

Deformationsmessungen mit MoveInspect HR an ultraleichten Raumfahrtstrukturen von Forschungssatelliten des DLR

16. AICON 3D Forum

Braunschweig, 5. März, 2015

Martin Zander

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt .e.V.

TU Braunschweig



Knowledge for Tomorrow



Inhalt

DLR – Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

- Forschungsthemen

Ultraleichte, entfaltbare Weltraumanwendungen

- Untersuchte Konzepte – Anwendungen

Experimentelle Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

- Versuchsziele & Problemstellung
- Versuchsprinzip, Messgrößen & Versuchsaufbau

Messergebnisse und Vergleiche

- Datenauswertung & Analyse
- Laser vs MoveInspect HR

Ausblick

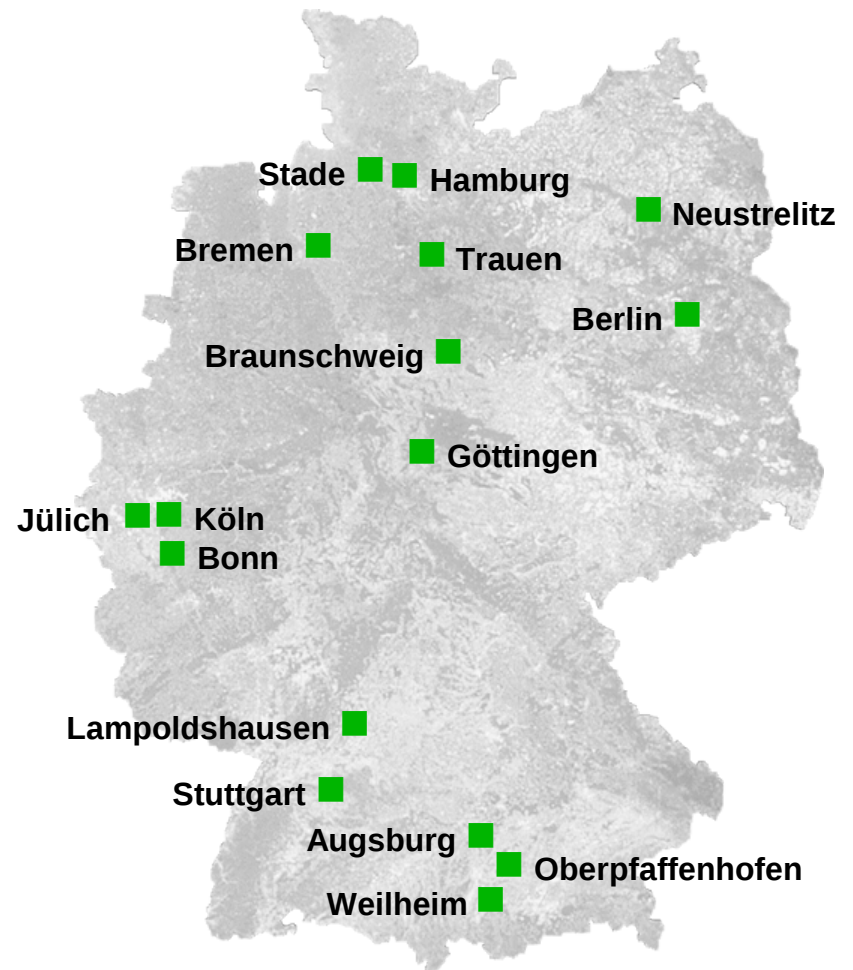


Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Standort und Personal

Circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 33 Instituten und Einrichtungen in
■ 16 Standorten.

Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.

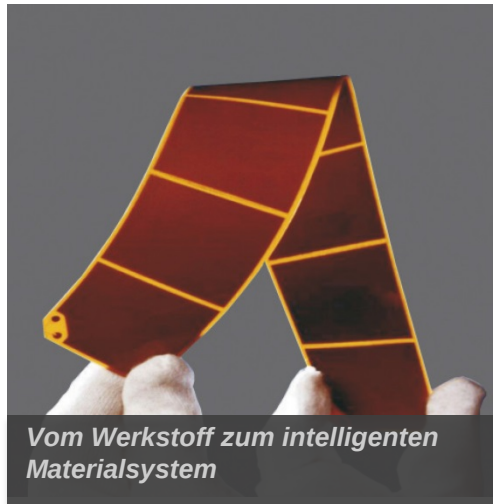


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (FA)

Multifunktionswerkstoffe

Dr. P. Wierach

Mehr Funktion in den Werkstoff

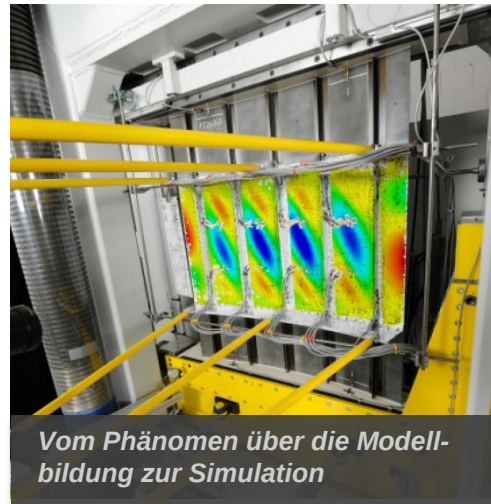


- Faserverbundwerkstoffe
- Nanocomposites
- Smart Materials
- Integrierte Bauteilüberwachung (Structural Health Monitoring)
- Werkstoffcharakterisierung

Strukturmechanik

Dr. T. Wille

Mit uns können Sie rechnen!



- Methoden des Gesamtentwurfs
- Stabilität
- Schadenstoleranz
- Strukturdynamik
- Thermalanalyse
- Multiskalenanalyse
- Prozesssimulation

Funktionsleichtbau

Dr. C. Hühne

Unser Design für Ihre Struktur!



- Entwurf, Konstruktion, Berechnung
- Bauweisen und Bewertung
- Multifunktionale Strukturen
- Formvariable Strukturen
- Hybride Strukturen

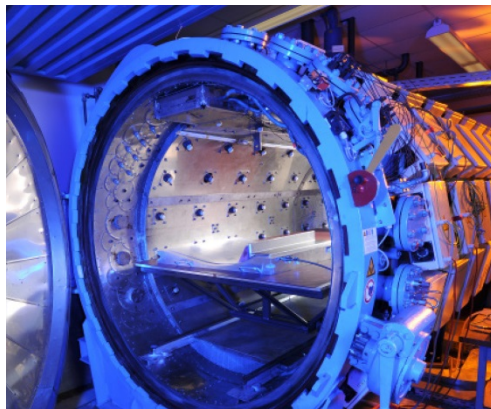


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (FA)

Faserverbund-technologie

Dr. M. Kleineberg

Maßgeschneiderte
Fertigungskonzepte



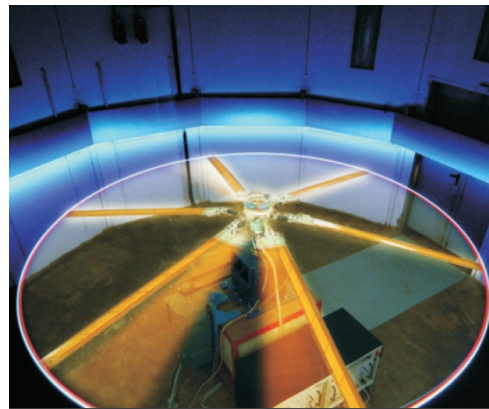
*Von der Idee bis zum Prototypen
und darüber hinaus*

