
Vom Messwert zum Prüfverfahren



Thomas Kaltenbach¹ & Philipp Kofler²

¹*Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE*

²*Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)*

Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Agenda – Teil 1

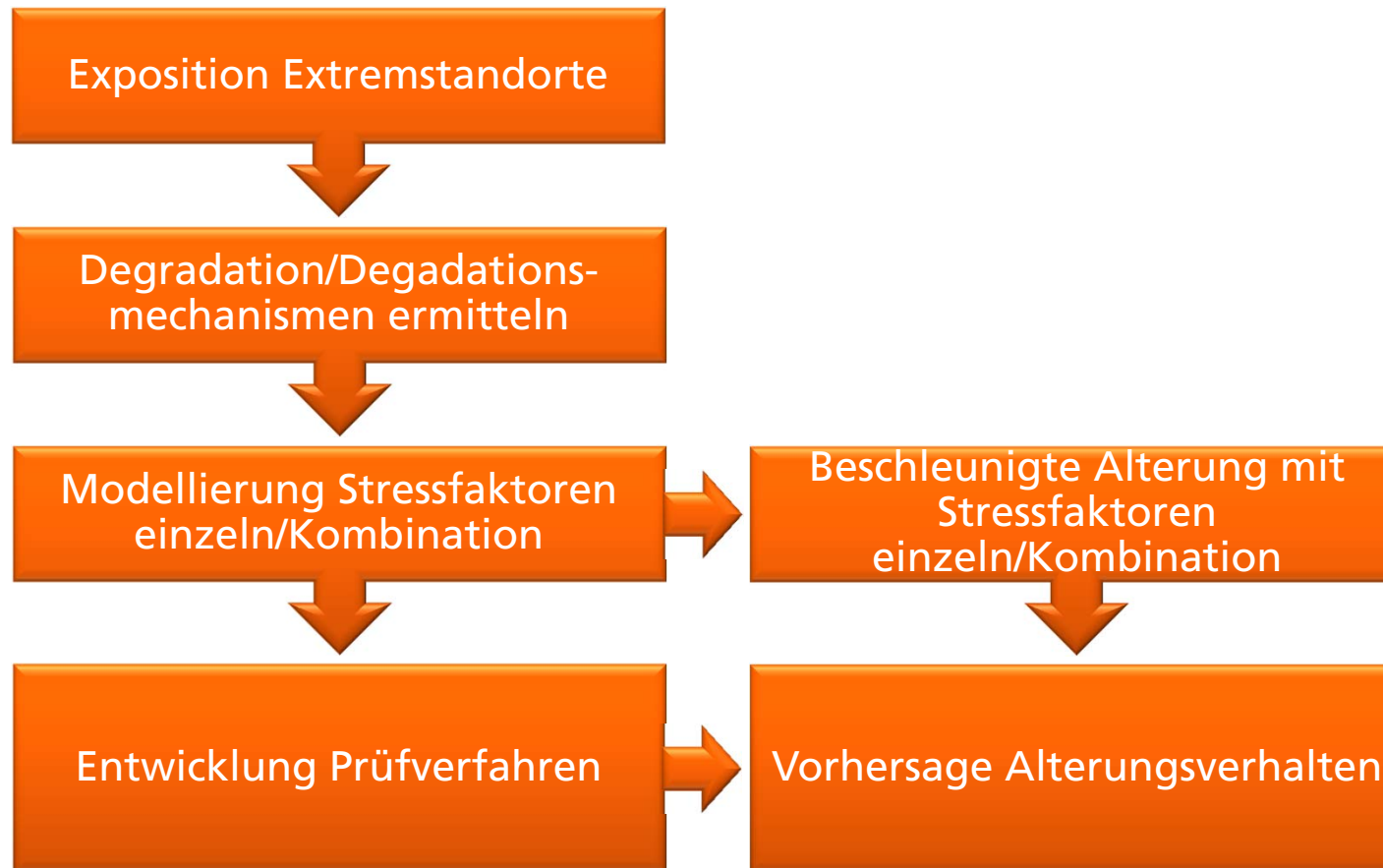
- Entwicklung von Prüfverfahren
- Materialspezifische Parameter
- Komponenten
 - Absorber
 - Reflektor
 - Transparente Abdeckung
 - Kleber
- Ergebnisse Komponente Kleber
- Zusammenfassung

Vom Messwert zu Prüfverfahren

Inhalt – Teil 2

- Ziel(e) der Prüfverfahren für Gesamtkollektor
- Entwickelte Prüfverfahren für Gesamtkollektor
 - Entstehung der Prüfverfahren
 - Details zu den Prüfverfahren
- Zusammenfassung

Vom Messwert zum Prüfverfahren



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Screening Tests als Basis für Modellentwicklung

- Variation der relevanten Stressfaktoren unter kontrollierten Laborbedingungen
- Abstecken des relevanten Parameter-Raumes der Stressfaktoren und Identifikation von Wechselwirkungsphänomenen durch unterschiedliche Kombination der Stressfaktoren („experimental design“)
- Bestimmung der Parameter für Degradationsmodelle
- Dosis / Wirkung Beziehung

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Materialspezifischer Parameter Kleber Klebefugentemperatur

Temperaturmessung der Klebefuge erfolgt an drei Messpunkten
oben links, oben Mitte, hinten mittig



Oben links



Oben Mitte

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Beschleunigte Prüfung → Zeittransformation

■ Kinetik der Degradationsprozesse:

- Modell für Stress, Zeit

Beispiele:

- (UV)-Strahlung (I) $\Delta P \sim I^n \Delta t$
- Temperatur (T) $\Delta P \sim \exp[-E/RT]$
- Feuchte (F) $\Delta P \sim \exp [C*rF]$

