KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN

WERKSTOFFKUNDE UND PRÜFUNG DER KUNSTSTOFFE

Software-basierte Methode zur Lebensdauer-abschätzung endlosfaserverstärkter Kunststoffe

Julia Brunbauer[1], Christian Gaier[2], Steffen Stelzer[1], Gerald Pinter[1]
[1]Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Department Kunststofftechnik, Montanuniversität Leoben
[2]Engineering Center Steyr GmbH&CoKG, Magna Powertrain

MONTAN UNIVERSITÄT

Otto Glöckel-Straße 2, A-8700 Leoben, Tel.: +43 3842 402 2101
wpk@unileoben.ac.at
www.kunststofftechnik.at

Gliederung

- Motivation
- Grundlagen betriebsfester Auslegung
- Lebensdauerabschätzung
  - Isotrope Werkstoffe
  - Anisotrope Werkstoffe
    - Kurzfaserverstärkte Kunststoffe
    - Endlosfaserverstärkte Kunststoffe
- Ergebnisse eines neuen Berechnungskonzeptes für die Lebensdauerabschätzung endlosfaserverstärker Kunststoffe

Motivation

A380 (www.airbus.com)

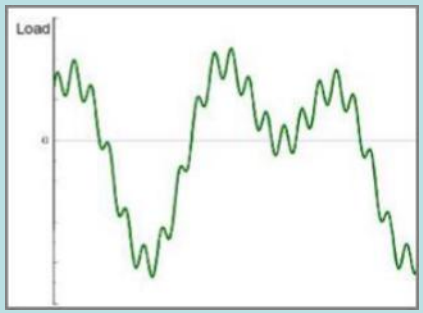
(www.mainpost.de)

(www.bmw.de)

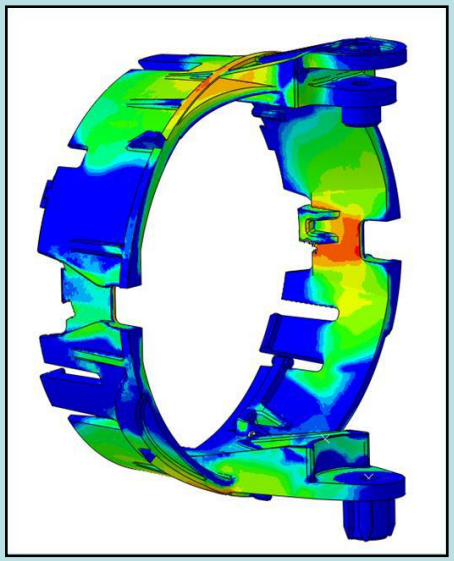
Ermüdung = Degradation von Eigenschaften (z.B. mechanisch) durch Schädigungsprozesse verursacht durch thermische, mechanische oder chemische Belastung (Haibach, 2006)

Vorgehensweise Betriebsfestigkeit

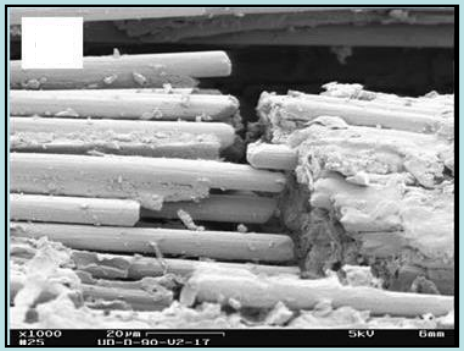
Last-Zeit-Verlauf



Bauteil



Material



Versagenskriterium

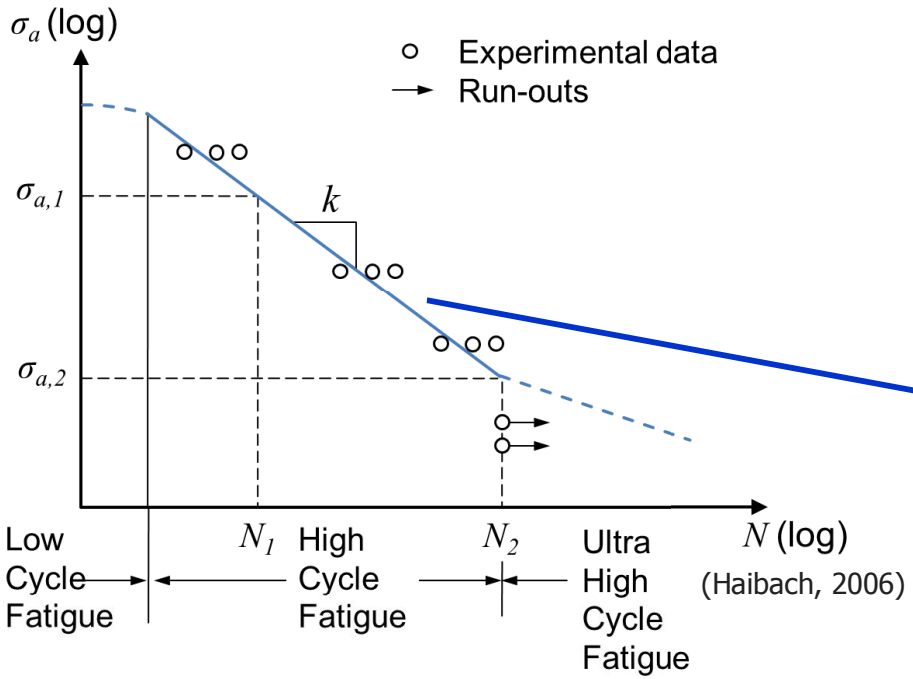
Aussage für Lebensdauer

Materialermüdung

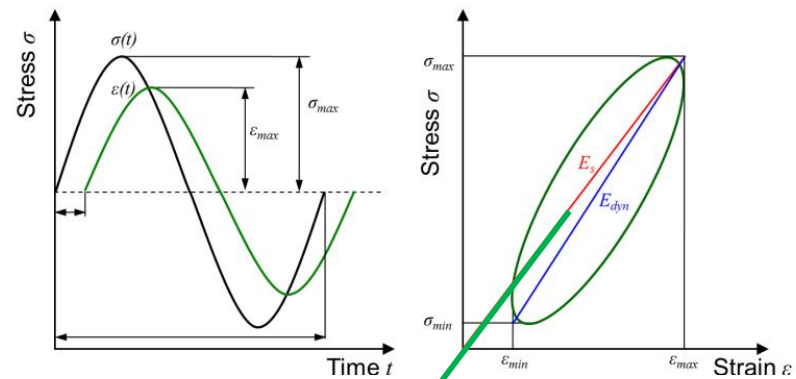
Mechanische Möglichkeiten zur Materialcharakterisierung:

