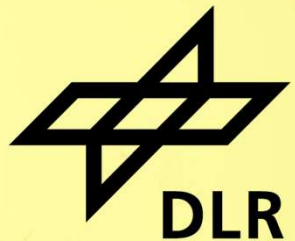


SIMULATIONS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ENHANCED HEAT PRODUCTION IN SOLAR THERMAL PLANT

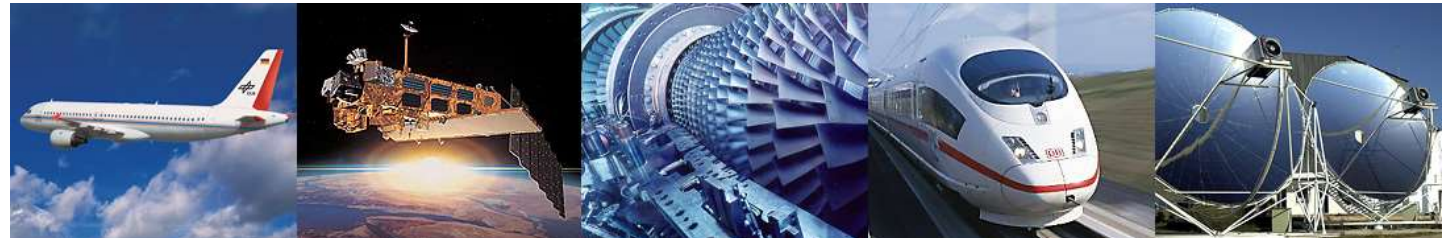
By Dr. Max Pargmann & Navina Konz



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- 11.000 Mitarbeiter
- 32 Institute
- 54 Standorte
 - Hauptsitz Köln-Porz
- Forschungsgebiete sind
 - Luftfahrt
 - Raumfahrt (-management)
 - Verkehr
 - Sicherheit
 - **Energie**



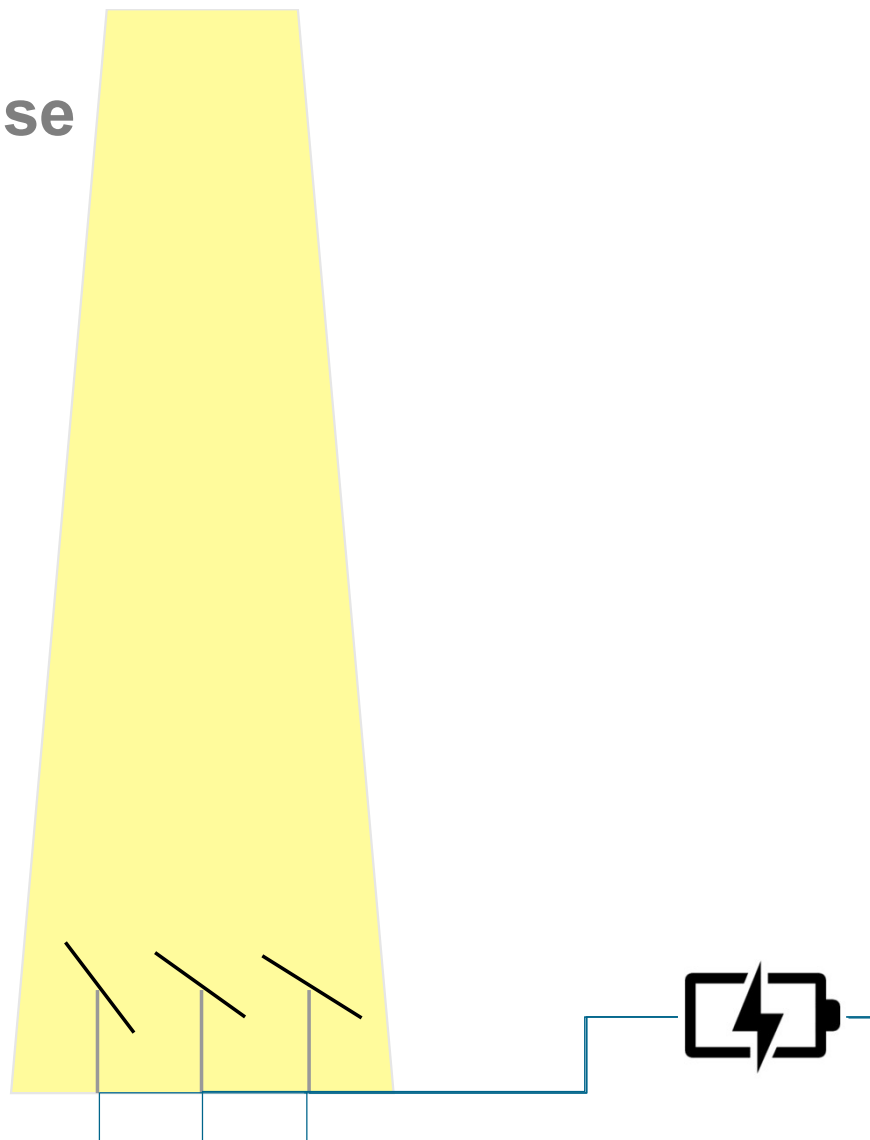


Name des Vortragenden, Institut, Datum

PV vs CSP: Funktionsweise



- Fest installierte oder sonnennachgeführte Halbleiterzellen absorbieren Sonnenlicht
- Nutzt direktes und indirektes Sonnenlicht zur Stromgestehung
- Modular und weltweit einsetzbar



PV vs CSP: Funktionsweise

solarthermische Kollektoren

nicht-konzentrierend



Flachkollektor

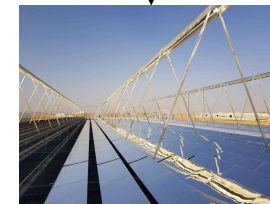


Vakuumröhren-
kollektor

konzentrierend



Parabolrinne



Fresnel-
Kollektor



Solarturm

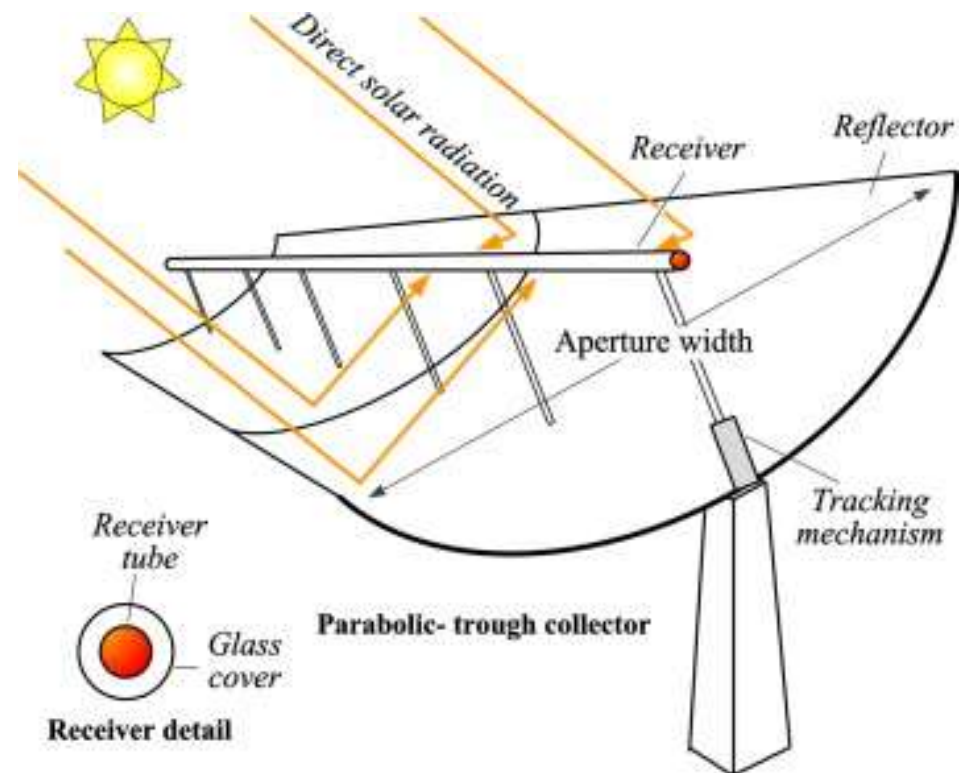
Aufbau und Funktionsweise von Parabolrinnenkollektoren

Funktionsweise

- Reflektion der direkten Strahlung durch die gebogenen Spiegel auf das Absorberrohr
- **Einachsige** Nachführung des Kollektors
- Erwärmung des Wärmeträgermediums bis zur Zieltemperatur

Wärmeträgermedien:

- Wasser/Wasserdampf ($T < 200\text{ °C}$)
- Thermalöle ($T < \sim 430\text{ °C}$)
- Flüssigsalze ($250\text{ °C} < T < 550\text{ °C}$)



https://3.bp.blogspot.com/-c1H73JvoXdl/XKt4TR-vg_I/AAAAAAAAAGQ/GQih94NVtZEhA1JwtJnMvkFrKcXAKz0KwCEwYBhgL/s1600/Parabolic%2Btrough%2Bcollector.jpg

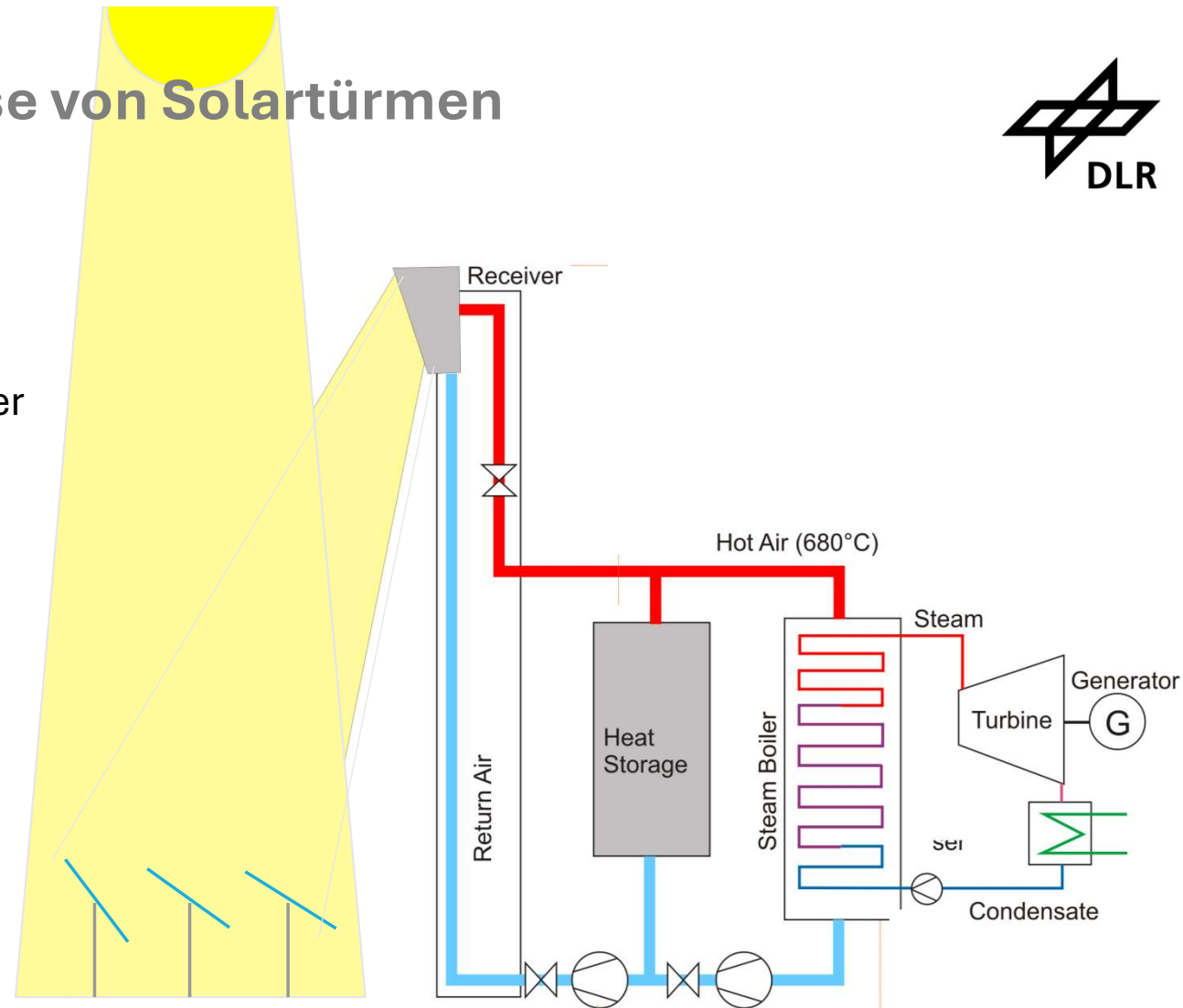
Aufbau und Funktionsweise von Solartürmen

