

# **Charakterisierung und Modellierung von kurzfaserverstärkten Kunststoffen**

## **Teil 1: Charakterisierung und Parametrisierung**

F. Becker (Deutsches Kunststoff-Institut); J. Schöpfer (Daimler AG);

Prof. M. Maier (TU Kaiserslautern); Prof. S.Kolling (FH Gießen)

DAIMLER



Deutsches Kunststoff-Institut



---

## Charakterisierung und Modellierung von kurzfaserverstärkten Kunststoffen

### Teil 1: Charakterisierung und Parametrisierung

Dr. Florian Becker (DKI), Julian Schöpfer (Daimler AG),

Prof. Dr. Stefan Kölling (DKI, FH-Giessen), Prof. Dr. Martin Maier (IVW, TU-Kaiserslautern)

DAIMLER



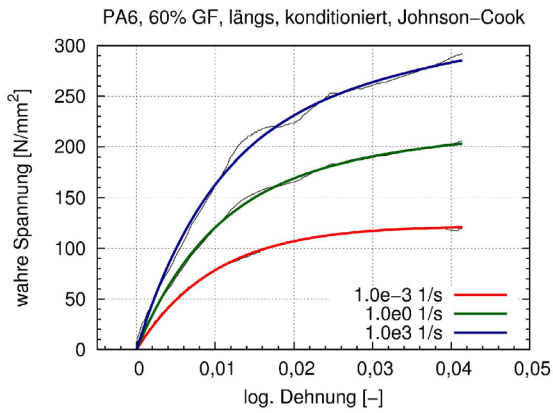
Deutsches Kunststoff-Institut



### Inhalt

- Motivation
- Prüfung von Kunststoffen
- Dehnungs- und Spannungsberechnung
- Versuchsumfang – Materialabhängigkeiten
- Untersuchung des Dehnrateneinflusses
- Zusammenfassung und Ausblick

### Motivation



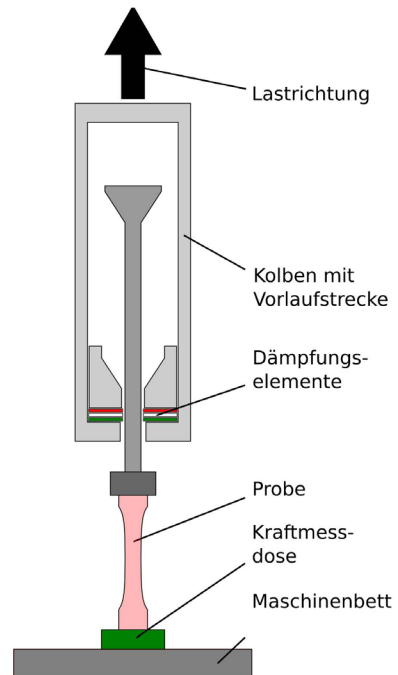
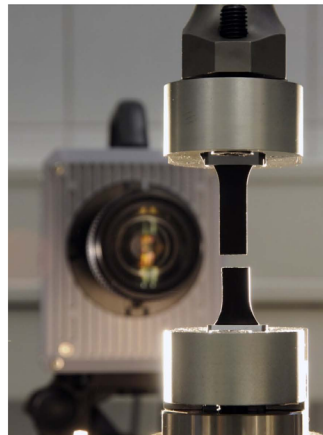
Übersicht Grundlagenversuche kurzfaserverstärkte Polyamide bei Raumtemperatur (Anzahl auswertbarer Wiederholungen)				Versuch / Geschwindigkeit				
				Zug (Jungingen)	Zug (Jungingen)	Zug (Jungingen)	Schub (Arcan)	Druck (DKI)
				q.-s.	0,35 m/s	1,5 m/s	q.-s.	q.-s.
Werkstoff (Fasergehalt) / Konditionierung / Faserorientierung	PA6GF50	trocken (0,09%)	längs	4	4	4	3	3
			quer	4	4	4	3	3
		konditioniert (2,44% nach DIN 11110)	längs	4	4	4	4	4
			quer	4	4	4	4	4
	PA6GF60	trocken (0,06%)	längs	4	3	4	3	3
			quer	4	4	4	3	3
	konditioniert (1,26% nach DIN 11110)	längs	4	4	4	4	4	
		quer	4	4	4	5	4	

