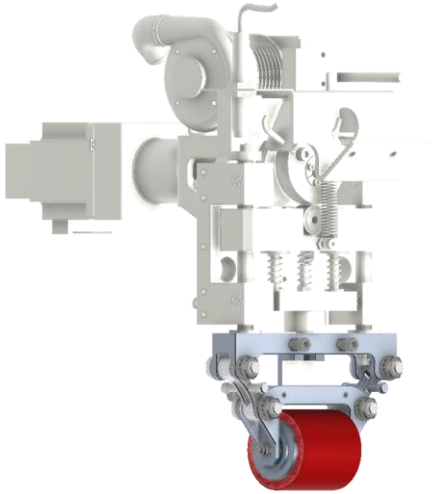
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

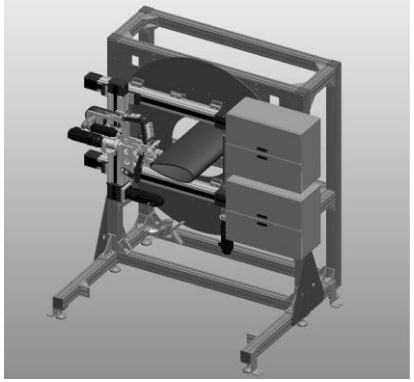
CLUSTER OF EXCELLENCE MERGE
Merge Technologies for Multifunctional Lightweight Structures
EXC 1075

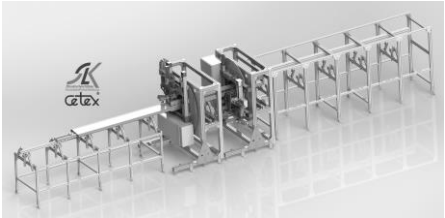
Entwicklung einer form- und lagenadaptiven Konsolidiereinheit für das Orbitalwickeln



20. Bayreuther Konstrukteurstag
20.09.2018, Chemnitz

R. Wallasch, V. Schuller, C. Glaser; R. Tirschmann; F. Schubert, L. Kroll





Inhalt

1 Motivation

2 Faserverstärkte thermoplastische Halbzeuge

3 Thermoplastisches Tapewickeln und Tapelegen

4 Technologische Anforderungen

5 Prozesskette

6 Technologiekonzept

7 Pilotanlage

8 Anforderungen an den lagenadaptiven Mechanismus

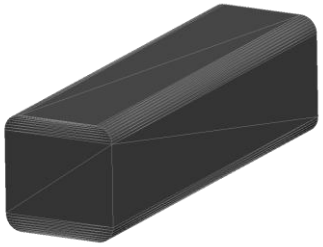
9 Auszug aus der Lösungssystematik

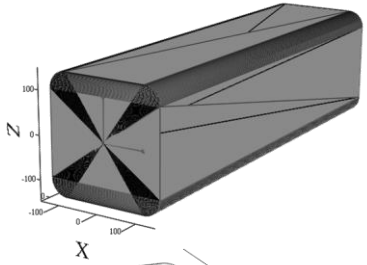
10 Variantenstudien

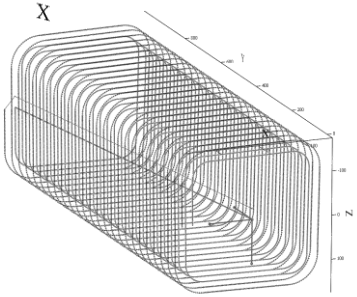
11 Konstruktive Umsetzung des lagenadaptiven Mechanismus

12 Entwurf einer formadaptiven Rolle

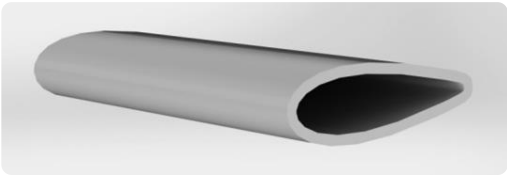
13 Zusammenfassung und Ausblick



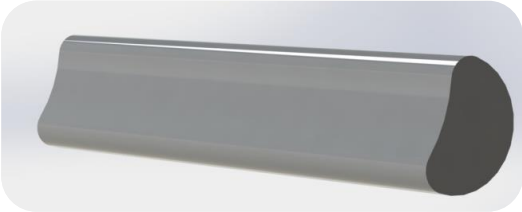


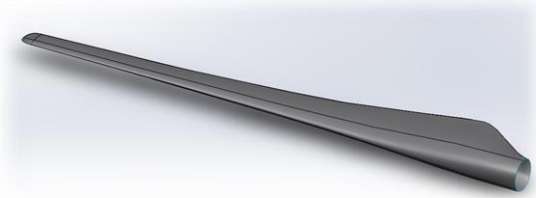


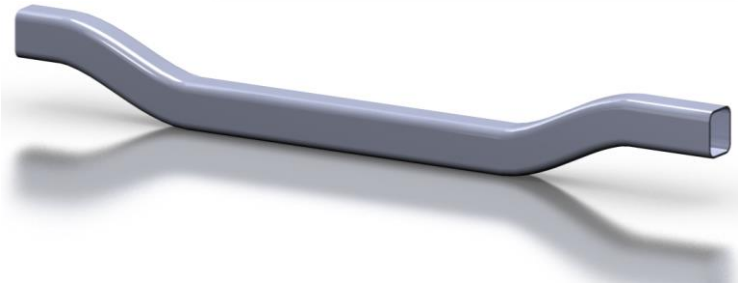
1 Motivation



- Technologie für großserientaugliche Herstellung von endlosfaserverstärkten Thermoplasten
- Fertigung komplexer geschlossener Strukturbauteile und Halbzeuge
  - Rotationssymmetrisch und nicht-rotationssymmetrische Profile
  - Inkonstante Querschnitte
  - Flexible Profilformen mit maximalen Abmessungen **Ø = 450 mm, L = 3.000 mm** (später endlos)
  - Variabler Lagenaufbau und in-line Integration von Sensorik und zusätzlichen Verstärkungsstrukturen
  - Variation des Fertigungsprogramms
- Automatisierte Teileherstellung basierend auf definierten Bauteilgeometrien



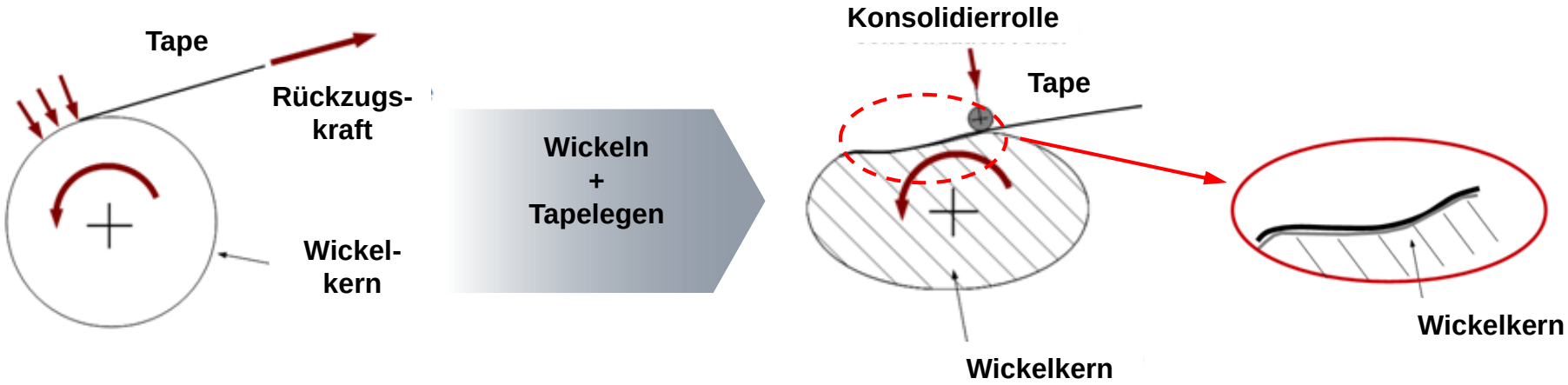




1 Motivation

- Verarbeitung thermoplastischer Pre-preg Tapes durch Ablegen und on-line Konsolidierung
- Erzeugung nicht-rotationssymmetrischer Teile mit inkonstantem Querschnitt
- Konvexe und konkave Abschnitte im Profilquerschnitt