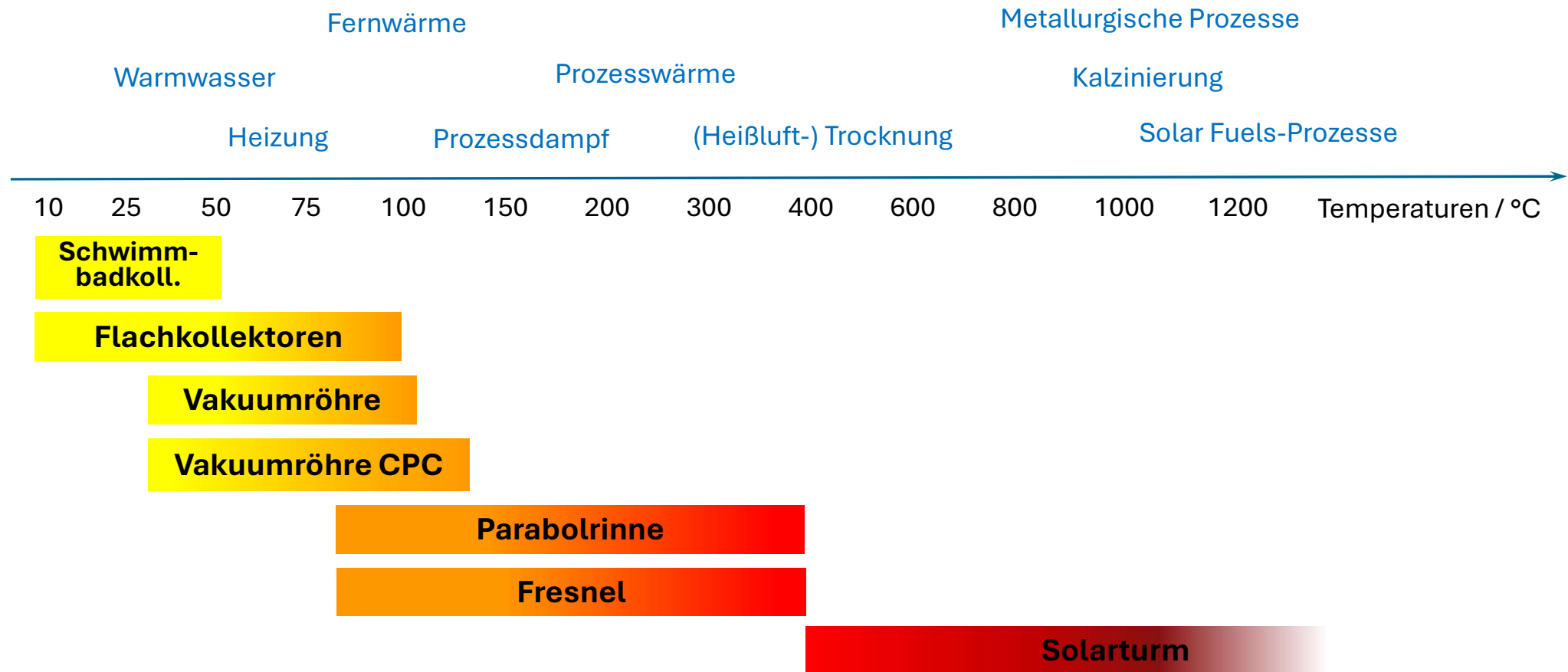
Funktionsweise

- Reflektion der Sonnenstrahlen von vielen flachen oder gekrümmten Spiegeln zu einem zentralen Receiver
- Zweiachsig Nachführung des Kollektors

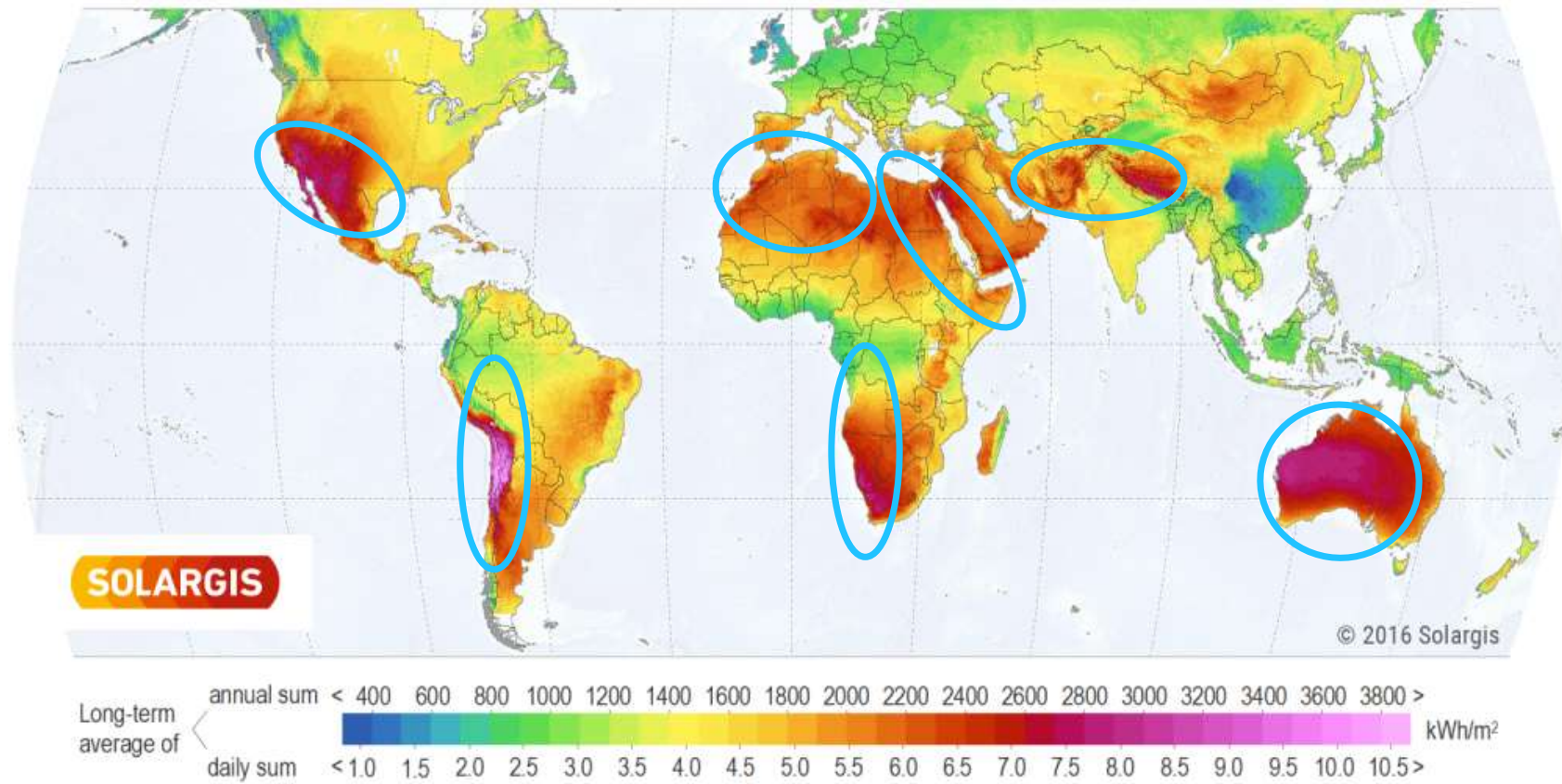
Wärmeträgermedien:

- Theoretisch nach oben offen (z.B. Partikel Receiver)
- Praktisch durch Komponenten Limitiert

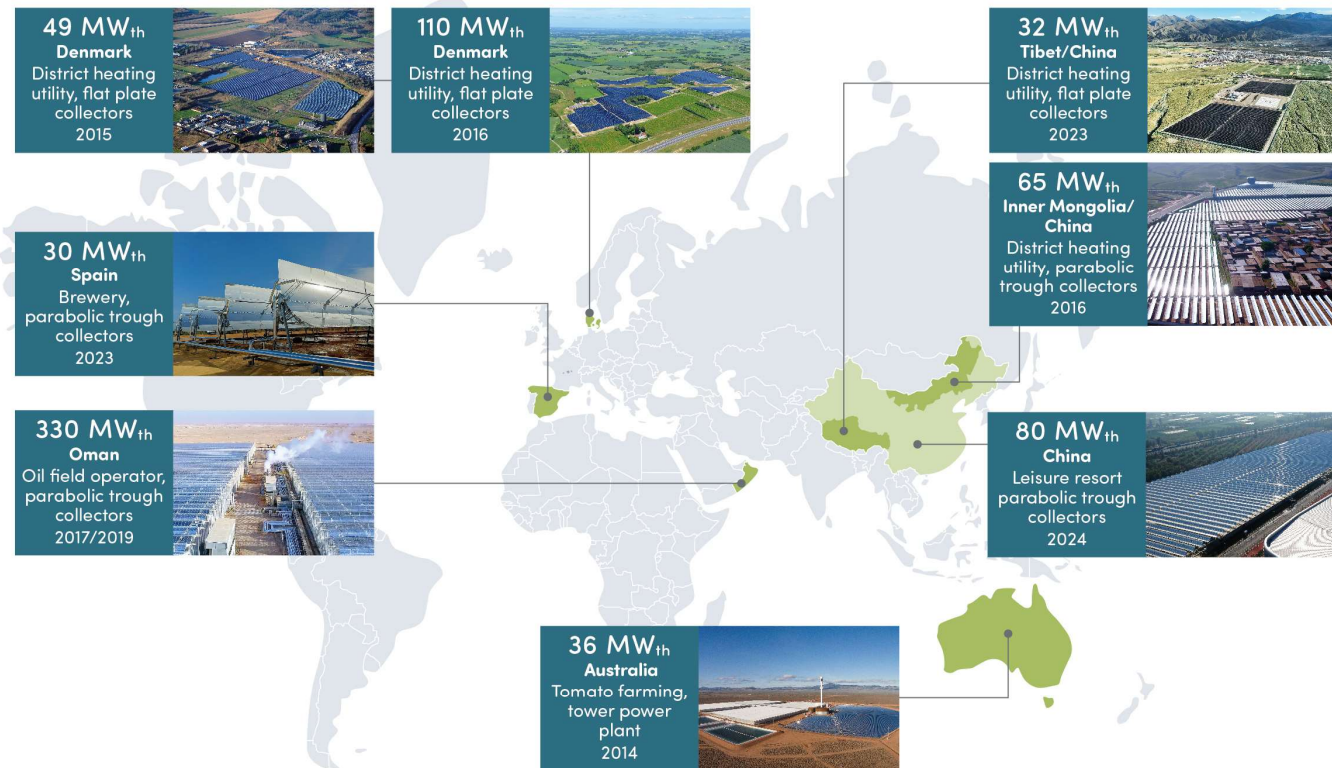




DIRECT NORMAL IRRADIATION



World's largest solar heat plants



Photos: Aalborg CSP, Arcon Sunmark, China Solar Thermal Alliance, AEE INTEC/Wolfgang Gruber-Glatzl, GlassPoint, Mongolia XuCheng Energy, SolarEast Group