Die Eigenschaften von kurzfaserverstärkten Kunststoffen hängen u. a. ab von:




- dem Spannungszustand,
- dem Fasergehalt,
- der Faserorientierung,
- der Dehnrage,
- der Konditionierung.

➔ Für ein Material bzw. Konditionierung sind mindestens 6 Versuchseinstellungen notwendig!

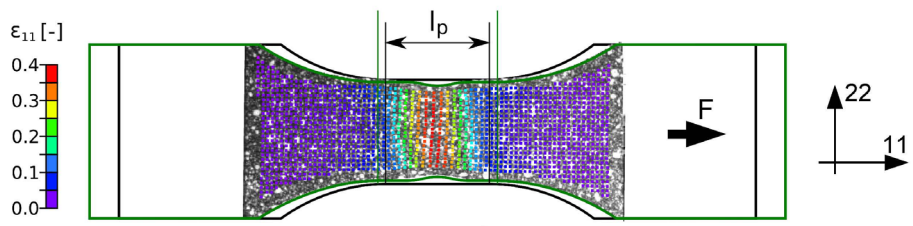
### Versuchstechnik

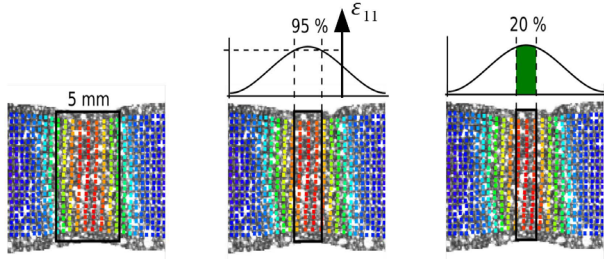


- Quasistatische Prüfmaschine Zwick Z020
- Servohydraulische Hochgeschwindigkeits-Prüfmaschine Zwick HTM5020
- Lokale optische Dehnungsmessung

## Dehnmessung








Absolute Auswahl    Extremwertmethode    Flächenmethode

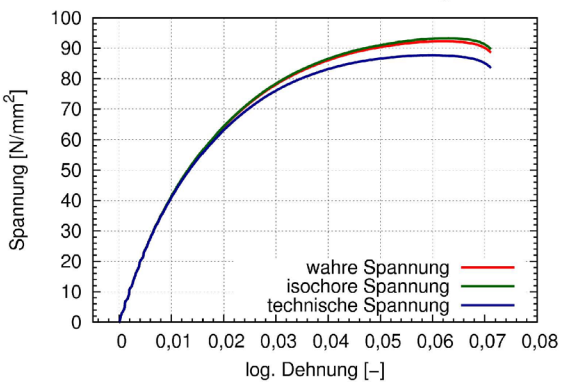
- Aus Grauwertkorrelation ergibt sich die zweidimensionalen Dehnungs- und Verschiebungsinformationen für jedes aufgezeichnete Bild.
- Mit geeignetem Mittelungsbereich muss pro Bild ein skalarer Wert berechnet werden.

