

---

# Material und Screening Tests

---



Thomas Kaltenbach

*Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE*

# Material und Screening Tests

## Agenda

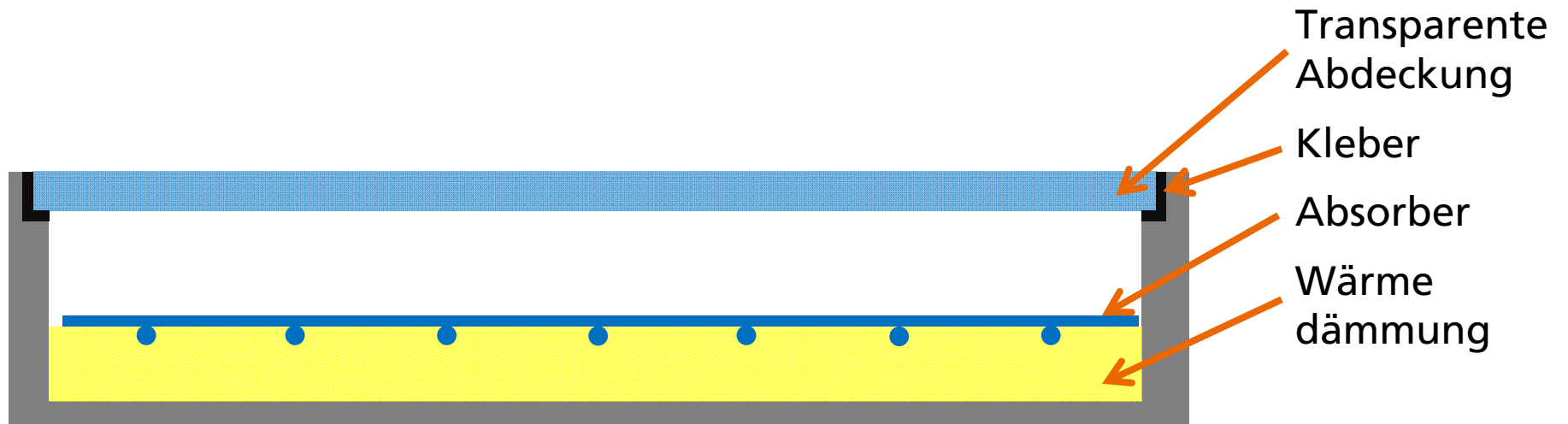
- Thermischer Solarkollektor
- Optische Charakterisierung
  - Transmission
  - Reflexion
  - Absorption
- Ergebnisse Komponenten Exposition outdoor
- Ergebnisse Komponenten Prüfungen indoor
- Zusammenfassung

# Material und Screening Tests

- Screening Test
  - systematisches Testverfahren
  - Reihenuntersuchungen
  - Sensitivitätsanalyse
  
- Materialien
  - Reflektoren
  - Absorber
  - Transparente Abdeckung
  - Klebmaterialien
  - Wärmedämmung

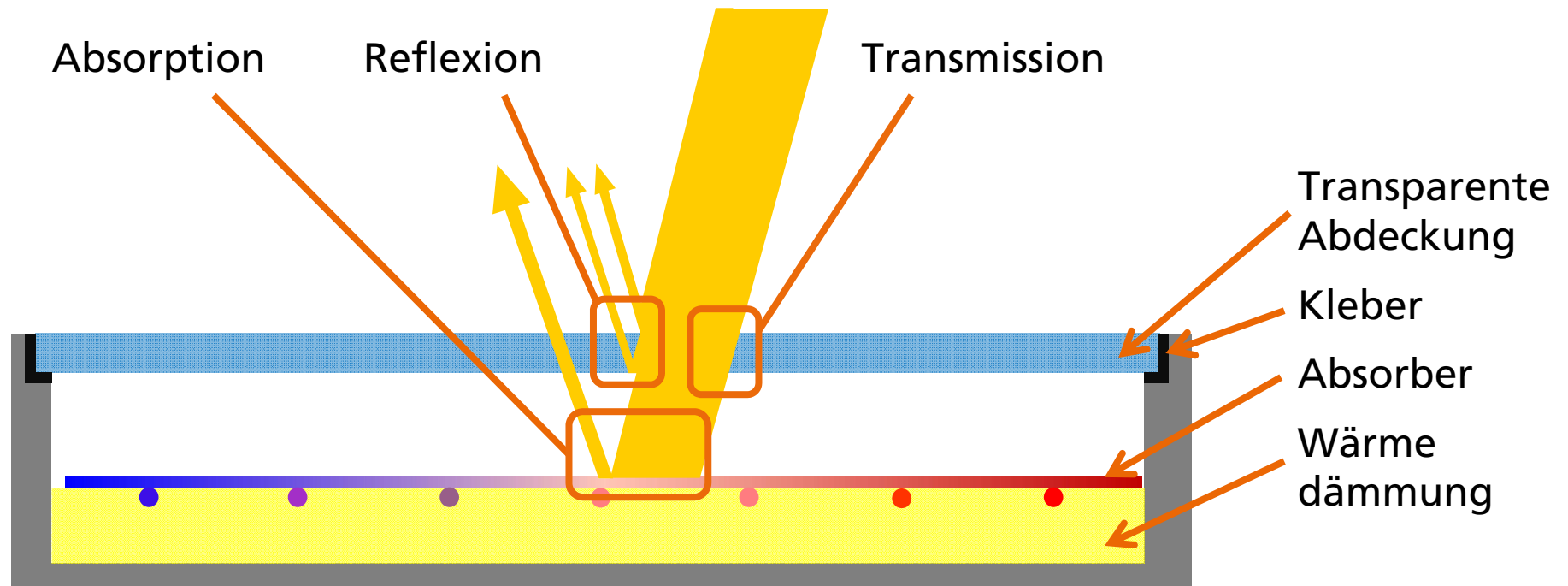
# Material und Screening Tests

## ■ Flachkollektor



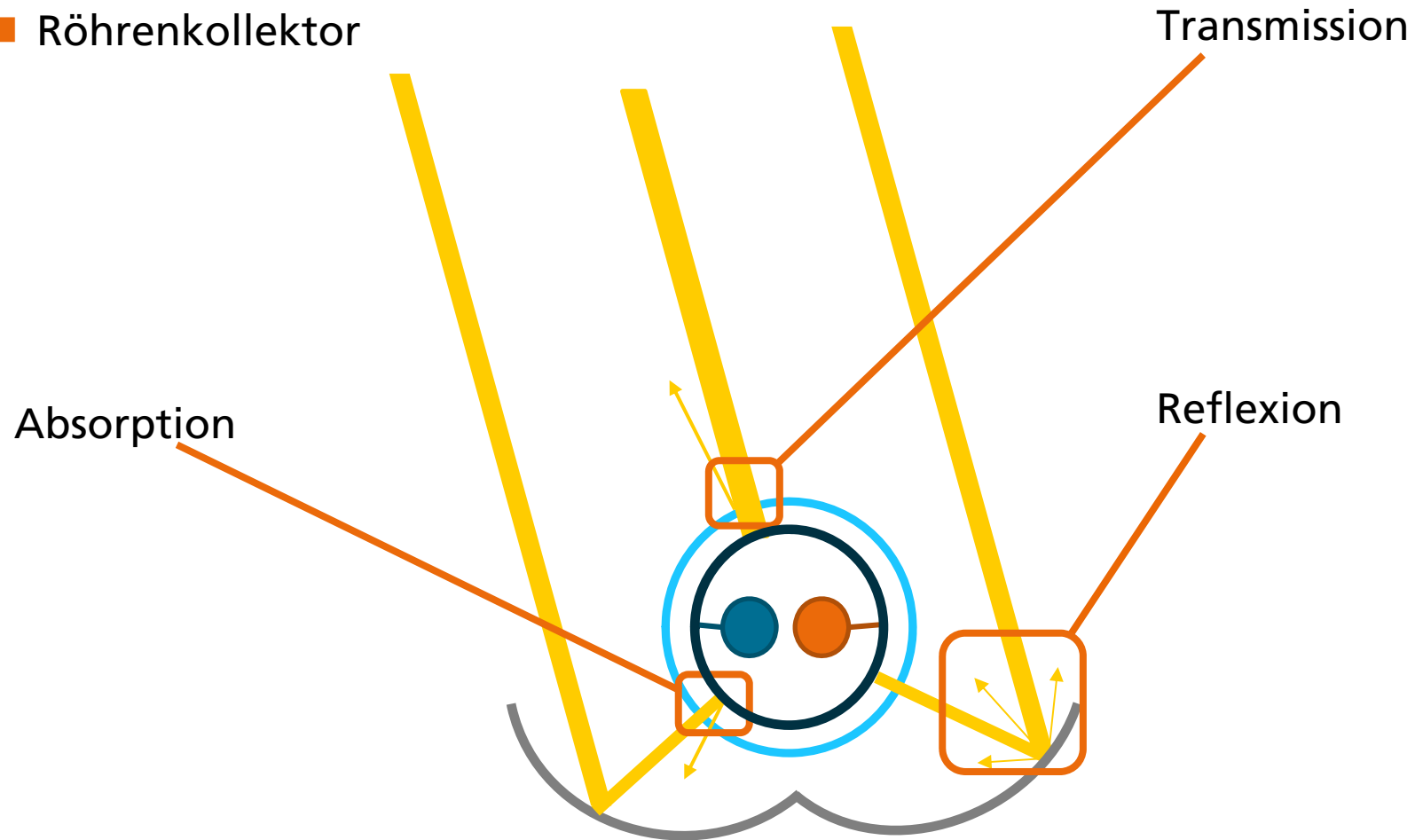
# Material und Screening Tests

## ■ Flachkollektor



# Material und Screening Tests

■ Röhrenkollektor



# Material und Screening Tests

Negev



# Material und Screening Tests

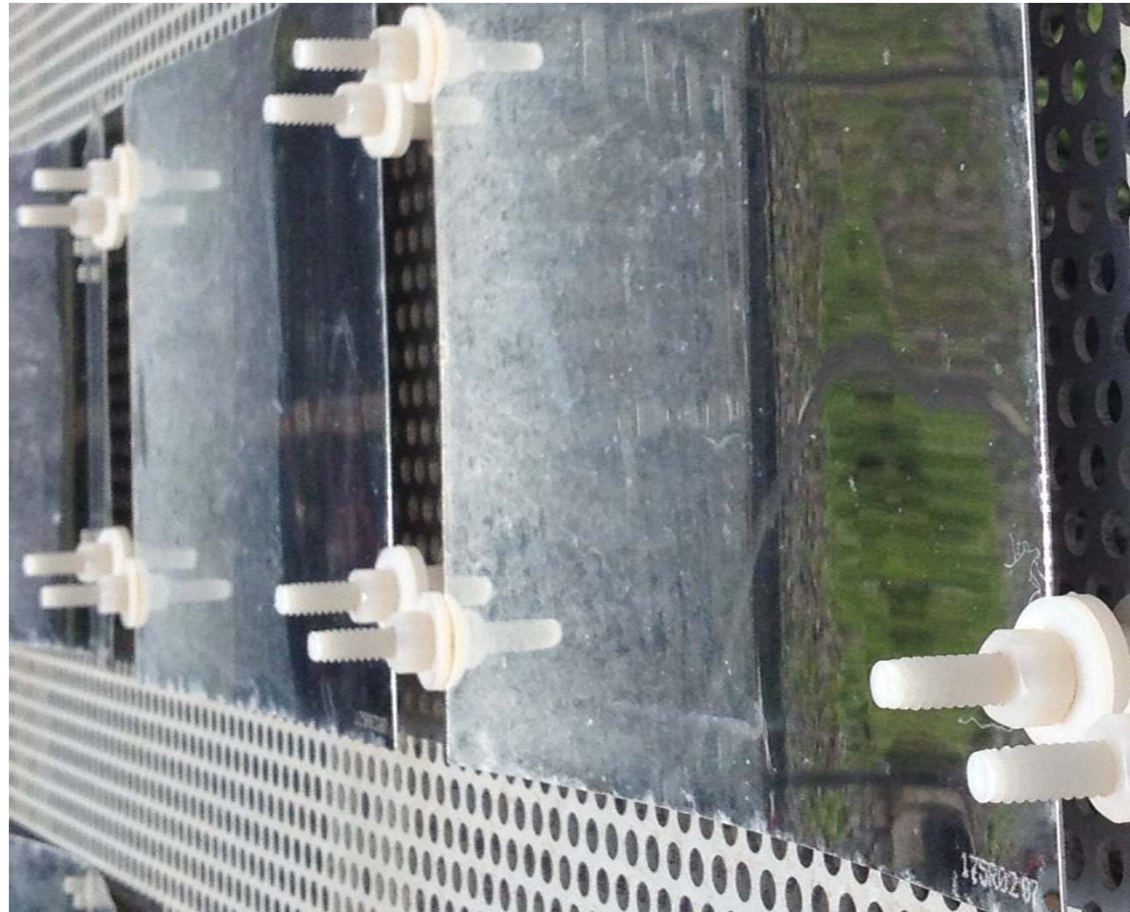
Gran Canaria





# Material und Screening Test Reflektoren

- optische  
Charakterisierung
  - ungereinigt
  - gereinigt



Reflektoren auf  
Gran Canaria

# Material und Screening Tests

## Reflektoren

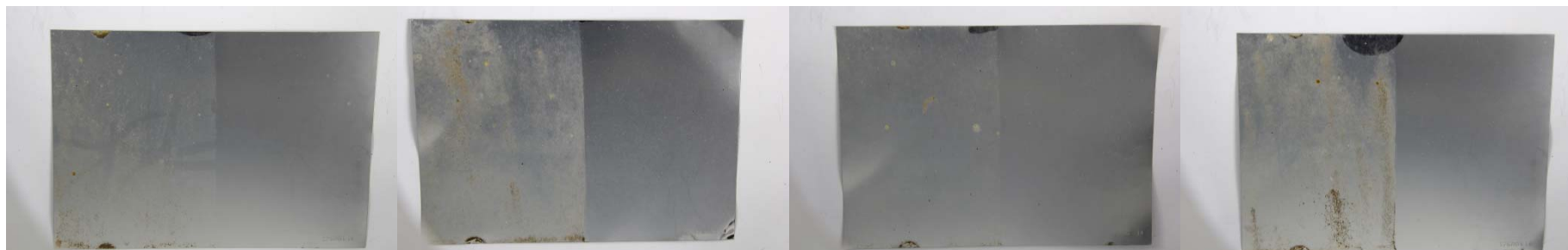
Exposition 3a Kochi



#1\_14

#2\_14

#3\_14



#4\_14

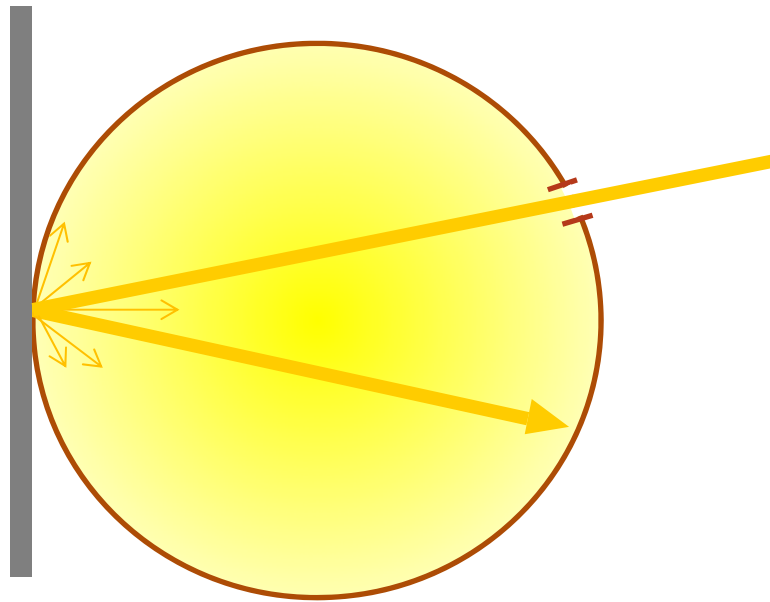
#5\_14

#6\_14

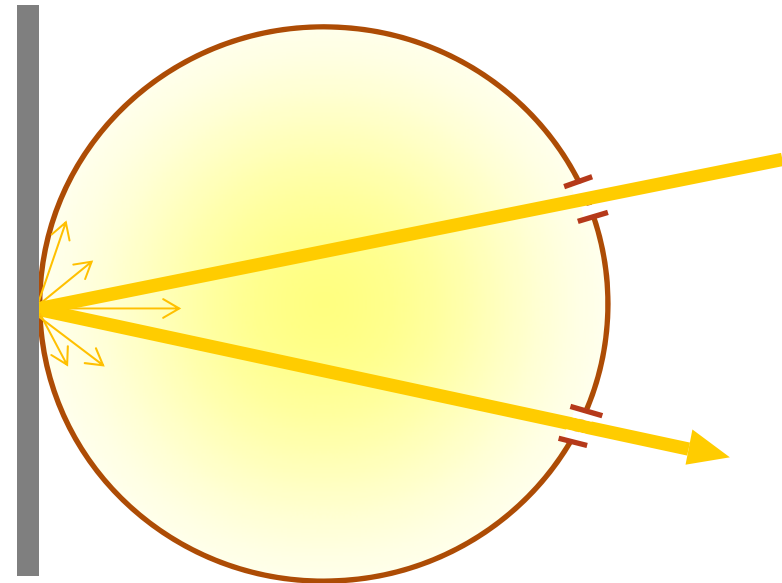
#7\_14

# Material und Screening Tests

## Hemisphärische Reflexion



diffus + direkt

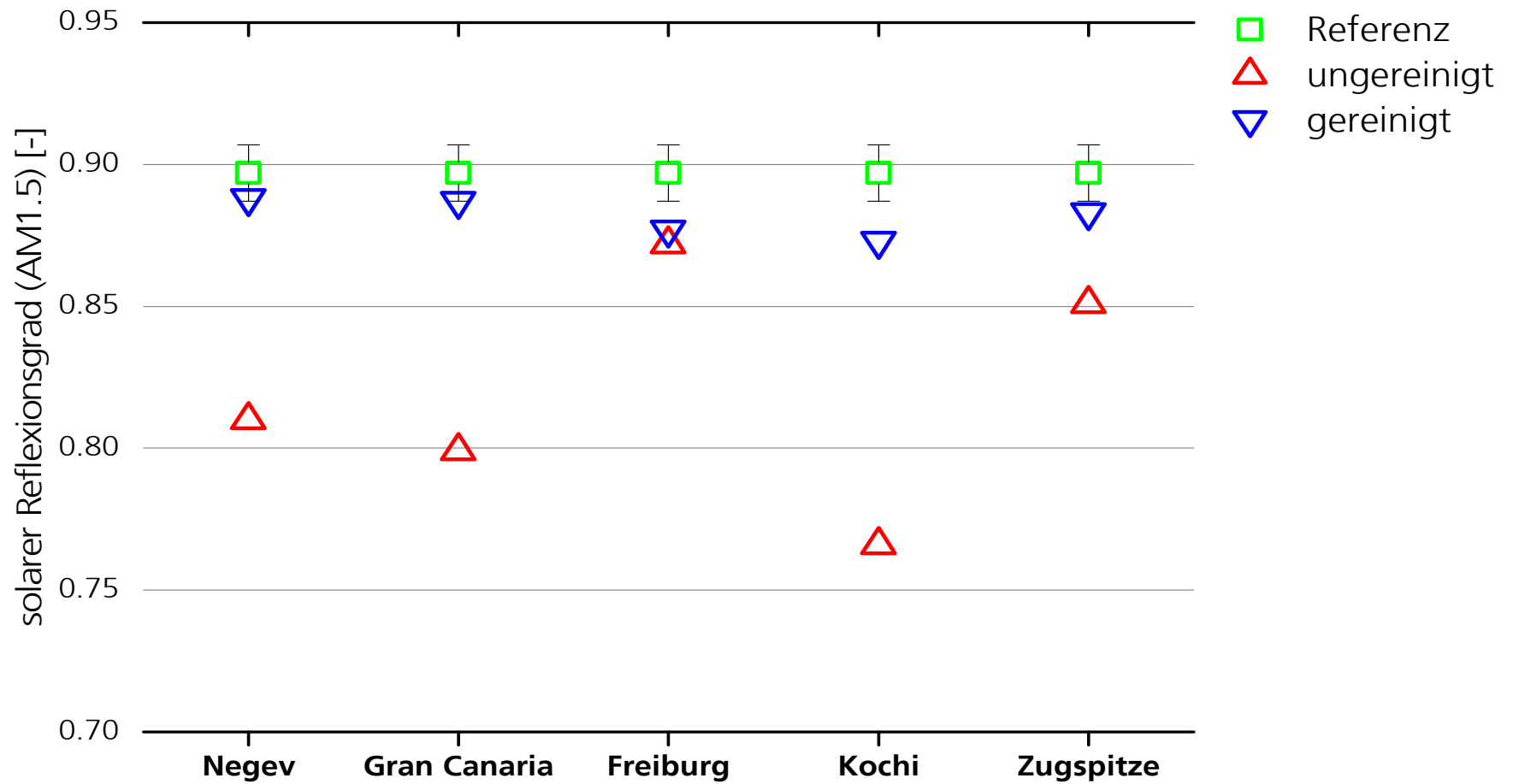


diffus

# Material und Screening Tests

## Reflektoren

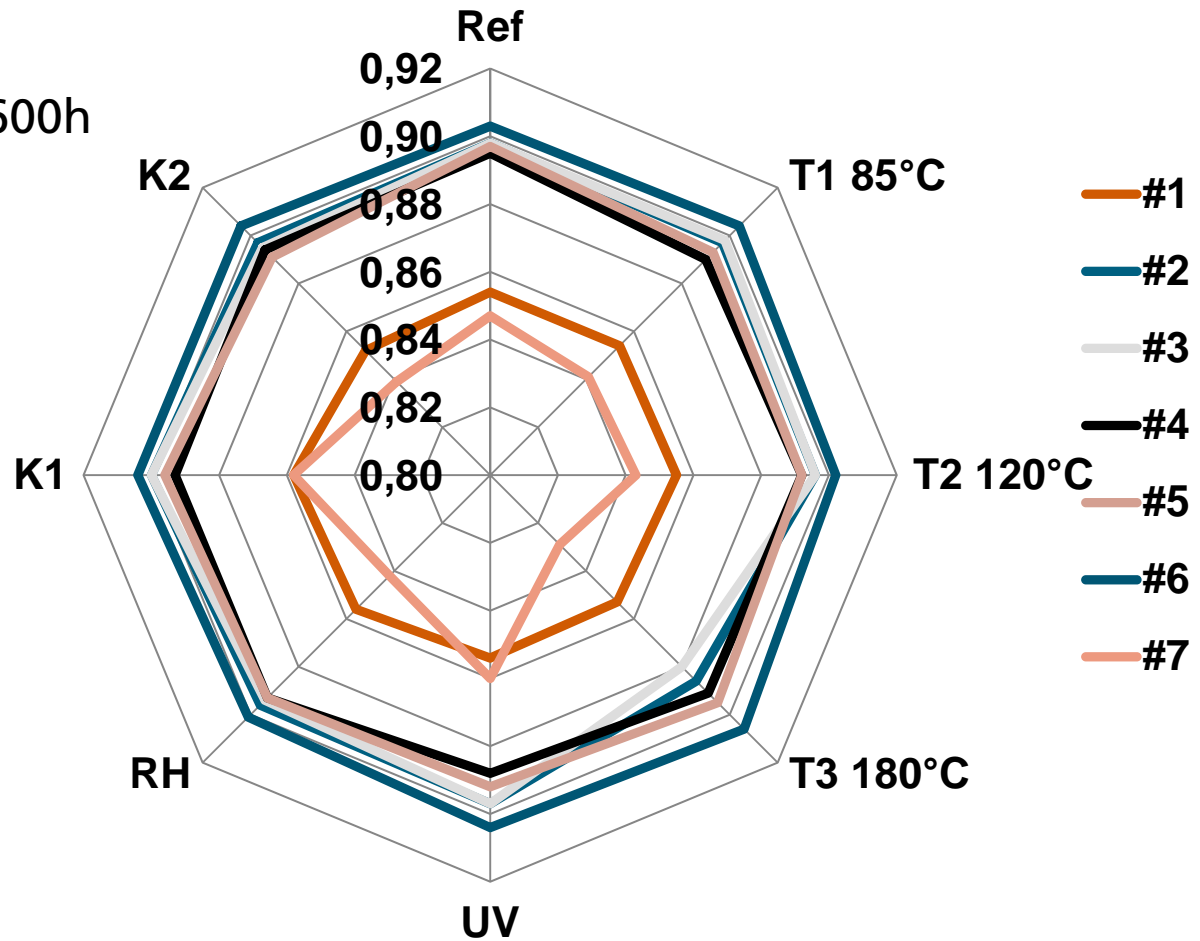
■ Reflektor #6 Vergleich nach 3 Jahre Exposition



# Material und Screening Tests

## Reflektoren

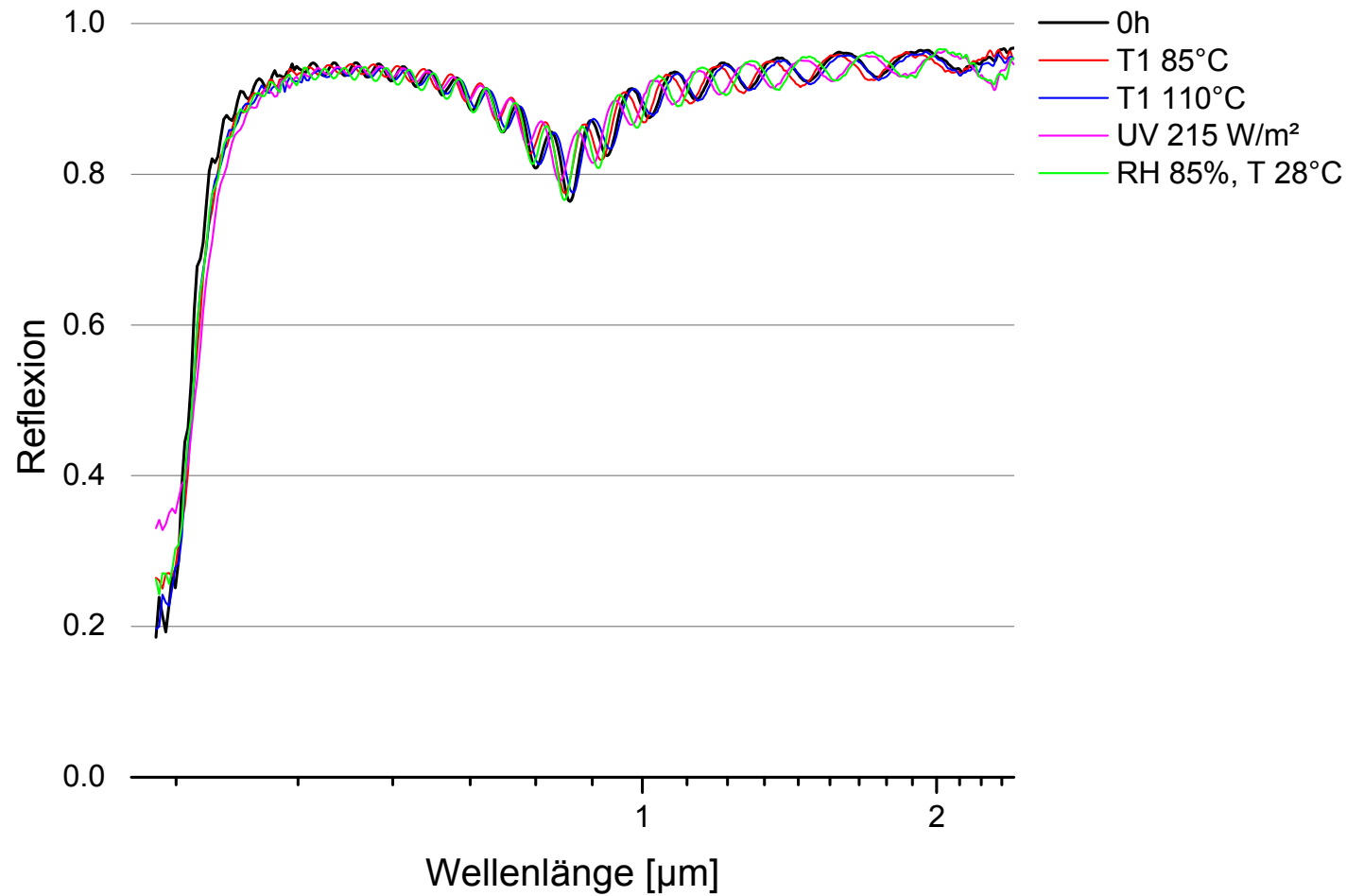
- Zusammenfassung 600h
- Stressfaktor einzeln
- Kombinationstest
  - K1: T 85°C, UV  
RH <10%
  - K2: T 85°C, UV  
RH 85%
- Ref ungealtert



