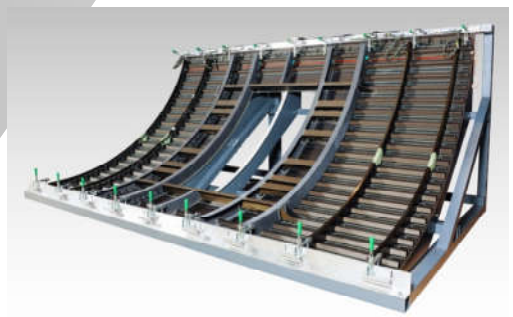
In-Situ Strukturbewertung während der Fertigung – Geburt des digitalen Zwillings

Robert Hein, Falk Heinecke, Martin Liebisch, Dr. Tobias Wille, DLR

DLR

Herausforderungen während der FVK-Wertschöpfungskette



Halbzeug
- Welligkeiten
- Faservolumen
- …

Faserablage
- Ablagefehler
- Inspektion & Nacharbeit
- …

Aushärtung
- Exothermie
- Eigenspannungen
- …

Montage
- Verzug
- Toleranzen
- …

In-Situ Strukturbewertung während der Faserablage

VERSTEHEN (Modellbildung)

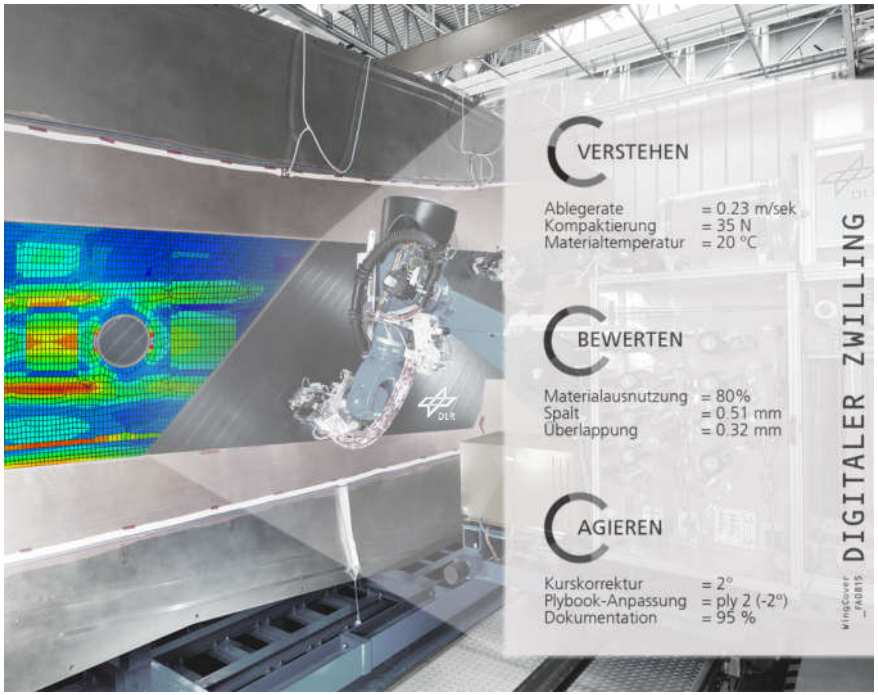
- Sensitivitätsanalyse: Welche Parameter sind relevant?
- Echtzeitfähigkeit: Ersatzmodelle ermöglichen fertigungsbegleitende Strukturanalyse

BEWERTEN (Strukturanalyse)

- Priorisierung: Welche Kriterien sind wichtig?
- Qualitätsmanagement: Fertigungsbegleitende Überwachung und Bauteilbewertung

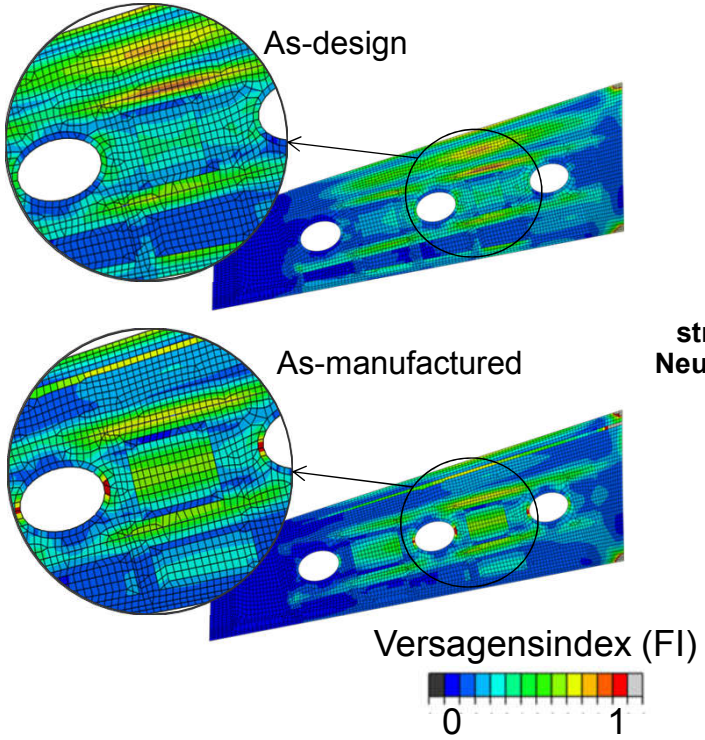
AGIEREN (Entscheidungsfindung)