- Neue Fertigungs-Verfahren
- Hybride Fertigung
- Reparatur / Fügen
- Prozessautomatisierung

Adaptronik

Dr. H. P. Monner

Die Adaptronik-Pioniere



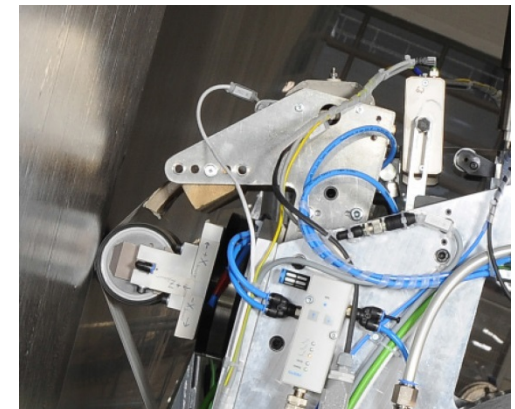
*Von der Struktur zum adaptiven
System*

- Aktive Vibrationsunterdrückung
- Aktive Lärmreduktion
- Aktive Gestaltkontrolle
- Autarke Systeme
- Simulation und Demonstration adaptiver Gesamtsysteme

Verbundprozess-technologie

Dr. F. Kruse

Forschen im Industriemaßstab



*Für den nachhaltigen
Gesamtprozess*

- Automatisiertes FP und TL
- Online QS im Autoklaven
- automatisierte Bauteilherstellung in großen Stückzahlen
- Simulationenmethoden für maximale Zuverlässigkeit und Bewertung der Prozesse

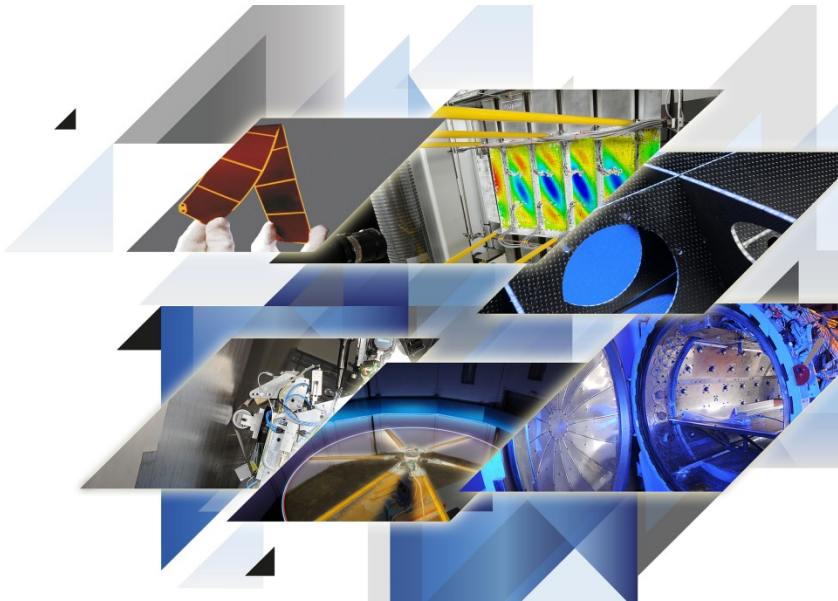


Unsere Forschungsgebiete

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Materialsystemen und Strukturen im Leichtbau zielen auf **Funktionalität • Kosteneffizienz • Sicherheit • Komfort • Umweltverträglichkeit**

Zukunftsforschung

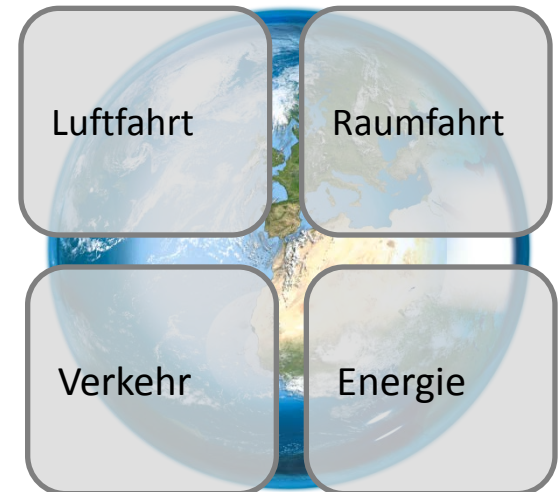
Grundlagenorientierte Forschung



Anwendungsforschung

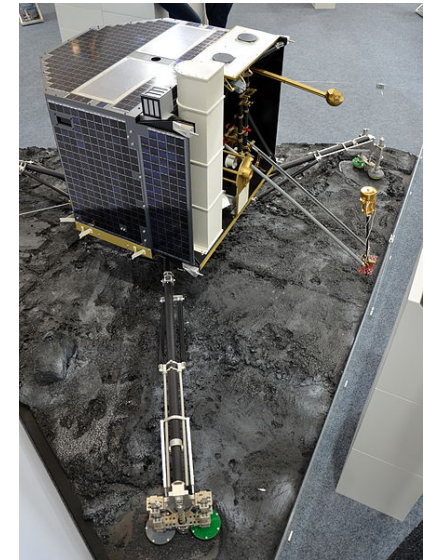
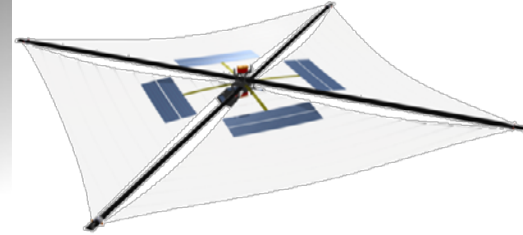
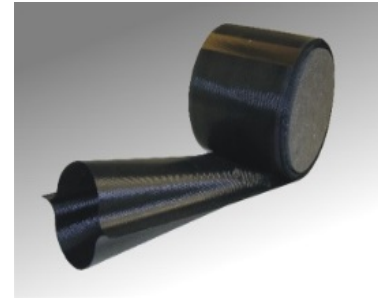
Produktorientierte Forschung

