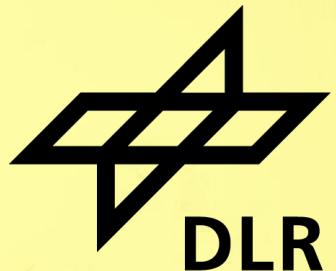


MODULUS – STANDARDISIERTE LEISTUNGSÜBERGABESTATION

Dirk Krüger,

EWB Kolloqium, 2. März 2023

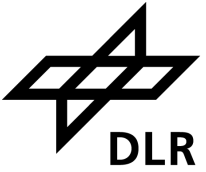


Agenda

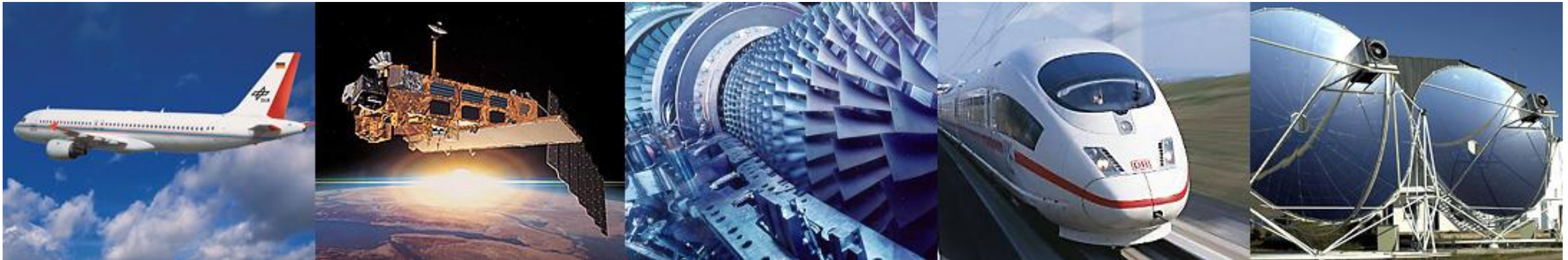


- Warum Parabolrinnentechnologie zur Wärmeerzeugung in Deutschland?
- Einführung in das MODULUS Projekt
- Aspekte zur Standardisierung einer Leistungsübergabestation
- Demoprojekt Turnhout
- Neuere Entwicklungen am Markt für solare Prozesswärme konzentrierenden Kollektoren

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.



- Raumfahrt
- Luftfahrt
- Energie
- Verkehr



- Forschungseinrichtung
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

Prüfstand für solare Prozesswärmeanlagen

DLR-Köln



Entwicklung, Prüfung, Qualifizierung, Demonstration
konzentrierender Solarkollektoren

Forschung zu konzentrierenden Solarsystemen

Technologien:

Parabolrinnen- und Fresnelkollektor, Solarturm

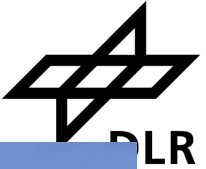
Betrieb von Großanlagen

Entwicklung und Qualifizierung von
Komponenten

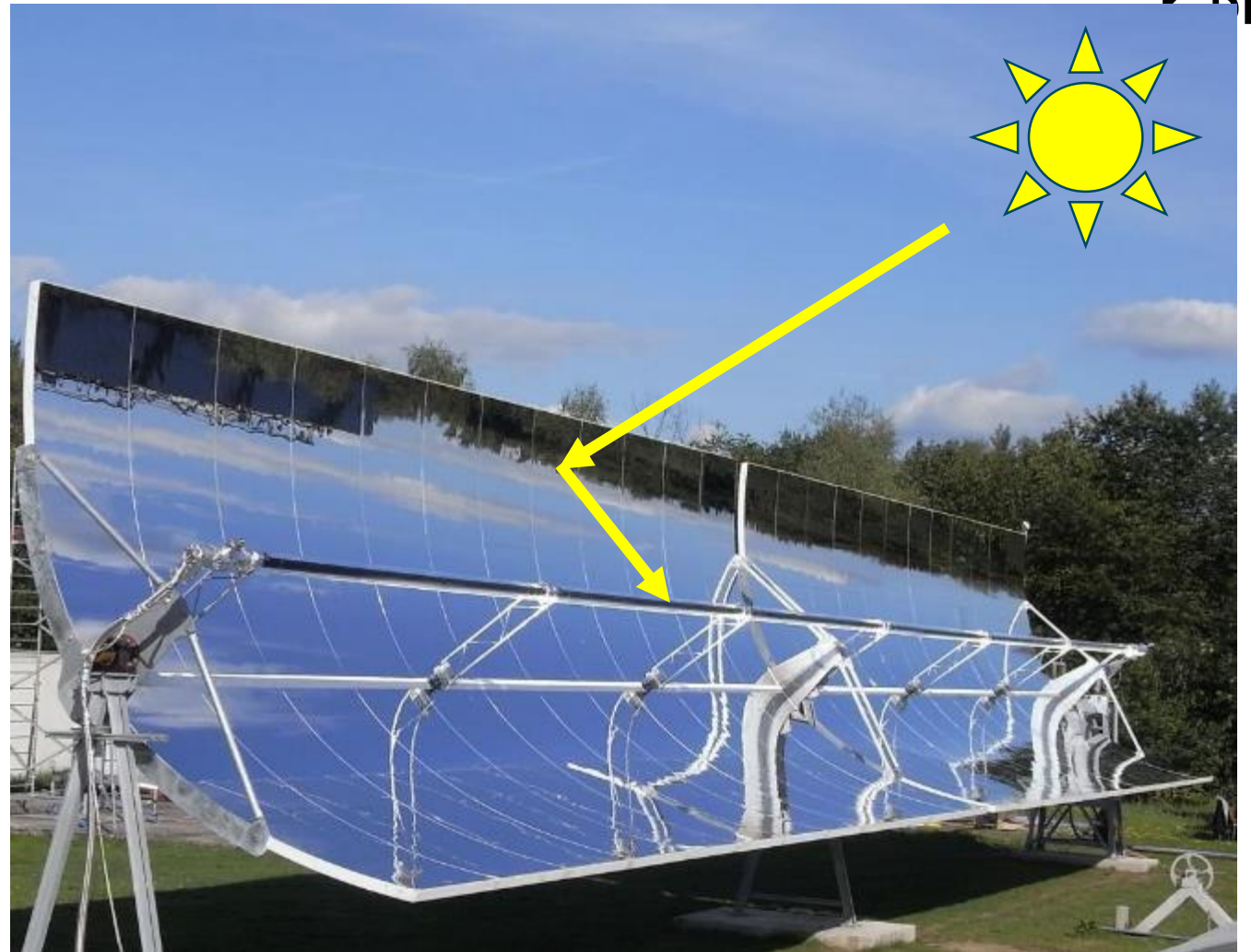
Bild: Evora Molten Salt Plant (**EMSP**): Parabolrinnen-
Testanlage, $2.7 \text{ MW}_{\text{th}}$, Flüssigsalz bis 560°C



Funktionsweise eines Parabolrinnenkollektors



- Reflektiert die direkte Strahlung der Sonne auf ein Absorberrohr
- Kollektor wird der Sonne einachsrig nachgeführt
- Wärmetransfermedium wird bis zur gewünschten Temperatur erwärmt (max. $\sim 550^{\circ}\text{C}$)



Parabolrinne auf Prüfstand, Köln

Wärme aus Parabolrinnen bis 400°C für Kraftwerke



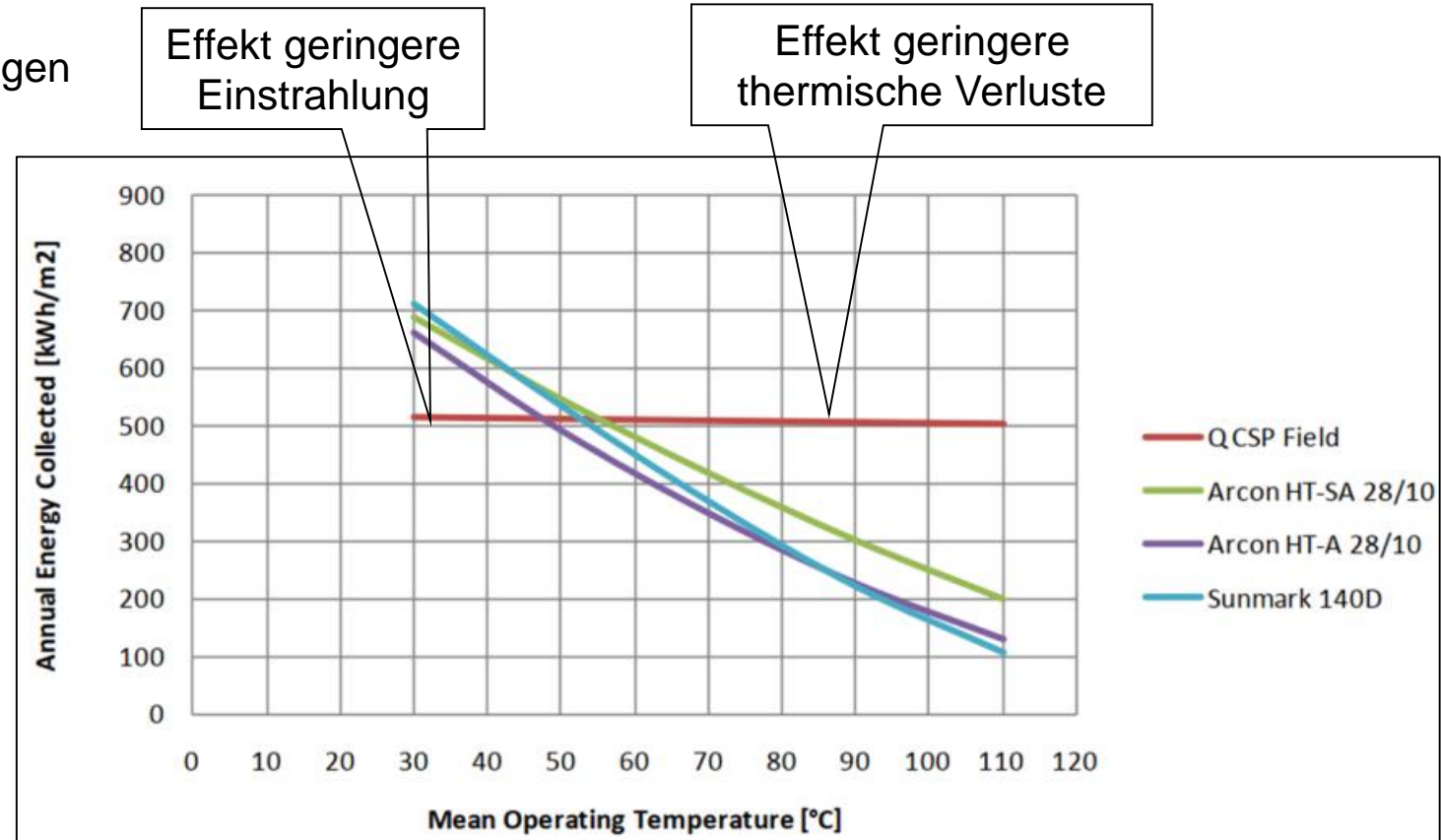
Solarthermisches Kraftwerk Andasol 3 in der Provinz Granada, Spanien. Bild: Marquesado Solar

Stand konzentrierende Kollektoren in Mitteleuropa

Einige Veröffentlichungen mit Ertragsberechnungen
Nur wenige Demonstrationsanlagen gebaut

Ausreichende Einstrahlung?
Wenig bekannt über thermische Erträge
Wenig bekannt über Kosten
Wenig bekannt über Betrieb

⇒ Benchmark von Parabolrinnen mit etablierten Kolleortechologien
⇒ Alternativen: Fresnel und Turm



Jahreserträge eines Parabolrinnenkollektors im Vergleich zu Flachkollektoren für Dänemark aus: DTU Civil Engineering Report R-292 (UK), 2013

Stand konzentrierende Kollektoren in Mitteleuropa

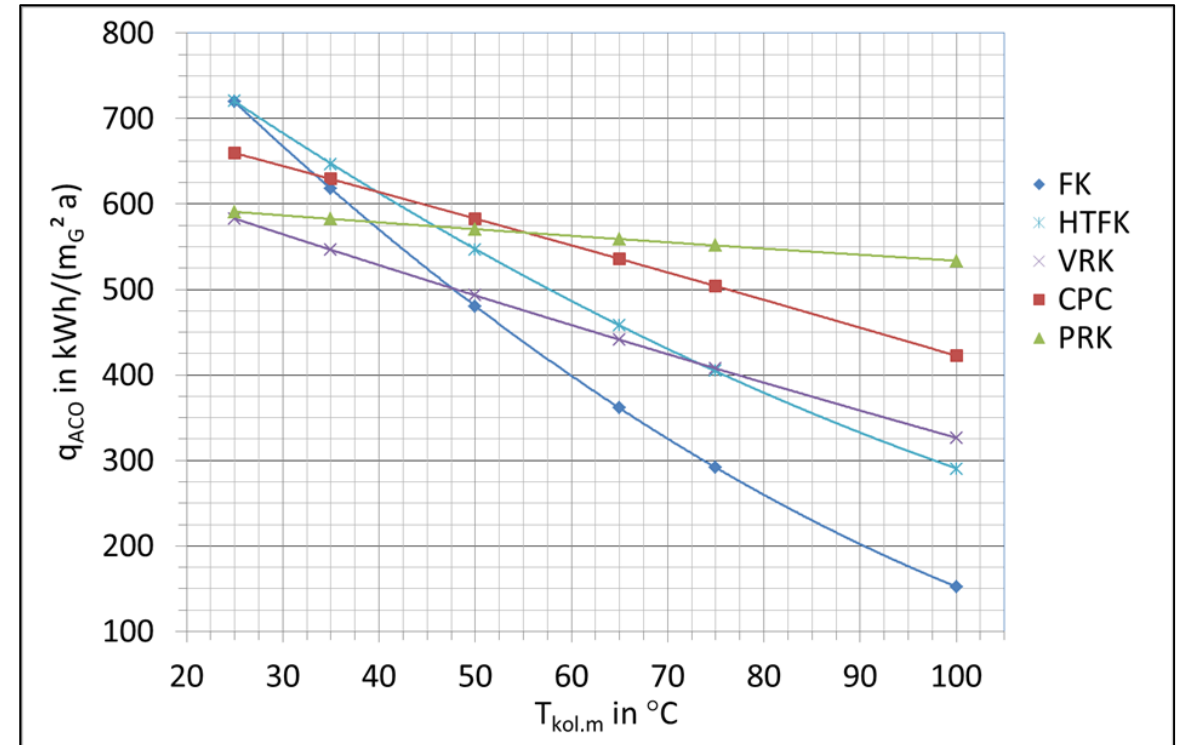
Einige Veröffentlichungen mit Ertragsberechnungen
Nur wenige Demonstrationsanlagen gebaut

Ausreichende Einstrahlung?
Wenig bekannt über thermische Erträge
Wenig bekannt über Kosten
Wenig bekannt über Betrieb

⇒ Benchmark von Parabolrinnen mit
etablierten Kolleortechologien
⇒ Alternativen: Fresnel und Turm

FK Flachkollektor
HTFK Hochtemperatur Flachkollektor
VRK Vakuumröhrenkollektor
CPC Vakuumröhrenkollektor mit CPC
PRK Parabolrinnenkollektor

Teilweise Mittelwertbildung von
Kollektoren verschiedener Qualität



Bruttojahresertrag von Kollektoren für ein Mischklima aus
Würzburg und Kopenhagen
berechnet durch Prof. Schabbach, VDI Richtlinie 3988 Solare
Prozesswärme mit ScenoCalc berechnet.

Geringe Direktstrahlung? Einstrahlung auf verschieden ausgerichtete Flächen

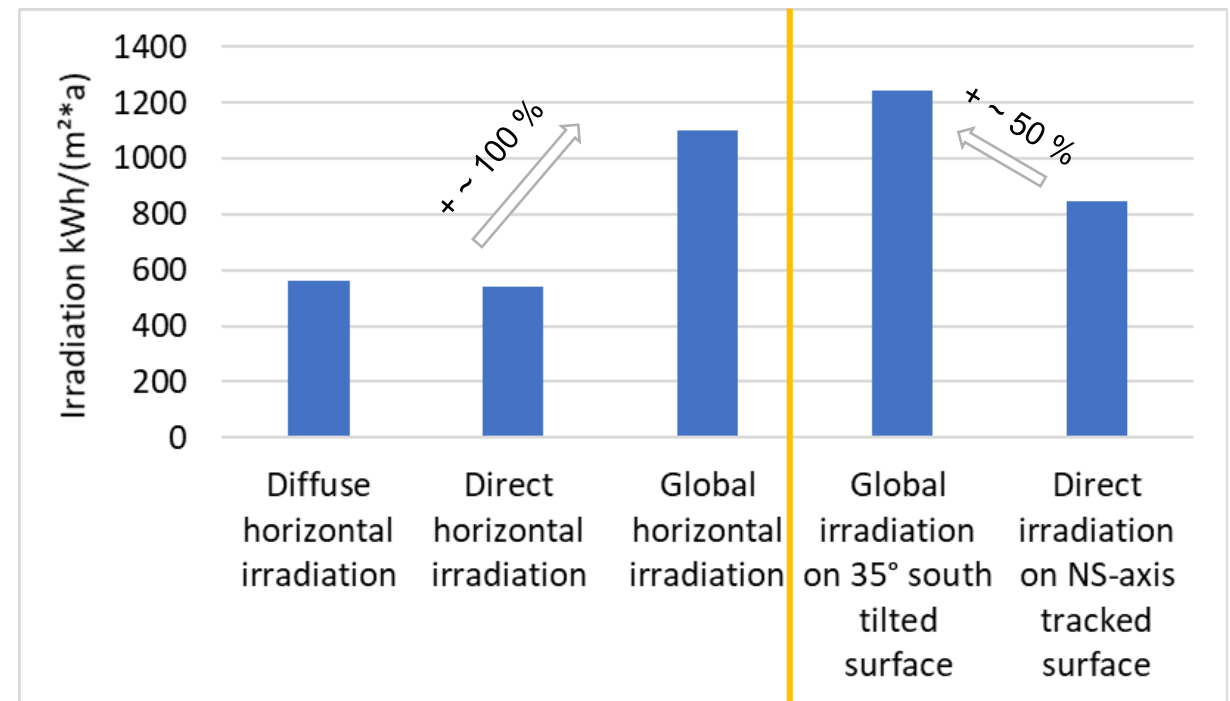
Würzburg: Typische Wetterdaten für Mitteleuropa

Bezogen auf die horizontale Fläche ist die Globalstrahlung ~100% höher als die Direktstrahlung

Die nutzbare Einstrahlung auf die Kollektorfläche ist bei stationären Kollektoren lediglich ~50% höher

⇒ Unterschied geringer als auf den ersten Blick

Wetterdaten Würzburg	kWh/(m ² *a)
Diffusstrahlung horizontal	562
Direktstrahlung horizontal	540
Globalstrahlung horizontal	1102
Globalstrahlung auf eine 35° nach Süden geneigte Fläche	1244
Direktstrahlung auf eine nachgeführte Fläche mit Nord-Südachse	848



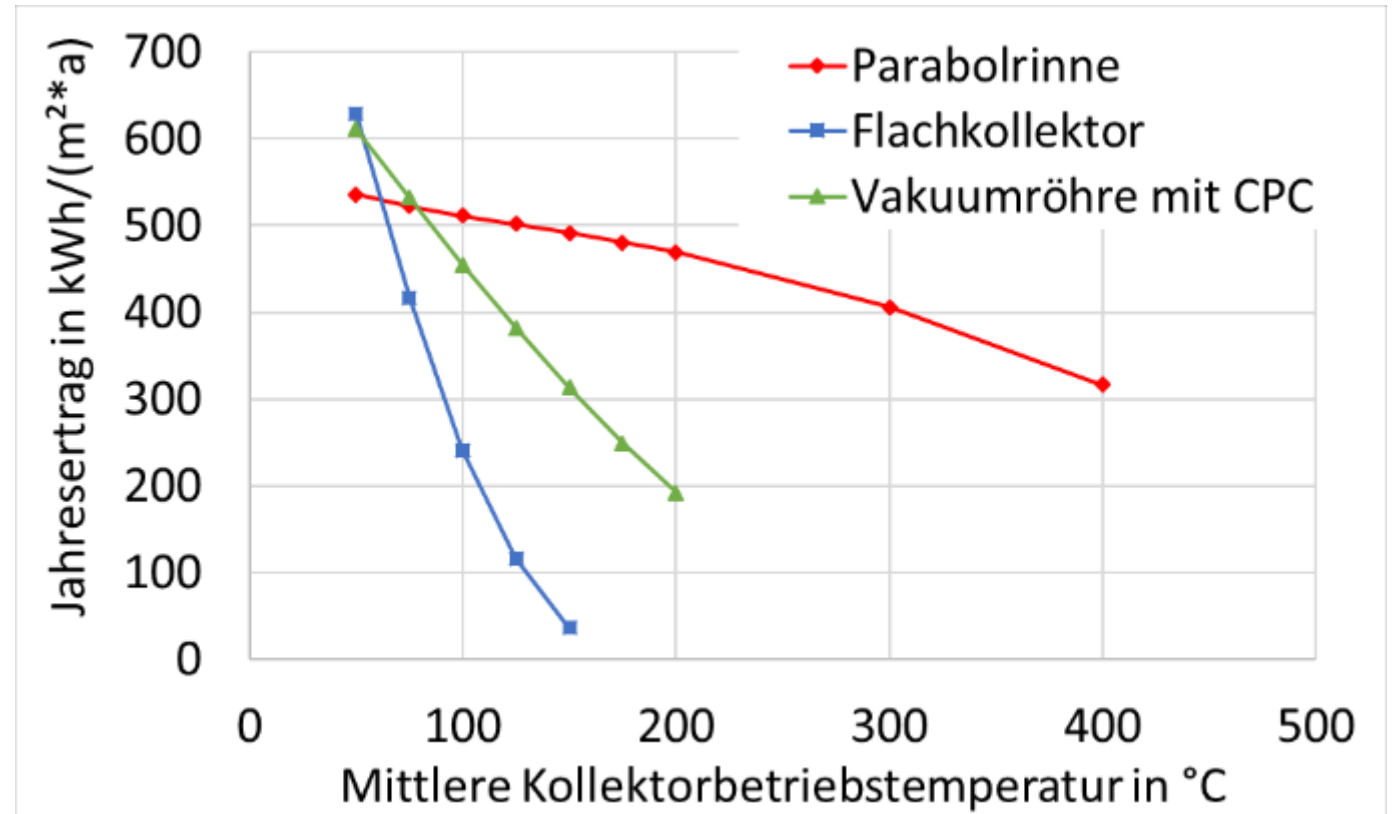
Jahressummen der Einstrahlung für den Standort Würzburg

Vergleich der jährlichen Energieerträge verschiedener Kollektortypen

Randbedingungen:

- Verluste in Rohrleitungen und Wärmekapazitäten enthalten
- Gegenseitige Abschattung und 2% Verschmutzung für Rinnen berücksichtigt

=> Parabolrinnen auch attraktiv für Temperaturen über 100 °C



Berechnete Jahreserträge für den Standort Potsdam

Erstellt mit dem Programm greenius

[DLR - Institute of Solar Research - greenius - Download](#)

Betriebserfahrung aus Kollektorfeld in einem Chemiebetrieb bei Antwerpen

Ergebnisse der Solarlite CSP Technology aus Betrieb Kollektorfeld Antwerpen
Inbetriebnahme 2019/2020

⇒ Spezifischer Ertrag gemessen 422 kWh/m²*a

Ertrag gemessen	452	MWh _{th}
Ertrag korrigiert	468	MWh _{th}
Bruttoapertur	1107,8	m ²
Spezifischer Ertrag	422	kWh/m ²
DNI	917	kWh/m ²
Jahreswirkungsgrad	46	%

Gemessener Ertrag im Primärkreislauf
für die Zeit 01.08.2020 bis 31.07.2021



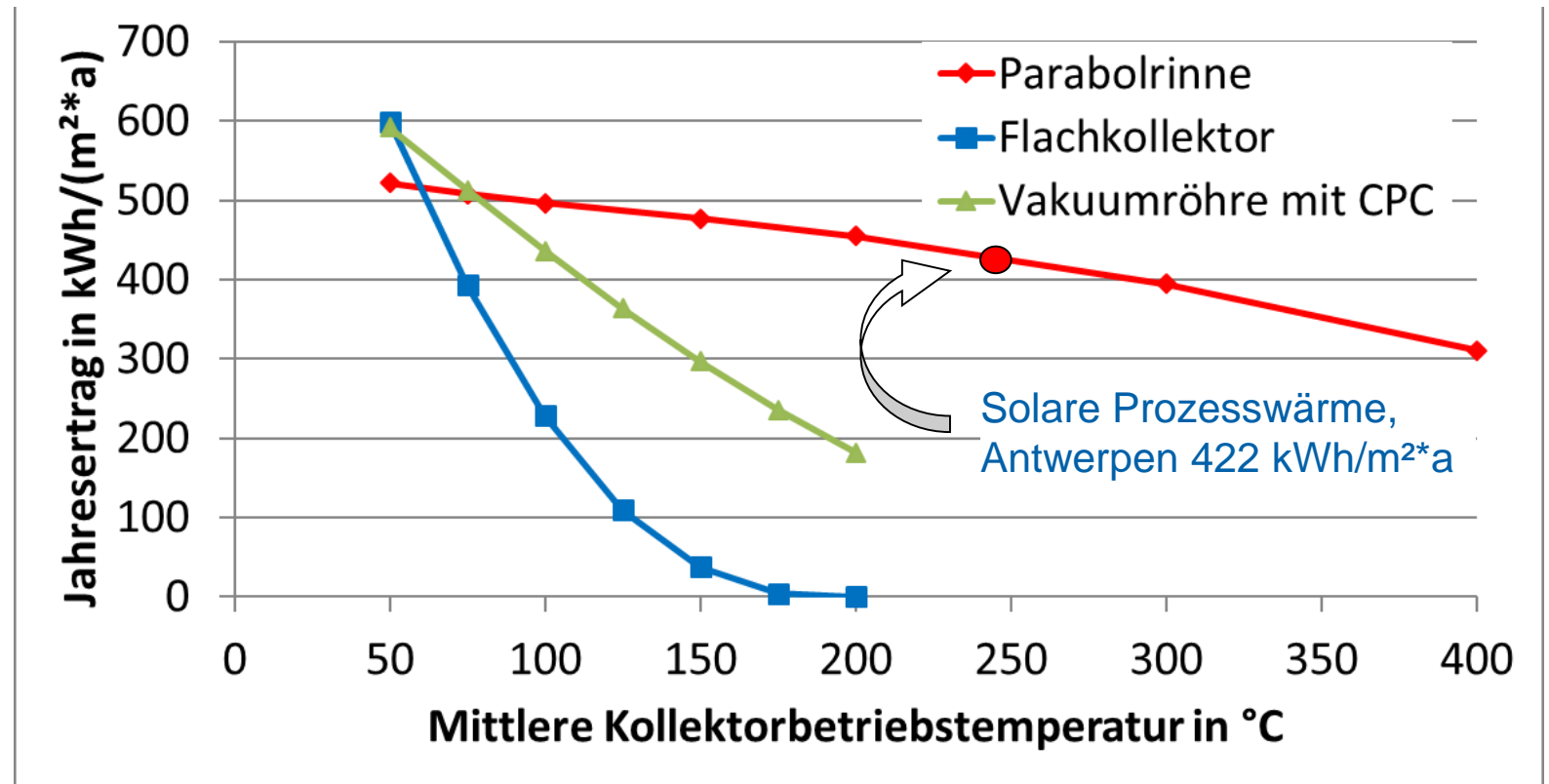
Parabolrinnenfeld in Antwerpen,
Belgien
Foto: DLR

Vergleich Berechnungen mit Messungen aus Kollektorfeld bei Antwerpen

Darstellung berechneter Erträge für Standort Potsdam

Gemessener Ertrag eines Parabolrinnenkollektors in Anlage Antwerpen

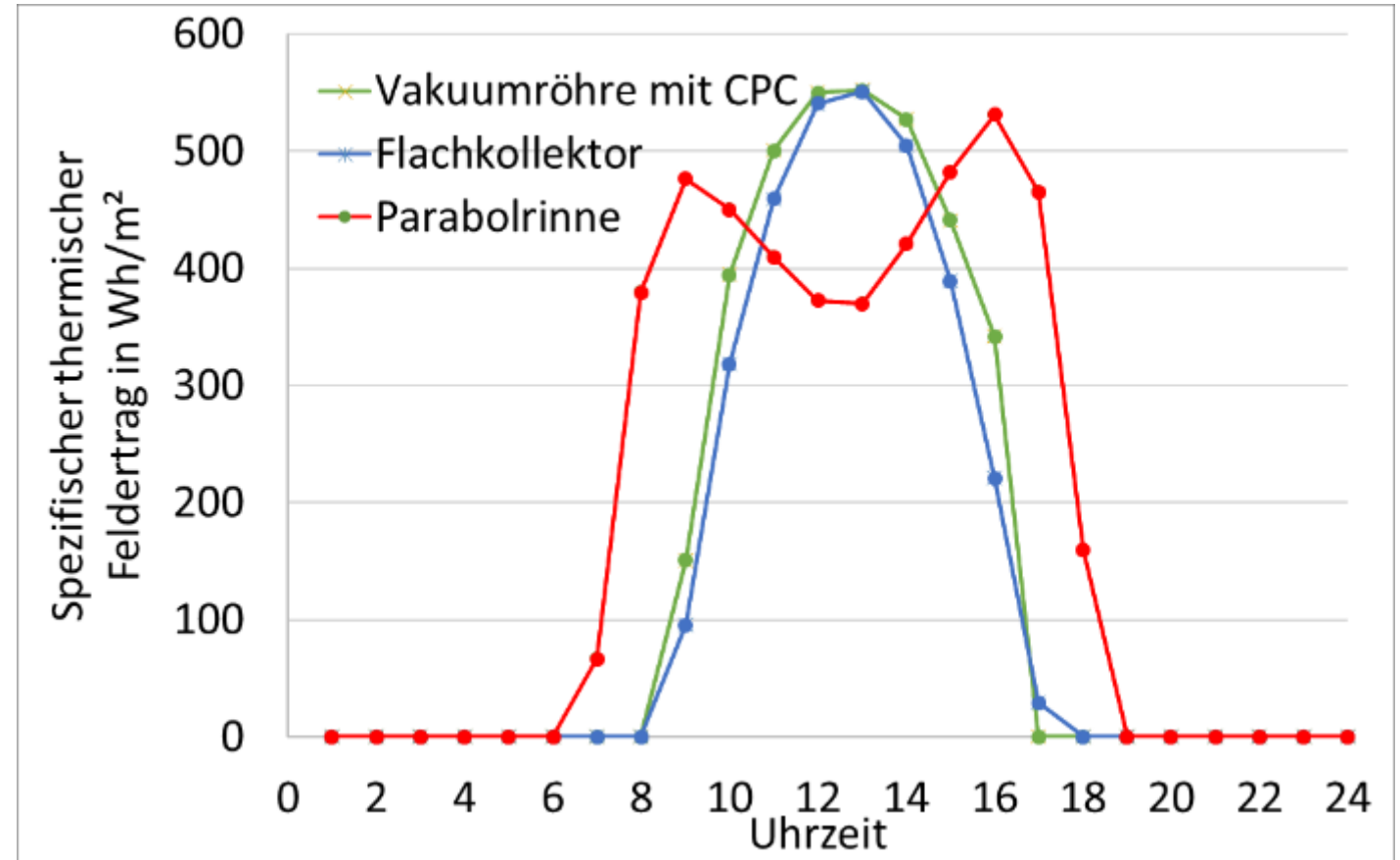
⇒ Berechnungen sind repräsentativ



Tagesverlauf Wärmelieferung

Parabolrinnenkollektor ist durch die Nachführung im Sommerhalbjahr morgens und nachmittags günstig zur Sonne ausgerichtet

Wärmelieferung über den Tag verteilt

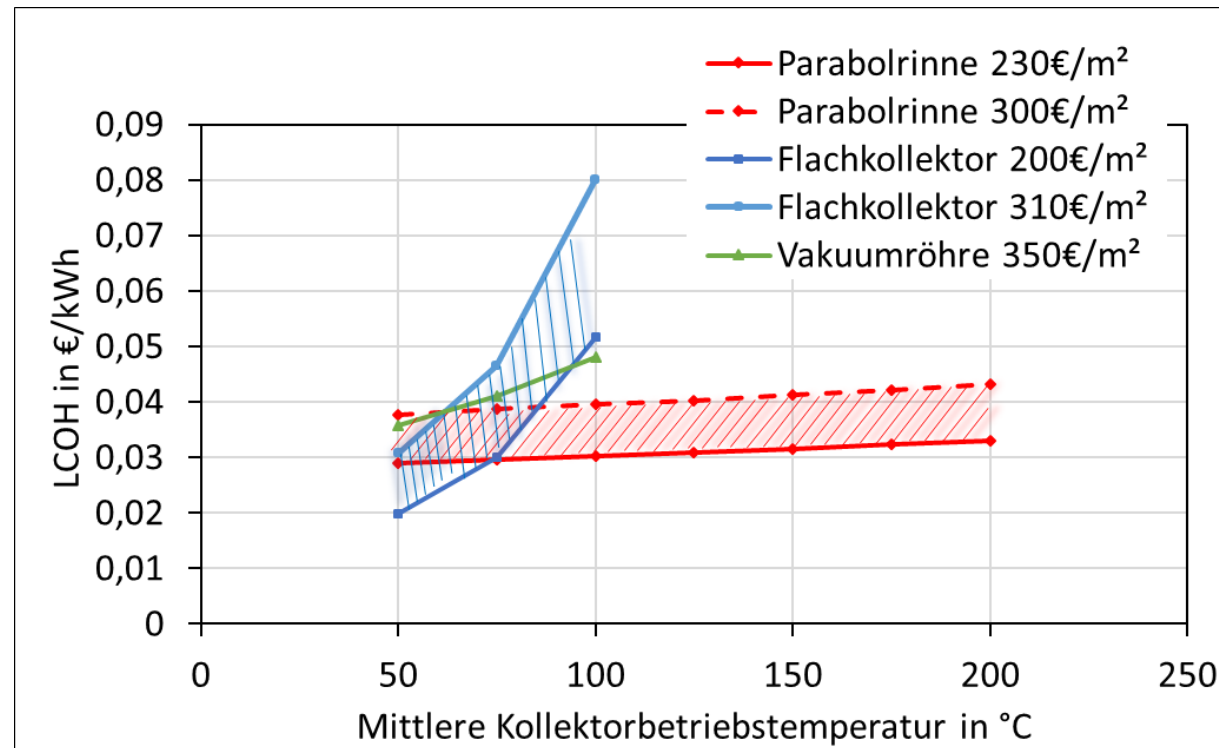


Tagesverlauf am 14.9. Potsdam bei 75° C
und einer Nord-Süd Achse des Parabolrinnenkollektors

Investitions- und Wärmegestehungskosten

Bezug auf Feldgrößen von 10.000 m²

LCOH für geplante, fertig installierte und in Betrieb genommene Solarfelder



Wärmegestehungskosten LCOH Wetter Potsdam

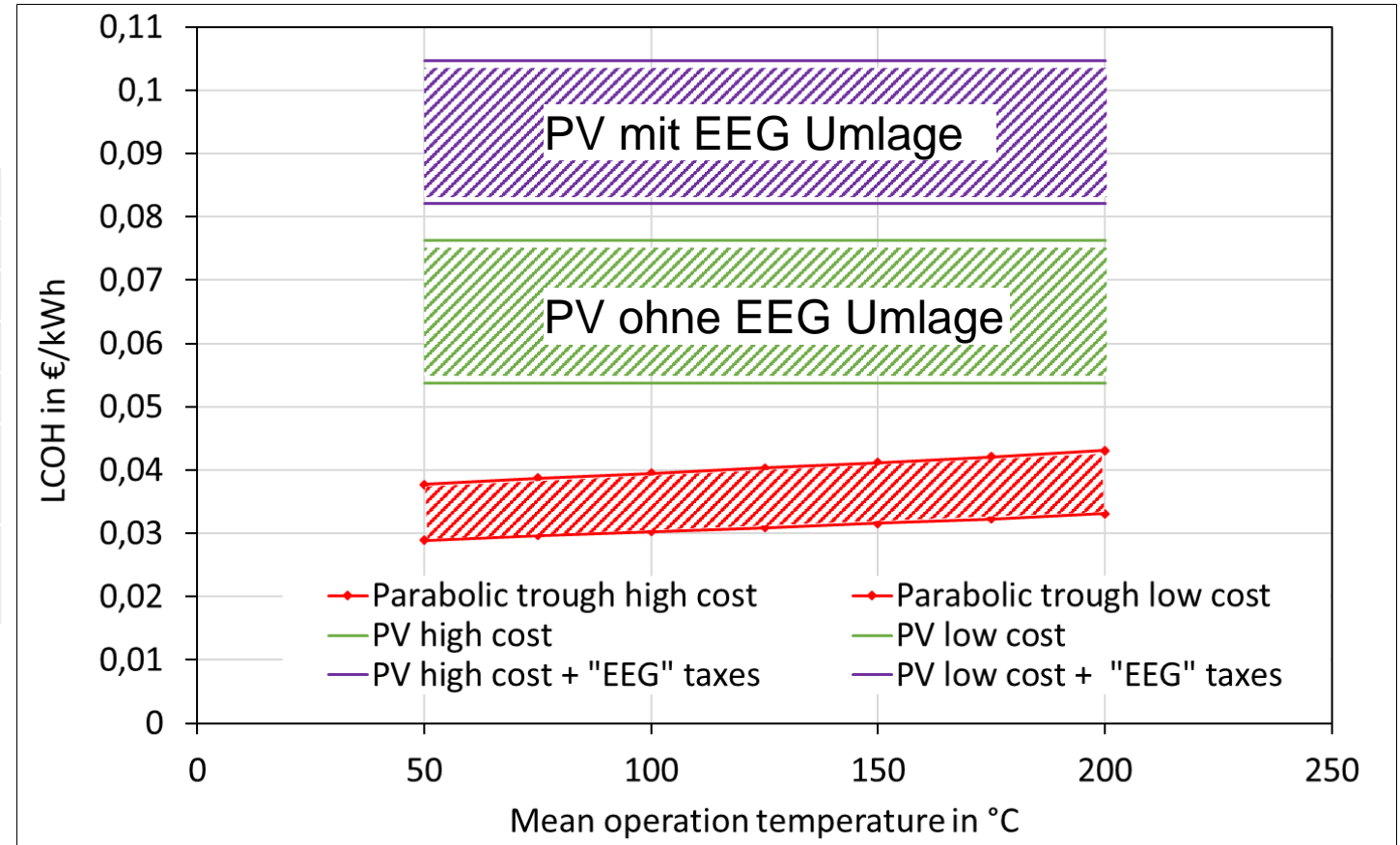
Investitions- und Wärmegestehungskosten – Vergleich mit PV + Elektroheizer

Annahmen PV

Bezogen auf Feldgröße von 9400 m² Stand 2021

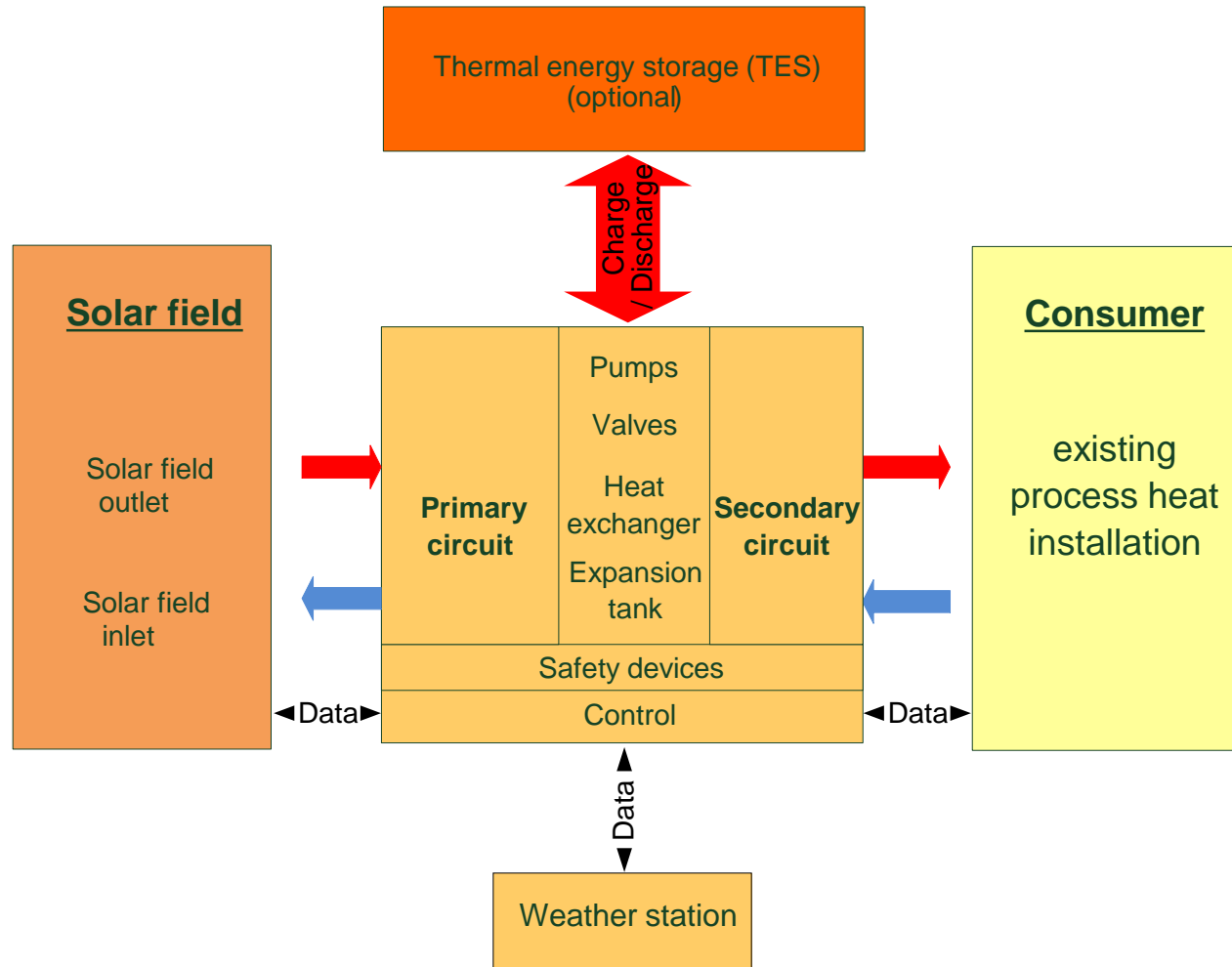
		Hoch	Niedrig
PV Feld	€/kW_DC	700	500
Inverter	€/kW_AC	70	55
Elektroheizer	€/kW	100	100
EPC Kosten	%	32	32
Summe Kosten PV			
Wärme	€/kW_AC	1192	858
O&M & Versicherung	%	1,0	0,5

Für Parabolrinnenkollektoren werden wegen bisher geringer Anlagenzahl schnelle Kostenreduktionen über Skaleneffekte erwartet



LCOH für Wetterdaten Potsdam

What's the BoP and why can we do better here?



Standardizing the Balance of Plant (BoP)

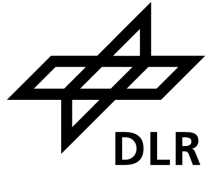


- Focus on thermal power levels from 0.5 MW to 10 MW
- Heat transfer fluids:
 - Solar field: thermal oil (200 – 380 °C) or pressurized water (up to 220 °C)
 - Consumer: thermal oil, steam, air
- Easy to be standardized:
 - Components: Instrumentation & control, hydraulic interfaces, nitrogen blanketing system, compressed air system
 - Procedures such as function and safety checks in the commissioning phase
- Difficult to standardize:
 - Heat exchanger – highly dependent on the consumer's process

Approach: development of standardized („generic“) piping & instrumentation diagram (P&ID), with black-box modules

The MODULUS project

Funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK)



Project consortium

- Concentrating collector manufacturers:
Solarlite CSP Technology GmbH
Protarget AG
Industrial Solar GmbH
- BoP manufacturer:
AURA GmbH
- Research Institutes:
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE
German Aerospace Center (DLR)



Aim of the MODULUS project:
Cost reduction by standardizing the balance of plant (BoP)

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Survey on process heat plants built since 2017



- Parabolic trough collectors dominate world market
- Collector area doubled between 2018 and 2023
- 60% of the collector manufacturers think that BoP standardization would reduce SHIP¹ cost significantly
- New SHIP suppliers usually integrate a third-party specialist into BoP design and construction
- Most potential BoP providers have limited experience with integration of solar fields



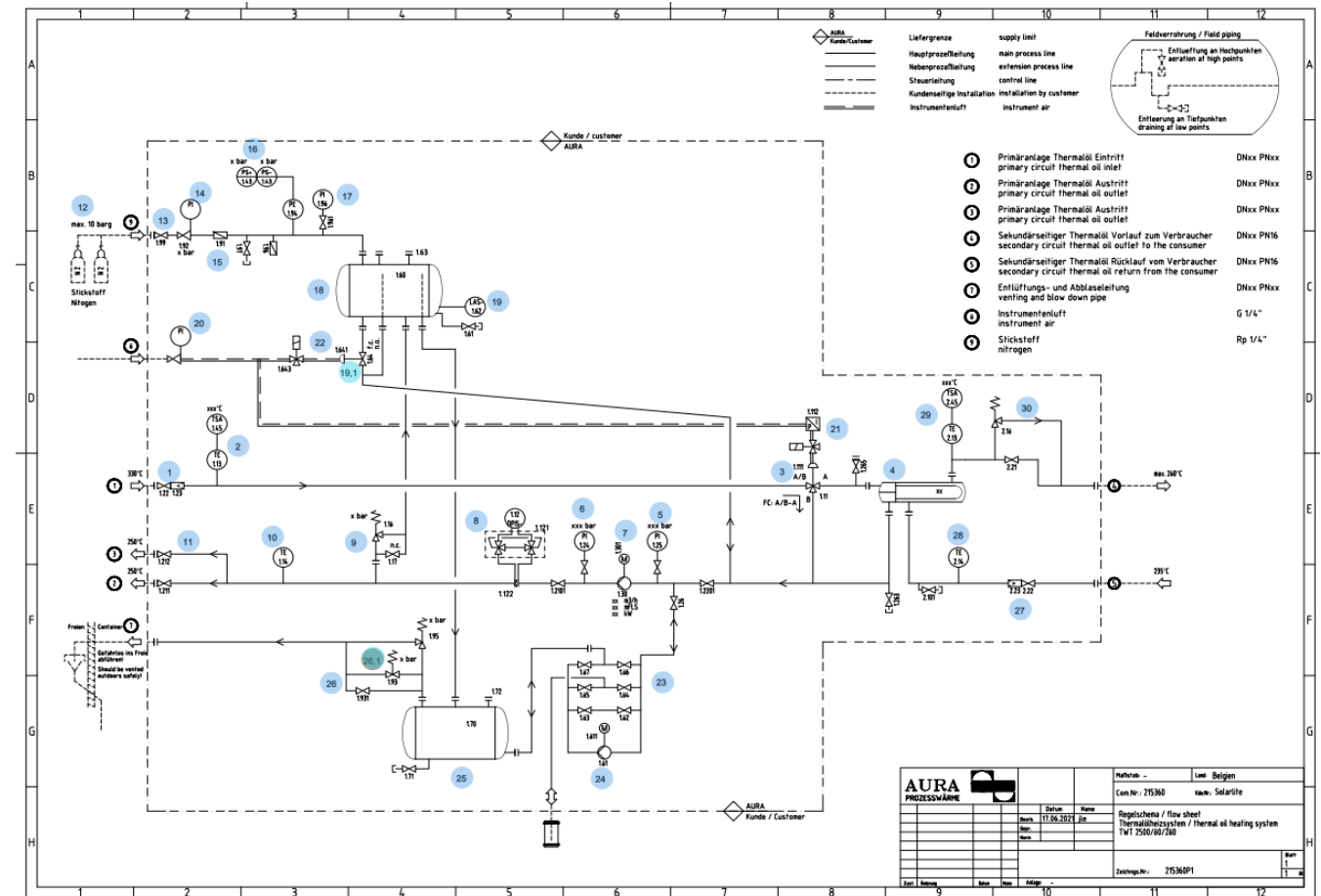
²For 2022 and 2023: confirmed projects
Source: Solrico



¹Solar heat for industrial processes

Standardized P&ID

- Piping system acc. to European standard: PN16 or PN40, DN50 to DN125
- Standard instrumentation set (pressure sensors, temperature sensors) and components (nitrogen blanketing, overflow vessel)
- Two control cabinets (solar field, + BoP); overall control system usually with solar field supplier
- Modules pre-installed and transported to customer site in a standard container



Demo 1: 2,5 MW Prozesswärme in Belgien Inbetriebnahme Mai 2023

- Silikonöl im Solarbereich (280 - 380°C)
- Mineralöl (260 - 300 °C) auf der Verbraucherseite
- Betonspeicher mit Wärmekapazität: 4,5 MWh
- Parabolrinnenkollektoren, 5.540 m² Aperturfläche, 3 Loops
- 20% Solare Deckung im Jahr
- 430 Tonnen CO₂-Einsparung pro Jahr

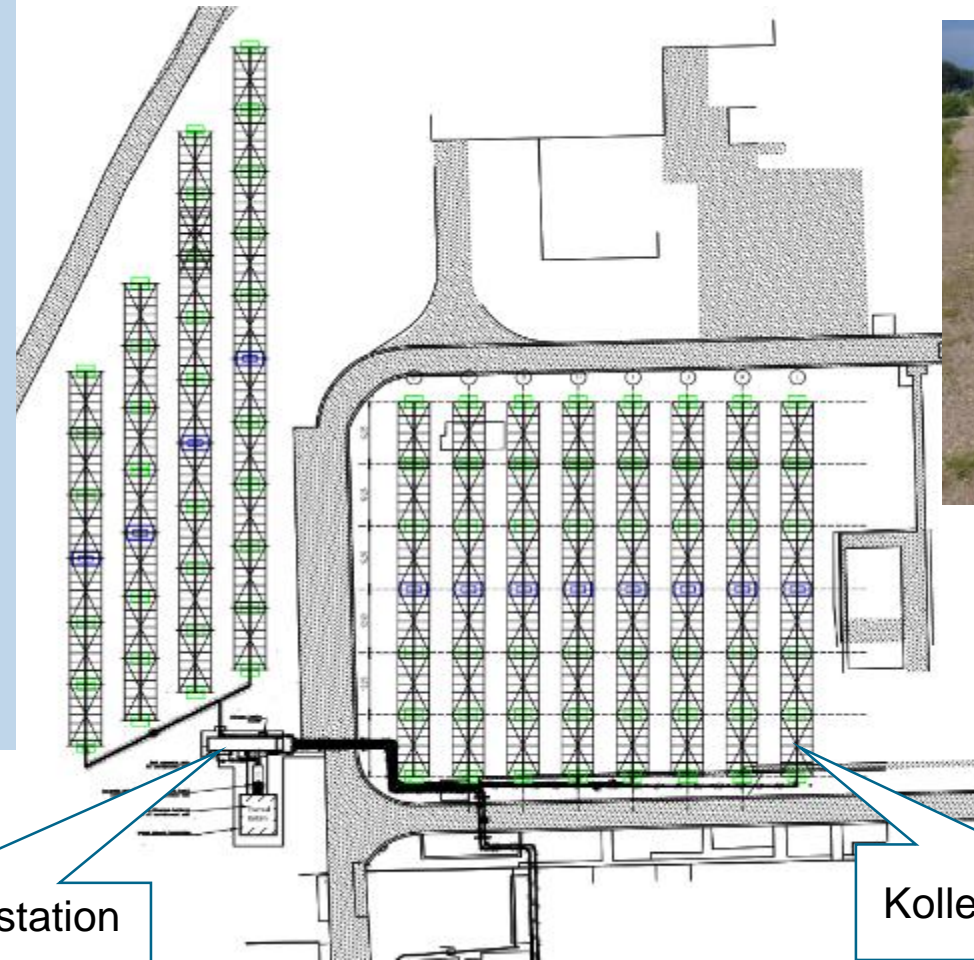


Photo: Solarlite

Leistungsübergabestation
(BoP)

Kollektormodule

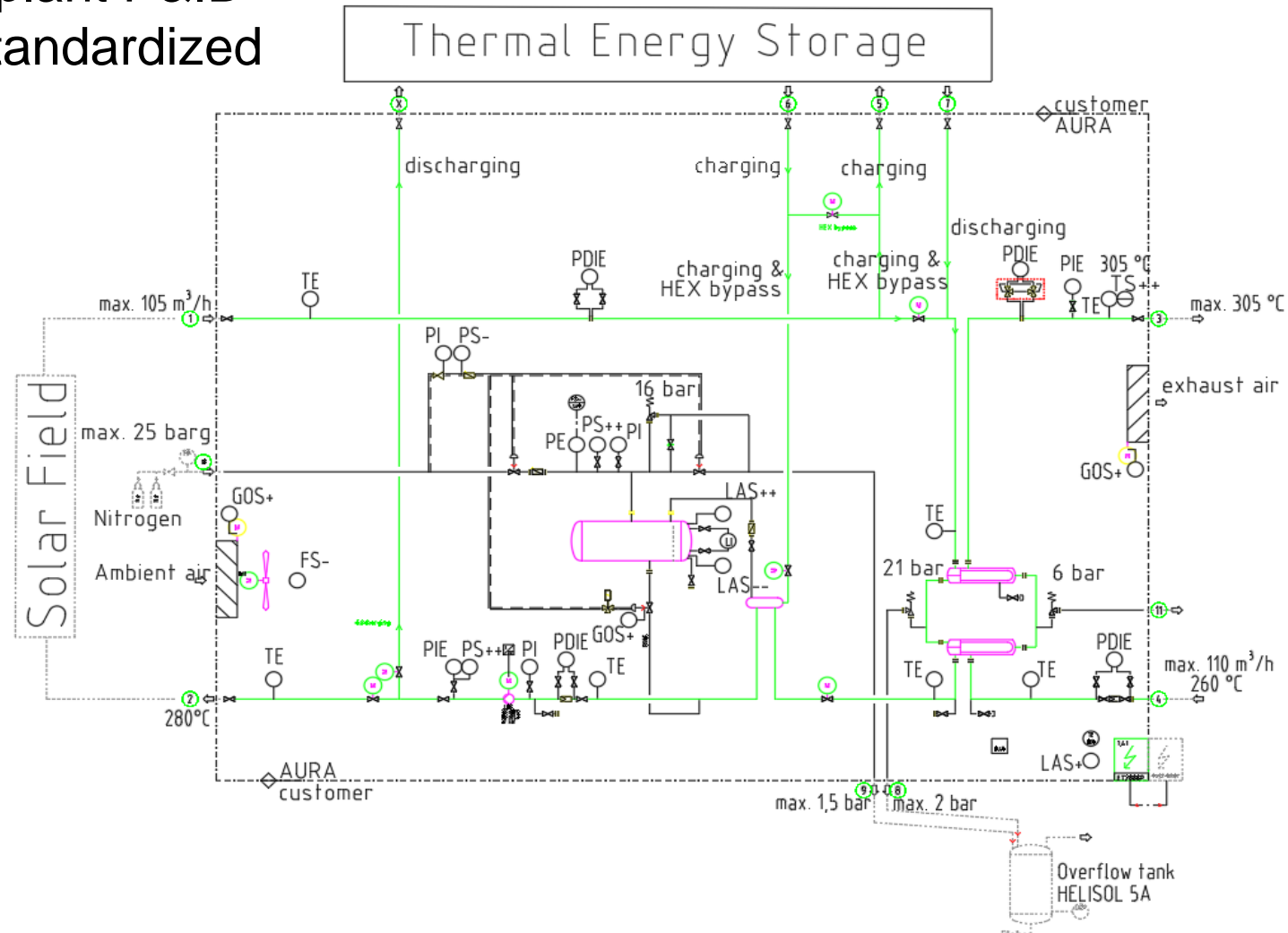
Anordnung Kollektormodule

Demo plant (1) 2.5 MW process heat plant in Belgium

Parabolic trough collectors



- Balance of plant P&ID based on standardized design



Demo plant (2) 6.5 MW process heat plant in South Europe

Fresnel collectors



- Use of solar process heat for dehumidification of clay material and clay pre-drying
- Solar field HTF: pressurized water (210 °C)
- Air at the consumer side (150 – 180 °C)
- Stratified storage tank (110 m³) integrated
- BoP supplier prepared budgetary quote and component list, based on the standardized BoP design.



Demoanlage 3

- Anlage protarget muss neu bestimmt werden



Summary and outlook

MODULUS project



- Reducing the costs of BoP engineering, manufacturing and commissioning by standardization
- Market demand: focus on a power size of 0.5 to 10 MW th., European standards
- Three currently designed demo plants as test case for the standardized P&ID

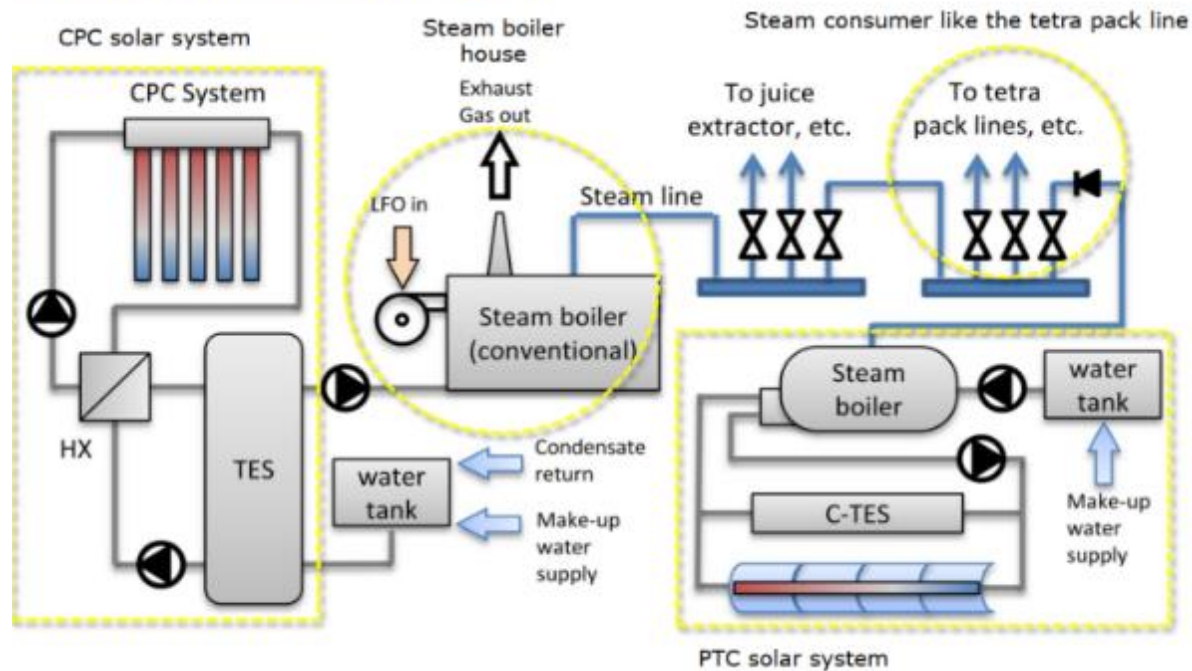
Next steps:

- Quantification of BoP cost savings
- Definition of standardization documents (please refer to SolarPACES full paper)

Kollektor und Integration in ein Dampfnetz auf Zypern

Integration and Design

Layout of the steam network



Kollektor (Photo: Protarget)

Dampfnetz mit Solarkollektoren

Inbetriebnahme 2019, Getränkeindustrie, Jahresertrag: 576 MWh/y, Betonspeicher mit max. 380°C, Sattedampf bei 190°C, 140 kW

Solare direkte Dampferzeugung mit Dampfspeicher

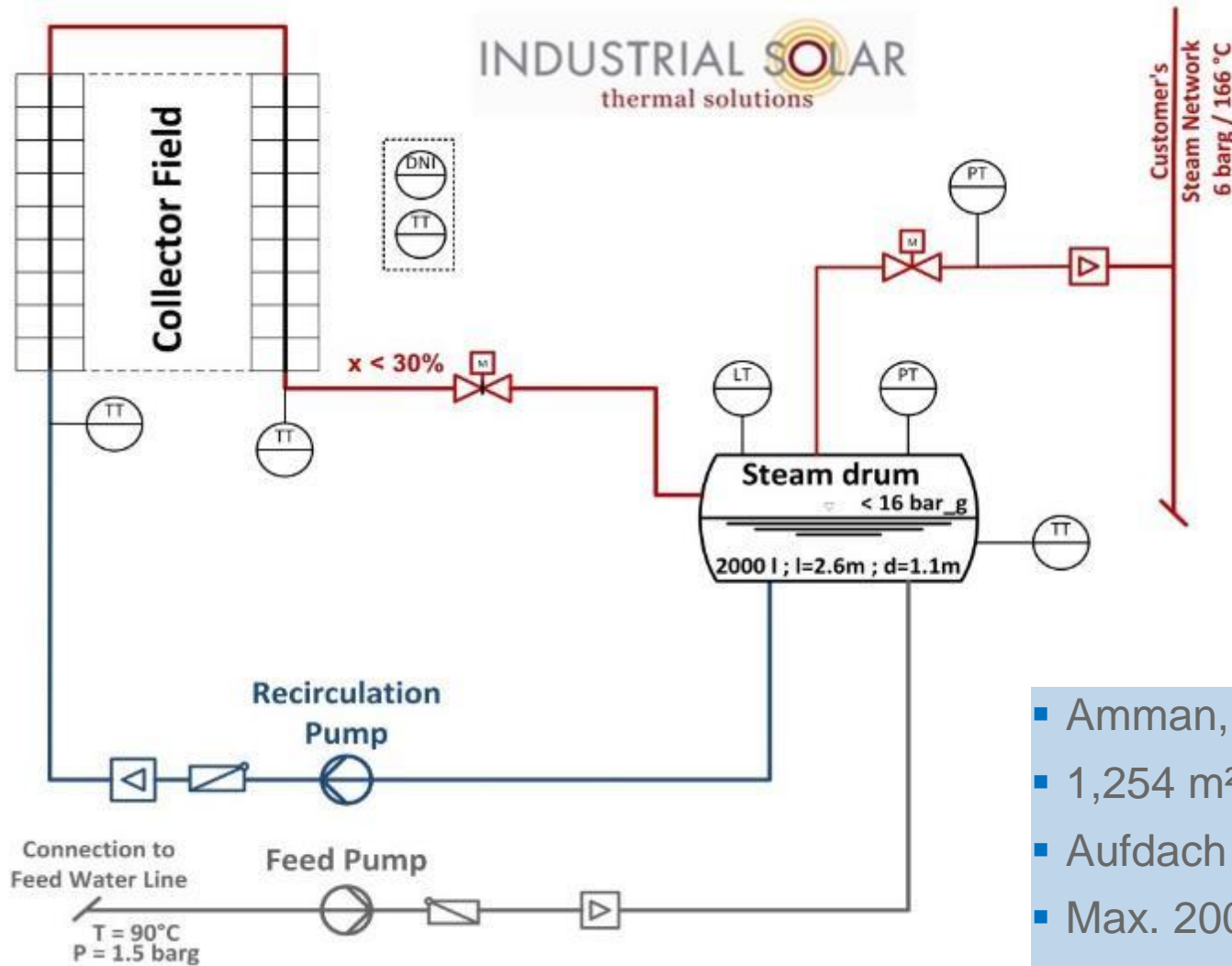


Photo: Industrial Solar

- Amman, Jordanien, JTI – Japan Tobacco International
- 1,254 m², 600 kW Fresnel Kollektoren, Betrieb seit 2017
- Aufdach Installation
- Max. 200°C Sattdampf, Ruth Speicher
- Dampferzeugung direkt im Solarfeld

Anlagen in moderatem Klima: Kollektorfelder in Belgien für die chemische Industrie

- Inbetriebnahme 2019/2020
- Parabolrinnen Aperturfläche jeweils 1100 m² / 600 kW
- Kollektorbetriebstemperatur 220°C/330°C, Medium Silikonöl
- Erzeugung Prozessdampf bei 6 bar, 155 °C und 11 bar, 185 °C
- Aperturfläche Kollektormodul: 5,77 m x 12 m



ADPO,
Antwerpen, Belgien
Foto: DLR



Proviron Chemicals,
Oostende, Belgien
Foto: Solarlite

Kleiner Aufdachkollektor - SolarKEYMARK



- Kollektor mit Variante Glasabdeckung
- Kollektor zertifiziert nach ISO 9806
- Das SolarKEYMARK Zertifikat liefert zuverlässige Informationen für Kunden über den Wirkungsgrad
- Jahresertrag für Kollektorvergleich
- SolarKEYMARK schwierig für große Kollektoren, weil diese nicht in den Testzentren geprüft werden können



Photo: Absolicon

Parabolrinnenkollektoren in einem Wärmenetz in China

Standort: Baotou, Innere Mongolei, China

Kollektoren, EPC, Betreiber: Xuchen Energy

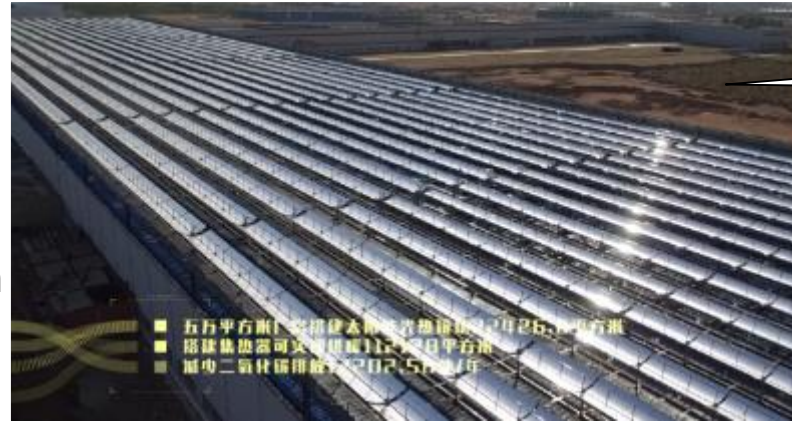
93.000 m³ in Betrieb seit 2016, davon 22.000m² auf dem Dach

66.000m³ Wasserspeicher bis zu 95°C

Bis zu 220°C im Solarfeld

Raumheizung für Gebäude

100 % subventioniert von der Zentralregierung im Rahmen der grünen Heizungs politik



Aufdach Installation



Bodenaufstellung

Photos: Xuchen

Solarwärme in Brauerei Heineken Sevilla – Technische Daten, Angaben Firma Solarlite

- Das Projekt wird $\geq 53\%$ (30 von 56 GWhth) des Wärmebedarfs solar abdecken
- Wärme wird in Form von Druckwasser benötigt (PW @ 110 °C / 160 °C und 9.5 bar)
- Solarfeld Kapazität von 30 MWth mit Parabolrinnenkollektoren der Firmen Solarlite/Azteq
- Das Solarfeld wird mit Druckwasser betrieben. Dieser Primärkreislauf versorgt den Sekundärkreislauf des Kunden über einen Wärmetauscher.
- Das Solarfeld wird bei 120 °C / 210 °C und 25-30 bar betrieben.
- Um die hohe solare Deckung zu erreichen wird eine thermische Speichereinheit mit einer Kapazität von ~ 70 MWhth integriert. Sie besteht aus 8 Druckwassertanks mit jeweils einem Volumen von ~ 100 m³.



Heineken Brauerei Sevilla.
Foto: Heineken Espana

Solarwärme in Brauerei Heineken Sevilla – Anordnung Solarfeld



1. Solarfeld (SF)
2. Solarfeld BoP
3. Thermische Speichereinheiten (TES)
4. Interface/Einbindung
5. Wärmelieferungsendpunkt
6. Temporäre Bauvorbereitungszone
7. Grünstreifen

Contacts

MODULUS project



Dirk Krüger, DLR (project coordinator)
dirk.krueger@dlr.de

Sven Fahr, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE
sven.fahr@ise.fraunhofer.de

Joachim Krüger, Solarlite CSP Technology GmbH,
joachim.krueger@solarlite.de

Stefan Bonleitner, Protarget AG,
bonleitner@protarget-ag.com

Andreas Burger, Industrial Solar GmbH
andreas.burger@industrial-solar.de

Jakob Leicht, AURA GmbH
j.leicht@auragmbh.com

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Karte der DNI (Direktstrahlung auf eine 2-achsig nachgeführte Fläche) in Deutschland