Vom Messwert zum Prüfverfahren

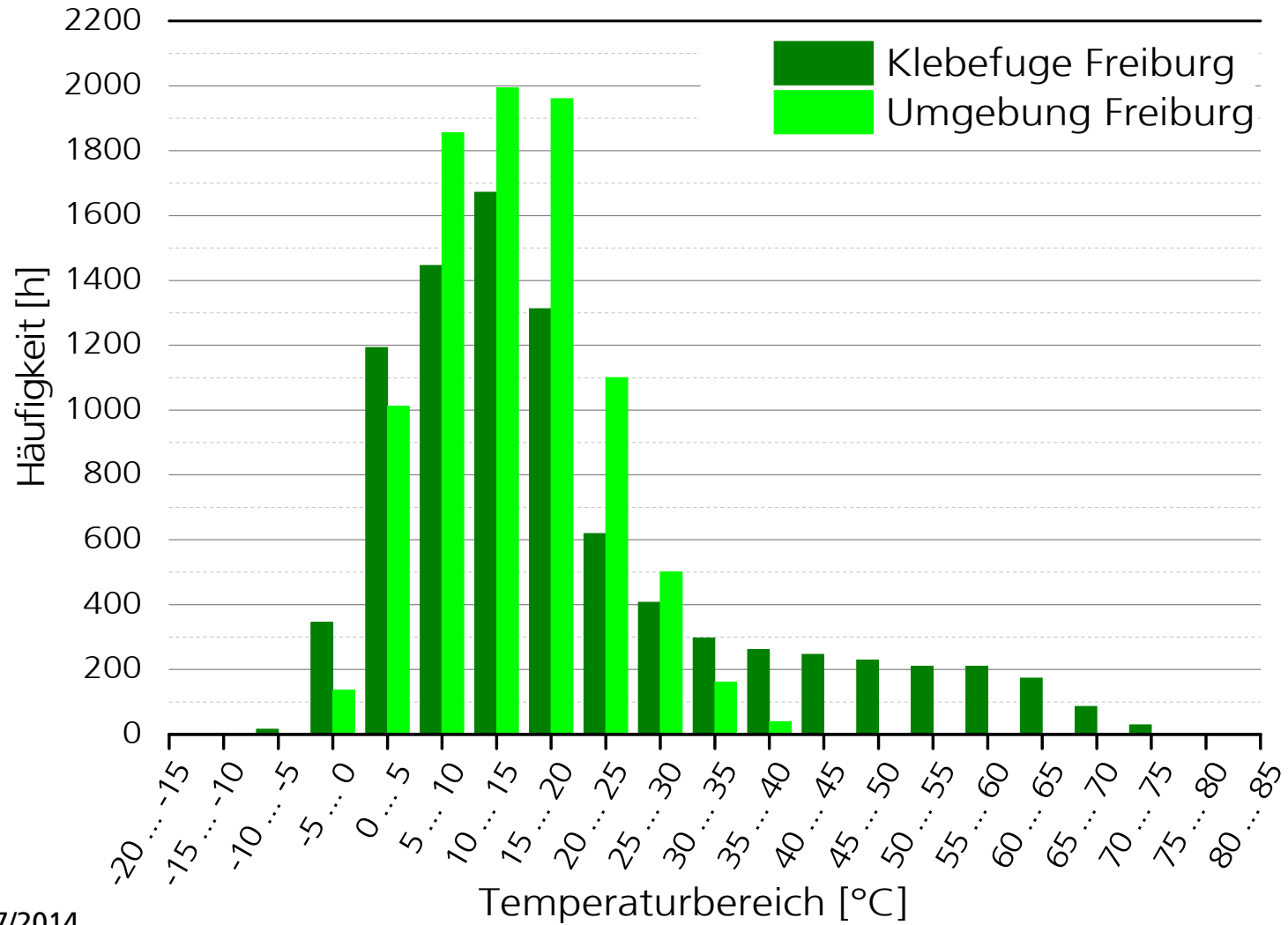
- Beschleunigungsfaktor durch Temperaturunterschied

$$a_n = \frac{t_{ref}}{t_n}$$

t_{ref} Zeitperiode während Prüfling bei T_{ref} exponiert ist

t_n Zeitperiode für gleiche Probe, welche einer höheren Temperatur T_n ausgesetzt ist, um die gleiche Degradation zu erreichen