Hochleistungsleichtbau



Raumfahrtstrukturen am Institut FA

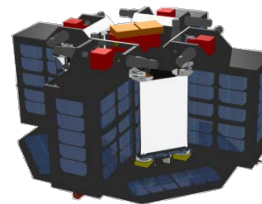
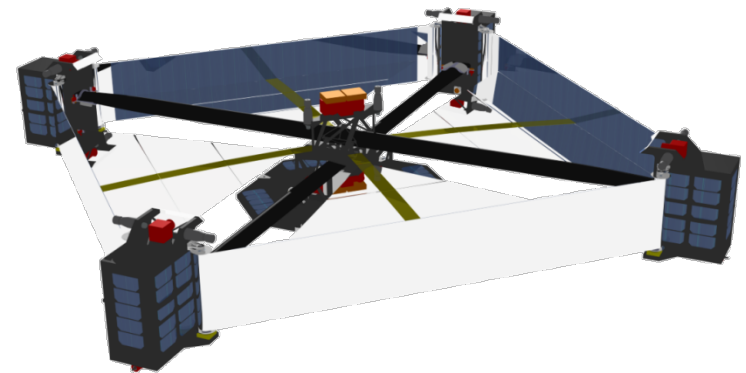
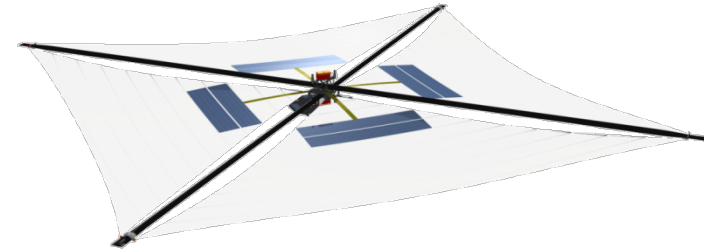
- Modifikationen und Materialkombination von CFK-Hybriden
- Strukturauslegung von Raketenstufen aus CFK
- Auslegung, Berechnung und Herstellung von Lander-Strukturen für Asteroiden und Kometen
- Auslegung, Berechnung, Bau und Versuche von entfaltbaren, ultra-leichten Strukturen für Sonnensegel, De-Orbitierungs-Segel, Solarpanele und Membranantennen
- CFK-Tanks für Forschungssatelliten



Entfaltbare, ultra-leichte Weltraumstrukturen am DLR

Konzept Sonnensegel Gossamer-1:

- In-Orbit Technologie Demonstrator
- 5 m x 5 m quadratisches Segel
- 4 Folien-Segel-Quadranten (7,5 μm dünn)
- 2 ca. 8,6 m lange, entfaltbare, ultra-leichte CFK-Masten (Booms), 40 g/m
- Segelquadranten und Booms werden durch elektr. Entfaltungseinheiten
- Geplante Entfaltungsdemonstration in 320 km Höhe (LEO)
- Zukünftig:
 - 50 m x 50 m und größer

