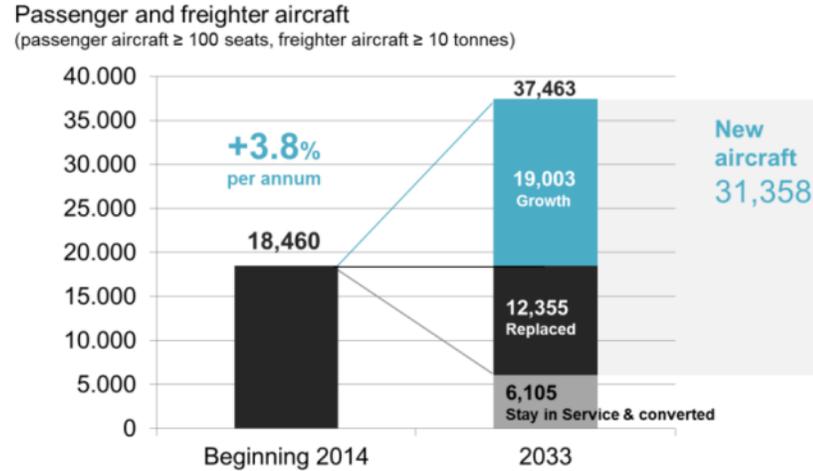


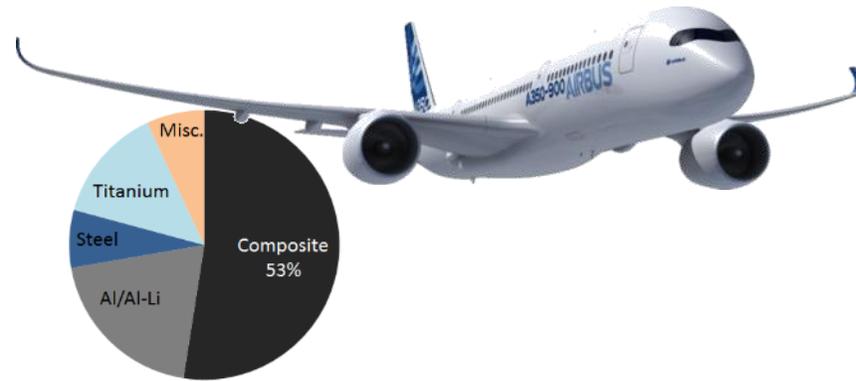
# **Vliesstoffe aus recycelten Kohlenstofffasern für den Einsatz in der Luftfahrt - Erfahrungen, Anwendungsbeispiele und Ausblick**

Dipl. Wirt.-Ing. Tassilo Witte

# Die Luftfahrtindustrie – heute nicht gerade in klassischer Anwender von Vliesstoffen in der Struktur



Ratenhochlauf



CFK – breite Anwendung bei Airbus



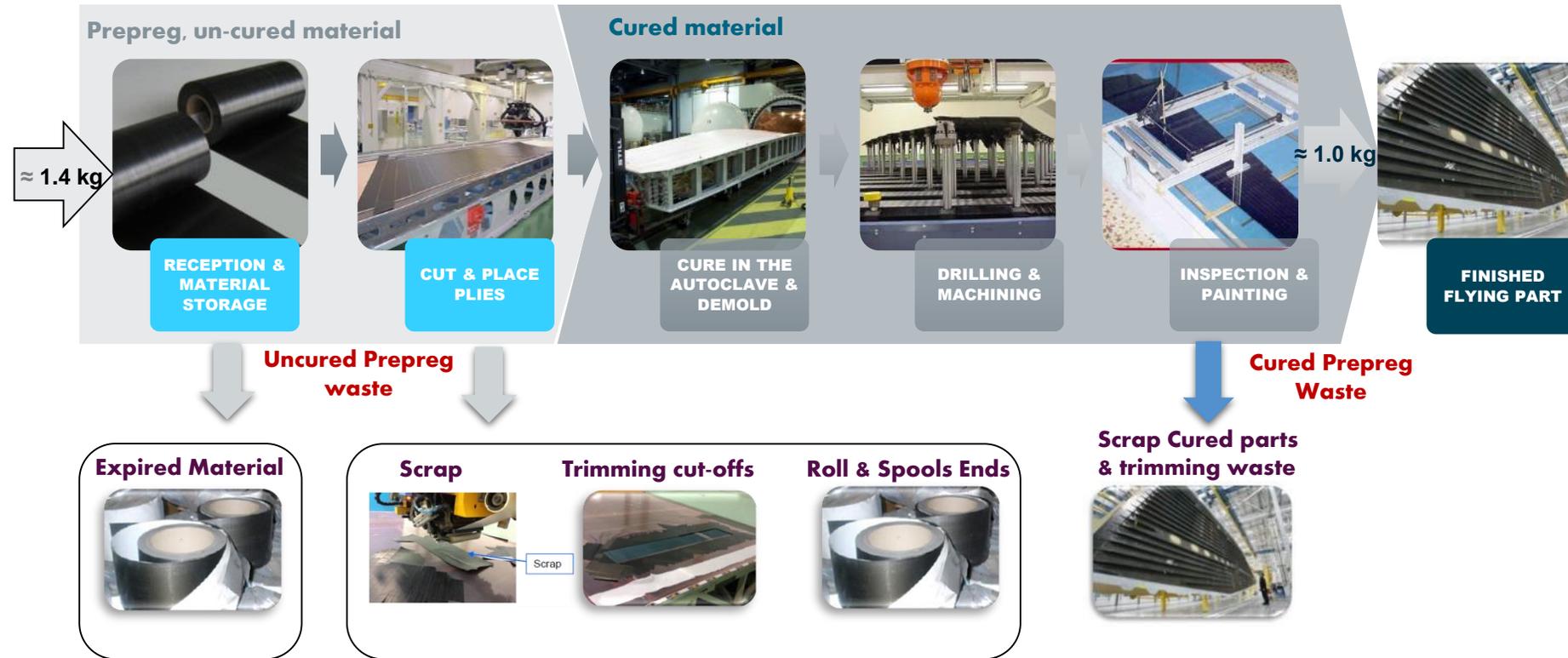
New Airbus A350 Final assembly line



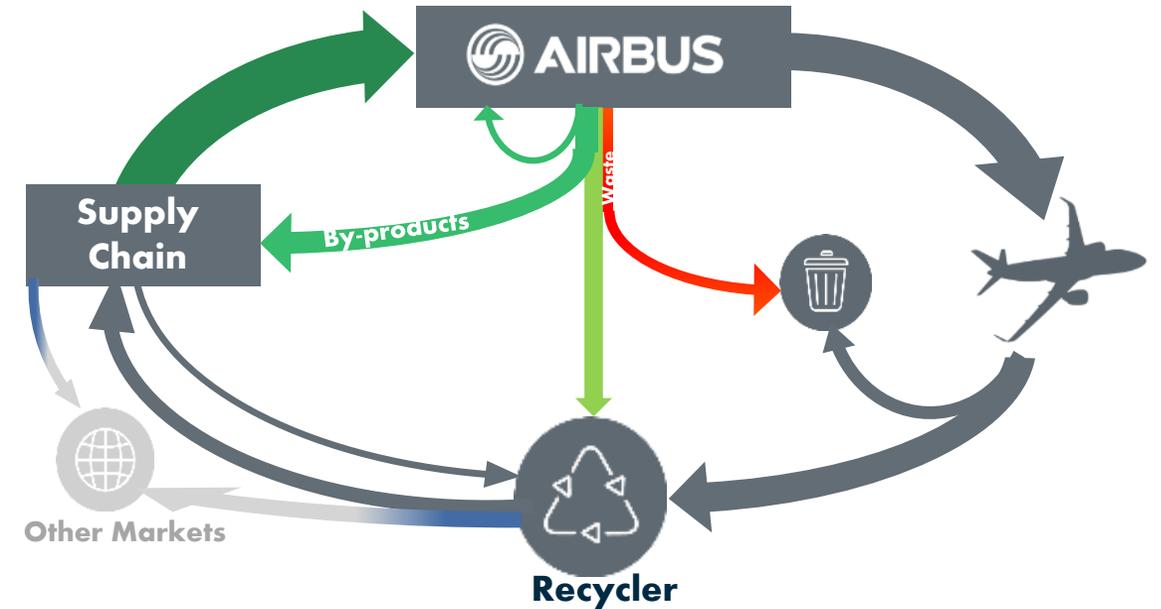
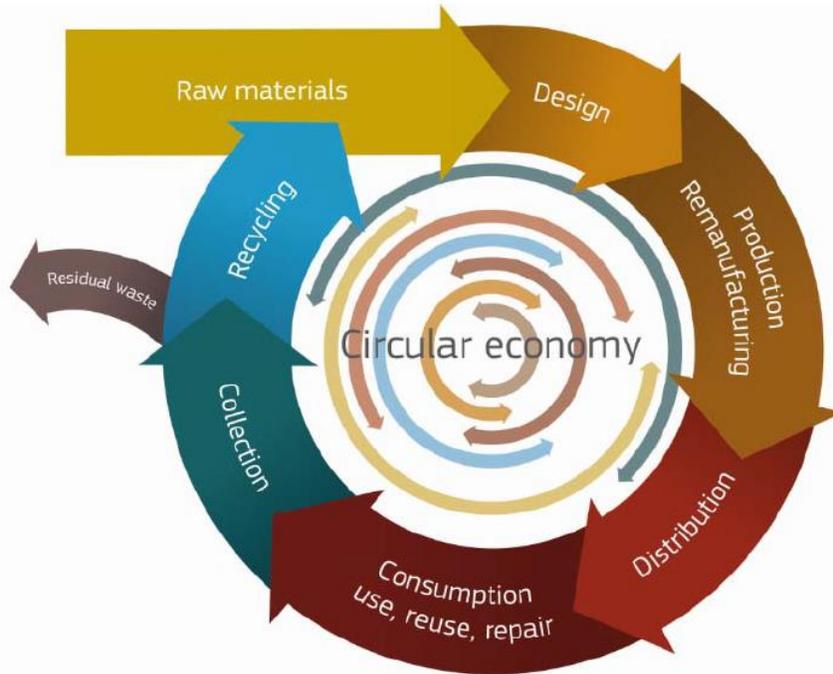
Tape laying for large scale CFRP parts

# Wieso beschäftigen wir uns mit Vliesstoffen?

## Typical Automated Process for a composite part



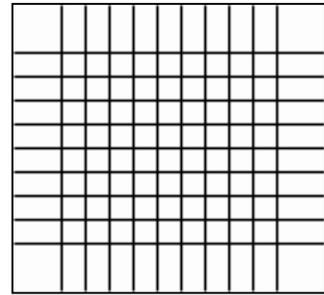
# Unsere Strategie für eine echte Kreislaufwirtschaft im Composite-Bereich



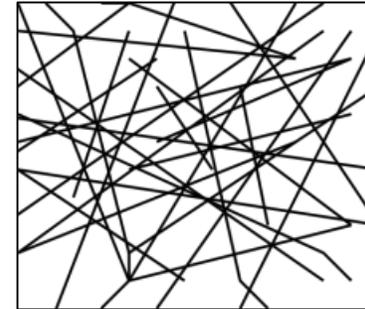
- **Commission Communication: “Towards a circular economy: a zero waste programme for Europe”**
- **Proposal for a Directive of the EU Parliament and of the Council to amend the 6 waste directives**
- **Local laws and directives (e.g. KrWG in Germany)**

Estimated Value*	Description
Reduce	Process efficiency improvement to avoid and prevent unnecessary waste generation
Re-use	Preparation for re-use of the material in its existing form for its original purpose
Recycle	Industrial process dedicated to convert a waste into a product for another application cycle
Recover	Energy recovery before final disposal of waste
Disposal	Landfilling or incineration without energy recovery

