Anwendungsnahe und effiziente Charakterisierung des Einflusses von Umgebungsmedien auf maßgebliche Eigenschaften polymerer Werkstoffe

4a Technologietag 2014: Kunststoffe auf dem Prüfstand - Testen und Simulieren

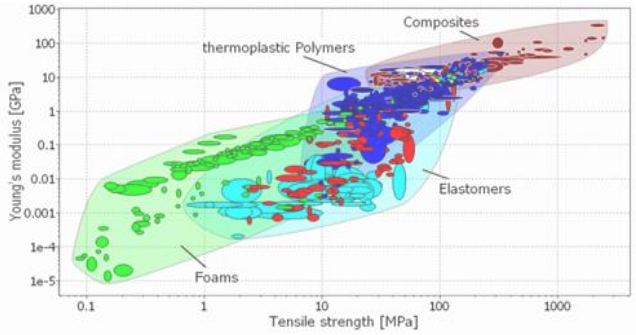
P. Guttmann[a], A. Mösenbacher[c], A. Frank[b], G. Pilz[a], G. Pinter[a]

[a] *Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben*
[b] *Polymer Competence Center Leoben GmbH*
[c] *Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau, Montanuniversität Leoben*

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

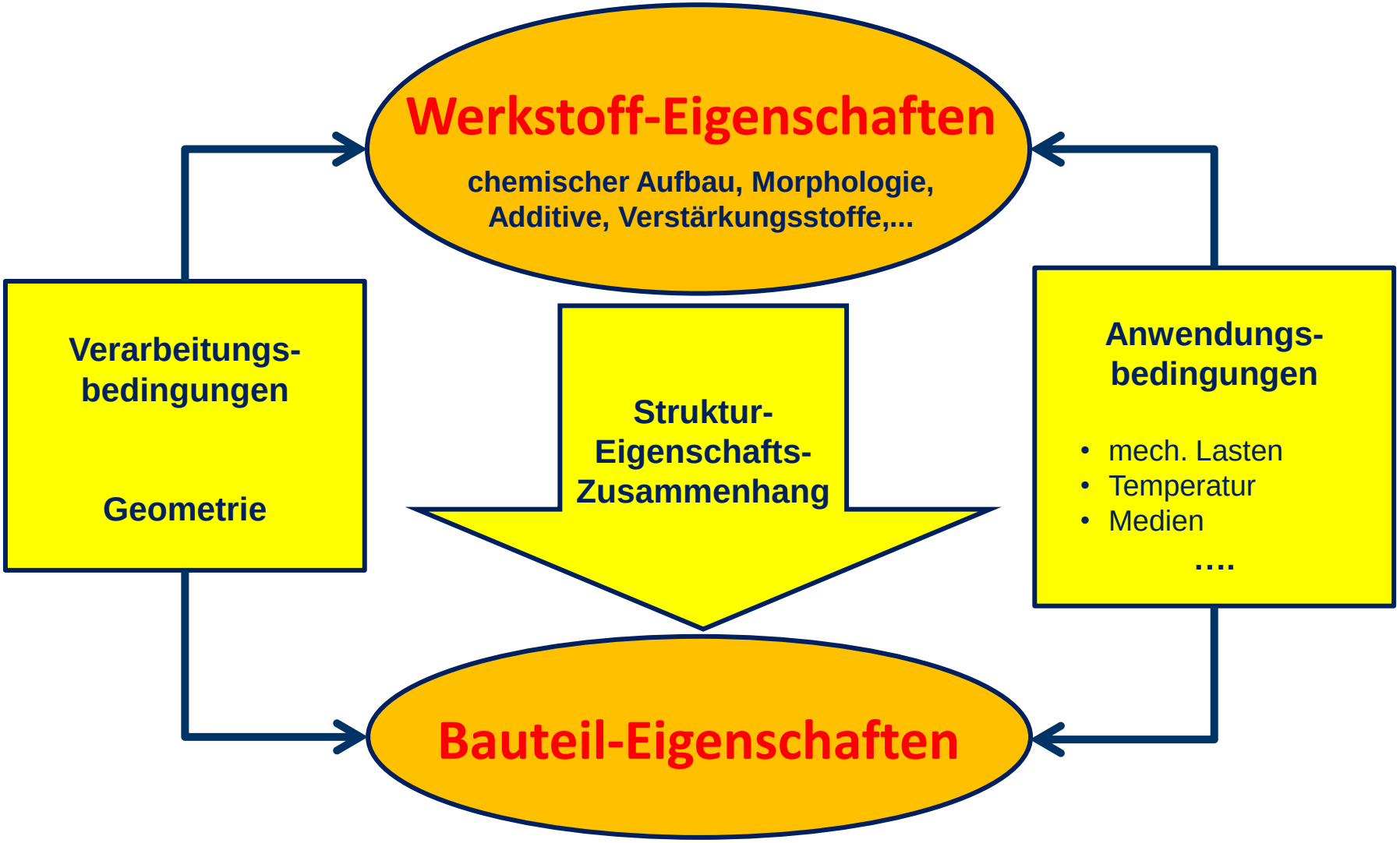
Inhalt

- Struktur/Eigenschaftsbeziehungen
- Lebensdauerabschätzung
- Medieneinfluss
- Kurzzeiteigenschaften
- Langzeiteigenschaften



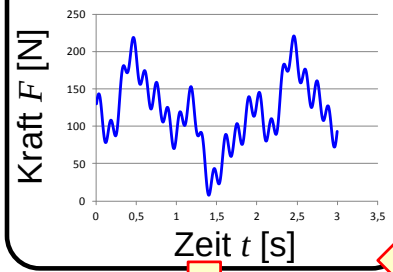
[CES 2012]