- Kontinuierliche Kerndurchführung
- Konsequenzen technologischer Anforderungen



→ **Kombination des thermoplastischen Tapelegens und Tapewickelns**

2 Faserverstärkte thermoplastische Halbzeuge

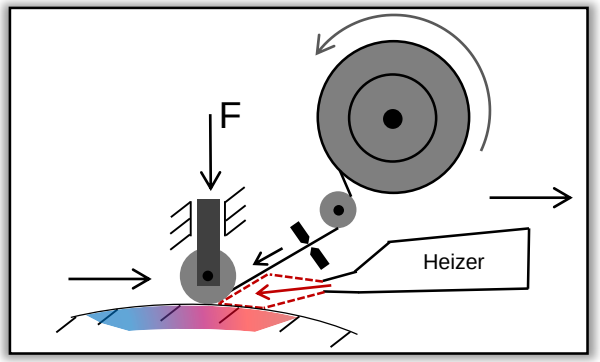
- Verarbeitung vorimprägnierter faserverstärkter thermoplastischer Halbzeuge (z. B. PP/GF 60 & PA/GF 60)
  - Unidirektional endlosfaserverstärkt
  - Biaxial bis multiaxial faserverstärkt
- Verschweißen der Einzelschichten durch Schichtauftrag in einem generativem Fertigungsverfahren

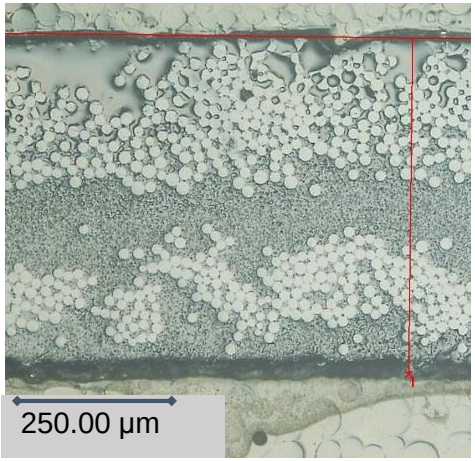
➢ Kontinuierlicher Verarbeitungsprozess

➢ On-Line Konsolidierung

➢ Konstante Prozessparameter erforderlich

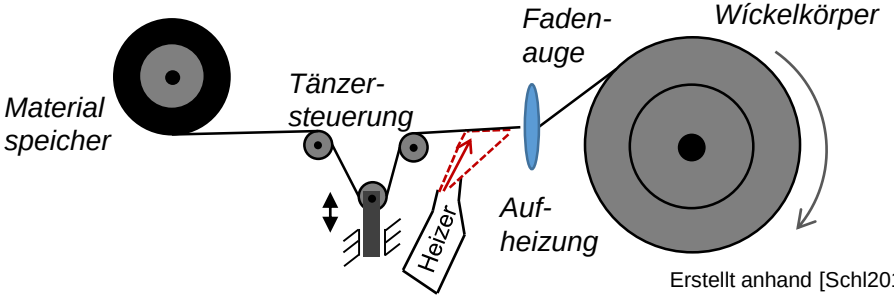
[Ttre2015]





3 Thermoplastisches Tapewickeln

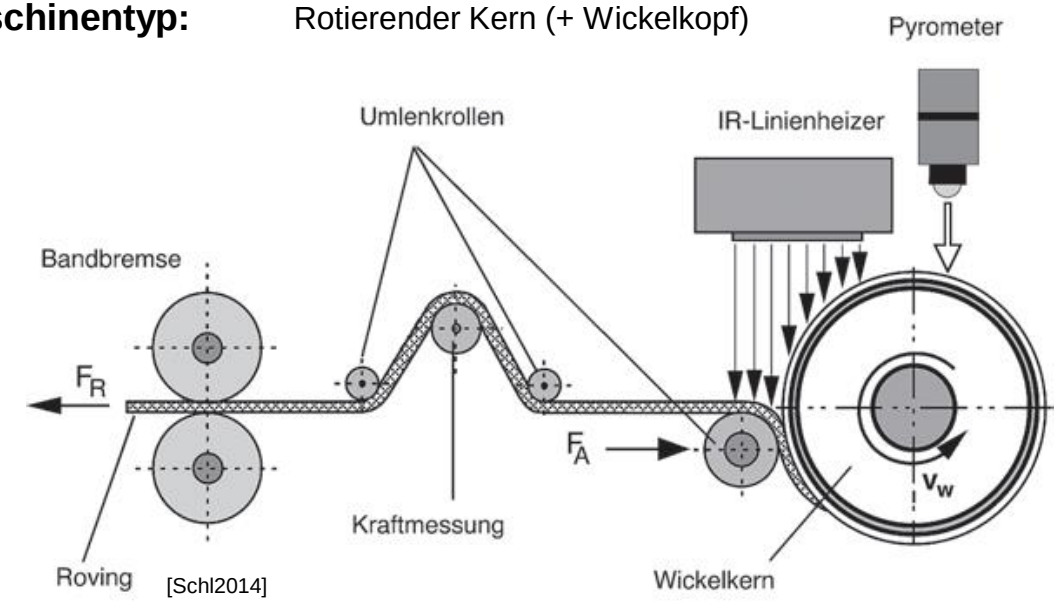
Technologie: Tapewickeln



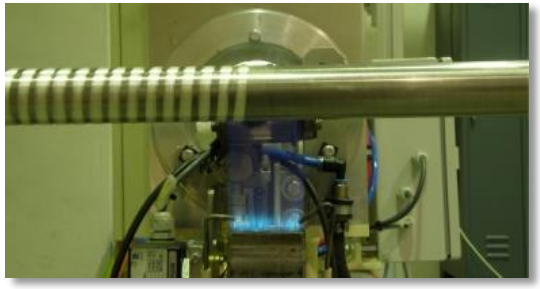
Erstellt anhand [Schl2014]

Energieeintrag: IR-Heizung Laser Heißluft/Brenner

Maschinentyp: Rotierender Kern (+ Wickelkopf)



[Schl2014]

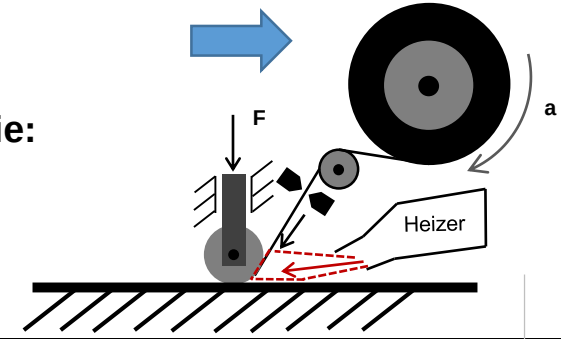


Cetex / TU-Chemnitz

[IPT2006]

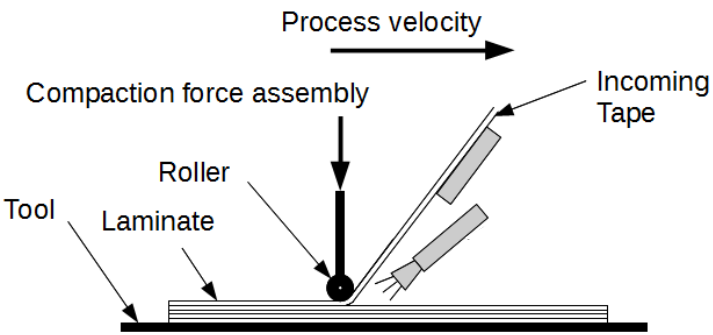
3 Thermoplastisches Tapelegen

Technologie:



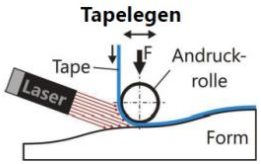
Automatisiertes Tapelegen

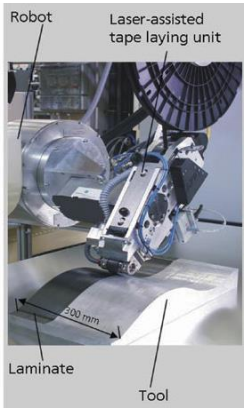
			Ebenes Tapelegen	Kontur Tapelegen	Tapelegen auf Kern
Energieeintrag:	IR-Heizung	Laser	Heißluft/Brenner		
Maschinentyp:			Portal (Gantry)	Portal (Gantry)	Rotierender Kern + Muilaxial Roboter
Geometrie:			Flache Platte	Gekrümmte Platte	Komplexe 3D Strukturen



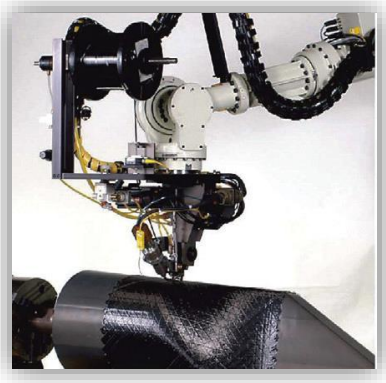
[IPT2006]

[IPT006]



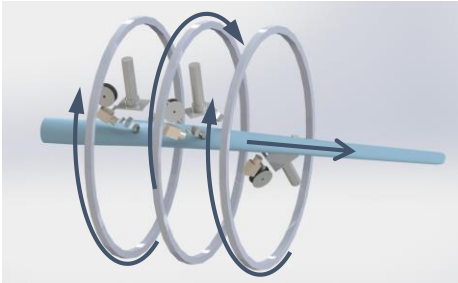


[IPT2006]

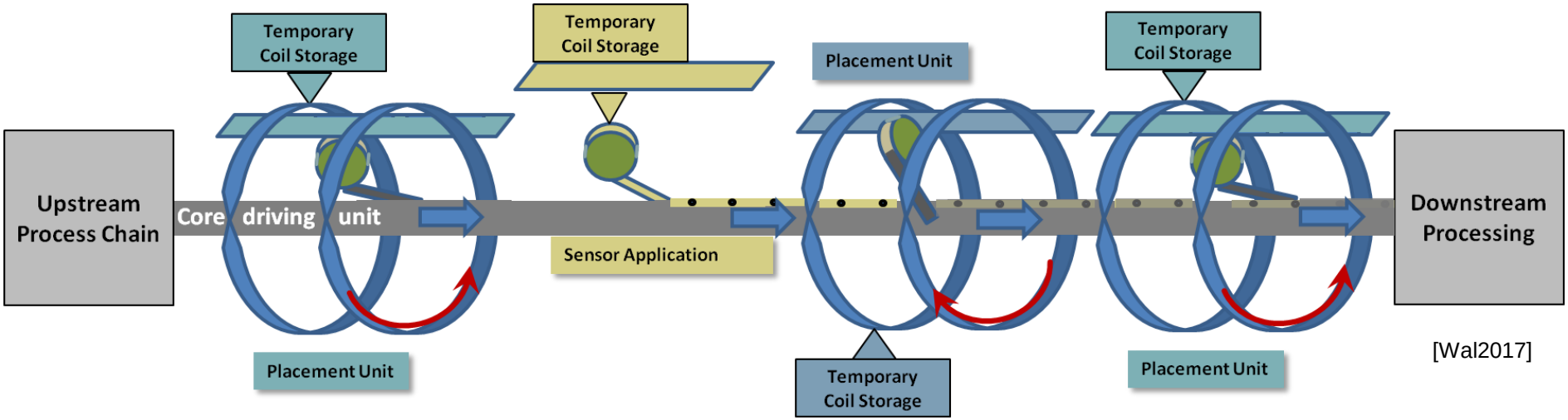


[AUD2014]

4 Prozesskette



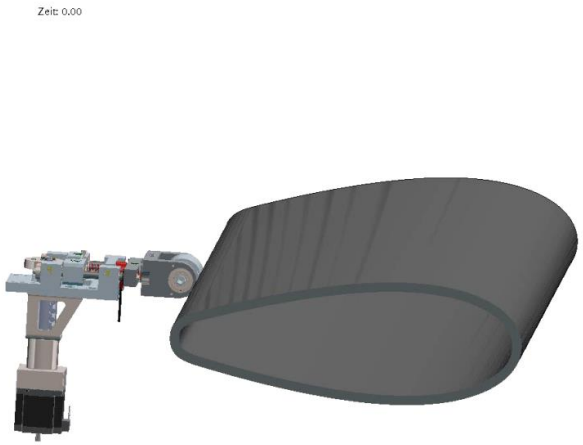
- Modular strukturiertes Konzept des Orbitalwickelns
- Bestimmung der zusammenhängenden Funktionen
- Integration einer großserientauglichen Produktion in eine geschlossene Wertschöpfungskette
- Integration weiterer Prozessketten

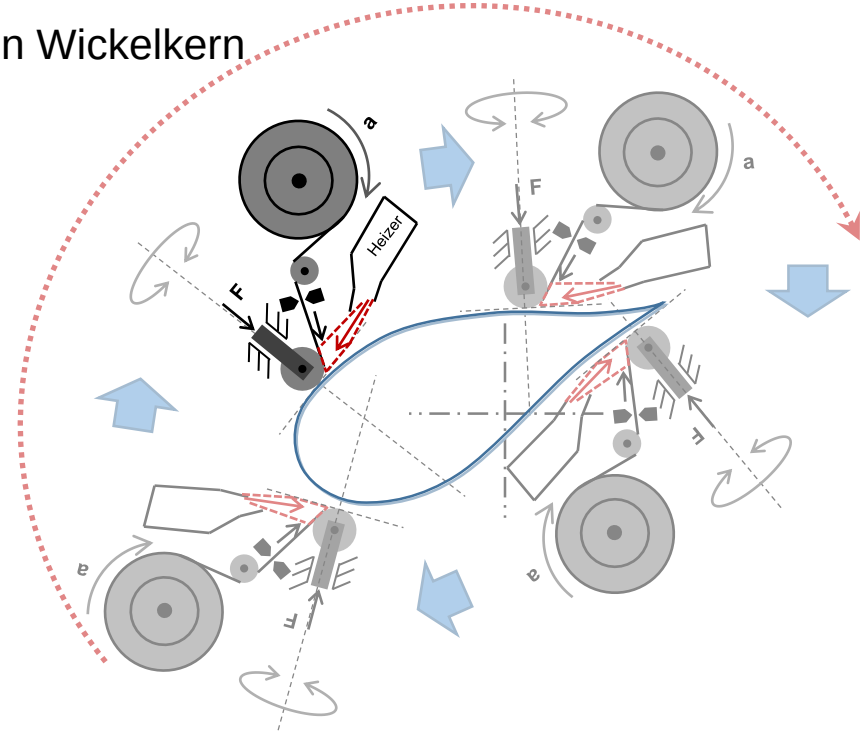


[Wal2017]

