



› Füge- und Verbindungstechnik für Kunststoffkonstruktionen

Zur Auslegung gekröpfter Schnapphaken

Johannes Kunz, Manuel Peter

» Füge- und Verbindungstechnik für Kunststoffkonstruktionen

Zur Auslegung gekröpfter Schnapphaken

Für gekröpfte Schnapphaken, die nicht vom freien Ende, sondern aus der Gegenrichtung vom Schnapparm her gefügt werden, liegen nun ebenfalls realitätsnahe Berechnungsformeln vor. Sie gelten für L- und für U-förmige Geometrien mit überall gleichem, rechteckigem Querschnitt. Die neuen Auslegungsgrundlagen vervollständigen die bereits früher vom IWK Rapperswil publizierten Ergebnisse.

» Johannes Kunz¹,
Manuel Peter²

Schnappverbindungen werden in der Füge- und Verbindungstechnik von Kunststoffkonstruktionen, zumeist in Form von Schnapphaken, verbreitet als Element der Integralbauweise angewendet. Ihre Gestaltung orientiert sich in der Praxis an Bauformen, wie sie in Konstruktionsempfehlungen in der Fachliteratur, in Richtlinien oder von Kunststoffherstellern in anwendungstechnischen Hinweisen dargestellt werden [1–3].

Gekröpfte Schnapphaken trifft man in der Praxis eher selten an. Sie sind aber immer dann eine Möglichkeit, wenn die verfügbaren Platzverhältnisse die Anwendung gerader Schnapphaken verhindern. Allerdings ist ihre Auslegung infolge der zusätzlichen Geometrieparameter etwas aufwändiger als bei geraden Haken. Von den wenigen verfügbaren Berechnungstools [4, 5] basieren die meisten noch immer auf der Theorie 1. Ordnung, d.h., sie ignorieren die Hakenauslenkung und die damit verbundene Winkeländerung beim Fügen und Lösen und liefern daher unrealistische Resultate. Wirklichkeitsnähere und zugleich relativ einfach handhabbare Formeln auch

¹ Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, CH-Rapperswil; Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im MAS Kunststofftechnik an der Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz, Brugg-Windisch.

² Manuel Peter, BSc FHO in Maschinentechnik, ThyssenKrupp Presta AG, FL-Eschen, vormals wissenschaftlicher Mitarbeiter und stv. Fachbereichsleiter am IWK Rapperswil.

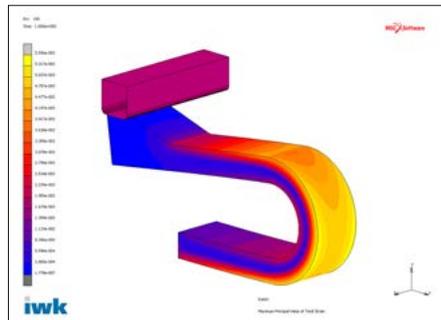


Bild 1: Mit der FEM berechnete Dehnung beim Fügen eines U-förmig gekröpften Schnapphakens

für die Auslegung L- und U-förmig gekröpfter Schnapphaken mit konstantem Querschnitt wurden 2010 präsentiert, welche die Neigung des Hakens beim Fügen bzw. Lösen und eine optimierte Fügegeometrie berücksichtigen [6]. Da sich diese Lösungen auf das Fügen vom freien Schnapphakenende her beschränken, stellte sich die Aufgabe, analoge Formeln für Schnapphaken zu erarbeiten, die aus der Gegenrichtung gefügt werden (Bilder 1 und 2). Diese Arbeit zielt somit auf Auslegungsformeln für die wirkenden Kräfte beim Fügen bzw. beim Lösen und für die dabei auftretenden maximalen Dehnungen als Kriterium für die Sicherstellung schadungsfreier Verformungen [7], letzteres mit Berücksichtigung der geometriebedingten Überhöhungen (Kerbwirkung) bei der Anbindung des Hakens an das Formteil [8].

