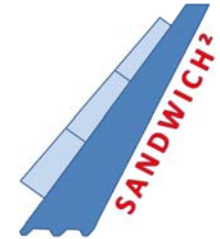


FASERINSTITUT BREMEN e.V. (FIBRE)



Modellierungsansätze für die Simulation des Strukturverhaltens von pin-verstärkten Schaumsandwichstrukturen am Beispiel einer impactbelasteten Sandwichschale

M. Adli Dimassi, Christian Brauner, Axel S. Herrmann

4. Fachkongress Composite Simulation

Fellbach, den 26. Februar 2015

Kontakt:

M.Sc. M. Adli Dimassi

Tel.: +49 - (0)421 - 218 58708

Email: dimassi@faserinstitut.de

Gefördert durch:

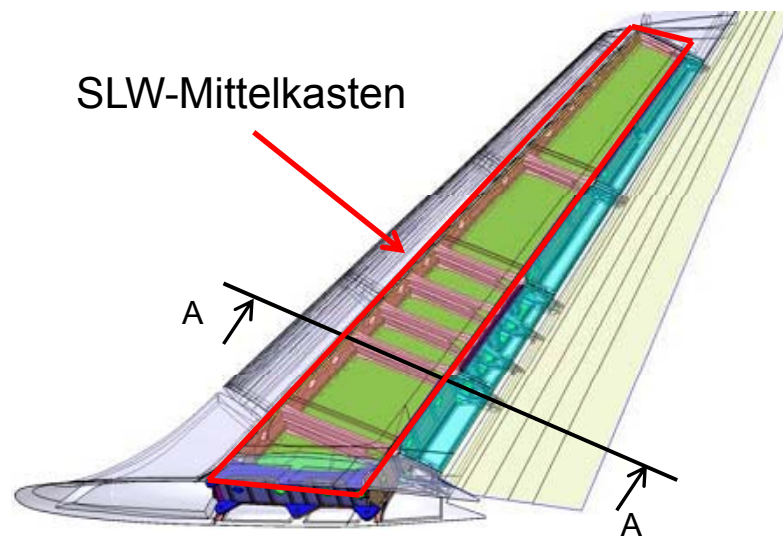


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

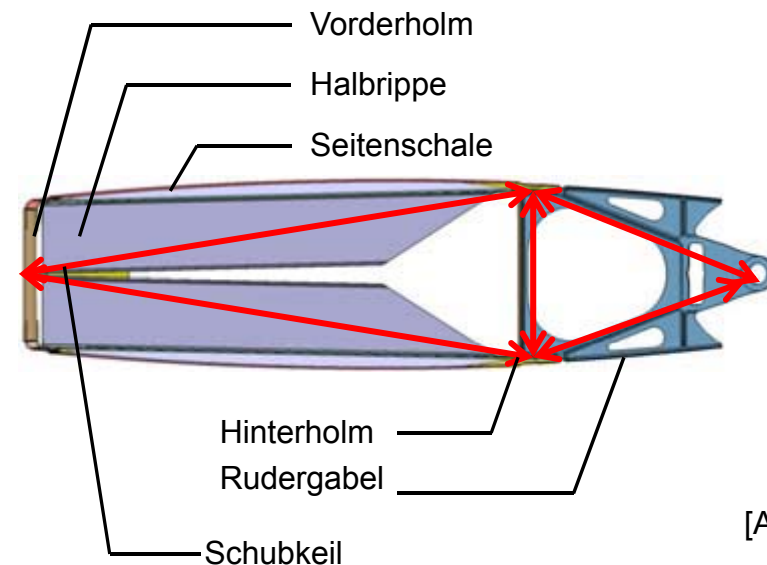
- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
- Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen
- Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen
- Numerische Simulation des Impactverhaltens
- Zusammenfassung und Ausblick

- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
 - Konzeptbeschreibung
 - Aufbau der Pin-verstärkten Seitenschale
 - Schaumverstärkungskonzept: Beschreibung und Fertigung
- Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen
- Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen
- Numerische Simulation des Impactverhaltens
- Zusammenfassung und Ausblick



- SLW-Mittelkasten austauschbar mit A320 Mittelkasten
- Lentikularer Querschnitt der Sandwich-Seitenschale
- Verbessertes Impactverhalten und Festigkeit der Seitenschale
- SLW-Sandwichseitenschale in einem Schuss herstellbar (MVI-Verfahren)

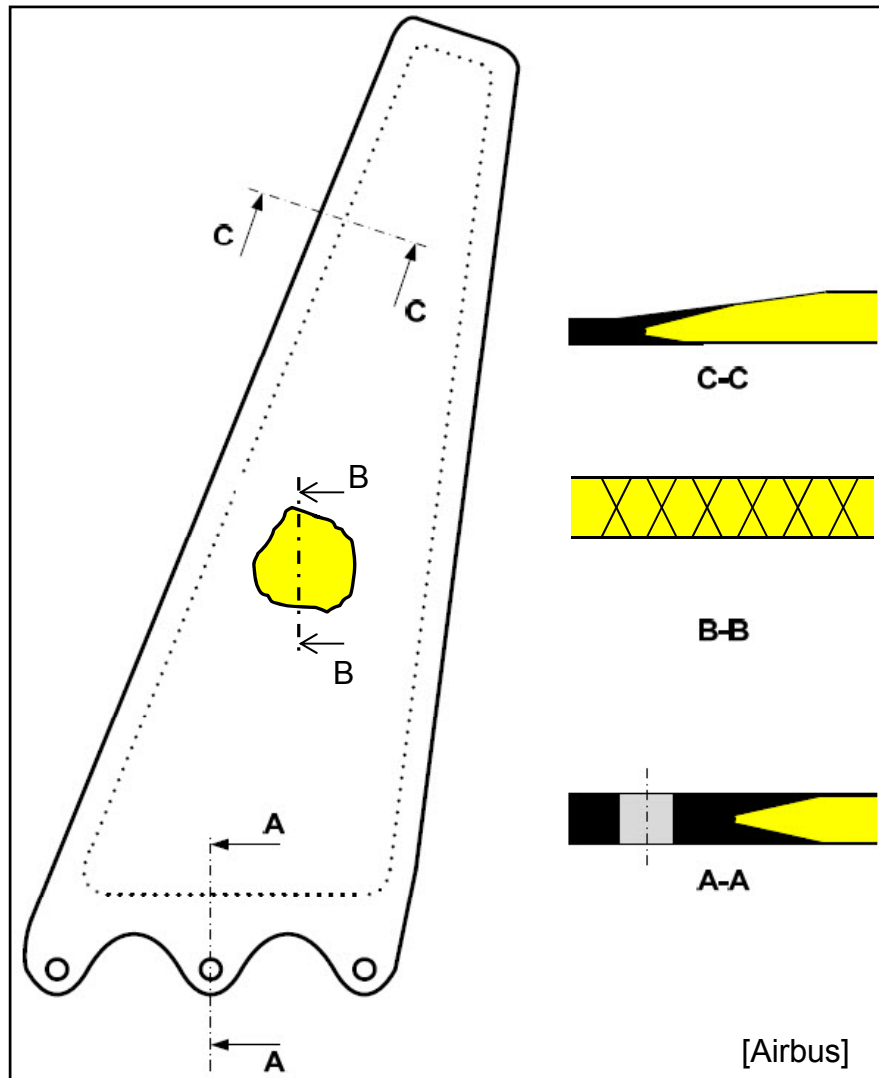
Schnitt A-A: „gekoppelte Rahmenrippe“



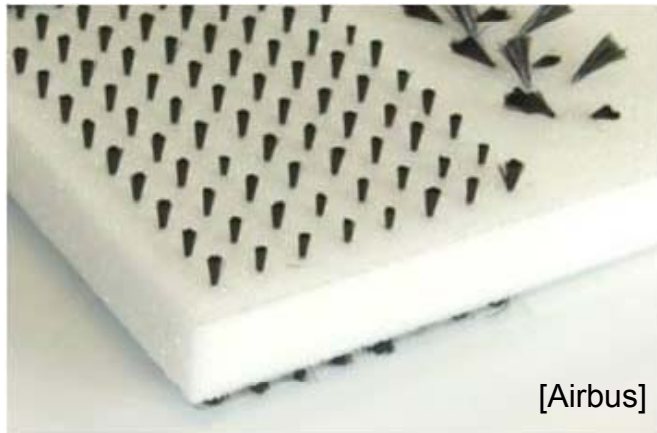
[Airbus]

