



Rotorhülle - Materialien, Konstruktion und Fertigung

Bernd Burgwedel
IBK-Fibertec GmbH

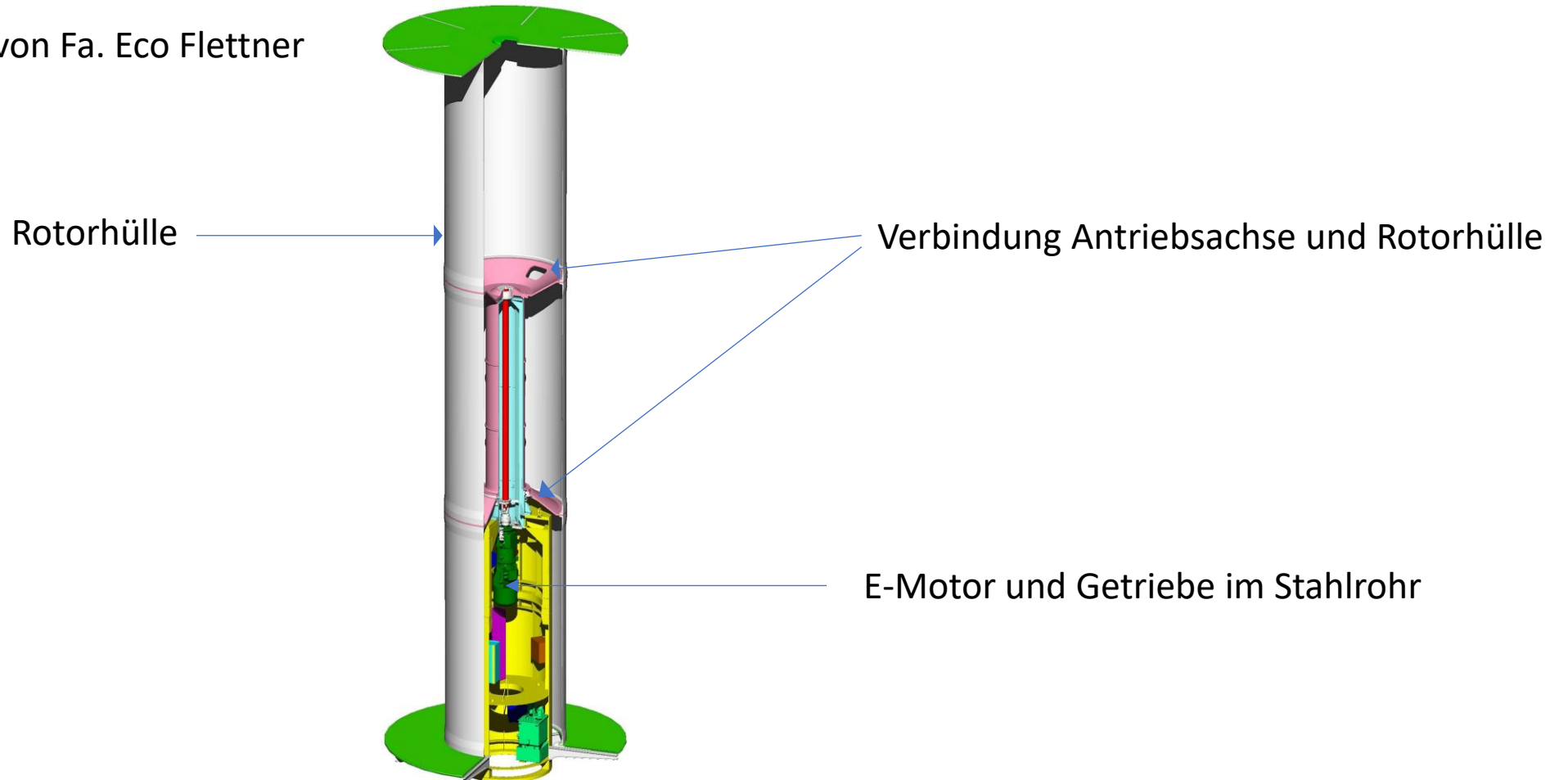
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Aufbau Flettner Rotor

