



# HERZLICH WILLKOMMEN zum Projekt-Abschlussworkshop SpeedColl2

Dienstag, 12. Mai 2020, 15:30 Uhr – 16:30 Uhr



Andreas Eitelbuß



Stephan Fischer



Thomas Kaltenbach



Karl-Anders Weiß

**HINWEISE FÜR TEILNEHMER:**

Bei Tonproblemen bitte neu ins Webinar einwählen.  
Sie sind stummgeschaltet!

**Nutzen Sie das Fragefenster zur Interaktion!**

---

# Webinar: SpeedColl2

ONLINE-SYMPOSIUM

SOLARTHERMIE UND INNOVATIVE WÄRMESYSTEME

12. MAI 2020

---



Karl-Anders Weiß, Thomas Kaltenbach

*Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg*

Stephan Fischer, Andreas Eitelbuß

*Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung der  
Universität Stuttgart (IGTE)*

12. Mai 2020



# Agenda

## **Einführung in das Projekt SpeedColl2**

*Karl-Anders Weiß, Fraunhofer ISE*

## **Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten**

*Andreas Eitelbuß, IGTE*

*Thomas Kaltenbach, Fraunhofer ISE*

## **Komponentenprüfungen und Ergebnisse**

*Thomas Kaltenbach, Fraunhofer ISE*

## **Vorstellung der entwickelten Kollektorschnellprüfungen und bisherige Ergebnisse**

*Stephan Fischer, IGTE*

## **Einfluss der Lebensdauer auf die Nachhaltigkeit**

*Stephan Fischer, IGTE*

## **Ausblick**

*Karl-Anders Weiß, Fraunhofer ISE*

# Hinweise zur Fragerunde

Eine zeitlich begrenzte Fragerunde findet am Ende des Webinars statt.

Während des Vortrages besteht die Möglichkeit, im Webinar Tool unter dem entsprechenden Reiter Fragen zu hinterlegen, die aus Zeitgründen nur priorisiert behandelt werden können. Gerne melden wir uns bei Fragen, die eine umfangreichere Antwort erfordern, in der Nachbereitung des Webinars persönlich bei Ihnen.

# Referenten



**Dr. Karl-Anders Weiß**  
Fraunhofer ISE  
Thermische Systeme und  
Gebäudetechnik  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
+49 761 4588-5474  
karl-anders.weiss@ise.fraunhofer.de



**Dr. Stephan Fischer**  
Institut für Gebäudeenergetik,  
Thermotechnik und Energiespeicherung  
Pfaffenwaldring 10  
70569 Stuttgart  
+49 711 685-63231  
stephan.fischer@igte.uni-stuttgart.de



**Thomas Kaltenbach**  
Fraunhofer ISE  
Gebrauchsdaueranalyse und  
Materialcharakterisierung  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
thomas.kaltenbach@ise.fraunhofer.de



**Andreas Eitelbuß**  
Institut für Gebäudeenergetik,  
Thermotechnik und Energiespeicherung  
Pfaffenwaldring 10  
70569 Stuttgart  
+49 711 685-63280  
andreas.eitelbuss@igte.uni-stuttgart.de

# Einführung in das Projekt SpeedColl2

*Karl-Anders Weiß, Fraunhofer ISE*



# Einführung in das Projekt SpeedColl2 (Ziele)

Das Projekt stellt einen direkten Anschluss an das **Vorläuferprojekt SpeedColl** dar. Neben der Weiterführung der Arbeiten, insbesondere der Freibewitterung, stehen vor allem folgende **Ziele im Fokus**:

1. Untersuchung und Erfassung der **Feuchtigkeit** im Kollektor
2. Untersuchung des Belastungskollektivs **Salz, Sand und Feuchte** und seiner Wirkungen
3. Untersuchung des Einflusses der **Wärmedämmung**
4. Entwicklung von **Prüfungen** für Kollektoren / Komponenten
5. Entwicklung von Möglichkeiten zur **Klassifizierung**
6. Erarbeitung von Beiträgen zur **Normung**

Projektlaufzeit: 1. August 2016 – 31. Juli 2020

# Einführung in das Projekt SpeedColl2 (Konsortium)



VAILLANT GROUP



EFFICIENCY. SOLAR. SURFACES.



# Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

*Andreas Eitelbuß, IGTE*

*Thomas Kaltenbach, Fraunhofer ISE*

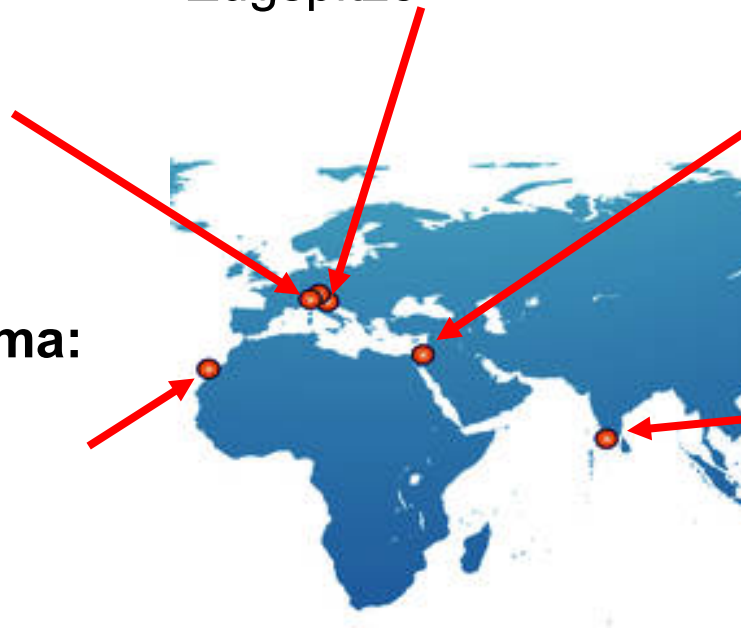
# Expositionsstandorte

**Moderates Klima:**  
Freiburg & Stuttgart

**Kaltes, alpines  
Klima:**  
Zugspitze

**Arides Klima:**  
Negev Wüste (Israel)  
Heiß, trocken, Sand

**Arid maritimes Klima:**  
Kanarische Inseln  
(Spanien)  
Heiß, trocken, Salz



**„Schadstoffstandort“  
Peking (China):**  
Hohe Konzentration  
Luftschadstoffe

**Tropisches Klima:**  
Kochi (Indien)  
Heiß, feucht



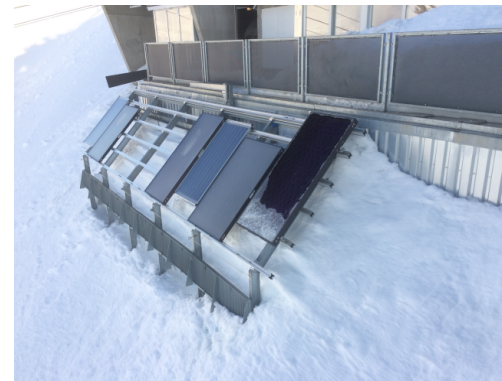
# Expositionsstandorte



Stuttgart



Freiburg



Zugspitze



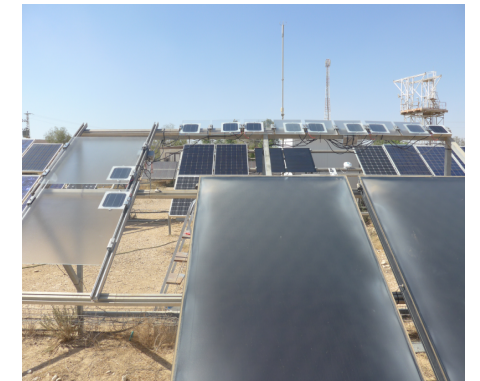
Gran Canaria



Peking



Kochi

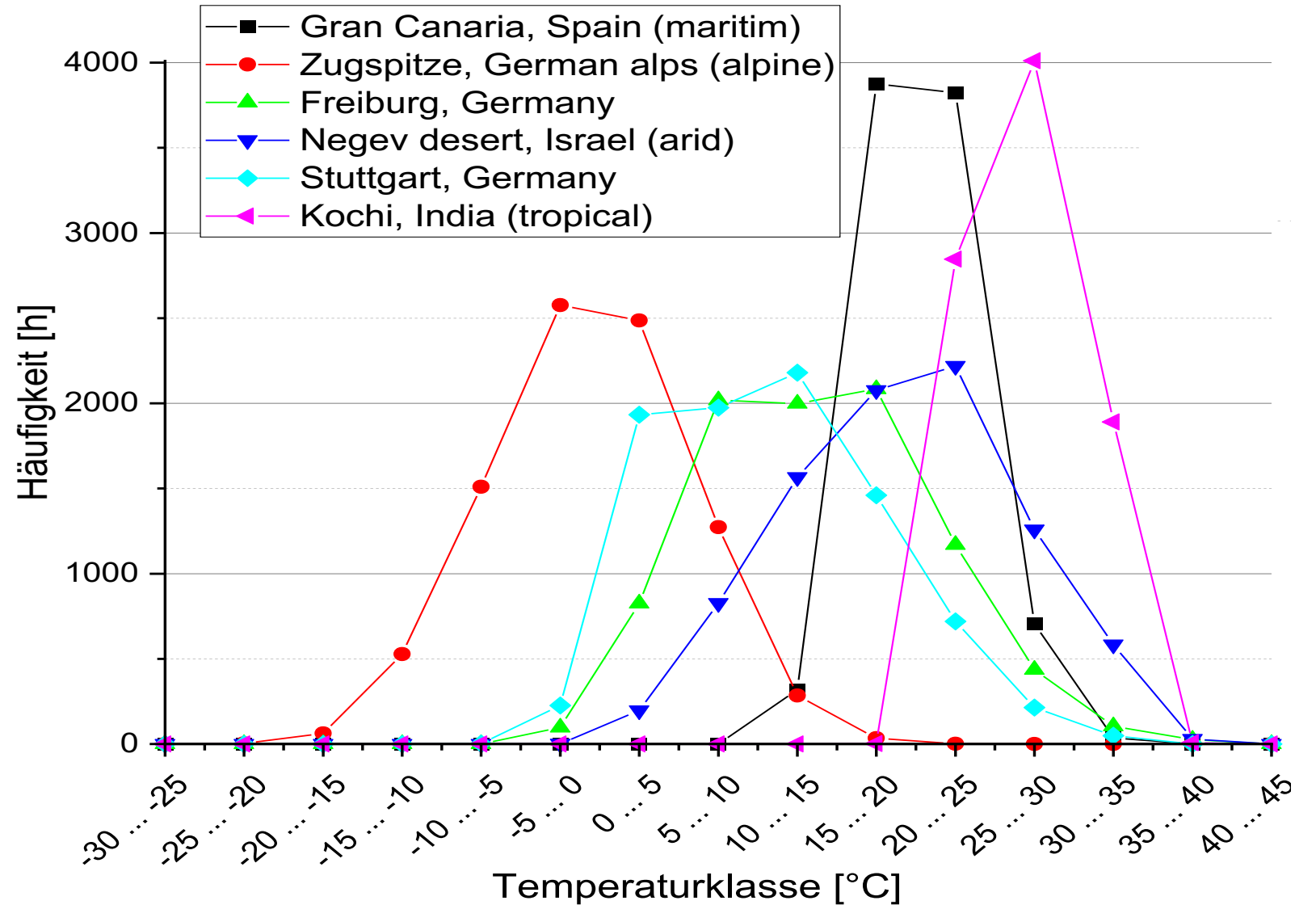


Negev

# Expositionsstandorte

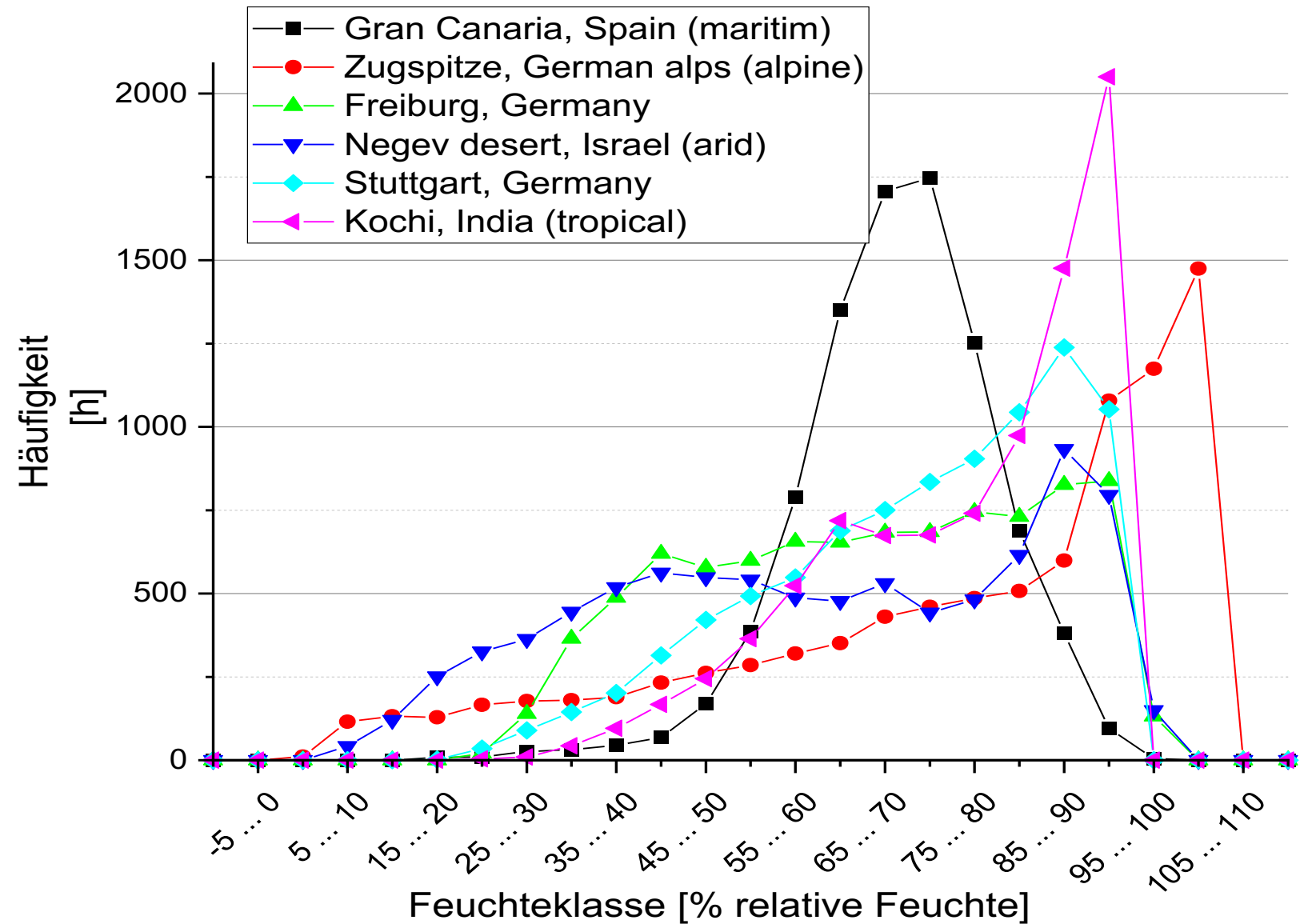
- Umgebungstemperatur  
Häufigkeitsverteilung

	Mittlere Temperatur
Gran Canaria	20,3°C
Zugspitze	-1,0°C
Freiburg	13,8°C
Negev desert	19,0°C
Stuttgart	10,9°C
Kochi	27,0°C



# Expositionsstandorte

- Umgebung rel. Luftfeuchte  
Häufigkeitsverteilung

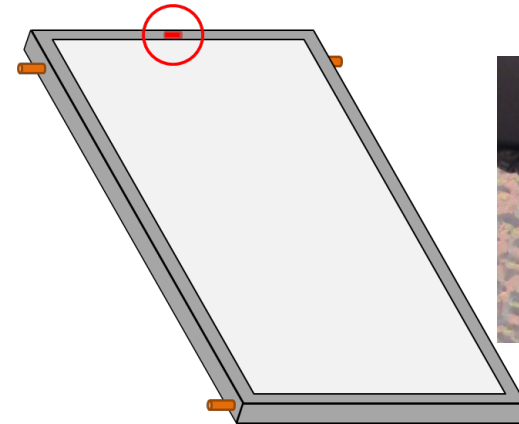
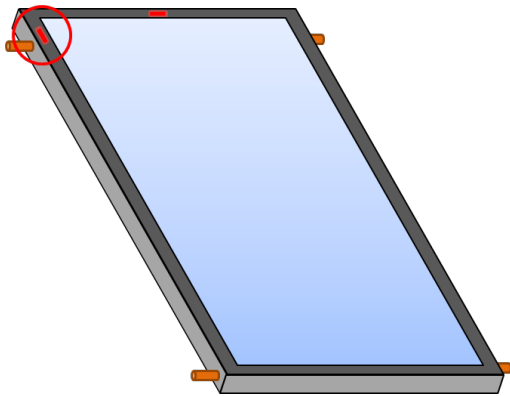
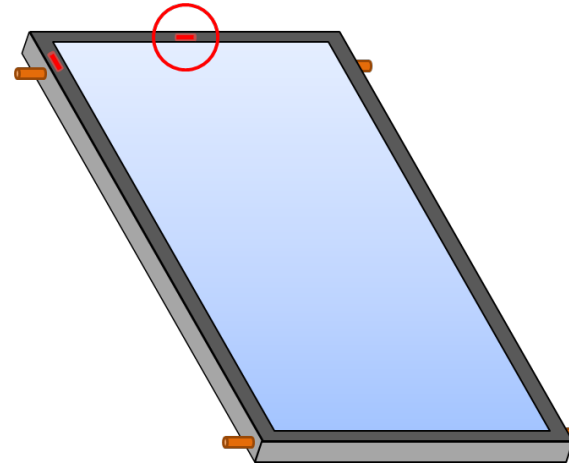
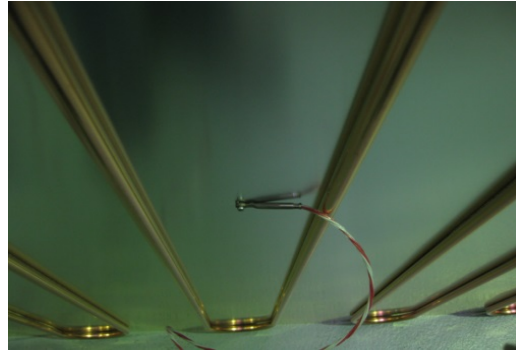
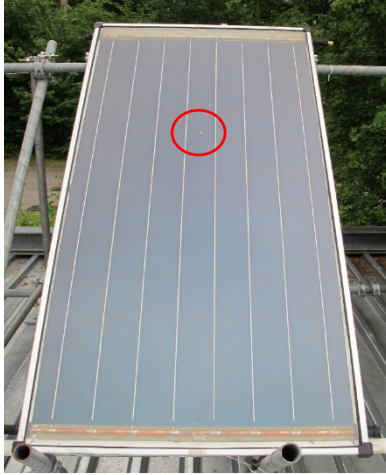


# Exponierte Kollektoren

Bauart	Kurzbeschreibung
Typ I	Aluminium-Absorber, selektive Beschichtung mittels „Physical Vapour Deposition“ (PVD), Kupfer-Absorberrohre (Harfe), ultraschallgeschweißt, Aluminiumgehäuse, „schwimmende“ Lagerung der Glasabdeckung mit EPDM-Dichtung, Solarglas, Wärmedämmung aus Mineralwolle an der Rückwand und den seitlichen Rahmenprofilen
Typ II	Aluminium-Absorber, selektive PVD-Beschichtung, Kupfer-Absorberrohre (Mäander), lasergeschweißt, Aluminiumgehäuse, Silikonverklebung von Rahmen und Glas, Solarglas, Wärmedämmung aus Mineralwolle an der Rückwand
Typ III	Aluminium-Absorber, selektive PVD-Beschichtung, Kupfer-Absorberrohre (Mäander), lasergeschweißt, Aluminiumgehäuse und Rückwand aus Stahlblech, Silikonverklebung von Rahmen und Glas, Solarglas mit Antireflex-Beschichtung, Wärmedämmung aus Melamin-Harz an Rückwand und Rahmen



# Messung Absorber- und Klebefugentemperaturen



# Messung relative Feuchte im Kollektor

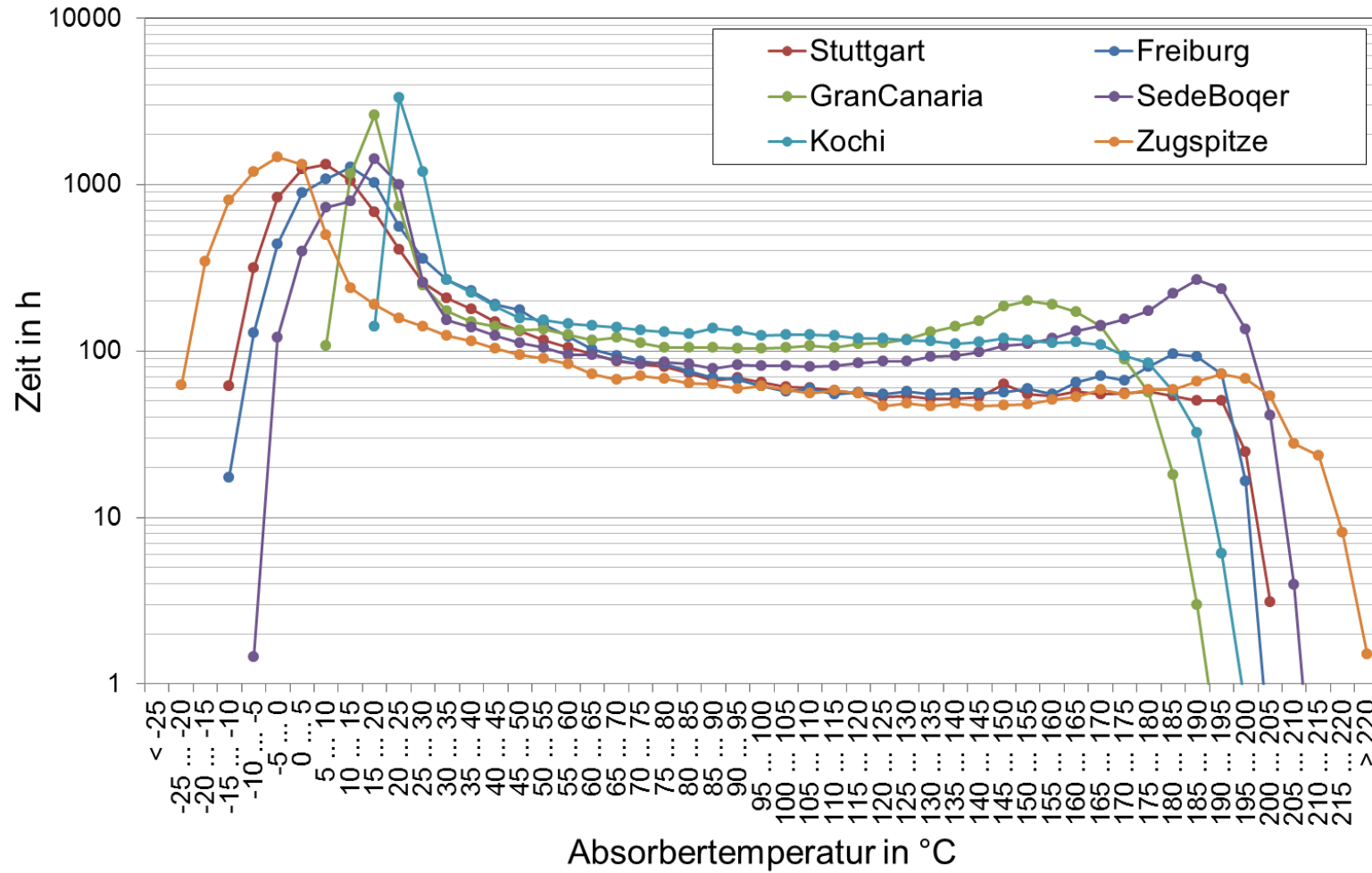
An den Standorten Stuttgart und Kochi

Messung von

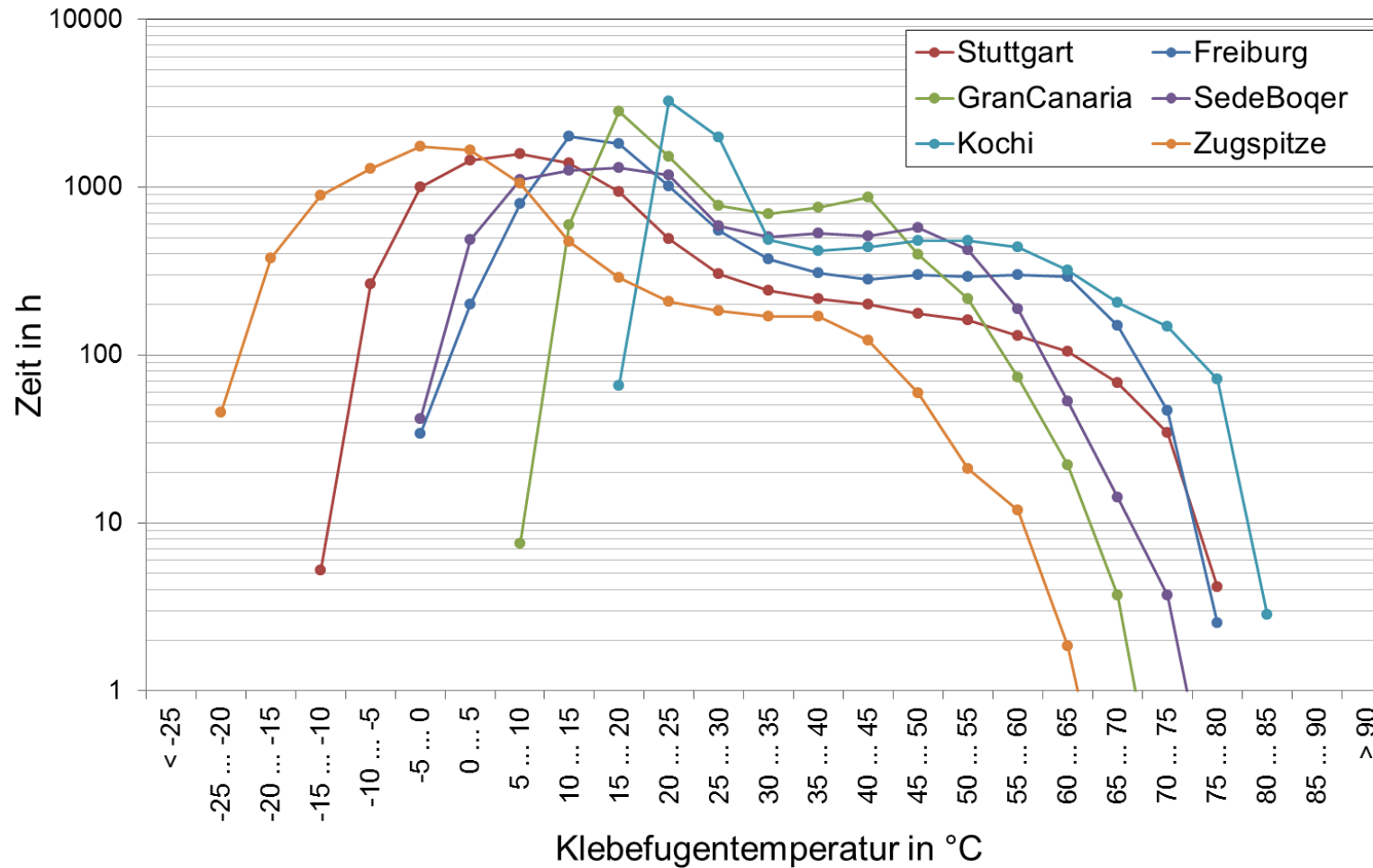
- Temperatur zwischen Glas und Absorber
- relative Luftfeuchtigkeit zwischen Glas und Absorber
- zusätzlich Umgebungstemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit außerhalb der Kollektoren, auf derselben Höhe