# Material und Screening Tests

## Reflektoren

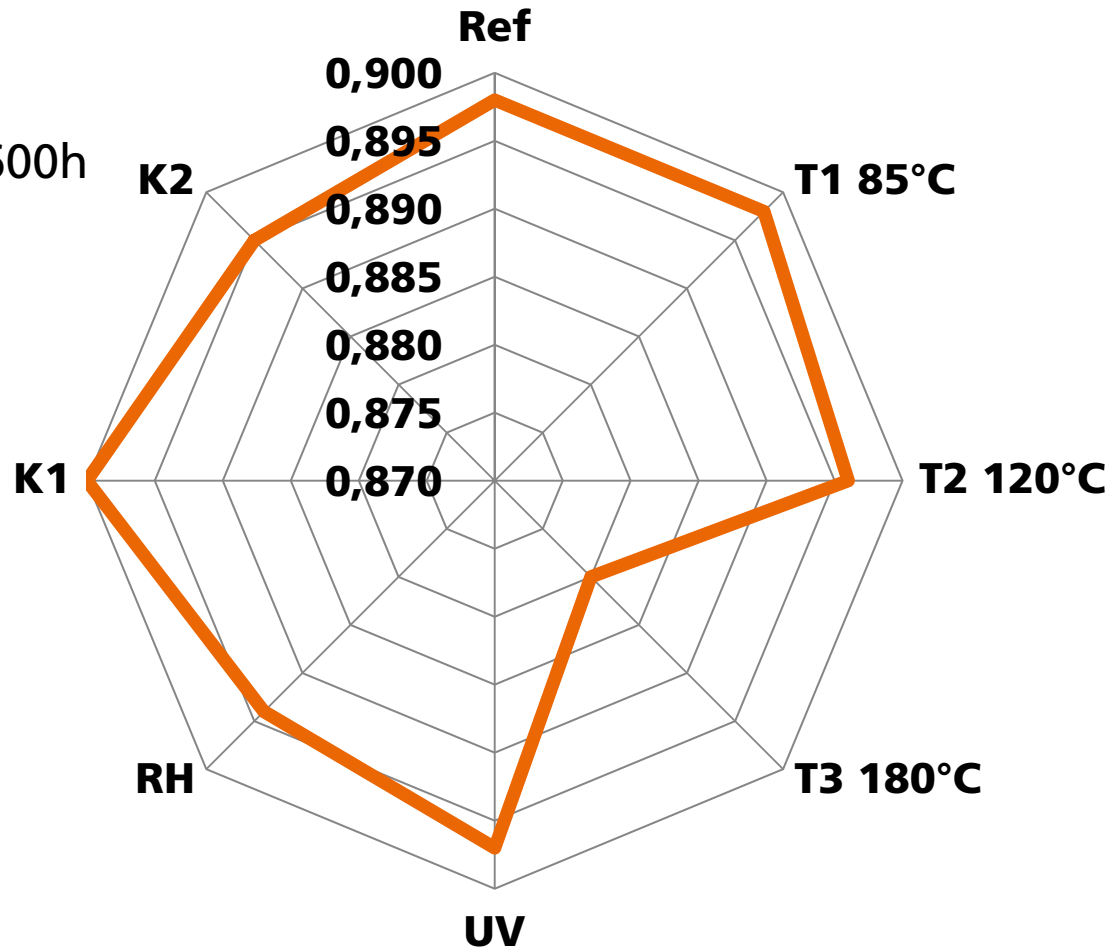
- Stressfaktoren
  - Temperatur
  - UV
  - Feuchte
- Reflektor #5



# Material und Screening Tests

## Reflektoren

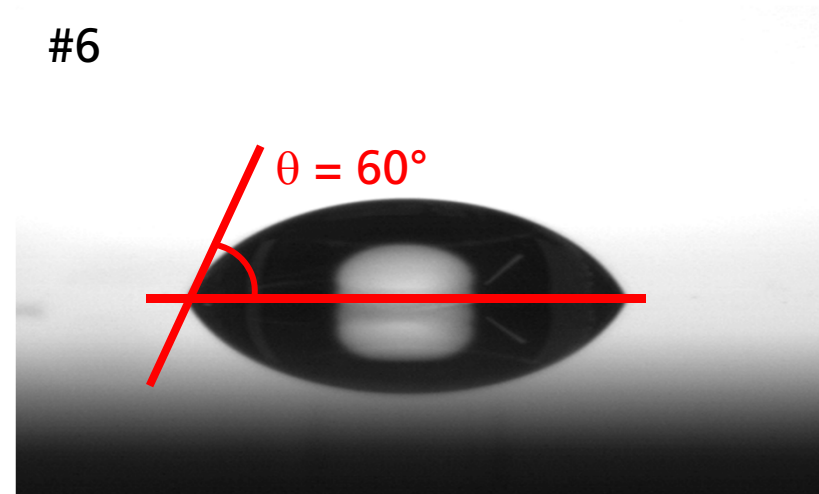
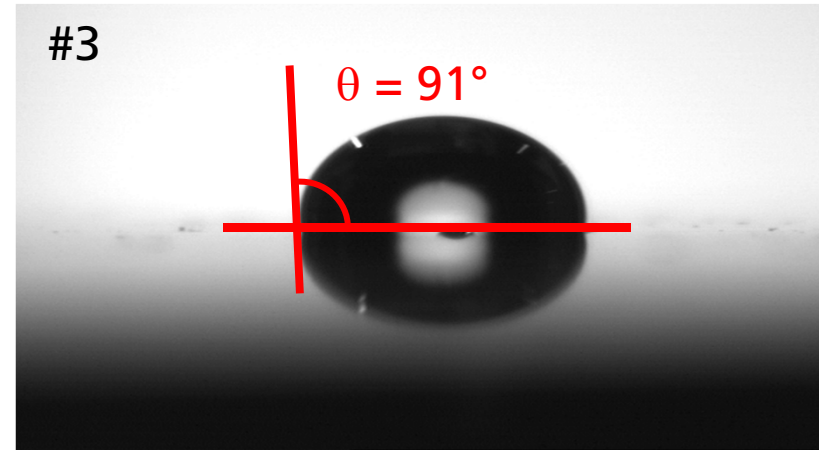
- Reflektor #3  
Zusammenfassung 600h
- Stressfaktor einzeln
- Kombinationstest  
K1: T 85°C, UV  
RH <10%
- K2: T 85°C, UV  
   RH 85%
- Ref ungealtert



# Material und Screening Tests

## Reflektoren

- Kontaktwinkel
- hydrophob  
 $\Theta > 90^\circ$
- hydrophil  
 $\Theta < 90^\circ$