Struktur/Eigenschaftsbeziehungen



Lebensdauerabschätzung

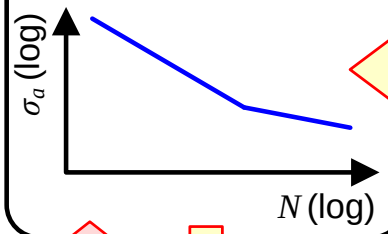
Last-Zeit-Verlauf



Geometrie

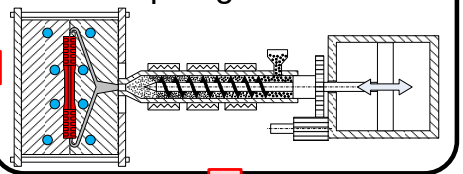
Werkstoffverhalten

Wöhlerlinie

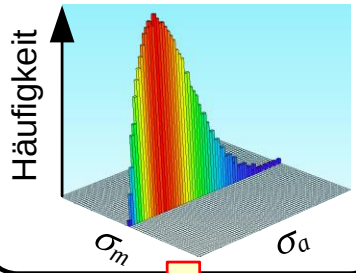


Fertigung

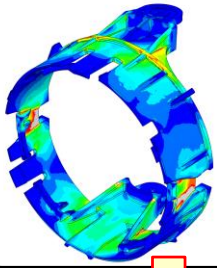
Spritzgießen



Lastkollektiv



Lokale Spannungen

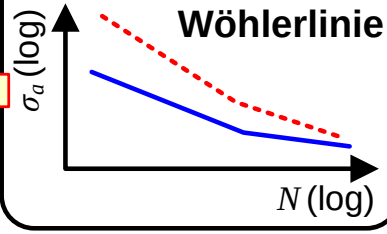


FEM

Einflüsse, wie

- Spannungsgradient
- Mittelspannung
- Temperatur
- Faserorientierung
- Bindenahte
- Feuchtigkeit
- Medieneinfluss
- usw.

Lokale Wöhlerlinie



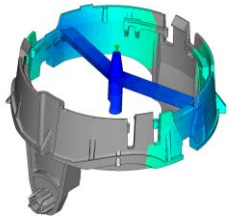
Lokal anisotrope Materialeigenschaften

E_1, E_2, E_3

$\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$

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

Spritzgusssimulation



$$\begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} & a_{xz} \\ & a_{yy} & a_{yz} \\ \text{sym.} & & a_{zz} \end{bmatrix}$$

Lokale Faserorientierung

Lebensdauerberechnung

Schadensakkumulation:

$$\left(\frac{n_1}{N_1}\right)^b + \left(\frac{n_2}{N_2}\right)^b + \left(\frac{n_3}{N_3}\right)^b + \ldots + \left(\frac{n_i}{N_i}\right)^b \leq 1$$

[Unger et al. 2008, Fleischer et al. 2009, Guster 2009, Gaier et al. 2010, Mösenbacher et al. 2013]

Medieneinfluss - Allgemeines

Umgebungsfeuchtigkeit

- phys. Alterung: **reversible** Veränderung des Werkstoffgefüges bzw. Morphologie durch Wasseraufnahme, Quellung

- chem. Alterung: vorhandenen **irreversibel**, Kettenspaltungen und Molmassenabbau bei hydrolysierbaren Gruppen (z.B. Ester-, **Amid-** und Nitrilgruppen)

chem. aktive Fluide:

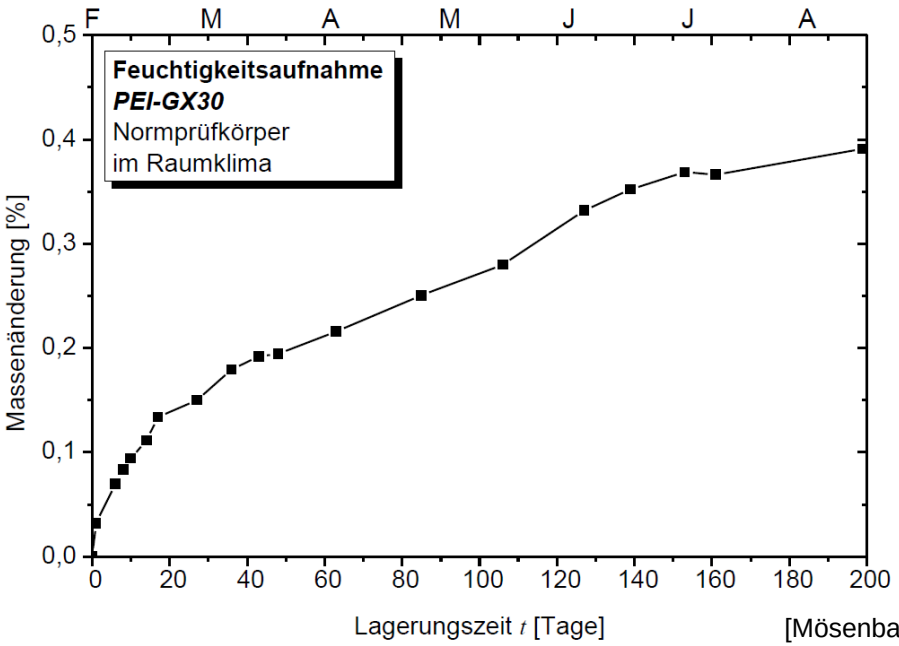
- chem. Alterung: **irreversible Veränderung der chemischen Grundstruktur** durch z.B. Hydrolyse, Oxidation, Kettenspaltung, Nachpolymerisation,...

