

---

# Kollektoren weltweit: Degradationseffekte & Messergebnisse

---



Dr. Stephan Fischer

*Universität Stuttgart*

*Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)*

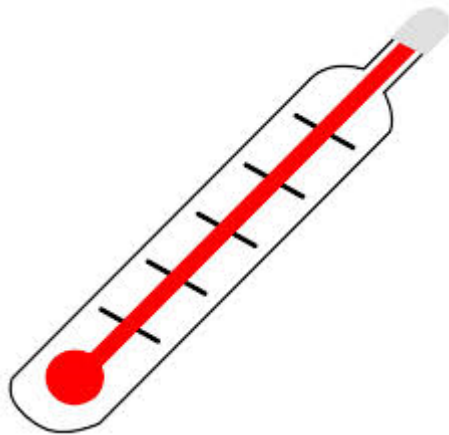
*Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)*

# Kollektoren weltweit: Degradationseffekte & Messergebnisse

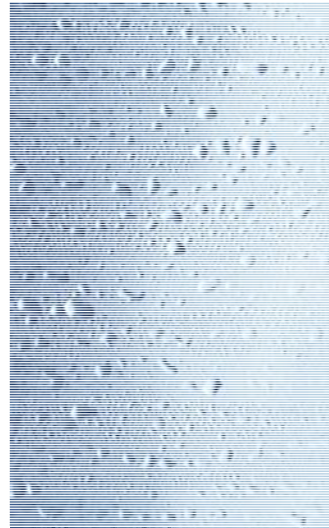
- Degradationseffekte am Gesamtkollektor
  - Was haben wir erwartet?
  - Was ist passiert
- Bauteiltemperaturen
  - Messung und Modellierung
  - Simulationen
- Feuchte im Kollektor
  - Ergebnisse Messung
- Kollektoren vor und nach der Exposition
  - Leistung
  - Aussehen

# Zu untersuchende Degradationsfaktoren laut Projektantrag

**Hohe  
Betriebstemperaturen**



**Feuchte**



**Salzhaltige  
Atmosphäre**



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse zu Projektbeginn

### Höchste Risikoprioritätszahlen Erwartete Degradation



#### Dicht- und Klebmaterialien

- Undichtigkeit
- Versagen der Klebung
- Ausgasung

#### Absorberbeschichtung

- Veränderung der optischen Eigenschaften
- Veränderungen im Aussehen

#### Wärmedämmung

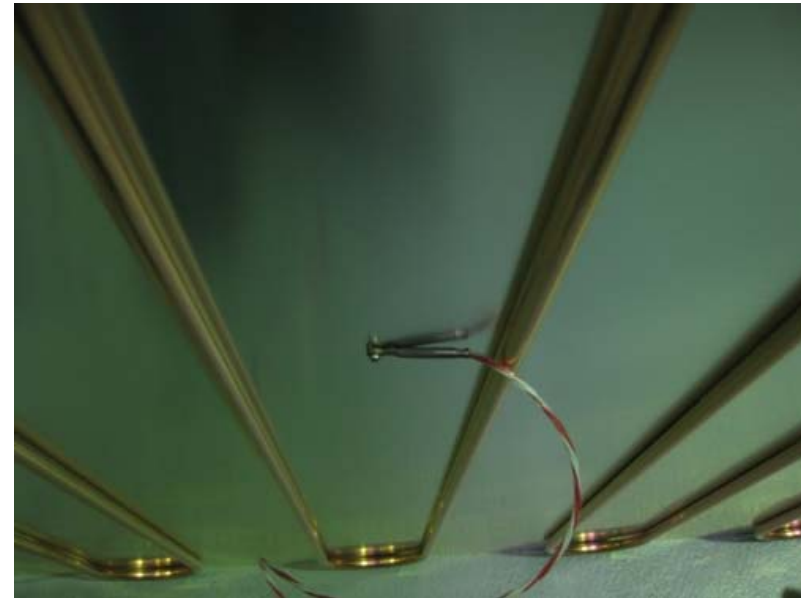
- Durchfeuchtung

#### Dicht- und Klebmaterialien

- Versagen der Klebung

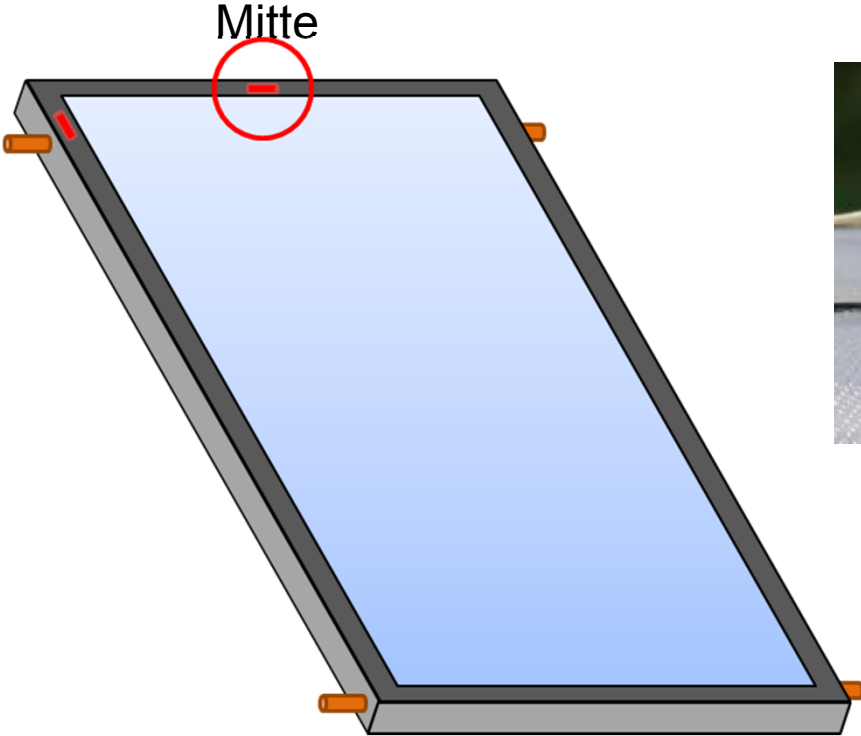
# Degradationseffekt Temperatur Messungen