Beispiel EF18-3 von Fa. Eco Flettner



Materialien

Lasten, die auf die Rotorhülle wirken

- Wind
- Horizontale und vertikale Beschleunigungen
- Eislast

Anforderungen an Rotorhülle

- Geringes Gewicht
- Robustheit
- Langlebigkeit
- Nachhaltigkeit
- Wirtschaftlichkeit



Anforderungen an das Material

- Festigkeit
- Steifigkeit
- Korrosionsfrei
- Geringes spezif. Gewicht
- Hohe Lebensdauer
- Aerodynamik
- Nachhaltigkeit
- Relativ kostengünstig

Faserverbundwerkstoffe sowie leichte, nicht korrosive Metalle

Materialien

Faserverbundwerkstoffe

Fasern

- Aramid (NT: UV-Licht, H₂O)
- Kohlenstoff (NT: Kosten, Leitfähigkeit)
- Naturfasern (NT: Festigkeit)
- ✓ Glas

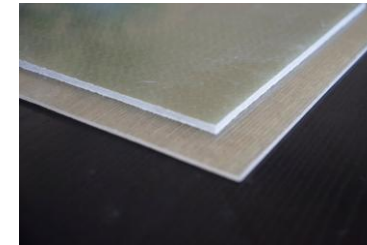
Matrix

- ✓ Epoxidharz
- ✓ Vinylester
- ✓ Polyesterharz
- ✓ Bioharze

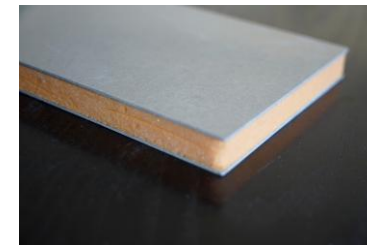
Kernmaterial Sandwich

- ✓ Geschlossene Schäume
- ✓ Wabenstruktur aus Kunststoff

Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)



GFK-Sandwich



Materialien

Leichte, nicht korrosive Metalle

- Magnesium (korrosiv)
- Lithium (stark reaktiv mit Wasser)
- Titan (rel. schwer, teuer, Verarbeitung aufwändig)
- ✓ Aluminium



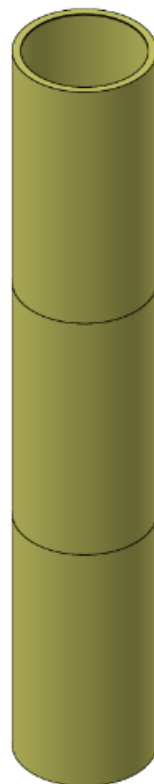
Konstruktion

Einteilige Hülle



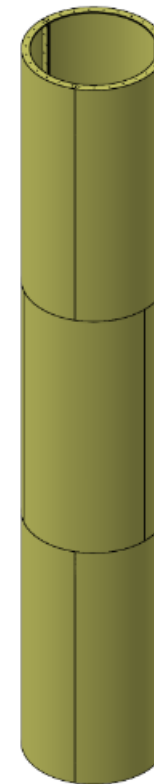
+	-
Kosten	
Gewicht	Transport
	Montage auf Schiff
	Wartung d. Antriebs

mehrschüssige Hülle



+	-
Kosten	
Stabilität	Gewicht
Transport	
Montage auf Schiff	
Wartung d. Antriebs	

mehrschüssige, segmentierte Hülle



+	-
	Kosten
Stabilität	Gewicht
Transport	
Montage auf Schiff	Aufwand für Montage der Hülle
Wartung d. Antriebs	



Fertigung der Rotorhülle

Fertigungsverfahren mit Faserverbund (Duroplaste)