Vorgehen

Für die Problemlösung wurden die theoretisch-analytischen Betrachtungen in bewährter Weise mit rechnerisch-numerischen Parameterstudien mittels der Finite Elemente Methode (FEM) kombiniert. Die

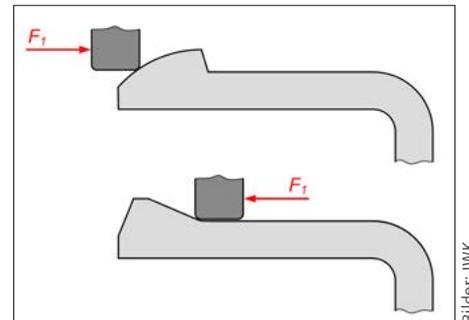


Bild 2: Fügen gekröpfter Schnapphaken vom freien Ende her (oben) bzw. aus der Gegenrichtung (unten)

daraus hervorgehenden Resultate wurden anschliessend interpretiert und möglichst treffend mathematisch beschrieben. Bei der Erarbeitung der Berechnungsformeln waren jedoch Kompromisse zwischen möglichst hoher Genauigkeit und möglichst einfacher Handhabbarkeit in der Praxis unumgänglich.

- Die Untersuchungen basieren auf folgenden Voraussetzungen und Idealisierungen:
- a) der Querschnitt der federnden Partien des Schnapphakens ist rechteckig und konstant;
 - b) der Schnapphaken besteht aus einem Kunststoff mit linear-viskoelastischem Verhalten, d.h. die zeitabhängige Werkstoffsteifigkeit, beschrieben durch den Kriechmodul, ist keine Funktion der Last;
 - c) die Werkstoffsteifigkeit beim kurzzeitigen Füge- bzw. Lösevorgang wird durch den im Kurzzeitversuch ermittelten Elastizitätsmodul hinreichend gut beschrieben;
 - d) der Fügepartner des Schnapphakens besteht aus einem Werkstoff von vergleichsweise hoher Steifigkeit, so dass er näherungsweise als starrer Körper modelliert werden kann;

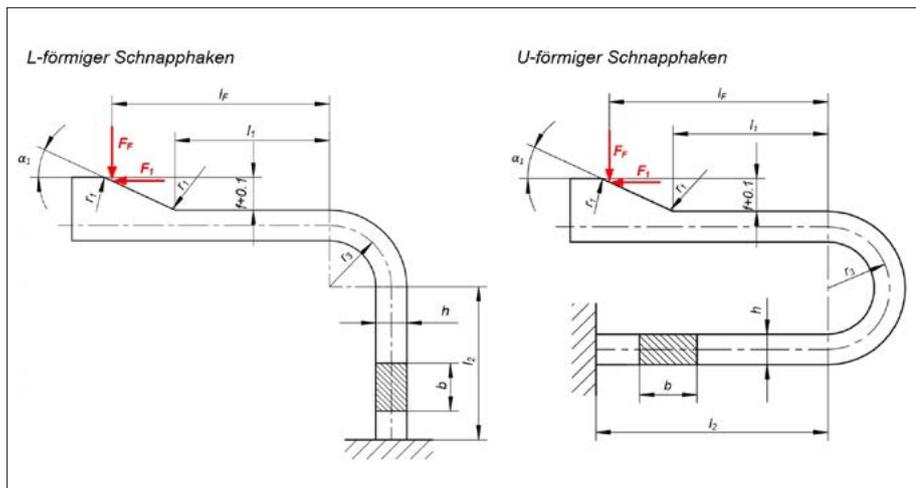


Bild 3: L- und U-förmig gekröpfter Schnapphaken mit Fugerichtung gegen das freie Ende

- F_1 : Fügekraft
- F_F : Auslenkkraft beim Fügen
- α_1 : Fügewinkel
- f : Hinterschnitt (Auslenkung, Federweg)
- l_1 : Länge des Schnapparm-Schenkels 1
- l_2 : Länge des Schnapparm-Schenkels 2
- l_F : Länge bei maximaler Fügekraft
- r_1 : Rundungsradius
- r_3 : Mittlerer Radius des Übergangsbogens
- r_c : Radius des Fügepartners
- b : Breite des Schnapparm-Querschnitts
- h : Höhe des Schnapparm-Querschnitts

e) die Reibung zwischen den beiden Körpern wird mit gleicher Grösse für Haft- und Gleitreibung angenommen.