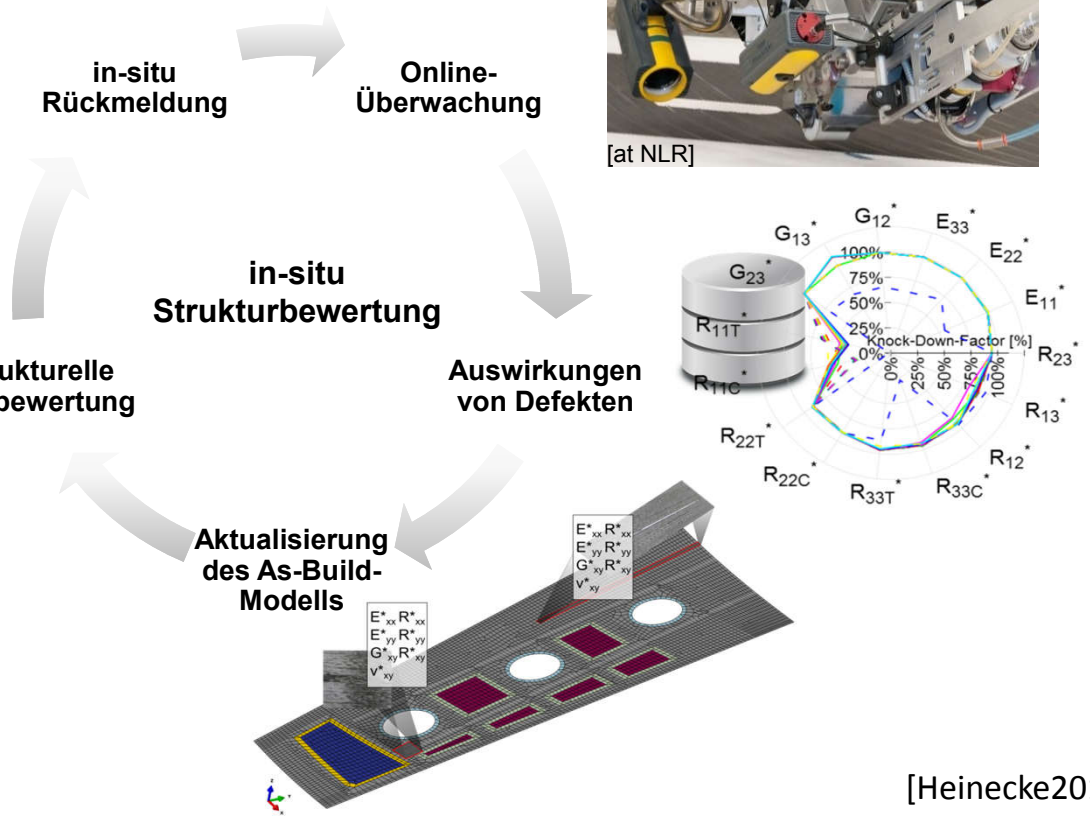
- Wirksamkeit: Welche Korrekturen sind möglich?
- Dokumentation: Visualisierung nicht messbarer Informationen



[DLR Innovationsbericht,2018]

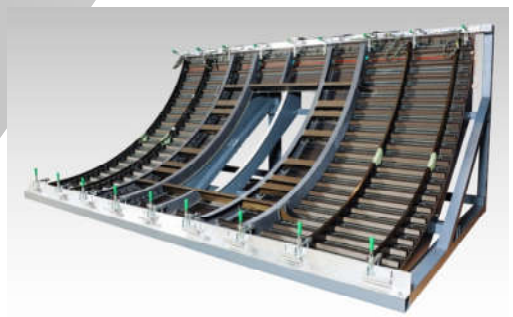
In-Situ Strukturbewertung während der Faserablage





[Heinecke2018]

Herausforderungen während der FVK-Wertschöpfungskette



Halbzeug
- Welligkeiten
- Faservolumen
- …

Faserablage
- Ablagefehler
- Inspektion & Nacharbeit
- …

Aushärtung
- Exothermie
- Eigenspannungen
- …

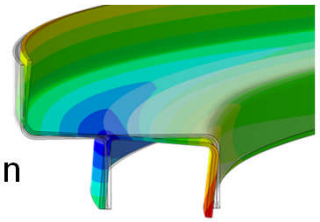
Montage
- Verzug
- Toleranzen
- …

In-Situ Strukturbewertung während der Aushärtung

Herausforderungen:

- Prozess-induzierte Deformationen (PID) und Eigenspannungen
- Streuungen infolge von Prozess- und Materialparametervariationen

PID



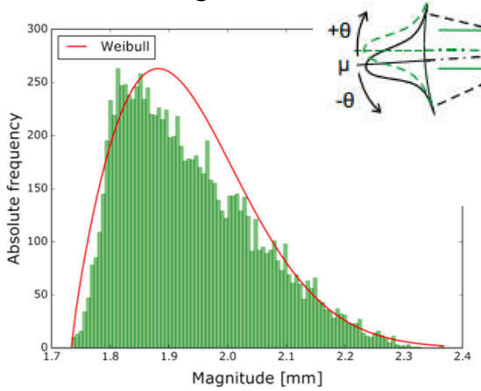
Warpage

[Prussak2018]

Erzeugung eines digitalen Bauteilzwillings mithilfe der Aushärtungs-Prozesssimulation um:

- Ein kompensierten Werkzeugdesign abzuleiten
- Die Bauteilqualität zu bewerten und zu optimieren
- Prozesse hinsichtlich Robustheit zu optimieren

Streuung der PID



In-Situ Strukturbewertung während der Aushärtung

VERSTEHEN (Prozessanalyse)

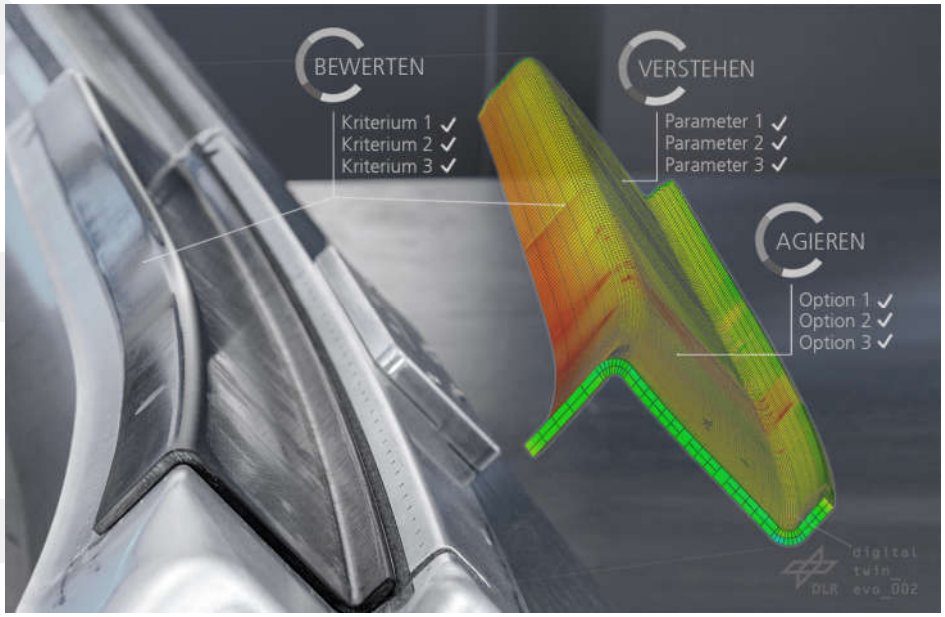
- Kausale Zusammenhänge Prozess <-> Bauteilqualität
- Erweiterte Informationen in 4D (3D, Zeit):
  z.B. Aushärtegrad, Steifigkeiten, Eigenspannungen

BEWERTEN (Prozess- und Bauteilbewertung)

- Erweitertes Qualitätsmanagement
- Effekt von Prozess- und Materialstreuungen
- Onlinefähige Prozessüberwachung z.B. Verformungen

AGIEREN (Prozesskontrolle und –korrektur)

- Automatisierte Dokumentation
- Vermeidung nachgelagerter Bewertungsprozesse
- Prozesskorrektur



Digitaler Zwilling eines Flugzeugspants

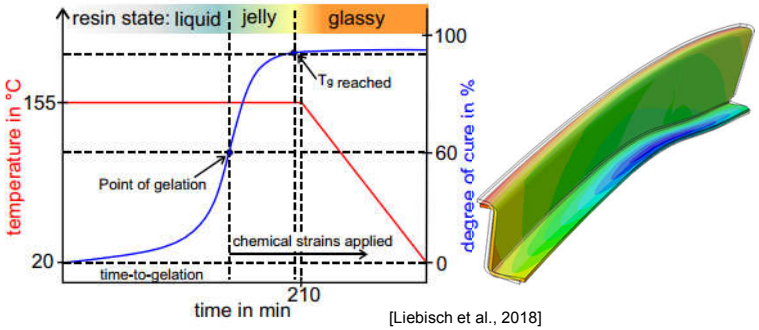
[DLRInnovationsbericht2018]

In-Situ Strukturbewertung während der Aushärtung

- **Hinter den Kulissen: Schnell UND genau!**

FE-Modell

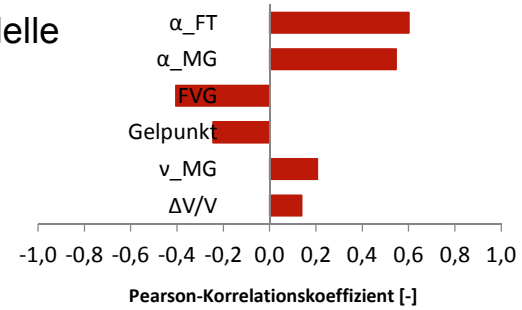
- Temperatur-Verfomungsanalyse
  - Exothermie, Gelpunkt, Glasübergang
  - Therm. +chem. Schrumpf, Relaxation



[Liebisch et al., 2018]

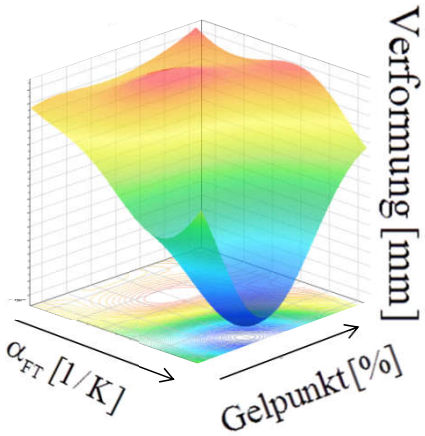
DOE

- Latin-Hypercube-Sampling
  - Sensitivitätsanalyse
  - Trainingsdaten Ersatzmodelle



Surrogate Modelling

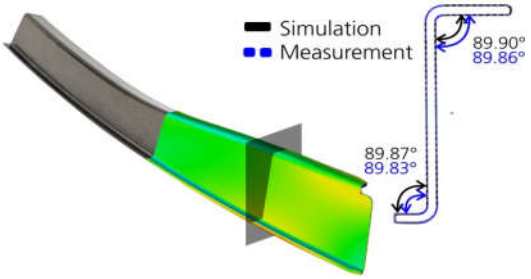
- Erstellung- und Bewertung Ersatzmodelle
  - Kriging-Modelle, RBF

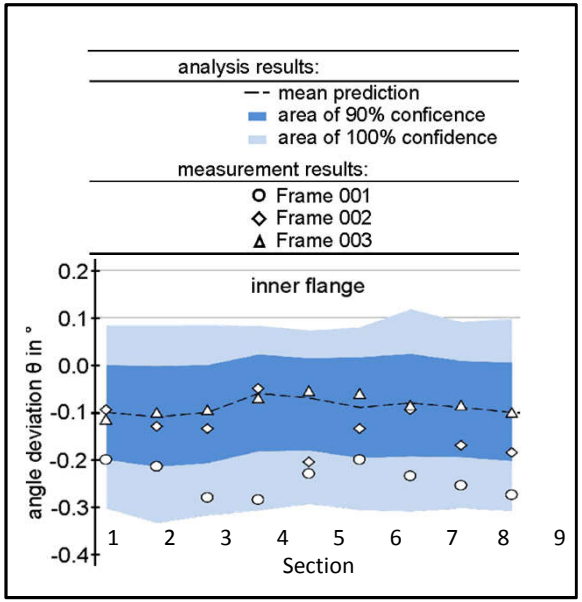


In-Situ Strukturbewertung während der Aushärtung

Anwendungen des Ersatzmodells:

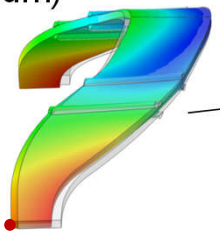
- Vor der Fertigung: Berechnung der Streuung des Spring-in [Liebisch et al., 2018]

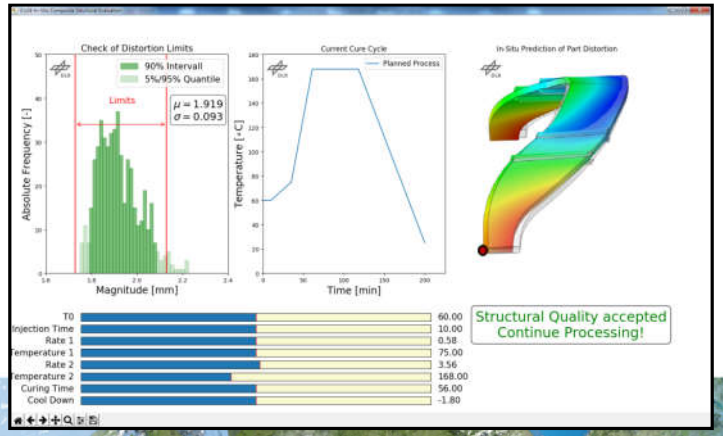




- Während der Fertigung: Vorhersage der Verformung basierend auf Sensordaten (siehe Stand im Autoklavraum)

[Hein et al., 2015]





Danksagung

- Die Ergebnisse wurden im Rahmen folgender Forschungsprojekte erzielt:
  - **ECOMISE** (GA 608667)
  - **MAAXIMUS** (GA 213371)
- Aktuelle Weiterentwicklung im Rahmen der Projekte:
  - **IMPULS** (20W1526E)
  - **SuCoHS** (GA 769178)

SuCoHS
SUSTAINABLE & COST EFFICIENT HIGH-PERFORMANCE COMPOSITE STRUCTURES DEMANDING TEMPERATURE AND FIRE RESISTANCE

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kontakt

Dipl.-Ing. Robert Hein
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Telefon: +49 531 295-3237
Mail: robert.hein@dlr.de
Web: www.DLR.de

Dipl.-Ing. Martin Liebisch
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Telefon: +49 531 295-2908
Mail: martin.liebisch@dlr.de
Web: www.DLR.de

Dipl.-Ing. Falk Heinecke
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Telefon: +49 531 295-2312
Mail: robert.hein@dlr.de
Web: www.DLR.de

Dr.-Ing. Tobias Wille
Abteilungsleiter Strukturmechanik
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Telefon: +49 531 295-3012
Mail: robert.hein@dlr.de
Web: www.DLR.de

References

- [Heinecke2018]: F. Heinecke and T. Wille, “In-situ structural evaluation during the fibre deposition process of composite manufacturing,” *CEAS Aeronaut. J.*, 2018.
- [Denkena2016]: B. Denkena, C. Schmidt, K. Völtzer, and T. Hocke, “Thermographic online monitoring system for Automated Fiber Placement processes,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 97, pp. 239–243, 2016.
- [Rudberg2014]: T. Rudberg, J. Nielson, M. Henscheid, and J. Cemenska, “Improving AFP Cell Performance,” *SAE Int. J. Aerosp.*, vol. 7, no. 2, pp. 2014-01-2272, 2014.
- [Prussak2018]: Prussak, R., Stefaniak, D., Hühne, C., & Sinapius, M. (2018). Evaluation of residual stress development in FRP-metal hybrids using fiber Bragg grating sensors. *Production Engineering*, *12*(2), 259–267. http://doi.org/10.1007/s11740-018-0793-4
- [Liebisch2018] Liebisch, M., Hein, R., & Wille, T. (2018). Probabilistic process simulation to predict process induced distortions of a composite frame. *CEAS Aeronautical Journal*, *7*. http://doi.org/10.1007/s13272-018-0302-7
- [DLRInnovationsbericht2018] Innovationsbericht 2018, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, https://www.dlr.de/fa/Portaldata/17/Resources/dokumente/publikationen/innovationsberichte/innovation_report_2018.pdf
- [Hein2015]: Hein, R., Wille, T., Gabtni, K., Dias, J.-P. (2015). Prediction of process-induce distortions and residual stresses of an composite suspension blade. *Defect and Diffusion Forum, 10.4028/www.scientific.net/DDF.362.224*