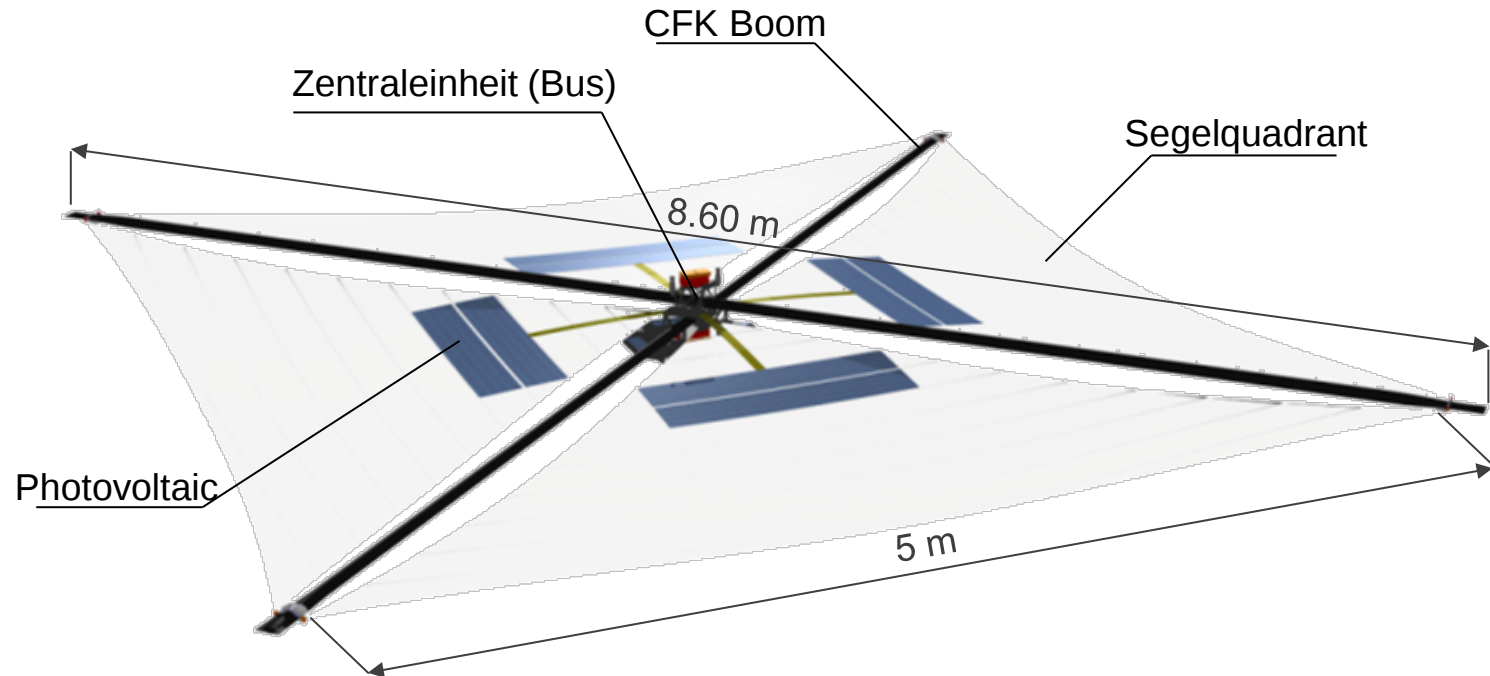


Gossamer-1
ein Sonnensegel-Forschungssatellit



Entfaltbare, ultra-leichte Weltraumstrukturen am DLR

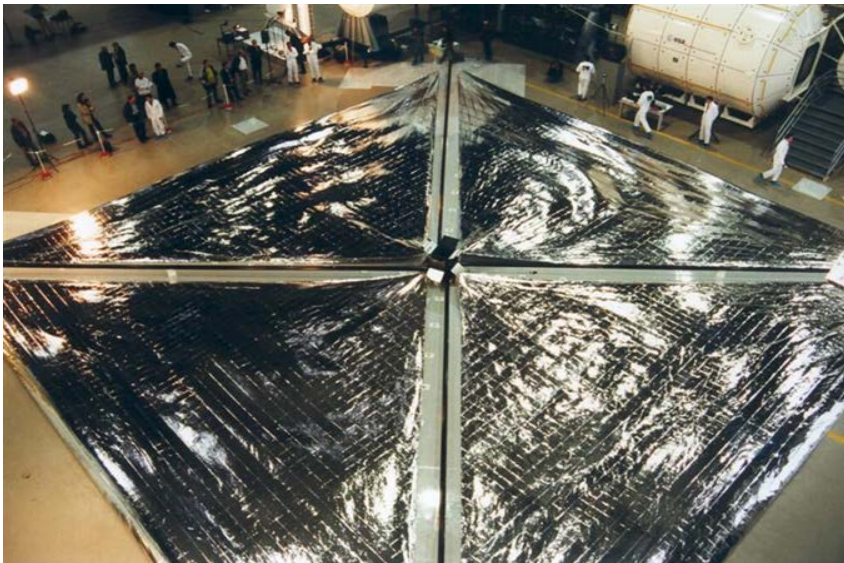
Sonnen-Segel Demonstrator Gossamer-1



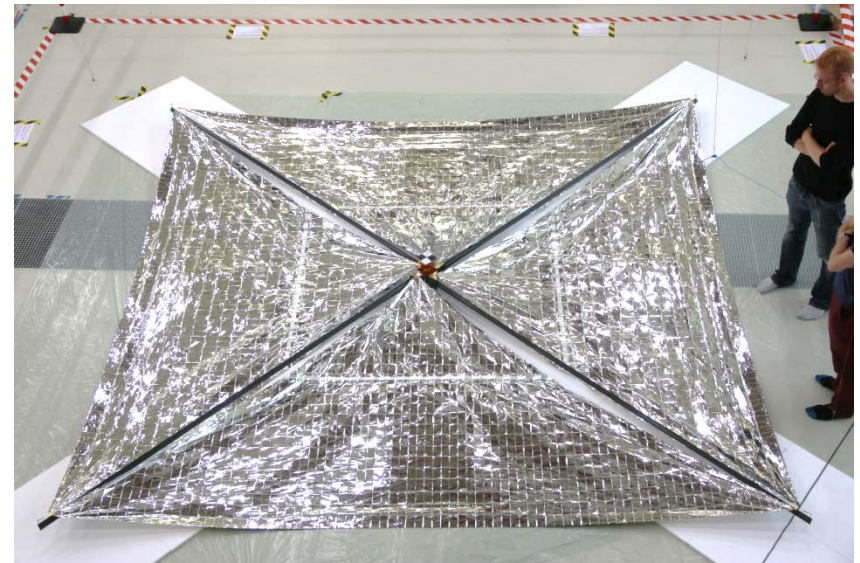
Entfaltbare, ultra-leichte Weltraumstrukturen am DLR

Entfaltungsversuche am Boden

- Diverse Entfaltungsversuche mit verschiedenen großen Segel-Systemen
- Booms sind tragende Struktur bei allen Segel Systemen (am DLR entwickelte)



20 m x 20 m Bodendemonstrator DLR/ESA



4 m x 4 m Bodenentfaltung eines De-Orbitierungs Segels



Entfaltbare, ultra-leichte Weltraumstrukturen am DLR

Tragende Strukturen – Masten (Booms)

Entfaltbare, ultra-leichte CFK-Masten

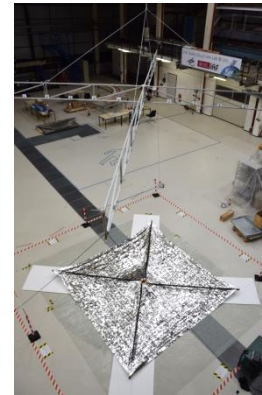
- Derzeit aus einlagigem CFK-Prepreg gefertigt (ca. 0,14 mm Dicke)
- Fertigbare Längen von > 1m bis 14 m
- Diverse Querschnittsgrößen
- Längengewichte von 20 bis 90 g/m
- Autoklavlose Fertigung
- Verstauen zum Transport:
 - Flachdrücken + Aufrollen



Entfaltbare, ultra-leichte Weltraumstrukturen am DLR Fertigung und Versuche

DLR Space Structures Lab @ Uni

- Enge Kooperation mit Partnerinstitut IAF- Institut für Funktionsintegration und Adaptronik, der TU Braunschweig
- Hier Fertigungs- und Versuchsanlagen
- Bündelung von Kompetenz für Entfaltbare Weltraumstrukturen von DLR und TU BS



DLR Space Structures Lab @ Uni
Fertigungs- u. Versuchslabor

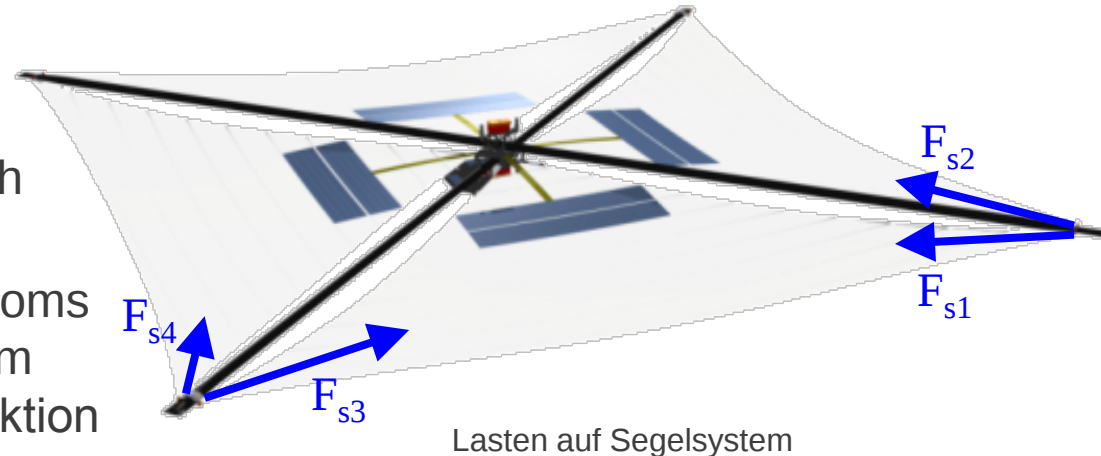


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Problemstellung & Versuchsziel

Auftretende Boom-Lasten:

- Symmetrisch im Idealfall
- Asymmetrisch im Real-Fall
- Deformation der Booms durch Lasten
- Kann zum Einknicken der Booms führen → Segel-Boom-System kollabiert → Verlust Segelfunktion



Ziel:

- Mechanische Charakterisierung der Booms
- Nutzung der gewonnenen Daten zur Vorhersage

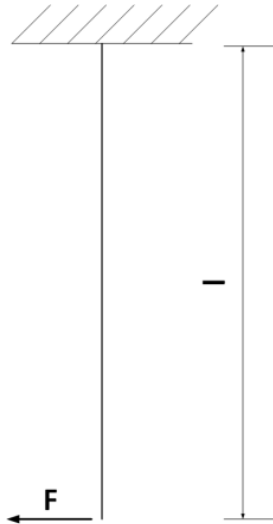


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

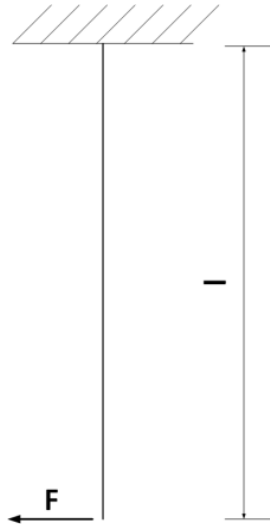
Boomlasten

- Primäre Lasten auf Booms entstehen während der Entfaltung und zum Spannen der Segel während des Betriebes
- Kombinationen aus Primärlasten

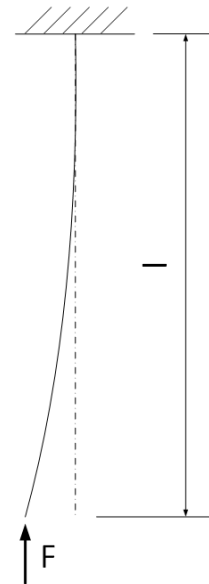
Querkraft-Biegung in Flachebene (Fx)



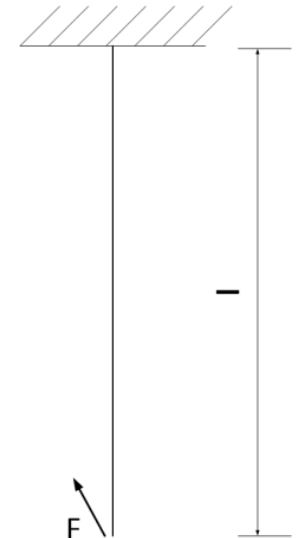
Querkraft-Biegung aus der Flachebene (Fy)



Axialer Druck (Fz)



Kombination: Querkraftbiegung + axialer Druck

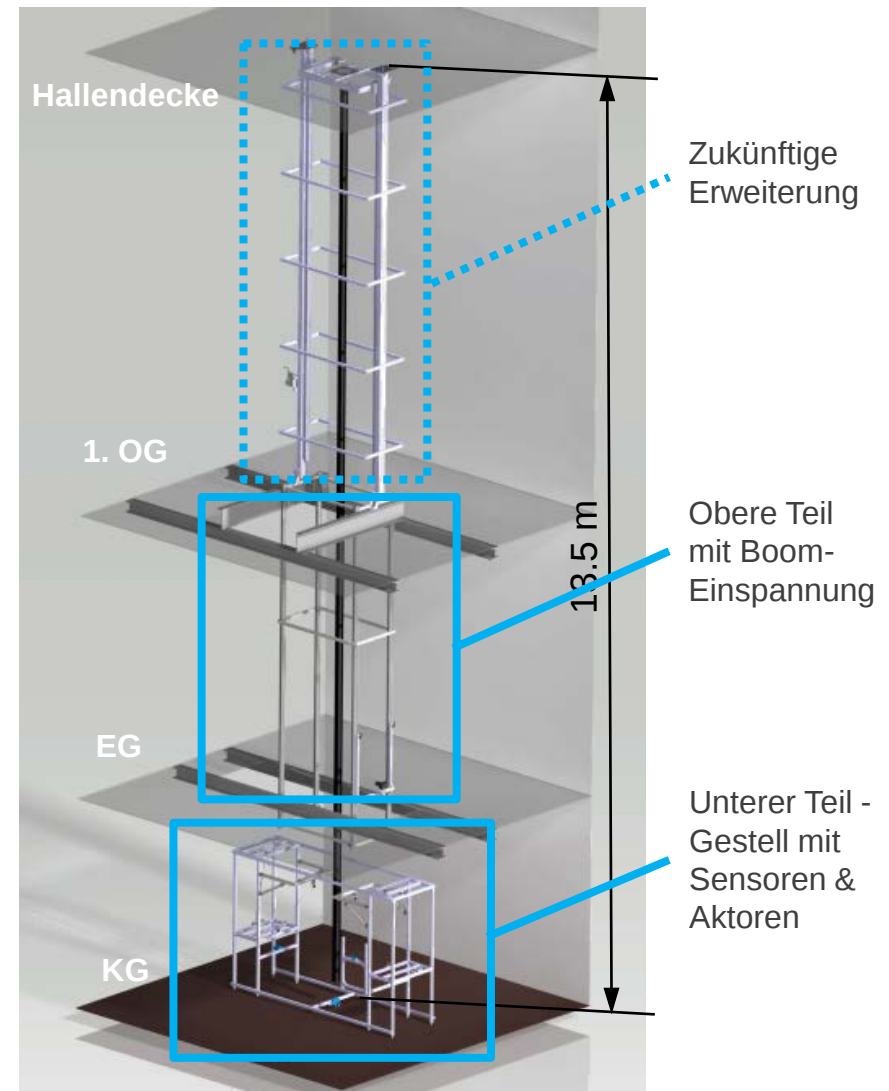


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Boom Teststand

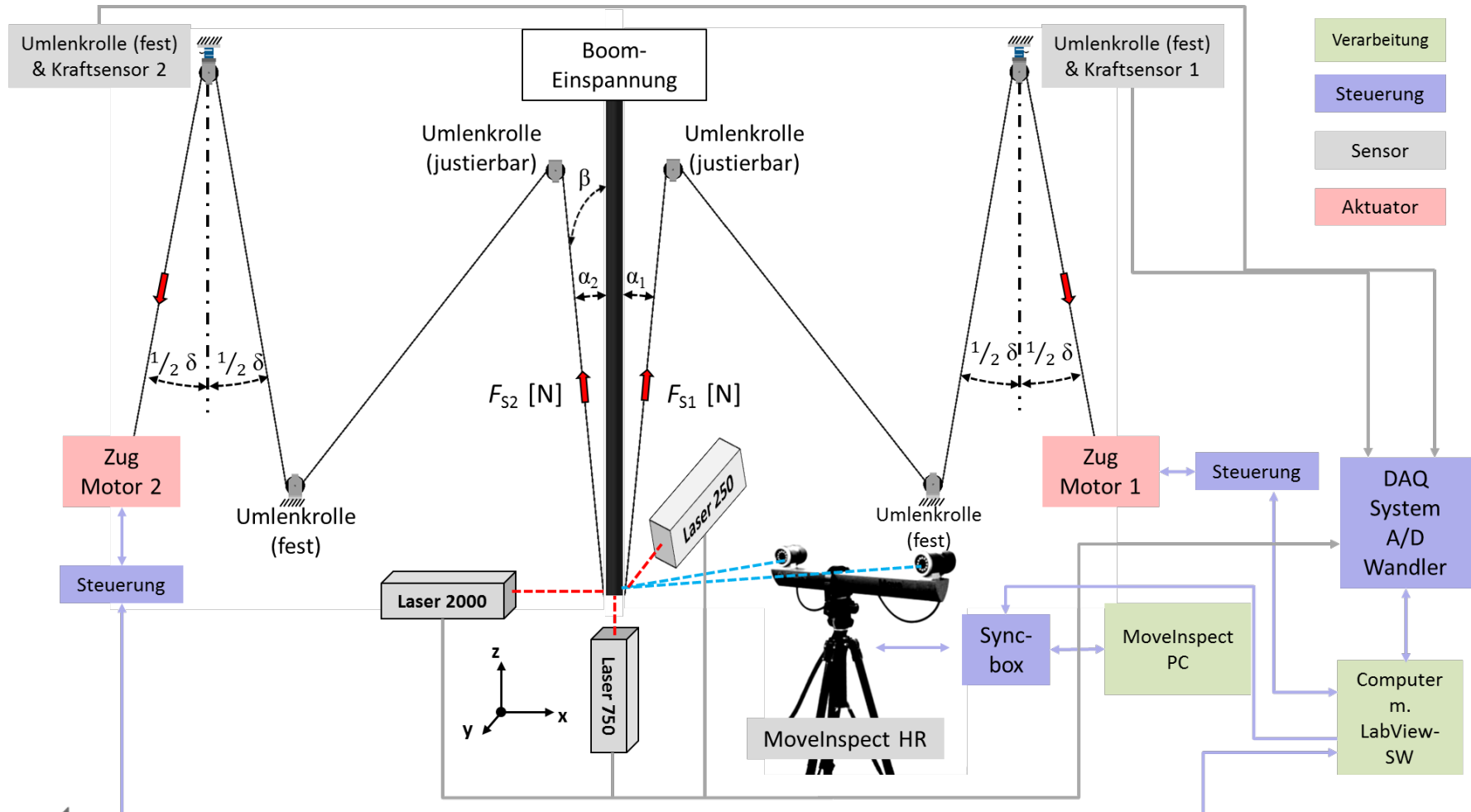
Versuche im vertikalen Boom-Teststand

- Über 2 Etagen (zukünftig 3 Etagen)
- Boomlängen von 1 m bis 6 m getestet
- Verschiedene Boom-Querschnitte
- Nutzung des MoveInspect HR (2 Kameras)
- Messfrequenz: 8 Hz
- MoveInspect HR von externem PC getriggert
- Zusammenführung von Messdaten über Textdateien in Excelvorlagen
- Messung von Translationen u. Rotationen in allen Raumrichtungen
- Vergleichsmessungen mit Lasertriangulatoren



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

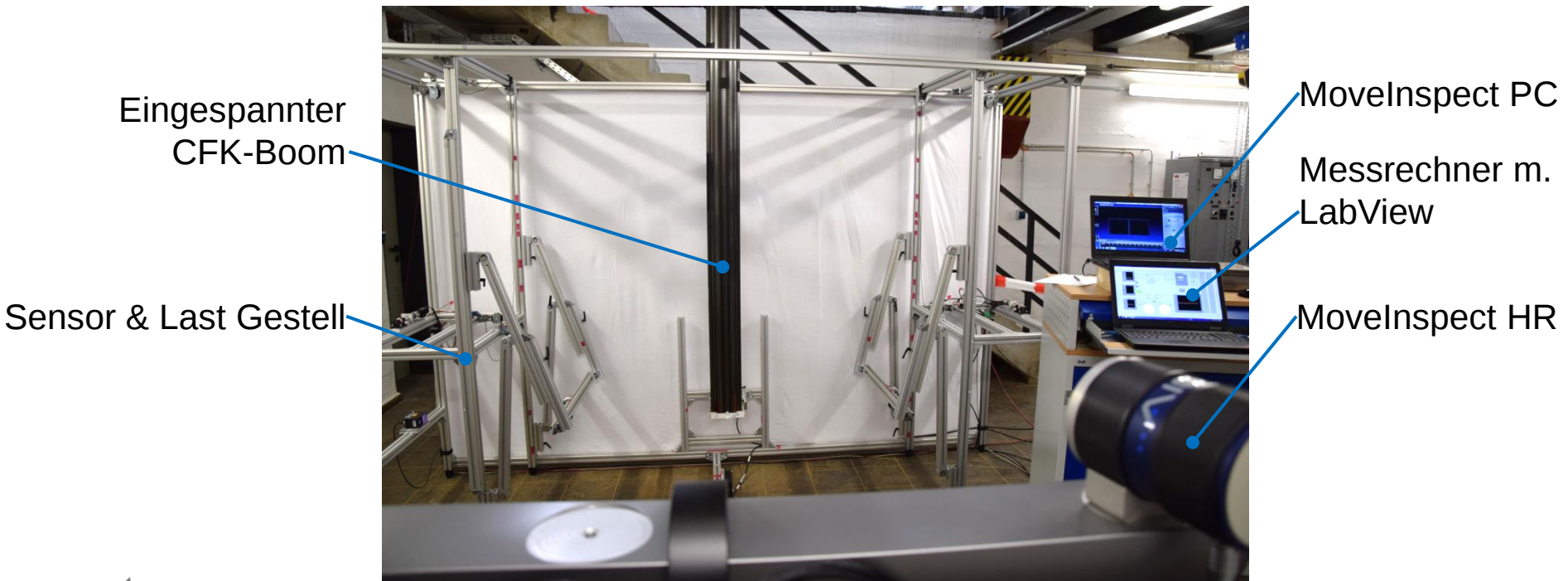
Boom Teststand



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Boom Teststand

- Unterer Teil des Boom Teststandes ist der messende und Kraftaufbringende Teil des Teststandes
- Auslegerarme sind verstellbar und können an benötigten Kraftangriffswinkeln angepasst werden