Insgesamt wurden mit der FEM an L- und an U-förmigen Schnapphaken (Bild 3) je 17 Parameterkombinationen und fünf weitere zur Abklärung der Kerbwirkung untersucht, wobei auch die Erfahrungen aus früheren Untersuchungen hilfreich waren. Die Proportionen wurden innerhalb der Bereiche $0 < l_2/l_1 \leq 1,5$, $0,2 \leq r_1/h \leq 1$, $0 \leq r_3/h \leq 2,5$, $0,167 \leq h/l_1 \leq 0,33$, $1 \leq b/h \leq 4$, $0,75 \leq f/h \leq 1,25$, $20^\circ \leq \alpha_1 \leq 30^\circ$ variiert, welche auch als Gültigkeitsbereiche der herausgearbeiteten Formeln betrachtet werden können.

Verformungskinematik

Es ist un schwer zu erkennen, dass die Verformungskinematik beim Fügen und beim Lösen der hier betrachteten gekröpften Schnapphaken prinzipiell mit jener beim Lösen bzw. Fügen der Schnapphaken mit Fugerichtung vom freien Ende her übereinstimmt. Man wäre daher geneigt, die früher entwickelten Berechnungsformeln [6] für die Fügekraft F_1 und die Lösekraft F_2 entsprechend umgekehrt anzuwenden. Dies ist jedoch wegen der unterschiedlichen Geometrien der Hakenköpfe und nicht identischer Gültigkeitsbereiche nicht zielführend.

Während die Fügekraft F_1 zwar möglichst gering sein soll, auf jeden Fall aber für das Einrasten eine Auslenkung (Federweg) des Schnapphakens in Höhe des Hinterschnitts f erzeugen muss, hat der Schnapphaken einer Längskraft $F < F_2$ standzuhalten. Bei lösbaren Schnapphakenverbindungen wird der Hinterschnitt mit Erreichen von $F = F_2$ überwunden und die Verbindung gelöst. Soll die Schnappverbindung unlösbar sein, so wird durch einen ausreichend grossen Lösewinkel α_2 in Kombination mit der Haftreibung μ_0 eine Selbsthemmung erzeugt, so dass ein Lösen verhindert und die Lösekraft zur Haltekraft wird.

Verformungskinematisch bedeutsam ist bei der hier untersuchten Schnapphakenkonfiguration die Tatsache, dass die beim Auslenken des Schnapphakens entstehende Neigung φ die Fügekraft F_1 reduziert

und umgekehrt die Löse- bzw. Haltekraft erhöht – ein Effekt, der nicht unerwünscht ist. Diese Hakenneigung ist geometrisch bedingt und wird durch die Auslenkung f und die für das Fügen bzw. Lösen massgebenden Längen l_F bzw. l_L bestimmt.

Fügegeometrie und Kraftumsetzung

Beim Fügen des Schnapphakens wird die erforderliche Fügekraft F_1 über die Neigung der Fügefläche in eine Auslenkkraft F_F umgesetzt, die den Haken um den Federweg f auslenkt. Dieser Federweg entspricht praktisch dem Hinterschnitt des Schnapphakens. Bestimmende Grössen für diese Kraftumsetzung sind die Haftreibungszahl μ_0 , der Fügewinkel α_1 und der Neigungswinkel φ_1 des Schnapphakens (Bild 4) infolge der Auslenkung f . Das Verhältnis der Fügekraft F_1 zur Auslenkkraft F_F beschreibt diese Zusammenhänge als Umsetzungsfaktor

$$\eta_1 = \frac{F_1}{F_F} = \frac{\mu_0 + \tan(\alpha_1 - \varphi_1)}{1 - \mu_0 \cdot \tan(\alpha_1 - \varphi_1)} \quad (1)$$

