

---

## MPK – Mechanische Prüfung von Kunststoffen



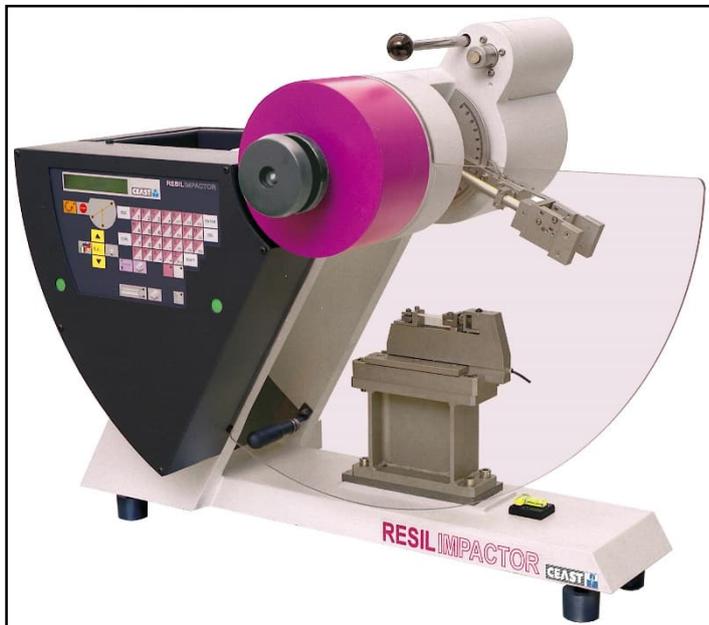
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren im Labor MPK.

---

# Prüfung von Kunststoffen

## Instrumentierter Kerbschlagzugversuch (IKZV)

Prozedur zur Ermittlung des Risswiderstandsverhaltens mit dem instrumentierten Kerbschlagzugversuch



Akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025

MPK-Prozedur

MPK-IKZV: 2014-07

---

### Autoren

Prof. Dr. Katrin Reincke  
Prof. Dr. Wolfgang Grellmann

### Postanschrift

Polymer Service GmbH Merseburg  
Geusaer Str. 81f  
06217 Merseburg

Internet

[www.psm-merseburg.de](http://www.psm-merseburg.de)

### Geschäftsführung

Prof. Dr. Valentin Cepas (Vors.)  
Prof. Dr. Wolfgang Grellmann  
Prof. Dr. Katrin Reincke

Tel.: +49 3461 30889 50  
Fax: +49 3461 30889 99

E-Mail: [info@psm-merseburg.de](mailto:info@psm-merseburg.de)

# Inhaltsverzeichnis

|         |   |   |
|---------|---|---|
| 1       | Anwendungsbereich   | 1 |
| 2       | Kurzbeschreibung des Verfahrens   | 1 |
| 3       | Kennwertermittlung als Widerstand gegenüber instabiler Rissausbreitung          | 2 |
| 3.1     | Zusammenfassung der Testmethode   | 2 |
| 3.2     | Prüfkörper  | 2 |
| 3.3     | Versuchsdurchführung  | 3 |
| 3.4     | Auswertung  | 3 |
| 3.4.1   | Allgemeine Angaben  | 3 |
| 3.4.2   | Ermittlung der bruchmechanischen Werkstoffkennwerte                             | 4 |
| 3.4.3   | Überprüfung der Gültigkeit der ermittelten bruchmechanischen Werkstoffkennwerte | 4 |
| 3.4.3.1 | Überprüfung der experimentellen Bedingungen                                     | 4 |
| 3.4.3.2 | Anforderungen an die Prüfkörpergeometrie  | 4 |
| 4       | Literaturverzeichnis  | 5 |

# Prozedur zur Ermittlung des Risswiderstandsverhaltens mit dem instrumentierten Kerbschlagzugversuch

W. Grellmann und K. Reincke, Merseburg

## 1 Anwendungsbereich

Der instrumentierte Kerbschlagzugversuch wird zur Bestimmung der Zähigkeitseigenschaften von polymeren Werkstoffen verwendet, für die wegen ihrer Eigenschaften bzw. der Prüfkörperabmessungen, insbesondere der Dicke, die Durchführung des instrumentierten Kerbschlagbiegeversuches nicht möglich ist. Das Verfahren soll insbesondere für die Folien- und Elastomerprüfung angewendet werden [1–7]. Im Vergleich zum instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch [8] werden instrumentierte (Kerb-)Schlagzugversuche in der Literatur selten beschrieben. Die Veröffentlichungen [9–15] zeigen jedoch, dass der instrumentierte (Kerb-)Schlagzugversuch prinzipiell eine hilfreiche Möglichkeit darstellt, die Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von strukturellen Parametern und/oder experimentellen Bedingungen wie Temperatur oder Beanspruchungsgeschwindigkeit zu beschreiben.

In einigen der genannten Veröffentlichungen wird der instrumentierte Kerbschlagzugversuch angewendet, um den Spannungs-Dehnungs-Verlauf aufzuzeichnen. Im Ergebnis des Versuches werden zugehörige Kenngrößen wie Bruchspannung oder Bruchdehnung ermittelt, wobei meist ungekerbte Prüfkörper genutzt werden. Es muss deshalb besonders auf die Notwendigkeit hingewiesen werden, zwischen instrumentierten Schlagzugversuchen mit ungekerbten Schulterstäben und instrumentierten Kerbschlagzugversuchen an ein- oder doppelseitig gekerbten Prüfkörpern zu unterscheiden.

Der instrumentierte Kerbschlagzugversuch stellt eine messtechnische Erweiterung des konventionellen Kerbschlagzugversuches nach *DIN EN ISO 8256* [16] dar und wird an Prüfkörpern mit Metallklingenkerb durchgeführt.

Es erfolgt eine Registrierung des Kraft-Verlängerungs-Verhaltens. Die ermittelten Kennwerte können zur Qualitätskontrolle und -sicherung sowie für Forschung und Entwicklung herangezogen werden.

## 2. Kurzbeschreibung des Verfahrens

Die Zähigkeitsprüfung erfolgt mit einem Pendelschlagwerk Resil Impactor Junior 25 nach *ISO 13802* [17] mit 4 J, 7,5 J, 15 J oder 25 J Arbeitsinhalt bei maximaler Fallhöhe. Beim Schlagzugversuch handelt es sich um einen einachsigen Zugversuch mit relativ hoher Verformungsgeschwindigkeit. Für kurze Pendelhämmer (4 J Arbeitsinhalt und weniger bei maximaler Fallhöhe) beträgt die Prüfgeschwindigkeit im Moment des Auftreffens des Pendelhammers auf das Querjoch 2,9 m/s, für lange Pendelhämmer (7,5 J, 15 J und 25 J Arbeitsinhalt) 3,7 m/s. Es wird ein doppelseitig gekerbter Vierkantprüfkörper verwendet, der zwischen der festen Einspannvorrichtung auf der einen und dem Querjoch auf der anderen Seite fixiert ist. Durch einen Schlag des Pendelhammers auf das Querjoch wird der Prüfkörper in Richtung seiner Längsachse bis zum Zerreißen gedehnt. Der Pendelhammer enthält beidseitig Blöcke zum Schlag auf das Querjoch und ist an einem rohrförmigen Pendelarm befestigt. Er beschreibt nach dem Ausklin-

ken einen Kreisbogen und überträgt im tiefsten Punkt der Hammerbahn einen Teil seiner kinetischen Energie auf das Querjoch und damit indirekt auf den Prüfkörper. Die Aufnahme des Kraftsignals erfolgt über einen in der festen Einspannung angebrachten Piezo-Kraftaufnehmer mit einem Messbereich von 4 kN. Das Messsystem ermöglicht die Aufzeichnung von Kraft( $F$ )-Zeit( $t$ )-Diagrammen.

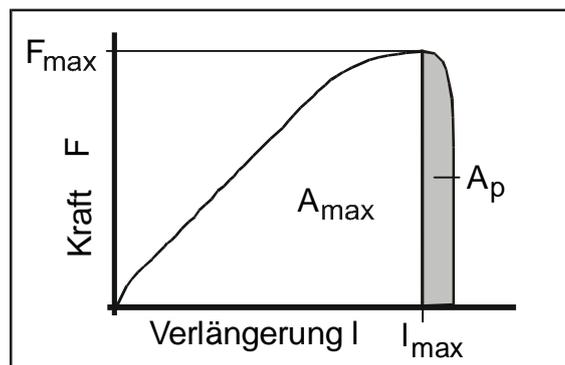
Aus den  $F$ - $t$ -Diagrammen wird unter Berücksichtigung des 2. Newtonschen Axioms durch Integration zunächst die Geschwindigkeit des Pendelhammers als Funktion der Zeit (1) und durch nochmalige Integration die Verlängerung  $l$  des Prüfkörpers als Funktion der Zeit (2) ermittelt.

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m_0} \int_0^t F(\tau) d\tau \quad (1)$$

$$l(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau \quad (2)$$

Eine direkte Messung der Verlängerung erfolgt nicht. Die Messwerte werden über ein Datenerfassungssystem direkt in die nachgeordnete Aufzeichnungs- und Auswerteeinheit (PC mit Peripherie) geleitet.

Zur Auswertung werden die in Abb. 1 angegebenen charakteristischen Messgrößen  $F_{\max}$  und  $l_{\max}$  herangezogen.



**Abb. 1.** Charakteristisches Kraft-Verlängerungs-Diagramm mit Rissausbreitungsenergie

( $F_{\max}$  – Maximalkraft;  $l_{\max}$  – Maximalverlängerung;  $A_{\max}$  – Energie bis  $F_{\max}$ ;  $A_p$  – Rissausbreitungsenergie)

### 3 Kennwertermittlung als Widerstand gegenüber instabiler Rissausbreitung

#### 3.1 Zusammenfassung der Testmethode

Das Ziel der Prüfung besteht in der Bestimmung bruchmechanischer Werkstoffkennwerte, die den Werkstoffwiderstand gegenüber instabiler Rissausbreitung beschreiben. Die Methode ist für die Schlagzugbeanspruchung von Elastomer- und Folienprüfkörpern mit Metallklingenkerb gültig. Anhand von gemessenen Kraft-Verlängerungs-Diagrammen werden  $J$ -Werte  $J_d$  ermittelt.

### 3.2 Prüfkörper

In Anlehnung an die *DIN EN ISO 8256* [16] werden vorzugsweise Prüfkörper mit den Abmessungen Breite  $W = 10$  mm und Länge  $L = 80$  mm bzw. 64 mm verwendet. Die Kerbeinbringung erfolgt mittels Metallklingen an den Schmalseiten der Prüfkörper bis zu einer Ausgangsrislänge von  $a = 2$  mm, d.h., auf jeder Seite des Prüfkörpers wird ein Kerb von 1 mm Tiefe eingebracht. Die Prüfkörper dürfen keine Verwindungen aufweisen und sollten paarweise parallele und senkrecht aufeinander stehende Oberflächen haben. Die Oberflächen und Kanten müssen frei sein von Kratzern, Kratern, Einfallstellen und Schwimmhäuten.

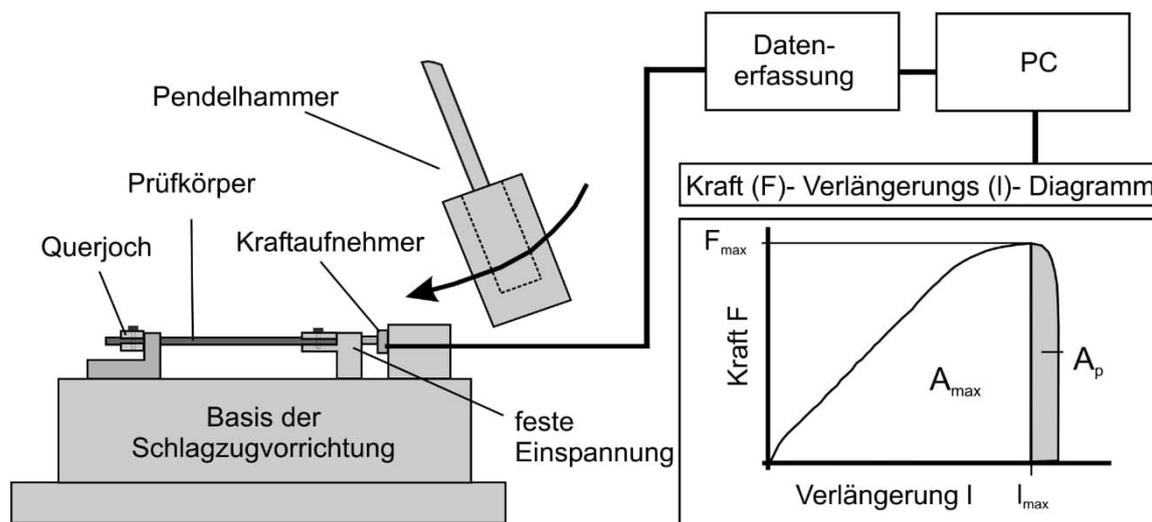
Vor der Prüfung sind die Dicke und die Breite der Prüfkörper mit einer Genauigkeit von 0,01 mm auszumessen, und die Geometrie ist im Prüfprotokoll festzuhalten.

Es sollen mindestens 10 Prüfkörper geprüft werden, die vorher 24 h am Prüfort gelagert waren.

### 3.3 Versuchsdurchführung

Für die Charakterisierung der Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur muss für die Normalisierung der Prüfkörper und die Durchführung der Versuche das Standardklima nach *DIN EN ISO 291* [18] mit einer Lufttemperatur von 23°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % (Kennzeichnung: Klima 23/50) verwendet werden [19]. Treten Abweichungen davon auf bzw. sind Abweichungen entsprechend dem Prüfziel erforderlich, sind diese im Prüfprotokoll zu vermerken.

Der Prüfkörper wird so zwischen fester Einspannvorrichtung und Querjoch parallel zur Hammerbahn fixiert (Abb. 2), dass der Pendelhammer an seinem tiefsten Punkt auf das Querjoch auftrifft. Die Einspannlänge  $l_0$  beträgt 30 mm. Die Kerben befinden sich in der Mitte der Einspannlänge. Die Pendelhammergeschwindigkeit sollte für die Prüfung von Elastomeren vorzugsweise 2,9 oder 3,7 m/s betragen. Im Fall der Folienprüfung ist demgegenüber eine Pendelhammergeschwindigkeit von 1 bzw. 1,5 m/s einzustellen. Dies entspricht einem Fallwinkel von 40° bzw. 60°.



**Abb. 2.** Schematische Darstellung des Bruchmechanik-Messplatzes zur Durchführung des instrumentierten Kerbschlagversuches

Die Aufnahme der Kraft-Verlängerungs-Diagramme erfolgt nach der in der Bedienungsanleitung des Pendelschlagwerkes vorgegebenen Art und Weise.

### 3.4 Auswertung

#### 3.4.1 Allgemeine Angaben

Zur Auswertung wird die Software „DAS4WIN extended“ verwendet. Direkt nach dem Versuch wird das aufgezeichnete  $F$ - $l$ -Diagramm angezeigt, woraus die in Abb. 1 dargestellte Maximalkraft  $F_{\max}$  und die maximale Verlängerung  $l_{\max}$  ermittelt werden. Weiterhin werden die Energie  $A_{\max}$  bis zur maximalen Kraft  $F_{\max}$  sowie die Rissausbreitungsenergie  $A_P$  bestimmt. Das Programm bietet die Möglichkeit, jedes  $F$ - $l$ -Diagramm direkt auszudrucken bzw. im ASCII-Datenformat auszugeben. Nachträgliche Änderungen an den Parametereinstellungen und den  $F$ - $l$ -Diagrammen sind nicht möglich.

#### 3.4.2 Ermittlung der bruchmechanischen Werkstoffkennwerte

Zur Bewertung der Zähigkeit von Kunststoffen nach dieser Prozedur werden in Abhängigkeit vom Werkstoffverhalten folgende Kennwerte ermittelt:

**J-Werte  $J_{Qd}$**

$$J_{Qd} = \frac{\eta A_{\max}}{B(W-a)} \quad (3)$$

mit

$$\eta = -0,06 + 5,99\left(\frac{a}{W}\right) - 7,42\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 3,29\left(\frac{a}{W}\right)^3$$

**Bruchzähigkeit  $K_{Qd}$**

$$K_{Qd} = \frac{F_{\max}}{B \cdot W^{1/2}} f(a/W) \quad (4)$$

mit

$$f(a/W) = \frac{\sqrt{\frac{\pi a}{2W}}}{\sqrt{1 - \frac{a}{W}}} \left[ 1,122 - 0,561\left(\frac{a}{W}\right) - 0,205\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 0,471\left(\frac{a}{W}\right)^3 + 0,190\left(\frac{a}{W}\right)^4 \right]$$

Die Angabe weiterer Kennwerte resultiert aus der anwendungstechnischen Problemstellung der Messserie und muss im Prüfprotokoll gesondert ausgewiesen werden.

#### 3.4.3 Überprüfung der Gültigkeit der ermittelten bruchmechanischen Werkstoffkennwerte

##### 3.4.3.1 Überprüfung der experimentellen Bedingungen

Für die Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte im instrumentierten Kerbschlagzugversuch ist eine Kontrolle experimenteller Bedingungen erforderlich [7, 15–18]

#### - Energieaufnahme ( $A_{\max}+A_P$ )

Die Kontrolle der Energieaufnahme erfolgt in Anlehnung an *DIN EN ISO 8256*, wonach die vom Prüfkörper aufgenommene Energie ( $A_{\max}+A_P$ ) im Bereich zwischen 20 und 80% der Maximalenergie des Pendelhammers liegen muss.

$$0,2A_H \leq (A_{\max} + A_P) \leq 0,8A_H \quad (5)$$

#### - Pendelhammergegeschwindigkeit

Die Pendelhammergegeschwindigkeit darf im Versuchsverlauf nur um höchstens 20 % abnehmen.

### 3.4.3.2 Anforderungen an die Prüfkörpergeometrie

Für die Prüfung von Folien ist aufgrund der geringen Dicke davon auszugehen, dass der für die Ermittlung geometrieunabhängiger Werkstoffkennwerte notwendige ebene Dehnungszustand nicht eingehalten werden kann. Hier wird darauf hingewiesen, dass die ermittelten  $J_{Qd}$ -Werte für einen Werkstoffvergleich, z.B. innerhalb einer Modifizierungsreihe, herangezogen werden können, nicht aber auf andere Geometrien übertragen werden können.

Bei der Prüfung von Elastomeren ist nach dem heutigen Kenntnisstand ebenfalls davon auszugehen, dass bei geringen Prüfkörperdicken geometrieabhängige Kennwerte ermittelt werden. Auf diese Tatsache muss im Prüfbericht hingewiesen werden.

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] Grellmann, W., Reincke, K. (2004): Quality Improvement of Elastomers. Use of Instrumented Notched Tensile-Impact Testing for Assessment of Toughness. *Materialprüfung* 46 (2004) 4, 168–175
- [2] Reincke, K., Grellmann, W. (2003): Anwendung der instrumentierten Schlagzugprüfung in der Kunststofftechnik. In: Buchholz, O. W. und Geisler, S. (Hrsg.): Herausforderung durch den industriellen Fortschritt. Tagungsband Werkstoffprüfung 2003, Verlag Stahleisen GmbH Düsseldorf, 322–328
- [3] Reincke, K., Grellmann, W.: Verfahren zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften von Folien und Elastomeren. *Kautsch. Gummi Kunstst.* 63 (2010), 203–208
- [4] Reincke, K., Klüppel, M., Grellmann, W. (2009): Investigation of Fracture Mechanical Properties of Filler-Reinforced Styrene–Butadiene Elastomers. *Kautsch. Gummi Kunstst.* 62 (2009) 246–251
- [5] Grellmann, W., Bierögel, C., Reincke, K.: Wiki „Lexikon Kunststoffprüfung und Diagnostik“, 2014, <http://wiki.polymerservice-merseburg.de>
- [6] Grellmann, W., Reincke, K.: Technical Material Diagnostics – Fracture Mechanics of Filled Elastomer Blends. In: Grellmann, W., Heinrich, G., Kaliske, M., Klüppel, M., Schneider, K., Vilgis, T. (Eds.): *Fracture Mechanics and Statistical Mechanics of Reinforced Elastomeric Blends*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013, S. 227–268
- [7] Reincke, K., Grellmann, W., Heinrich, G. (2004): Anwendung bruchmechanischer Methoden zur Risszähigkeitsbewertung von Elastomeren. 6. Kautschuk-Herbst-Kolloquium, 10.–13.11.2004, Hannover, Tagungsband, 601–612

- [8] Grellmann, W., Seidler, S., Hesse, W. (2012): MPK-IKBV – Prozedur zur Ermittlung des Risswiderstandsverhaltens mit dem instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch, Teil I und Teil II; [http://www.polymerservice-merseburg.de/fileadmin/ge-schaeftsfelder/kunststoffpruefung/MPK-Normen/p\\_d.pdf](http://www.polymerservice-merseburg.de/fileadmin/ge-schaeftsfelder/kunststoffpruefung/MPK-Normen/p_d.pdf)
- [9] Bekar, I., Fatt, M.S.H., Padovan, J. (2002): Deformation and Fracture of Rubber under Tensile Impact Loading. *Tire Sci. Techn.* 30, 45–58
- [10] Bucknall, C. B., Ajroldi, G. (2001): Blends Containing Core-Shell Impact Modifiers. Part 3 – Effects of Temperature on Tensile Impact Behaviour. *Plast. Rubb. Comp.* 30, 377–383
- [11] Dijkstra, K., ter Laak, J., Gaymans, R. J. (1994): Nylon-6/Rubber Blends: 6. Notched Tensile Impact Testing of Nylon-6/(Ethylene-Propylene Rubber) Blends. *Polymer* 35, 315–322
- [12] Karger-Kocsis, J., Benevolenski, O. I., Moskala, E. J. (2001): Toward Understanding the Stress Oscillation Phenomenon in Polymers Due to Tensile Impact Loading. *J. Mater. Sci.* 36, 3365–3371
- [13] Mouzakis, D. E., Karger-Kocsis, J. (1998): Effects of Gasoline Absorption on the Tensile Impact Response of HDPE/Selar Laminar Microlayer Composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 68, 561–569
- [14] Fernie, R., Warrior, N. A. (2002): Impact Test Rigs for High Strain Rate Tensile and Compressive Testing of Composite Materials. *Strain*, 38, 69–73
- [15] Louis, H., Reckleben, A. (1996): Analyse des dynamischen Reißverhaltens von Elastomeren. In Tagungsband: Kautschuk-Herbst-Kolloquium 1996, Hannover, 24.–26. Oktober, 1–9
- [16] DIN EN ISO 8256 (2005): Kunststoffe – Bestimmung der Schlagzugzähigkeit
- [17] DIN EN ISO 13802 (2014): Kunststoffe – Verifizierung von Pendelschlagwerken – Charpy-, Izod- und Schlagzugversuch
- [18] DIN EN ISO 291 (2008): Kunststoffe – Normalklimate für Konditionierung und Prüfung
- [19] Grellmann, W., Seidler S. (Hrsg.): *Kunststoffprüfung*, Carl Hanser Verlag München (2011) 2. Auflage, ISBN 978-446-22-8, siehe AMK-Büchersammlung unter A12