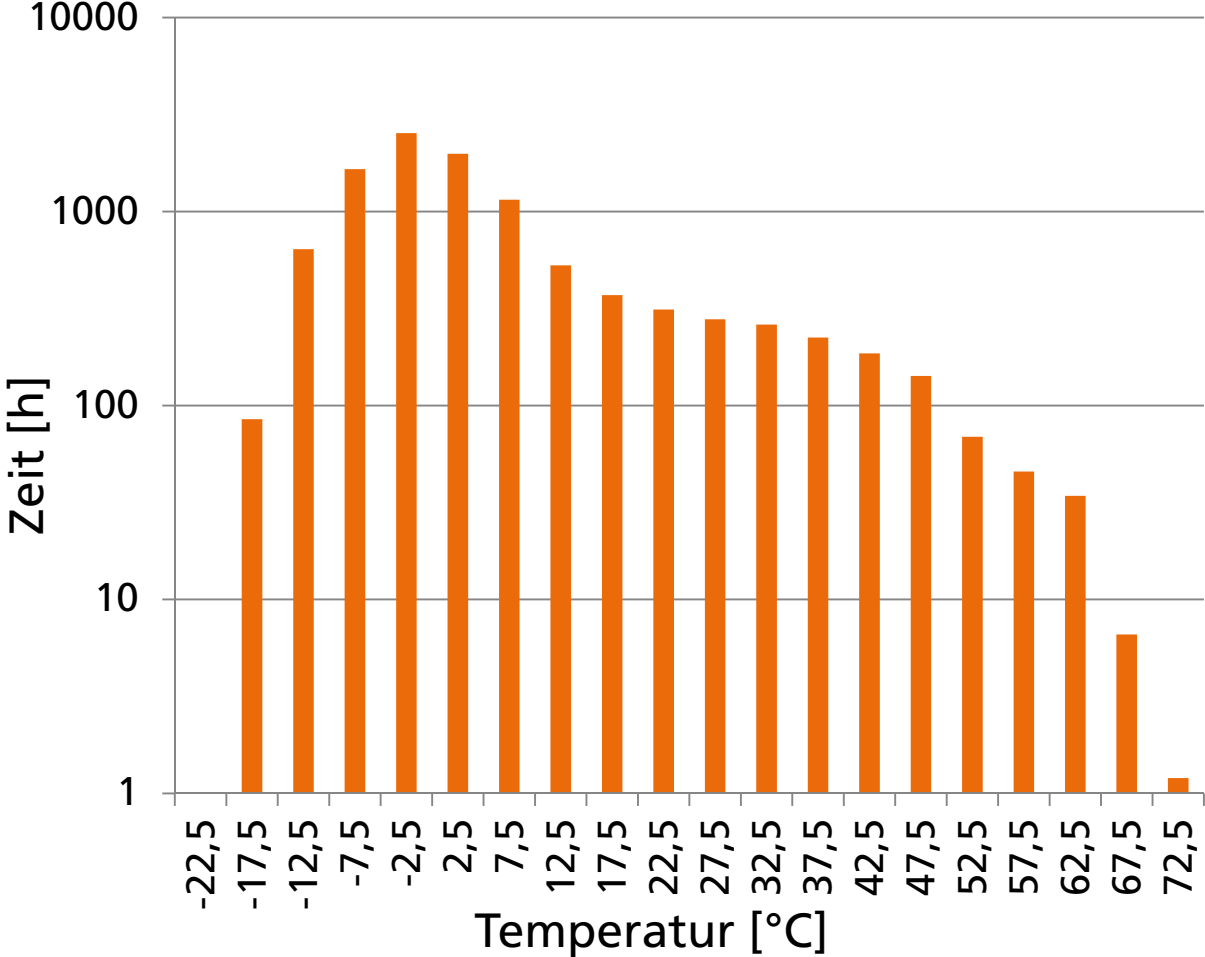
Vom Messwert zum Prüfverfahren



01/08/2013 – 31/7/2014

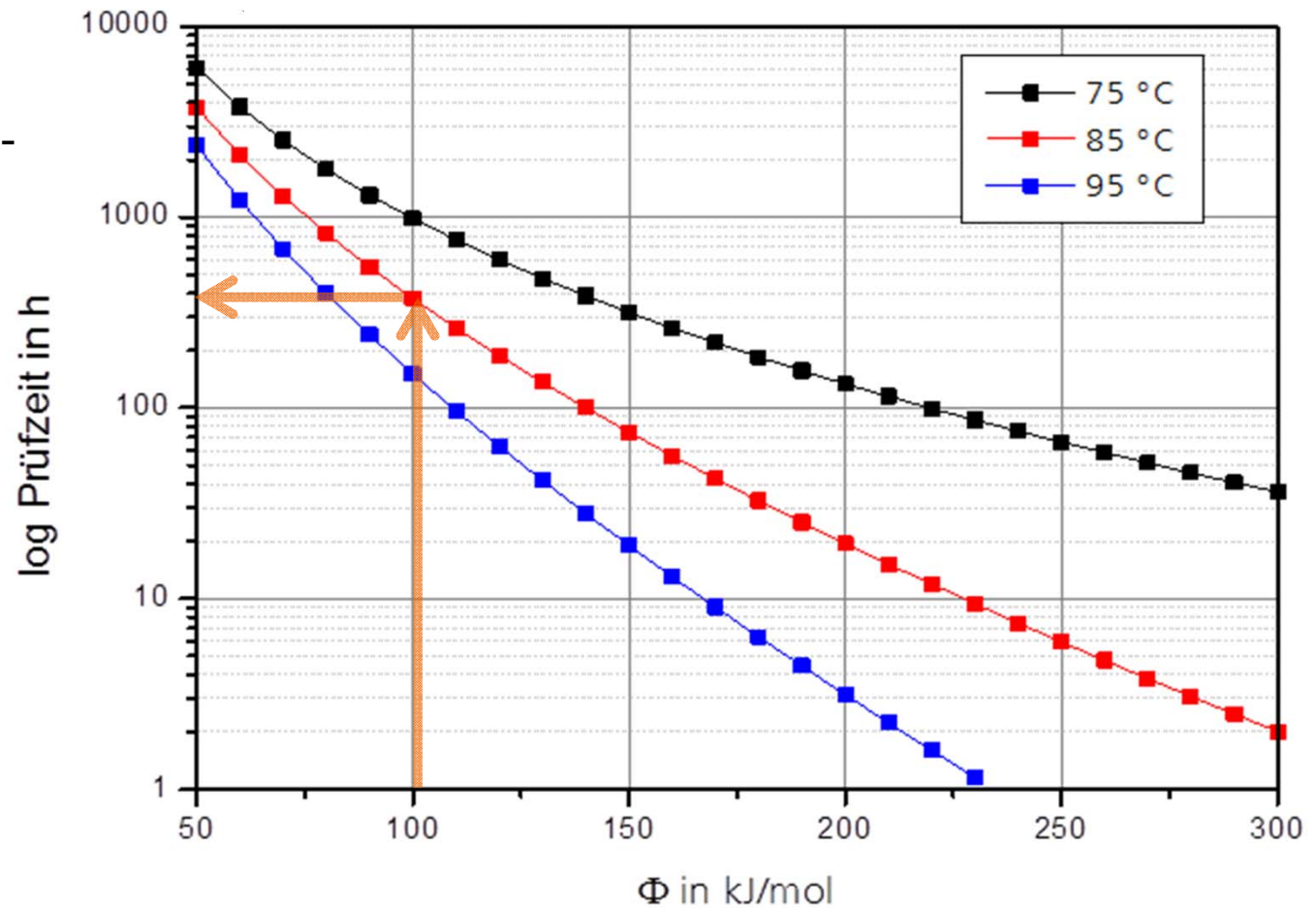
Vom Messwert zum Prüfverfahren

- Histogramm Klebefugentemperatur
- UFS
- Zugspitze



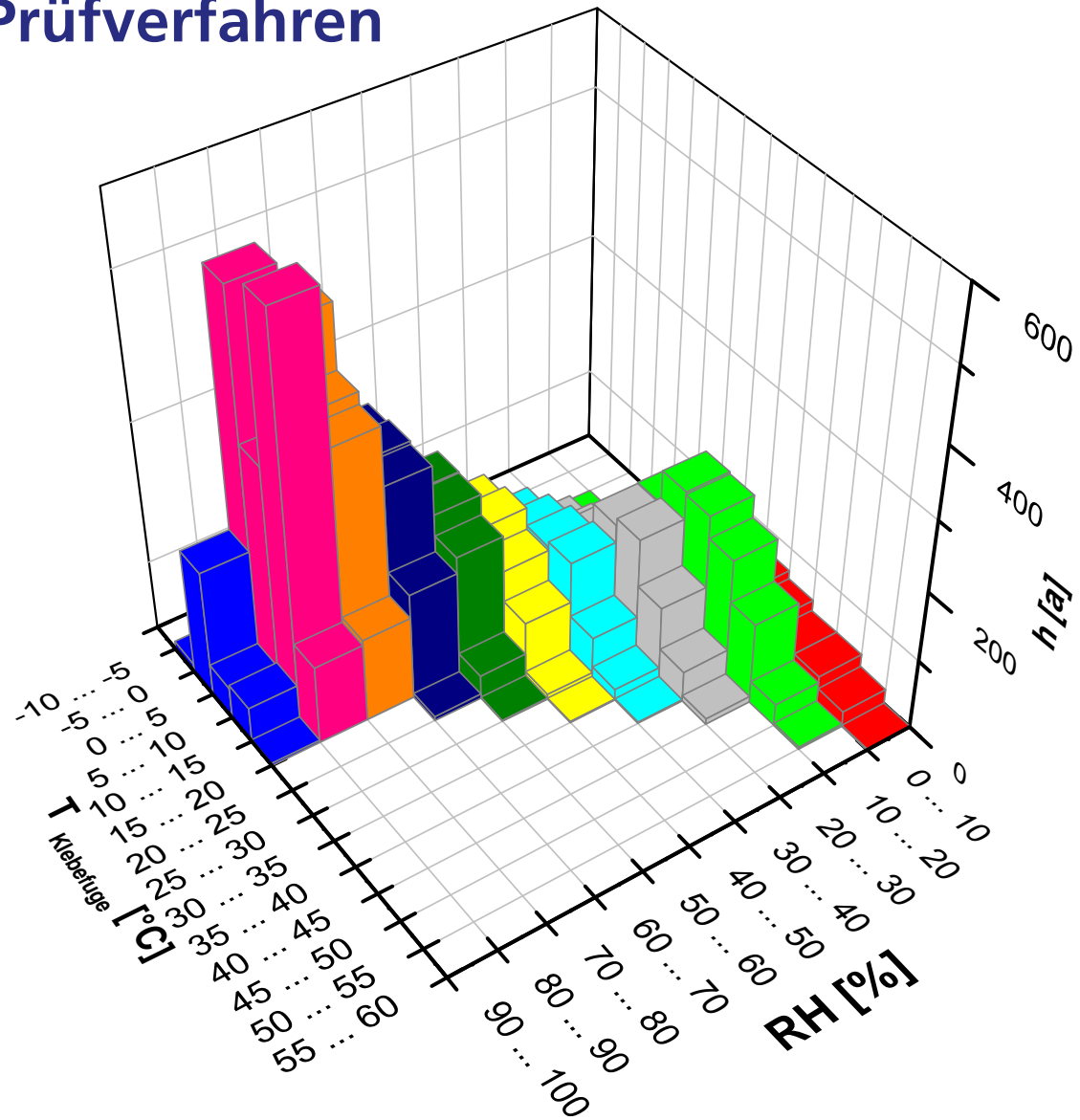
Vom Messwert zum Prüfverfahren

- Prüfzeiten [h] in Abhängigkeit der Aktivierungsenergie und Prüftemperatur
- Beispiel
Annahme
Aktivierungsenergie
100 kJ/mol



Vom Messwert zum Prüfverfahren

- Häufigkeiten
Klebefugentemperatur
und RH
Kollektor Stuttgart



01/09/2013 – 31/08/2014

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Prüfzyklus für Kleinprüflinge

Teil A

Temperaturstabilität

T = 85°C, RH < 10%

Zeitschritte: 0h, 250h, 500h, 1000h

Teil B

Feuchtestabilität

T = 40°C, RH 95%

Zeitschritte: 0h, 250h, 500h, 1000h

Teil C

*Temperatur **oder** Feuchtestabilität*

+ mechanische Belastung, statisch (12,5% auf Zug)

Zeitschritte: 0h, 250h, 500h, 1000h

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Zusammenfassung

- Mechanische Eigenschaften zeigen nur geringe Abweichungen
gute Homogenität der Kleinprüfkörper
- Optische Charakterisierung vor Exposition
 - Mit FTIR-, Raman Spektroskopie
eindeutige Zuordnung Material zu Projektpartner möglich
- Outdoor
 - Exposition nach 1 Jahr Freibewitterung abgeschlossen
 - Spektroskopische Messungen werden durchgeführt
 - Prüflinge werden zur Prüfung mechanischer Eigenschaften an
Projektpartner weitergeleitet

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Zusammenfassung

■ Indoor

- Test Teil A und Teil B abgeschlossen
Ergebnisse von Projektpartner werden erwartet
- Teil C erfolgt nach Abstimmung mit Projektpartner
- Ergebnisse von *SpeedColl* wurden in Arbeiten beim DIBt „Verklebung von Solarkollektoren“ aufgenommen und mitberücksichtigt

■ Absorber

- Am alpinen Expositionsstandort Zugspitze höchste Absorbtemperatur gemessen
- Prüfzeiten gem. gemessener Belastung in Stagnation an Expositionsstandort ermittelt
- Im Vergleich zur DIN ISO 22975-3 (ehem. Task X) Gebrauchsdauerprüfung für Solarabsorber weniger scharf

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Teil 2 – Prüfverfahren für Gesamtkollektor