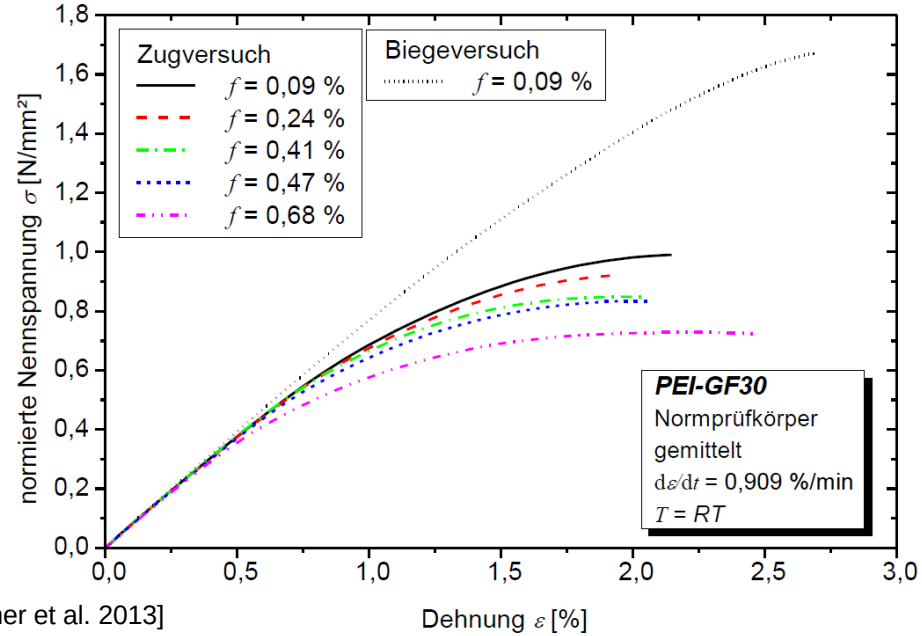
- phys. Alterung: Veränderung des **reversibel**, Medienaufnahme, Quellung→ reversible Werkstoffgefüges

⇨ Polymerspezifische Veränderung der mech. Eigenschaften

Medien & mech. Kurzzeiteigenschaften

Lagerung von PEI GF30 in Raumklima



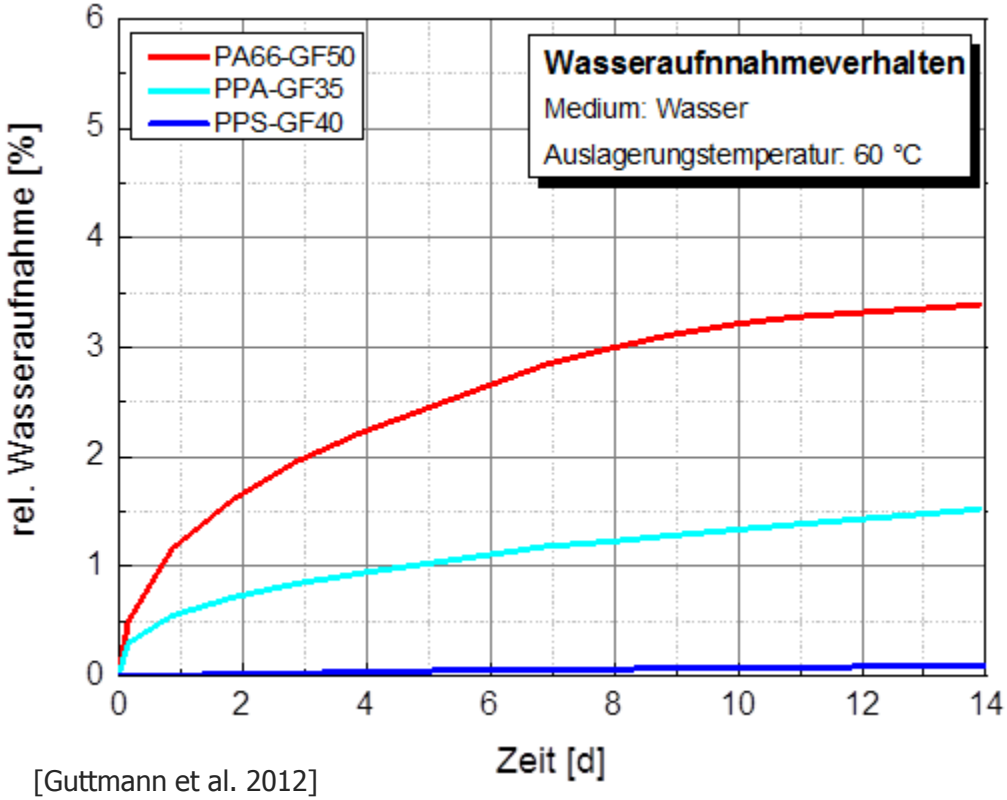


[Mösenbacher et al. 2013]

- Feuchtigkeitseinfluss ist speziell bei Polyamiden sehr stark ausgeprägt!
- Auch das als feuchteunempfindlich geltende Polyetherimid zeigt eine deutliche Festigkeitsreduktion (Steifigkeit bleibt nahezu unverändert)

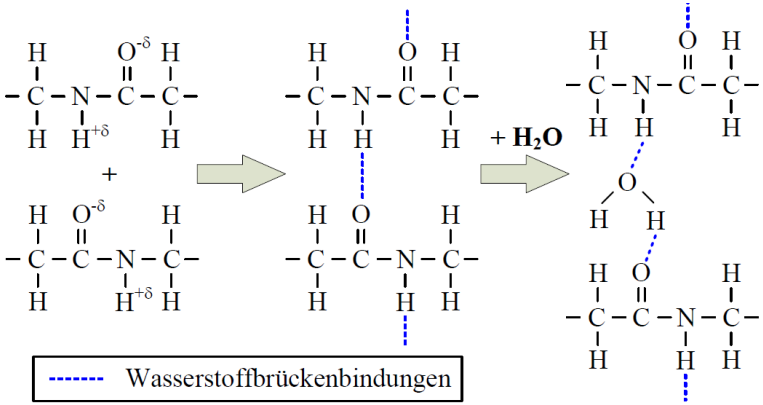
Medien & mech. Kurzzeiteigenschaften

Auslagerung technischer Kunststoffe in Wasser (@ 60 ° C)