Der Index 1 weist auf die Situation beim Fügen hin, mit dem Minuszeichen in der Klammer im Unterschied zum Umsetzungsfaktor des Schnapphakens mit Fugerichtung vom freien Ende her [6]. Analog würden ein Index 2 und ein Pluszeichen in der Klammer anstelle des Minus die Kraftumsetzung beim Lösen beschreiben. Zwischen der Form der Fügefläche und der Kraftumsetzung besteht ein direkter Zusammenhang. Somit kann durch geeignete Wahl der Fügegeometrie die Fügekraft F_1 passend eingegrenzt werden. Qualitative Betrachtungen lassen erwarten, dass – anders als beim Fügen vom freien Ende her – ein ebenes Fügeprofil optima-

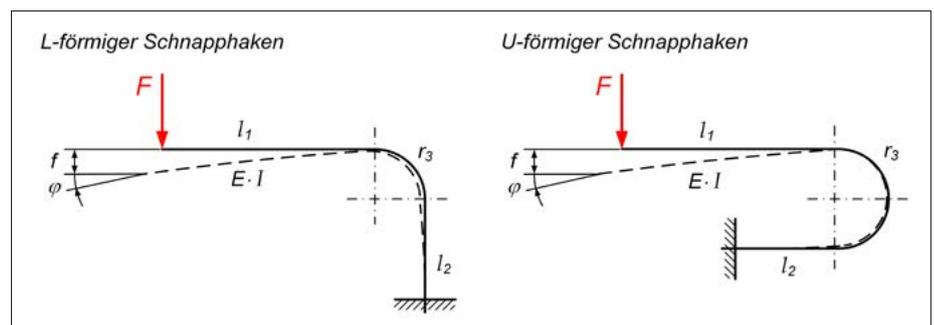


Bild 4: Neigung φ von L- und U-förmig gekröpften Schnapphaken beim Fügen infolge Auslenkung um den Federweg f .

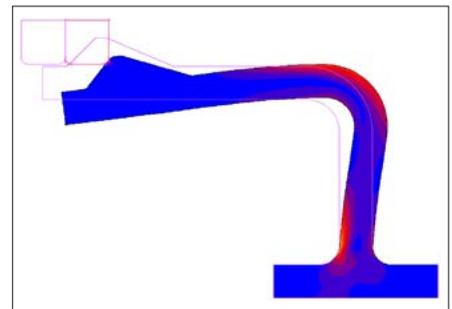
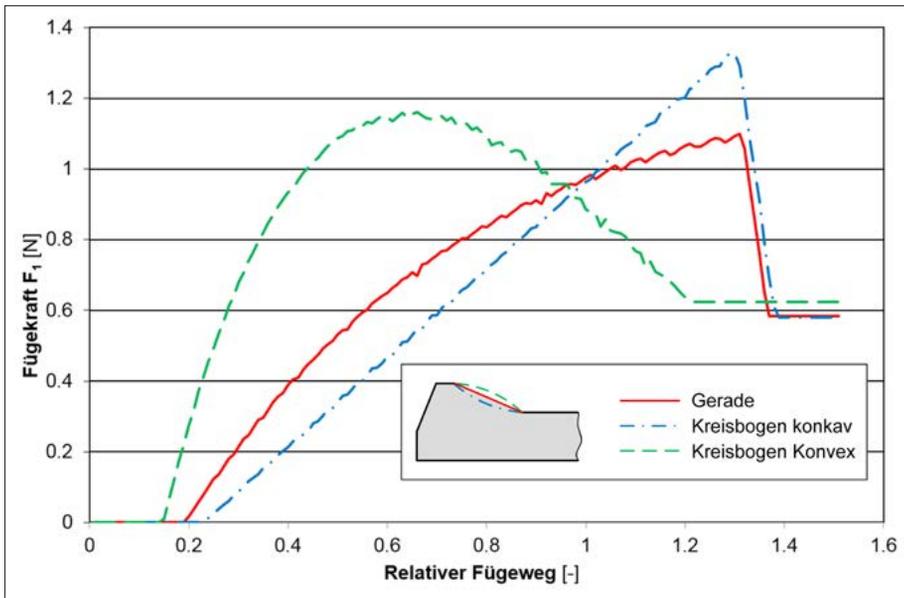