# Wie kamen Vliese in der Luftfahrt überhaupt ins Spiel?



**GFK - Kreuzlaminat**



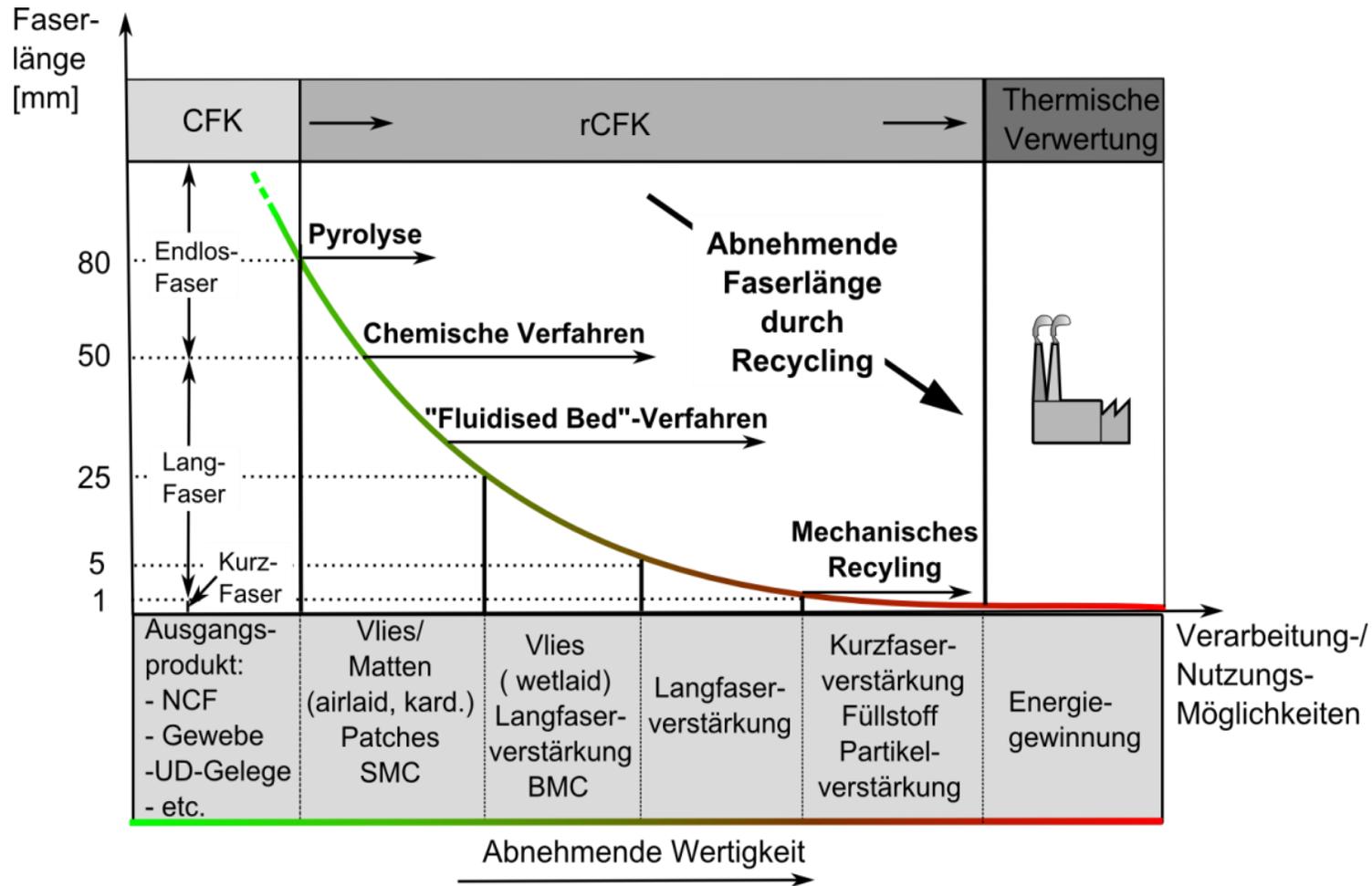
**rCFK-Vlies**



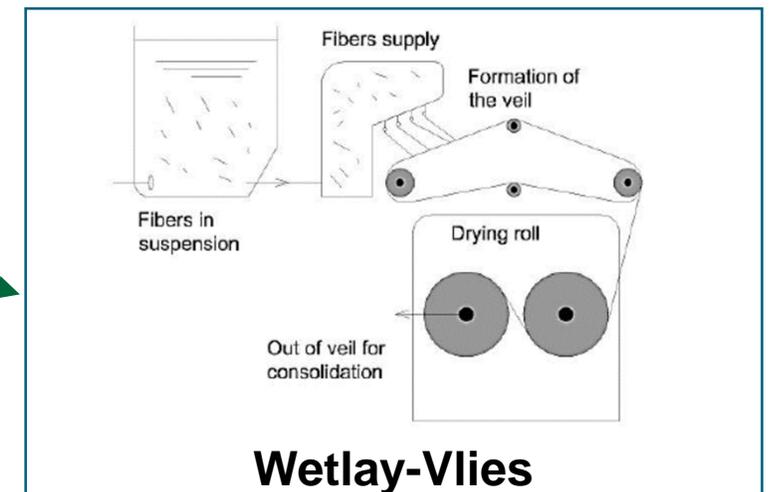
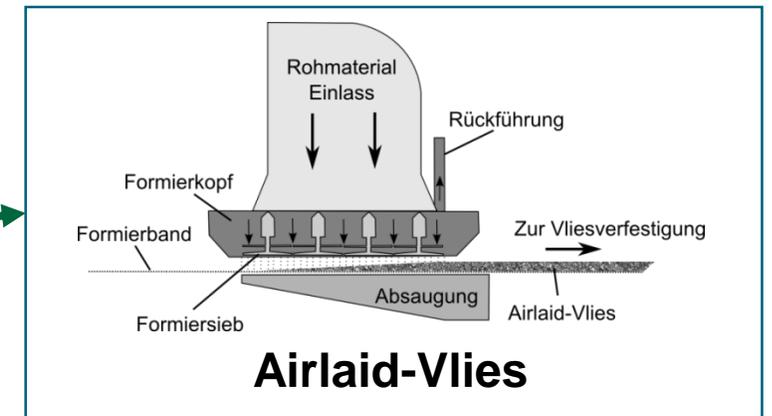
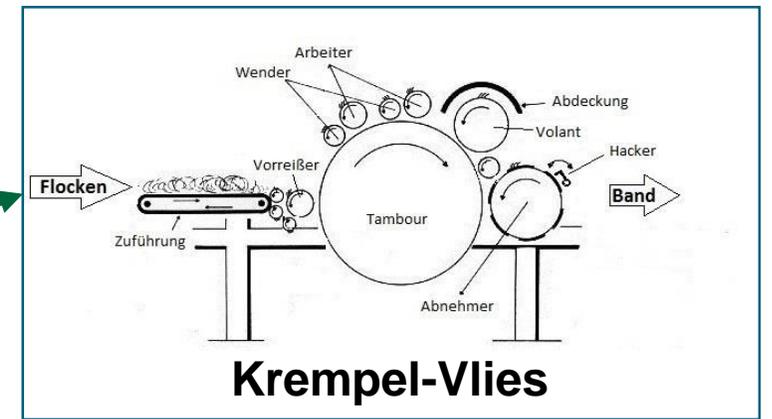
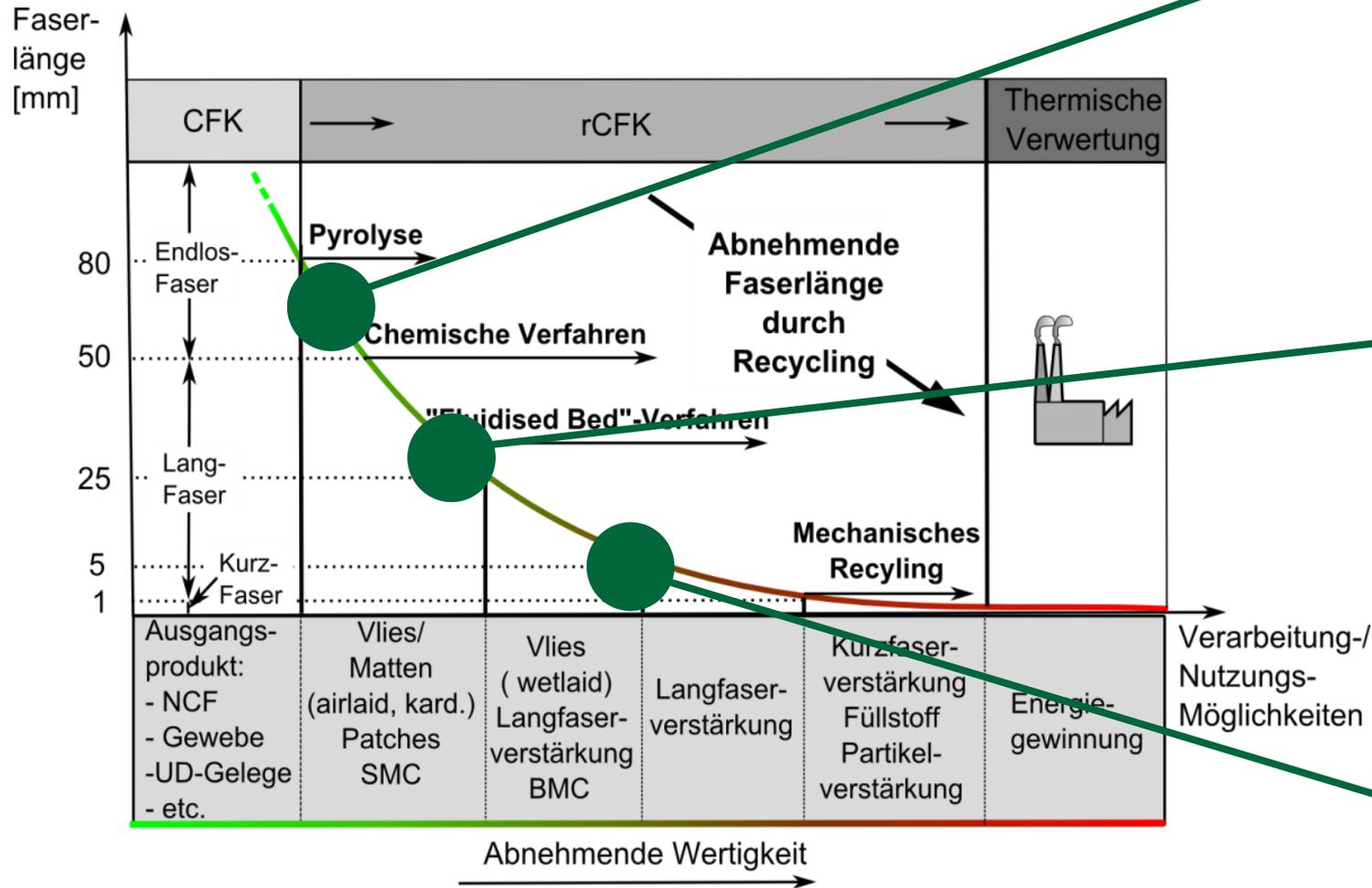
**Reduktion von:**