[Guttmann et al. 2012]

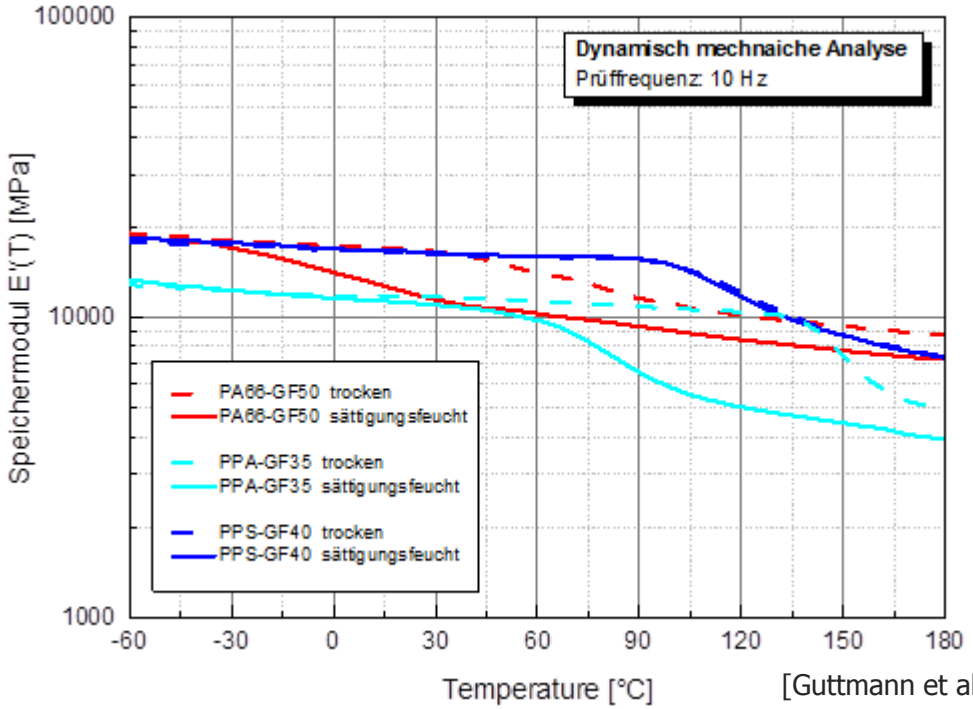
Schematische Darstellung der Wasseraufnahme über Wasserstoffbrückenbindungen anhand der polaren Amidgruppe in PA 66



[Carrascal et al. 2005]

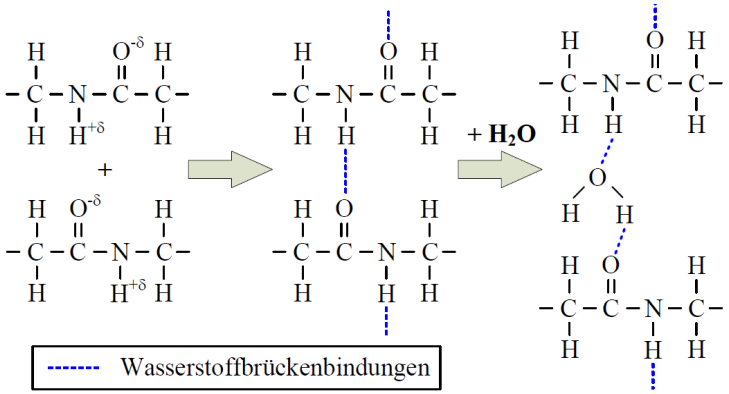
Medien & mech. Kurzzeiteigenschaften

Dynamisch Mechanische Analyse (DMA) an sättigungsfeuchten, technischen Kunststoffen



[Guttmann et al. 2012]

Wasseraufnahme und Schwächung der Wasserstoffbrückenbindungen anhand der polaren Amidgruppe in PA 66



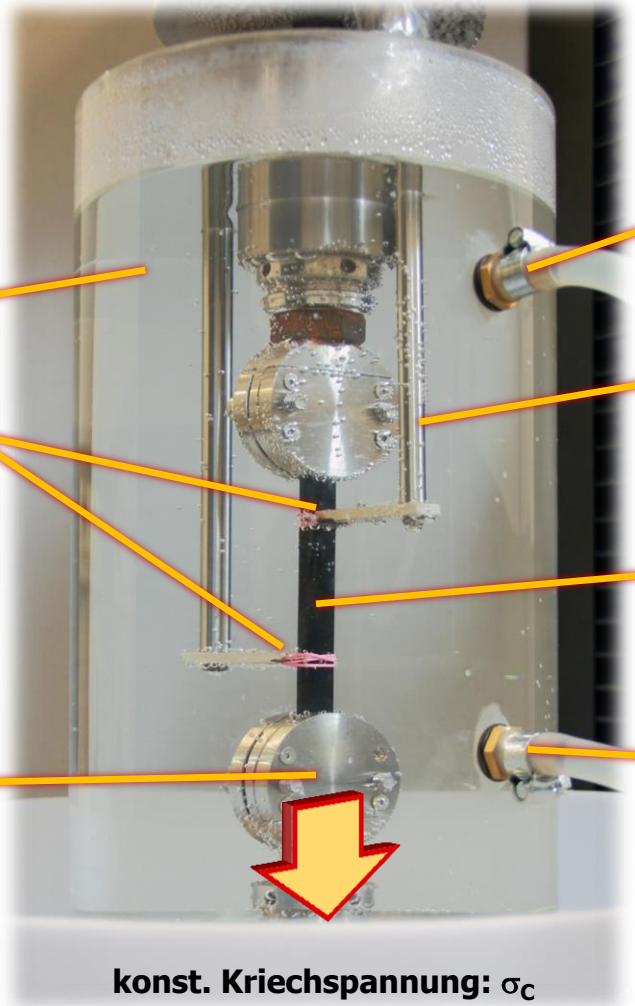
[Carrascal et al. 2005]

