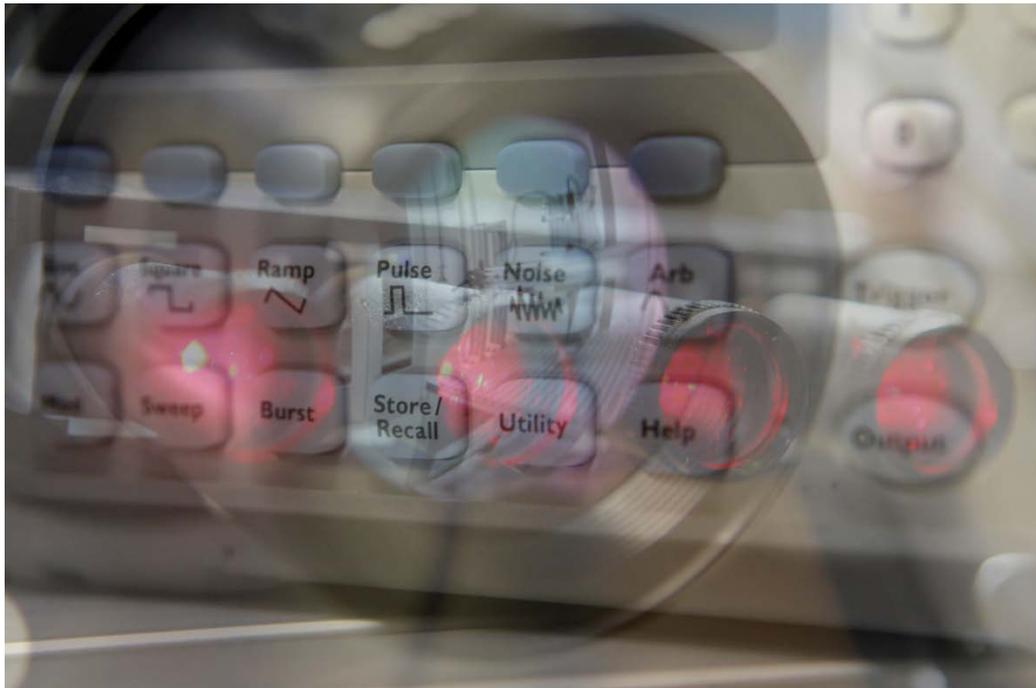


# Prüfung von Adhäsionseigenschaften mittels digitaler Shearografie

Dr.-Ing. Tina Wilhelm



---

# Überblick

---

- Fragestellung.
- Stand der Technik.
- Was ist digitale Shearografie?
- Neuartiger Einsatz der digitalen Shearografie.
- Charakteristische Ergebnisse.
- Fazit.

# Fragestellung

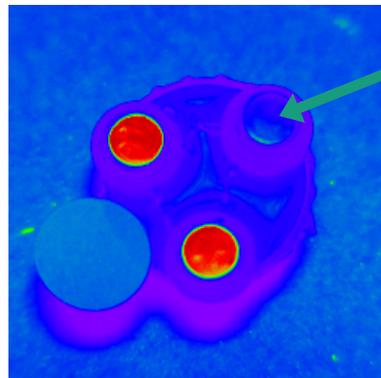
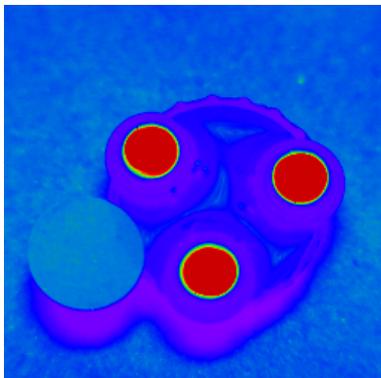
- Etablierung des Klebens als modernes konstruktives Fügeverfahren in vielen Industriebereichen.  
*»...Schlüsseltechnologie im Automobilbau mit derzeit mindestens 15 Kilogramm Klebstoff in jedem Fahrzeug.«*
- Gefahr von Schwankungen im Klebeprozess und Verarbeitungsfehler.
- Notwendigkeit einer produktionstauglichen Prüfmethode zur Gewährleistung der Prozesssicherheit.



Fotos: Bayern Innovativ 2009

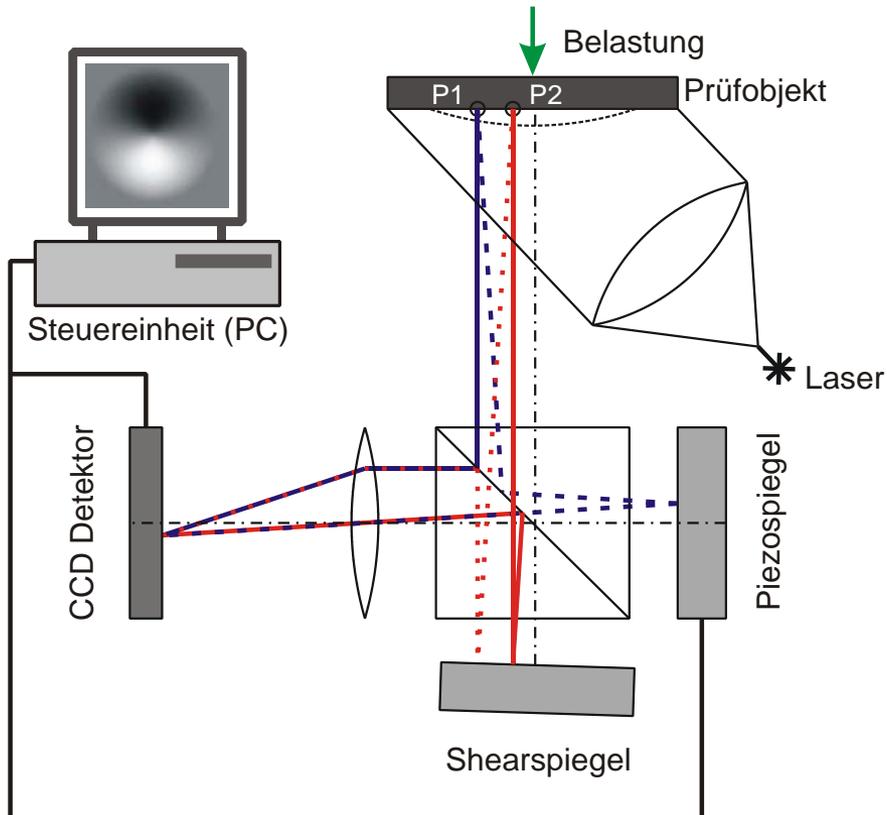
# Stand der Technik

- Bisher nur rein qualitativer Nachweis von Delaminationen mittels Ultraschall, Röntgenverfahren und aktiver Thermografie.
- Notwendigkeit einer quantitativen Beurteilung von Adhäsionseigenschaften.
- Lösung durch intelligenten Einsatz digitaler Shearografie unter Ausnutzung spezifischer thermoelastischer Effekte.



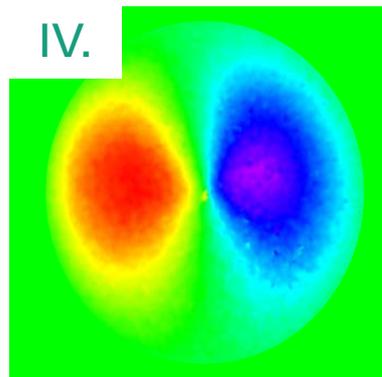
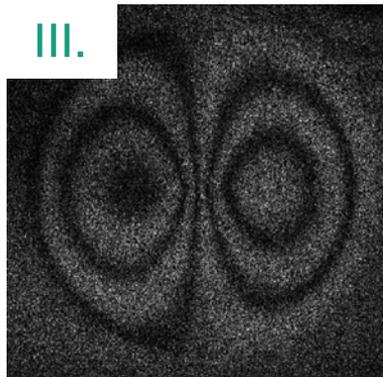
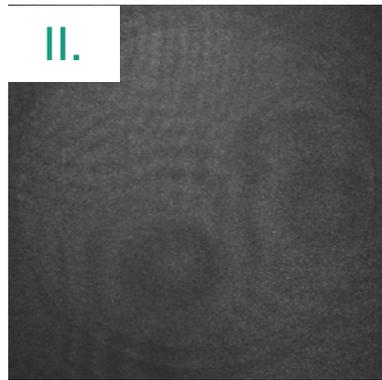
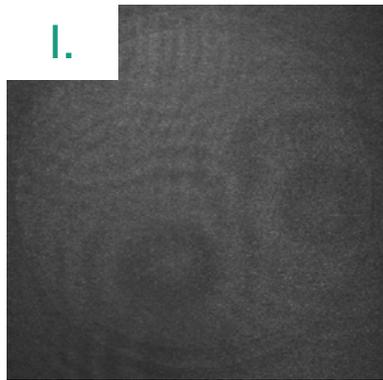
Klassischer Nachweis einer Delamination mittels aktiver Thermografie

# Was ist digitale Shearografie?



- Interferometrisches Messverfahren nach dem Prinzip der Laserspeckleinterferometrie, jedoch Überlagerung benachbarter Bildpunkte, es entsteht ein „geschertes“ Bild, Engl.: shear (scheren).
- Shearografieuntersuchungen liefern flächenhaft und hochpräzise Gradienten der Verformung.
- Voraussetzung: Optisch raue Oberflächen.

# Was ist digitale Shearografie?



- I. Aufnahme Speckleinterferogramm im Referenzzustand.
- II. Aufnahme Speckleinterferogramm im Belastungszustand.
- III. Pixelweise Subtraktion der Speckleinterferogramme ergibt Phasenbild.
- IV. Demodulation des Phasenbildes liefert Verformungsgradientenbild.

# Was ist digitale Shearografie?

## Digitale Shearografie

Anregung

Wärmestrahlung

Statisch  
Mechanisch

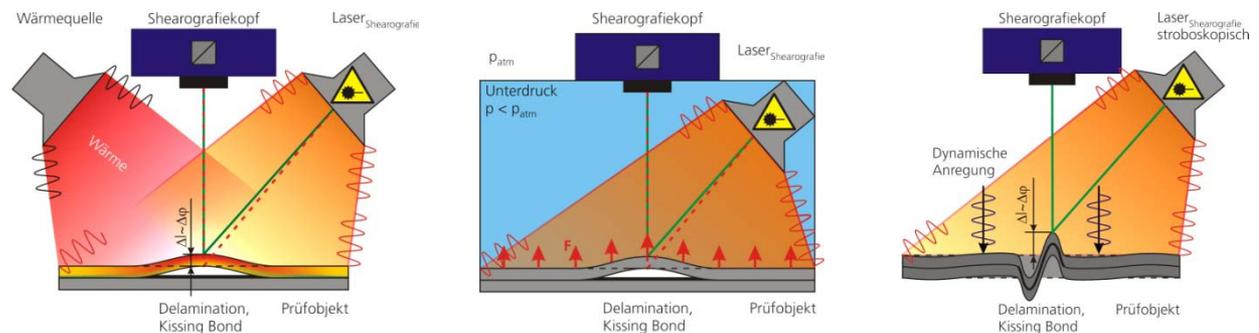
Dynamisch  
Mechanisch

Auswertung

Thermomechanische/ mechanische  
Verformungsanalyse  
(In-plane, Out-of-plane)

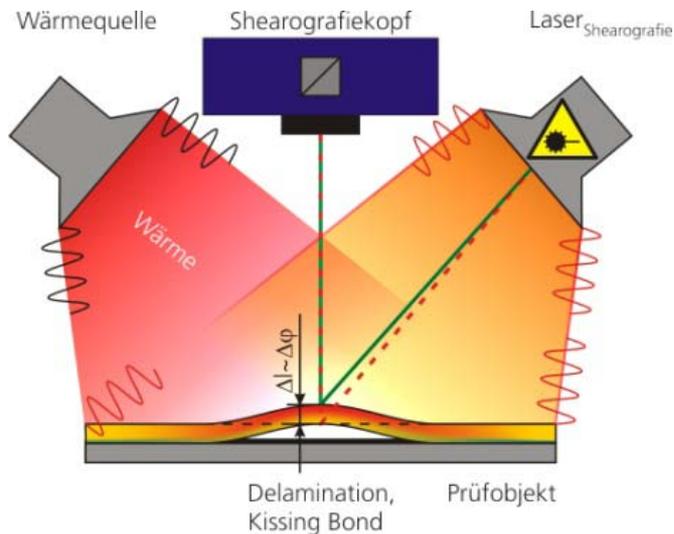
Lokale Schwingungsanalyse  
Lockin-Analyse  
(In-plane, Out-of-plane)

Prinzip

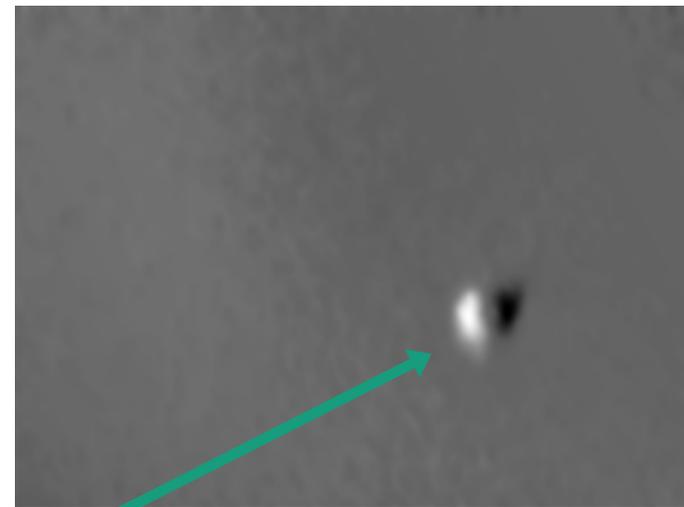


# Neuartiger Einsatz der digitalen Shearografie

- Bisheriger Einsatz: Flächenhafte Anregung.



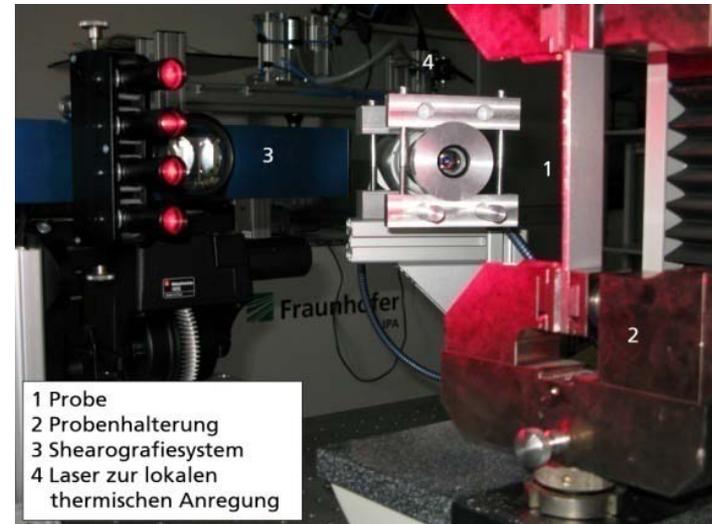
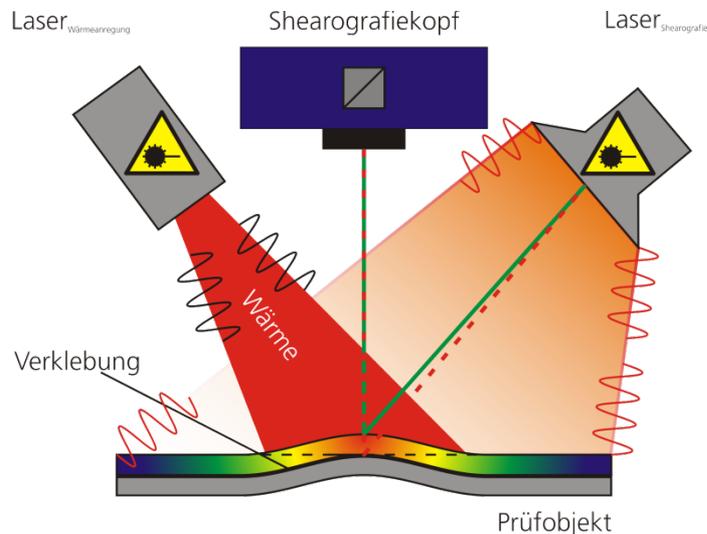
Kein Nachweis verringerter Adhäsion möglich!



Klassischer Nachweis einer Delamination in einem CFK-Bauteil mittels digitaler Shearografie

# Neuartiger Einsatz der digitalen Shearografie

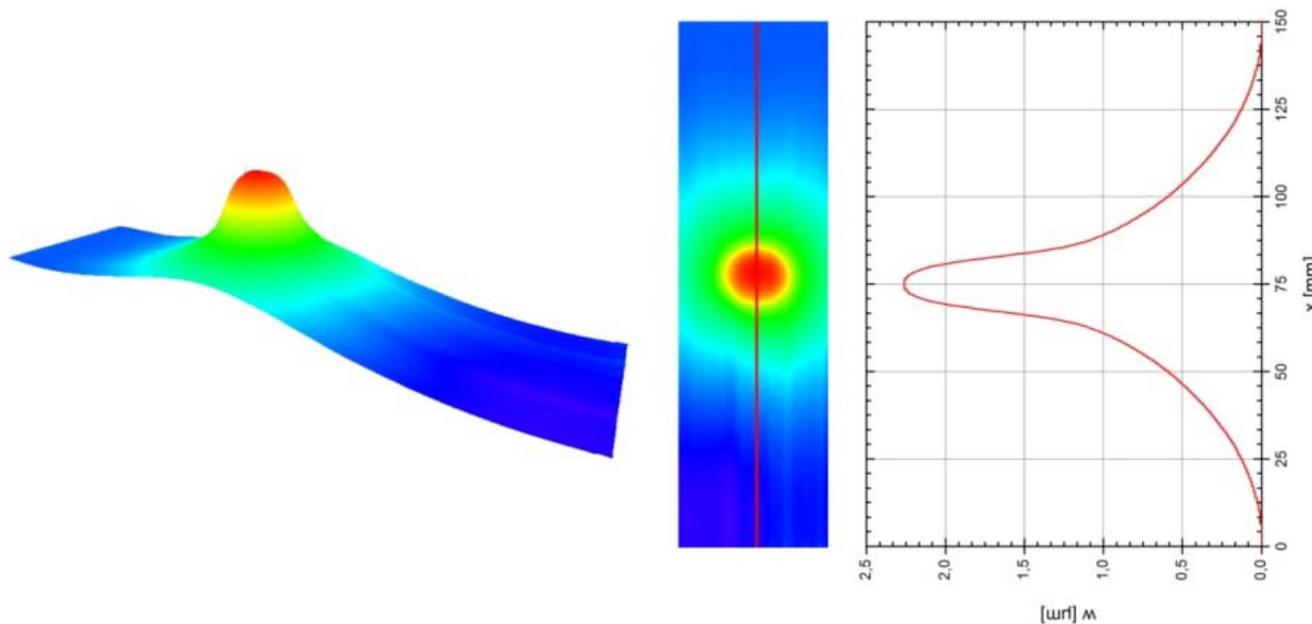
## ■ Neuartiger Einsatz: Lokale Anregung.



## ■ Lokale Wärmebeaufschlagung führt zu charakteristischem Verformungsbild in Abhängigkeit von Adhäsions- und Kohäsionseigenschaften.

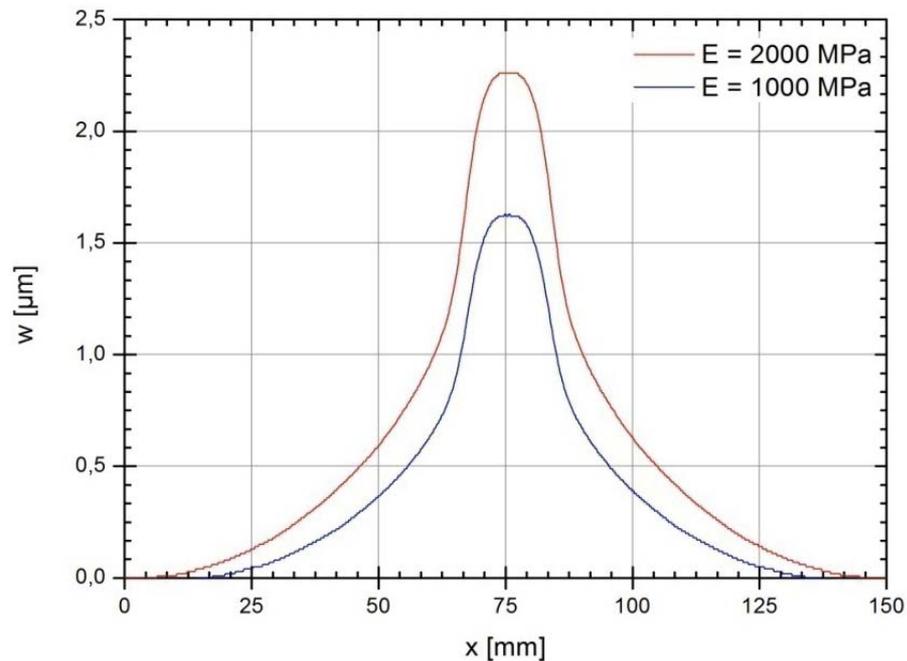
# Charakteristische Ergebnisse

- Quantitative Ermittlung der Verformungsfigur durch Integration der shearografisch ermittelten Daten.



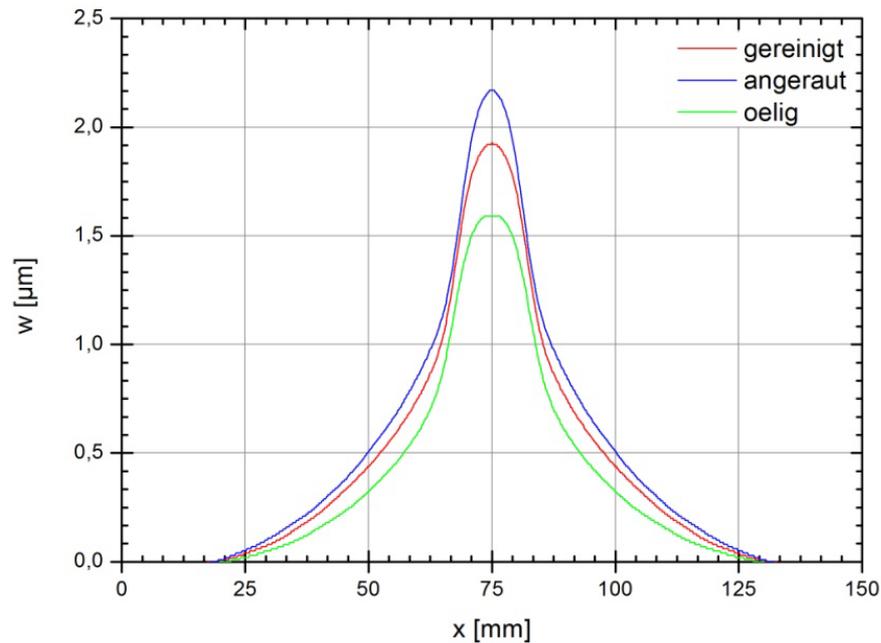
# Charakteristische Ergebnisse

- Beispiel: Substrate: PVC auf Stahl, Kleber: Epoxidharz, Variation der E-Moduleigenschaften des Klebers



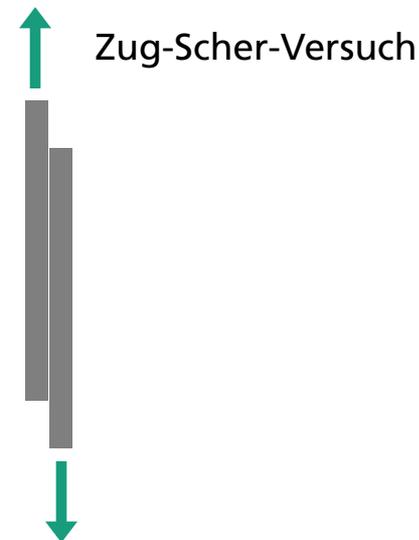
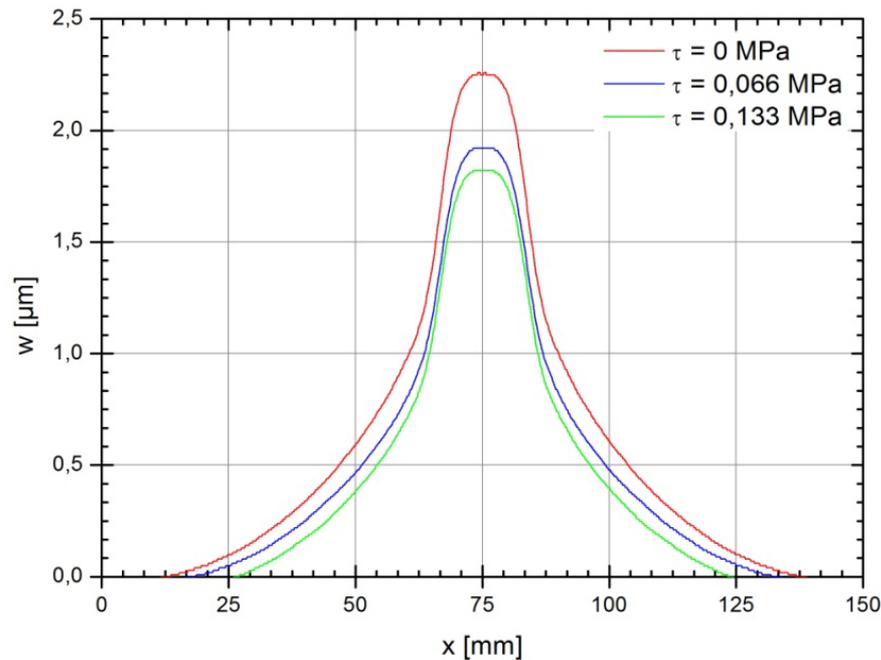
# Charakteristische Ergebnisse

- Beispiel: Substrate: PVC auf Stahl, Kleber: Epoxidharz, Variation der Substratoberfläche

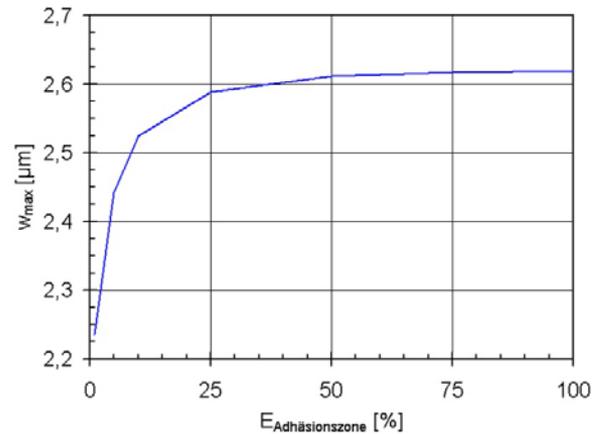
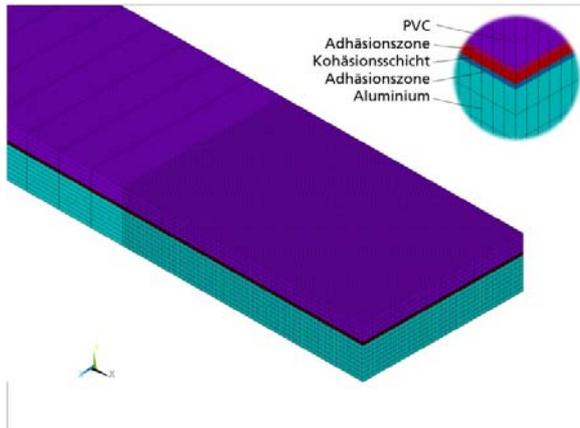


# Charakteristische Ergebnisse

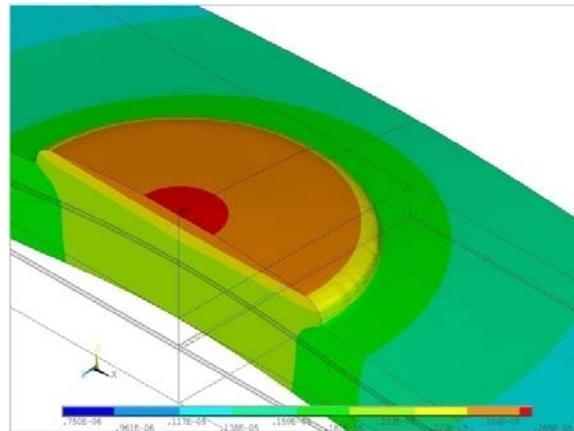
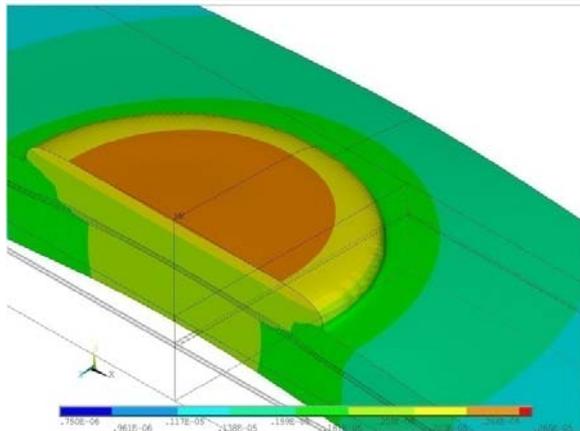
- Beispiel: Substrate: PVC auf Stahl, Kleber: Epoxidharz, Variation der mechanischen Zug-Scher-Belastung



# Charakteristische Ergebnisse



- Numerische Simulationen verifizieren experimentelle Befunde.



---

# Fazit

---

- Bisherige zerstörungsfreie Methoden liefern rein qualitative Nachweise fehlender Adhäsion.
- Methode der shearografischen Erfassung lokal hervorgerufener thermoelastischer Effekte ermöglicht eine präzise quantitative Beurteilung von Adhäsionseigenschaften.
- Der Zusammenhang zwischen hervorgerufener Verformung und Adhäsionseigenschaften muss für jede Fragestellung experimentell oder anhand numerischer Simulationen hergeleitet werden.
- Die Einsatzmöglichkeiten der Methode sind Vielfältig.

---

# Danke!

---

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Tina Wilhelm

Fraunhofer IPA

[tina.wilhelm@ipa.fraunhofer.de](mailto:tina.wilhelm@ipa.fraunhofer.de)