

# **Auslegung von Windkraftanlagen Rotorblättern aus Faserverbund – Potentiale und Herausforderungen**

Enno Eyb  
Repower Systems SE



*ANSYS Conference & 31<sup>th</sup> CADFEM Users' Meeting 2013  
June 19-21, 2013 – Rosengarten Mannheim*

# Anforderungen an das Rotorblatt einer Windkraftanlage

- 20 Jahre Betrieb – wartungsfrei
- $>1 \times 10^8$  Lastwechsel bzw. 160'000 Betriebsstunden
- Belastungen aus Luftkräften und Schwerekräften (resultierende Biegemomente 30'000 kNm)
- Ca. 300km/h Blattspitzengeschwindigkeit
- Aerodynamisch „perfekt“ - laminare Strömung

# Anforderungen an das Rotorblatt einer Windkraftanlage

**ABER:**

Weniger als 10€/kg - fertiges Rotorblatt!

→ „High-Tech“ zu „Low-Cost“

# Aufbau eines Rotorblattes

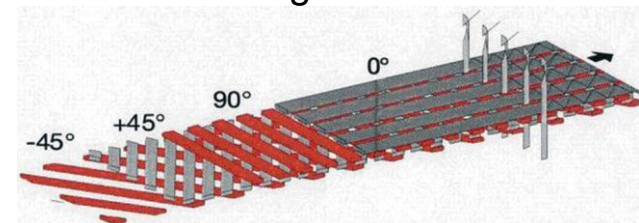
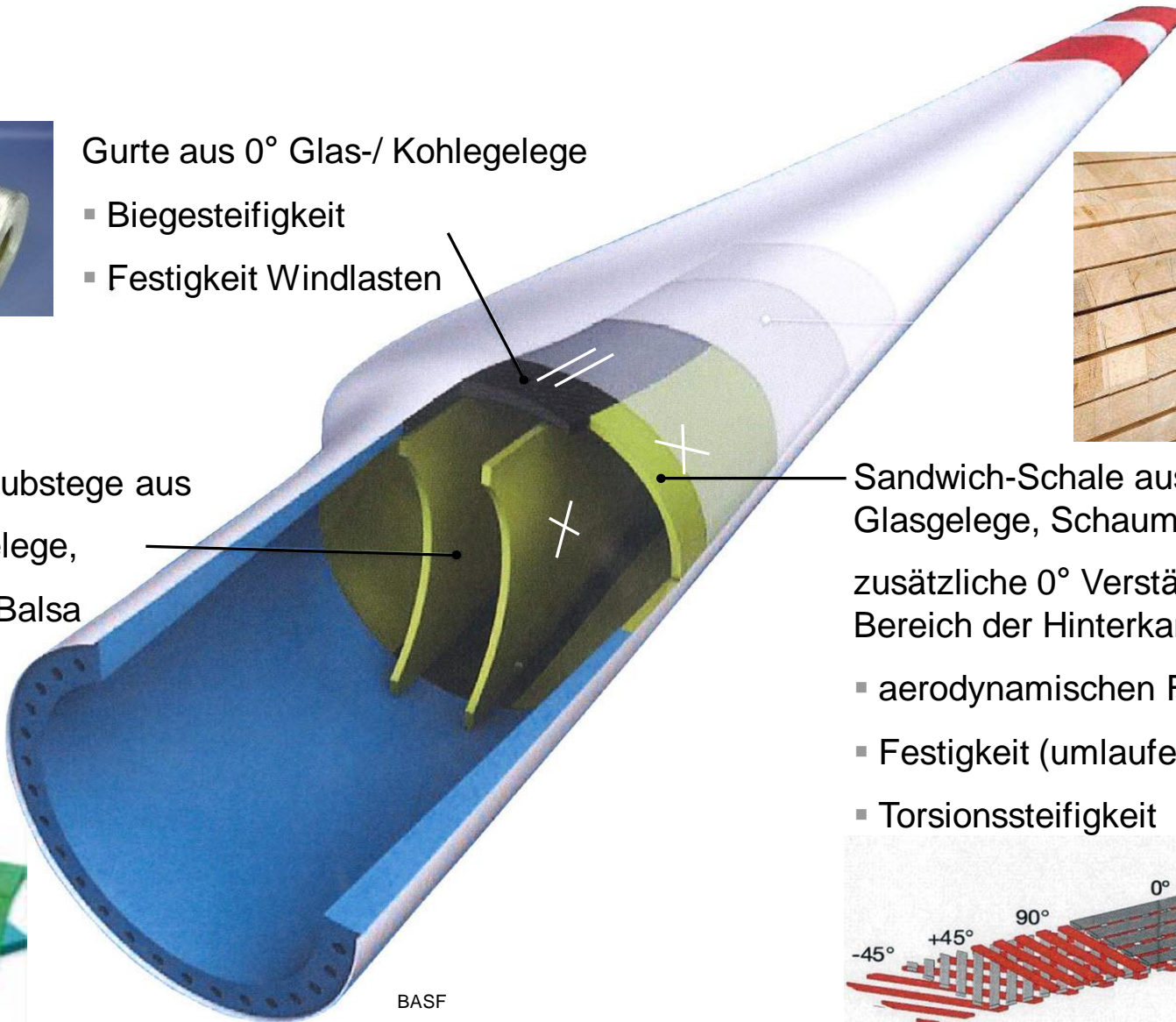
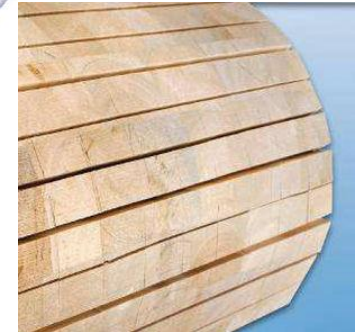
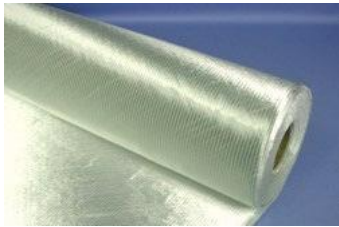
Gurte aus 0° Glas-/ Kohlegelege

- Biegesteifigkeit
- Festigkeit Windlasten

Sandwich-Schubstege aus  
+/- 45° Glaslege,  
Schaum bzw. Balsa

Sandwich-Schale aus +/- 45°  
Glaslege, Schaum bzw. Balsa  
zusätzliche 0° Verstärkungen im  
Bereich der Hinterkante

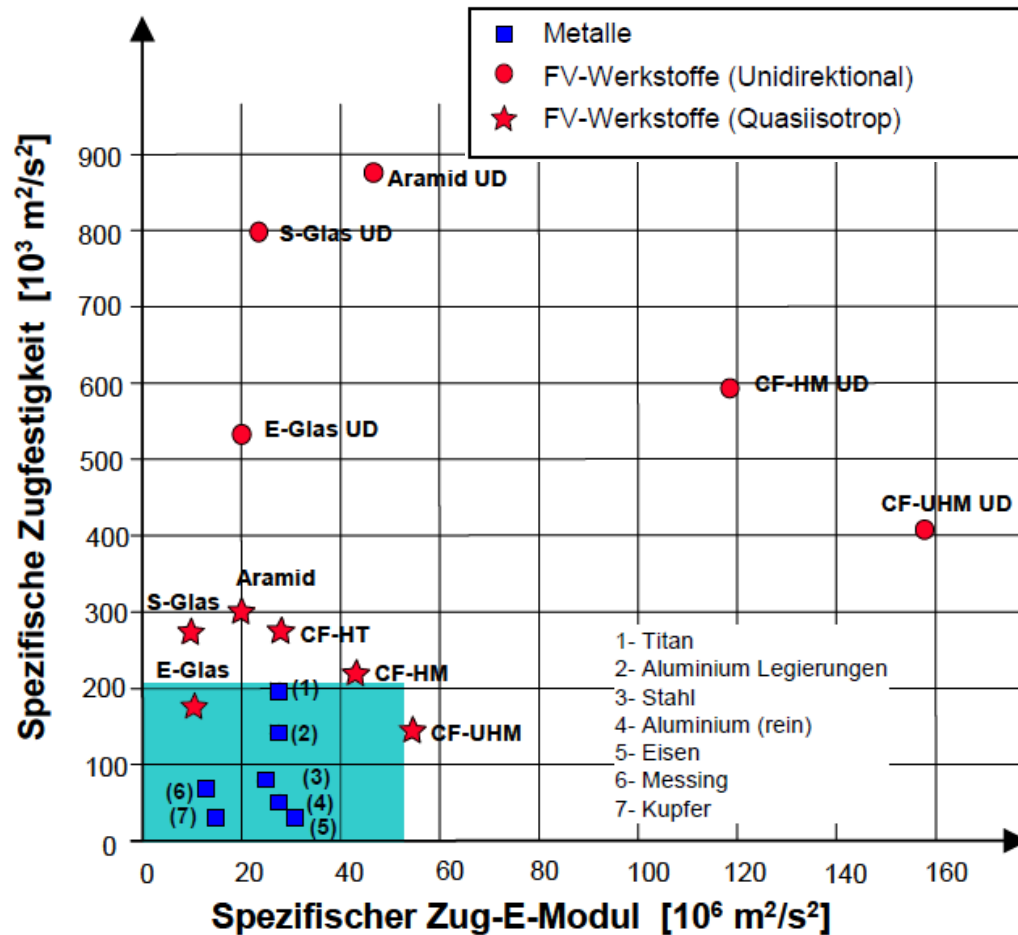
- aerodynamischen Formgebung
- Festigkeit (umlaufende Masse)
- Torsionssteifigkeit



BASF

# Faserverbund - Potential

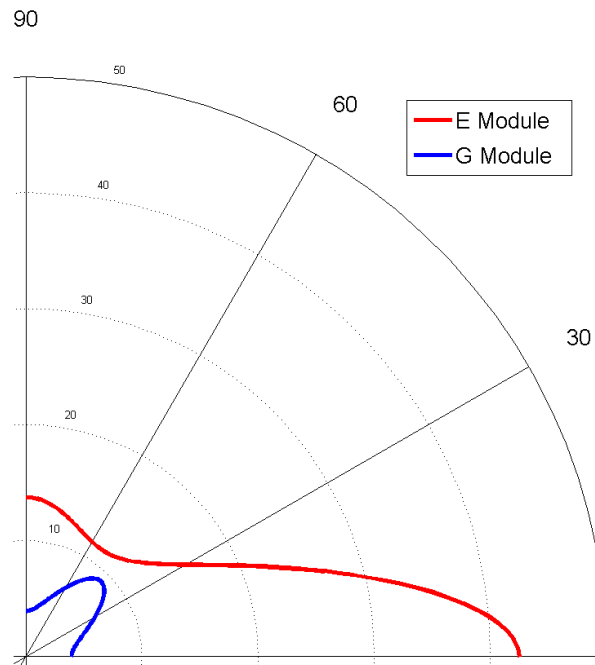
- Hohe spezifische Steifigkeit und Festigkeit



# Faserverbund - Potential

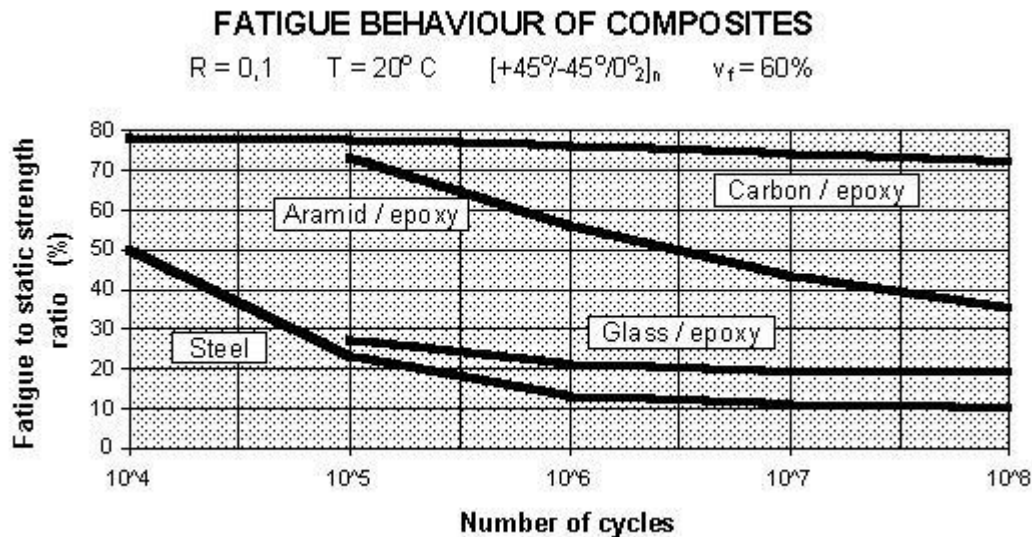
- Material hat gerichtete Eigenschaften (Anisotropie)
  - „Vorzugsrichtung“
  - Materialeigenschaften werden „engineered“
  - Kraftflussgerechte Konstruktion

