



Impactsimulation von doppelschaligen Rumpfstrukturen mit dem FE-Tool CODAC

Luise Kärger

Wissenschaftstag, Braunschweig, 28.09.2006



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Gliederung

1 FE-Tool CODAC

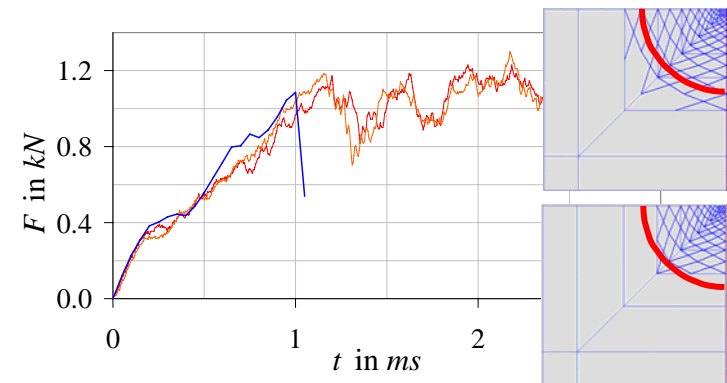
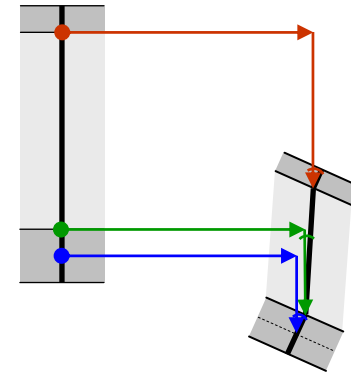
2 Modellierung der doppelschaligen Struktur

3 Impactversuche

4 Impactsimulation

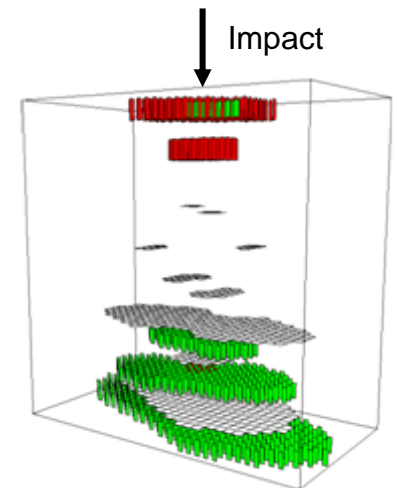
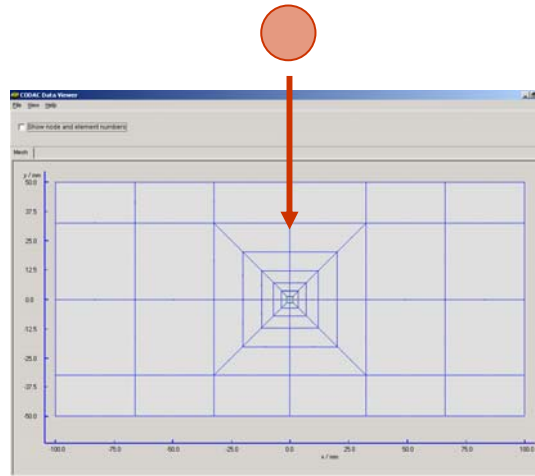
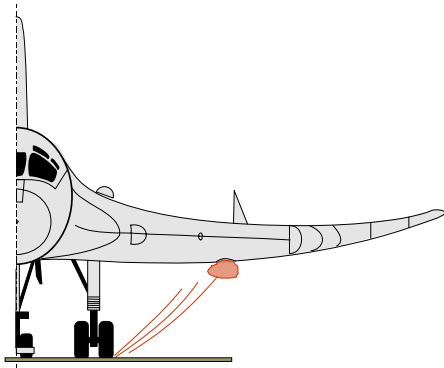
- 4.1 ohne Materialdegradation
- 4.2 Degradation des Kerns
- 4.3 Degradation der Deckschicht

Zusammenfassung



1 FE-Tool CODAC

- **CODAC** = **C**omposite **D**amage **T**olerance **A**nalysis **C**ode
- Anwendung der FE-Methode
- Simulation des Impactverhaltens von Faserverbunden



- Faserbruch
- Matrixriss
- Delamination

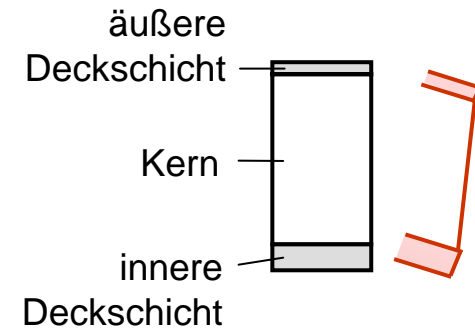
- Erweiterung von CODAC auf doppelschalige Strukturen

2 Modellierung der doppelschaligen Struktur



Anforderungen an die Modellierung:

- schnell & ausreichend genau
- Berücksichtigung der speziellen Verformungscharakteristik



Entwicklung von zwei neuen Schalenelementen

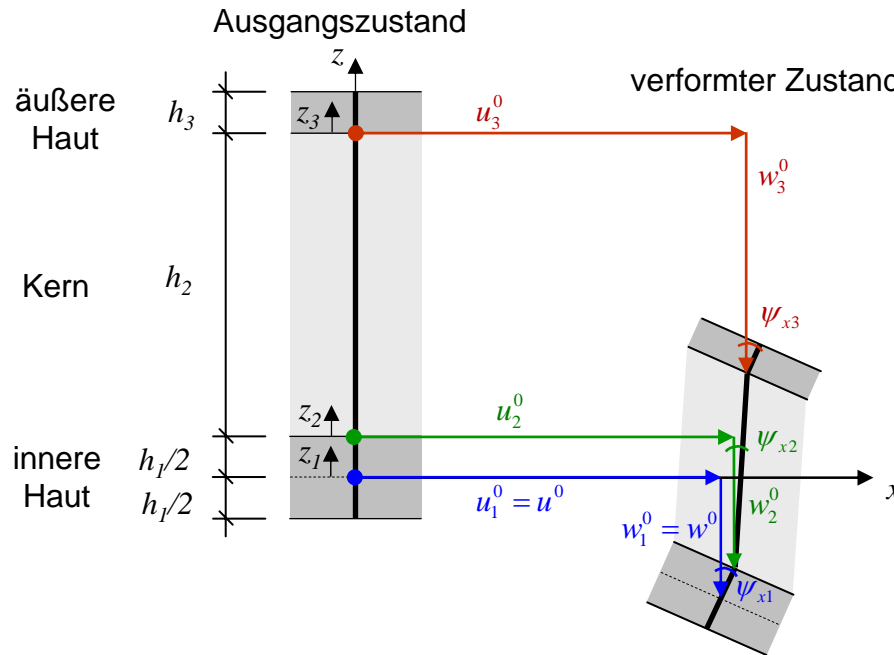
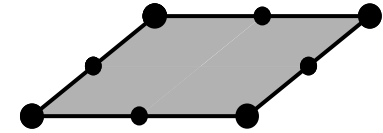
Publikationen:

Element S89: Kärger, Wetzel, Rolfes, Rohwer. *Computers & Structures* 84. 2005.

Element S815: Wetzel, Kärger, Rolfes, Rohwer. *Computers & Structures* 83. 2005.

2 Modellierung der doppelschaligen Struktur

Element S815: 3-schichtiges Schalenelement mit 3-D Spannungsanalyse



Kinematik der Schicht L:

$$\begin{bmatrix} u_L \\ v_L \\ w_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_L^0 \\ v_L^0 \\ w_L^0 \end{bmatrix} + z_L \begin{bmatrix} \psi_{xL} \\ \psi_{yL} \\ \psi_{zL} \end{bmatrix} + z_L^2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varphi_{zL} \end{bmatrix}$$

→ 15 Fhg. pro Knoten

Schichtweise vollständiges 3D-Materialgesetz:

$$\sigma_L = C_L \varepsilon_L$$

nichtlineare Verzerrungen:

Membranzustand in der Deckschicht bei großen Durchbiegungen

Spannungsberechnung:

Membranspannungen:

Materialgesetz

transv. Schubspannungen:

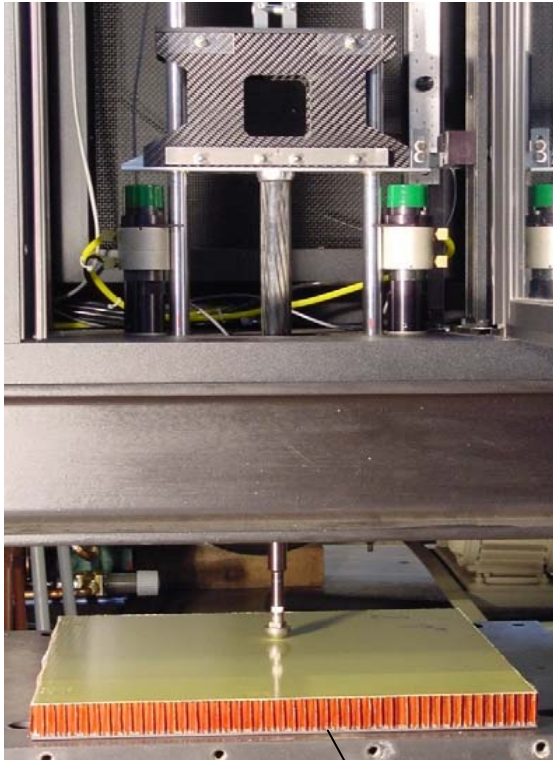
Gleichgewichtsansatz nach Rolfes & Rohwer

transv. Normalspannungen:

Materialgesetz oder Gleichgewichtsansatz (Oszillationen)

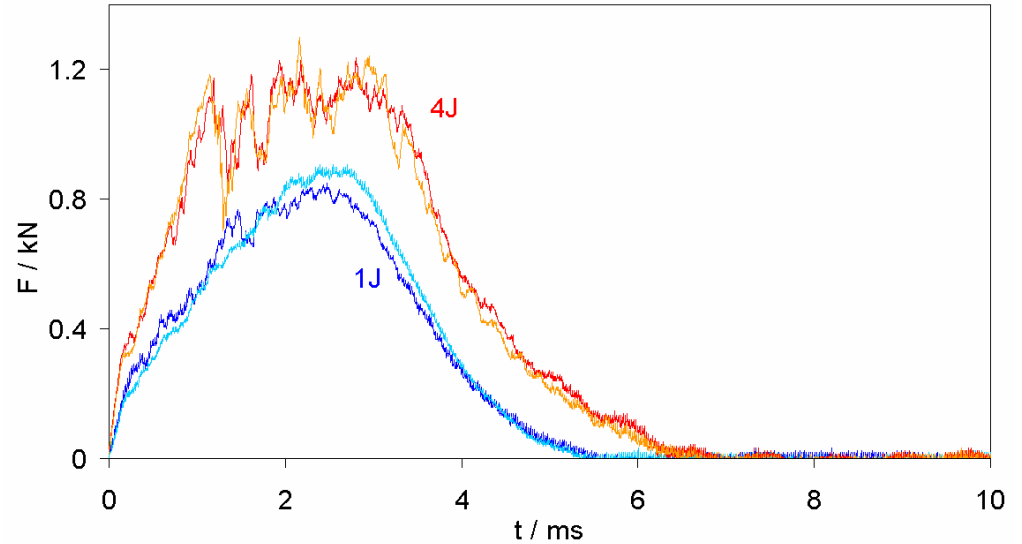
3 Impactversuche

durchgeführt am ILR, TU Dresden



vollflächige Lagerung

Kontaktkraft-Zeit-Verläufe:



Lagenaufbau:

- obere Deckschicht (0,6mm): 3 CFK-Gewebelagen
- Kern (28,4mm): Honeycomb 4.8-48
- untere Deckschicht (2,7mm) : 1 CFK-Gewebelege + 20 CFK-Tape

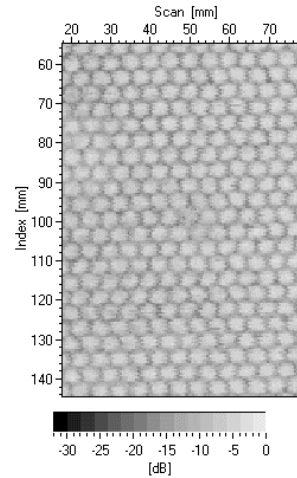
3 Impactversuche

Ultraschallprüfung

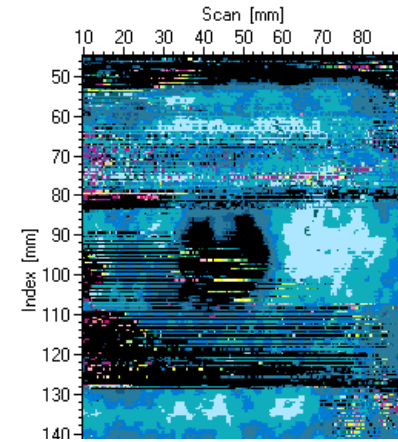
1 Joule:



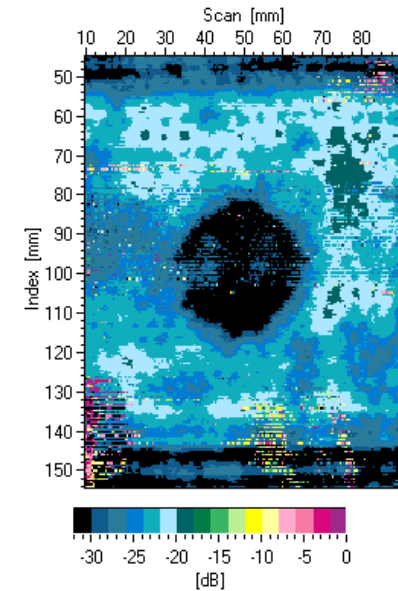
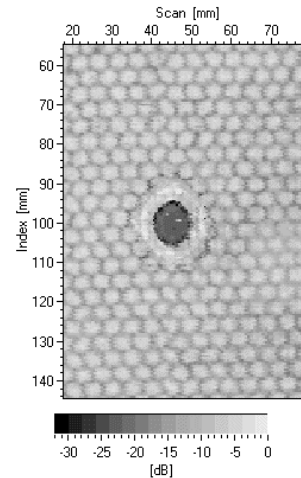
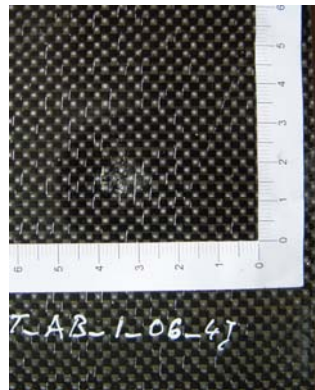
Rückwandecho obere Deckschicht



Rückwandecho untere Deckschicht



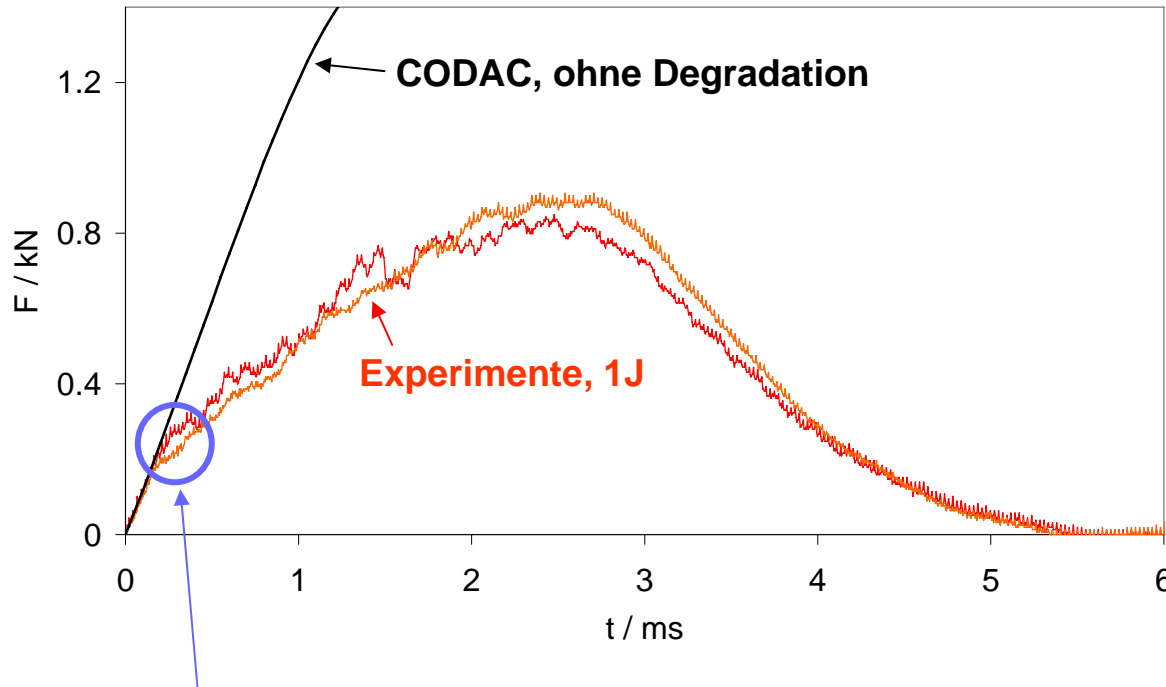
4 Joule:



Aufnahmen: ILR, TU Dresden

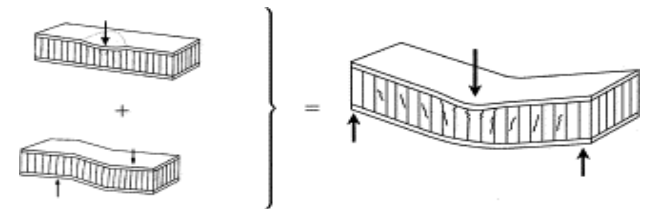
4.1 Impactsimulation: ohne Materialdegradation

1J Impact



Transversales Schub-Druck-Versagen des Honigwabenkerns
 Detektion: spannungsbasiertes Versagenskriterium von Besant et al.

$$\left(\frac{\sigma_{zz}}{\sigma_{cc}} \right)^n + \left(\frac{\tau_{xz}}{\tau_{cls}} \right)^n + \left(\frac{\tau_{yz}}{\tau_{cts}} \right)^n \geq 1$$

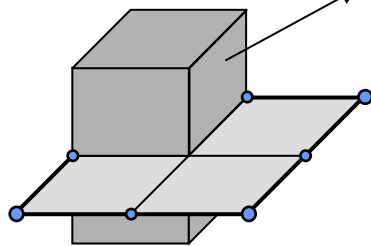


Ref.: Petras, Sutcliffe (2000)

4.2 Impactsimulation: Degradation des Kerns

Degradation der Steifigkeiten mittels Degradationsfaktoren D_{ij}

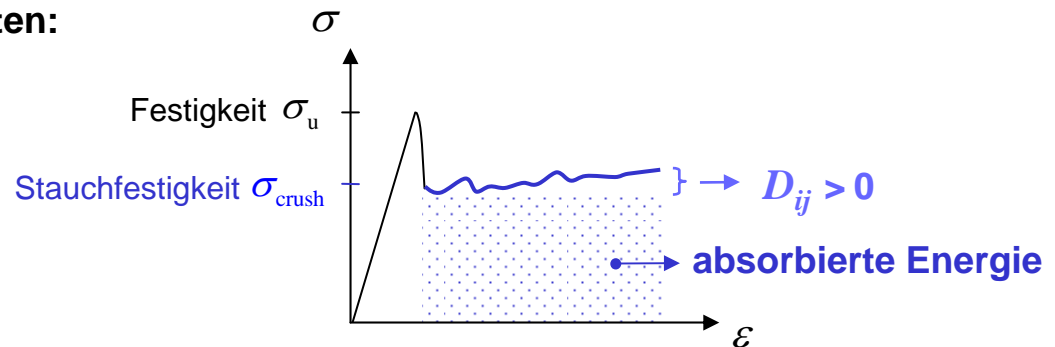
geschädigtes Elementviertel (zum Gauß-Punkt zugehörig):



$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx}^* \\ \sigma_{yy}^* \\ \sigma_{zz}^* \\ \tau_{yz}^* \\ \tau_{xz}^* \\ \tau_{xy}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11}C_{11} & D_{12}C_{12} & D_{13}C_{13} & & & \\ & D_{22}C_{22} & D_{23}C_{23} & & & \\ & & D_{33}C_{33} & & & \\ & & & D_{44}C_{44} & & \\ & & & & D_{55}C_{55} & \\ & & & & & D_{66}C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \mathbf{Q}^* \boldsymbol{\varepsilon}$$

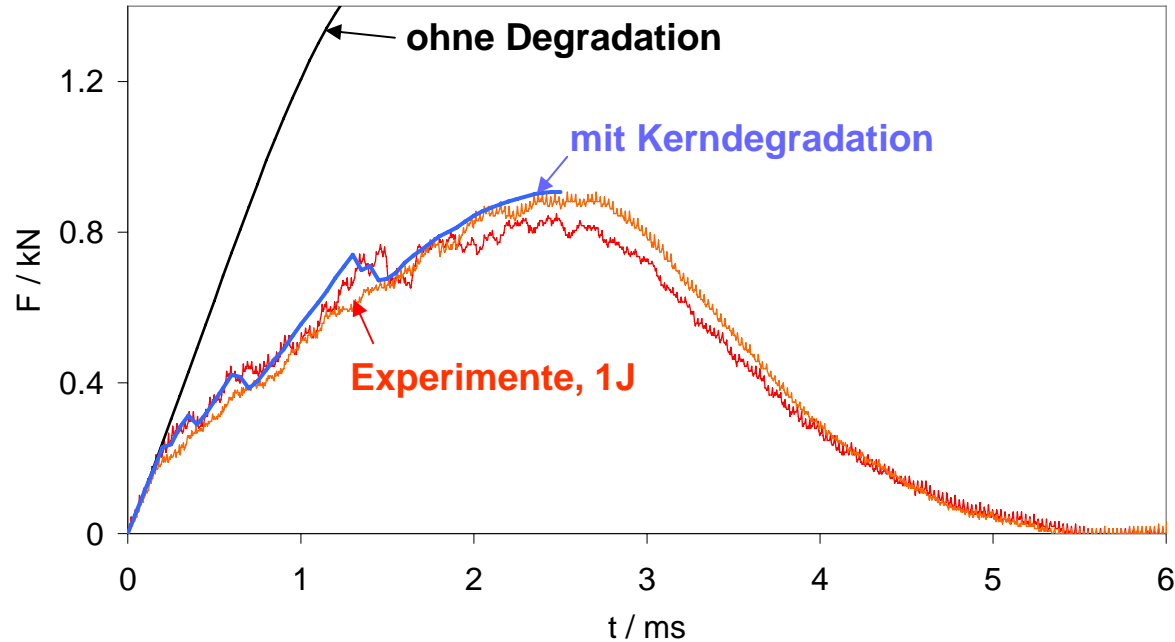
sym.

Elastisch-plastisches Verhalten:

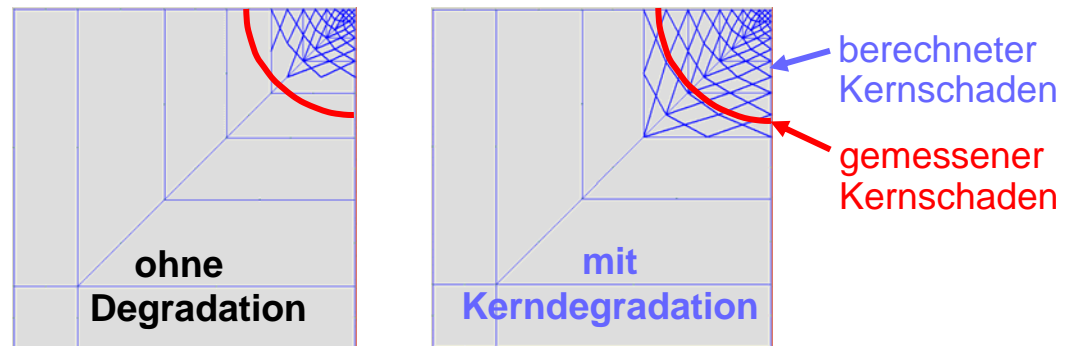


4.2 Impactsimulation: Degradation des Kerns

1J Impact

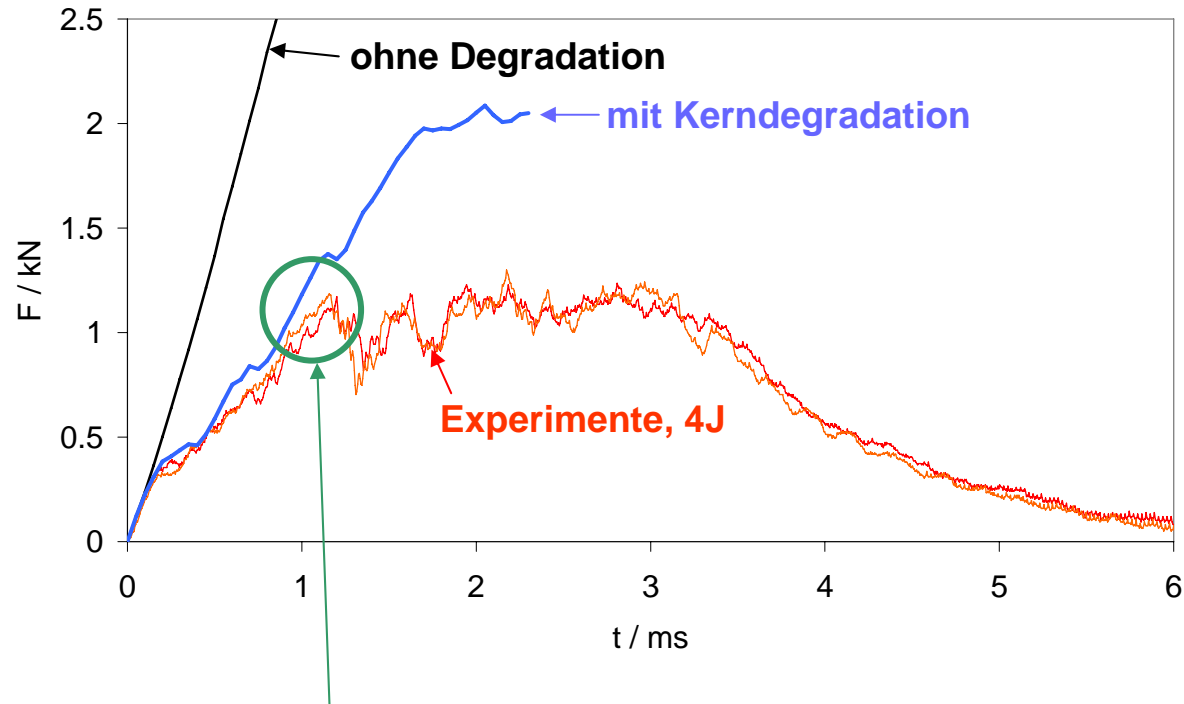


Kernschaden:



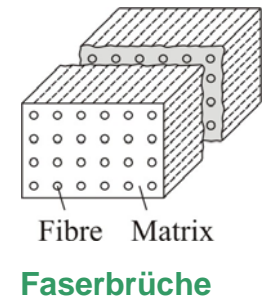
4.2 Impactsimulation: Degradation des Kerns

4J Impact



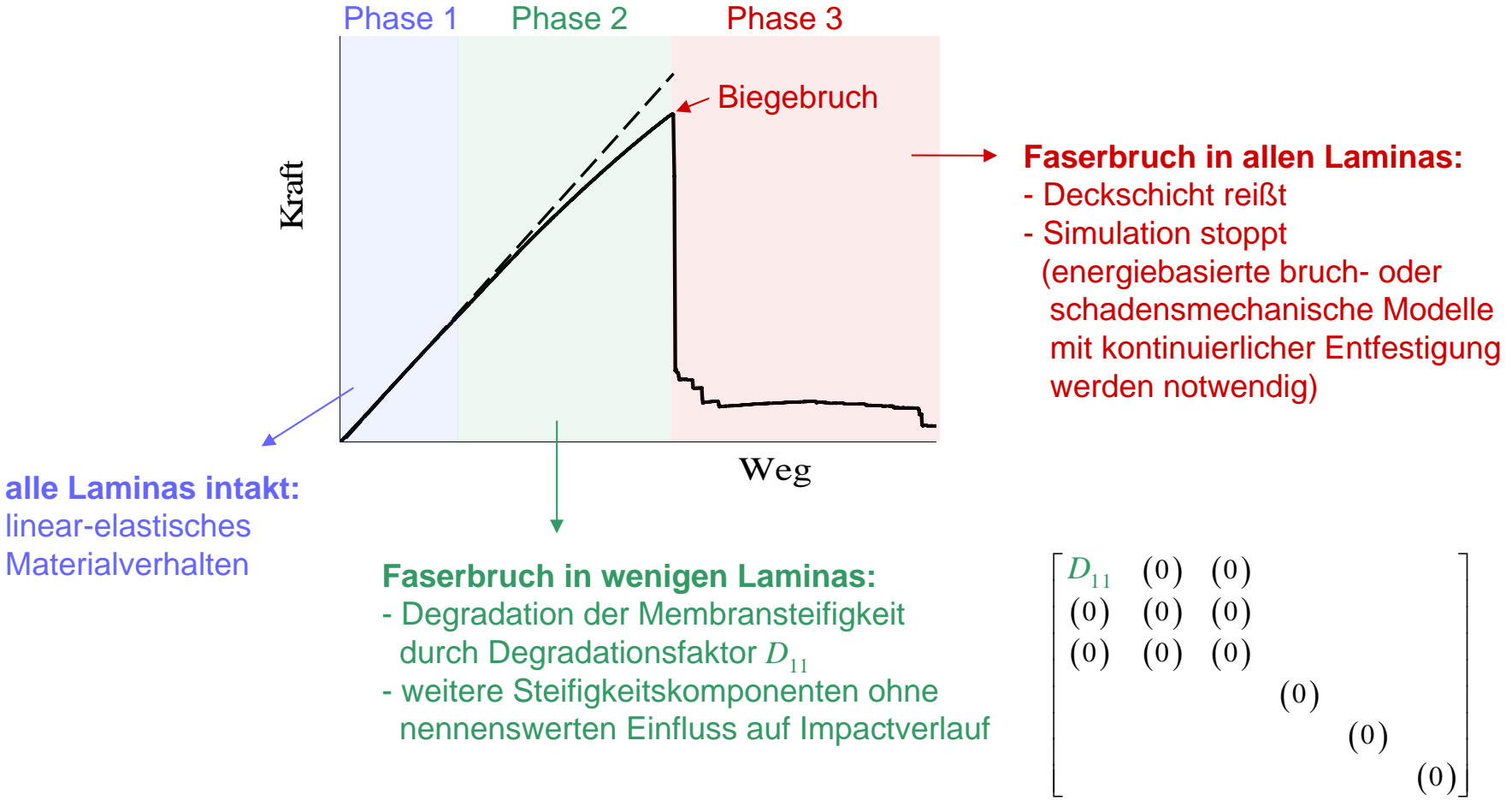
Aufreißen der Deckschicht

Detektion: Maximalspannungskriterium für Faserbrüche (Matrixbrüche und Delaminationen ohne nennenswerten Einfluss)



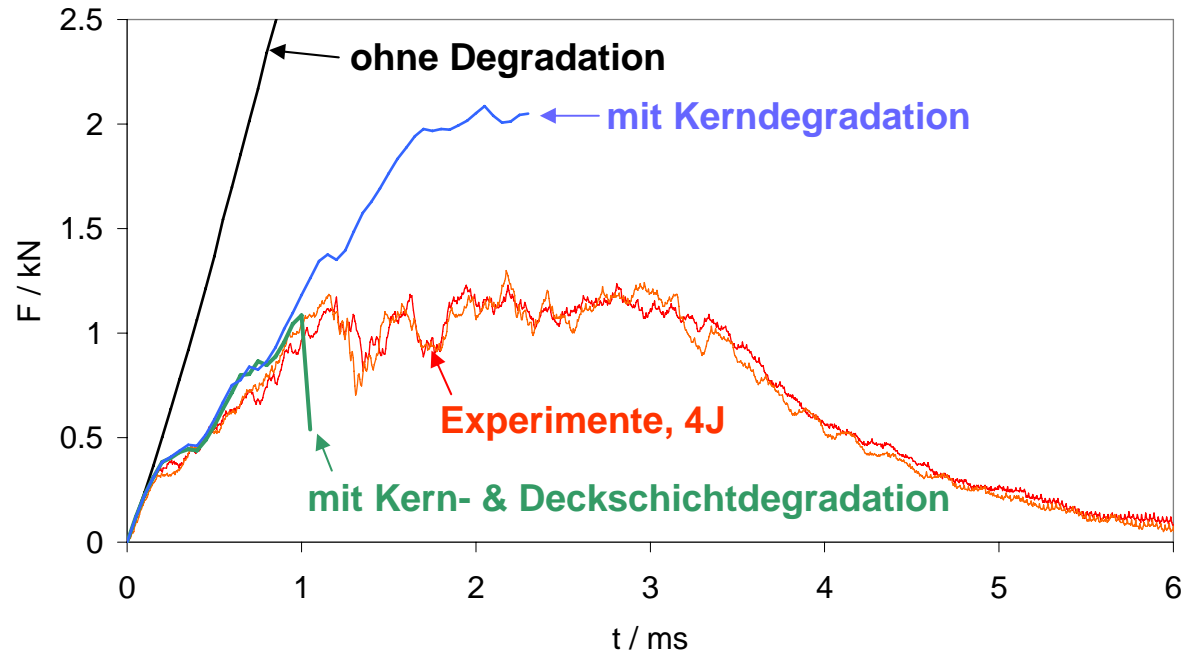
4.3 Impactsimulation: Degradation der Deckschicht

3-Punkt-Biegeversuch:

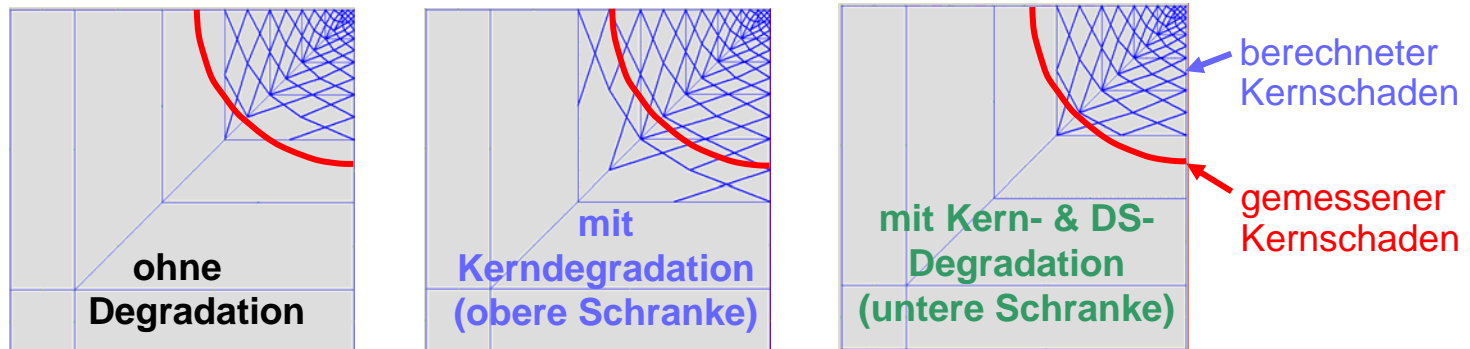


4.3 Impactsimulation: Degradation der Deckschicht

4J Impact

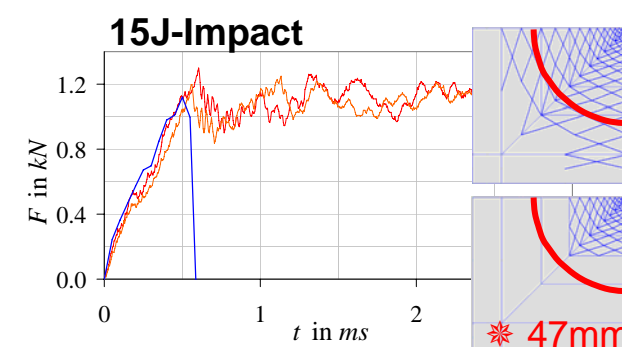
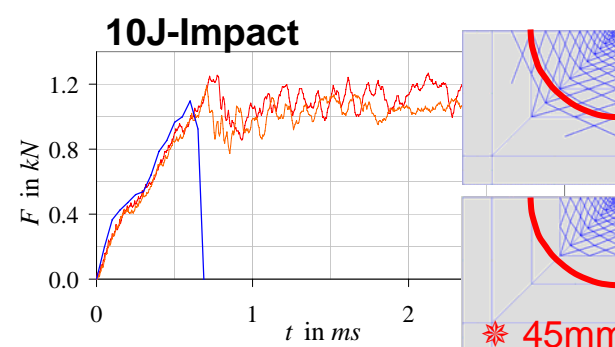
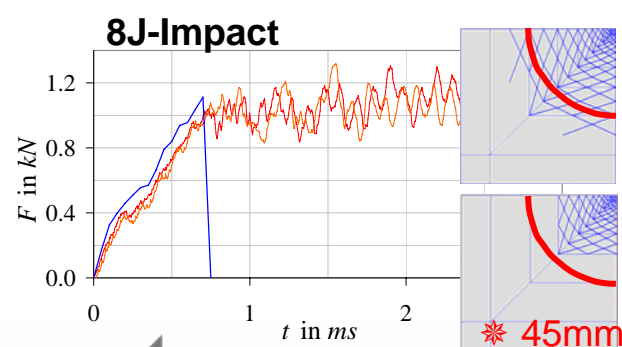
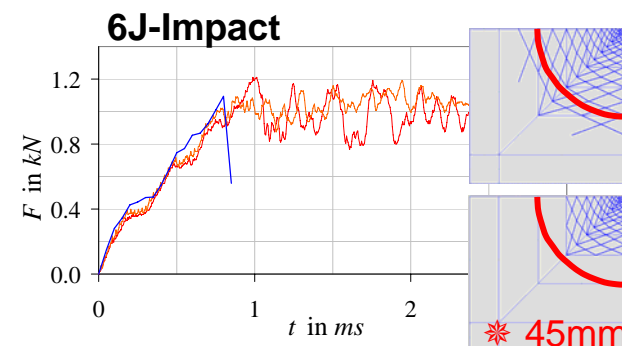
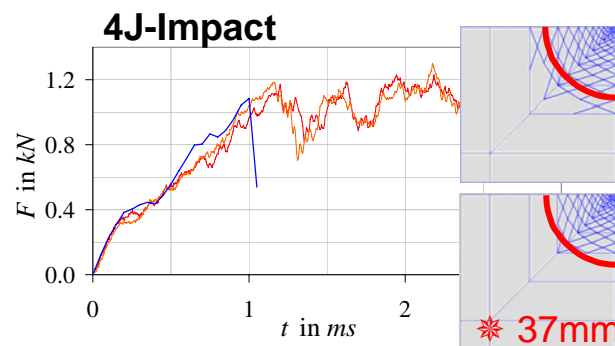
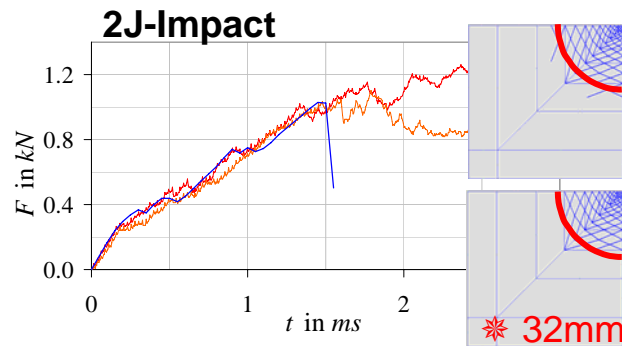
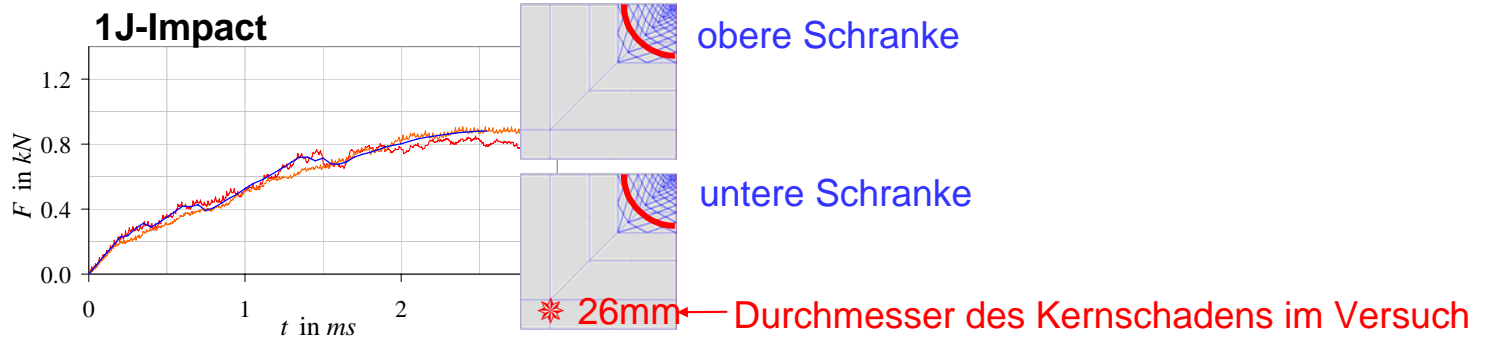


Kernschaden:



Zusammenfassung

Größe des Kernschadens:



Zusammenfassung

Rechenzeiten: 30sec bis 100sec
(PC mit 2.3GHz)

Ergebnisse:

effiziente Berechnung von:

- Steifigkeit der ungeschädigten Platte
- Eintritt des ersten Kernschadens
- Verhalten mit geschädigtem Kern

→ **Impacts mit kaum sichtbarem Schaden können vollständig simuliert werden**

- Eintritt des ersten Deckschichtschadens
- Verhalten der leicht geschädigten Deckschicht
- Eintritt des ersten Deckschichttrisses

→ **Entstehung eines sichtbaren Schadens kann vorhergesagt werden**

Ausblick:

- Beschreibung des Risswachstums

→ **Modelle der Bruchmechanik oder energiebasierte Modelle der Schadensmechanik mit kontinuierlicher Entfestigung**