Ziel:

- Qualifizierungsprüfverfahren für Flachkollektoren entwickeln
 - Prüfbedingungen in Abhängigkeit von Anwendung und Klimazone

Klimazone / Anwendung	A „tropisch“ (z.B. Kochi)	B „trocken“ (z.B. Athen)	C „gemäßigt“ (z.B. Würzburg)	D „boreal“ (z.B. Davos)
Vorwärmung	X	X	X	X
Trinkwasser	X	X	X	X
Kombi	O	X	X	X
Prozesswärme	X	X	X	X

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Teil 2 – Prüfverfahren für Gesamtkollektor

Ziel:

- Qualifizierungsprüfverfahren für Flachkollektoren entwickeln
 - Prüfbedingungen in Abhängigkeit von Anwendung und Klimazone

- Nutzung des Belastungsmonitoring zur Identifikation geeigneter Randbedingungen

- Problem: 3-jährige Freibewitterung hat keine nennenswerte Alterung gezeigt
 - keine Referenz für die Validierung der Prüfverfahren
 - keine direkte Aussage über 25-jährigen Betrieb möglich

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Die Vielfalt der Alterungseinflüsse erfordert die Entwicklung mehrerer Einzelprüfungen → einer Prüfsequenz:

- UV-Prüfung
- Salzsprühnebelprüfung
- Feuchteprüfung
- Temperaturwechselprüfung
- Erweiterte Hochtemperaturprüfung

Vom Messwert zum Prüfverfahren

UV-Prüfung

Ziele der Prüfung:

1. Beständigkeit des Kollektors gegenüber UV-Strahlung prüfen
 - Beständigkeit der Befestigung der Abdeckung
 - Beständigkeit polymerer Komponenten
2. Veränderungen der thermischen Leistung ermitteln

Vom Messwert zum Prüfverfahren – UV-PRÜFUNG

Ergebnis aus dem Belastungsmonitoring, 1 Jahr

Expositionsstandort	Jährliche UV-A und UV-B Bestrahlungssumme
Stuttgart	45 kWh/m ²
Freiburg	59 kWh/m ²
Zugspitze	83 kWh/m ²
Kochi, Indien	79 kWh/m ²
Pozo Izquierdo, Gran Canaria	103 kWh/m ²
Sede Boqer, Israel	57 kWh/m ²

→ Prüfbedingungen
280 kWh/m²
UV-Bestrahlung bei
Rahmentemperatur
von 80 °C

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

Ziele der Prüfung:

1. Beständigkeit in Umgebung mit hoher Salzbelastung prüfen (z.B. küstennahe Standorte)
 - Salzeintrag ins Kollektorrinnere und Verteilung auf Absorber
 - außenliegende Oberflächen (Rahmen, Anschlüsse etc.)
2. Veränderungen der thermischen Leistung ermitteln

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

Normzyklus als Prüfgrundlage (Schärfegrad 3 nach DIN EN 60068-2-52)

	Salzsprühnebelphase	Feuchtephase	Trocknungsphase
Prüfraum- temperatur	35 °C ± 2 K	40 °C ± 2 K	23 °C ± 2
relative Feuchte Prüfraum	bis 100 %	93 (+2 - 3) %	50 (± 5) %

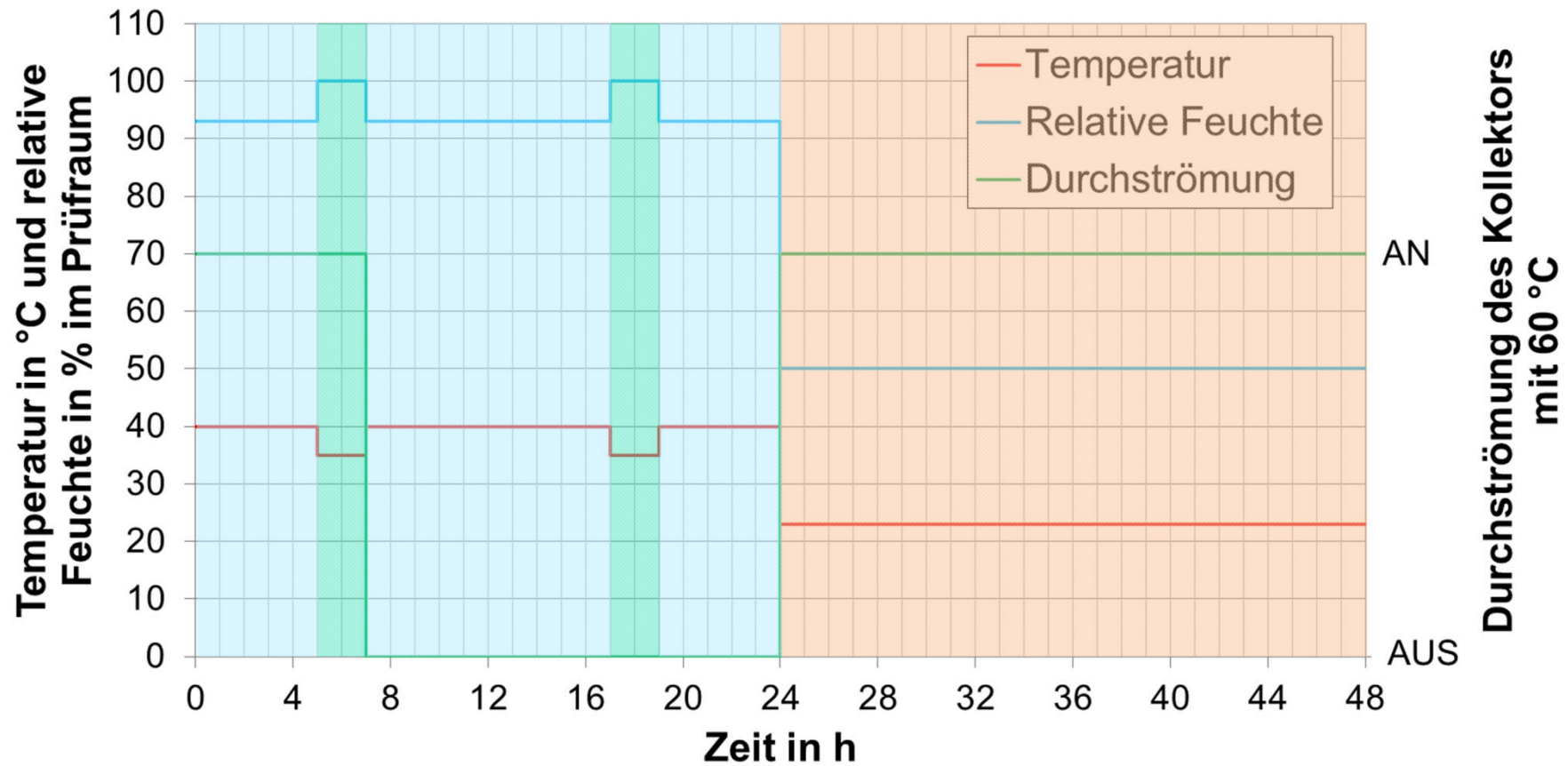
- pH-Wert: 6,5 – 7,2 (bei 20 °C)
- Salzgehalt der Sole: (3 ± 0,5) %

Normzyklus nicht tauglich
Durchströmung des Kollektors wesentlicher Faktor
→ *SpeedColl*-Zyklus

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

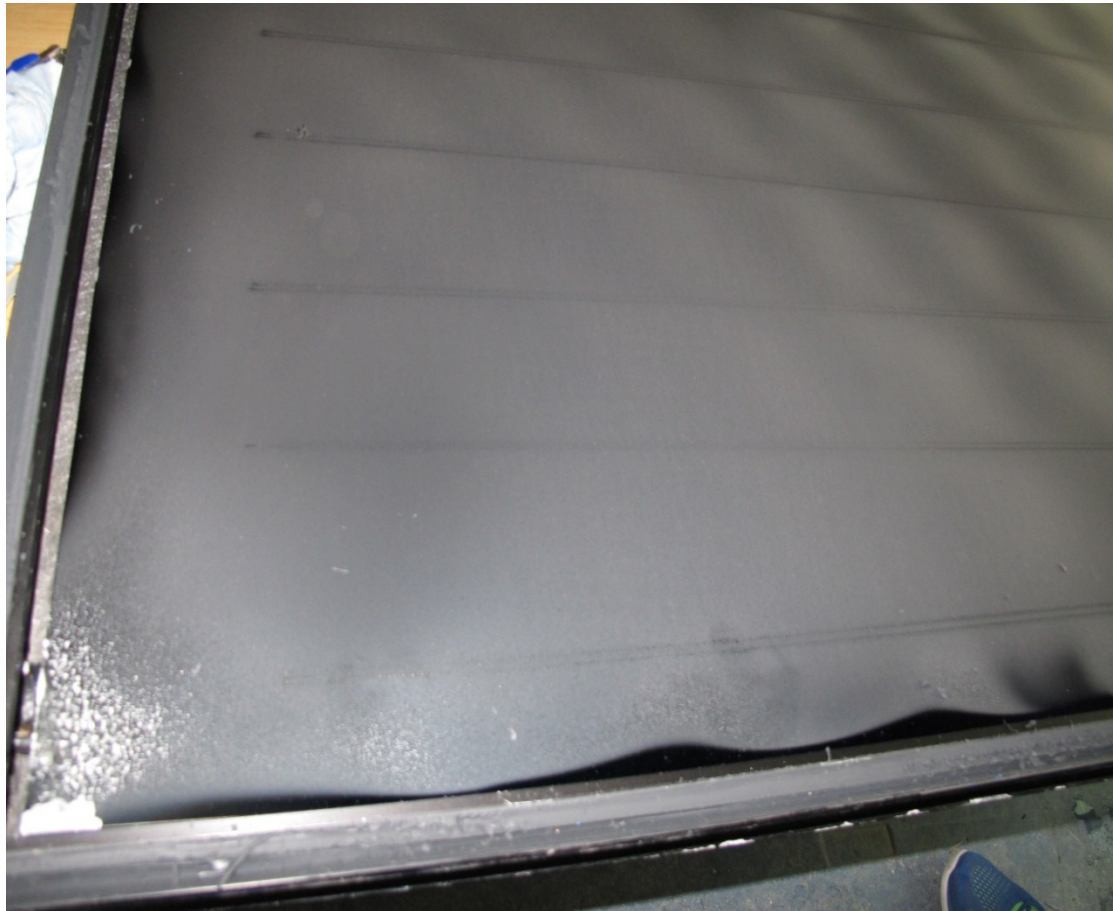
SpeedColl-Zyklus (1 Zyklus: 48 h)



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

Praktische Erprobung – visuelle Inspektion



nach 22 Zyklen
→ Großflächige,
feine Salzablagerungen auf dem
Absorber

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

Praktische Erprobung – Vergleich mit Freibewitterung

Nach 22 Zyklen in der
Salzsprühnebelprüfung



Nach 2,5 Jahren
Freibewitterung Gran Canaria



Vom Messwert zum Prüfverfahren

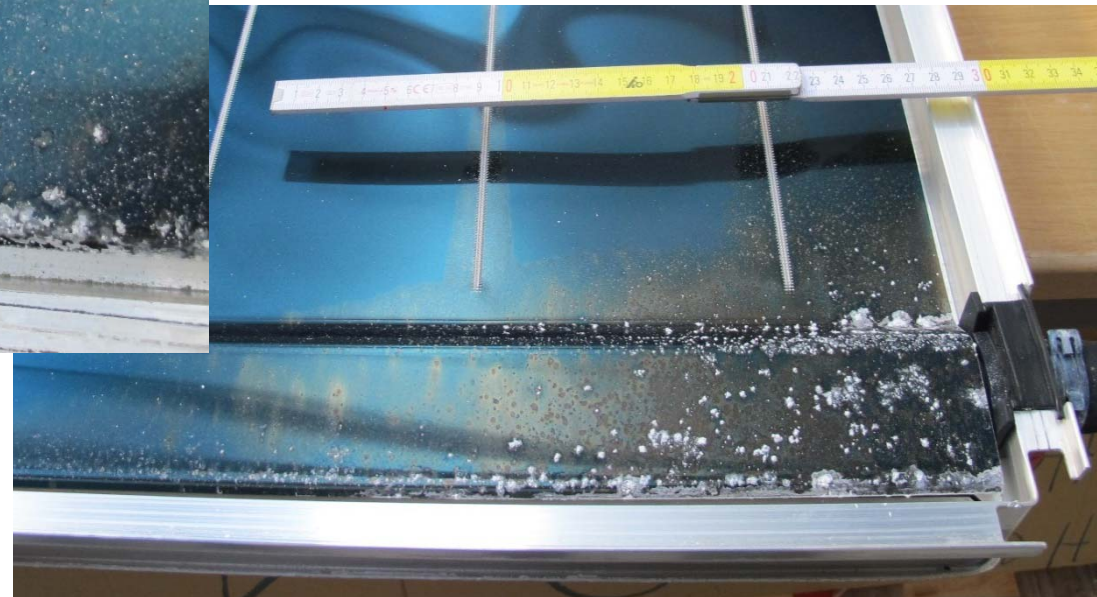
Salzsprühnebelprüfung

Praktische Erprobung – Visuelle Inspektion 2



untere Ecken

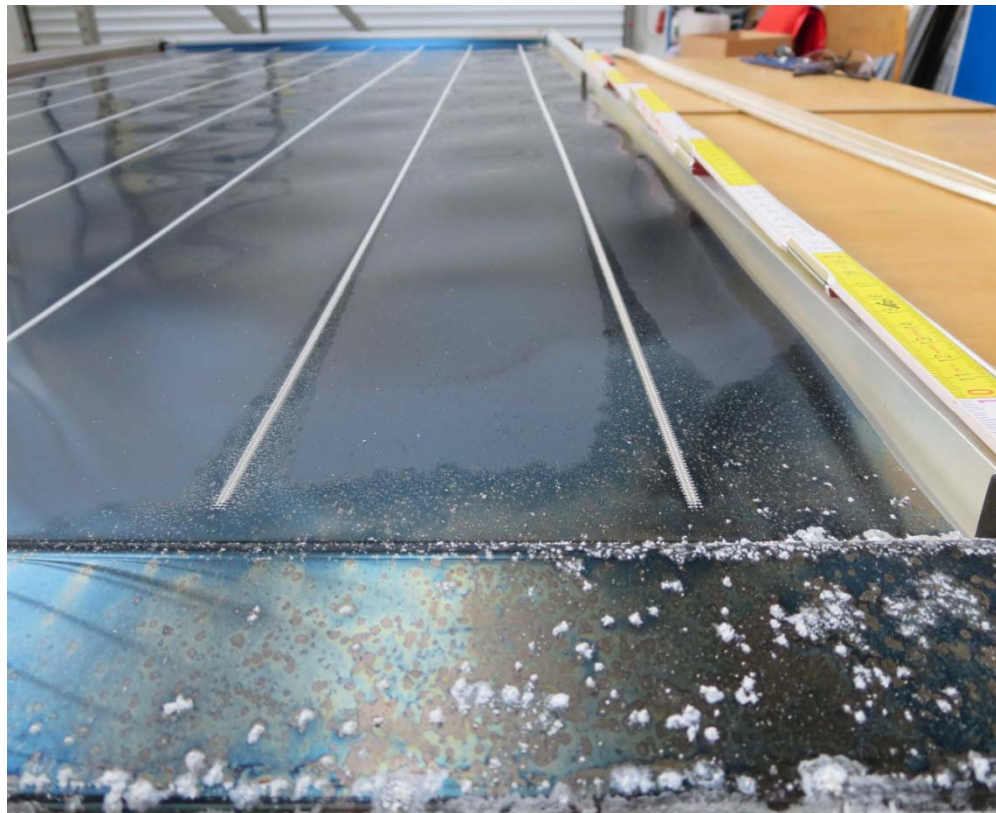
- Salzkristalle auf dem Absorber
- Farbveränderung des Absorbers



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Salzsprühnebelprüfung

Praktische Erprobung – Visuelle Inspektion 2



- Pyramidenförmig nach oben wachsende Farbveränderungen am Absorber
- keine großflächigen, feinen Salzablagerungen auf dem Absorber

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Feuchteprüfung

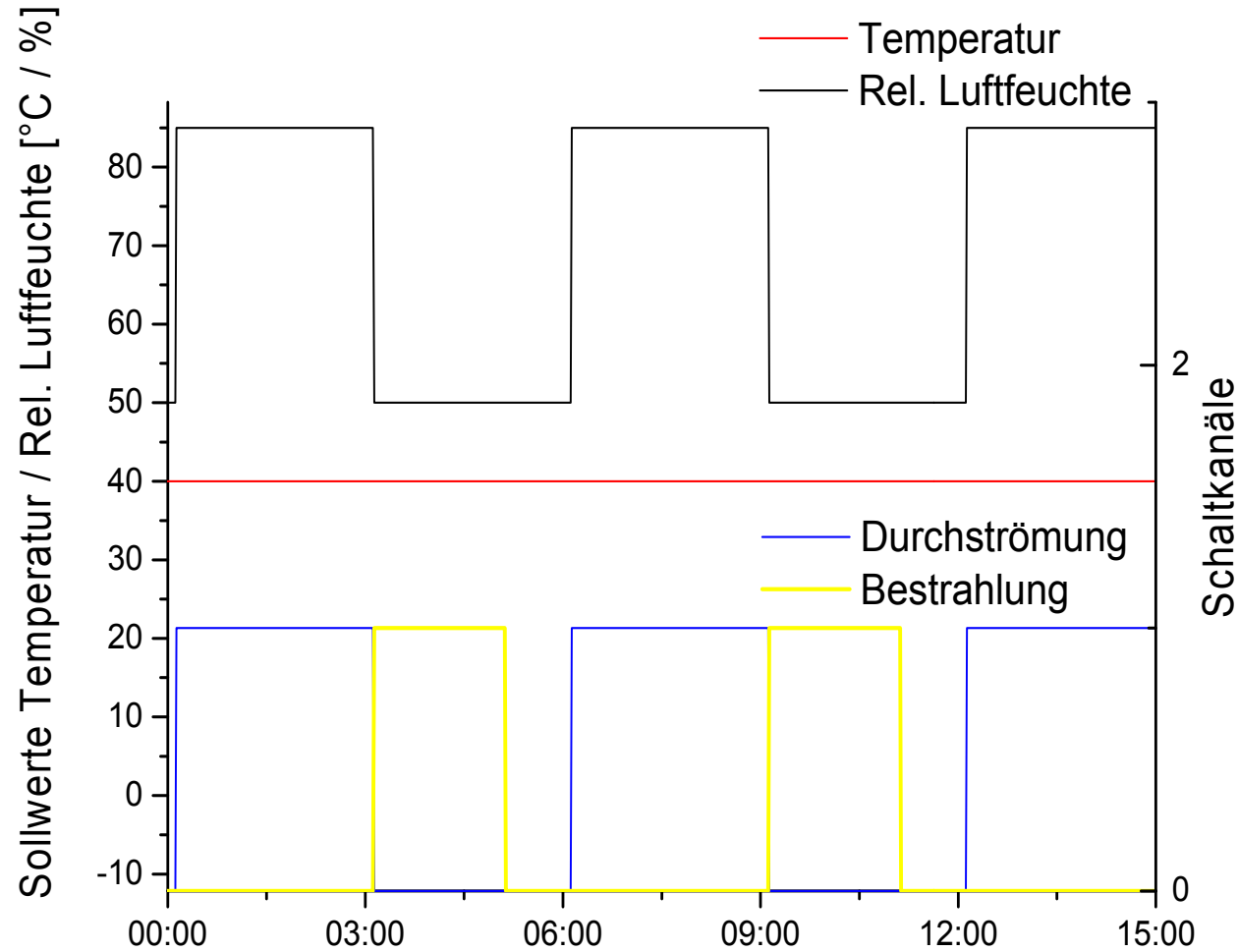
Ziele der Prüfung:

1. Beständigkeit der Kollektoren gegenüber hohen Feuchtebelastungen prüfen
 - Feuchtaufnahme der Wärmedämmung
 - Beständigkeit der Gesamtkonstruktion
2. Veränderungen der thermischen Leistung ermitteln

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Feuchteprüfung

Prüfzyklus



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Temperaturwechselprüfung

Ziele der Prüfung:

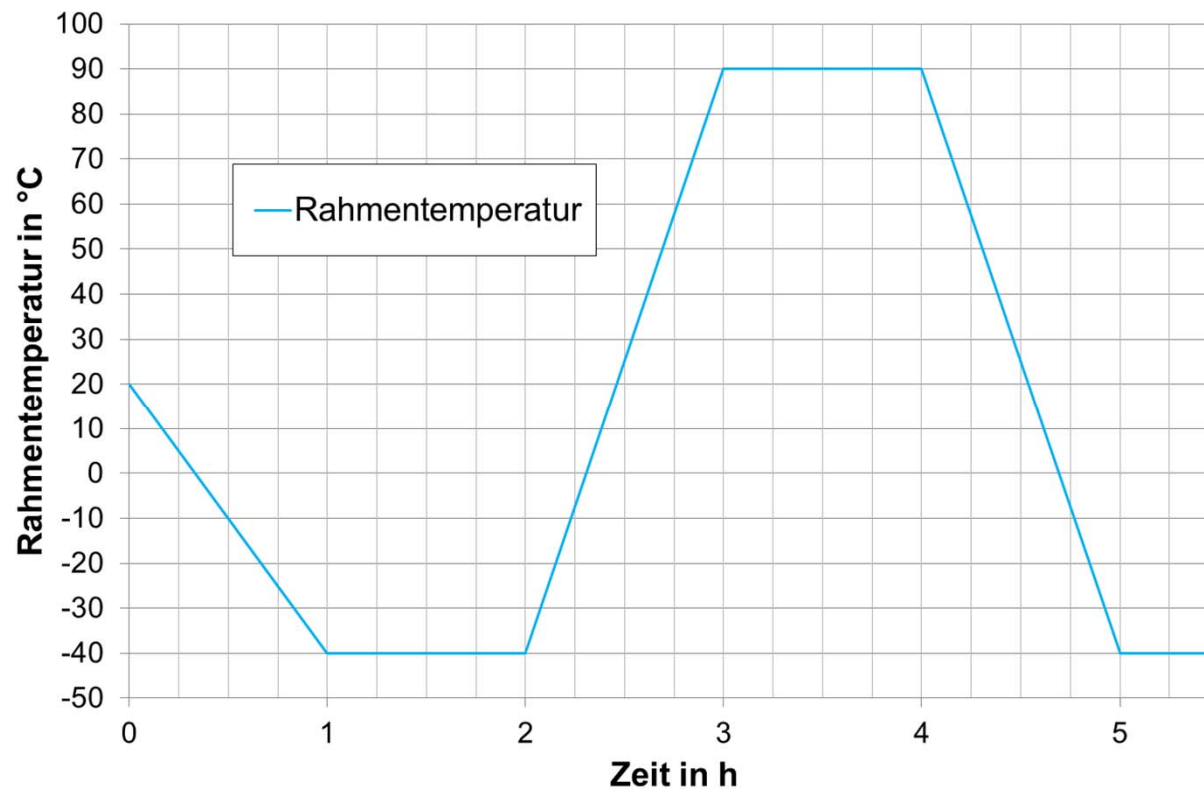
1. Beständigkeit des Kollektors gegenüber Temperaturwechsel prüfen
 - Beständigkeit der Befestigung der Abdeckung
 - Ergebnis der FMEA
 - Relevant im Kontext mit DIBt
 - Interesse von Seiten der Industrie
2. Veränderungen der thermischen Leistung ermitteln

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Temperaturwechselprüfung

Prüfbedingungen

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

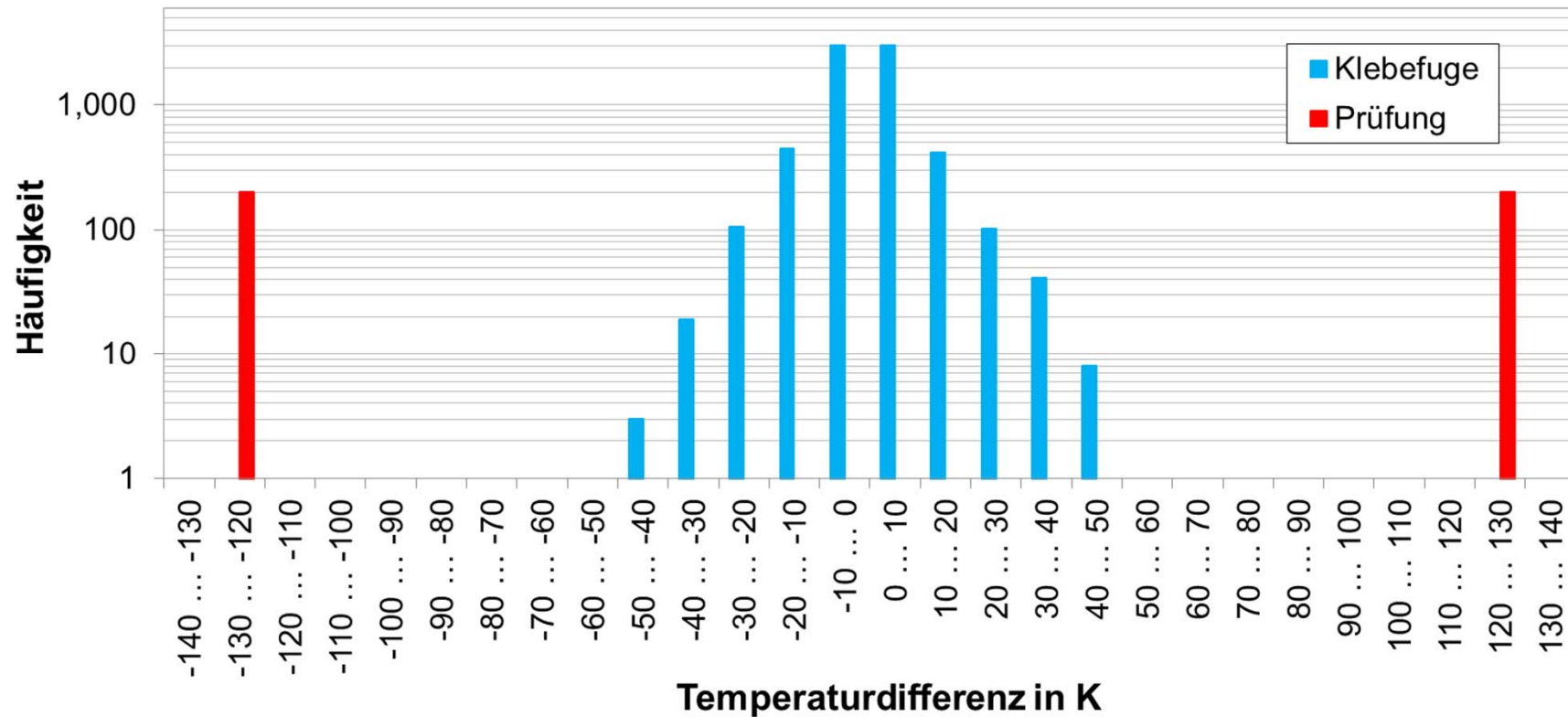


Vom Messwert zum Prüfverfahren

Temperaturwechselprüfung

Einordnung des Prüfverfahrens

Temperaturwechsel Klebefuge $> \pm 1$ K während eines Jahres



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Erweiterte Hochtemperaturprüfung

Ziele des Prüfverfahrens

1. Beständigkeit der Kollektoren gegenüber hohen Temperaturbelastungen
 - Ausgasungen
 - Verformung des Absorbers (Kontakt mit Glas)
 - Zuverlässigkeit der Gesamtkonstruktion
2. Veränderungen der thermischen Leistung ermitteln

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Hochtemperaturprüfung

Prüfsequenz

Temperaturlagerung des Kollektors

- bei individueller Absorbtemperatur
- über 120 h
- in Klimakammer
 - mit oder ohne künstlichem Sonnenlicht
 - mit oder ohne Durchströmung mit heißem Fluid



Vom Messwert zum Prüfverfahren

Zusammenfassung

- Sequenz von Prüfverfahren für Gesamtkollektor wurde entwickelt
 - deutlich höherer Anspruch im Vergleich zu EN ISO 9806
- mangels relevanter Alterung in Exposition keine Lebensdauerabschätzung
- Einige interessante Antworten vs. viele neue Fragen

Ausblick

- Erprobung der Prüfverfahren an evtl. anfälligeren Kollektoren
- Weiterentwicklung und Feinabstimmung der Prüfverfahren
 - Kombination von Alterungsfaktoren (z.B. Sand und Salz o.Ä.)
- Fortführung der Exposition → Messbare Alterung → Anpassung der Prüfverfahren mit Blick auf Lebensdauerabschätzung

Vom Messwert zum Prüfverfahren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Thomas Kaltenbach

www.ise.fraunhofer.de
thomas.kaltenbach@ise.fraunhofer.de

Philipp Kofler

www.itw.uni-stuttgart.de
kofler@itw.uni-stuttgart.de