Bild 6: Verformung und Dehnungen eines gekröpten Schnapphakens beim erfolglosen Löseversuch infolge Selbsthemmung, ermittelt mit der FEM

herausstellte, bei den U-förmigen Schnapphaken von vernachlässigbarem Einfluss. Beide Formelarten stimmen gut mit den FEM-Resultaten überein. Dies zeigt die Standardabweichung, die bei den analytisch basierten Formeln zwischen 1,7 und 6,3 % liegt, gegenüber 2,7 bis 7,0 % bei den rein numerisch gewonnen Formeln. Die Formeln für die Fügekraft gelten nicht nur für gekröpte Schnapphaken mit rechteckigem Querschnitt, sie können – unter Verwendung des jeweiligen achsialen Flächenträgheitsmomentes I – auch bei beliebigen Querschnittsformen angewendet werden. Einzige Bedingung ist jedoch, dass der Querschnitt in Form und Grösse entlang der gesamten gekröpten Schnapparmachse konstant ist.

Halten und Lösen – Selbsthemmung

Die FEM-Analyse des Lösevorgangs führte im untersuchten Parameterbereich durchwegs zu Selbsthemmung (Bild 6), so dass

Bild 5: Verlauf der Fügekraft über dem relativen Fügeweg bei unterschiedlichen Fügeprofilen, ermittelt mit der FEM

le Verhältnisse zeitigen würde. Dies bestätigte sich denn auch in einer Gegenüberstellung mit einem leicht konvex und einem leicht konkav gekrümmten Fügeprofil, bei denen höhere Fügekräfte erforderlich waren (Bild 5) und deutlich höhere Dehnungen hervorgerufen wurden.

Formelentwicklung – Fügekraft und Dehnung

Die bei der Auswertung der FEM-Resultate erkannten Gesetzmässigkeiten wurden möglichst akkurat in Formeln für die Berechnung der Fügekraft und der maximale Dehnung als primäre Auslegungskriterien umgesetzt, beides in Funktion der mass-

gebenden Parameter der L- und U-förmig gekröpten Schnapphaken. Diese Formelentwicklung basiert einerseits auf dem analytisch, z. B. mit dem Satz von Castigliano berechenbaren Zusammenhang zwischen der Auslenkkraft F_F und der daraus resultierenden Verformung f , wobei die Abweichungen von den idealen geometrischen Voraussetzungen durch Anpassungsterme berücksichtigt wurden. Andererseits wurden die FEM-Daten auch rein numerisch in Funktion der als massgebend erkannten Geometrieverhältnisse l_2/l_1 , r_3/l_1 und $l_2 \cdot r_3/l_1^2$ ausgewertet, um möglichst einfach handhabbare Formeln zu erhalten (Tab. 1 und 2). Letzteres Verhältnis ist, wie sich bei der Auswertung

L-förmiger Schnapphaken	
a) Geometrie:	
$l_F = l_1 + \frac{f}{\tan \alpha_1}$ (2.1)	$\varphi_1 \approx 0,85 \cdot \frac{f}{l_F}$ (2.2)
b) Fügekraft:	
$F_1 = F_F \cdot \eta_1 \cdot \left[1 - 0,69 \cdot \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{0,49}\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{r_3}{l_1}\right)^{0,43}\right] \left[1 + 5,15 \cdot \left(\frac{r_3 \cdot l_2}{l_1^2}\right)^{4,05}\right]$ (2.3)	
$F_F = 3 \cdot \frac{E \cdot I \cdot f}{l_F^3}$ (2.4)	
c) Grösste positive Dehnung im Übergangsbogen	
$\varepsilon_{max,0} = \frac{F_1 \cdot r_3}{E \cdot W_b} \cdot \left[1 + \frac{1}{\eta_1} \cdot \left(1 + \frac{l_F}{r_3}\right)\right]$ (2.5)	
d) Grösste positive Dehnung bei der Anbindung	
$\varepsilon_{max,A} = 1,47 \cdot \frac{f \cdot h}{(l_0 + r_3)^2} \cdot \left[1 - 0,59 \cdot \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{0,31}\right] \cdot \alpha_K$ (2.6)	

