

Sensor systems for probabilistic process modelling of large composite parts

DLRK

Braunschweig, September 15, 2016

German Aerospace Center (DLR)

Institute of Composite Structures and Adaptive Systems

Department of Composite Technology

Birgit Wieland, Lars Trampe,
Nico Liebers



Knowledge for Tomorrow



Inhalt

- Motivation
- Einleitung
- Prozessmodellierung Faservolumengehalt
- Toleranzmanagement für Faserverbundgroßbauteile
- Zusammenfassung und Ausblick

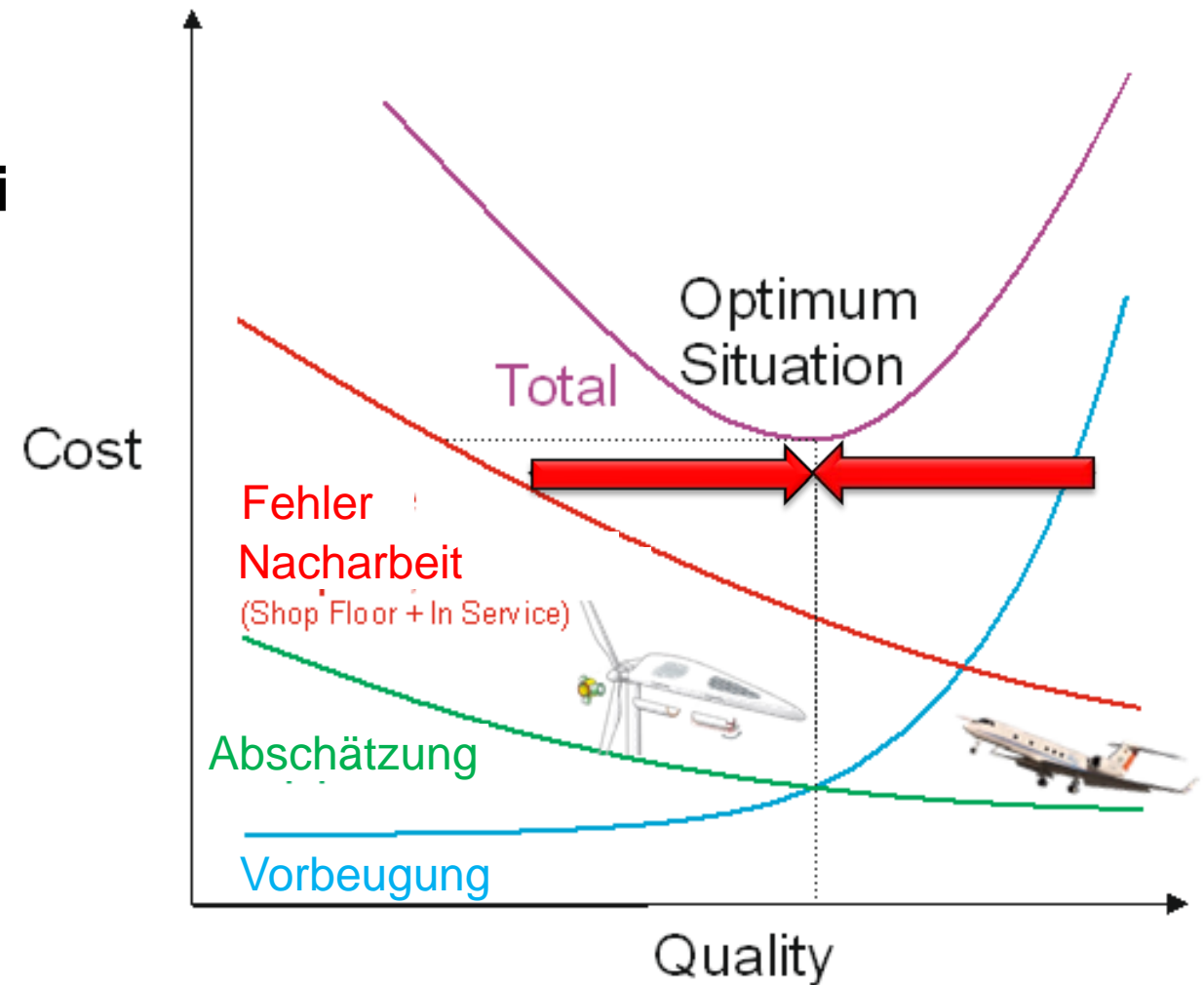


Motivation

Ziel: Maximal nötige Bauteilqualität bei minimal möglichen Kosten

- Reduktion von Nacharbeit und Reparatur
- Reduktion des Einflusses der Störgrößen
 - a) Hohe Sicherheitsfaktoren
 - b) Enge Toleranzfelder
 - c) Toleranzmanagement

Prozessmonitoring und Prozessmodellierung



Schematische Darstellung: Verhältnis Produktionskosten zu Bauteilqualität

Einleitung - Das Beispiel

Rotorblätter für Windenergieanlagen:

Abmaße:

- Länge >80m
- Max. Blatttiefe >5m

Bestandteile

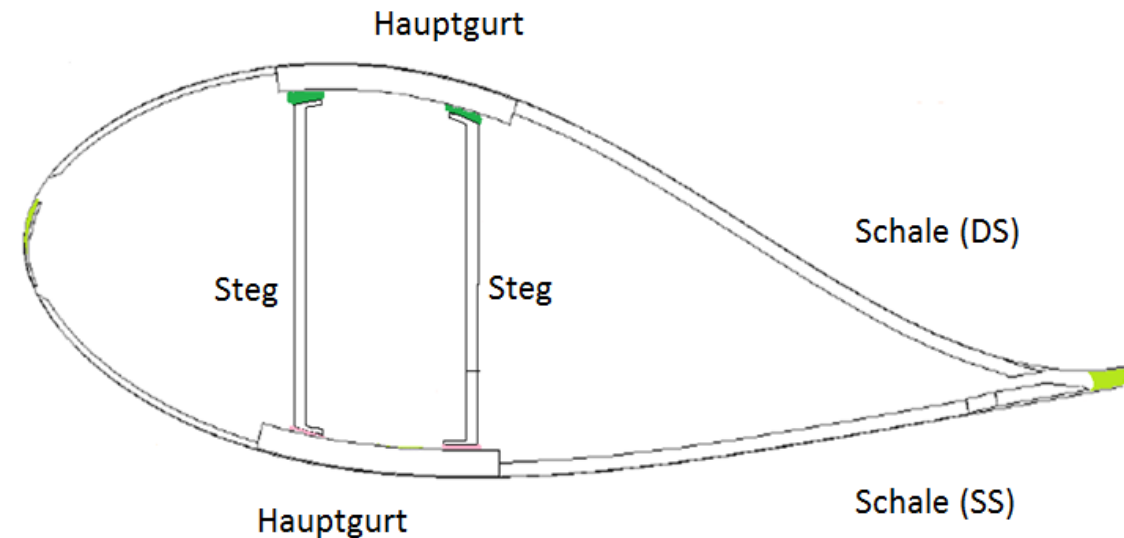
- Schalen (Sandwichmaterial)
- Hauptgurte (UD-Glas, UD- Kohle)
- Steg(e) (Sandwichmaterial)

Herstellung:

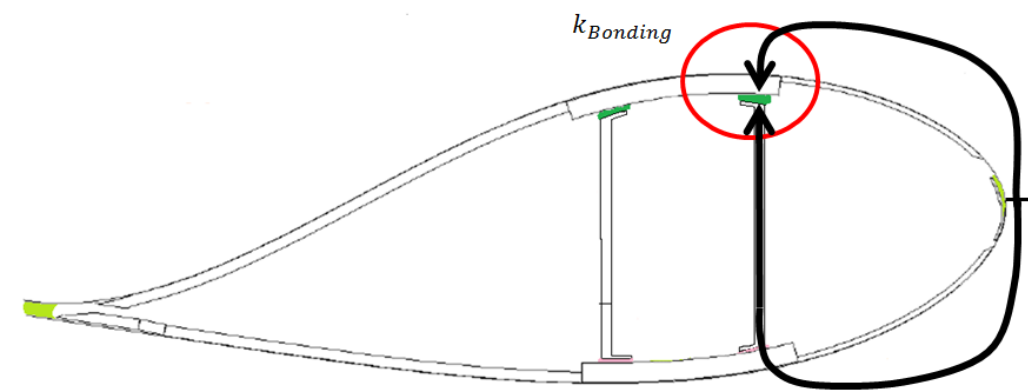
- Infusion
- Einseitig beheizbare Werkzeuge

Verklebung eines Rotorblattes

Schlüsselcharakteristik $k = 1-15\text{mm}$



Querschnitt eines Rotorblattes nach [2]