- Rippe und Rudergabel bilden ein Fachwerk aus zwei Dreiecken
- Kein Rippenanschlusswinkel sowie Längsversteifungselemente nötig
- Reduzierung der Anzahl der Rippen
- Wegfall des Mittelholms
- Reduzierung der Montagezeiten

Hocheffiziente Fertigung und Montage durch integrale Bauweise und Reduzierung der Anzahl der Einzelteile

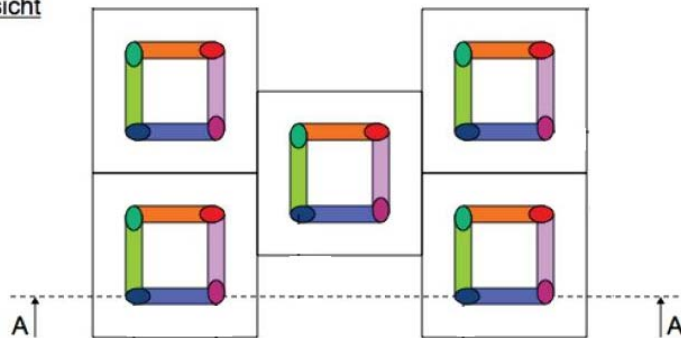


- Aufbau der Sandwichseitenschale:
 - CFK (NCF+RTM6) für die Deckschichten und monolithischen Lasteinleitungen
 - Geschlossenporiger PMI-Schaum (ROHACELL) mit Pin-Verstärkung aus Trockenfasern für den Kern
- Fertigung:
 - Vakuum-Harzinfusion (MVI-Verfahren)
 - Einseitiges Werkzeug: aerodynamisch geformte Außenseite und flache Innenseite
 - Gleichzeitige Durchtränkung und Aushärtung der Pins : keine zusätzlichen Verarbeitungsschritte nötig



Pin-Verstärkung, zwei verschiedene Konfigurationen

Draufsicht



Schnitt A-A

[Airbus]



Beispiel eines Pin-Musters

Vorteile der Pin-Verstärkung:

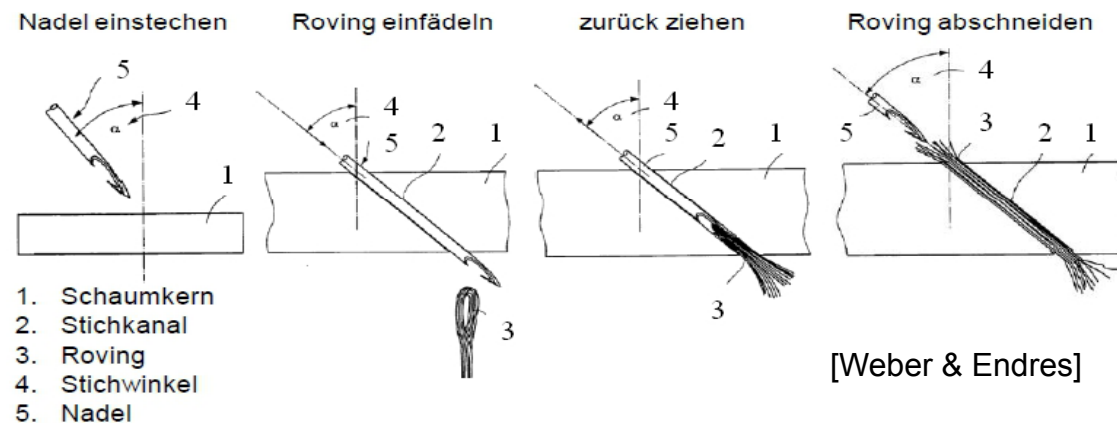
- Verbesserung der Druckfestigkeit der Sandwichschale nach Impactbelastung
- Erhöhung der Biegesteifigkeit der Sandwichstruktur
- Riss stoppen durch zusätzlichen Lastpfad
- Bessere Einleitung der aerodynamischen Lasten in die Seitenschale
- Beeinflussung der mechanischen Parameter durch Änderung der Pin-Konfiguration (Pin-Winkel, -Material, -Abstand, Zellenmuster)
- Schlechte Auslegung der Pin-Konfiguration kann zu Spannungskonzentrationen und Risse im Schaum unter Belastungen bei sehr niedrigen Temperaturen führen

VTP-NG: Fertigung des Pin-verstärkten Schaums

- Ein von der Airbus-Gruppe patentiertes Fertigungsverfahren
- Einbringung der Trockenfaser-Pins in den Schaum in einem definierten Muster unter bestimmten Winkeln
- Anbindung zur Deckschichten durch aus dem Schaum herausragende Pin-Enden
- Die Pin-Überstände liegen flächig zwischen der Deckschicht und der Schaumoberfläche im Interfacebereich → Erhöhen des Widerstandes gegen Deckschichtablösung



Pin-Deckschichtanbindung nach der Aushärtung



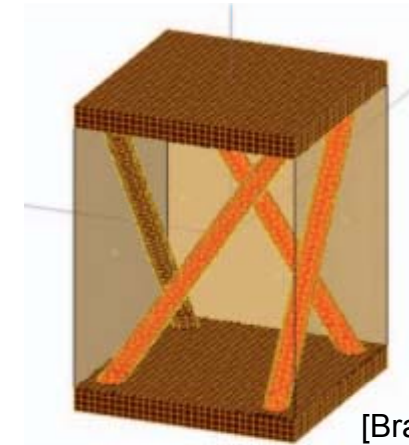
[Weber & Endres]

TFC-Nähprozess

- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
- **Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen**
- Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen
- Numerische Simulation des Impactverhaltens
- Zusammenfassung und Ausblick

Einheitszelle:

- Kleinstmögliche Modellierung der EZ
- Sehr hohe Genauigkeit
- Optimierung der Einheitszelle und des Fertigungsprozesses
- Hoher Modellierungsaufwand
- Nur für lokale Untersuchung nützlich

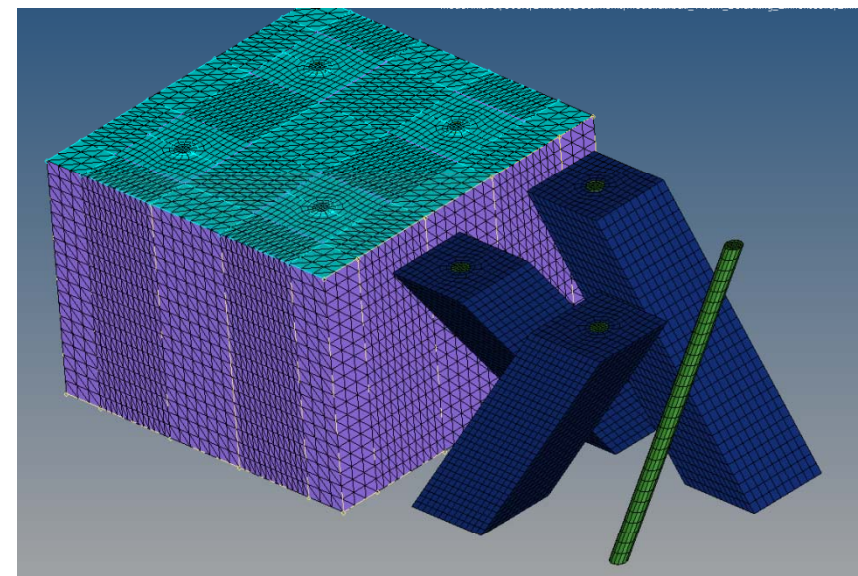


[Brauner]

Einheitszelle

3D-diskrete Pin-Beschreibung:

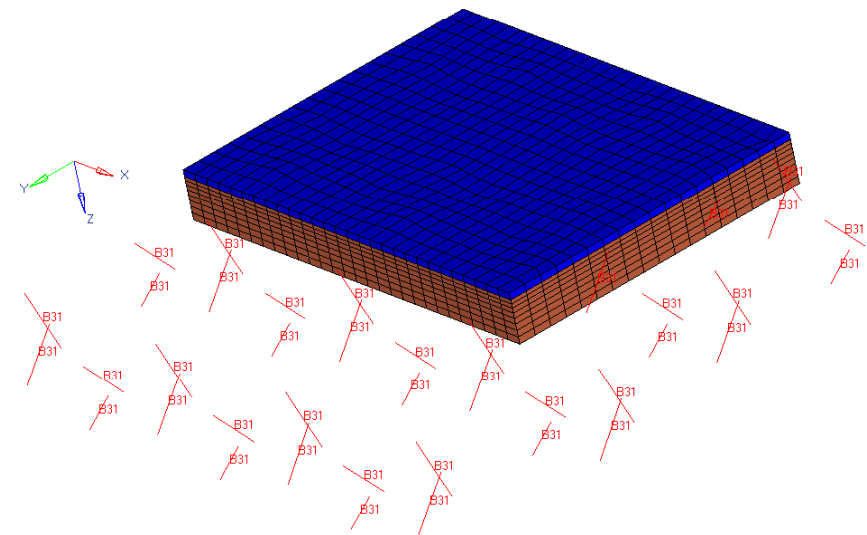
- Coupon oder Element Level
- Genaue Beschreibung und Verständnis der Schadensmechanik
- Optimierung der Pin-Konfiguration
- Liefert homogenisierte Eigenschaften
- Hoher Modellierungs- und Rechenaufwand



3D-diskrete Pin-Modellierung

1D-diskrete Pin-Beschreibung:

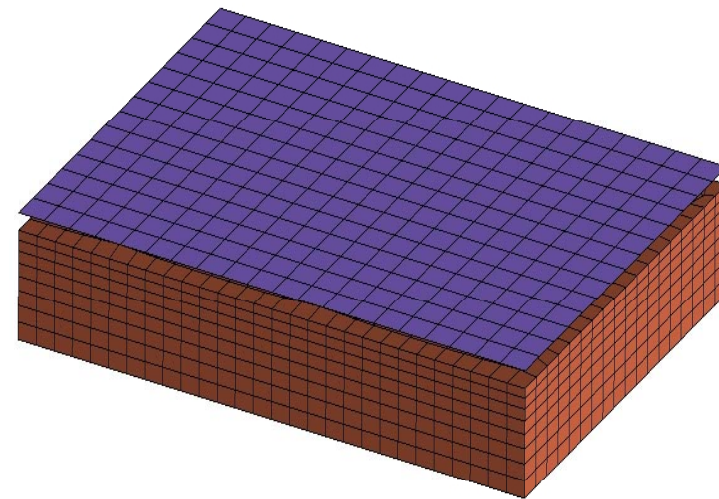
- Pins mit 1D-Elementen modelliert
- Pin verbindet obere und untere Fläche des Schaumkerns
- Keine genaue Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Schaum und Pins
- Reduzierter Modellierungs- und Rechenaufwand
- Kann für Impactsimulationen verwendet werden



1D-diskrete Pin-Modellierung

Homogenisierter Kern:

- Homogenisierte Materialeigenschaften des Pin-verstärkten Schaumkernsystems
- Keine Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Schaumkern und Pins
- Geringer Modellierungs- und Rechenaufwand
- Kann auf große und komplexe Strukturen angewendet werden

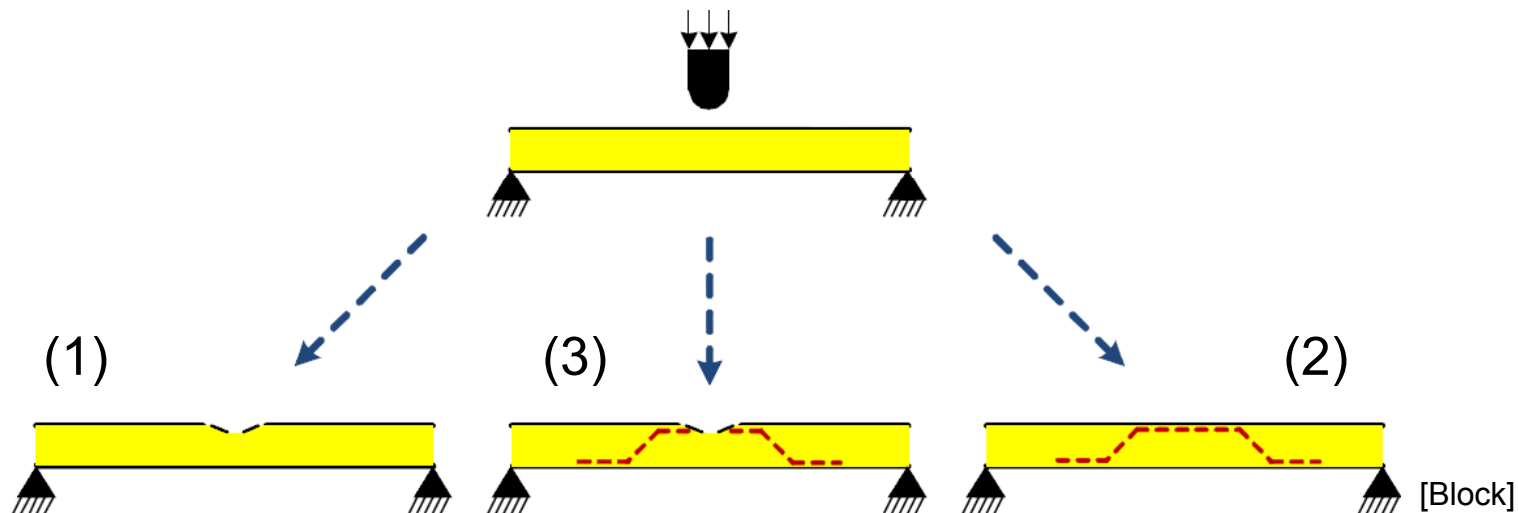


Homogenisierte Kernmodellierung

- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
- Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen
- **Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen**
 - Einführung
 - Experimente
 - Ergebnisse
- Numerische Simulation des Impactverhaltens
- Zusammenfassung und Ausblick

Impact einer Schaumsandwichstruktur bei niedrigen Aufprallgeschwindigkeiten

- Sehr starke Abhängigkeit von Randbedingungen, Materialkonfiguration und Deckschicht-Schaumkerndickenverhältnis



1. Lokaler Schaden

- Deckschichtversagen
(Faserbruch, Delamination...)
- Eindellung im Schaumkern
- Gute Sichtbarkeit