- **Gewicht**
- **Kosten**
- **Umweltbelastungen**

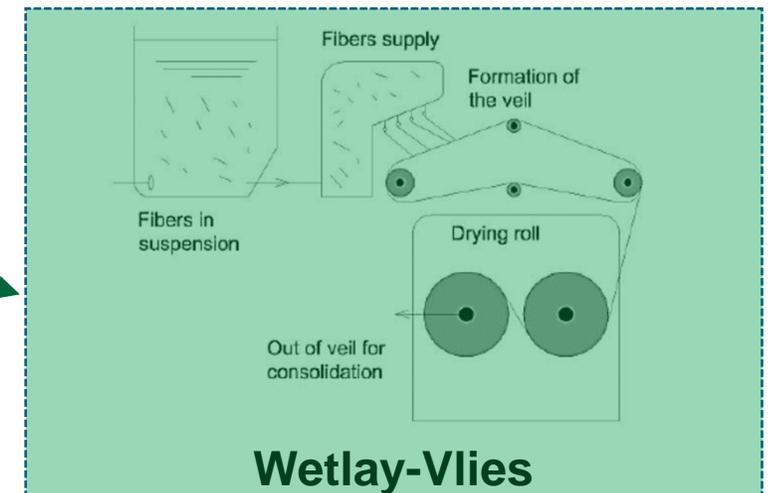
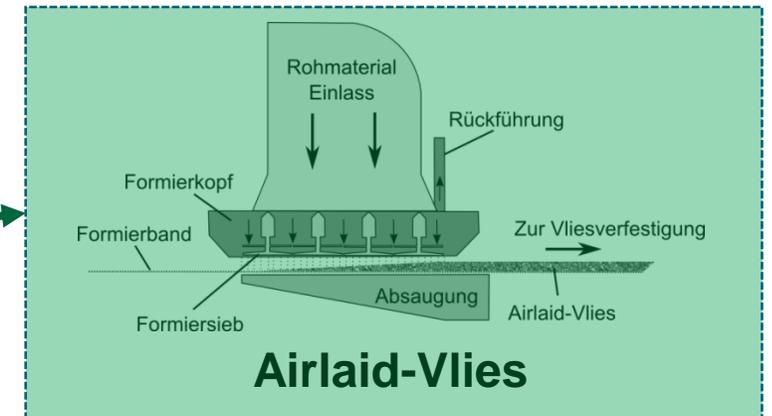
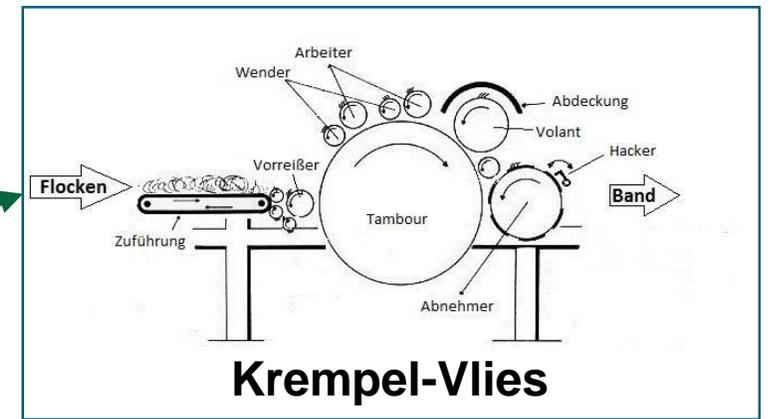
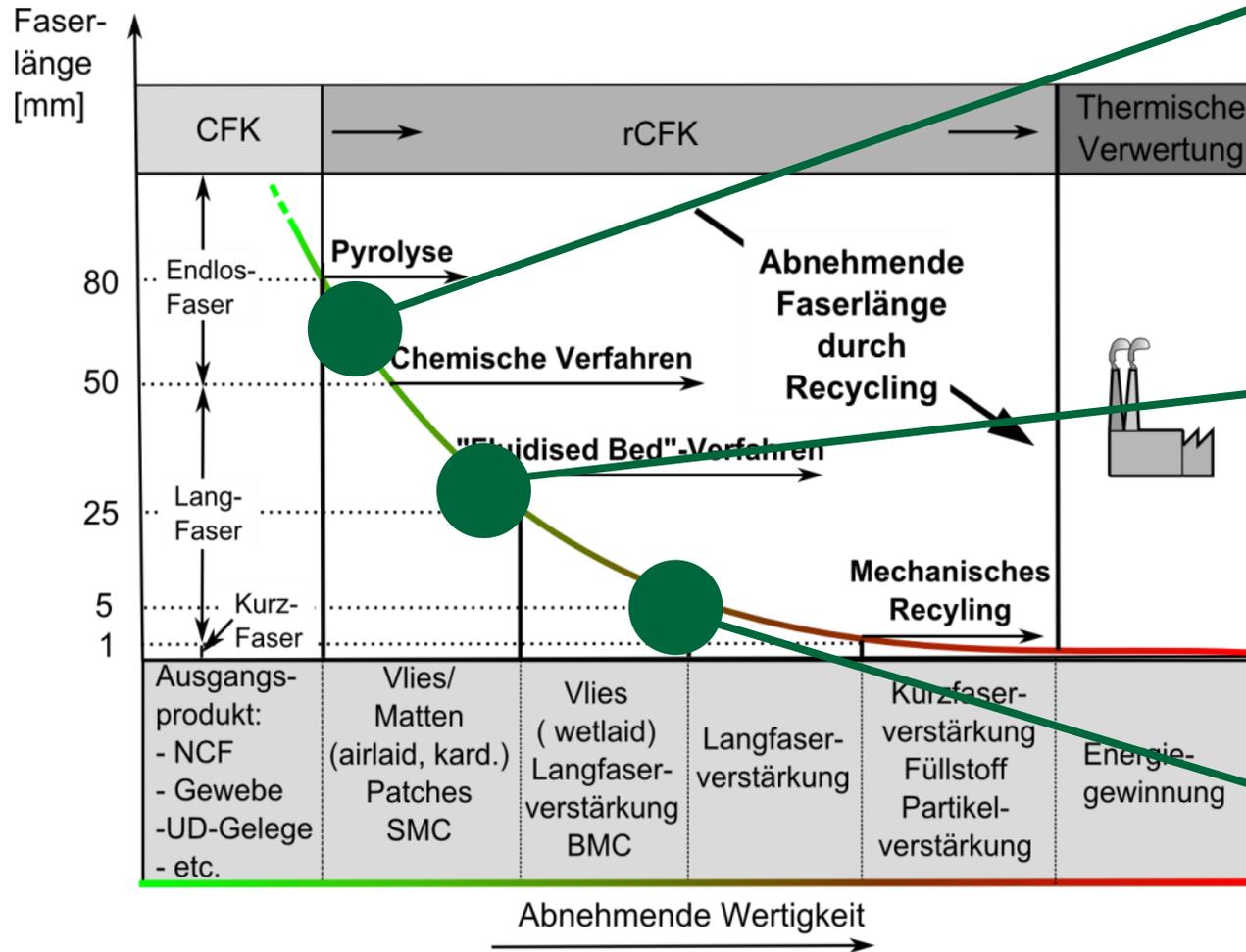
# Welche Vliesbildungsprozesse genutzt werden, hängt vom Recyclat und der Anwendung ab



# Welche Vliesbildungsprozesse genutzt werden hängt vom Recyclat und der Anwendung ab



# Welche Vliesbildungsprozesse genutzt werden hängt vom Recyclat und der Anwendung ab



# LuFo 5.1 „REKAS“

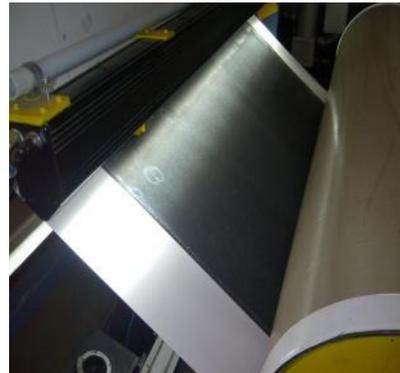
Entwicklung eines phenolharzbasierten Vlies-Prepregs für den Einsatz in der Kabine



Recycelte C-Fasern



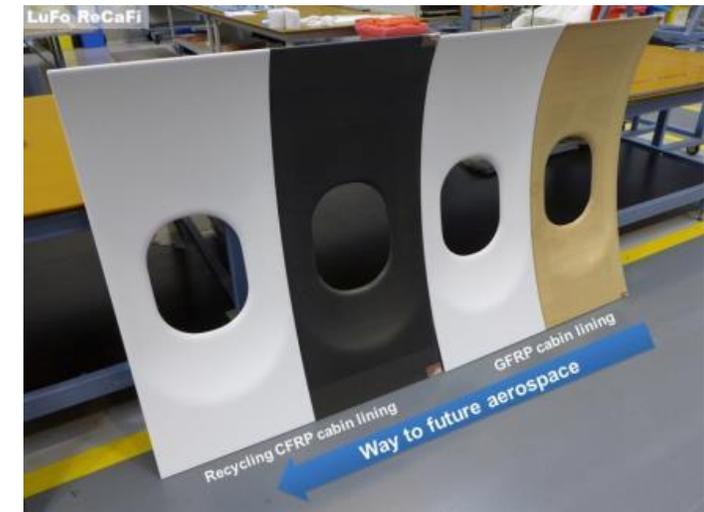
rCF Vliesbildung



Prepreg-Imprägnierung



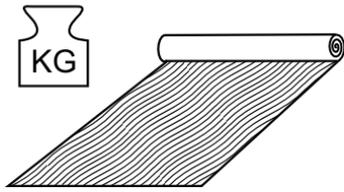
Heißpressen



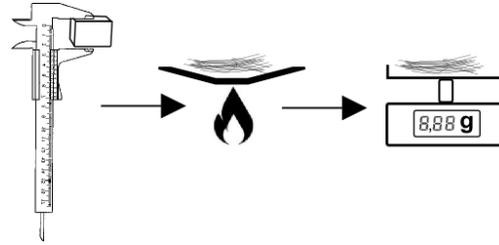
Demonstration der rCF- Sidewall im 1:1 Maßstab



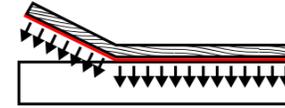
# Herausforderung "Materialentwicklung Flugzeugkabine"



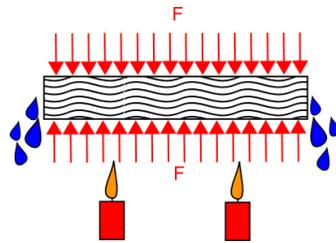
Areal weight (prepreg)



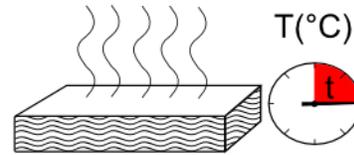
Fibre volume content



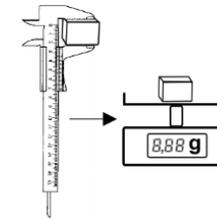
Tack



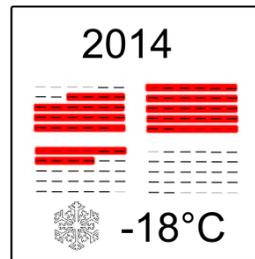
Resin flow



Volatile components



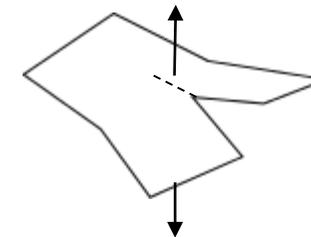
Resin density



Storage time at -18°C

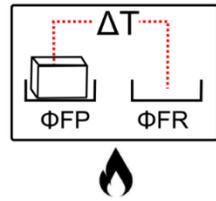


EHS

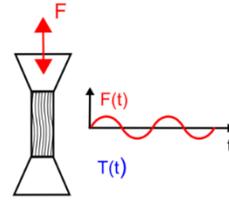


Tear strength of fabric/prepreg

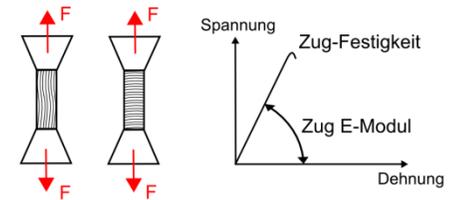
# Herausforderung "Materialentwicklung Flugzeugkabine"



