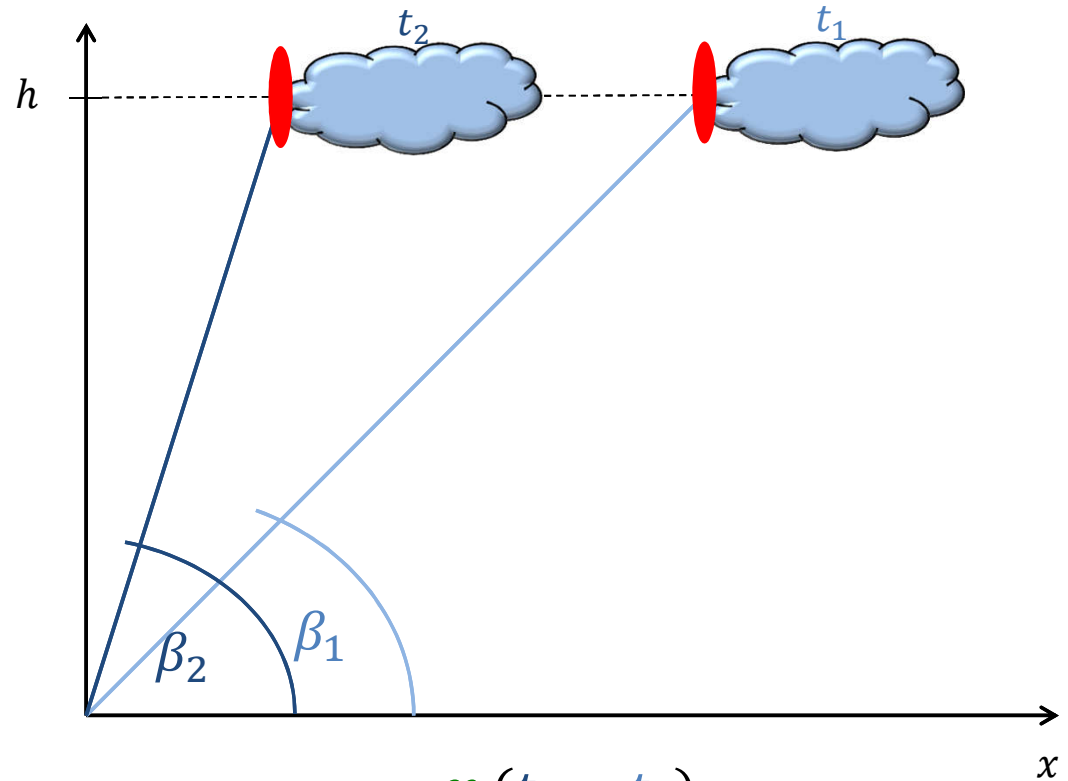


Bestimmung von Heliostatfeldverschattungen mittels Wolkenkameras

Cloud height can be derived if $v_{\text{pixel/s}}$ and $v_{\text{m/s}}$ are known



Time t_2



$$h = \frac{v (t_2 - t_1)}{\cot(\beta_1) - \cot(\beta_2)}$$



Schattenkamarasysteme zur Validierung der Wolkenmodelle



Standard
Überwachungskamera



Schattenkamerabild (4 pro Minute)



Orthoimage
(5m per pixel)