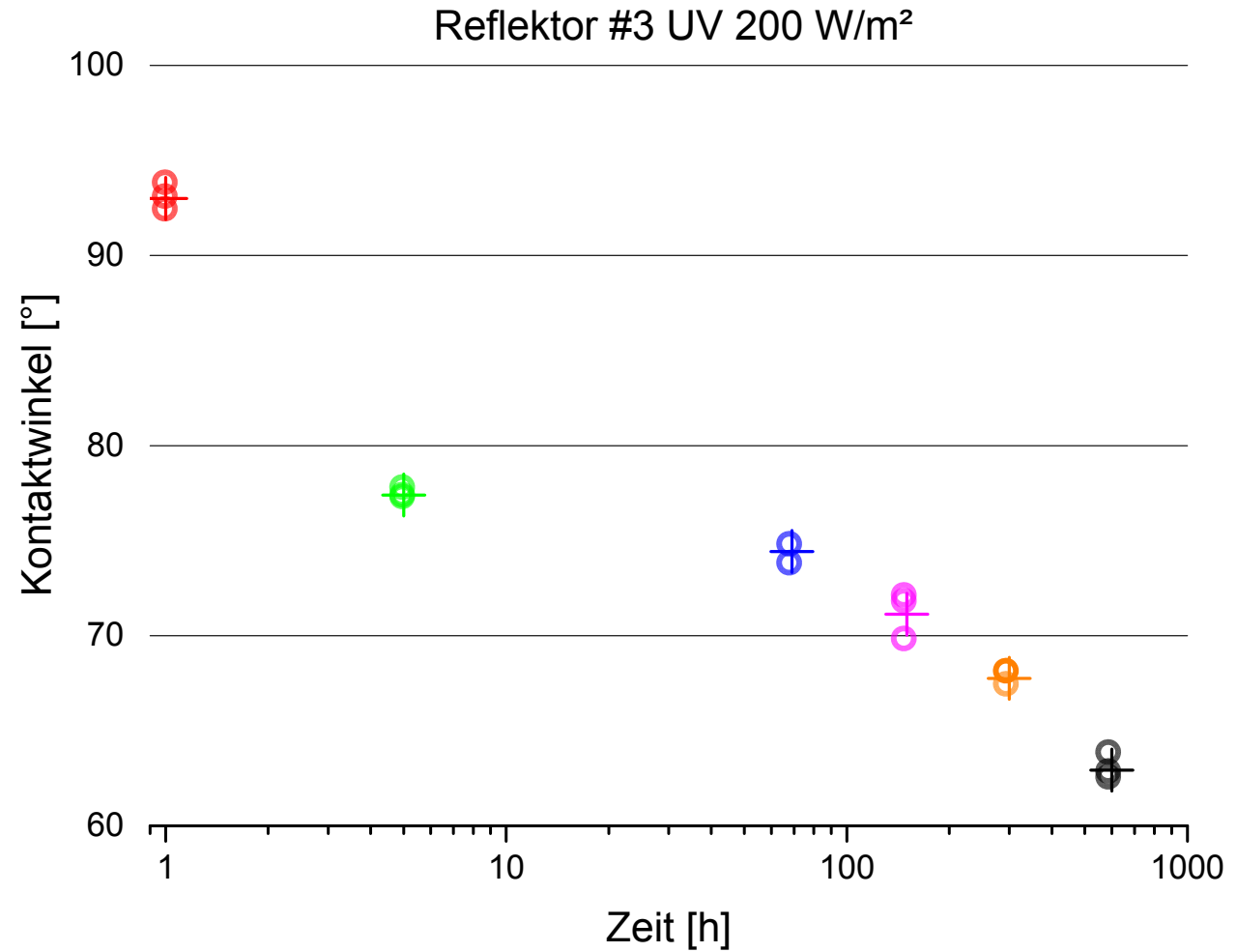




# Material und Screening Tests

## Reflektoren

- Kontaktwinkel nach UV Alterung



# Material und Screening Tests

## Reflektoren, Transparente Abdeckung

Verschleißprüfung  
DIN 52 348

- Sandrieseltest  
3kg  
Normsand



# Material und Screening Tests

## Transparente Abdeckung

- Kochi  
2 Jahre



- Gran Canaria  
1 Jahr



1 #

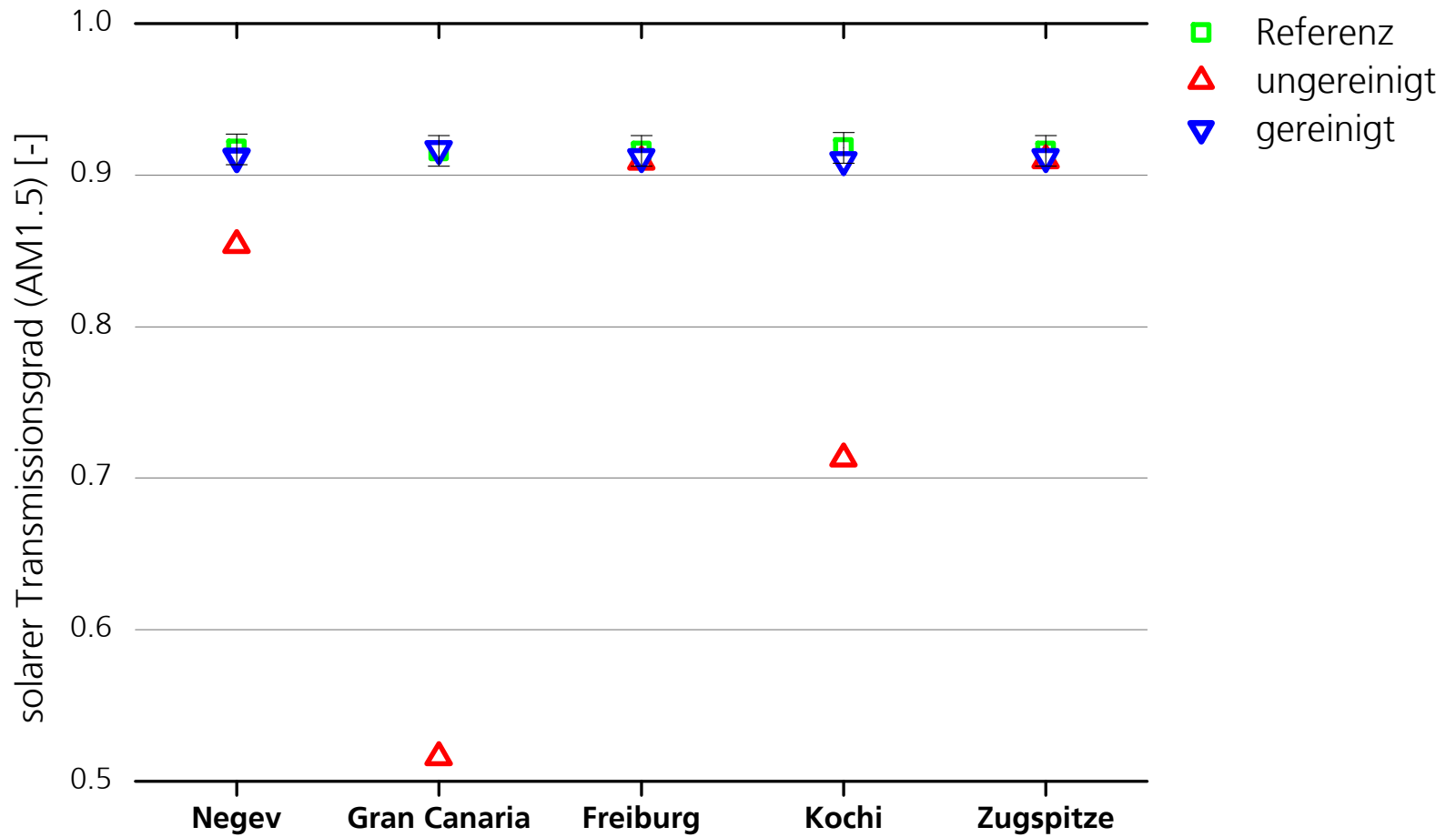


#2

# Material und Screening Tests

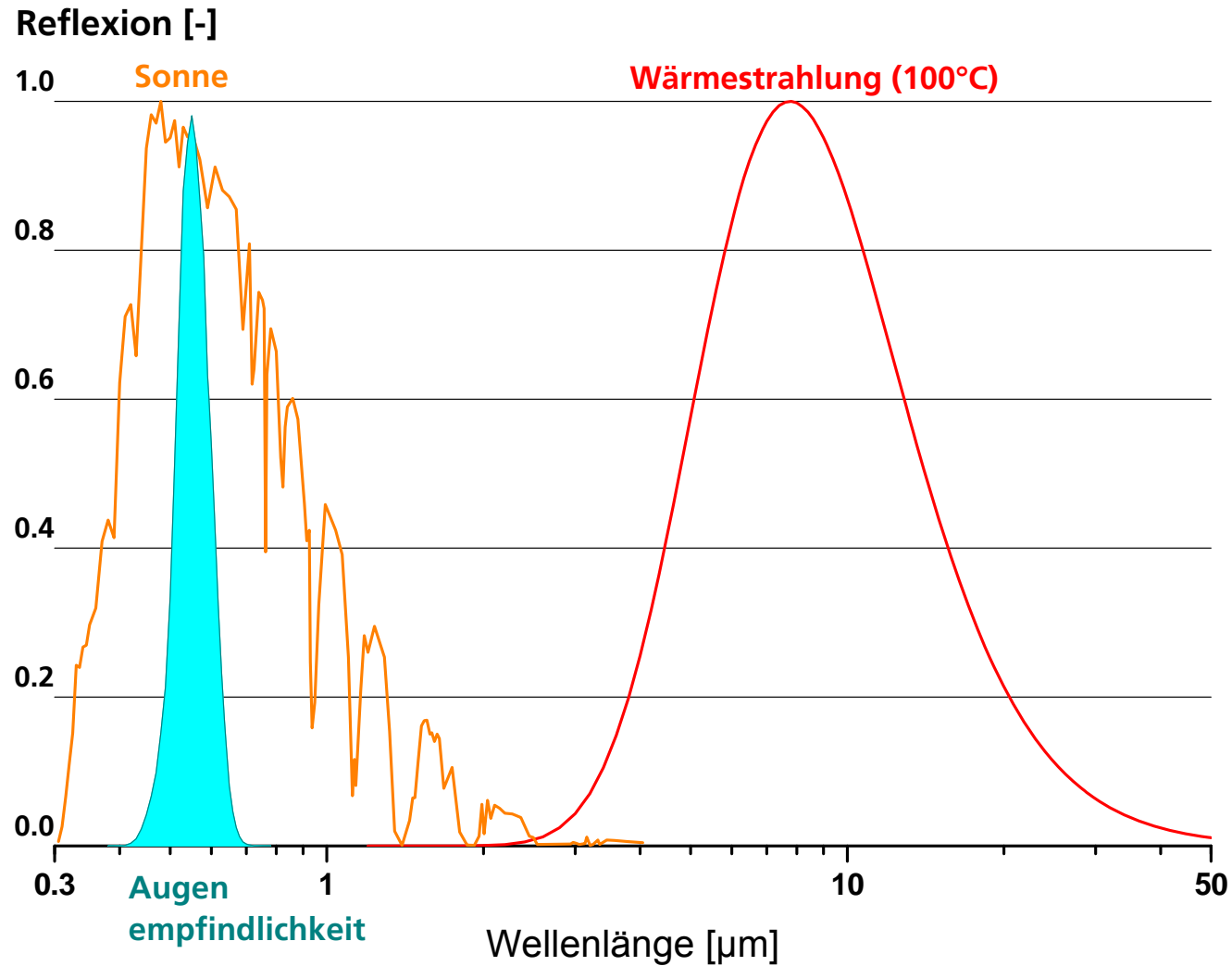
## Transparente Abdeckung

■ Glas #1 Vergleich nach 2 Jahre Exposition



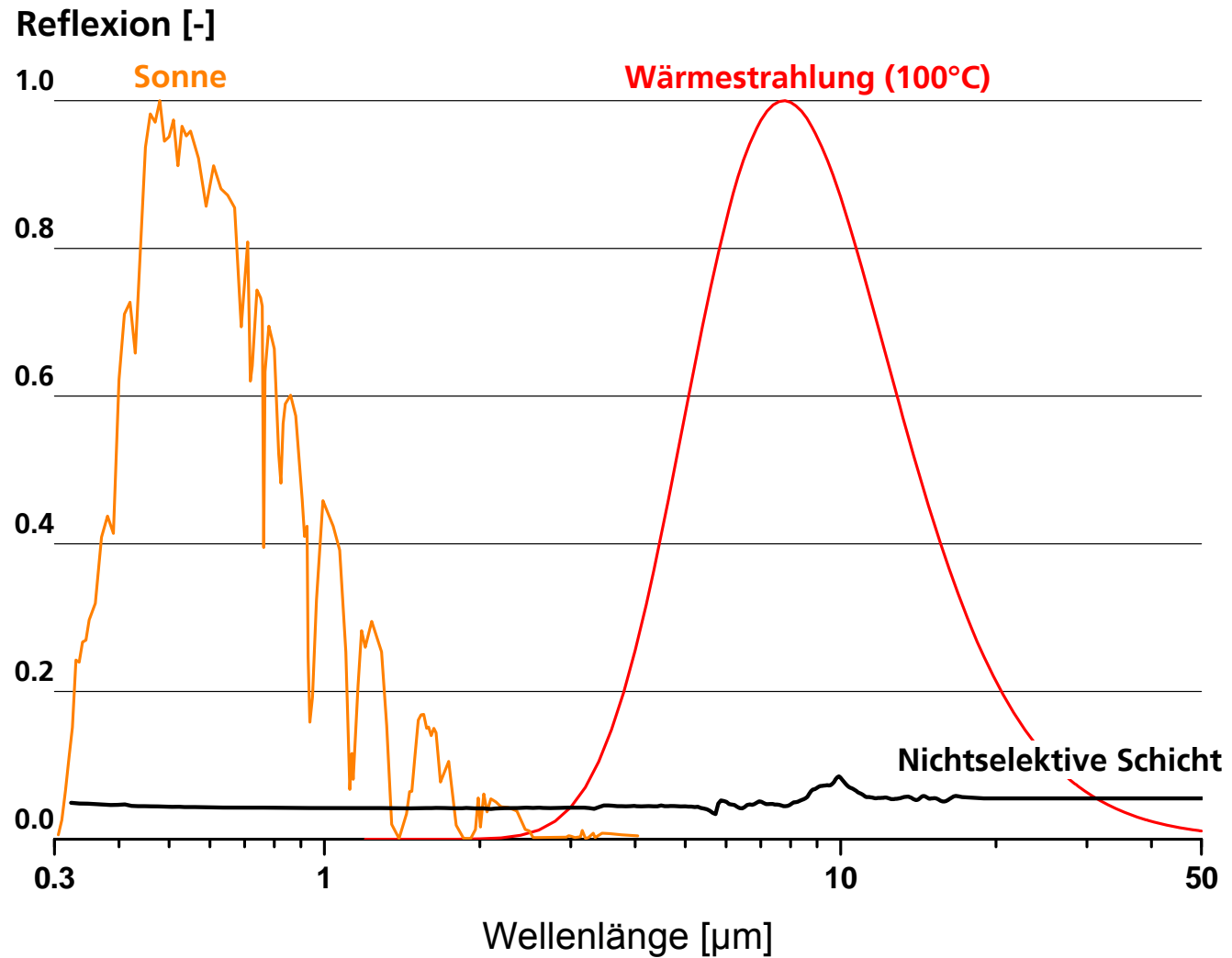
# Material und Screening Tests

## Absorber



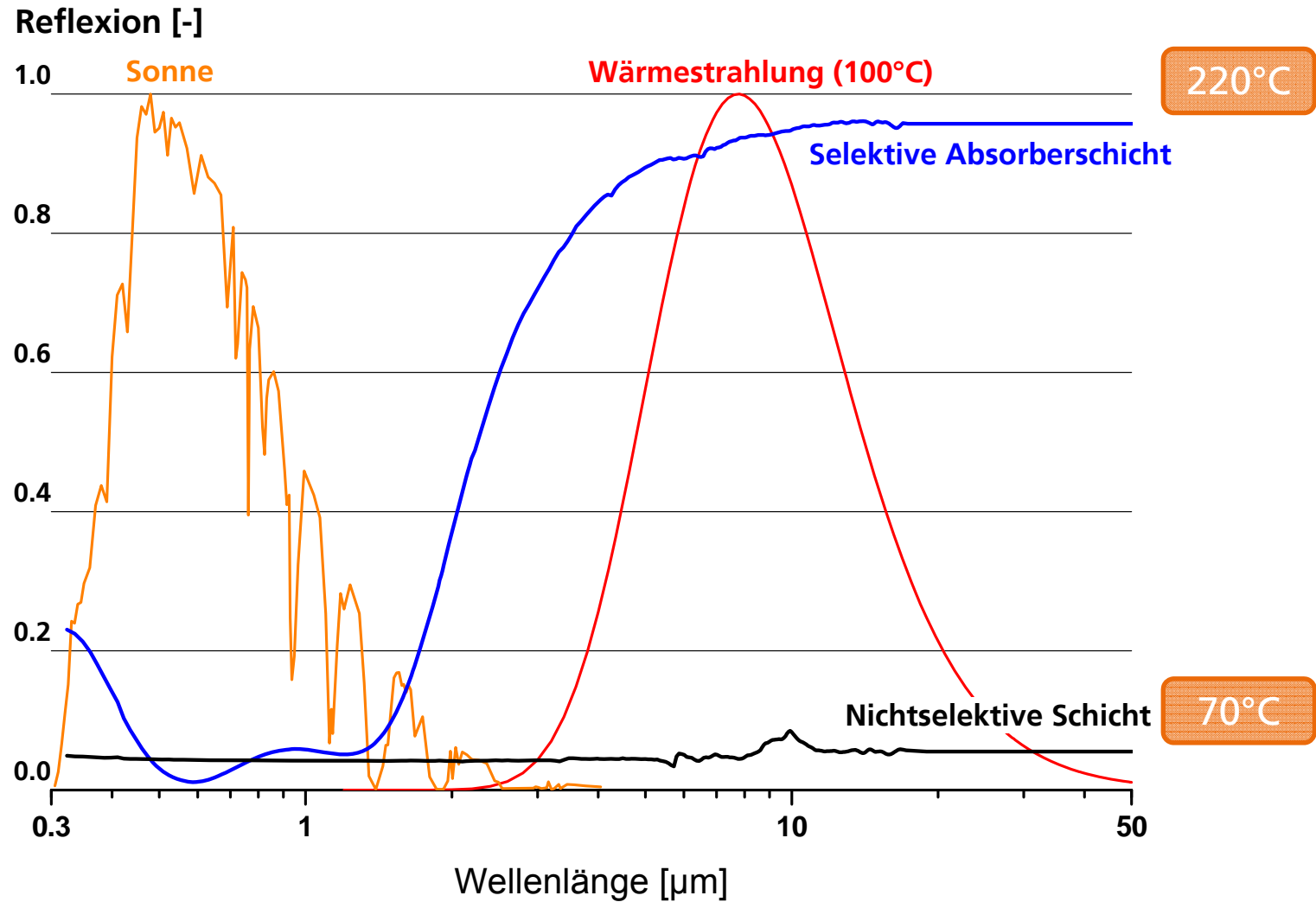
# Material und Screening Tests

## Absorber



# Material und Screening Tests

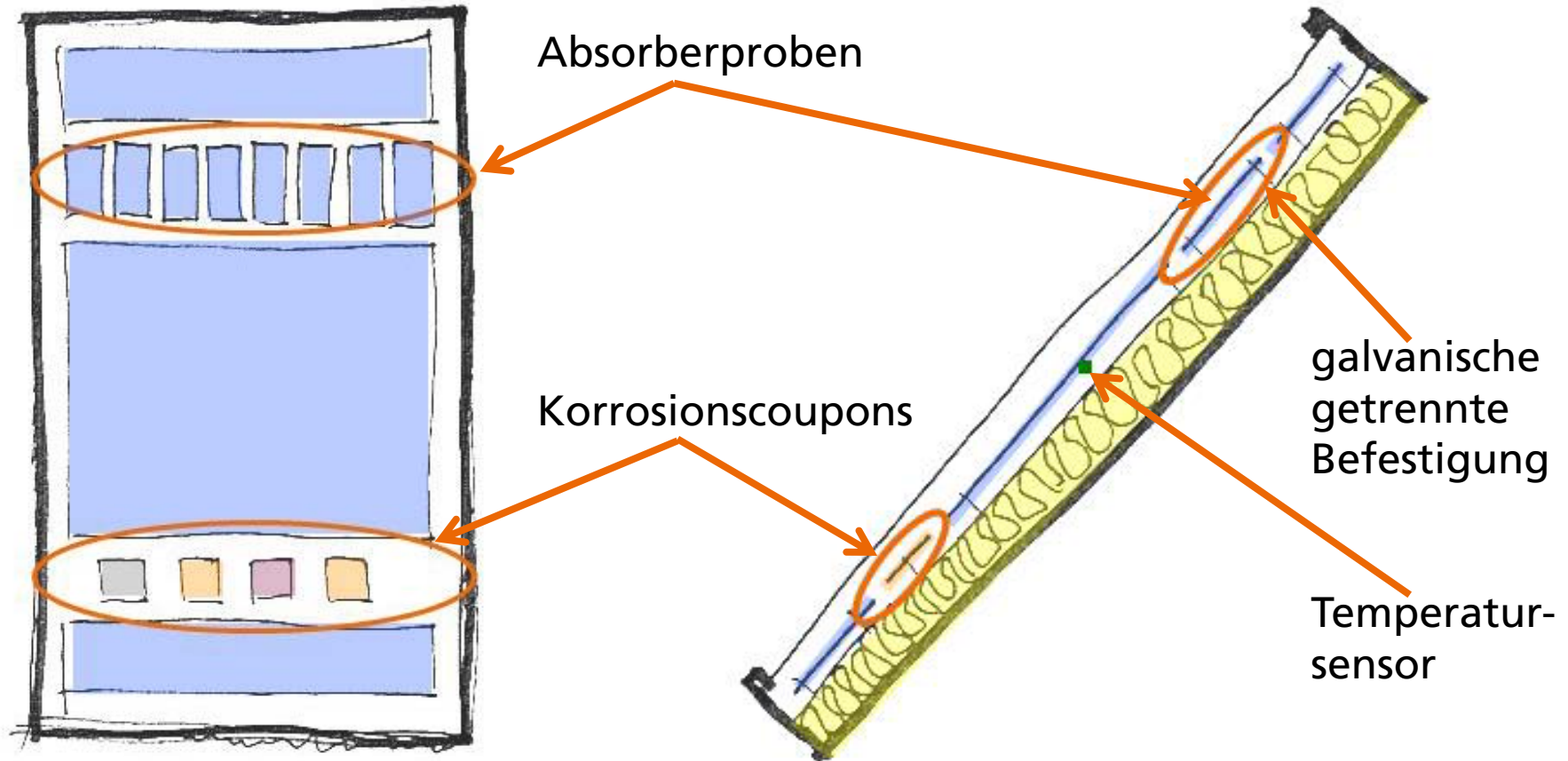
## Absorber



# Material und Screening Tests

## Absorber

### ■ Dummy Kollektor





# Material und Screening Tests

## Absorber

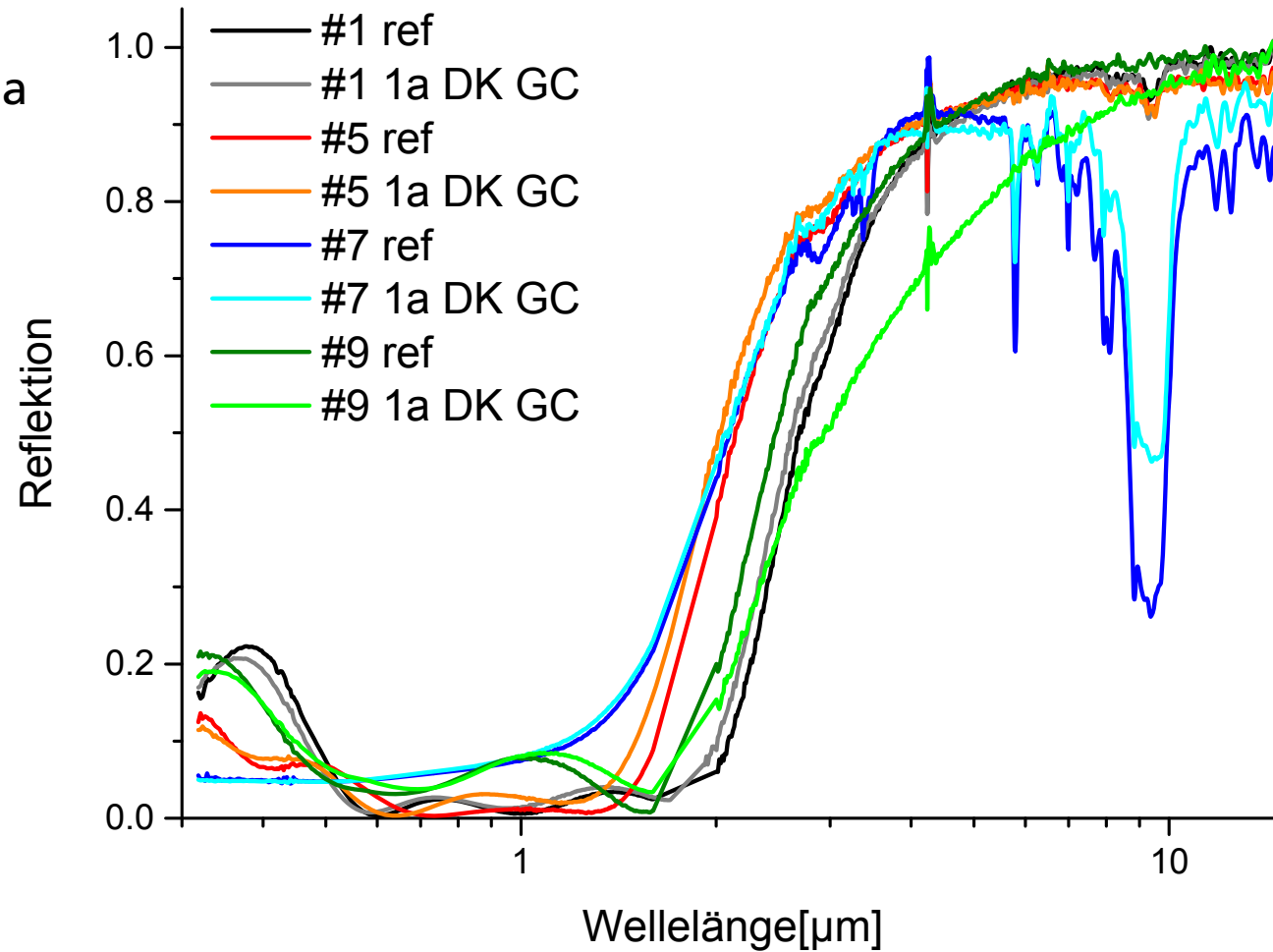
- Exposition
  - Negev
  - Gran Canaria
  - Stuttgart



# Material und Screening Tests

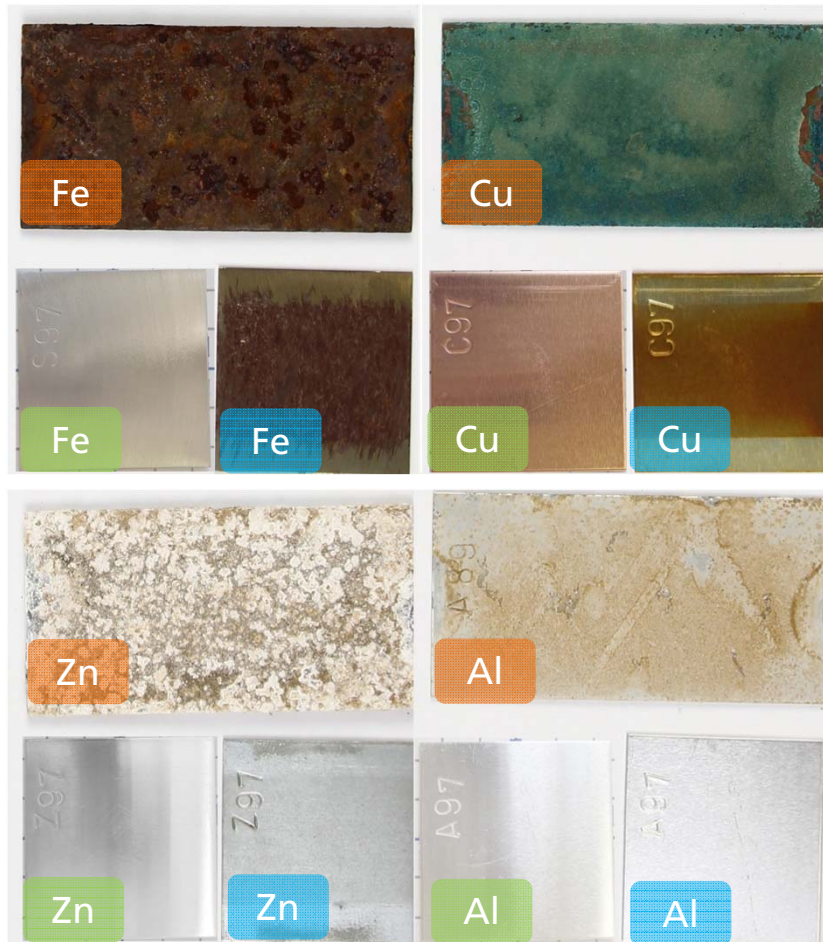
## Absorber

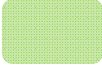


■ DK nach  
1a Gran Canaria



# Material und Screening Tests

## Absorber



-  Referenz vor Exposition
-  Aussen
-  Dummykollektor

■ Exposition 1 Jahr Gran Canaria

# Material und Screening Tests

## Absorber

- Exposition 1 Jahr Gran Canaria

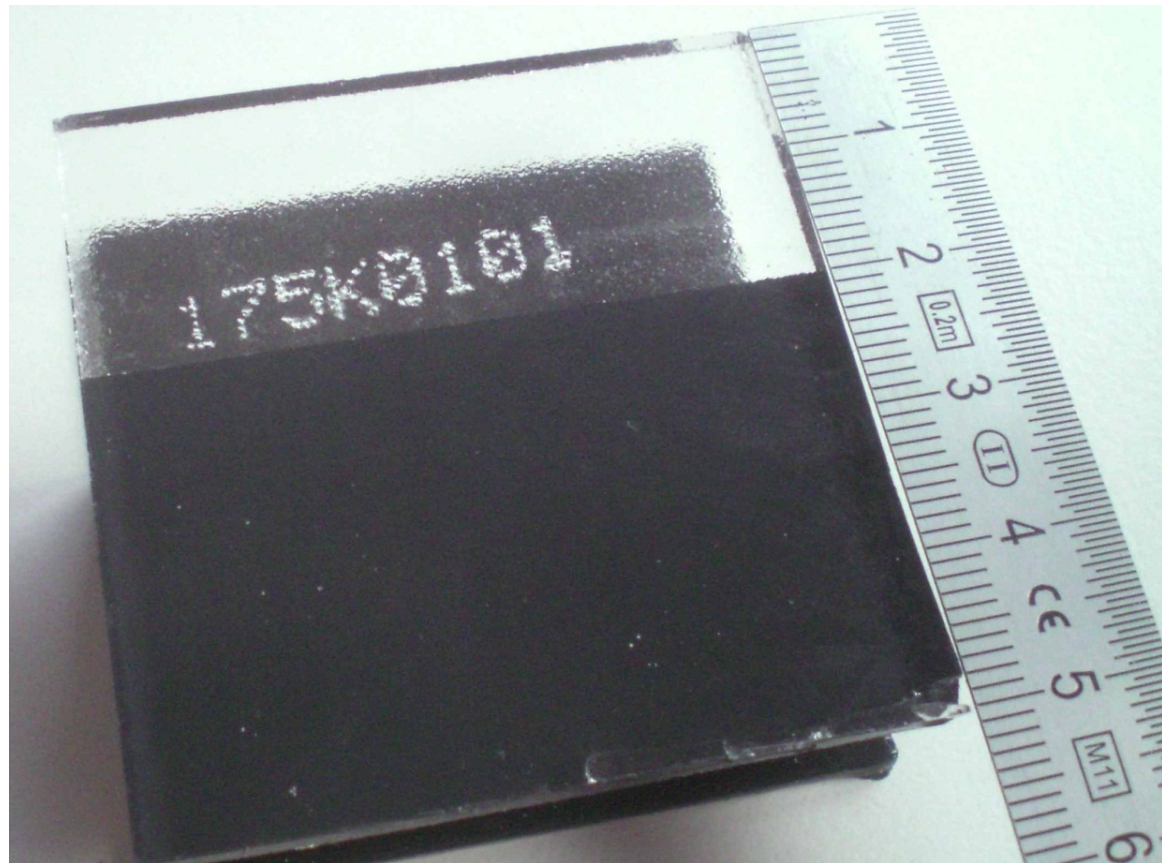
Metall	Außenatmosphäre		Im Dummykollektor	
	$r_{corr}$ [g/(m <sup>2</sup> a)]	Kategorie	$r_{corr}$ [g/(m <sup>2</sup> a)]	Kategorie
<b>Fe</b>	1258	<b>C5</b>	8	<b>C1</b>
<b>Cu</b>	96	<b>&gt;CX</b>	1	<b>C1</b>
<b>Zn</b>	731	<b>&gt;CX</b>	20	<b>C4</b>
<b>Al</b>	6	<b>C5</b>	2	<b>C3</b>

$\Delta r_{corr_A} - r_{corr_{DK}}$ [g/(m <sup>2</sup> a)]	Verhältnis DK/Aussen
1250	<b>1/157</b>
95	<b>1/96</b>
711	<b>1/37</b>
1	<b>1/3</b>

# Material und Screening Tests

## Klebematerialien

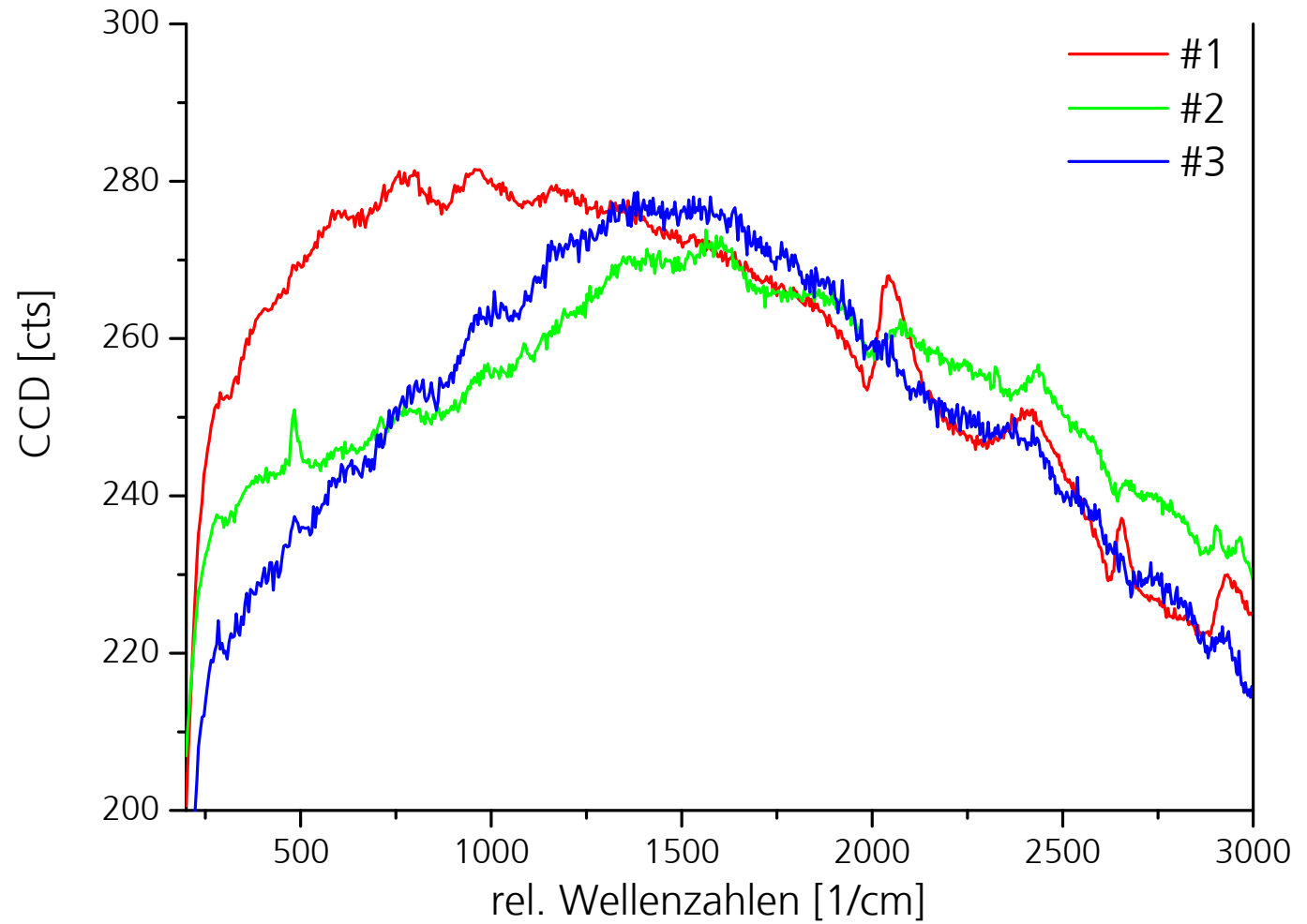
- Kleinprüfkörper
- 3 Kleber Hersteller
- 3 Materialkombinationen
  - Aluminium
  - Aluminium eloxiert
  - Aluminium Pulverbeschichtet



# Material und Screening Tests

## Klebstoffmaterialien

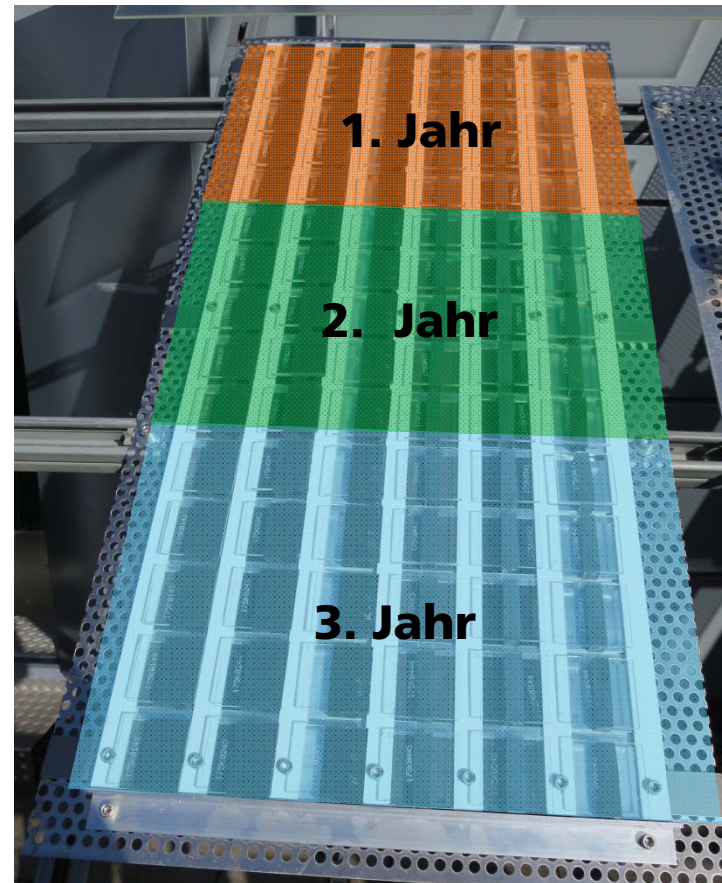
■ Raman-  
spektroskopie



# Material und Screening Tests

## Klebematerialien

- Expositionsorte
  - Referenzstandort Freiburg ISE  
exponiert seit  
02/2014 / 04/2015
  - Gran Canaria  
exponiert seit  
07/2014 / 09/2015
  - Kochi  
07/2014 / 05/2015



# Material und Screening Tests

## Wärmedämmung



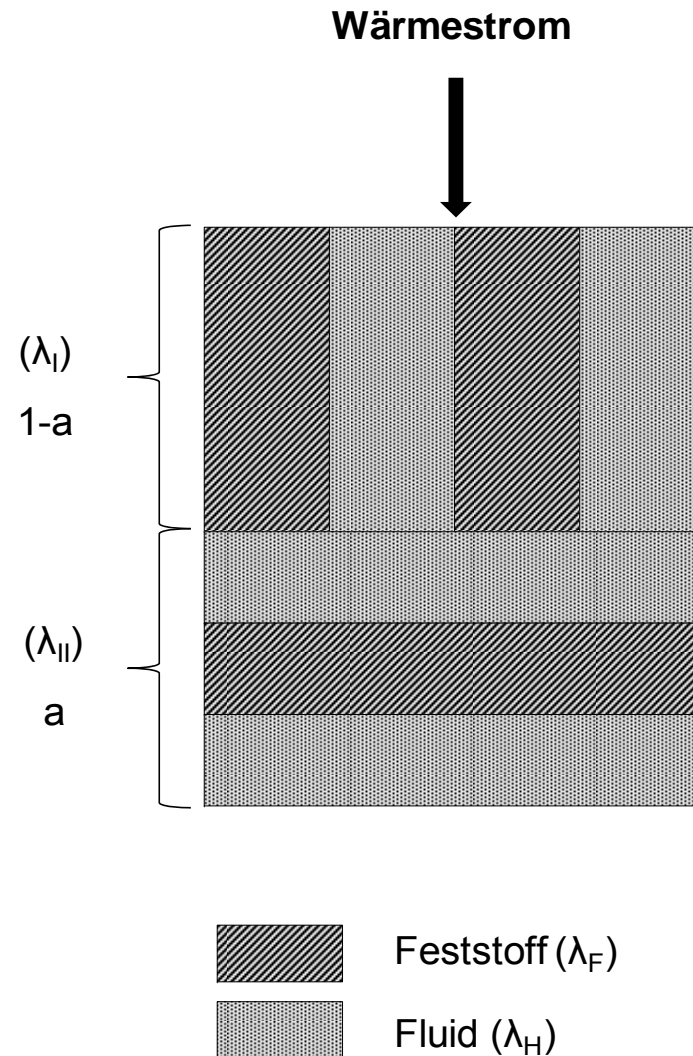
- Steinwolle
- Glaswolle
- Melaminharzschaum



# Material und Screening Tests

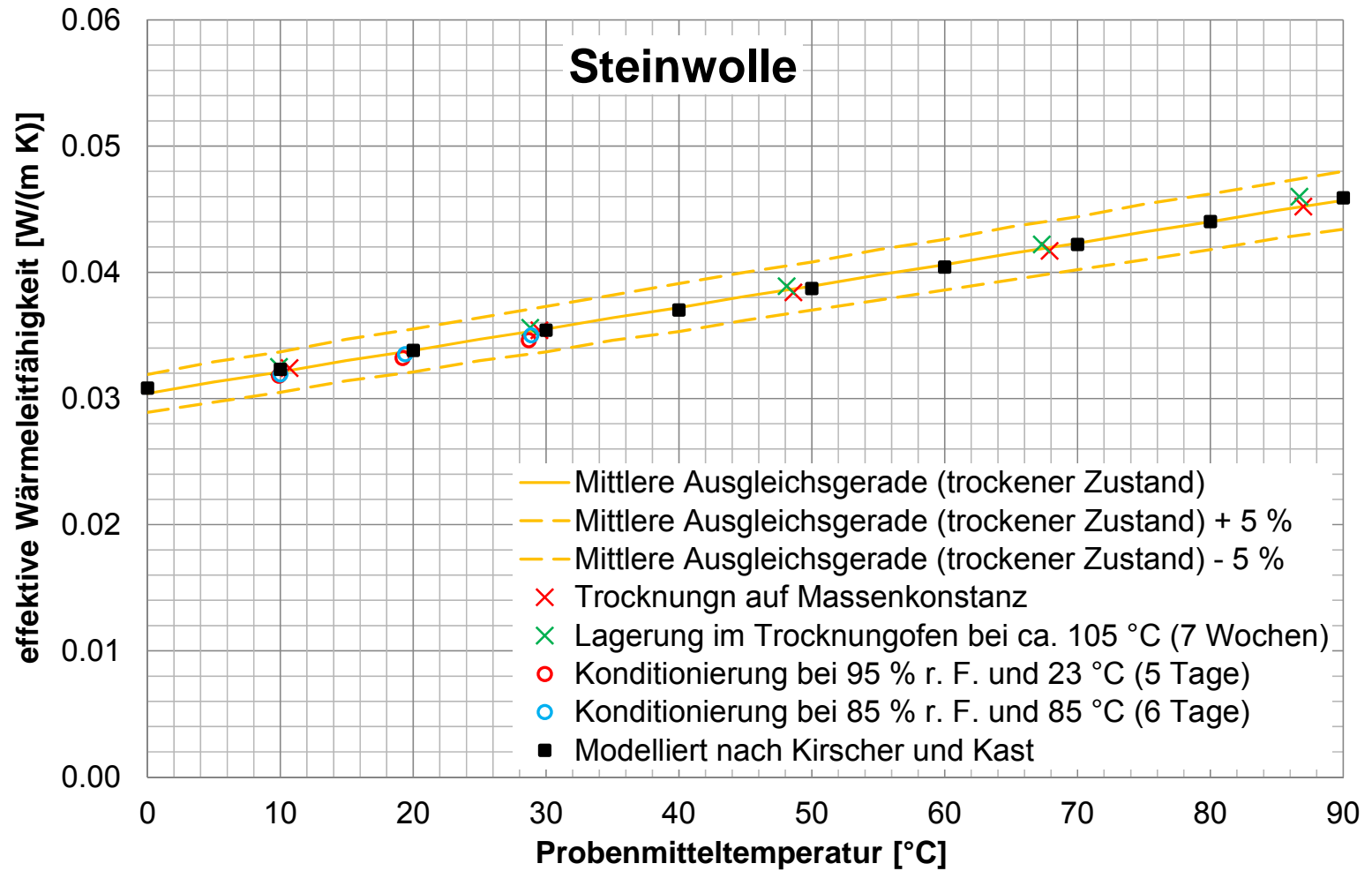
## Wärmedämmung

- Modellierung Wärmeleitfähigkeit (Kirscher und Kast)
- Stoffspezifische Konstanten für Modellierung
  - Dichte der Wärmedämmung
  - Dichte des Feststoffs
  - Wärmeleitfähigkeit des Feststoffs
- aus den Messwerten iterativ bestimmt
  - Anteil  $a$  der seriellen Schichten
  - Lokale Strahlungskonstante  $c_{str}$  der Hohlräume



# Material und Screening Tests

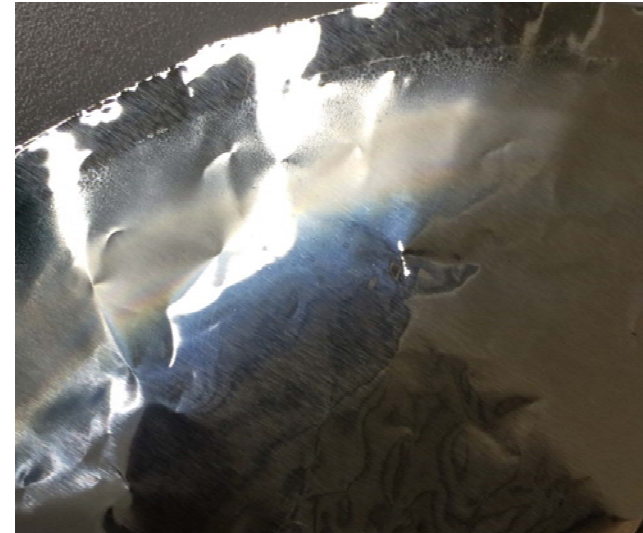
## Wärmedämmung



# Material und Screening Tests

## Wärmedämmung

- Untersuchung des Ausgasungsverhaltens von Wärmedämmungen
- Gravimetrisches Prüfverfahren
  - Gewichtsbestimmung vor und nach der Belastung
- Optisches Prüfverfahren
  - Aufdampfen der Ausgasung auf eine Glasscheibe
  - Visuelle Inspektion