- **<u>Verschiebung der Glasübergangstemperatur</u>** T_G zu signifikant niedrigeren Temperaturen für **<u>PA 66 aber auch PPA</u>**
- ⇨ deutliche phys. Alterung
- **<u>PPS</u>** zeigt **<u>keinen Einfluss</u>** durch Wasseraufnahme

Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Problem: Austrocknung der Werkstoffe während der Prüfung

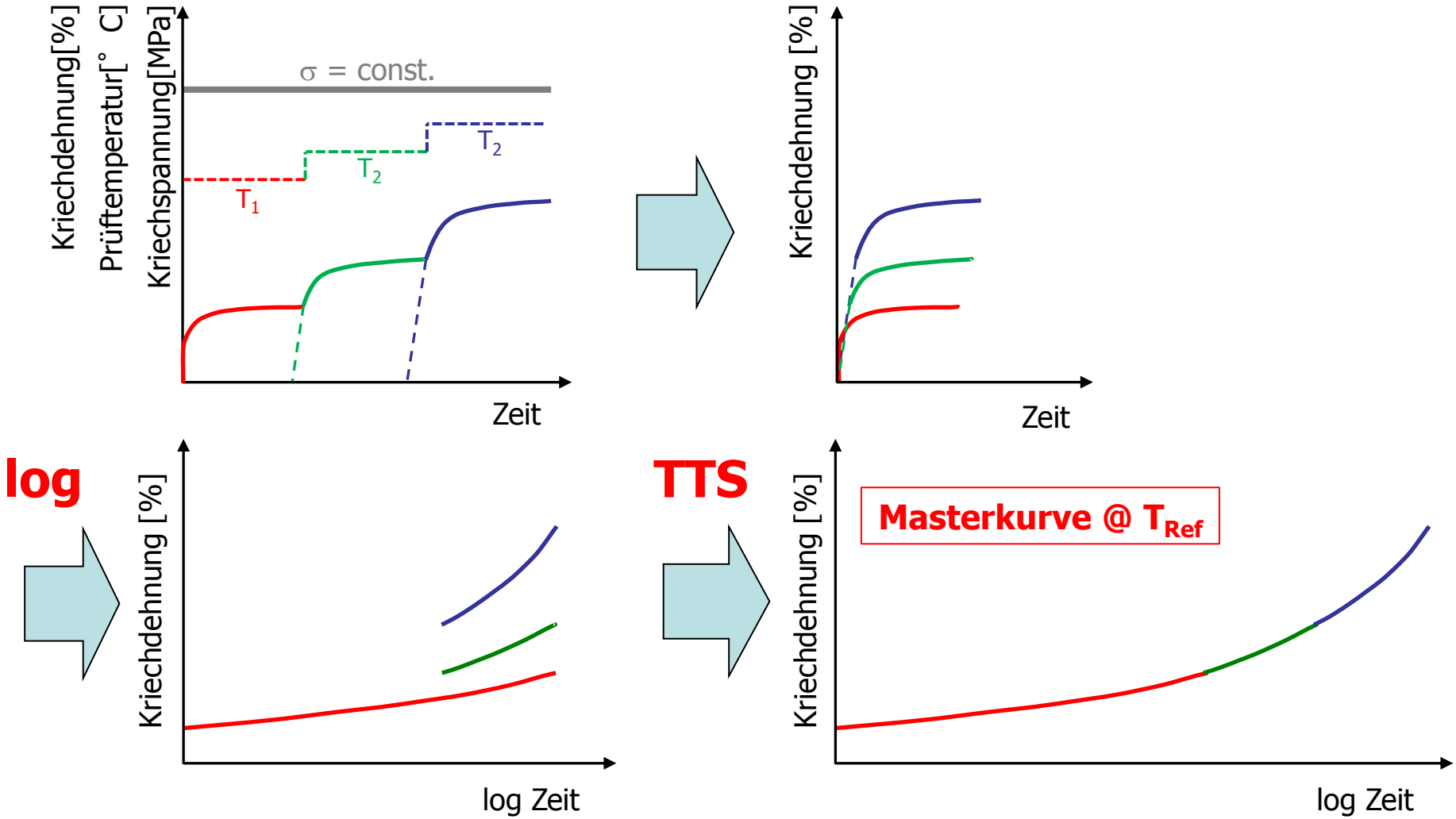
Medienmesszelle für Kriechversuche im Medium bei erhöhten Temperaturen



[Guttmann et al. 2012]

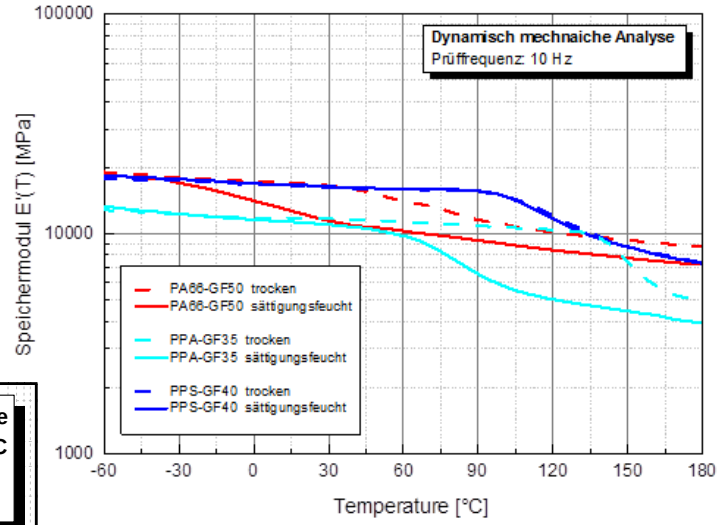
Medien & mech. Langzeiteigenschaften

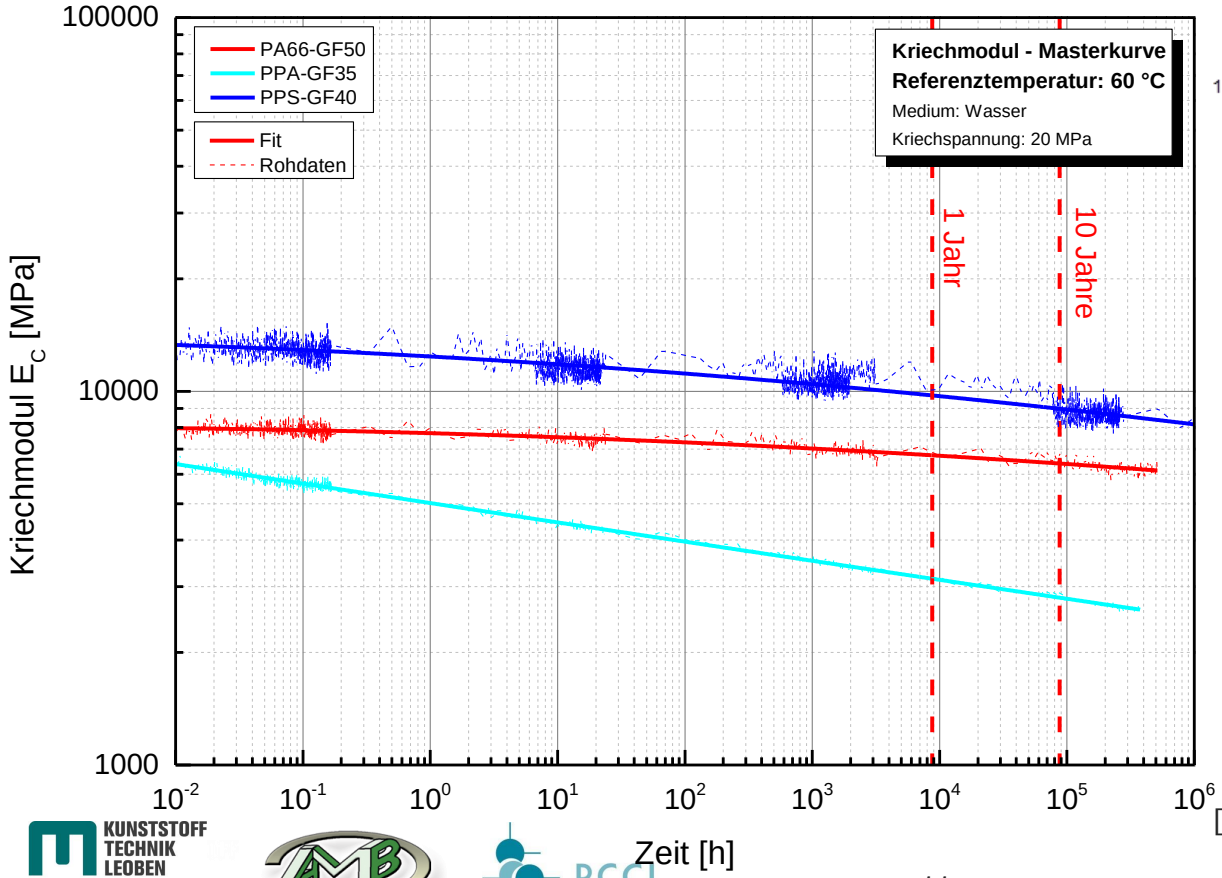
Kriechversuch nach Stepped Isothermal Method (SIM - ASTM D 6992)



Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Kriechversuch nach Stepped Isothermal Method (SIM - ASTM D 6992) in Wasser





Einfluss der Lage des Glasübergangsbereichs auf das Langzeitkriechverhalten

[Guttmann et al. 2012]

Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Zyklischer Cracked Round Bar (CRB) Test

- Neue bruchmechanische Prüfmethode (ONR 25194) zur Beurteilung des Risswachstumswiderstandes von Polyethylen (PE) für innendruckbelastete Gas- und Wasserrohre

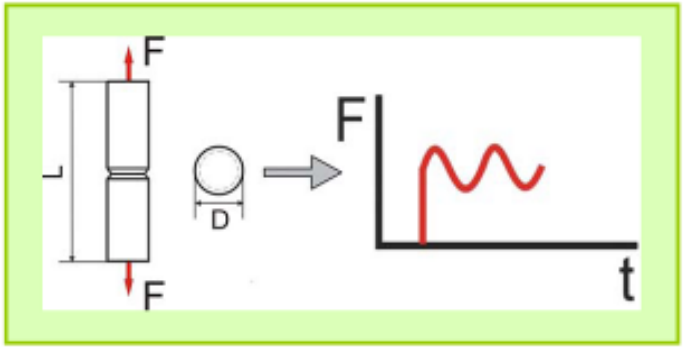
- Vorteile gegenüber bestehenden Prüfmethoden
  - Wesentliche Beschleunigung der Rissinitiierung und des Risswachstums
  - Anwendungsorientierte Werkstoffprüfung in Luft (ohne rissinduzierendes Netzmittel) bei 23 ° C
  - Auch modernste Materialien können bis zum Bruch geprüft werden

- Erweitere Anwendung
  - Rissinitiierungswiderstand
  - Temperatureinfluss (bis zu T=80 ° C)
  - Medieneinfluss

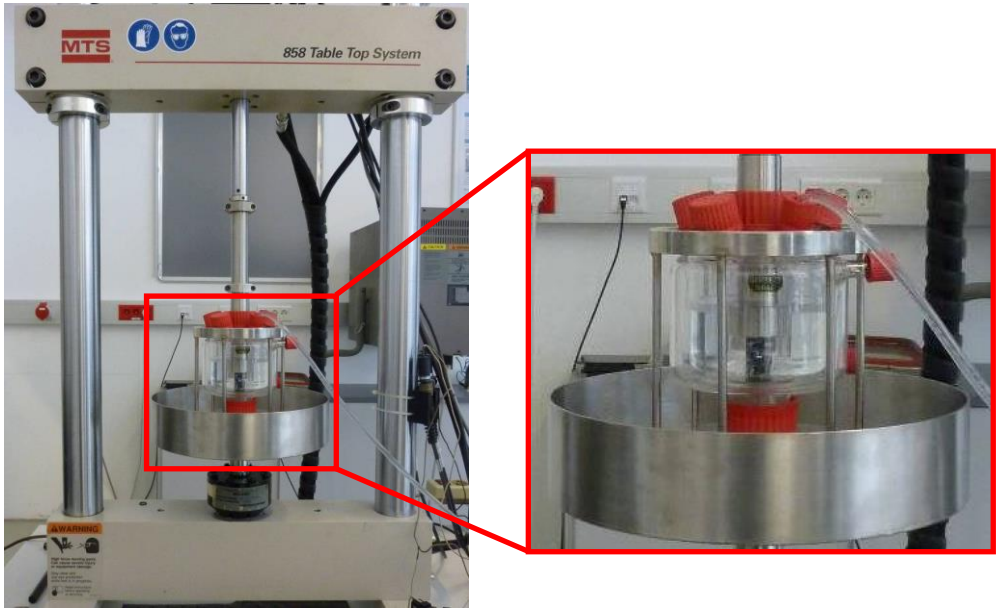
Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Zyklischer CRB Test unter Medieneinfluss

- Sinusförmig kraftgesteuerte Belastung f=10 Hz
- R-Verhältnis (F_{min}/F_{max})=0.1
- Prüftemperatur T=23° C
- Gemessen werden Versagenszyklenzahlen bzw. -zeiten
- **<u>Zusätzliche Medienzelle aus Glas</u>**

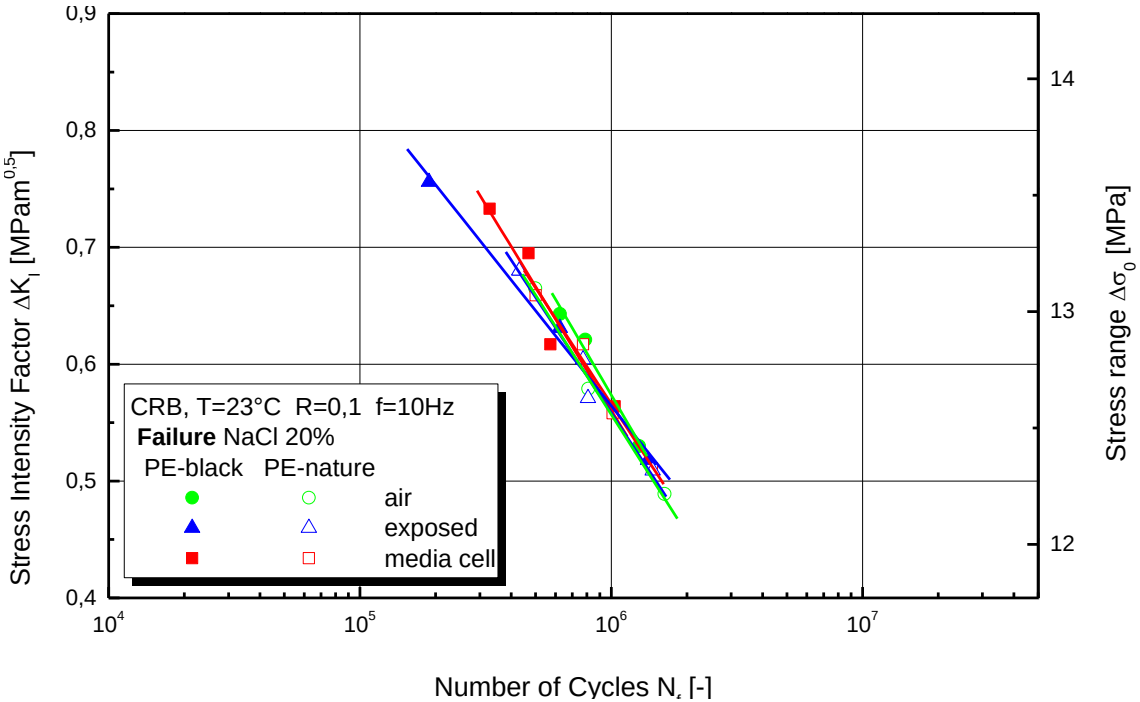


[Pinter et al. 2007]



Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Einfluss von 20% NaCl auf PE-natur bzw. PE-rußgefüllt



