

A large, white, curved wind turbine blade is shown against a blue sky with light clouds. The blade is the central focus of the image, curving from the bottom left towards the top right.

Auslegung von zuverlässigen Offshore Rotorblättern unter Berücksichtigung steigender Ermüdungsbelastungen

Alexander Krimmer
EUROS Entwicklungsgesellschaft für Windkraftanlagen mbH
Offshoretage | Berlin, 18. März 2016

Überblick

EUROS

Zuverlässigkeit

Anforderungen

Auslegung

Zusammenfassung

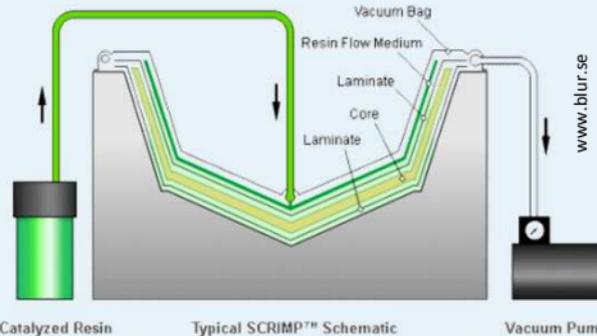
- ▶ 20 Jahr Erfahrung mit Rotorblättern für Windenergieanlagen
- ▶ Vollständig vertikal integriert
- ▶ Innovativ
- ▶ Eigentümergeführt

- ▶ Zuverlässige Rotorblätter
- ▶ Hoher Energieertrag bei effizienter Ressourcennutzung
- ▶ Erfüllung der Kundenwünsche
 - Auf hohem Qualitätsniveau
 - Schnell
 - Zu attraktiven Preisen



EUROS – Vorstellung

- ▶ Bei EUROS seit 2008 als Entwicklungsingenieur für Rotorblattstruktur
- ▶ Verschiebung zum Material
- ▶ Heute verantwortlich für:
 - Materialprüfung
 - Materialqualifizierung
 - Materialmodellierung
 - Zertifizierungsvorbereitung



- ▶ EUROS Rotorblätter werden hergestellt aus E-CR-, R-Glas und HT CF Direktoving im DRiTP Prozess, E-CR-Glaslege in Epoxidharzmatrix, Balsa und PMI



Überblick

EUROS

Zuverlässigkeit

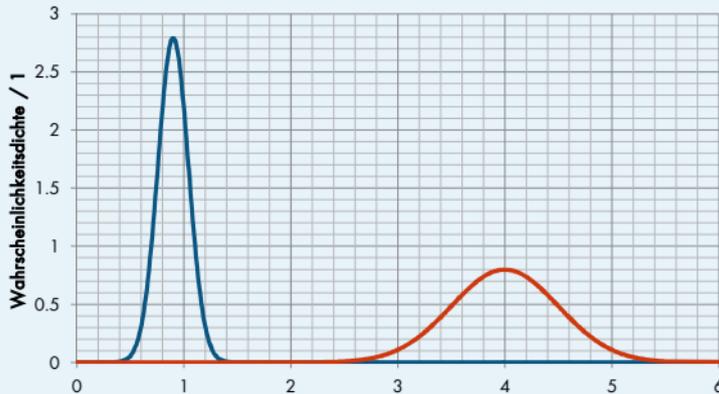
Anforderungen

Auslegung

Zusammenfassung

Zuverlässigkeit – Definition

- ▶ Für Rotorblätter ist eine Auslegungsliebensdauer definiert
- ▶ Es wird ein Wahrscheinlichkeit festgelegt, mit der während dieser Zeit ein Ausfall eintreten darf



- ▶ Wird diese Anforderung erfüllt, dann gilt das Rotorblatt als zuverlässig
- ▶ Sehen wir rechts statistische Ausreißer?