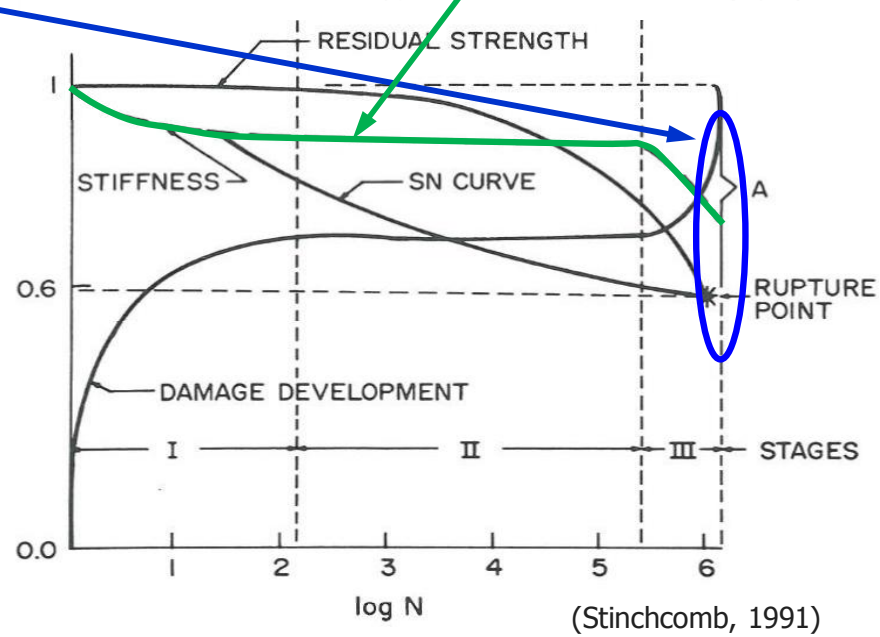
1. Bruch oder Kriterium → Wöhlerkurven

2. Zyklisches Spannungs-Dehnungs-Verhalten → Hysteresen



(Haibach, 2006)





(Stinchcomb, 1991)

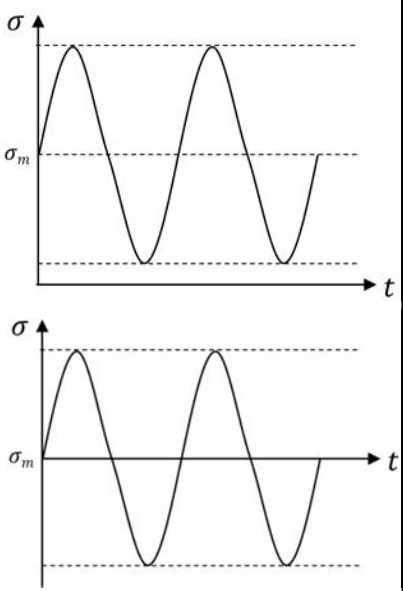
Beide Parameter sind entscheidend für das Materialverhalten in der Anwendung