- Handlamine
- Vakuuminfusion
- Wickelverfahren

Fertigungsverfahren mit Aluminium (und Aluminium-Sandwich)

- Bezug vorgefertigter Halbzeuge
- Nur Montage



Fertigungsverfahren

Auswahlkriterien:

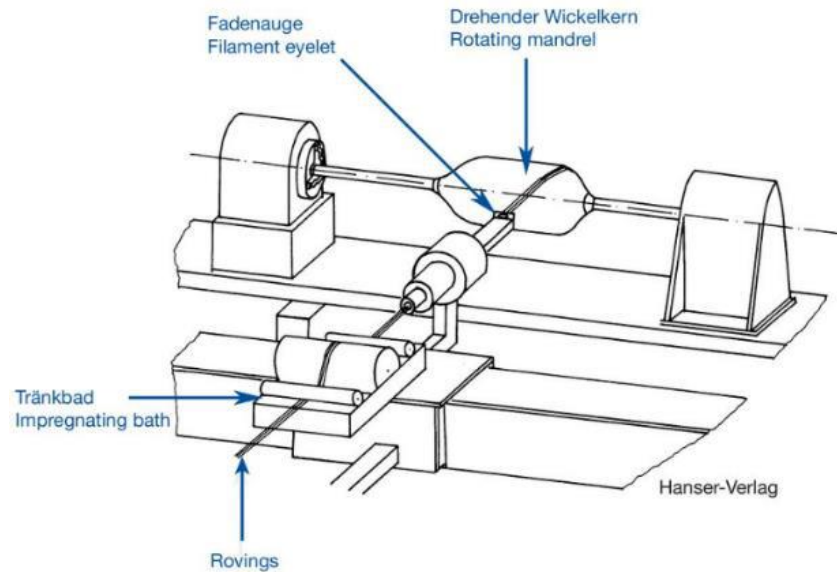
- Material
- Logistik: zentrale vs. dezentrale Fertigung
- Größe des Rotors
- Kosten
- Qualität
- Technische Anforderungen
- Schonung der Umwelt

⇒ Bewertungsmatrix



Fertigungsverfahren

FV: Wickelverfahren



Fertigungsverfahren

Vorteile Wickelverfahren

- Hohe Genauigkeit und reproduzierbare Qualität
- Automatisierbarkeit
- kurze Fertigungszeit => großer Durchsatz => geringer Gemeinkostenanteil / Rotorhülle
- Wirtschaftlichkeit

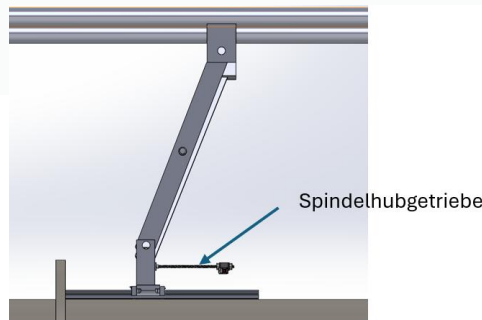
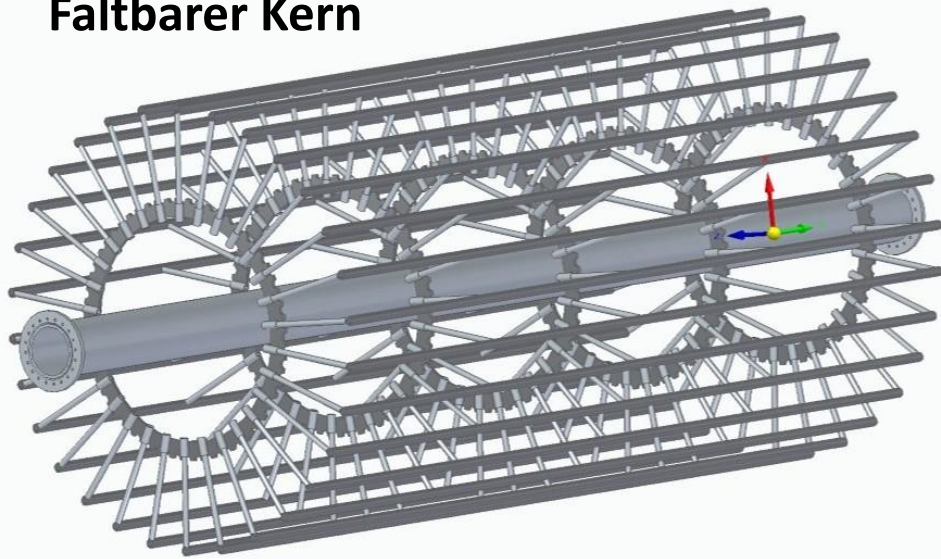
=> Entwicklung von neuartigen Wickelkernen

- speziell für Rotorhüllen
- flexibel im Durchmesser
- transportabel im Container

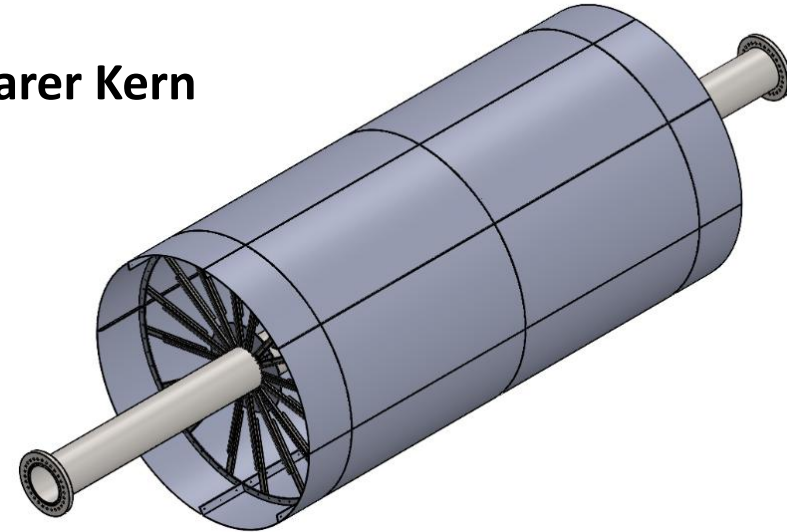


Konstruktion Wickelkerne

Faltbarer Kern



Modularer Kern



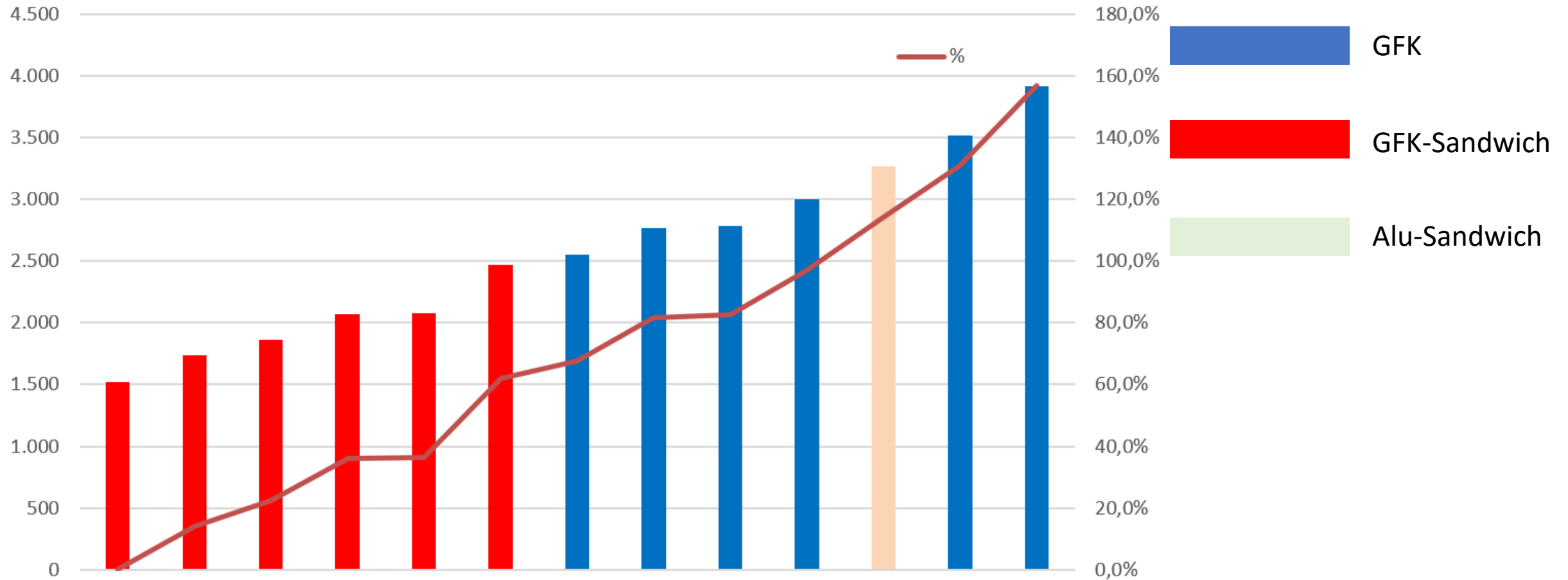
Gewichtsbetrachtung

- Rotoren: FR18-3, FR24-4, FR36-6
- Konstruktionen: Einteilig, dreischüssig, segmentiert
- Materialien: Voll-GFK, GFK-Sandwich, Voll-Alu, Alu-Sandwich