Überblick

EUROS

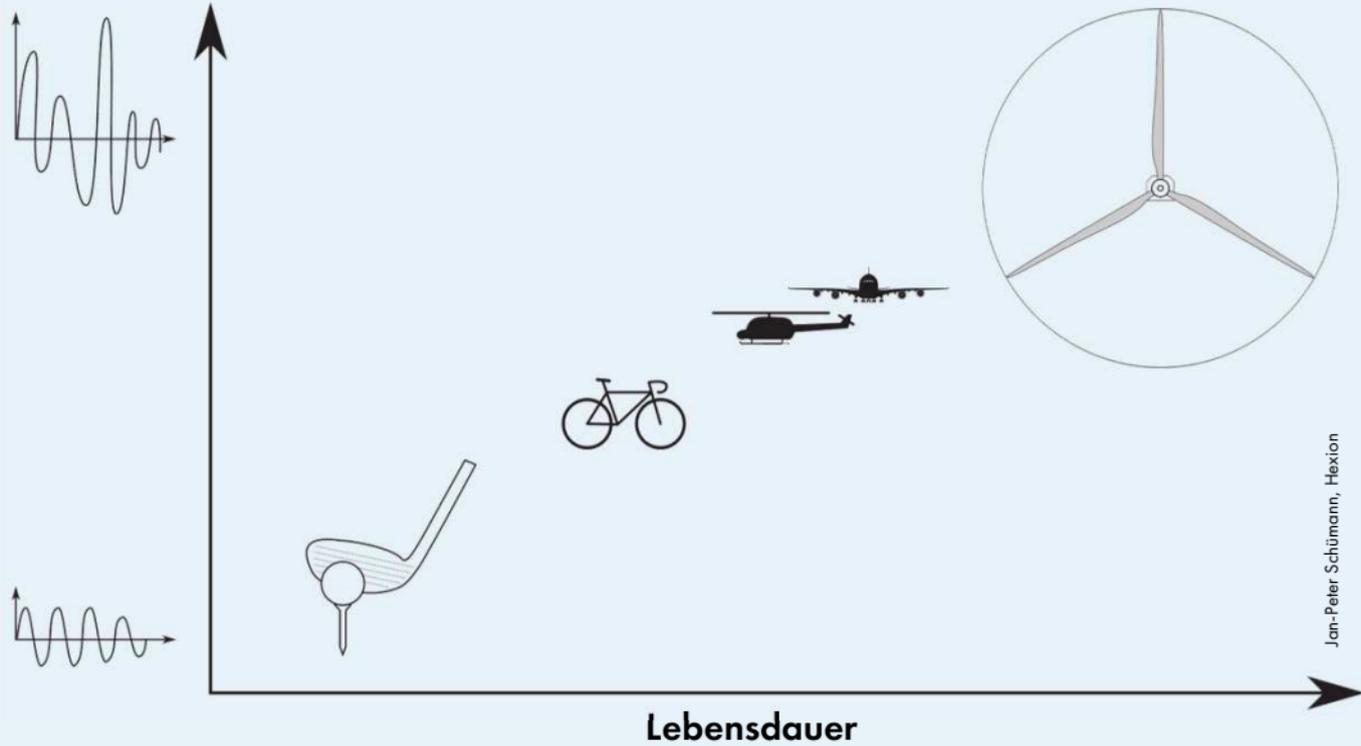
Zuverlässigkeit

Anforderungen

Auslegung

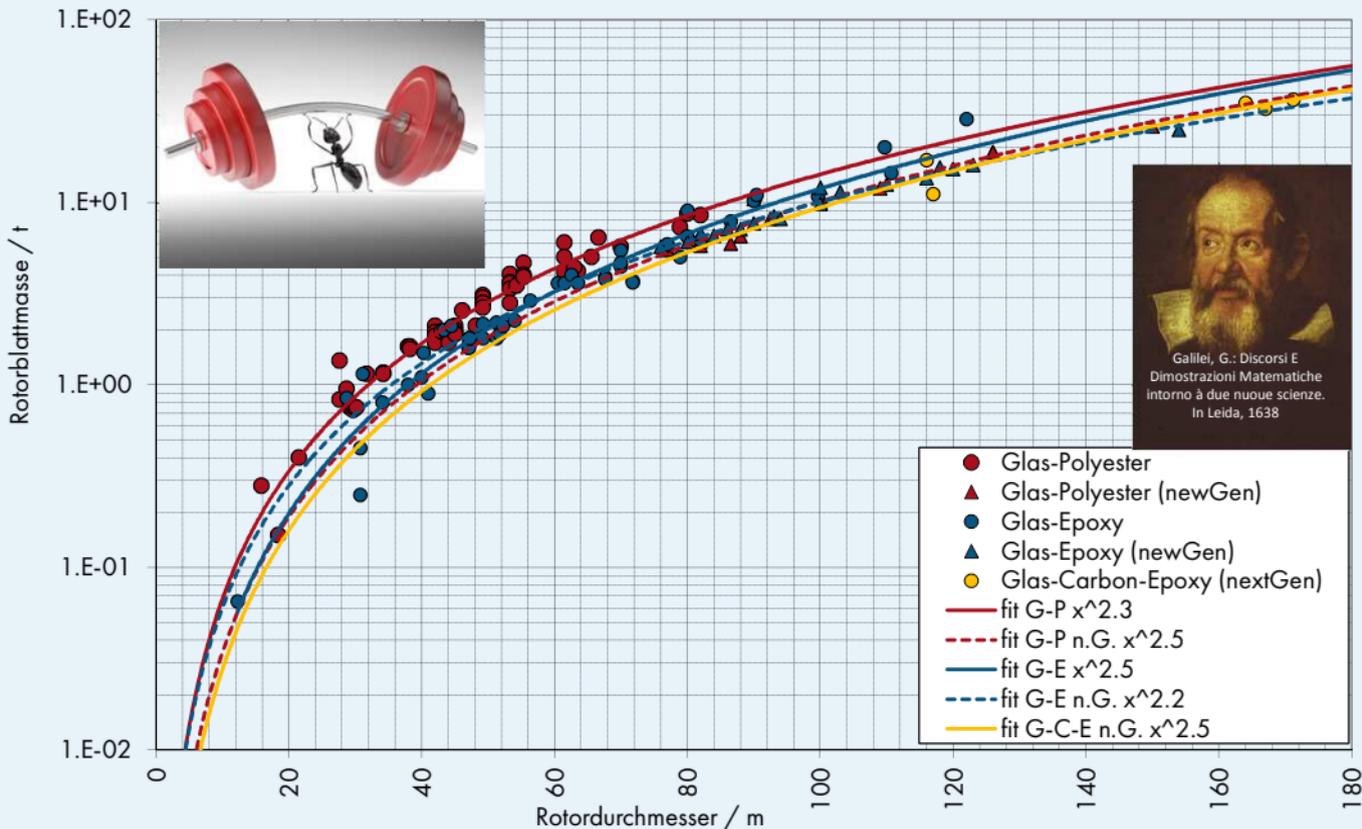
Zusammenfassung

Anforderungen – Ermüdung



Jan-Peter Schümann, Hexion

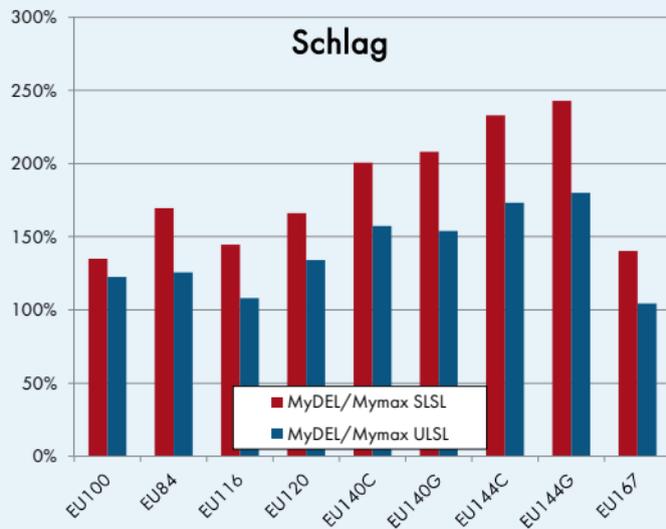
Anforderungen – Rotorblattmasse



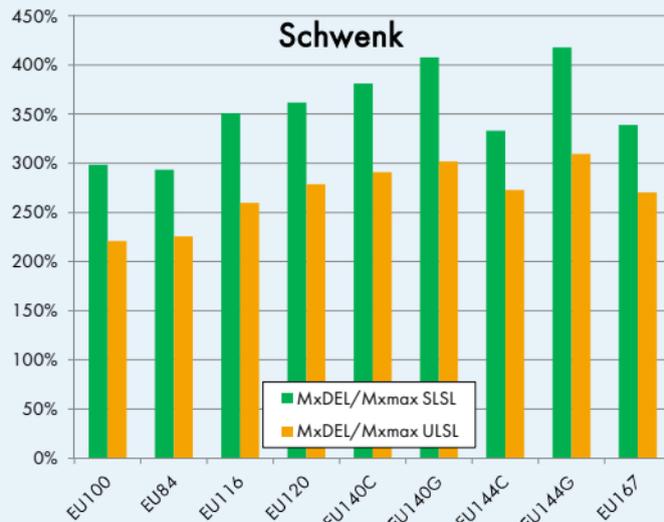
Anforderungen – Ermüdungslasten

- ▶ Längere schlankere Blätter → Höhere Schnelllaufzahl → verhältnismäßig ansteigende Ermüdungslasten verglichen mit quasi-statischen Extrem- und Servicelasten → Ermüdungslasten treiben matrixdominierte Ermüdung (z.B. ZFB)
- ▶ Darstellung steigender Ermüdungslasten (DELs unter Annahme $m = 10$, $n_{ref} = 1$)
- ▶ Bewertung der matrixdominierten Ermüdung ist notwendig!

Schlag



Schwenk



Überblick

EUROS

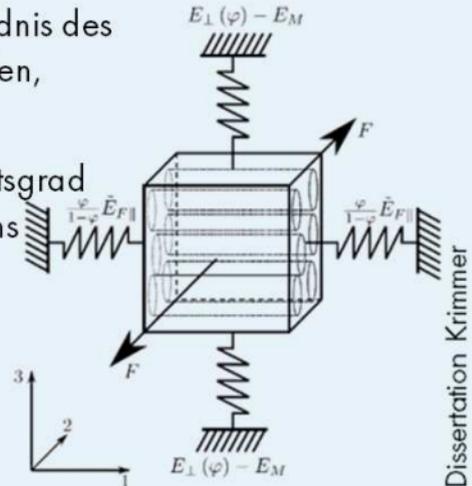
Zuverlässigkeit

Anforderungen

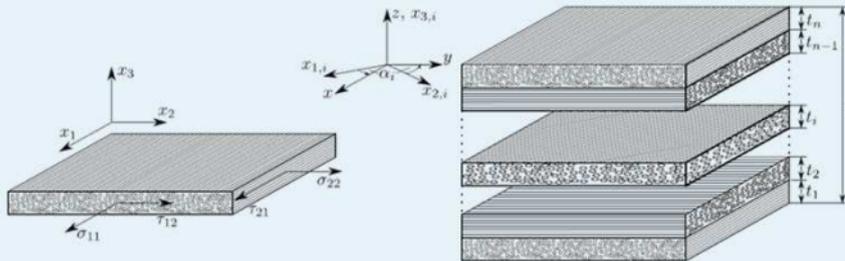
Auslegung

Zusammenfassung

- ▶ Aus der Entwicklungsperspektive ist ein gutes Verständnis des Materialverhaltens, besonders von Verbundwerkstoffen, unabdingbar
- ▶ In Verbundwerkstoffen herrscht ein hoher Komplexitätsgrad aufgrund des orthotropen oder anisotropen Verhaltens
- ▶ Daher liegt einer unserer Schwerpunkte auf der Beschreibung des Verhaltens dieser Werkstoffe
- ▶ Das betrifft
 - Faserverstärkte Kunststoffe
 - Kernmaterialien
 - Klebstoffe
 - Beschichtung