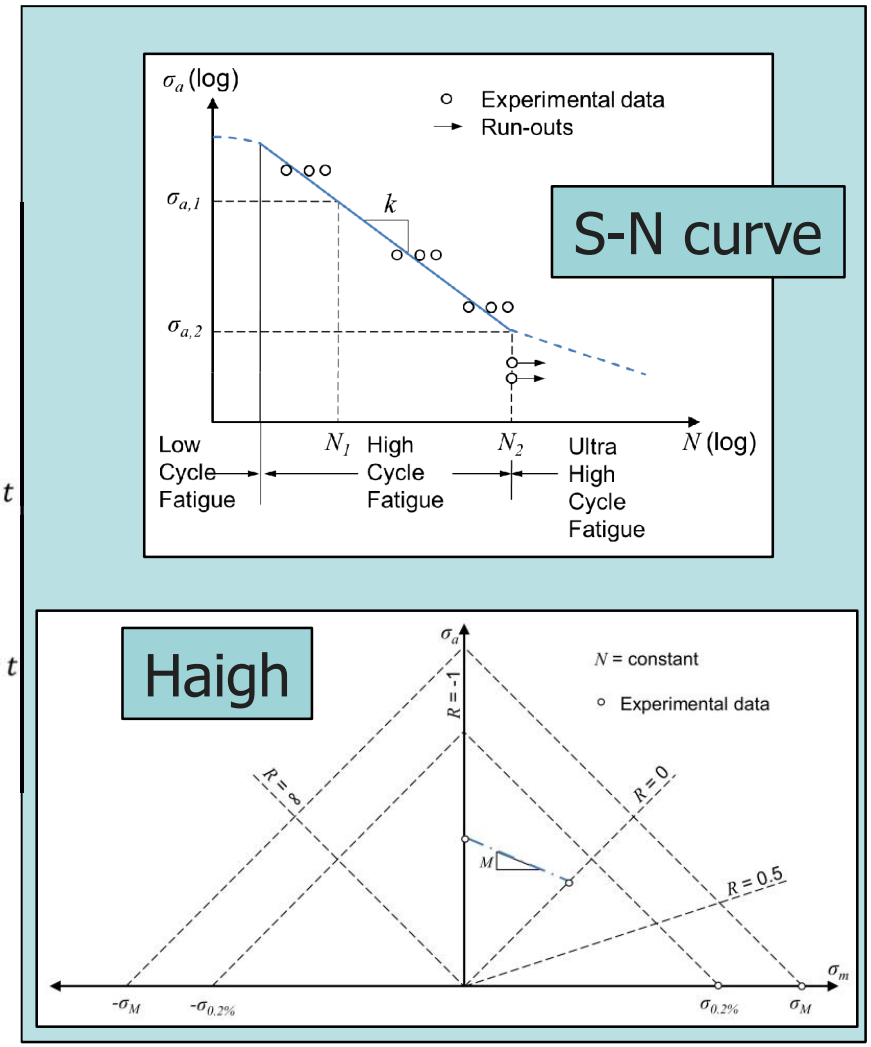
Lebensdauerabschätzung

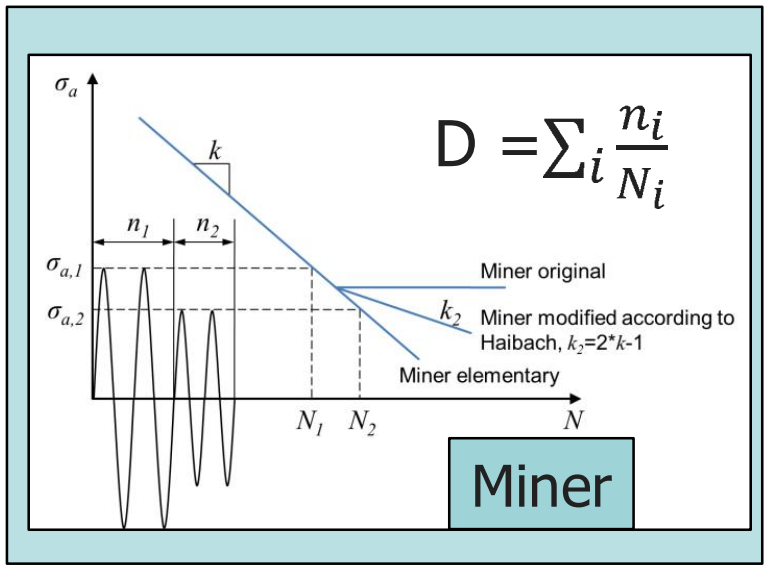
Allgemeine Herangehensweise

Beschreibung Materialermüdung

Versagenskriterium



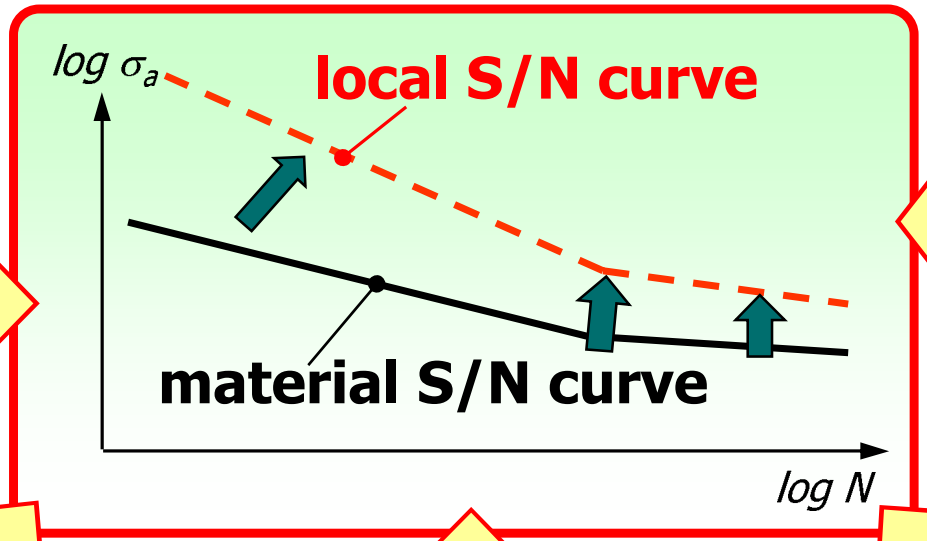




(Haibach, 2006)

Lebensdauerabschätzung

Faserverstärkte Kunststoffe - anisotrop



Umgebung

- Medium
- Temperatur
- Feuchte

Geometrie

- Design
- Kerben und Spannungsgradient
- Dimensionen

Herstellung

- Oberflächenqualität
- (Oberflächenverfestigung)
- Technologische Effekte
- Eigenspannungen
- Bindenähte
- Effects of defects

Belastung

- Belastungsart
- Mittelspannung
- LCF, plastische Deformation
- Last-Reihenfolge
- Tribologie
- Thermo-mechanische Last
- Kriechen, Relaxieren
- High Cycle Fatigue (HCF)
- Belastungsfrequenz

Material

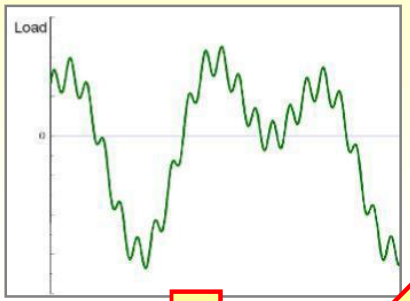
- Typ
- Alterung
- Fasergehalt
- Faserorientierung
- Matrix

(Guster, 2009;
Mösenbacher et al. 2014)

Lebensdauerabschätzung

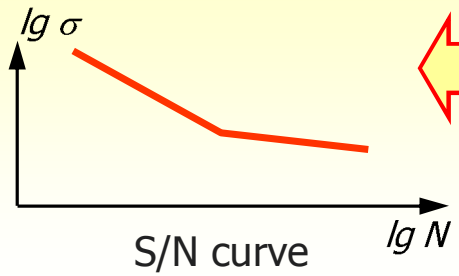
Kurzfaserverstärkte Kunststoffe - anisotrop

Load-time-history



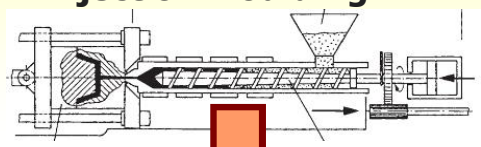
Geometry

Material behaviour

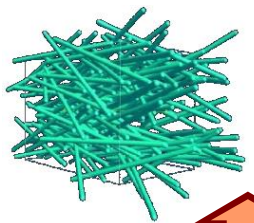


Fabrication

Injection Moulding



Local anisotropic material behaviour

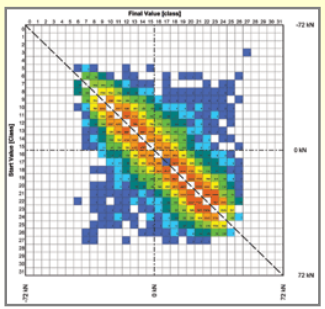


E_1, E_2, E_3

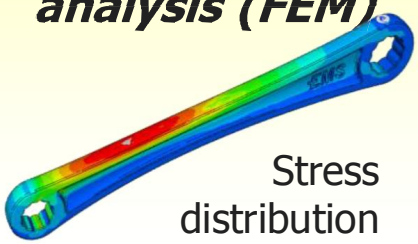
ν_{12}, ν_{13}, ν_{23}

G_{12}, G_{13}, G_{23}

Load-spectrum



Stress analysis (FEM)

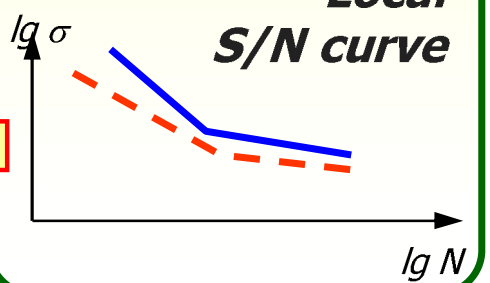


Stress distribution

Influences, as

- stress gradient
- type of loading
- mean stress
- surface
- component size
- corrosion
- temperature
- etc.

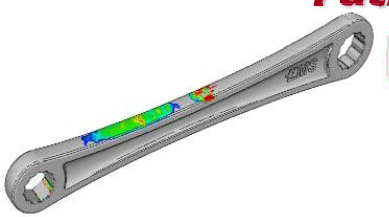
Local S/N curve



Moulding simulation:

Fibre orientation

Fatigue Life Calculation



FEMFAT

MAGNA
MAGNA POWERTRAIN

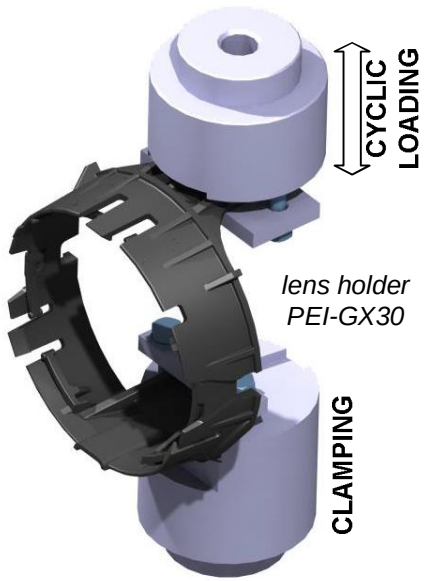
Damage accumulation:

$$\left(\frac{n_1}{N_1}\right)^b + \left(\frac{n_2}{N_2}\right)^b + \left(\frac{n_3}{N_3}\right)^b + \ldots + \left(\frac{n_{i-1}}{N_{i-1}}\right)^b + \left(\frac{n_i}{N_i}\right)^b = 1$$

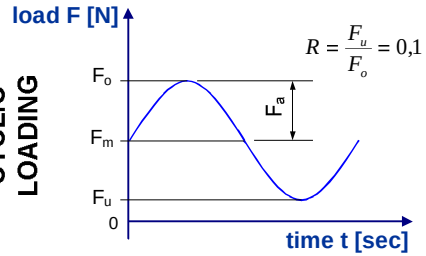
(Mösenbacher et al., 2014)

Lebensdauerabschätzung

Kurzfaserverstärkte Kunststoffe - anisotrop



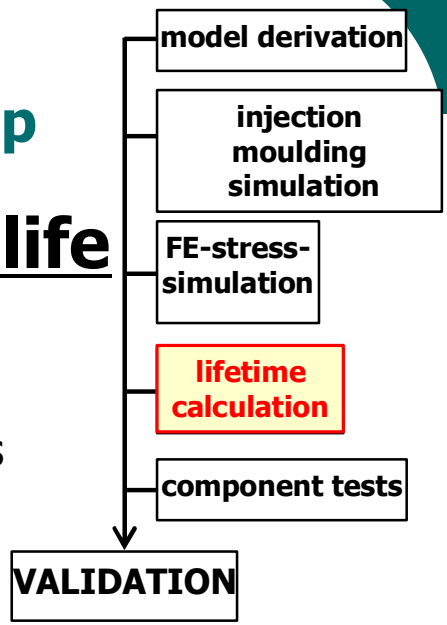
lens holder PEI-GX30



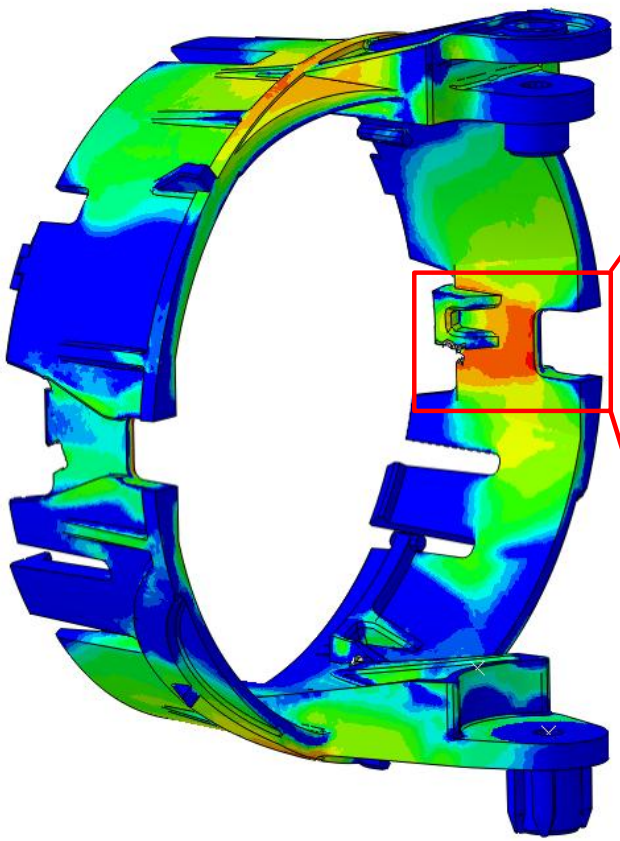
Calculated fatigue life

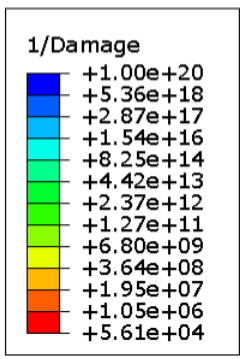
load amplitude 20 N

Pos. 1: N = 130 000 cycles
Pos. 2: N = 90 000 cycles

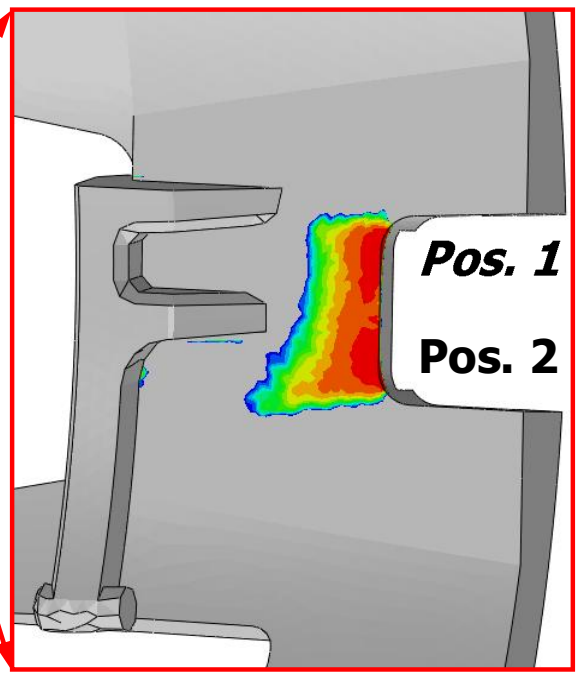


tension/tension loading inside the lens holder





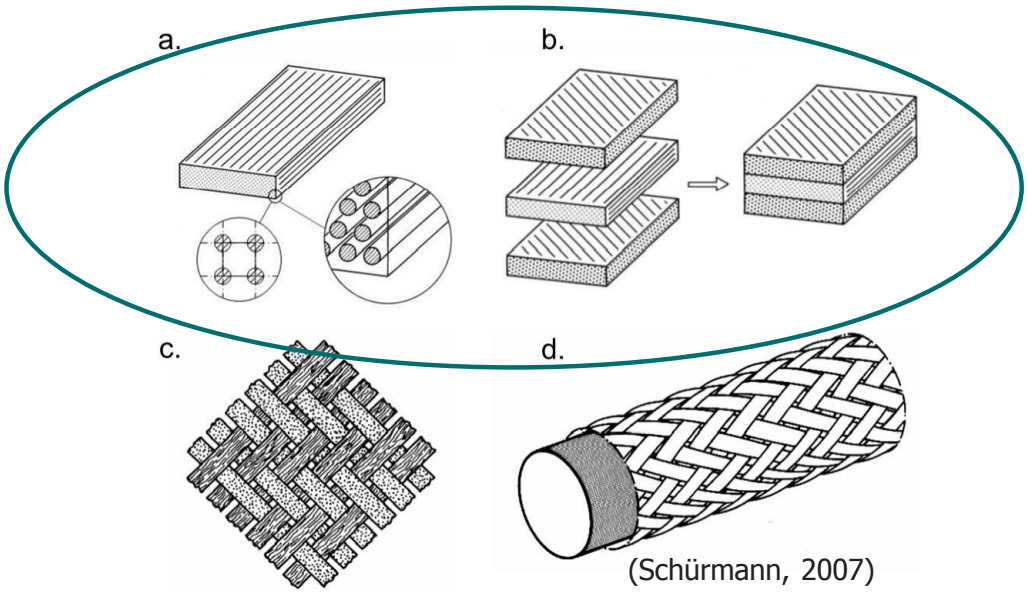
critical area



(Mösenbacher et al., 2014)

Ermüdung endlosfaserverstärkt

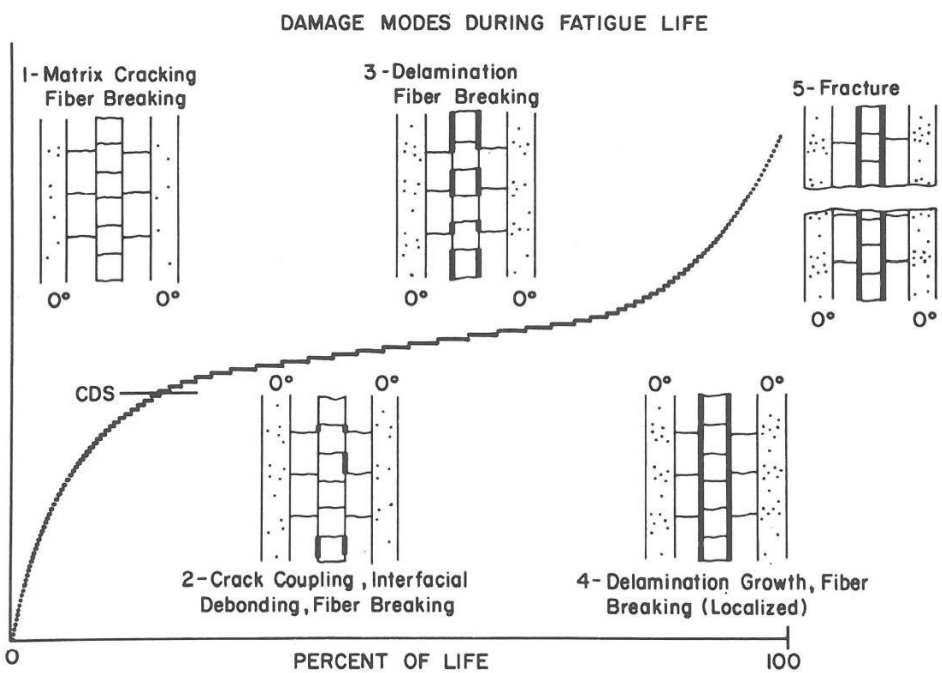
Allgemeine Einflüsse auf Materialermüdung



(Schürmann, 2007)

Compositeermüdung

- Anisotropes Material
- Winkel zwischen Last und Faser
- Komplexe Schädigungsvorgänge
  - Faser, Matrix, Aufbau, Faservolumengehalt
  - etc.