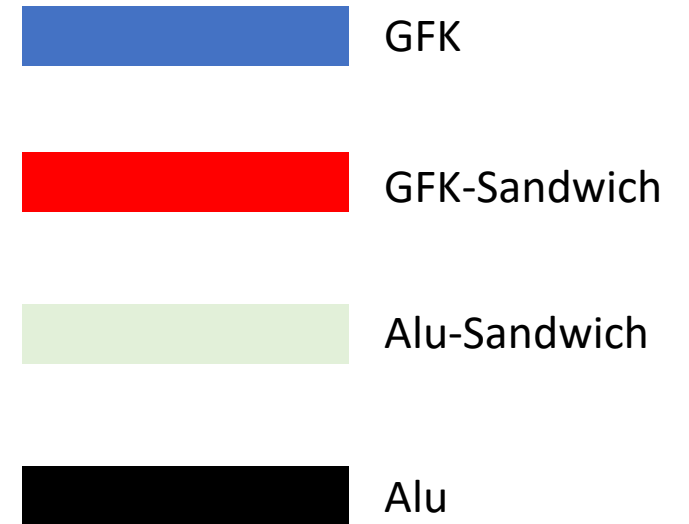
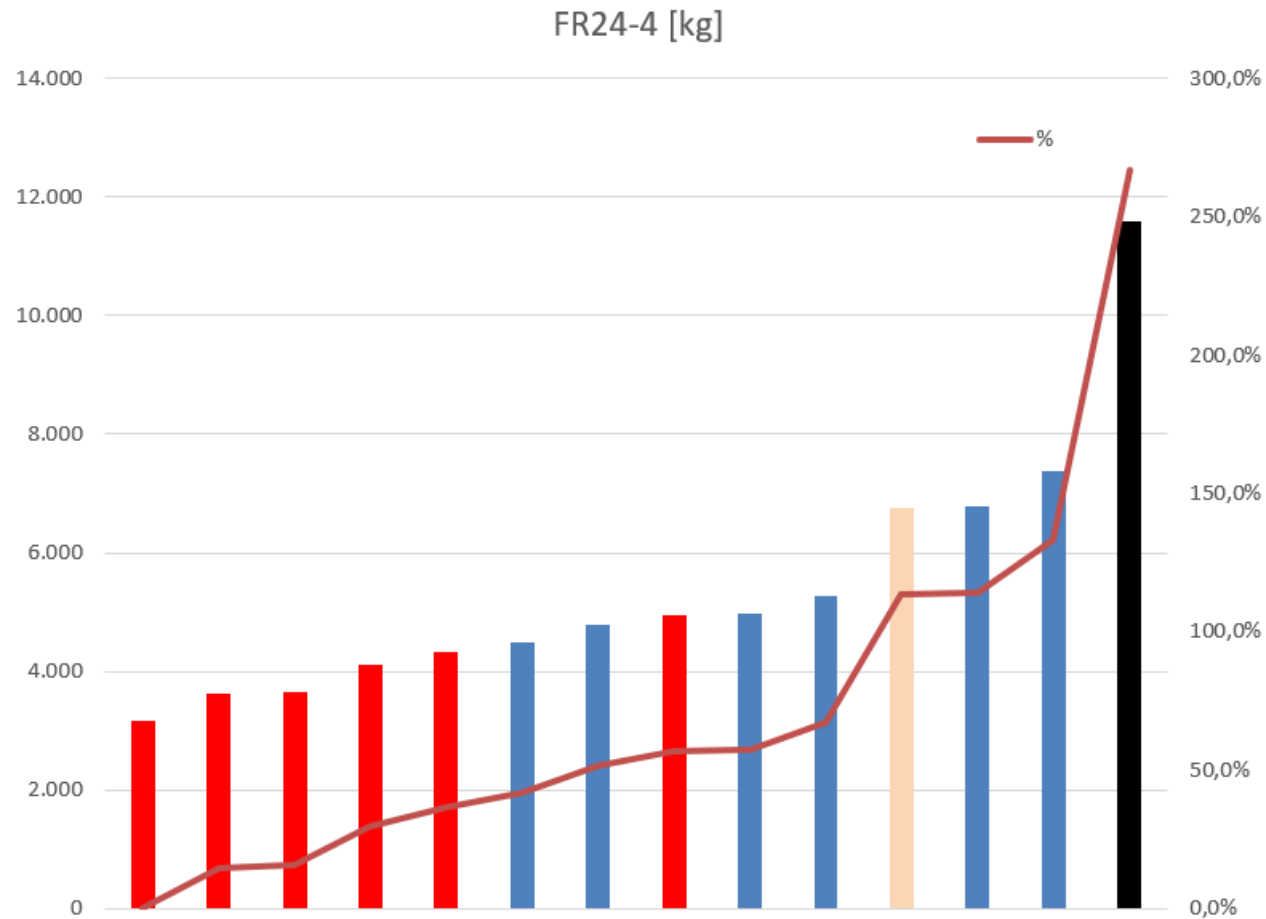


Gewichtsbetrachtung

FR18-3 [kg]