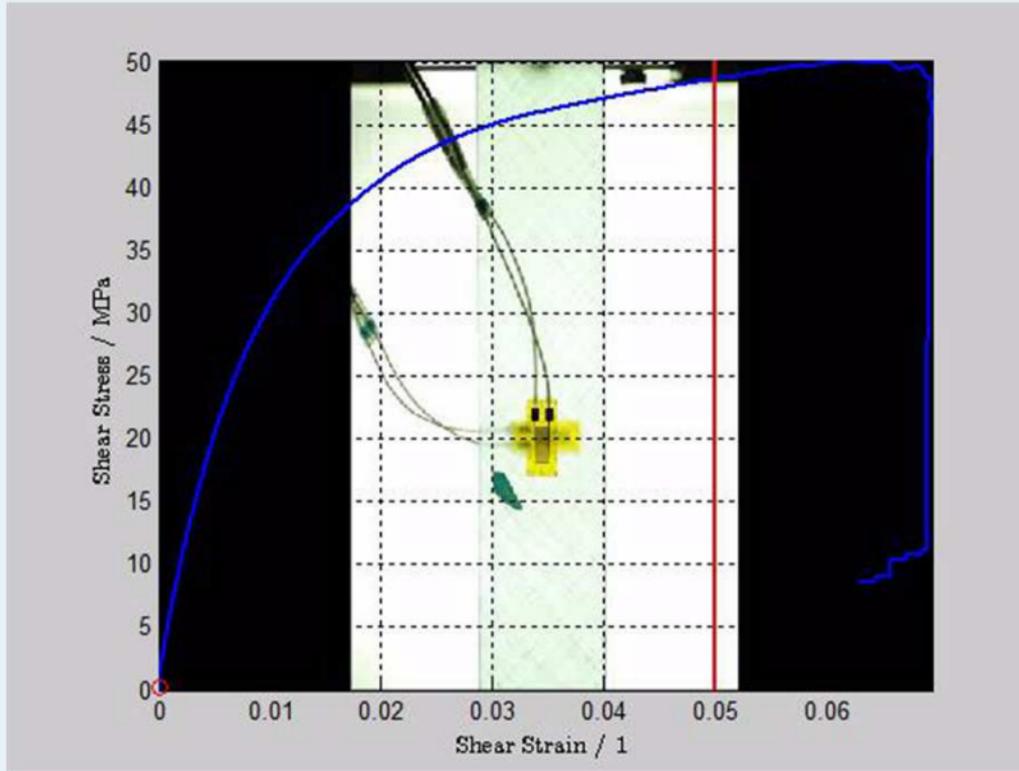


Dissertation Krimmer



Auslegung – Matrixdominierte Schädigung

- ▶ Beispiel Schubzugversuch DIN EN ISO 14129 2AX +/- 45°



Auslegung – Schädigungsbewertung

- ▶ Wir berücksichtigen solche Effekte in der Auslegung unserer Rotorblätter
- ▶ Dazu wird bspw. die Schädigung der Matrix mit Hilfe einer von uns entwickelten Schädigungsfunktion berechnet
- ▶ Diese funktioniert sowohl für quasi-statische als auch für Ermüdungslasten (Markov Matrizen)
- ▶ Dabei werden Amplituden- und Mittelspannungsvektoren berücksichtigt

$$R_M = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_{ai1}^2}{E_{\parallel}^2} + \frac{\sigma_{ai2}^2}{E_{\perp}^2 \left(\frac{r_F}{E_{F\perp}} + \frac{1-r_F}{E_{M\perp}} \right)^2} - \frac{2\nu_M \sigma_{ai1} \sigma_{ai2}}{E_{\parallel}' E_{\perp}' \left(\frac{r_F}{E_{F\perp}} + \frac{1-r_F}{E_{M\perp}} \right)} + \frac{2(1+\nu_M) \tau_{ai12}^2}{G_{\perp\parallel}^2 \left(\frac{r_F}{G_{F\perp\parallel}} + \frac{1-r_F}{G_{M\perp\parallel}} \right)^2}}{e_{Mmi}}$$

$$R_M = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_{ai1}^2}{E_{\parallel}^2} + \frac{\sigma_{ai2}^2}{E_{\perp}^2 \left(\frac{r_F}{E_{F\perp}} + \frac{1-r_F}{E_{M\perp}} \right)^2} - \frac{2\nu_M \sigma_{ai1} \sigma_{ai2}}{E_{\parallel}' E_{\perp}' \left(\frac{r_F}{E_{F\perp}} + \frac{1-r_F}{E_{M\perp}} \right)} + \frac{2(1+\nu_M) \tau_{ai12}^2}{G_{\perp\parallel}^2 \left(\frac{r_F}{G_{F\perp\parallel}} + \frac{1-r_F}{G_{M\perp\parallel}} \right)^2}}{e_{Mai}}$$

$$N_{Mi} = \left(\frac{1 - e_{Mmi}}{e_{Mai}} \right)^m \quad D_{Mi} = \frac{n_i}{N_{Mi}} \quad D_M = \sum_i D_{Mi}$$

$$e_{Mf} = \left(\frac{1}{D_M} \right)^{-\frac{1}{m}}$$

- ▶ Vergrößerung von Rotorblättern oder Reduktion der Masse sind als solche nicht innovativ
- ▶ Innovation steckt in den Methoden, die Risiken zu begrenzen während der Vergrößerung oder der Massenreduktion
- ▶ Der Unterschied besteht in der Fähigkeit Betriebsfestigkeit quantifizieren zu können

- ▶ In Metallen ist das Stand der Technik
- ▶ Es ist nicht Stand der Technik in Faserverbunden
- ▶ Hier ist Forschung und Entwicklung nötig

Überblick

EUROS

Zuverlässigkeit

Anforderungen

Auslegung

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- ▶ Definition von Zuverlässigkeit ist notwendig
- ▶ Rotorblätter für Offshore Windkraftanlagen sind durch Ermüdungslasten bestimmt
- ▶ Vergrößerung lässt Ermüdungslasten überproportional ansteigen
- ▶ Nachweis der Betriebsfestigkeit für Faserverbundstrukturen ist notwendig
- ▶ Dazu ist eingehendes Verständnis der Eigenschaften von Faserverbunden notwendig
- ▶ Sollten wir unser Verständnis von Innovation überdenken?



<http://offshorewind.biz>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit