

Jeder sprunghafte Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Querschnitten eines Biegebalkens verursacht eine Kerbwirkung. Das gilt auch bei der Anbindung des Schnapphakens an das Bauteil

# Die Kerbwirkung bei der Anbindung von Schnapphaken

**Konstruktion.** Der Artikel beschreibt die Einflüsse

auf die Spannungen und die Dehnungen im Querschnittsübergang sowie auf die Durchbiegung bzw. die Steifigkeit des Schnapphakens für verschiedene Anbindungen an das Bauteil und gibt einfache Berechnungsformeln zur Erfassung dieser Kerbwirkung bei der Auslegung an. Grundlage dieser Untersuchung ist eine eigens dafür entwickelte Systematik der möglichen Anbindungen.

**JOHANNES KUNZ  
MARIO STUDER**

Die Anbindung eines Schnapphakens an das Formteil ist in aller Regel eine kritische Stelle dieses wichtigen Elements der Fügetechnik. Hier ist das Biegemoment am größten, und die Kerbwirkung am Übergang verschärft diese Situation noch erheblich. Bei unsachgemäßer Auslegung oder durch unsorgfältige Betätigung kann es hier zu Überbeanspruchungen kommen, die die Funktionsfähigkeit der Schnappverbindung beeinträchtigen oder gar zum Versagen durch Abbrechen des Schnapphakens führen. In den verbreiteten Konstruktionsempfehlungen wird daher zu Recht auf diese Problematik hingewiesen [1–5]. Angaben zu Berechnungs- oder zu-

mindest Abschätzungsmöglichkeiten bilden aber die Ausnahme [6].

## Dreifache Wirkung der Anbindung

Jeder sprunghafte Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Querschnitten eines Biegebalkens führt zu einer sogenannten Kerbwirkung. Eine solche liegt auch bei der Anbindung des Schnapphakens an das Bauteil vor. Sie äußert sich in lokalen Überhöhungen der Spannungen und der Dehnungen. Diese Überhöhungen verhalten sich umgekehrt proportional zum Rundungsradius im Übergang. Ein praktisch fehlender Radius würde also theoretisch zu unendlich großen Spannungen und damit zum Versagen des Bauteils führen. Eine ausreichende Aus-

rundung des Übergangs ist somit unverzichtbar. Allerdings erfährt der Schnapphaken dadurch eine gewisse Versteifung. Die Ausgestaltung der Anbindung an das Bauteil wirkt sich damit in dreierlei Hinsicht aus, nämlich in einer Spannungs- und einer Dehnungsüberhöhung sowie einer Zunahme der Steifigkeit.

Die beanspruchungsgerechte Auslegung zielt auf möglichst gleichmäßige Spannungsverteilungen und damit auf große Rundungsradien bei der Anbindung. Aus fertigungstechnischen Gründen sollte die Ausrundung dagegen möglichst gering sein, um die Masseanhäufungen in akzeptablen Grenzen zu halten. Dieser Zielkonflikt ist nur mit einem Kompromiss in Form optimaler Radien zu bewältigen. Deren Bestimmung erfordert vor allem auch quantitative Angaben











		Anzahl Anbindungen in y- und z-Richtung					Typ
		0/0	0/1	0/2	1/0	2/0	
Anzahl der Anbindungen in x-Richtung	0				 (0/1/0)	 (0/2/0)	A
	1	 (1/0/0)	 (1/0/1)	 (1/0/2)	 (1/1/0)	 (1/2/0)	
	2	 (2/0/0)			 (2/1/0)	 (2/2/0)	B

Bild 1. Systematik der Anbindungen von Schnapphaken

zur Kerbwirkung. Solche zu erarbeiten, war das Ziel der Untersuchungen [7, 8], über deren Ergebnisse hier berichtet wird.

### Zwei Grundtypen der Anbindung

Als Grundlage für die Untersuchung wurde eine Systematik der möglichen Anbindungen erarbeitet. Sie orientiert sich an der Anzahl und der Ausrichtung der einzelnen Flächenübergänge von der Biegefeder des Schnapphakens zum Bauteil in einem kartesischen Koordinatensystem. Dessen x- und y-Koordinaten liegen in der Querschnittsfläche der Anbindung, die z-Achse steht darauf senkrecht in

Richtung der Biegefeder (Bild 1). Die Systematik beschränkt sich auf die wichtigsten Varianten, wie sie in der Praxis mehr oder weniger verbreitet vorkommen, und verzichtet bewusst auf Einbezug sämtlicher theoretisch denkbaren Möglichkeiten.

Die umfangreichen Untersuchungen führten zur interessanten Erkenntnis, dass sich die einbezogenen Anbindungsvarianten zwei Grundtypen A und B zuordnen lassen (Bild 1). Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch den Ort der auftretenden Größtwerte der Spannungen und Dehnungen (Bild 2).

### Definition der Formzahlen

Die Einflüsse einer Kerbwirkung auf Spannungen, Dehnungen und Steifigkeit lassen sich durch sogenannte Formzahlen  $\alpha_k$  beschreiben, die bei linear-elastischem Werkstoffverhalten nur von der Geometrie des jeweiligen Querschnittsübergangs und des Formteils abhängig sind. Diese Formzahlen stellen Verhältniszahlen zwischen dem Größtwert der betreffenden physikalischen Größe bei Kerbwirkung und dem entsprechenden Nennwert ohne Kerbwirkung dar. Wichtigster Geometrieparameter ist das Verhältnis des Rundungsradi-

us  $r$  zur Querschnittshöhe  $h$  (Bild 3). Bei bekannten Formzahlen können so die Maximalwerte anhand der jeweiligen Nennwerte berechnet werden.

#### ■ Spannungs-Formzahl:

$$\alpha_{k\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} = \frac{\sigma_{\max} \cdot W_b}{M_b} \quad (1)$$

#### ■ Dehnungs-Formzahl:

$$\alpha_{k\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_n} = \frac{\varepsilon_{\max} \cdot E \cdot W_b}{M_b} \quad (2)$$

#### ■ Steifigkeits-Formzahl:

$$\alpha_{kf} = \frac{F_{\text{eff}}}{F_n} = \frac{F_{\text{eff}} \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot f} \quad (3)$$

Die Bedeutung der in (1) bis (3) verwendeten Zeichen und Symbole ist in einer Liste zusammengestellt (siehe Kasten).

### Untersuchungen

Die Formzahlen in Abhängigkeit der Geometrie wurden mittels rechnerisch-numerischer Untersuchungen mit der Finite Elemente Methode (FEM) ermittelt. Zur Anwendung gelangten die Programme MSC.Marc und ANSYS. Als Referenz für die Brauchbarkeit der Modelle und die Plausibilität der Ergebnisse diente die bekannte Spannungs-Formzahl des abgesetzten Flachstabs unter Biegung [9, 10].

Den Untersuchungen lagen eine Reihe von Voraussetzungen und Idealisierungen zugrunde:

- der federnde Teil des Schnapphakens ist von konstantem rechteckigem Querschnitt;

### Verwendete Zeichen und Symbole

$F_{\text{eff}}$ :	Effektive Auslenkkraft	[N]
$F_n$ :	Theoretische Auslenkkraft	[N]
$E$ :	Kurzzeit-Elastizitätsmodul	[N/mm <sup>2</sup> ]
$M_b$ :	Biegemoment im Anbindungsquerschnitt	[Nmm]
$I$ :	Achsiales Flächenträgheitsmoment	[mm <sup>4</sup> ]
$W_b$ :	Achsiales Widerstandsmoment	[mm <sup>3</sup> ]
$l$ :	Federnde Schnapphakenlänge	[mm]
$b$ :	Querschnittsbreite des Schnapphakens	[mm]
$h$ :	Querschnittshöhe des Schnapphakens	[mm]
$f$ :	Federweg, Auslenkung des Schnapphakens	[mm]
$r$ :	Rundungsradius der Anbindung	[mm]
$\alpha_{k\sigma}$ :	Spannungs-Formzahl	[-]
$\alpha_{k\varepsilon}$ :	Dehnungs-Formzahl	[-]
$\alpha_{kf}$ :	Steifigkeits-Formzahl	[-]
$\varepsilon_{\max}$ :	Maximale Dehnung	[-]
$\varepsilon_n$ :	Nenndehnung	[-]
$\sigma_{\max}$ :	Maximale Spannung	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_n$ :	Nennspannung	[N/mm <sup>2</sup> ]