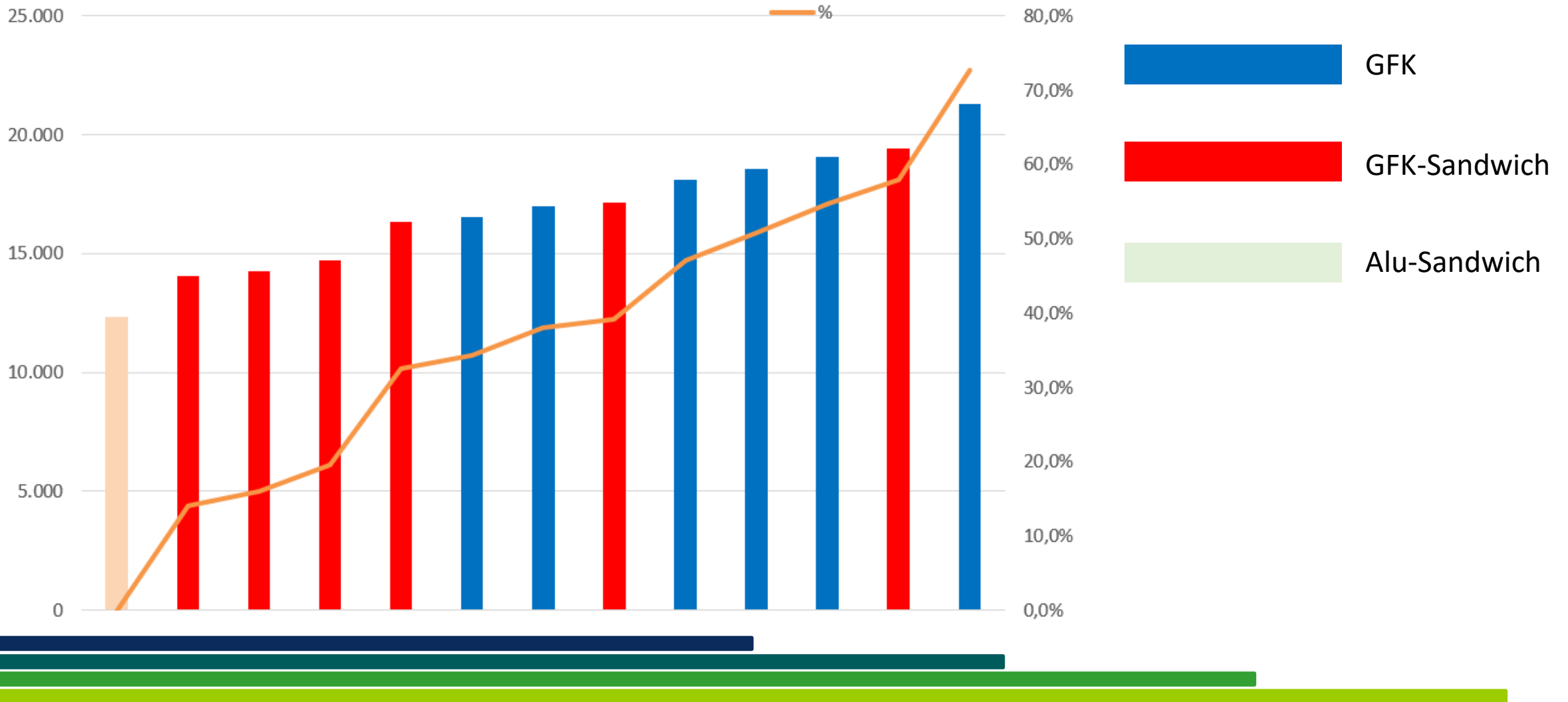


Gewichtsbetrachtung



Gewichtsbetrachtung

FR36-6[kg]