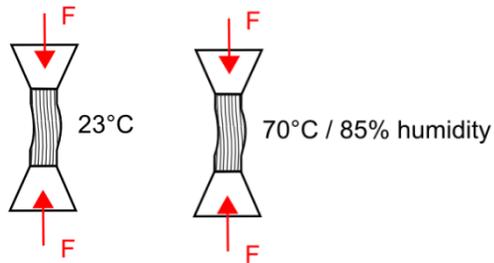
DSC



DMA



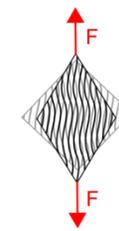
Tensile strength, youngs modulus



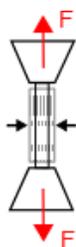
Compression strength/modulus



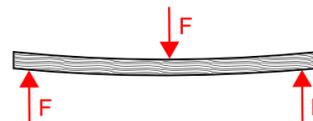
ILSS



Modulus of shear, shear strength



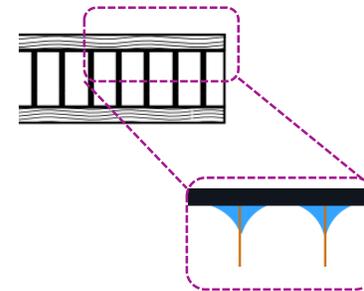
Poisson number



Bending strength and modulus

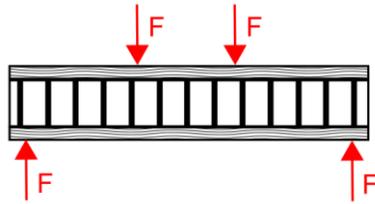


Peel strength

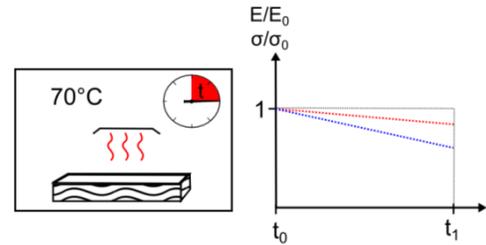


Bonding of skin to core

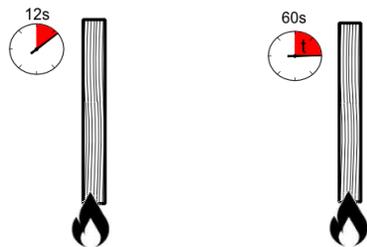
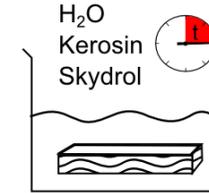
# Herausforderung "Materialentwicklung Flugzeugkabine"



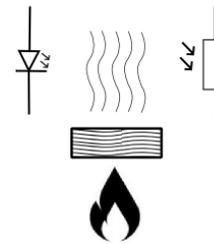
4-point-bending



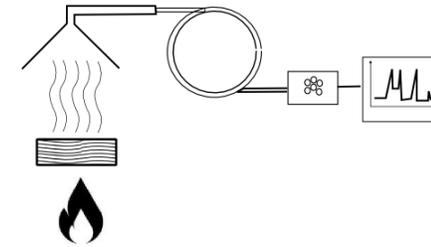
Aging (immersion in water and aggressive substances)



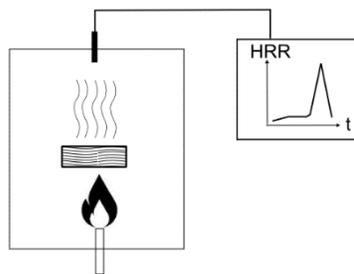
Flammability 12s / 60s vertical



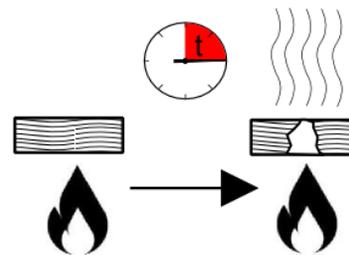
Smoke density



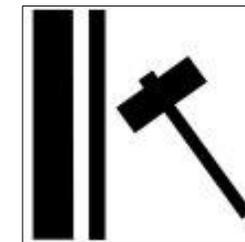
Smoke gas components



Heat release / Heat release rate



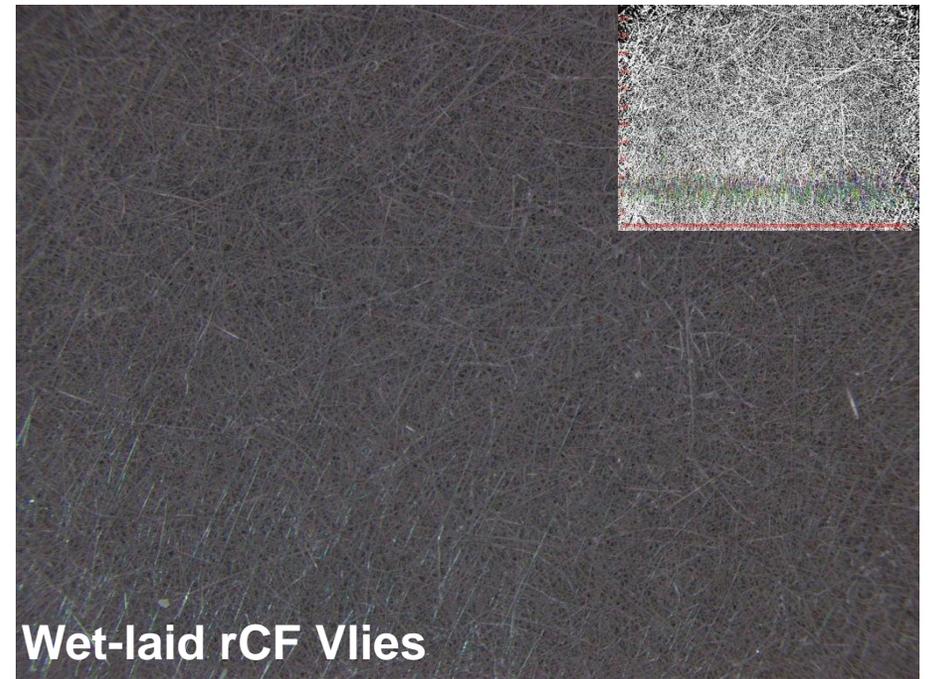
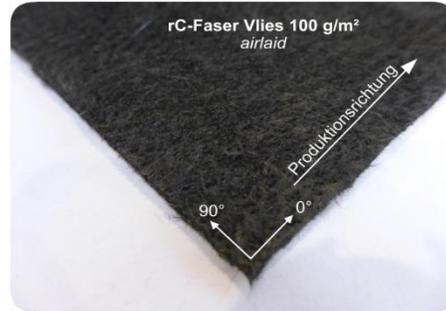
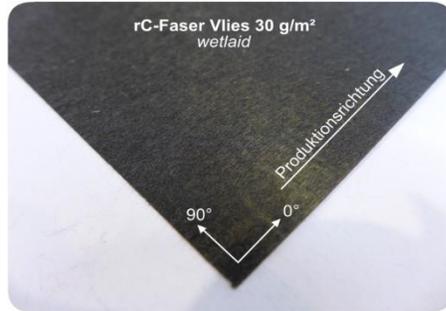
Burn through test of laminate



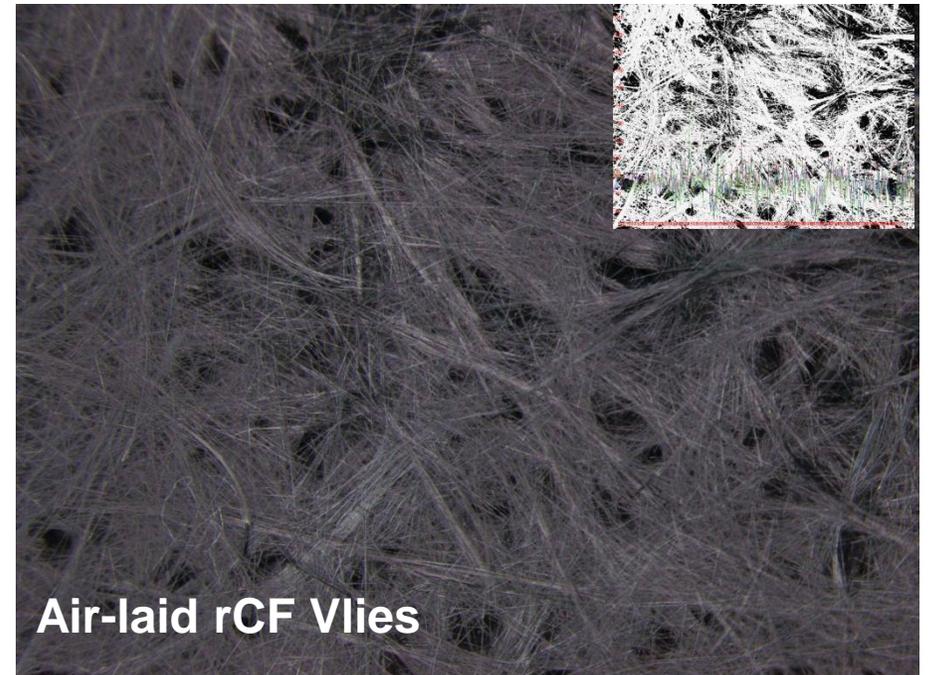
Impact

# Untersuchte Airlaid und Wetlay-Vliese

## Technische Details



**Wet-laid rCF Vlies**



**Air-laid rCF Vlies**

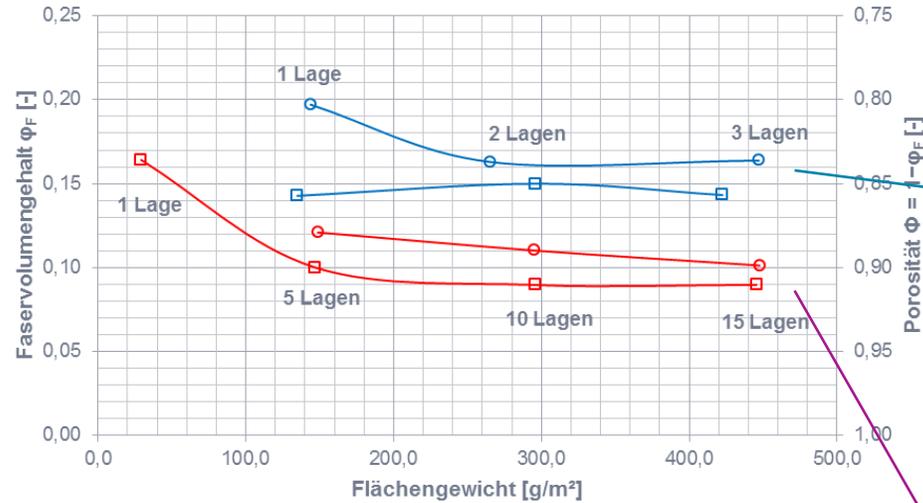
Halbzeug-Eigenschaft	carboNXT veil	carboNXT non-woven <sup>1</sup>
Verfahren der Vliesbildung	wetlaid	airlaid
Grammatur	30 g/m <sup>2</sup>	100 g/m <sup>2</sup>
Carbon- mit Glasfaseranteil	C-Faseranteil > 95 wt%	C-Faseranteil > 95 wt%
Mittlere Faserlänge [mm]	6	25 <sup>(2)</sup>
Reißfestigkeit	28 N/15 mm	-
Dicke	0,31 mm	~1,25 mm
Verfestigung	-	Nadelverfestigt
Binder	Max 10 wt.% Acrylatbinder	-

# Faservolumengehalt von Vlies-Laminaten: eine andere Welt..

Faservolumengehalte von Wirrfaserlaminaten deutlich unter üblichen

- ~ 60% FVG für Strukturbauteile
- ~ 40% FVG für Kabinenbauteile

→ Auch mit aktiver Kompaktierung nicht ohne Faserschädigung erreichbar.



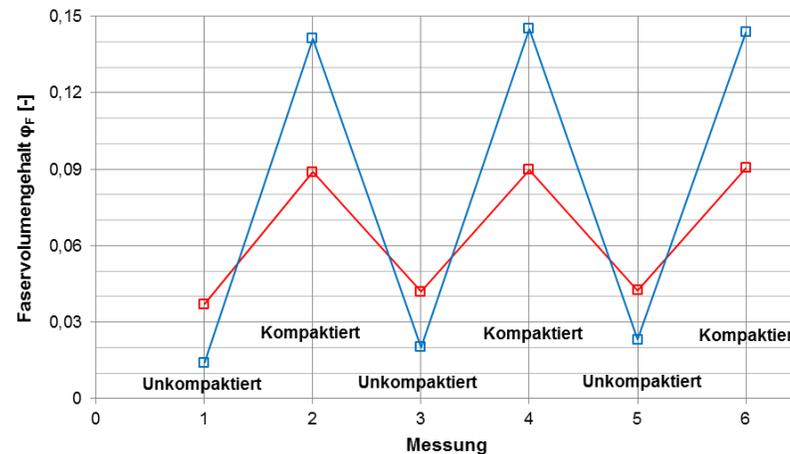
## Air-laid rCF veil

Air-laid weisen ein vergleichsweise gutes “nesting”-Verhalten auf, einzelne Schichten sind im Verbund (Schliffbild) schwer auszumachen.



Good nesting of veil layers, little voids in between layers

Kompaktierbarkeit einer bzw. mehrerer rCF-Vlieslagen



Auch bei wiederholter Kompaktierung zeigt sich quasi kein Setzverhalten (deutlicher “Springback”)

## Wet-laid rCF veil

Wet-laid vliese weisen aufgrund ihrer Bindungsform geringeres “Nesting” auf, wodurch niedrigerer FVGs erreicht werden, und es leichter zu harzreichen oder poösen Zwischenbereichen kommt.

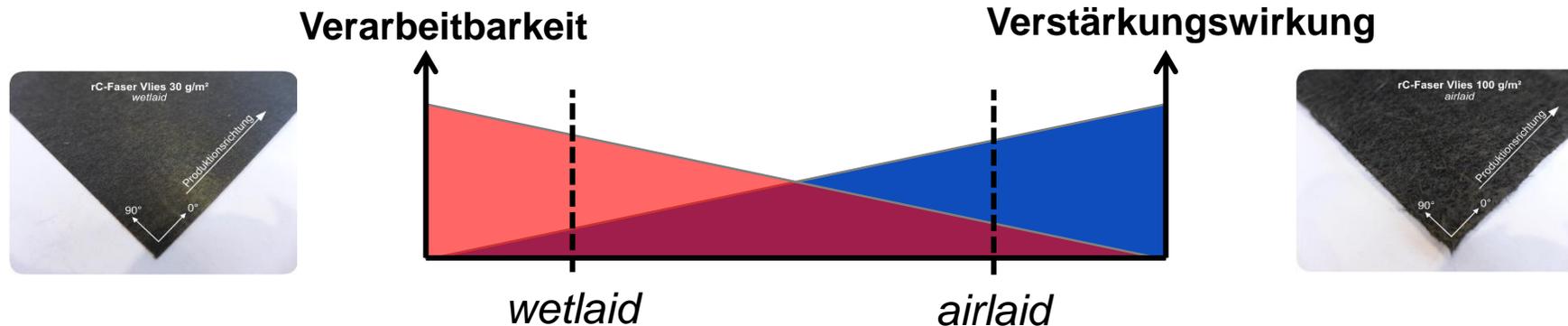


Little nesting of layers, resin-rich areas in between layers.

# Zusammenfassung der ersten Vlieserfahrungen

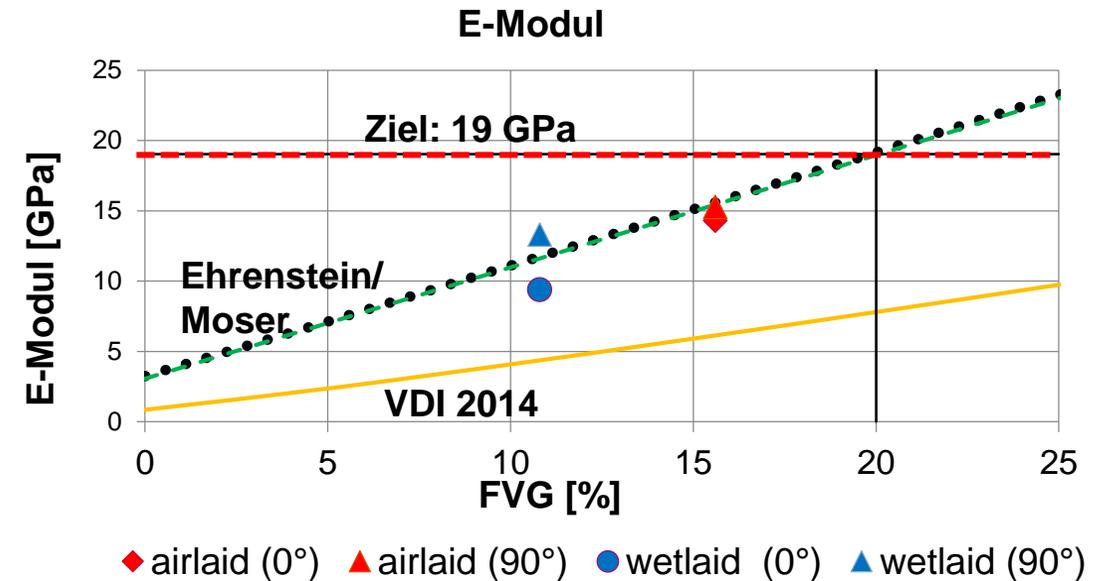
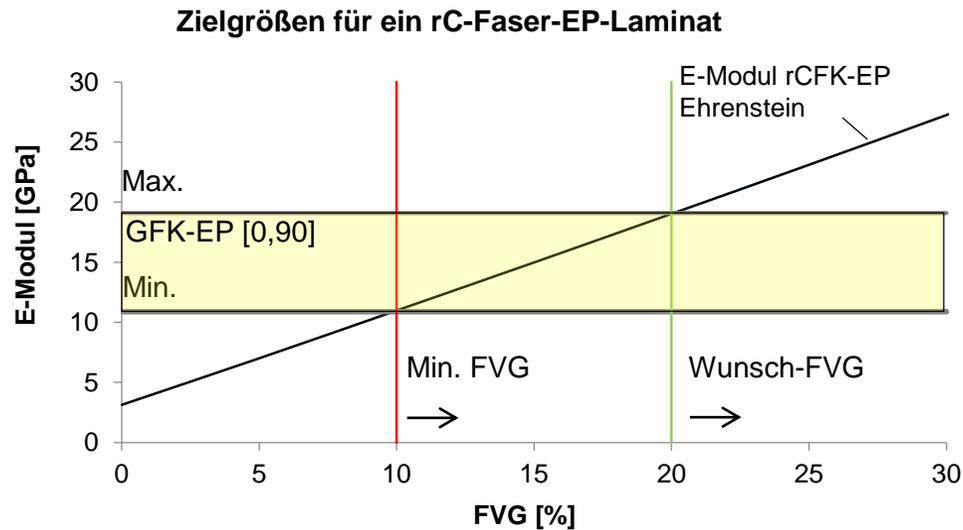
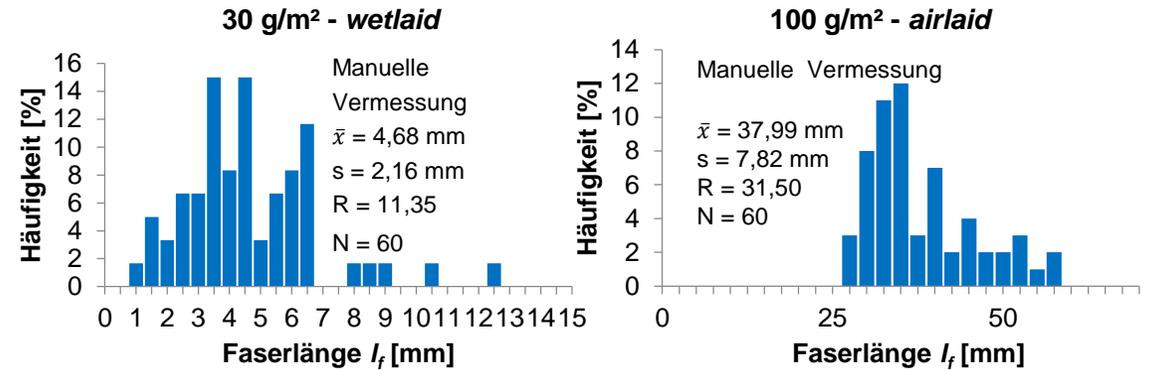
Reines/trockenes Vlies, nicht Laminat

Eigenschaft	Indikator	wetlaid-Vlies	airlaid- Vlies
1. Homogenität	Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	29,6 ± 0,3 <span style="color: green;">↗</span>	121,1 ± 15,7 <span style="color: red;">↘</span>
2. Handhabung	Reißfestigkeit	Binder <span style="color: green;">↗</span>	Vernadelt <span style="color: red;">↘</span>
3. Isotropie	Permeabilität $K_0/K_{90}$ [-]	~ 1,34 <span style="color: red;">↘</span>	~ 1,13 <span style="color: green;">↗</span>
4. Kompaktierbarkeit	Max. FVG (1 bar)	~ 11 <span style="color: red;">↘</span>	~ 16 <span style="color: green;">↗</span>
5. Faserlänge	Längenmessung [mm]	4,7 ± 2,2 <span style="color: red;">↘</span>	38,0 ± 7,8 <span style="color: green;">↗</span>

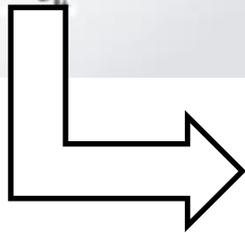
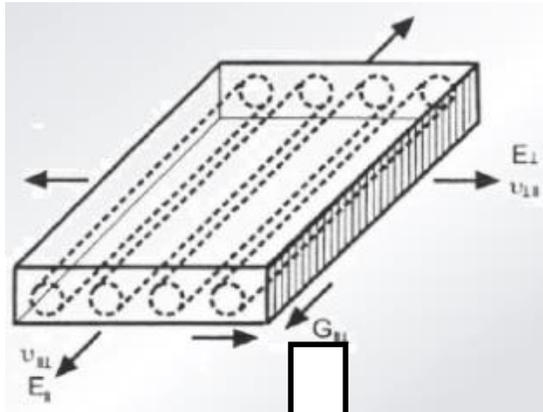


# Ergebnisse der ersten Vliesuntersuchungen im REKAS Projekt

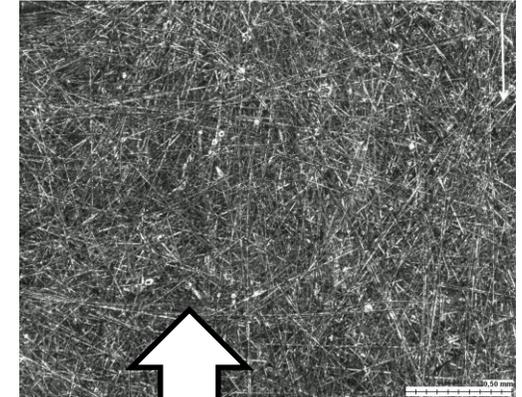
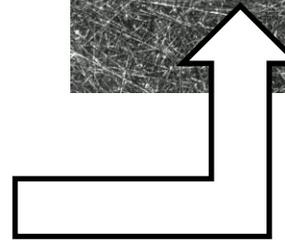
Auswertung Flächengewicht		wetlaid-Vlies	airlaid-Vlies
Nominales FG	[g/m <sup>2</sup> ]	30 g/m <sup>2</sup>	100 g/m <sup>2</sup>
Stichprobenumfang N	[-]	72	20
Mittelwert $\bar{x}$	[g/m <sup>2</sup> ]	29,63	121,13
Standardabweichung s	[g/m <sup>2</sup> ]	0,25	15,71
Spannweite R	[g/m <sup>2</sup> ]	1,13	64,53