Tabelle 1: L-förmig gekröpter Schnapphaken: Berechnungsgleichungen

U-förmiger Schnapphaken	
a) Geometrie	
$l_F = l_1 + \frac{f}{\tan \alpha_1}$ (3.1)	$\varphi_1 \approx \frac{f}{l_F}$ (3.2)
b) Fügekraft:	
$F_1 = F_F \cdot \eta_1 \cdot \left[1 - 0,22 \cdot \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{0,47}\right] \cdot \left[1 - 0,94 \cdot \left(\frac{r_3}{l_1}\right)^{0,13}\right]$ (3.3)	
$F_F = 3 \cdot \frac{E \cdot I \cdot f}{l_F^3}$ (3.4)	
c) Grösste positive Dehnung im Übergangsbogen	
$\varepsilon_{max,0} = 0,9 \cdot \frac{f \cdot h}{(l_F + r_3)^2} \cdot \left[1 - 0,21 \cdot \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{0,29}\right] \cdot \left[1 - 0,46 \cdot \left(\frac{r_3}{l_1}\right)^{0,35}\right]$ (3.5)	
d) Grösste positive Dehnung bei der Anbindung	
$\varepsilon_{max,A} = \frac{F_1 \cdot r_3}{E \cdot W_b} \cdot \left(2 + \frac{1}{\eta_1} \cdot \frac{l_F - l_2}{r_3}\right) \cdot \alpha_K$ (3.6)	

Tabelle 2: U-förmig gekröpter Schnapphaken: Berechnungsgleichungen

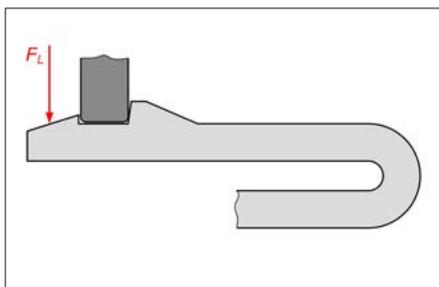


Bild 7: Indirektes Lösen der Schnappverbindung durch eine Lösekraft F_L auf ein geeignet gestaltetes Auslöseelement

für die Lösekraft F_f keine Formeln entwickelt werden konnten. Es ist davon auszugehen, dass bei realistischen Halte- bzw. Lösewinkeln α_2 in den meisten Fällen Selbsthemmung auftreten dürfte. Diese Selbsthemmung wird durch die Auslenkung f noch erhöht, weil dabei die Steilheit α_2 der Halte- bzw. Lösefläche um den Neigungswinkel φ_2 zunimmt. Die Komplexität dieser Zusammenhänge liess die Entwicklung einer Formel zur Bestimmung der Selbsthemmungsgrenze als wenig sinnvoll erscheinen.

Aus diesen Überlegungen folgt, dass ein gekröpfter Schnapphaken, der von aussen gegen das freie Ende wirkenden Kräften standzuhalten hat, in der Regel nicht reversibel lösbar gestaltet werden kann. Daher empfiehlt es sich, eine allfällig geforderte Lösbarkeit durch das Vorsehen geeignet gestalteter Auslöseelemente zu realisieren (Bild 7).

Maximale Beanspruchung

Die maximale Beanspruchung wird unter der Auslenkung f erreicht. Die dabei auftretenden Werte von Spannungen und Dehnung sind mitentscheidende Kriterien bei der Auslegung. Sie treten je nach Schnapphakenform und Abmessungsverhältnissen entweder am Übergangsbogen zwischen den beiden Schnapparm-Schenkeln oder bei der Anbindung auf, wo sie durch die Kerbwirkung noch überhöht werden [8].