QFly – Drohnen sind ein Schlüssel zur schnellen Analyse großer Solarfelder

QFly UAV



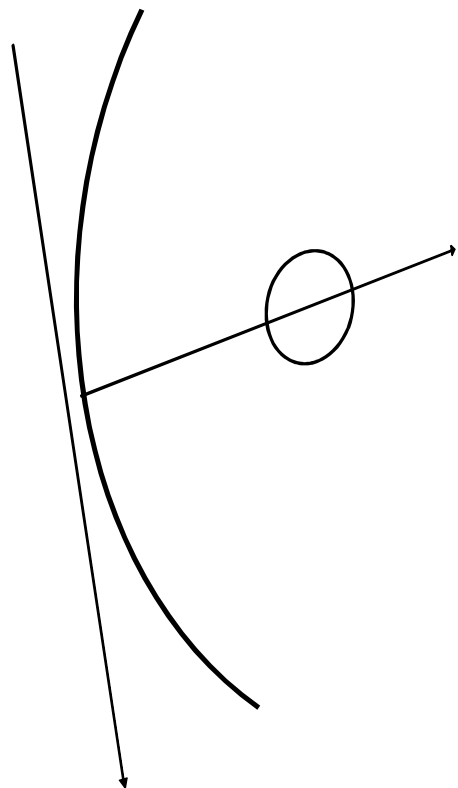
QFly – Überflug einer Parabolrinne

Raw Data

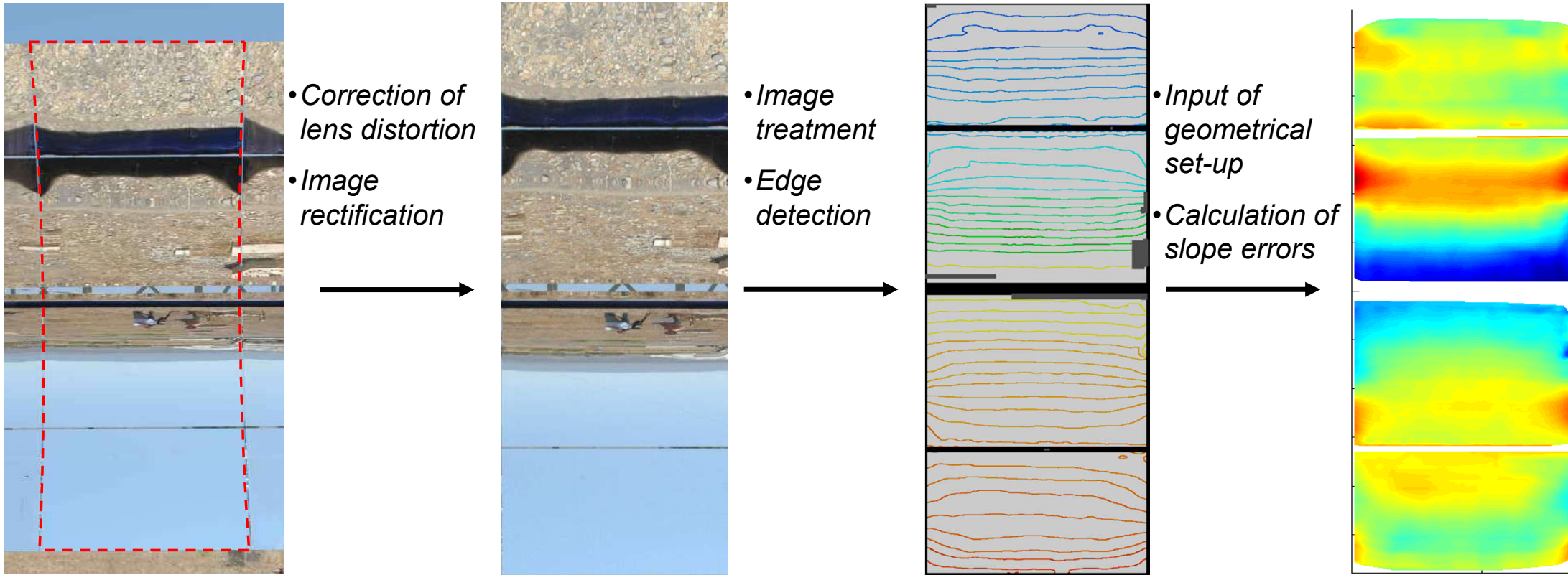


Messprinzip

Verzerrter Reflex des Absorberrohrs erlaubt Bestimmung von Formfehlern



Evaluation

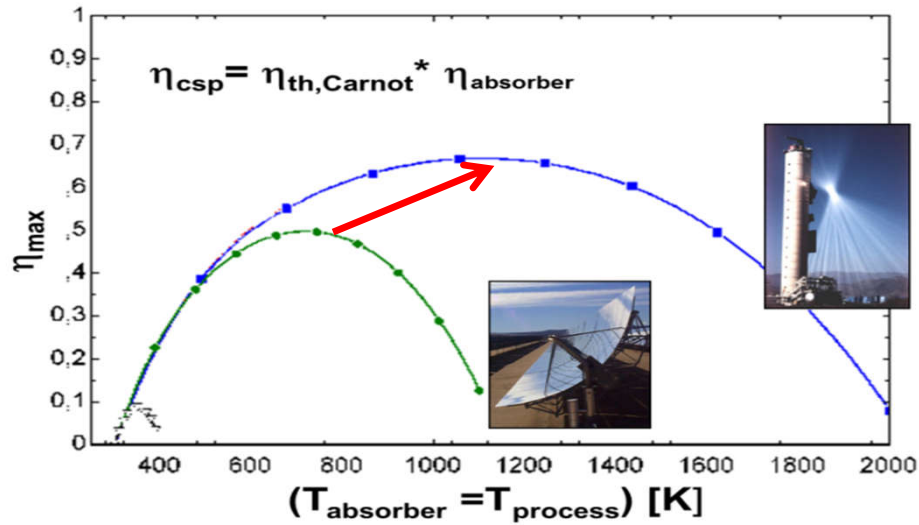


Inhalt

- CSP Technologie
- Kosten- und Marktentwicklung
- CSP 4.0
- **Hochtemperaturpartikelreceiver**
- Hybridkraftwerke
- Wärmespeicherkraftwerke



Challenges and Objectives



- High Concentration + High Temperature = High Efficiency = Low Cost
 - Advanced heat transfer media needed for:
 - High temperature operation
 - Efficient storage integration
- Break today's temperature limit of 400°C (trough) / 560°C (tower)

Silicon Oil $T_{max} = 480^{\circ}C$	Air $T_{max} > 700^{\circ}C$	Advanced Salt $T_{max} > 600^{\circ}C$	Particles $T_{max} > 900^{\circ}C$	Liquid Metal $T_{max} > 800^{\circ}C$



Research Question 1

Can ceramic particles be used as efficient heat transfer media at $T > 650^\circ\text{C}$ to achieve $\eta_{\text{sys}} > 20\%$?

- CentRec[®] system concept and performance modelling
- Particle flow: theory, model, experiments
- Design of 500 kW receiver
- First results from 500 kW receiver test

Infrastructure:

Solar receiver test platform

@Juelich Solar Power Tower



Result: Concept of Particle Receiver

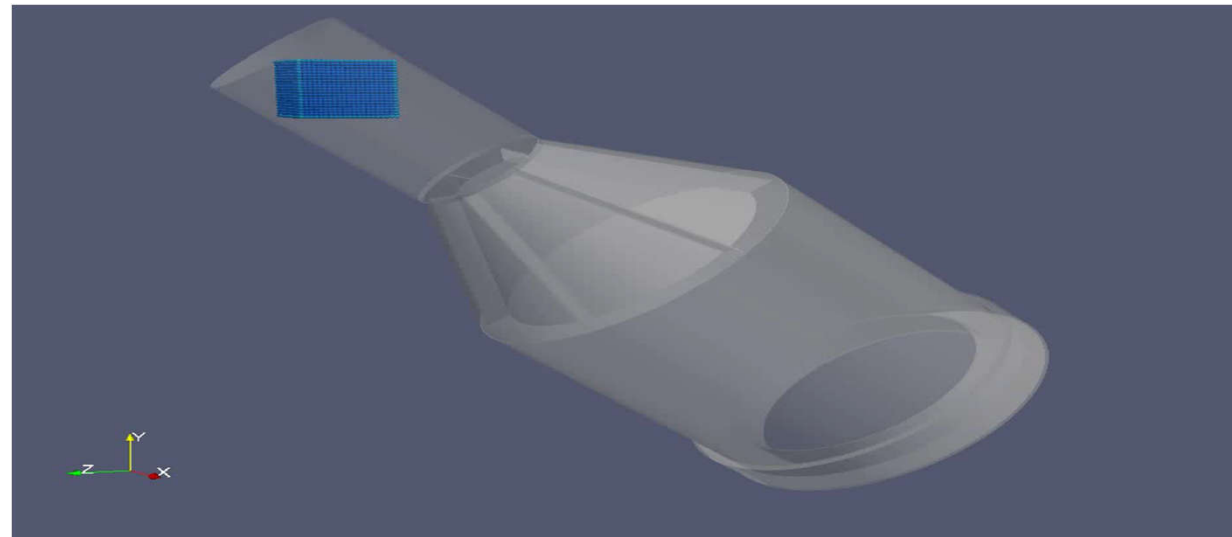


Bauxite particles

- Cheap (500 – 1000 €/t)
- Stable >1000°C
- Direct absorption
- Direct storage
- Low cost to move



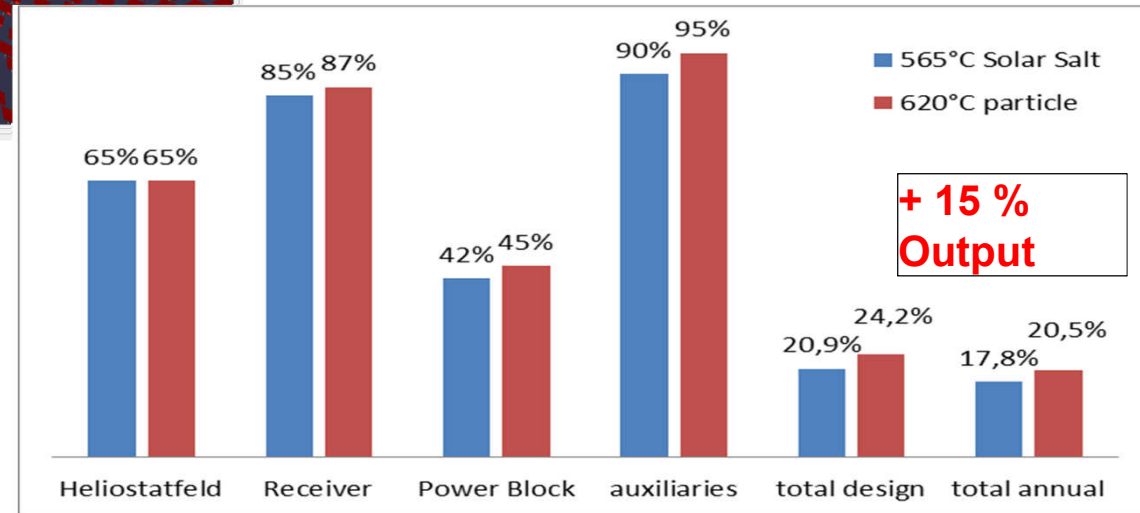
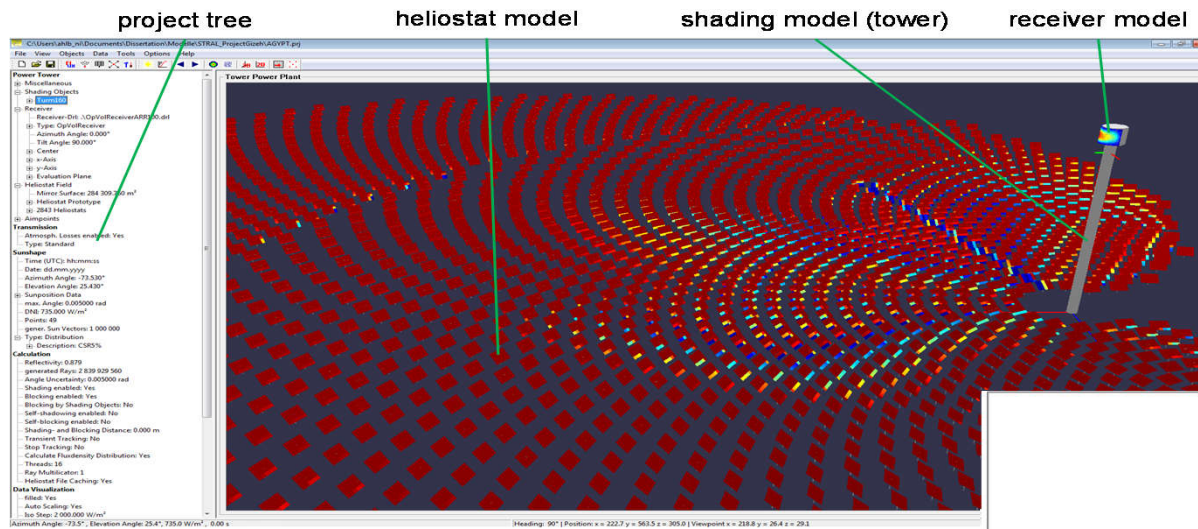
CentRec® rotating receiver concept



- Residence time controlled by rotational speed
- Cylinder walls isolated by particle layer

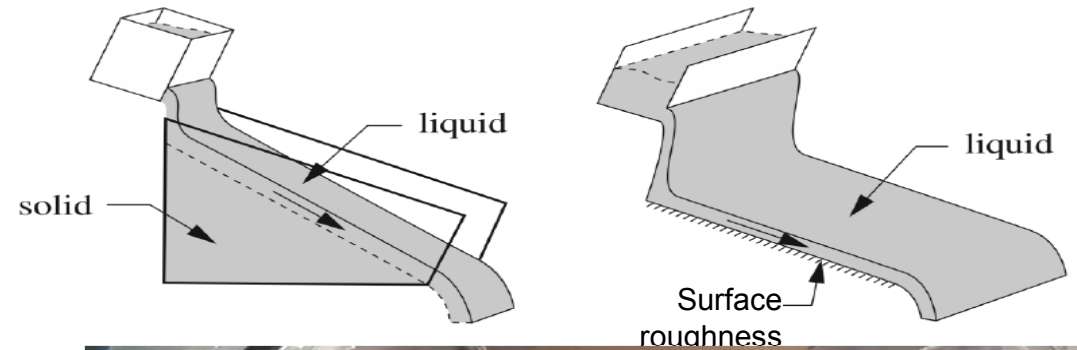


Results: Particle Receiver – detailed modelling



Results: How to achieve Homogeneous Particle Flow

- One- or two-phase flow depending on layer thickness
- Avalanches below critical mass flow
- Flow characteristics depend on
 - Mass flow,
 - Surface roughness,
 - Particle diameter and roughness
 - Inclination angle
- No models available in literature to predict flow conditions



Results: 500 kW Receiver Design and Testing

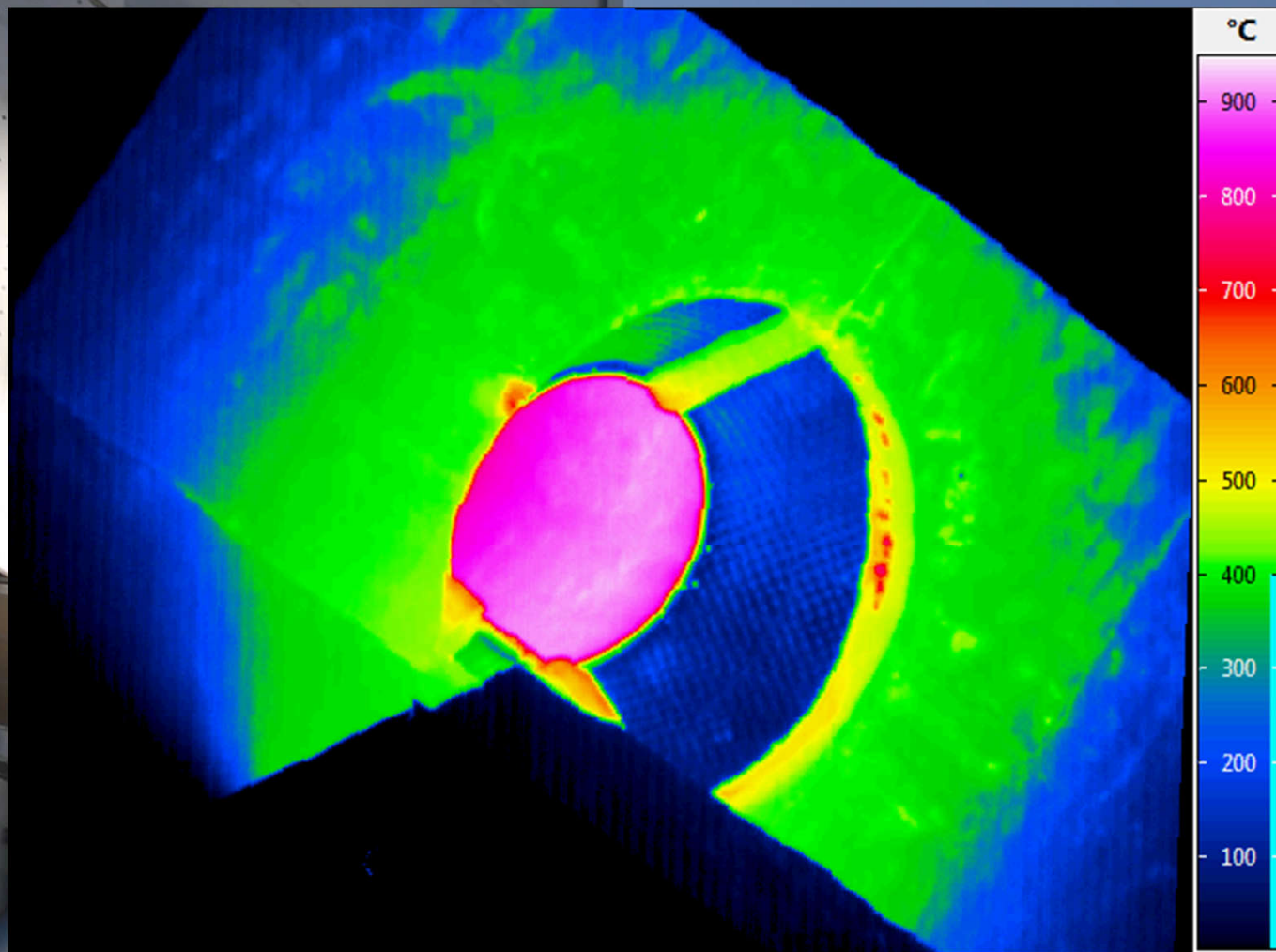
Risk of “avalanches” avoided by design:

- Thin particle film regime (1-phase flow)
- Profiled wall surface structure
- Periodic modulation of rotation speed

Integration into Juelich Solar Tower: 05/2017

- Begin of solar testing: 24/09/2017
- Test campaign 2018 : 60 hours of solar operation
- Maximum particle exit temperature: 965°C





Outlook

Particle Receiver Concept

- Industrial interest attracted:
 - Development of all critical components
 - 1MW_{th} complete system test starting 2020 @Juelich Solar Tower
 - Partner: German industry consortium and DLR spin-off company
- IEA SolarPACES: working group established to benchmark technology
- Longer term:
Chemically active particles for thermochemical solar fuels production



Inhalt

- CSP Technologie
- Kosten- und Marktentwicklung
- CSP 4.0
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- **Hybridkraftwerke**
- Wärmespeicherkraftwerke



Hybride erneuerbare Systeme ermöglichen einen kostengünstigen und flexiblen Betrieb

Concentrating solar power (CSP)

PV plus battery

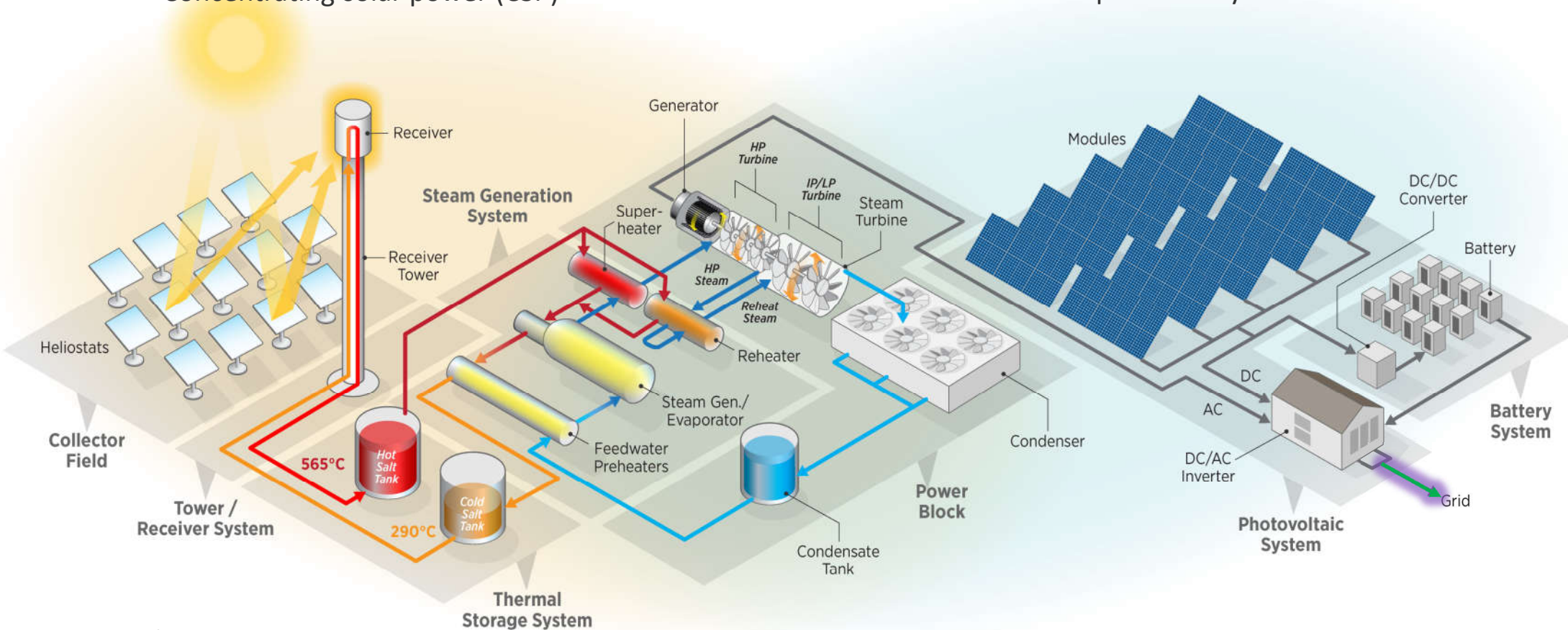


Image © NREL / AI Hicks

Photovoltaic Plant

CERRO
DOMINADOR

100 MW

392,000 PV panels

Single-axis tracker

300 hectares

In Operation



CSP Plant

110 MW

10,600 heliostats, 140
m² each

Tower of 243 meters

17.5 hours of storage

In Construction

A Landmark Project

First CSP plant in Latin America

PPAs competitively awarded in 2014

Overcame many external challenges

Under construction

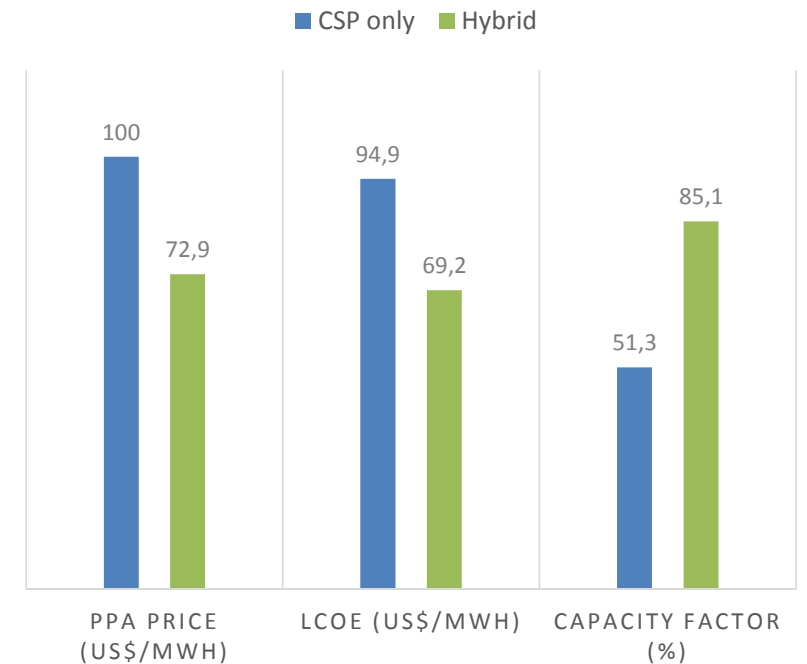
Expected COD – May 2020

GERRO
DOMINADOR



Hybridtechnologie kann Energieerzeugungskosten senken

- Eine kürzlich von NREL und der Colorado School of Mines durchgeführte Analyse zeigte eine vielversprechende Verbesserung der Kosten und der Leistung für einen Standort im Norden Chiles
- Wann sind Hybridanlagen sinnvoll?
 - Wenn Kapazität und Zuverlässigkeit wichtig sind und diese vergütet werden
 - Wenn sowohl die Tages- als auch die Nachtproduktion wertvoll sind
- Wann sind Hybriden nicht sinnvoll?
 - Wenn der Zeitpunkt oder die Konsistenz der Produktion nicht wichtig ist
- Hybridanlagen erfordern Methoden zur Optimierung des Zeitpunkts der Energieerzeugung aus jedem Teilsystem

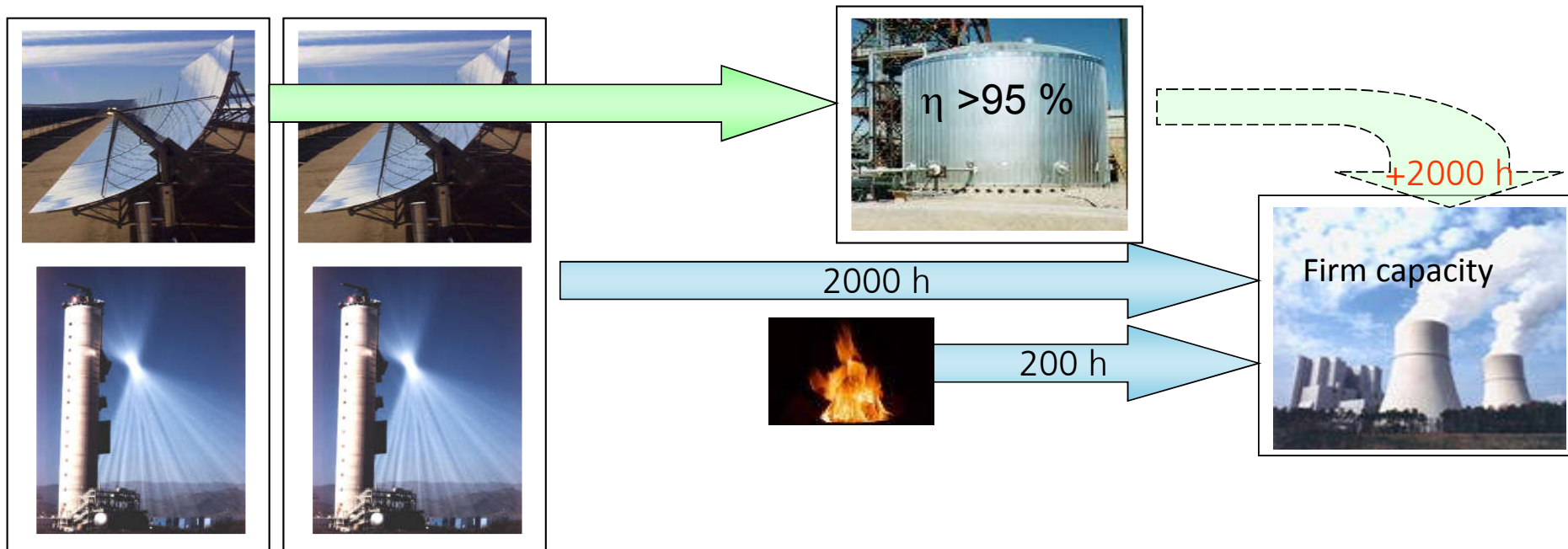


Inhalt

- CSP Technologie
- Kosten- und Marktentwicklung
- CSP 4.0
- Hochtemperaturpartikelreceiver
- Hybridkraftwerke
- **Wärmespeicherkraftwerke**



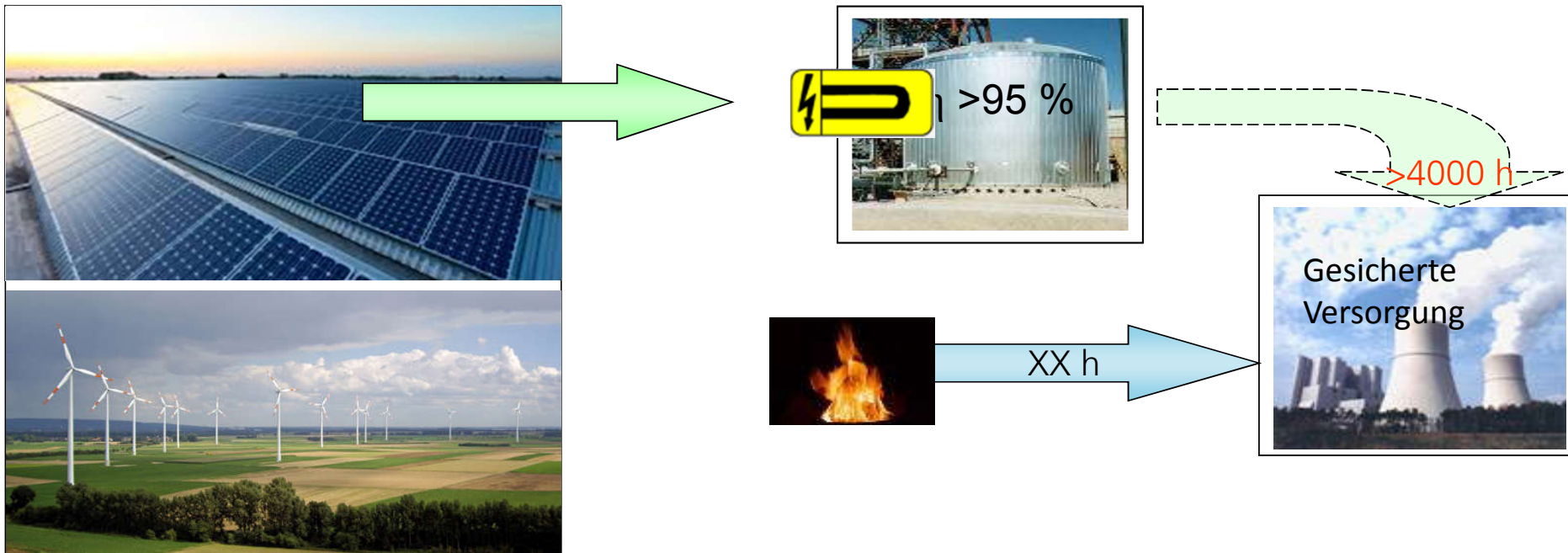
CSP Kraftwerk



$\eta = 75\%$



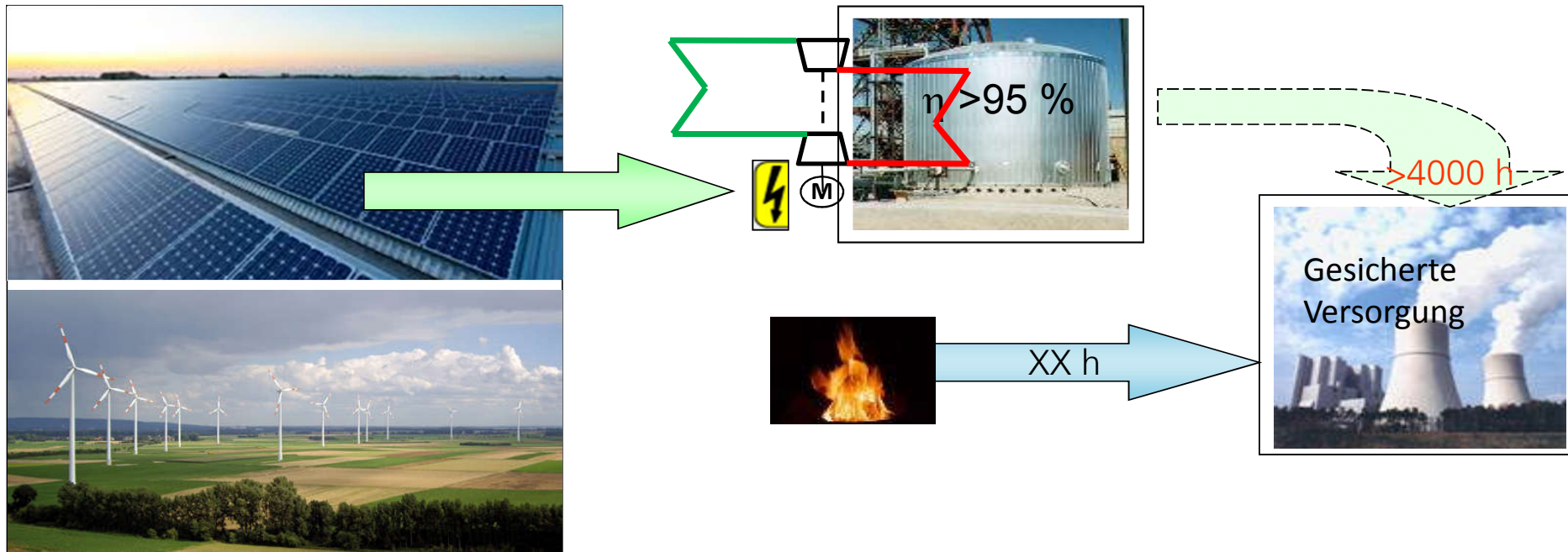
Wärmespeicherkraftwerk der 1. Stufe (40 % Wirkungsgrad)



Wärmespeicherkraftwerke liefern mit geringer fossiler Zufeuerung die notwendige Versorgungssicherheit

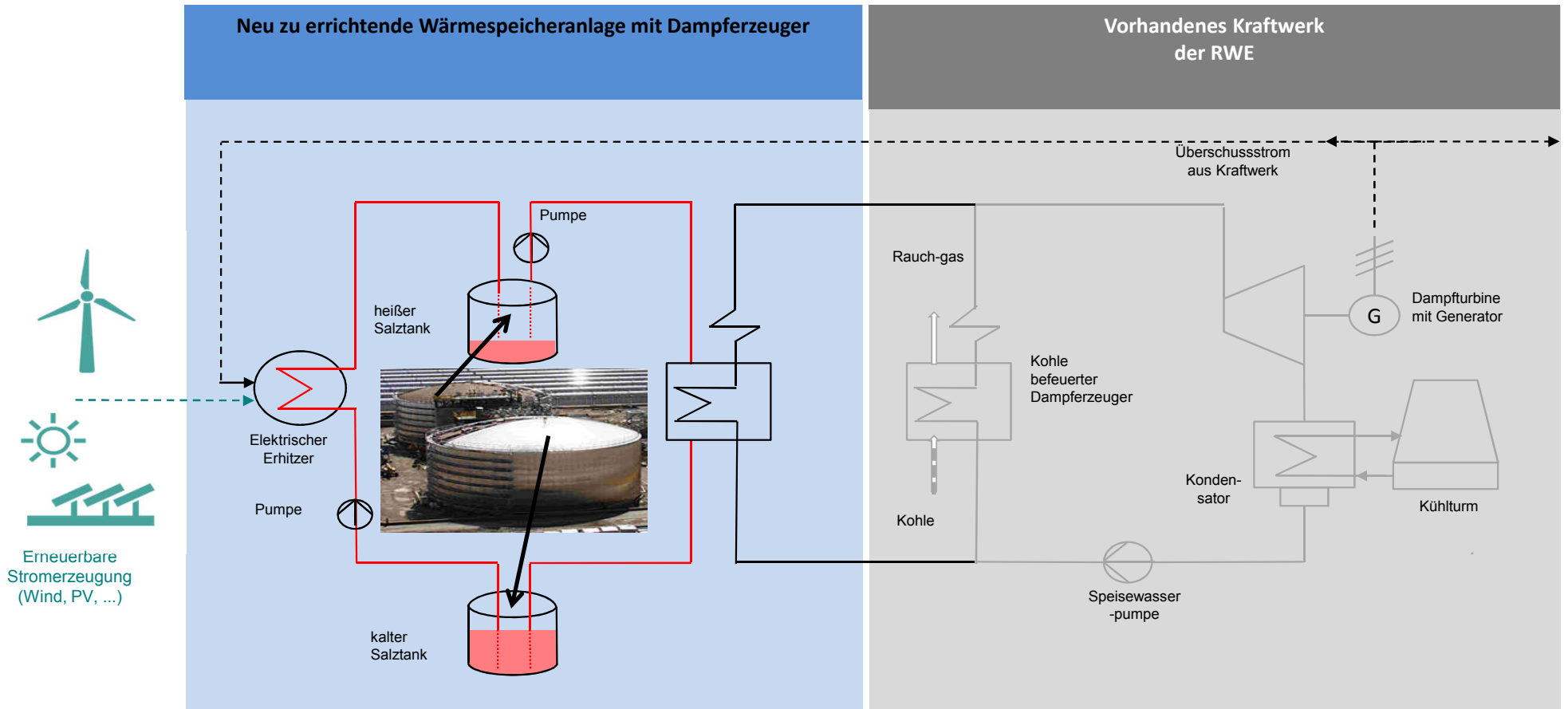


Wärmespeicherkraftwerk der 2. Stufe (70 % Wirkungsgrad)

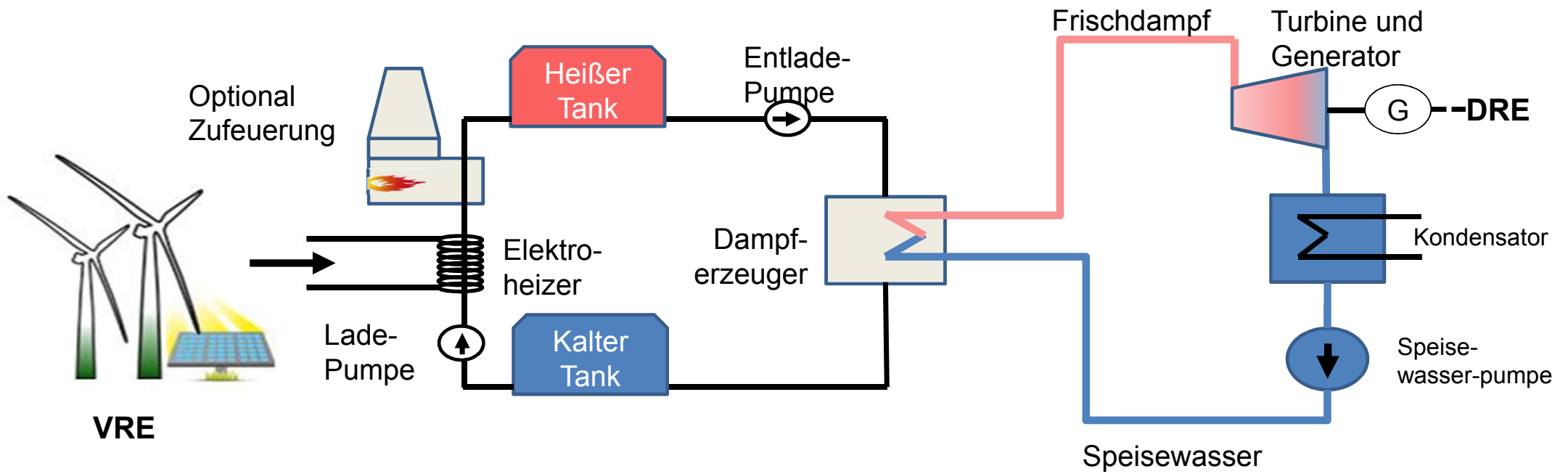


Wärmespeicherkraftwerke liefern mit geringer fossiler Zufeuerung die notwendige Versorgungssicherheit

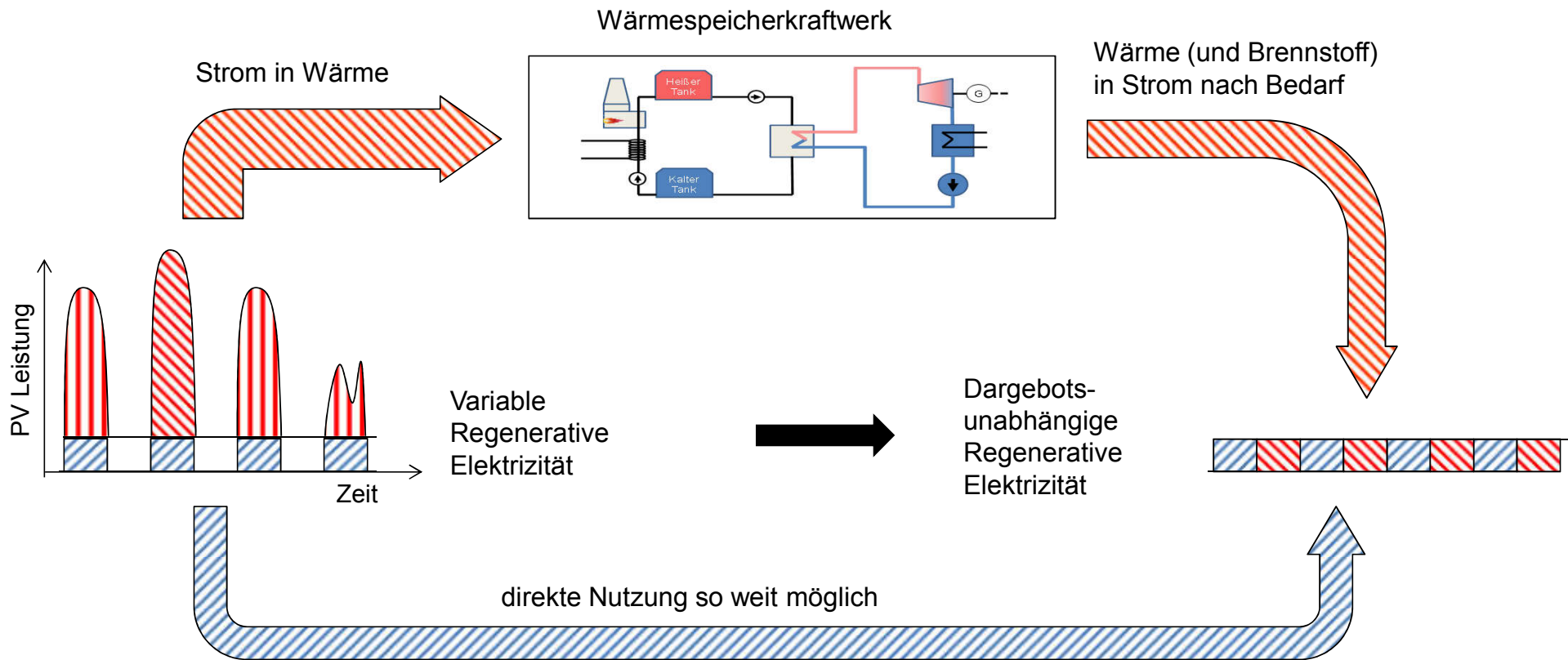
Pilotanlage in einem der RWE Kohlekraftwerke (Reallabor)



Wärmespeicherkraftwerke (WSK) nehmen Variable Regenerative Elektrizität (VRE) aus dem Netz und liefern Dargebots-unabhängige Regenerative Elektrizität (DRE) in das Netz



Beispiel: Photovoltaikstrom deckt Grundlastbedarf



Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