# Auslegung von Bauteilen mit Vliesstoffen: wie können Wirrfaserverbunde berechnet werden?



$$[\sigma_{ij}] = \frac{1}{n} \left[ \sum_{k=1}^n [T(\psi_k)]^T \cdot [Q_{ij}] \cdot [T(\psi_k)] \right] \cdot [\varepsilon_{ij}]$$



\* T<sup>T</sup>...Transformation matrix  
 ψ... Angle of layer orientation  
 [Q<sub>ij</sub>]...Stiffnes matrix

Auf makroskopischer Ebene verhalten sich Vlieswerkstoffe (fast) isotropisch, aber auf mikroskopischer Ebene muss von einer Anisotropie ausgegangen werden

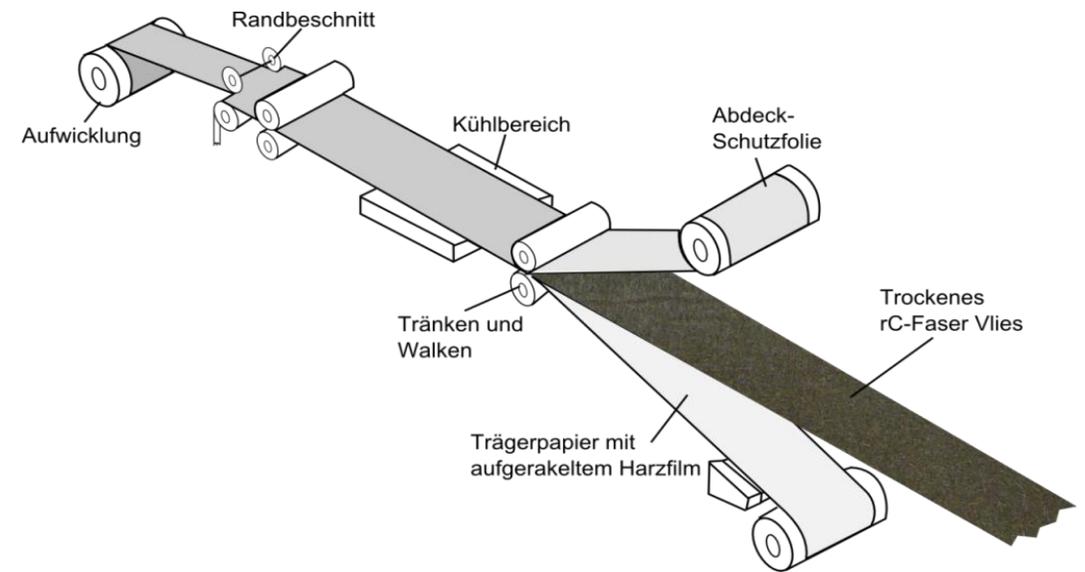
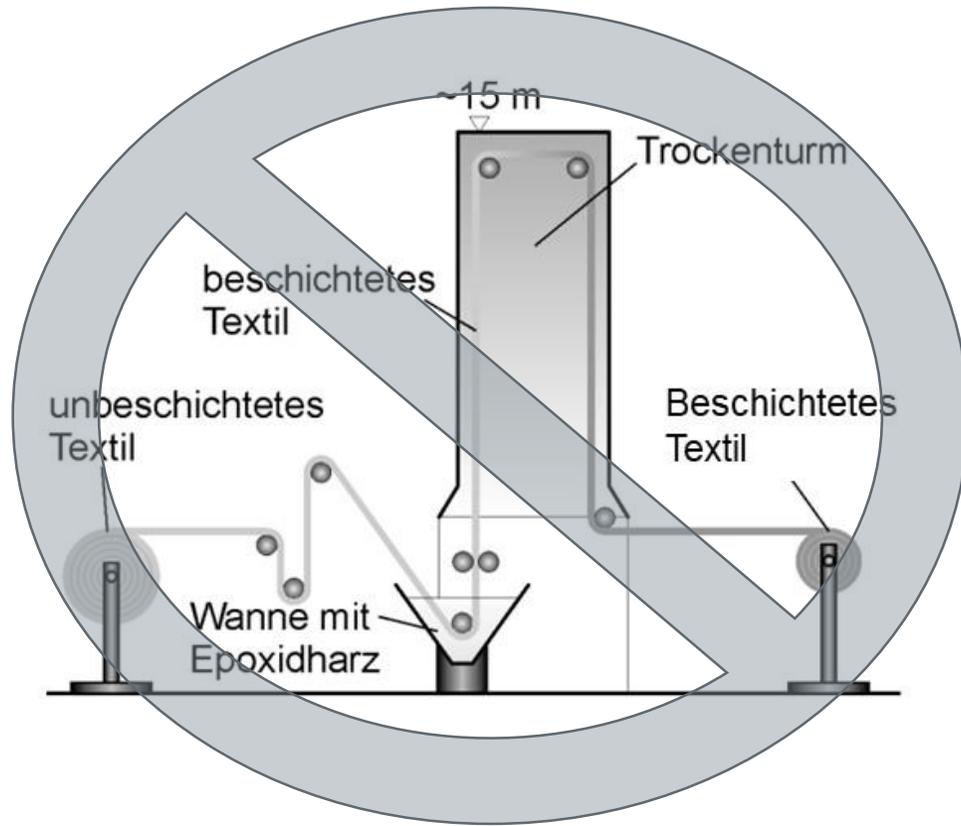
Daher müssen für die Auslegung von Vliesen folgende Annahmen getroffen werden:

- Ein Vlieswerkstoff besteht aus  $n$  unidirektionalen Schichten
- Die Faserorientierung der Einzelschichten ist gleichmäßig auf alle Raumrichtungen verteilt

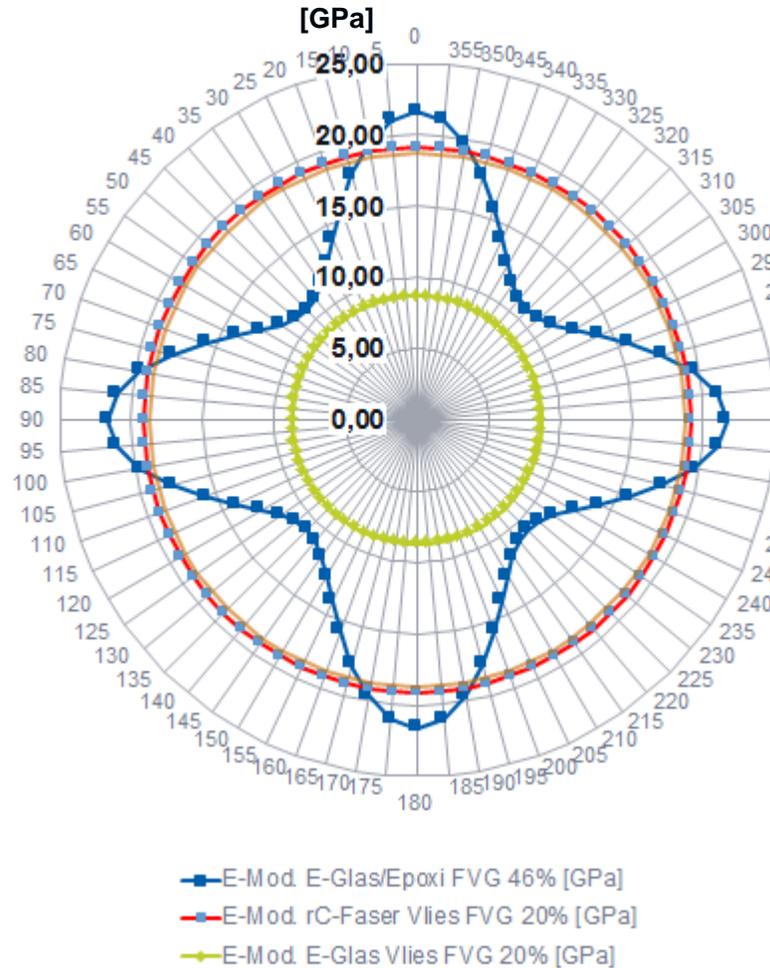
Mit diesen Annahmen können dann E-Modul und Poissonzahl mit der gegebenen Formel ermittelt werden.

# Imprägnierung von rCF-Vliesen

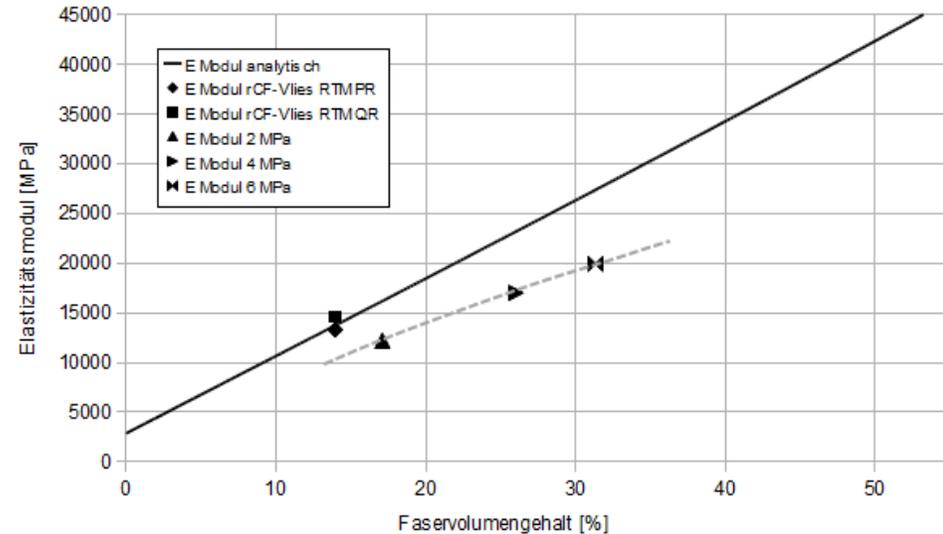
Besondere Herausforderung aufgrund der Reißfestigkeit der Textilien