# Material und Screening Tests

## Zusammenfassung

- Komponente Wärmedämmung
- Outdoor
  - Probennahme Wärmedämmung von exponierten Kollektoren nach Kollektoröffnung
- Indoor
  - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit vor Alterung
  - Modellierung Wärmeleitfähigkeit für 3 verschiedene Materialien
  - Untersuchung des Ausgasungsverhaltens an 3 verschiedene Materialien
  - Bestimmung der Leitwertänderung von demineralisiertem Wasser durch Wärmedämmung

# Material und Screening Tests

## Zusammenfassung

- Komponenten: Reflektor, Transparente Abdeckung, Absorber, Kleber
- Optische Charakterisierung vor Exposition
  - Extrem geringe Streuung der Messwerte  
Transmission, Reflexion, Absorption
- Outdoor
  - Komponenten zeigen stark unterschiedliche Verschmutzung an den Expositionstandorten
  - Nach Reinigung werden die ursprünglichen Werte weitestgehend wieder erreicht
  - Kleber ein Jahr Exposition erreicht
- Wünschenswert
  - Da bisher nur kleine Änderungen feststellbar längere Freibewitterung
  - Qualitativ minderwertige oder vorgeschädigte Proben zusätzlich exponieren

# Material und Screening Tests

## Zusammenfassung

- Komponenten: Reflektor, Transparente Abdeckung, Absorber, Kleber
- Indoor
  - Reflektoren, Absorber bei Stressfaktoren einzeln Temperatur, Feuchte, UV sowie in Kombination sehr beständig
  - Einzelne transparente Abdeckungen mit funktionellen Beschichtungen sind nur bedingt stabil
  - Abrasion an Komponenten in verschiedenen Tests erfolgreich getestet
  - Kleber Teil A und Teil B abgeschlossen, Teil C in 12/2015 erwartet
- Wünschenswert
  - Da bisher nur kleine Änderungen in Exposition feststellbar längere Freibewitterung notwendig, um Schadefekte festzustellen und Indoor nachzubilden

# Material und Screening Tests

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Thomas Kaltenbach

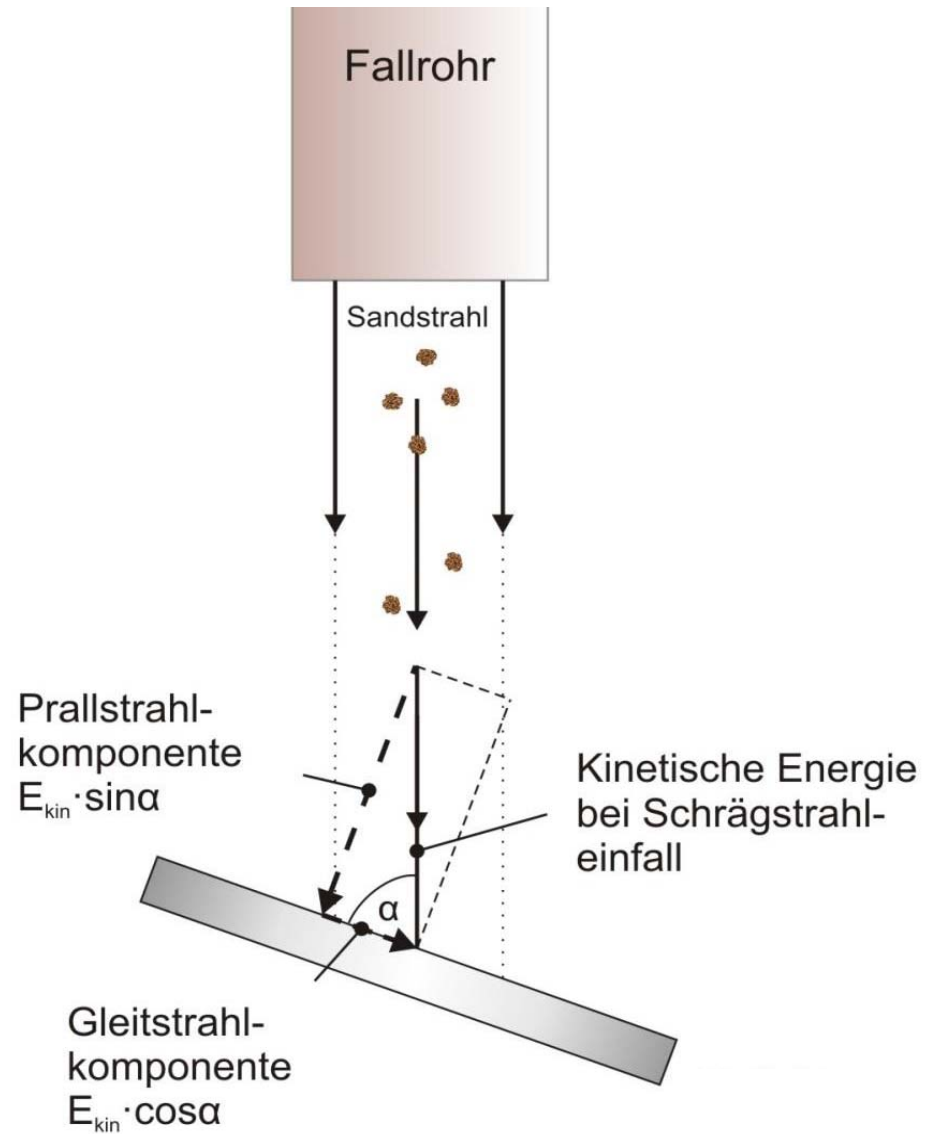
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

[thomas.kaltenbach@ise.fraunhofer.de](mailto:thomas.kaltenbach@ise.fraunhofer.de)

# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Gläser

- Sandrieseltest  
Normsand





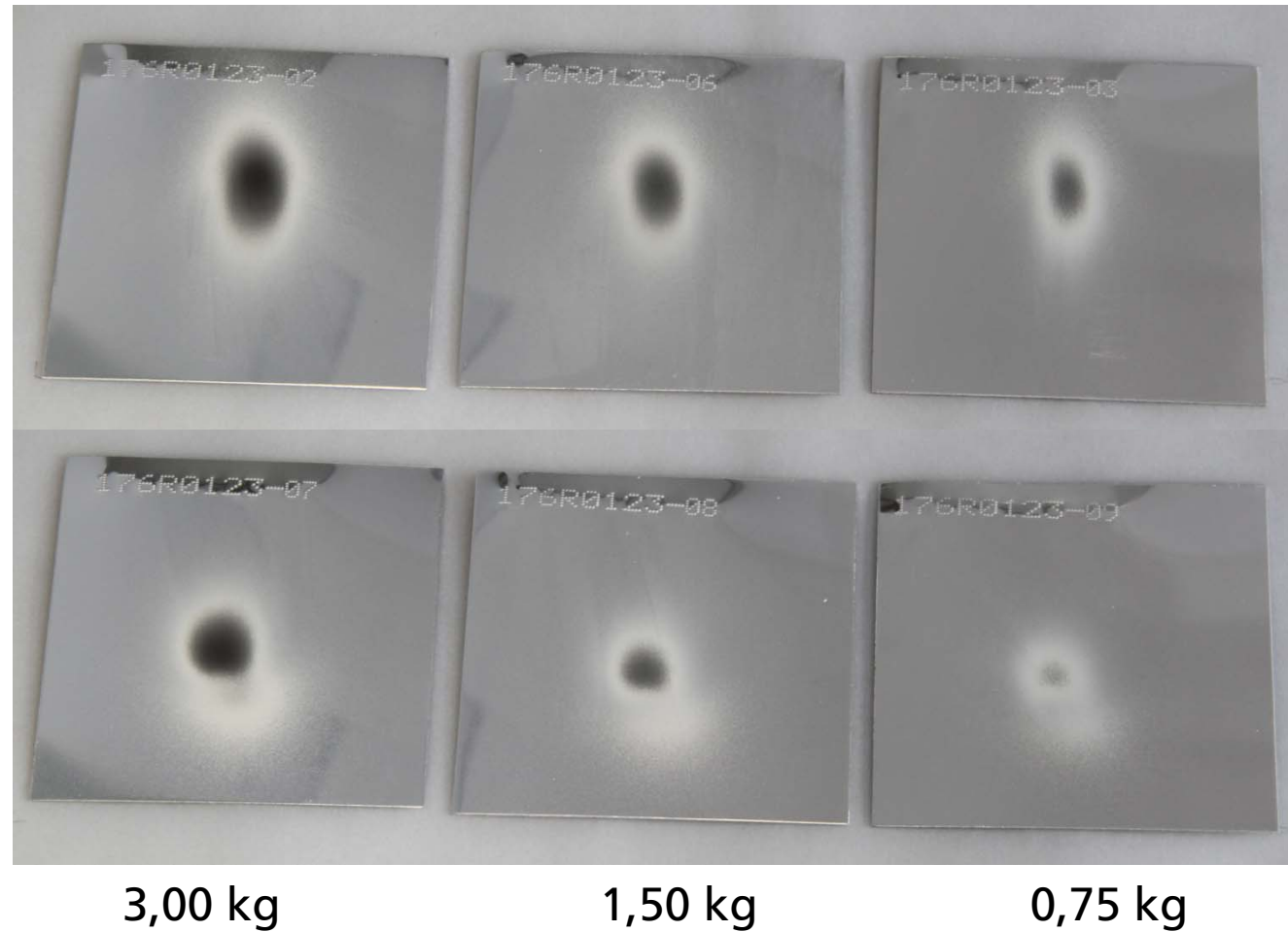
# AP 4: Screening Tests

## AP 4.1: Reflektoren

Vortest

45°

- Sandrieseltest  
Normsand

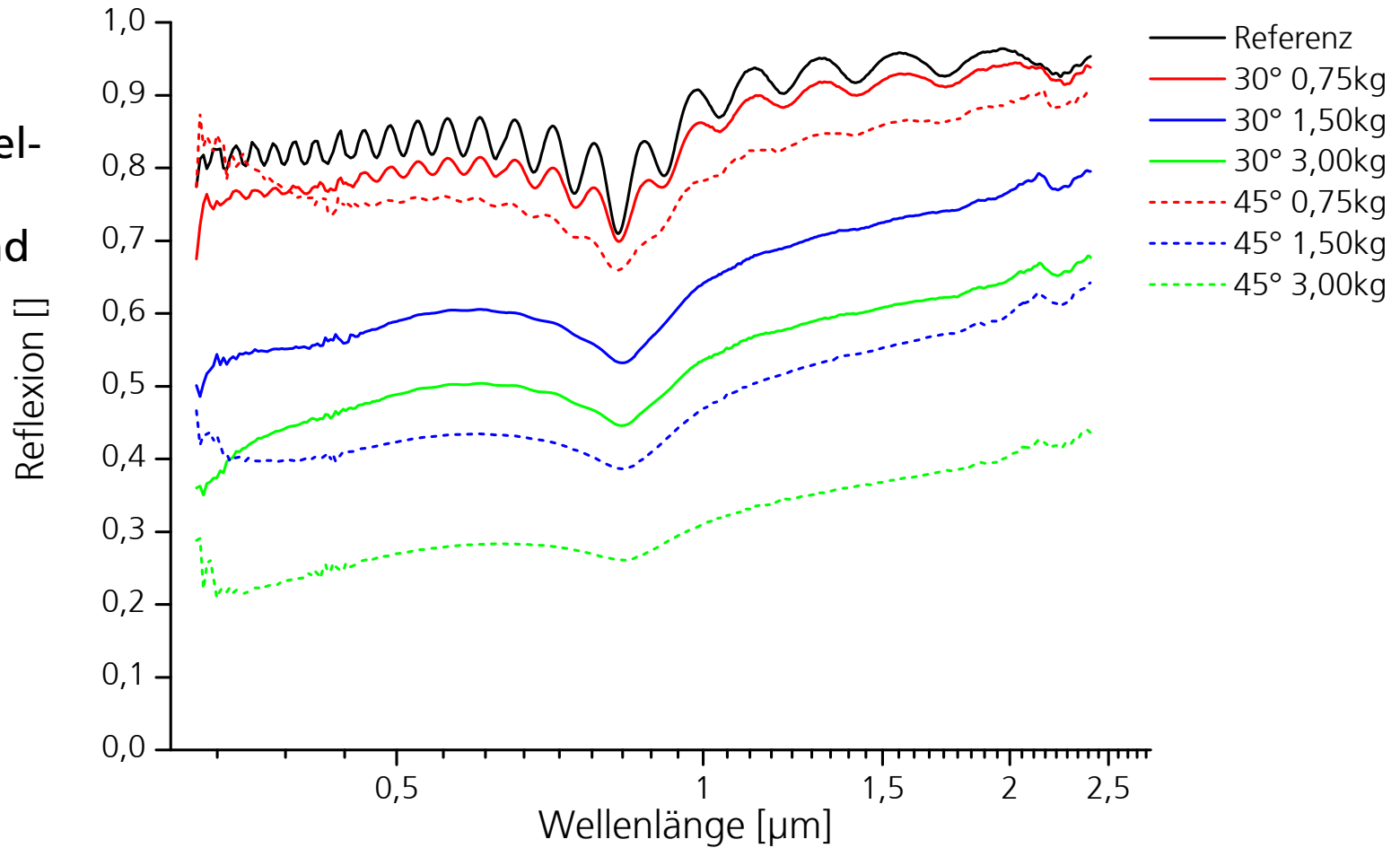


# AP 4: Screening Tests

## AP 4.1: Reflektoren

Vortest

■ Sandriesel-  
test  
Normsand



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.1: Reflektoren

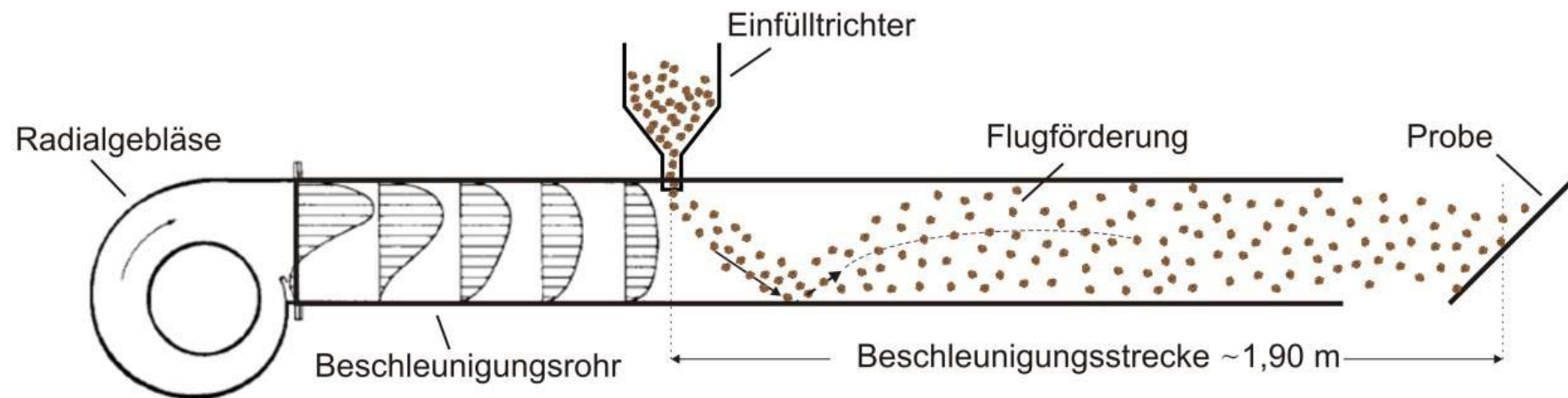
- Sandstrahlverfahren mit Normsand



# AP 4: Screening Tests

AP 4.1: Reflektoren, AP 4.3 Gläser

- Sandstrahlverfahren mit Normsand
- Dichte Sand  $2650 \text{ kg/m}^3$ , Geschwindigkeit  $11,7 \text{ m/s}$ , Sandkonzentration ca.  $550 \text{ g/m}^3$
- Sandsturm:  
>  $10 \text{ g/m}^3$  [Aerosol Technology, W. Hinds, LA, J. Willey&Sons 1999]



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.1: Reflektoren

- Sandstrahlverfahren mit Normsand 45° Aufprallwinkel

- 176R04



0,075 kg



0,15 kg



0,75 kg



1,50 kg



3,00 kg

# AP 4: Screening Tests

## AP 4.1: Reflektoren

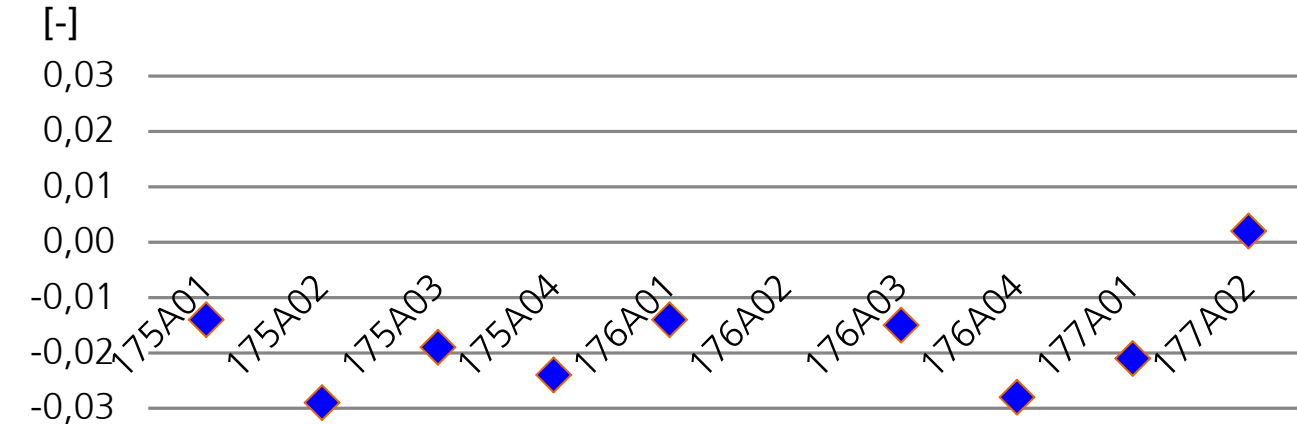
- Vergleich Sandriesel- Sandstrahl Verfahren bei einem Aufprallwinkel 45°
- Abrasionsgrad  $R_1/R_0 * [100\%]$
- Reflektor 176R04

Reflektor 176R04	0,075 kg	0,15 kg	0,75 kg	1,50 kg	3,00 kg
Sandstrahlprinzip	1,4%	3,0%	9,1%	12,4%	31,5%
Sandrieselverfahren	-	-	29,3%	38,8%	63,6%

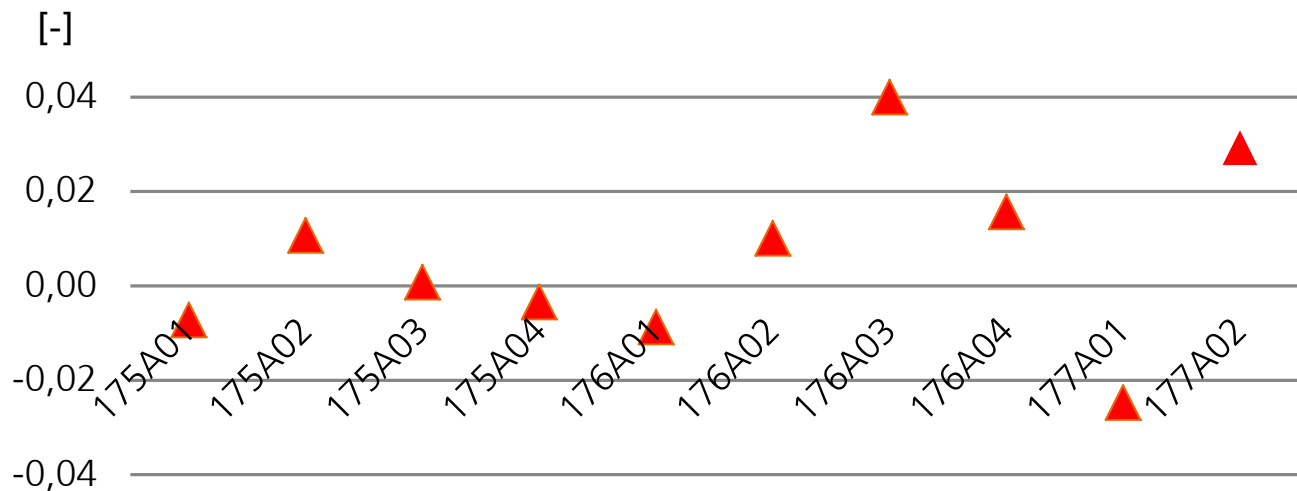
# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber DK 1a Gran Canaria

■ Änderung  
 $\alpha$  [AM1.5]  
 $\Delta = \alpha(T_0) - \alpha(T_1)$



■ Änderung  
 $\varepsilon$  [373K]  
 $\Delta = \varepsilon(T_0) - \varepsilon(T_1)$

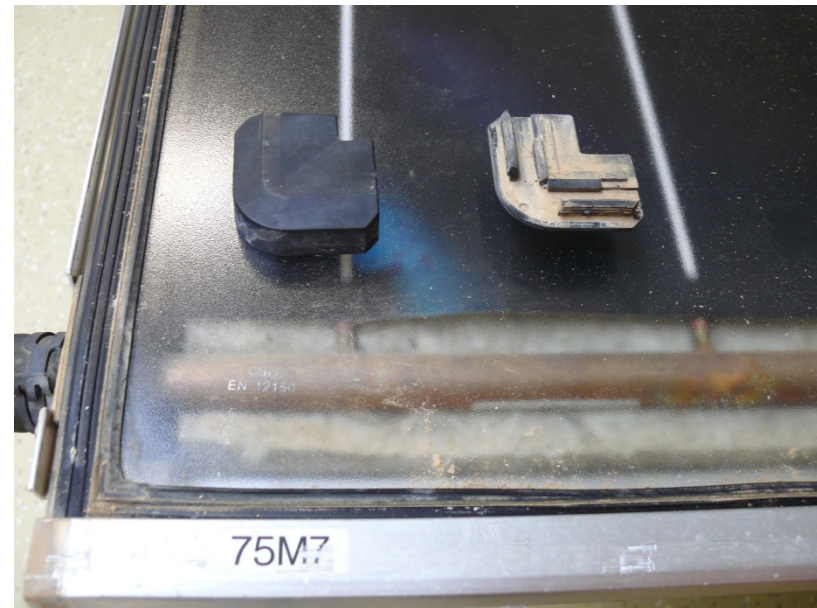
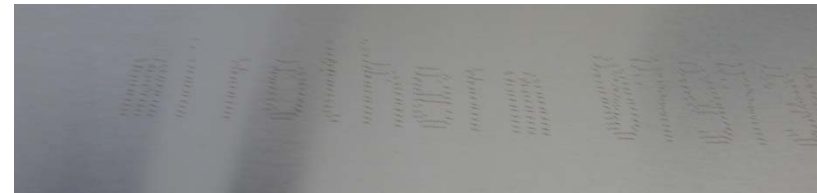


# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 75M7

1a Negev

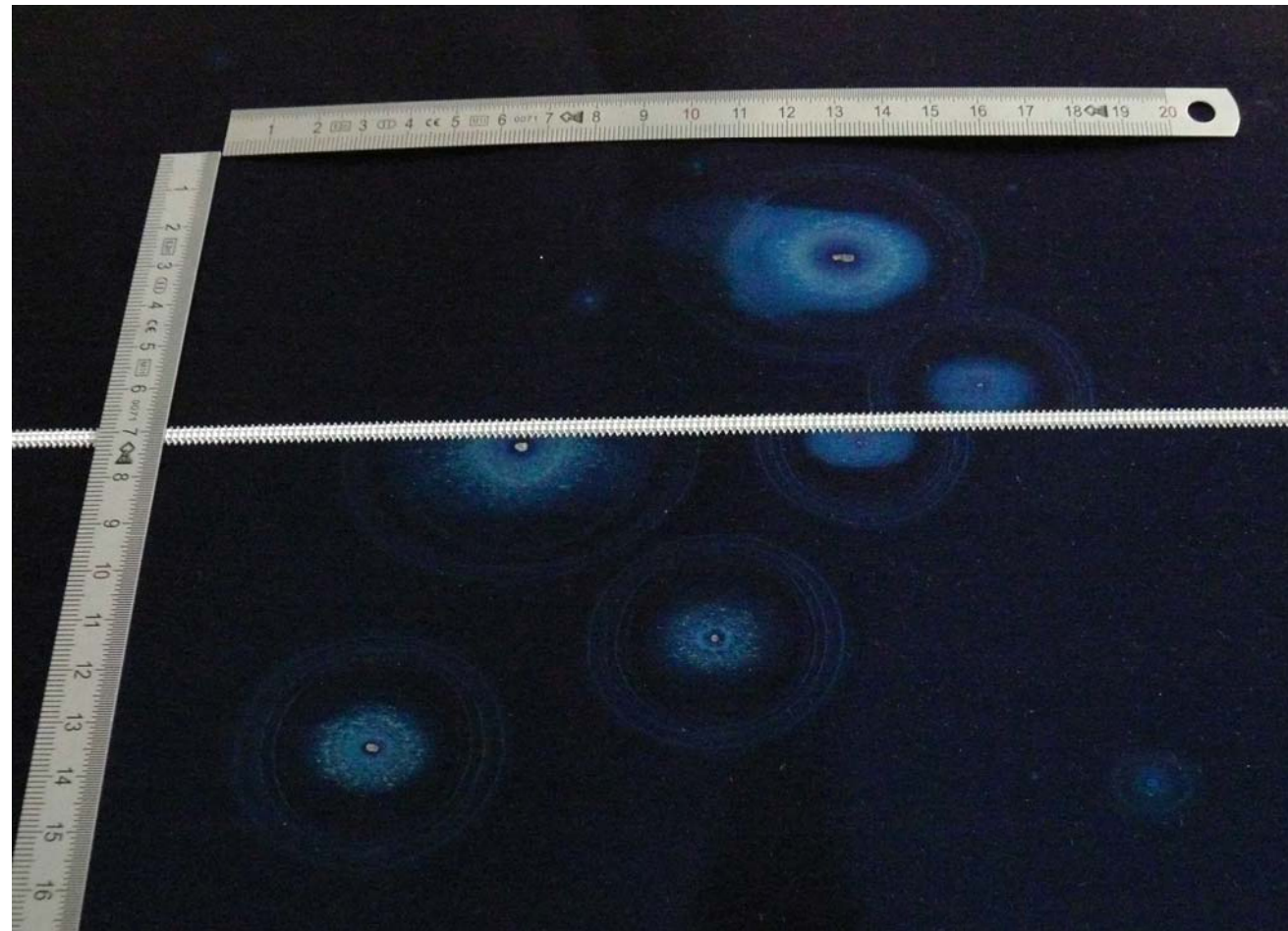




# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

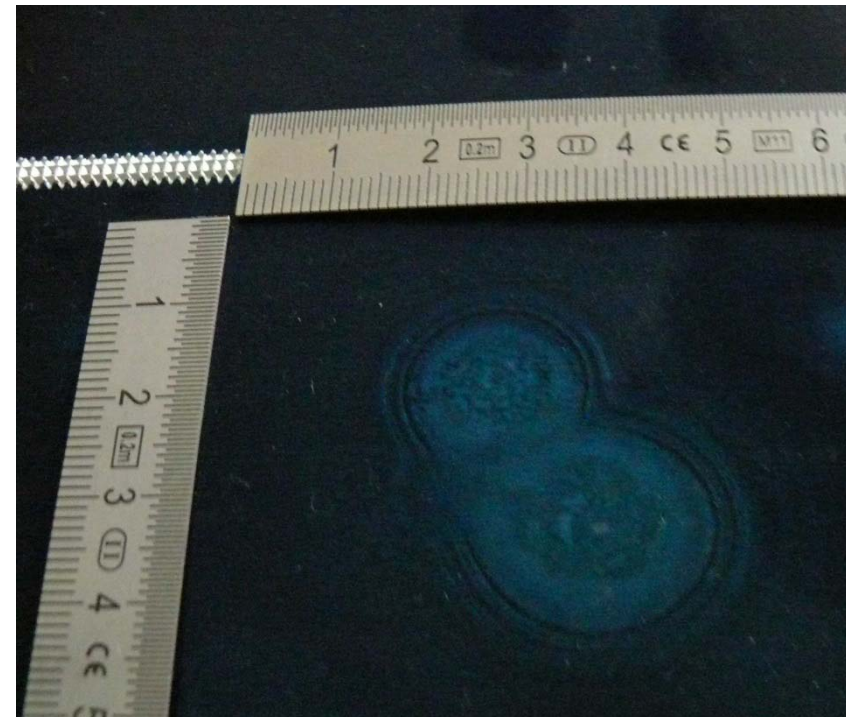
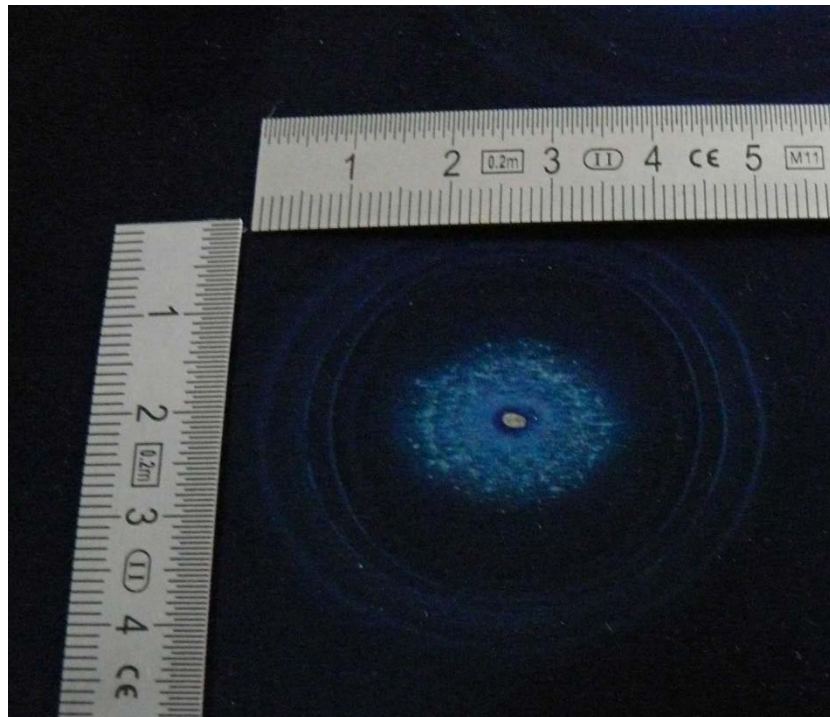
- Rückholung Kollektor 75M7
- 1a Negev
- ca. 10% Flächenanteil (gesamt)
- ca. 2,5% Flächenanteil (Kern)



