



Solarworld Innovations GmbH

Christian Löbel

DBI – GUT GmbH

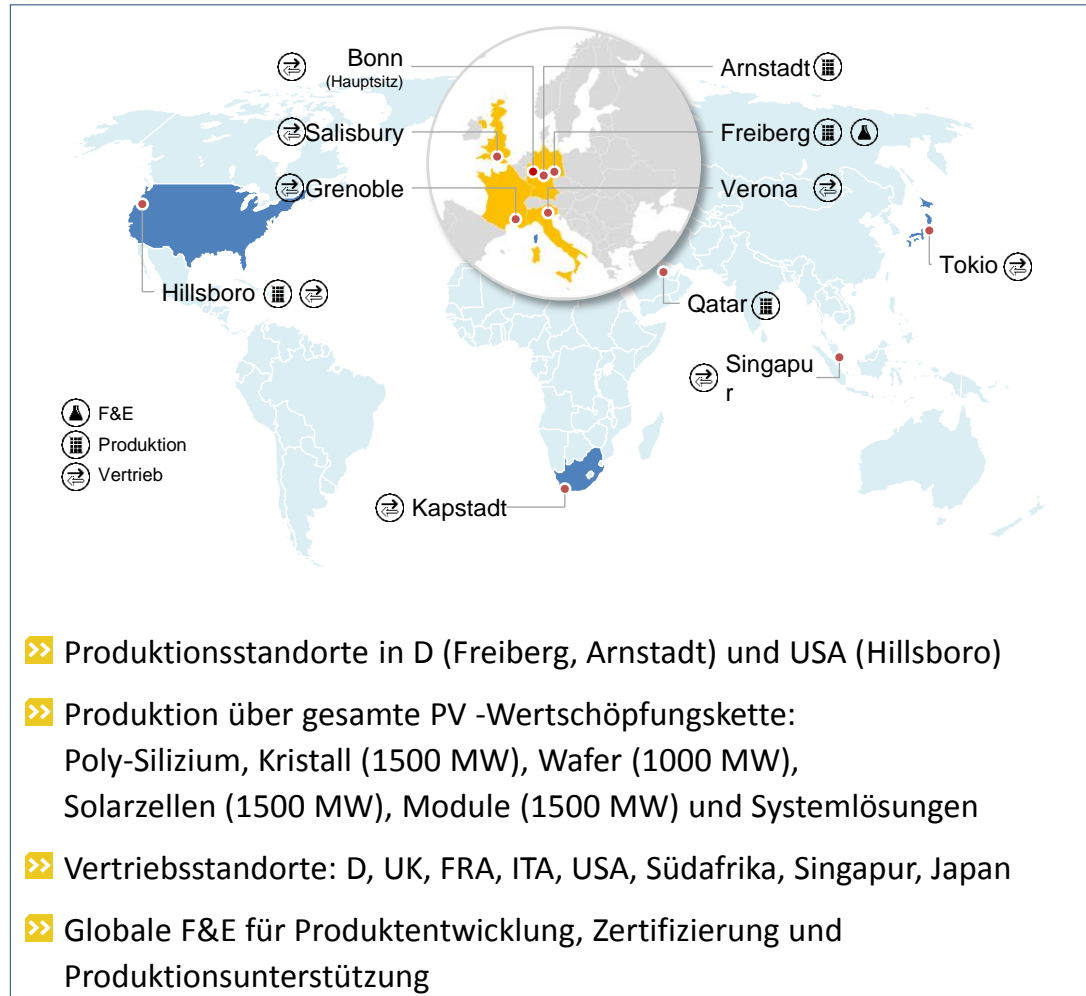
Phillip Pietsch

16. August 2016

# Entwicklung einer Wärmebildkamera zur Prozessoptimierung in Industrieöfen

Öffentlich gefördertes Projekt ENOWA II

## INTERNATIONAL



## FÜHREND

- » Größter europäischer und amerikanischer Solarhersteller
- » Bekannte und etablierte Solarmarke
- » Aktuell 800MW bis 1GW PERC Kapazität
- » Erster Hersteller von Bifazial-PERC
- » Mehrfach ausgezeichnet für höchste Produktqualität, u.a.



## KENNZAHLEN 2015

» Konzernabsatz:	1,159 GW (+33%)
» Umsatzerlöse:	763 M€ (+33%)
» EBITDA:	40,8 M€
» EBIT:	-4,2 M€
» EBIT Q4/2015:	8 M€
» F&E-Aufwendungen:	23 M€

- >> ~ 110 Mitarbeiter
  - 2/3 Ingenieure
  - 1/3 technische Assistenten und Personal, Maschinenbedienpersonal
  
- >> Infrastruktur (>38 Mio. EUR Investitionen in Ausrüstung und Gebäude)
  - Wafertechnikum
  - Solarzellen Technikum
  - Modultechnikum
  - Labore
  
- >> Professionelles Projektmanagement etabliert
- >> Technologie-management und –bewertung
- >> Enge Zusammenarbeit mit europäischen FuE Partnern und europäischen Instituten



# Solarworld Industries Sachsen GmbH in Freiberg

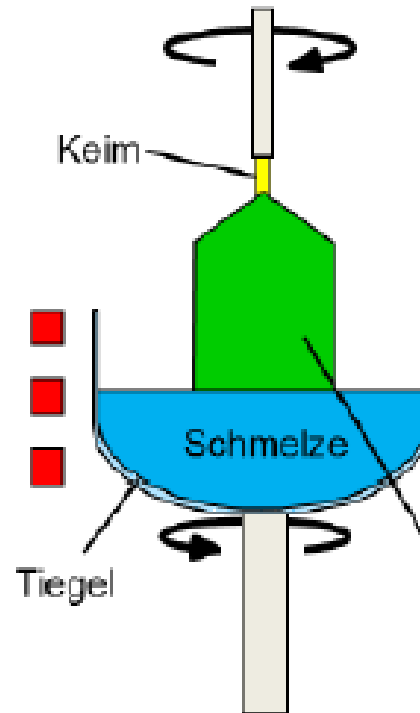


» Nahezu die gesamte Wertsch

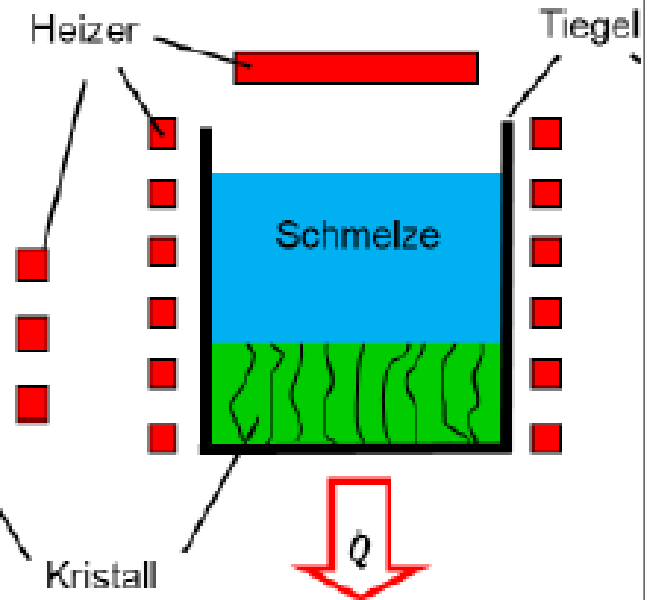
## Kristallisation



### Czochralski



### Blockerstarrung



# Motivation und Anforderung



## >> Randbedingungen:

- Qualität des Substratmaterials (Leistung der Solarzelle) steigern
- Waferpreis senken

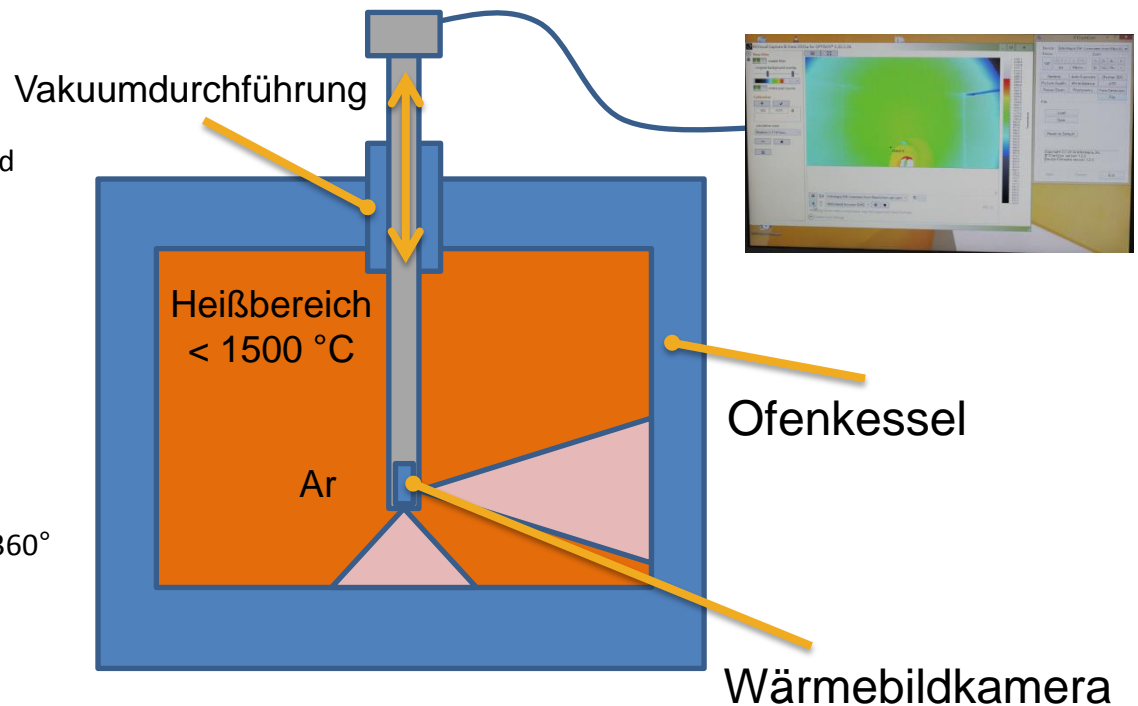
## >> Technologische Hebel:

- Prozessstabilität und –Reproduzierbarkeit steigern
- Temperaturhomogenität in Kristallisationsöfen steigern

## >> Lösungsansatz: Thermographische Vermessung der Öfen mit Sondermesssystem DBI

## >> Anforderungen an das Messsystem:

- 2 Messrichtungen senkrecht auf den Boden und waagrecht an die Wand
- Durchmesser der Sonde max. 50 mm
- HD Aufnahme live und auswertbar
- Temperaturgenauigkeit absolut und relativ max. 1500 °C +/- 3 K
- Die Kamera muss vertikal verfahrbar sein und 360° rotieren können
- Vakuumtauglichkeit bis  $10^{-3}$  mbar



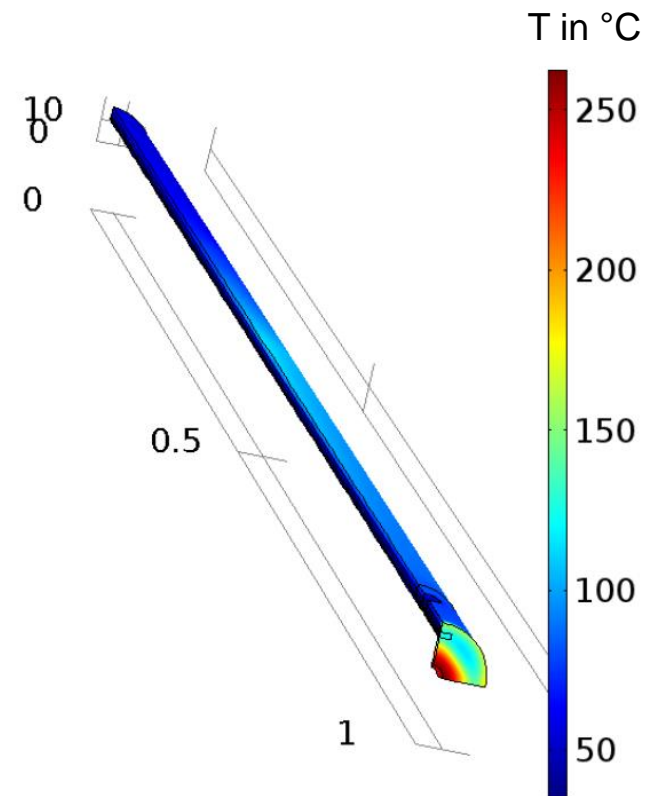
## >> Struktur :

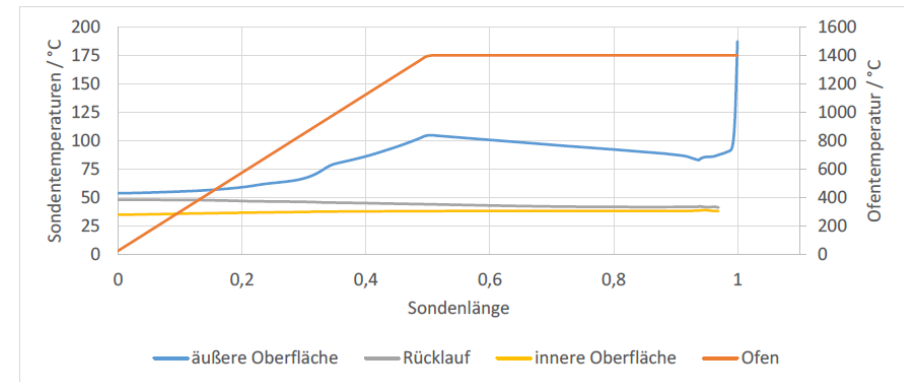
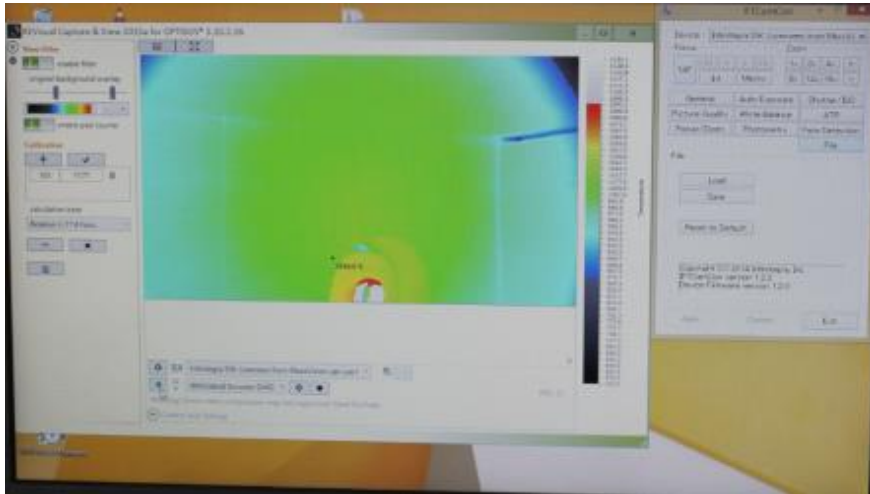
- AP 1 Machbarkeit:
- AP 2 Basic Engineering (Entwurfsplanung):
- AP 3 Detail Engineering (Ausführungsplanung):
- AP 4 Fertigung des Wärmebildmesssystems
- AP 5 Erprobung des Prototyp Messsystems vor Ort
- AP 6 Dokumentation für das entwickelte Wärmebildmesssystem



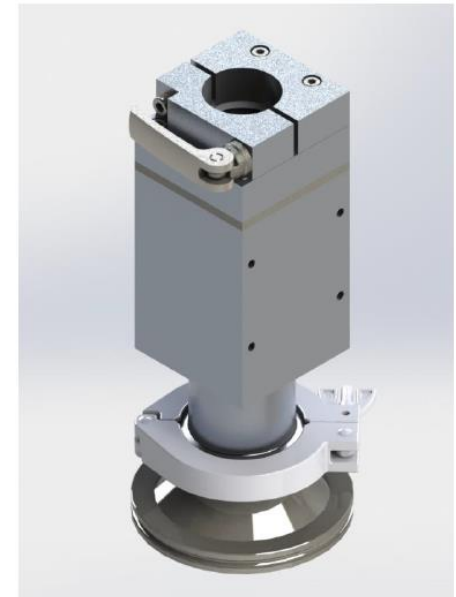


- » Errechnung der notwendigen Sondenkühlleistung inkl. thermischer Simulation
- » Auslegung der Kühlmittelquerschnitte entsprechend der Auftraggeber Randbedingungen ( $d_{ges} < 50 \text{ mm}$ )
- » Entwurf einer Sondenkühlmodulgeometrie
- » Konstruktion eines Schiebestücks zur Durchführung in den Heißbereich
- » Entscheidung über die einzusetzende Bildauswertesoftware





- » Konstruktion des Sondenkühlmoduls nach EU Richtlinie 2014/68/EU inkl. Druckbehälterrichtlinie
- » Kamerachip muss kleiner 20 mm Kantenmaß haben
- » Entwicklung der thermographischen Bildauswertesoftware nach Wunsch des Auftraggebers
- » Konstruktion einer vakuumdichten Schiebedurchführung (Abb. rechts)
- » Prototyp wurde gefertigt und mit Einbauerklärung auf einem SolarWorld Ofen getestet



Vakuumdurchführung für die Sonde

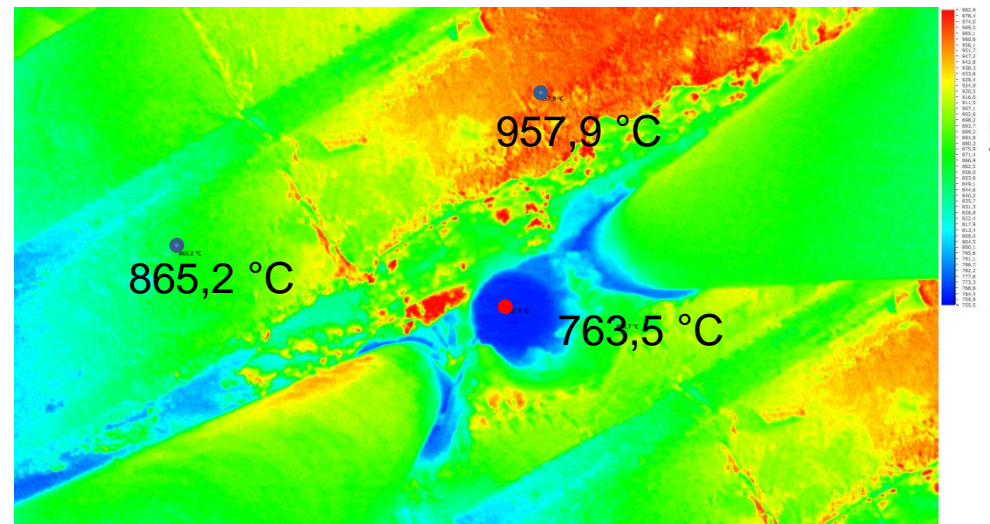


# Heißtest der gefertigten Sonde im Industrieofen

- » Heißtest in 1500 °C Industrieofen erfolgreich
- » Kühlwassertemperaturerhöhung 16 K bei 1500 °C Ofenatmosphäre
- » Sondenrohr ist zu 600 mm im Heißbereich
- » Leckrate von 0,44 mbar \* l / s sehr gut

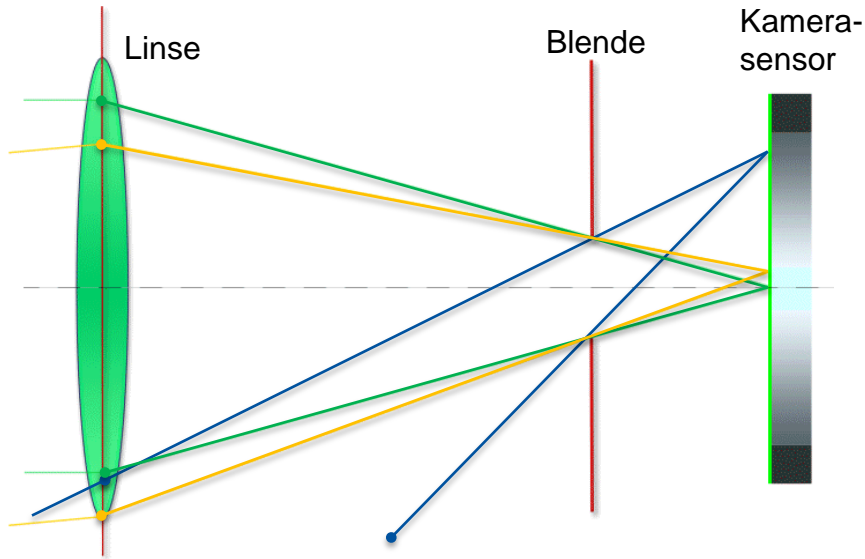


Aufnahme Schutzgas Rollenofen DBI



# To-do: Vignettierungsbereinigung

- » Die Vignettierung entsteht durch eine Lichtabschattung am Rand des Fotosensors bedingt durch die Paarung der Blende und der Linse



- » Kann in erster Näherung durch die  $\cos^4$  Funktion korrigiert werden
- » Zusätzlich wird das Kamerasystem bzgl. Randlichtabfall vermessen und lokal korrigiert

»» Die Zusammenarbeit zwischen dem DBI GTI GmbH und der SolarWorld Innovations GmbH ist ein gutes Beispiel, wie durch technologischen Fortschritt energieeffizientere Prozesse gestaltet werden können.



»» Nächster Schritt: Inbetriebnahme des Messsystems in Industrieller Umgebung

»» Sobald am Markt weiterentwickelte Kameraplatten in Kompaktbauweise mit noch höherer Bildqualität verfügbar sind, werden diese ausführlich validiert