Florian Becker (DKI) 5

## Spannungsberechnung

Durethan GF30 konditioniert längs



$$\sigma_t = \frac{F}{A_0} \quad \text{technische Spannung}$$

$$\sigma_i = \frac{F}{A_0 \cdot e^{-\epsilon_t}} \quad \text{isochore Spannung}$$

$$\sigma_w = \frac{F}{A_0 \cdot e^{\epsilon_q + \epsilon_d}} \quad \text{wahre Spannung}$$

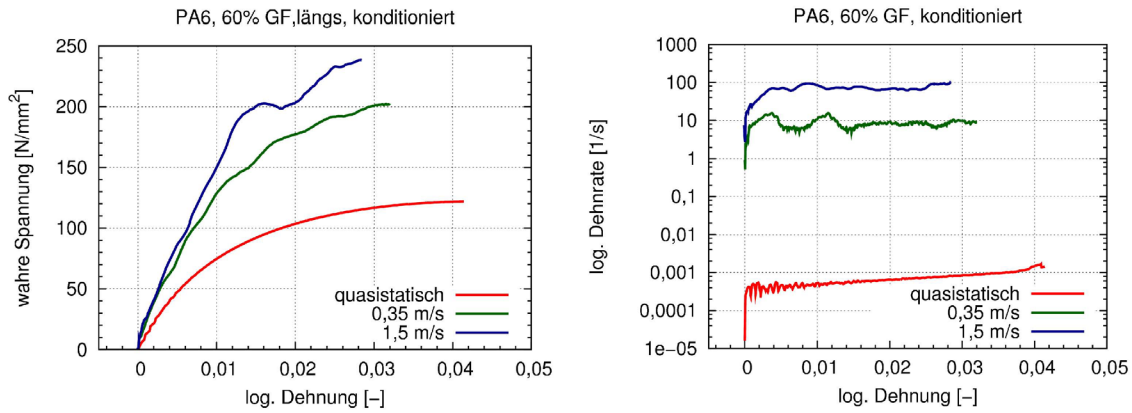
$$\sigma_t = \frac{F}{A_0 \cdot e^{2 \cdot \epsilon_q}} \quad \text{mit: } \epsilon_q \approx \epsilon_d$$

- Abhängig von den vorliegenden Dehnungsinformationen kann die tatsächliche Spannung aus dem ursprünglichen Querschnitt A0 berechnet werden.
- Aufgrund der geringen auftretenden Dehnungen kann statt der wahren die isochore Spannung für die FE-Berechnung verwendet werden.

Florian Becker (DKI) 6



### Versuchsergebnisse - Zug PA6GF60 längs konditioniert

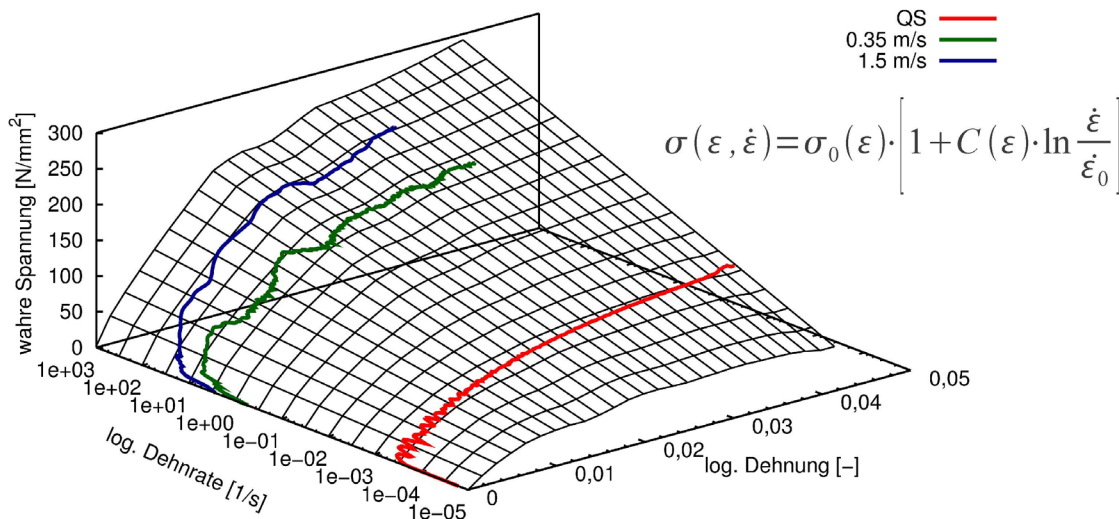


- Geschwindigkeit der Prüfmaschinen bei hohen Geschwindigkeiten nicht regelbar.
- Aufgrund plastischer Deformation mit Dehnungskonzentration und -lokalisierung müsste für konstante Dehnraten die Prüfgeschwindigkeit ansteigen.

Fazit: Dehnratenkonstante Spannungs-Dehnungskurven müssen über einem Modellansatz berechnet werden.

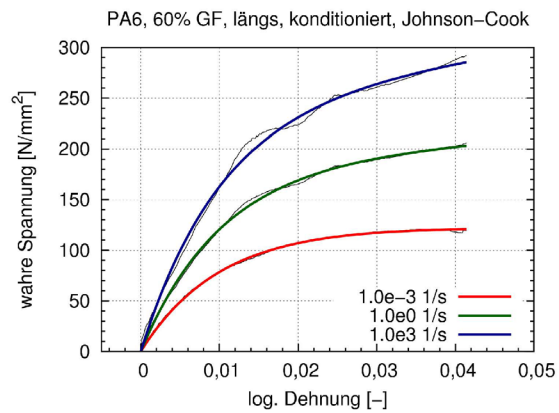
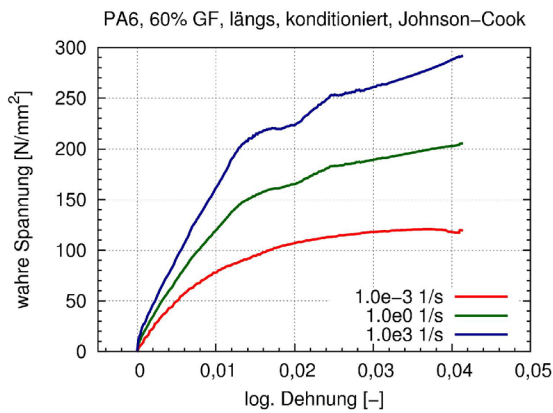
### Berechnung dehnratenkonstanter Versuchskurven

PA6, 60% GF, längs, konditioniert



- Modellansatz von Johnson-Cook, berechnet für einzelne Dehnungsstufen, ermöglicht dehnratenkonstante Spannungs-Dehnungs-Kurven.

## Berechnung dehnratenkonstanter Versuchskurven



Dehnratenkonstante Kurven sind modellbedingt nicht konstant steigend. Um numerische Instabilitäten zu vermeiden, kann eine stetig steigende Kurve über eine Funktion abgebildet werden. Möglich sind hier

- ein Exponentialansatz oder
- der Ansatz nach G'Sell-Jonas

$$\sigma_{(y)}(\varepsilon) = p_1 \cdot \left[ 1 - e^{(-p_2 \cdot \varepsilon)} \right] + p_3 \cdot \varepsilon$$

## Durchgeführte Versuche

Für die untersuchten Materialien PA6GF30 und PA6GF60 mit zwei Konditionierungen, trocken und konditioniert, wurden

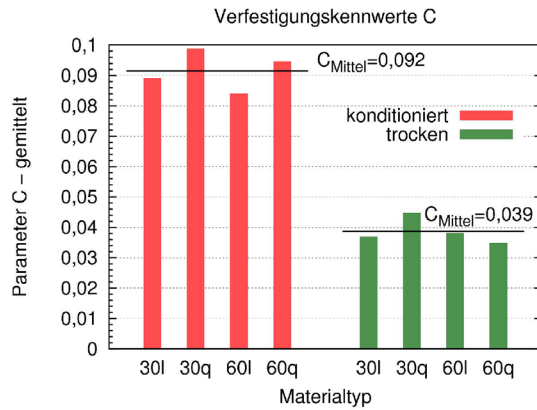
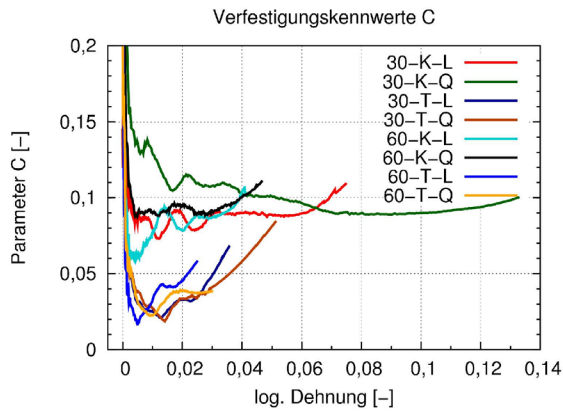
- Zugversuche,
- Schubversuche und
- Druckversuche

durchgeführt:

→ 40 Versuchsvariationen á 4 Wiederholungen,  
davon 24 Zugversuchsvariationen

**Kann die Versuchsanzahl reduziert werden?**

## Der Verfestigungsfaktor C

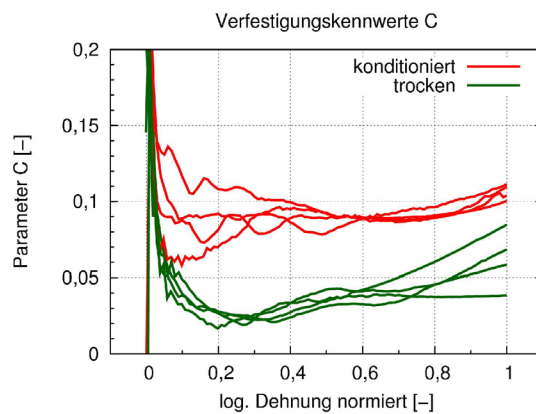
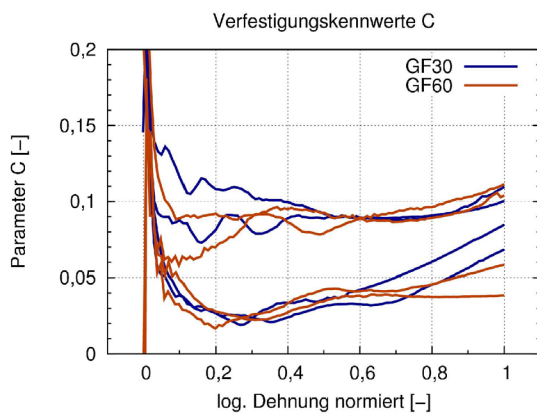


- Größten Anteil an den Versuchen haben die Untersuchungen des Dehnrateneinflusses.
- Aus der Auswertung der dehnungsabhängigen Verfestigungsfaktoren zeigt sich eine Abhängigkeit des Mittelwerts von der Konditionierung.

Florian Becker (DKI)

11

## Abhängigkeiten des Verfestigungsfaktors C



Bei der Normierung der Dehnung auf die Bruchdehnung des jeweiligen Versuchs zeigt sich: Bei PA6GF30 und PA6GF60 ist die Dehnratenverfestigung ist **unabhängig** von

- der Faserorientierung/Spritzrichtung und
- dem Faservolumenanteil.

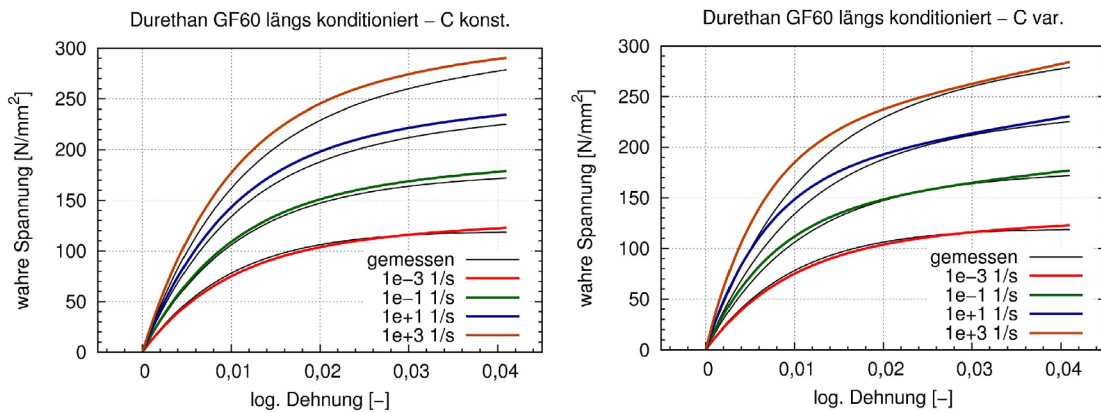
Sie ist **abhängig** von

- der Konditionierung.

Florian Becker (DKI)

12

### Berechnung der Dehnratenabhängigkeit von PA6GF60



- Eine gemessene Dehnratenabhängigkeit (PA6GF30 quer konditioniert) wird für die Berechnung dehnratenkonstanter Kurven für PA6GF60 längs konditioniert verwendet.
- Referenzkurve für die Berechnung ist die Spannungs-Dehnungs-Kurve von PA6GF60 längs konditioniert bei quasistatischer Prüfung.
- Für den Übertrag der Dehnratenabhängigkeit kann entweder der Mittelwert oder die exakte Kurve des Verfestigungsparameters C verwendet werden. Bei der Verwendung der exakten Kurve muss die Abhängigkeit des Bruchverhaltens bekannt sein.

Florian Becker (DKI)

13

### Notwendige Versuche

Übersicht Grundlagenversuche kurzfaserverstärkte Polyamide bei Raumtemperatur (Anzahl auswertbarer Wiederholungen)				Versuch / Geschwindigkeit				
				Zug (Junginger)	Zug (Junginger)	Zug (Junginger)	Schub (Arcan)	Druck (DKI)
				q.-s.	0,35 m/s	1,5 m/s	q.-s.	q.-s.
Werkstoff (Fasergehalt) / Konditionierungszustand / Faserorientierung	PA6GF30	trocken (0,09%)	längs	4	/	/	/	3
			quer	4	4	4	3	3
		konditioniert (2,44% nach DIN 1110)	längs	4	/	/	/	4
			quer	4	4	4	4	4
	PA6GF60	trocken (0,06%)	längs	4	/	/	/	3
			quer	4	/	/	3	3
		konditioniert (1,26% nach DIN 1110)	längs	4	/	/	/	4
			quer	4	/	/	5	4

**Reduktion der Versuchsanzahl auf 12  
Zugversuchvariationen!**

(Kostenreduktion 66%)

Florian Becker (DKI)

14

## Zusammenfassung

- Für die mechanische Charakterisierung von kurzglasfaserverstärkten Kunststoffen müssen die Besonderheiten in der Prüfung berücksichtigt werden. Daraus resultiert eine große Versuchszahl.
- Um die Versuche zu reduzieren, müssen Abhängigkeiten identifiziert werden.
- Für die untersuchten Werkstoffe mit PA6-Matrix können bei gleicher Konditionierung gleiche Dehnratenverfestigungsfaktoren angenommen werden.

## Ausblick

- Übertragung der Verfestigungsfaktoren auf andere Lastarten.
- Überprüfung von weiteren Konditionierungen, um Abhängigkeiten zu bestimmen.
- Entwicklung für einen Ansatz zur Bruchabschätzung in Abhängigkeit von Konditionierung, Orientierung und Fasergehalt.