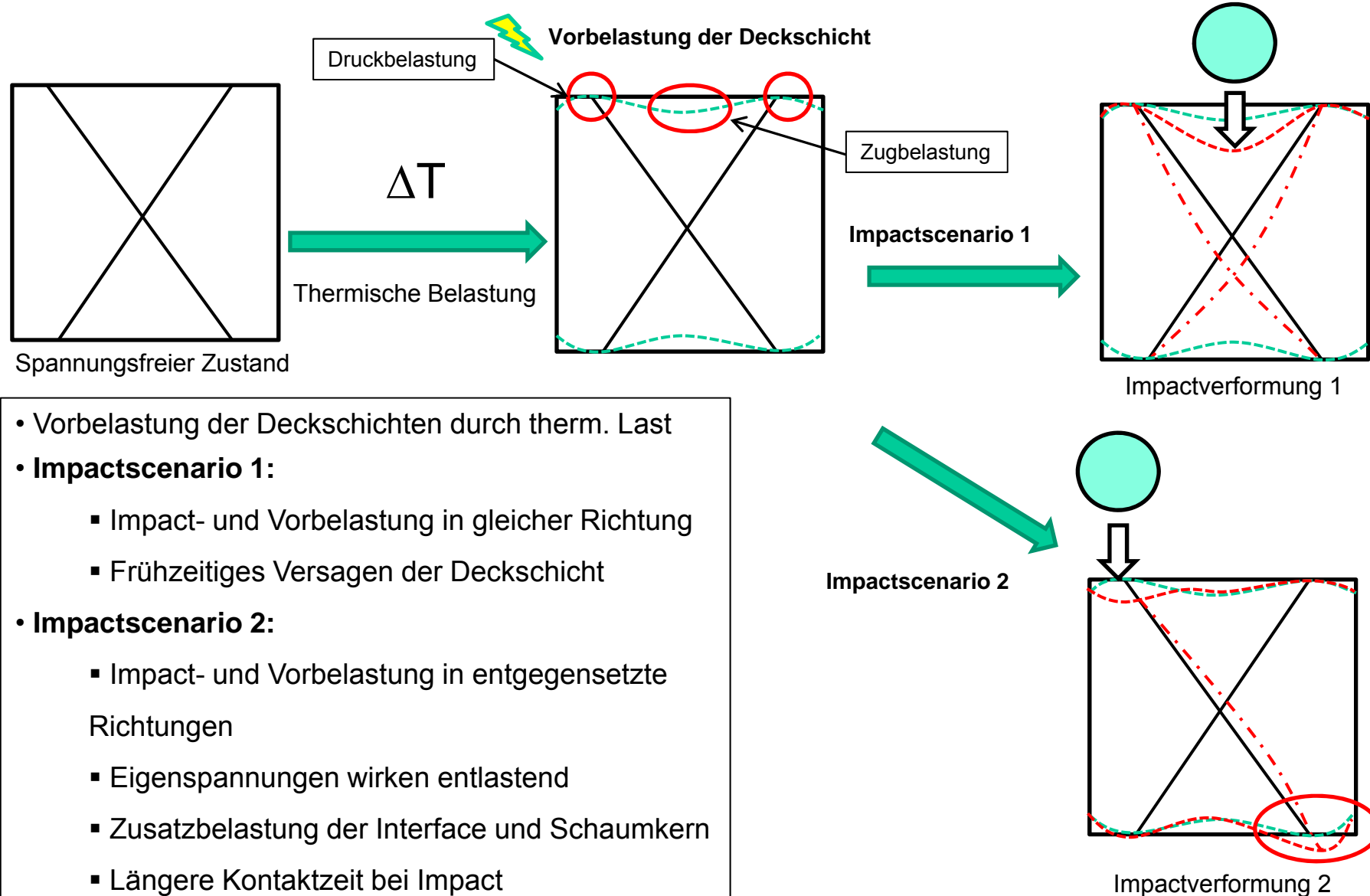
3. Lokal, globaler Schaden

- Konisch geformter Schubbruch + lokaler Schaden
- Ausbreitung im Interface der Unterseite
- Kritisch für Strukturverhalten

2. Globaler Schaden

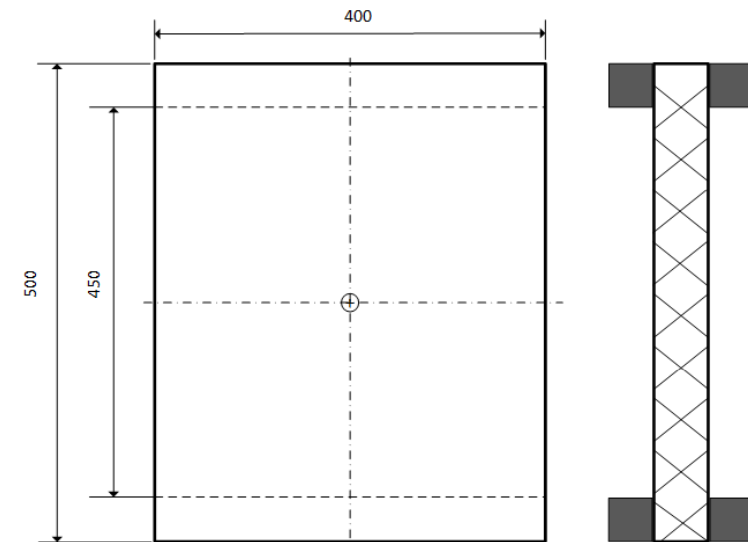
- Schubbruch im Schaum
- Nicht sichtbar
- Kritisch für die Struktur

Besonderheit der Pin-verstärkten Sandwichstruktur

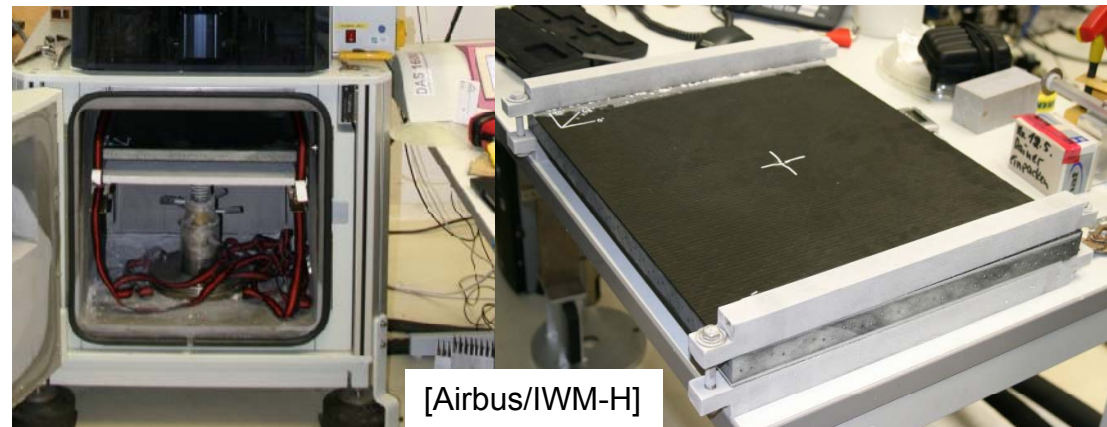


Versuchsaufbau:

- Probengröße: 400 x 500mm
- Deckschichten: 1,5mm NC-Fabric (Triaxial, HTS Fasern) + RTM 6
- Kern: 25,7mm Rohacell HERO 71
- Pins: CFK- und GFK-Fasern
- Pin-Abstand: 10-20mm
- Impactor: Ø 25,4mm Stahl Halbkugel
- Impactenergien: 35J - 90J
- Testtemperatur: -55°C



Probengeometrie mit Impactposition



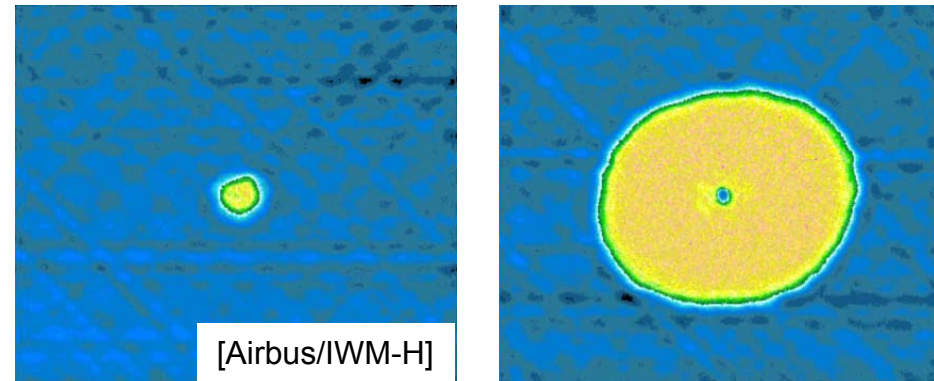
Impactteststand am Fraunhofer Institut -IWM in Halle

Testziele:

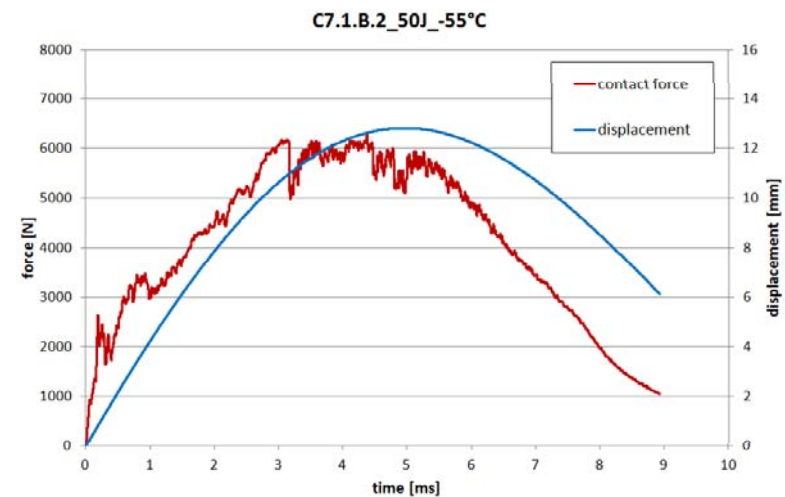
- Untersuchung der Einflüsse der Pin-Material und Pin-Abstände auf das Impactverhalten der verstärkten Sandwichprobe bei Frosttemperaturen

Aufgenommene Versuchsdaten:

- Während des Impacts:
 - Kraft vs. Zeit
 - Weg vs. Zeit
 - Energie vs. Zeit
- Nach dem Impact:
 - Schadenstiefe
 - Schadensfläche (NDE: Luft-US)
 - Ggf. Probennachinfusion zur Bestimmung des Versagensart

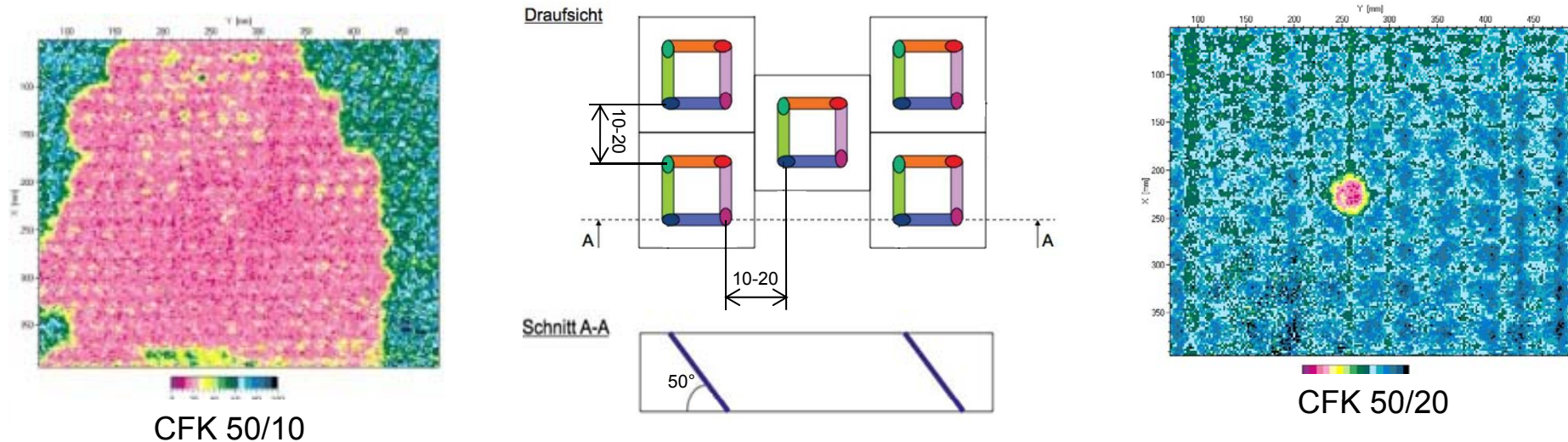


NDE-Ergebnisse: 2 verschiedene Versagensmodi

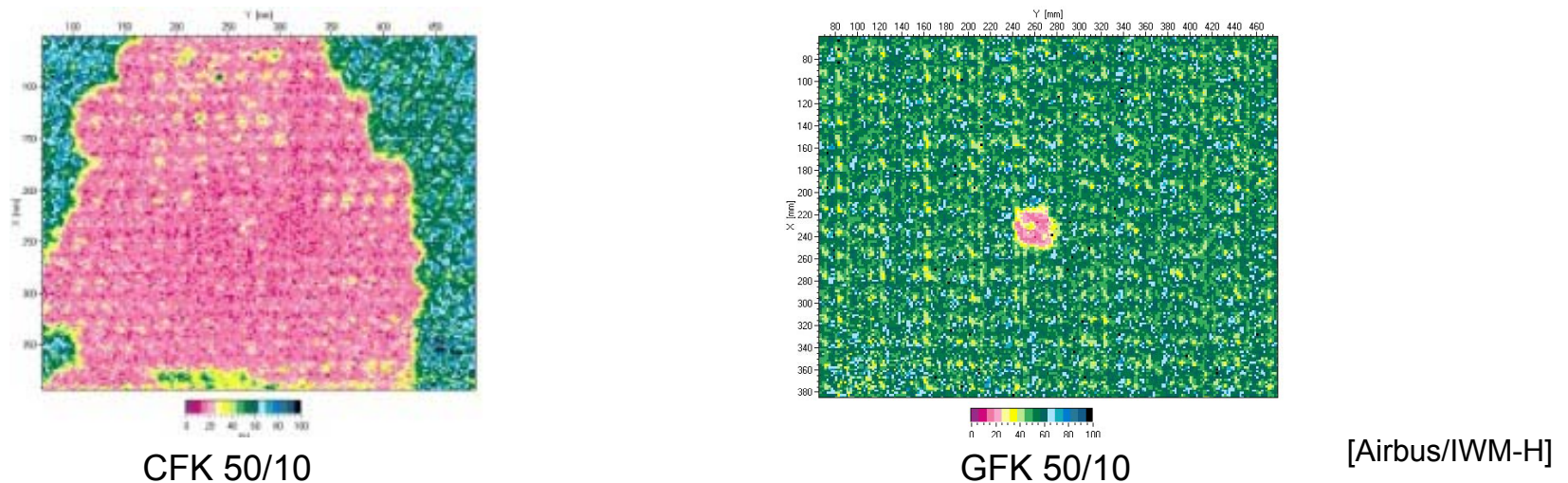


Kraft-Zeit und Weg-Zeit kurven

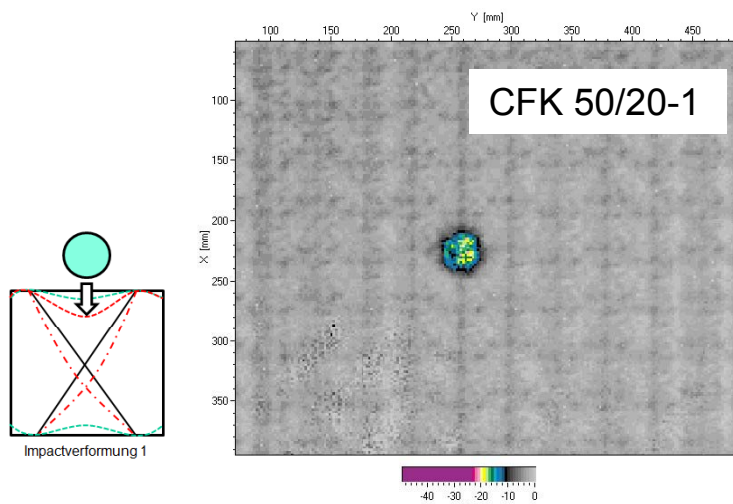
- Zellen-Abstandeffekt: CFK 50/10 vs. CFK 50/20 (bei 50J)**



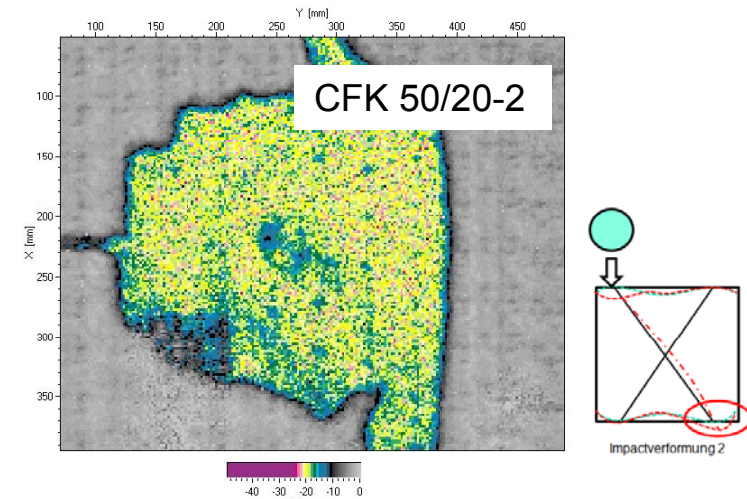
- Pin-Materialeffekt: CFK 50/10 vs. GFK 50/10 (bei 50J)**