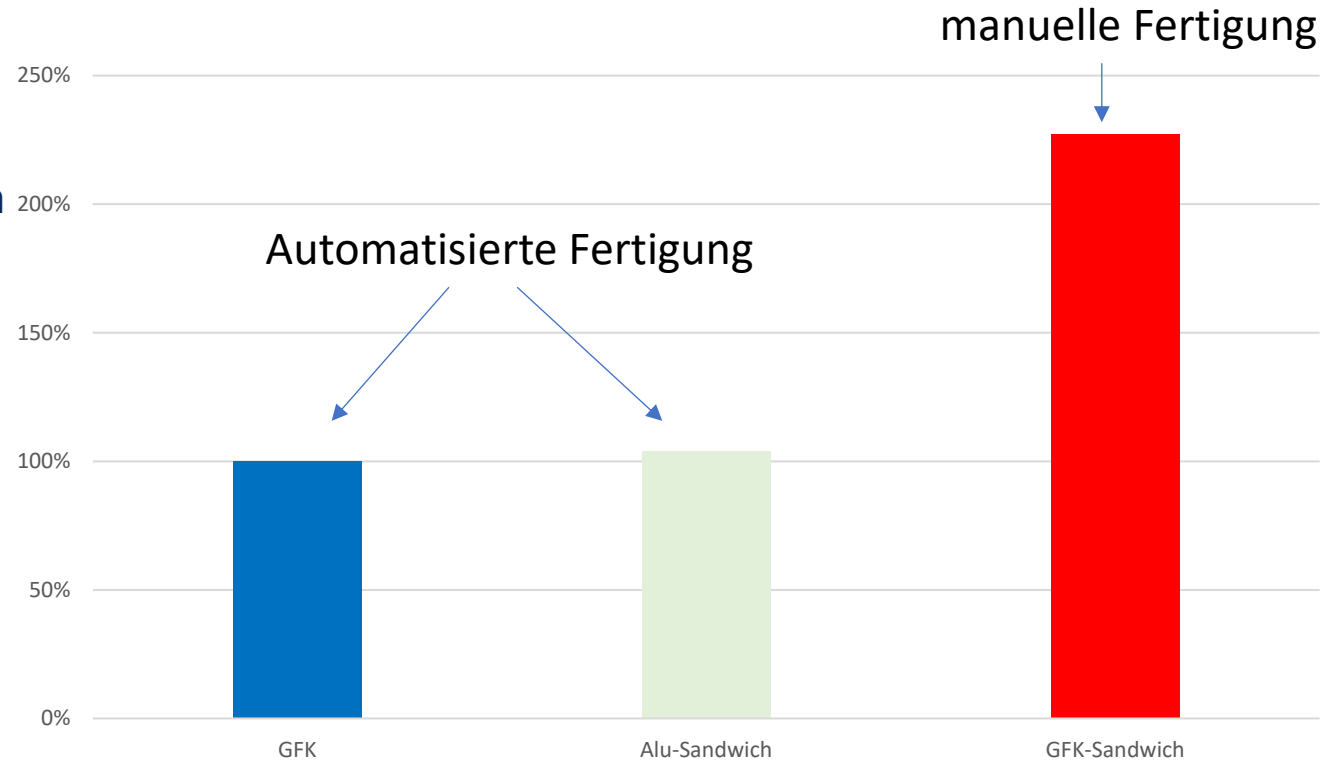
Preisbetrachtung

Beispiel:

FR36-6

Dreischüssige Konstruktion

Fertigung in Europa



Erkenntnisse

- Fertigung von Rotorhüllen in Europa ist nur wettbewerbsfähig mit automatisierter Fertigung
- Sandwichstrukturen sind i.d.R. immer leichter und teurer als andere Materialien (mangels Automatisierung)
- Verwendung von Alu-Sandwich ist bei sehr großen Rotoren hinsichtlich Preis und Gewicht vorteilhaft



Nachhaltigkeit

- Naturfasern
 - Feuchtigkeitsaufnahme: ca. 10–15%
 - Zugfestigkeit: ca. 500–900 MPa (je nach Länge und Verarbeitung)
- Glasfaser
 - Feuchtigkeitsaufnahme: ~ 0,2 %
 - Zugfestigkeit: ca. 3-4 GPa
- Upcycling => neues Produkt, neuer Einsatzzweck
 - Rotorhüllen werden wiederverwendet oder Löschwassertanks
- Recycling von Aluminium:
 - Kreislaufwirtschaft
 - Sekundäraluminium benötigt nur 5 Prozent der Energie, die für Primäraluminium erforderlich ist



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

IBK-Fibertec GmbH

Bernd Burgwedel

Tel. +49 2951 93988-0

bburgwedel@ibk-fibertec.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages