

Kriechbeständigkeit – ein Kennwert für das Kriechverhalten

Bauteilkonstruktion. Zur einfachen quantitativen Erfassung des Kriechverhaltens der Kunststoffe wird hier ein als Kriechbeständigkeit bezeichneter Kennwert vorgeschlagen, definiert als Verhältnis der Zug-Kriechmoduln bei 1000 h und bei 1 h.

JOHANNES KUNZ

Die Viskoelastizität der Kunststoffe äußert sich unter statischer bzw. quasistatischer Belastung durch eine stetige Abnahme der Werkstoffsteifigkeit. Dies führt bei konstanter Spannung zum Kriechen (Retardation), d. h. zu wachsender Verformung, unter konstanter Verformung zur Spannungsabnahme (Relaxation). Die Relaxation kann dabei als eine Art Kriechen aufgefasst werden, bei dem die Spannung so gesteuert wird, dass die Verformung stets gleich bleibt.

Das Kriechverhalten der Kunststoffe wird in Zeitstandversuchen [1] ermittelt und in Form von Kriechkurven $\varepsilon = f(t; \sigma)$ (Zeitdehnlinien), Zeitstand-Diagrammen $\sigma = f(t; \varepsilon)$ oder isochronen Spannungs-Dehnungs-Diagrammen $\sigma = f(\varepsilon; t)$ grafisch dargestellt. Die Auswertung des Verhältnisses von Spannung σ zu Dehnung ε in Funktion der Belastungszeit t führt zum Kriechmodul

$$E_C(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t)} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

der in den Berechnungen anstelle des sonst üblichen Elastizitätsmoduls einzusetzen ist. Der Kriechmodul ist damit ein Maß für die momentane Werkstoffsteifigkeit. Sein Verlauf über der Belastungszeit t beschreibt dann das Kriechverhalten des Werkstoffs, dargestellt etwa in Form von Kriechmodul-Kurven $E_C = f(t)$ (Bild 1). Der Kriechmodul wird hier in Abweichung von DIN EN ISO 899 [1] mit E_C gekennzeichnet, um Verwechslungen mit dem Zug-Elastizitätsmodul nach DIN EN ISO 527 zu vermeiden. Ein analog definierter Relaxationsmodul E_R für Belastungsfälle mit konstanter Dehnung kann im Bereich linear-viskoelastischen Ver-

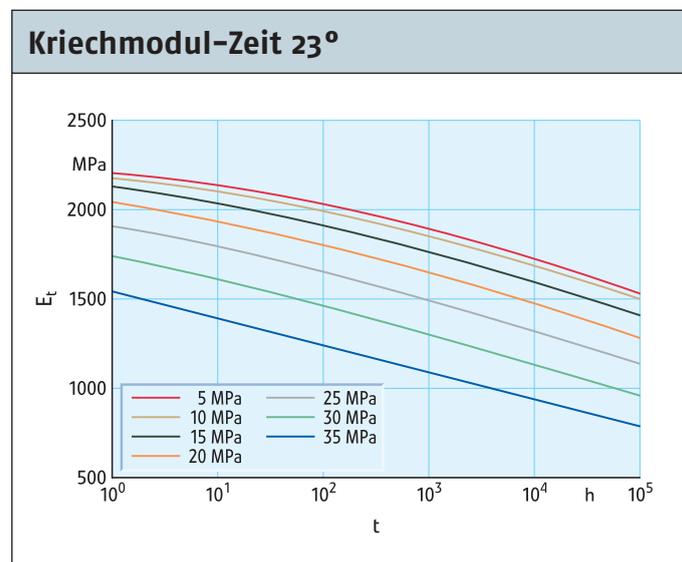


Bild 1. Kriechmodul-Kurven von Polycarbonat (Typ: Makrolon 2808, Hersteller: Bayer) [3]

haltens mit guter Genauigkeit durch den Kriechmodul E_C angenähert werden [2].

Kriechen in der Konstruktionspraxis

Die Neigung der Kunststoffe zum Kriechen ist in Abhängigkeit von Primärstruktur und Morphologie der Polymere und den Additiven ganz unterschiedlich ausgeprägt. Ein Kennwert, der diese Kriechneigung auf einfache Weise zum Ausdruck bringt, ist bislang nicht bekannt. Gerade in der Konstruktionspraxis wäre ein solcher jedoch von großem Nutzen, sei es bei der Erstellung eines Anforderungsprofils bei der Werkstoffwahl oder bei der Inter- oder Extrapolation der Werkstoffsteifigkeit anhand bekannter Werte des Kriechmoduls. Von der Theorie her böte sich an, einen Kennwert für die Kriechneigung aus einem der bekannten Kriechgesetze von Findley, Marin und Pao, Norton, Reichelt usw. abzu-

leiten oder anhand eines geeigneten viskoelastischen Modellgesetzes wie etwa Voigt-Kelvin zu definieren. Allerdings müsste für die experimentelle Bestimmung der Kennwerte ein unrealistisch großer Aufwand getrieben werden.

Ein aus theoretischer Sicht keinesfalls minderwertiger und für die Praxis viel versprechender Ansatz benutzt bereits vorhandene Messresultate, wie sie den entsprechenden Ein-Punkt- und Mehr-Punkt-Daten von Campus [3] zu Grunde liegen. Es sind dies die Kriechmodul E_{C0} und E_{C3} für die Belastungszeiten $t_0 = 1 \text{ h}$ und $t_3 = 10^3 \text{ h}$ und für Dehnungen bis maximal 0,5 %, aber auch die isochronen Spannungs-Dehnungs-Diagramme und die Kriechmodul-Kurven, sofern sie für den betreffenden Werkstoff verfügbar sind. Auf dieser Basis sind grundsätzlich mehrere Möglichkeiten für die Definition eines Kennwerts denkbar, etwa im Sinne einer Kriechgeschwindigkeit, in Form einer Halbwertszeit des Kriechens oder

als relative Steifigkeitsänderung in einem bestimmten Zeitraum.

Einfache Kenngröße

Eine ebenso zweckmäßige wie einfache dimensionslose Kenngröße für das Kriechverhalten in den drei Zeitdekaden von 1 h bis 1000 h ist das Verhältnis

$$c_C = \frac{E_C(t_3)}{E_C(t_0)} = \frac{E_{C3}}{E_{C0}} \quad (2)$$

zwischen den beiden am häufigsten verfügbaren Ein-Punkt-Kriechmodulwerten [4]. Je größer der Quotient c_C ist, umso kleiner ist die Kriechneigung des betreffenden Kunststoffes und umgekehrt (Tabelle 1). Der Extremfall $c_C = 1$ beschreibt einen Werkstoff mit zeitlich konstanter Steifigkeit, also ohne Kriechen. Diese Kennzahl drückt im Unterschied zum Kriechmodul, der eine momentane Zustandsgröße darstellt, das Verhalten eines Kunststoffes im Laufe der Belastungszeit aus.

der Steifigkeit vor, d. h. ein Potenzgesetz. Die beiden Verläufe, die das reale Verhalten der Kunststoffe auch nur mehr oder weniger genau wiedergeben (Bild 1), weichen im Bereich von $0,5 \leq c_C \leq 1,0$ um maximal 6 % voneinander ab. Für Inter- und Extrapolationen des Kriechmoduls kann daher in praktikabler Näherung von der Beziehung

$$E_C(t) = E_{C0} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot (1 - c_C) \cdot \log \left(\frac{t}{t_0} \right) \right] \quad (3)$$

$(10^{-2} \leq t \leq 10^4 \text{ h})$

ausgegangen werden, welche übrigens einer schon früh von Menges [5], wenn auch in anderer Form, angegebenen Approximation nahe kommt. Die Zeitgrenzen in Formel 3 beziehen sich auf die Anwendung der Kriechbeständigkeit (Formel 2). Bei Verwendung von isochronen Spannungs-Dehnungs-Diagrammen oder von Kriechmodulkurven können sie den vorhandenen Daten entsprechend ausgeweitet werden.

und Anwendungstechnik zur Diskussion vorgelegt. Der Verfasser freut sich auf einen angeregten Gedankenaustausch und dankt seinen Kollegen Prof. Dr. Wolfgang Kaiser von der ETH Zürich und Prof. Dr. Erich Kramer von der FH Aargau für die kritische Reflexion der hier präsentierten Überlegungen. ■

LITERATUR

- 1 DIN EN ISO 899: Kunststoffe – Bestimmung des Kriechverhaltens
- 2 Menges, G., Haberstroh, E., Michaeli, W., Schmachtenberg, E.: Werkstoffkunde Kunststoffe. 5. Aufl. Hanser, München 2002
- 3 Campus Werkstoffdatenbank. CWFG mbH, Frankfurt/Main.
- 4 Kunz, J.: Kriech- und Stoßverhalten aus Campus-Daten ableiten. Kunststoffe-Synthetics 50 (2003) 7, S. 7-9
- 5 Menges, G.: Abschätzen der Tragfähigkeit mäßig beanspruchter Kunststoff-Formteile. Kunststoffe 57 (1967) 6, S. 476-484

Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Georg Menges zum 80. Geburtstag gewidmet.

DER AUTOR

PROF. DIPL.-ING. JOHANNES KUNZ, geb. 1940, lehrt seit 1974 an der HSR Hochschule für Technik, Rapperswil/Schweiz, in den Fachgebieten Technische Mechanik und Kunststoffkonstruktion sowie seit 1976 im NDS Kunststofftechnik der FH Aargau in Brugg-Windisch das Fach Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen; jkunz@hsr.ch

SUMMARY PLAST EUROPE

CREEP RESISTANCE – A CHARACTERISTIC VALUE FOR CREEP BEHAVIOUR

COMPONENT DESIGN. A characteristic value denoted creep resistance is proposed for quantifying the creep behaviour of plastics in simple terms. This is defined as the ratio of the tensile creep moduli at 1000 h and at 1 h.

NOTE: You can read the complete article by entering the number **PE102778** on our website at www.kunststoffe.de/PE.

Kunststoff	Typ	Campus-Ein-Punkt-Daten Kriechmodul		Kriech- beständigkeit
		E_{C0} [N/mm ²]	E_{C3} [N/mm ²]	c_C [-]
ABS	Novodur P2X	2200	1500	0,68
PAG-GF25	Ultramid B3WG25	3500	3000	0,86
PC	Makrolon 2808	2200	1900	0,86
PMMA	Plexiglas 7H	2900	2300	0,79
POM	Hostaform C 13021	2500	1300	0,52
LCP	Vectra A 950	9000	6600	0,73

Tabelle 1. Kriechbeständigkeit c_C ausgewählter Kunststoffe

Zur Bezeichnung der Kenngröße c_C wird hier der Begriff "Kriechbeständigkeit" vorgeschlagen. Auf Englisch würde dies in Anlehnung an die diversen bereits bekannten Beständigkeiten "Creep Resistance" heißen. Kriechfestigkeit als Begriff erscheint aus zwei Gründen weniger geeignet: Zum einen verbindet sich mit dem Nomen Festigkeit die Vorstellung einer Belastungsgrenze, was hier nicht zutrifft, und zum andern klingt er zu stark an die Kriechstromfestigkeit an.

Aus c_C lässt sich ohne weiteres auf die Steifigkeitsänderung während einer Zeitdekade schließen. Verläuft der Kriechmodul über der logarithmisch geteilten Zeitachse linear, so bedeutet dies eine gleiche absolute Steifigkeitsänderung in jeder Dekade entsprechend einer Euler-Funktion mit negativem Exponenten. Bei geradlinigem Verlauf in einem Koordinatensystem, dessen beide Achsen logarithmisch skaliert sind, liegt in jeder Dekade eine gleich große relative Änderung

Fazit

Mit der Einführung einer Kenngröße Kriechbeständigkeit erhält die Konstruktionspraxis eine Möglichkeit, das Kriechverhalten der verschiedenen Kunststoffe unter Campus-Bedingungen auf denkbar einfache Weise quantitativ zu beurteilen oder für Quervergleiche zwischen verschiedenen Werkstoffen, sei es im Auswahlprozess oder im Zusammenhang mit der rechnerischen Auslegung der Konstruktionen. Rein qualitative Aussagen von der Form "gutes Kriechverhalten", wie sie etwa in Werkstoffunterlagen von Rohstoffherstellern und -vertreibern zu finden sind, können mit dem Kennwert Kriechbeständigkeit zahlenmäßig konkretisiert und objektiviert werden.

Natürlich ist ein neuer Kennwert nur dann sinnvoll, wenn er allgemeine Akzeptanz findet. Auf dieses Ziel hin wird die Kriechbeständigkeit mit diesem Beitrag der interessierten Fachwelt in Lehre