



COCOMAT – ein EU-Projekt zur Simulation des Beulverhaltens geschädigter Schalen aus Faserverbundmaterial

Mechanik-Kolloquium “50 Jahre Fachrichtung Angewandte Mechanik“

Klaus Rohwer und Richard Degenhardt
DLR, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



Übersicht

1. COCOMAT und seine Vorläufer
2. COCOMAT im 6. EU Rahmenprogramm
3. Ausrichtung
4. Definitionen
5. Zielsetzung, Aufgabenplan, erste Ergebnisse
6. Erwarteter Nutzen
7. Weitergabe der Ergebnisse

1. COCOMAT und seine Vorläufer

GARTEUR SM-AG-25

Postbuckling and
Collapse Analysis

Improved **M**aterial Exploitation
at Safe Design of **C**omposite
Airframe Structures by Accurate
Simulation of **C**ollapse

COCOMAT (6th FP, STREP)



POSICOSS (5th FP)

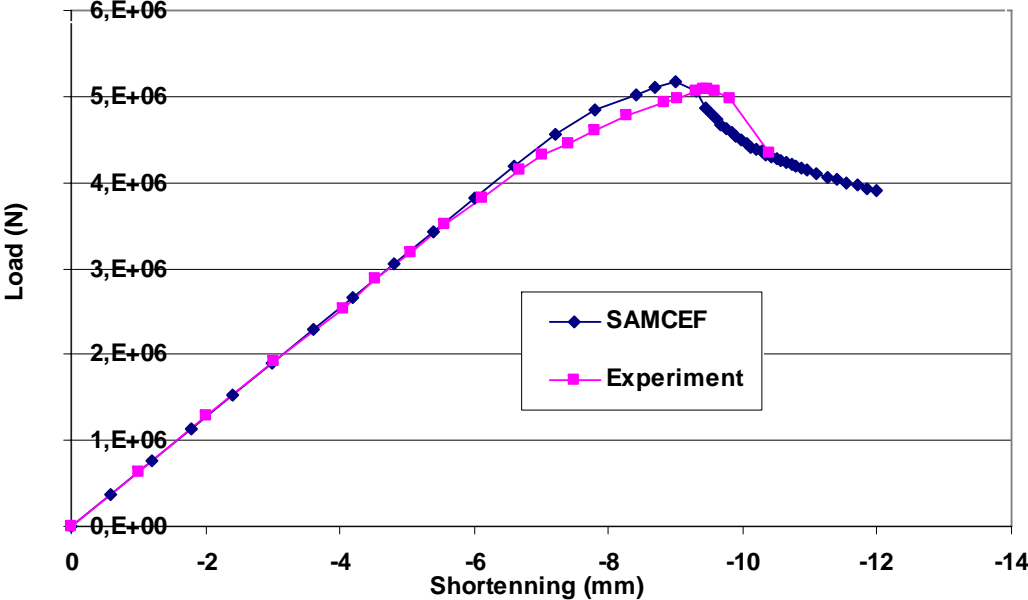
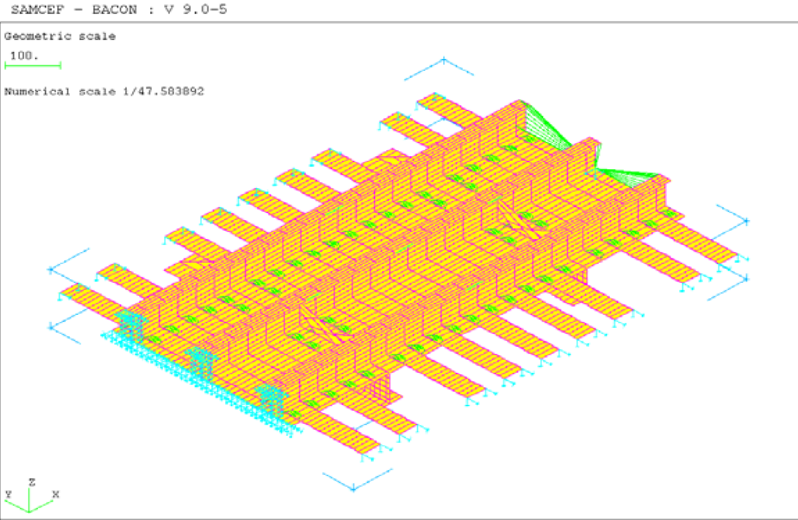
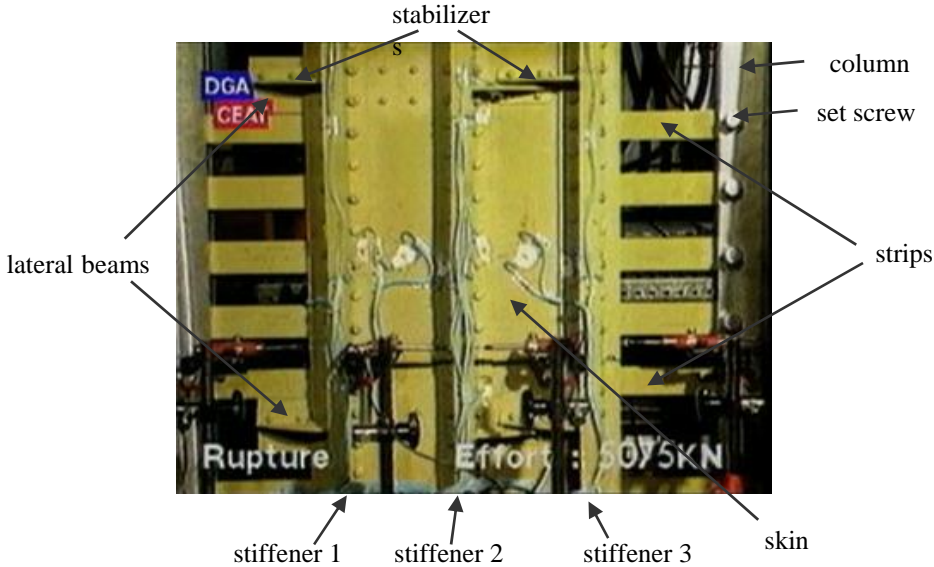
Improved **P**ostbuckling **S**imulation
for Design of Fibre **C**omposite
Stiffened Fuselage **S**tructures



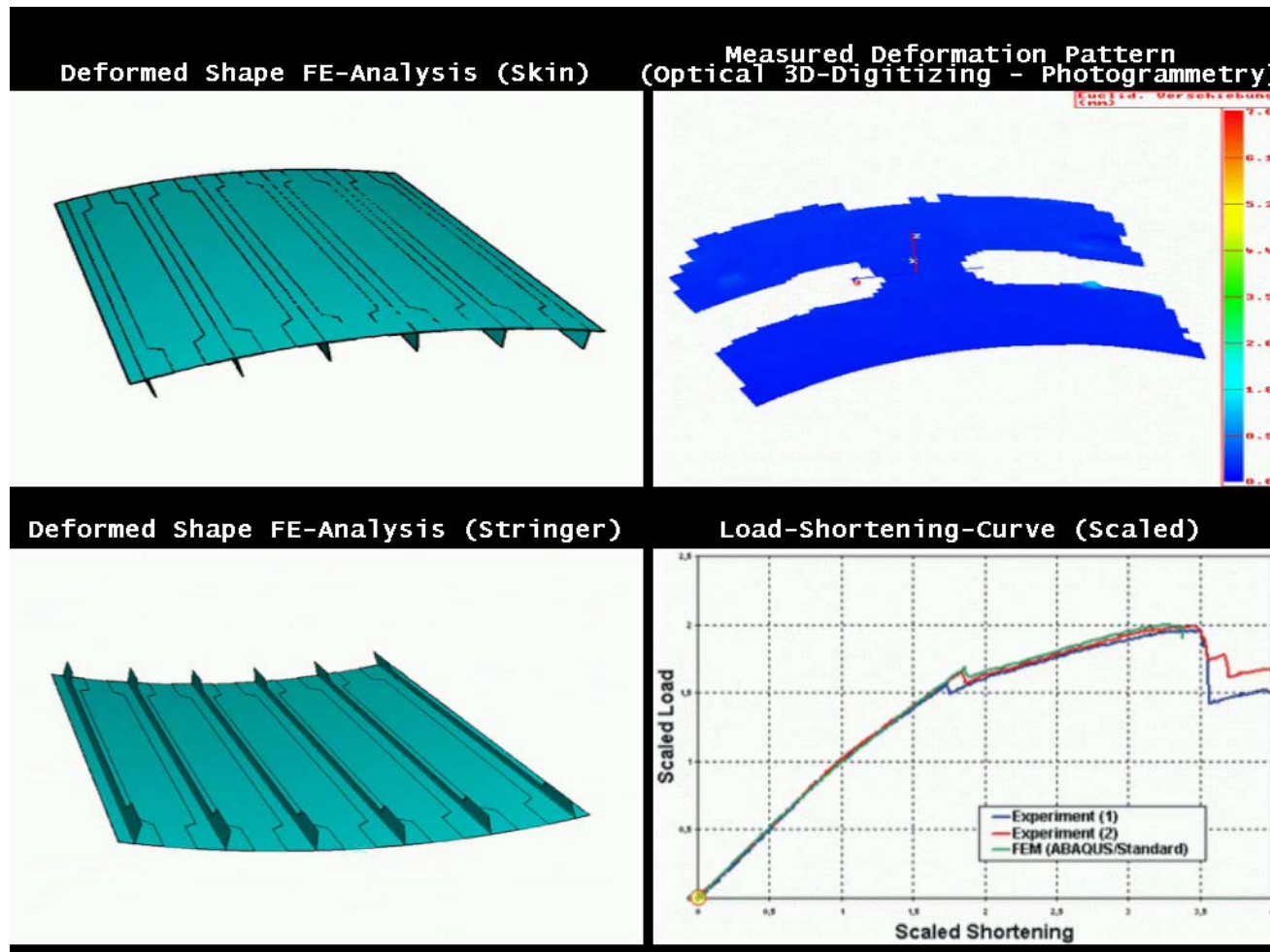
GARTEUR AG25

3 Bechmarks

Versteifte Paneele,
unterschiedliches Material,
unterschiedliche Belastung,
Beul- und Nachbeulverhalten