# Vergleich Absorberrtemperaturen

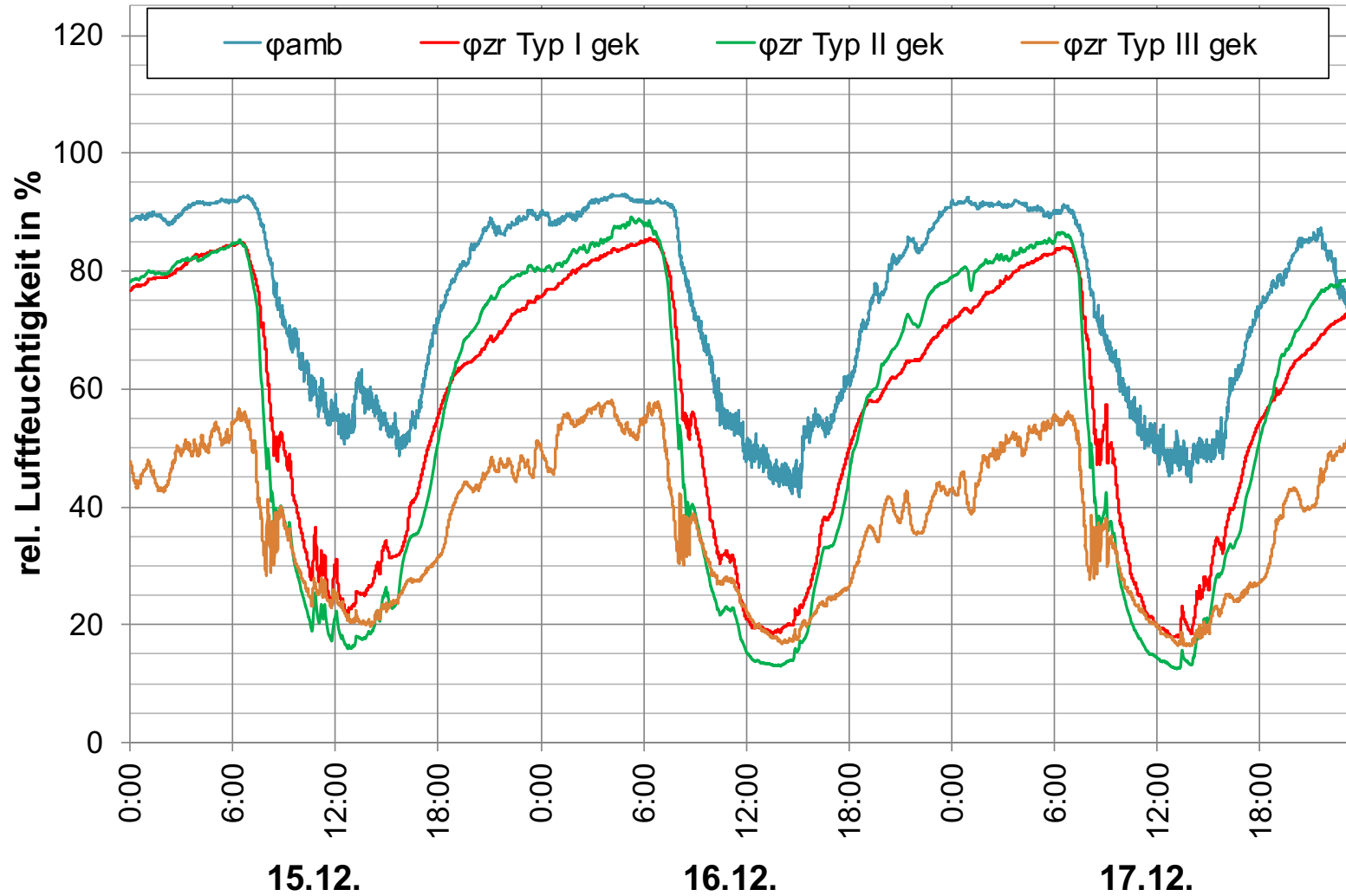


# Vergleich Klebefugentemperaturen





# Feuchtemessung im Kollektor



# Erkenntnisse Messungen Mikroklima

- Höchste Absorbertemperatur auf der Zugspitze
- Höchste Temperaturspreizung auf der Zugspitze
- Vermeintliche „heiße Standorte“ zeigen vergleichsweise niedrige Temperaturen aufgrund des Neigungswinkels (höhere Konvektions- und Strahlungsverluste) und Windgeschwindigkeit (Gran Canaria)
- Höchste Klebefugentemperatur in Kochi aufgrund der höchsten Umgebungstemperatur
- Relative Feuchte im Kollektor immer unterhalb der Umgebungsfeuchte durch Puffereffekt der Wärmedämmung und begrenzte Luftwechselrate
- Deutlicher Unterschied in Abhängigkeit des Wärmedämmmaterials und der Belüftungsvariante

# Schadstoffstandort Peking – Allgemeine Informationen

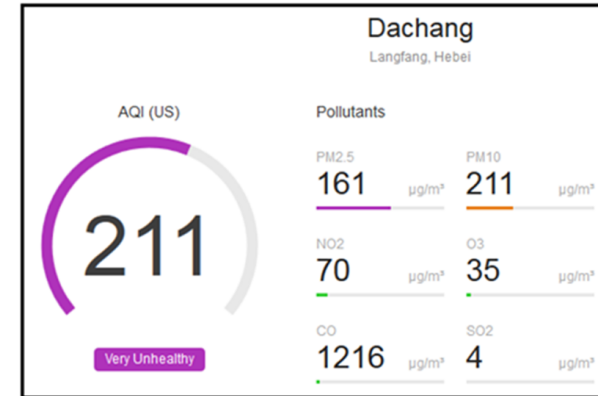


- Kontinentales Klima
- Hohe Belastung
  - Feinstaub
  - Luftschadstoffe (NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>)



# Schadstoffstandort Peking – Luftqualität und Luftschadstoffe

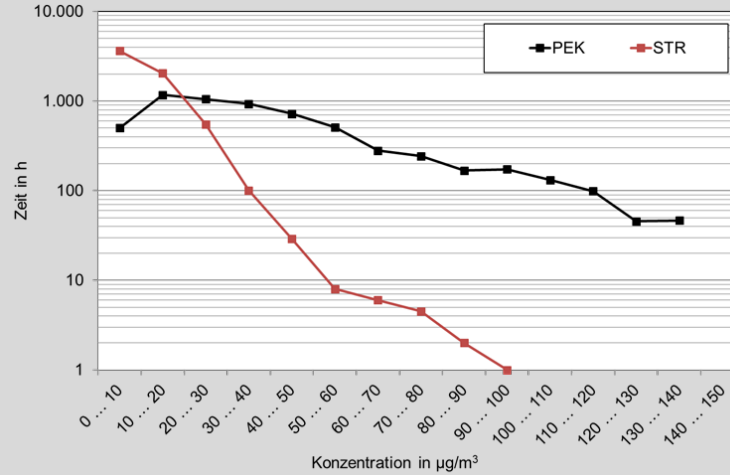
- Seit 09.05.2019: Aufzeichnung der Daten von <https://air-quality.com/>
- 28.06. – 23.08.2019: Eigene Messung am Standort
- Stichproben zeigen: **Qualitativ gute Übereinstimmung**
- Konzentration im Kollektor geringer als in Umgebung



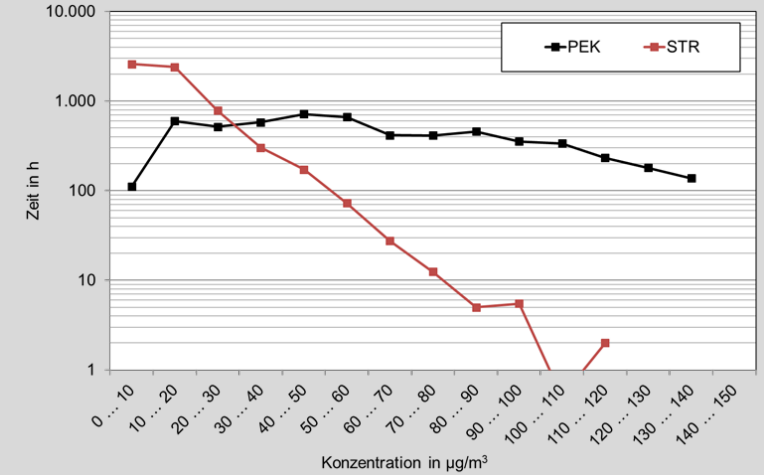
# Schadstoffstandort Peking – Luftqualität und Luftschadstoffe

Feinstaub

PM<sub>2.5</sub>

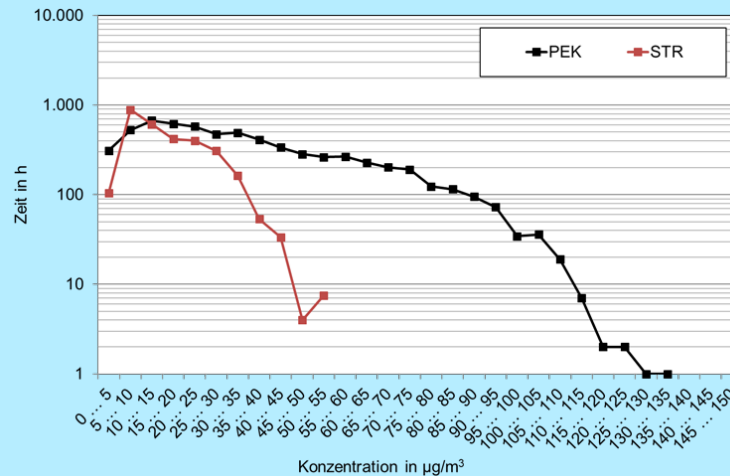


PM<sub>10</sub>

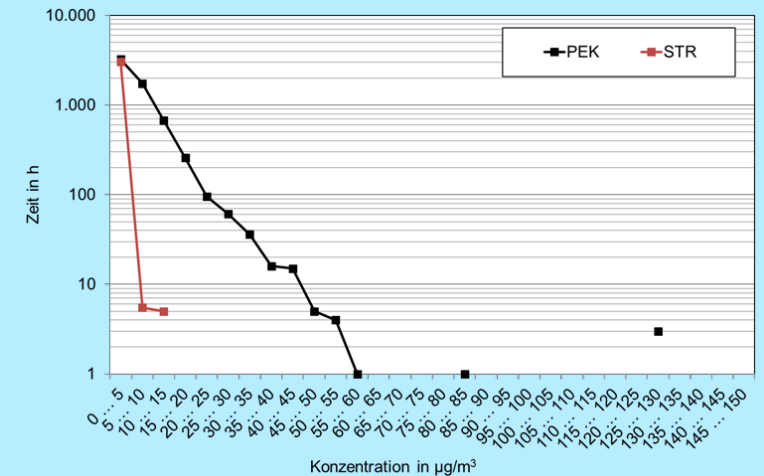


Luft-  
Schadstoffe

NO<sub>2</sub>



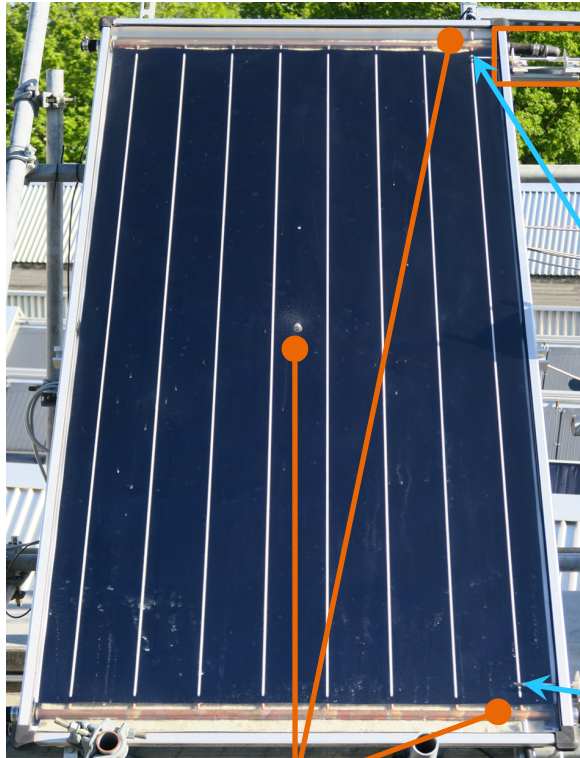
SO<sub>2</sub>



09.05.2019 – 08.03.2020



# Untersuchung des Kollektor-Mikroklimas



Messpunkte für  
Temperatur und  
rel. Luftfeuchtigkeit

Messpunkte für  
Luftgeschwindigkeit

## Ziele

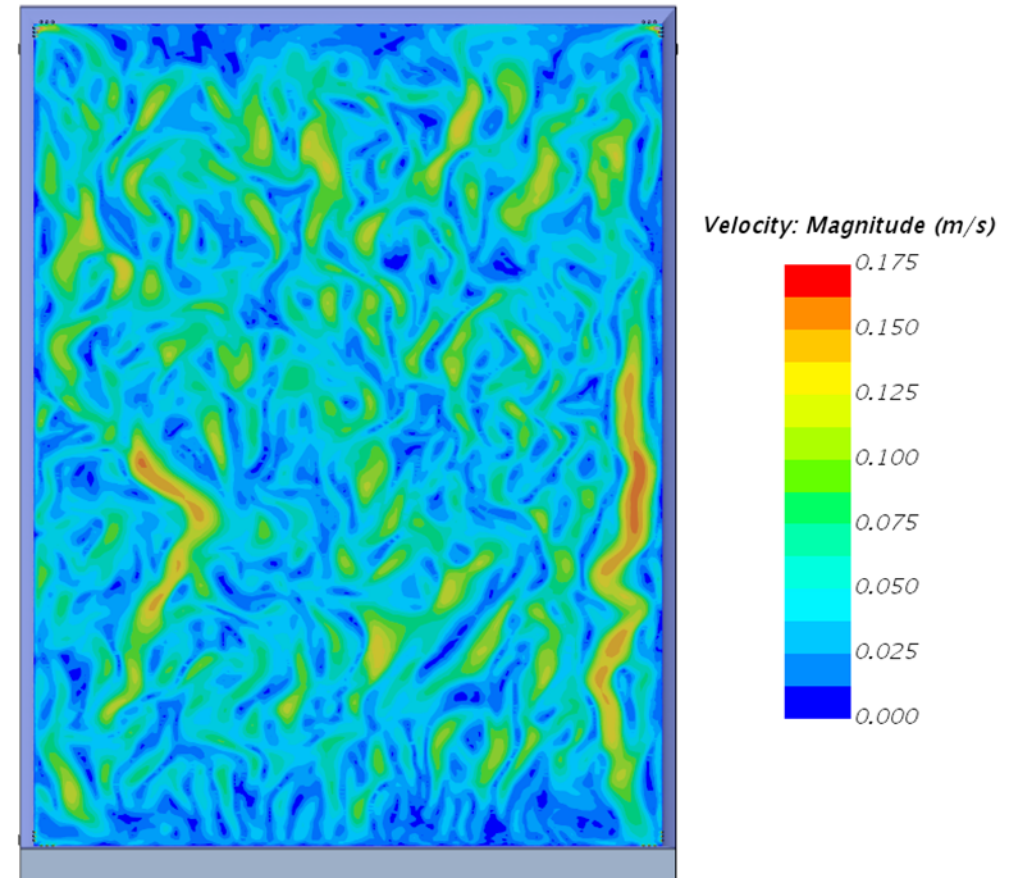
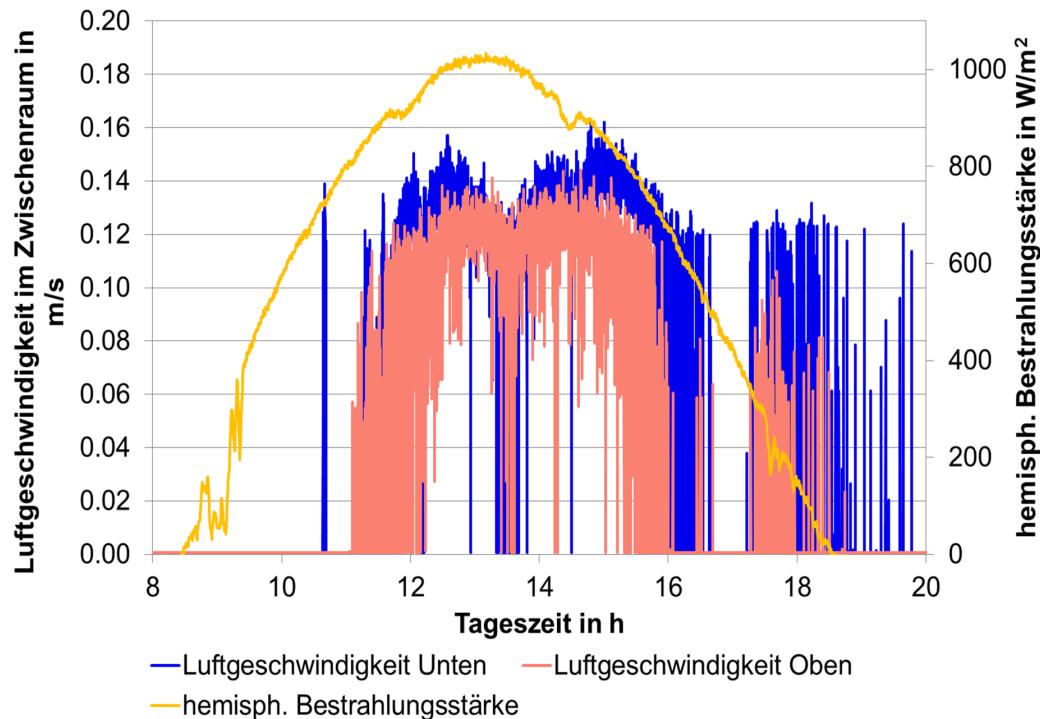
- Validierung des Simulationsmodells für Strömungsbild zwischen transparenter Abdeckung und Absorberblech
- Bestimmung der Luftwechselrate des Kollektors in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen
- Erkenntnisgewinn über Ein- und Austrag von Luftfeuchtigkeit sowie Aerosolen und Staub aus der Umgebung



Messstrecke am Kollektoraustritt

# Untersuchung des Kollektor-Mikroklimas - Ergebnisse

- Strömungsgeschwindigkeiten gering
- Strömungen innerhalb des Kollektors inhomogen und hochgradig instationär
- Stichproben zeigen: **Gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung**



**Strömungsbild innerhalb  
des Sonnenkollektors (Simulation)**



# Besonderheiten Expositionsstandort Kochi (Indien)



Bis am 26. August 2018

**KOCHI AIRPORT**

Der südindische Flughafen von Kochi ist seit dem 26. August 2018 wegen eines Unfalls mit einem Airbus A320XLR außer Betrieb. Bei der Naturkatastrophe haben die jüngsten Zerstörungen über 500 Menschen ums Leben gebracht.

Kochi International Airport bleibt vorerst ausser Betrieb.

# Ergebnisse der Kollektorzerlegung (Freiburg, Stuttgart, Zugspitze)

## Typ I (ungekühlt)

- Keine Auffälligkeiten

## Typ II (ungekühlt)

- Kontakt Glas Absorber im Randbereich
- Beschlag innen am Glas
- Schweißung an Sammelrohren gelöst
- Staubablagerung auf Absorber

## Typ III (ungekühlt)

- Abriebspuren auf Absorber
- Beschlag innen am Glas
- Schweißung an Sammelrohren gelöst
- Staubablagerung auf Absorber

## Typ I (gekühlt)

- Keine Auffälligkeiten

## Typ II (gekühlt)

- Leichter Beschlag innen am Glas
- Leichte Staubablagerung auf Absorber

## Typ III (gekühlt)

- Leichter Beschlag innen am Glas
- Leichte Staubablagerung auf Absorber

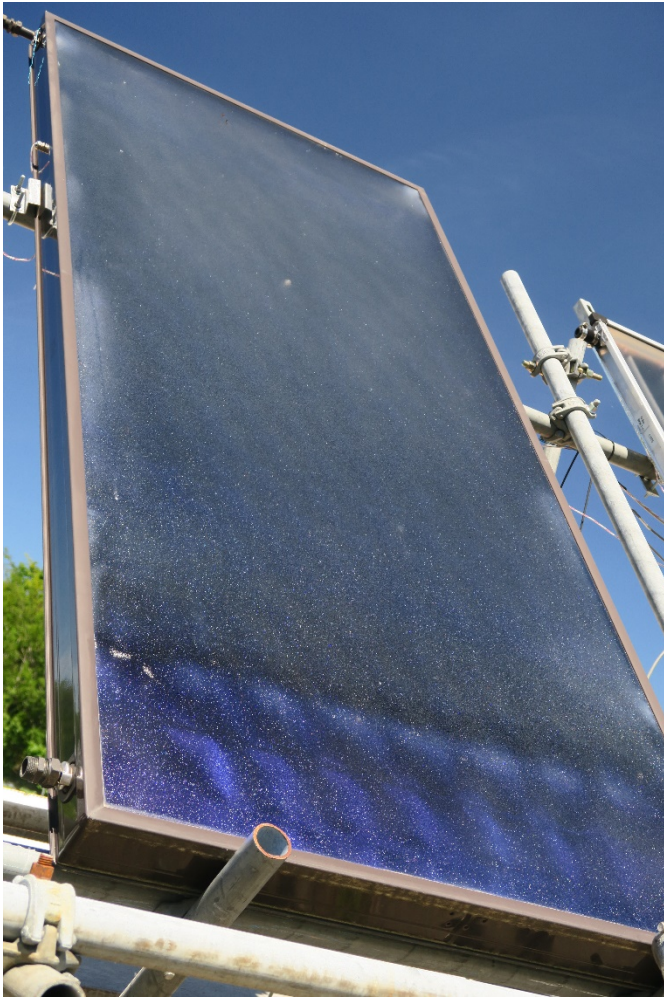


# Ergebnisse der Kollektorzerlegung (Freiburg, Stuttgart, Zugspitze)

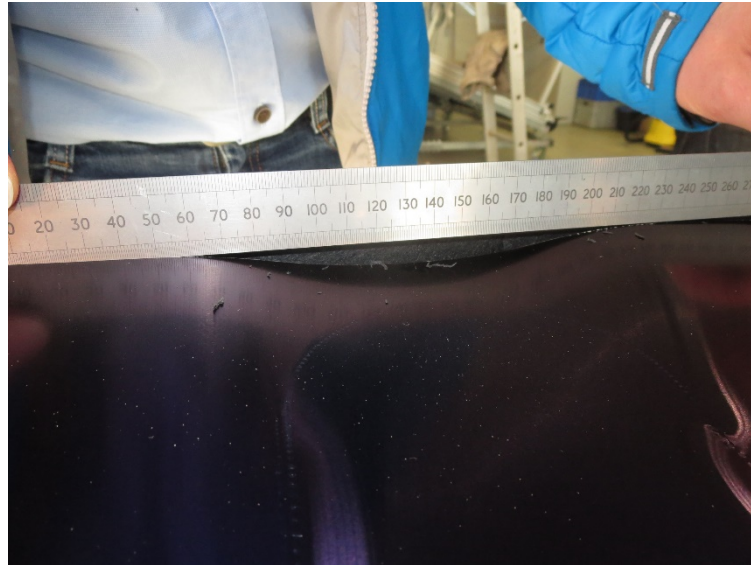




# Ergebnisse der Kollektorzerlegung (Freiburg, Stuttgart, Zugspitze)

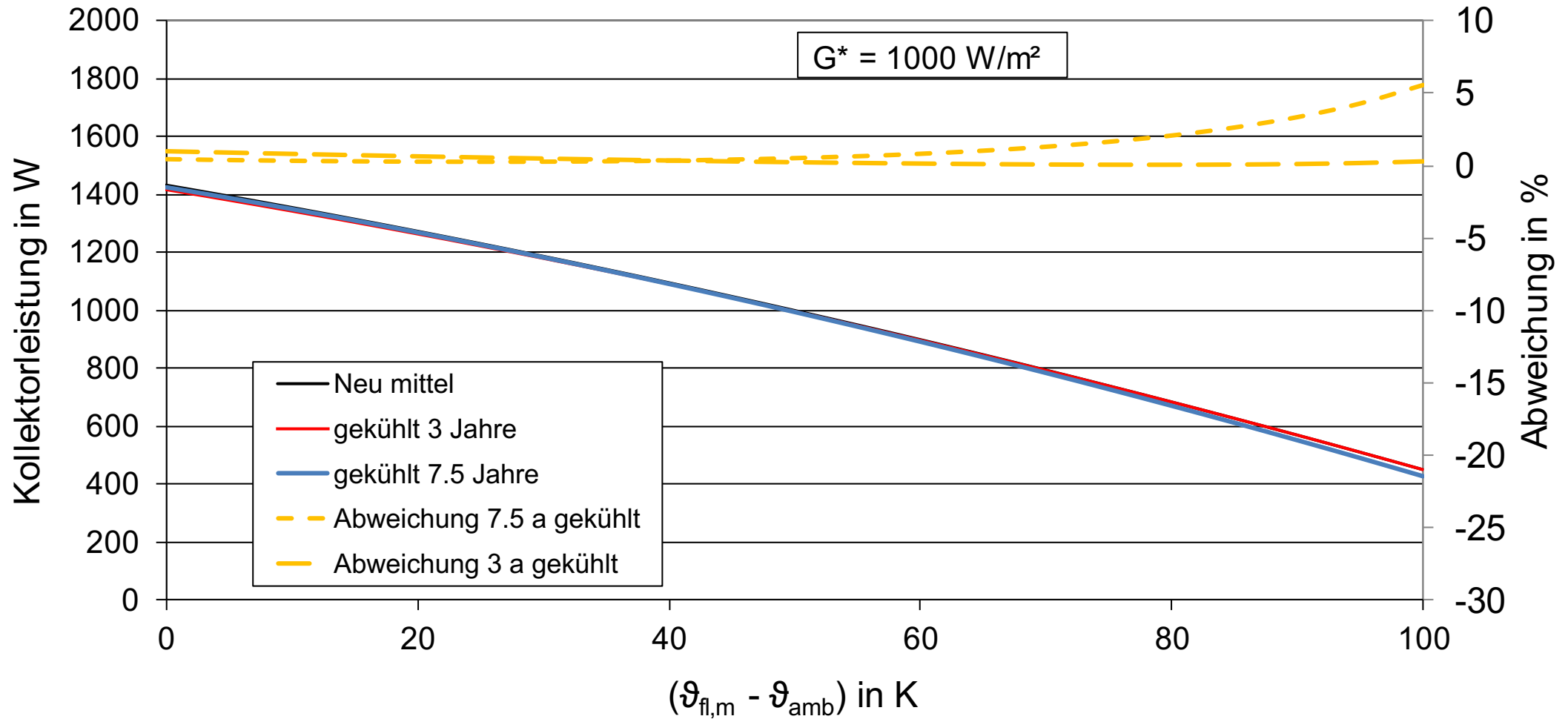


# Ergebnisse der Kollektorzerlegung (Freiburg, Stuttgart, Zugspitze)

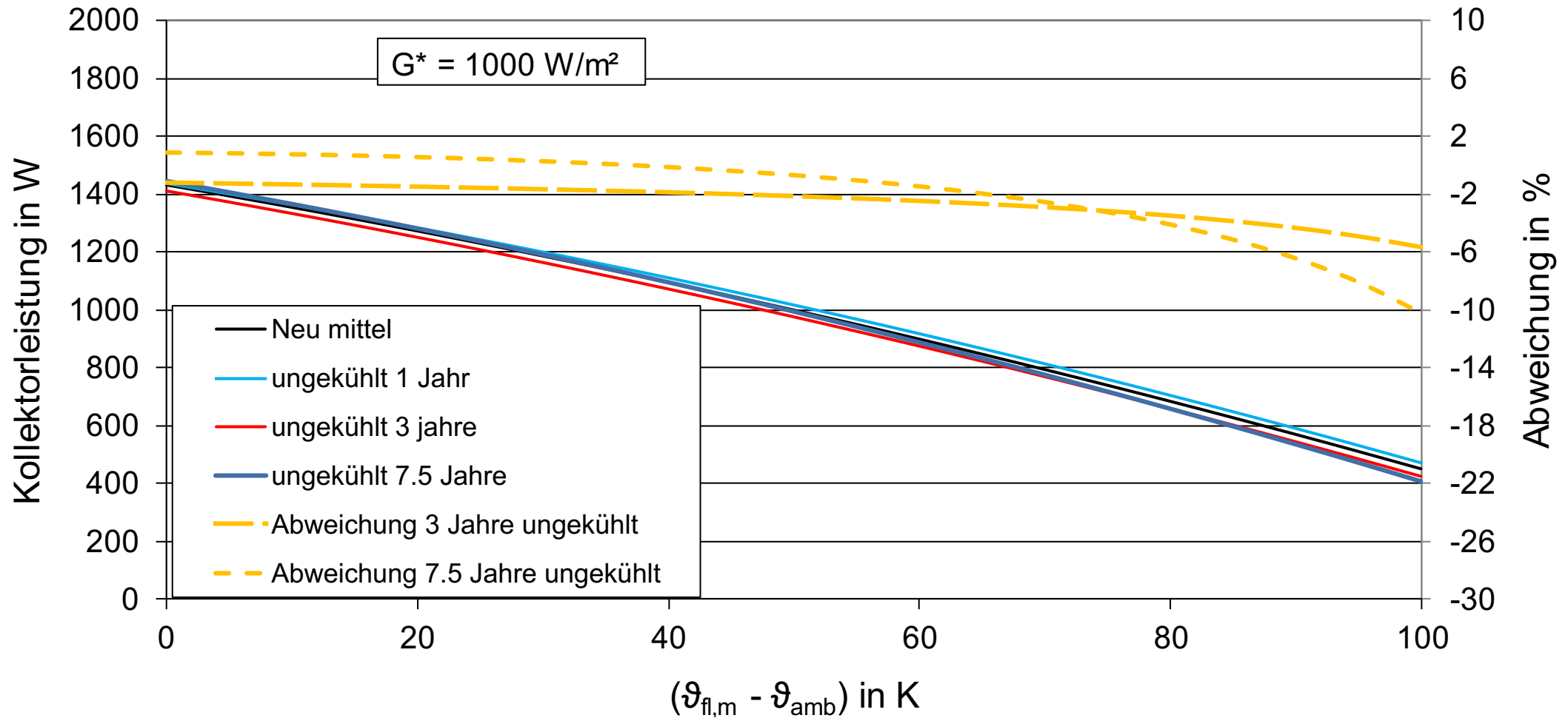




# Ergebnisse Kollektor Typ I Stuttgart (7.5 Jahre gekühlt)

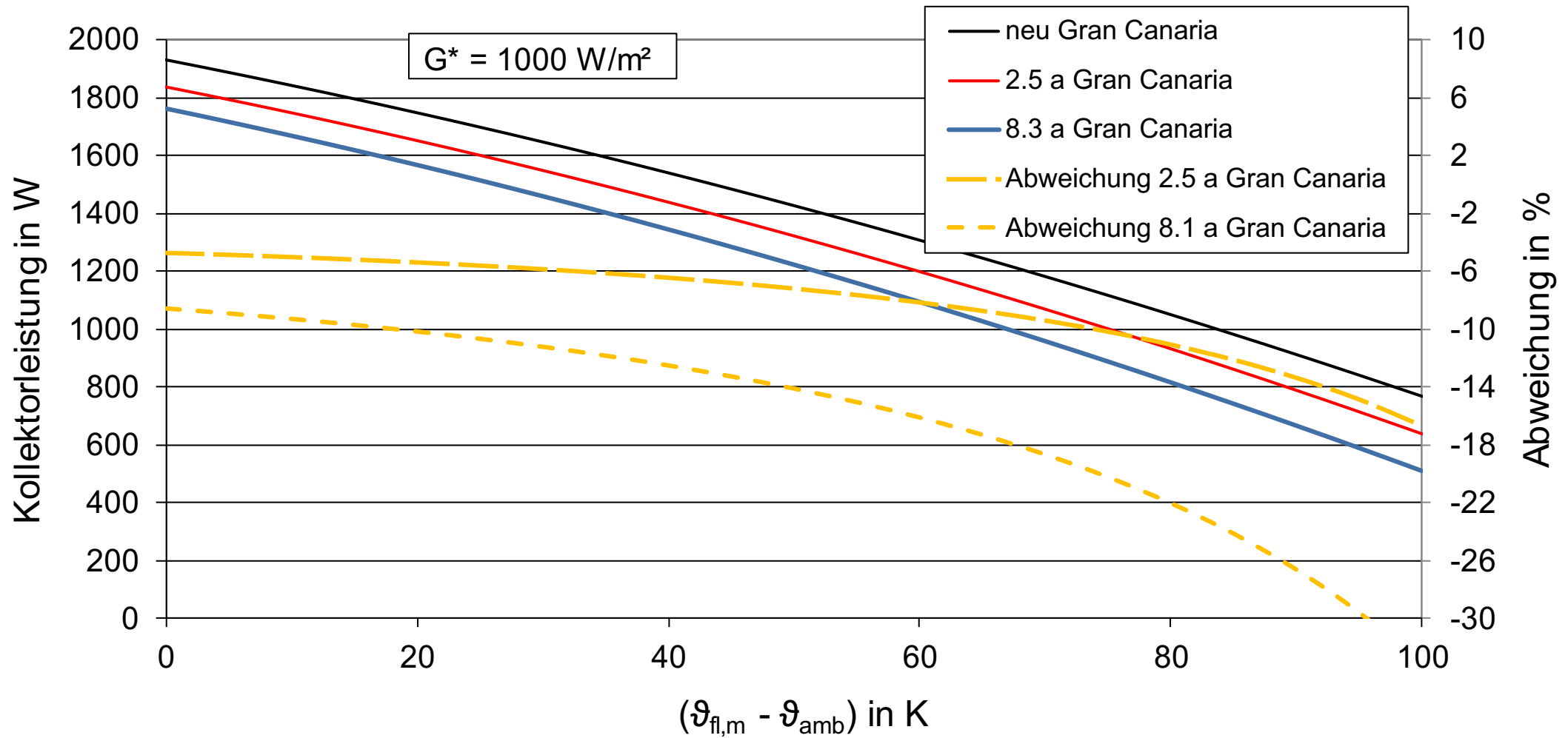


# Ergebnisse Kollektor Typ I Stuttgart (7,5 Jahre ungekühlt)

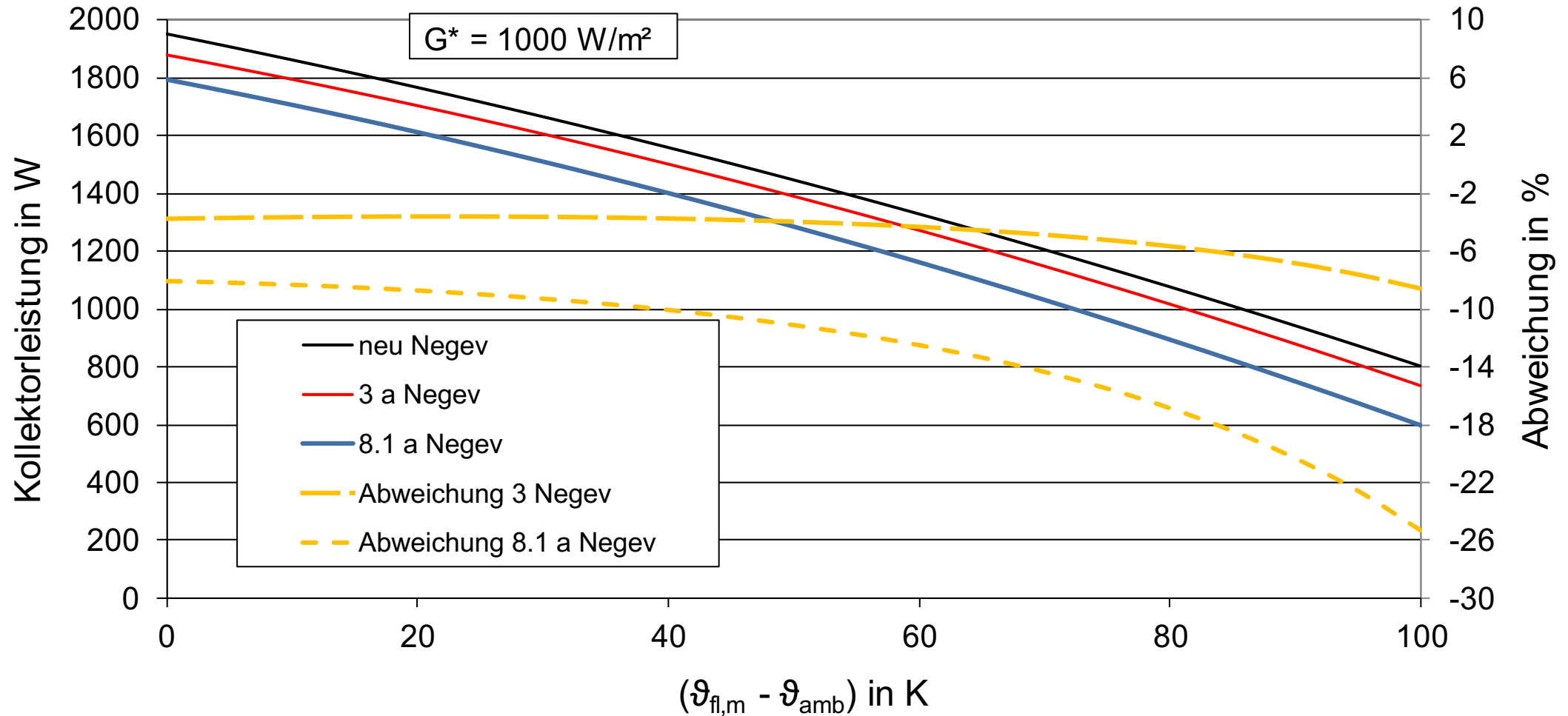




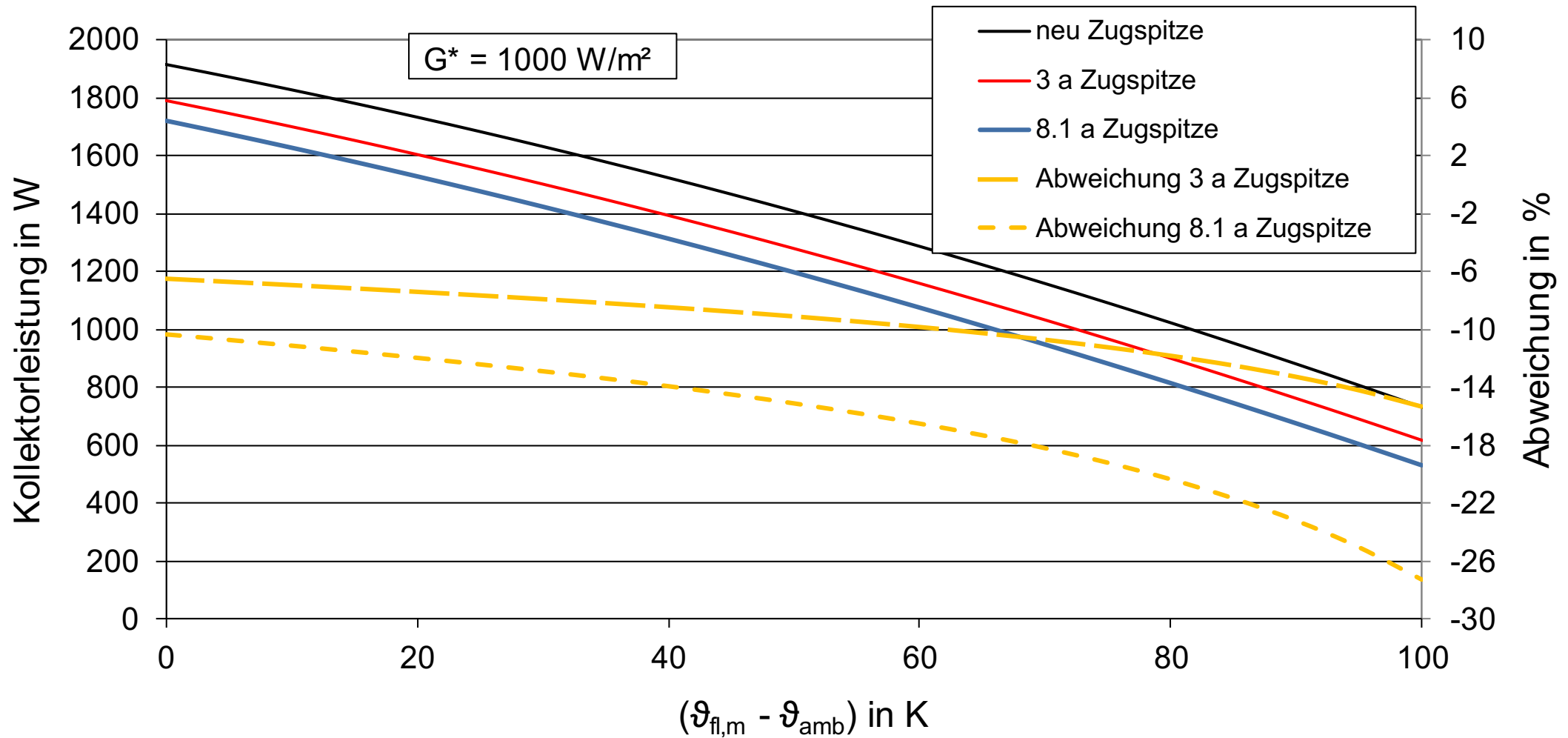
# Ergebnisse Kollektor Typ II Gran Canaria (8,3 Jahre ungekühlt)



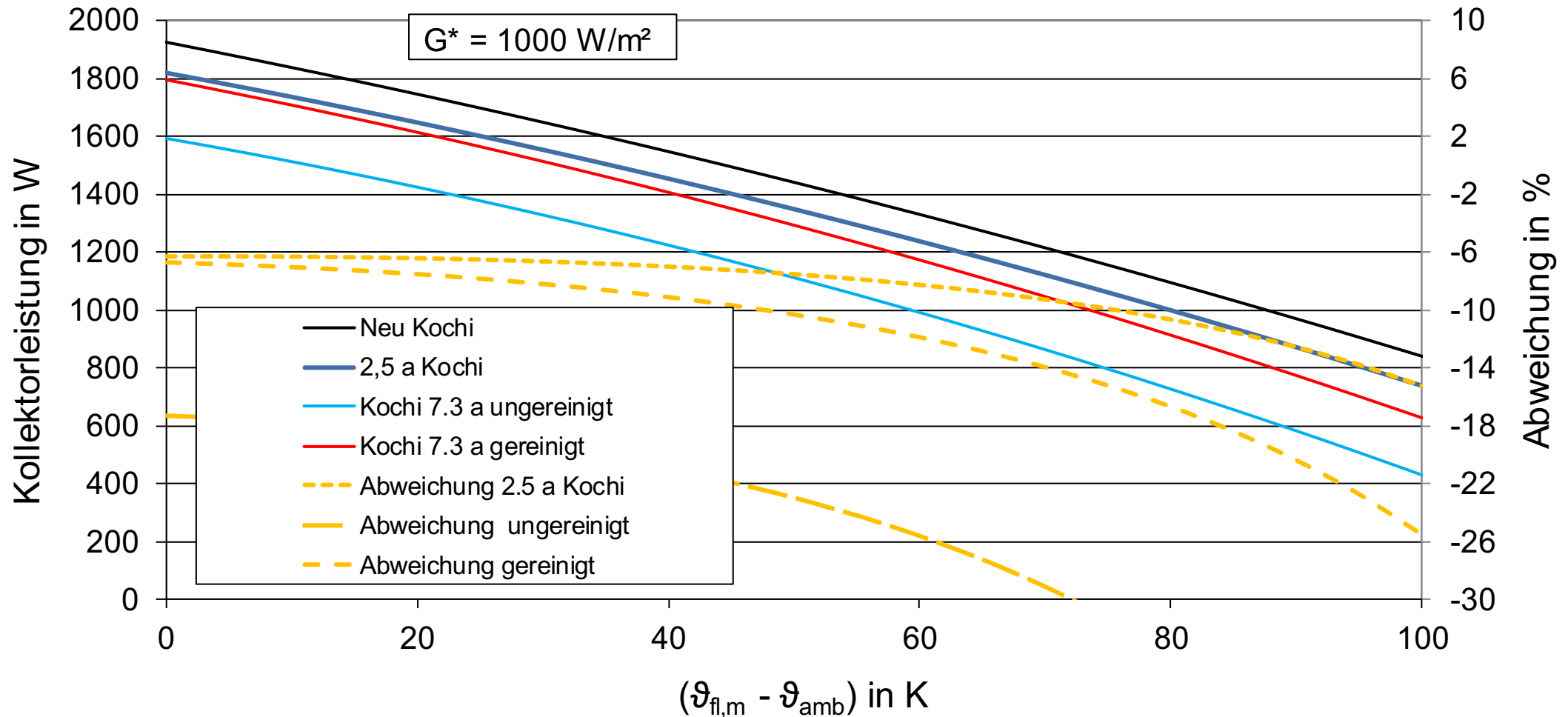
# Ergebnisse Kollektor Typ III Negev (8,1 Jahre ungekühlt)



# Ergebnisse Kollektor Typ II Zugspitze (8.1 Jahre ungekühlt)



# Ergebnisse Kollektor Typ III Kochi (7,3 Jahre: 5,5 a ungekühlt / 1,8 a gekühlt)



# Ergebnisse Exposition

## Simulation Kombianlage Würzburg 15 m<sup>2</sup>

➤ Anteil der eingesparten Primärenergie gegenüber dem Neuzustand

	Typ I	Typ II	Typ III
Neuzustand (0 Jahre)	1.00	1.00	1.00
Stuttgart gekühlt (7,5 Jahre)	0.99	0.96	0.97
Stuttgart (7,5 Jahre)	0.98	0.92	0.94
Freiburg (7,3 Jahre)	0.93	0.89	0.91
Zugspitze (8,1 Jahre)	0.94	0.84	-
Gran Canaria (8,3 Jahre)	-	0.85	0.95
Negev (8,1 Jahre)	-	0.86	0.90
Kochi (7,3 Jahre)	0.90	0.88	0.90

# Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

## Zusammenfassung

- Expositionsdauer von 7-8 Jahren entspricht je nach Standort und Anwendung ca. 40 – 80 Jahre Realbetrieb
- Beobachtete Degradationseffekte
  - Verschmutzung der Glasabdeckung
  - Beschlag auf Innenseite der Glasabdeckung
  - Teilweise Lösung der Schweißnähte
  - Staub auf Absorber
  - Deformation Absorber mit Kontakt zur Glasabdeckung
- Beobachtete Leistungsdegradation
  - 2 – 16 % in der anteiligen Primärenergieeinsparung (Referenz Kombianlage Würzburg 15 m<sup>2</sup>)
- Ausblick
  - Kollektordemontage Exponate Gran Canaria, Negev, Kochi
  - Modellierung Leistungsdegradation

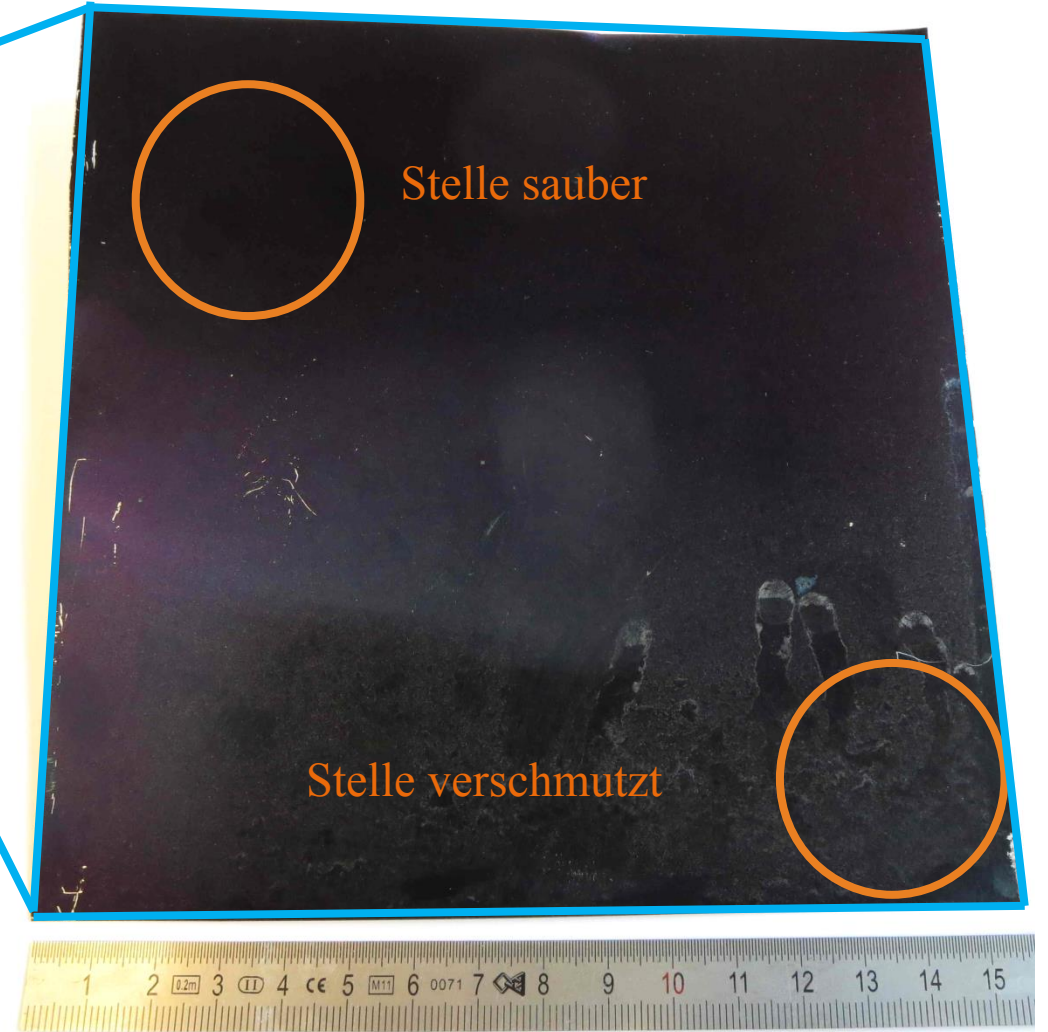


# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

*Thomas Kaltenbach, Fraunhofer ISE*

# Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

- Kollektor Typ III nach ca. 7 Jahren Exposition  
Zugspitze, ungekühlt



# Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

## ■ Absorber

Kollektor Typ III 76M3  
nach ca. 7 Jahren Exposition  
Zugspitze, ungekühlt  
■ Optische  
Charakterisierung

$\alpha$  [AM1.5]

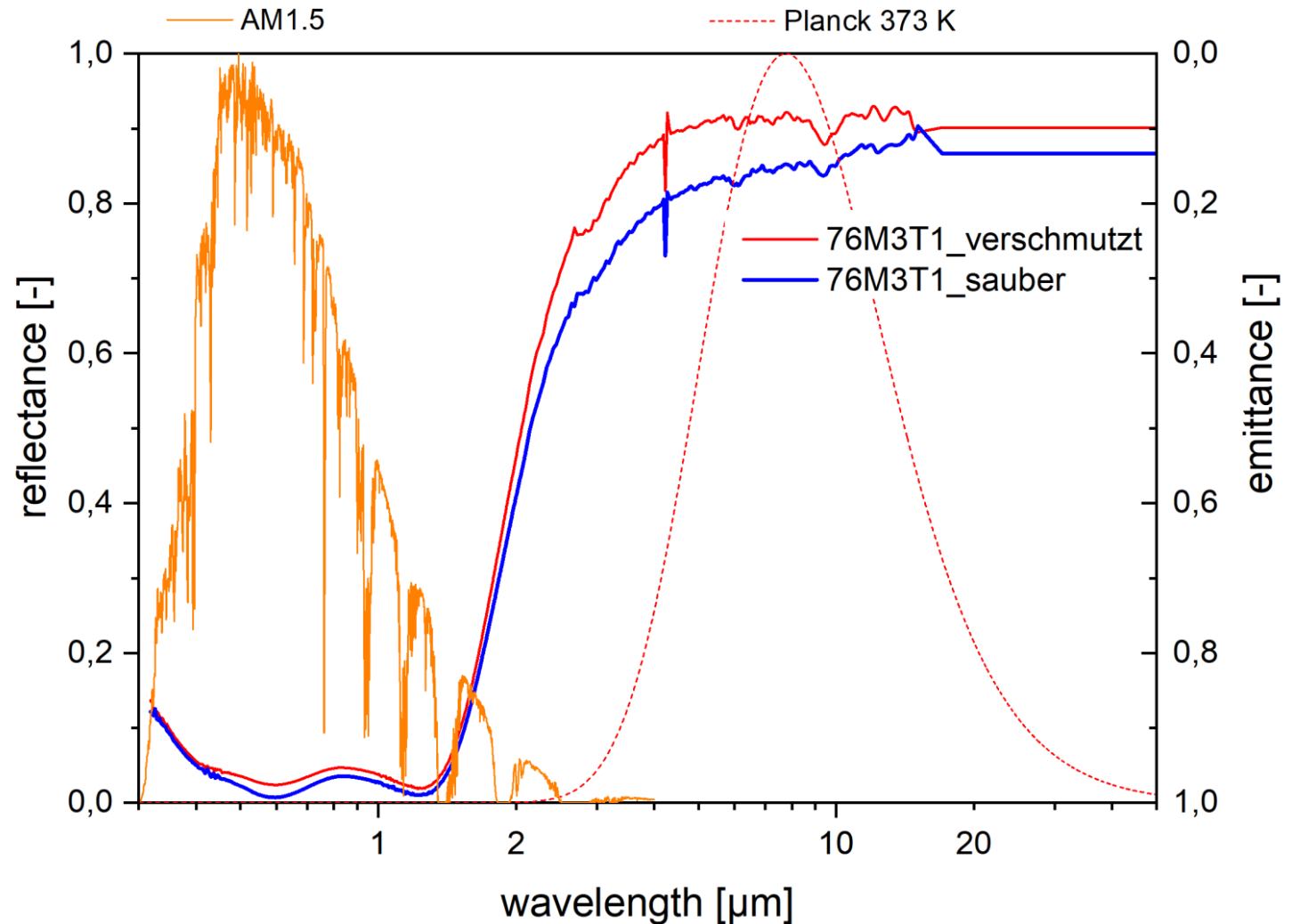
$$\Delta = \alpha_{\text{sauber}} - \alpha_{\text{verschmutzt}} = 0,01$$

$$\Delta_{\text{rel}} = 1\%$$

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon_{\text{sauber}} - \varepsilon_{\text{verschmutzt}} = 0,05$$

$$\Delta_{\text{rel}} = 36\%$$



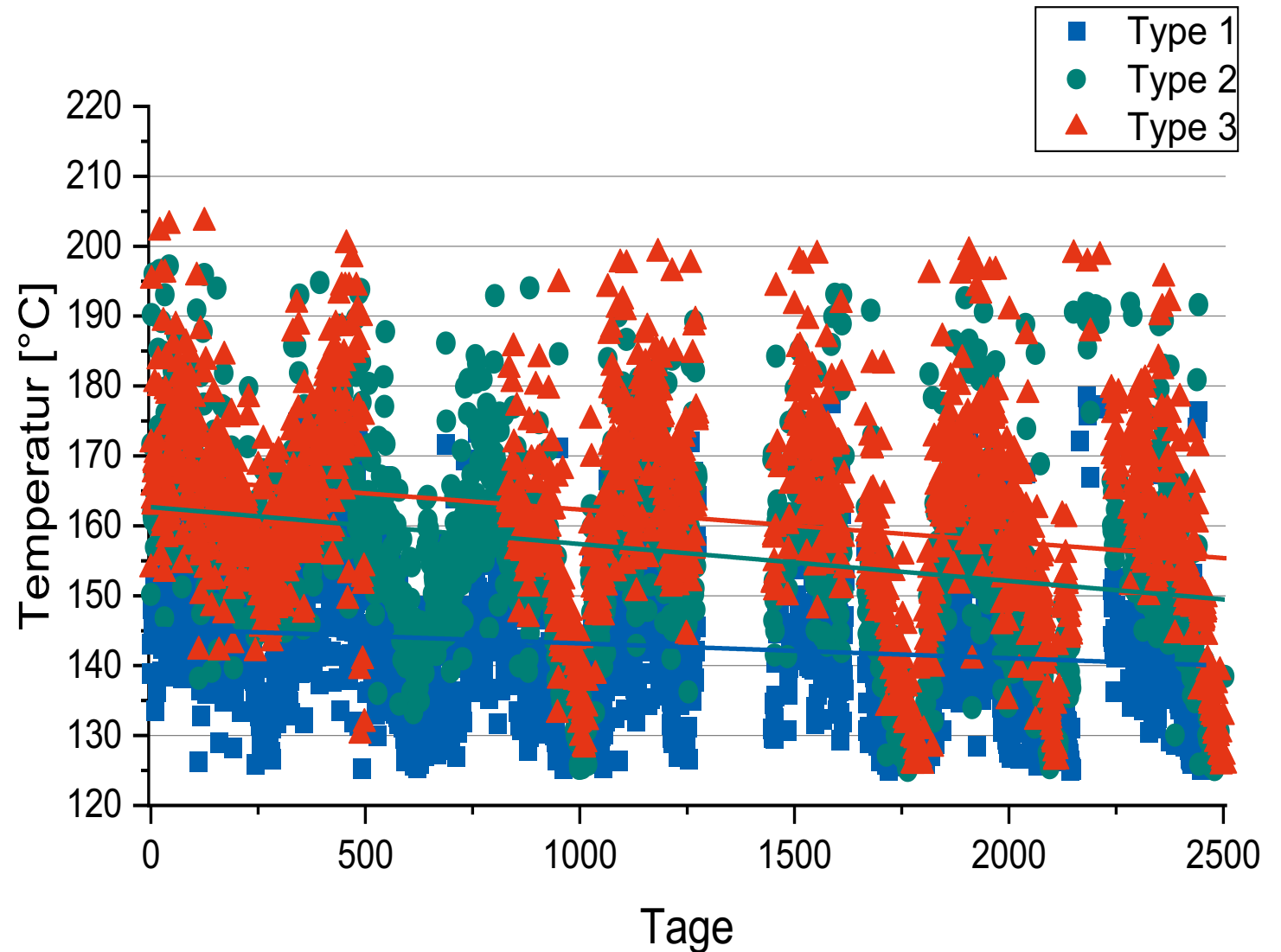
# Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

## Ergebnisse Monitoring

- Maritimer Standort Gran Canaria
- Tages-Maximaltemperaturen Absorber über 7 Jahre auf  $1000\text{W}/\text{m}^2$  normiert

3 Standardkollektoren  
Type 1, Type 2 und Type 3

Type	Achsenabschnitt	Steigung
1	145 °C	-0,8 K/Jahr
2	163 °C	-0,2 K/Jahr
3	167 °C	-1,7 K/Jahr



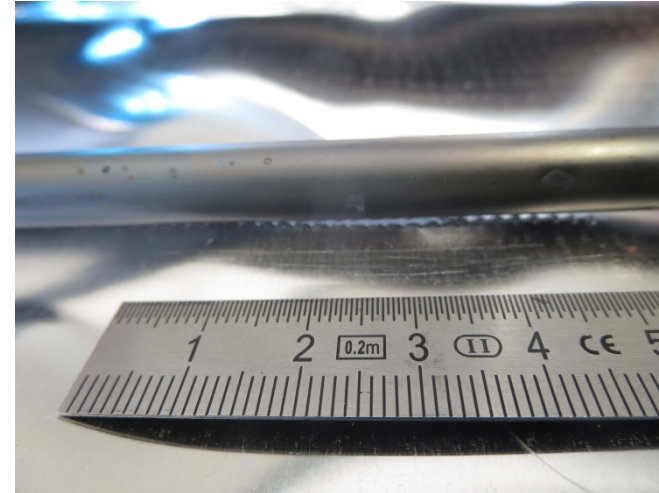
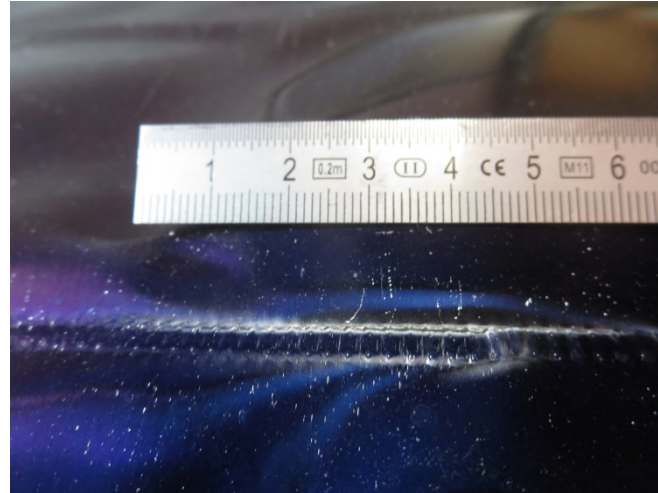


# Ausgesuchte Ergebnisse der Exposition an den Extremstandorten

- Standardkollektor nach ca. 7 Jahren Exposition Zugspitze, ungekühlt

- Absorber  
ca. 40 mm Rissbildung  
an Laserschweißnaht

Vorder-/Rückseite



- Kollektorgehäuse  
Korrosion  
unten rechts





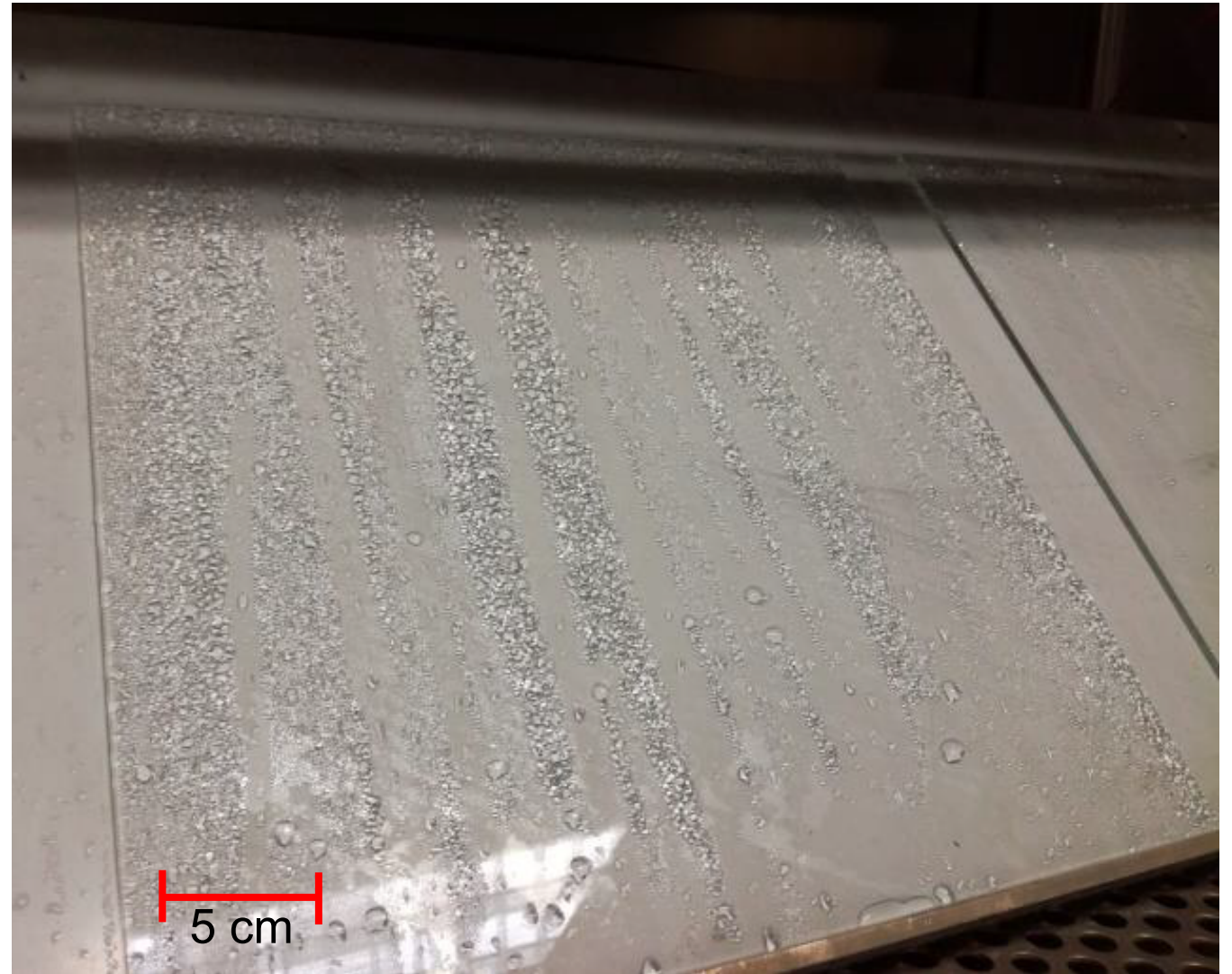
# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Komponenten

- Verglasung
- Absorber
- Reflektoren
- Klebmaterialien
- Befestigungsmaterialien und Kollektorperipherie

# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

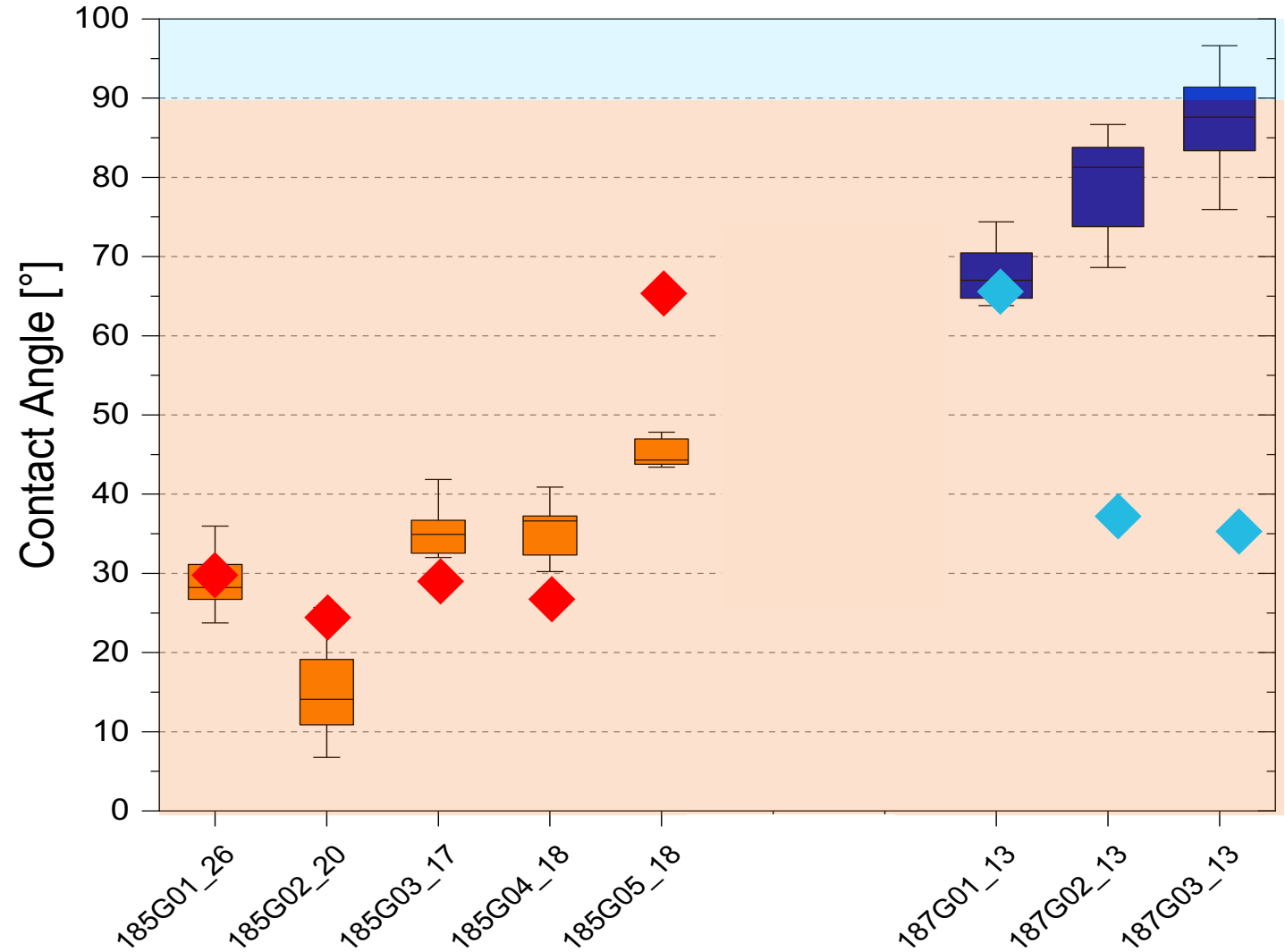
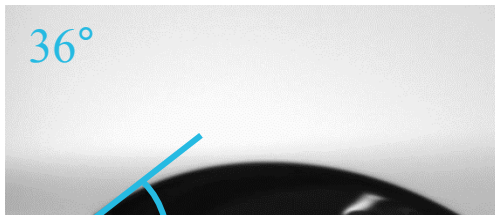
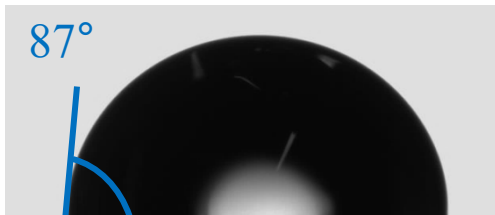
- Komponente Verglasung
  - Indoortest Kondensation bei 50°C



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Verglasung

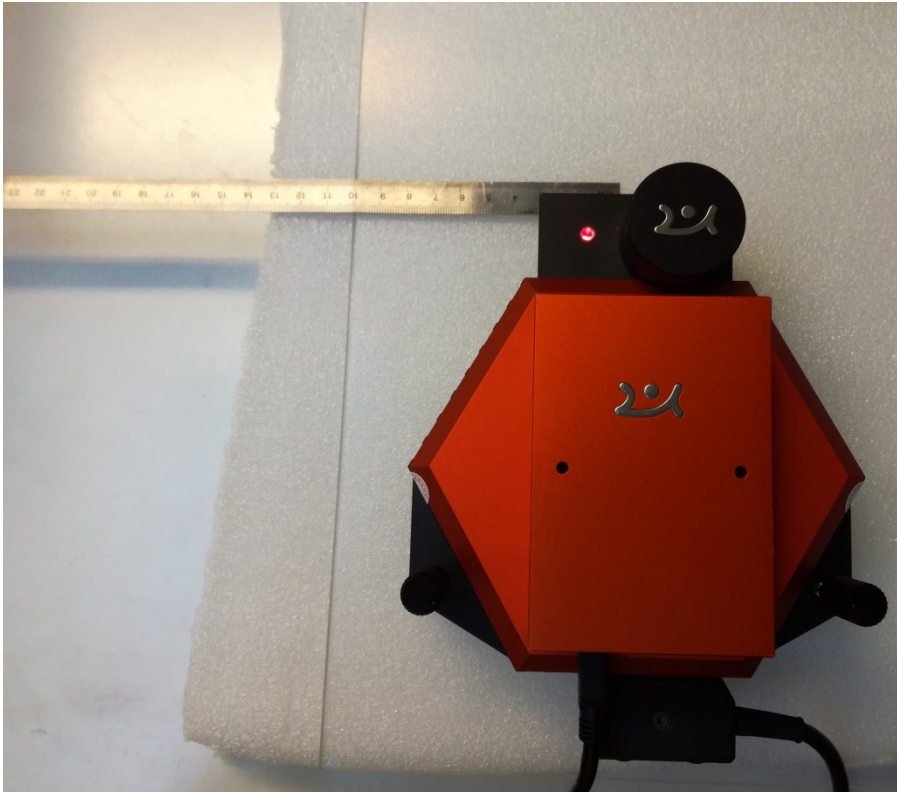
- Kontaktwinkelmessung nach  
Indoortest  
Kondensation bei 50°C  
1000h
- Probe 187G03



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

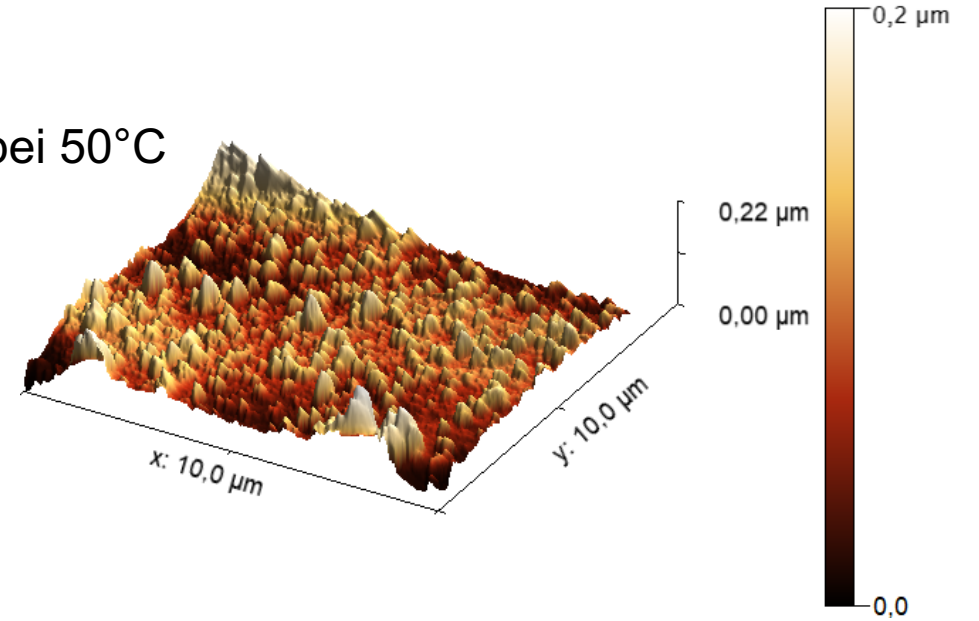
## ■ Verglasung

- Topographiemessung mit mobilem AFM

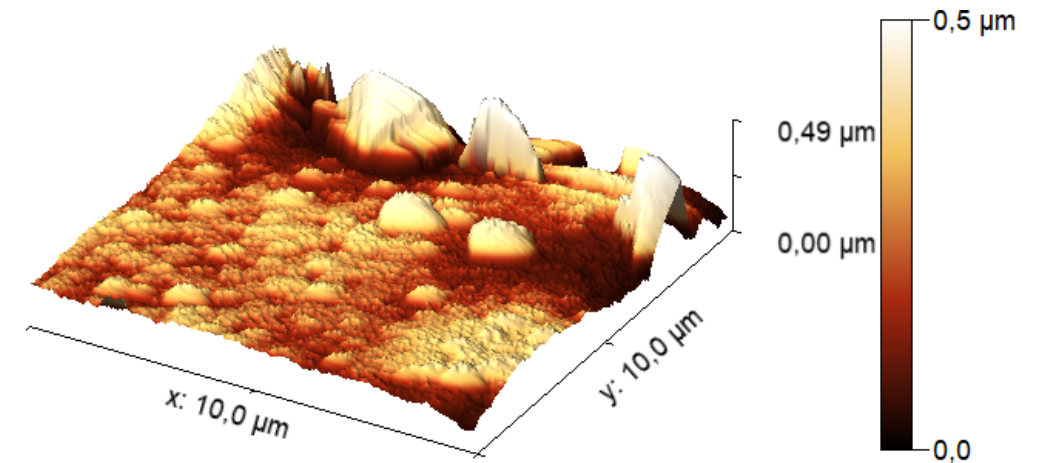


- Indoortest  
Kondensation bei 50°C  
Probe 185G01

- Topgraphie nach 250 h  
 $R_q = 12 \text{ nm}$



- Topgraphie nach 1000 h  
 $R_q = 24 \text{ nm}$



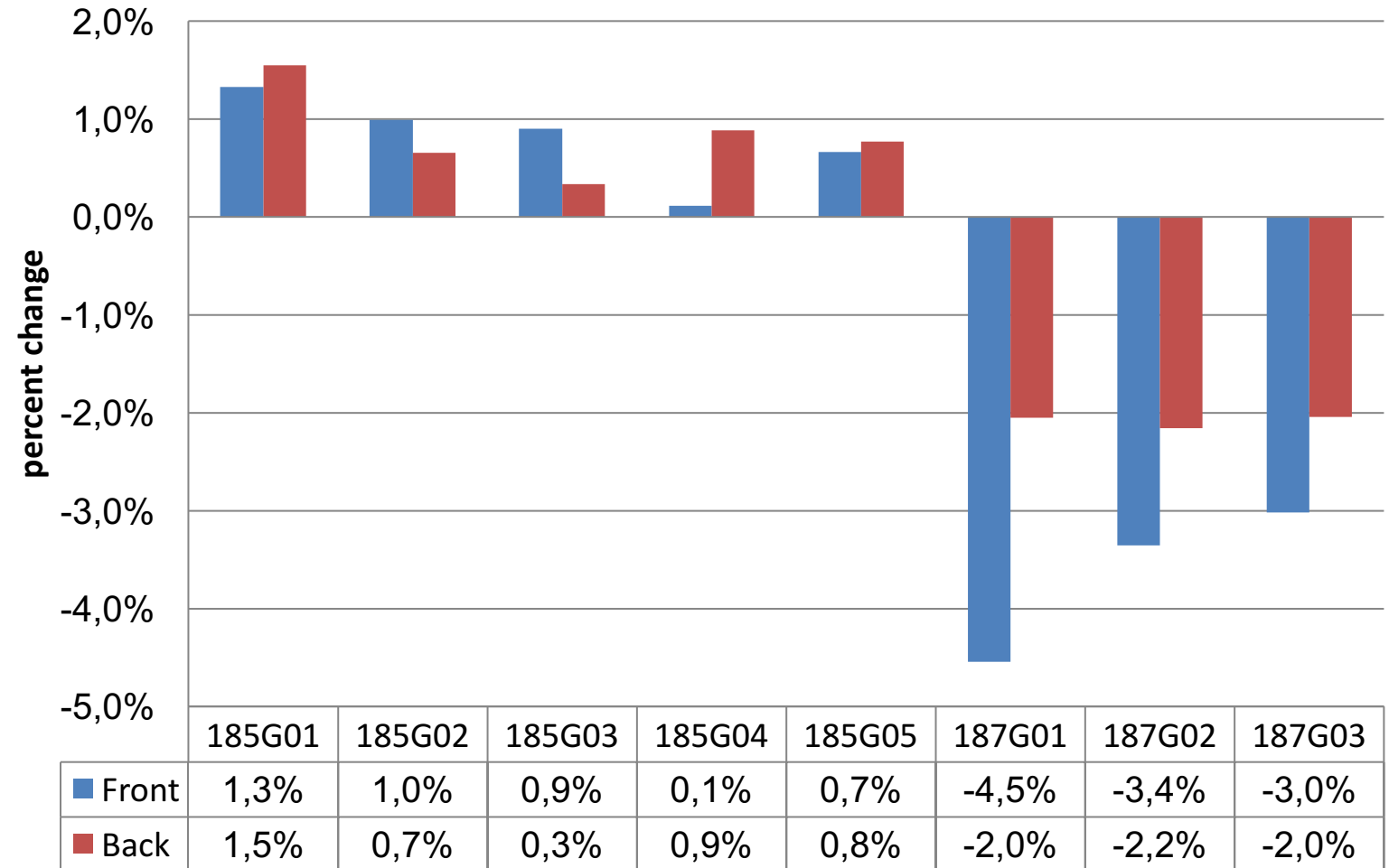


# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Verglasung

- Indoortest  
Kondensation bei 50°C
- Ergebnis optische  
Charakterisierung

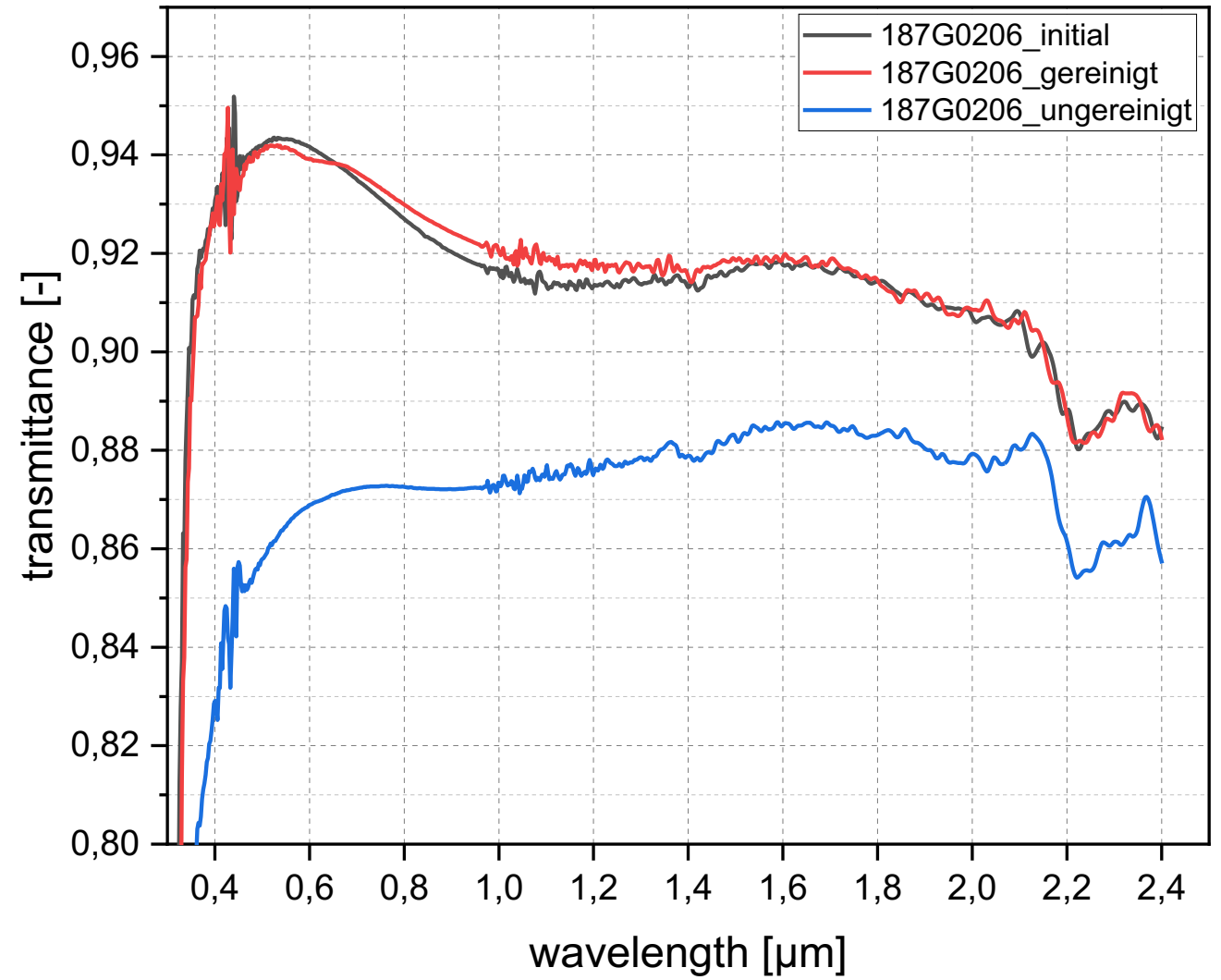
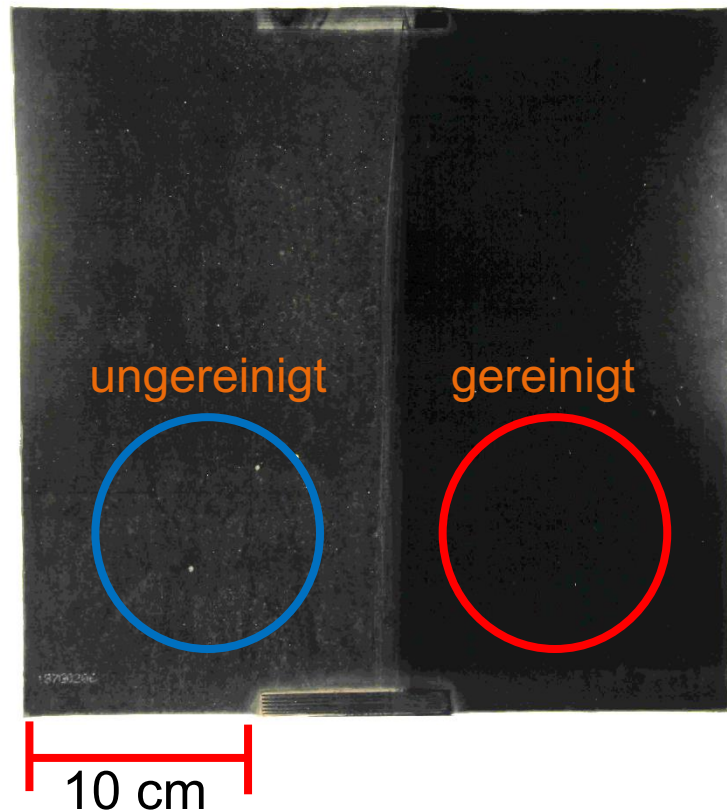
rel. Änderung des  
solaren  
Transmissionsgrades [AM1.5]