# Ergebnisse: drei Halbzeuge im Vergleich Glasfaservlies, rCF-Vlies und GFK Kreuzlaminat



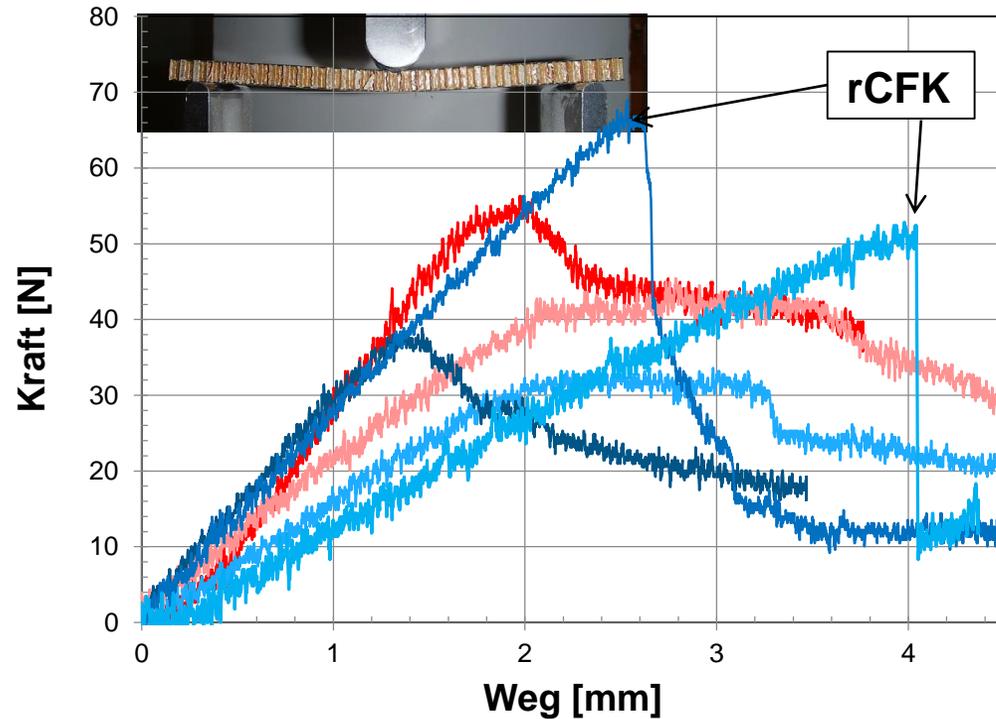
- rCF Vliese können hinsichtlich Steifigkeit mit Glasfaserlaminaten konkurrieren
- Isotropes Werkstoffverhalten in der Ebene erlaubt einen Materialeinsatz unabhängig von der Vorzugslastrichtung
- Beim Versuch höhere Faservolumenanteile durch Kompaktierung zu erreichen kommt es schnell zu Faserschädigungen und damit einhergehenden Steifigkeitsabbau



*Faserschädigung bei zu hoher Kompaktierung*

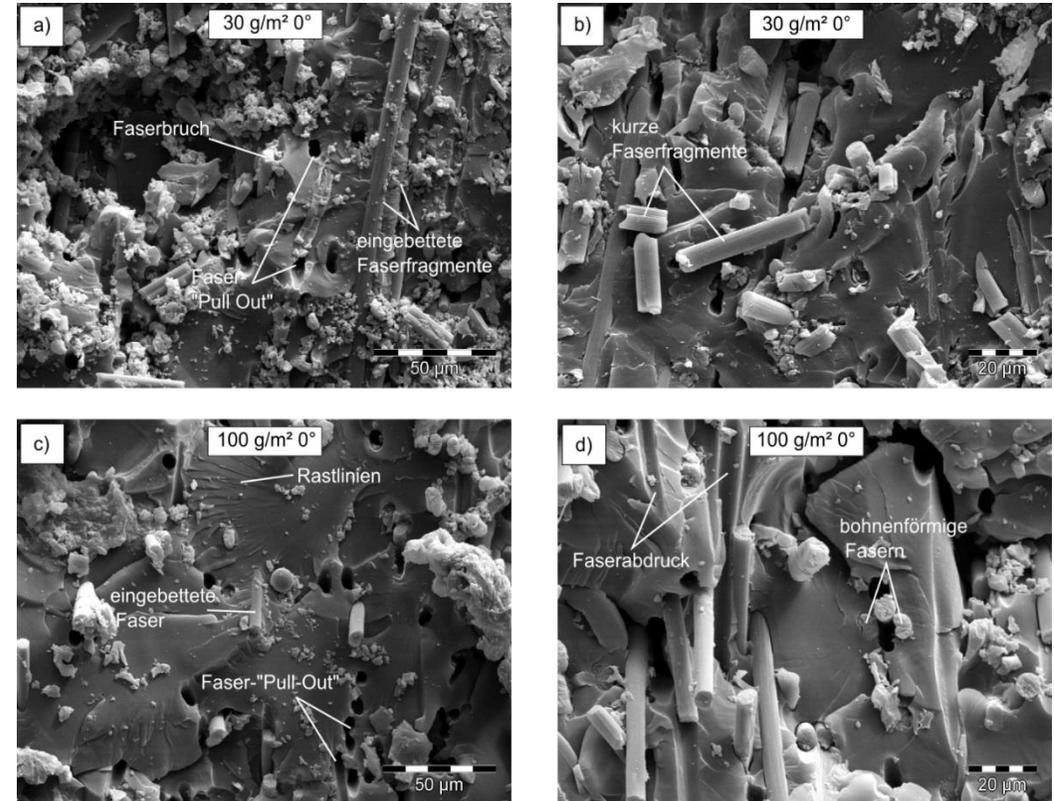
# Mechanische Performance der Vliesprepregs

Repräsentative Kraft-Weg-Verläufe



Rot → GFK      Blau → rCFK (wetlaid)

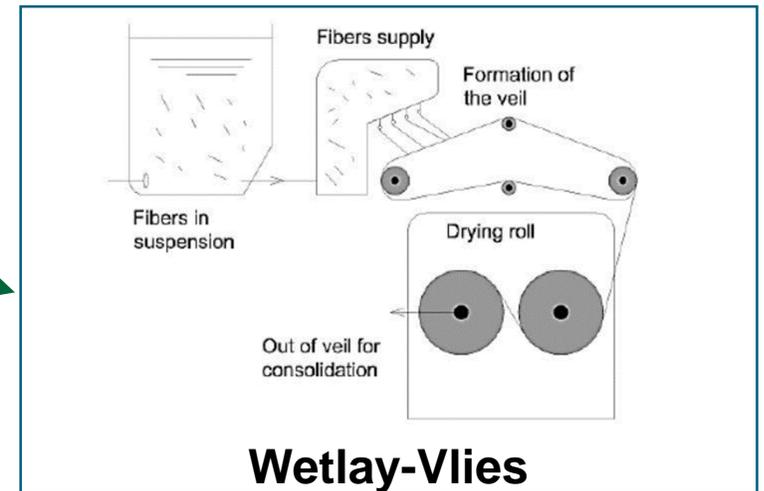
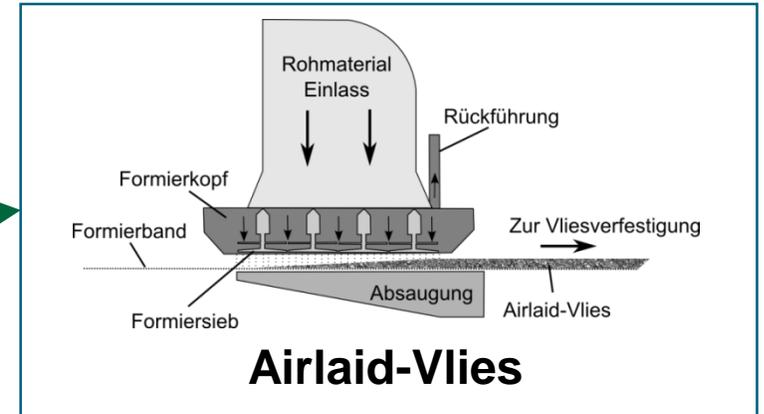
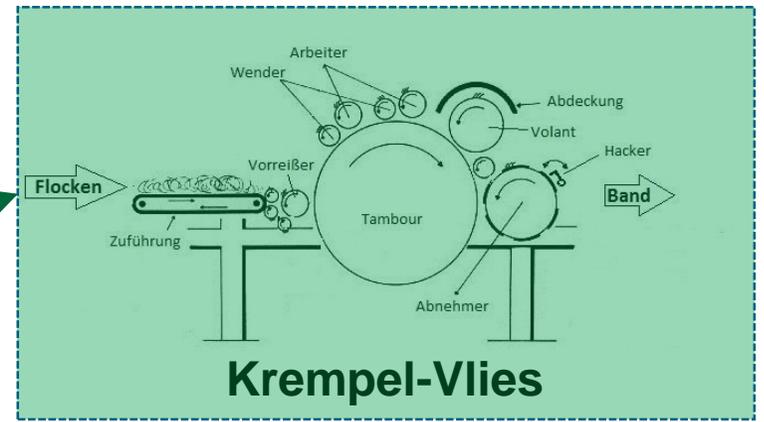
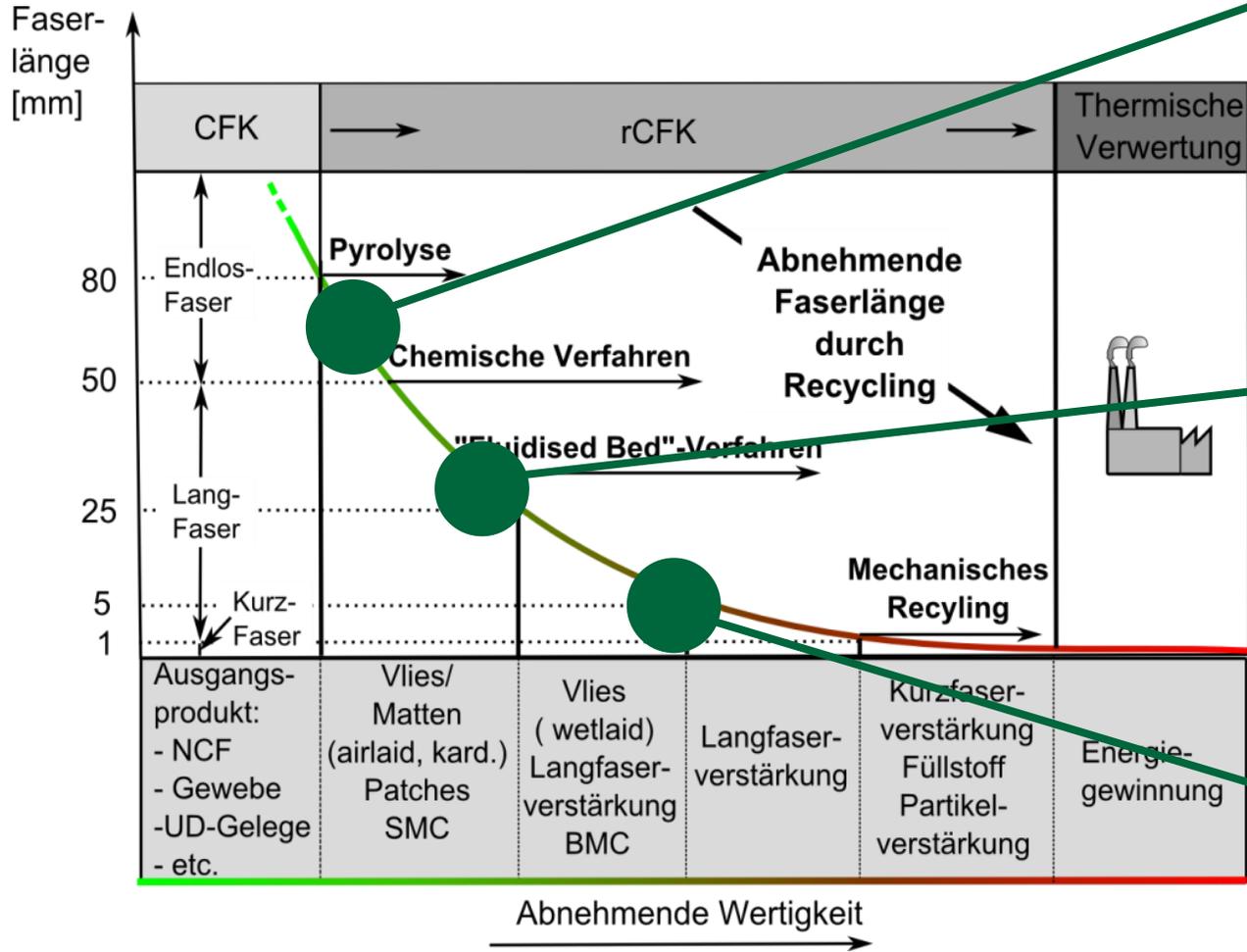
Substitution bzgl. Steifigkeit möglich  
→ Ziel-FVG: 20 %



Bruchflächen der Zugfestigkeitsprüfung  
zeigt Faserauszug (mangelnde Faser-Matrix-Haftung)

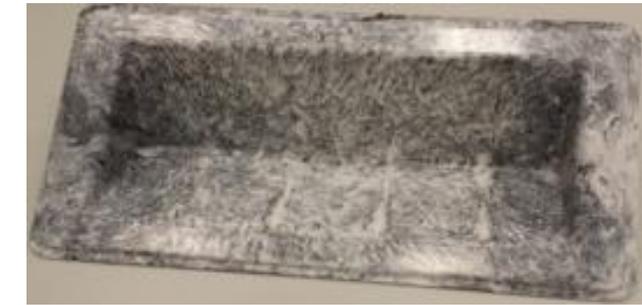
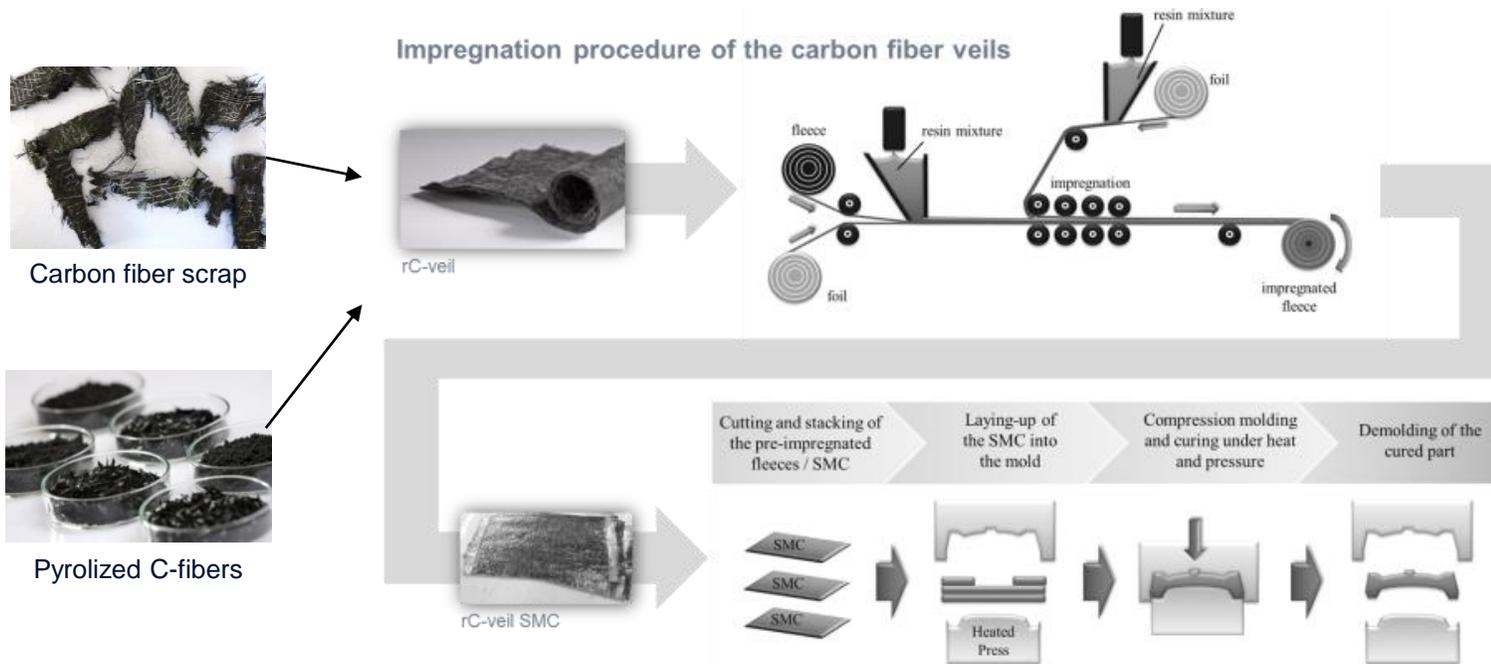
\*Materials processed in the same production system with the same honeycomb core and tested in the same test rig at the *Fiber Institute Bremen*

# Vliese in SMCs



„reSMC“

## Vernadeltes Krempelvlies als Basis für SMC-Herstellung



Recycled carbon fiber SMC aircraft cargo step



Recycled carbon fiber SMC kitchen tray



**reSMC:**

Sheet moulding compound (SMC) aus recycelten Fasern für die Anwendung in Kabine und Cargo (brandhemmergefülltes SMC)

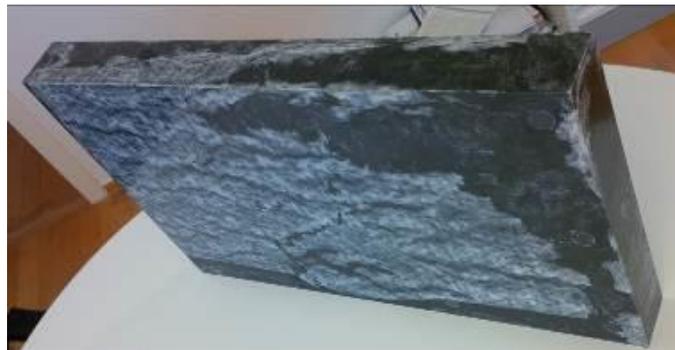


# „reSMC“

## Vernadeltes Krempelvlies als Basis für SMC-Herstellung



Recycled carbon fibers



Block press moulded from reSMC



Direct milling



rCFRP Drilling template

### Herstellung von Fräsblöcken aus rCF-SMC

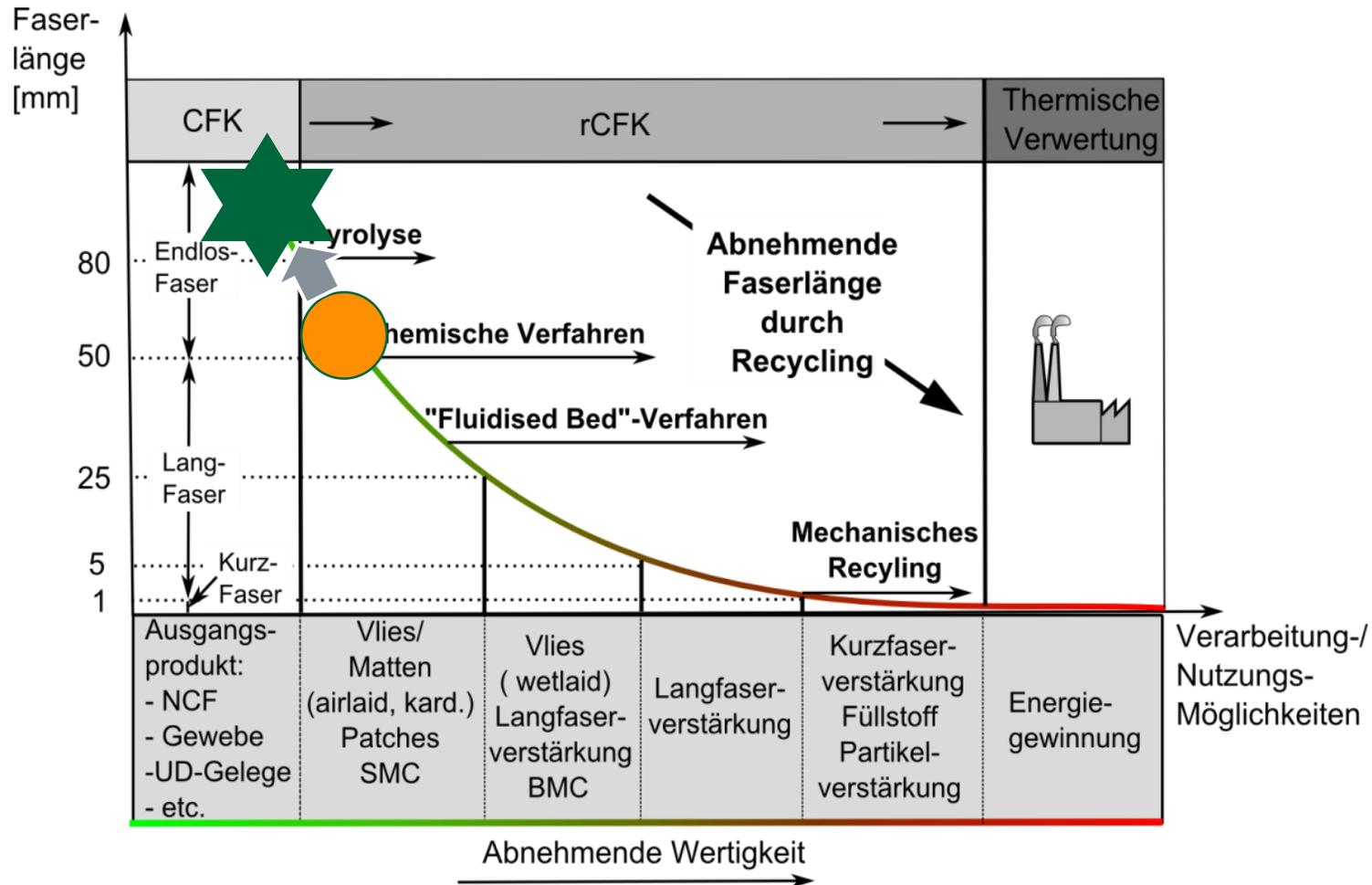
Direkt befräsbare Blöcke aus rCF-SMC-Vollmaterial zur Anwendung als

- Fertigungshilfsmittel  
→ Ergonomieverbesserung durch Gewichtsreduktion
- Laminierwerkzeuge (Formenbau, günstige Variante zu zB „HexTool“)  
→ Bessere Genauigkeit als klassisch laminierte Laminierwerkzeuge  
(Kein Abformen von Urformen mit entsprechender Toleranzkette)



Drilling template in use

# Vliesbasierte Halbzeuge für höherwertige Anwendungen



Kernproblem rCFK-Werkstoffe heute: **Schlechtes Price/Performance-Verhältnis**

**Entwicklungsziel 2019+**

Leistungssteigerung der rCFK-Vlieswerkstoffe durch höhere Richtungsorientierung der Fasern

- Höhere FVGs erreichbar
- Deutliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften
- Gerichtetes Kardenband/Sliver und Herstellung von „Quasi-UD“-Halbzeugen

# Herstellung von hoch-orientierten rCF-Sliversn für die Verarbeitung zu gerichteten Textilien



rCF



Carding



Fibre web laying



Fibre web bunching into a sliver



Drafting



All images courtesy of STFI Chemnitz

# Zusammenfassung

- Vliesstoffe haben in vielen Bereichen der Luftfahrt Anwendungspotential, aber die Wahl der Vliesbildungsform muss immer in Abhängigkeit von den Zielanwendungen getroffen werden
- Die mangelnde Festigkeit der Vliesstoffe und der gegenüber Endlofaserwerkstoffen andersartige Versagensmodus stellen die größten Herausforderungen für den Einsatz im Luftfahrtumfeld
- Entgegen der (laienhaften) Erwartung haben die untersuchten Vliese eine deutliche Richtungsabhängigkeit aufgewiesen
- Exakte Auslegung von Bauteilen schwierig: Vlieswerkstoffe sind nicht gut in heutigen Auslegungstools für Composite-Laminat abbildbar
- Für Vliese aus recycelten C-Fasern resultiert daher ein heute noch ungenügendes Preis-Performance-Verhältnis der Halbzeuge
- Forschungsinstitute (TU Chemnitz (DE), STFI (DE), Uni Nottingham (UK), Imperial College (UK)) haben die Herstellbarkeit gerichteter vliesbasierter Textilien erfolgreich nachgewiesen  
→ Auf diesen Aspekt werden wir uns in Zukunft konzentrieren

**Contact:**

Dipl. Wirt.-Ing. Tassilo Witte

[tassilo.witte@airbus.com](mailto:tassilo.witte@airbus.com)