IEA Solar Heating & Cooling Programme | www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide



Ivanpah (USA) – 392MW

- Fläche: ~3.500 Acres
- Heliostaten: 173.500 computergesteuerte Spiegel
- Besonderheit: Bei Inbetriebnahme 2014 das größte solarthermische Kraftwerk weltweit
- Aktueller Status: Steht vor der Schließung aufgrund wirtschaftlicher Herausforderungen (Kaum Speicher)



Noor Energy 1 (VAE), 100MW CSP (900MW Hybrid)



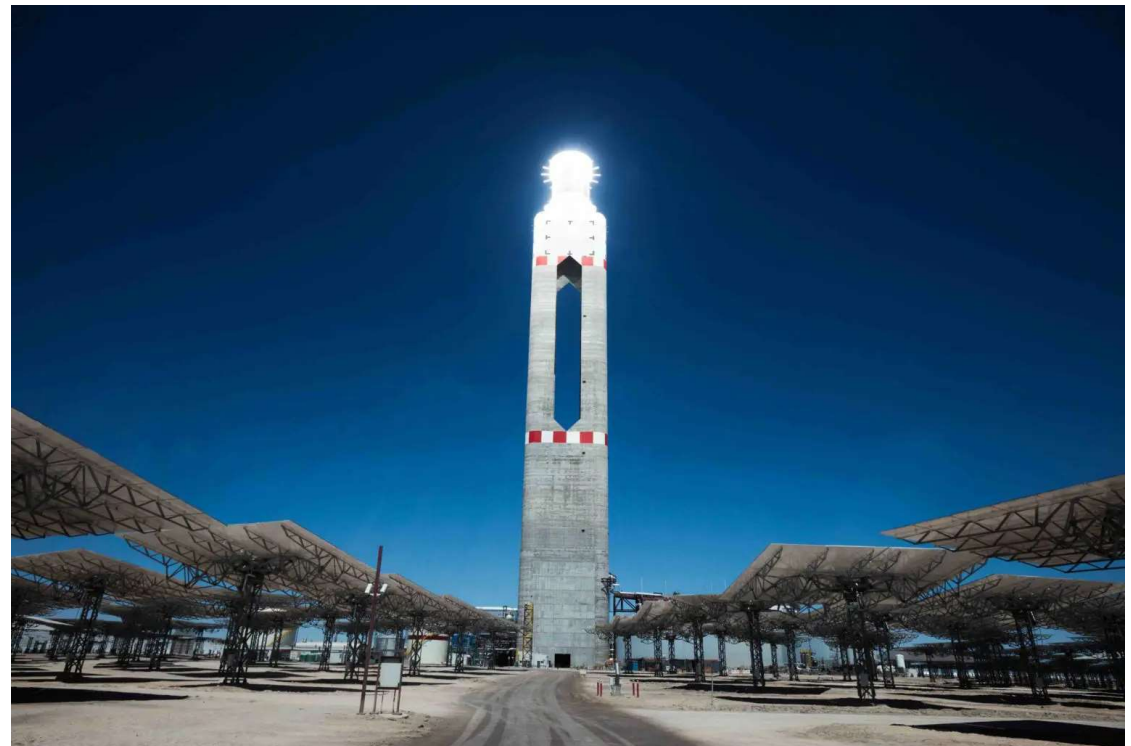
- **Turmhöhe:** 263 m –
höchster Solarturm der Welt
- **Speicher:** 15h
- **Besonderheiten:** PV/CSP
Hybrid einsatz. 9:1

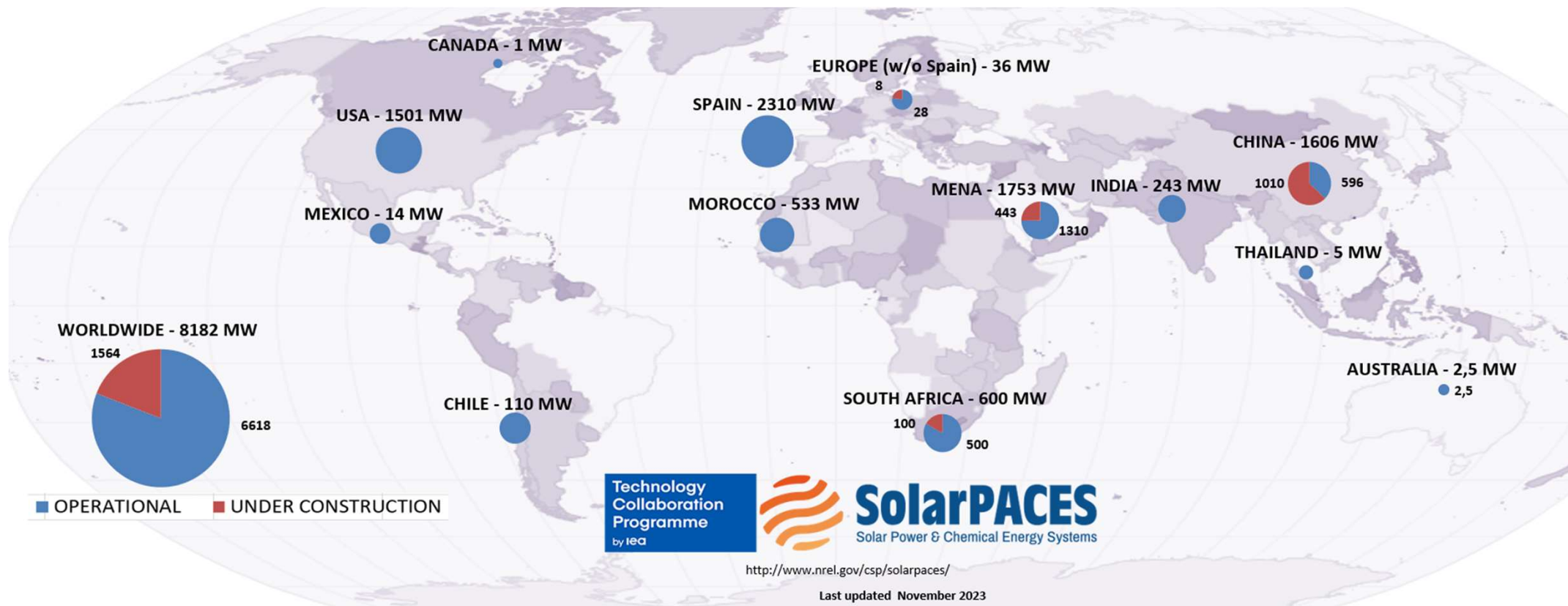


Cerro Dominador (Chile, 110 MW, 17,5 Stunden Speicher)



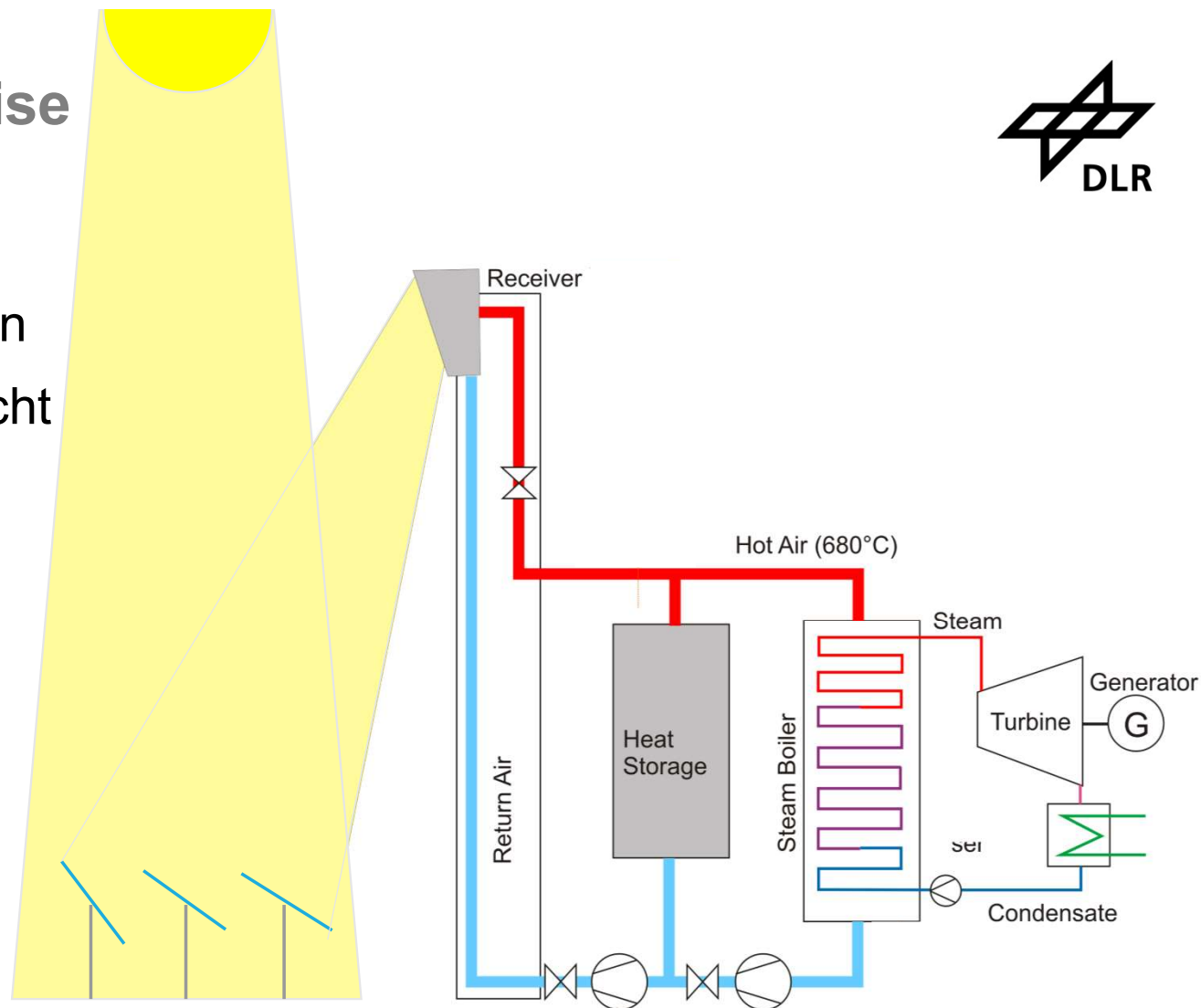
- **Speicher:** 15h
- **Standort hat besonders hohe Strahlung**
- **Besonderheiten:** Hält den Rekord für niedrigsten CSP Strom Preis mit 5ct/kWh
- **Wird für umliegende Minen verwendet**

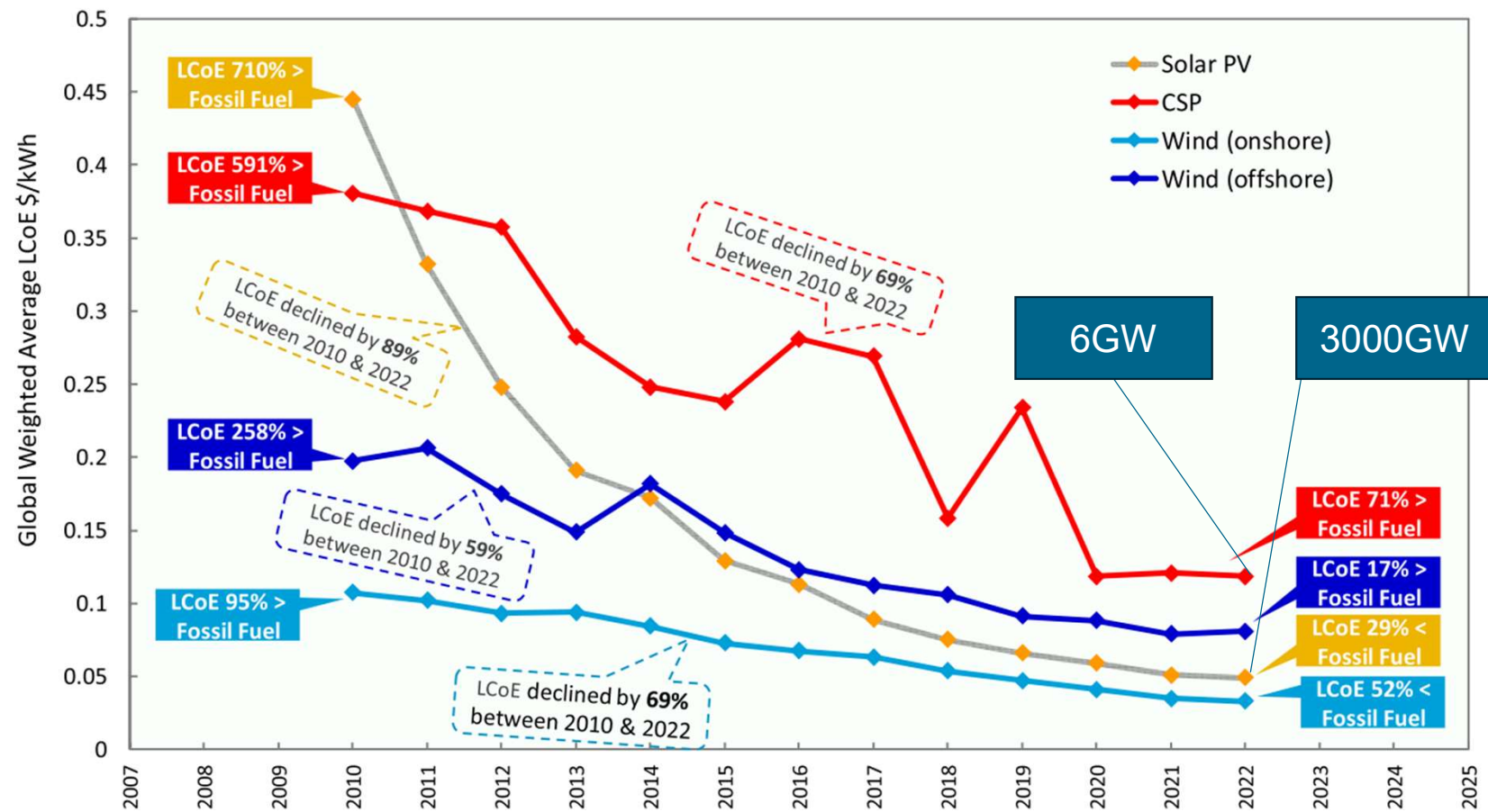




PV vs CSP: Funktionsweise

- **CSP:** Reflexion **PV:** Absorption
- CSP Nutzt **direktes** Sonnenlicht zur Wärmeproduktion.
- Wärmespeicherung extrem günstig
- Wärme kann zur Stromgestehung oder für Chemische Prozesse genutzt werden
- Wüsten und Orte mit hoher Einstrahlung Ideal





Ungelöste Probleme von Prozesswärmeerzeugern



KN0

Technische Herausforderungen

- Leakage, insbesondere bei Flüssigsalzen als Wärmeübertragermedium
- Tracking und Ausrichtung der Reflektoren (Spiegel) auf den Absorber/das Absorberrohr
- Temperaturstabilität
- Insellösungen, Standardisierung der Technologie findet gerade statt
 - Messtechnik und Regelung
 - Komponenten (Kollektoren ^{KN2} Leistungsübergabestation)
 - Aufbau des Kollektorfeldes
 - ISO-Normen, Zertifikate
- Verschmutzung der Spiegel

Sonstige

- Wirtschaftlichkeit, noch geringere Stückzahlen, keine „Skalierungseffekte“ wie bei Photovoltaik
- Fehlendes geschultes Personal ^{KN1}

KN0 @Max: kennst du hier das genaue Wort? Bei Photovoltaik haben wir ja aufgrund der höheren Stückzahlen bei Zulieferern etc. auch geringere Kosten sowie höhere Standardisierung

Konz, Navina; 2025-11-03T15:32:49.269

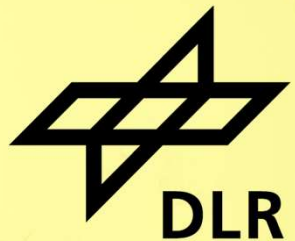
KN1 Hier bieten wir z.B. auch Workshops an, nicht so interessant, nur bei Nachfrage eventuell erwähnen

Konz, Navina; 2025-11-03T16:17:10.193

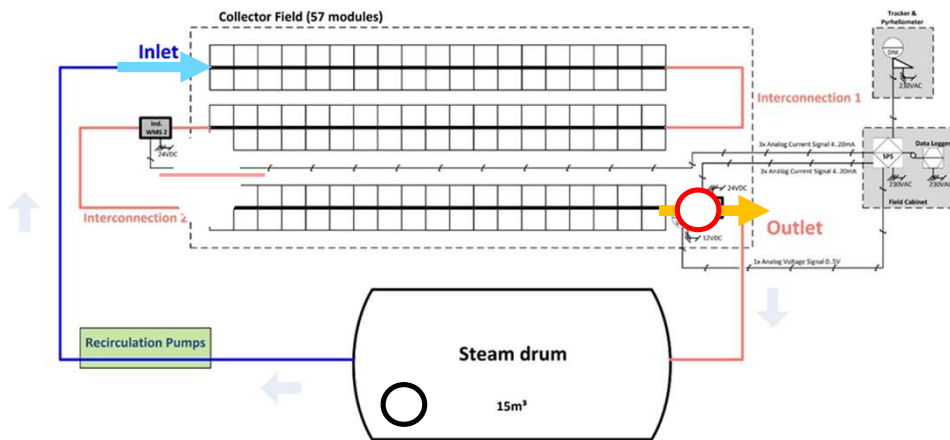
KN2 Hierzu gehört das, was ich unten vorstelle

Konz, Navina; 2025-11-03T16:30:53.096

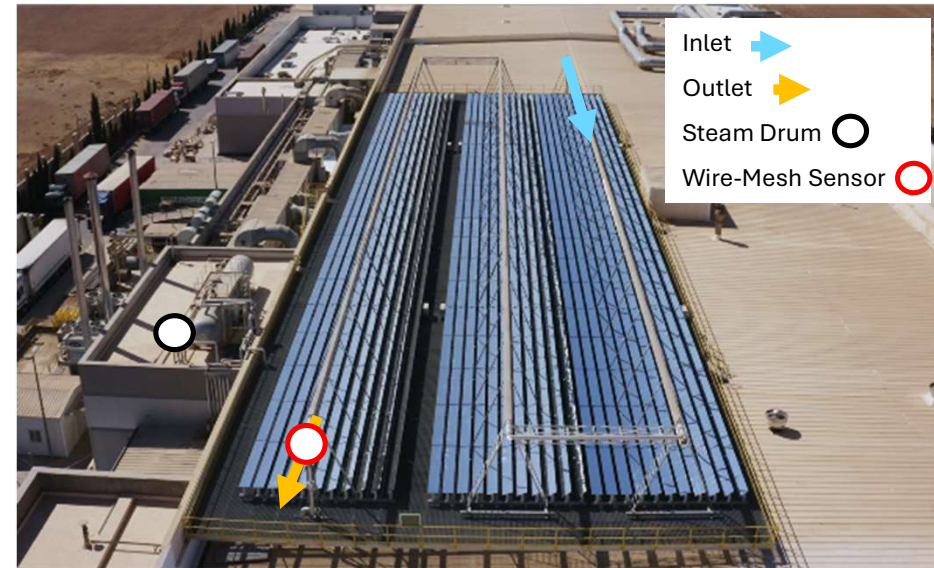
SIMULATIVE LÖSUNGEN FÜR PARABOLRINNEN



Herausforderungen bei der Direktverdampfung



Vereinfachte Darstellung des Systems und des Messaufbaus
(Bild: Industrial Solar GmbH)



Vogelperspektive auf die Fresnel-Anlage (Foto: Industrial Solar GmbH)

Funktionsweise:

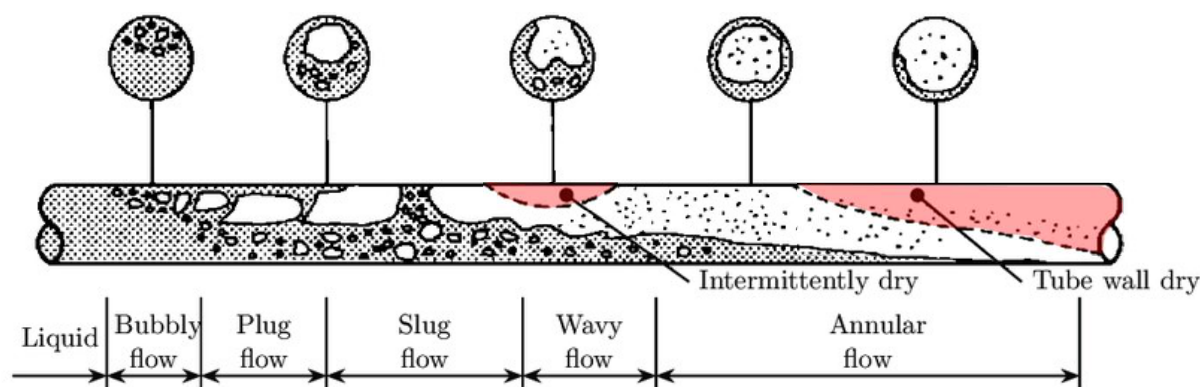
- Wasser wird in den Absorberrohren direkt verdampft (kein WÜ)
- Es bildet sich eine Zweiphasenströmung aus
- Dampf wird in die Dampftrommel geleitet
- Dort wird er gespeichert und kann vom Verbraucher bei Bedarf entnommen werden

Motivation

Warum sollte für den Betrieb einer Direktverdampfungsanlage die vorherrschende Strömungsform bekannt sein?

- Strömungsformen haben Einfluss auf die Wärmeübertragung innerhalb der Rohre
- Trockene Bereiche im Absorberrohr können zu thermischen Spannung führen
- Verformungen der Rohre

- Strömungsformen für ein **horizontal beheiztes Rohr** mit steigendem Dampfgehalt
- Andere Einflussgrößen wie der Massenstrom werden hier nicht dargestellt



Flow patterns for convective boiling in a horizontal tube [2]

KNO

Die nachfolgenden Foliensätze verheirate ich noch zu Problem/Motivation, Problemlösung und Ergebnisse. Gib mir mal kurz Rückmeldung, wie viel Platz ich dafür habe.

Konz, Navina; 2025-11-03T16:27:50.635

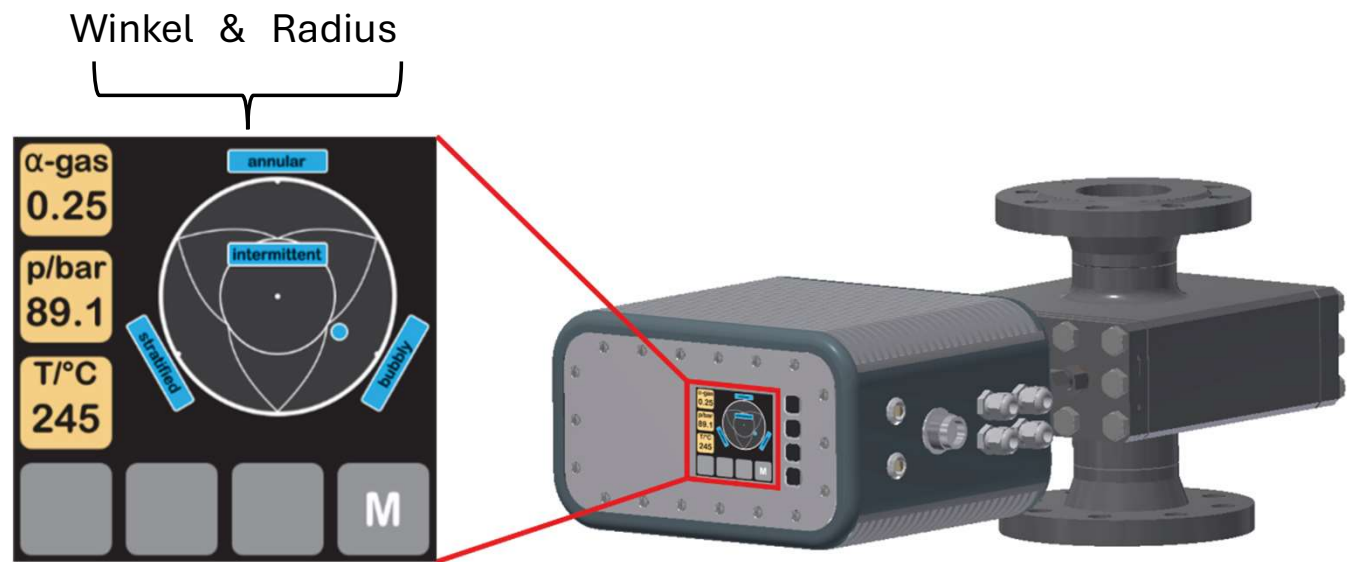
Lösung über Messung der Void Fraction mit einem Gitternetzsensor

Auswertung der Messdaten über einen fuzzy-based Algorithmus

3 Output lines

- Void fraction
- Winkel
- Radius

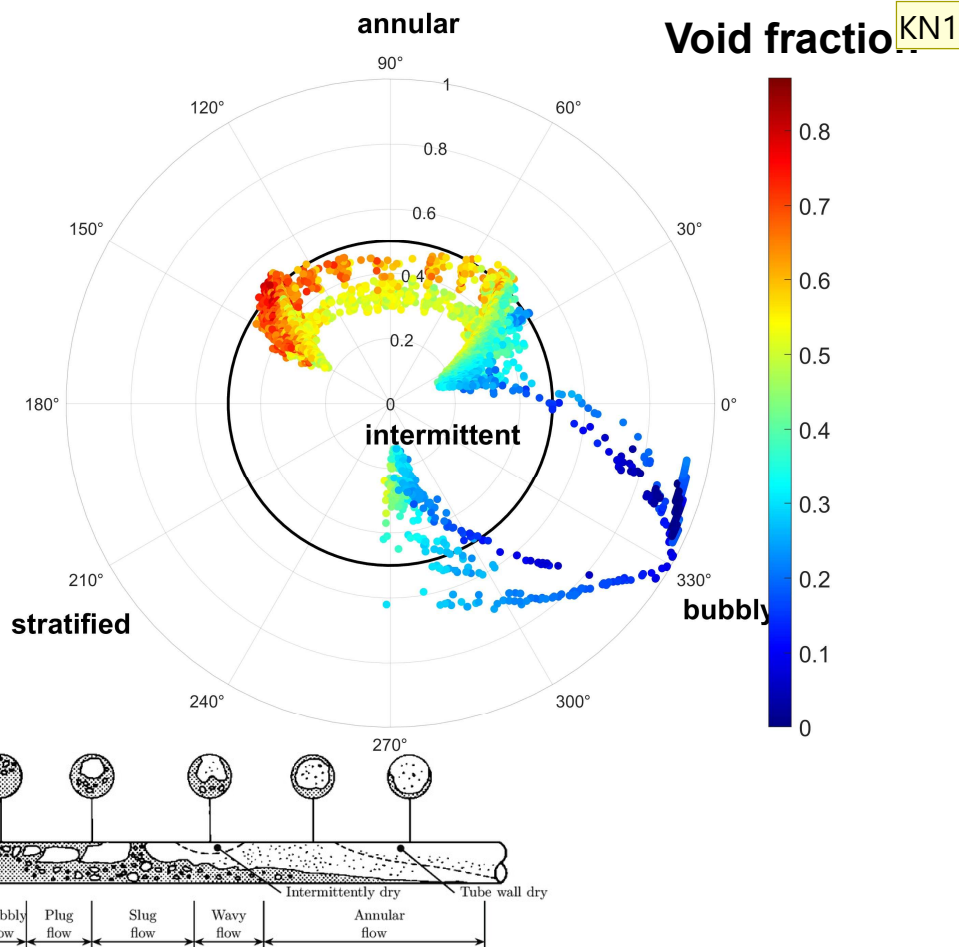
➤ Winkel/Radius: Zur Visualisierung in speziellen Strömungskarten



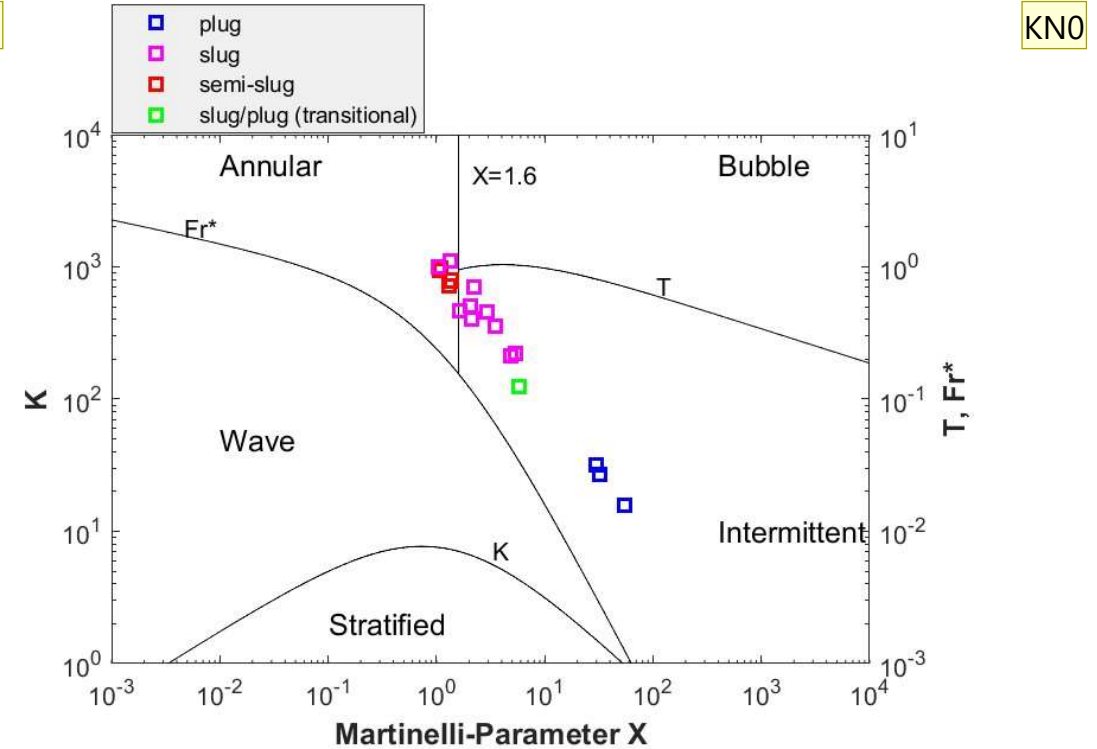
CAD-Visualisierung des indWMS-Systems mit Bildschirmansicht. (Grafik: HZDR)

Lösung und Ergebnisse

Lösung über Messung (Gitternetzsensor)



Lösung über Schlupfmodell und Strömungskarte



KN0 Das ist über ein Schlupfmodell berechnet und in die Strömungskarte nach Taitel und Dukler eingetragen

Konz, Navina; 2025-11-03T16:49:48.303

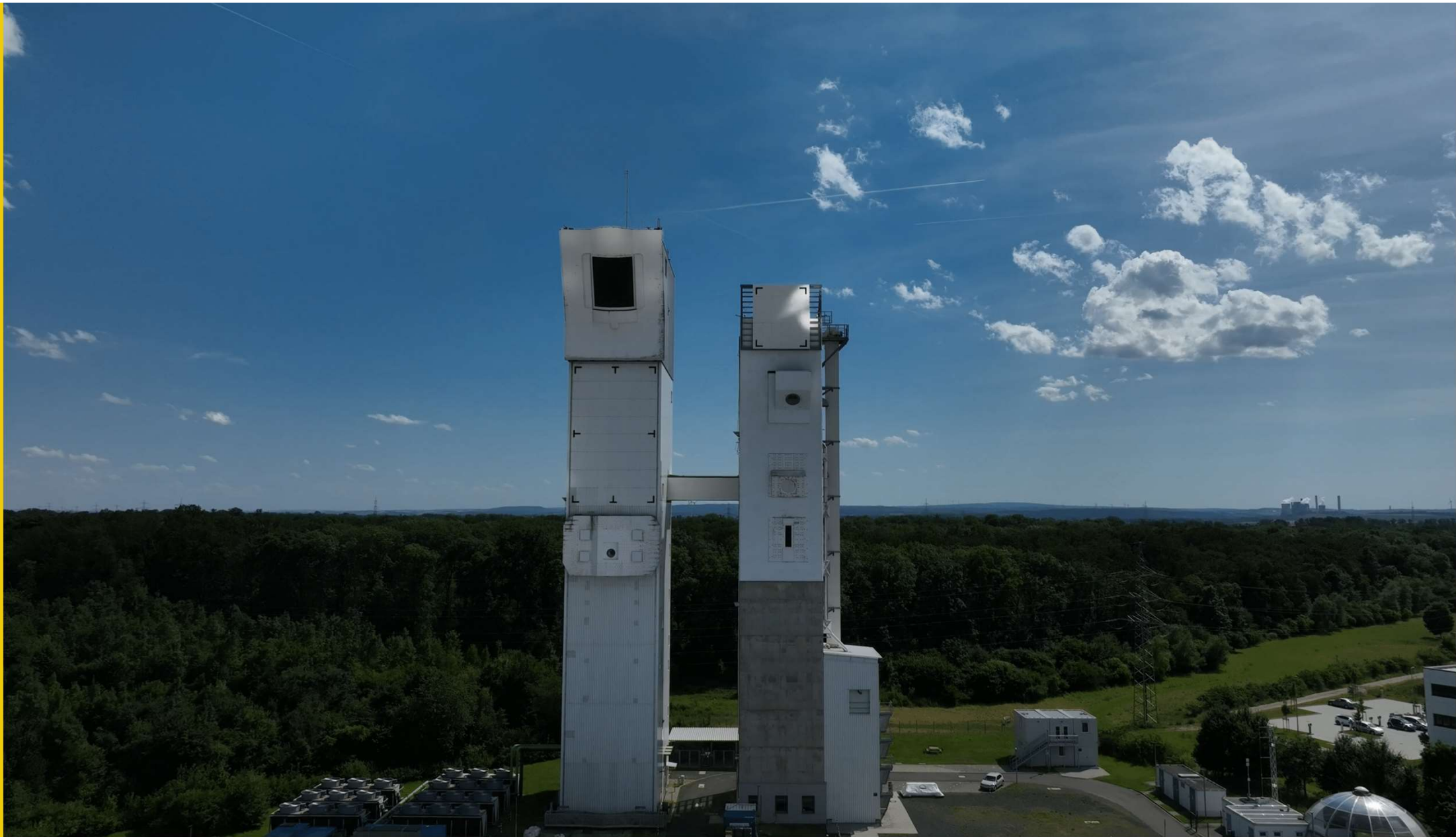
KN0 0 Mit dem Schlupfmodell kann auch der Dampfgehalt am Austritt eines Absorberrohr modelliert werden. Das wurde in die Modellierung der Performance einer Direktverdampfungsanlage implementiert. Für die Berechnung der Performance fehlt uns aber noch der Verlauf des Dampfgehaltes über der Länge des Absorberrohrs. Das würde ich kurz als Ausblick benennen. Nutzen daraus wäre dann eine verbesserte Überwachung der Performance der Anlage

Konz, Navina; 2025-11-03T16:53:00.374

KN1 Das kommt so aus dem WMS raus und wurde nur optisch dargestellt

Konz, Navina; 2025-11-03T16:50:21.521





Großanlagen am DLR: Solarturm Jülich (Jülich, 1,5MW)



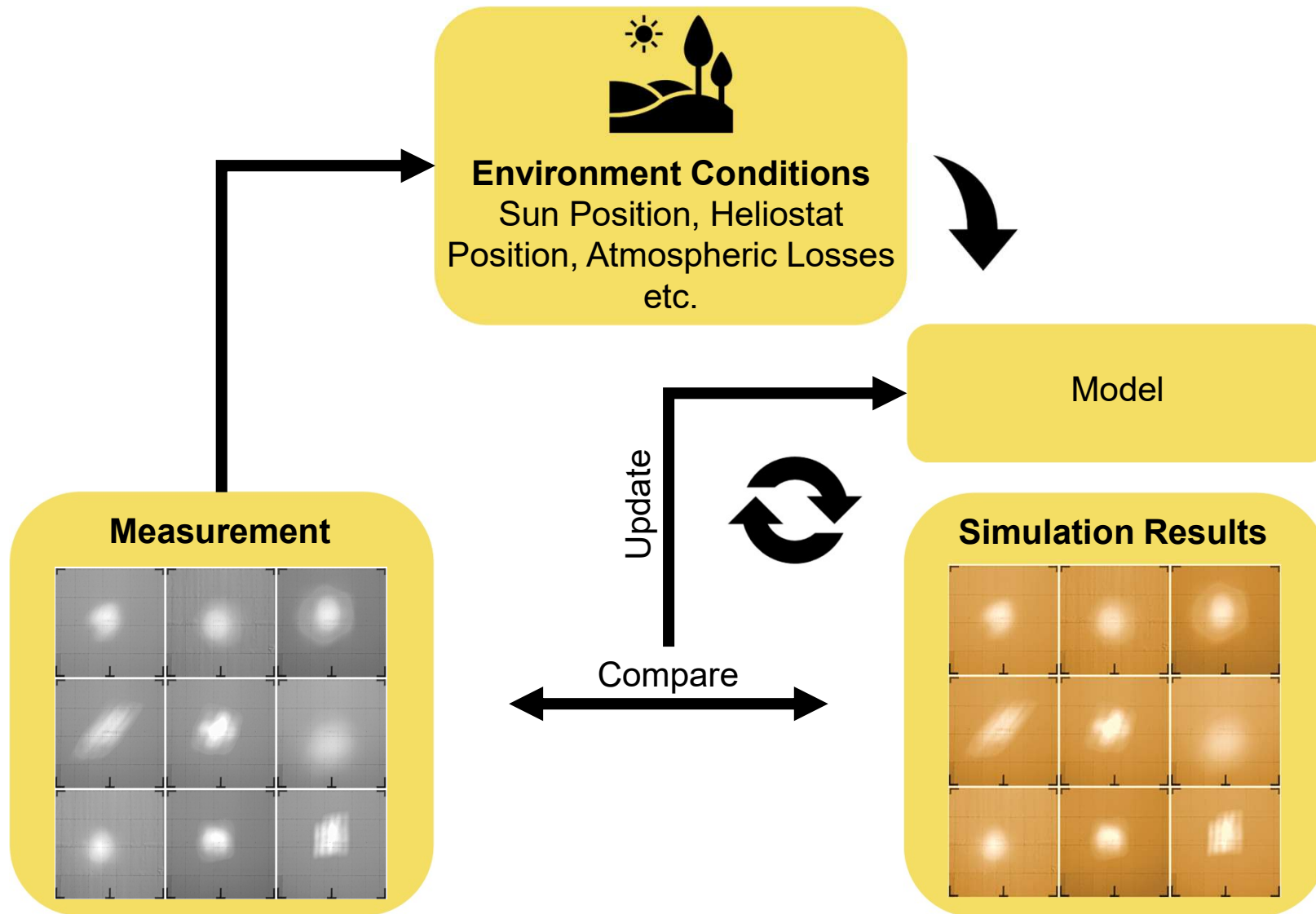
- **Speicherkapazität:** 1,5 Stunden mittels keramischem Wärmespeicher
- **Heliostaten:** 2.000 Spiegel
- **Turmhöhe:** 60 m
- **Besonderheit:** Forschungsanlage für solarthermische Technologien

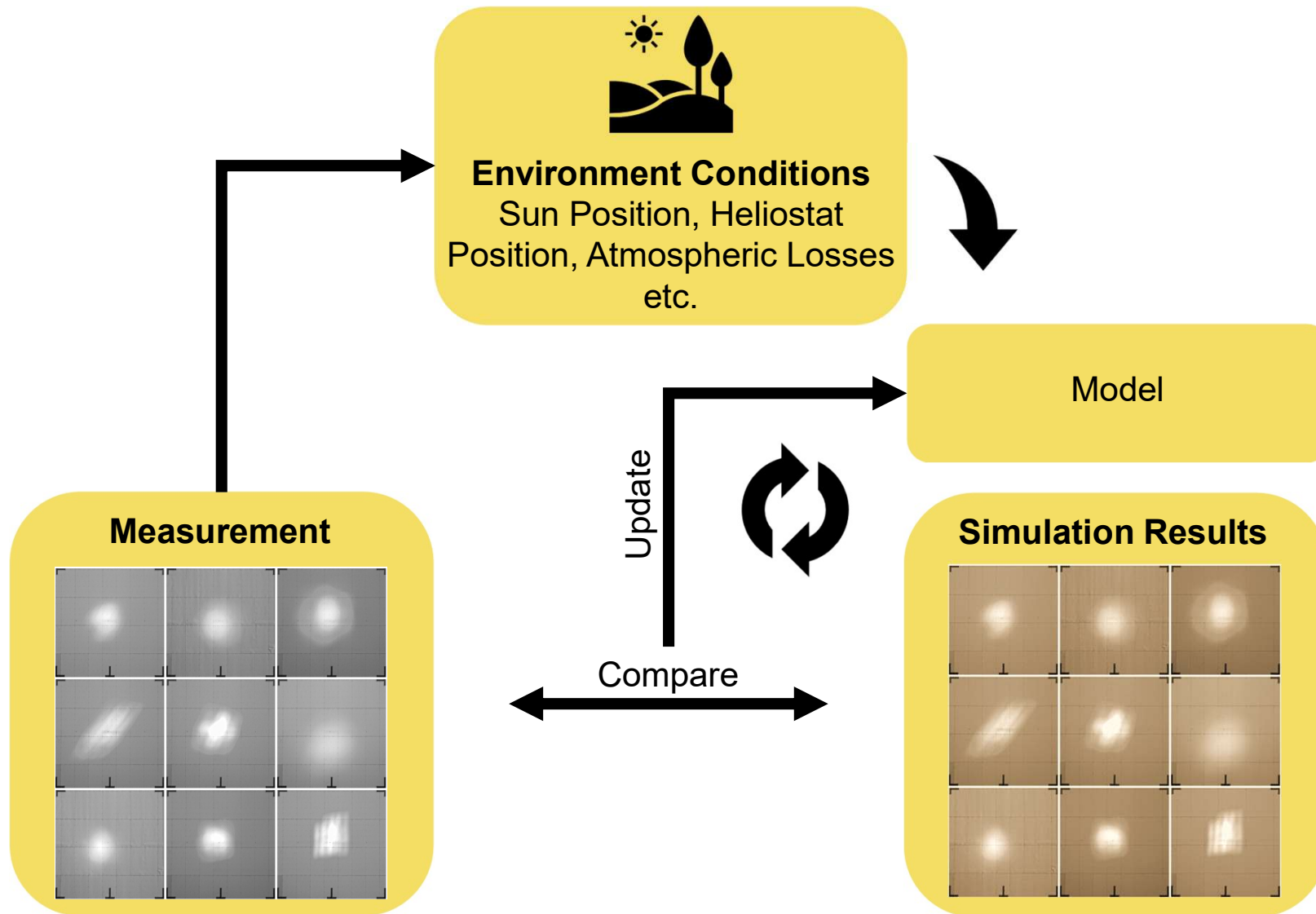


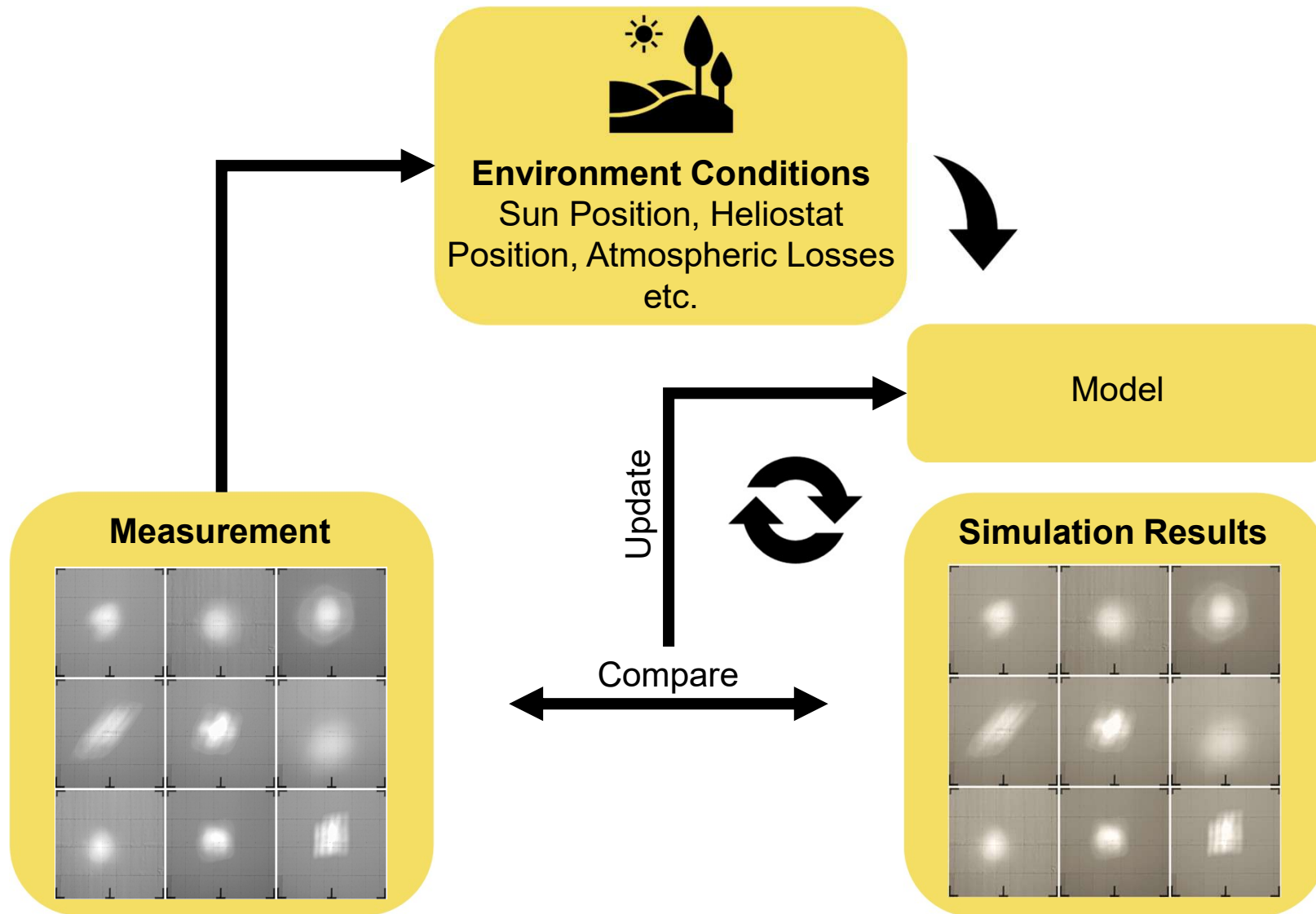
LÖSUNGEN MITTELS KI

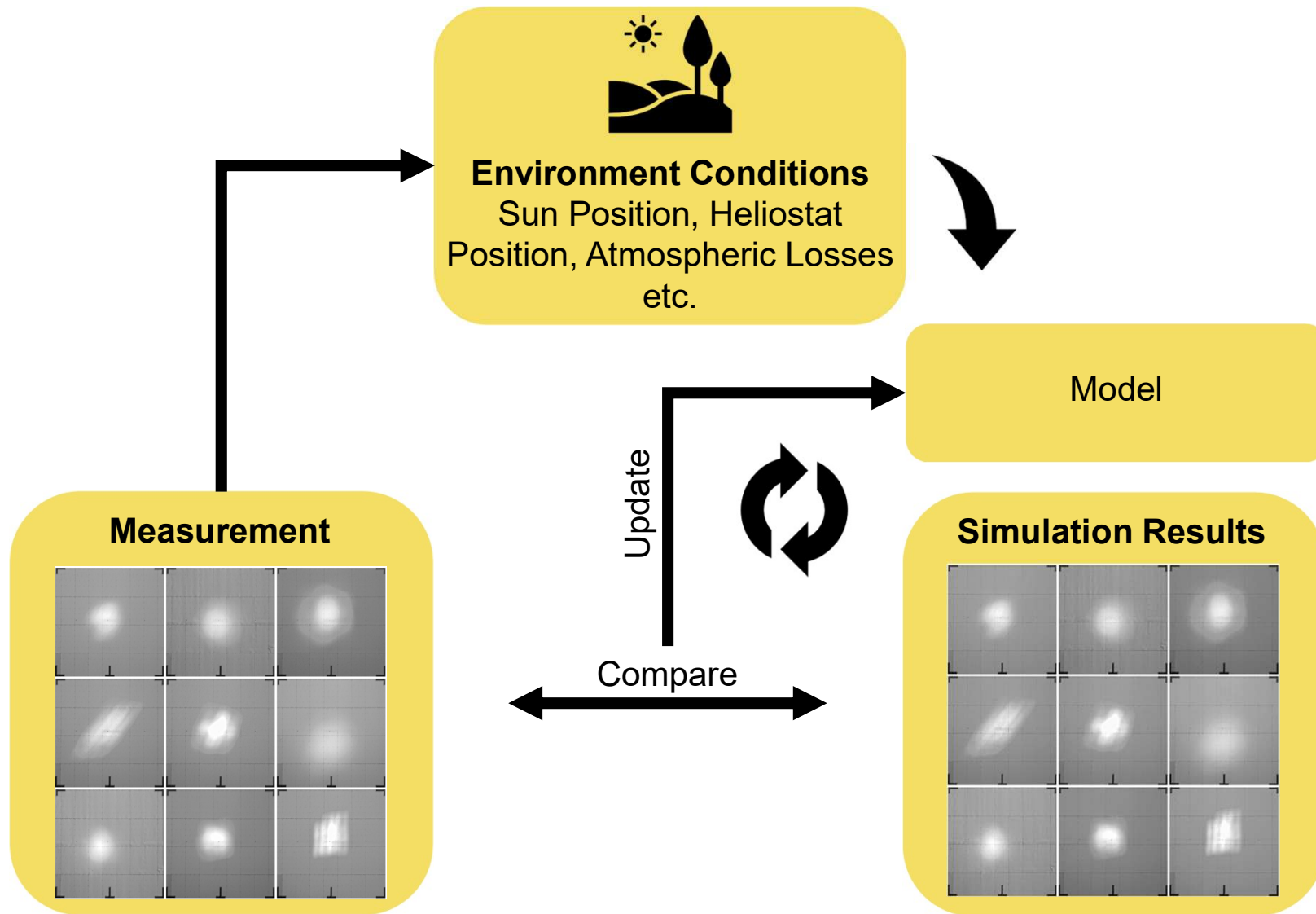


Name des Vortragenden, Institut, Datum

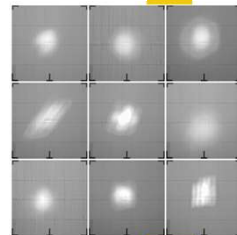
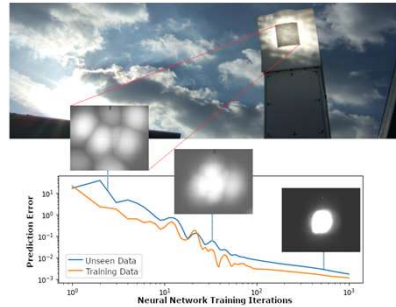
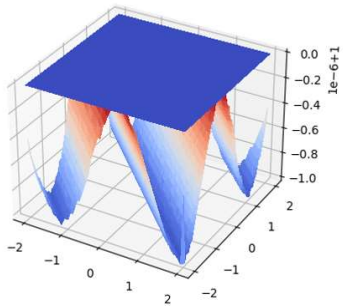








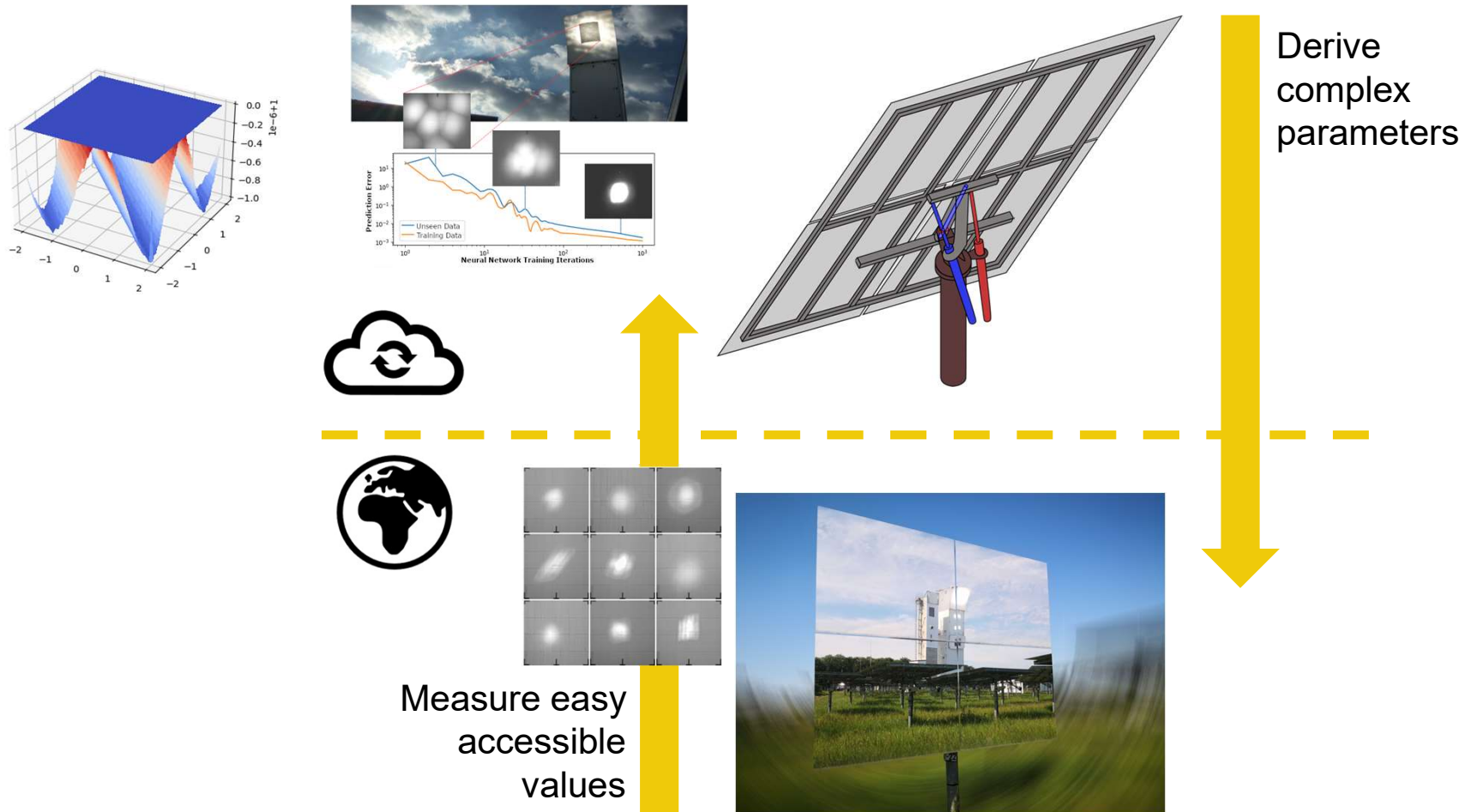
A Heliostat Digital Twin

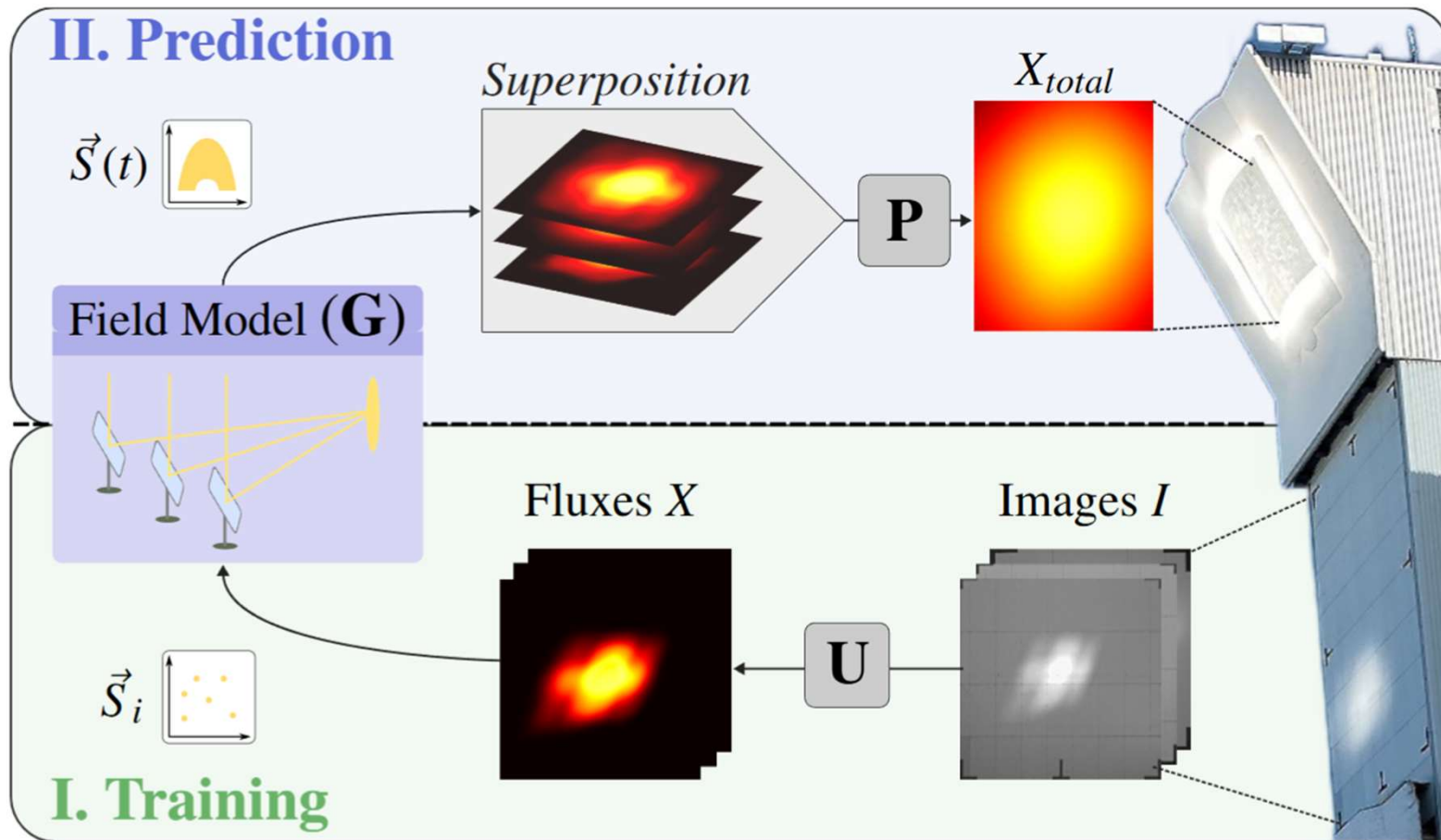


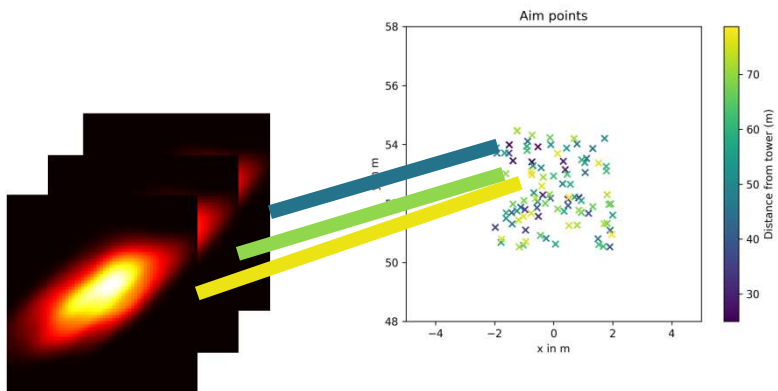
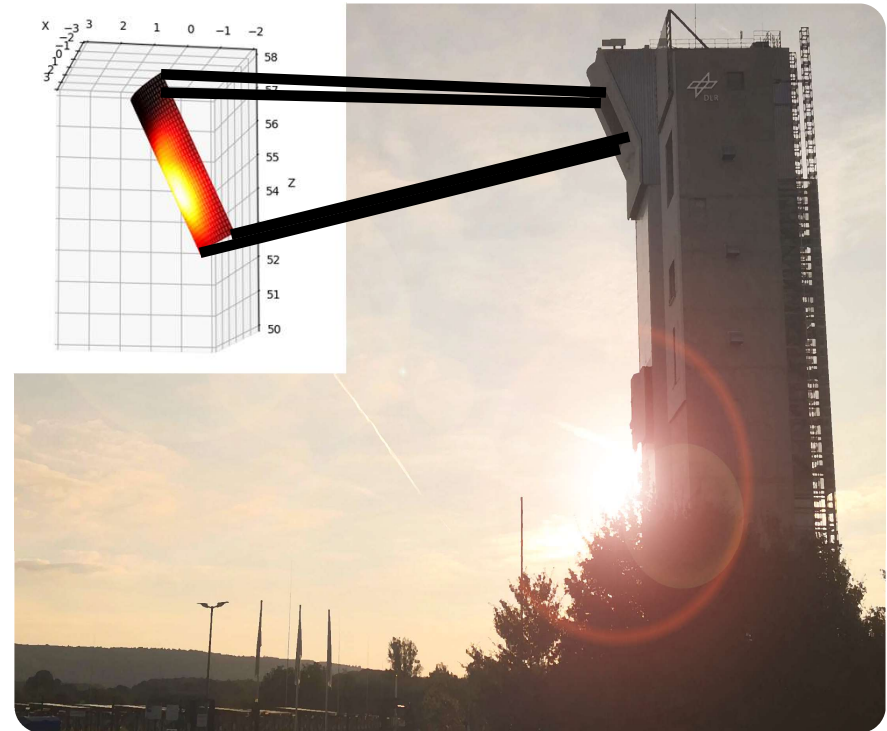
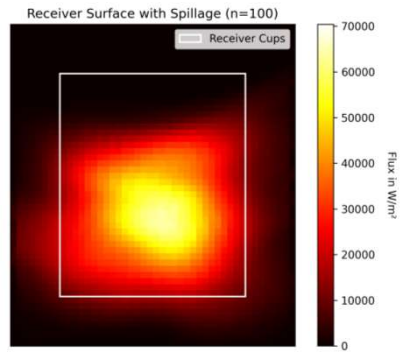
Measure easy
accessible
values

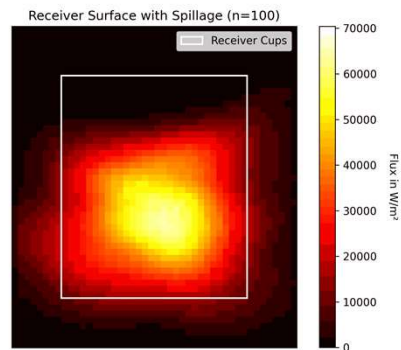


A Heliostat Digital Twin

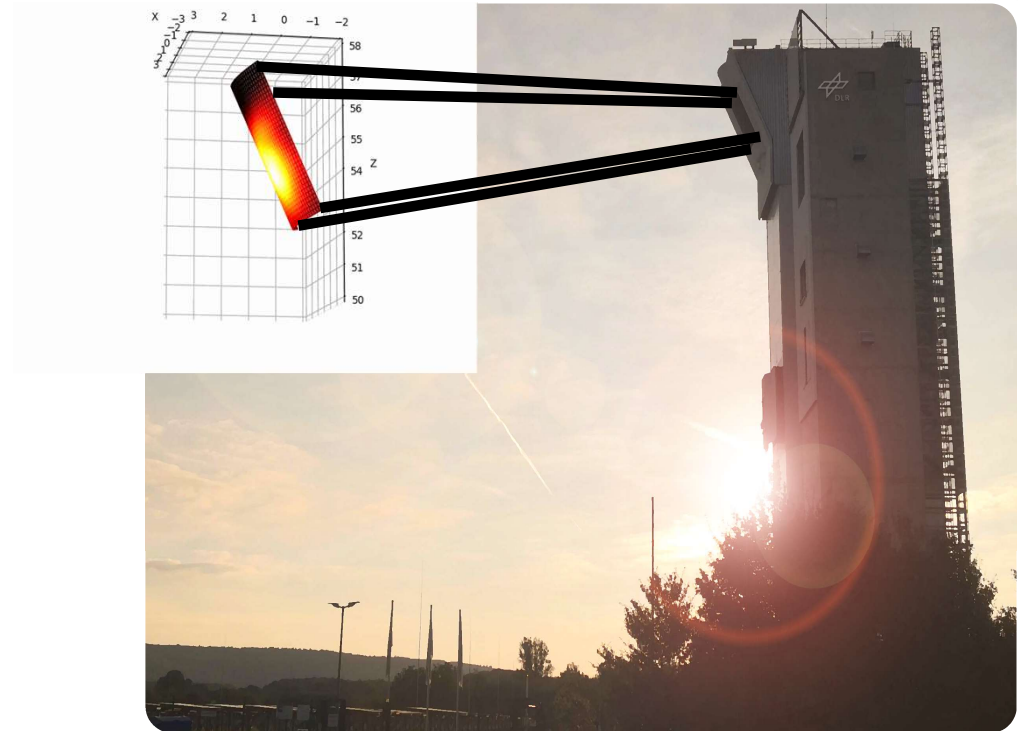
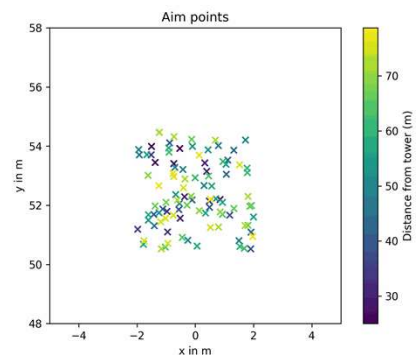








Optimization with AI enhancement





Name des Vortragenden, Institut, Datum

DANKE FÜR EURE AUFMERKSAMKEIT