Toleranzkette und Schlüsselcharakteristik



Einleitung - Toleranzmanagement

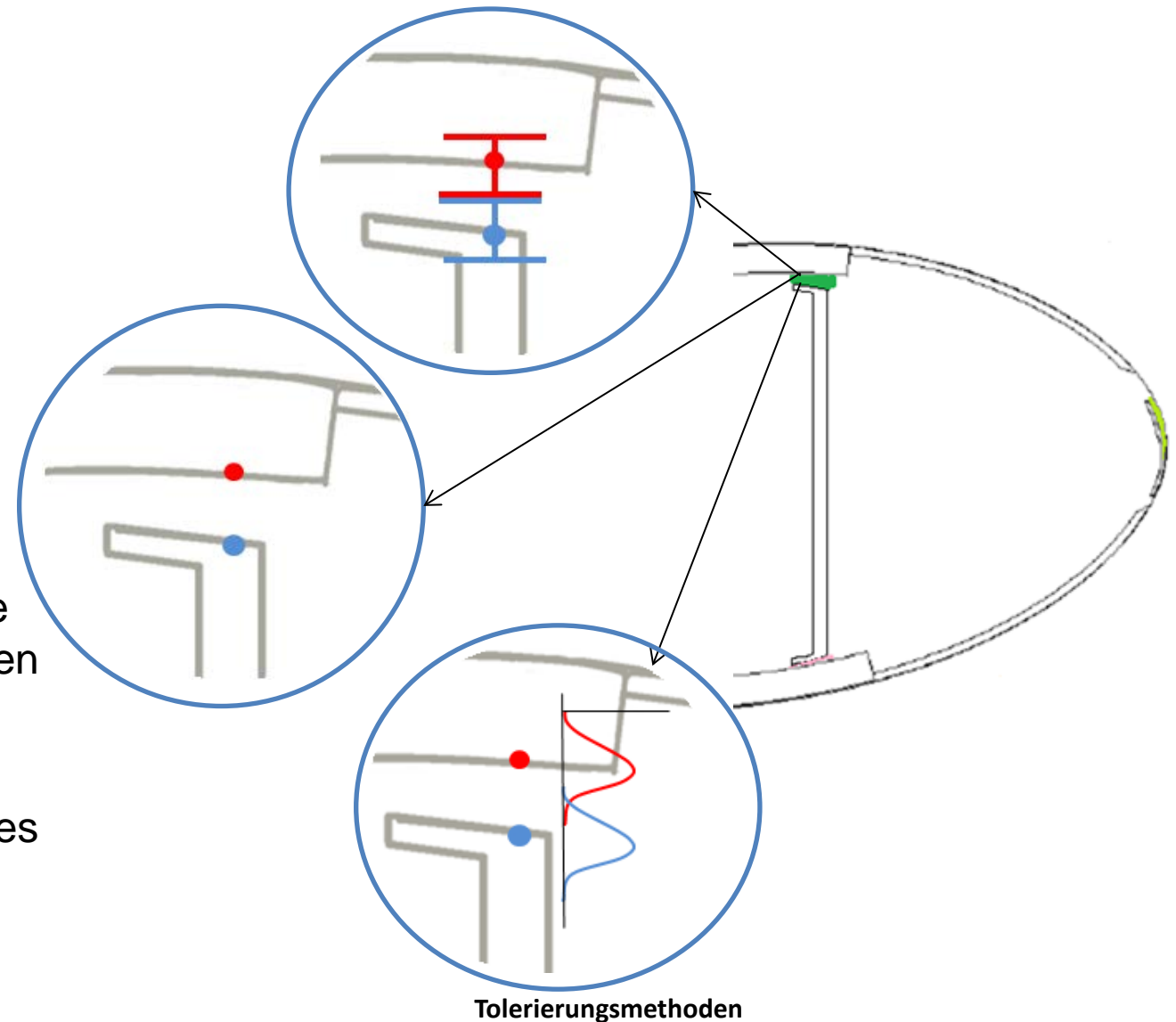
Tolerierungsmethoden

- Arithmetisch
- Zufällig
- Statistisch

Toleranzmanagement:

Optimierung eines Herstellungsprozesses auf eine Schlüsselcharakteristik mit dem Ziel der präventiven Fehlervermeidung

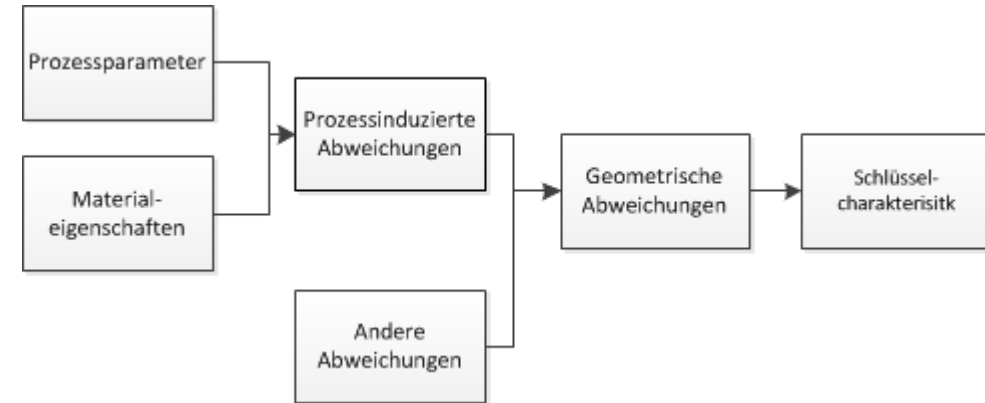
Ziel der Toleranzbetrachtung ist die Darstellung des Einflusses aller Eingangsparameter in der physikalischen Größe der Schlüsselcharakteristik



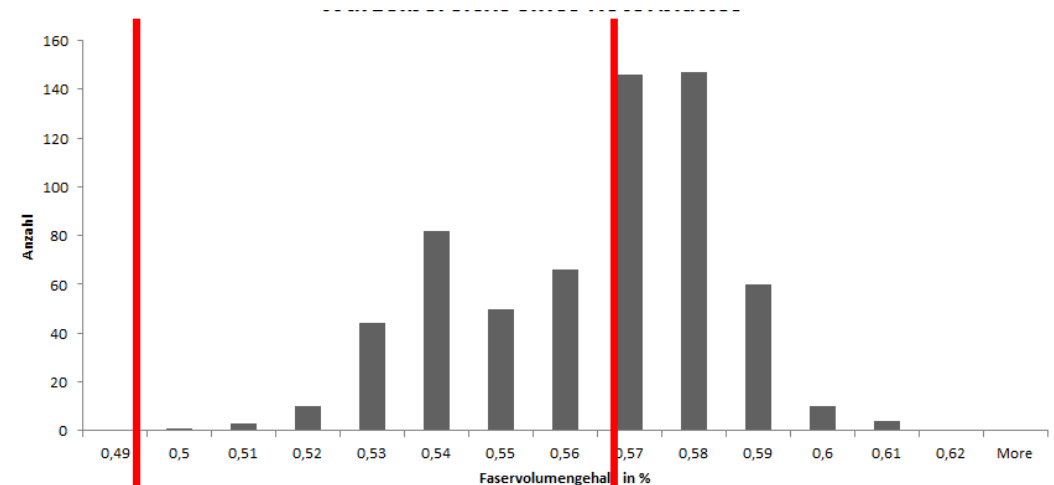
Einleitung - Toleranzanalyse für Faserverbundbauteile

Besonderheiten der Toleranzanalyse für FV-Bauteile

- Elemente der Toleranzkette:
 - Prozessparameter
- Übertragungsfunktionen
 - Chemische Prozesse
 - Physikalische Prozesse
- Herausforderung:
 - Hohe Streuung der Parameter und Materialeigenschaften
 - Prozessorientierte Übertragungsfunktionen



Allgemeingültige Toleranzkette für Faserverbundbauteilen



Histogramm des Faservolumengehaltes von Rotorblättern



Prozessmodellierung Faservolumengehalt - Ansatz

Zentraler Kritischer Parameter:

Faservolumengehalt

Beeinflusst:

Temperatur, Bauteileigenschaften, Bauteildicke, Prozessind. Abweichungen

Wird beeinflusst von:

Material, Differenzhöhe, Kompaktierung, Fertigung

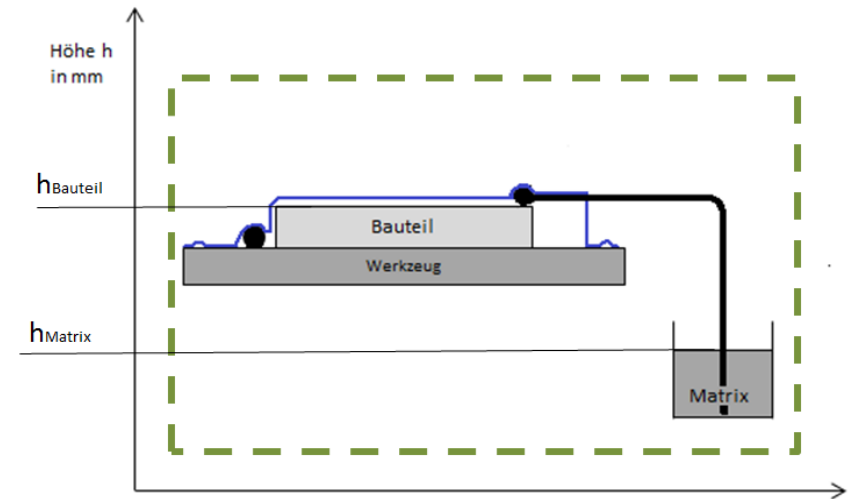
Faktor	Fisher-Wert	Relevanz
Faserausrichtung	0,61196058	Nein
Differenzhöhe	5,97367834	Ja
Kompaktierungszeit	4,38803942	Nein

Ergebnisse der ANOVA der Einflussfaktoren auf FVG

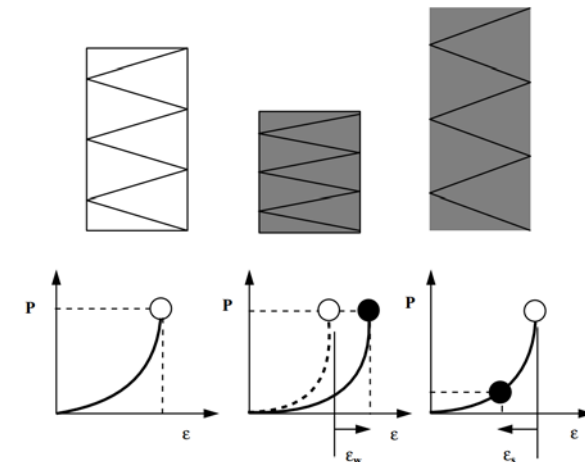
Modellierung:

Energetischer Ansatz, Federanalogie

Bestimmung der Federkennlinie des Laminats



Systemgrenzen der Energiebetrachtung für den Infusionsprozess



Federanalogie zur Beschreibung einer Infusion nach [6]



Prozessmodellierung Faservolumengehalt - Versuchsaufbau

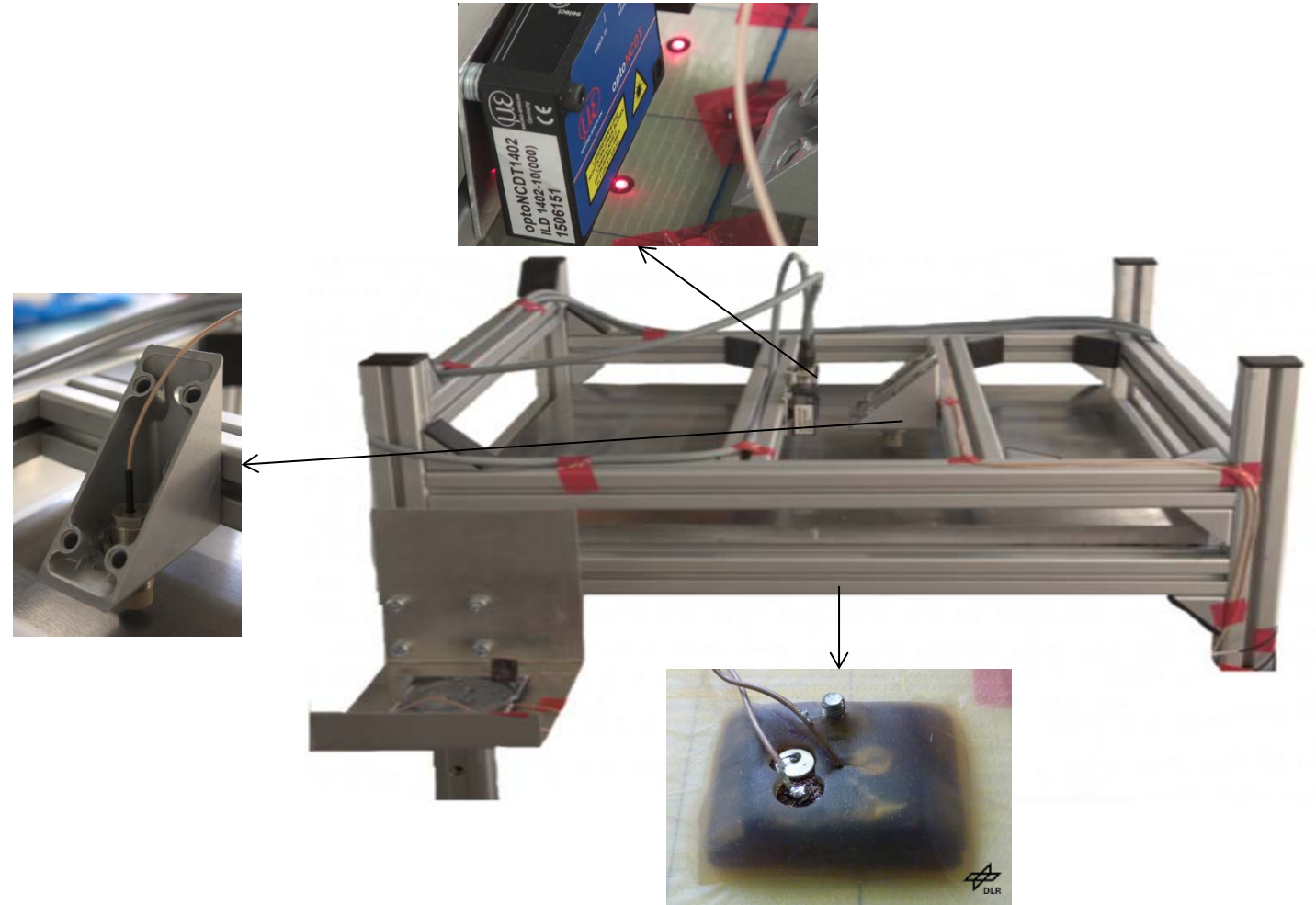
Bestimmung der Federkennlinie von UD-Glasfaserlaminaten

- Messung des Federwegs während der Infusion
- Bestimmung der Gewichte und Füllstände
- Einstellung der Randbedingungen

Elemente des Versuchsstandes:

- Lasersensoren
- Wirbelstromsensoren
- Ultraschallsensoren
- Differenzdrucksensoren

Aufnahme des Federwegs



Versuchsstand zur Ermittlung der Federkennlinie von UD-Laminaten

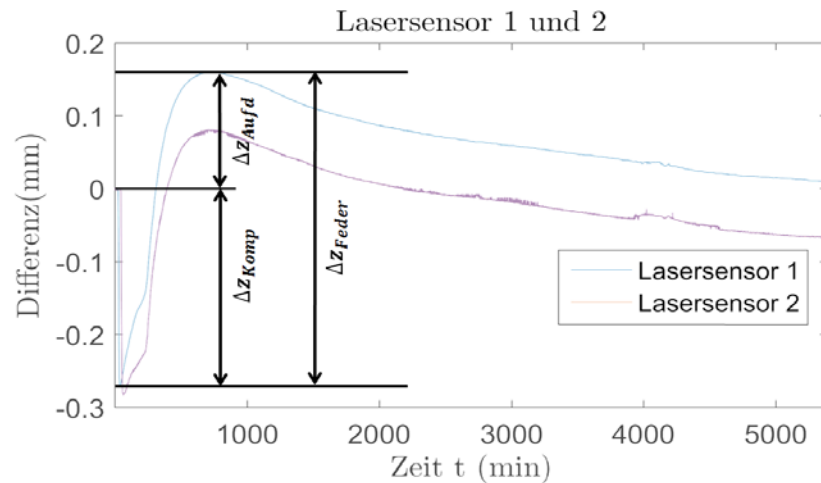
Prozessmodellierung Faservolumengehalt - Ergebnisse

Ermittlung der Kenngrößen

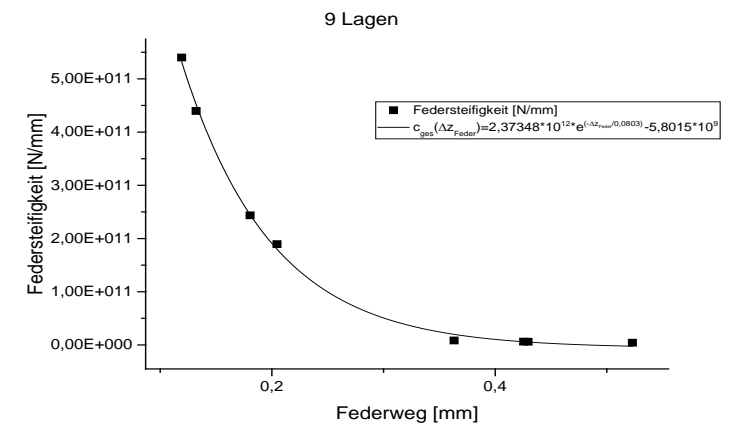
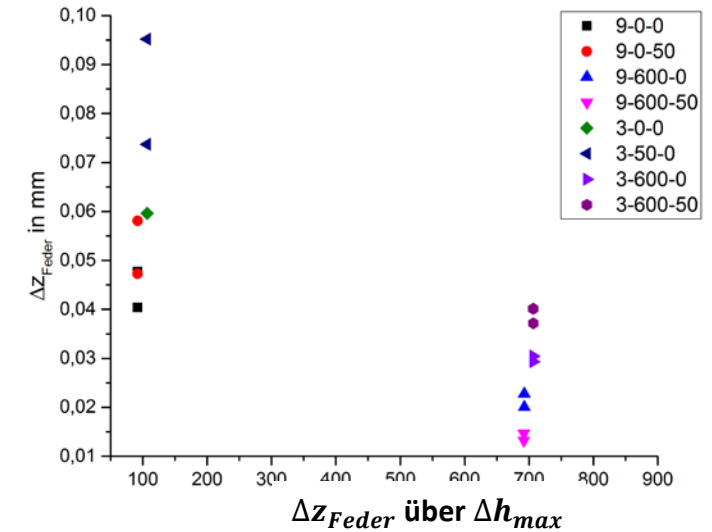
- Federweg ergibt sich aus Messdaten