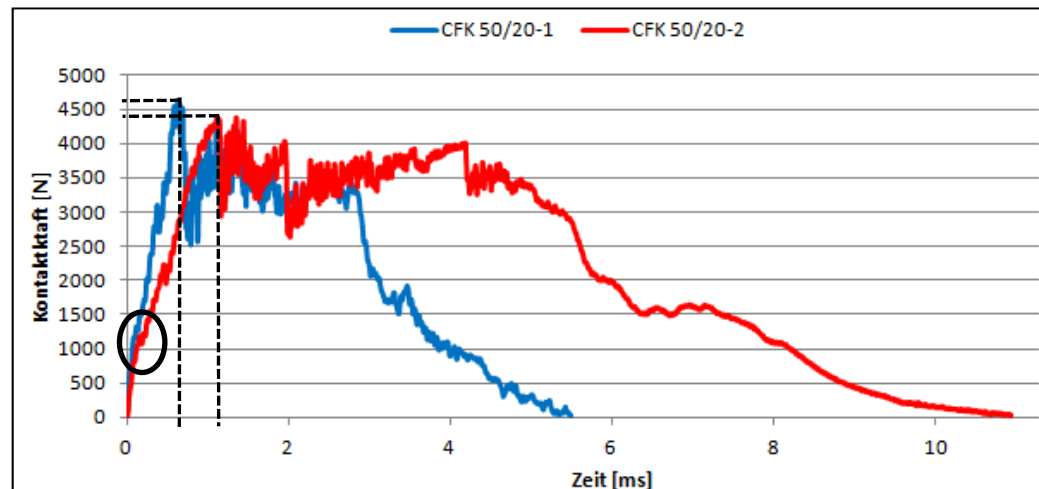
- Effekt der Impactposition: CFK 50/20 (bei 50J)



Impactor trifft zugbelasteten Bereich



Impactor trifft druckbelasteten Bereich

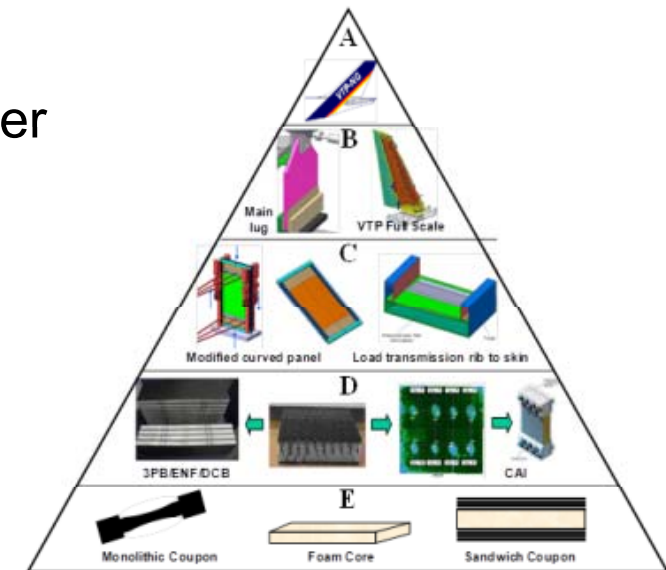


Kraft-Zeitkurve bei lokalem und globalem Versagen

[Airbus/IWM-H]

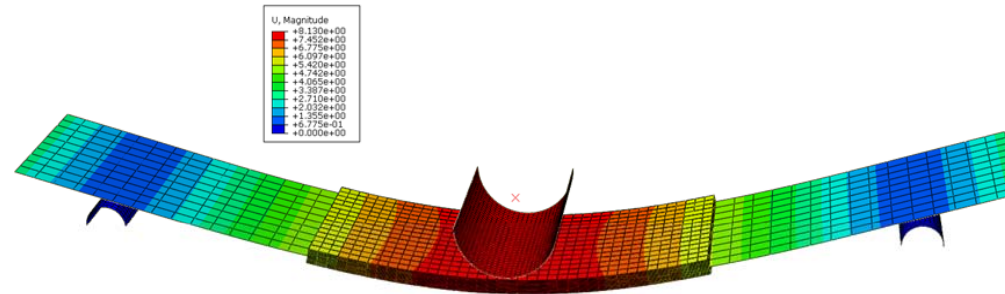
- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
- Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen
- Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen
- **Numerische Simulation des Impactverhaltens**
 - Übersicht
 - Vergleich Simulation/Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

- **Ziel:** Vorhersage des Impactverhaltens der Sandwichschale
- Explizite FEM mit Abaqus
- Vorgehen:
 - Simulation des 3PB-Tests zur Kalibrierung der Steifigkeit und Festigkeit der Deckschicht
 - Durchführung des Schaumdrucktests zur Bestimmung der Materialparameter des Schaumkerns
 - Simulation des Schaumeindrucktests zur Validierung des Schaummodells
 - Impactsimulation mit den kalibrierten Materialparametern

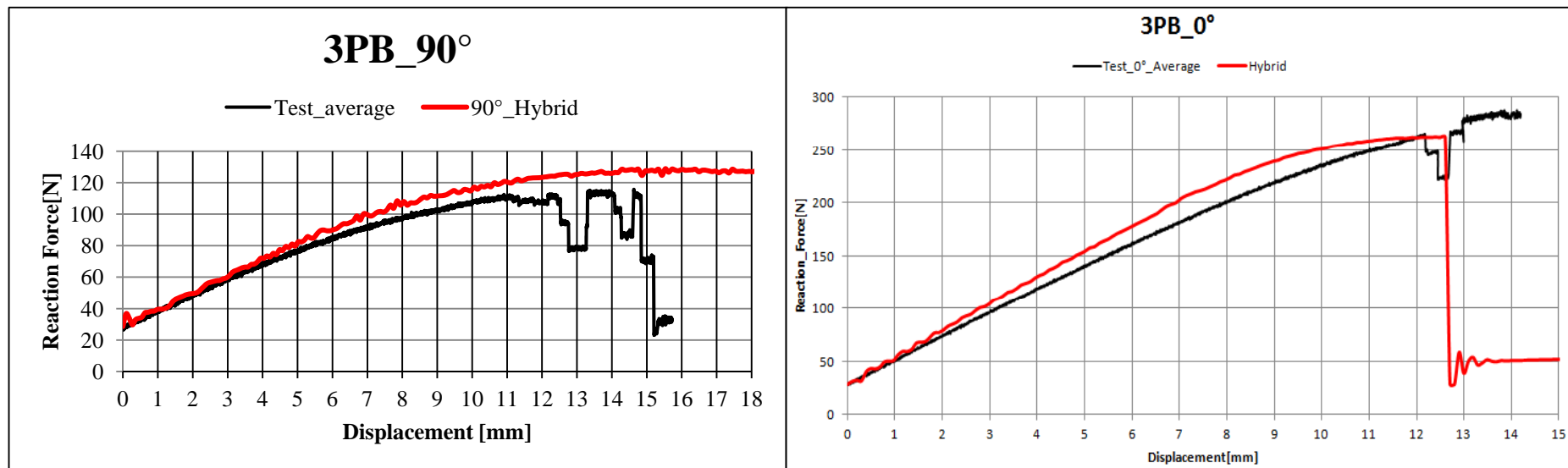


Testpyramide VTP-NG [Airbus]

- **Validierung des Deckschichtmodells:**
 - Simulation des 3PB-Tests zur Kalibrierung der Deckschichtparameter

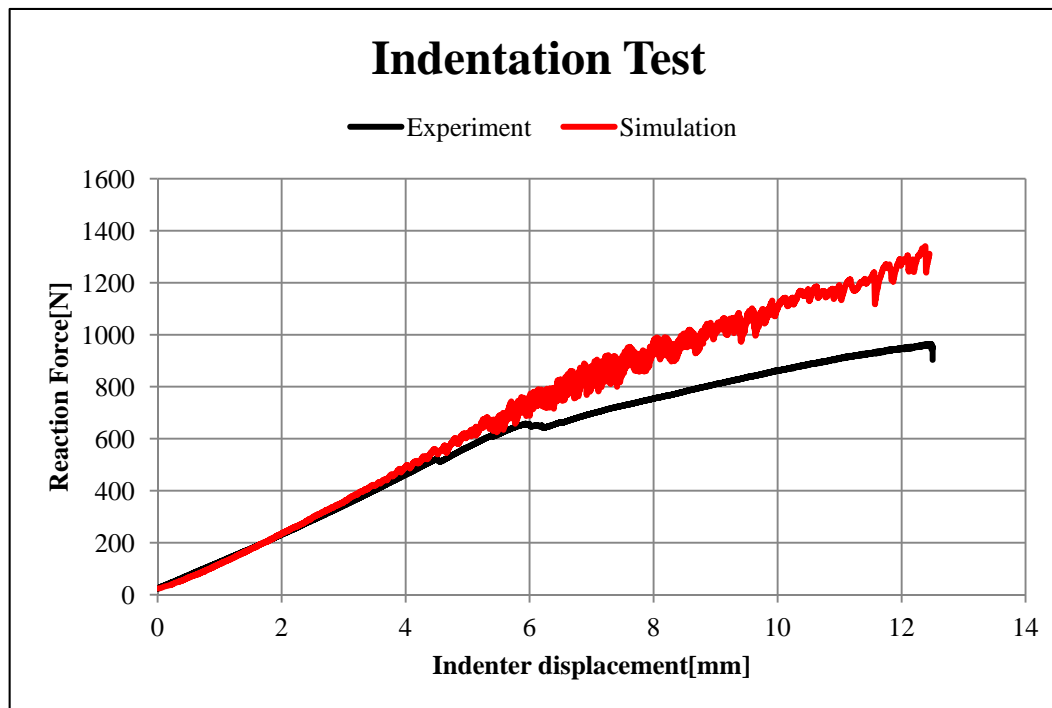


3PB-Model hybrider Ansatz

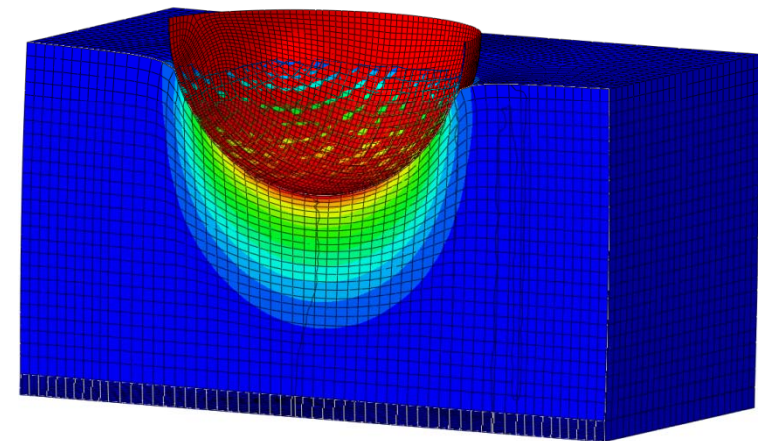


Vergleich Simulation-Testergebnisse

- **Validierung des Schaummodells:**
 - Druckverhalten aus Drucktest ermittelt
 - Schaumeindrucktest für multiaxiale Belastung des Schaums
 - Simulation des Schaumeindrucktests zur Kalibrierung der Modellparameter

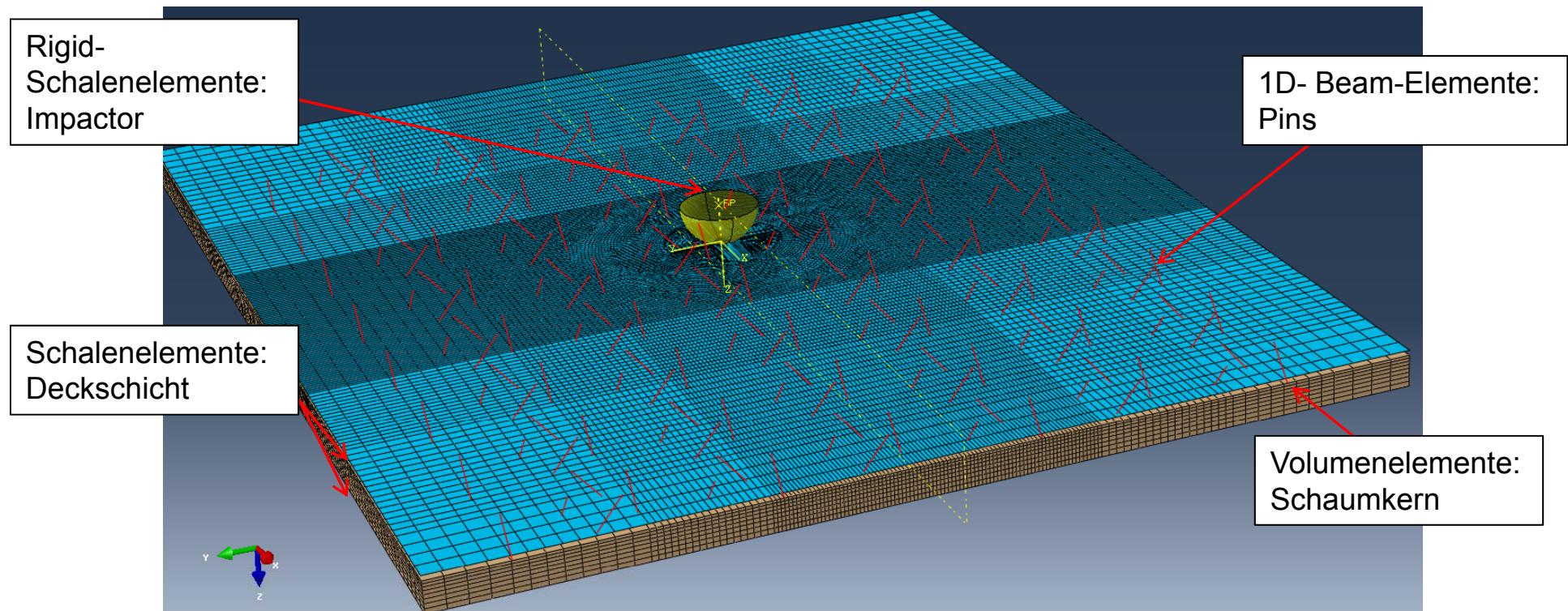


Vergleich Simulation-Testergebnisse



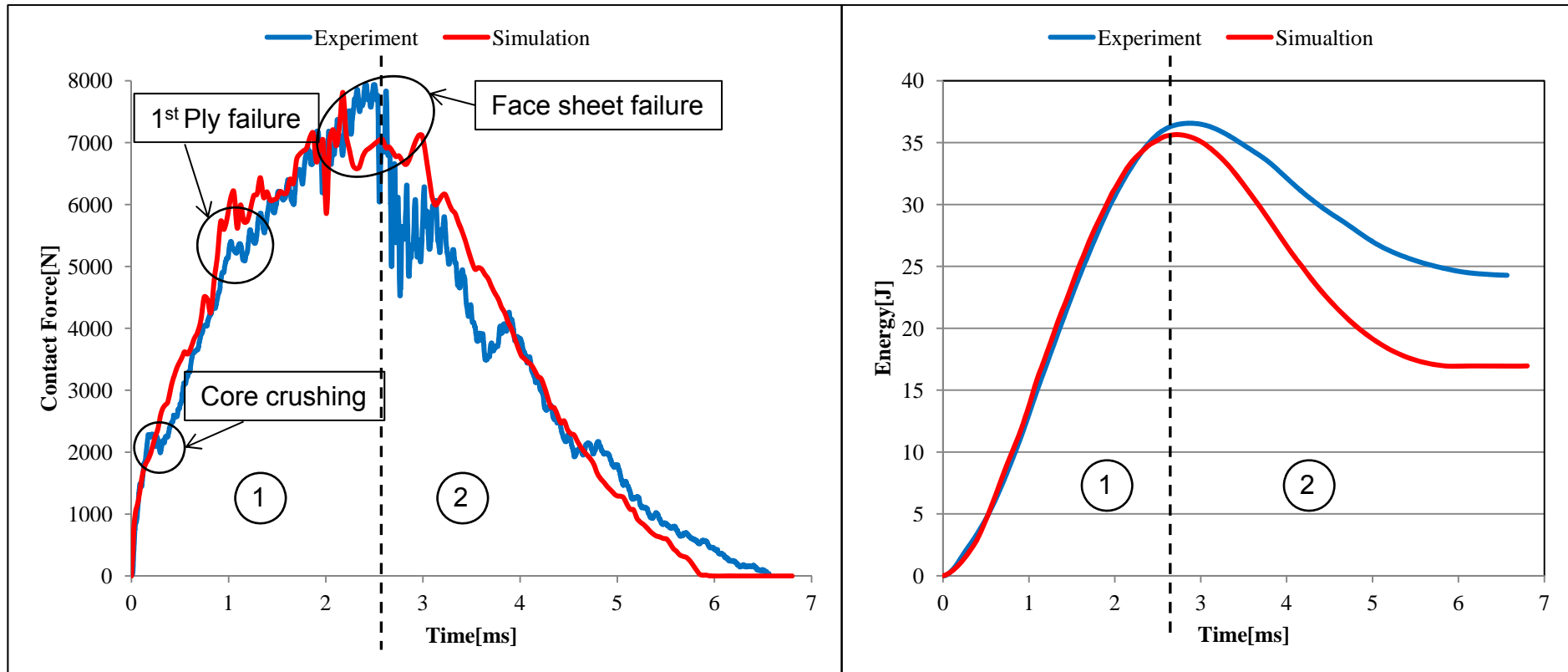
Simulationsmodell Reinschaum

- Pin-Konfiguration: CFK 50/20
- Nur Proben mit lokalem Schaden und Impact bei RT für die Simulation ausgewählt
- 1D-diskrete Pin-Modellierung (Annahme: isotropische Materialeigenschaften)



Simulationsmodell der Pin-verstärkten Sandwichplatte

35J Impact auf D3-Probe bei 20°C (CFK 50°/20)



Kraft-Zeit-Verlauf

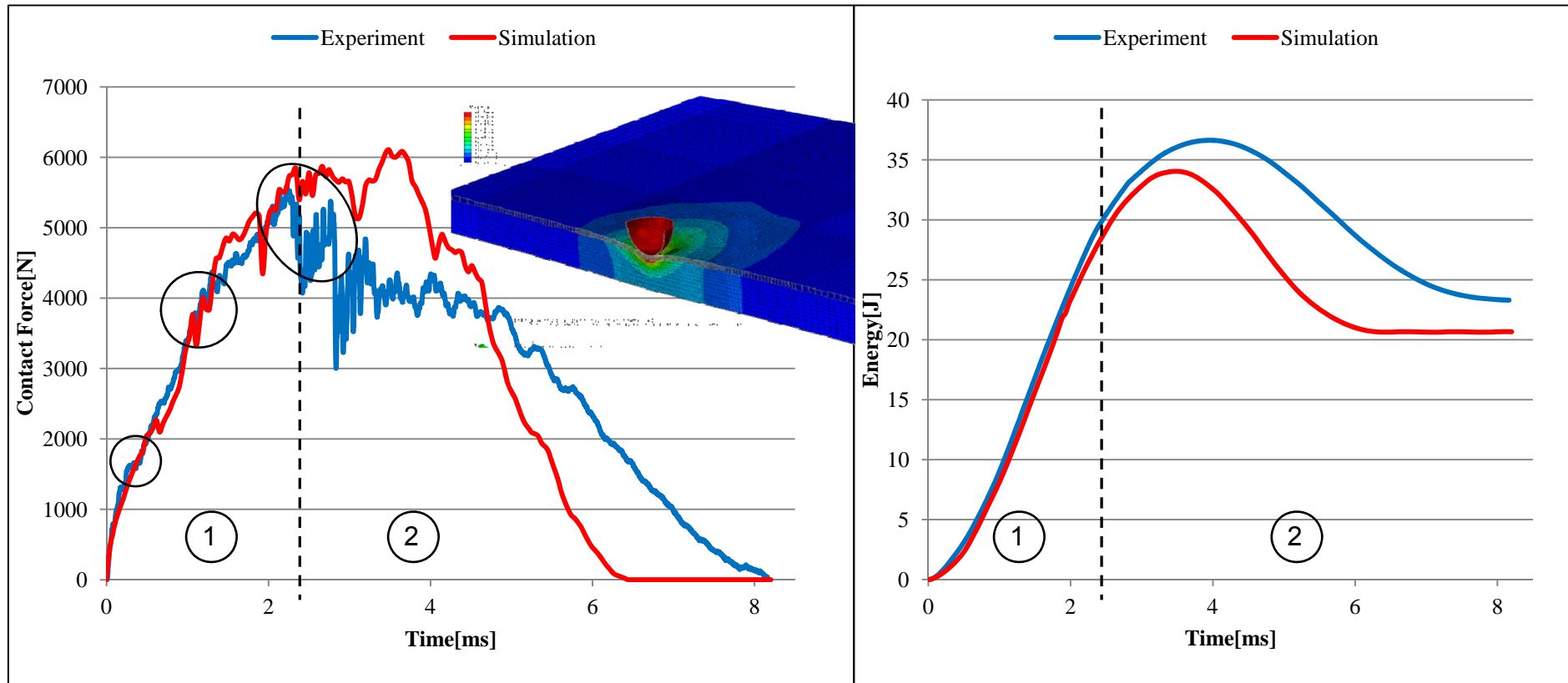
Energie-Zeit-Verlauf

D3-Probe: 16,3 mm Schaumkern + 2,25mm Deckschicht

1: Bereich bis zum Deckschichtdurchbruch

2: Entlastungsbereich mit Rückfederung des Impactors

35J Impact auf A3-Probe bei 20°C (CFK 50°/20)



Kraft-Zeit-Verlauf

Energie-Zeit-Verlauf

A3-Probe: 10 mm Schaumkern + 1,5mm Deckschicht

- Sehr gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den Versuchswerten bis zum Versagen der oberen Deckschicht
- Korrekte Beschreibung der Gesamtsteifigkeit der Struktur
- Abweichung der Ergebnissen ab Deckschichtdurchbruch und bei höheren Impactenergien und dünneren Proben
- Schlechte Beschreibung des Schaumverhaltens bei sehr hohen lokalen Verformungen → Erweiterung des vorhandenen Abaqus-Materialmodells für Schaumcrushing nötig, um exzessive Verformungen der Elemente zu vermeiden und das Schadensverhalten realistisch abzubilden

- Das Seitenleitwerk der nächsten Generation (VTP-NG)
- Modellierungsansätze für Pin-verstärkte Sandwichstrukturen
- Impactverhalten von Schaumsandwichstrukturen
- Numerische Simulation des Impactverhaltens
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- Neue Fertigungsphilosophie durch das VTP-NG Konzept und Integration der Schaumsandwichseitenschale in eine Primärstruktur
- Reduzierung der Fertigungskosten und -Zeiten durch die integrale Bauweise und Bauteilzahlreduzierung
- Wichtiges Auslegungskriterium von Pin-verstärkten Schaumsandwichstrukturen ist das Impactverhalten
- Impactverhalten und Schadensentwicklung sind sehr stark von der ausgewählten Konfiguration (Pin-Muster, Materialkombination, Deckschicht/Schaumdicke) abhängig
- Das entwickelte Simulationsmodell ist geeignet für die Simulation von Impacterreignissen mit geringen Schaumkernschädigungen
- Verbesserung des Schaummodells zur Berücksichtigung von Schubbruch und großen Verformungen