Directional modul of unidirectional glasfiber composite



# Faserverbund - Potential

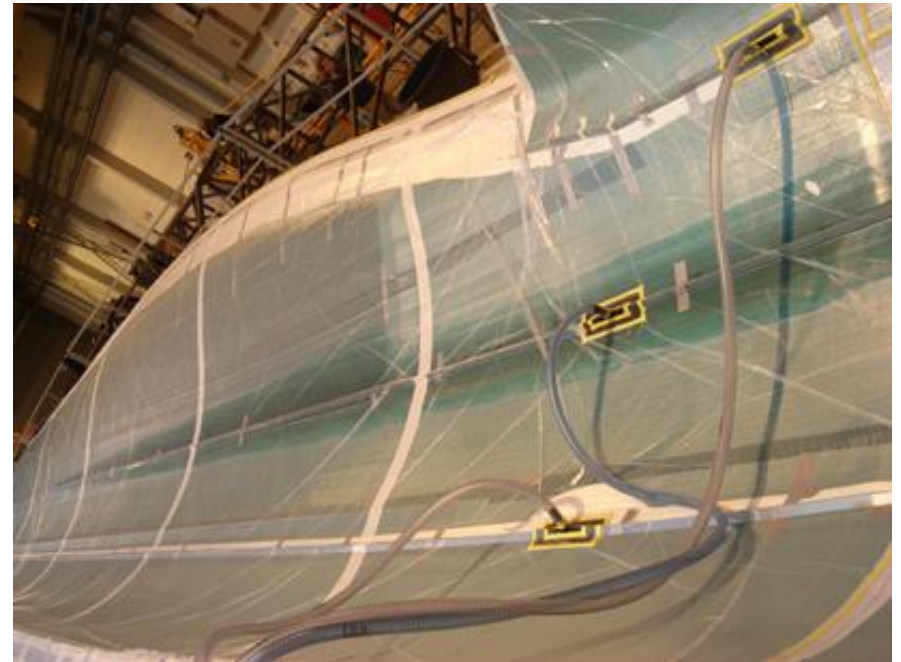
- Sehr gute Ermüdungseigenschaften
- Formbarkeit
- Sandwichkonstruktion für große, leichte Schalen





# Faserverbund - Herausforderungen

- Werkstoff entsteht bei der Herstellung
  - komplexe Fertigung
  - aufwändige Qualitätssicherung



# Faserverbund - Herausforderungen

## Komplexes Versagen:

### Laminate

- Faserbruch
- Zwischenfaserbruch
- Interlaminares Versagen

### Sandwich

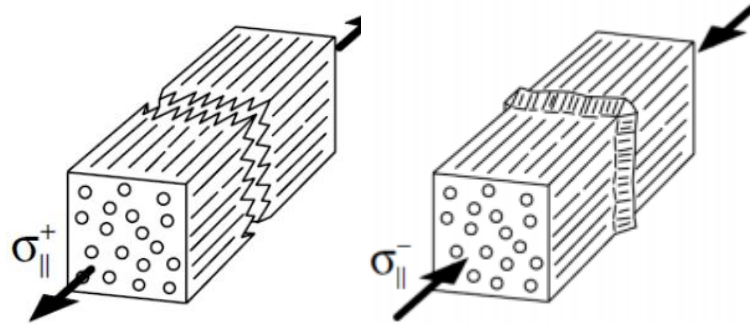
- Schub Versagen
- Instabilität
  - Globale Instabilität
  - Lokale Instabilität
- Delamination

### Komponente

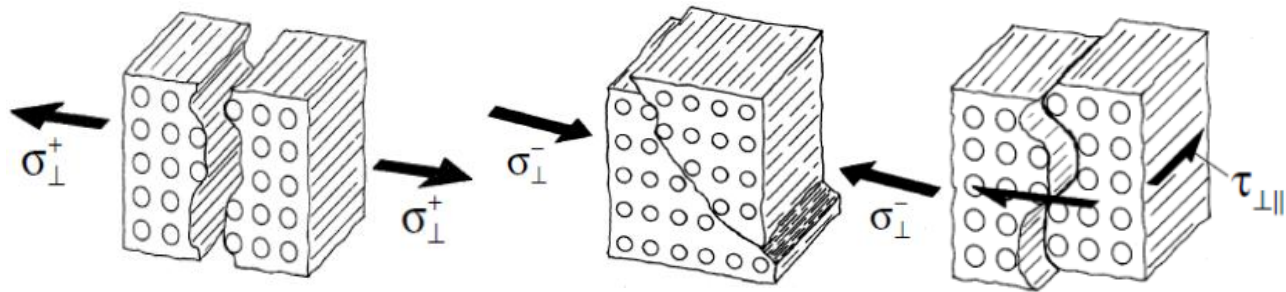
- Verklebungsversagen

# Faserverbund - Herausforderungen

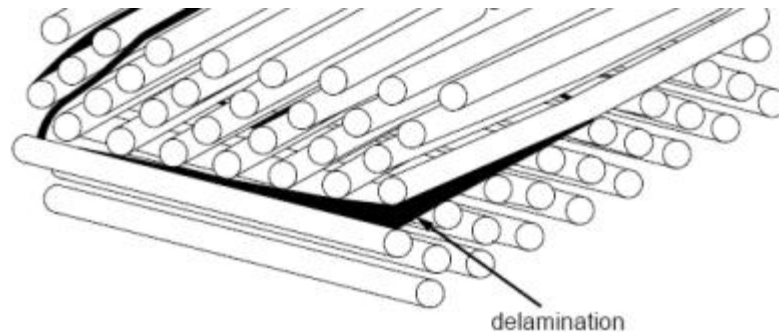
- Faserbruch



- Zwischenfaserbruch

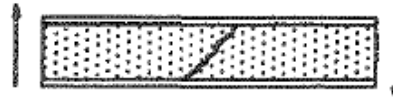


- Interlaminares Versagen

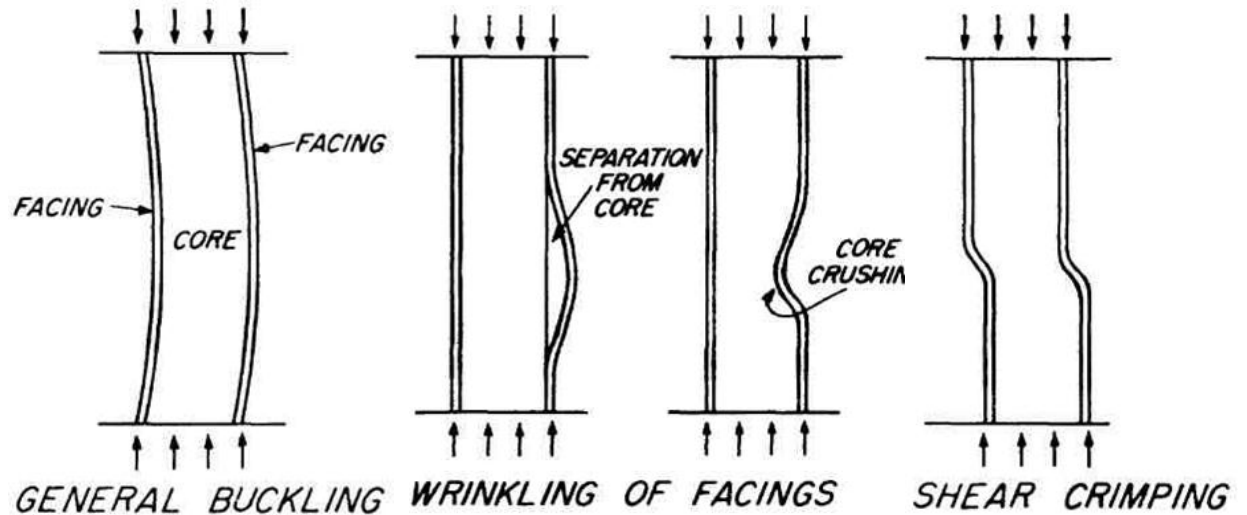


# Faserverbund - Herausforderungen

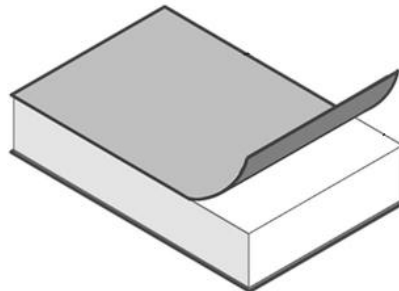
- Schubversagen



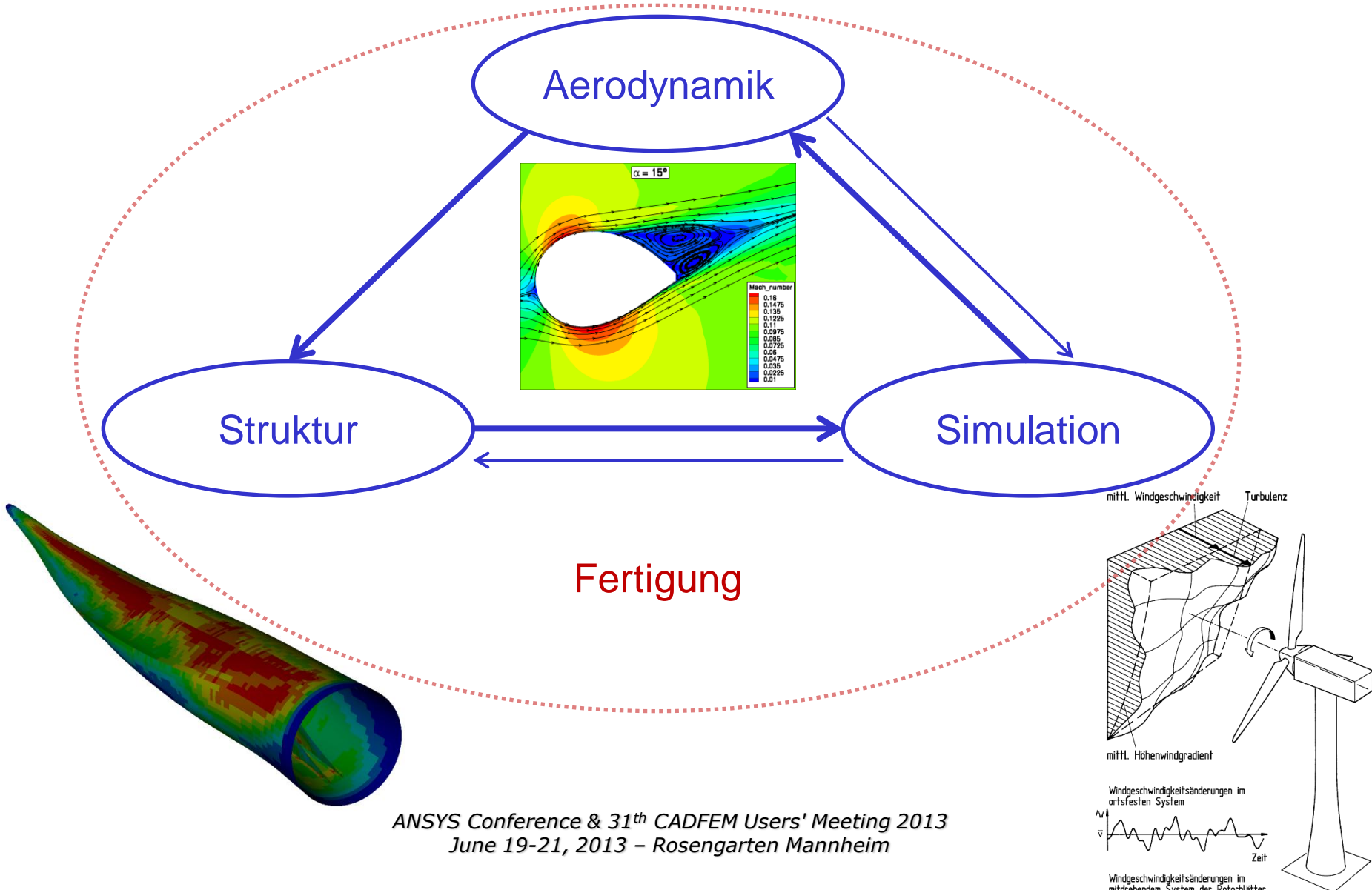
- Instabilität
  - Globale Instabilität
  - Lokale Instabilität



- Delamination



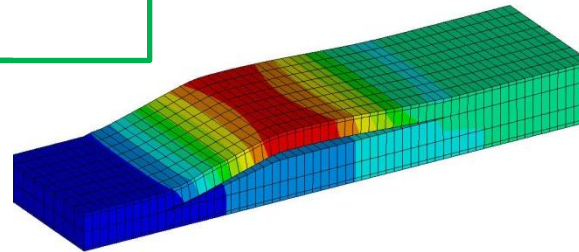
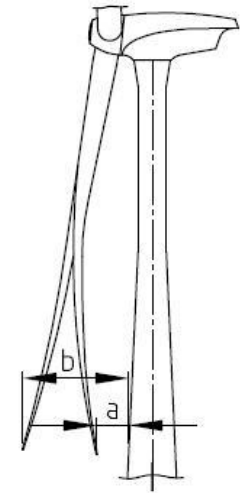
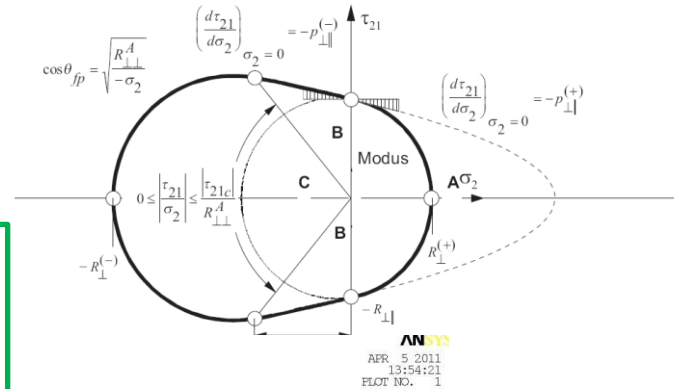
# Auslegung Rotorblatt



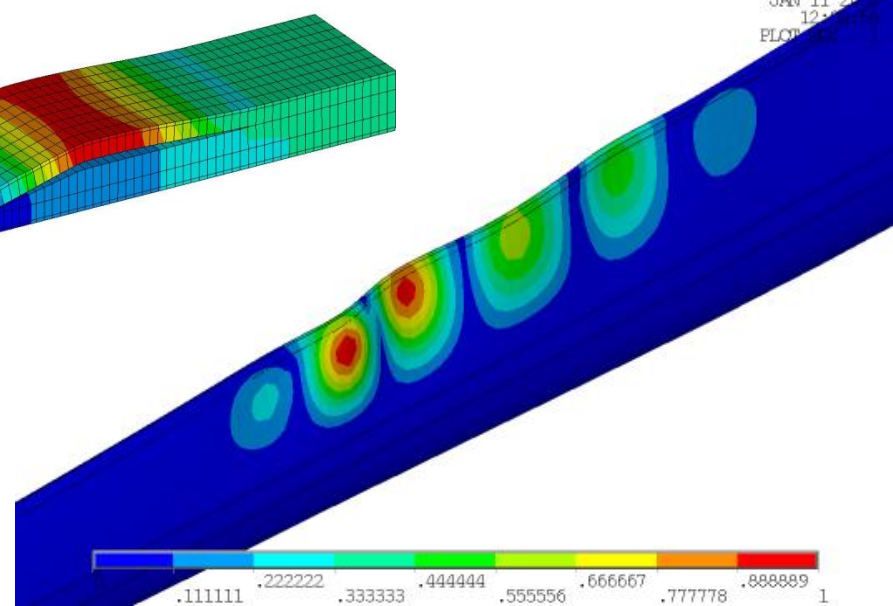
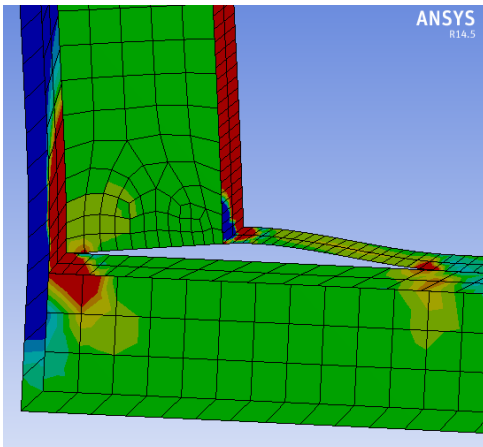
# Strukturauslegung Rotorblatt

- Extremlasten
  - Turmfreigang
  - Zwischenfaserbruch
  - Faserbruch
  - Instabilität
  - Delamination
  - Verklebung

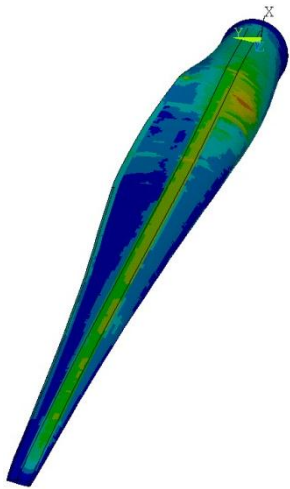
ACP



ANSYS  
JAN 11 2011  
12:10:00  
ELOT NO. 1

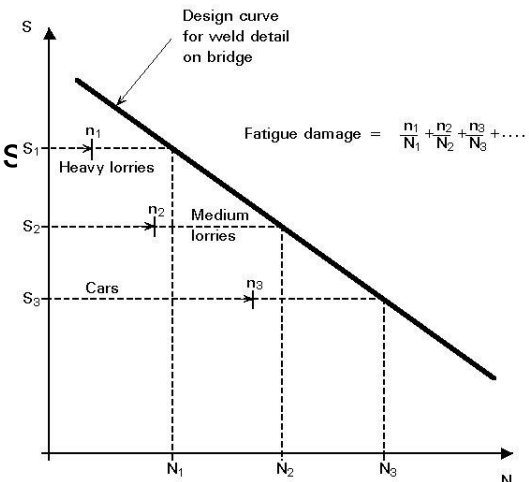
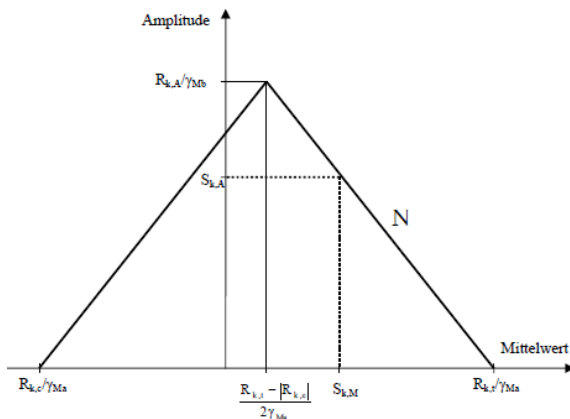
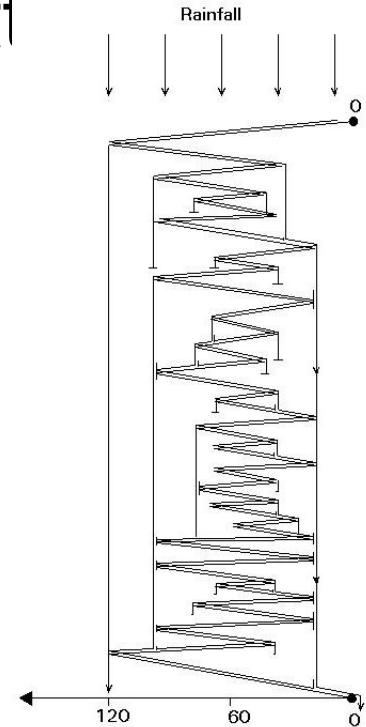
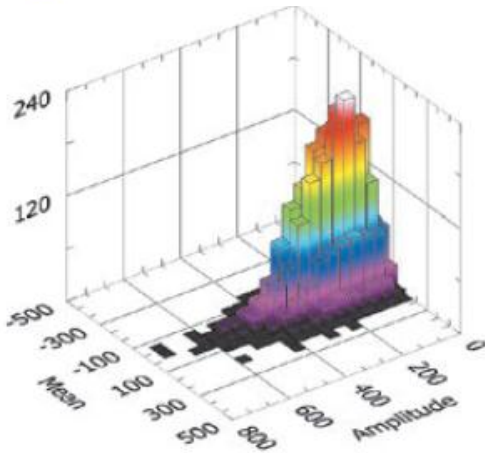


# Strukturauslegung Rotorblatt



- Ermüdungsberechnung

1. Bestimmung von Übertragungsfunktionen zwischen Belastungen infolge Biegemomente und Elementspannung
2. Transformation der Momentenzeitreihen des Rotorblattes in Spannungszeitreihen
3. Rainflow-Counting der Spannungszeitreihen zur Erzeugung von Range-Mean Matrizen
4. Berechnung der Schädigung mittels linearem Goodman-Diagramm
5. Summation der Schädigungen mittels Palmgren-Miner



# Validierung Rotorblatt



Dynamischer Blatttest in Schlag- und Schwenkrichtung mit Einstufenkollektiv

Statischer Blatttest für 4 dimensionierende Lastfälle

Komponententests

Coupon Test zur Kennwerte Bestimmung





# Danke

enno.eyb@repower.de