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Verglasung

- Kochi, tropischer Expositionsstandort  
ca. 2 Jahre Exposition





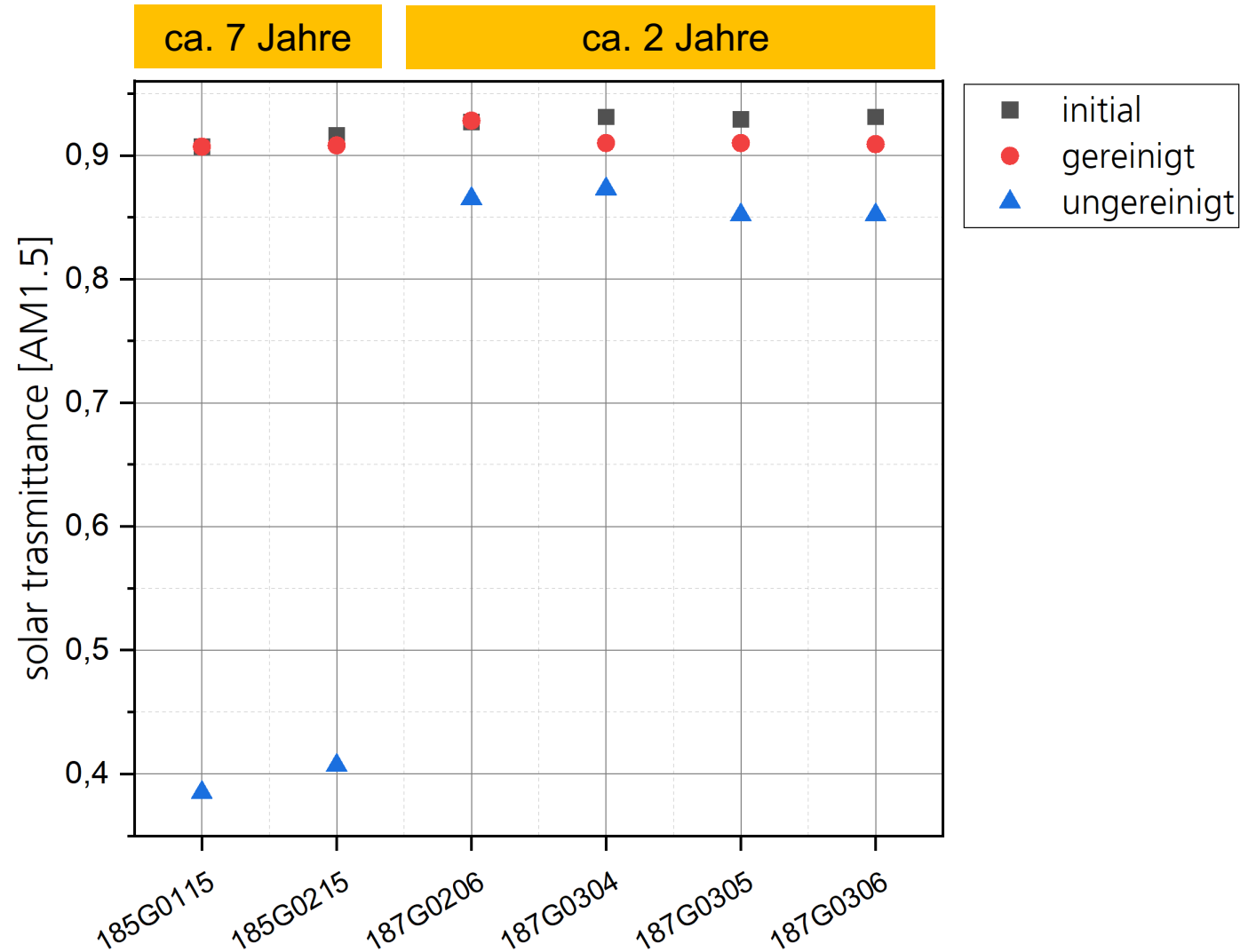
# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Verglasung

- Kochi, tropischer Expositionsstandort
- ca. 7 Jahre Exposition



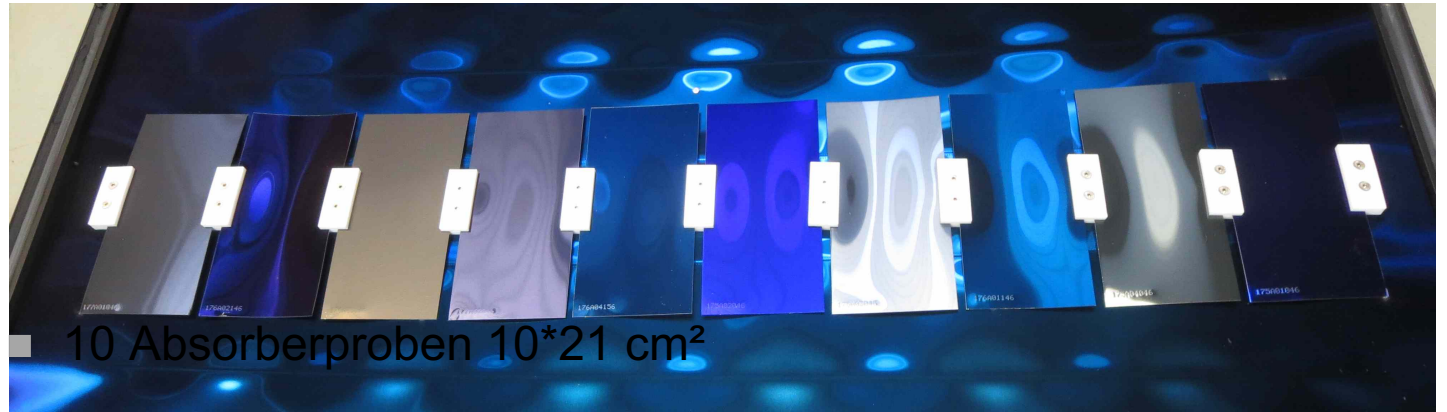
10 cm



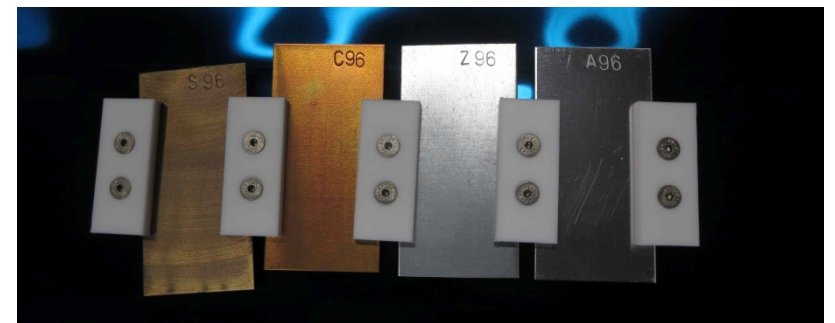
# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Absorber

Prüfkollektor nach ca. 7 Jahren Exposition in Stuttgart, ungekühlt



- Korrosionscoupons  
Eisen, Kupfer,  
Zink, Aluminium



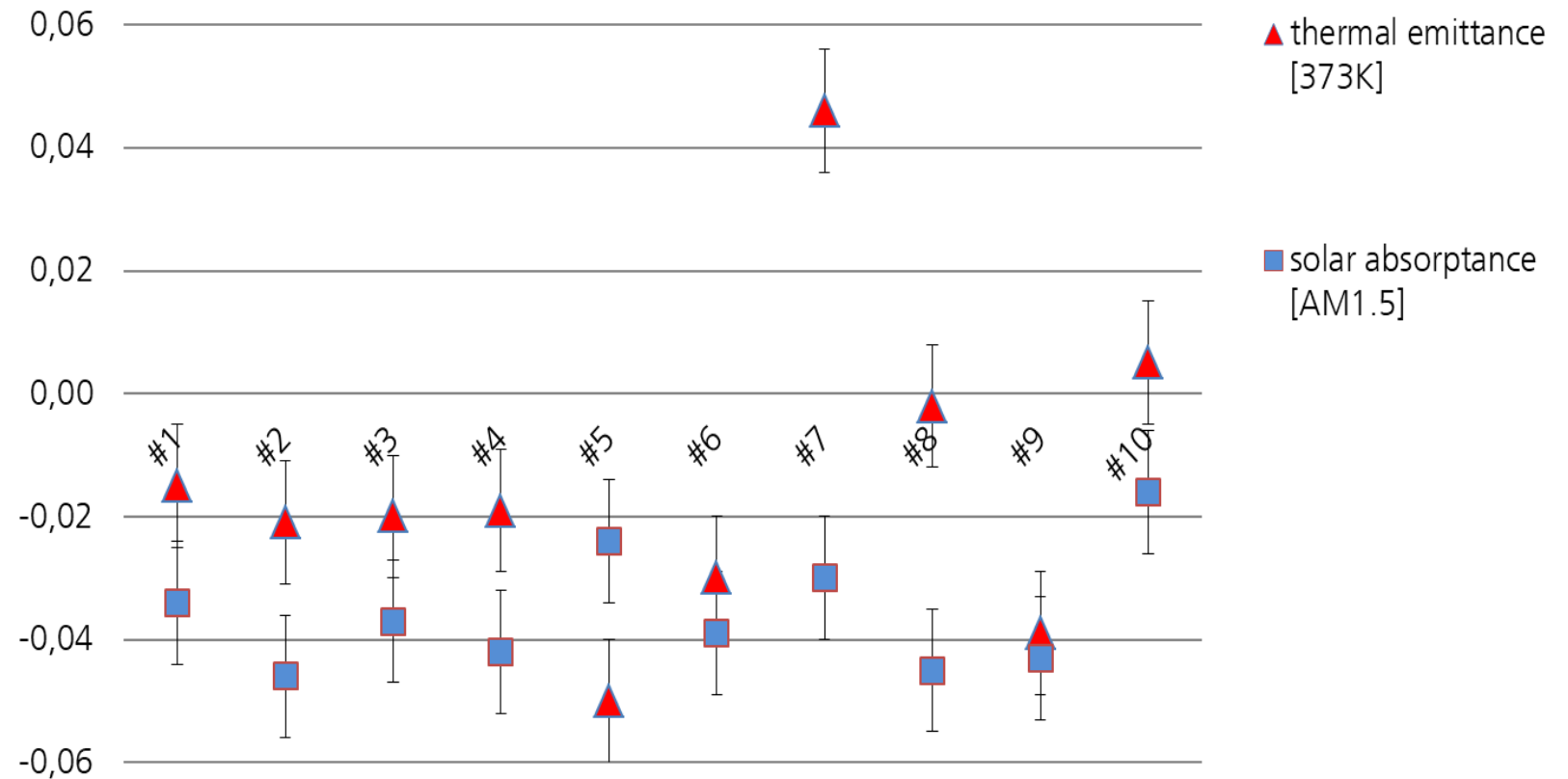
# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Absorber

Prüfkollektor nach ca. 7 Jahren Exposition in Stuttgart, ungekühlt

- Optische Charakterisierung

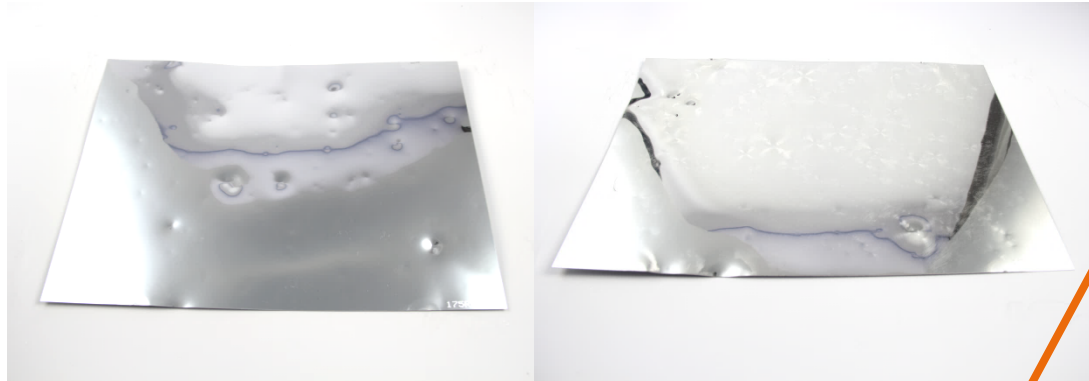
$$(\varepsilon, \alpha_{\text{ref}} - \varepsilon, \alpha_{7a}) [-]$$



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

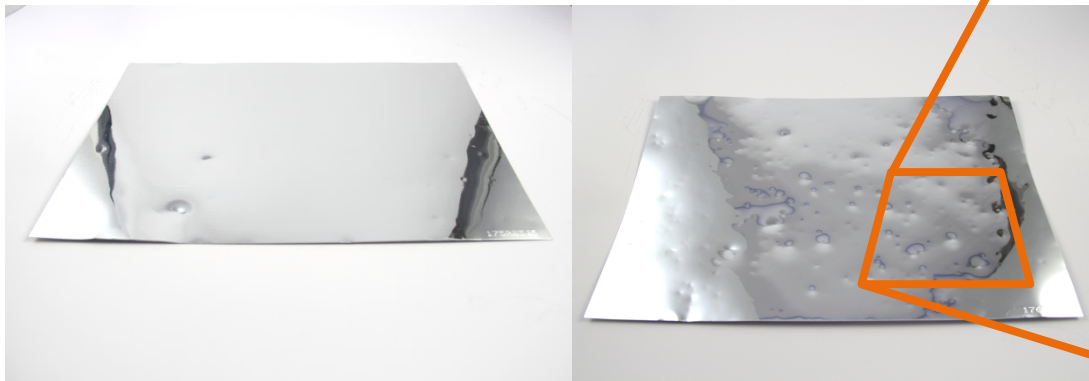
## ■ Reflektor

ca. 7 Jahre Exposition Zugspitze



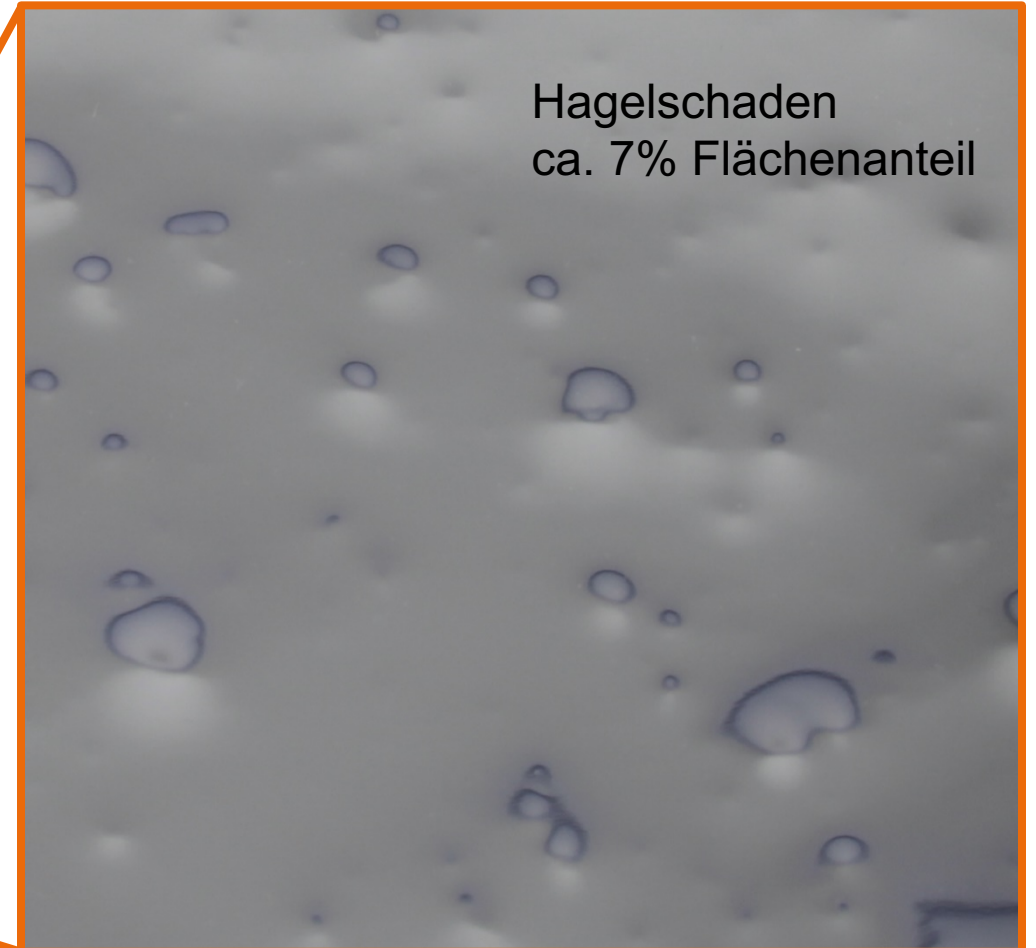
175R0105

175R0205



175R0305

176R0404



Hagelschaden  
ca. 7% Flächenanteil

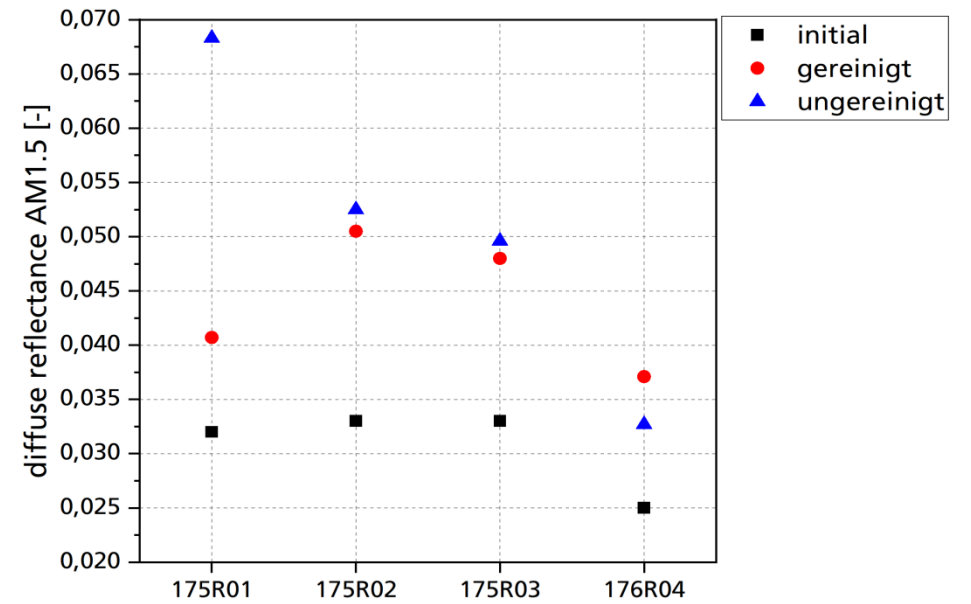
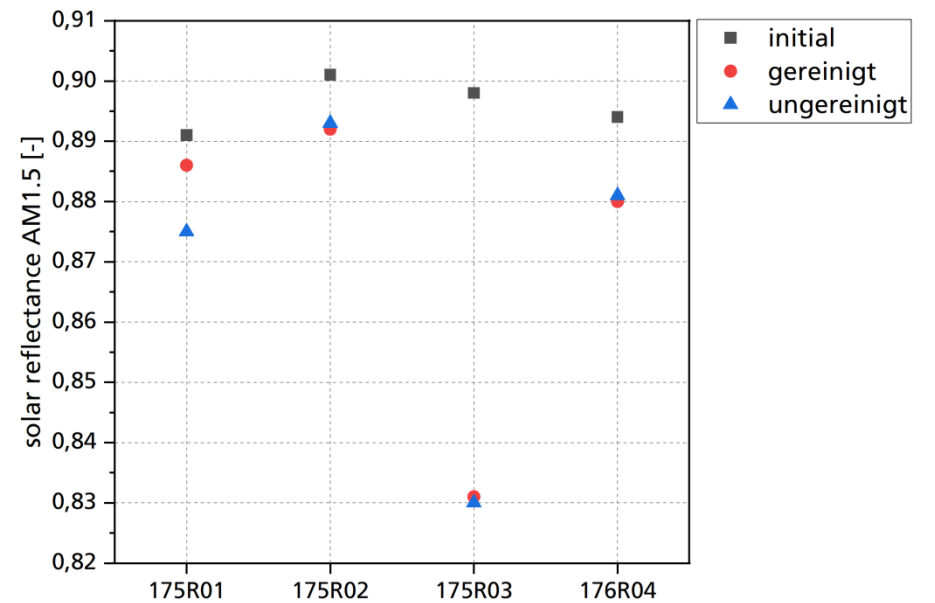
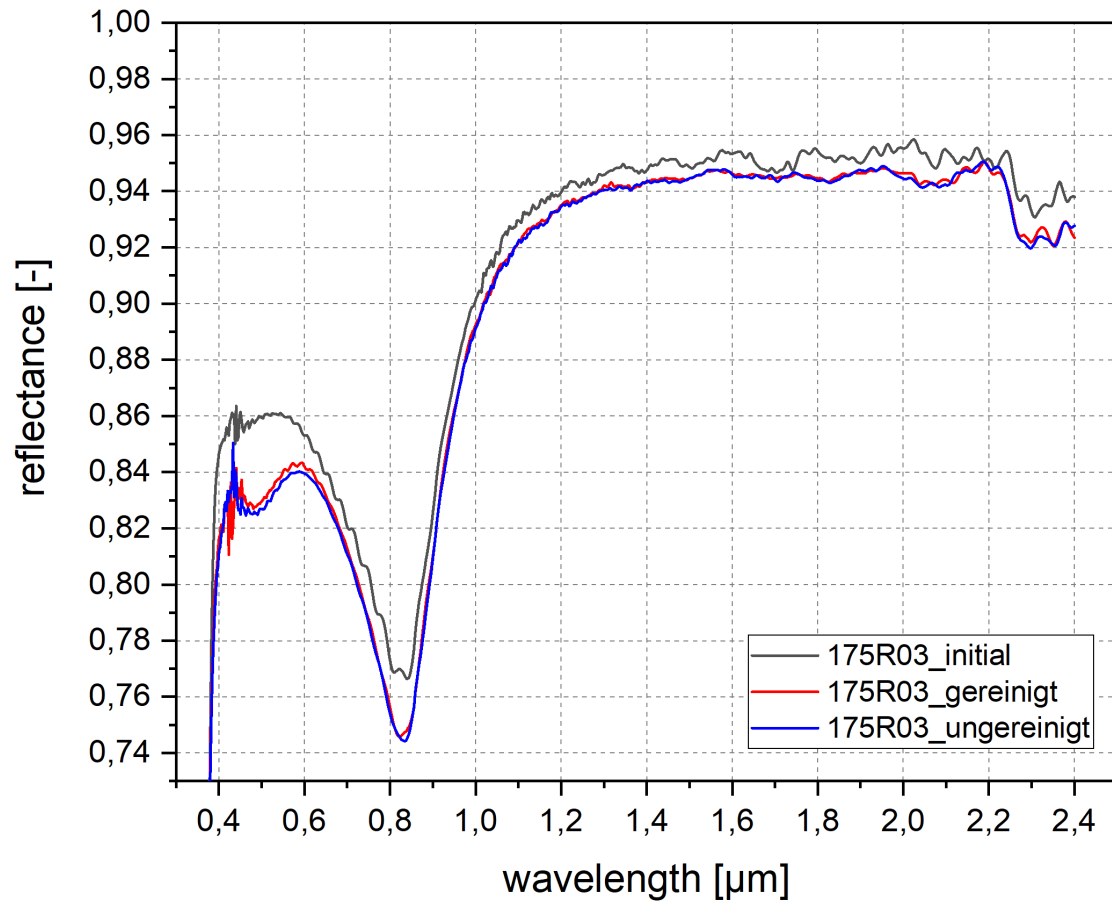
176R0104, 176R0204, 176R0304 fehlend; Ablösung aus Fixierung



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

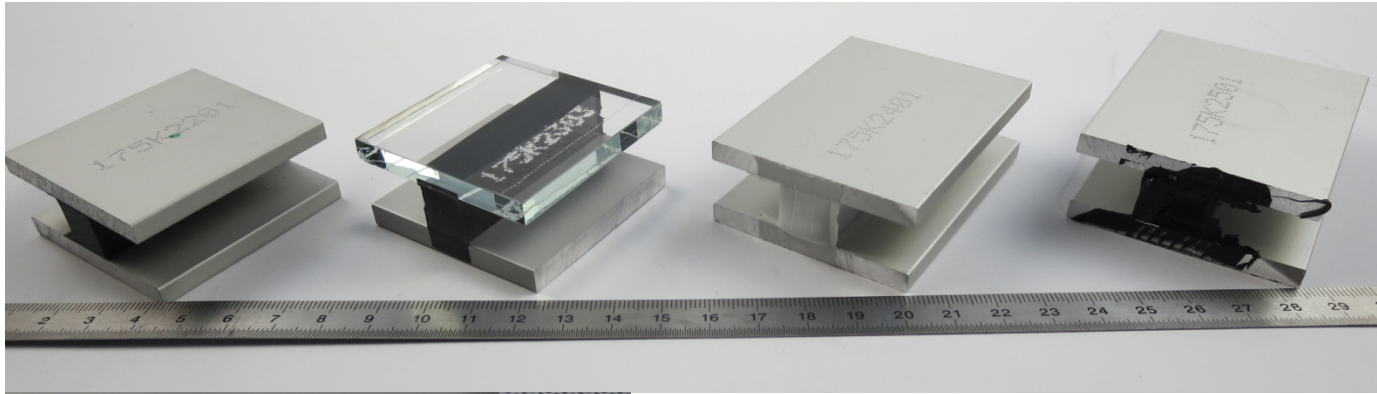
## ■ Reflektor

ca. 7 Jahre Exposition Zugspitze

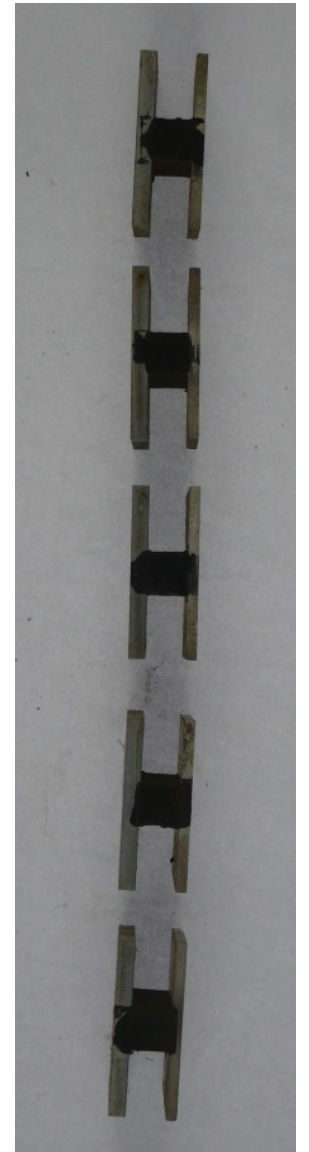
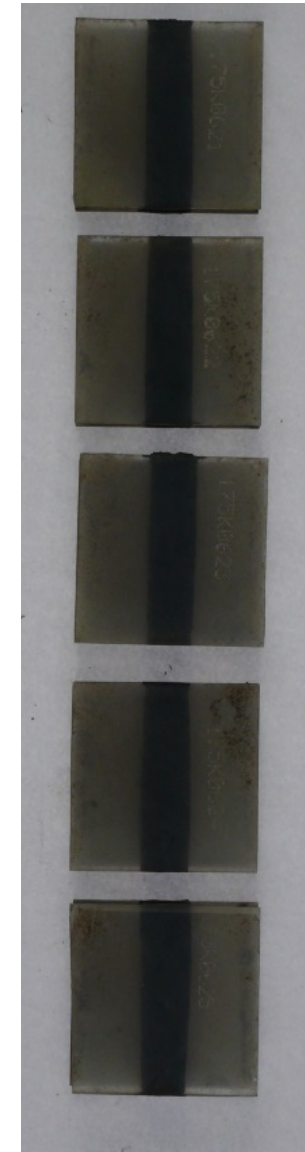


# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Klebmaterialien



- Exposition von H-Prüfkörpern nach 2,5 Jahren in Kochi
- Optische Charakterisierung
  - Spektroskopische Untersuchung
  - Mechanische Prüfung





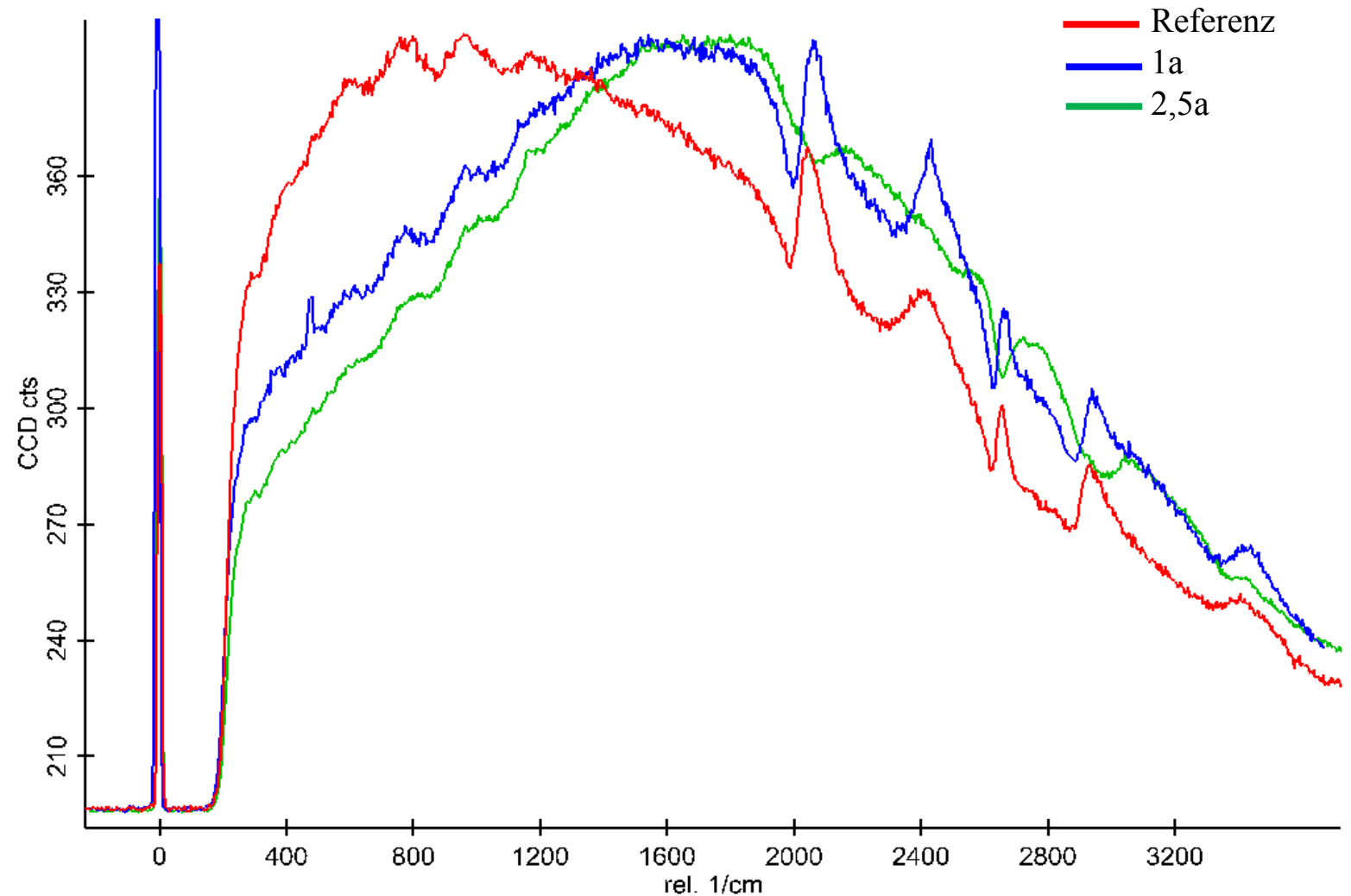
# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Klebmaterialien

Exposition von H-Prüfkörpern  
nach 2,5 Jahren in Kochi

■ Spektroskopische  
Untersuchung

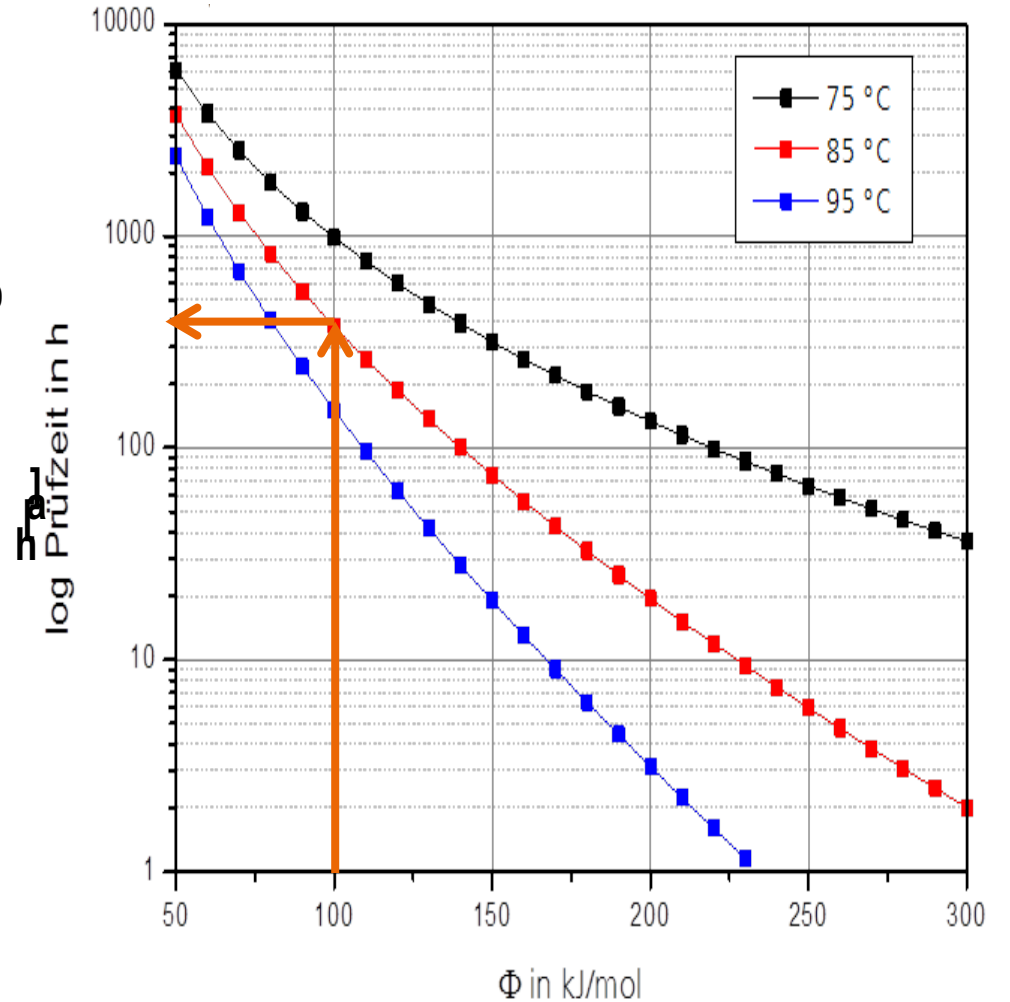
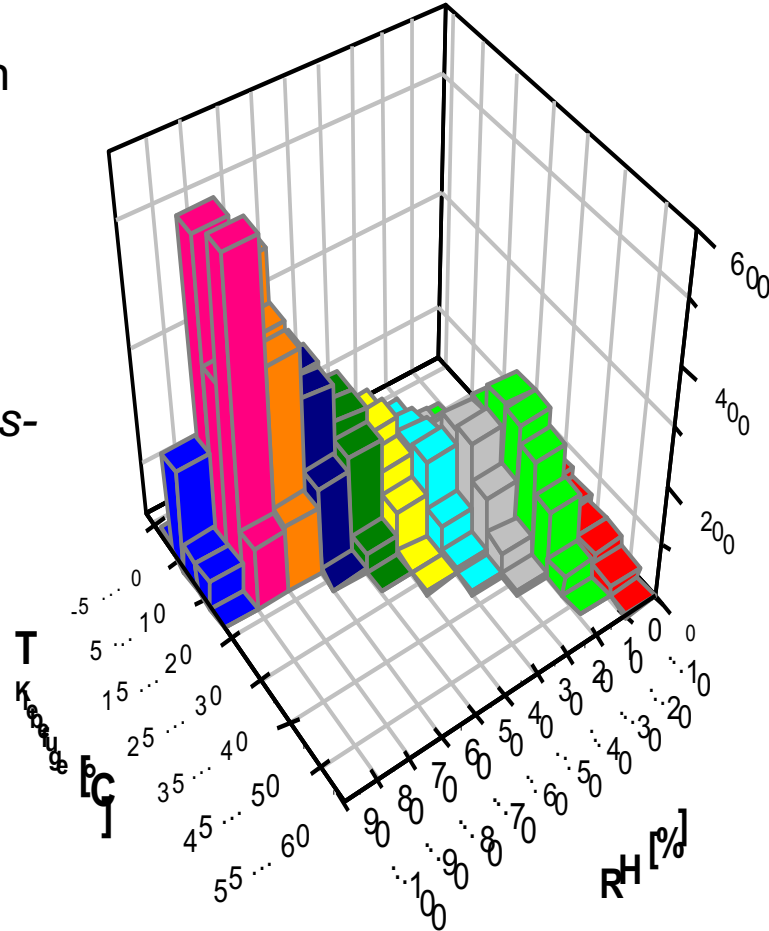
Ramanspektrometer  
 $\lambda = 532 \text{ nm}$



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

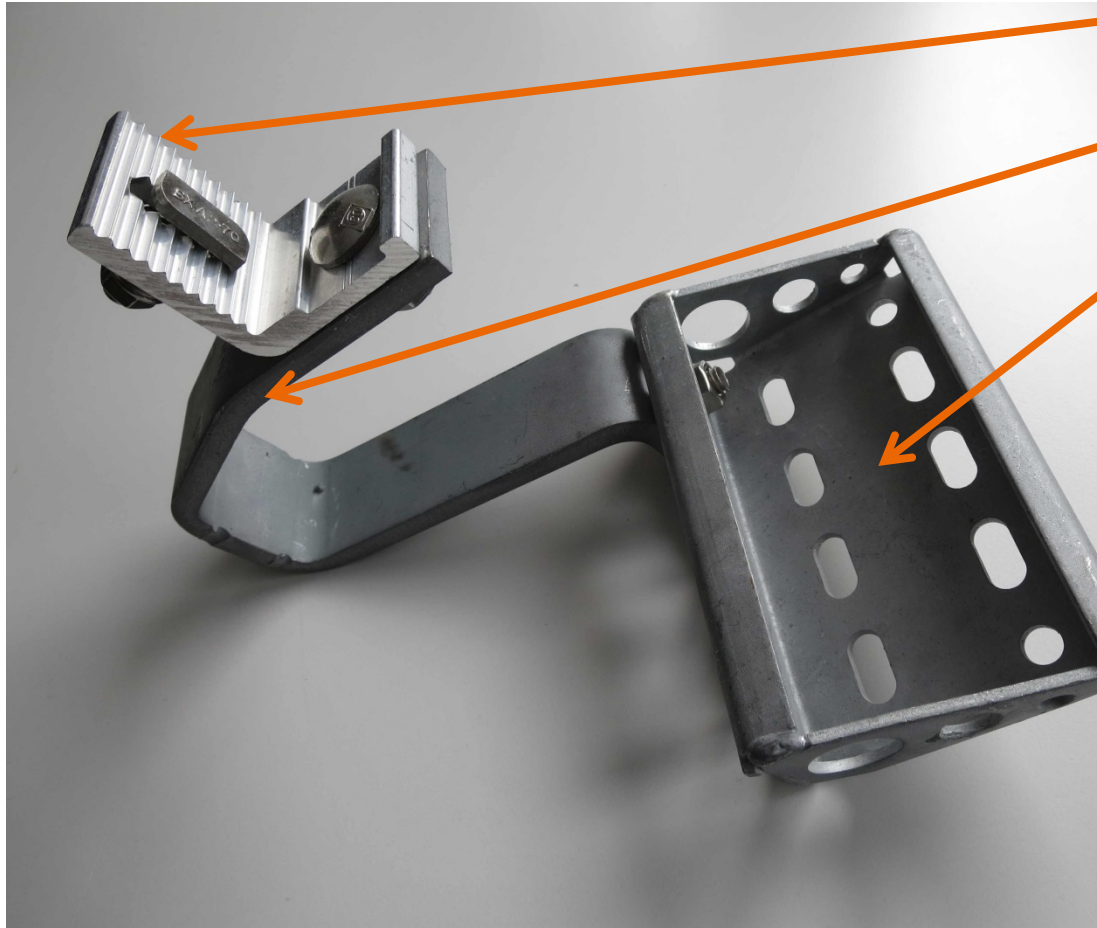
## ■ Klebmaterialien

- Entwicklung Prüfverfahren
- Gebrauchsdauer für 25 Jahre alpiner Expositionsstandort
- Monitoring Klebefugentemperatur
- Modellierung mit *Arrhenius-Ansatz*
- Ermittlung des korrespondierenden Zeitraums in einem beschleunigten Test bei einer konstanten Temperatur



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Befestigungsmaterialien und Kollektorperipherie



Adapterwinkel

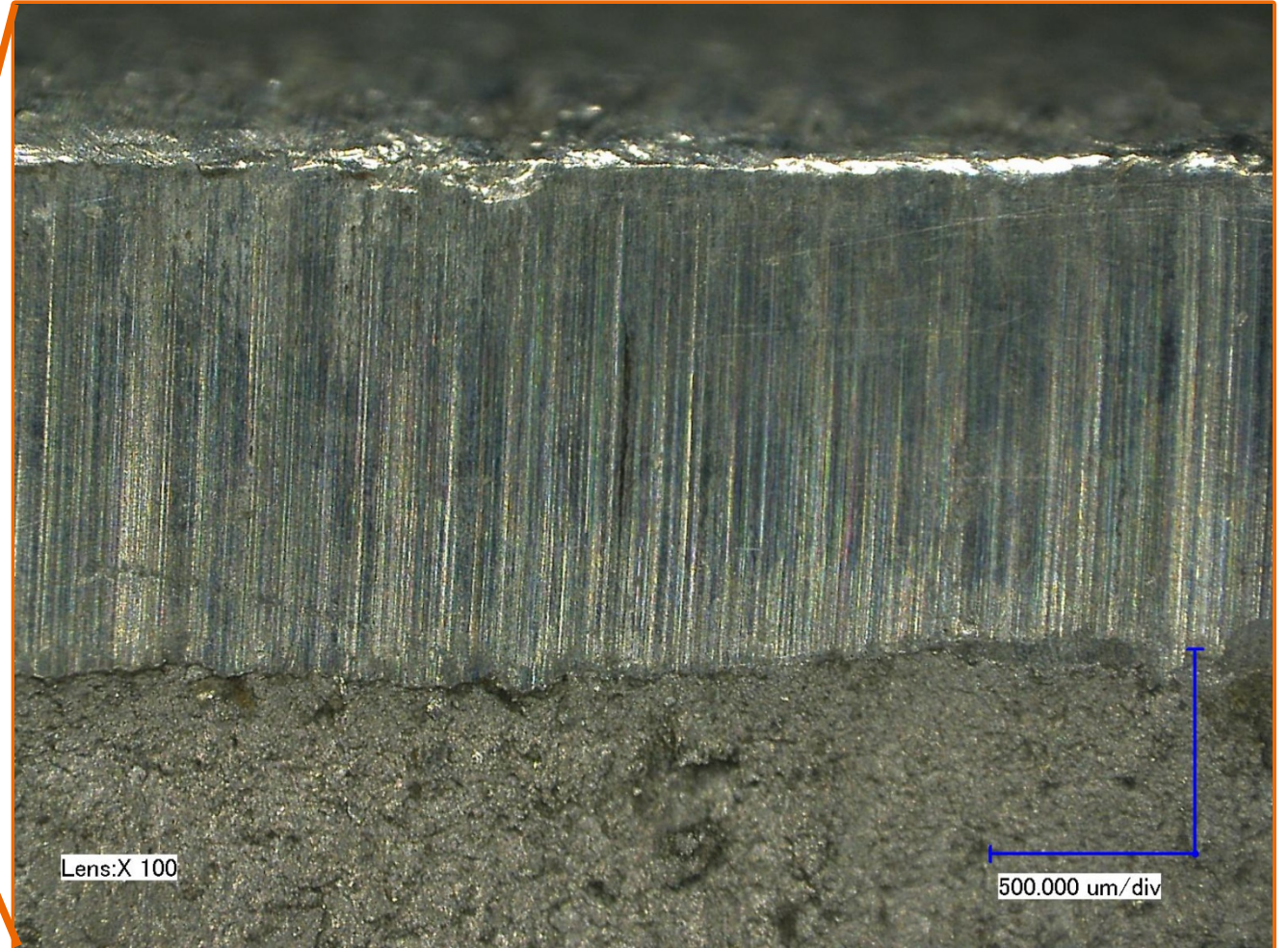
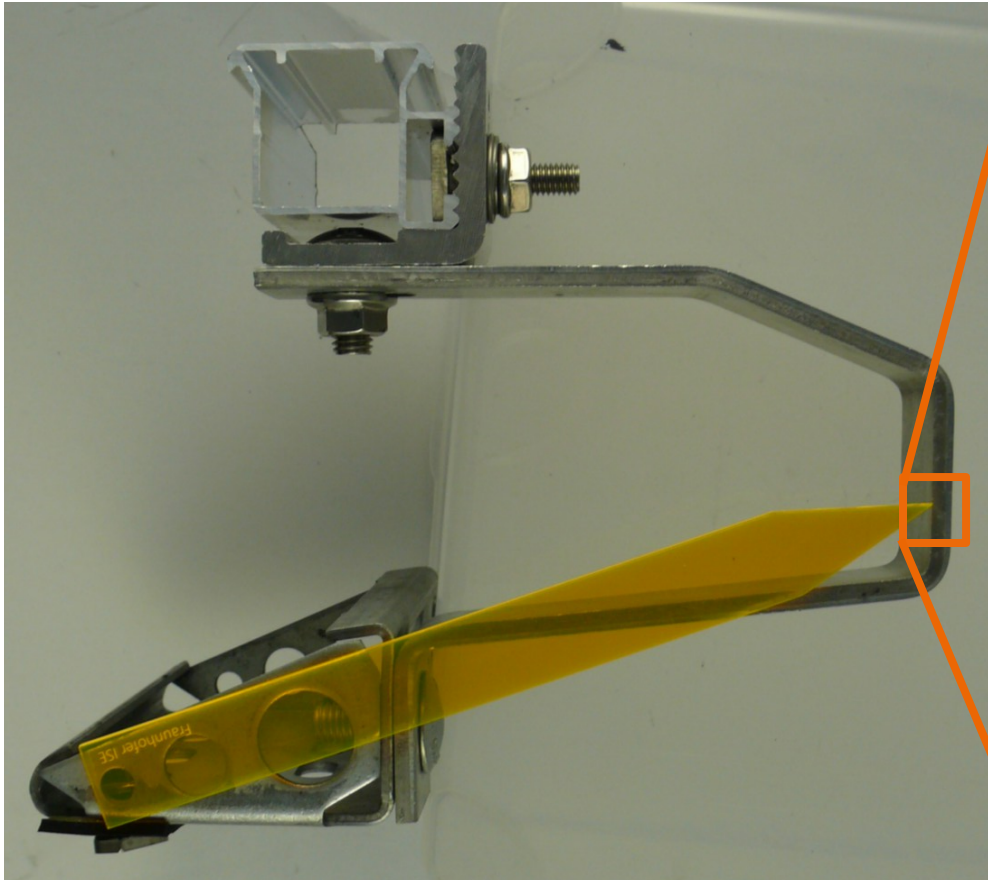
Ausleger 3 mm, 5 mm, 8 mm

Grundplatte, 3 mm



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

- Befestigungsmaterialien und Kollektorperipherie





# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Befestigungsmaterialien und Kollektorperipherie

- Exposition maritimer Standort Gran Canaria
- nach ca. 2 Jahren



Typ 1



Typ 2



Typ 3



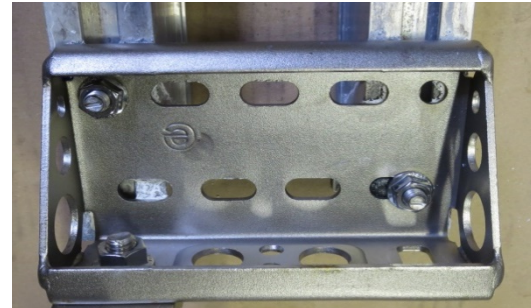


# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## ■ Befestigungsmaterialien und Kollektorperipherie

- Indoortest
- SpeedColl Salznebelprüfung

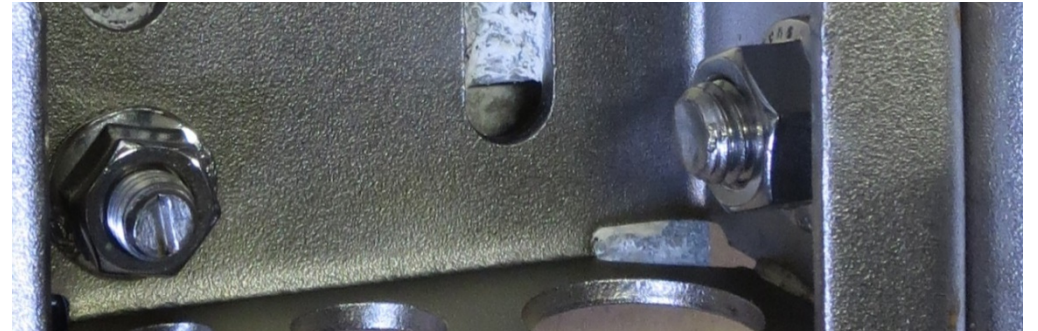
Typ 2



Typ 1



Typ 3



# Komponentenprüfungen und Ergebnisse

## Zusammenfassung

### ■ Optische Charakterisierung vor Exposition

- Extrem geringe Streuung der optischen Eigenschaften Transmission, Reflexion, Absorption

### ■ Outdoor

- Komponenten zeigen stark unterschiedliche Verschmutzung an den Expositionsstandorten
- Nach Reinigung werden die ursprünglichen Werte weitestgehend wieder erreicht
- Mechanische Eigenschaften der Klebmaterialien ändern sich durch die Exposition nur gering

### ■ Indoor

- Komponenten zeigen teilweise unterschiedliche Änderungen in den Tests
  - Gläser in Kondensationsprüfung bei 50°C
  - Befestigungsmaterialien in der Salznebenprüfung
- Absorber auch nach verschärfter Kondensationsprüfung optisch stabil
- Marginale Änderungen der mechanischen Eigenschaften der Klebmaterialien nur kohäsives Bruchbild der Kleinprüfkörper

# Vorstellung der entwickelten Kollektorschnellprüfungen und bisherige Ergebnisse

*Stephan Fischer, IGTE*



# Kollektorschnellprüfungen Einzelprüfungen

## Ziele

1. Berücksichtigung der Belastungen an den Extremstandorten
2. Nachbildung der Degradationserscheinungen an den Expositionsstandorten
3. Ableitung der Gebrauchsdauer der Sonnenkollektoren
4. Ableitung von marketingrelevanten Aussagen

Unter Berücksichtigung vertretbarer Prüfzeiten

# Kollektorschnellprüfungen Einzelprüfungen

1. UV-Prüfung
2. Temperaturwechselprüfung (intern und extern)
3. Hochtemperaturprüfung
4. Feuchteprüfung
5. Salzsprühnebelprüfung

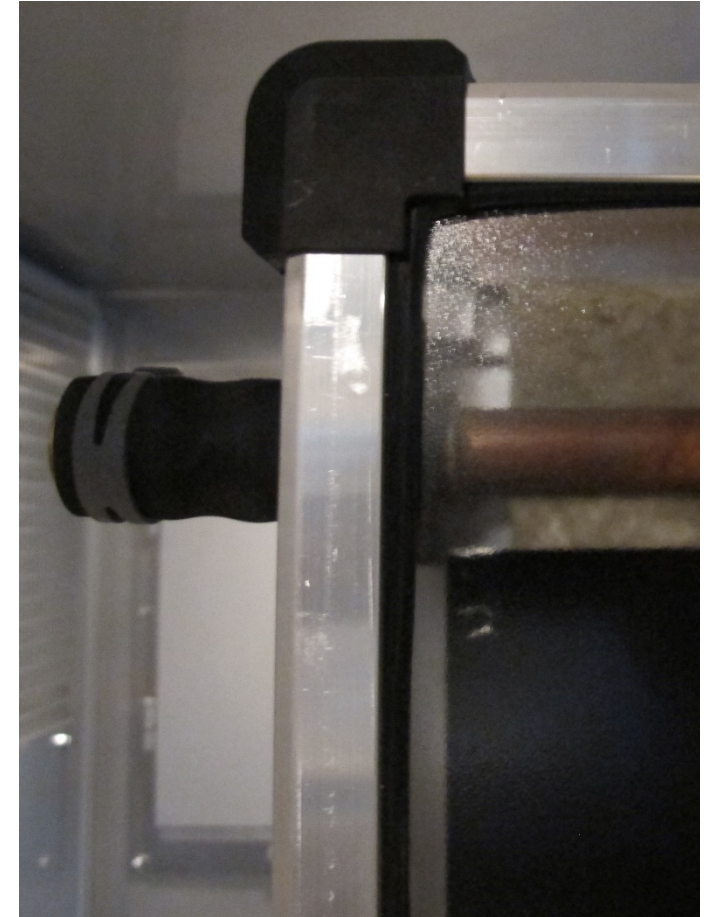
# Kollektorschnellprüfungen: UV-Prüfung

## Ziel

- Prüfung der Beständigkeit des Kollektors gegenüber UV-Strahlung (z. B. Befestigung der Abdeckung, polymere Komponenten)

## Randbedingungen

- Max. UV-Bestrahlungsstärke =  $230 \text{ W/m}^2$
- Prüfraumtemperatur so geregelt, dass sich eine Rahmentemperatur von  $80 \text{ °C}$  einstellt
- Relative Feuchte in der Klimakammer =  $15 \%$
- UV-Strahlungsmenge:  $280 \text{ kWh/m}^2$



# Kollektorschnellprüfungen: Temperaturwechsel intern

## Ziel

- Prüfung der Beständigkeit der Verbindung zwischen Absorberblech und Register

## Randbedingungen

- Aufheizen mit 95 °C Eintritt bis 90 °C am Austritt
- Abkühlen mit 10 °C Eintritt bis 15 °C am Austritt
- 2000 Schocks ( $\Delta T = 75 \text{ K}$ )
- 4 thermische Schocks nach ISO 9806 (1 x Inbetriebnahme, 3 x Wartung)





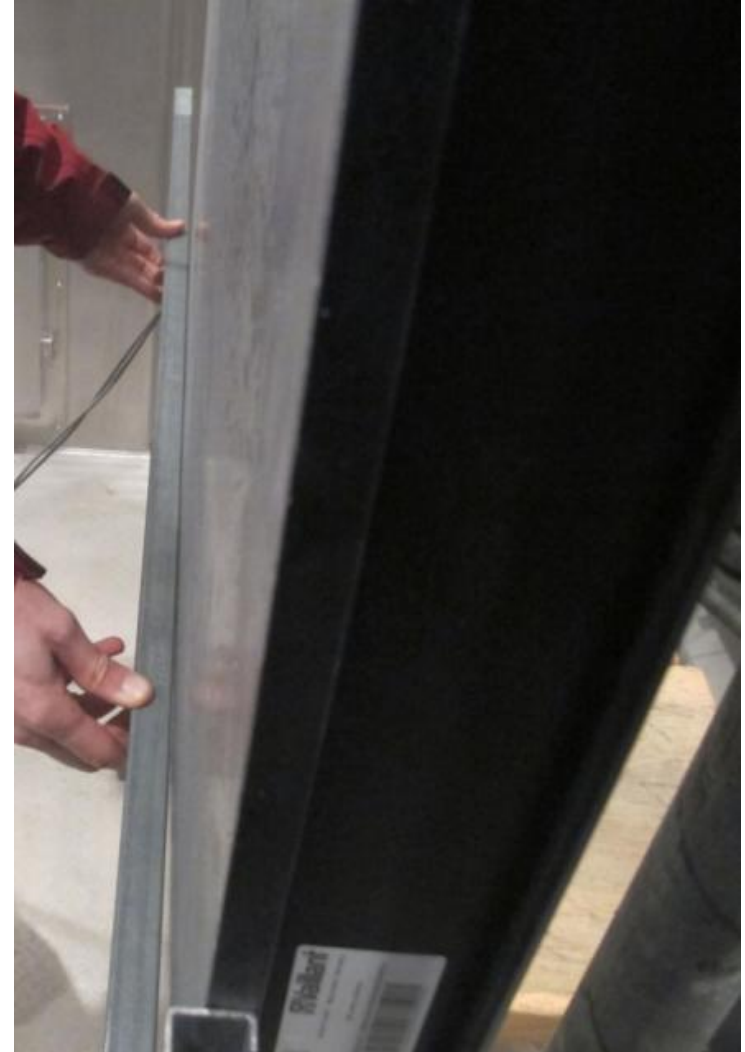
# Kollektorschnellprüfungen: Temperaturwechsel extern

## Ziel

- Prüfung der Gesamtkonstruktion, insbesondere der Glaseindeckung

## Randbedingungen

- 200 Zyklen zwischen  $-40\text{ °C}$  bis  $+90\text{ °C}$   
Rahmentemperatur



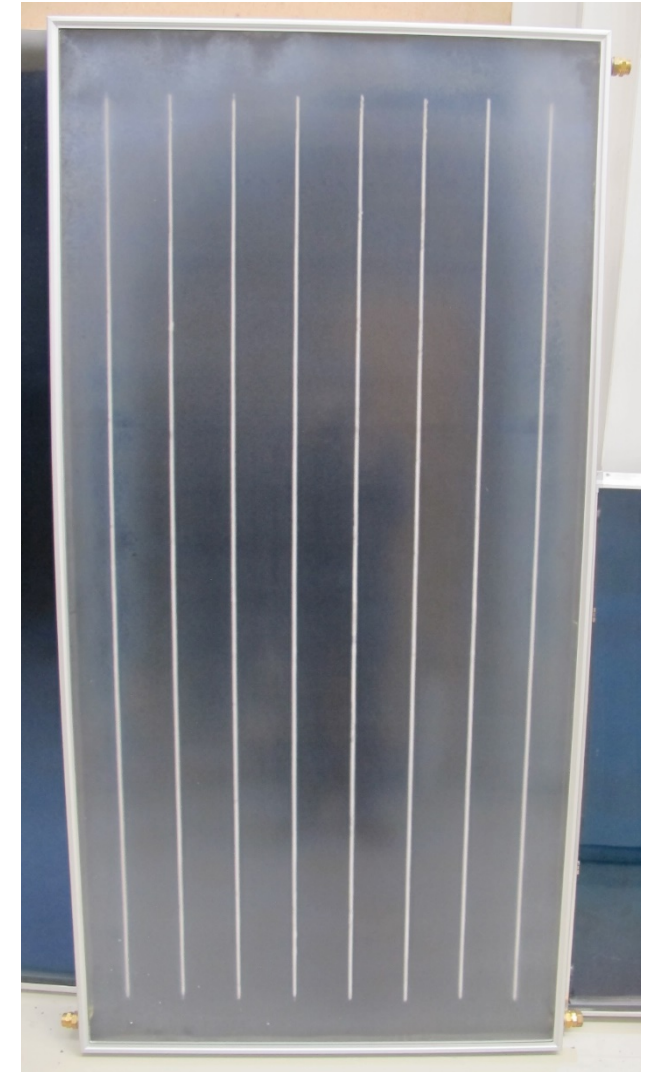
# Kollektorschnellprüfungen: Hochtemperaturprüfung

## Ziel

- Prüfung auf Ausgasungen, Verformung des Absorbers (Kontakt mit Glas), Zuverlässigkeit der Gesamtkonstruktion

## Randbedingungen

- $G = 1100 \text{ W/m}^2$  und  $\vartheta_{\text{amb}} = 40 \text{ °C}$   
oder  
Betrieb bei entsprechender Temperatur
- 1 Zyklus mit 8 h bei  $\vartheta_{\text{prüf}}$  und 4 h bei  $25 \text{ °C}$
- 15 Zyklen



# Kollektorschnellprüfungen: Feuchteprüfung

## Ziel

- Prüfung der Glasbeständigkeit und des Kollektordesigns bei Kondensation und Abtropfverhalten

## Randbedingungen

- Neigungswinkel 30°
- Betrieb bei 80 °C und 80 % rel. Feuchte
- Kondensatfalle auf unterer Hälfte des Kollektors bei 50 °C



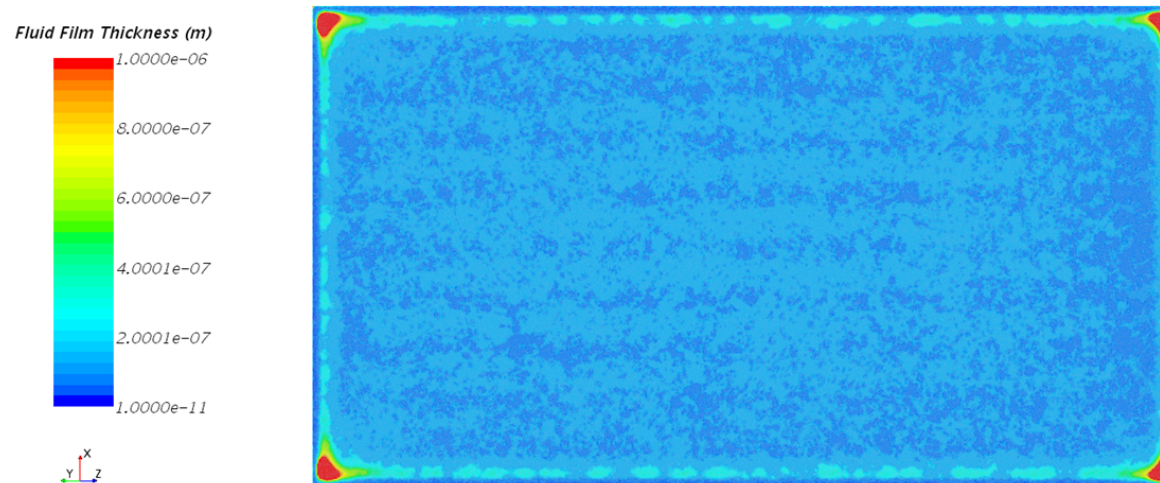
# Exkurs Feuchtesimulation (CFD)

## Ausgangszustand

- Kollektor vortemperiert auf  $10^{\circ}\text{C}$  (relative Luftfeuchtigkeit  $< 100\%$ )
- Umgebungstemperatur =  $10^{\circ}\text{C}$
- Spezifische Luftfeuchtigkeit im Kollektor =  $0,007 \text{ gWasser / gLuft}$
- Himmelstemperatur =  $-5^{\circ}\text{C}$

## Physikalisches Modell

- Mehrphasenströmung (Luft, Wasserdampf, Wasser)
- Grenzflächenfilmmodell
- Transiente Berechnung (für Strömung, Temperatur, Feuchte)





# Kollektorschnellprüfungen: Salzsprühnebelprüfung

## Ziel

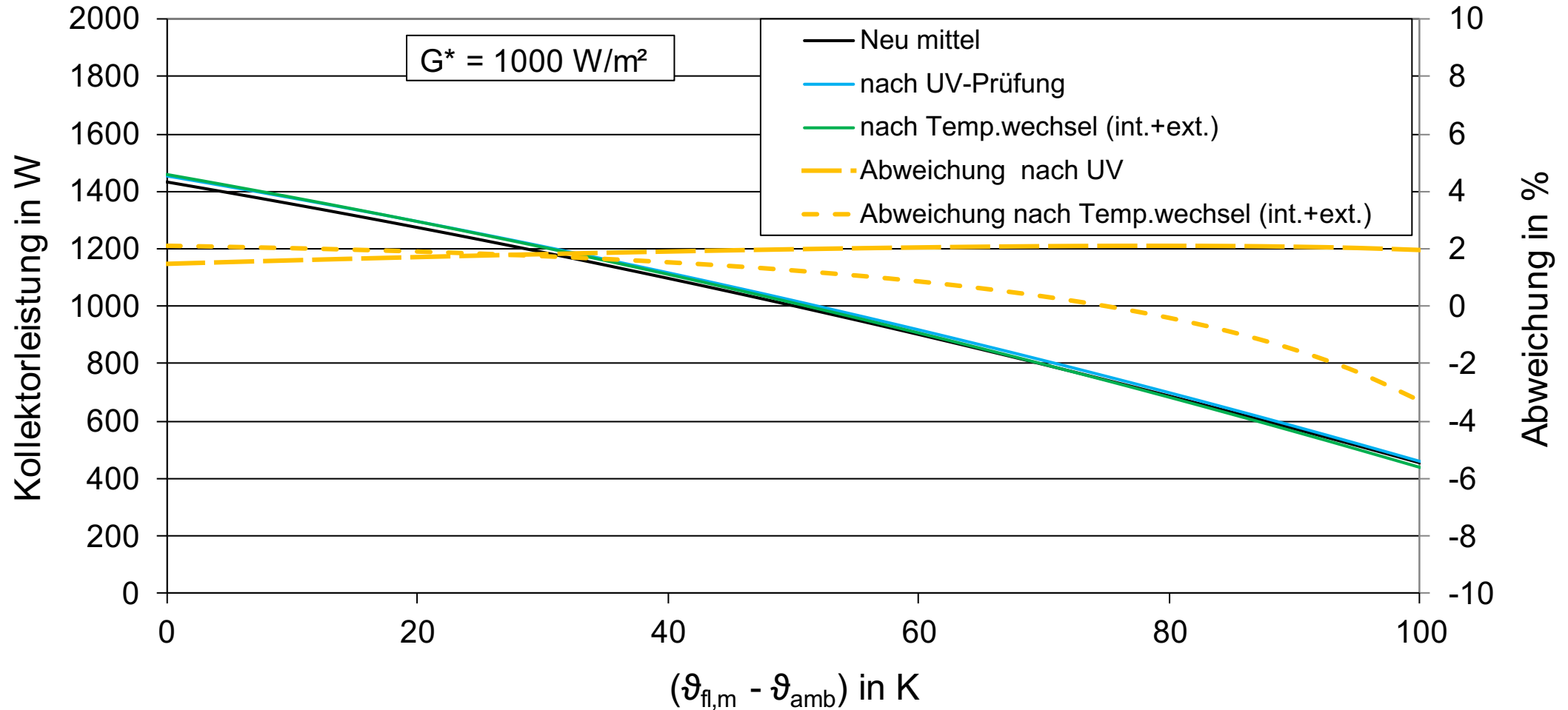
- Prüfung auf Beständigkeit gegenüber Salzeintrag ins Kollektorinnere und außenliegende Oberflächen (Rahmen, Anschlüsse etc.)

## Randbedingungen

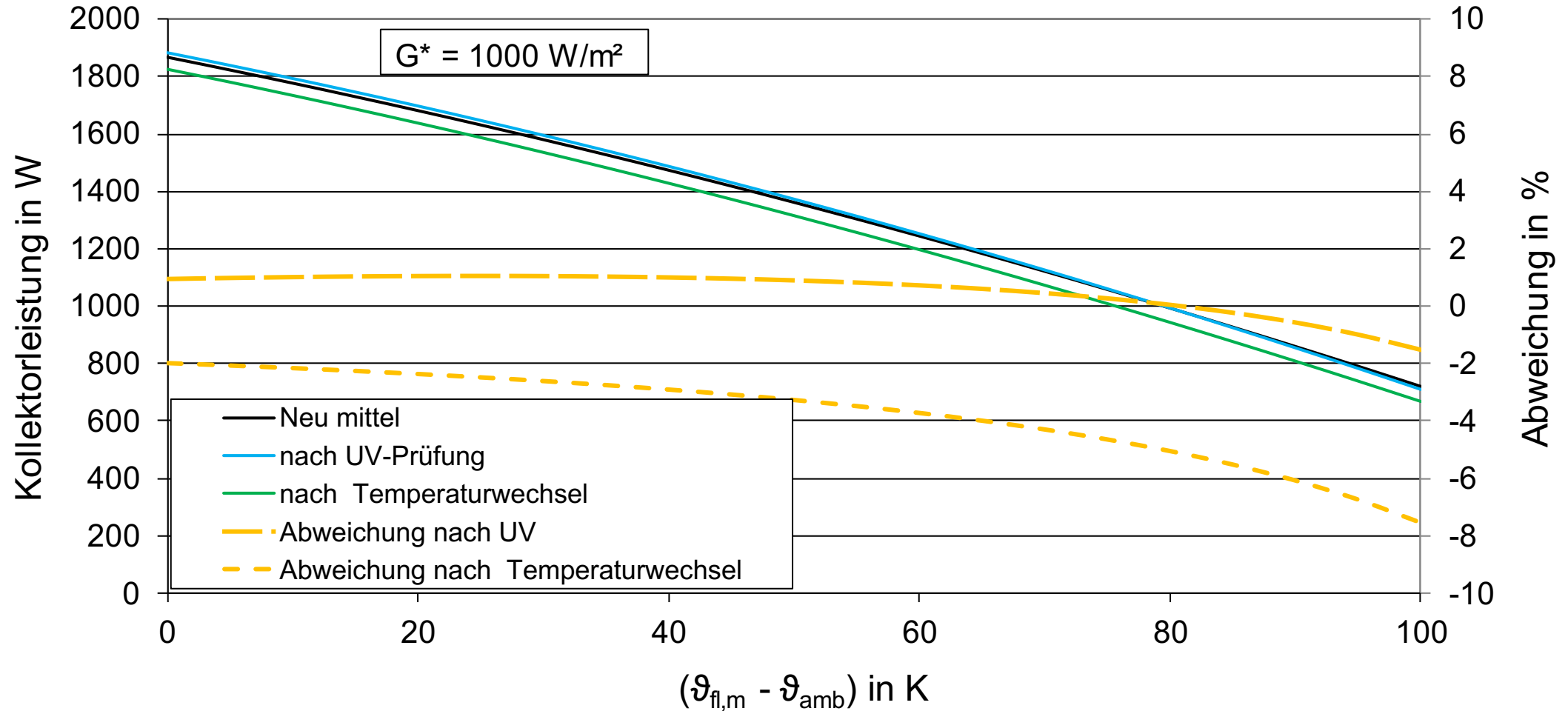
- 48 h Zyklus bestehend aus  
Sprühnebelphase: (2 x 2 h, 35 °C, 100% rF)  
Feuchtephase: (2 x 5 h, 1 x 10 h, 40 °C, 93 % rF)  
und Trockenphase: (24 h, 23 °C, 50 % rF)
- Salzgehalt der Sole: (3 ± 0,5 ) %
- Betrieb des Kollektors bei 60 °C
- 22 Zyklen



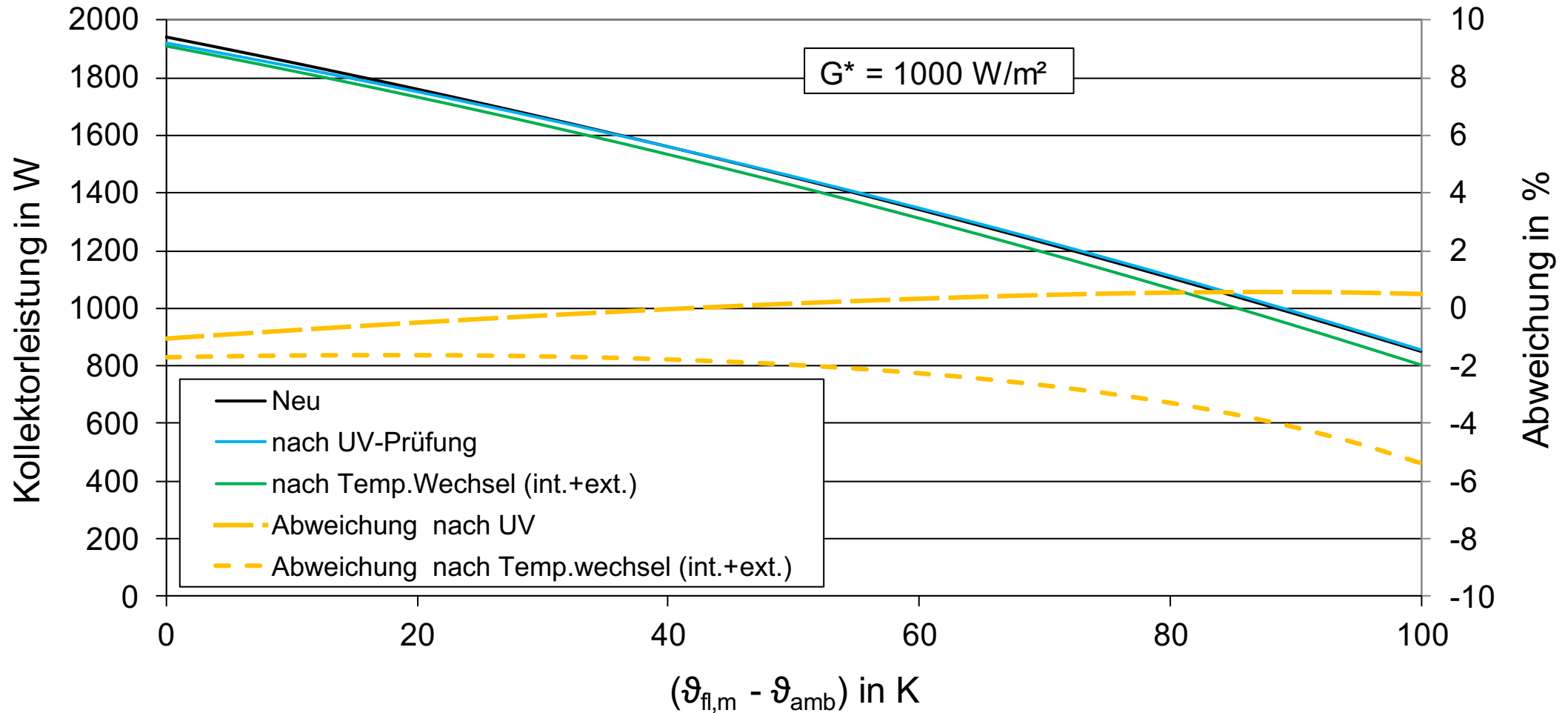
# Kollektorschnellprüfungen: erste Ergebnisse Typ I



# Kollektorschnellprüfungen: erste Ergebnisse Typ II



# Kollektorschnellprüfungen: erste Ergebnisse Typ III





# Entwickelte Kollektorschnellprüfungen und bisherige Ergebnisse

## Zusammenfassung

### ■ Folgende Kollektorschnellprüfungen wurden entwickelt

- UV-Prüfung
- Temperaturwechselprüfung (intern und extern)
- Hochtemperaturprüfung
- Feuchteprüfung
- Salzsprühnebelprüfung

### ■ Anwendung der bisher durchgeführten Kollektorschnellprüfungen bildet Degradationserscheinungen im Feld gut ab

### ■ Ausblick

- Fertigstellung der ausstehenden Kollektorschnellprüfungen
- Klassifizierung der Kollektoren
- Ableitung der Gebrauchsdauer

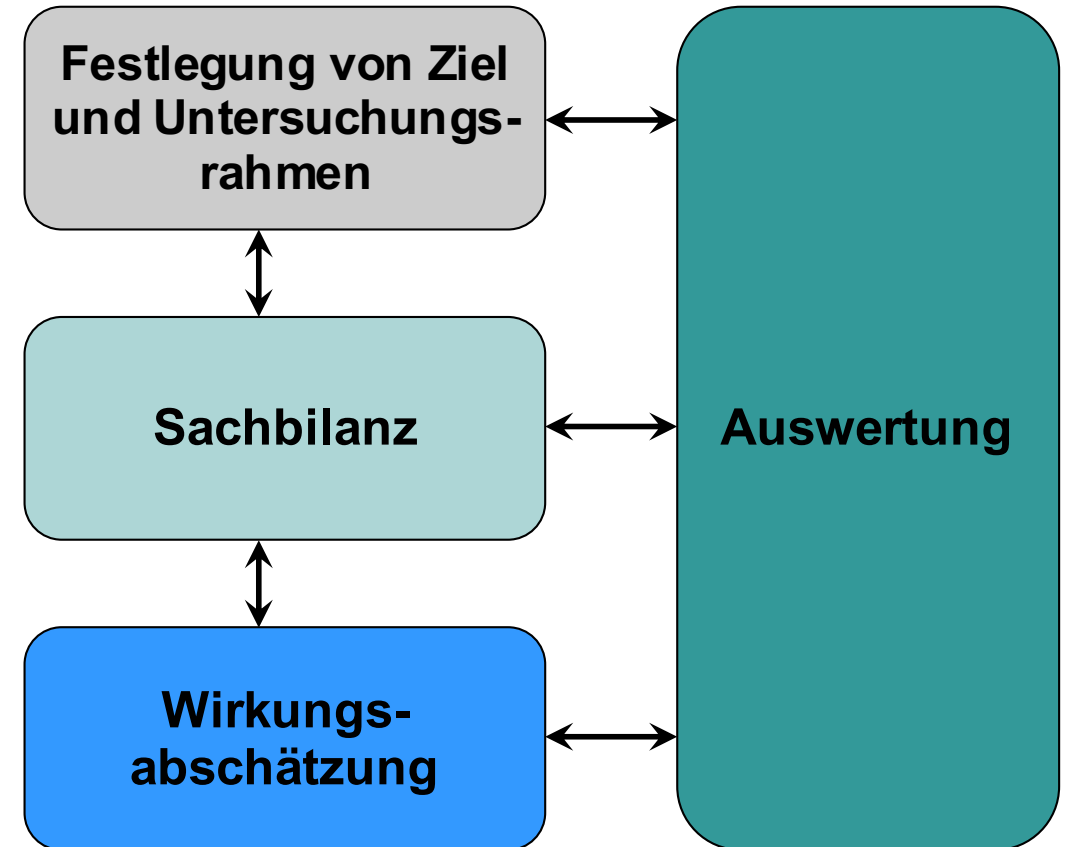
# Einfluss der Lebensdauer auf die Nachhaltigkeit

*Stephan Fischer, IGTE*

# Einfluss der Lebensdauer auf die Nachhaltigkeit

## Ökobilanz/Life Cycle Assessment (LCA)

- DIN EN ISO 14040/DIN EN ISO 14044
- Untersuchungsrahmen z. B. Kumbianlage
- Sachbilanz (Life Cycle Inventory LCI)
- Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment LCIA)



# Excel Tool für Sachbilanz Kombianlage

## Features und Möglichkeiten

- Referenz-Kombianlage implementiert (nicht veränderbar)
- Referenzkollektor implementiert (veränderbar)
  - Materialien, Fertigungsverfahren, Energiemix, Alterung
- Berechnung kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Berechnung energetische Amortisationszeit (EAZ)
- Berechnung Gesamtprimärenergieeinsparung ( $PEA_{save}$ )



# Energetische Amortisationszeit und Primärenergieeinsparung

## Berechnung der energetischen Amortisationszeit und der Primärenergieeinsparung

- Energetische Amortisationszeit EAZ:

*Energetischer Aufwand = Energetischer Ertrag*

$$KEA_h + KEA_b \times t + KEA_w \times t = PEA_{b,subs} \times t$$

$$EAZ = t = \frac{KEA_b}{PEA_{b,subs} - KEA_b - KEA_w}$$

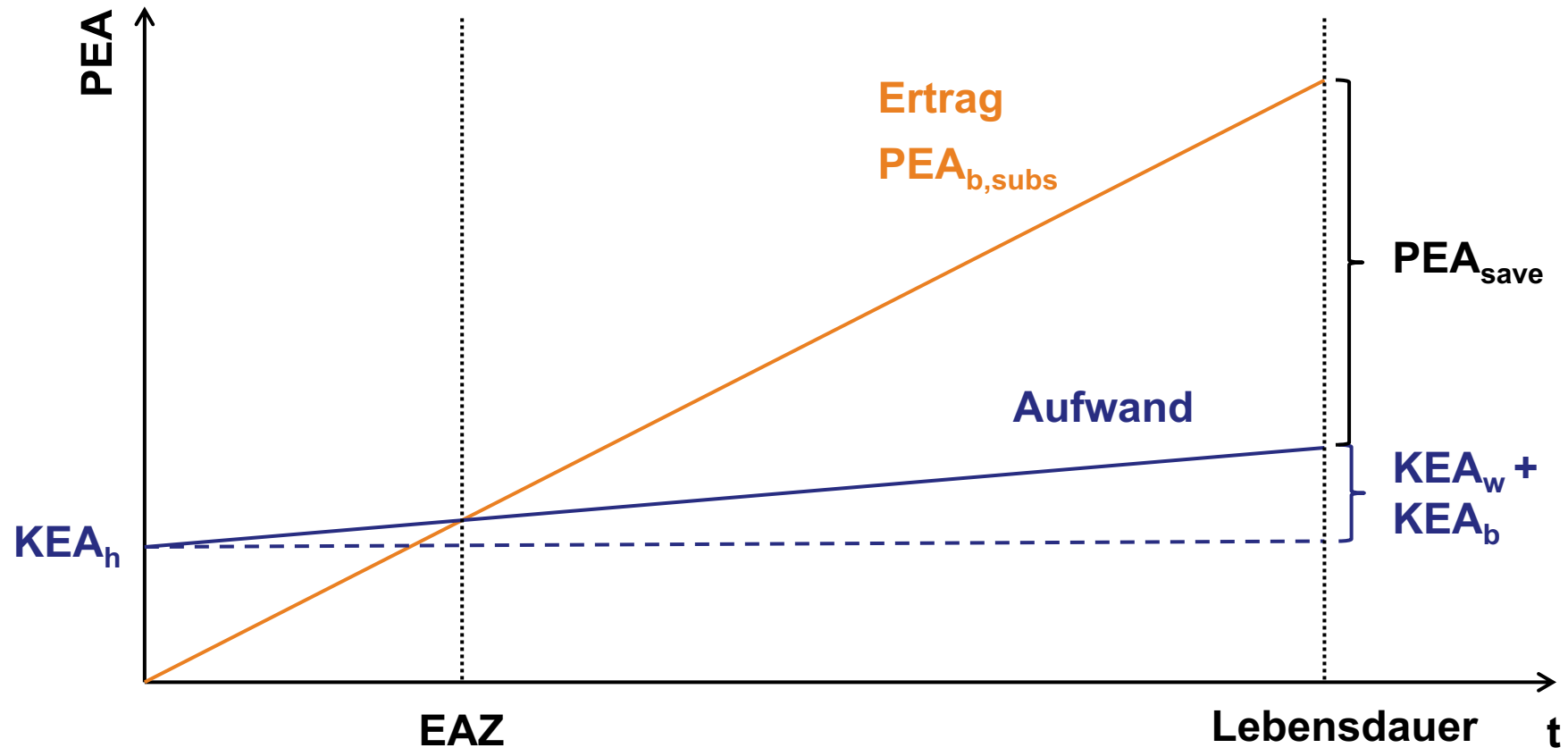
- Primärenergieeinsparung  $PEA_{save}$

*Energieeinsparung = Energetischer Ertrag – Energetischer Aufwand*

$$PEA_{save}(t) = PEA_{b,subs} \times t - (KEA_h + KEA_b \times t + KEA_w \times t)$$

# Energetische Amortisationszeit und Primärenergieeinsparung

Graphische Darstellung der energetischen Amortisationszeit und der Primärenergieeinsparung



# Referenzkollektor

## Allgemeine Angaben

- Bruttofläche: 2 m<sup>2</sup> (1 m x 2 m), Absorberfläche: 1,8 m<sup>2</sup>
- $\tau_{0}$ : 0.7 [-]
- $a_1$ : 4.0 [W/(m<sup>2</sup>K)]
- $a_2$ : 0.012[W/(m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>)]
- $c_{\text{eff}}$ : 6 [kJ/(m<sup>2</sup>K)]
- IAMdfu: 0.9

Einfallswinkel	0	20	30	40	50	60	70	80	90
IAMdir	1	0.99	0.98	0.97	0.93	0.86	0.7	0.35	0

# Referenzkollektor

## Absorber

- Harfe
- Aluminiumblech, Dicke 0,4 mm, PVD-beschichtet
- Sammlerrohre: 2 x 18 mm Kupferrohr, 0,8 mm Wandstärke, Länge 1 m
- 10x Absorberrohr: 10 x 8 mm Kupferrohr, 0,4 mm Wandstärke, Länge 1,85 m
- Verbindung Sammlerrohre und Absorberrohre: Hartlöten
- Verbindung Harfenrohre und Absorber: Laserschweißen, Energieaufwand 0.4 kWh/m<sup>2</sup>

## Rahmen

- Umlaufende Alu-Strangpressprofile 3,68 kg, Eloxierte Oberfläche 1,8 m<sup>2</sup>
- Rückwandklemmleiste aus Alu-Strangpressprofilen 0,85 kg
- Rückwandblech aus Alu 2,7 kg
- 4 Eckverbinder Stahl (4 x 0.024 kg), Silikon Komponente A (Rückwand) 0,256 kg Silikon Komponente B (Rückwand) 0,033 kg
- Kunststoffecken aus PA GF 30, 0,08 kg, Spritzguss
- Absorberdurchführungen aus EPDM, 0,05 kg



# Referenzkollektor

## Abdeckung

- Floatglas unbeschichtet, 3,2 mm, 1,97 m<sup>2</sup> (5 mm an jeder Seite kleiner als Bruttofläche)
- Abstandhalter Absorber/Glas (2 Stk.) aus PA GF 30, 0,012 kg, Spritzguss
- Glasklemmleiste aus Alu-Strangpressprofilen 1,725 kg, Eloxierte Oberfläche 0,144 m<sup>2</sup>
- Glaseindichtung aus EPDM, 0,56 kg

## Wärmedämmung

- 40 mm Glaswolle, 30 kg/m<sup>3</sup>, 2,364 kg

## Verpackung

- Europalette mit leichtem Holzaufbau für 8 Kollektoren, 26,4 kg
- 4 Styroporecken (4 x 0.192kg EPS)
- UMFANGBAND, POLYESTER 0,074 kg
- Folie, Glasschutz 0,443 kg

# Ausschnitt Eingabemaske EXCEL Tool

Bauteil	Datensatz	bilanzgröße	Einheit	Genauigkeit der Sachbilanzgröße	kWh oder kWh/a	
Kupferblech selektiv beschichten, Sputtern	-	0.000	m²		-	
Stahlblech hochlegiert selektiv beschichten, Schwarzchrom	-	0.000	m²		-	
<b>Absorber</b>	<b>Summe Absorber</b>		3.195	kg	134	
Bauteile aus Aluminium	Material / Prozess	Datensatz	Sachbilanzgröße	Einheit	Genauigkeit der Sachbilanzgröße	KEA in kWh
Aluminium		aluminium, primary, ingot [GLO]	53.884	8.955	kg	483
Aluminium Gusslegierung		aluminium, primary, ingot [GLO]	0.000		kg	-
Aluminium Knetlegierung		aluminium, primary, ingot [CA_QC]	0.000		kg	-
Aluminium gießen		aluminium, primary, ingot [CN]	0.000		kg	-
Aluminiumblech walzen		aluminium, primary, ingot [IAI Area 1]	0.000		kg	-
Aluminiumblech Tiefziehen		aluminium, primary, ingot [IAI Area 2, without Quebec]	2.583	2.700	kg	7
Aluminium Profil extrudieren		aluminium, primary, ingot [IAI Area 3]	0.000		kg	-
Aluminium Schweißen		aluminium, primary, ingot [IAI Area 4&5 without China]	0.000		kg	-
durchschnittliche Aluminiumbearbeitung		aluminium, primary, ingot [IAI Area 8]	4.798	4.530	kg	22
		section bar extrusion, aluminium [GLO]	0.000		m	-
		-	0.000		kg	-
		-	0.000		kg	-

# KEA, Energetische Amortisationszeit und Primärenergieeinsparung

		Material / Prozess	Datensatz	Sachbilanzgröße	Einheit	Genauigkeit der Sachbilanzgröße	KEA in kWh	
Herstellung	Kollektor (1 Stück)	Absorber	Kupfer	copper, from primary and recycled copper [GLO]	0,903	kg	1%	21
			Kupferdraht/-rohr ziehen	wire drawing, copper [RoW]	0,903	kg	1%	3
			Aluminium	aluminium, primary, ingot [GLO]	2,023	kg	0%	109
			Aluminiumblech walzen	sheet rolling, aluminium [RoW]	2,023	kg	0%	5
			Kupferblech selektiv beschichten, Vakuum	selective coating, copper sheet, physical vapour deposition [RoW]	1,853	m <sup>2</sup>	0%	7
			Summe Absorber		2,926	kg		145
		Rahmen	Aluminium	aluminium, primary, ingot [GLO]	5,225	kg	0%	282
			Aluminiumblech walzen	sheet rolling, aluminium [RoW]	2,316	kg	0%	6
			Aluminium Profil extrudieren	section bar extrusion, aluminium [RoW]	2,909	kg	0%	13
			Aluminiumblech eloxieren	anodising, aluminium sheet [RoW]	2,030	m <sup>2</sup>	0%	41
			niedrig legierter Stahl	steel, low-alloyed [GLO]	4,294	kg	0%	22
			Stahlblech walzen			kg	0%	6
			Verzinkung von Spulen			kg	2%	78
			Edelstahl			kg	25%	0
			durchschnittliche Edelstahl			kg	25%	0
	Messing				kg	2%	1	
	durchschnittliche Messing			kg	2%	0		
	Summe Rahmen		9,547	kg		449		
	Abdeckung	Solarglas eisenarm	solar glass, low-iron [RoW]	15,000	kg	3%	52	
		Solarglas antireflex-beschichten, ätzen	anti-reflex-coating, etching, solar glass [RoW]	2,000	m <sup>2</sup>	5%	15	
		Summe Abdeckung		15,000	kg		67	
	Dämmung/Dichtung	Glaswollmatte	glass wool mat [RoW]	1,871	kg	0%	23	
		Silikonprodukt	silicone product [RoW]	0,129	kg	0%	2	
		Summe Dämmung/Dichtung		2,000	kg		25	
	Produktionsinfrastruktur	Kollektorfabrik (anteilig für einen Kollektor)	solar collector factory [RoW]	1	Stk.	20%	2	
		Summe Produktionsinfrastruktur		29,473	kg		2	
		<b>Summe Kollektor (1 Stück)</b>		<b>29,473</b>	<b>kg</b>		<b>688</b>	
	7 Kollektoren	Summe Kollektoren (7 Stück)		206,311	kg		4815	
	Verpackung	Karton	carton board box production, with offset printing [RoW]	9,996	kg	0%	23	
		Polystyrolplatte expandiert	polystyrene foam slab [RoW]	0,028	kg	13%	1	
		Summe Verpackung		10,024	kg		24	
	Transport	LKW (unbestimmt)	size-specific lorry transport to generic lorry transport [RoW]	425	km	118%	57	
		Seefracht	transport, freight, sea, transoceanic ship [GLO]	19000	km	5%	201	
Summe Transport			19425	km		257		
	<b>Summe Kollektor, Verpackung und Transport</b>		<b>216,335</b>	<b>kg</b>		<b>5096</b>		

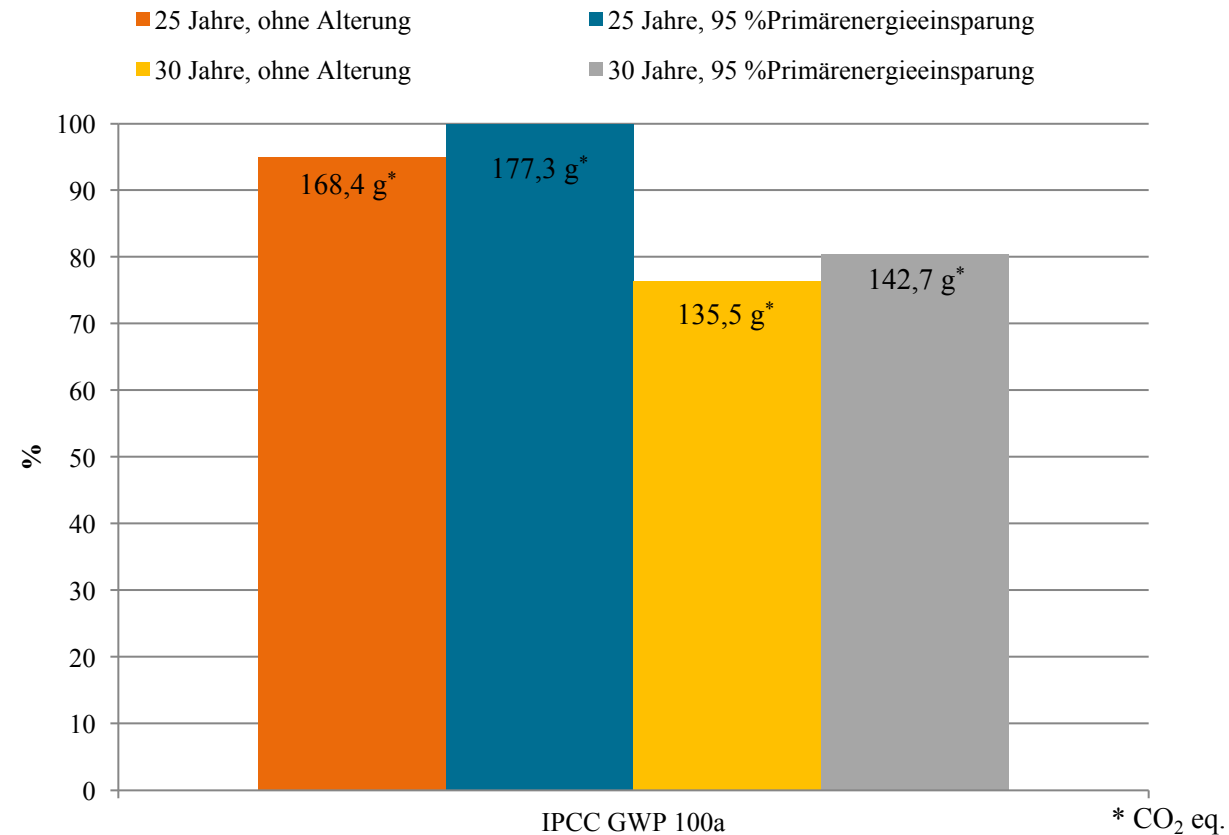
KEA Referenzkollektor: 831 kWh  
 EAZ Referenzkollektor: 3.8 Jahre  
 PEA<sub>save</sub> Referenzkollektor: 56.8 MWh

# Nachhaltigkeitsanalyse

## CO<sub>2</sub> Bilanz Kombianlage 16 m<sup>2</sup>, Referenzkollektor

### ■ Funktionelle Einheit = 1 kWh thermische Energie, Standort Würzburg

- Längere Lebensdauer führt zu mehr CO<sub>2</sub>-Einsparung, auch wenn Alterung miteinbezogen wird
- 5 % Verlust der Primärenergieeinsparung (durch Alterungseffekte) bedeutet einen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks um 8,9 g (25 a) bzw. 7,2 g (30a) CO<sub>2</sub> eq. pro kWh

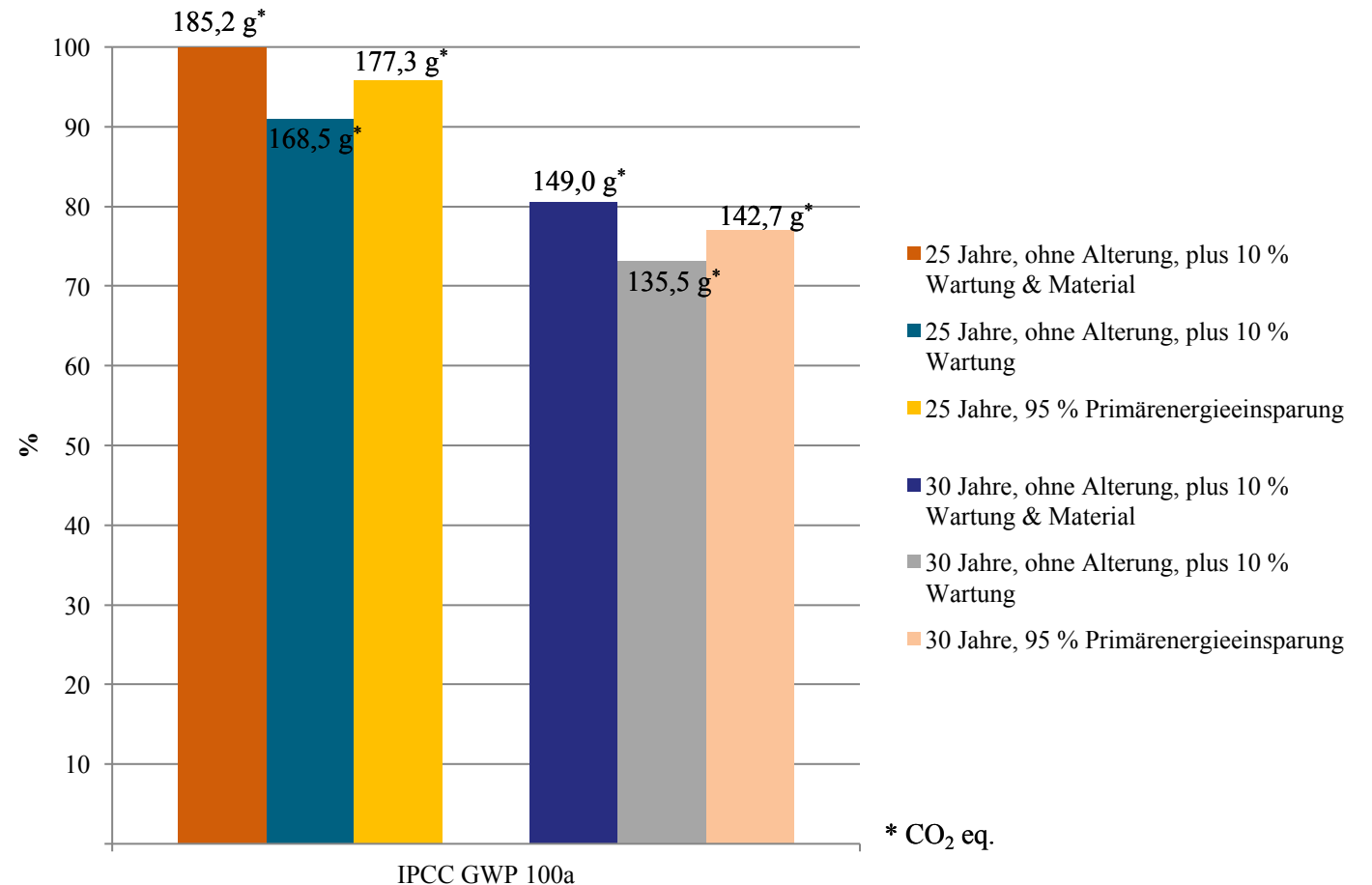


# Nachhaltigkeitsanalyse

## CO<sub>2</sub> Bilanz Kombianlage 16 m<sup>2</sup>, Referenzkollektor

### ■ Funktionelle Einheit = 1 kWh thermische Energie, Standort Würzburg

- Strategien zur Verbesserung der CO<sub>2</sub> Bilanz:
  - Längere Wartungsintervalle (Szenario plus 10% Wartung)
  - Optimierung Kollektordesign (bessere Dämmung oder Beschichtungen,...) -> Szenario plus 10 % Wartung & Material
  - Vorsicht: technische Optimierung des Kollektors in Form von zusätzlichem Material kann die CO<sub>2</sub>-Bilanz verschlechtern



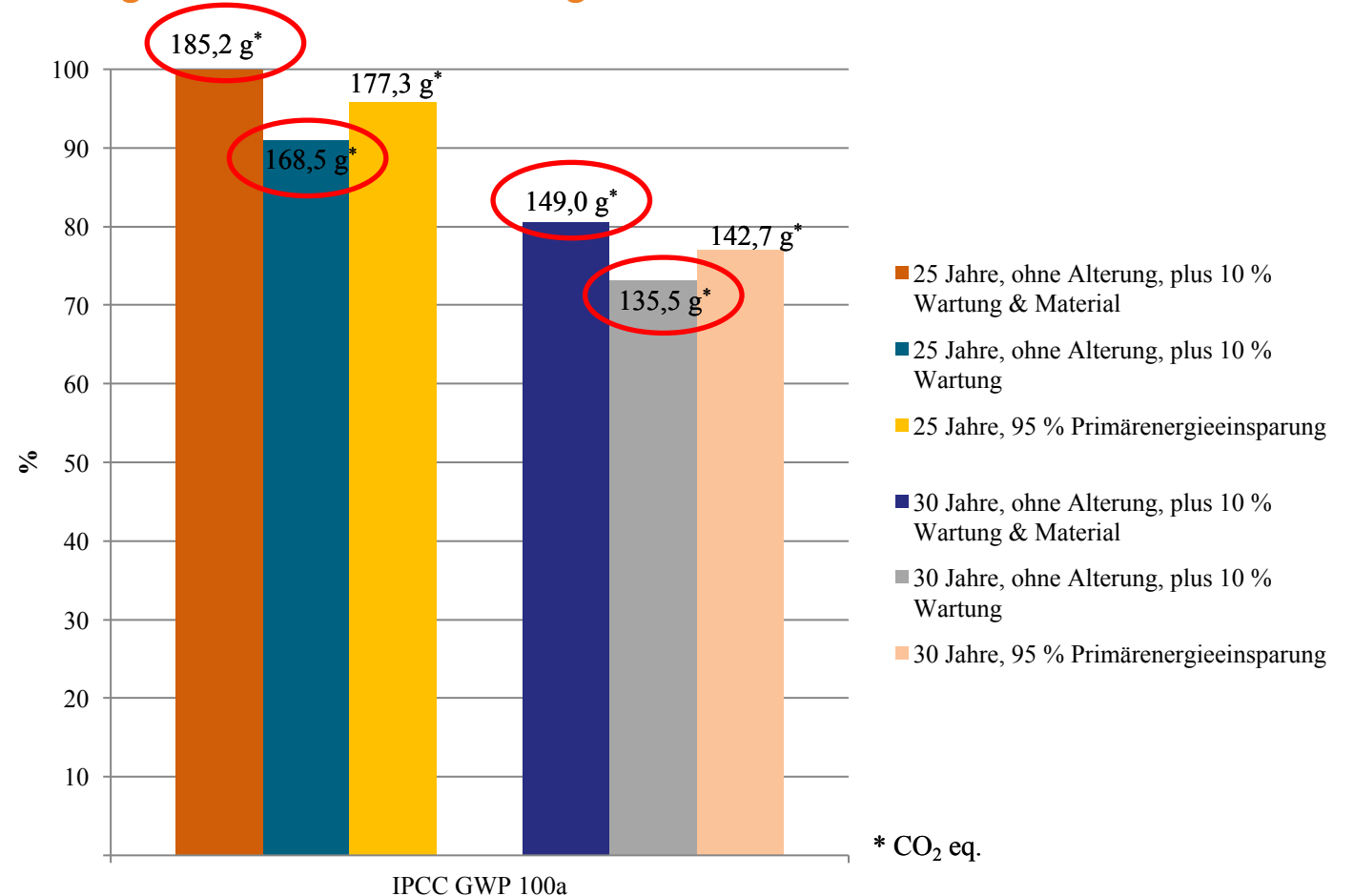


# Nachhaltigkeitsanalyse

## CO<sub>2</sub> Bilanz Kombianlage 16 m<sup>2</sup>, Referenzkollektor

### ■ Funktionelle Einheit = 1 kWh thermische Energie, Standort Würzburg

- Mit höheren Wartungsintervallen (und dadurch verhinderte Alterung) hat der Kollektor die beste CO<sub>2</sub>-Bilanz bei 25 sowie 30 Jahren Lebensdauer
- Eine zusätzliche Optimierung des Kollektors in Form von zusätzlichem Material kann die CO<sub>2</sub>-Bilanz verschlechtern



# Nachhaltigkeitsanalyse

## Zusammenfassung

### ■ EXCEL Tool zur Erstellung Sachbilanz und Ökobilanz erstellt

- Referenz-Kombianlage implementiert
- Referenzkollektor implementiert
- Berechnung kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Berechnung energetische Amortisationszeit (EAZ)
- Berechnung Gesamtprimärenergieeinsparung ( $PEA_{\text{save}}$ )

### ■ Referenzkollektor als Benchmark definiert

- LCA der Referenzkombianlage, hier am Beispiel CO<sub>2</sub>-Bilanz
- Längere Lebensdauer führt zu besserer CO<sub>2</sub>-Bilanz, auch wenn alterungsbedingt die Leistung geringer ist
- "Over-Engineering" kann die CO<sub>2</sub>-Bilanz möglicherweise verschlechtern

### ■ Ausblick

- Durchführung LCA für andere Wirkkategorien
- Durchführung der LCA mit realer Alterung

## Ausblick

*Karl-Anders Weiß, Fraunhofer ISE*

# Ausblick

- Abschluss der Arbeiten bis Ende Juli (Abschluss der Tests, Auswertung Ergebnisse)
- Wunsch des Konsortiums: Weiterführung der Exposition, um 10 a zu erreichen
- Projektskizze "Effizientes Heizen"

# Ausblick: Projektskizze Effizientes Heizen



Daten und Informationen für die ökologische und ökonomische Bewertung von Heizungssystemen

...

- ... fehlen
- ... sind schlecht kommunizierbar
- ... sind nicht vergleichbar
- ... usw...



# Ausblick: Projektskizze Effizientes Heizen

- Vergleichbare Bewertung von Heizungssystemen für Wohngebäude
  - Entwicklung einer grundsätzlichen Bewertungsmethodik
  - Wirtschaftlicher Vergleich
  - Ökologischer Vergleich
  - Bereitstellung von belastbaren Daten für gängige Heizungssysteme
  - Sensitivitätsanalysen zur Optimierung
  - Untersuchung der Wirkung von Steuerungsmaßnahmen und makroökonomischen Effekten
- 
- Vertretung Deutschlands in entsprechenden IEA Arbeitsgruppen

**Bei Interesse nehmen Sie bitte mit der Projektleitung (ISE oder IGTE) Kontakt auf.**

# www.speedcoll2.de

<https://www.speedcoll2.de/pdfs/Broschuere.pdf>

Publikationen

Info Sheets mit kompakten Ergebnissen zu einzelnen Themen

Herzlichen Dank an die Industriepartner, die Betreuer bei PTJ und die Projektmitarbeiter für die Finanzierung, exzellente Unterstützung, Zusammenarbeit und das langjährige und enorme Engagement!

# Fragerunde



**Dr. Karl-Anders Weiß**  
Fraunhofer ISE  
Thermische Systeme und  
Gebäudetechnik  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
+49 761 4588-5474  
karl-anders.weiss@ise.fraunhofer.de



**Thomas Kaltenbach**  
Fraunhofer ISE  
Gebrauchsdaueranalyse und  
Materialcharakterisierung  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
thomas.kaltenbach@ise.fraunhofer.de



**Dr. Stephan Fischer**  
Institut für Gebäudeenergetik,  
Thermotechnik und Energiespeicherung  
Pfaffenwaldring 10  
70569 Stuttgart  
+49 711 685-63231  
stephan.fischer@igte.uni-stuttgart.de



**Andreas Eitelbuß**  
Institut für Gebäudeenergetik,  
Thermotechnik und Energiespeicherung  
Pfaffenwaldring 10  
70569 Stuttgart  
+49 711 685-63280  
andreas.eitelbuss@igte.uni-stuttgart.de



**Geben Sie Ihre Fragen in das Fragemodul  
(rechts auf Ihrem Bildschirm) ein:**

A screenshot of a webinar question module interface. The window title is "Fragen". On the left side, there is a vertical toolbar with four icons: a right-pointing arrow, a microphone with a slash, a document, and a hand with a green arrow. The main content area contains a text box with the message: "Willkommen im Webinar. Bitte geben Sie Ihre Fragen und Anmerkungen im Frage-Modul ein, wir freuen uns auf den Austausch." Below this is a text input field with the placeholder text "[Frage an Mitarbeiter eingeben]". At the bottom right of the input field is a "Senden" button.





# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Und so geht es morgen (ab 10:30 Uhr) weiter:

**BEGRÜSSUNG UND SITZUNG 1:  
Politische Initiativen und innovative Geschäftsmodelle**