5 Technologiekonzept

Bewegung des Endeffektors um einen Wickelkern





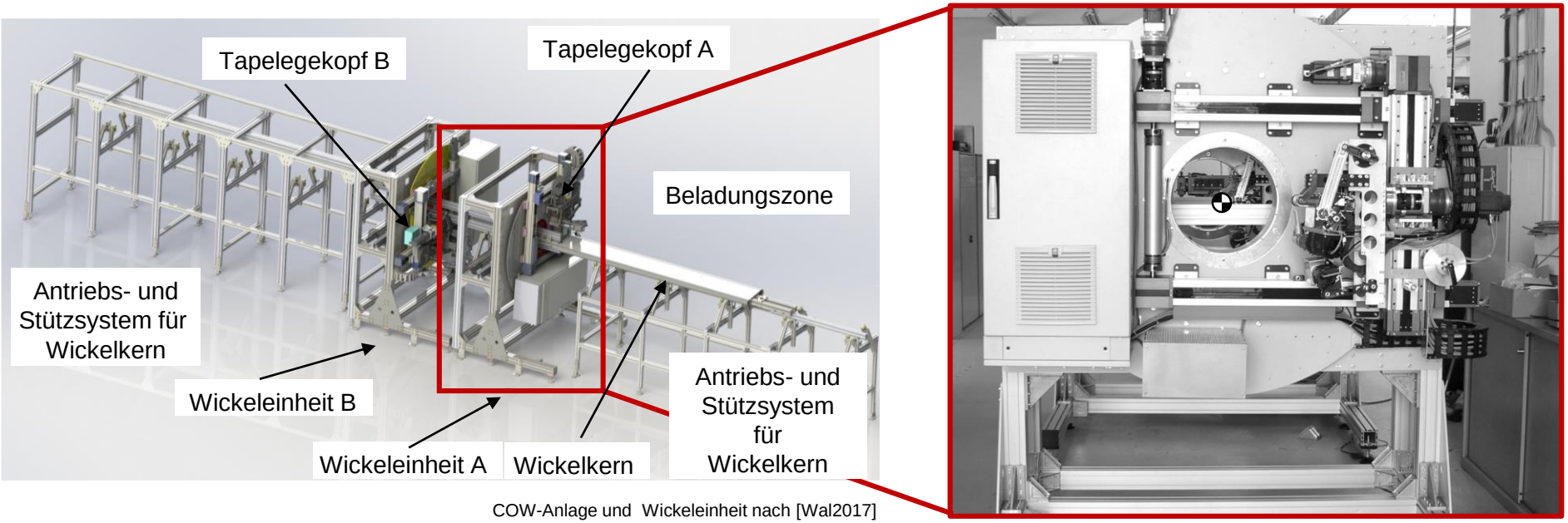
Grundlage für die Entwicklung des Konzeptes

→ Realisierung des kinematischen Systems mit Freiheitsgrad F >1:

- → Beschreibung der Führungsbahn
- → Zusätzliche Freiheit für einen Geschwindigkeitsausgleich
- → Zusätzlicher Freiheitsgrad zur Erzeugung der Konsolidierkraft

6 Pilotanlage

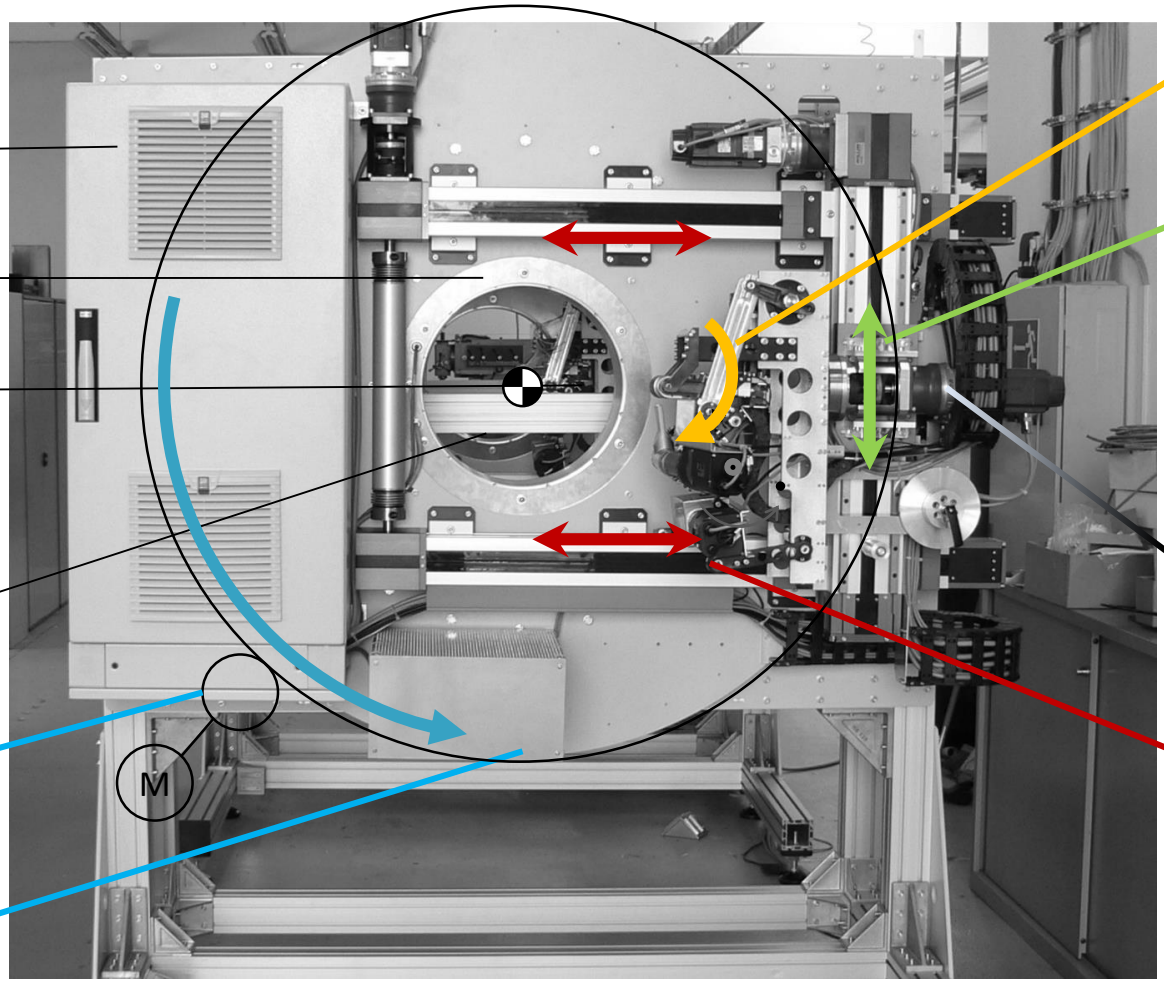
- Continuous Orbital Winding/Wrapping Process
- Verfahrensfusion aus Tapelegen und Tapewickeln
- Verarbeitung von endlosfaserverstärktem Thermoplasttape
- Herstellung rotations- und nicht rotationssymmetrischer, länglicher Strukturbauteile



COW-Anlage und Wickeleinheit nach [Wal2017]

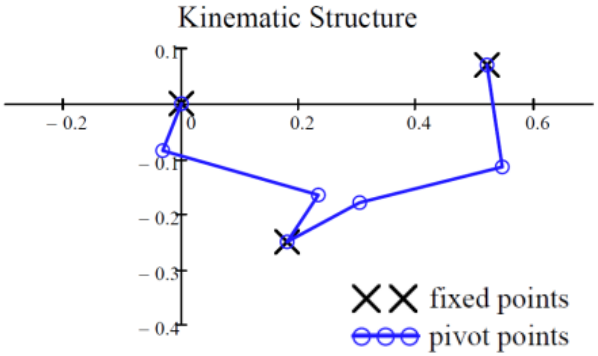
6 Pilotanlage

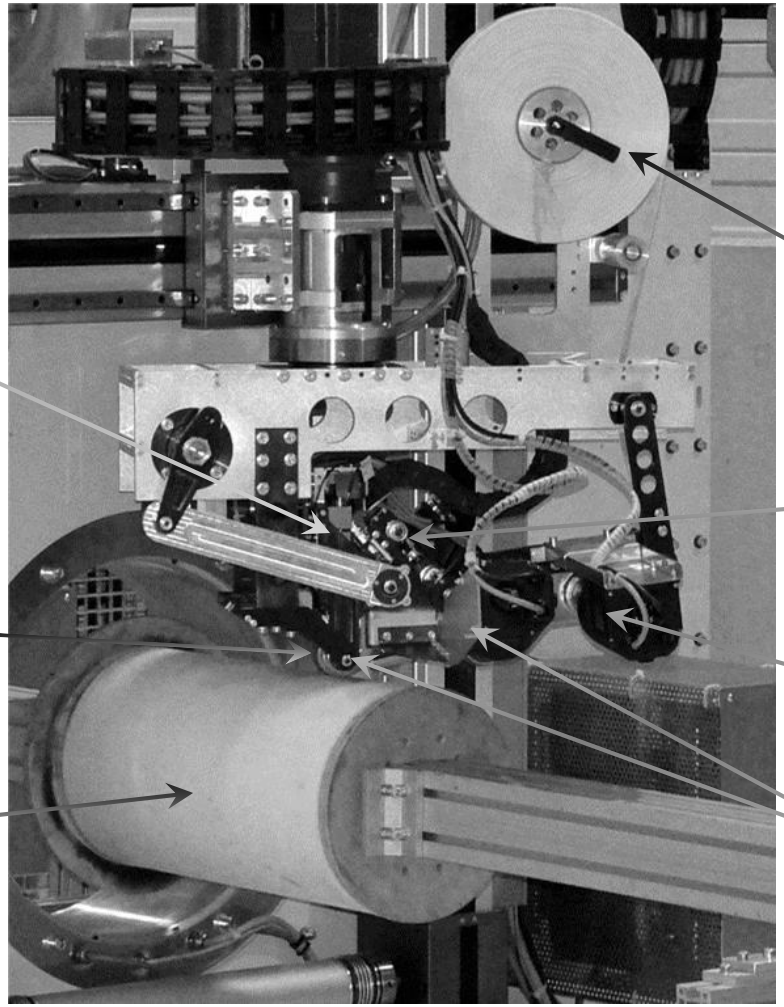
Wickeleinheit



6 Pilotanlage

Tapelegekopf





Konsolidiermodul

Konsolidierrolle

Wickelkern

Materialspeicher

Schneidsystem

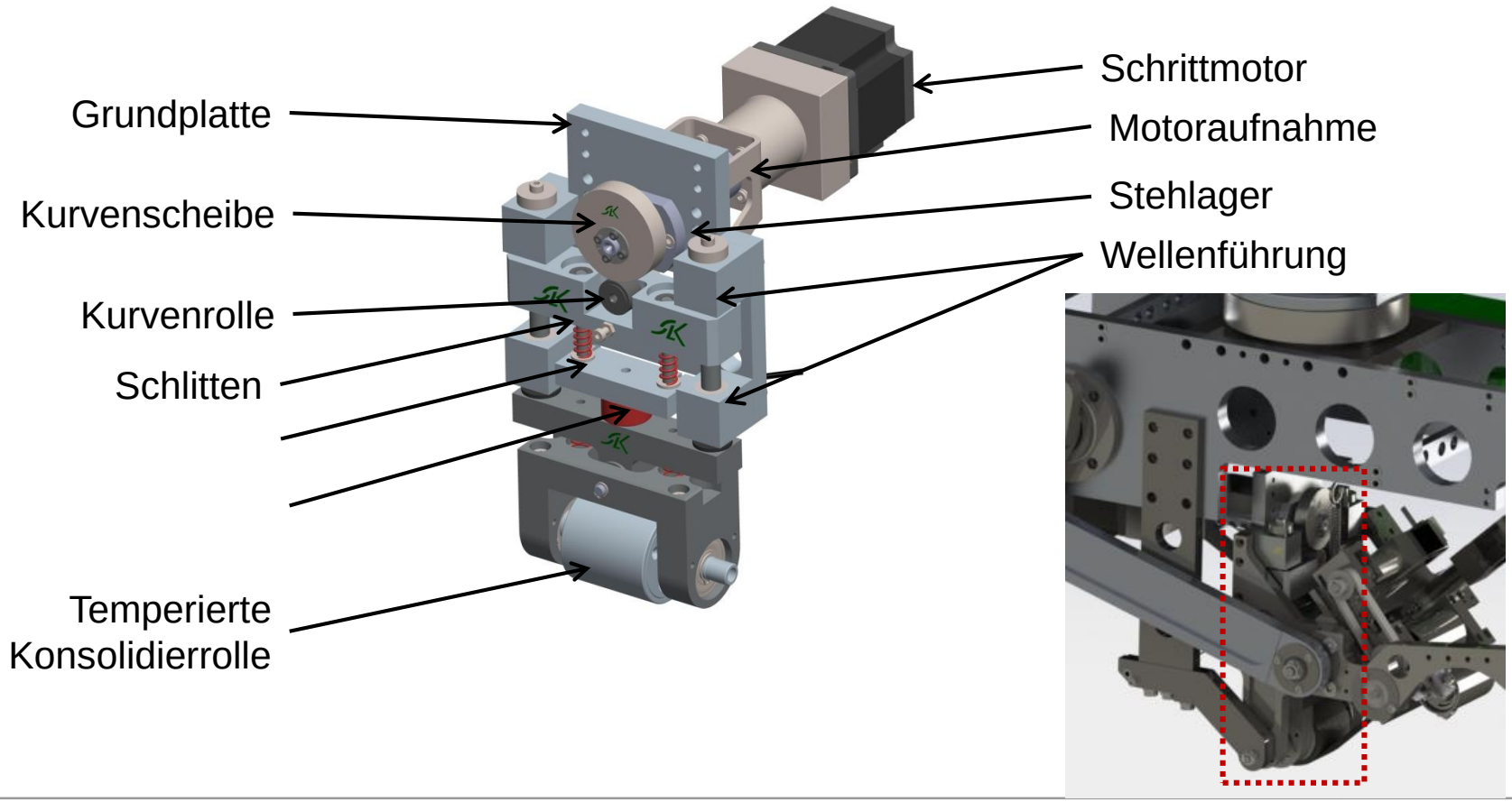
Temporärer Bandvorschub

Vorheizsystem

Finales Heizsystem

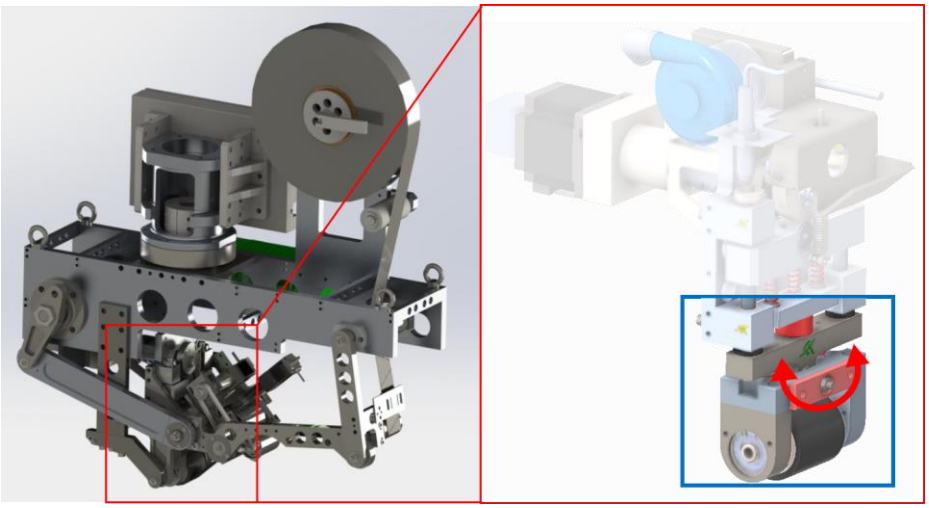
6 Pilotanlage
Konsolidiereinheit

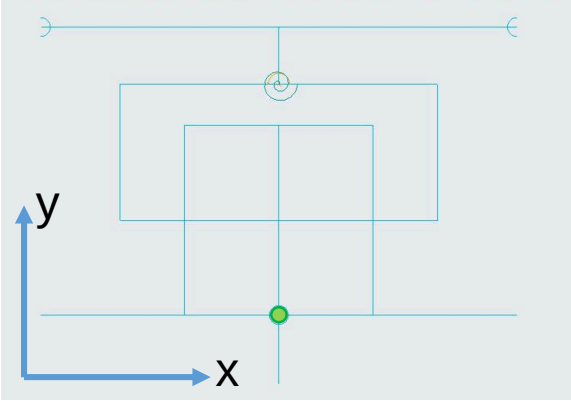
Elektromechanisches Prinzip zur Erzeugung der Konsolidierkraft



7 Anforderungen an den lagenadaptiven Mechanismus

- Lagenadaptiver Mechanismus
  - Konsolidierrolle bisher an einem Drehgelenk gelagert
  - Führt zu Mittenauswanderung des Konsolidierpunktes
  - Mittenauswanderung verschlechtert Qualität der Tapeablage
- Formadaptive Konsolidierrolle
  - Bisher dünne Elastomerschicht auf Metallkern
  - Nur geringe Formadaption bei konkaven und konvexen Kernkonturen

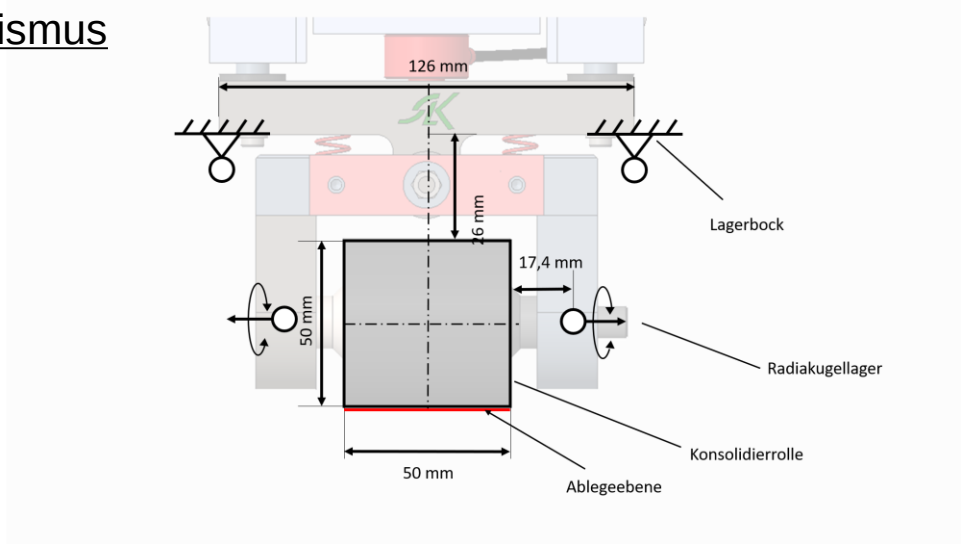


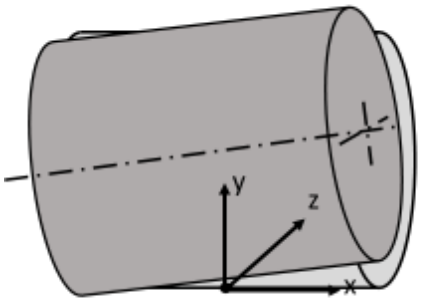


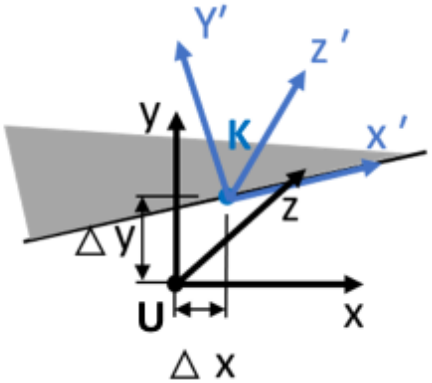
oben: Legekopf (l.) mit aktueller Konsolidiereinheit (r.) [3]
unten: Mittenauswanderung der Ausgangskonstruktion [Quelle: eigene Darstellung]

7 Anforderungen an den lagenadaptiven Mechanismus

- <u>Anforderungen an Lagenadaptiven Mechanismus</u>
- Einhalten des bisherigen Bauraums
- Anbindung an alle bestehenden Komponenten
- Abbilden eines Neigungswinkel bis ±5°
- Zwangläufige Kinematik
- Reduzierung der kritischen Mittenauswanderung Δx
- <u>Anforderungen an Formadaptive Rolle</u>
- Anpassen an Kontur des Wickelkerns
- Temperaturresistent bis ca. 200 °C
- Glatte Oberfläche

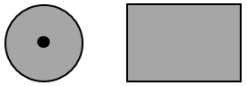
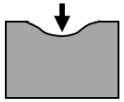
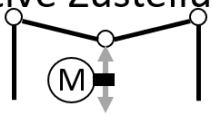
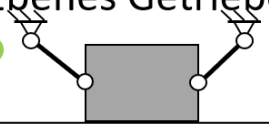
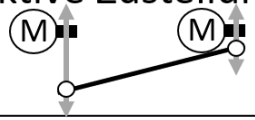
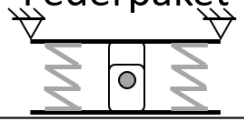
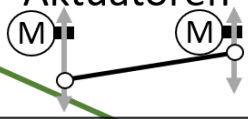
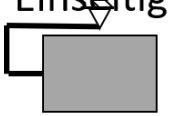
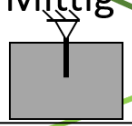
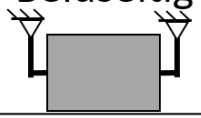






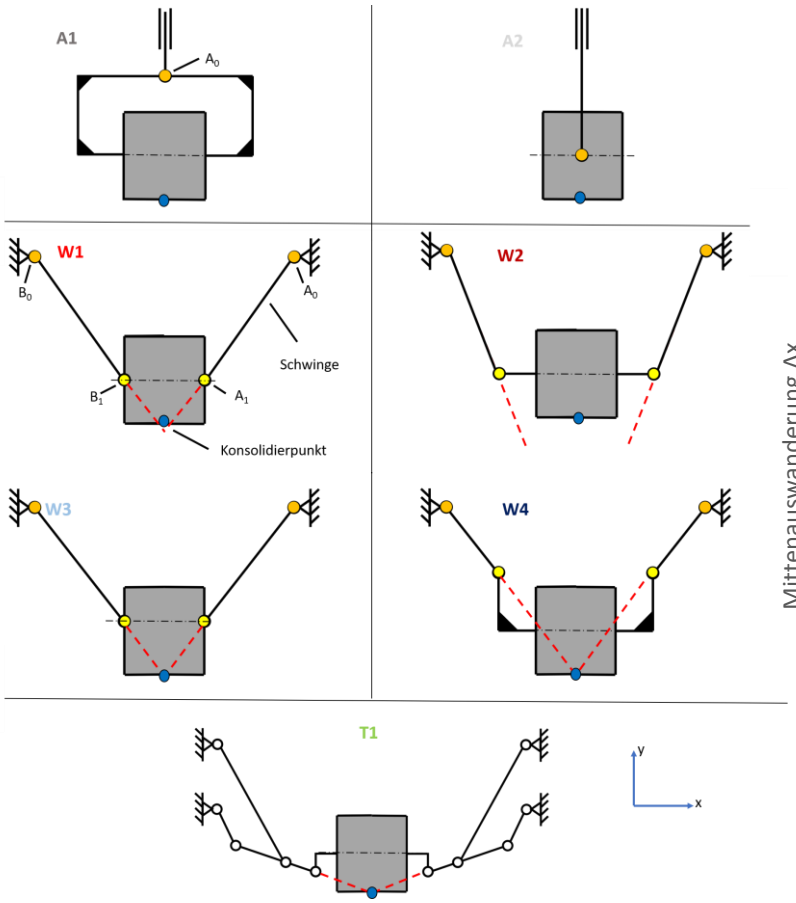
oben: Bauraum Rollenkinematik [Quelle, eigene Darstellung]
unten: Mittenauswanderung des Konsolidierpunktes K in x- und y- Richtung [Quelle, eigene Darstellung]

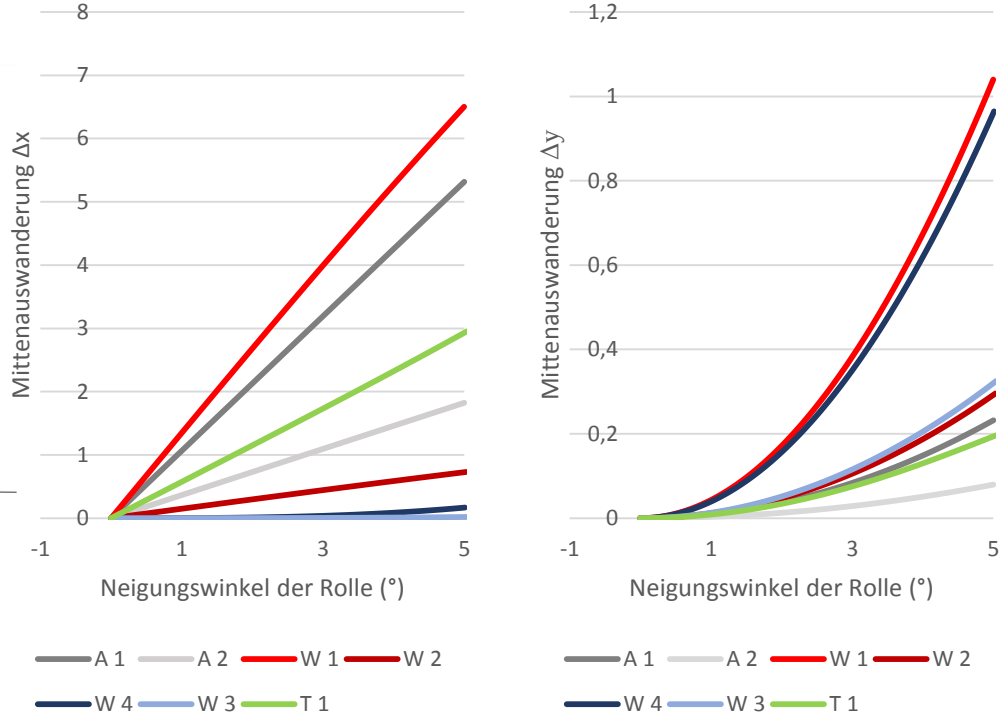
8 Auszug aus der Lösungssystematik

Variante	A	B	C	D
1 Konturanpassung	Rolle 	Schlitten	Bürste	
2 Formadaption	Material 	Struktur	Struktur/Mater.	Aktive Zustellung 
3 Anpassen des Neigungswinkels	Drehgelenk	Kugelgelenk	Ebenes Getriebe 	Aktive Zustellung 
4 Gleichmäßiges Einleiten der Konsolidierkraft	Federpaket 	Aktuatoren 	Zwanglauf	
5 Verbindungsstruktur (Gestell)	Einseitig 	Mittig 	Beidseitig 	
6 Temperierung (vorgegeben)	Warm-/Kaltluft	Infrarot	Laser	Wirbelrohr

9 Variantenstudien

- Ausarbeiten verschiedener Getriebevarianten
- Betrachtung der Mittenauswanderung
- Bewerten dieser Varianten anhand ihrer Mittenauswanderung durch kinematische Simulation in PTC Creo 4.0

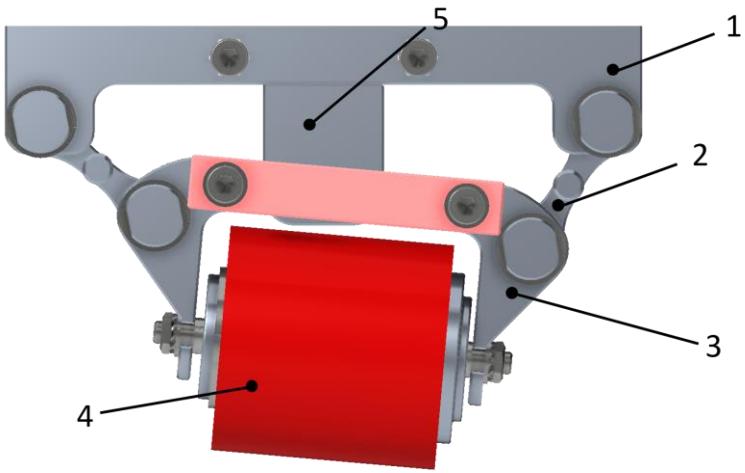


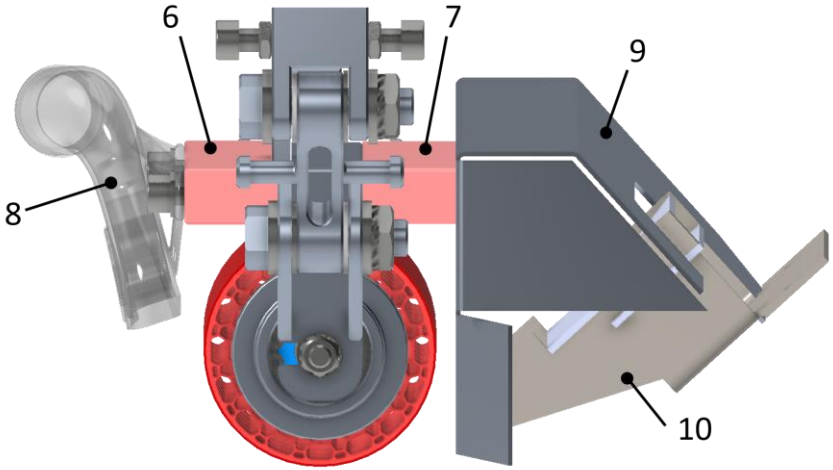


l. Mechanisch zwangläufige Lösungsvarianten [Quelle, eigene Darstellung], r. Mittenauswanderung der Getriebevarianten x- und y-Richtung [Quelle, eigene Darstellung]

10 Konstruktive Umsetzung des lagenadaptiven Mechanismus

- Anhand von Variante W4 auskonstruierter Mechanismus





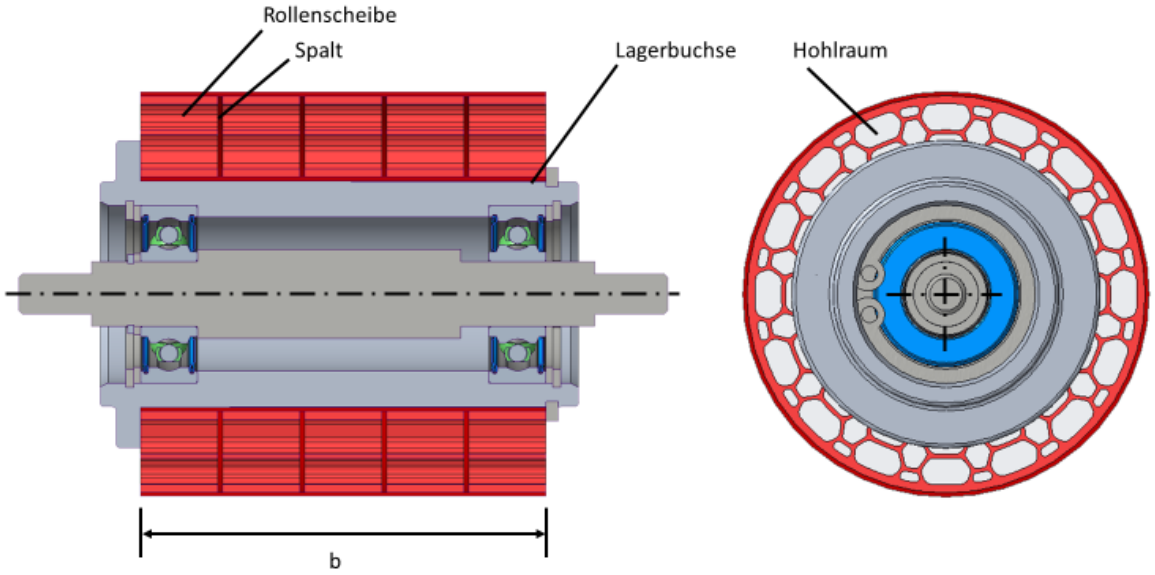
1: Lagerbock
2: Schwinge
3: Brücke
4: Konsolidierrolle
5: Anschlagblech
6 u. 7: Distanzblöcke
8: Kaltluftzufuhr
9: Schutzblech
10: Tapezuführung

Aufbau Rollenkinematik, o. Frontalansicht, u. von rechts [Quelle, eigene Darstellung]

11 Entwurf einer Formadaptiven Rolle

Die Formadaptive Kammerstruktur der Konsolidierrolle orientiert sich am Tweel von Michelin.

- Material: HT-festes 2 Komponenten Silikon
- FEM-Simulation vergleicht Verformungsverhalten
- Durch anpassen von Wandstärke oder Material, kann die Verformung gesteuert werden



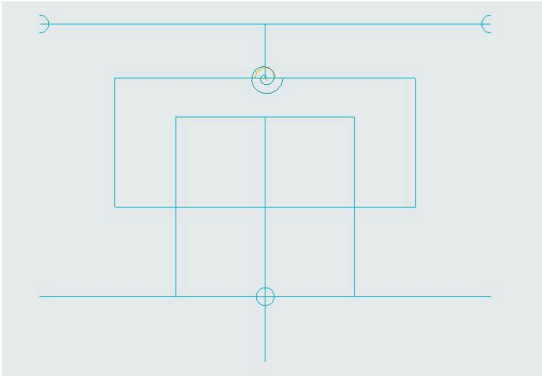
l. Querschnitt durch die Konsolidierrolle [Quelle, eigene Darstellung],

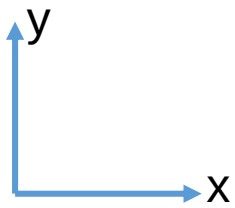
r. Vergleich: simulierte Verformung des Rollenquerschnitts (o.). Tweel, Firma Michelin [Gal2014] (u.)

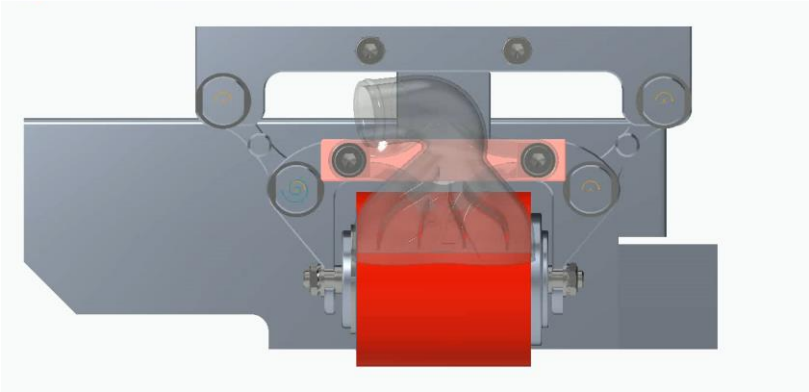
12 Zusammenfassung Ausblick

- Konstruktion eines zwangläufigen- lagenadaptiven Mechanismus zur Führung der Konsolidierrolle
- Reduktion der kritischen Mittenauswanderung Δx von 5,23 mm auf 0,17 mm
- Aufzeigen eines Konzepts für eine formadaptive Konsolidierrolle
- Einsatz der form- und lagenadaptiven Konsolidiereinheit für andere Verfahren möglich

→ nächster Schritte: Prototyp und Funktionsmuster, Optimierung, Thermische Auslegung







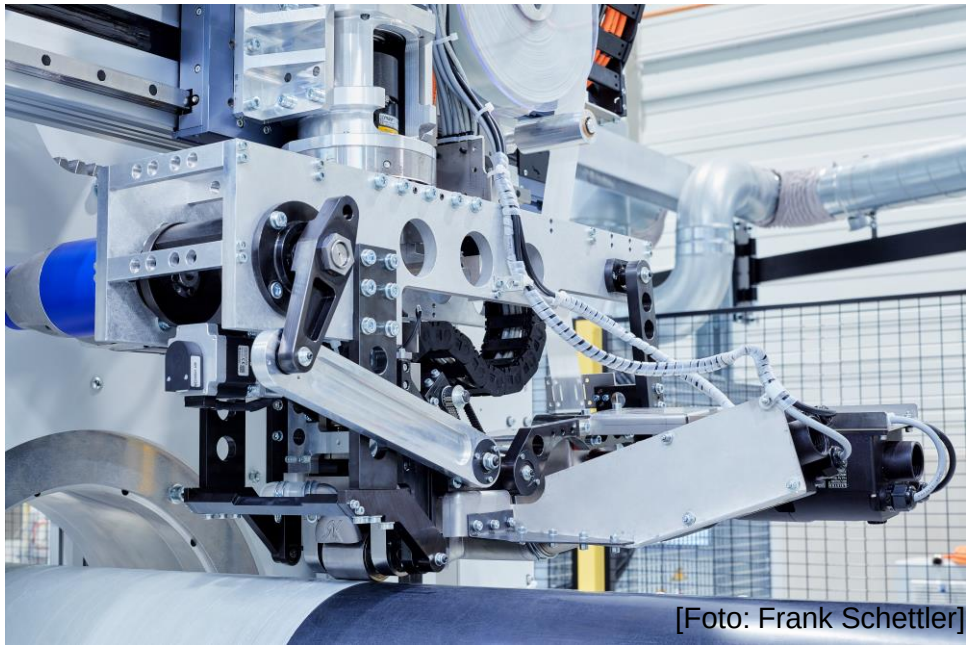
Mittenauswanderung der Ausgangskonstruktion (l.) sowie der auskonstruierten Lösungsvariante (r.) [Quelle: eigene Darstellung]

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Literatur

[IPT2006]	M. Emonts	Herstellung von belastungsoptimierten UD endlosfaserverstärkten Thermoplast-Bauteilen
[Dai2002]	S.C. Dai, L. Ye	Characteristics of CF PEI tape winding process with on-line consolidation
[DBU1990]	Iffland et. al.	Entwicklung und Erprobung eines neuen Fertigungsverfahren von Rotorblättern für Windkraftanlagen
[AUD2014]	N.N.	Automated Dynamics [http://www.automateddynamics.com/automation-equipment]
[Hei2009]	A. Heine	Kinematische Analyse ebener und räumlicher Getriebestrukturen mit Hilfe von Motion-Skeletten, SAXSIM, Chemnitz, 2009
[Schl2014]	Schledjewski, R.	Handbuch Verbundwerkstoffe, Hanser Verlag2014
[Ttre2015]	N. N.	http://www.textreme.com/assets/u/page-content/B2C/Technology_B2C/2002xx-x-TeXtreme-Spread-Tow-Tapes.png, 04.09.2015.
[Khan2010]	Khan, M. A.:	Experimental and Simulative Description of the Thermoplastic Tape Placement Process with Online Consolidation. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, 2010
[Wal2017]	R. Decker, B. Arnold, R. Wallasch, A. Bauer R. Tirschmann, J. Mehner, W. Nendel, L. Kroll	In-line integration of sensors in thermoplastic composite structures using novel continuous orbital winding technology, 21. Symposium on Composites, Bremen, 2017
[Gal2014]	Galeazzi, Marc:	Galeazzi, Marc: Check Out the Tweel and See Why You'll Love It, November. 2014. Unter: https://trainhornsdelivered.com/blogs/categories/16011356-check-out-the-tweel-and-see-why-you-ll-love-it, Zugriff am: 01.02.2018.
[TUB2018]	N. N.	Technische Universität Braunschweig, Institut für Getriebelehre und Maschinendynamik: Tschebyscheff-Lenker (Sonderfall). Unter: http://www.dmg-lib.org/dmglib/main/portal.jsp?mainNaviState=browsen.mecdesc.viewer&id=1666025, Zugriff am: 01.02.2018

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit


[Foto: Frank Schettler]

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Bundesexzellenzcluster EXC 1075 „Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen“ (DFG gefördert) und im Rahmen des EU-Projektes TAHYA (TAnk HYdrogen Automotive). Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung. This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking under grant agreement No 779644. This Joint Undertaking receives support from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme and Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research.