$$\Delta z_{Feder} = \Delta z_{Komp} + \Delta z_{Aufd}$$

- Federsteifigkeit aus Energieerhaltungssatz
- Regression Federsteifigkeit $C(\Delta z_{Feder})$



Zusammensetzung des Federweges



Federsteifigkeiten in Abhängigkeit vom Federweg für 3 Lagen

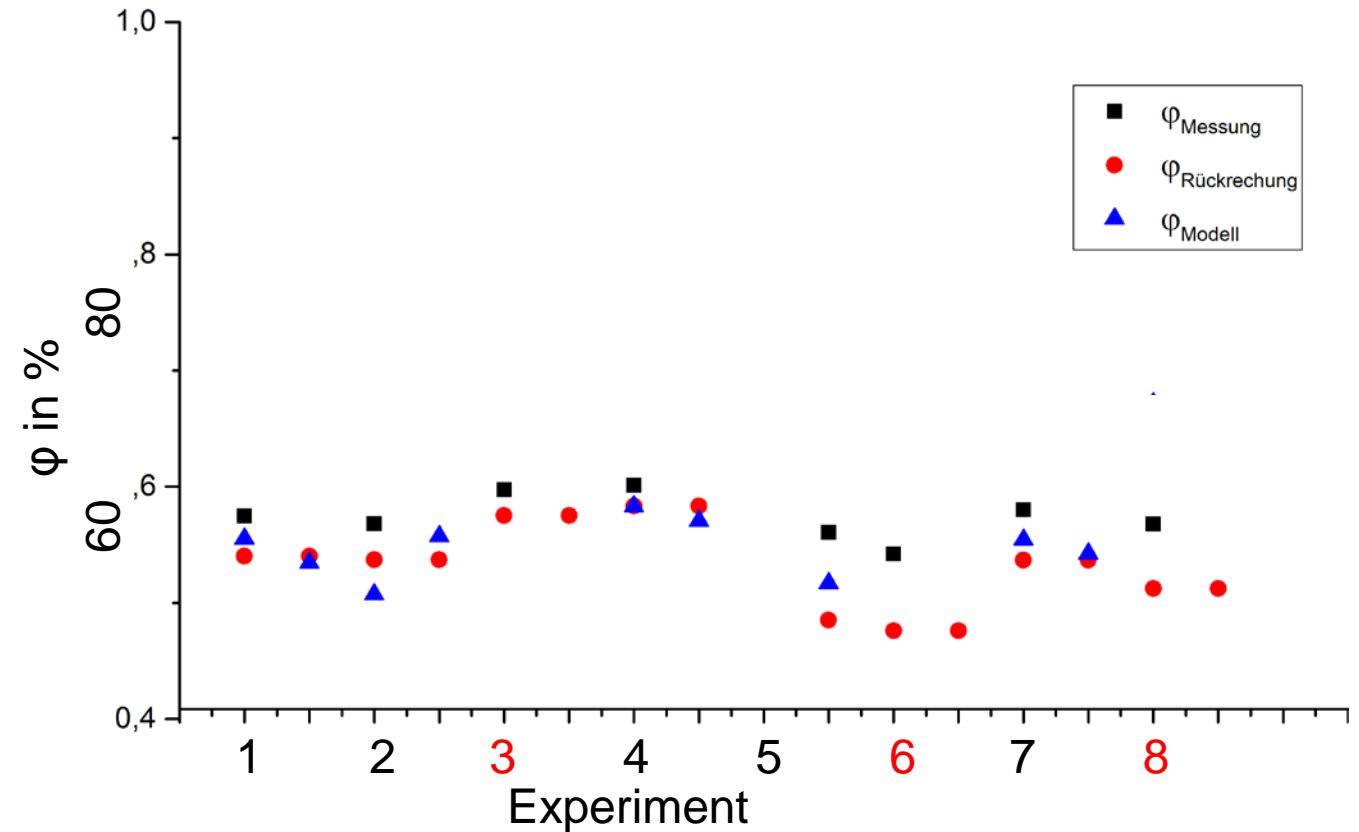


Prozessmodellierung Faservolumengehalt - Ergebnisse

Verifizierung des Modells:

- Faservolumengehalt $\varphi_{Messung}$ aus taktiler Dickenmessung
- Faservolumengehalt $\varphi_{Rückrechnung}$ aus Wägung der Komponenten
- Faservolumengehalt φ_{Modell} aus Federsteifigkeit und Federweg

- Modell bildet Faservolumengehalt ab
- Verfeinerung durch Erhöhung der stat. Datenlage
- Herausforderung der Kalibrierung der Messung



Faservolumengehalt aus Dickenmessung, Rückrechnung aus Plattengewicht und dem Modell

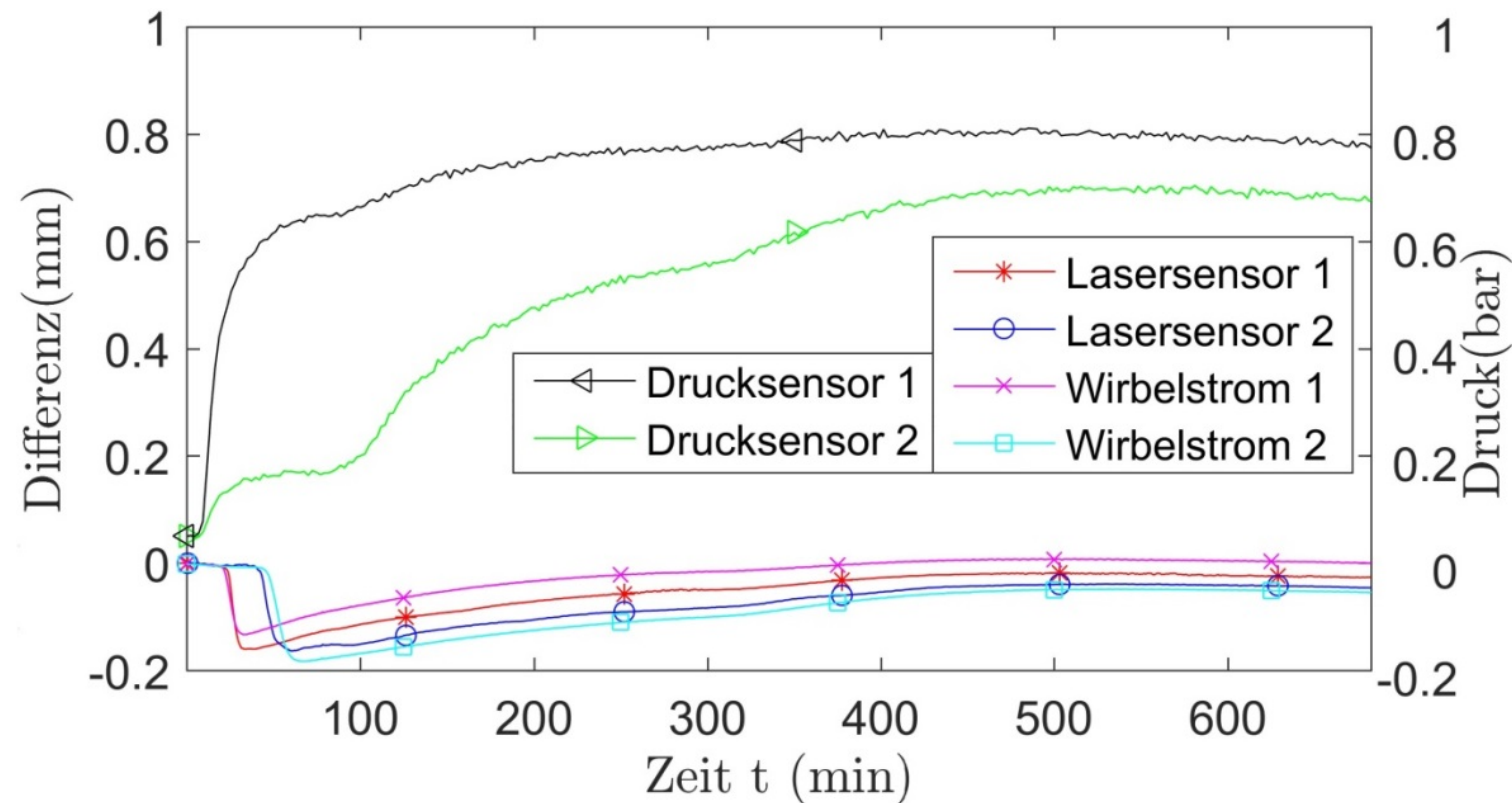


Prozessmodellierung Sensorsysteme

Sensorsysteme für die statistische Prozessüberwachung des Faservolumengehalt

- Lasersensoren
- Wirbelstromsensoren
- Differenzdruck
- Füllstandshöhe mittels Ultraschall

