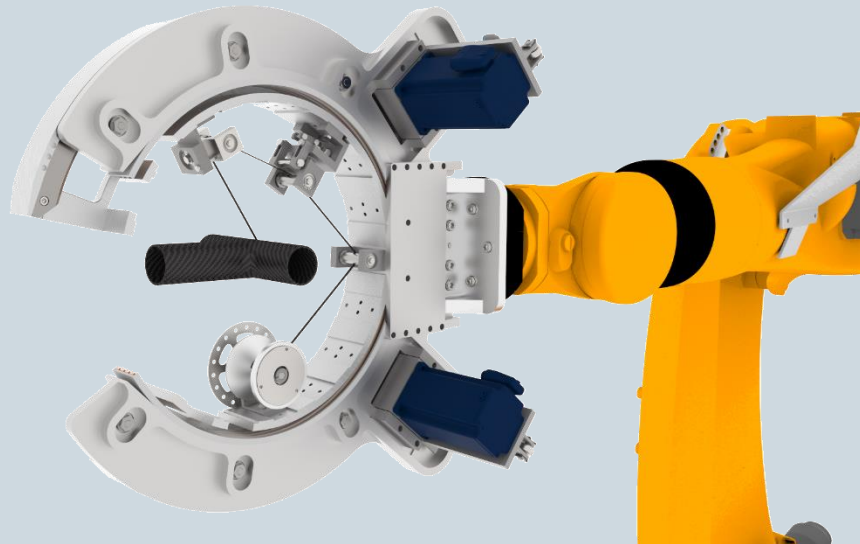


PROZESSMODELLIERUNG DES FASERWICKELNS ALS FÜGEVERFAHREN

M.Sc. Marius Dackweiler, M.Sc. Sven Coutandin, Prof. Dr. Jürgen Fleischer
02.04.2019, Hannover Messe 2019

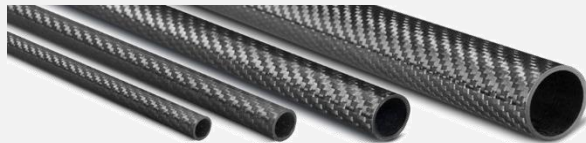
wbk Institut für Produktionstechnik



FVK

Faserverstärkte Kunststoffe

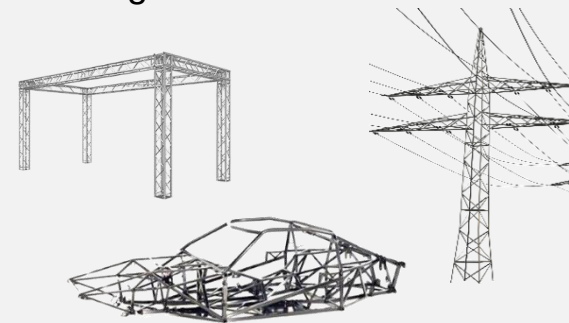
- Hohe Festigkeit und Steifigkeit bei sehr niedriger Dichte
- Hohe Korrosionsbeständigkeit
- Hohes Energieaufnahmevermögen
- Geringe Wärmeleitfähigkeit
- Freie Formgestaltung



Fachwerk

Fachwerke aus Hohlprofilen

- Hohe Wirtschaftlichkeit in Konstruktionen
- Einfache Auslegung
- Großes Anwendungsspektrum und vielseitiger Einsatz

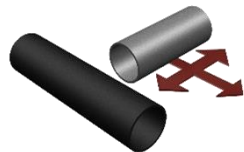


Hohlprofilfachwerke aus hybriden, faserverstärkten Kunststoffen bieten ein **großes Leichtbaupotential** bei gleichzeitig **sehr guten mechanischen Eigenschaften** allerdings stellt **die Verbindungstechnik** eine **große Herausforderung** dar.

[1], [2], [3], [4]

Von der traditionellen Idee...

Flexibler Gerüstbau in Asien durch Verbindung von Bambusprofilen mit Naturfaserseilen



Ausrichten



Wickeln



Aushärten

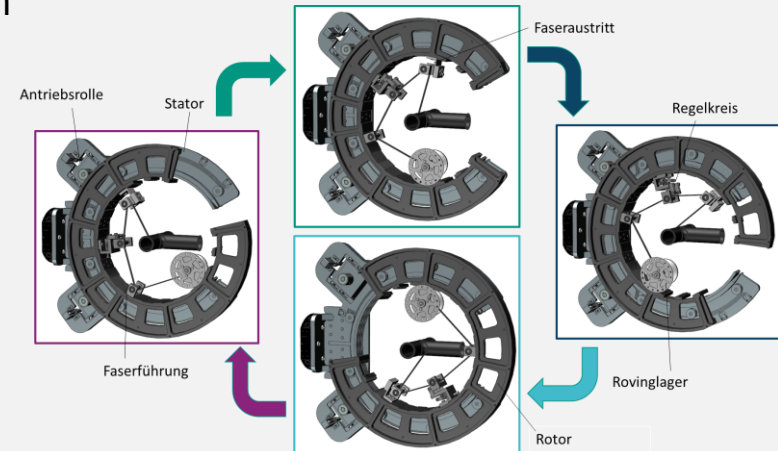
... zur modernen Innovation

Flexible Erzeugung tragfähiger Leichtbauverbindungen mittels Faserverbundwerkstoffe