Auf 2/3 Höhe und mittig bezüglich der Breite



# Degradationseffekt Temperatur Messungen

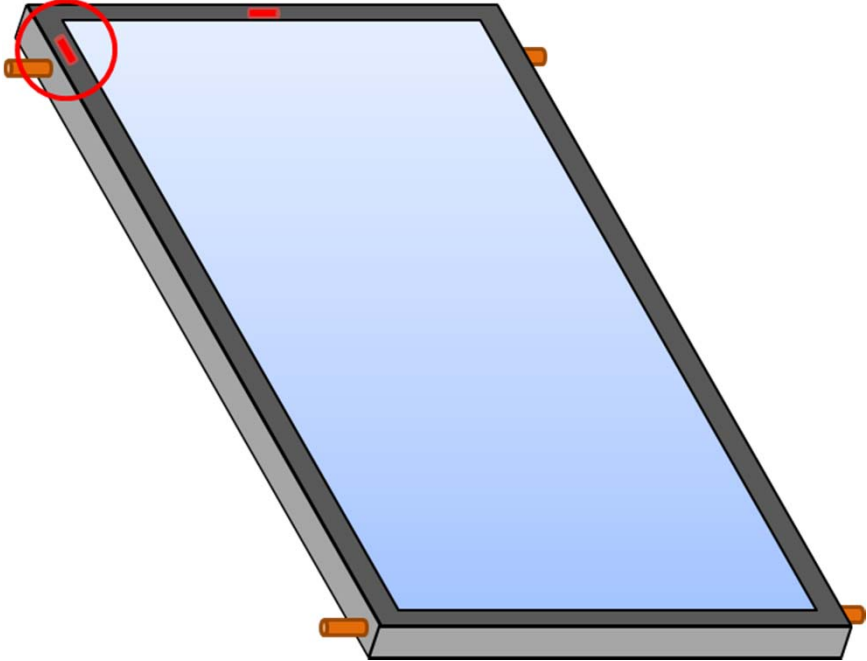
Vorderseite



# Degradationseffekt Temperatur Messungen

Vorderseite

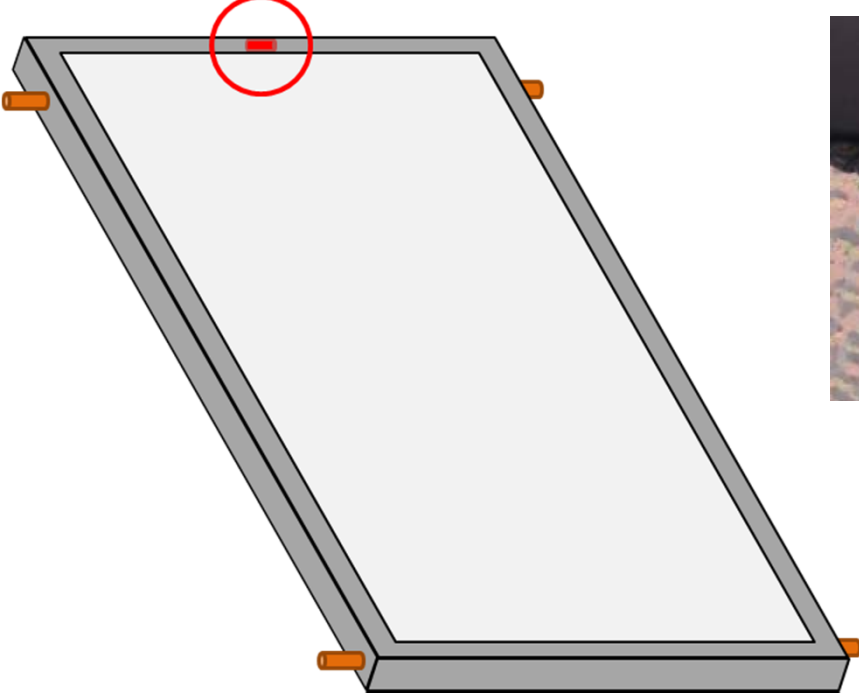
Anschluss



# Degradationseffekt Temperatur Messungen

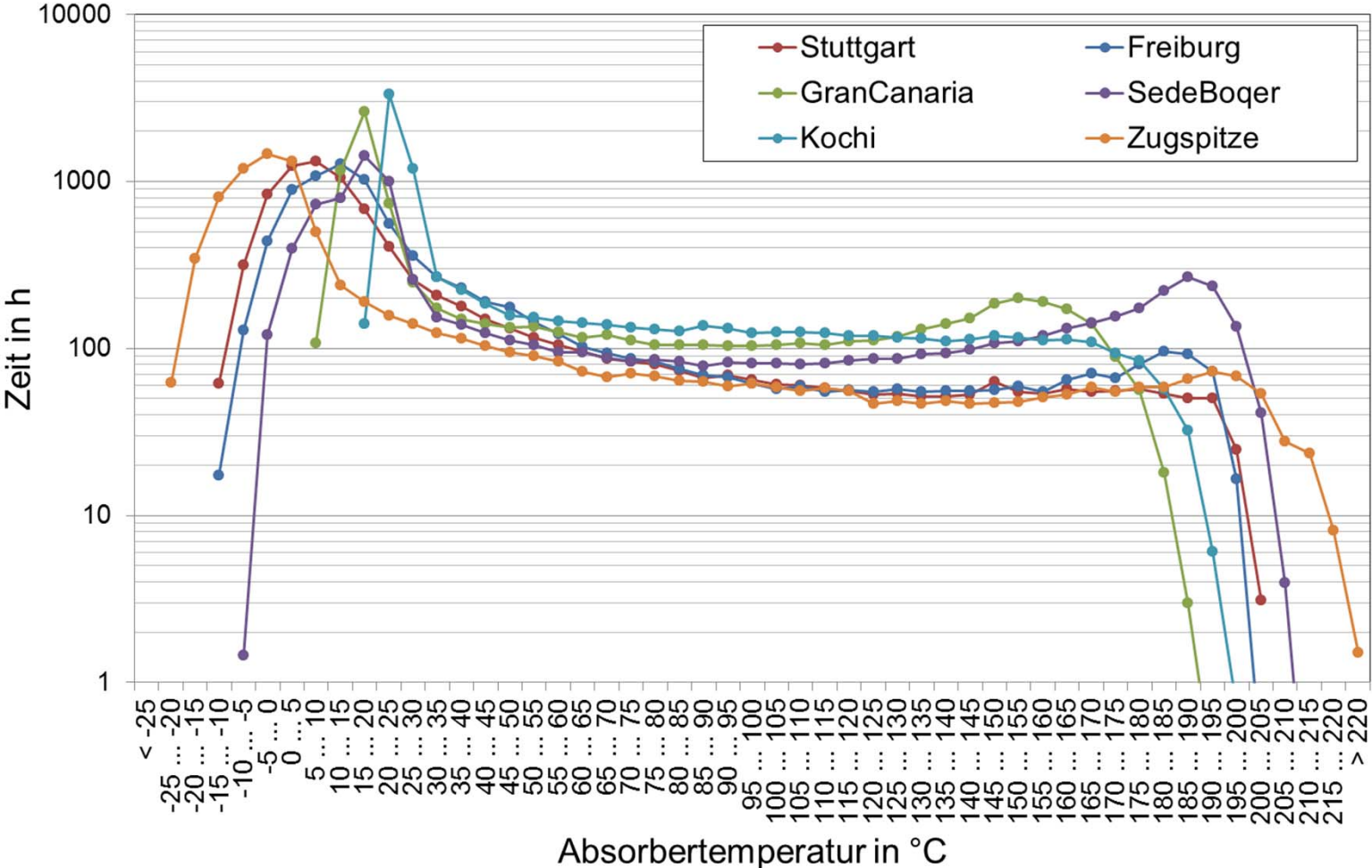
Rückseite

Mitte

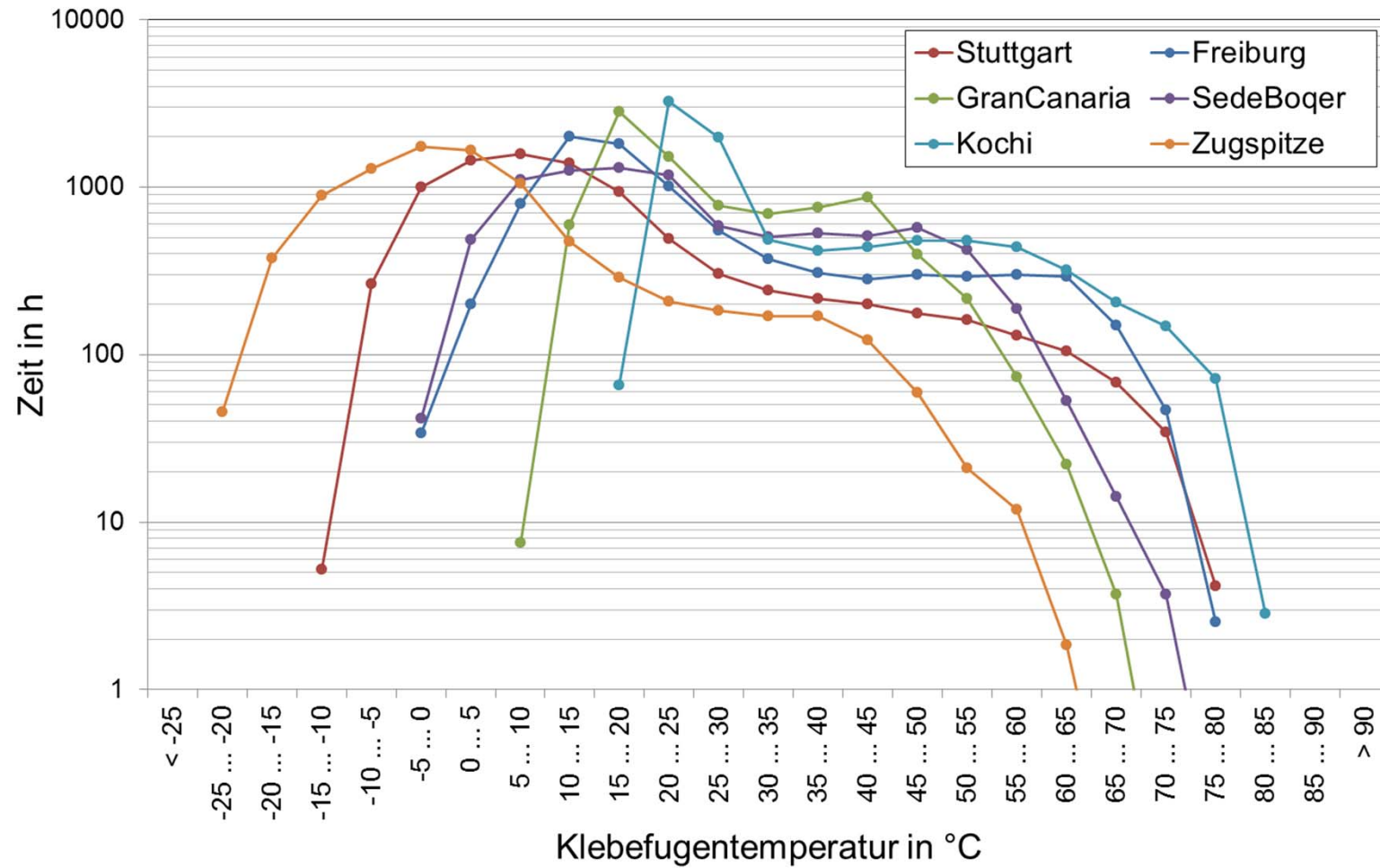




# Degradationseffekt Temperatur Absorber



# Degradationseffekt Temperatur Klebefuge



# Degradationseffekt Temperatur

## Erkenntnisse

- Höchste Absorbiertemperatur auf der Zugspitze
- Höchste Temperaturspreizung auf der Zugspitze
- Vermeidliche „heiße Standorte“ zeigen vergleichsweise niedrige Temperaturen aufgrund des Neigungswinkel (höhere Konvektions- und Strahlungsverluste)
- Höchste Klebefugentemperatur in Kochi aufgrund der höchsten Umgebungstemperatur
- Zur Untersuchung der Temperaturbelastung in Abhängigkeit des Standorts und der Anwendung ist Modellierung der Bauteiltemperaturen notwendig

# Modellierung Bauteiltemperaturen Absorber

Modellierung in Abhängigkeit von:

- Hemisphärischer Bestrahlungsstärke
- Einfallswinkel der hemisphärischen Bestrahlungsstärke
- Umgebungstemperatur
- Neigungswinkel
- Betriebszustand (durchströmt / nicht durchströmt)

$$c_{abs} \frac{d\vartheta_{abs}}{dt} = C_1 \cdot G \cdot K_{b,abs}(\theta) - C_2(\beta) \cdot (\vartheta_{abs} - \vartheta_{amb}) - C_3 \cdot (\vartheta_{abs} - \vartheta_{amb})^2$$

$$C_2(\beta) = C_{21} \cdot \left( 1 + \frac{45 - \beta}{C_{22}} \right)$$

$$\vartheta_{abs} = C_4 + C_5 \cdot \vartheta_{fl,m}$$

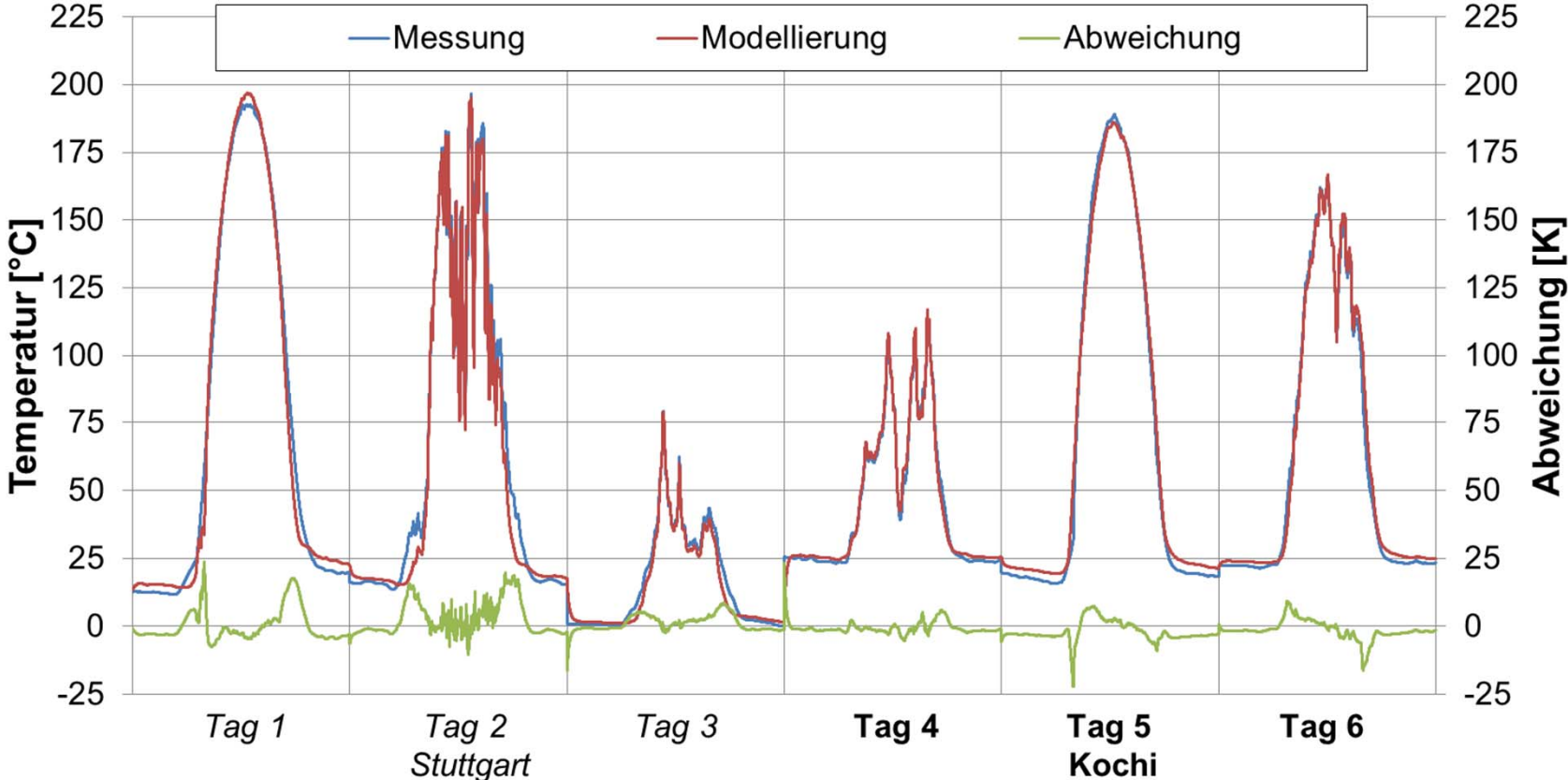
# Modellierung Bauteiltemperaturen Klebefuge

Modellierung in Abhängigkeit von:

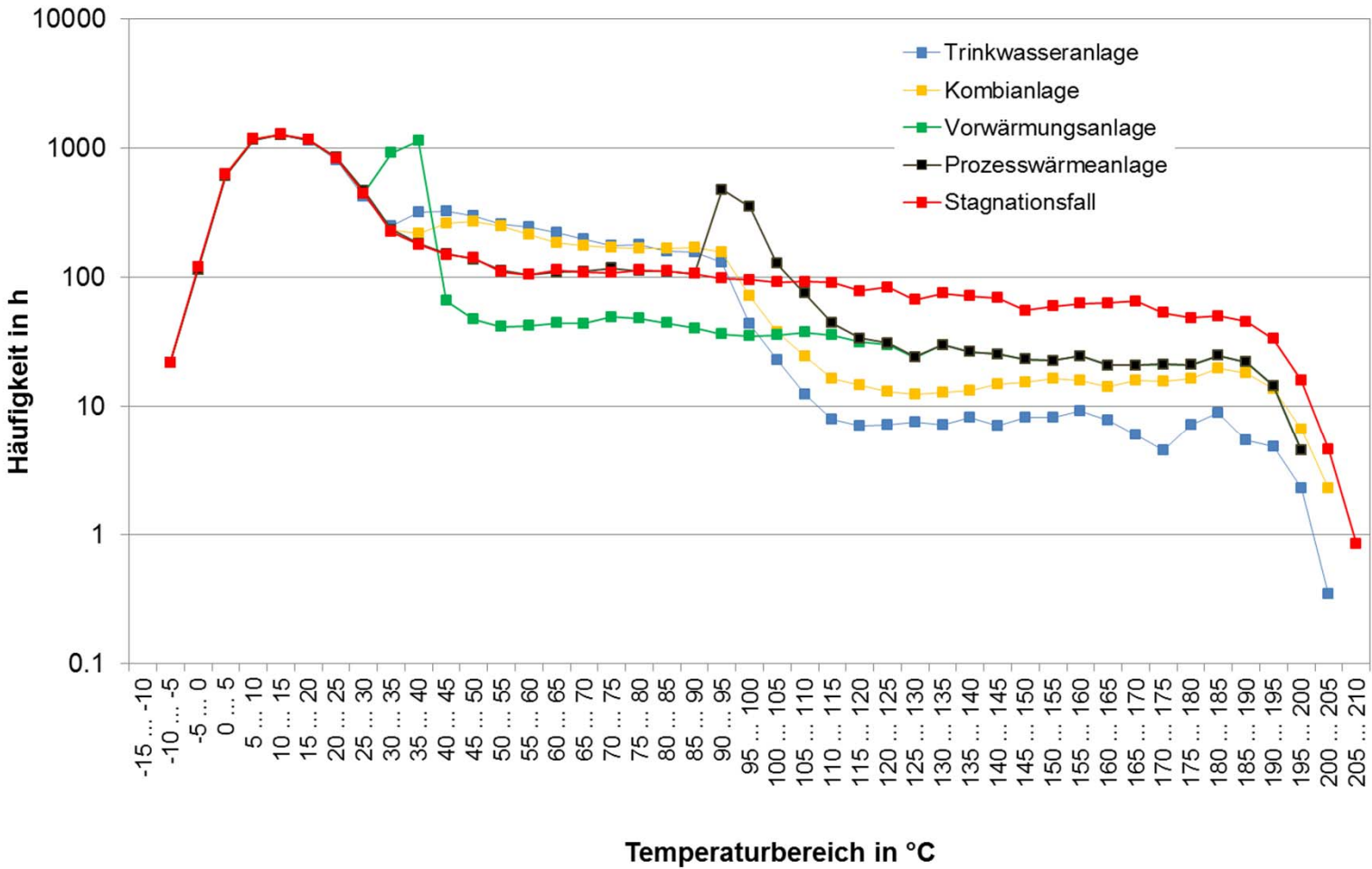
- Hemisphärischer Bestrahlungsstärke
- Absorbiertemperatur
- Umgebungstemperatur

$$c_{KF} \frac{d\vartheta_{KF}}{dt} = C_6 \cdot G - C_7 \cdot (\vartheta_{KF} - \vartheta_{amb}) - C_8 \cdot (\vartheta_{KF} - \vartheta_{abs})$$

# Modellierung Bauteiltemperaturen Absorber



# Modellierung Bauteiltemperaturen Absorber im Betrieb am Standort Würzburg



# Modellierung Bauteiltemperaturen Absorber im Betrieb an unterschiedlichen Standorten





# Degradationseffekt Feuchte Messungen

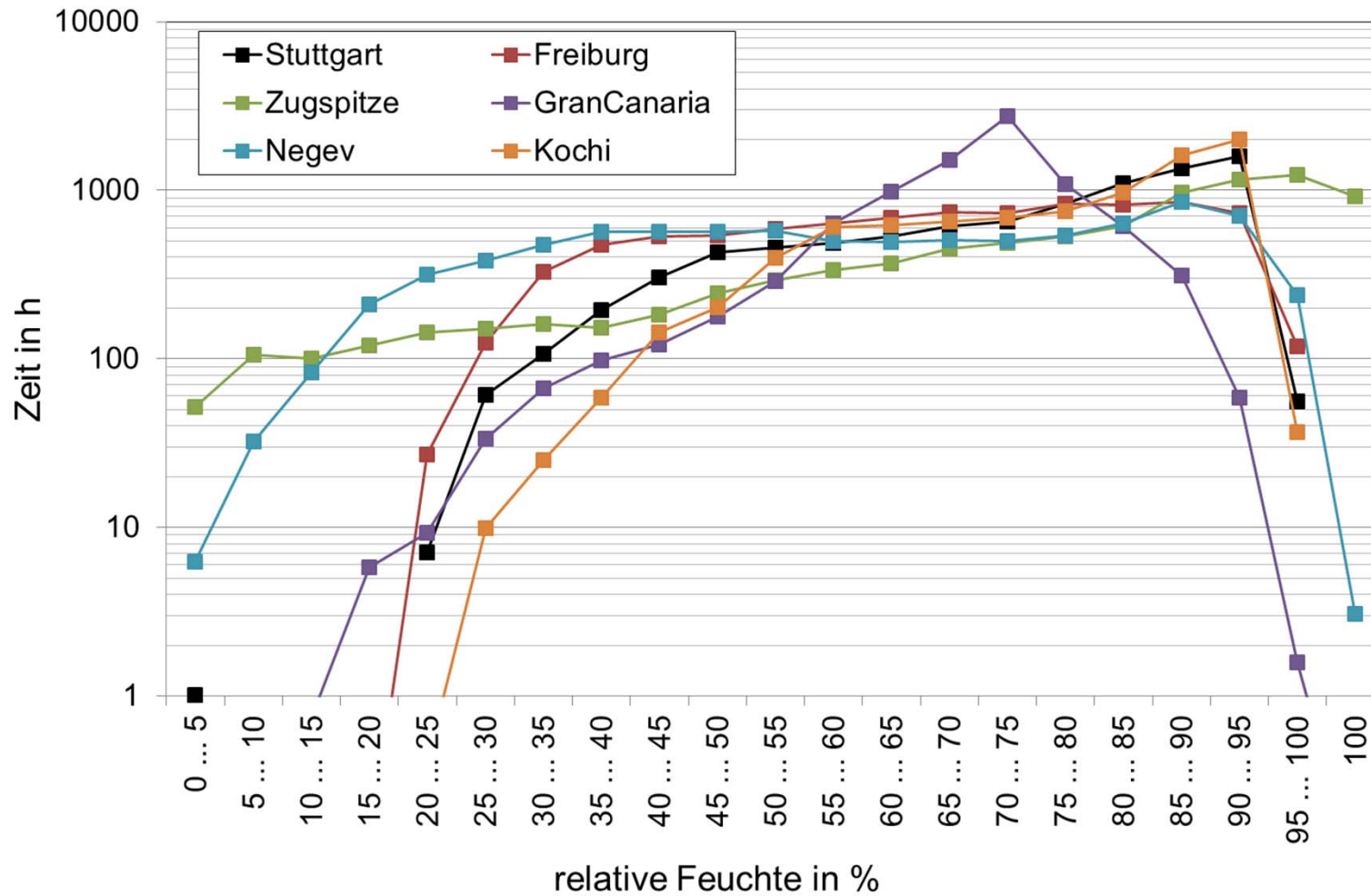
Erfasst werden:

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



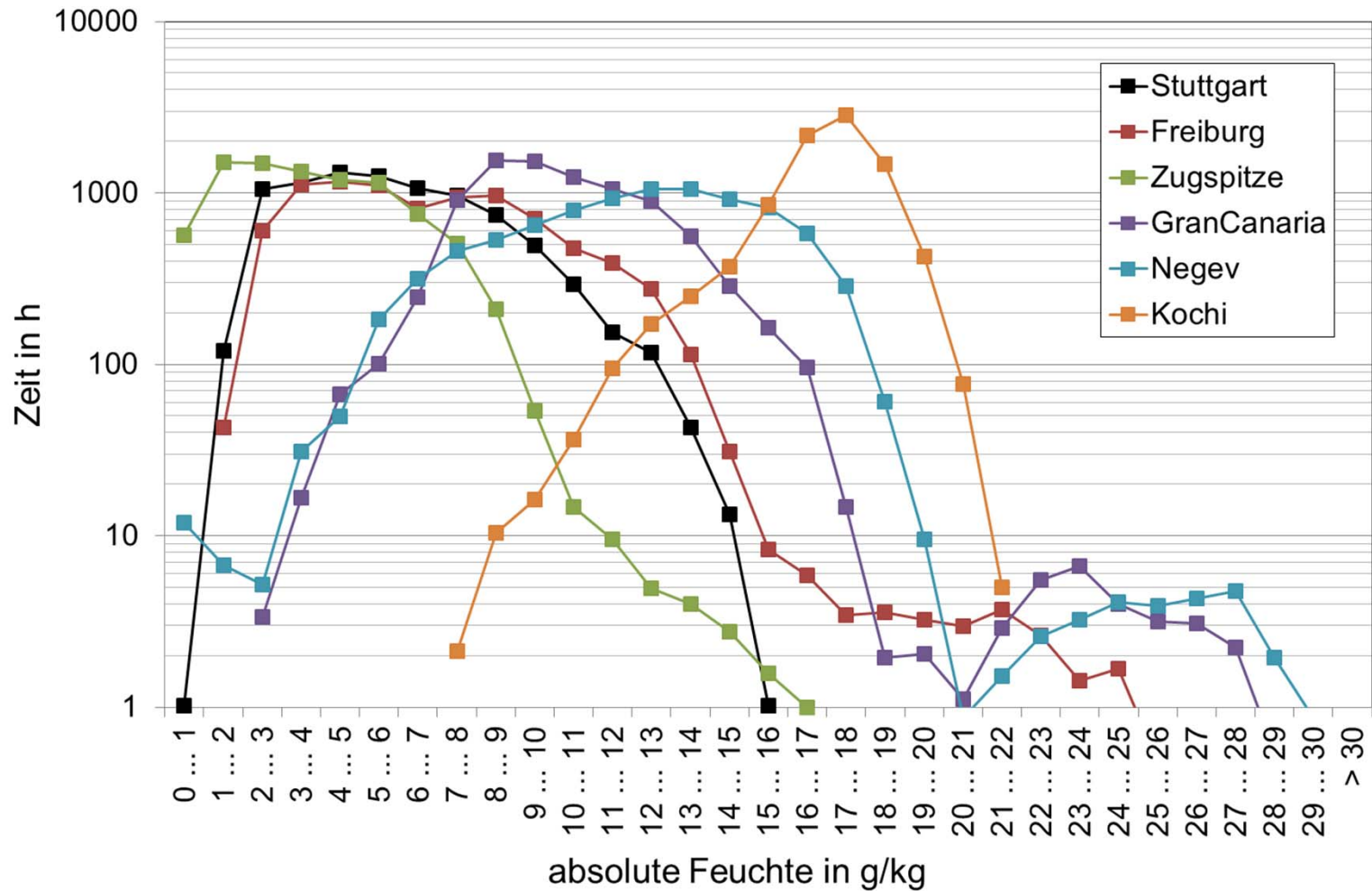
# Degradationseffekt Feuchte

## Messung relative Feuchte

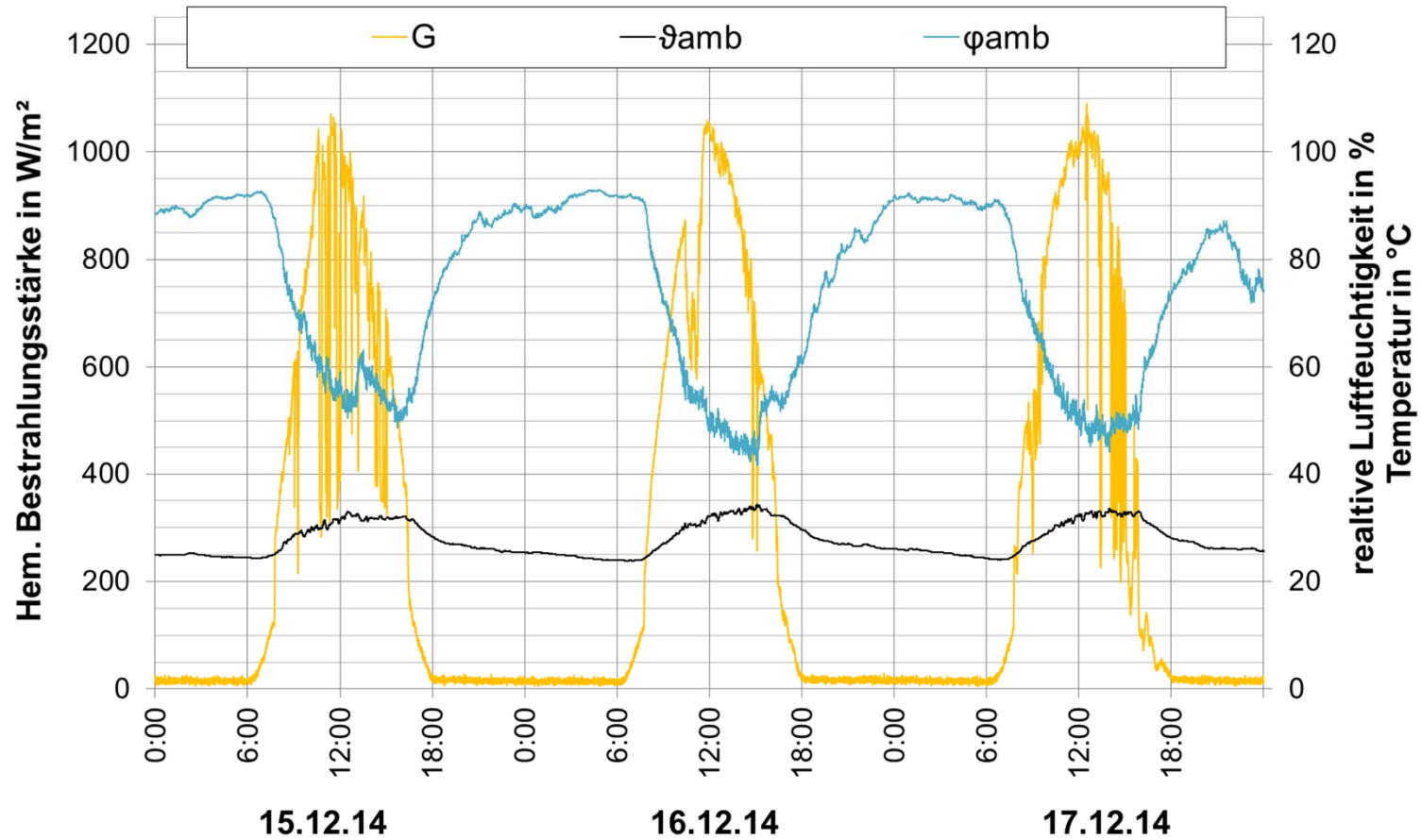


# Degradationseffekt Feuchte

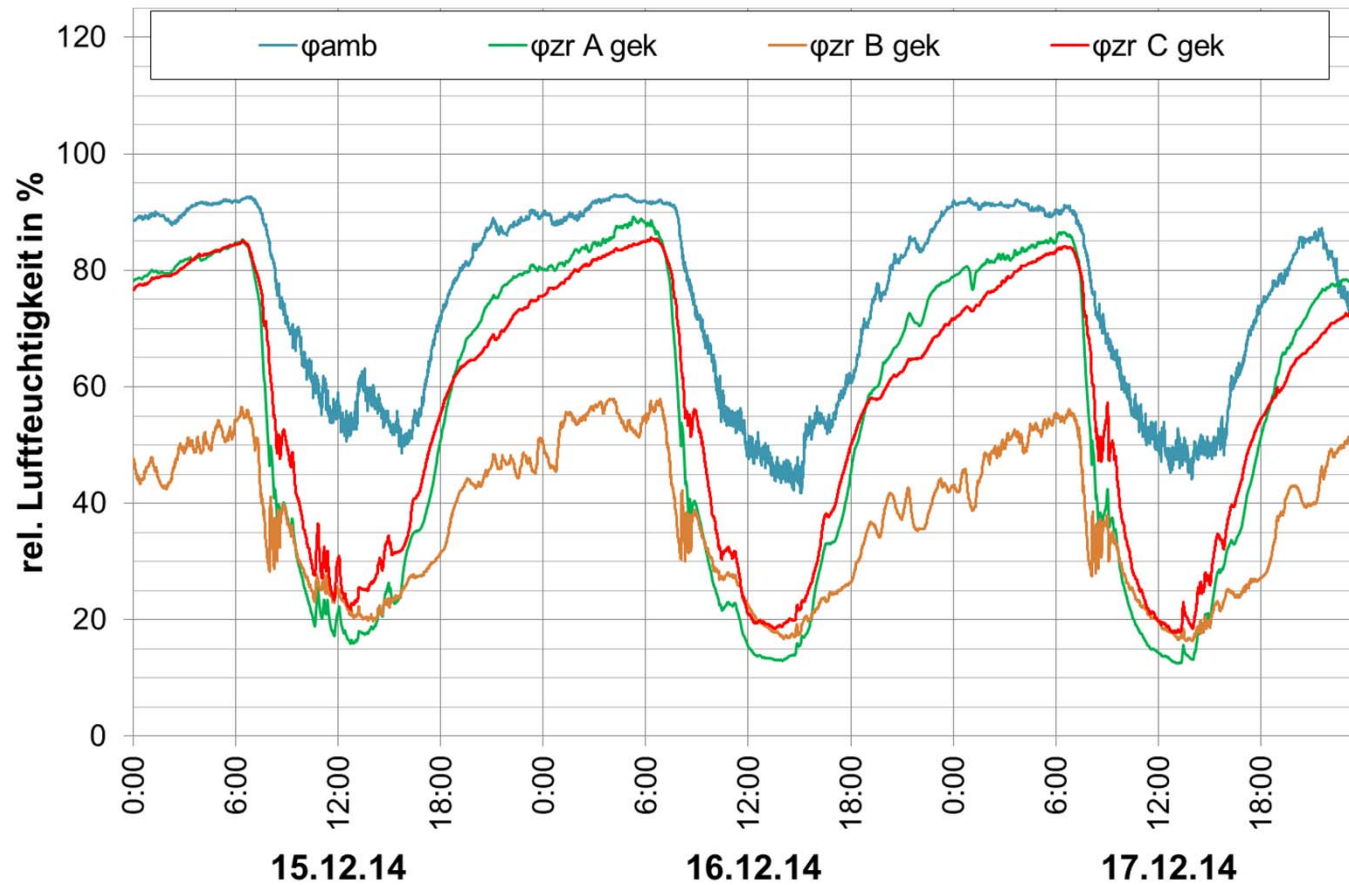
## Messung absolute Feuchte



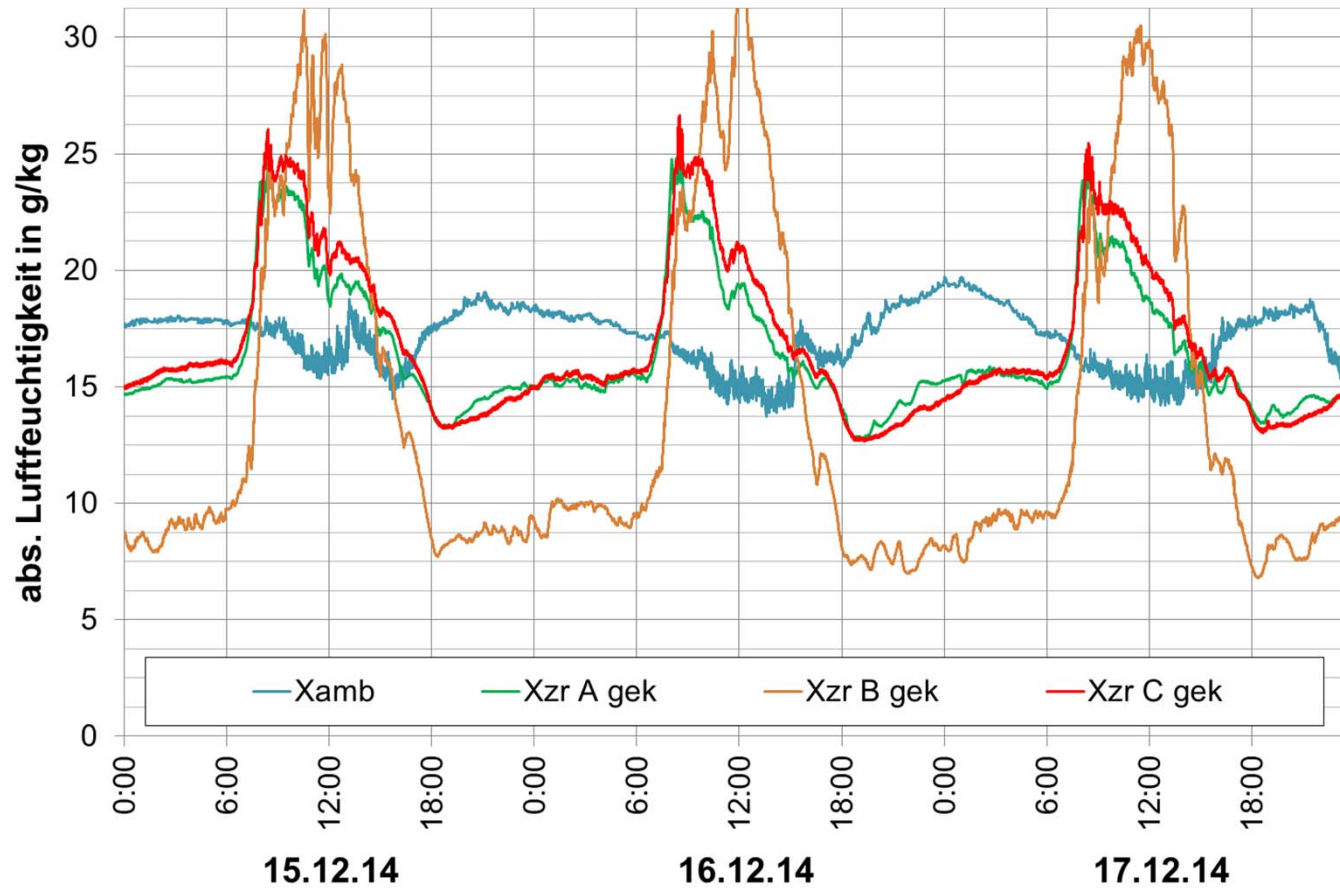
# Exposition Kochi - Umgebung



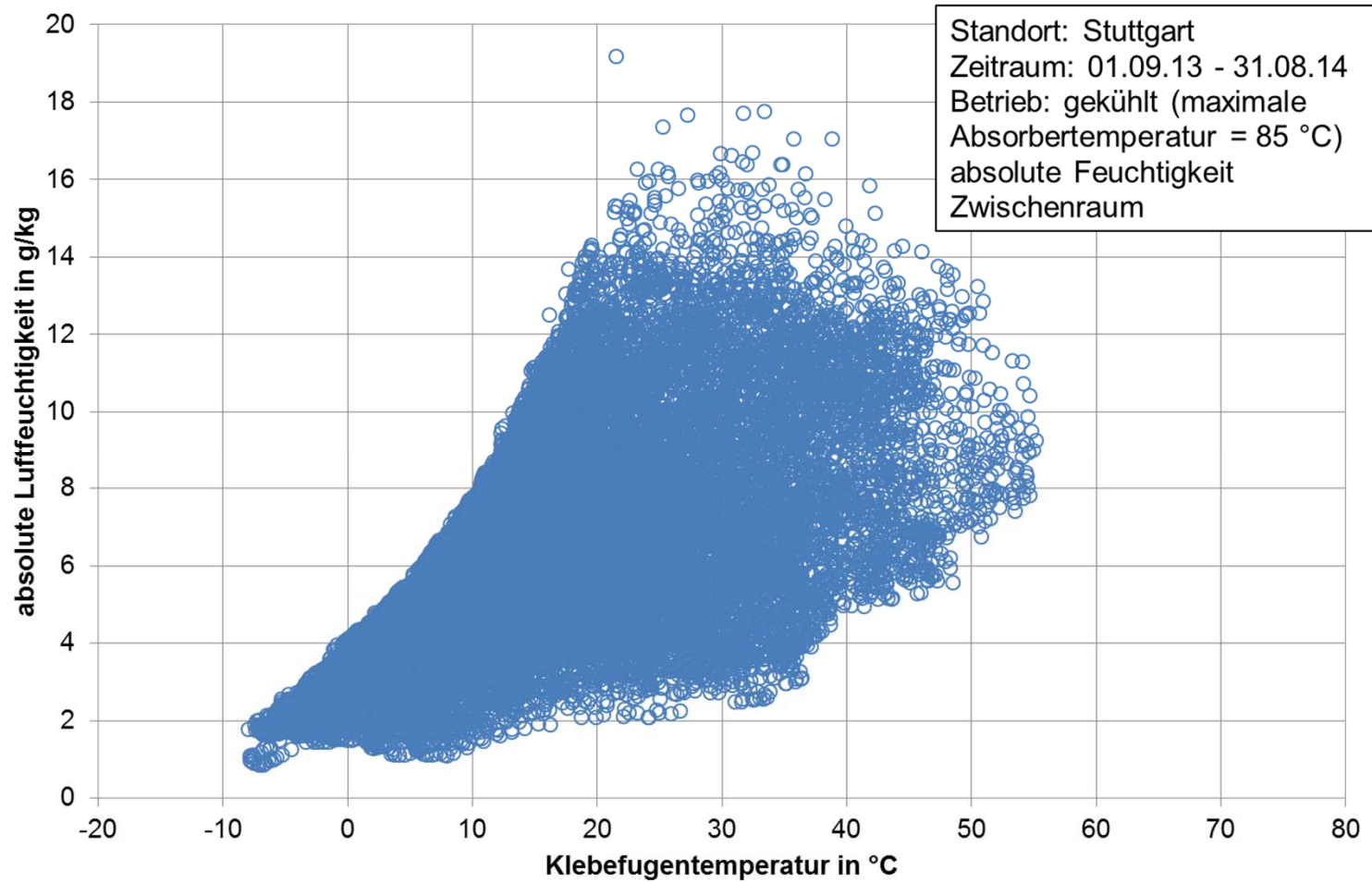
# Exposition Kochi - rel. Feuchte Kollektoren



# Exposition Kochi - abs. Feuchte Kollektoren



# Absolute Feuchte Zwischenraum- Klebefugentemperatur



# Absolute Feuchte Umgebung - Klebefugentemperatur Häufigkeit in Stunden

		absolute Luftfeuchtigkeit in g/kg											
		0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	16 - 18	18 - 20		
Klebefugentemperatur in °C	-10 - -5	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-5 - 0	0	460	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 - 5	0	426	1299	11	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 - 10	0	201	749	575	13	0	0	0	0	0	0	0
	10 - 15	0	101	254	618	657	193	0	0	0	0	0	0
	15 - 20	0	70	123	197	257	293	58	0	0	0	0	0
	20 - 25	0	81	117	138	112	104	41	3	0	0	0	0
	25 - 30	0	56	111	123	80	77	41	3	0	0	0	0
	30 - 35	0	39	85	106	63	66	35	4	0	0	0	0
	35 - 40	0	12	53	68	50	60	33	2	0	0	0	0
	40 - 45	0	0	18	40	33	46	25	1	0	0	0	0
	45 - 50	0	0	8	22	17	15	9	1	0	0	0	0
	50 - 55	0	0	0	9	10	4	1	0	0	0	0	0
	55 - 60	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

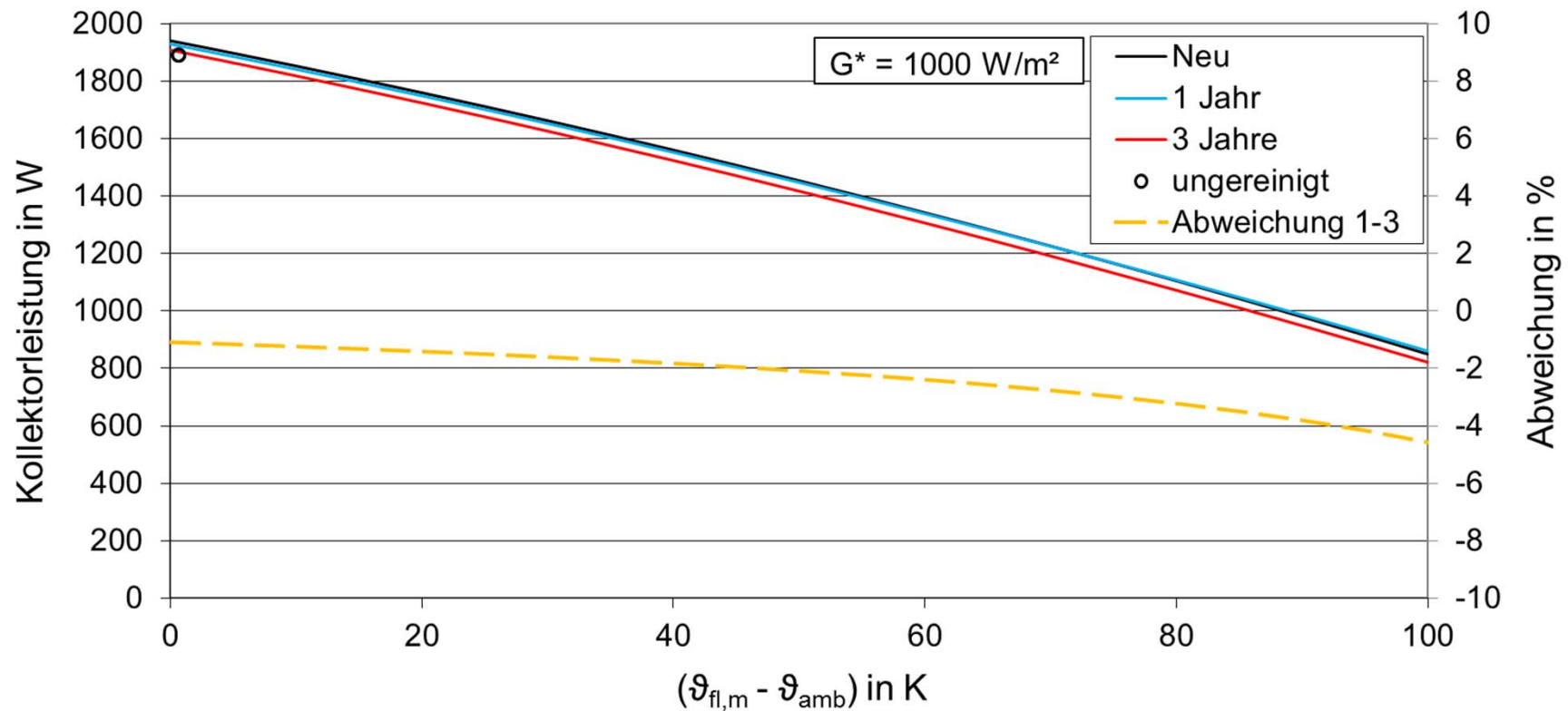


# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition in Stuttgart (bisher 3,5 Jahre)

- Keine optischen Veränderungen
- Keine Veränderung der thermischen Leistungsfähigkeit



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Leistungsprüfung nach einem und drei Jahren Exposition Stuttgart



Rückgang Konversionsfaktor  $\eta_0$ : -1.0%-Punkte

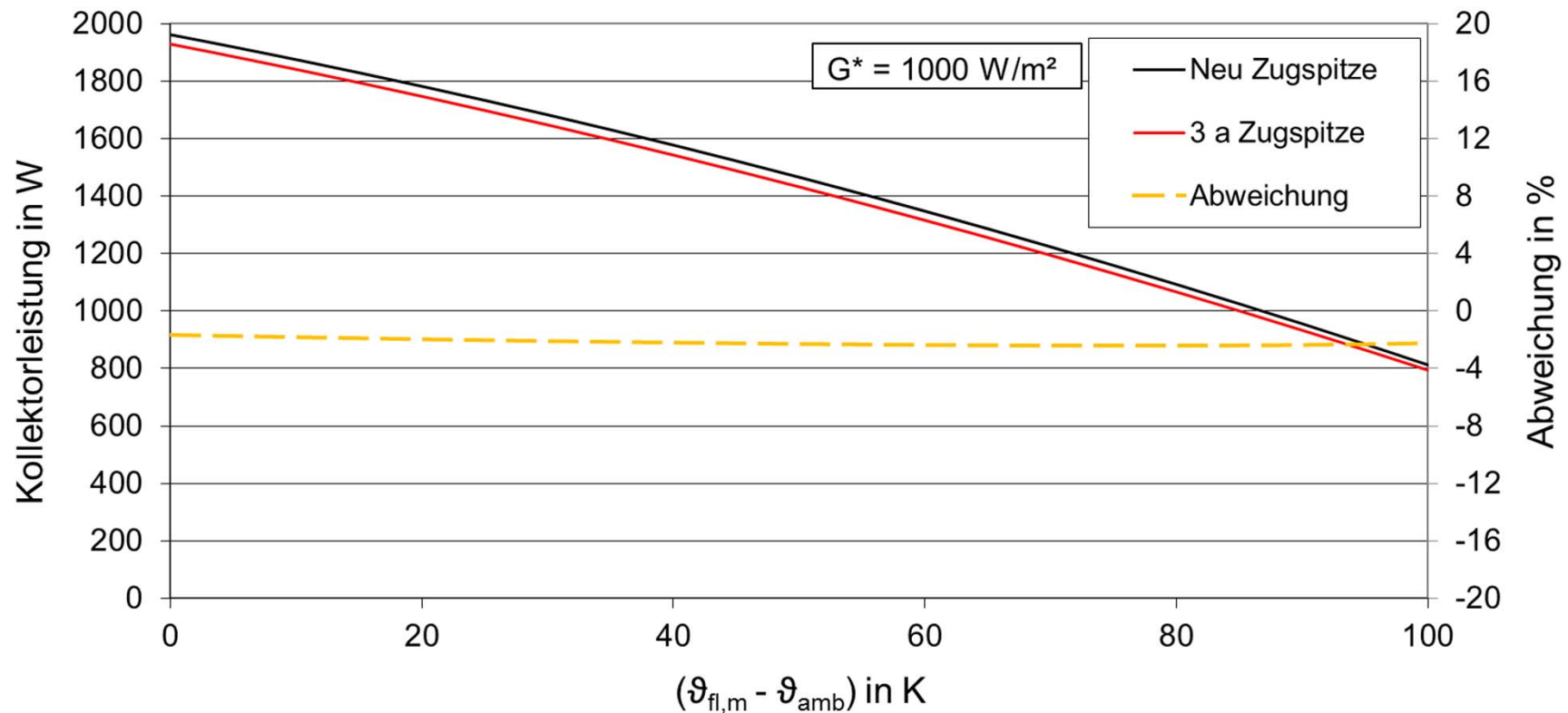
# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition auf der Zugspitze



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition auf der Zugspitze

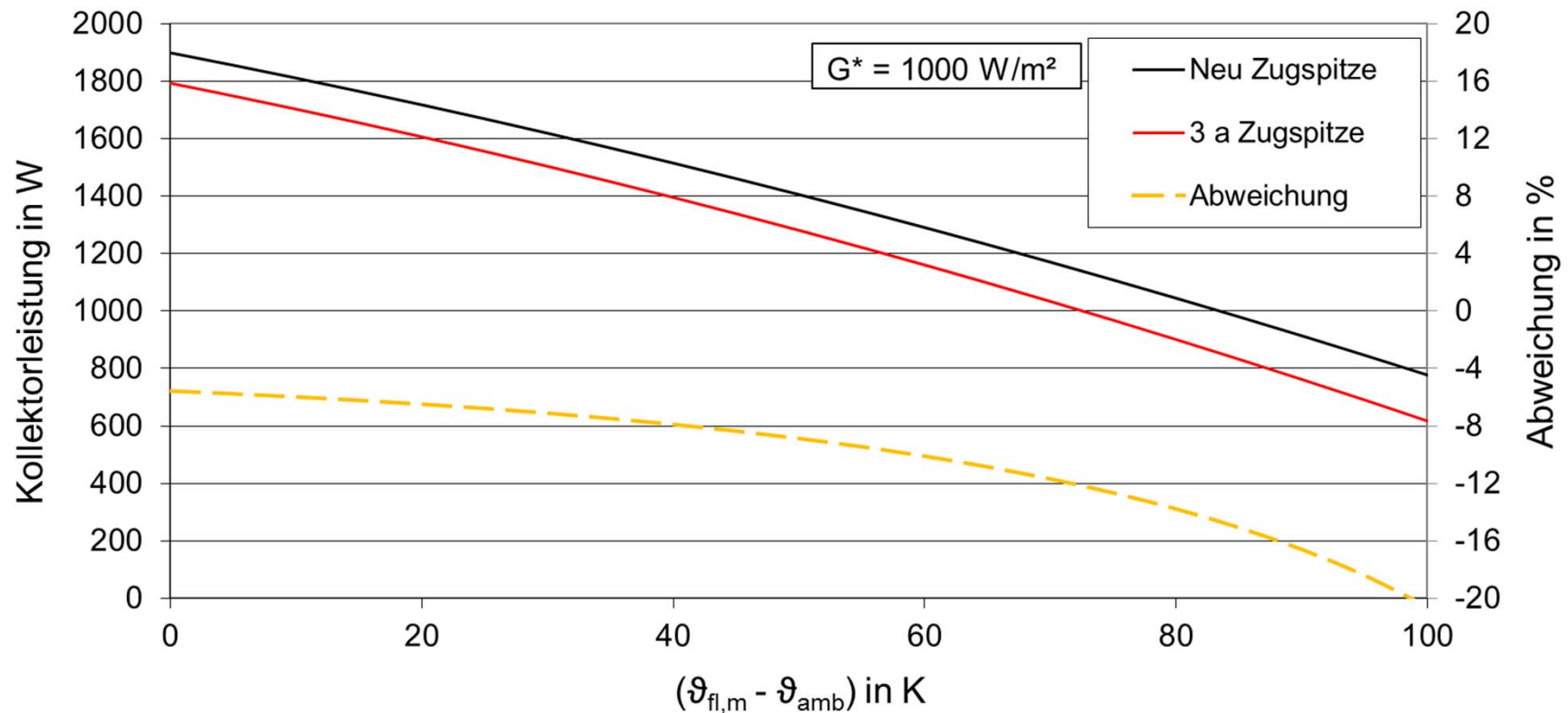


# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition auf der Zugspitze



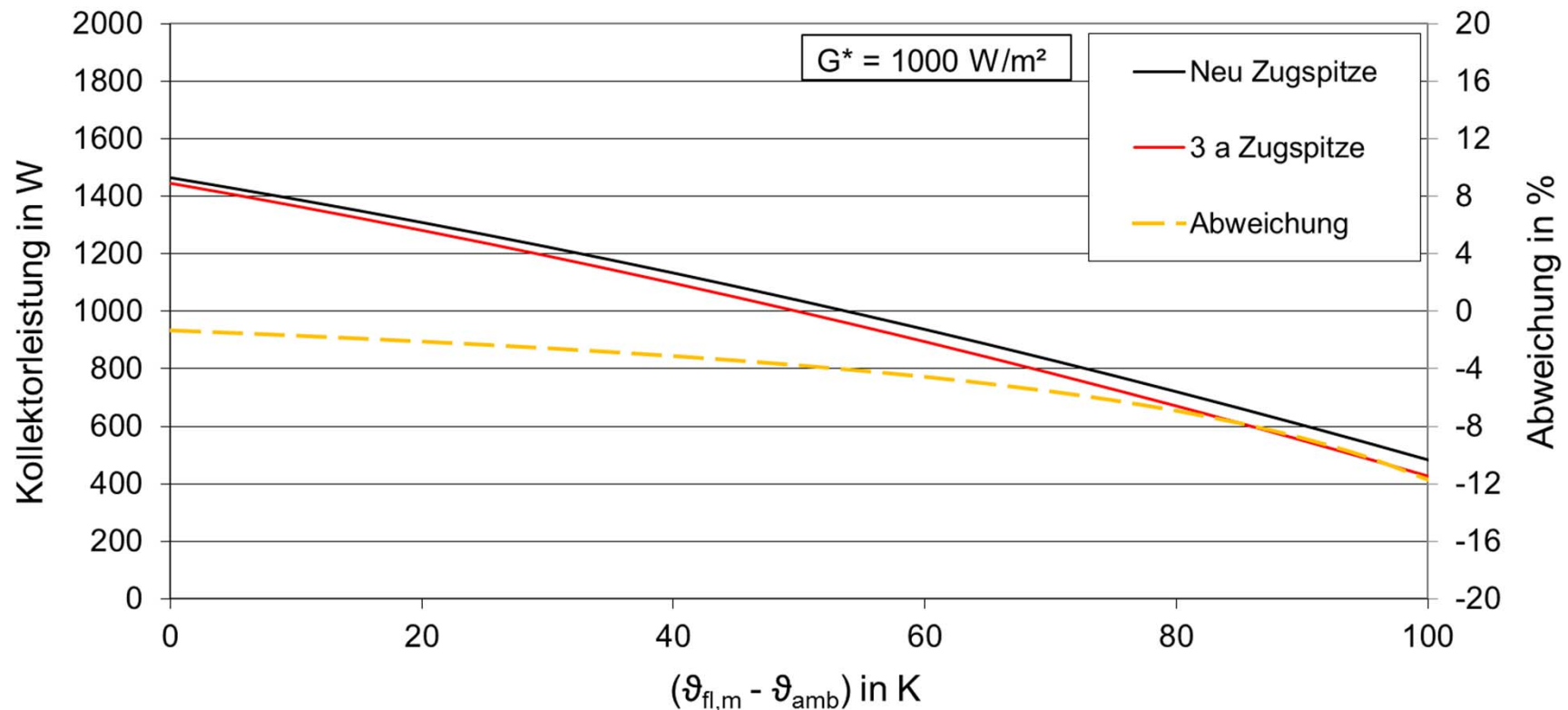
Rückgang Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 1,4 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition auf der Zugspitze



Rückgang Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 4,5 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition auf der Zugspitze



Rückgang Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 1,0 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Gran Canaria, Spanien





# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten: Gran Canaria



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Gran Canaria, Spanien



**Nach ca. 1  
Jahr!**

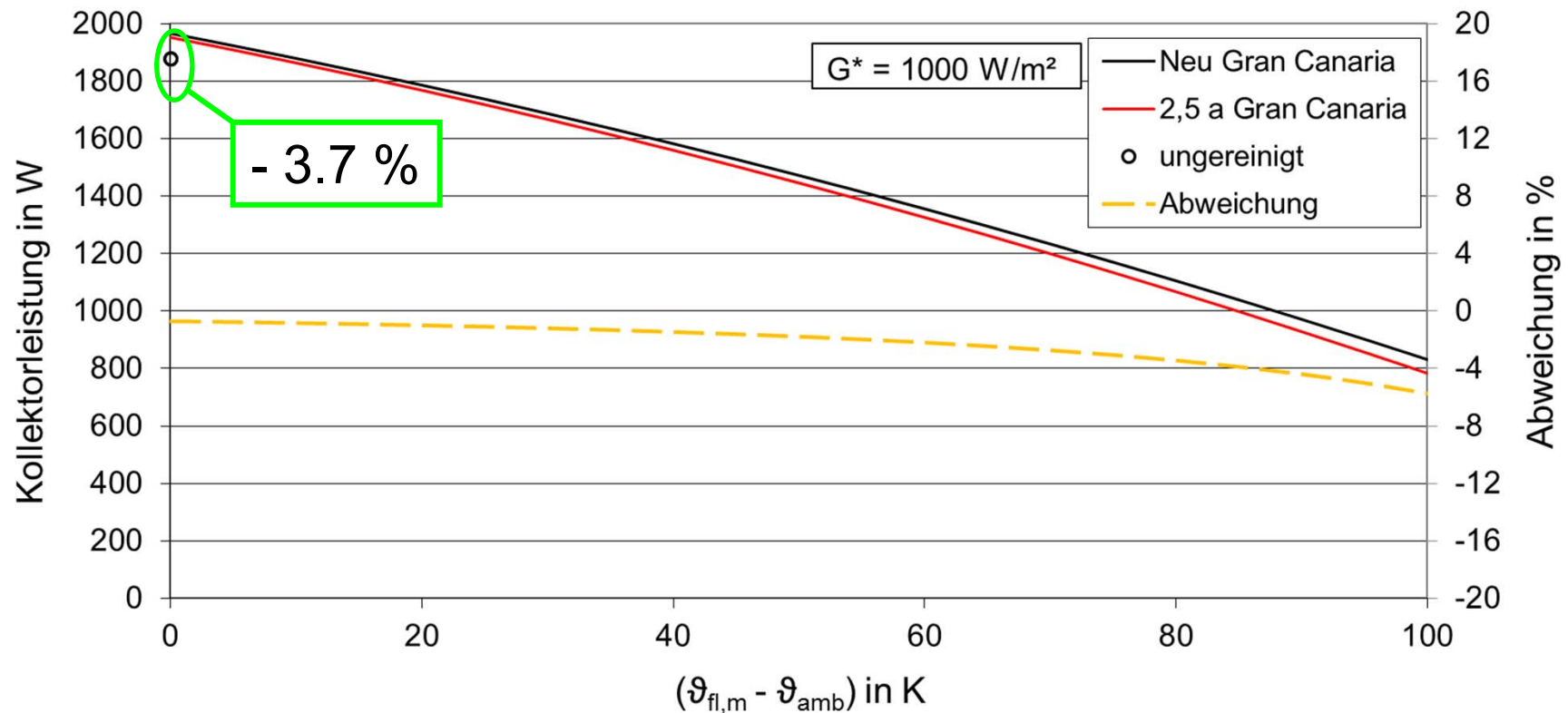


# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Gran Canaria, Spanien Nach bzw. 2,5 Jahre GC



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

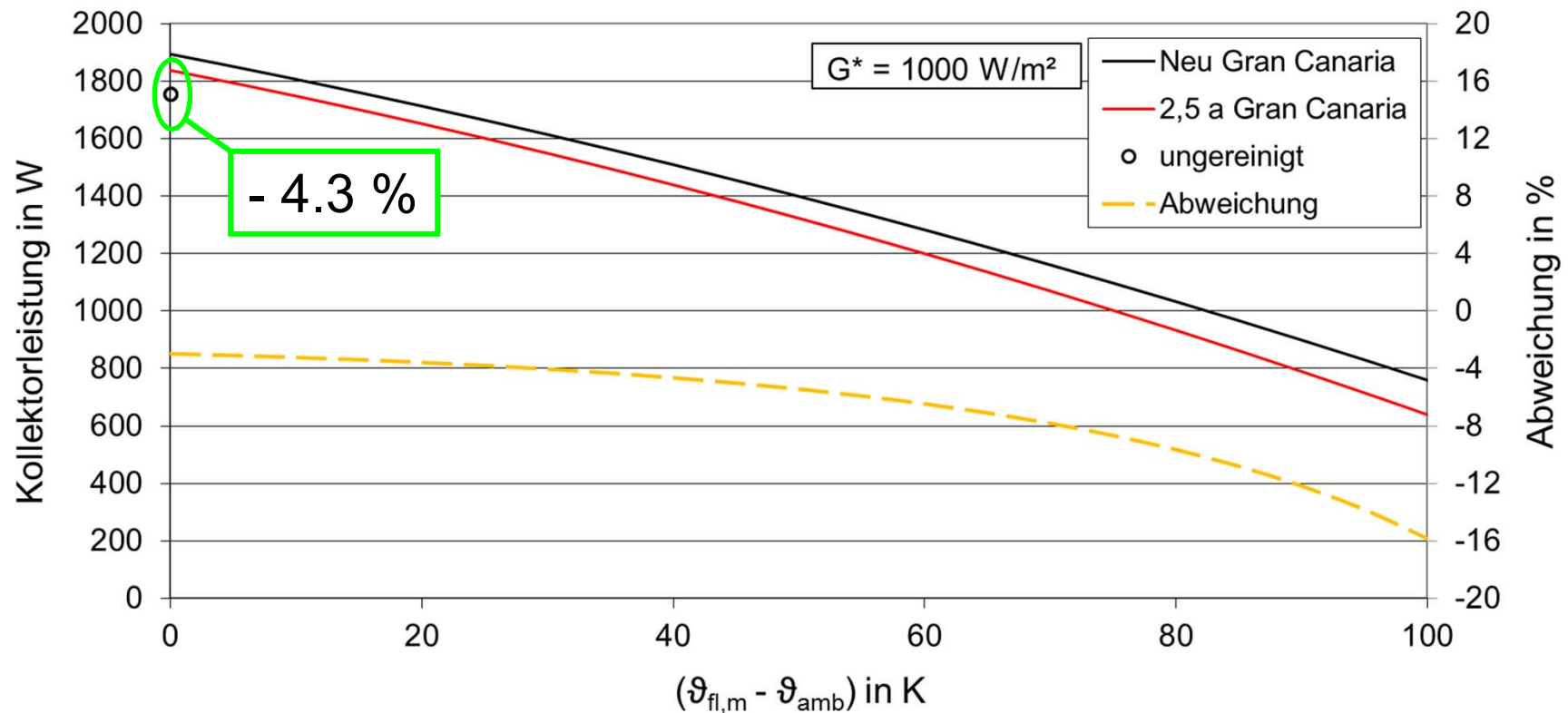
## Exposition an den Extremstandorten: Gran Canaria



Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 0,6 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

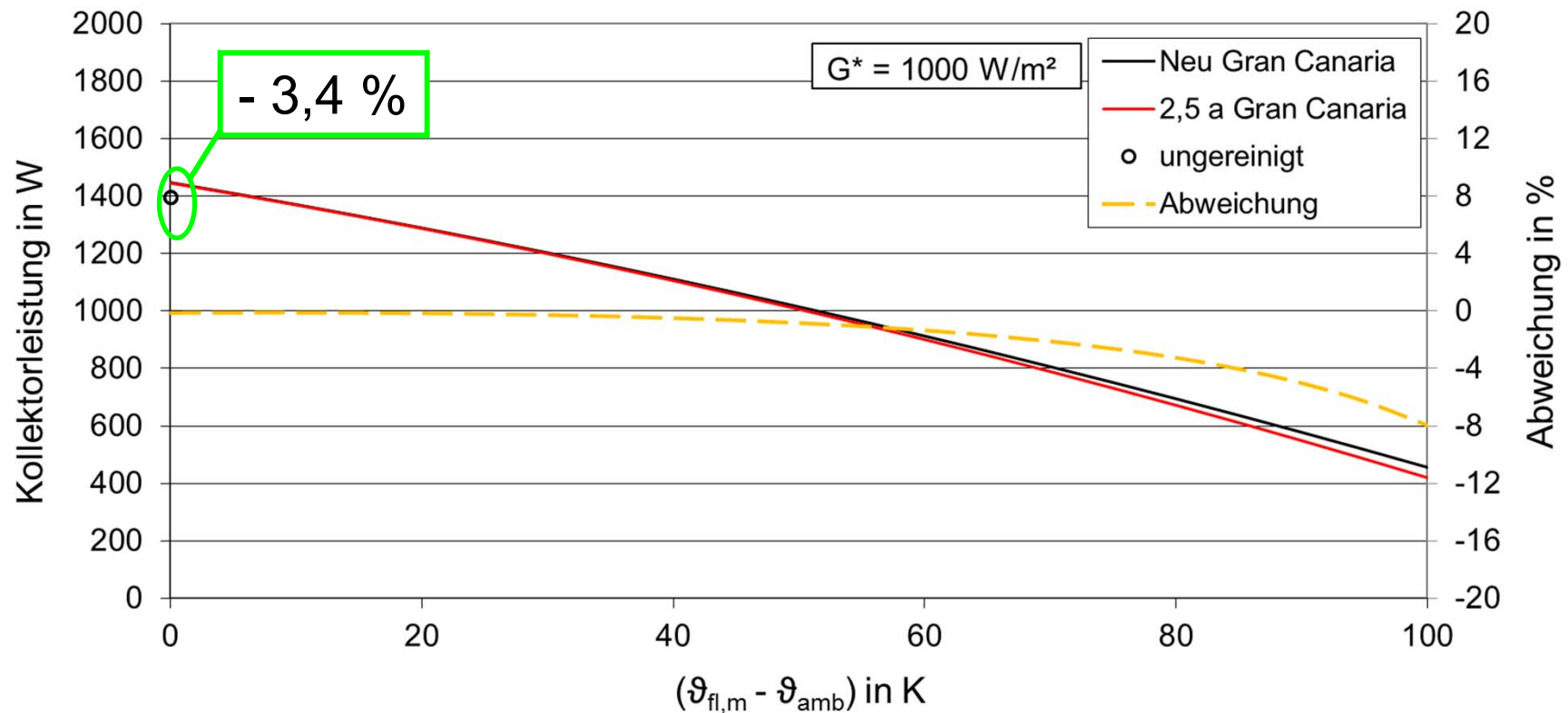
## Exposition an den Extremstandorten: Gran Canaria



Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 2,4 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Exposition an den Extremstandorten: Gran Canaria



Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 0,1 %-Punkte

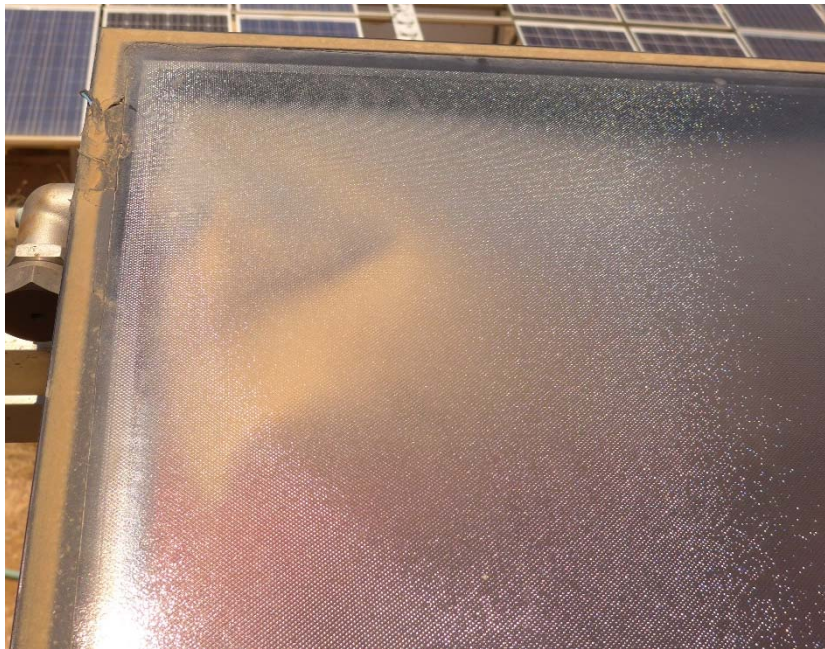
# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition in der Negev Wüste, Israel



# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition in der Negev Wüste, Israel

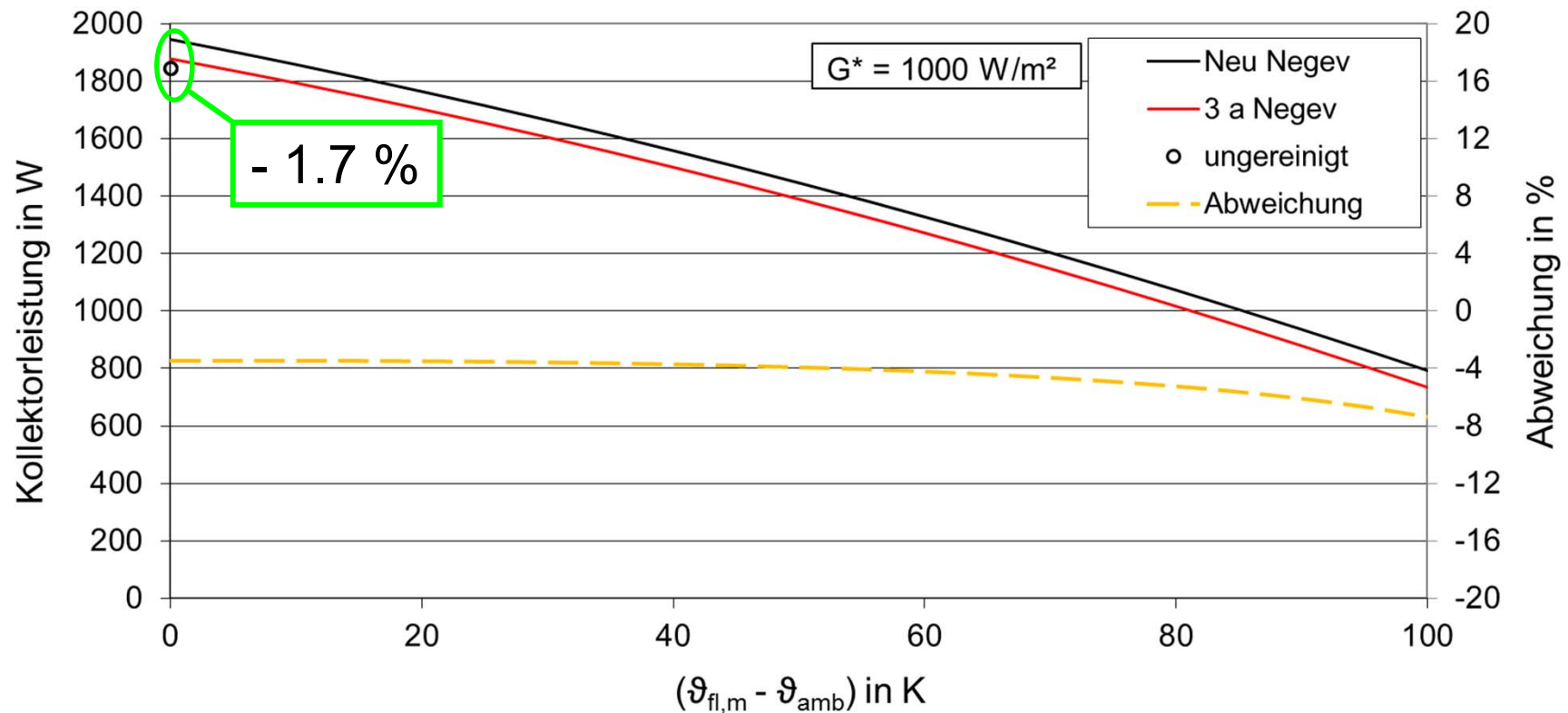
Sand und Staubeintrag sowie Ausbleichen der Rahmen

Verklebung Glas-Rahmen: umlaufende Haftung vorhanden





# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Negev Wüste, Israel

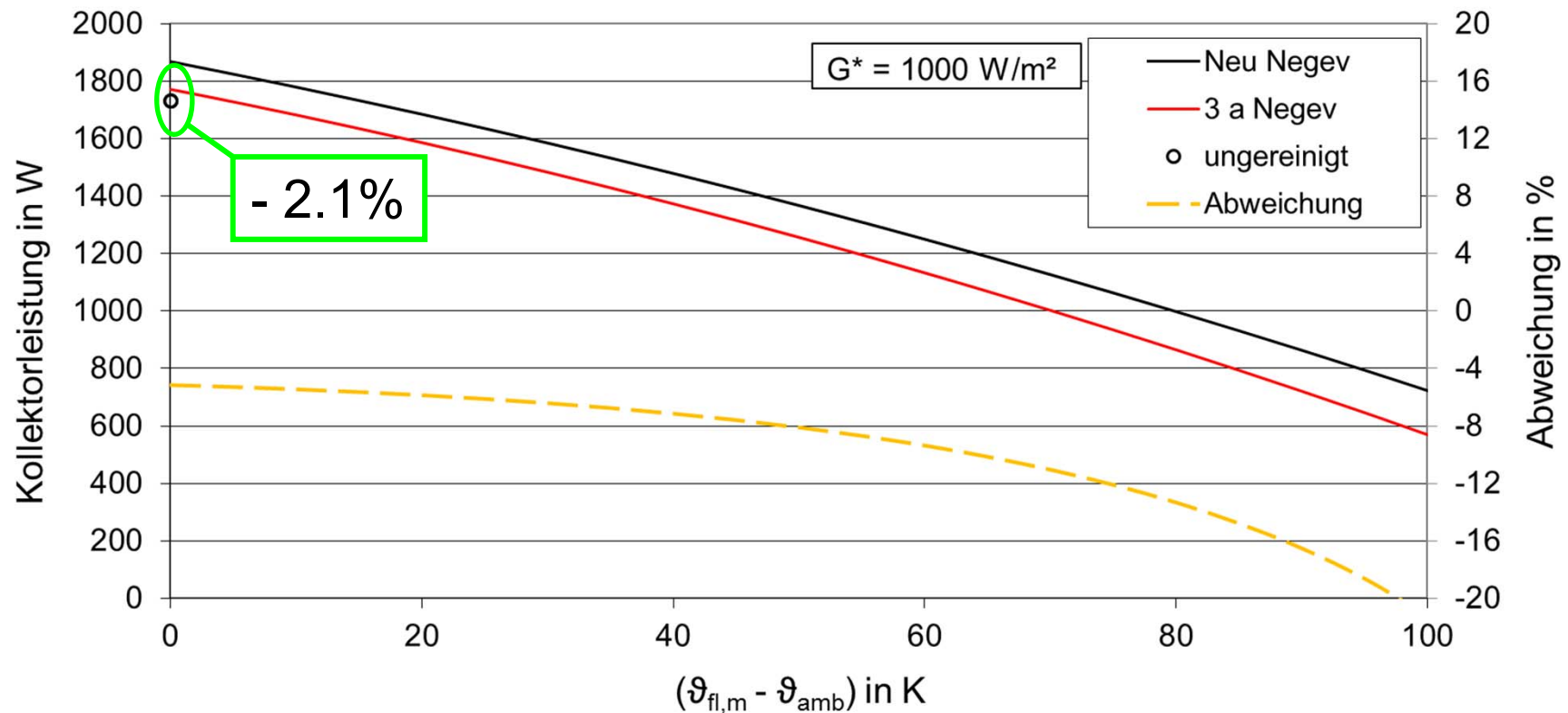


Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 2,9 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

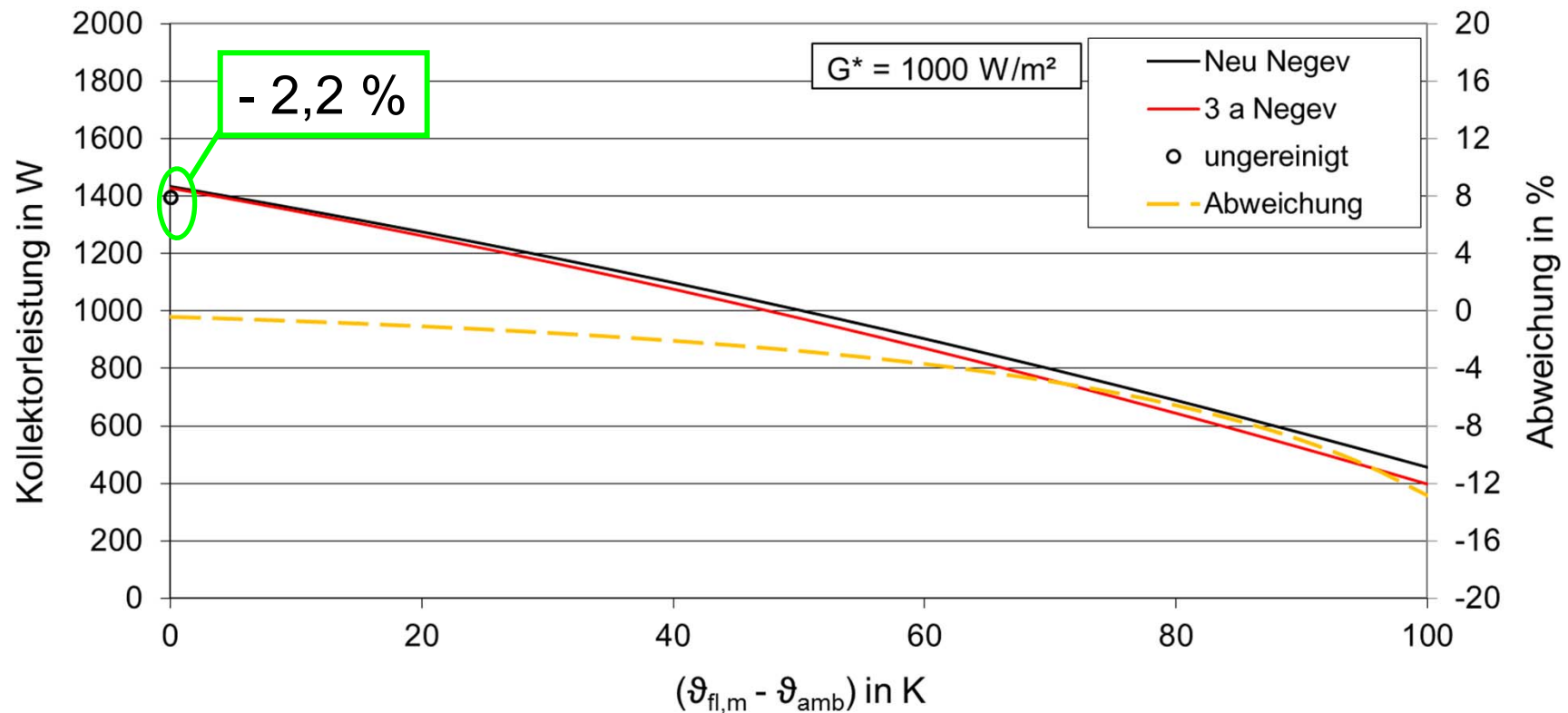
## Exposition an den Extremstandorten

### Negev Wüste, Israel



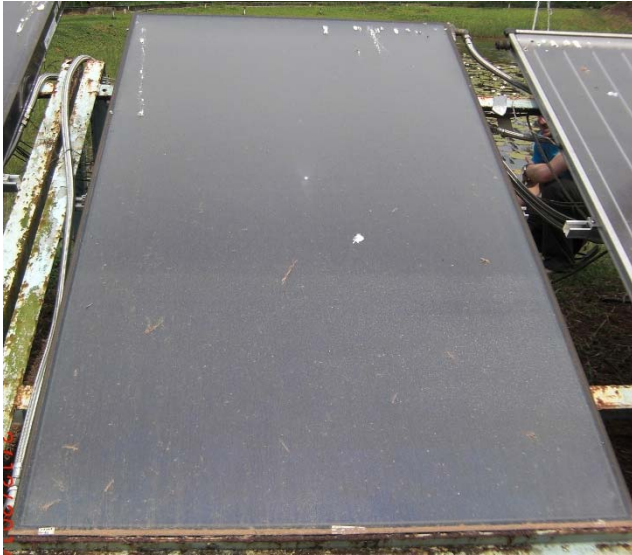
Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 4,1 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Negev Wüste, Israel



Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 0.3 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition in Kochi, Indien



Massive Verschmutzung während der  
Exposition

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition in Kochi, Indien



Sehr gutes Gesamterscheinungsbild nach der  
Reinigung

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Exposition in Kochi, Indien

### Öffnung der Kollektoren

Verklebung Glas-Rahmen: umlaufende Haftung vorhanden

Glasabdeckung - Gesamteindruck:

- **2 Kollektortypen:** keine sichtbare Veränderung
- **1 Kollektortyp:** sichtbare Veränderungen „verfärbt/milchig/schlierig“



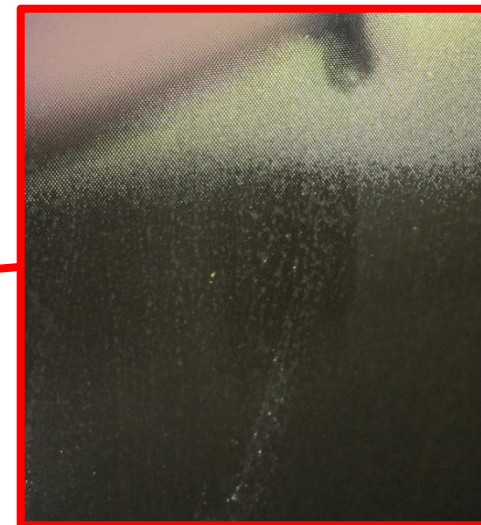
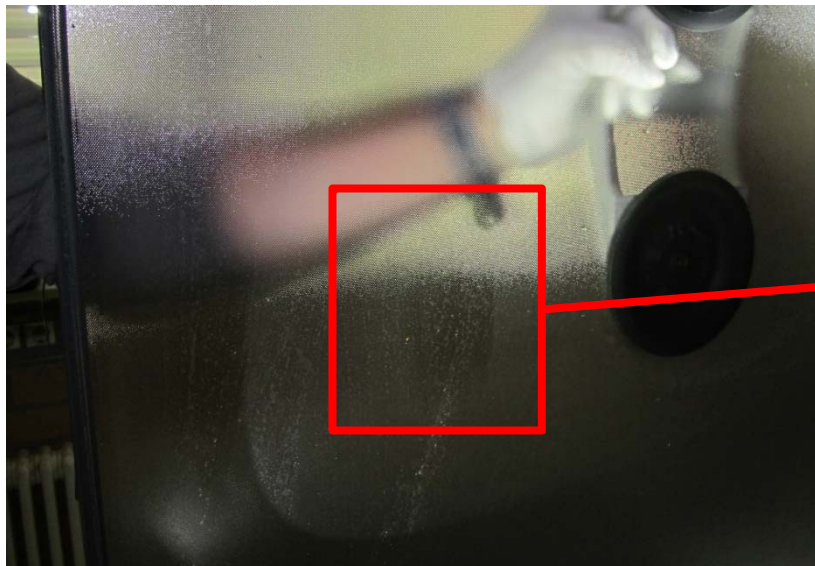
# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Exposition in Kochi, Indien

### Öffnung der Kollektoren

Glasabdeckung - Detail:

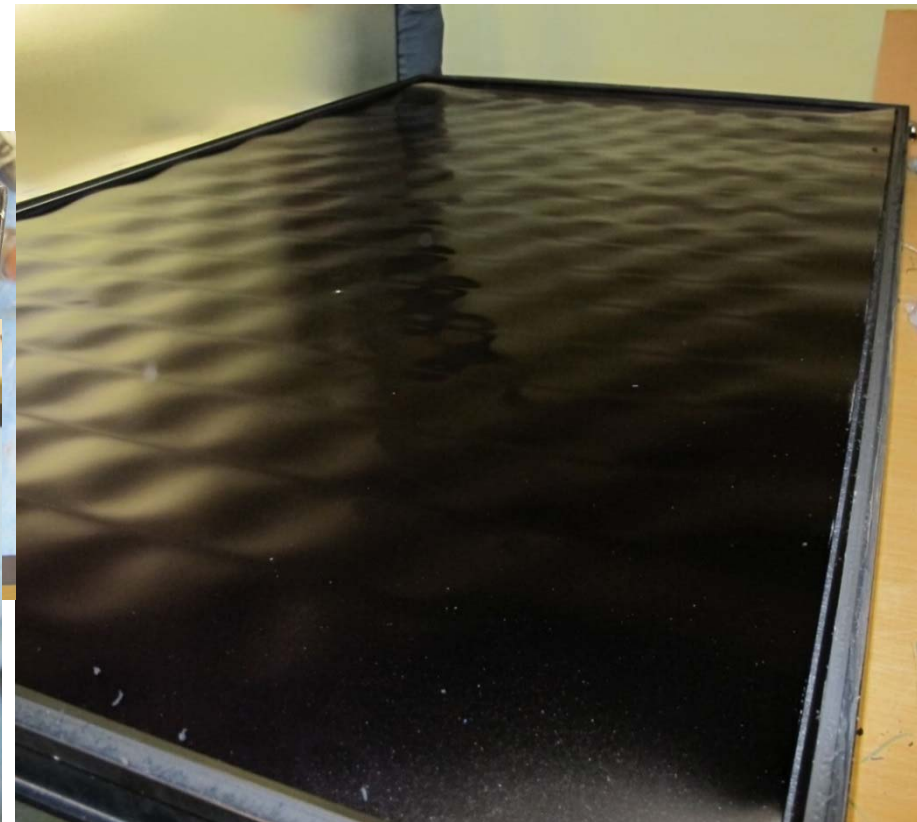
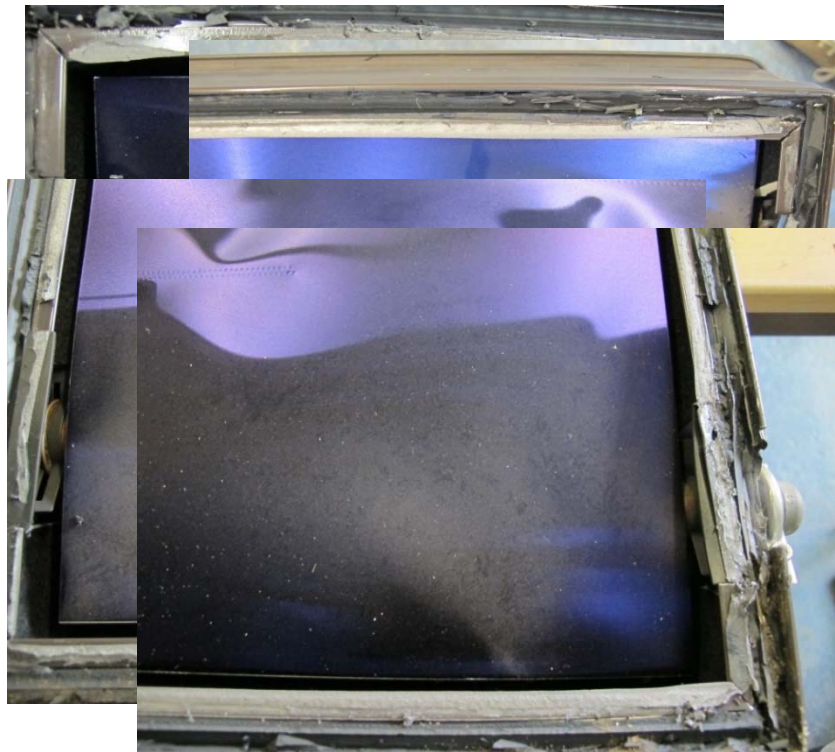
- **2 Kollektortypen** Staub/Schmutz im Zwischenraum → Ablagerung auf Innenseite Glas und Absorber
- **1 Kollektortyp** Staub/Schmutz nicht vorhanden (deutlich weniger)



