
Zerstörungsfreie Qualitätssicherung an Verbundwerkstoffen mittels Wärmefluss- Thermografie

Dr.-Ing. Jochen Aderhold

Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut für
Holzforschung (WKI)
Braunschweig



Zerstörungsfreie Qualitätssicherung an Verbundwerkstoffen mittels Wärmefluss-Thermografie

- ▶ Einführung
- ▶ Türen von U-Bahn-Fahrzeugen
- ▶ Rotorblätter von Windenergieanlagen
- ▶ Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien

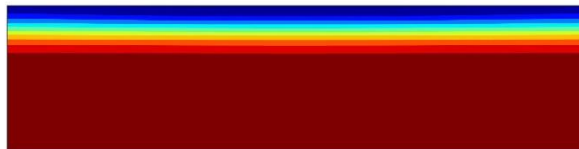
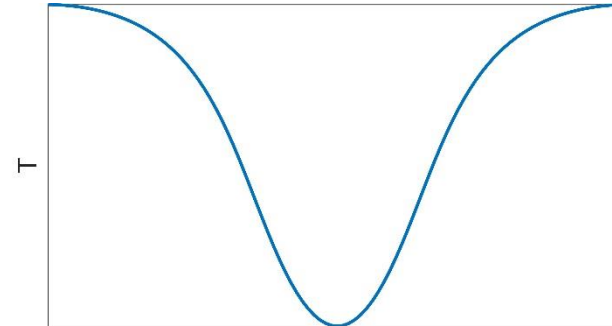
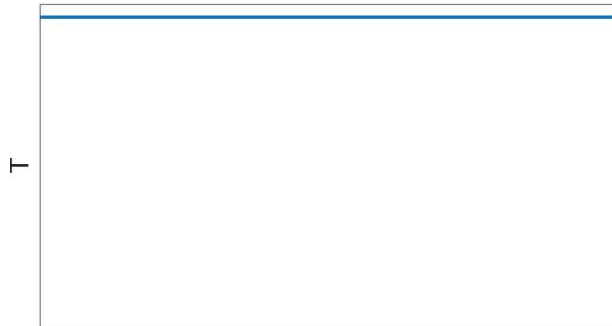
Einführung (1)

- ▶ Verbundwerkstoffe
 - ▶ Zunehmende Bedeutung in verschiedenen Bereiche der Technik
 - ▶ Flugzeugen
 - ▶ Straßen- und Schienenfahrzeugen
 - ▶ Baubereich

- ▶ Oft schnelle Prüfung großer Flächen erforderlich

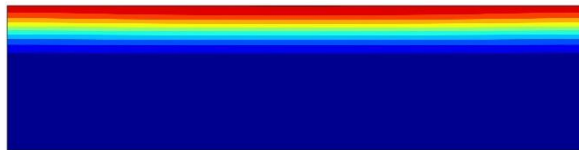
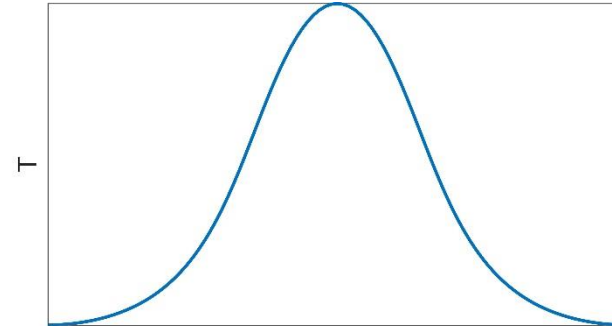
- ▶ Aktive Wärmefluss-Thermografie besonders geeignet
 - ▶ Moderate Wärmeleitfähigkeit
 - ▶ Berührungslos und bildgebend
 - ▶ Zügige Prüfung auch an großen Objekten.

► Passive Wärmefluss-Thermografie



Einführung (3)

► Aktive Wärmefluss-Thermografie



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (1)

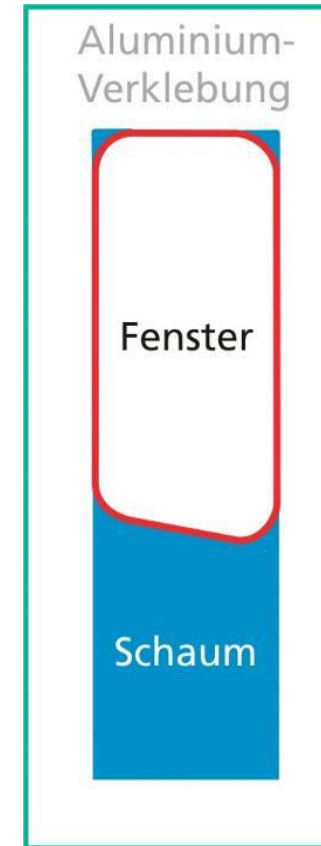
- ▶ Problem: Verklebungsfehler an der Außen- und Innenverkleidung der Türen
 - ▶ Sicherheitsproblem
 - ▶ Druckstöße bei Begegnung im Tunnel



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (2)

► Problemstellung

- ▶ Ursache der Verklebungsfehler?
- ▶ Welche bereits ausgelieferten und eingebaute Türen sind betroffen?
- ▶ Ist eine Dauerfestigkeit für 20 Jahre gesichert?



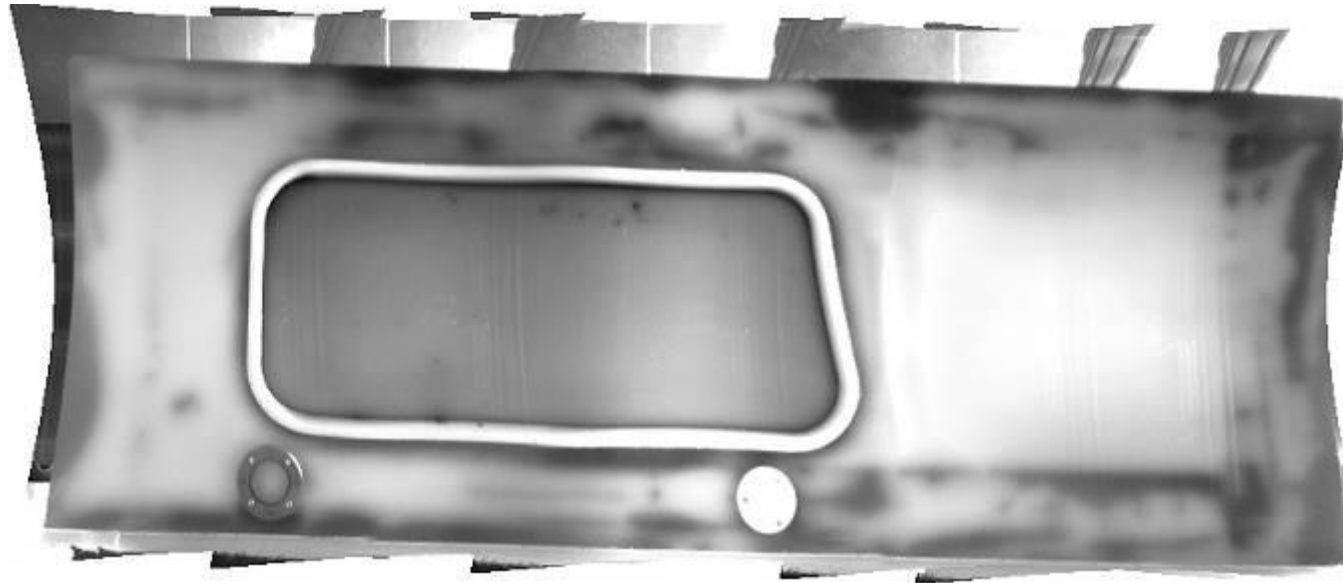
Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (3)

- ▶ Tür i. O. (Innenseite SN06)



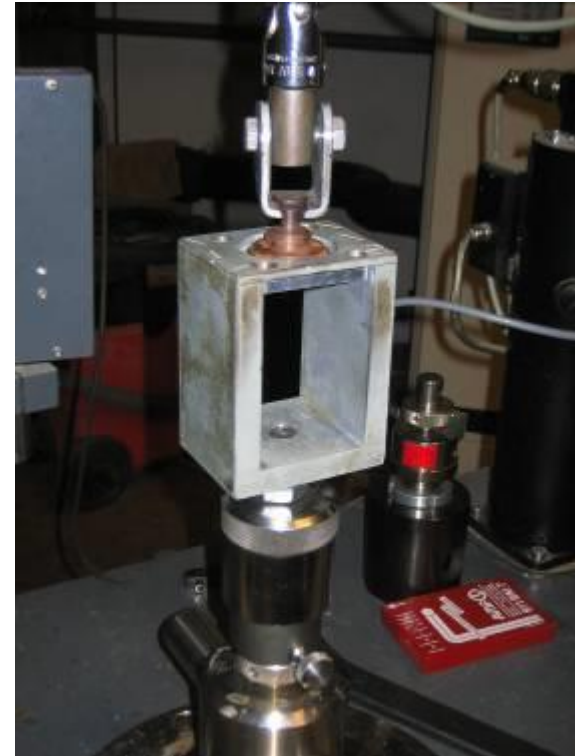
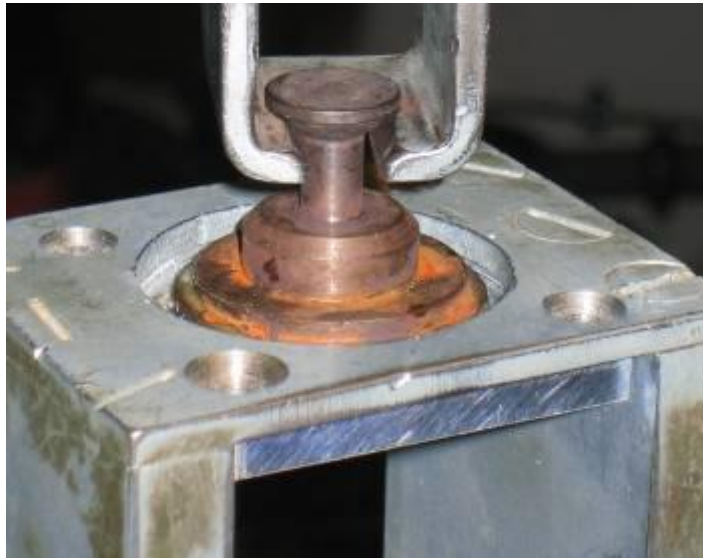
Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (4)

- ▶ Tür n. i. O. (Innenseite SN70)



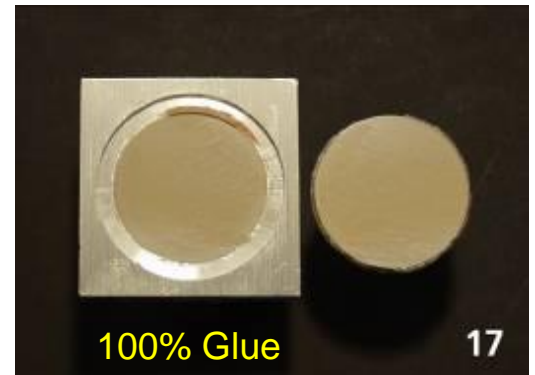
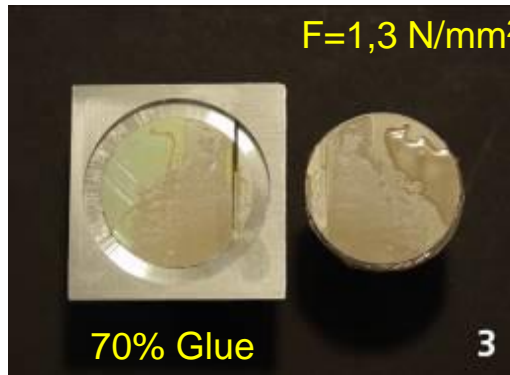
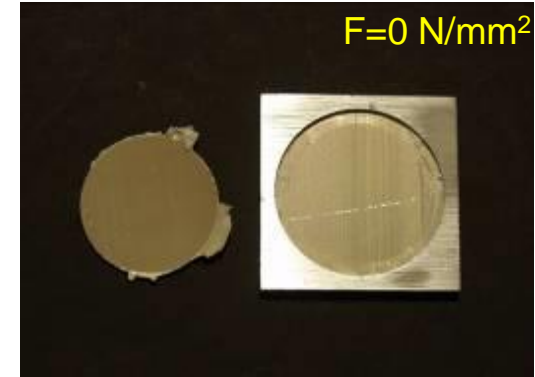
Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (5)

► Verifikation durch Abrissversuche



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (6)

- ▶ Verifikation durch Abrissversuche



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (7)

- ▶ Aufbau für Prüfung am Bahnsteig



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (8)

- ▶ Prüfung von U-Bahn-Türen am Fahrzeug



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (9)

- ▶ U-Bahntüren im Fenster- und Türenprüfstand des WKI
- ▶ Zyklische Unter- und Überdruckbelastung



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (10)

▶ Thermogramme derselben Tür (v. l. n. r.)

- ▶ im Originalzustand
- ▶ nach 50.000 Zyklen
- ▶ nach 250.000 Zyklen
- ▶ nach 1.000.000 Zyklen

▶ Fehlerfortschritt sichtbar



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (11)

- ▶ Problem: Eindringendes Wasser im Dach
 - ▶ Degradation des GFK
 - ▶ Frostsprengung
- ▶ Fragestellungen
 - ▶ Welche Dächer sind betroffen?
 - ▶ Wie schnell geht das Wasser zurück?



Türen von U-Bahn-Fahrzeugen (12)

- ▶ Thermografischer Nachweis von eingedrungenem Wasser



Rotorblätter von Windenergieanlagen (1)

- ▶ Rotorblätter sind hochbelastete Komponenten.
- ▶ In der **Fertigung** und bei **Reparaturen** treten vielfach gravierende Qualitätsmängel auf.
- ▶ Schadensspektrum reicht von Ertragseinbußen bis zum Totalausfall der Anlage.
- ▶ Steigende Anforderungen durch Trend zu **Offshore-Anlagen** (Zugänglichkeit !)



Rotorblätter von Windenergieanlagen (2)

► Mögliche Fehler in Rotorblättern

- ▶ Fehlverklebungen zwischen Steg und Schale
- ▶ Risse, Lufteinschlüsse und Delaminationen
- ▶ Eindringen von Wasser oder Hydrauliköl

► Bisherige Prüfverfahren:

- ▶ Sichtprüfung
- ▶ Abklopfen mit dem Hammer
- ▶ Objektive und automatisierbare Verfahren sind derzeit nicht verfügbar

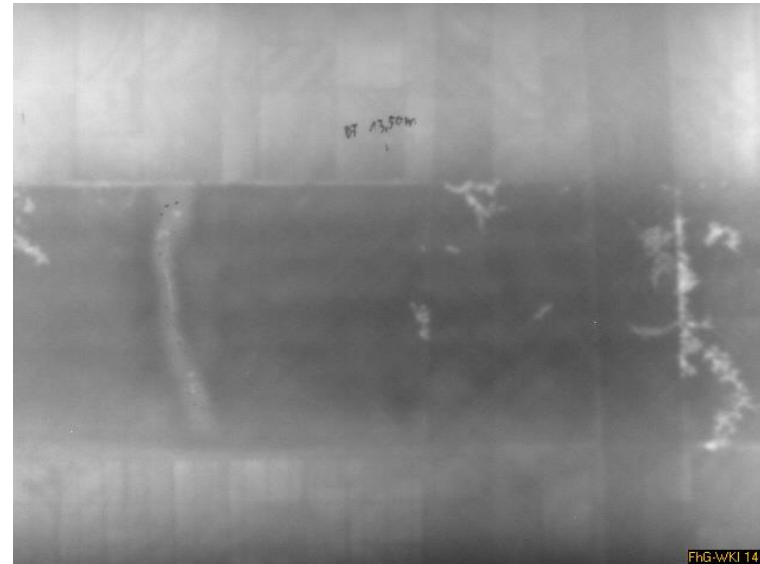
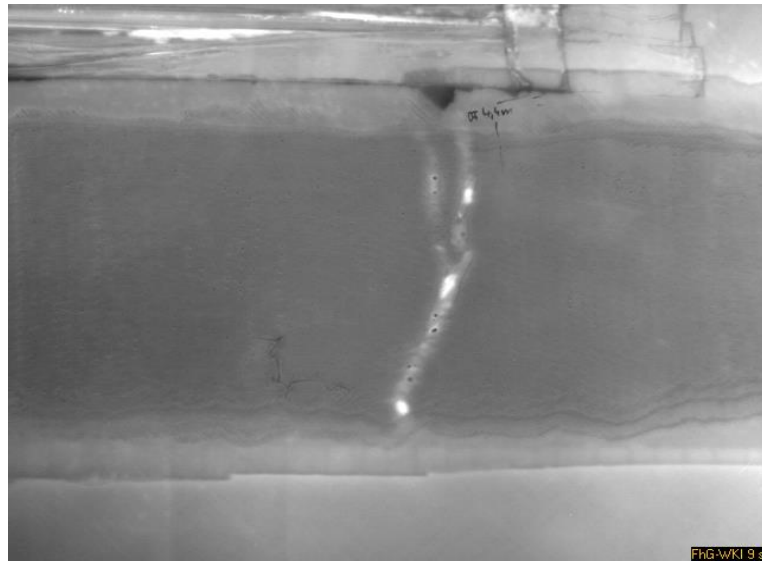
Rotorblätter von Windenergieanlagen (3)

- Qualitätskontrolle in der Rotorblattfertigung



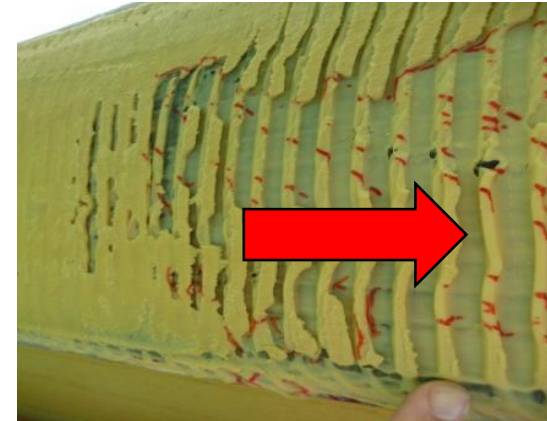
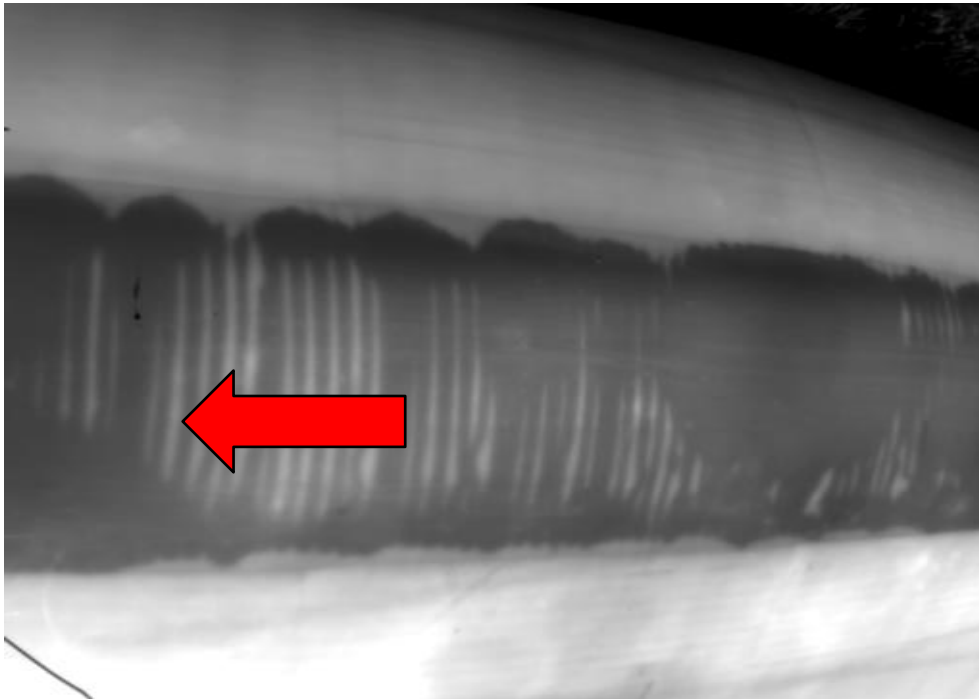
Rotorblätter von Windenergieanlagen (4)

► Erkennung von Ondulationen



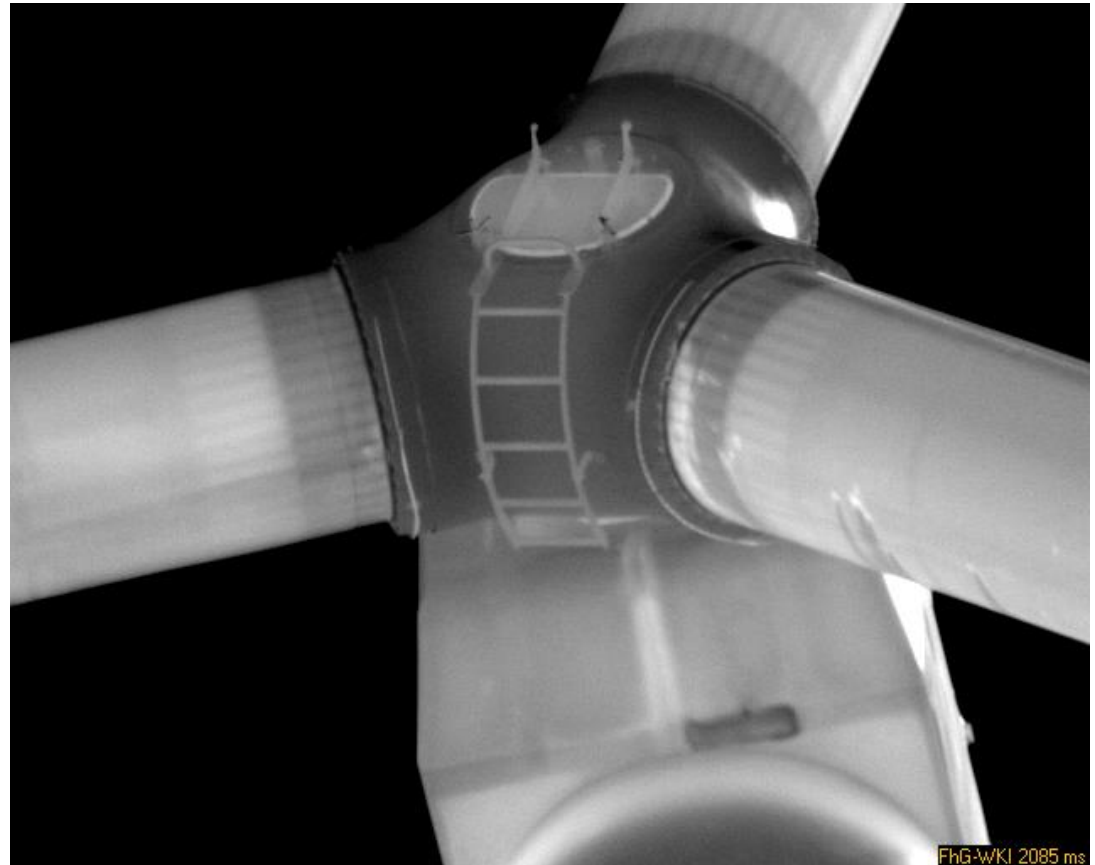
Rotorblätter von Windenergieanlagen (5)

- ▶ Erkennung von mangelndem Klebstoffauftrag zwischen Blattschale und Holm



Rotorblätter von Windenergieanlagen (6)

- ▶ Passive Thermografie einer laufenden Anlage
 - ▶ Befestigungsbolzen werden sichtbar



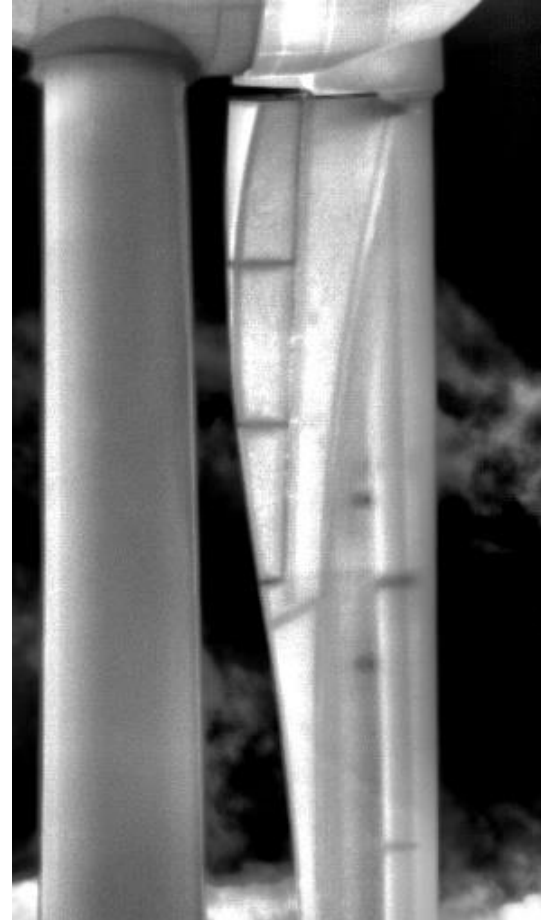
Rotorblätter von Windenergieanlagen (7)

- ▶ Passive Thermografie einer stehenden Anlage
 - ▶ Innere Strukturen werden sichtbar



Rotorblätter von Windenergieanlagen (8)

- ▶ Passive Thermografie einer stehenden Anlage
 - ▶ Innere Strukturen werden sichtbar



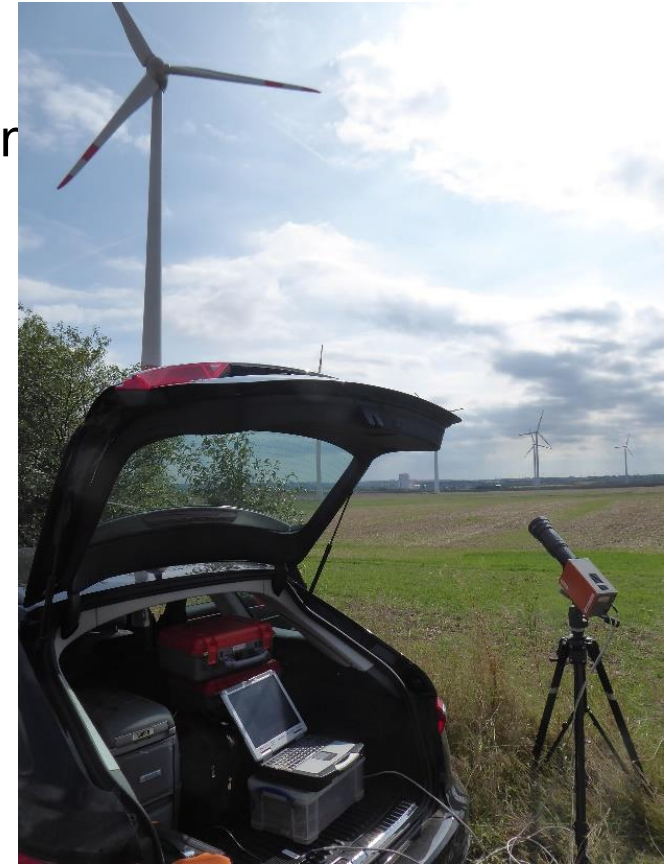
Rotorblätter von Windenergieanlagen (9)

- ▶ Projekt „EvalTherm“
- ▶ Evaluierung der passiven Thermografie für den Nachweis von Rotorblattschäden (bzw. Zustandsbewertung von Rotorblättern) an Windenergieanlagen
- ▶ Bundesanstalt für Materialforschung (Berlin)
- ▶ Fraunhofer WKI (Braunschweig)
- ▶ Fa. InfraTec (Dresden)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Rotorblätter von Windenergieanlagen (10)

► Projekt „EvalTherm“

- ▶ Bestimmung der Detektionsgrenzen für innere Fehler in Rotorblättern mittels passiver Thermographie
- ▶ Vorhersage optimaler Messzeitpunkte
- ▶ Entwicklung einer drohntauglichen Wärmebildkamera



Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (1)

► Herausforderungen

- ▶ Schwankungen in der Zusammensetzung des Rohmaterials
- ▶ Änderungen in Temperatur und Druck bei der Heißextrusion

► Mögliche Folgen

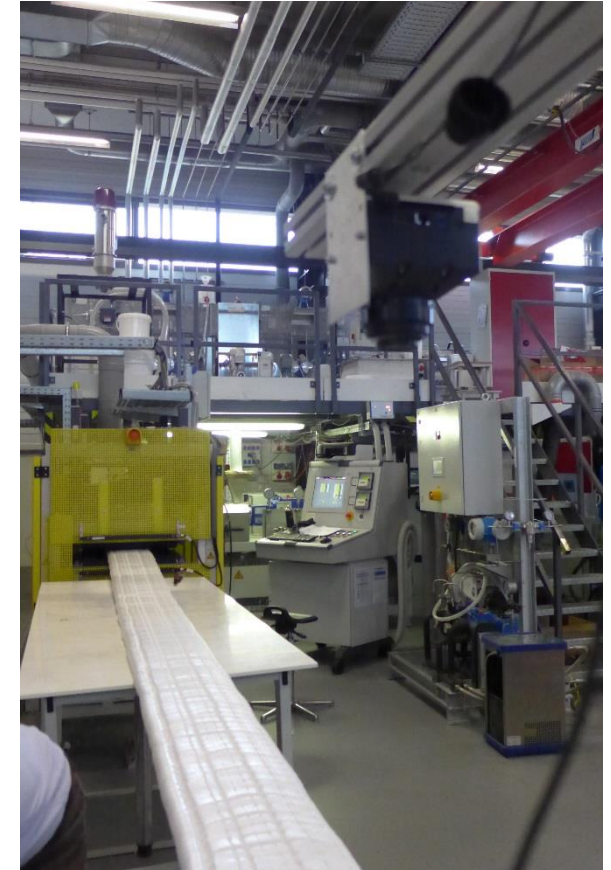
- ▶ Strukturelle Defekte wie zum Beispiel Lufteinschlüsse
- ▶ Inhomogene Verteilung von Materialparametern
 - ▶ Hier: Isoliermaterialien
 - ▶ Wärmeleitfähigkeit



Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (2)

► Heißextrusion

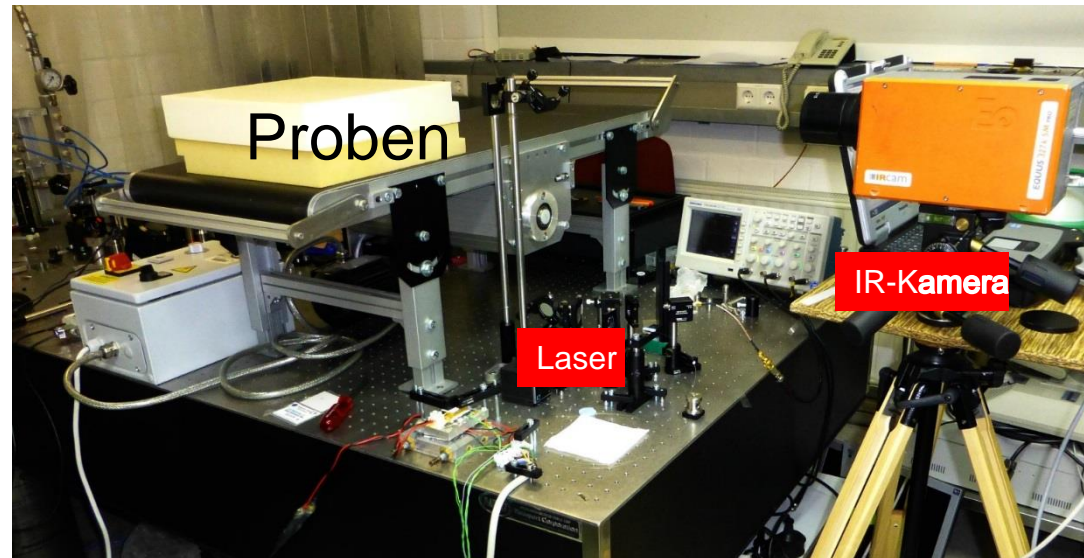
- ▶ Verbreitetes Herstellungsverfahren für Kunststoffe
- ▶ Querschnitt muss in Längsrichtung konstant sein
- ▶ Rohmaterial wird aufgeschmolzen und durch ein Werkzeug gepresst
- ▶ Sehr glatte Oberflächen
- ▶ Auch sehr spröde Materialien wie z. B. Styropor können verarbeitet werden



Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (3)

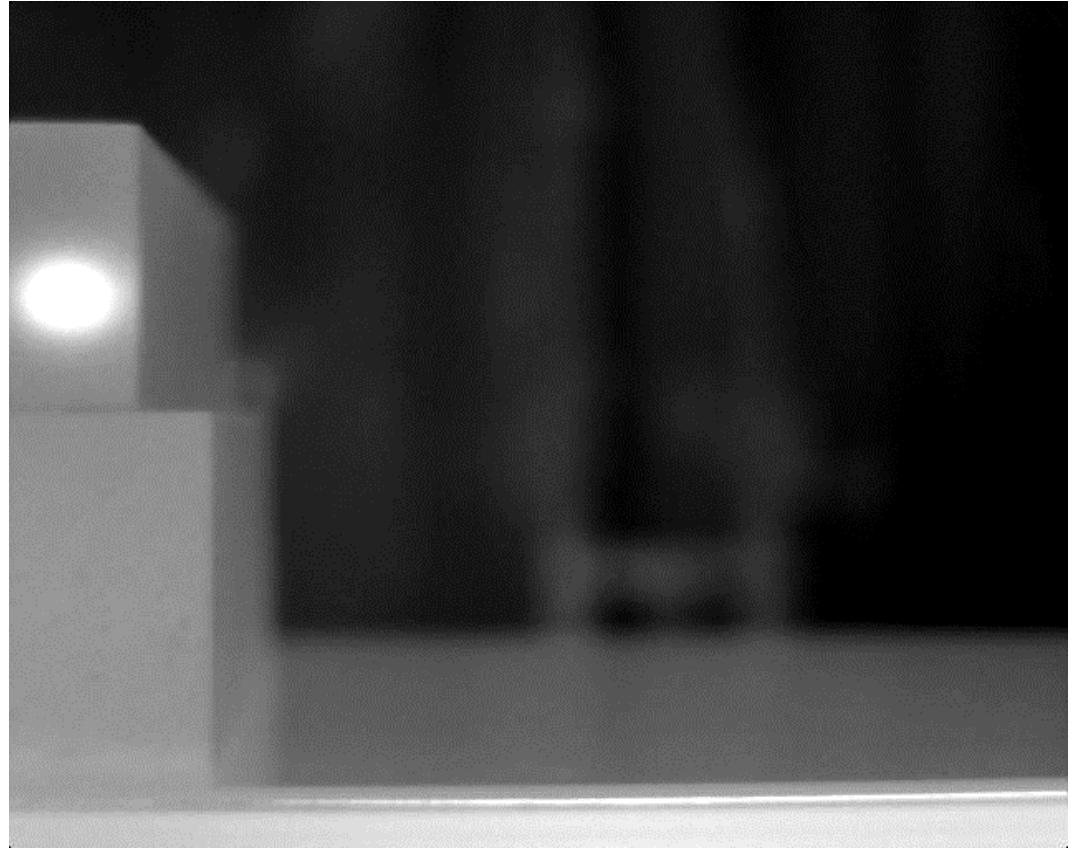
► Idee:

- ▶ Frisch extrudiertes Material mit gepulstem Laserstrahl anregen
- ▶ Alternativ: Anregung mit Kühlfingern
- ▶ $T(x,y,t)$ ist ein Maß für $\kappa(x,y,z)$



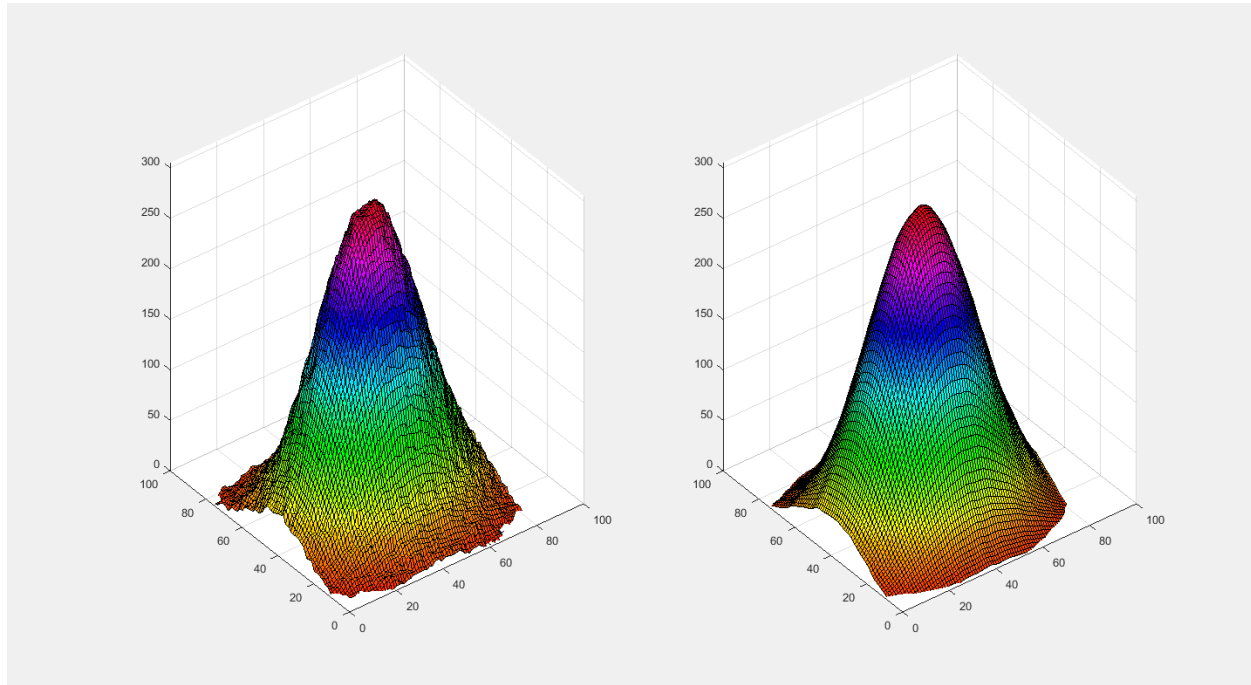
Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (4)

- ▶ Typische IR-Sequenz



Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (5)

- ▶ $T(x,y,t)$ für einen typischen sich bewegenden Spot (links: Rohdaten, rechts: geglättete Daten)



Monitoring der Wärmeleitfähigkeit von Isoliermaterialien (6)

- ▶ Herausforderungen / To do
- ▶ Laserpulse zu wenig reproduzierbar
- ▶ Anregung mit „Kaltfingermaschine“ hat nicht richtig funktioniert
- ▶ Gechopter CO₂-Laser?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