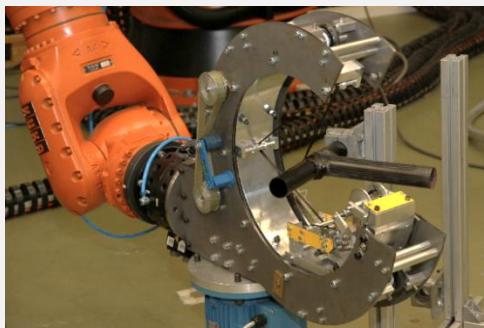


[5],[6]

- Offene, c-förmige Rotor-Stator Konstruktion zum kollisionsfreien Fügen geschlossener Fachwerke
- Antrieb mittels gesteuerter Elektromotoren
- Fadenvorspannung durch mechanischen Regelkreis
- Positionierung der Fasern anhand einer Fadenaugenführung
- Flexible Kinematik durch Montage an Vertikalknickarmroboter



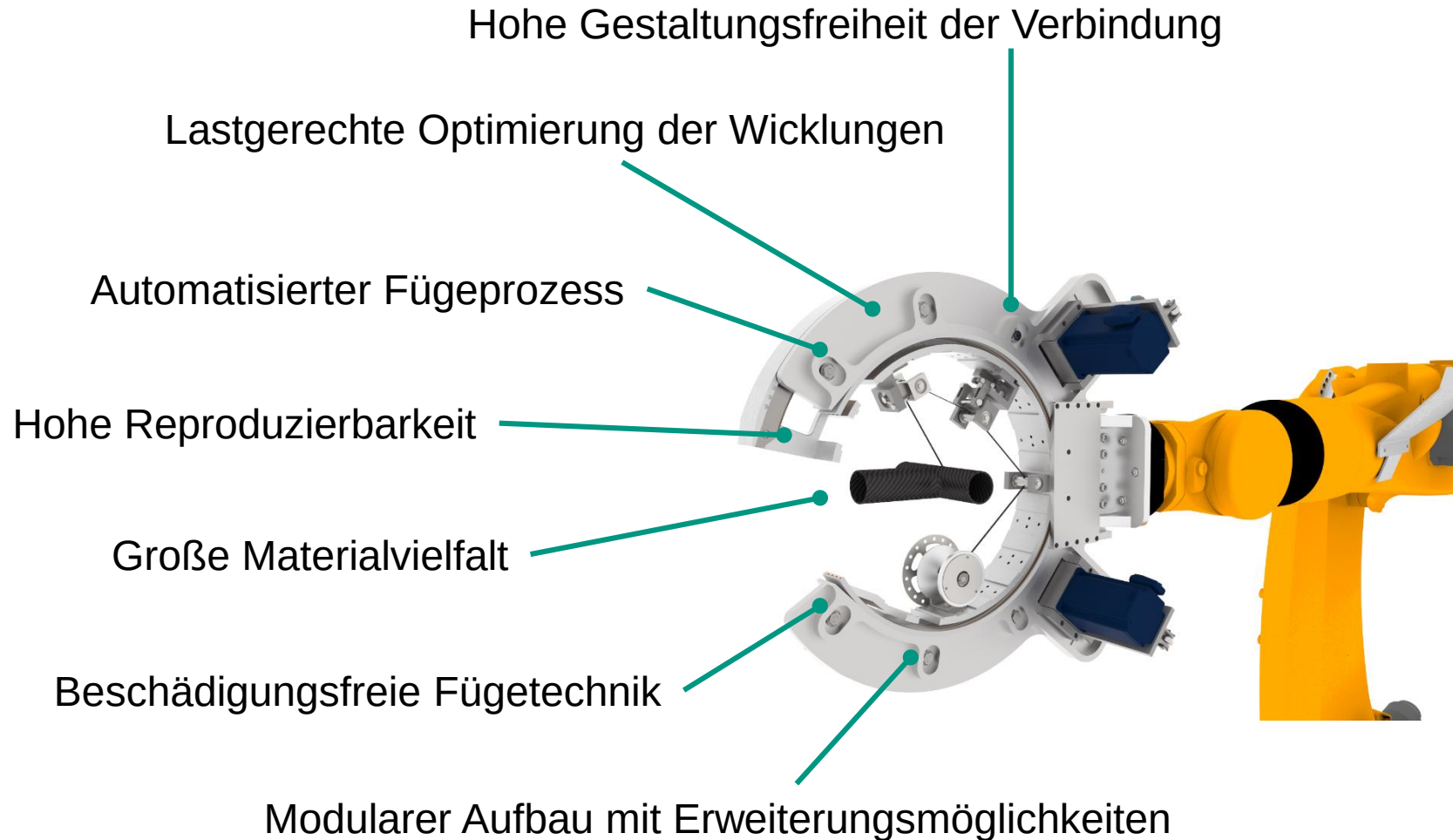
Prototyp
1



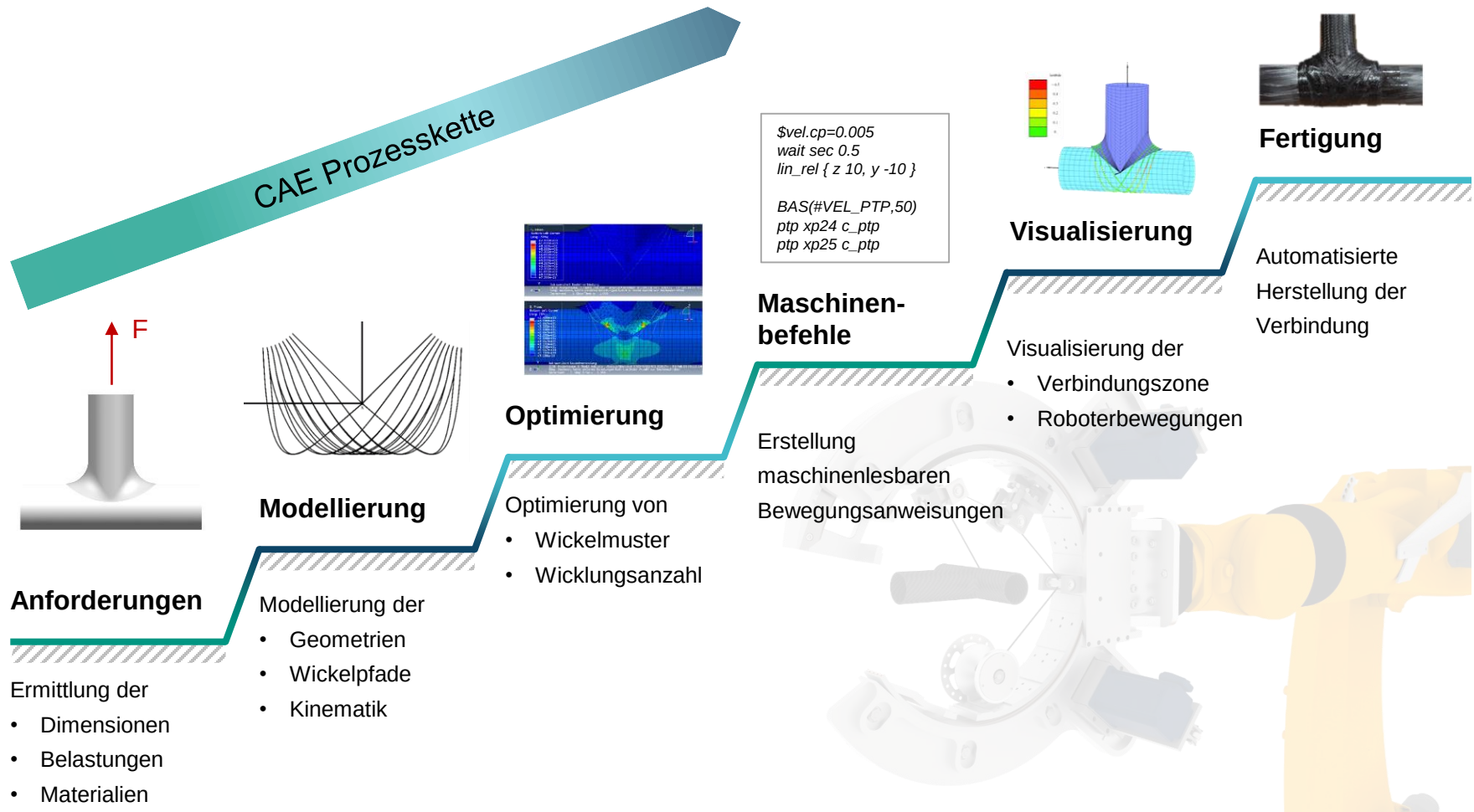
Prototyp
2



[5],[6]