Lasersensoren sind für Aufzeichnung des Federweges am Besten geeignet



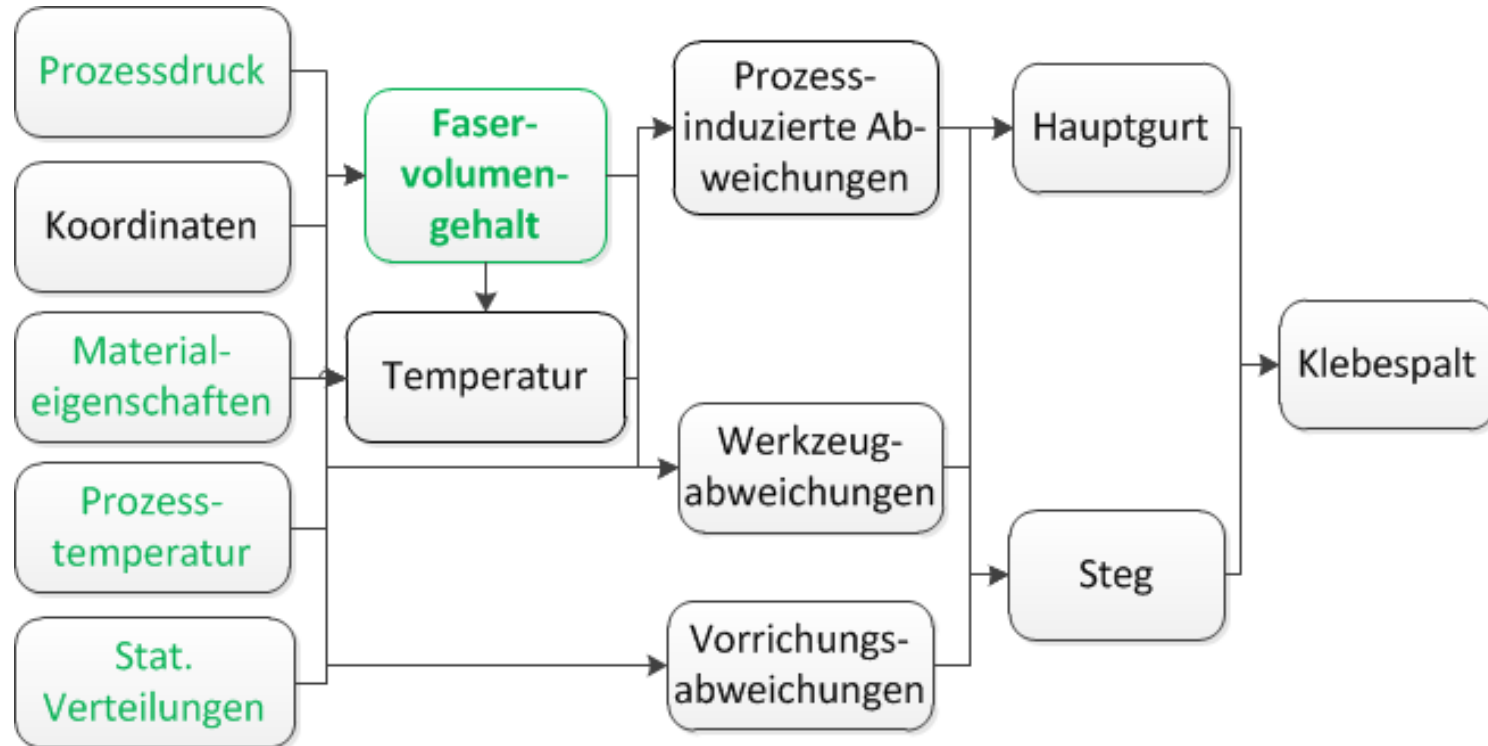
Überwachungsergebnisse der Infusion



Toleranzmanagement für Faserverbundgroßbauteile

Das Toleranzmanagementsystem ist vollständig, wenn der Einfluss aller kritischen Parameter in der physikalischen Einheit der Schlüsselcharakteristik darstellbar ist.

Die Toleranzanalyse beginnt mit der Schlüsselcharakteristik und liefert verbesserte Inputparameter



Es ist ein iterativer Prozess

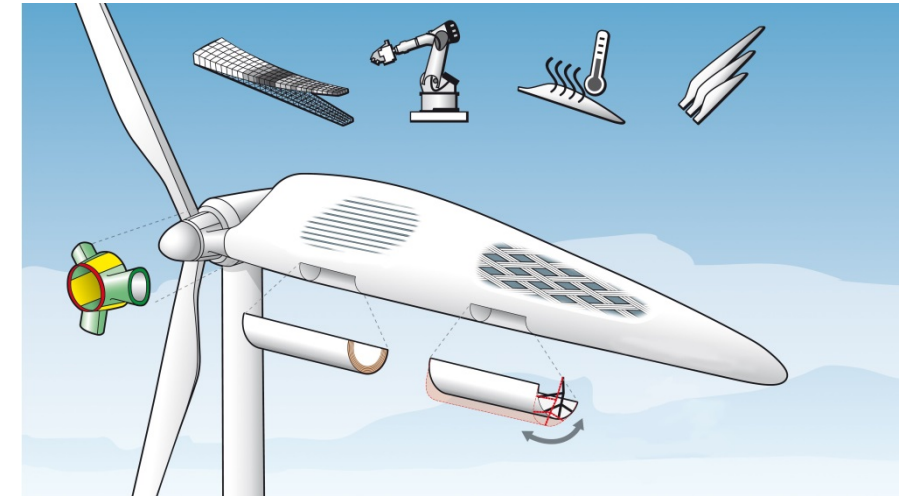


Zusammenfassung

- Reduktion des Einflusses von Störfaktoren auf kritische Bauteileigenschaften
- Toleranzmanagement für Faserverbundgroßbauteile muss auf Grund der stark streuenden Daten statistische Methoden einsetzen
- Zur Prozessverbesserung müssen alle kritischen Parameter in der physikalischen Dimension der Schlüsselcharakteristik darstellbar sein.

Ausblick

- Implementierung der Module in ein Design Optimierungsprogramm zur Vergrößerung der statistischen Datenbasis
- Implementierung weitere Module
- Herstellung der Kompatibilität mit einem Cost Assessment Tool



Dipl.-Ing. Birgit Wieland

German aerospace center

Composite technology

Institute of composite structures and
adaptive systems

Lilienthalplatz 7
D-38108 Braunschweig

phone +49 531 295-2911

e-mail Birgit.Wieland@dlr.de

homepage [www. DLR.de/FA/](http://www.DLR.de/FA/)