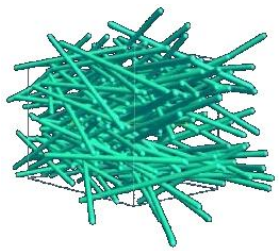
(Reifsnider, 1983)

Lebensdauerabschätzung

Anisotrope Kunststoffe im Vergleich

Überlegung vor Lebensdauerabschätzung:

Kurzfaserverstärkt

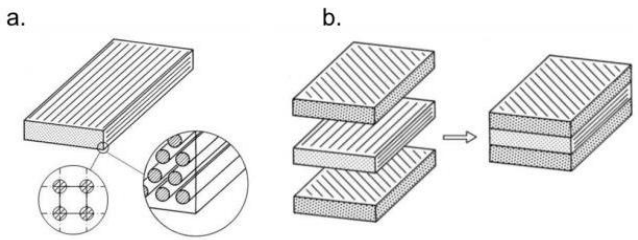


- Orientierung durch Spritzgussprozess unbekannt → muss experimentell oder numerisch ermittelt werden

+ keine „Vorzugsrichtung" für Bruch, normalerweise dominiert Matrixversagen

+ Homogenisierung möglich

Endlosfaserverstärkt



+ Orientierung klar definiert

- Versagen stark faser- oder matrix dominiert → Versagensmodi

- Versagen nicht nur in Plies, sondern auch zwischen Plies → Delamination

- Homogenisierung verfälscht Materialverhalten

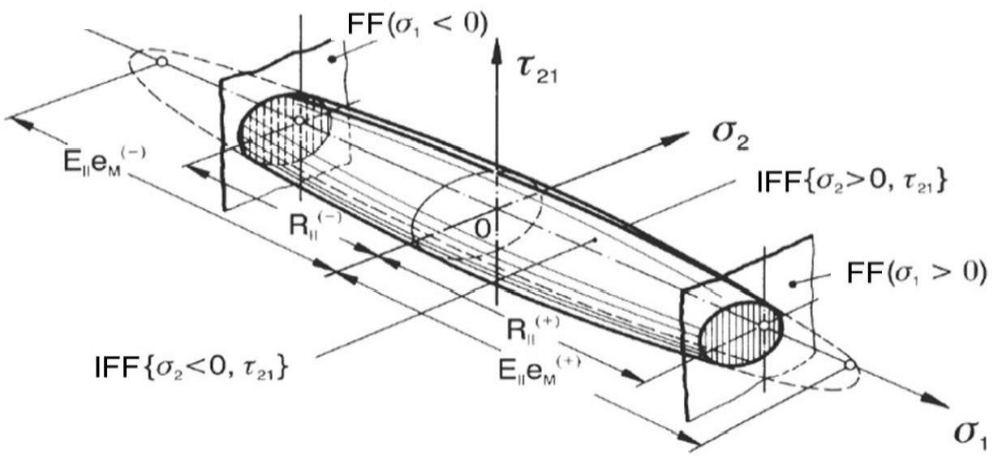
Lebensdauervorhersage

Anisotrop - endlosfaserverstärkt Composite

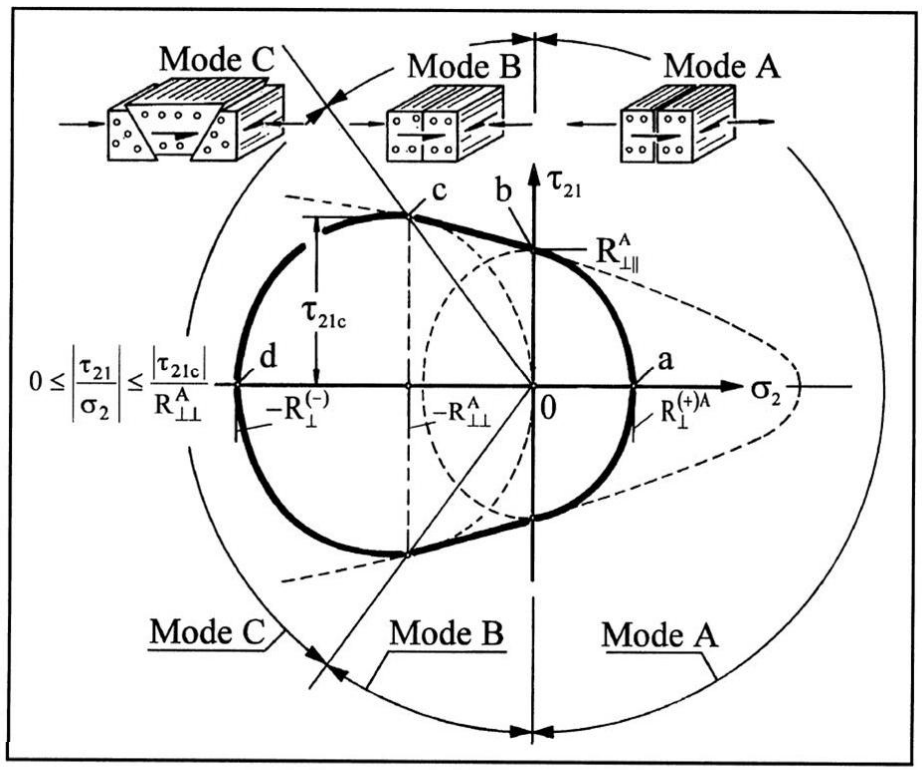
Berücksichtigung der verschiedene Versagensmodi für **quasi-statische Lasten** durch Kriterium nach Puck:

Unterscheidung:

- 2 Faserbrüche (FF)
- 3 Zwischenfaserbrüche (IFF)



(Deuschle, 2010)



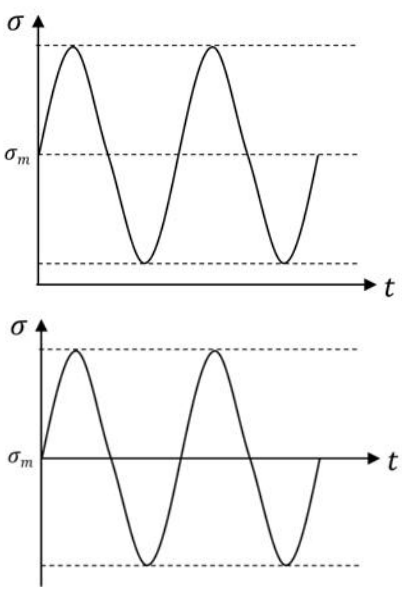
(Puck und Schürmann, 1998)

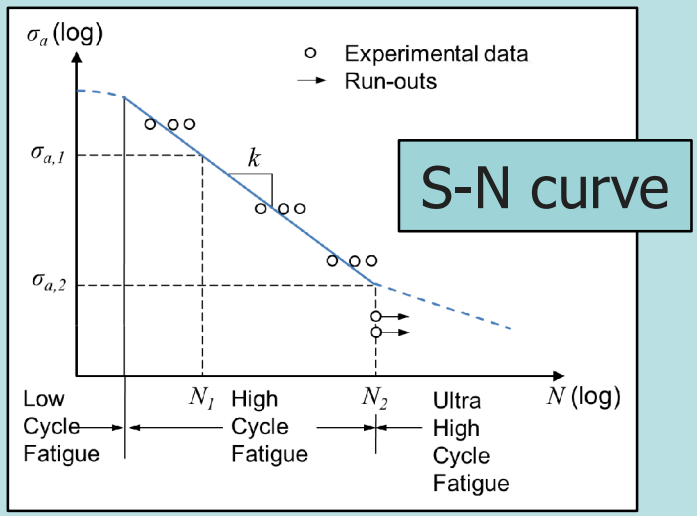
Lebensdauervorhersage

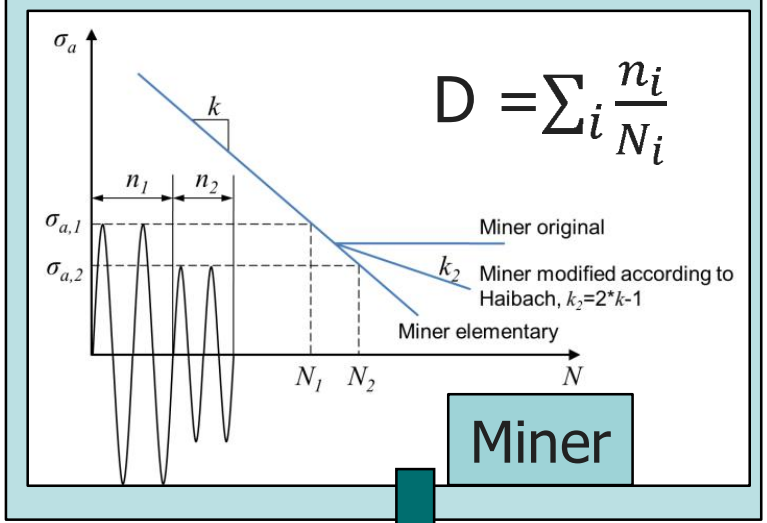
Anisotrop - endlosfaserverstärkt Composite

Beschreibung Materialermüdung

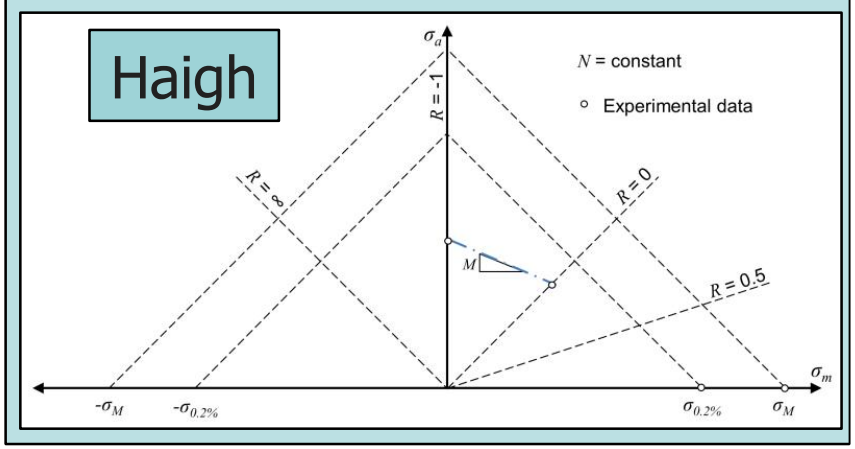
Versagenskriterium

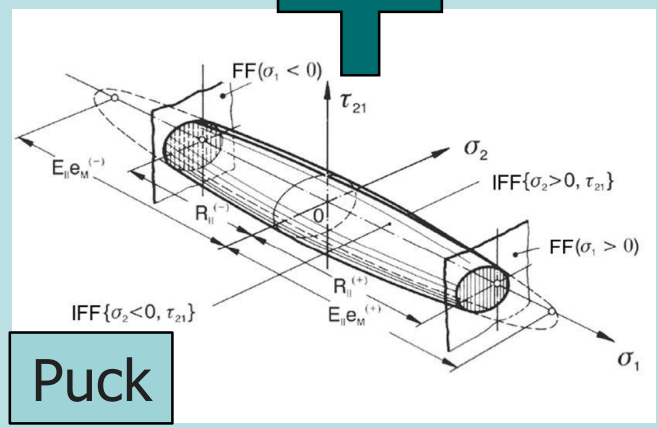






$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i}$$





(Haibach, 2006)

(Deuschle, 2010)

Ergebnisse Lebensdauervorhersage

Anisotrop - endlosfaserverstärkt Composite

Benötigte Materialparameter für Lebensdauerabschätzung:

- Material
  Kohlenstofffaser/Epoxidharz, 55% vf.
- Faserwinkel
  0°, 90°, ±45°
  UD 45°, [0/45/-45/90/90/-45/45/0] → Validierung
- Belastungsart
  quasi-statisch, zyklisch, Zug, Druck, Schub (±45°)
- Mittelspannungseinfluss
  R0.1, R-1

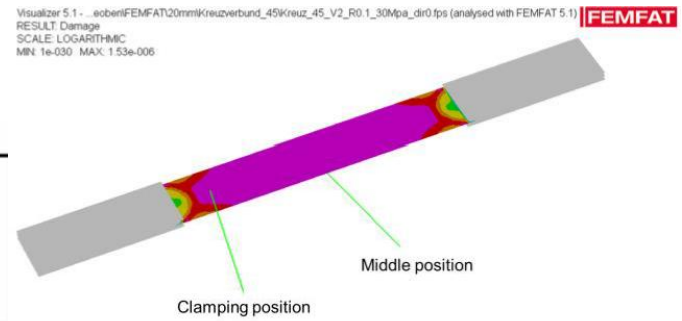
FE Rechnung und Modellierung der zu rechnenden Prüfkörper (Abaqus)

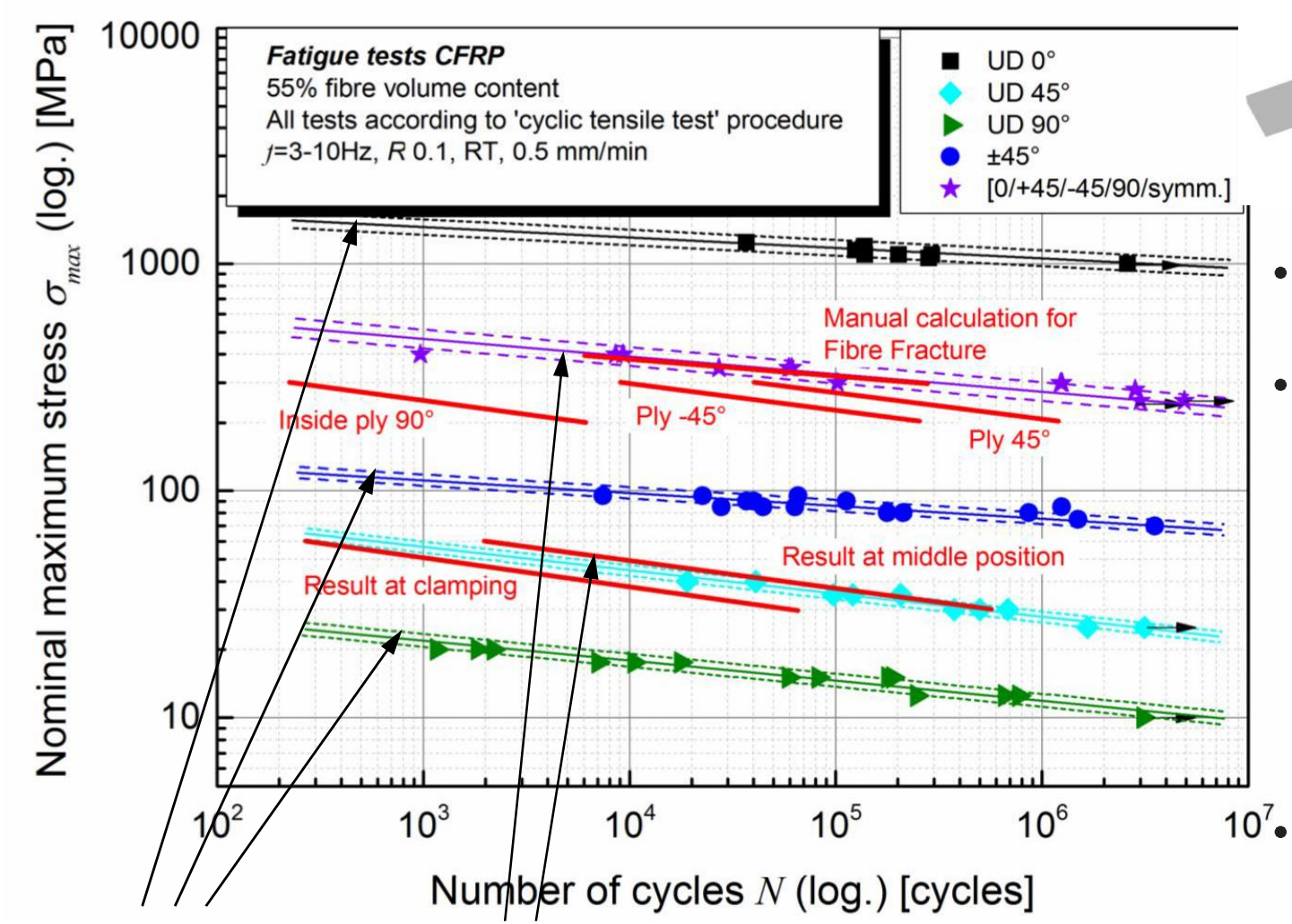
⇩

Schädigungsrechnung in Femfat

Ergebnisse Lebensdauervorhersage

Anisotrop - endlosfaserverstärkt Composite





- Gute Vorhersage für UD 45°
- Bei Verbund [0/45/-45/90/symm.] wird Versagen in der schwächsten Schicht angenommen (90°) → stimmt nicht mit realem Material-verhalten überein
- Verbesserungspotential

0, ±45, 90 als **input** (R=0 und R=-1)

Experimentelle Validierung

Schlussfolgerungen

- Simulationskette für Lebensdauerabschätzung von kgfv Kunststoffen sehr weit fortgeschritten
- Implementierung des Puck'schen Bruchkriteriums vielversprechend für die Lebensdauerabschätzung unidirektionaler und multidirektionaler Verbundwerkstoffe

Ausblick

Einige Themen für die Zukunft:

- Delamination
  -> Erweiterung der FE Rechnung mit Solid Elements
- Faserarchitektur
  -> Kombination mit Materialmodellierungssoftware
- Faservolumengehalt:
  -> Daten vorhanden, Berücksichtigung für breitere Anwendung

Vielen Dank!

Kontakt:
Dipl.-Ing. Dr.mont. Julia Brunbauer

Department Kunststofftechnik
Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe
Montanuniversität Leoben
Otto Glöckel-Strasse 2
A-8700 Leoben

phone: +43 3842 402 2136
fax: +43 3842 402 2102
e-mail: julia.brunbauer@unileoben.ac.at
web: www.kunststofftechnik.at

Literatur

Deuschle, H.M. (2010), „3D failure analysis of UD fibre reinforced composites: Puck's theory within FEA", Dissertation, Universität Stuttgart.

Guster, C. (2009), „Ansätze zur Lebensdauerberechnung von kurzglasfaserverstärkten Polymeren", Dissertation, Montanuniversität Leoben.

Haibach, E. (2006), „Betriebsfestigkeit - Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung", Springer, Berlin.

Mösenbacher, A.; Brunbauer, J.; Pichler, P. F.; Guster, Ch.; Pinter, G. (2014), „Modelling and validation of fatigue life calculation for short fibre reinforced injection moulded parts", in: ECCM16 – 16th European Conference on Composite Materials, June 2014, Sevilla, Spain.

Puck, A. (1996), „Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten - Modelle für die Praxis", Hanser, München, Wien.

Puck, A, Schürmann, H. (1998), „Failure analysis of FRP laminates by means of physically based phenomenological models", Composites Science and Technology, 1998(58), 1045-1067.

Reifsnider, K.L., Henneke, E.G., Stinchcomb, W.W., Duke, J.C. (1983), „Damage Mechanics and NDE of Composite Laminates", Mechanics of Composite Materials, Recent Advances, Hashin and C.T. Herakovich, eds., Pergamon Press, New York, pp. 399-420.

Reifsnider, K.L. (1991), „Fatigue of Composite Materials", Elsevier Science Publishers B.V., 1991.

Schürmann, H. (2007), „Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden", 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, NY, 2007.

Talreja, R. (1987), „Fatigue of Composite Materials", Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, USA, 1987.