POSSICROSS – zylindrisches CFK-Paneel unter Axiallast





2. COCOMAT im 6. EU Rahmenprogramm

Integration und Stärkung des europäischen Forschungsraumes

Arbeitsprogramm:

Priorität 4: Luft- und Raumfahrt

Bereich: Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit

Ziele: Reduktion der Entwicklungs- und Betriebskosten kurzfristig um 20%, längerfristig um 50%

COCOMAT trägt bei zum Erreichen dieser Ziele:

Instrument: **Specific Targeted REsearch Project (STREP)**



Zielrichtung: Reduktion des Strukturgewichts bei ausreichender Sicherheit

- durch Ausschöpfen beträchtlicher Tragreserven in Rumpfstrukturen aus Faserverbunden
- ermöglicht durch realitätsnahe Simulation des Versagens








Das Konsortium

 AGUSTA WESTLAND A FINMECCANICA COMPANY	I
	E
	GR
	IL
	PL
Industrie	

	B
	CH
KMUs	

	D
	S
	AUS
Fo.-Institute	

	I
	D
	D
	IL
	LV
Universitäten	



3. Ausrichtung

Forderung:

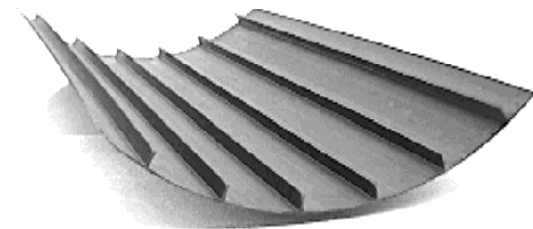
Erhebliche Reduktion der Entwicklungs- und Betriebskosten von Flugzeugstrukturen

COCOMAT trägt dazu bei:

- Durch den Aufbau einer **umfangreichen Datenbasis** aus Materialkennwerten und dem Last-Verformungsverhalten im Vor- und Nachbeulbereich
- Durch die Entwicklung **schnelle Entwurfswerkzeuge**, mit denen beträchtliche Tragreserven von versteiften Schalen aus Faserverbundmaterial sicher ausgeschöpft werden können
- Durch **zuverlässige Simulation** des Nachbeulverhalten und des Versagens unter Einbeziehung von Degradationen

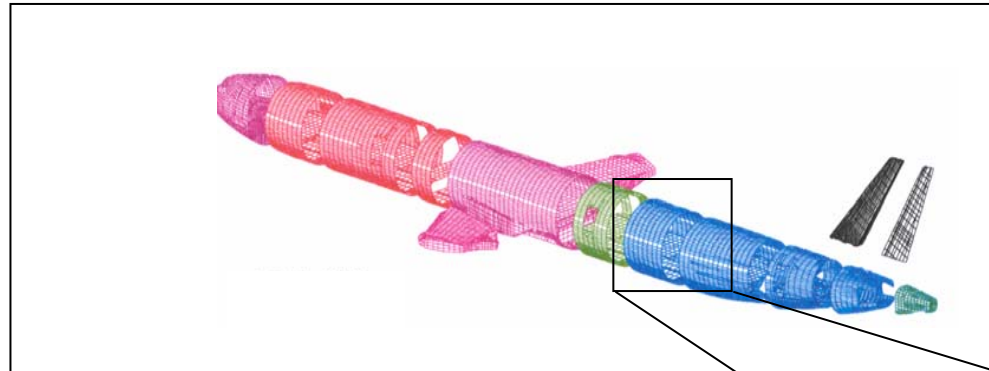
Untersuchte Strukturen:

Zylindrisch gekrümmte Paneele, die als Teile der Rumpfstruktur aufgefasst werden können

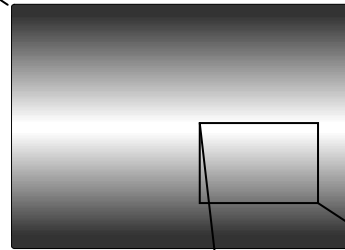




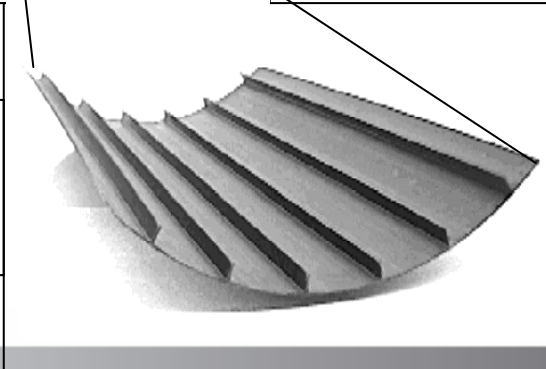
Panel als Teil der Rumpfstruktur



**Künftige Rumpfstruktur –
Vollständig aus CFK**

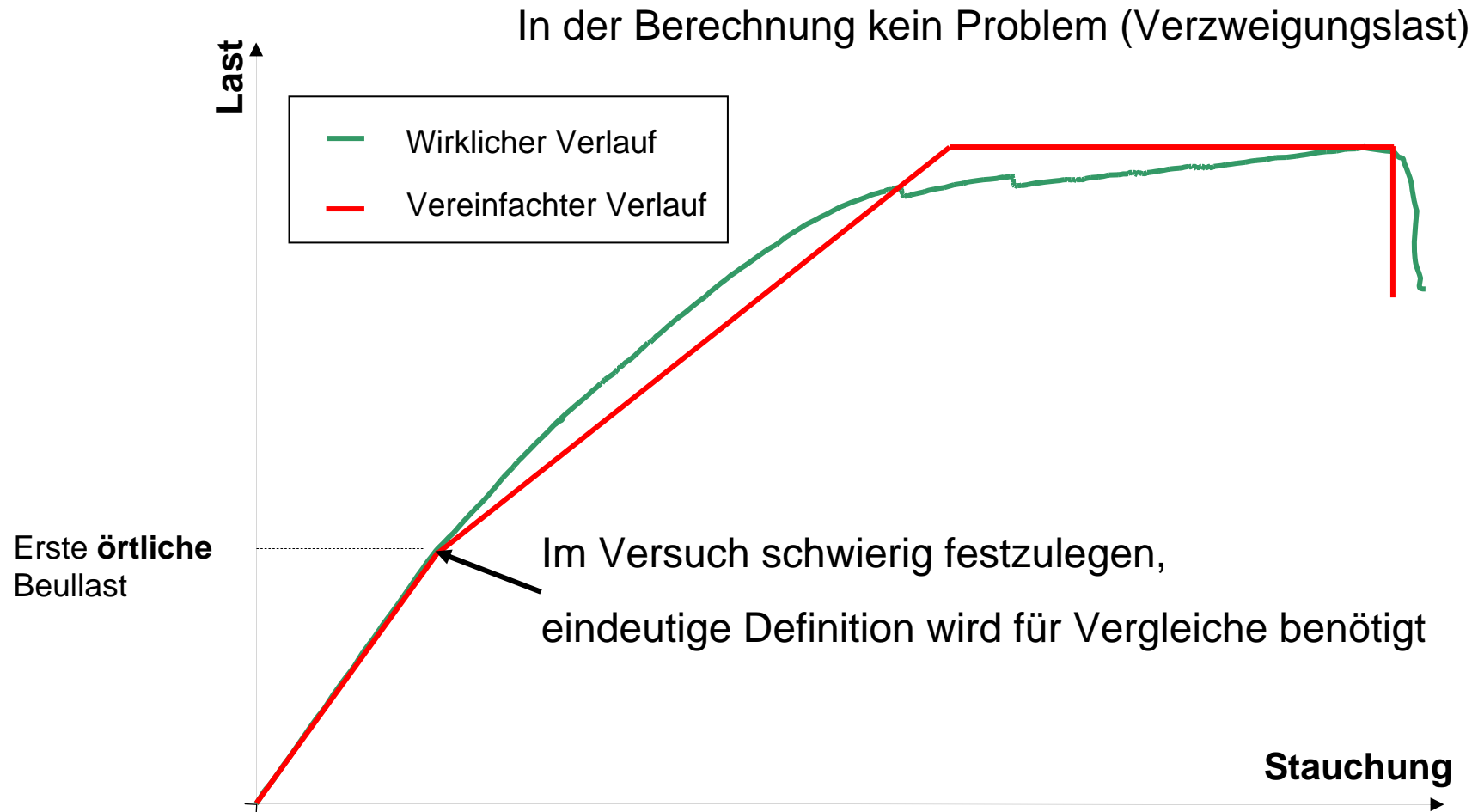


COCOMAT behandelt **gekrümmte CFK
Paneele**, die als Teile einer Rumpfsektion
angesehen werden können



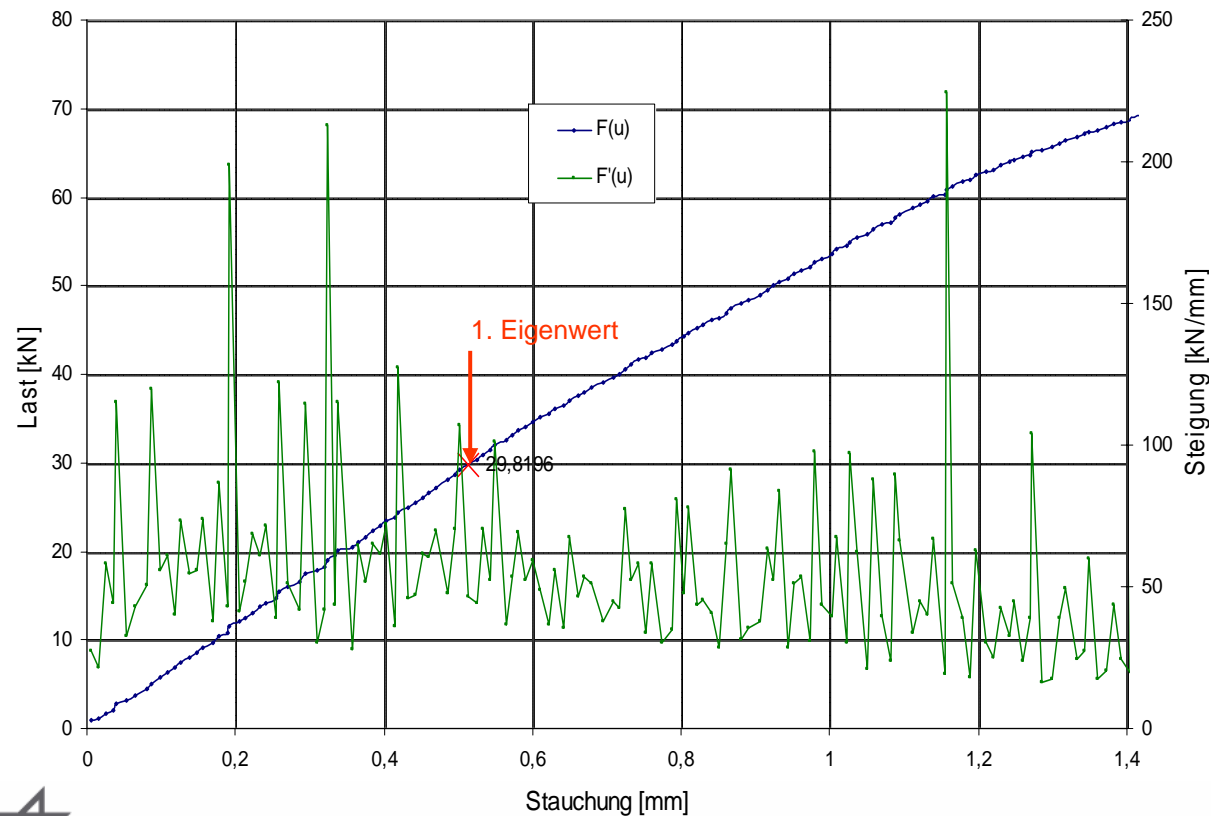


4. Definitionen: Erste örtliche Beullast



Mögliche Definitionen der ersten örtlichen Beullast

- Querverschiebung \Rightarrow wenig geeignet, da Messung ungenau
- Axiallast über mittlerer Dehnung mit Dehnmessstreifen auf beiden Seiten der Haut



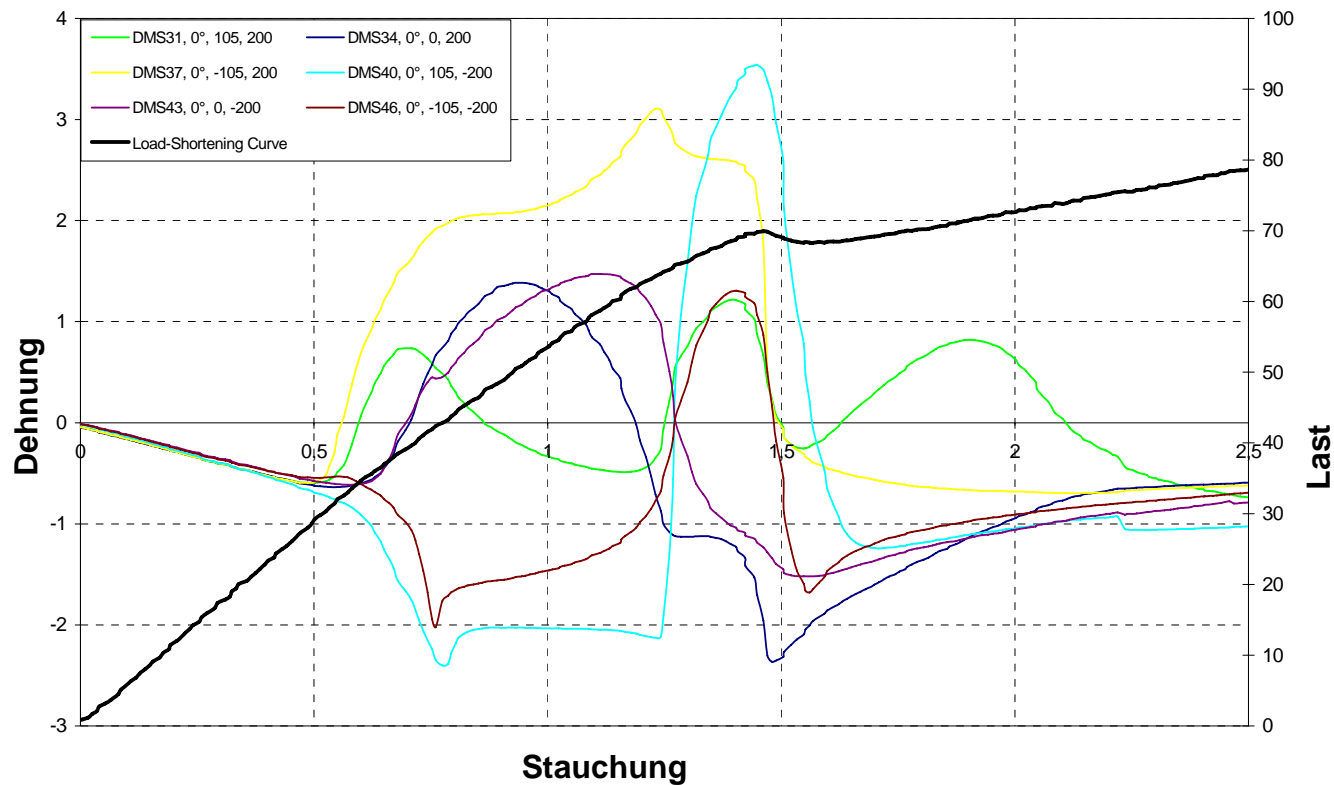
Messung der Axiallast
und Berechnung der
Änderung je Lastschritt

\Rightarrow wenig geeignet, da
Differenzenbildung
aufraucht



Mögliche Definitionen der ersten örtlichen Beullast

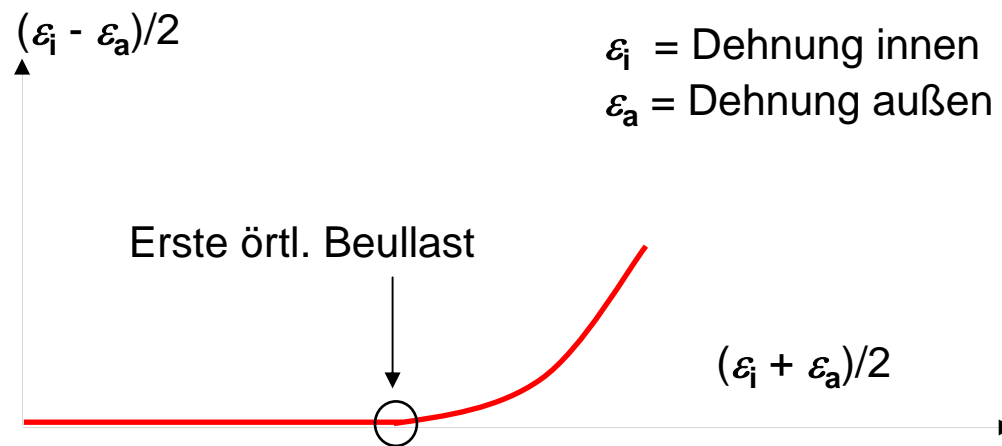
- Dehnung der Haut \Rightarrow Dehnmessstreifen auf beiden Seiten der Haut
Trennung der Kurven für Dehnung über axiale
Stauchung ist Anzeichen für örtliche Ausbeulung





Mögliche Definitionen der ersten örtlichen Beullast

- Dehnung der Haut \Rightarrow Dehnmessstreifen auf beiden Seiten der Haut



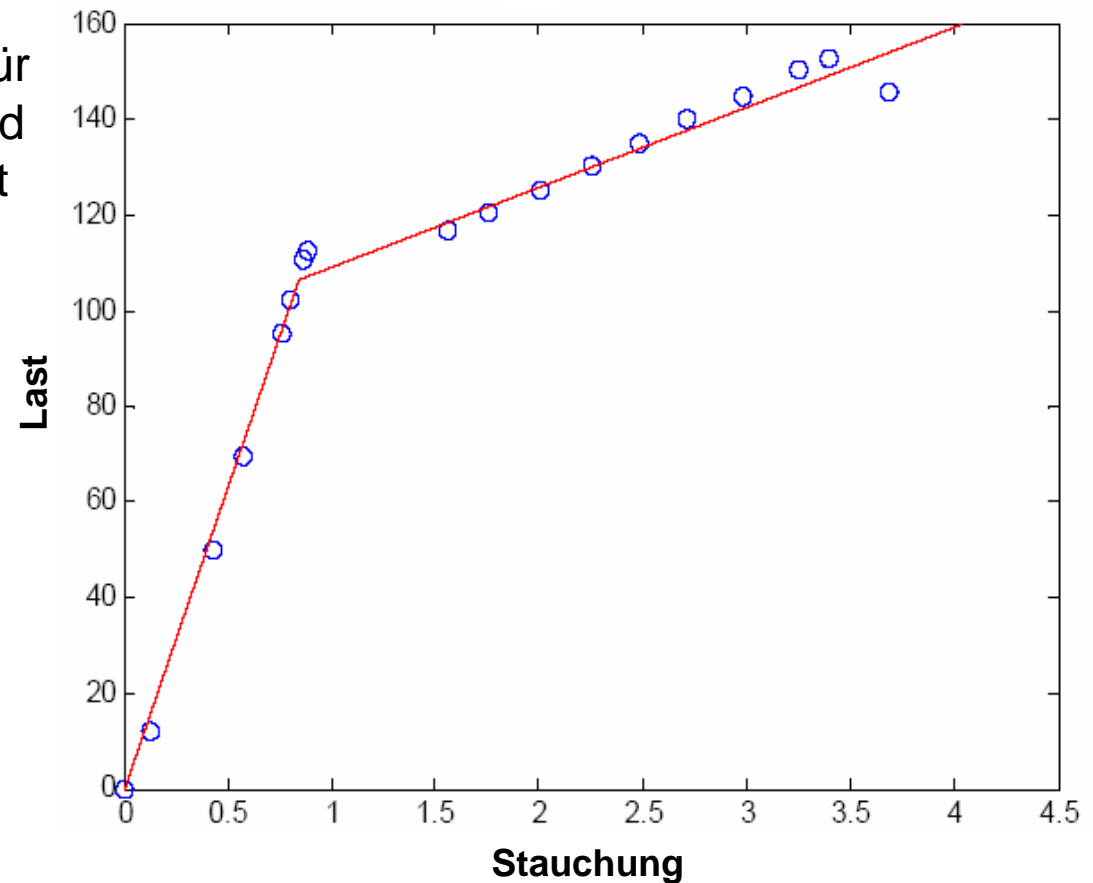
Biegung über mittlerer Dehnung

\Rightarrow kontinuierlicher Übergang, kein eindeutiger Wert

Gewählte Definitionen der ersten örtlichen Beullast

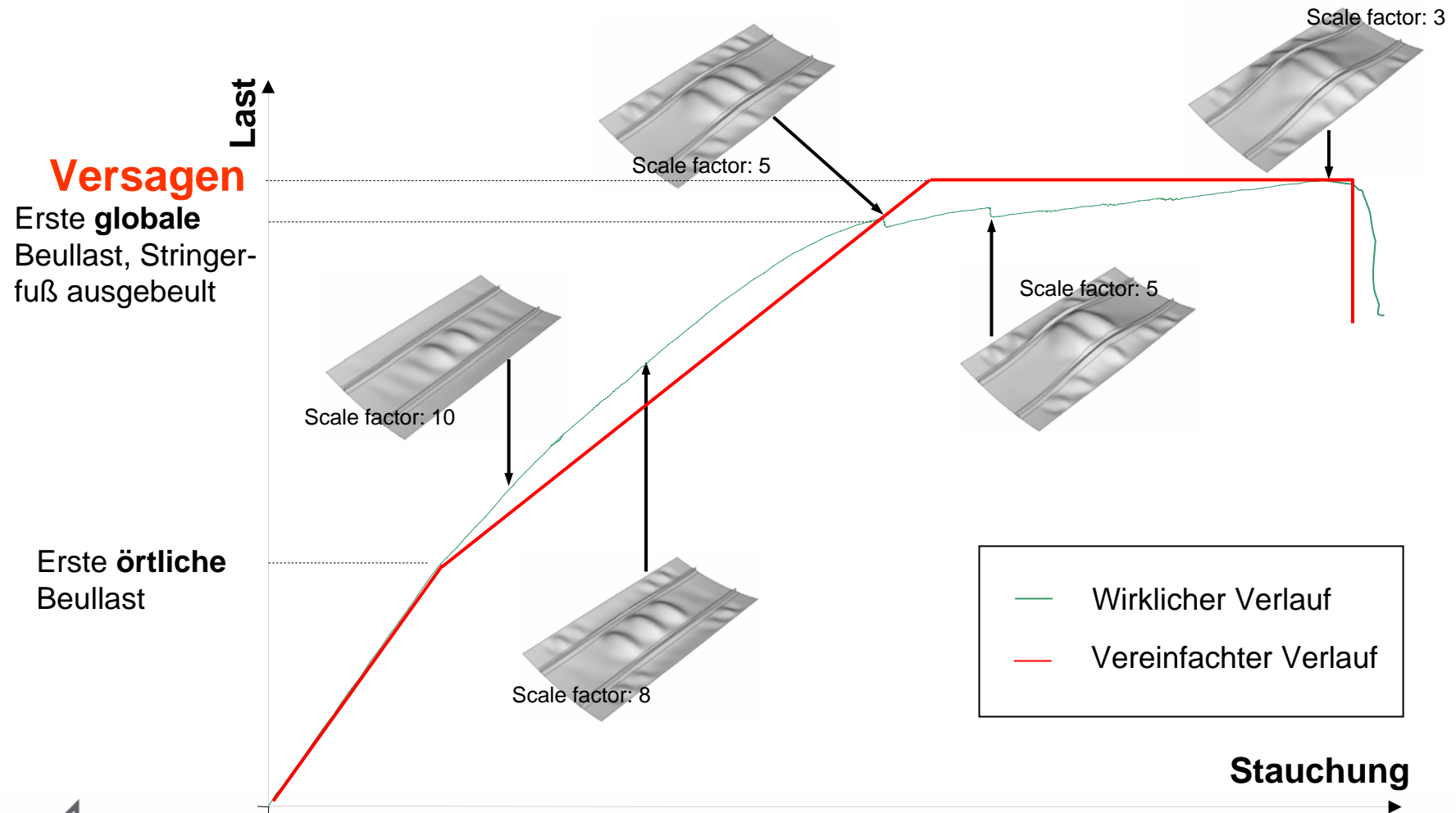
- Messpunkte der Last-Stauchungskurve
- je eine Ausgleichsgerade für einen Bereich unterhalb und einen oberhalb der Beullast
- Schnittpunkt ist die erste örtliche Beullast

Problem: Festlegung der Bereichsgrenzen

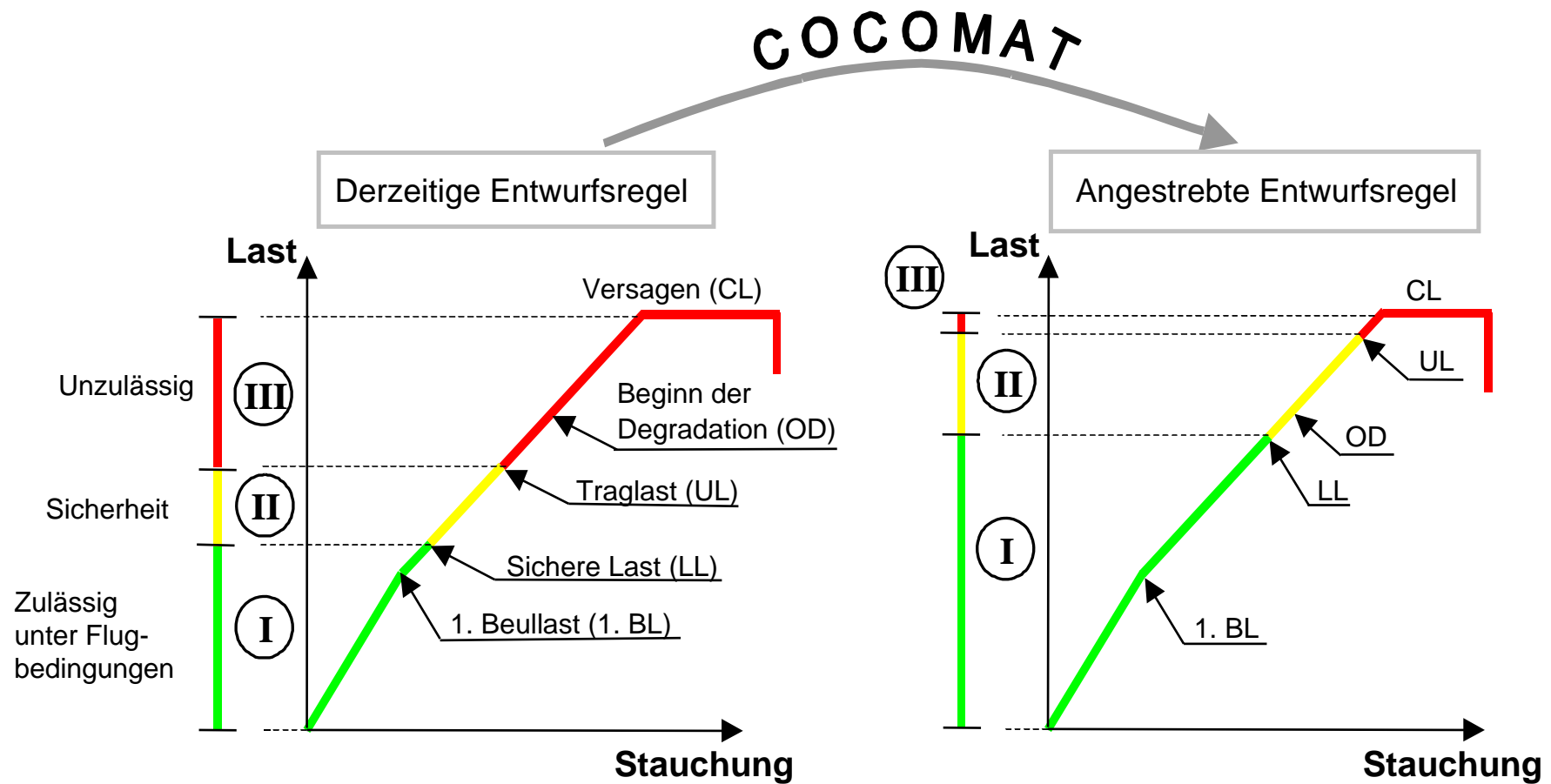




Versagenslast



5. Zielsetzung, Aufgabenplan, erste Ergebnisse





Angestrebte Entwurfsregel

- Traglast (UL) so nahe wie möglich an die Versagenslast (CL) heranbringen
- Beginn der Degradation (OD) im Sicherheitsbereich erlauben
 - entspricht dem Vorgehen bei Metallstrukturen
 - aber keine Degradation vor Erreichen der Sicheren Last (LL)

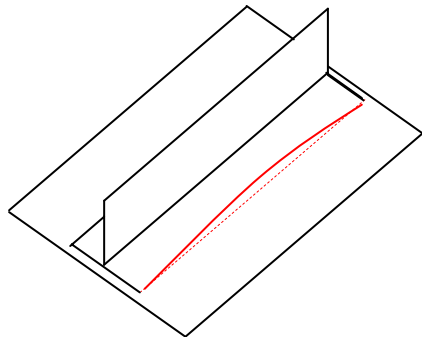
Weitere Untersuchungsziele:

- Reduziert eine Schädigung im Sicherheitsbereich die Versagenlast (CL)?
Wenn ja, wie stark?
- Bewirkt eine geringe Zahl von Lastzyklen in den Sicheren Bereich hinein Degradationen?

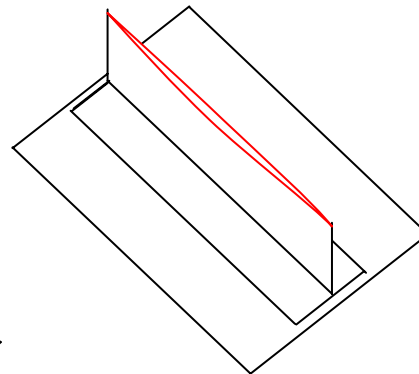
Dabei darf die Versagenslast (CL) nicht unter die Traglast (UL) fallen



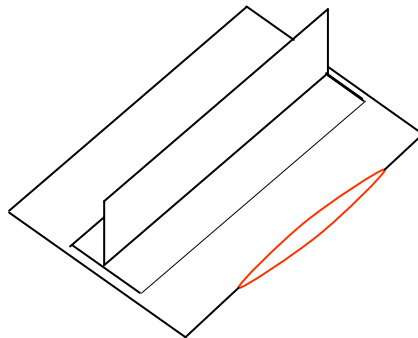
Degradationstypen



Haut-Stringer-Ablösung ist der wichtigste und gefährlichste Degradationstyp, wird auf jeden Fall berücksichtigt



Delaminationen im Stringersteg ist ein wichtiger Degradationstyp, wird ebenfalls berücksichtigt



Delamination in der Haut wird als weniger wichtig behandelt

Schadensfortschritt infolge Laststeigerung oder Zyklisierung wird untersucht

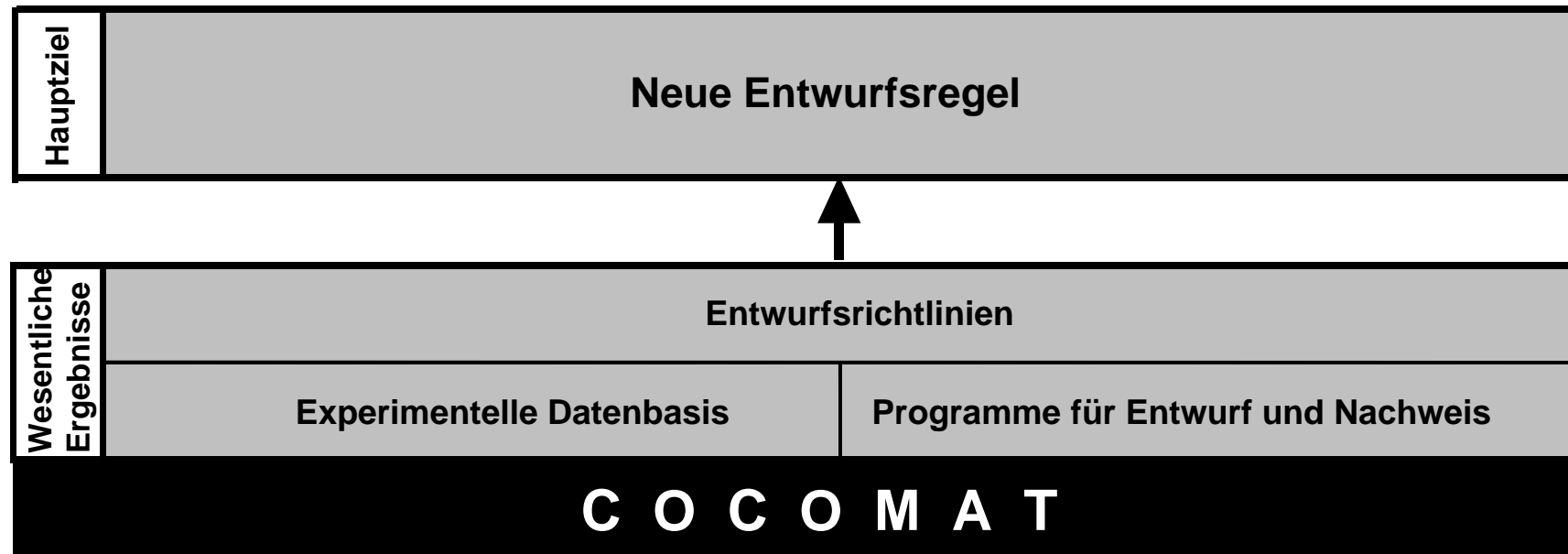


Arbeitspakete


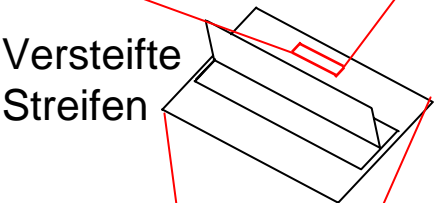
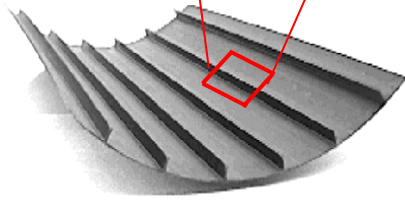
- WP 1:** Auswahl geeigneter Strukturen (geschädigt und ungeschädigt), Vergleichsrechnungen mit vorhandenen Programmen
- WP 2:** Materialkennwerte, Versuche zur Degradation, bessere Degradationsmodelle, Entwurf und Berechnung ungeschädigter Paneele
- WP 3:** Implementierung der Modelle von WP2 in vorhandene Nachweis-Programme, Entwicklung bzw Verbesserung von Entwurfs-Programmen
- WP 4:** Fertigung ungeschädigter Paneele, statische und zyklische Beulversuche bis zum Versagen
- WP 5:** Fertigung und örtl. Schädigung von Paneelen, Analyse mit Programmen aus WP3, statische und zyklische Beulversuche bis zum Versagen
- WP 6:** Aufstellung von Entwurfsrichtlinien und deren Validierung bei Partnern aus der Industrie



Wesentliche Ergebnisse – Hauptziel

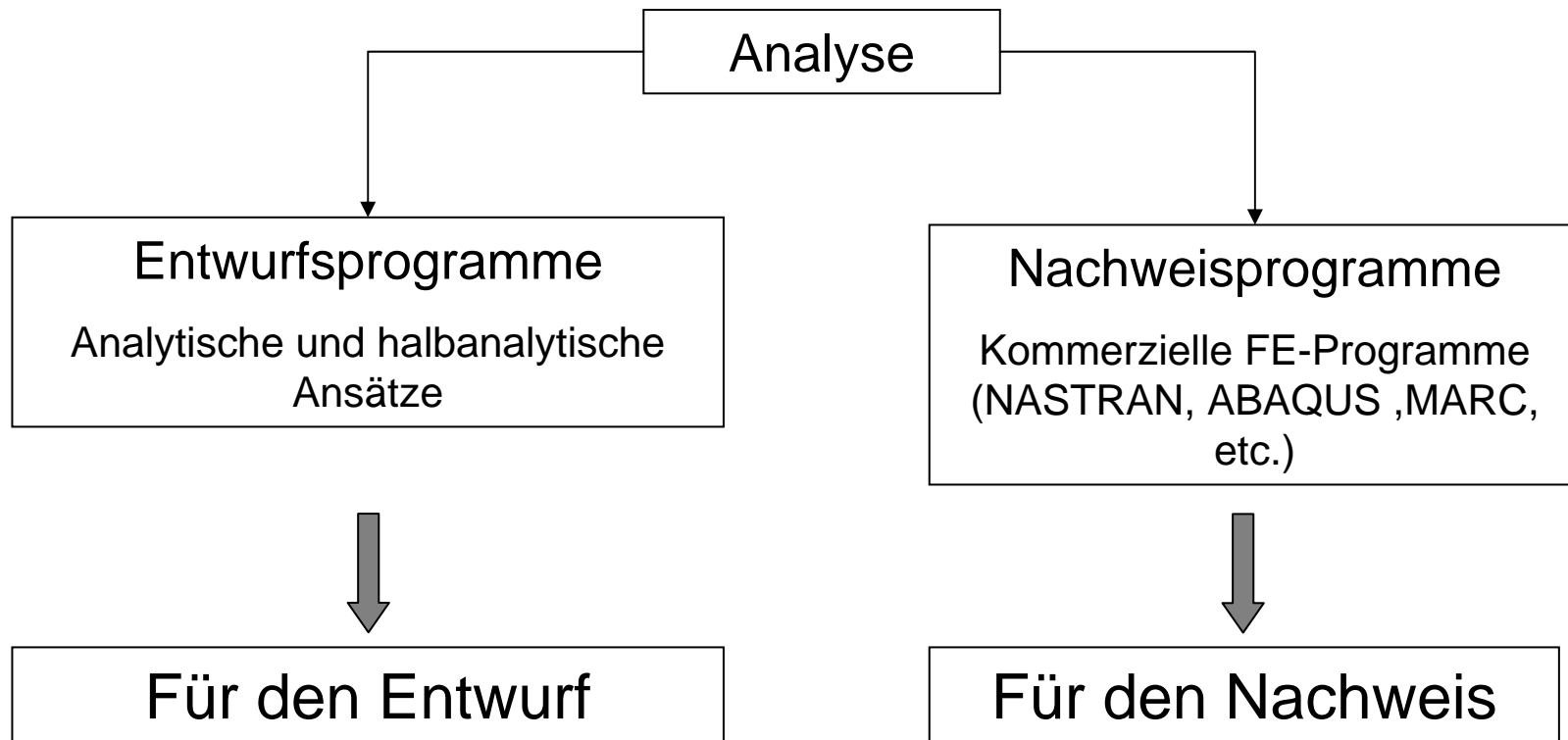


Experimentelle Datenbasis

Aufgabe		Teststruktur	Ziel
WP 2.1	Ermittlung der Materialkennwerte	 <p>Probe GFRP tabs</p>	Kennwerte
WP 2.2	Untersuchung des Degradationsfortschritts und Aufstellung entsprechender Modelle	 <p>Versteifte Streifen</p>	Modelle für verbesserte Programme
WP 4	Herstellung, Inspektion und Versuche unter statischer und zyklischer Last	<p><u>Ungeschädigte</u> Paneele</p>  <p>Paneele</p>	Validierung der verbesserten Programme
WP 5		<p><u>Geschädigte</u> Paneele</p>	

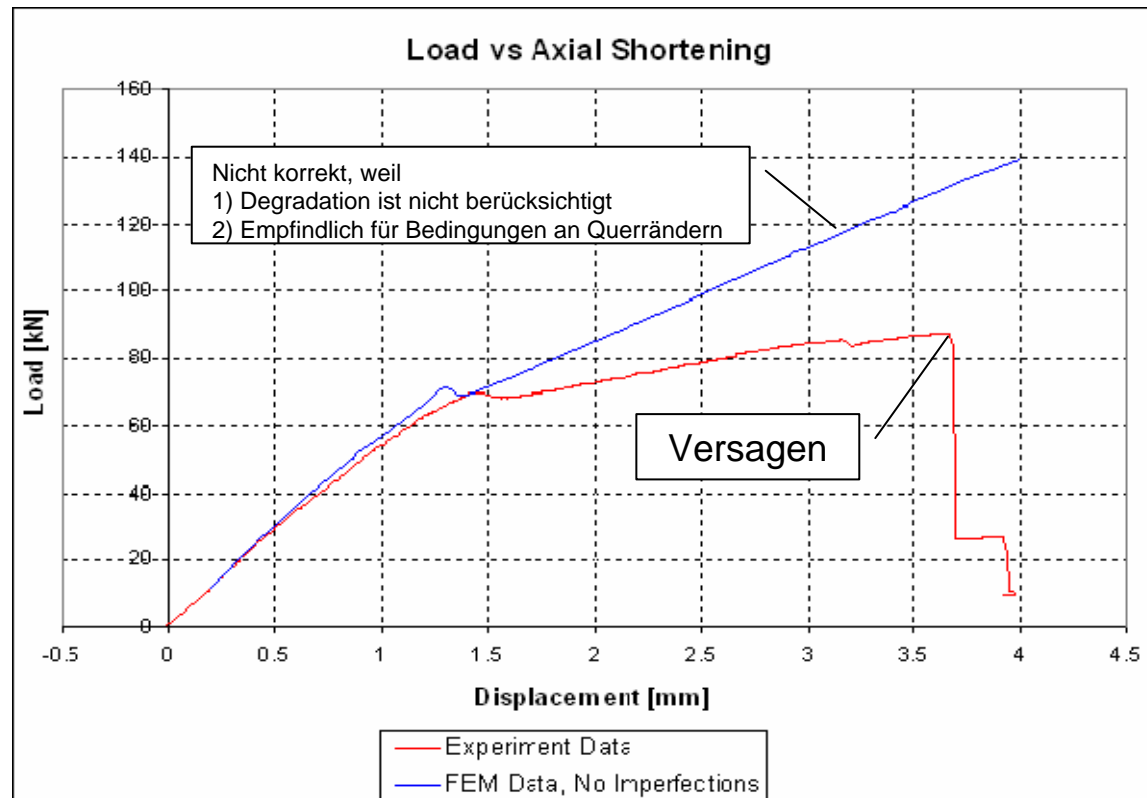


Simulationswerkzeuge



Simulation in COCOMAT

- Genaue Simulation des Strukturverhaltens bis zum Versagen
- Validierung mit Versuchen



Verschiedene Versagenstypen sind zu berücksichtigen

DLR betrachtet hauptsächlich die Haut-Stringer-Ablösung



Warum Entwurf neuer Paneele?

1. Neue/verbesserte Programme müssen validiert werden
2. Versuchsergebnisse für die Validierung liegen nicht vor
3. Neue Paneele müssen den Zielen von COCOMAT entsprechen
4. Industrielle Entwurfsphilosophien und versuchstechnische Aspekte müssen berücksichtigt werden



Entwurfstypen

Industrielle Paneele

entworfen für praktische Anwendung, vornehmlich mit vorhandenen Prozeduren, die in der täglichen Praxis der Industrie verwendet werden

Validierungspaneele

entworfen, um spezielle Grenzfälle in der Anwendung der neuen Berechnungswerkzeuge zu validieren

Beispiele:

- Weiter Nachbeulbereich, auch nach den globalen Beulen
- Entwurf mit speziellen Degradationsformen (z.B.: Haut-Stringer-Trennung)
- Geringe oder erhebliche Steifigkeitsreduktion im Nachbeulbereich



Entwürfe

Untersucht: 85 Strukturen, Paneele oder geschlossene Kästen

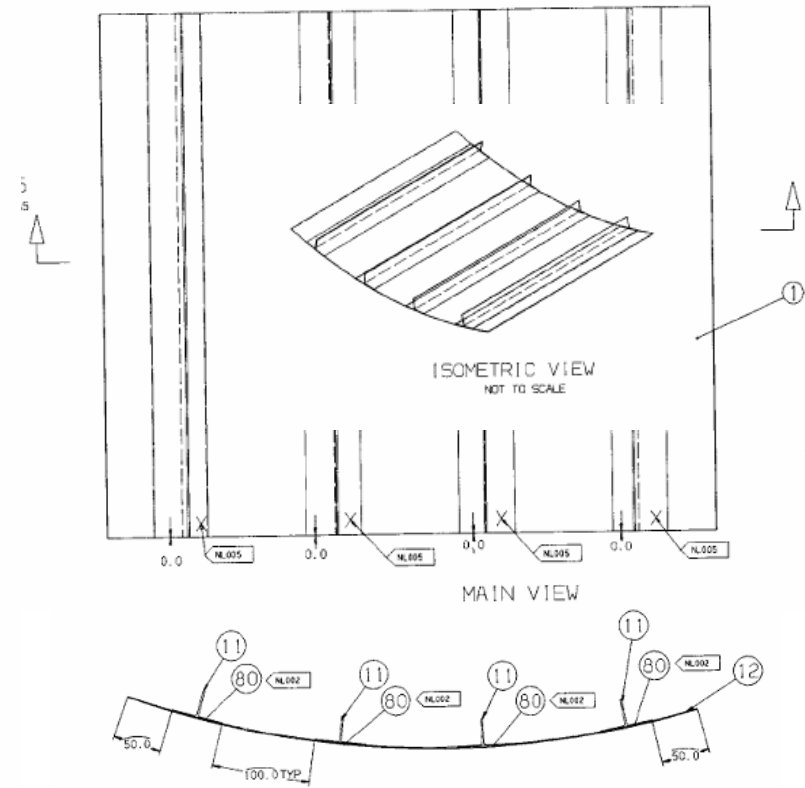
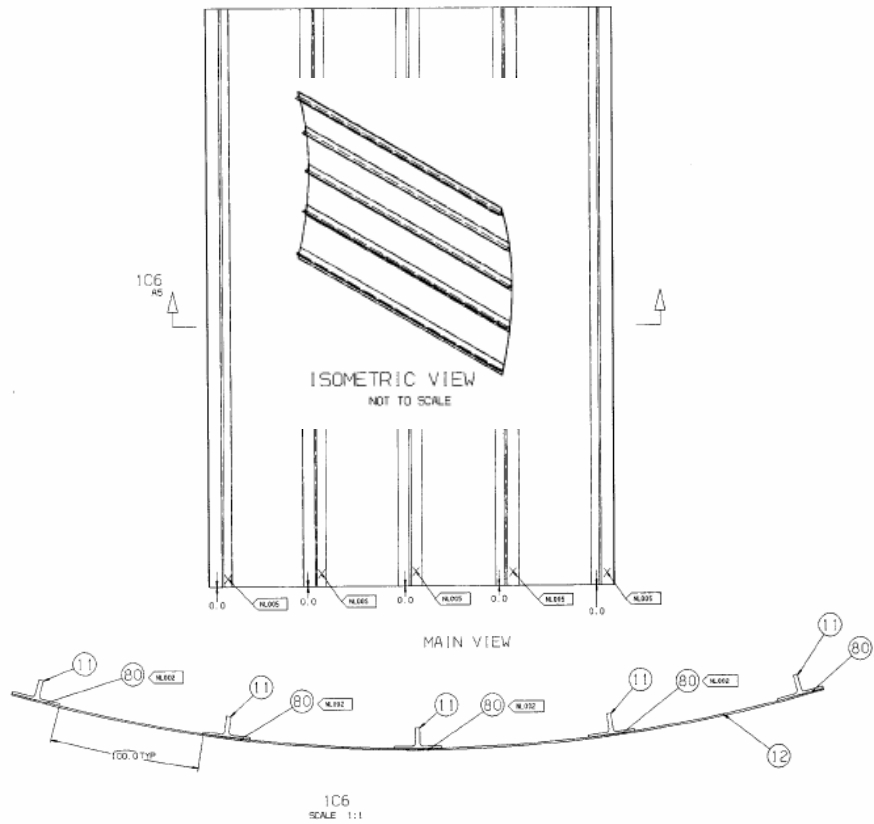
Ausgewählt: 6 Entwürfe

Beispiele	Entwurf 1	Entwurf 2
Länge	780 mm	520 mm
Breite (Bogenlänge)	560 mm	624 mm
Krümmungsradius	1000 mm	1000 mm
Zahl der Stringer	5	4
Stringerabstand	132 mm	156 mm
Lagenaufbau Haut	$[90,+45,-45,0]_S$	$[+45,-45,0,90]_S$
Lagenaufbau Stringer	$[(+45,-45)_3, 0_6]_S$	$[+45,-45,0_2,90_2]_S$
Material	Prepreg IM7/8552	Prepreg IM7/8552
Schichtdicke	0,125 mm	0,1524 mm
Stringerhöhe	14 mm	18,91 mm
Stringerfußbreite	32 mm	56 mm
Stringer-Haut-Verbund	Klebung: FM300	Klebung: FM300



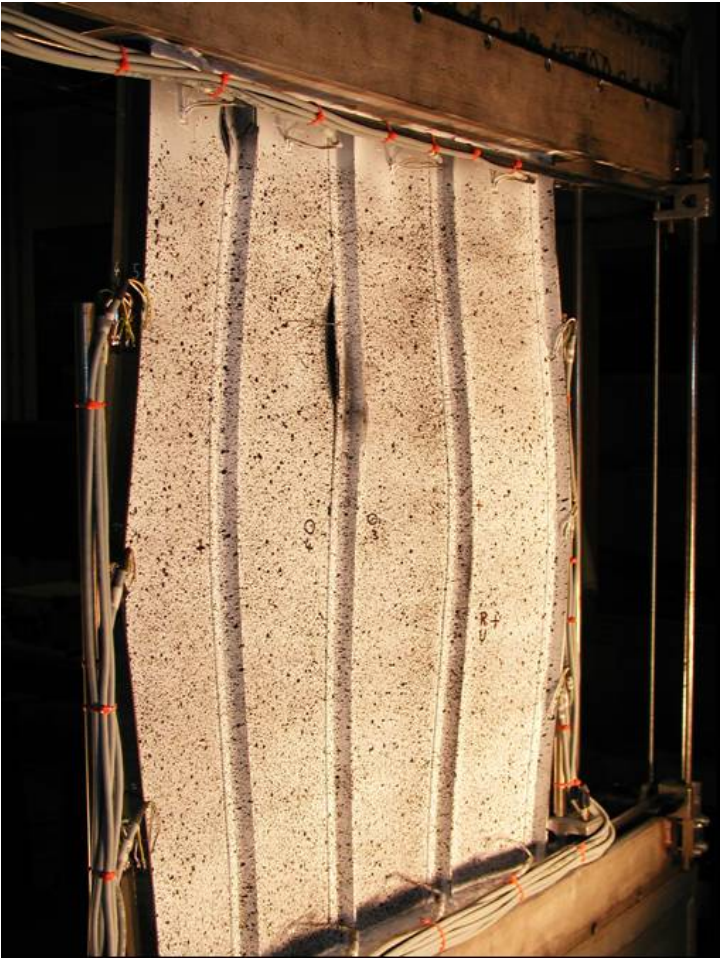
Entwurf 1

Entwurf 2





Entwurf 1



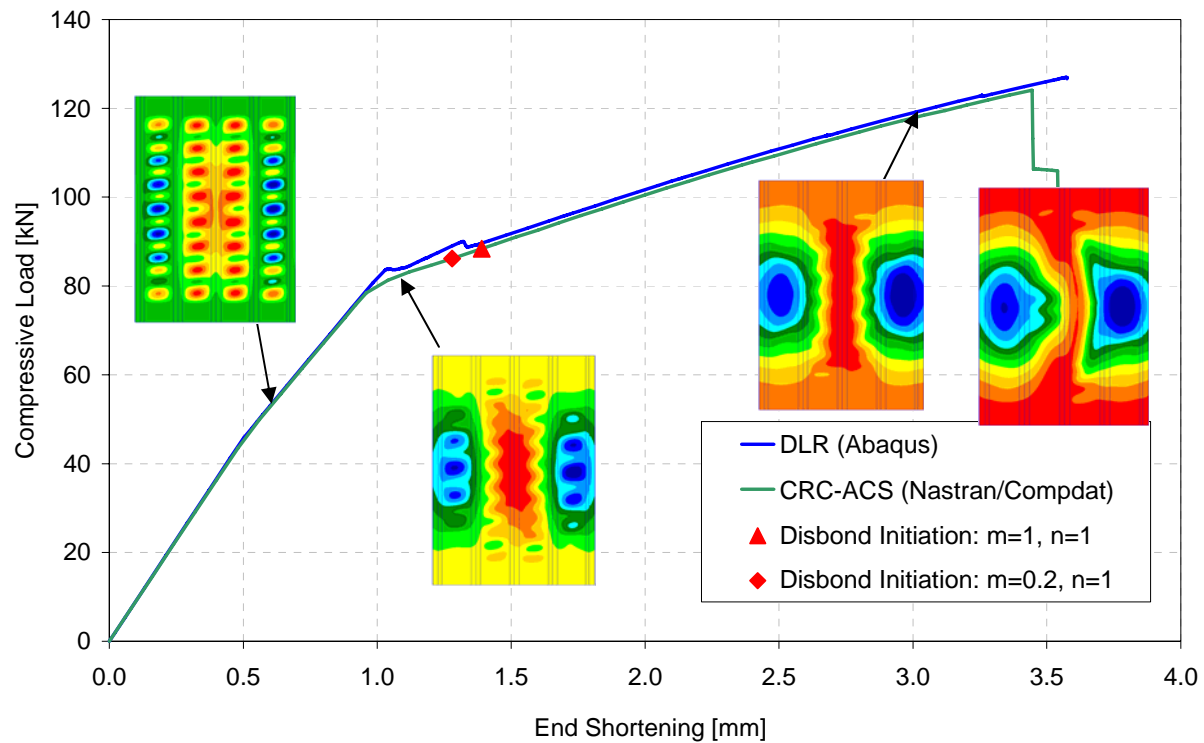
Nach Erreichen der
Versagenslast

Rechenprogramme und Versagenskriterien

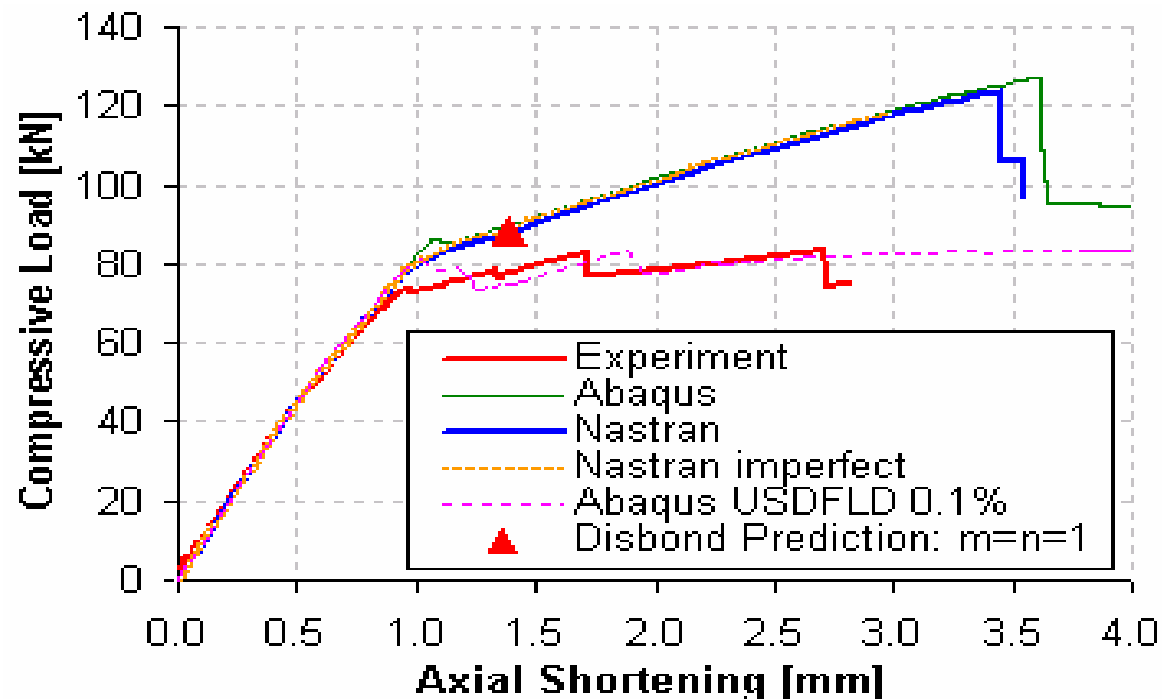
Institution	Programm	Typ der Analyse	Kriterium
POLIMI	ABAQUS Standard und Explicit	Nachbeulverhalten	Tsai-Hill, max stress, max strain
RWTH	POSICO (inhouse), Streifenmethode	Nachbeulverhalten	
DLR	ABAQUS Standard	Nachbeulverhalten und Haut-Stringer-Ablösung	Tsai-Wu, max normal stress, max shear stress, Puck
HAI	NASTRAN	Nachbeulverhalten und Haut-Stringer-Ablösung	Tsai-Wu, Klebschichtversagen
CSC-ACS	NASTRAN, COMPDAT (inhouse)	Nachbeulverhalten und Haut-Stringer-Ablösung	Bruchmech. Untersuchung (VCC) des Haut-Stringer Interfaces
GAMESA	MARC	Nachbeulverhalten und Haut-Stringer-Ablösung	Steifigkeitsreduktion, sobald Versagens-Index ≥ 1
IAI	NASTRAN	Nachbeulverhalten und Gefahr der Haut-Stringer-Ablösung	
FOI	STRIPE (inhouse), FE p-Version	Nachbeulverhalten	Energiefreisetzungsrate



Vergleich zweier Analysen für Paneel Entwurf 1



Erste Ergebnisse, Paneel Entwurf 1



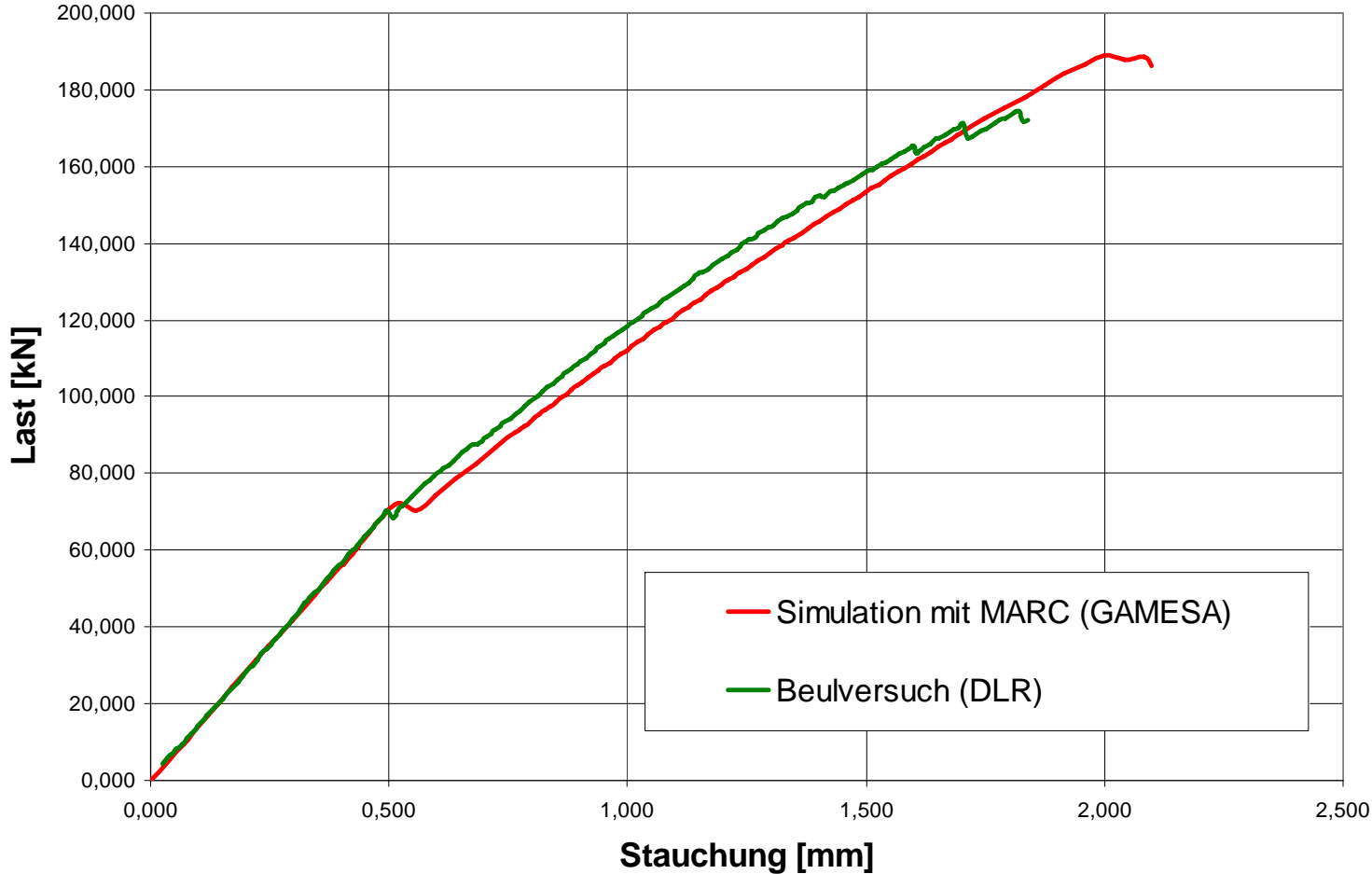
$$\left(\frac{G_I}{G_{Ic}}\right)^m + \left(\frac{G_{II}}{G_{IIc}}\right)^n = 1$$

Last-Stauchungskurve, Versuch und numerische Simulation

- **ABAQUS Standard**
mit USDFLD-Subroutine zur Simulation der Haut-Stringer-Ablösung(DLR)
- **NASTRAN**
mit Bestimmung des Beginns einer Haut-Stringer-Ablösung (CRC-ACS)



Erstes Ergebnis, Paneel Design 2





6. Erwarteter Nutzen

- Ergebnisse nutzbar für andere Flugzeugstrukturen
- Beitrag zur Reduktion der Entwicklungs- und Betriebskosten kurzfristig um 20%, längerfristig um 50%
- Stärkere Marktposition der europäischen Luftfahrtindustrie
- Konsequente Nutzung vorhandener Tragreserven durch Berücksichtigung des Degradationsverhaltens
- Erhebliche Reduktion des Strukturgewichtes ohne Verringerung der Sicherheit
- Geringere Entwurfs- und Nachweiszeiten




7. Weitergabe der Ergebnisse


- Trainingskurse in der Industrie
- Lehrveranstaltungen an Universitäten
- Zusammenarbeit mit Zulassungsbehörden
- Vorträge auf technisch-wissenschaftlichen Konferenzen
- Einrichtung einer Benutzergruppe
- Darstellung im Internet unter www.cocomat.de



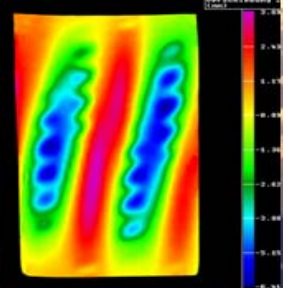


 **COCOMAT**
Improved **MAT**erial Exploitation
at Safe Design of **CO**mposite Airframe Structures by
Accurate Simulation of **CO**llapse

Specific Targeted Research Project (2004-2007)
funded by the European Community
Thematic Priority 4 - Aeronautics and Space



[Project Flyer](#) [Project Film](#) [Users Group](#) [Publications](#) [Conferences](#) [Forerunner Project POSICOSS](#) [Gender Equality Actions](#)



List of participants:

1. DLR
2. AGUSTA
3. GAMESA
4. Hellenic Aerospace Industry
5. Israel Aircraft Industries
6. PZL Swidnik
7. SAMTECH
8. SMR S.A.
9. CRC-ACS – Advanced Composite Structures Limited
10. FOI – Swedish Defence Research Agency
11. Karlsruhe University
12. Politecnico di Milano
13. Riga Technical University
14. RWTH Aachen
15. TECHNION

Co-ordinator:
Dr.-Ing. Richard Degenhardt
richard.degenhardt@dlr.de

Internet:

www.cocomat.de

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**