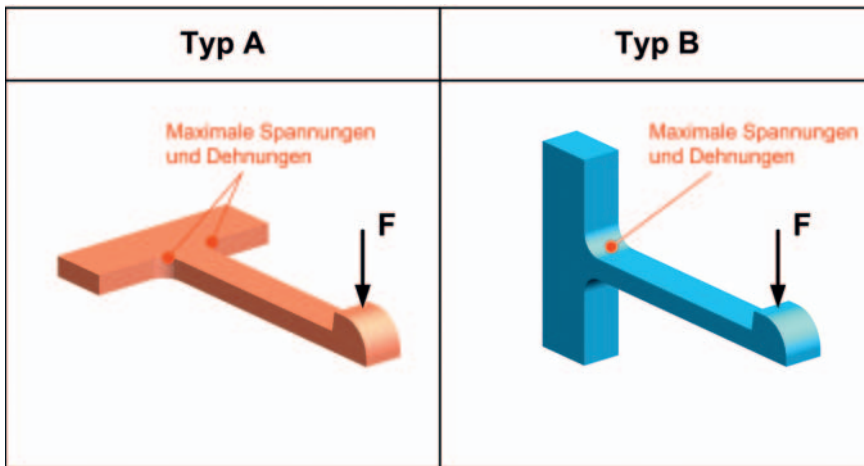


Bild 2. Grundtypen A und B der Schnapphaken-Anbindungen

- der Schnapphaken besteht aus einem Kunststoff mit linear-viskoelastischem Verhalten, d.h. die zeitabhängige Werkstoffsteifigkeit, beschrieben durch den Kriechmodul, ist keine Funktion der Last;
- die Werkstoffsteifigkeit beim – kurzzeitigen – Füge- bzw. Lösevorgang wird durch den im Kurzzeitversuch ermittelten Elastizitätsmodul  $E$  hinreichend gut beschrieben;
- das Bauteil, an das der Schnapphaken angebunden ist, weist eine vergleichsweise hohe Steifigkeit auf, sodass die Bauteilverformung gegenüber jener des Schnapphakens vernachlässigt werden kann;
- der Fügepartner besteht aus einem Werkstoff vergleichsweise hoher Steifigkeit, sodass er näherungsweise als starrer Körper modelliert werden kann. Die Geometrieparameter wurden innerhalb der Bereiche  $0,2 \leq r/h \leq 5$ ,  $0,08 \leq r/b \leq 1$  und  $10 \leq l/h \leq 50$  variiert. Die herauszuarbeitenden Formeln für die Formzahlen sollten innerhalb dieser Bereiche

unter Beschränkung auf die entscheidenden Einflüsse mathematisch möglichst einfach beschrieben werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen die Zuordnung der untersuchten Anbindungsvarianten zu den beiden Grundtypen A und B (Bild 1) entsprechend der erarbeiteten Systematik (Bild 2), und zwar durchgängig für die Spannungs-, Dehnungs- und Steifigkeits-Formzahlen.

### Spannungs-Formzahl

Bei der Auswertung der Spannungs-Formzahl des Anbindungstyps B in Funktion des Geometrieparameters  $r/h$  zeigte sich im Quervergleich mit den Referenzwerten ein qualitativ gleichartiger Verlauf, jedoch bei deutlich größeren Formzahlen (Bild 4). Der quantitative Unterschied erklärt sich mit dem Einfluss des Seitenverhältnisses  $b/h$  des Rechteckquerschnitts. Die Referenzwerte gelten für abgesetzte Flachstäbe, also für sehr kleine Werte von  $b/h$ . Die untersuchten Schnapphaken liegen dagegen im Bereich  $1,7 \leq b/h \leq 8,7$ . Je größer dieses Verhältnis wird, umso stärker wird die Querkontraktion behindert, was eine versteifende Wirkung und damit bei gleicher Durchbiegung höhere effektive Spannungswerte zur Folge hat. Der Zusammenhang der erhaltenen Werte und der Referenzwerte entspricht dieser Tendenz (Bild 5). Somit können die Resultate der Untersuchung als verlässlich und praxistauglich betrachtet werden.

Die erhaltenen Spannungs-Formzahlen für die Anbindungstypen A und B werden erwartungsgemäß primär vom ▶

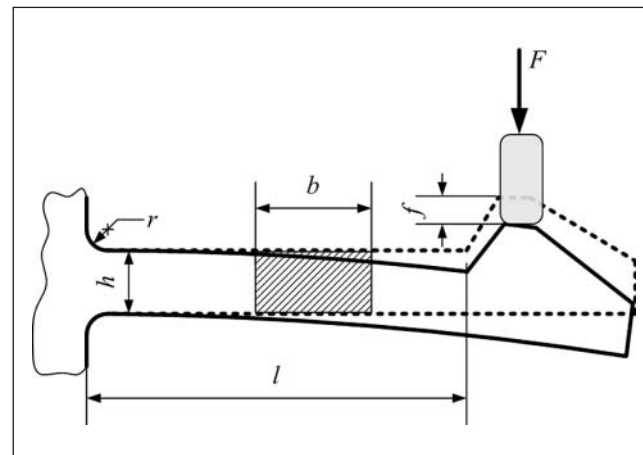


Bild 3. Maßgebliche geometrische Größen am Schnapphaken

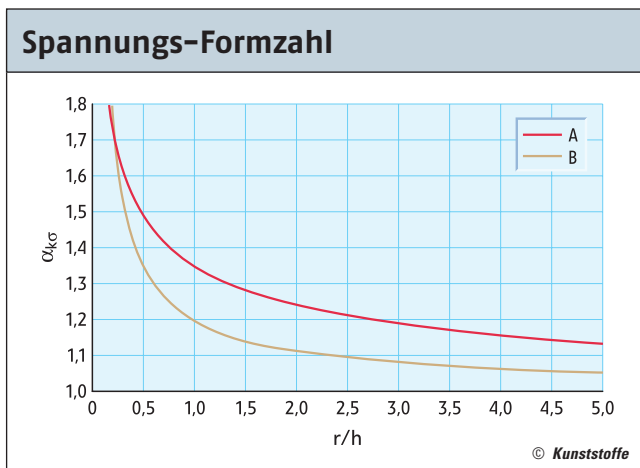


Bild 4. Spannungs-Formzahl in Funktion des Geometrieparameters  $r/h$ : Quervergleich mit Referenzwerten

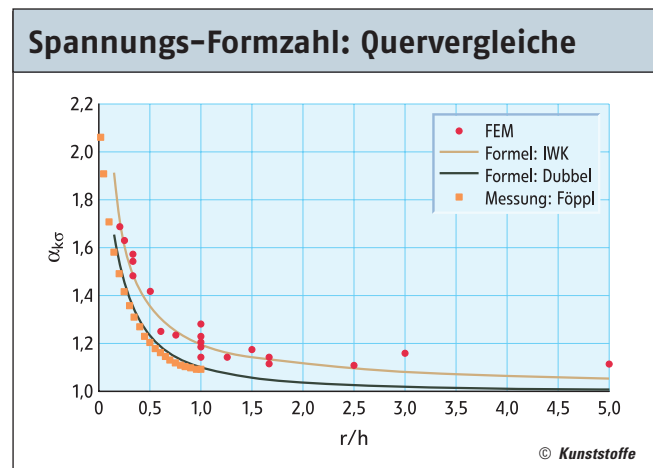


Bild 5. Einfluss der Querschnittsbreite  $b$  auf die Spannungs-Formzahl

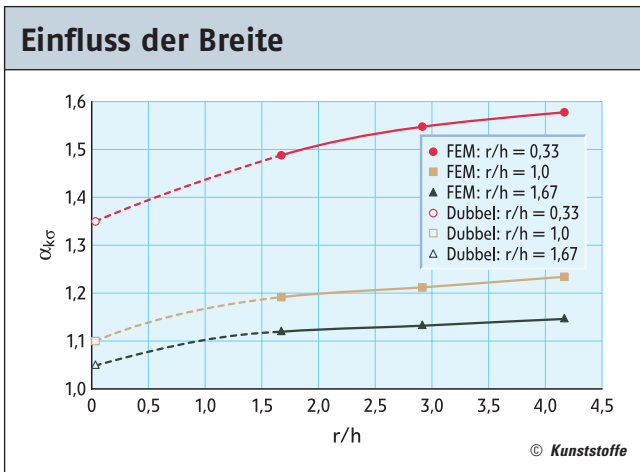


Bild 6. Spannungs-Formzahl in Funktion des Geometrieparameters r/h

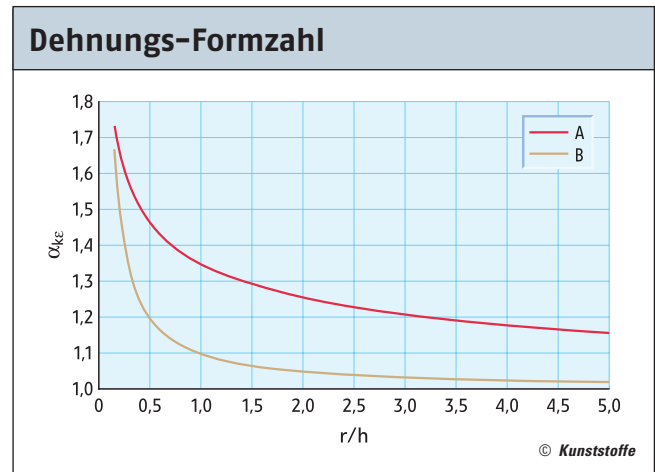


Bild 7. Dehnungs-Formzahl in Funktion des Geometrieparameters r/h

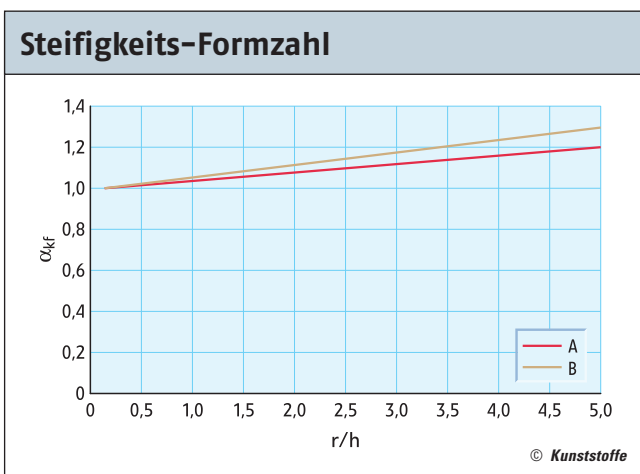


Bild 8. Steifigkeits-Formzahl in Funktion des Geometrieparameters r/h

radiusabhängigen Geometrieparameter r/h bestimmt (Bild 6). Im Vergleich dazu erwiesen sich die Einflüsse der Geometrieparameter r/b und l/h sowie der Querkontraktionszahlen als unerheblich [8], sodass die hyperbolischen Verläufe in guter Approximation mit einem Potenzansatz erfasst und mit den Beziehungen (4) und (5) beschrieben werden können.

■ **Spannungs-Formzahl Anbindung A**

$$\alpha_{k\sigma} = 0,85 + 0,5 \cdot \left(\frac{r}{h}\right)^{-0,35} \quad (4)$$

■ **Spannungs-Formzahl Anbindung B**

$$\alpha_{k\sigma} = 1,0 + 0,2 \cdot \left(\frac{r}{h}\right)^{-0,8} \quad (5)$$

Diese Formeln geben die mit der FEM ermittelten Resultate aller Anbindungstypen mit einer Standardabweichung von 2,2 % bei einer mittleren Abweichung von rund 3,4 bzw. 2,7 % wieder.

**Dehnungs-Formzahl**

Qualitativ verlaufen die Dehnungs-Formzahlen in Funktion von r/h (Bild 7)

wie die Spannungs-Formzahlen. In den Zahlenwerten zeigen sich jedoch bestimmte Unterschiede, insbesondere beim Anbindungstyp B. Diese Unterschiede sind darin begründet, dass sich im Bereich der Anbindungen geometriebedingt mehrachsige Spannungszustände mit entsprechenden Verformungsbehinderungen ausbilden.

■ **Dehnungs-Formzahl Anbindung A**

$$\alpha_{k\epsilon} = 0,85 + 0,5 \cdot \left(\frac{r}{h}\right)^{-0,3} \quad (6)$$

■ **Dehnungs-Formzahl Anbindung B**

$$\alpha_{k\epsilon} = 1,0 + 0,1 \cdot \left(\frac{r}{h}\right)^{-1} \quad (7)$$

Die mittlere Abweichung der Werte aus diesen Formeln gegenüber den Resultaten aus den FEM-Berechnungen beträgt 2,9 %, die Standardabweichung 2,1 bzw. 1,6 %.

**Steifigkeits-Formzahl**

Die Steifigkeits-Formzahl verläuft über dem Geometrieparameter r/h (Bild 8) leicht ansteigend und zeigt eine Steifig-

keitszunahme bis hin zu 10 bis 20 %. Die Charakteristik lässt sich gut mit einem linearen Ansatz beschreiben. Für die beiden Anbindungstypen resultieren so die Formeln:

■ **Steifigkeits-Formzahl Anbindung A**

$$\alpha_{kf} = 1,0 + 0,04 \cdot \left(\frac{r}{h}\right) \quad (8)$$

■ **Steifigkeits-Formzahl Anbindung B**

$$\alpha_{kf} = 1,0 + 0,06 \cdot \left(\frac{r}{h}\right) \quad (9)$$

Die Formeln (8) und (9) entsprechen den numerisch ermittelten Resultaten mit einer Genauigkeit von 3,7 % mittlerer Abweichung und 2,7 % bzw. 1,9 % Standardabweichung.

**Fazit**

Wie die Größenordnung der Formzahlen zeigt, darf die Kerbwirkung insbesondere bezüglich Spannungen und Dehnungen nicht unterschätzt werden. Die Spannungen und die Dehnungen werden durch sie im Bereich praxisüblicher Verhältnisse von r/h 50 und mehr Prozent überhöht. Die Kerbwirkung sollte daher bei der Abgrenzung der Spannungen bzw. Dehnungen gegenüber den entsprechenden zulässigen Werten mit einbezogen werden. Die Steifigkeitszunahme infolge Ausrundung fällt demgegenüber deutlich geringer aus. Ihre Vernachlässigung bei der Auslegung von Schnapphaken dürfte daher nicht sehr ins Gewicht fallen.

Die präsentierten Ergebnisse sind an Schnapphaken-Modellen mit konstantem rechteckigem Querschnitt über der ganzen Länge der Biegefeder ermittelt worden. Bei Schnapphaken, deren Querschnitt sich von der Anbindung aus verjüngt, können die Spannungs- und die

Dehnungs-Formzahlen (4) bis (7) zumindest im Sinne einer oberen Grenze ebenfalls angewendet werden. Die Steifigkeitszunahme infolge Ausrundung der Anbindung ist in solchen Fällen so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Sind bei einer kombinierten Anbindung in x- und y-Richtung vom Typ B (Bild 1) die Radien unterschiedlich groß, empfiehlt es sich, beide Kerbwirkungen rechnerisch abzuklären. Sind beide Radien gleich, so überwiegt die Kerbwirkung an der Anbindung in y-Richtung. Die Zug- und die Druckseite des Anbindungsquerschnitts sind zwar von der Spannungs- und der Dehnungsüberhöhung grundsätzlich gleichermaßen betroffen, kritisch ist jedoch aufgrund der Versagensmechanik die Zugseite. Dies gilt selbst bei zweifacher Anbindung in y-Richtung mit unterschiedlichen Radien. ■

#### DANK

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Grundlagen für die Auslegung von Kunststoffkonstruktionen“. Für dessen Förderung danken die Verfasser der Gebert RUF Stiftung, Basel, und dem Forschungsfonds der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

#### LITERATUR

- 1 Bonenberger, P. R.: The First Snap-Fit Handbook. Carl Hanser Verlag München, 2000
- 2 Tres, P. A.: Designing Plastic Parts for Assembly. 4th Ed., Carl Hanser Verlag München, 2000
- 3 N. N.: Feinwerkelemente – Schnappverbindungen. VDI/VDE-Richtlinie 2251, Blatt 7, 1998
- 4 N. N.: Berechnen von Schnappverbindungen mit Kunststoffteilen. Hoechst AG, Firmenschrift B.3.1, Frankfurt/Main 1991
- 5 N. N.: Schnappverbindungen aus Kunststoff. Praxisinformation Bayer AG. Firmenschrift KU 46040, Leverkusen 1988
- 6 Delpy, U.: Schnappverbindungen aus Kunststoff. expert Verlag, Ehningen bei Böblingen 1989
- 7 Lendi, M.: Untersuchungen zur Kerbwirkung bei Schnapphaken. Studienarbeit, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2004
- 8 Kunz, J., Studer, M., Lukic, D., Caduff, C.: Forschungsprojekt Auslegung von Schnappverbindungen. Diverse interne, unveröffentlichte Dokumente. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2005–2006
- 9 Grothe, K.-H., Feldhusen, J. (Hrsg.): Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer Verlag Berlin, 21. Aufl., 2005
- 10 Föppl, L., Sonntag, G.: Tafeln und Tabellen zur Festigkeitslehre. Oldenbourg-Verlag München, 1951

#### DIE AUTOREN

PROF. DIPL.-ING. JOHANNES KUNZ, geb. 1940, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz; jkunz@hsr.ch

DIPL.-ING. MARIO STUDER, geb. 1980, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWK; mstuder@hsr.ch

#### SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

### The Notch Effect in the Junction of Snap Hooks

**DESIGN.** The article describes the effects on stresses and strains in passing through the transition in cross-section and on the deflection or stiffness of the snap hook for different types of junction to a plastic part. It also provides simple formulas for calculating this notch effect when designing. The basis of this investigation is a systematics of the possible types of junction developed specifically for this purpose.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103823** on our website at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)