Wischspur  
Innenseite  
Vaillant

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Exposition an den Extremstandorten Kochi, Indien

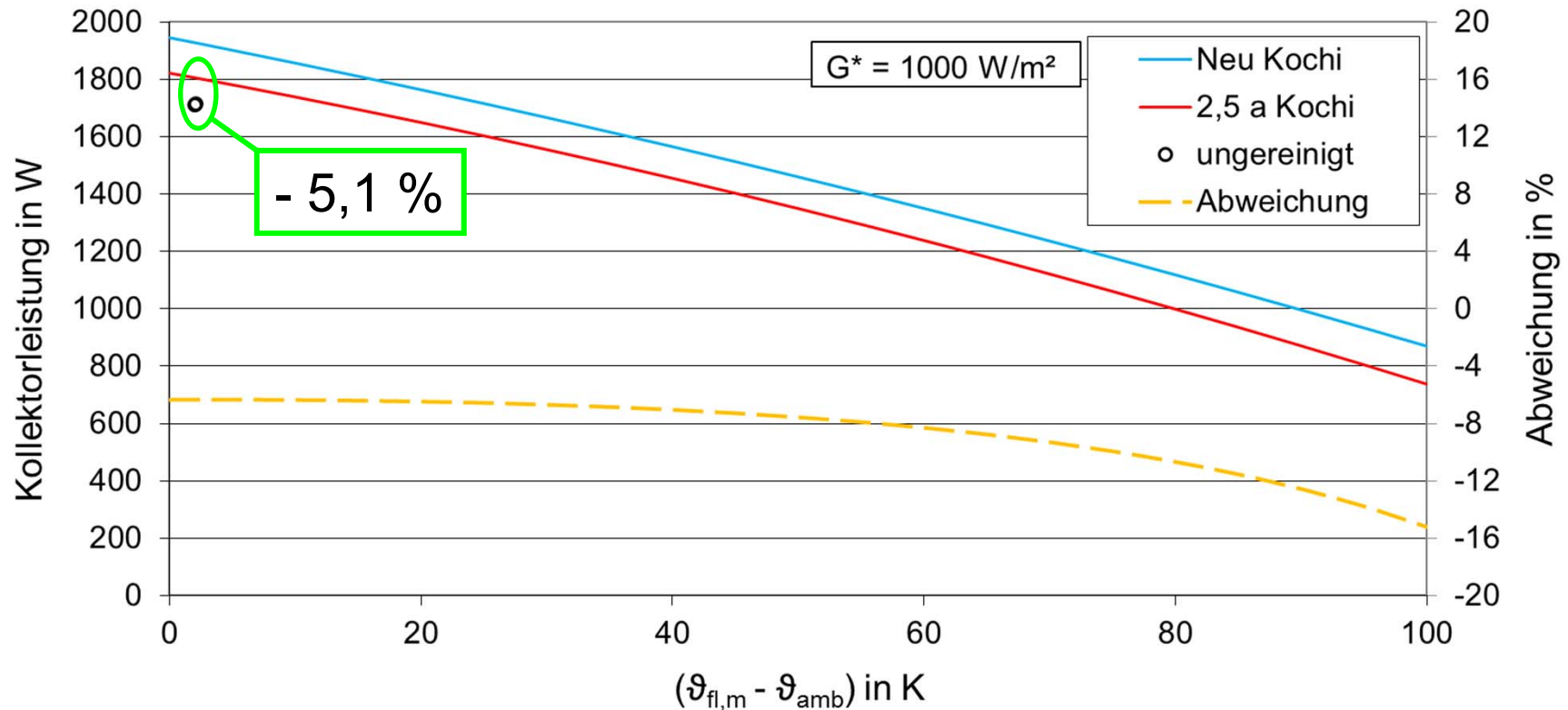
Absorber - Detail: **Staub**





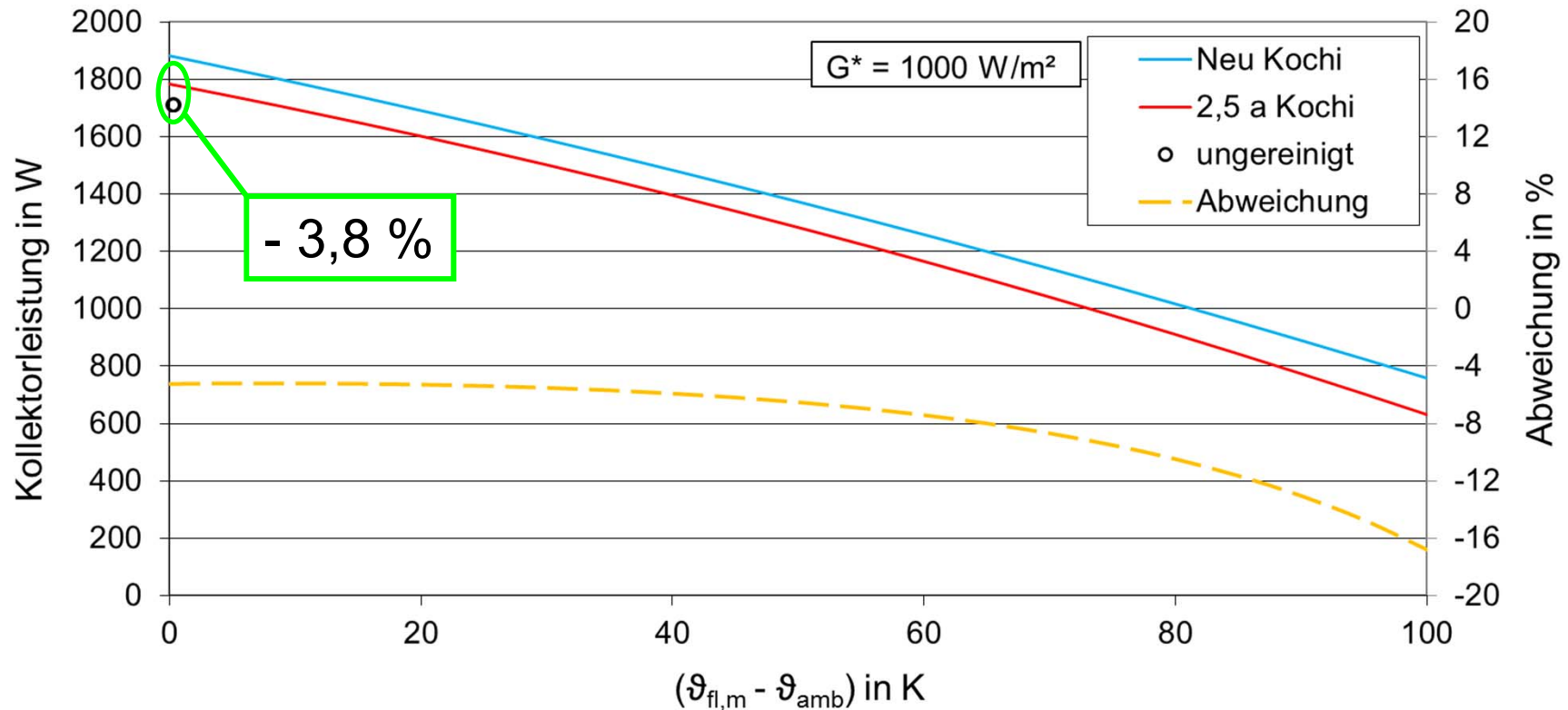
# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Leistungsprüfung nach Exposition in Kochi, Indien



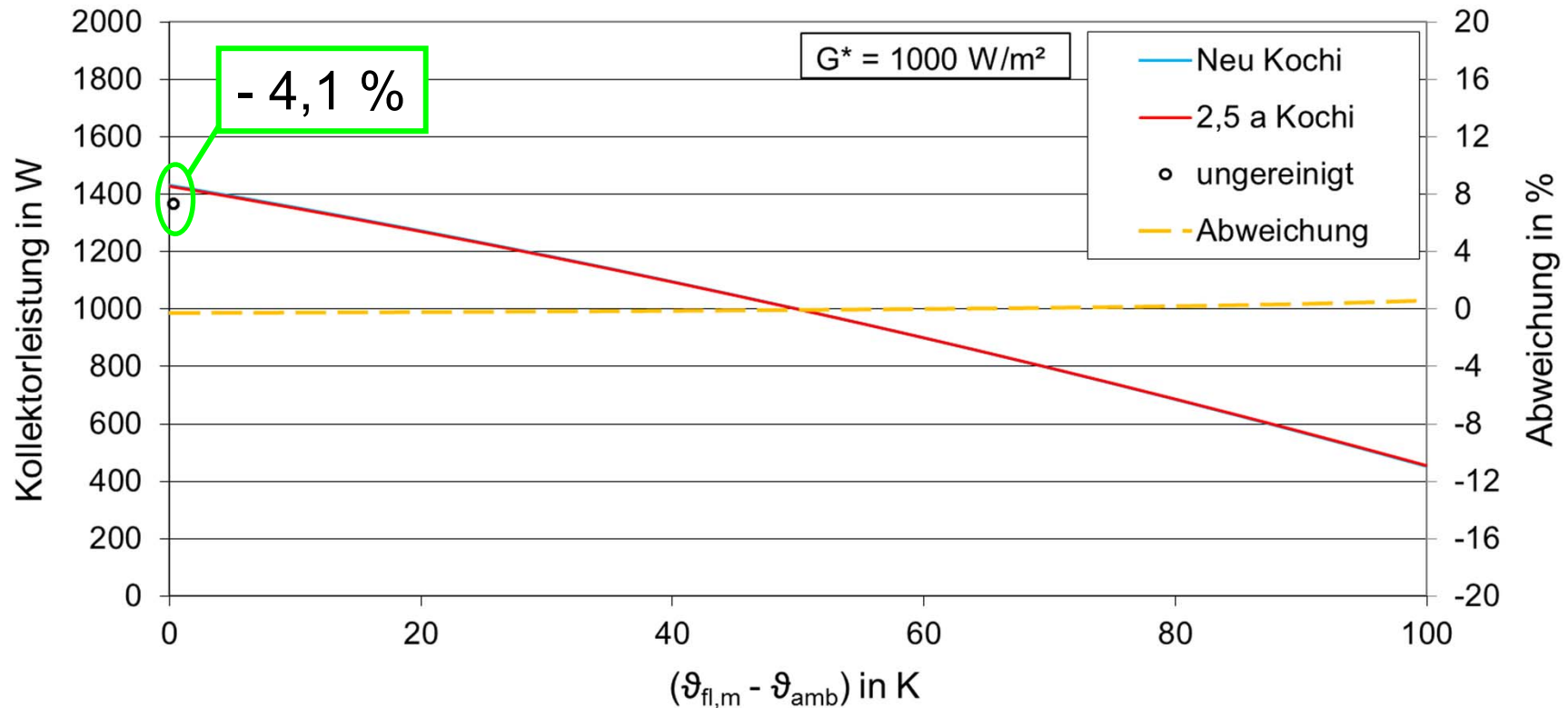
Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 5,3 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Leistungsprüfung nach Exposition in Kochi, Indien



Rückgang Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 4,2 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor Leistungsprüfung nach Exposition in Kochi, Indien



Änderung Konversionsfaktor  $\eta_0$ : - 0,2 %-Punkte

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

## Exposition der Kollektoren – Erkenntnisse

- **Stuttgart**
  - Keine optischen Auffälligkeiten, kaum Leistungseinbußen
- **Zugspitze**
  - Extrem saubere Kollektoren, Leistungseinbuße bei einem Kollektor
- **Gran Canaria, Spanien**
  - Deutlich optische Veränderung der Kollektoren durch die Kombination Wind, Sand und Salz, Leistungseinbuße bei einem Kollektor
- **Negev Wüste, Israel**
  - Sichtbare Veränderung der Kollektoren durch die Kombination Sand und Staub, wesentlich geringere Korrosion als auf Gran Canaria, Leistungseinbuße bei zwei Kollektoren

# Degradationseffekte am Gesamtkollektor

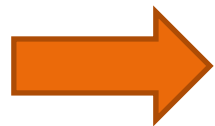
## Exposition der Kollektoren – Erkenntnisse

- **Kochi, Indien**
  - Hartnäckige Verschmutzung an den Außenflächen der Kollektoren trotz Monsun
  - Teilweise Dreckablagerungen an den Innenseiten der Glasabdeckungen – bauartbedingte Unterschiede
  - Leistungseinbuße bei zwei Kollektoren

**Gute Qualität der untersuchten Kollektoren**

**aber**

**vereinzelte bauartspezifische und standortabhängige Ausnahmen**



**Verlängerung der Exposition und weitere Analysen notwendig**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



[fischer@itw.uni-stuttgart.de](mailto:fischer@itw.uni-stuttgart.de)

[www.speedcoll.de](http://www.speedcoll.de)