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 1a Negev



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 1a Negev

Änderung

$\alpha$  [AM1.5]

$$\Delta = \alpha(T_0) - \alpha(T_1)$$

$$\Delta = 0,03$$

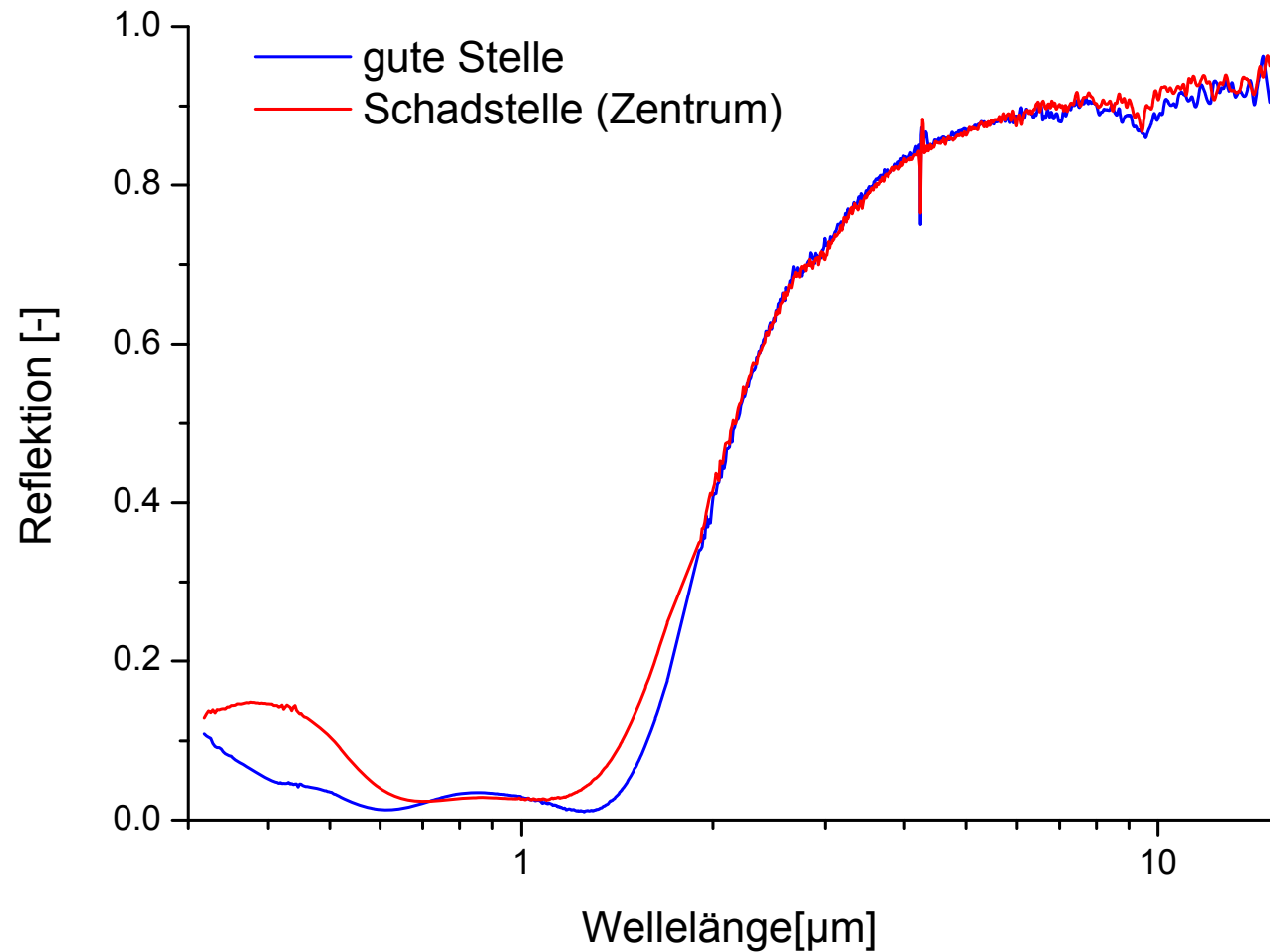
$$\Delta \text{ rel} = 3\%$$

Änderung

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon(T_0) - \varepsilon(T_1)$$

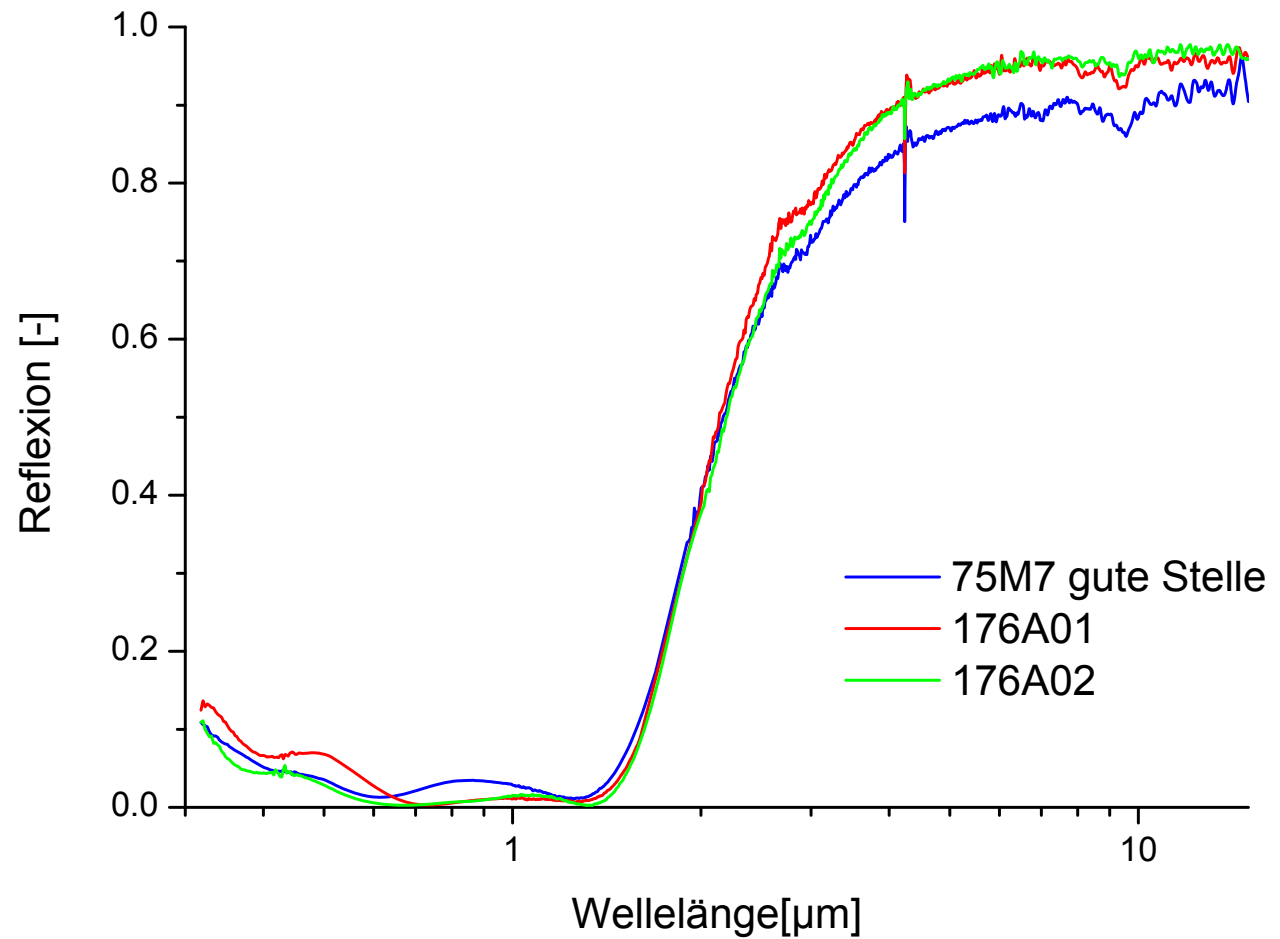
$$\Delta \text{ rel} = 10\%$$



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 1a Negev



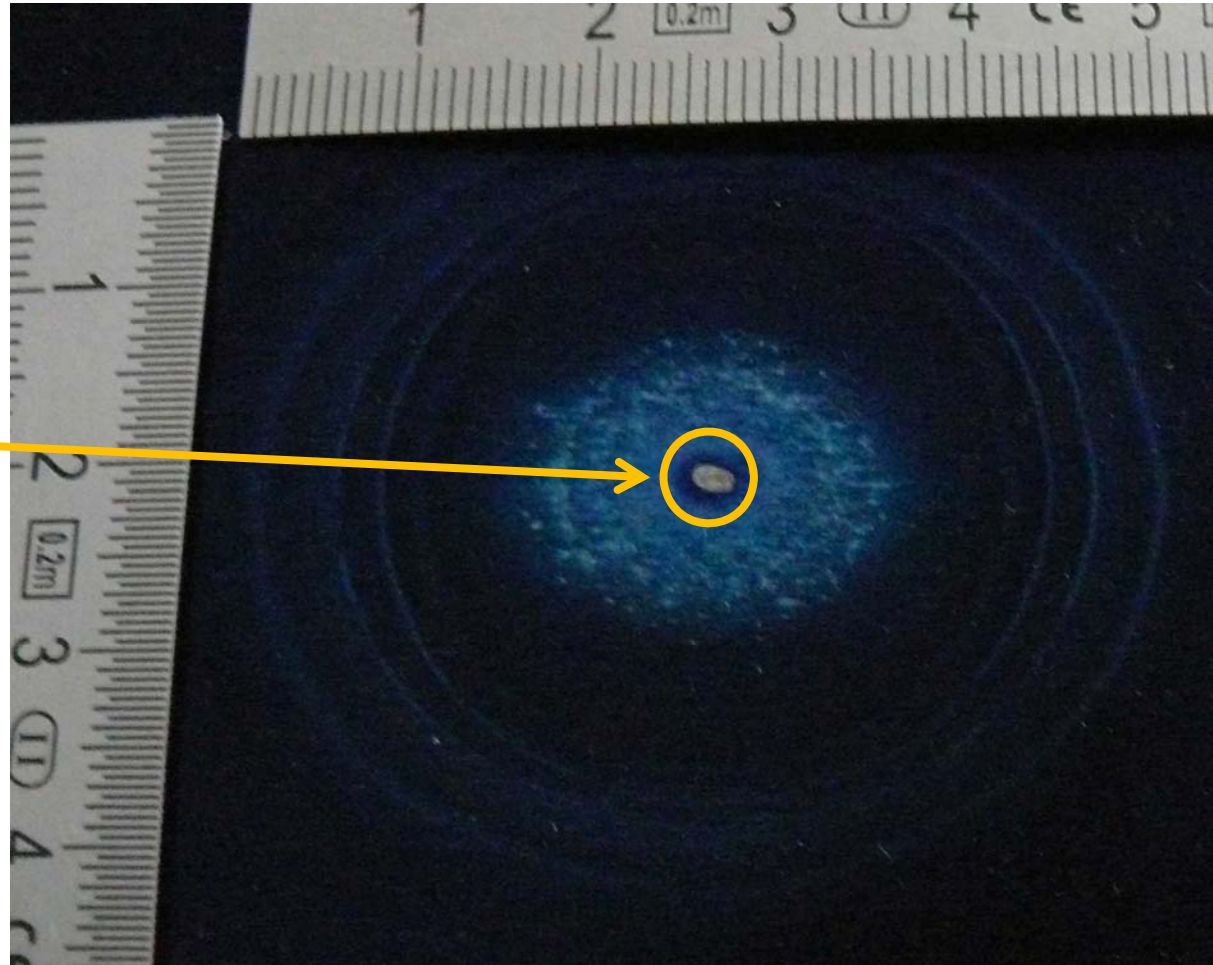
# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 1a Negev

- EDX

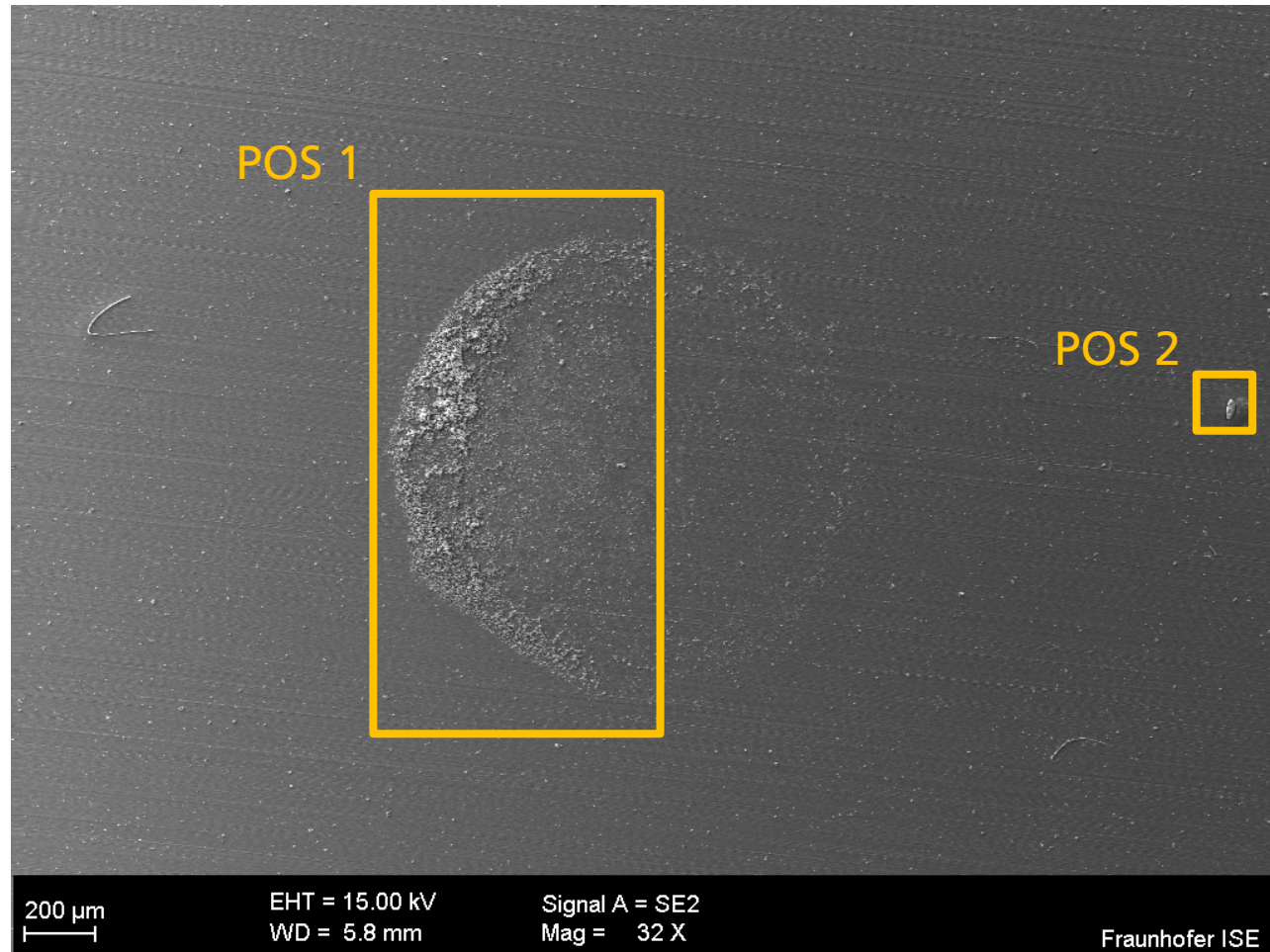
POS 1, POS 2



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

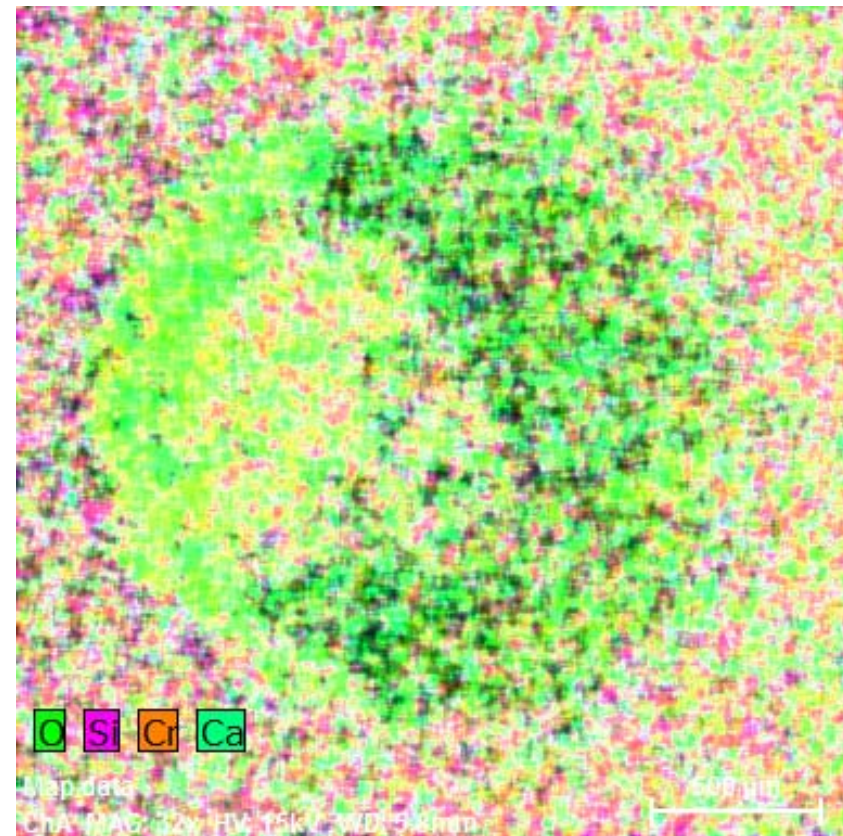
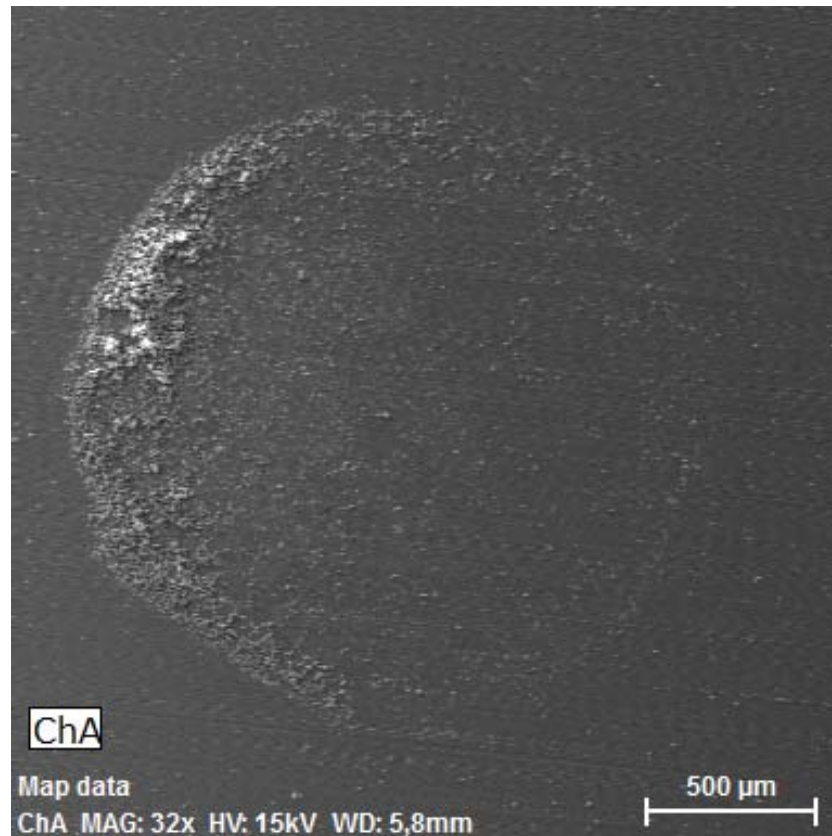
- Rückholung Kollektor 1a Negev
- EDX



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

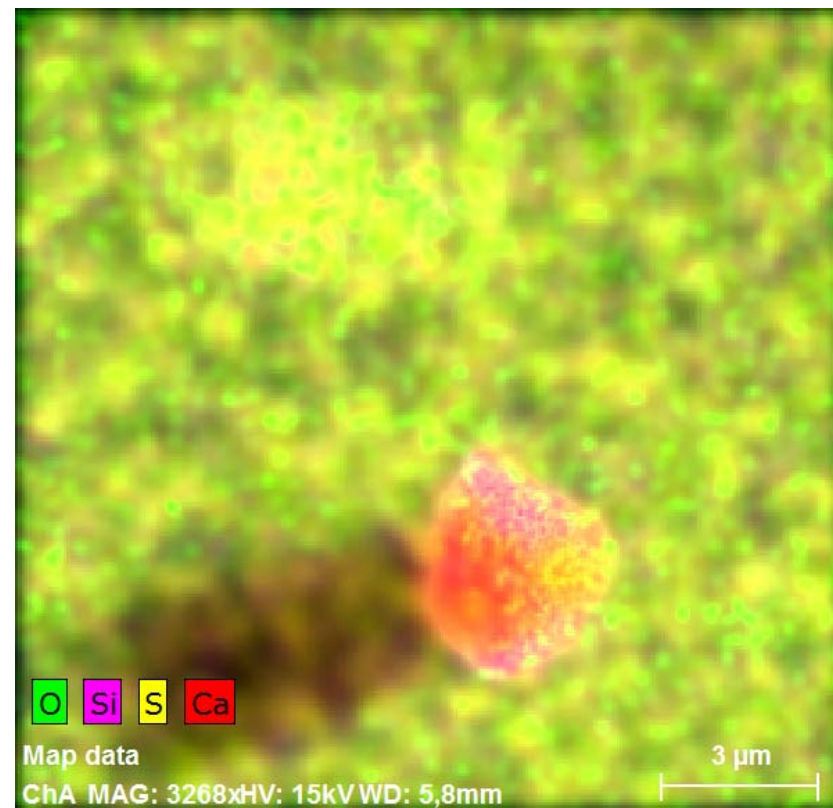
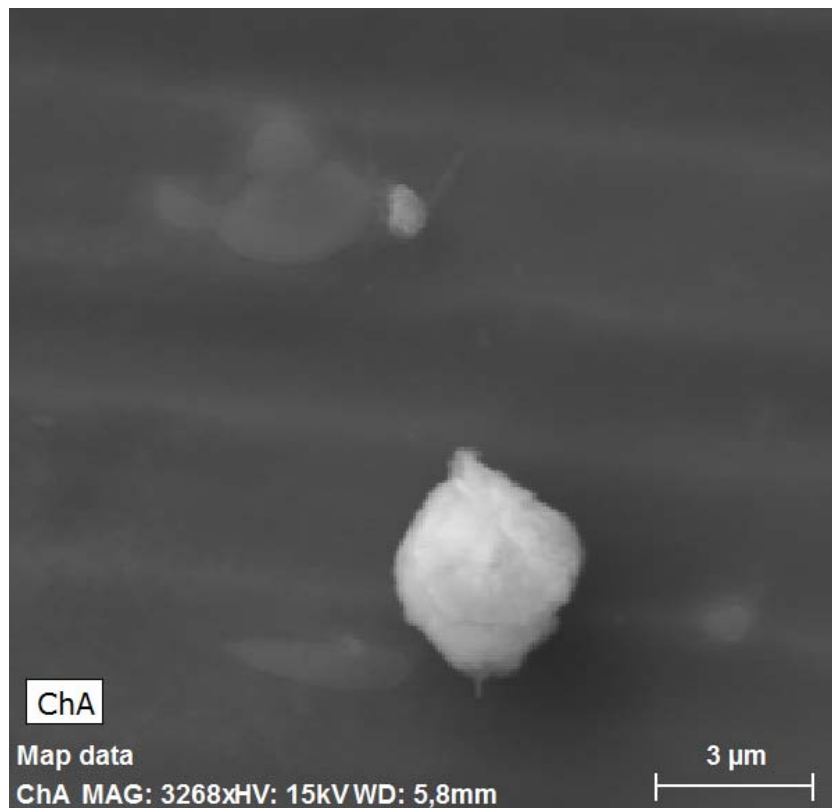
- SEM, EDX POS 1



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- SEM, EDX POS 2

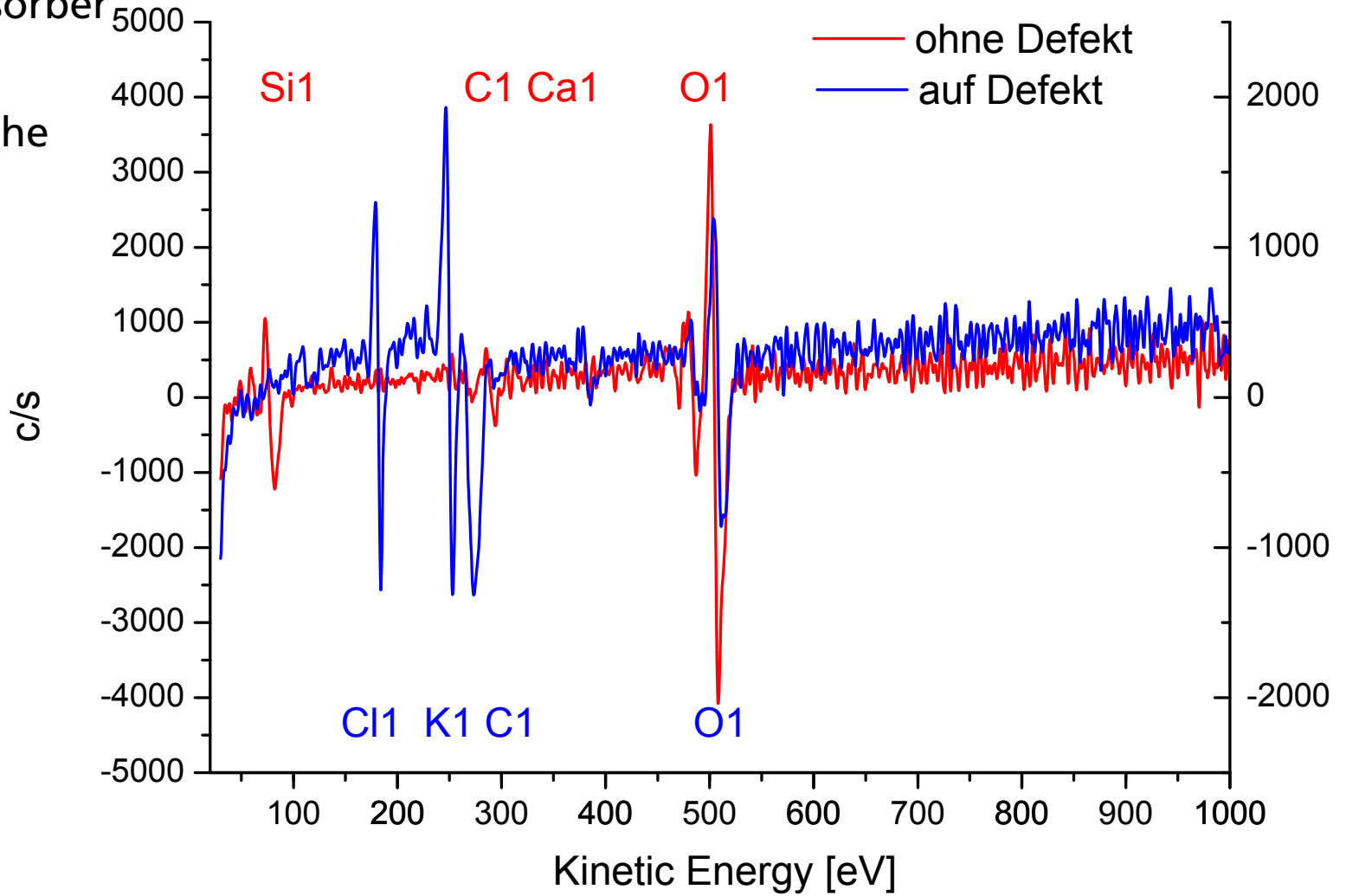




# AP 4: Screening Tests

AP 4.2: Absorber

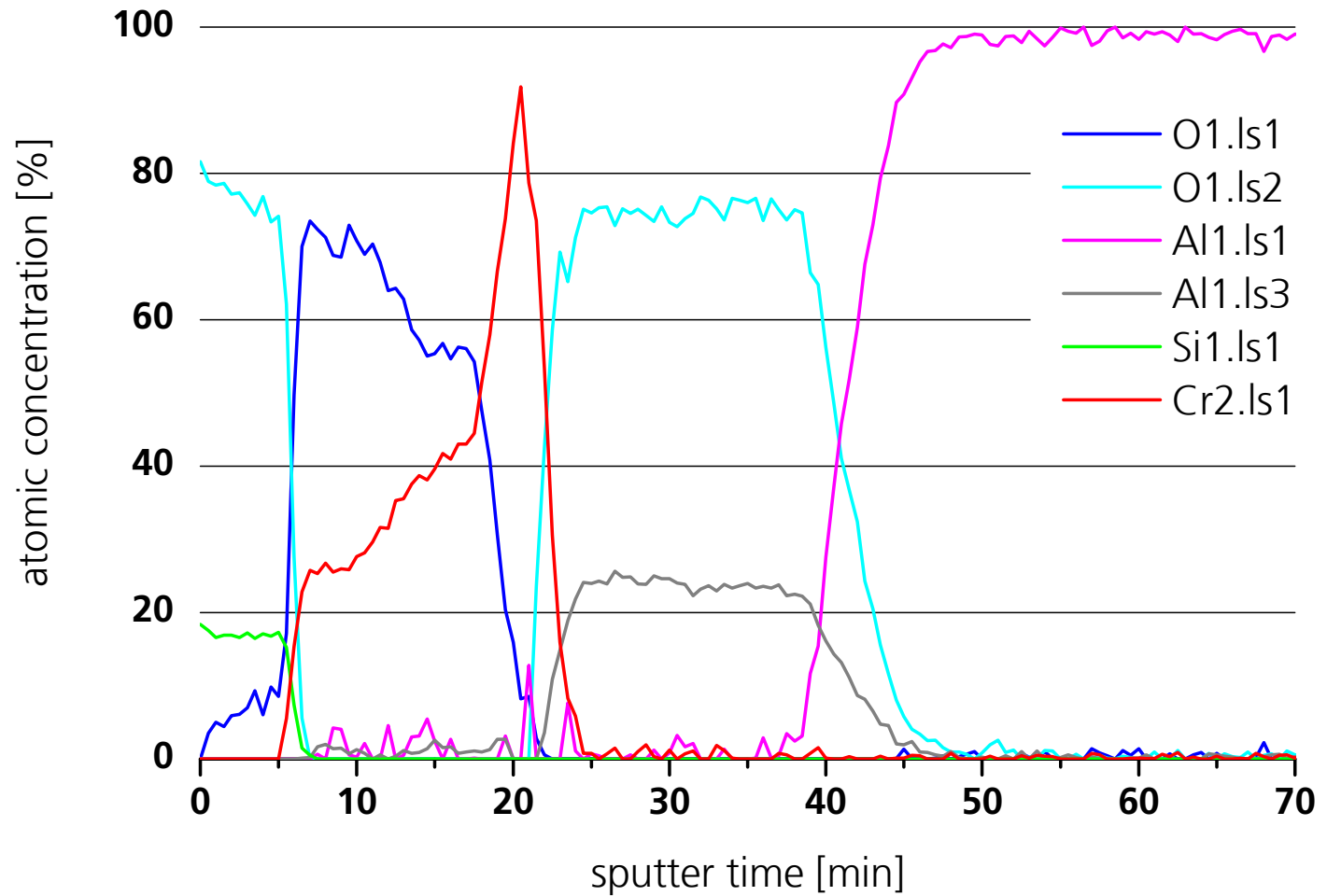
■ AES  
Oberfläche



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

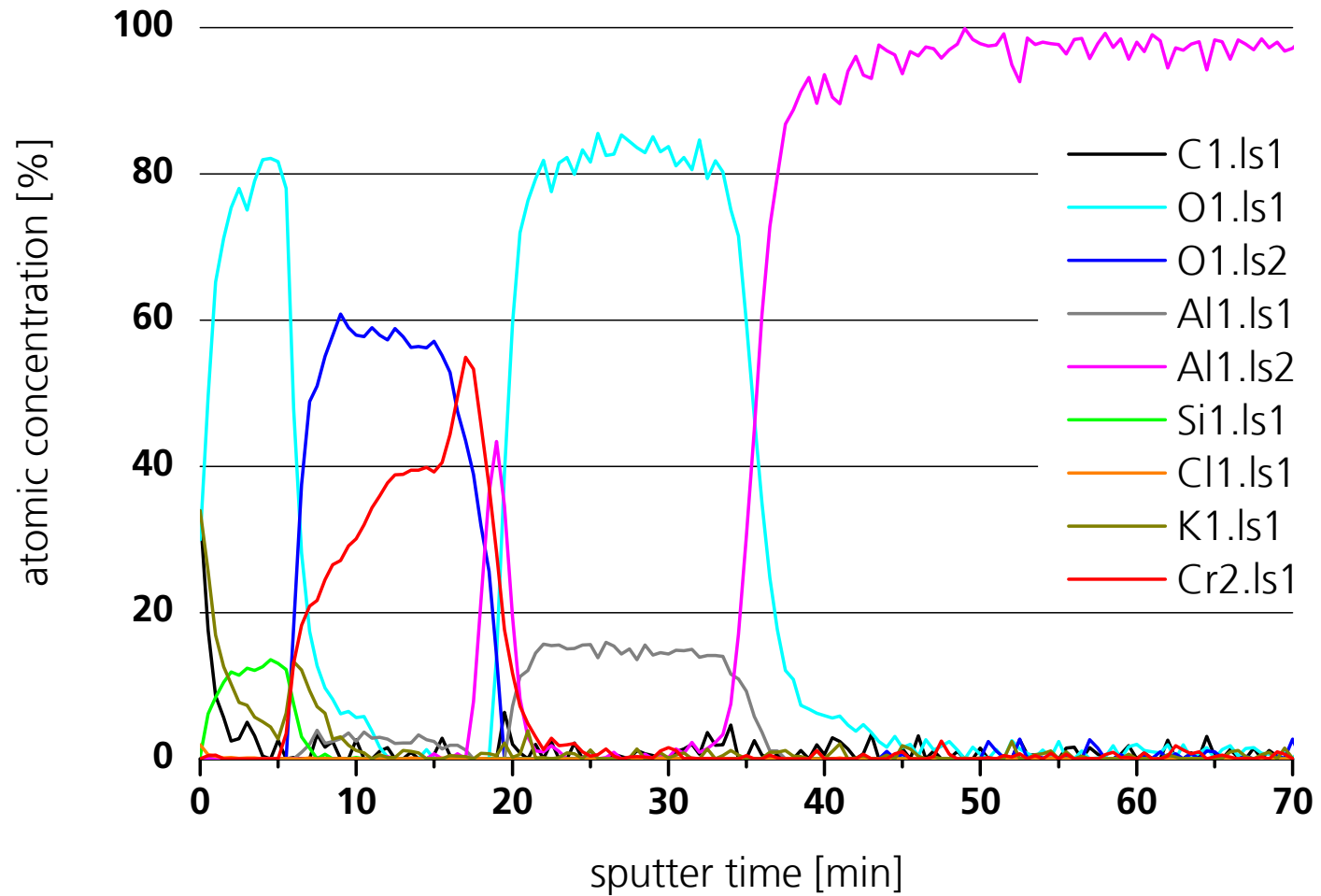
■ AES  
ohne  
Defekt



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

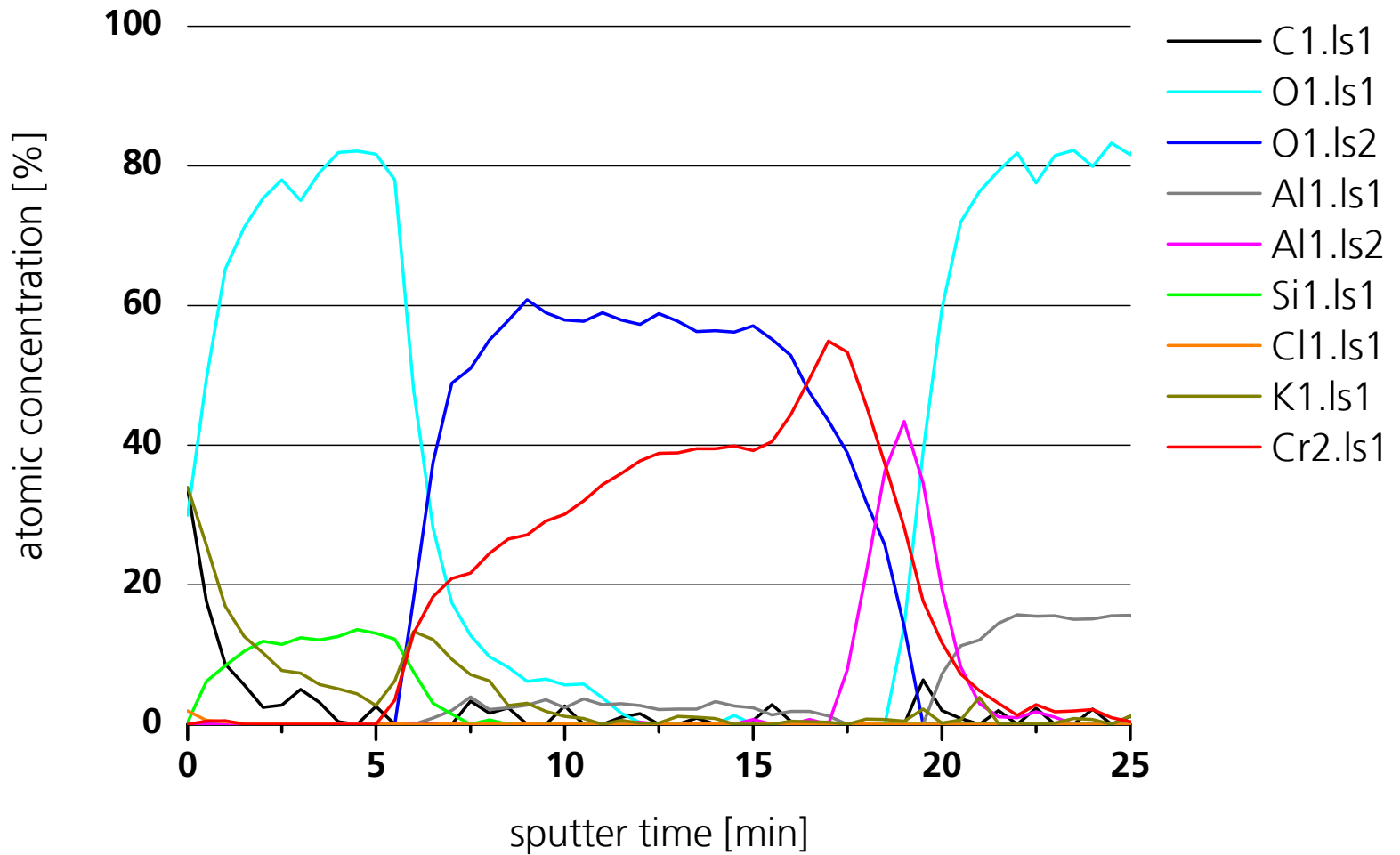
- AES Punktdefektstelle



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

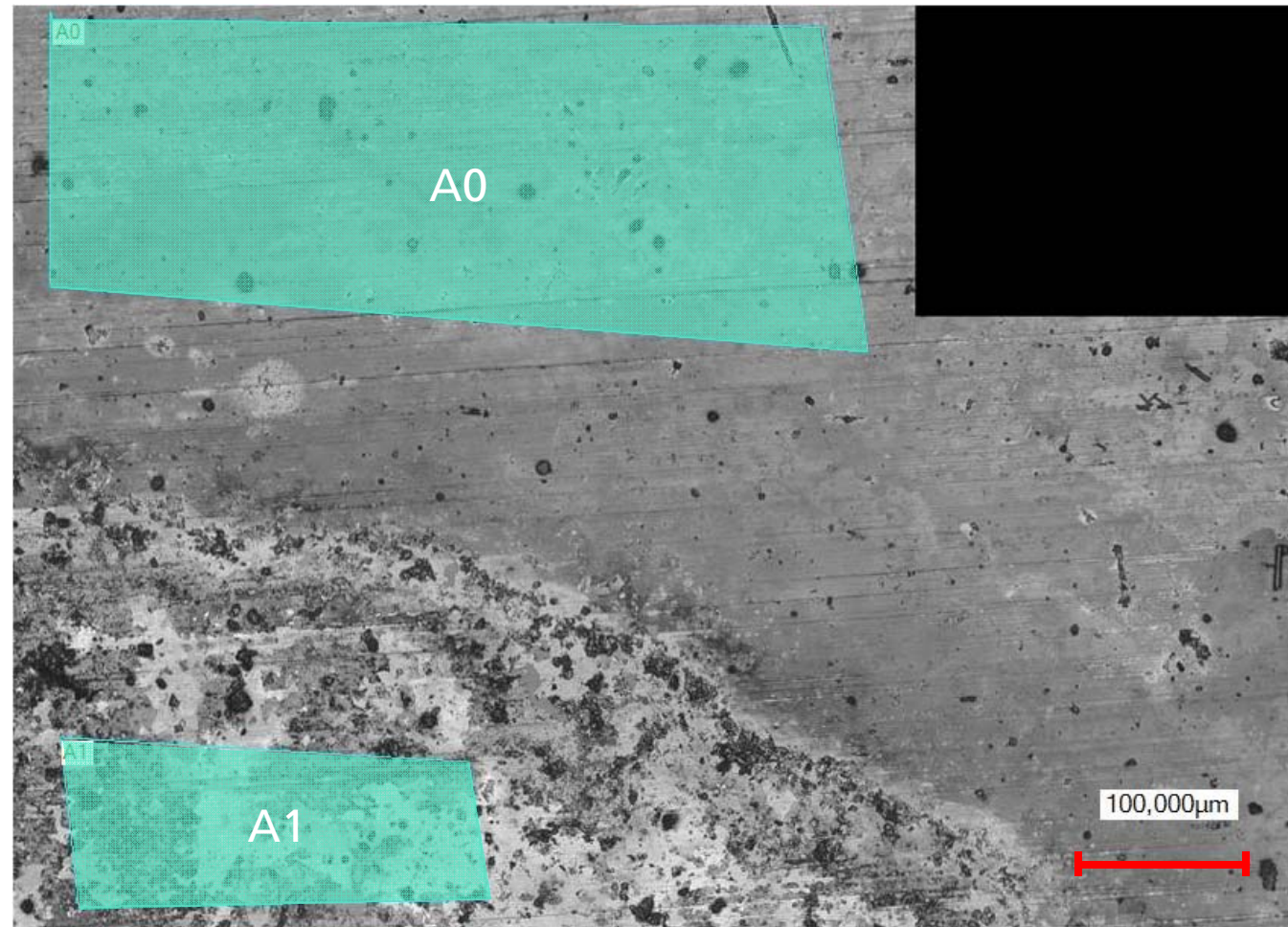
■ AES  
Punkt-  
defekt-  
stelle



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

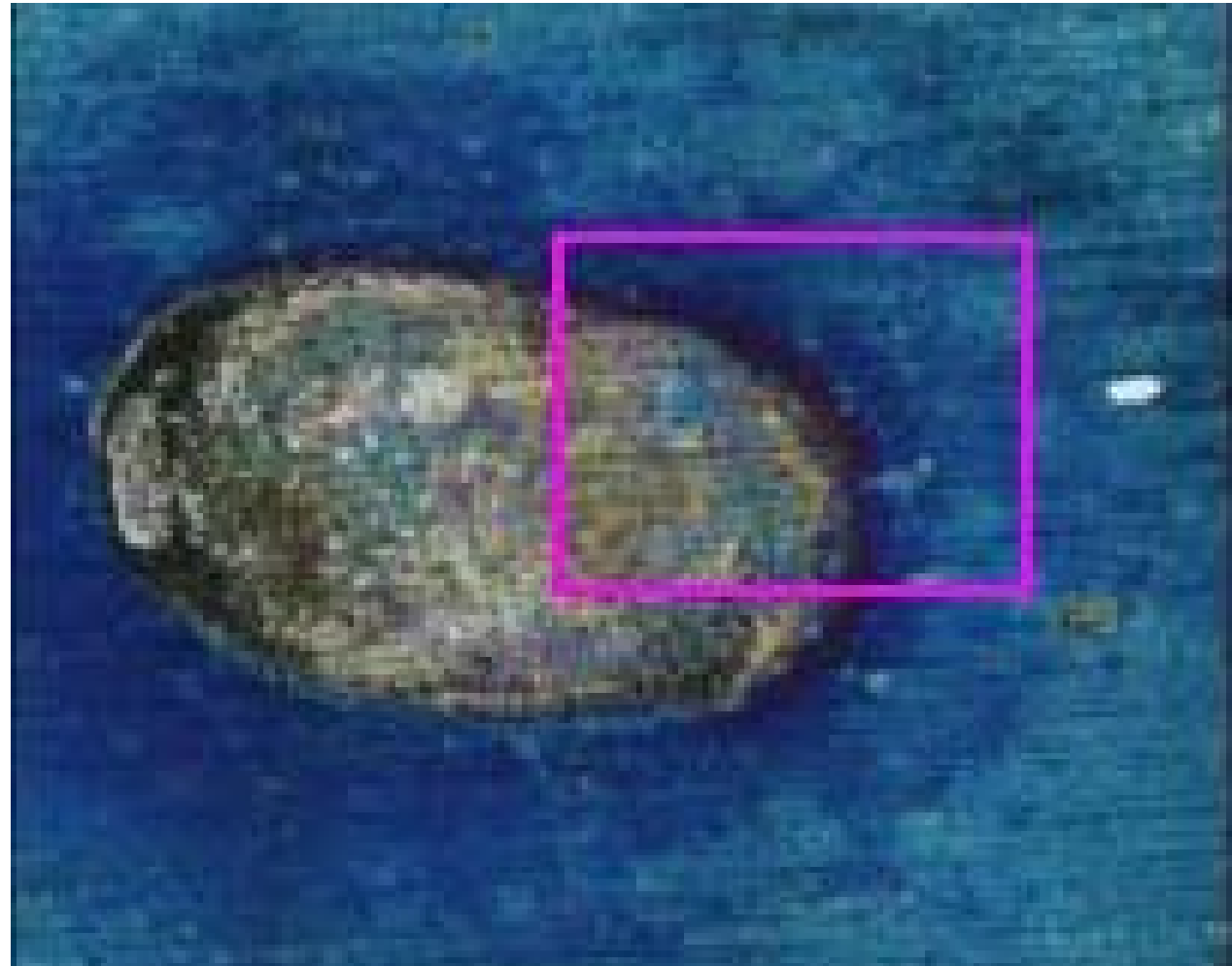
- Mikroskopie
- Stufenmessung  
A0 – A1  
-232nm



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

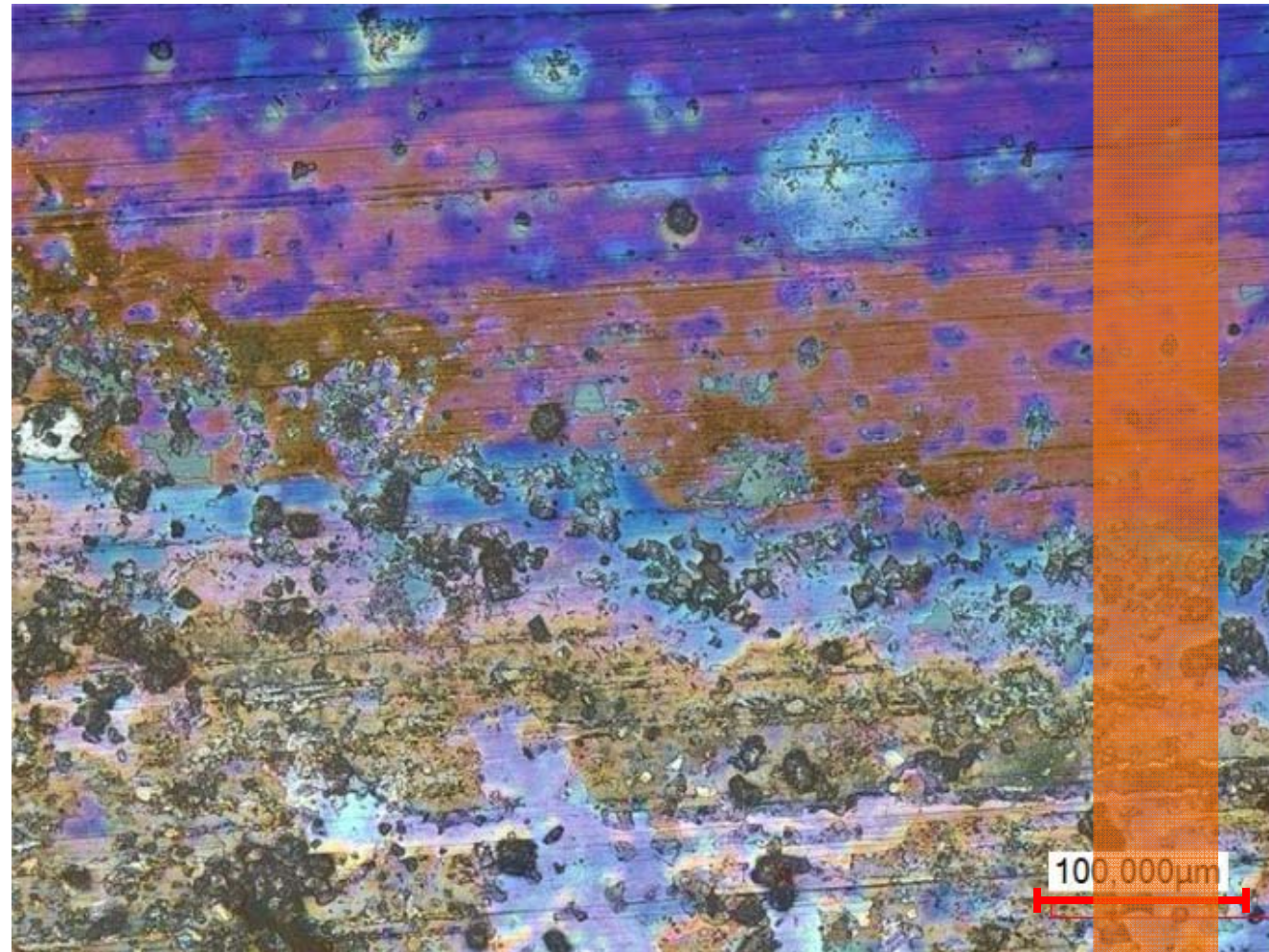
- Mikroskopie



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Mikroskopie
- Profil-messung



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

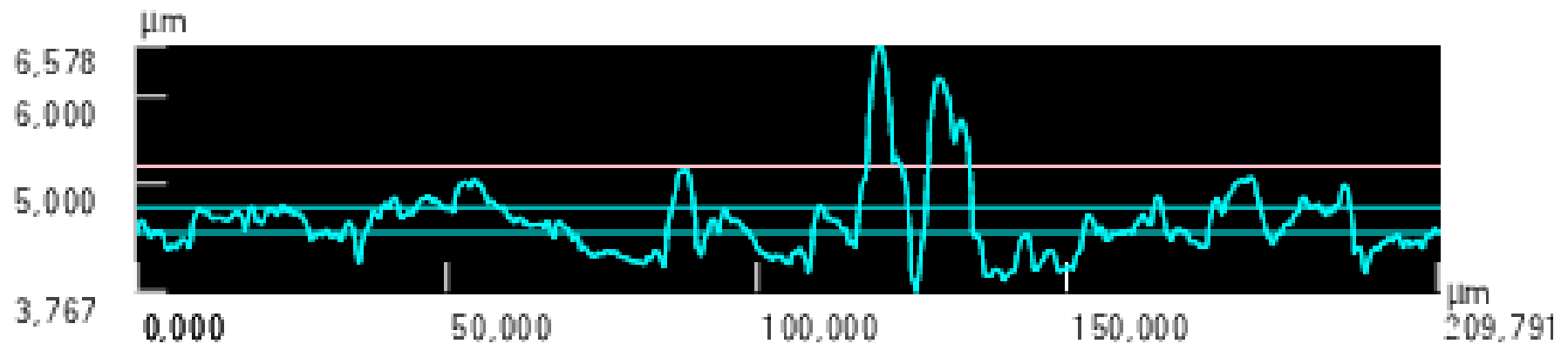
- Mikroskopie

- Profilmessung

  - Maximale Rautiefe  $R_t = 2,81 \mu\text{m}$

  - Gemittelte Rautiefe  $R_z = 1,96 \mu\text{m}$

  - arithmetischer Mittenrauhewert  $R_a = 0,29 \mu\text{m}$



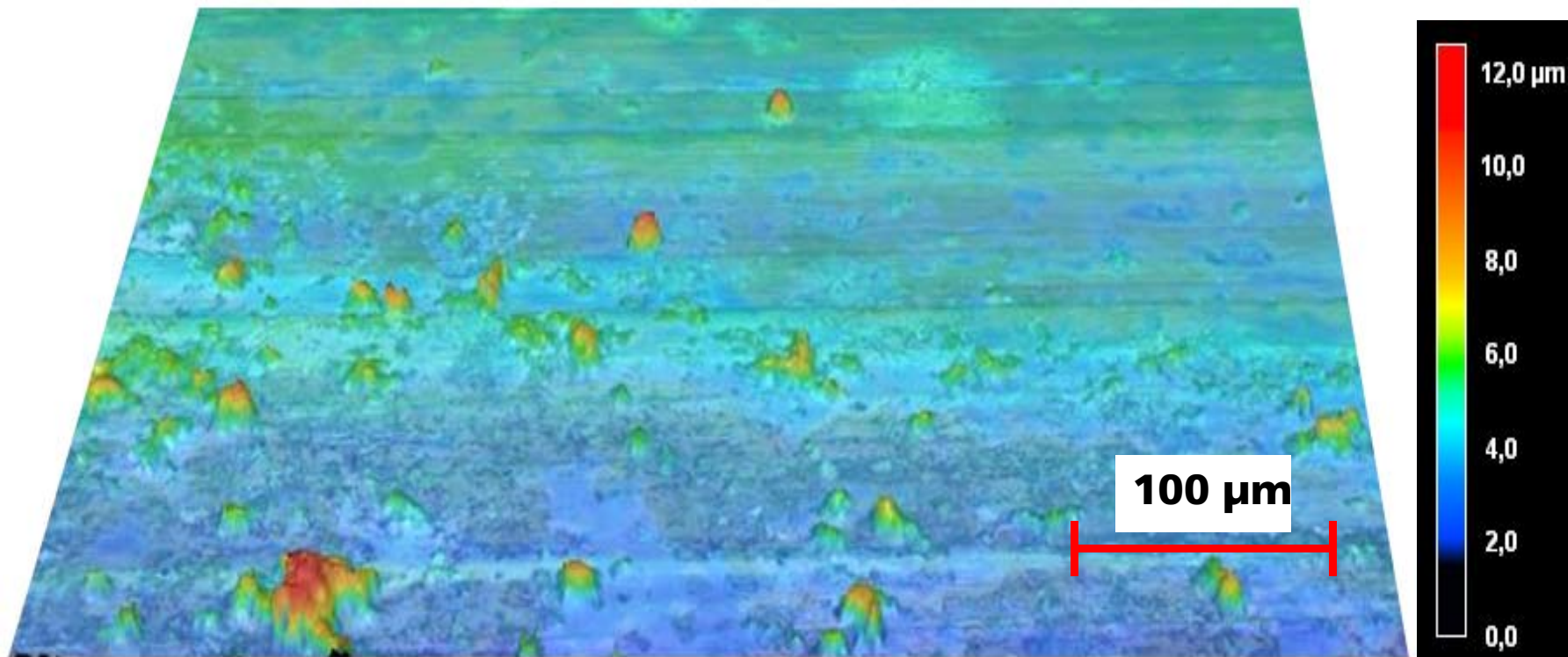


# AP 4: Screening Tests

AP 4.2: Absorber

■ Mikroskopie

■ Topographie



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 78M1

$\alpha$  [AM1.5]

$$\Delta = \alpha(P_1) - \alpha(P_2)$$

$$\Delta = 0,06$$

$$\Delta \text{ rel} = 7\%$$

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon(P_1) - \varepsilon(P_2)$$

$$\Delta = 0,08$$

$$\Delta \text{ rel} = 22\%$$

$$\Delta = \alpha(P_1) - \alpha(P_1)$$

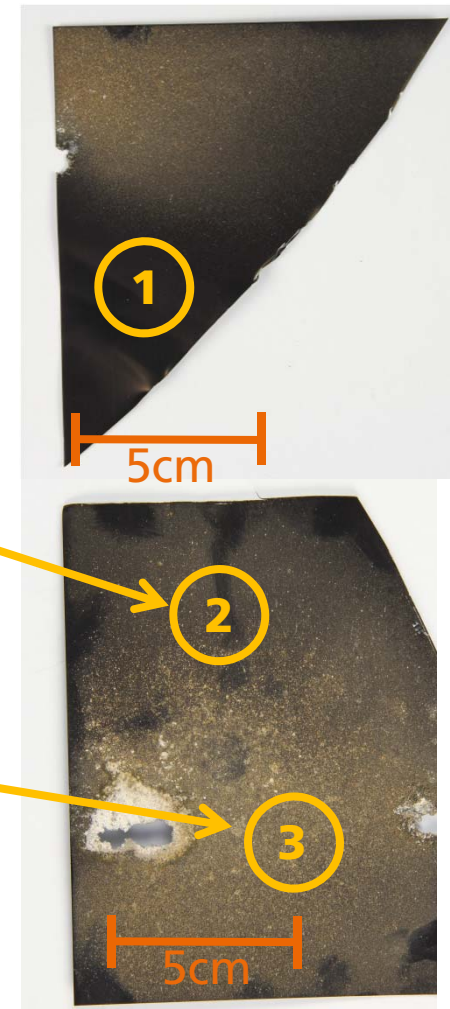
$$\Delta = 0,09$$

$$\Delta \text{ rel} = 10\%$$

$$\Delta = \varepsilon(P_1) - \varepsilon(P_3)$$

$$\Delta = 0,23$$

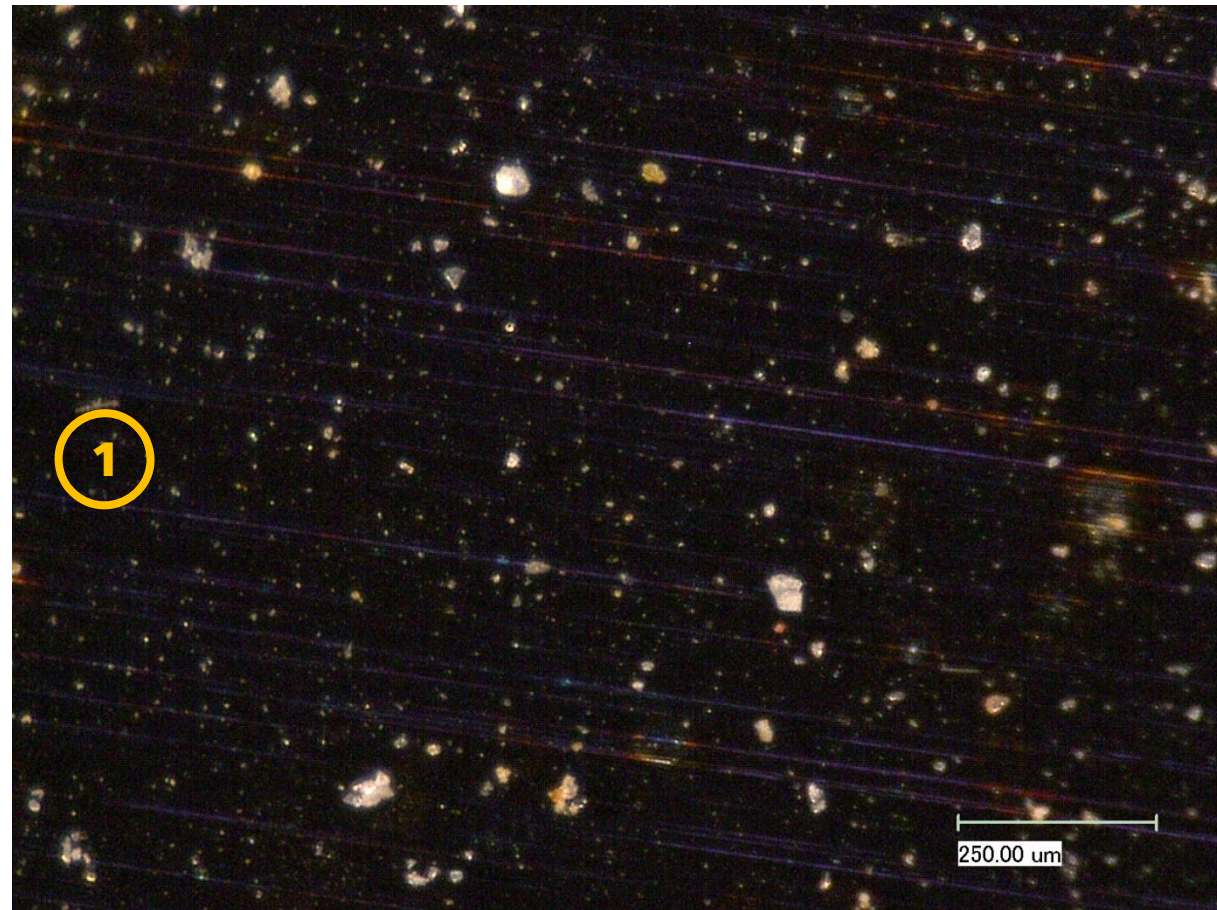
$$\Delta \text{ rel} = 64\%$$



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung  
Kollektor  
78M1  
oben rechts



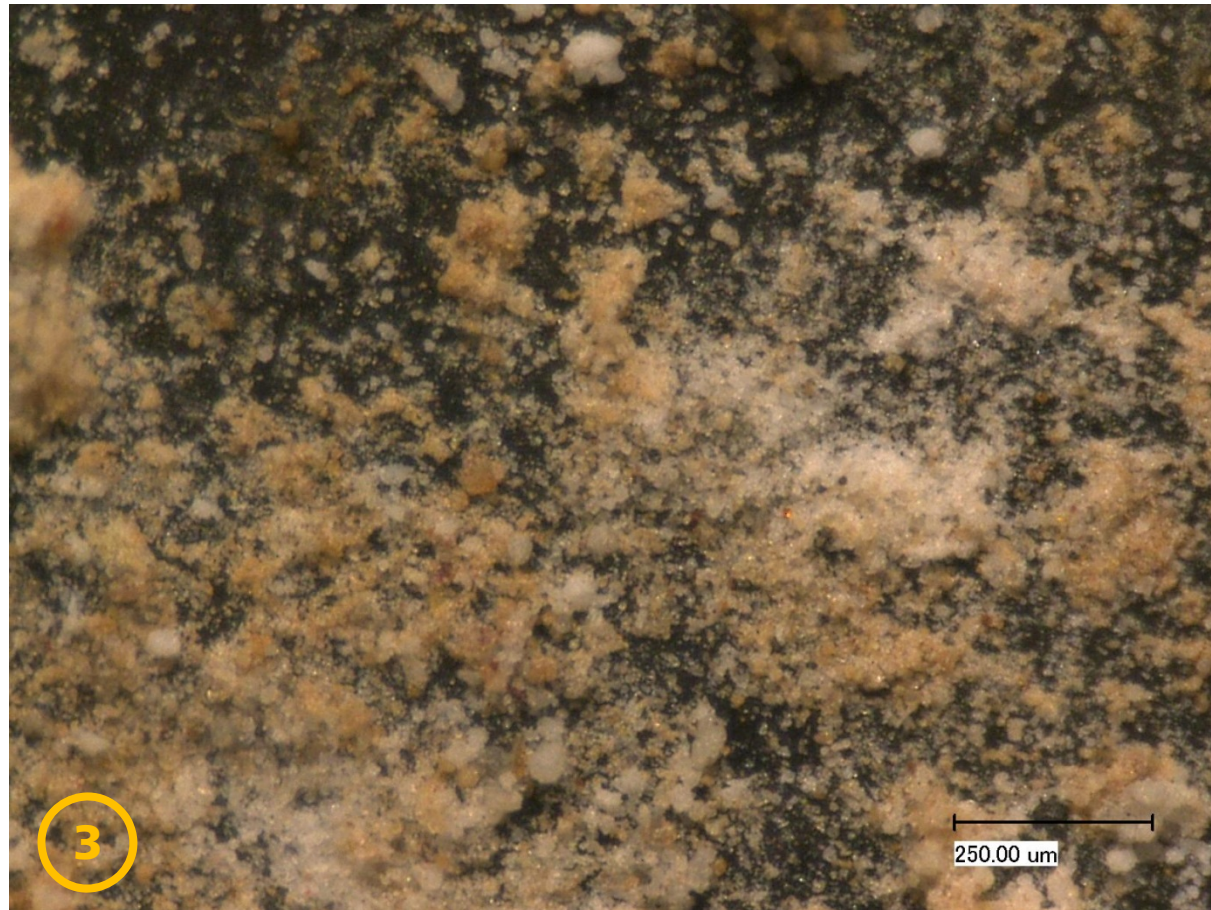
# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 78M1 unten links

Änderung  $\alpha$  [AM1.5]  
 $\Delta = \alpha(P_3) - \alpha(P_1)$   
 $\Delta \text{ rel} = 10\%$

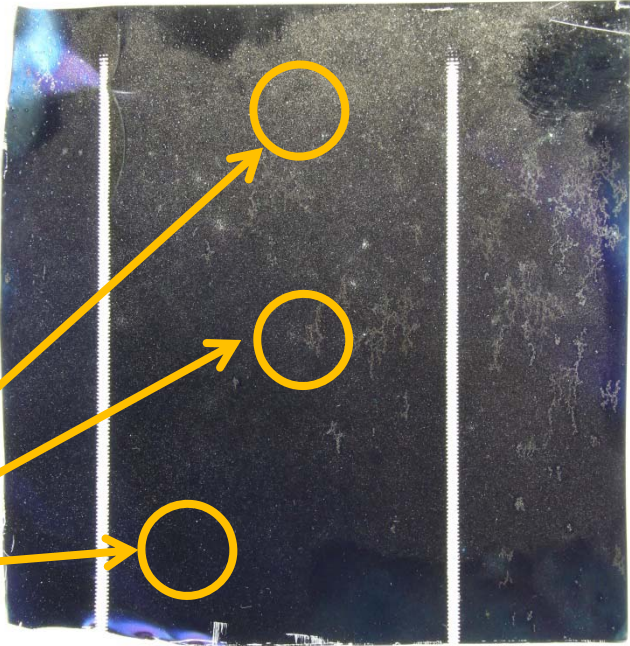
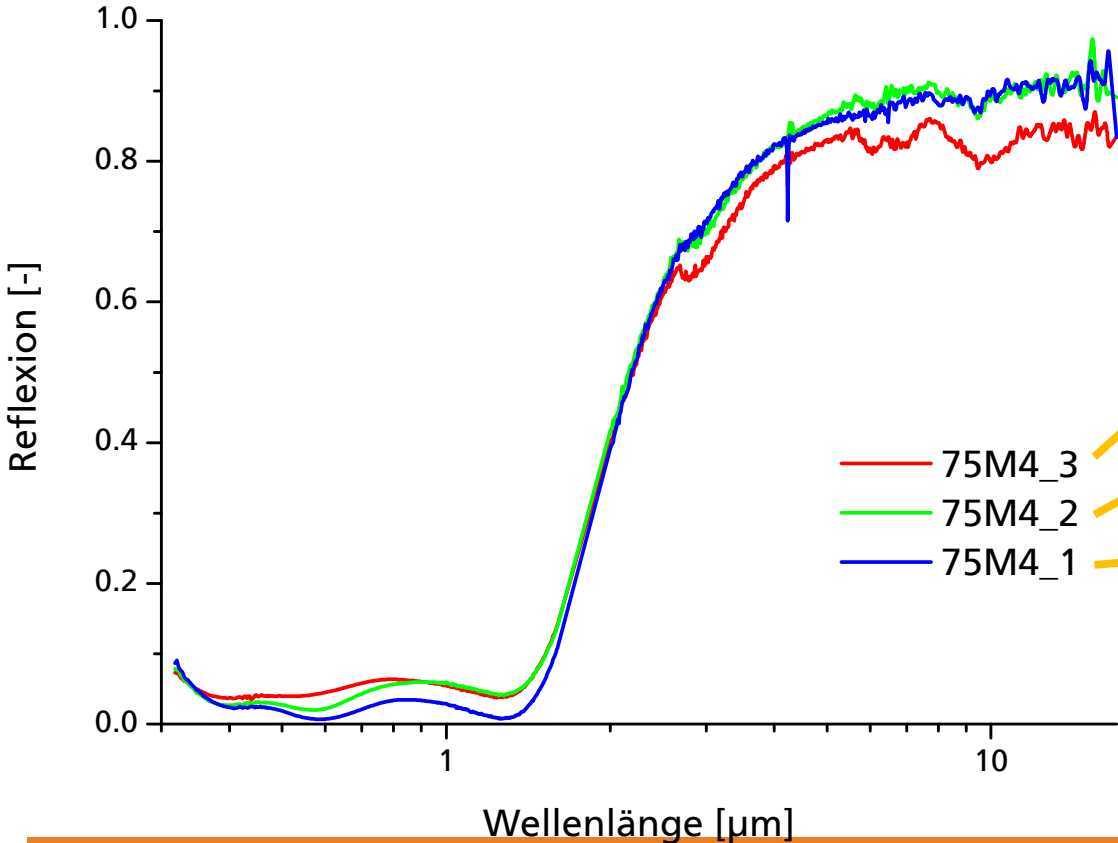
Änderung  $\varepsilon$  [373K]  
 $\Delta = \varepsilon(P_3) - \varepsilon(P_1)$   
 $\Delta \text{ rel} = 64\%$



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 74M4



5cm

# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Rückholung Kollektor 74M4

$\alpha$  [AM1.5]

$$\Delta = \alpha(P_1) - \alpha(P_3)$$

$$\Delta = 0,023$$

$$\Delta \text{ rel} = 3\%$$

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon(P_1) - \varepsilon(P_3)$$

$$\Delta = 0,063$$

$$\Delta \text{ rel} = 54\%$$

$$\Delta = \alpha(P_1) - \alpha(P_2)$$

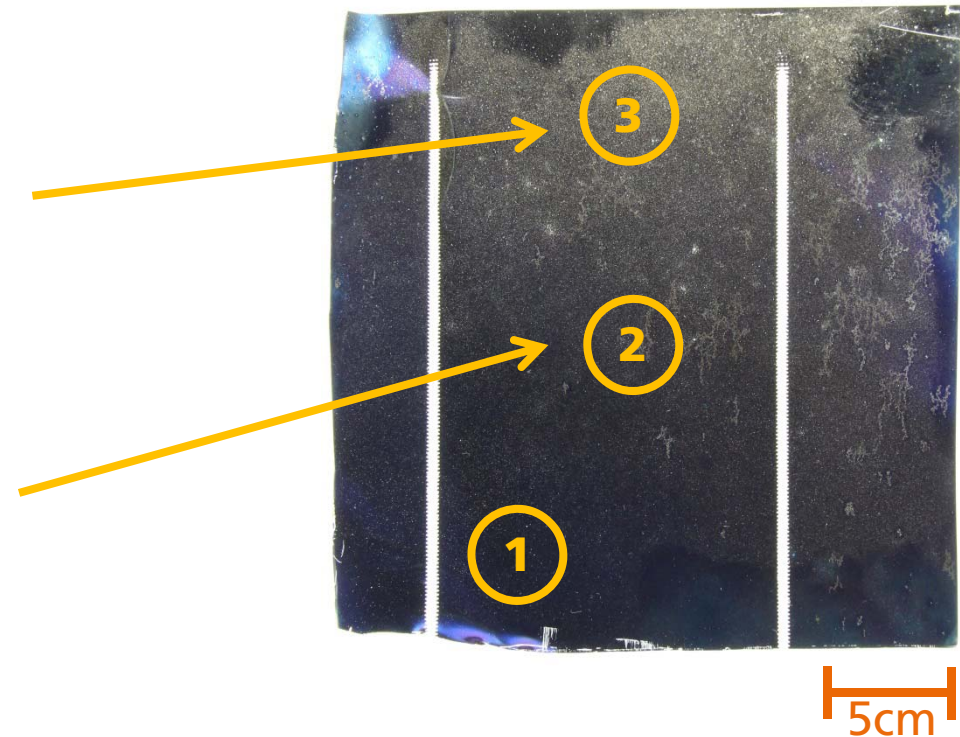
$$\Delta = 0,018$$

$$\Delta \text{ rel} = 2\%$$

$$\Delta = \varepsilon(P_1) - \varepsilon(P_2)$$

$$\Delta = 0,003$$

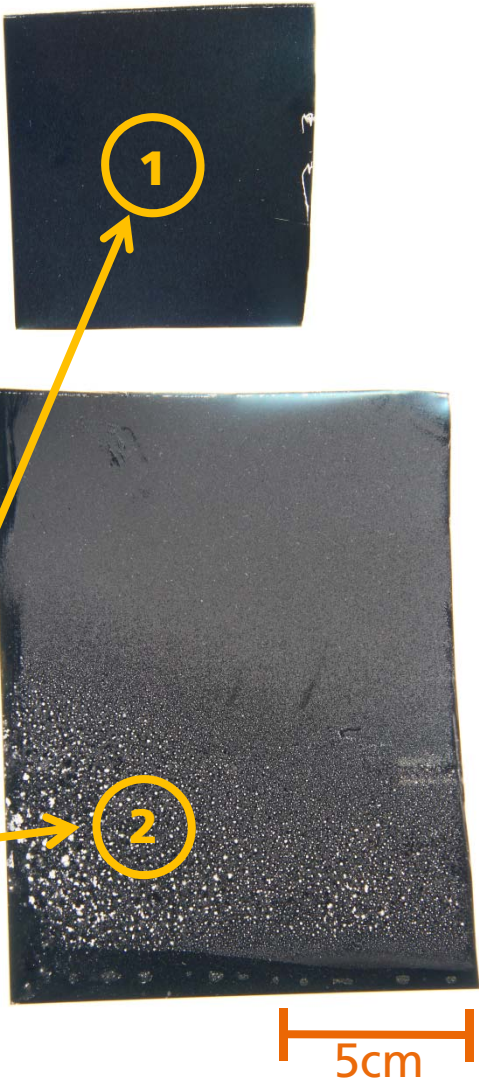
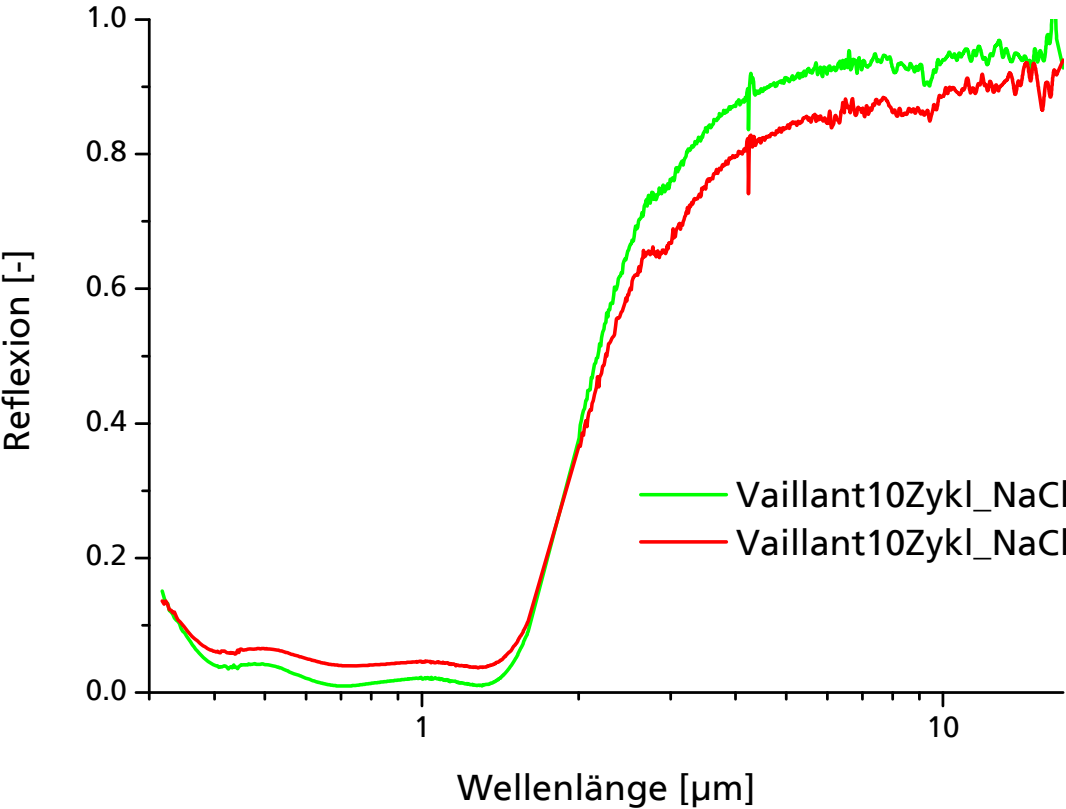
$$\Delta \text{ rel} = 3\%$$



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Salznebelprüfung 10 Zyklen  
Vaillantkollektor



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Salznebelprüfung 10 Zyklen  
Vaillantkollektor

$\alpha$  [AM1.5]

$$\Delta = \alpha(P_2) - \alpha(P_1)$$

$$\Delta = 0,019$$

$$\Delta \text{ rel} = 2\%$$

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon(P_2) - \varepsilon(P_1)$$

$$\Delta = 0,048$$

$$\Delta \text{ rel} = 70\%$$

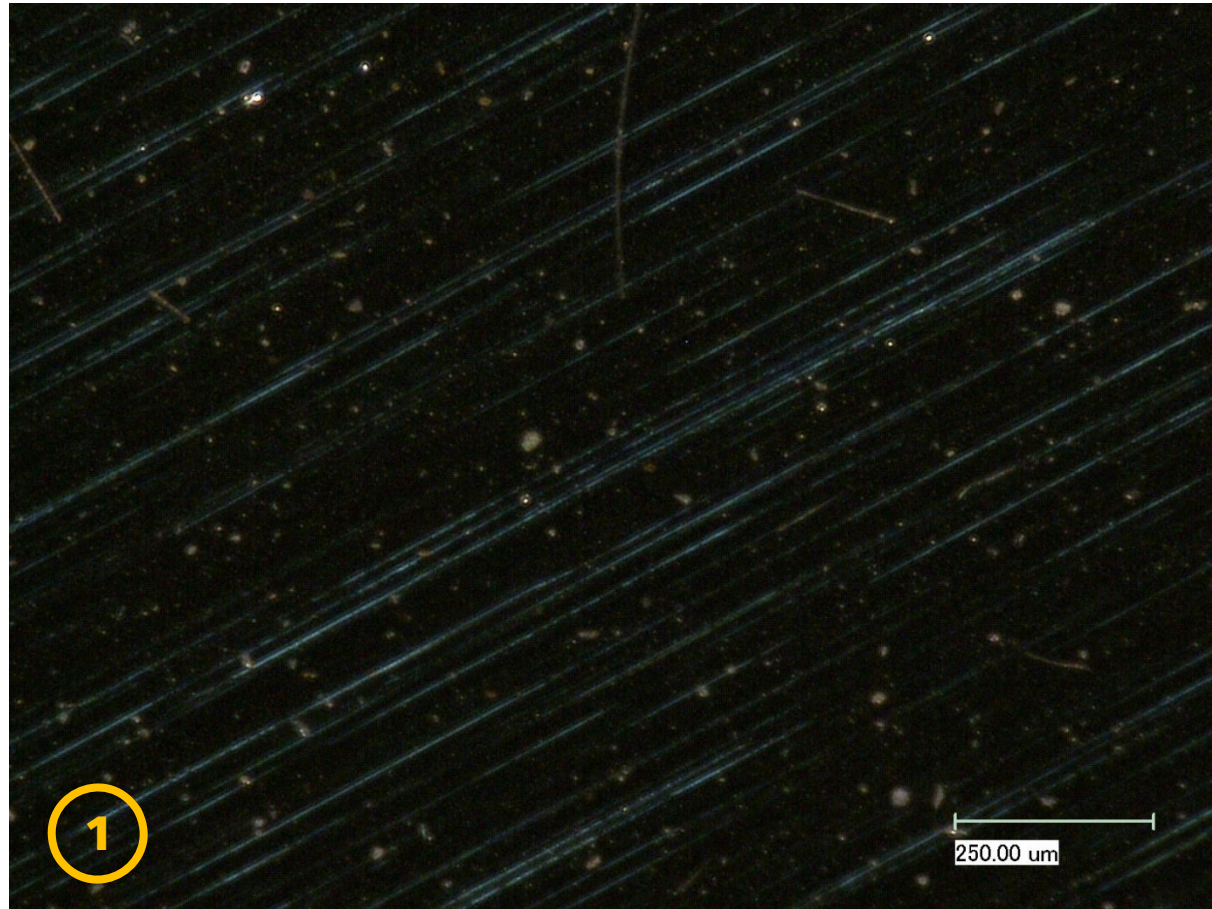




# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Salznebelprüfung  
10 Zyklen  
Vaillantkollektor



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.2: Absorber

- Salznebelprüfung  
10 Zyklen  
Vaillantkollektor

Änderung

$\alpha$  [AM1.5]

$$\Delta = \alpha(P_2) - \alpha(P_1)$$

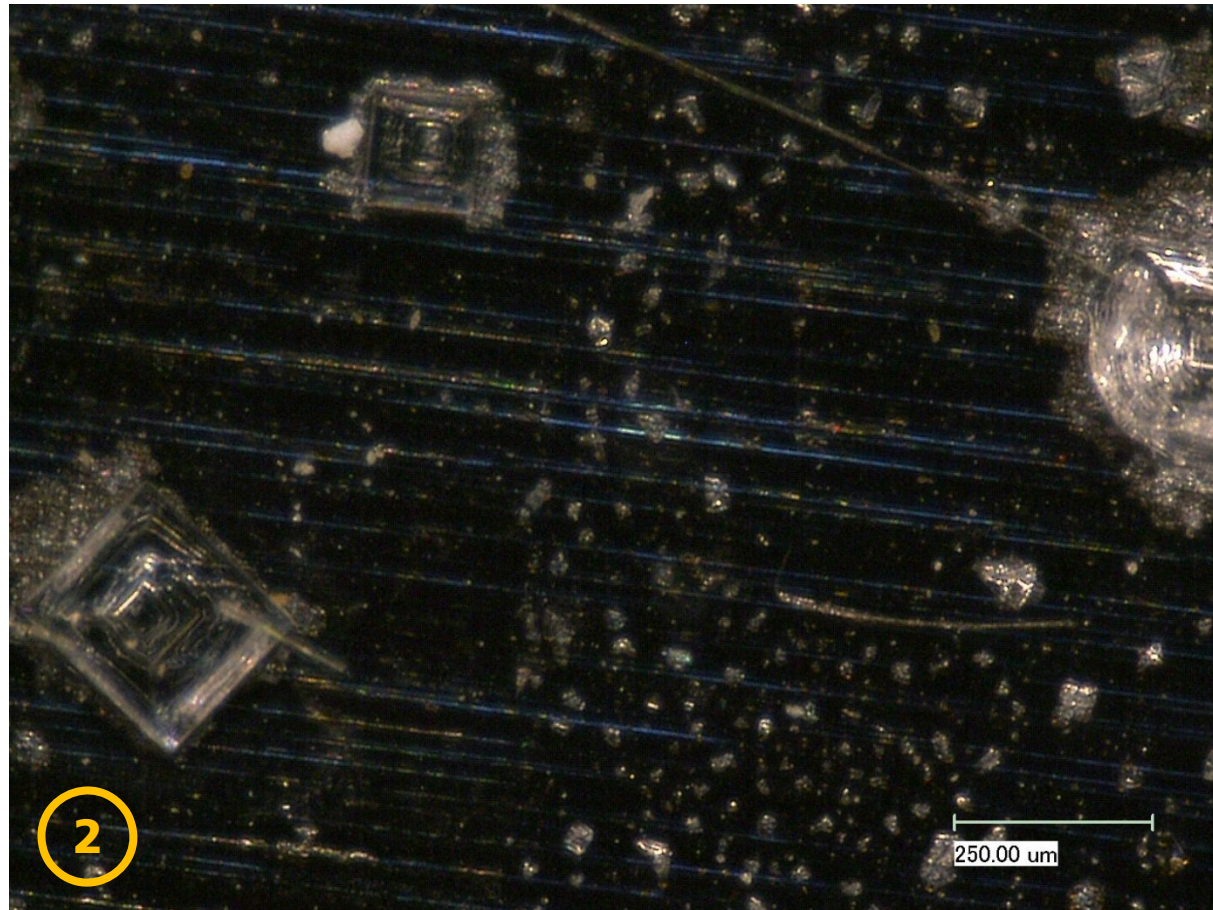
$$\Delta \text{ rel} = 2\%$$

Änderung

$\varepsilon$  [373K]

$$\Delta = \varepsilon(P_2) - \varepsilon(P_1)$$

$$\Delta \text{ rel} = 70\%$$



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Transparente Abdeckungen

Transparente Abdeckungen	Fälligkeit Projektmonat
<b>Outdoor</b>	
Glanzmessung unter 3 verschiedenen Einfallswinkeln	
Vorversuche in Gran Canaria	24
Auswertung	26
Optische Charakterisierung, spektraler Transmissionsgrad mit transportablem Messgerät	
Gerät befindet sich derzeit in Testphase	
erste Messungen in Freiburg	26

# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Transparente Abdeckungen

### *Outdoor*

- Optische Charakterisierung, spektraler Transmissionsgrad mit transportablem Messgerät

### *Indoor*

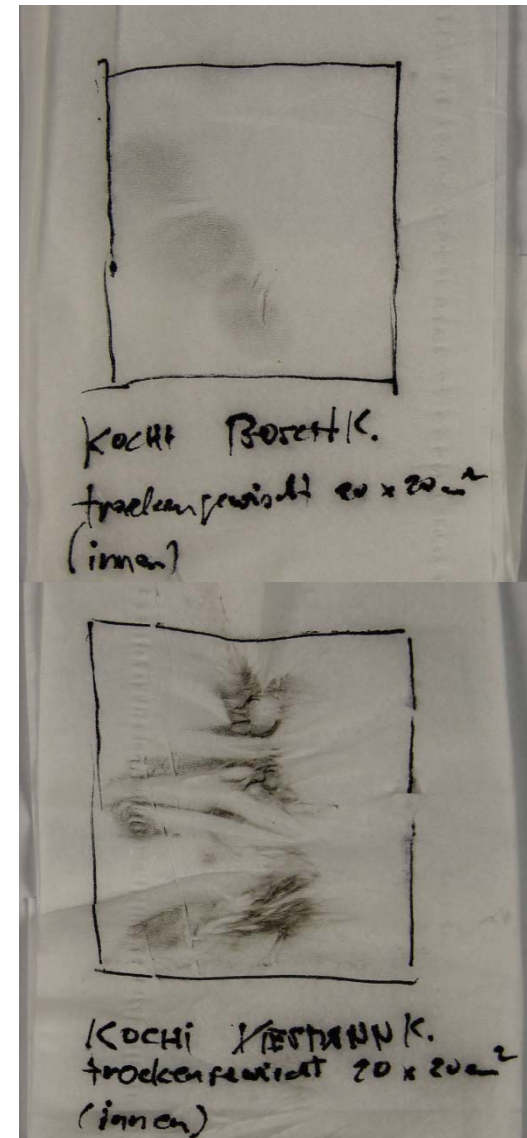
- Beschmutzungstest
- abrasive Sandbelastung durch Sandrieseltest
- Test  
Kombination 80°C, RH95%
- 0h, 500h, 1000h, 1500h

# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas

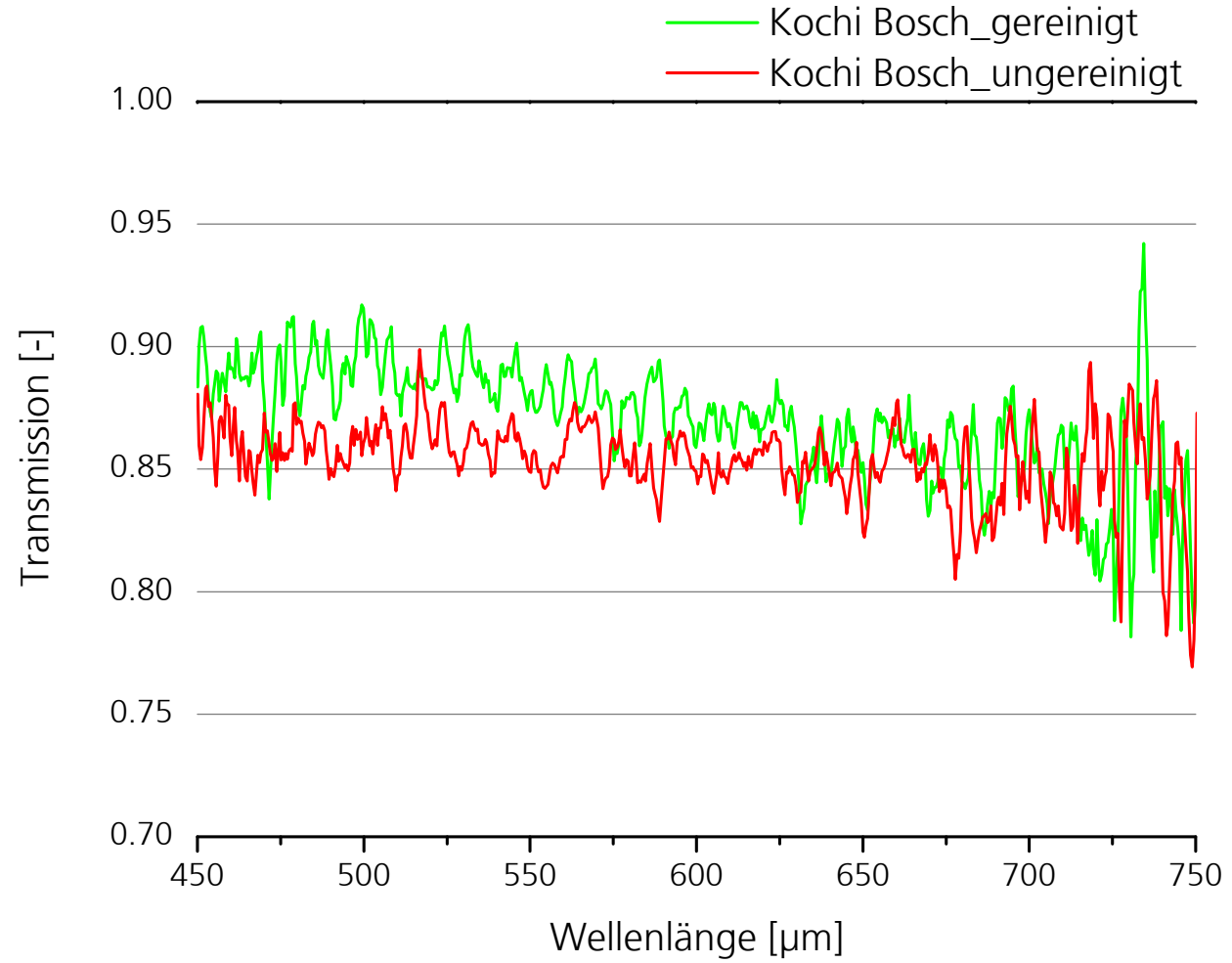
### Rückholung Kollektoren Übersicht

- Transparente Abdeckung Innenseite
- mit Labortuch jeweils ca. 20x20 cm<sup>2</sup> Fläche trockengewischt
  - Boschkollektor
  - Viessmannkollektor



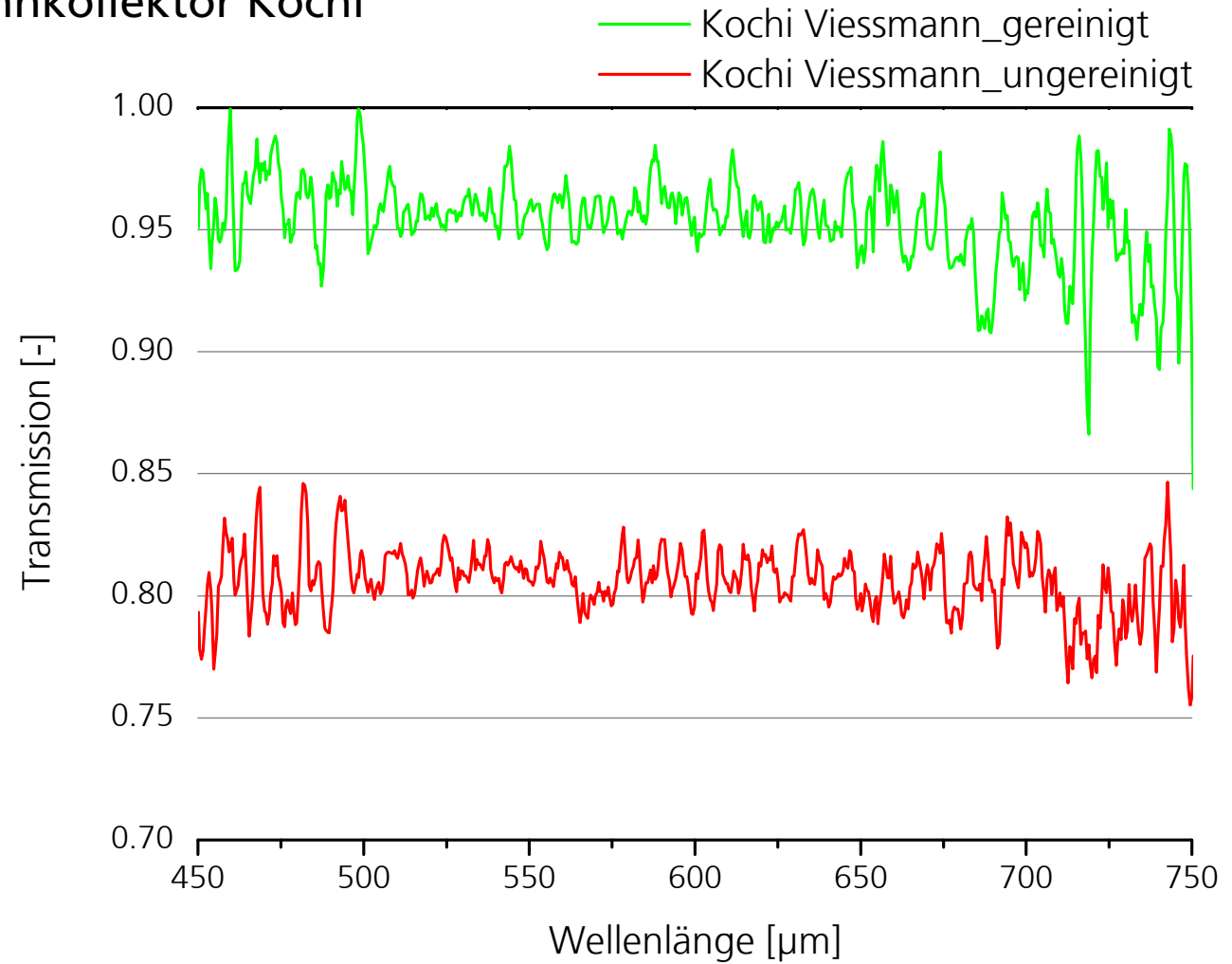
# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas Boschkollektor Kochi



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas Viesmannkollektor Kochi

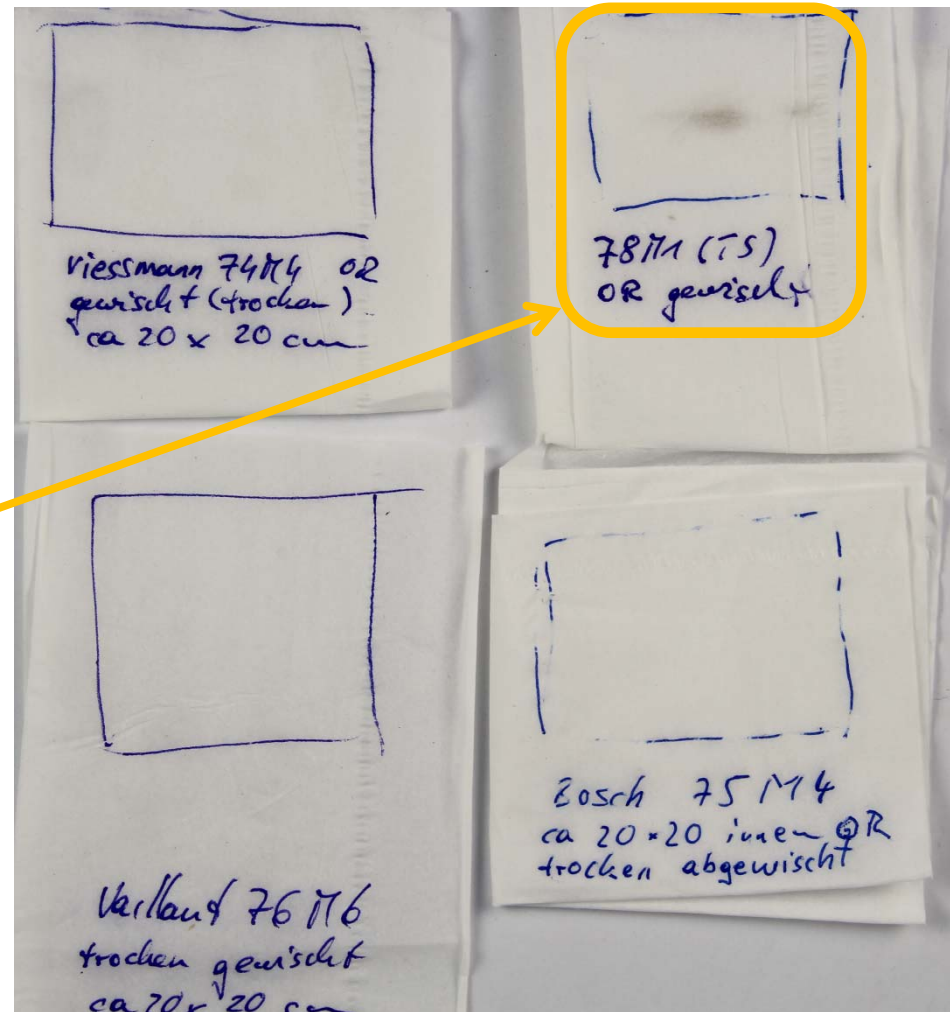


# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas

### Rückholung Kollektoren Übersicht

- Transparente Abdeckung Innenseite
- mit Labortuch jeweils ca. 20x20 cm<sup>2</sup> Fläche trockengewischt
  - Auffällig 78M1



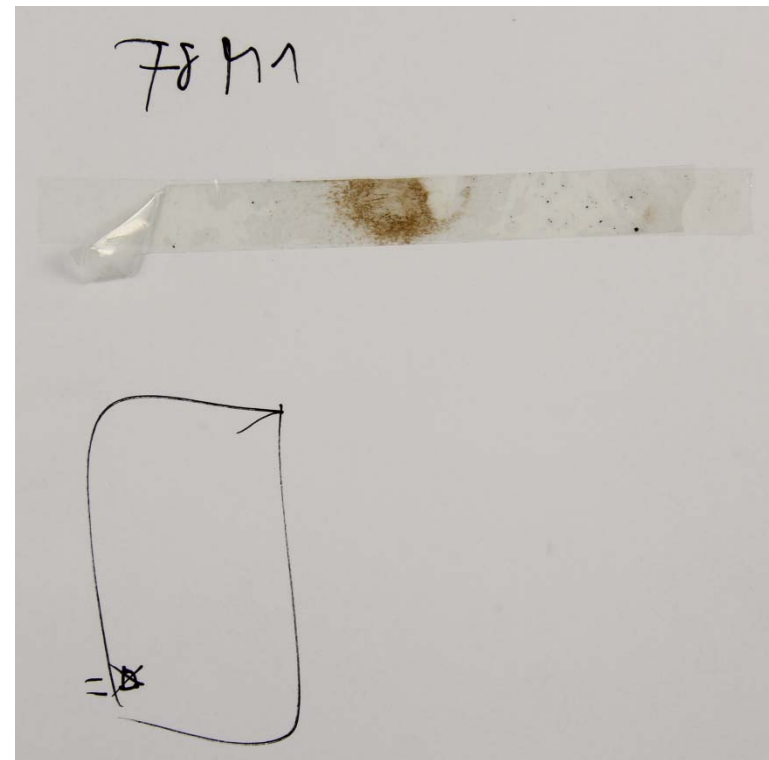
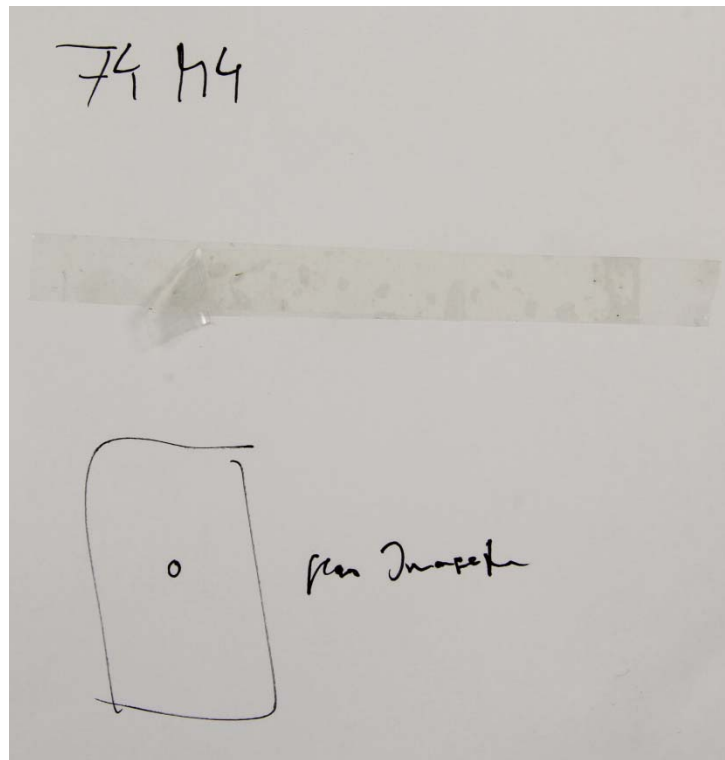


# AP 4: Screening Tests

AP 4.3: Glas

Rückholung Kollektoren 74M4

- Beprobung Belag Transparente Abdeckung Innenseite

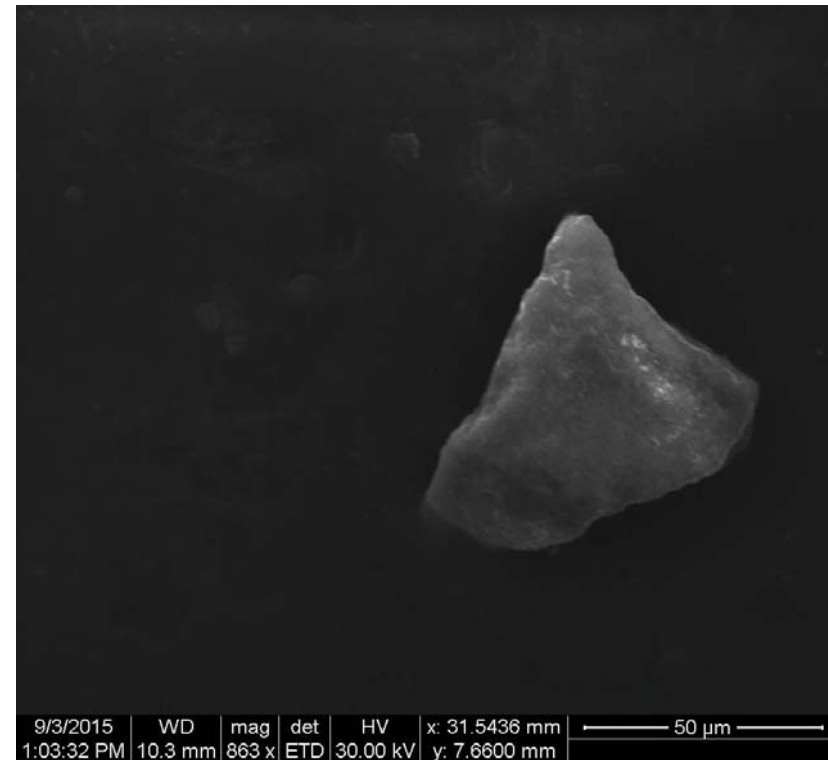
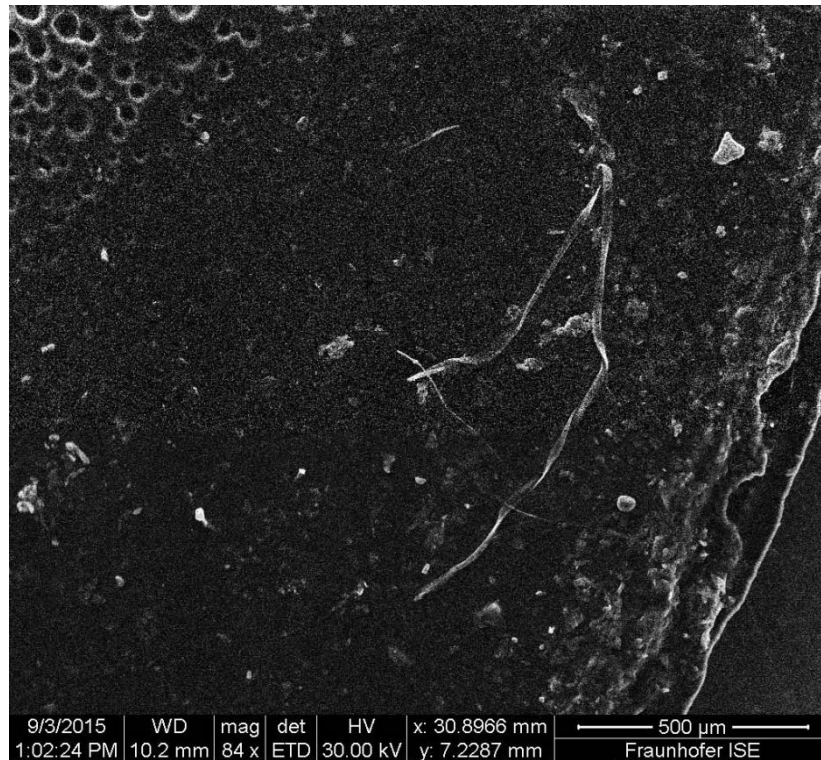


# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas

Rückholung Kollektoren 74M4 Transparente Abdeckung Innenseite

- Probennahme SEM



# AP 4: Screening Tests

## AP 4.3: Glas

Rückholung Kollektoren 78M1 Transparente Abdeckung Innenseite

- Probennahme SEM