Am U-förmigen Schnapphaken traten bei allen Parametervariationen die grössten Dehnungswerte unabhängig von den Verhältnissen l_2/l_1 und r_3/l_1 am Übergangsbogen auf, und zwar auf der Aussenseite; das massgebende Biegemoment M_b wirkt in jenem Punkt der Achse mit dem grössten Abstand $l_f + r_3$ von der Auslenkkraft F . Die hier vorhandene Krümmung beein-

flusst die lokalen Spannungs- und Dehnungswerte. Dagegen erwies sich beim L-förmigen Schnapphaken die Anbindung an das Formteil als kritisch. Es wäre aber problematisch, diese Feststellung als allgemeingültig zu erklären. Bei der Bestimmung der Extremwerte ist es daher ratsam, die Spannungen und die Dehnungen – mit Berücksichtigung der Kerbwirkung – an beiden Orten zu berechnen und zu vergleichen.

Die maximale Dehnung ist rein geometrisch bestimmt und wird nach der Bedingung

$$\epsilon_{max} \leq \epsilon_{zul} = \epsilon_G \cdot \frac{C}{S} \quad (4)$$

durch den Dehnungsgrenzwert ϵ_G , den Einflussfaktor C und die Sicherheit S begrenzt [7]. Da, wie die FEM-Analysen bestätigten, an den relevanten Stellen der Spannungszustand praktisch einachsiger ist, können die Grösstwerte von Spannungen und Dehnungen anhand des Kurzzeit-Elastizitätsmoduls E mit dem einfachen Hookeschen Gesetz

$$\sigma_{max} = E \cdot \epsilon_{max} \quad (5)$$

ineinander umgerechnet werden. Diese Werte lassen sich auch aus dem lokal wirkenden Biegemoment M_b bestimmen gemäss

$$\epsilon_{max} = \frac{\sigma_{max}}{E} = \alpha_K \cdot \frac{M_b}{E \cdot W_b} \quad (6)$$

mit W_b als achsialem Widerstandsmoment des Querschnitts und $\alpha_K \geq 1$ als Formzahl für eine allfällige Dehnungs- bzw. Spannungsüberhöhung.

Kerbwirkung bei der Anbindung

Die Anbindung der Schnapphaken an das Formteil ist auch bei gekröpften Schnapphaken eine kritische Stelle. Dies nicht nur dadurch, dass hier das wirkende Biegemoment ein Maximum haben kann, sondern vor allem wegen dem sprunghaften Übergang zwischen den beiden Querschnitten und der damit verbundenen Kerbwirkung. Die resultierende Überhöhung von Spannung und Dehnung mit $\alpha_K \geq 1$ ist umgekehrt proportional zum Rundungsradius r ; ein zu kleiner Radius würde sehr hohe Spannungen und Dehnungen und so das Versagen des Bauteils bewirken. Eine ausreichende Ausrundung des Übergangs ist damit unverzichtbar. Andererseits darf der Radius nicht zu gross gewählt werden, damit die lokalen Masseanhäufungen und die Steifigkeitszunahme begrenzt bleiben. Die Berechnung der maximalen Spannungen und Dehnungen bei der Anbindung kann auch bei gekröpften Schnapphaken auf dieselben Formzahlen α_K abstellen, die für gerade Schnapphaken ermittelt wurden [8]. Diese Formzahlen sind als Verhältnis der Maximalwerte zu den Nennwerten der Spannungen bzw. Dehnungen definiert; sie erreichten in der vorliegenden Untersuchung Werte bis 1,9. Diese Kerbwirkung könnte durch einen elliptischen Verlauf der Ausrundung anstelle eines Kreisbogens noch merklich reduziert werden [9].

Bei beiden Grundtypen von Anbindungen (Bild 8) ergab sich mit einer Standardabweichung von 5,5 bis maximal 8,6% aus je fünf Parametervariationen eine akzeptable Übereinstimmung zwischen den

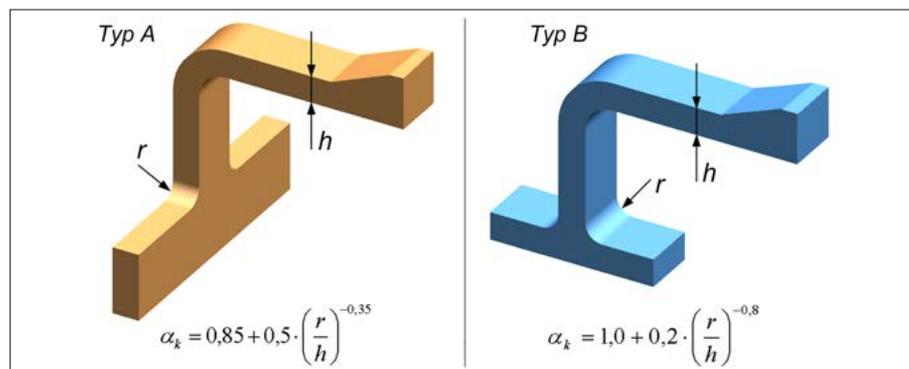


Bild 8: Anbindung der Schnapphaken: Grundtypen A und B mit zugehöriger Formzahl α_K zur Erfassung der Kerbwirkung [8]

h : Höhe des Schnapparm-Querschnitts
 r : Rundungsradius

Formelwerten und den FEM-Resultaten, und zwar unabhängig davon, ob sie auf die Maximalwerte von Spannungen oder Dehnungen angewendet werden.

Schlussbetrachtung

Die hier vorgestellten Ergebnisse vervollständigen die Auslegungsgrundlagen für gekröpfte Schnapphaken. Sie gelten für L- und für U-förmige Geometrien mit überall gleichem, rechteckigem Querschnitt. Bei Abweichungen davon können sie für Referenzrechnungen beigezogen werden. Die zu erwartende Genauigkeit der Rechenresultate hängt weniger von den getroffenen Voraussetzungen und Idealisierungen hinsichtlich Geometrie und Materialverhalten ab, sie wird – wie übrigens auch bei FEM-Analysen – hauptsächlich durch die Wahl der einzusetzenden Werte von Elastizitätsmodul und Haftreibungszahl bzw. deren Unschärfen bestimmt. Dieser Umstand darf aber kein Grund sein, auf Berechnungen zu verzichten, vor allem wenn es um Varian-

tenvergleiche geht. Letztlich bleibt noch immer die Bestätigung der Funktionsfähigkeit in Tests und Praxisanwendung.

Literatur

- [1] Niederhöfer, K.-H.: Konstruieren mit Kunststoffen. Verlag TÜV Rheinland Köln, 1989, S. 107
- [2] Bonenberger, P. R.: The First Snap-Fit Handbook, 3rd Ed.. Carl Hanser Verlag München, 2016
- [3] Rotheiser, J.: Joining of Plastics. 3rd Ed., Carl Hanser Verlag München, 2009
- [4] N.N.: Snaps. Berechnung von Schnappverbindungen. Download Berechnungsprogramm, Version 6.0.7, BASF AG Ludwigshafen, 2006
www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/portal/show/common/content/technical_resources/calculation_programmes
- [5] N.N.: IFP Snap-Fit Design Tools. Online-Berechnungsprogramm, Version 2.1w, Rensselaer Polytechnic Institute Troy/NY USA, 1999
www.rpi.edu/dept/mane/deptweb/student/snapfit/index2.htm
- [6] Kunz, J., Frei, R.: Gekröpfte Schnapphaken und ihre Auslegung. SwissPlastics 32(2010)7–8, S. 18–10, 22

[7] Kunz, J.: Ein Plädoyer für die dehnungsbezogene Auslegung. Kunststoffe 101(2011)4, S. 50–54

[8] Kunz, J., Studer, M.: Die Kerbwirkung bei der Anbindung von Schnapphaken. Kunststoffe 97(2007)7, S. 46–51

[9] Pilkey, W. D., Pilkey, D. F.: Peterson's Stress Concentration Factors. 3rd Ed., John Wiley & Sons Hoboken, N.J. USA, 2008

Dank

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts «Konstruieren mit Kunststoffen». Für dessen Förderung danken die Verfasser dem Forschungsfonds der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

Kontakt

IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung an der HSR
Oberseestrasse 10
CH-8640 Rapperswil
Telefon +41 (0)55 222 47 70
jkunz@hsr.ch
www.iwk.hsr.ch