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Boom Teststand

- Obere Teil des Boom Teststandes (auf EG)

Boom-Einspannung
an höhen-
verstellbarem Tisch



Oberes Gerüst
(EG) mit
Tischführungen

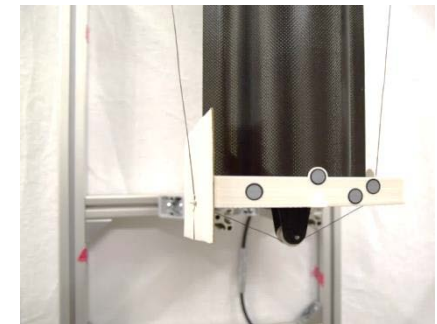
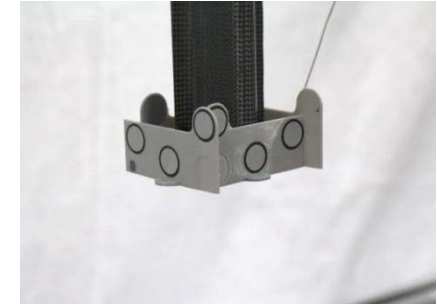


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Boom Teststand

Last-Adapter mit Targets:

- Zur Lasteinleitung in dünnwandige Booms mit Querschnittfixierung
- Zur 3D-Deformationsmessung der Boomspitze
- Mit 3D-Drucker aus Kunststoff
- Über Targets virtueller Mittelpunkt der Boomspitze definiert
- Zusätzliche Schirme für Lasermessung
- Translationen + Rotationen messbar
- Für jeden Boomquerschnitt
- Für verschiedene Belastungen (symmetrisch, asymmetrisch) unterschiedliche



Adapter für verschiedene Boomquerschnitte



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Lastaufbringung

Querkraft-Biegung:

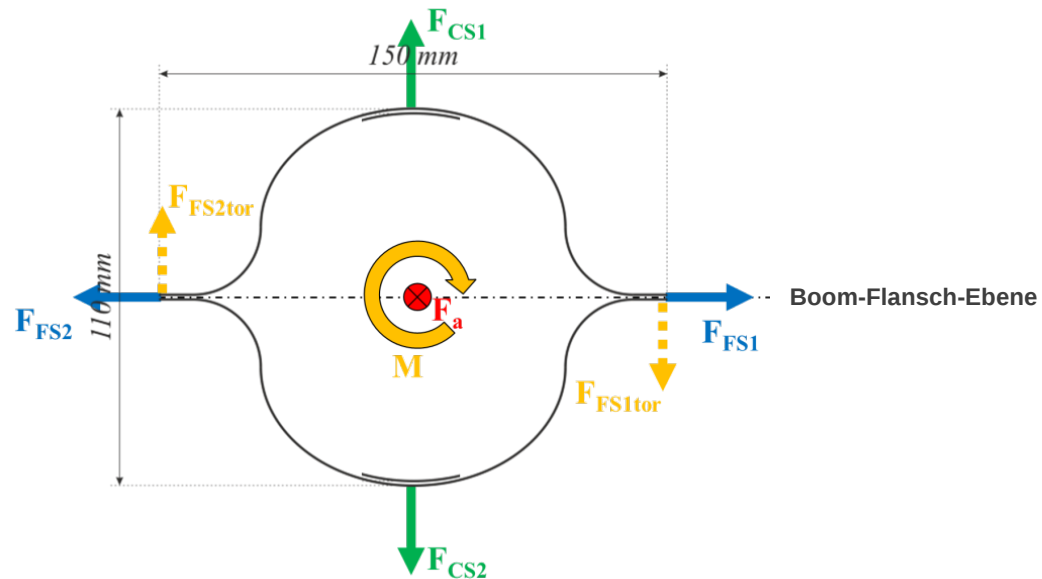
- Steifigkeitsbestimmung
- Max. Last und Auslenkung
- In beide **Flansch Seiten**
- In beide **Konvexe Seiten**