ÜBERSICHT DER DIGITALEN PROZESSKETTE



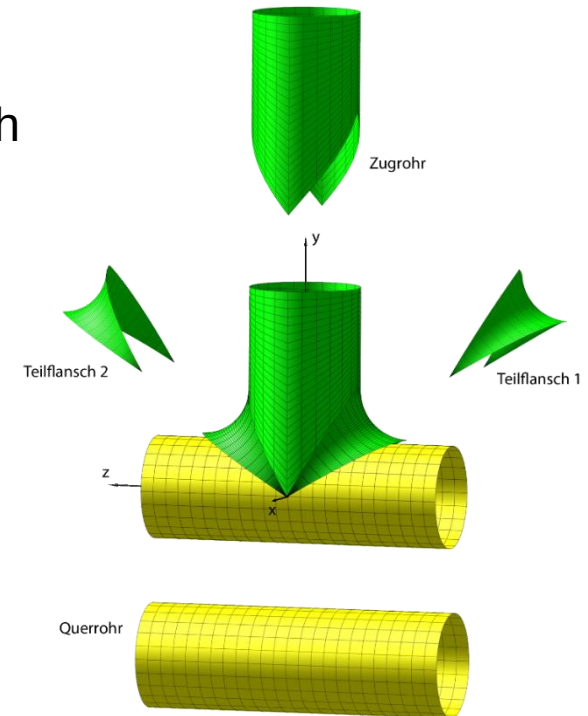
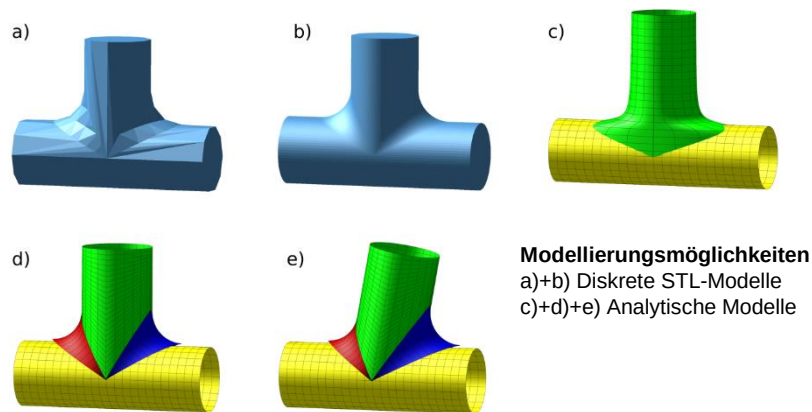
[5],[6],[7],[8],[9]

MODELLIERUNG DER GEOMETRIE

- Hohe Festigkeiten in der Fügeverbindung durch Formschluss mittels Flanschgeometrie

→ Aufwendige Modellierung der Geometrie

- Hohe Festigkeiten in der Fügeverbindung durch Formschluss mittels Flanschgeometrie



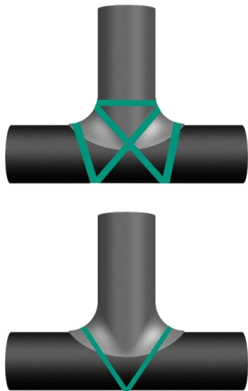
Analytisch, parametrische Modelle zur Beschreibung der einzelnen Geometrien bilden eine gute Grundlage zur mathematischen Modellierung der Wickelpfade und Wickelbewegungen

[7]

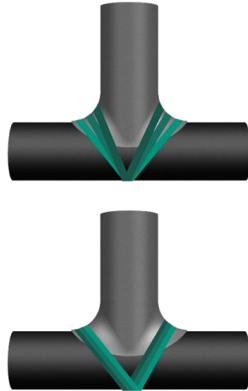
UNTERSUCHUNG VON WICKELPFADEN

- Analyse der möglichen Wickelmuster mittels manueller Wickelversuche
- Kategorisierung und Clusterung der Ergebnisse
- Aufbereitung der Wickelmuster als Basis für die Modellierung

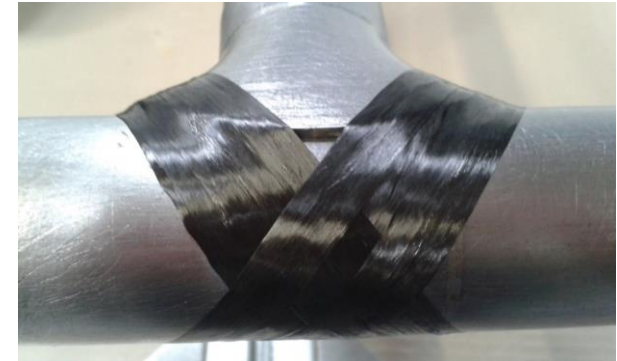
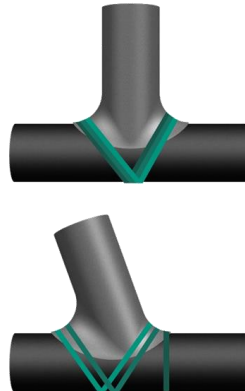
Variation des globalen
Wickelmusters



Variation innerhalb
eines Wickelmusters
(lokale Variation)



Variation durch Änderung
des Fügewinkels

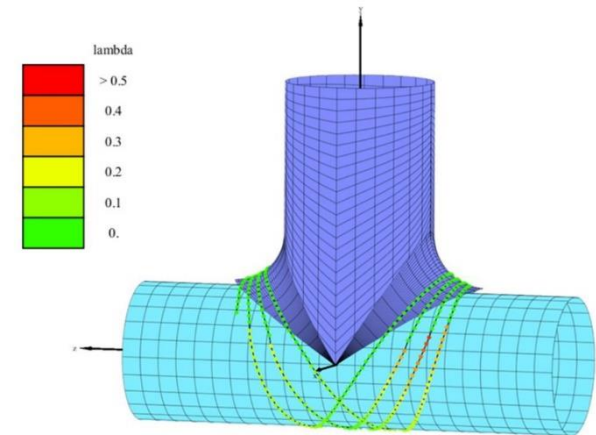
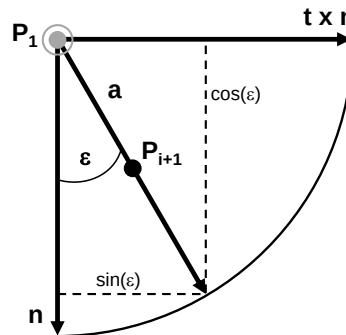
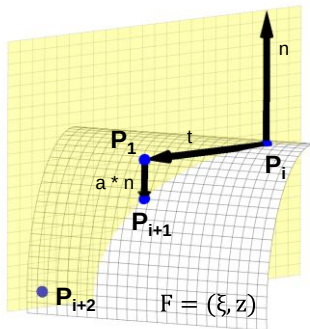


Wickeltechnologie ermöglicht hohe Gestaltungsfreiheit und Variation der Wickelmuster, was zu einer großen Anwendungsflexibilität in der Fügeverbindung führt

[9]

MODELLIERUNG DER WICKELPFADE

- Modellierung der Pfade in drei Schritten:
 - Auf der Flanschfläche des Querprofils (durch Schrittweise Berechnung)
 - Am Übergangsbereich zwischen Quer- und Längsprofil
 - Auf dem Längsprofil (mittels Spline-Funktionen)
- Berücksichtigung der Rutschbedingungen bei der Modellierung
- Erarbeitung eines Algorithmus zur Platzierung der Einzellagen beim Fügewickeln



Prinzip des Algorithmus zum schrittweisen Erzeugen nicht-geodätischer Wickelpfade

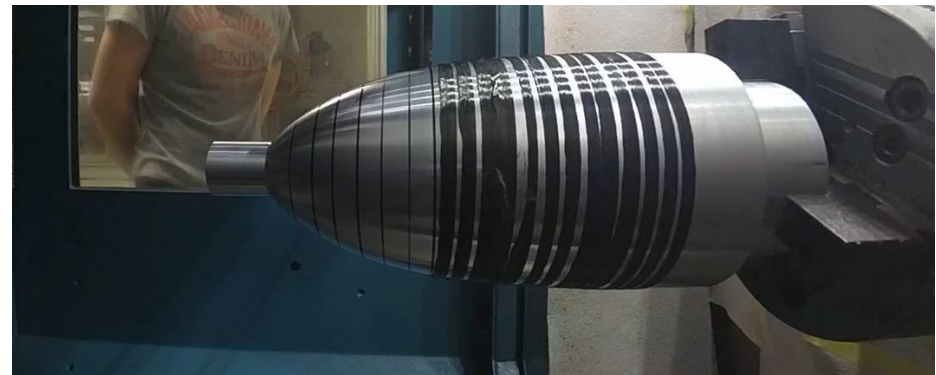
Die Modellierung der Wickelpfade ist sehr stark abhängig von der vorhandenen Reibung der zwischen Fasern und Profilen. Daher ist eine Bestimmung der Reibeigenschaften notwendig, um ein Modell mit Einhaltung der Rutschbedingungen zu erhalten.

[7]

UNTERSUCHUNG DER REIBUNG

- Durchführung von Reibversuchen in Anlehnung an ASTM-Standard D1894 (Zugschlittenversuche) sowie mittels speziellem Wickeldorn
- Untersuchung verschiedener Oberflächen (Aluminium, Epoxid glatt und angeraut) sowie verschiedener Wickelfasern (Trockene Fasern und Towpregs)
- Übertragung der ermittelten Reibkoeffizienten in Wickelpfadmodell

	μ_s Wickelversuche	μ_s Schlittenversuche längs
Carbon-Werke NF-24	0,20	0,19
Toho Tenax UMS40 F23	0,17	0,19
Torayca T700	0,14	0,15

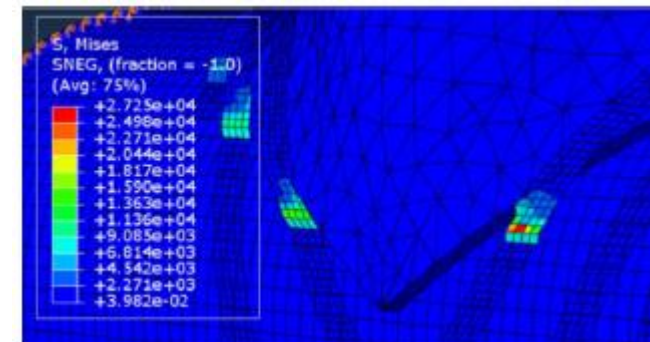
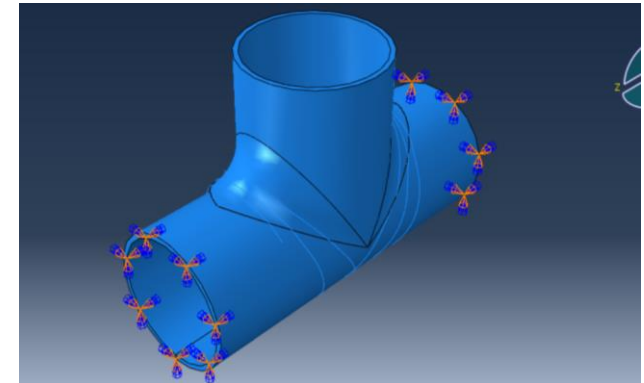


Reibung und somit die Flexibilität der Wickelpfade wird sehr stark durch die Materialkombination beim Wickeln beeinflusst, weshalb Reibversuche im Rahmen einer Modellbildung unbedingt notwendig sind.

[10]

FEM SIMULATION DER WICKELPFADE

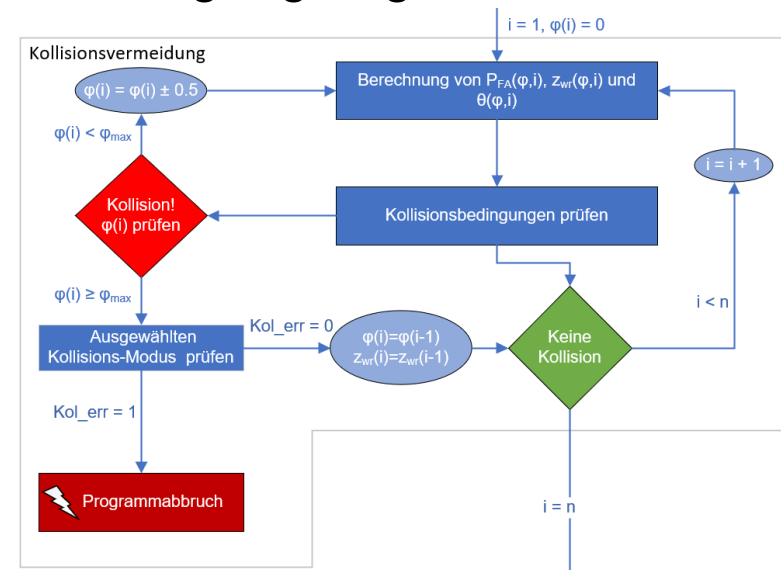
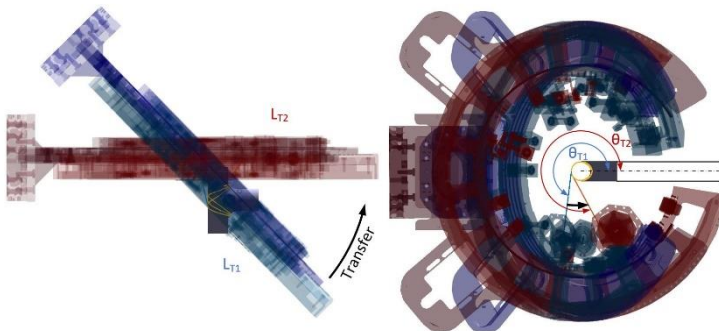
- FEM Analyse der modellierten Wickelpfade mittels Abaqus CAE
 - Aufbau des Simulationsmodells mittels Python Skript
 - Import der Wickelpfade aus Mathworks Matlab in Form von Einzelpunkten, die anschließend vernetzt und mittels Kontaktbedingungen (normal behavior und tangential behavior) auf der Bauteiloberfläche fixiert werden.
 - Kritischste Stelle der Verbindung liegt in dem Sprung zwischen Quer- und Längsprofil durch den dort auftretenden vertikalen Versatz.



Mit Hilfe der FEM Simulation lassen sich die Steifigkeiten und Festigkeiten der Wickelverbindung bestimmen, was eine Optimierung der Wickelpfade hinsichtlich der mechanischen Tragfähigkeit ermöglicht.

MODELLIERUNG DER BEWEGUNGEN

- Aufbau eines Bewegungsmodells für Wickelring und Roboter mittels Mathworks Matlab
- Herausforderung beim kollisionsfreien Übergang (Transfer) von einer Flanschseite zur anderen wird durch einen Algorithmus mit iterativem Überprüfen von festgelegten Kollisionsbedingungen gelöst

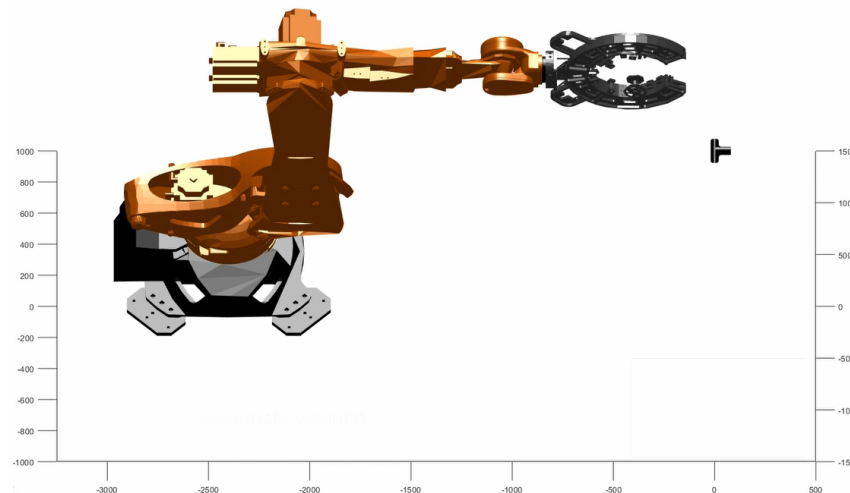


Bewegungssimulation ermöglicht bereits frühzeitig die Kollisionsvermeidung beim Faserwickeln zu berücksichtigen und dient darüber hinaus als Werkzeug bei der Prozessplanung zur Abschätzung von Prozesszeiten.

[11]

POST-PROCESSING

- Ableitung der synchronen Bewegungen von Industrieroboter und Wickelring mit Hilfe der Simulation
- Automatische Generierung von Bewegungsprogrammen für den Roboter (Robotersteuerung) und den Wickelring (Leit-SPS) sowie die anschließende Steuerung des Prozesses direkt aus Matlab heraus



Auf Basis des Bewegungsmodells lassen sich mittels inverser Kinematik direkt die Achswinkel des Industrieroboters für das jeweilige Wickelmuster bestimmen, sodass eine Offline-Programmierung der Roboterbewegungen möglich ist.

[11]

1

Mathematische Modellierung der Geometrien und Wickelpfade als Basis der CAE-Prozesskette

2

Untersuchung der Reibeigenschaften zur Ermittlung der Eingangsgrößen bei der Modellbildung

3

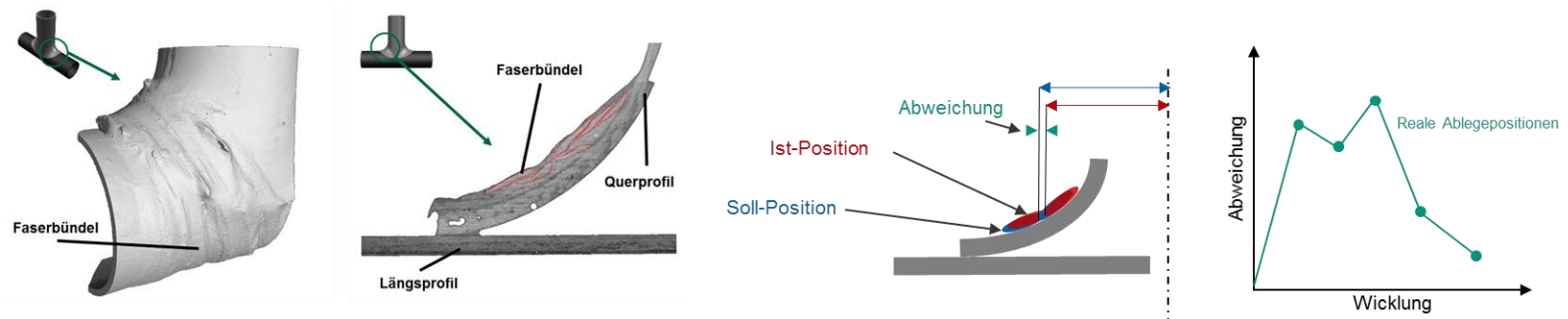
Optimierung der Wickelpfade durch integrierte FEM Simulation möglich

4

Bewegungssimulation mit direkter Ableitung von Bewegungs-befehlen als finaler Schritt zum Wickelprozess

AUSBLICK

- Erweiterung der Modelle durch zusätzliche Wickelmuster
- Weiterentwicklung des Fügeverfahrens für thermoplastische Prepreg-Tapes
- Validierung der Modelle mittels automatisierter Wickelversuche und anschließender Auswertung der Ablegepositionen



Computertomographische Aufnahme der Fügezone (links) und Auswertung der Ablegegenauigkeit mittels Positionsbestimmung der Fasern (rechts)

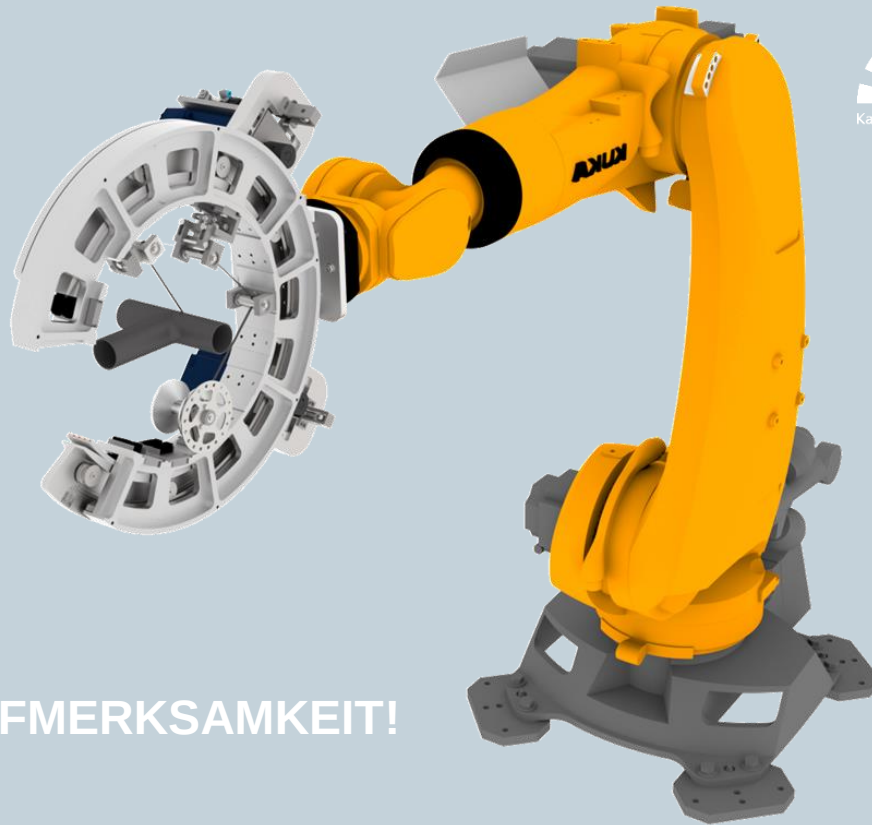
- Vollautomatisierung des Wickelprozesses durch automatisierten Wickelbeginn und Wickelende

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

wbk Institut für Produktionstechnik
Campus Süd

Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

M.Sc. Marius Dackweiler
Marius.Dackweiler@kit.edu
+49 721 608 44295



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

wbk Institut für Produktionstechnik

Campus Süd
Geb. 50.36
Gotthard-Franz-Straße 5
76133 Karlsruhe
Deutschland

Tel.: +49 721 608-44011
Fax: +49 721 608-45005

wbk Institut für Produktionstechnik

Campus Süd
Geb. 10.91, 10.92, 10.93
Engelbert-Arnold-Straße 8
76133 Karlsruhe
Deutschland

Tel.: +49 721 608-44288
Fax: +49 721 608-45004

wbk Institut für Produktionstechnik

Campus Nord
Geb. 276
Eggensteiner Straße
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Deutschland

Tel.: +49 721 608-44288
Fax: +49 721 608-45004

AMTC - Advanced Manufacturing Technology Center

Yiading District
Jiren Building
Cao An Road 4800
201804, Shanghai
Volksrepublik China

GAMI - Global Advanced Manufacturing Institute

Wisdom Mansion
Building A
Moon Bay Road 10
215123, Suzhou
Volksrepublik China

Gefördert durch

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Carbonwebshop. Online verfügbar unter http://www.carbonwebshop.de/Carbon_Faser_Rohre, zuletzt geprüft am 14.01.2019.
- [2] Torontoeventrentals.com. Online verfügbar unter <http://www.torontoeventrentals.com/Trussing-Concert-Stage-Toronto-Rentals/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.
- [3] Ffcars.com. Online verfügbar unter <http://www.ffcars.com/forums/42-factory-five-gtm-forum/86776-space-frame-design-extremely-rigid.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.
- [4] Deldorado.de. Online verfügbar unter <http://deldorado.de/heilloses-durcheinander/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.
- [5] Schädel, J. (2014): Automatisiertes Fügen von Tragprofilen mittels Faserwickeln. Shaker, Herzogenrath. ISBN: 978-3-8440-2675-7.
- [6] Fleischer, J.; Schaedel, J. (2013): Joining automotive space frame structures by filament winding. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 6 (2), S. 98–101. DOI: 10.1016/j.cirpj.2013.02.003.
- [7] Mayer, T. (2017): Modellierung der Kohlenstofffaser Ablegepfade beim Fügen von Leichtbau-Profilen im Wickelverfahren. Bachelorarbeit wbk KIT, Karlsruhe
- [8] Scheid, A. (2017): FE-Simulation und Optimierung einer Knotenverbindung hergestellt im Fügewickelverfahren für Leichtbaustrukturen. Bachelorarbeit wbk KIT, Karlsruhe
- [9] Häbel, B. (2016): Experimentelle Untersuchung des Wickelverhaltens und der Muster beim Wickelfügen von Leichtbauprofilen mit unterschiedlichen Kohlenstofffaserhalbzeugen. Bachelorarbeit wbk KIT, Karlsruhe
- [10] Hagemann, L.V. (2017): Untersuchung der Reibeigenschaften von Kohlenstofffaserrovings zum Fügewickeln von Leichtbauprofilen. Masterarbeit wbk KIT, Karlsruhe
- [11] Gündisch, K.U. (2018): Bewegungsmodell für einen robotergeführten Wickelring zum Einsatz im Fügewickelverfahren. Masterarbeit wbk KIT, Karlsruhe