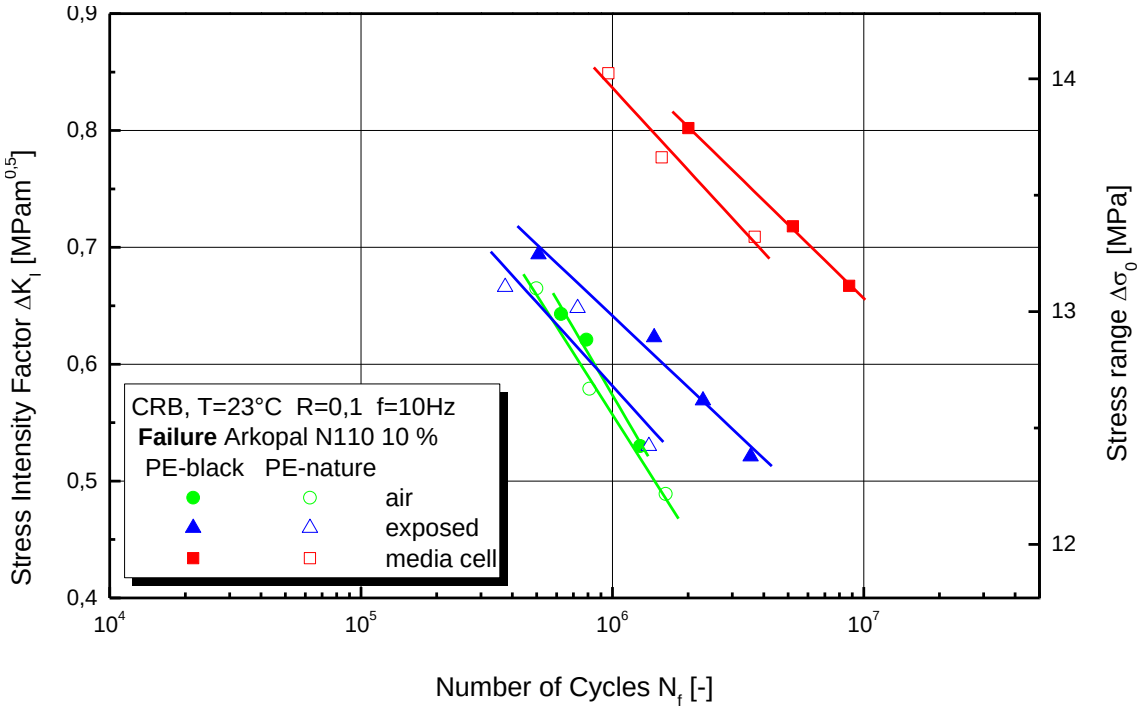
[Redhead et al. 2012]

kein signifikanter Medieneinfluss feststellbar zwischen

- unkonditionierte Prüfkörper, Prüfung in Luft („air")
- 90 Tage in Medium gelagerte PK, Prüfung in Luft („exposed")
- unkonditionierte Prüfkörper, Prüfung in Medium („media cell")

Medien & mech. Langzeiteigenschaften

Einfluss von 10% Arkopal auf PE-natur bzw. PE-rußgefüllt



[Redhead et al. 2012]

signifikanter Medieneinfluss feststellbar

- Längere Versagenszeiten bei „exposed", längste bei Prüfung in Medium
- Deutlich längere Versagenszeiten in PE-rußgefüllt

Quellenangaben

[CES 2012] Chart from CES Selector 2012, Granta Design Limited, Cambridge, UK, 2012

[Carrascal et al. 2005] CARRASCAL, I. ; CASADO, J. A. ; POLANCO, J. A. ; GUTIÉRREZ-SOLANA, F.: Absorption and diffusion of humidity in fiberglass-reinforced polyamide. In: Polymer Composites 26 (2005), Nr. 5, S. 580–586

[Fleischer et al. 2009] FLEISCHER, H. ; BRUNE, M. ; THORNAGEL, M. ; THOMAS, B. ; GUSTER, Ch.: Von der Spritzgießsimulation zur Betriebsfestigkeitsdimensionierung – Entwicklung und Einsatz einer durchgängigen Simulationskette. In: Proceedings of VDI-Fachtagung: Kunststoffe im Automobilbau 2009. Mannheim, 2009, S. 1–23

[Guster 2009] GUSTER, Ch.: Ansätze zur Lebensdauerberechnung von kurzglasfaserverstärkten Polymeren. (2009)

[Guttmann et al. 2012] Guttmann, P.; Röper, F.; Pilz, G.: Polymer selection and testing methodology for high demand applications under environmental conditions. - in: Polymeric Materials. (2012), Nr. 58 – 59

[Gaier et al. 2010] GAIER, Ch. ; FLEISCHER, H. ; GUSTER, Ch. ; PINTER, G.: Einfluss von Faserorientierung, Temperatur und Feuchtigkeit auf das Ermüdungsverhalten von kurzfaserverstärkten Thermoplasten. In: Materials Testing 52 (2010), Nr. 7-8, S. 534–542

[Mösenbacher et al. 2013] MÖSENBACHER, A.; PICHLER, P.F.; BRUNBAUER, J.; GUSTER, CH.; PINTER, G.: Lebensdauer-berechnung an Strukturbauteilen aus kurzfaserverstärkten Thermoplasten, Im Tagungsband der 40. Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, Herzogenaurach (D), 2013, S. 301-316

[Pinter et al.] Pinter, G.; Haager, M.; Balika, W.; Lang, R.: Cyclic crack growth tests with CRB specimens for the evaluation of the long-term performance of PE pipe grades. - in: Polymer testing 26 (2007) 2, Nr. 180 - 188

[Redhead et al. 2012] A. Redhead, A. Frank, G. Pinter. Accelerated Characterization of the Resistance against Crack Initiation and Slow Crack Growth of Polyethylene for Geomembrane Application under the Influence of Media. In: Proceedings Annual Technical Conference - ANTEC, Society of Plastics Engineers, Orlando, Florida, USA. 2012.

[Unger et al. 2008] UNGER, B. ; FLEISCHER, H. ; GUSTER, Ch. ; PINTER, G.: Lebensdauerberechnung für Kunststoffkomponenten: Leichtbaustrategien - Ein wesentlicher Beitrag zur Klimadebatte. 2008