Torsion:

- Steifigkeitsbestimmung

Uni-Axialer Druck:

- Steifigkeitsbestimmung
- Max. Last und Auslenkung



Aufgebrachte Lastarten an Booms

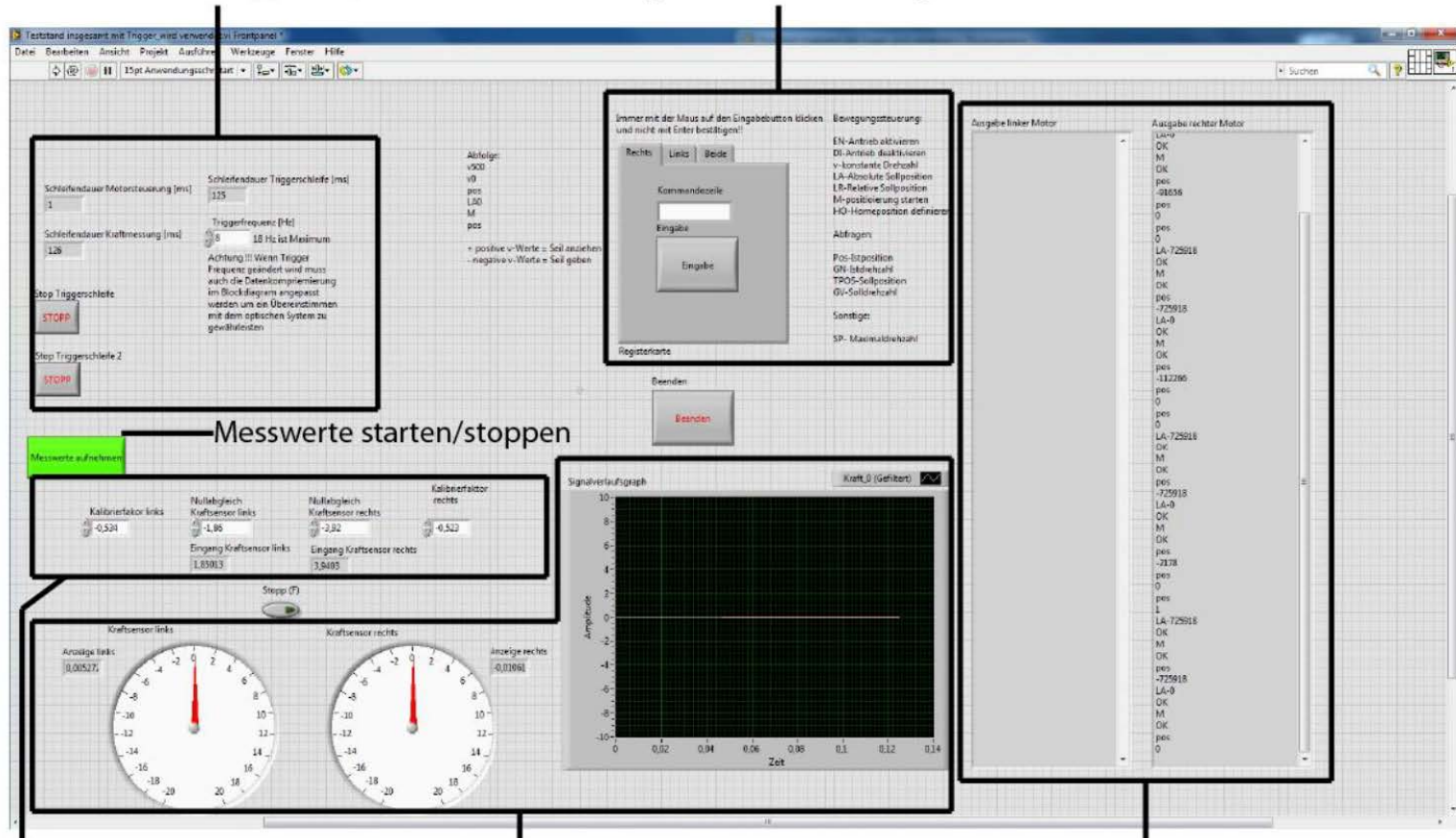


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Versuchsdurchführung

Einstellen der Triggerfrequenzen

Eingabe Motorsteuerung



Einstellen der Kraftsensorparameter

Anzeige der Kraftwerte

Ausgabe Motorsteuerung

Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Versuchsdurchführung

The screenshot displays the MoveInspect HR software interface. The main window shows two 3D views of a structure with measurement points. The left view is a top-down perspective, and the right view is a side perspective. A red crosshair is visible in the center of the structure in both views. The bottom of the interface features a data table with the following columns: Name, X [mm], Y [mm], Z [mm], RotX [gon], RotY [gon], RotZ [gon], Rot. Abfolge, Sx [mm], Sy [mm], Sz [mm], SRotX [gon], SRotY [gon], and SRotZ [gon]. The table contains two rows of data.

	Name	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	RotX [gon]	RotY [gon]	RotZ [gon]	Rot. Abfolge	Sx [mm]	Sy [mm]	Sz [mm]	SRotX [gon]	SRotY [gon]	SRotZ [gon]
1	Boom-Tip	-0.52	56.99	77.39	0.02	0.07	-0.01	XYZ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2														

The right sidebar contains control buttons for 'Messung' (Measurement), 'Verbindung' (Connection), 'Trigger' (Stop, Einzeln), 'Modus' (Measurement, Positioning, Manual), 'Referenz' (Aktivieren, Reset), 'Status Details', 'Manuelle Messung' (Aktivieren), and 'Sessions und Projekte'. The bottom status bar shows the time 09:56 and date 18.12.2014.



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Messergebnisse & Vergleiche

Messgrößen/Ergebnisse:

- Bilder von Knick/Beulverhalten
- Versagensstelle (gemessen von Einspannung)
- Seilkräfte
- Auslenkungen in X, Y, Z Richtungen, RotX, RotY, RotZ aus MoveInspect
- Auslenkungen aus Lasermessungen (X, Y, Z)



Boom Deformationen

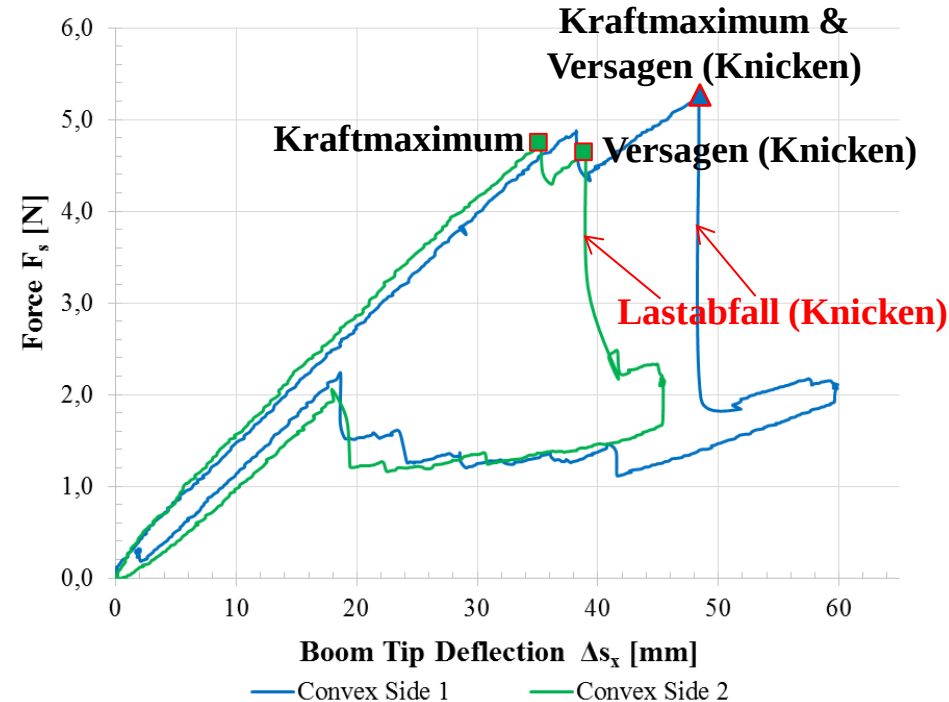


Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

Messergebnisse & Vergleiche

Analyse:

- Zusammenführen aus MoveInspect-Daten, Laser-Daten und Kraftsensordaten in Excelvorlagen
- Charakteristische Kraft-Auslenkungsdiagramme werden erzeugt
- Anfangs linear elastisches Verhalten (Berechnung v. Steifigkeiten)
- Erstes Beulen der Boomschalen (lokal) – nicht-linear
- Erreichung des Kraftmaximums
- Versagen (Knicken) tritt ein
- Nach Wegverringern wieder lineares Verhalten



Charakteristisches Kraft-Auslenkungsdiagramm



Deformationsmessungen mit MoveInspect HR

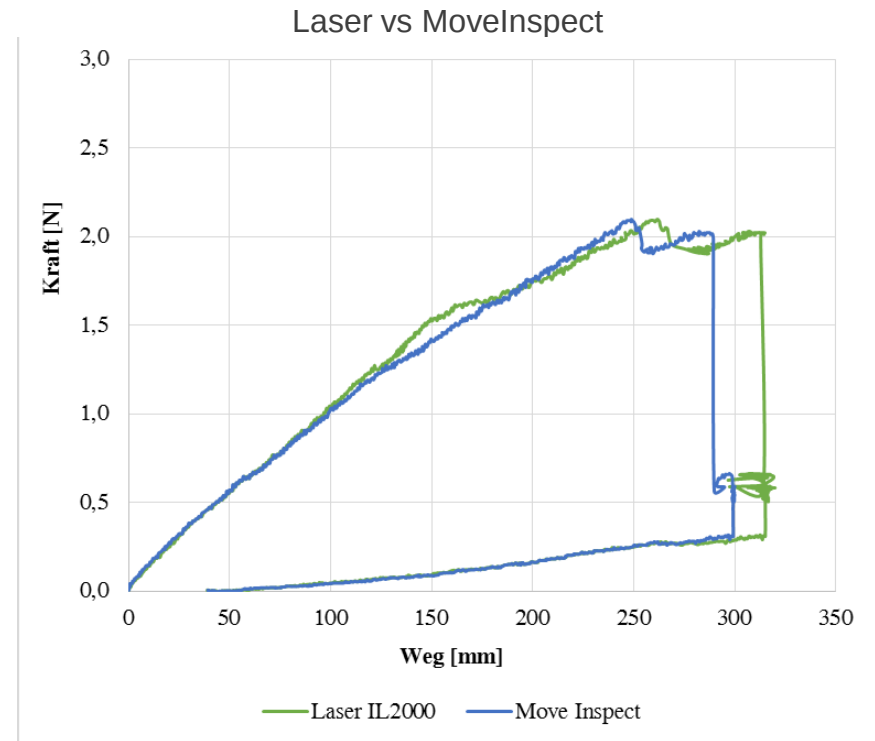
Messergebnisse & Vergleiche

Laser vs MoveInspect:

- Lasertriangulator misst nur 1 Richtung
→ 3 Laser notwendig
- Verkippen der Laser-Reflektionsschirme
→ steigender Einfluss bei größeren Auslenkungen
- Laser-Messfläche wandert aus Messachse bei steigender Auslenkung → Nachstellen notwendig
- Laser hat höhere Messfrequenz (für dynamische Ereignisse geeignet – Schwingungsanalyse)

Fazit:

- MoveInspect HR für Boomversuche wesentlich geeigneter und genauer
- Laser für sehr kleine Auslenkungen bzw. Schwingungsversuche

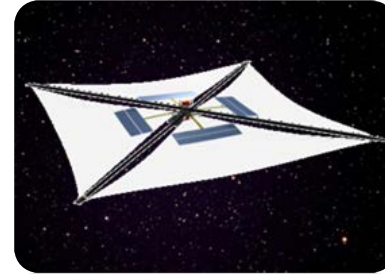
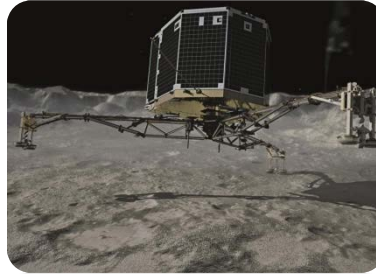


Ausblick

- Weitere Messungen von verschiedenen Booms geplant
- Nach Erweiterung des Boom-Versuchsstandes Charakterisierung von 13,5 m langen Booms
- Anpassung und Anbindung von LabView Software an MoveInspect Software → Online Zusammenführung von Messdaten auf einem Rechner
- Automatische Rohdatenauswertung mit Matlab bzw. Python-Skripten
- Anwendung von MoveInspect HR auf andere Hardware-Tests z.B. Boom-Entfaltungsversuchen



Kontakt



Martin Zander

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik | Funktionsleichtbau

Lilienthalplatz 7 | 38108 Braunschweig

Telefon: +49 531 295 - 2316

Email: Martin.Zander@dlr.de

Technische Universität Braunschweig

Institut für Adaptronik und Funktionsintegration

Langer Kamp 6 | 38106 Braunschweig

Telefon: +49 531 295 - 2316

Email: Martin.Zander@tu-braunschweig.de



Knowledge for Tomorrow