

Füge- und Verbindungstechnik für Kunststoffkonstruktionen

Konstruktive Optimierung von Kugel-Schnappverbindungen

Einfache konstruktiv-geometrische Modifikationen der Öffnungsgeometrie von Kugel-Schnappverbindungen, wie die zylindrische Verlängerung oder die Rundung der Öffnung der Aussenkugel mit einem Radius, führen zu einem wesentlich günstigeren Verhältnis zwischen Löse- und Fügekraft. Auch die hohen Druckspannungen in der Kontaktzone zwischen Aussen- und Innenkugel lassen sich damit deutlich senken.

Umfangreiche Untersuchungen an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil zeigen, dass durch geeignete Detailgestaltung der Öffnungsgeometrie das Füge- und Löseverhalten von Kugel-Schnappverbindungen günstig beeinflusst werden kann. Als Optimierungsparameter bieten sich entweder die zylindrische Verlängerung oder die Rundung der Öffnung der Aussenkugel mit einem Radius an. Ein ausreichender Rundungsradius senkt den Kontaktdruck markant und beeinflusst das Verhältnis von Lösekraft zu Fügekraft günstig. Eine zylindrische Verlängerung steigert die Lösekraft absolut und im Verhältnis zur Fügekraft.

Problemstellung

Das Füge- und das Löseverhalten von Kugel-Schnappverbindungen (Abb. 1), wie sie vorzugsweise für schnappbare Verbindungen mit teilweiser Be-

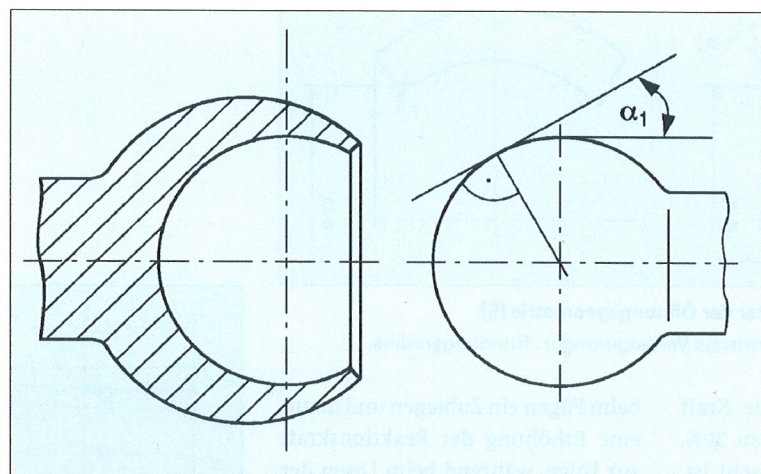


Abb. 2: Kugel-Schnappverbindung mit üblicher scharfkantiger Öffnungsgeometrie der Aussenkugel [3].

weglichkeit Anwendung finden [1], werden wesentlich durch die Öffnungsgeometrie der Aussenkugel bestimmt, also durch die Durchmesser-Verhältnisse, die allfällige Exzentrizität

und nicht zuletzt auch die Detailgestaltung der Öffnungsgeometrie. Dies gilt speziell für die auftretenden Kräfte und die Pressung in der Kontaktzone zwischen Aussen- und Innenkugel.

Kugel-Schnappverbindungen werden in der Literatur [2–4] in der Regel mit einer Kante an der Öffnung der Aussenkugel dargestellt (Abb. 2). Eine solche Kante in der Kontaktzone zwischen Aussen- und Innenkugel hat aber extreme Druckspannungen zur Folge, die zu bleibenden Verformungen und damit zu wenig kontrollierbaren Kräften für das Fügen und das Lösen bzw. Halten der Verbindung führen.

Im Gegensatz zu bisher verfügbaren Berechnungsansätzen zeigen eingehende Untersuchungen [5], dass die Löse- bzw. Haltekraft einer Kugel-Schnappverbindung ohne konstruktive Optimierung der Öffnungsgeometrie wesentlich gerin-

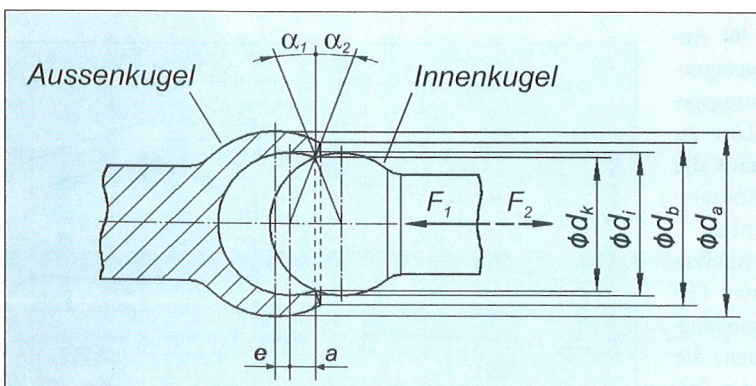


Abb. 1: Aussen- und Innenkugel mit Geometrie- und Kraftgrößen:

F_1 : Fügekraft [N]; F_2 : Halte- bzw. Lösekraft [N]; a : mitttragende Breite [mm]; e : Exzentrizität [mm]; d_a : Aussendurchmesser [mm]; d_i : Innendurchmesser [mm]; d_b : Aussendurchmesser an der Öffnung [mm]; d_k : Öffnungsdurchmesser [mm]; α_1 : Anfänglicher Füge- bzw. Löse- bzw. Haltewinkel [rad] bzw. [°]; α_2 : Anfänglicher Löse- bzw. Haltewinkel [rad] bzw. [°].

Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz, Professor für Technische Mechanik und Kunststoffkonstruktion an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im NDS Kunststofftechnik an der FH Aargau.

Dipl.-Ing. Dejan Lukic, wissenschaftlicher Mitarbeiter für Kunststoffkonstruktion an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

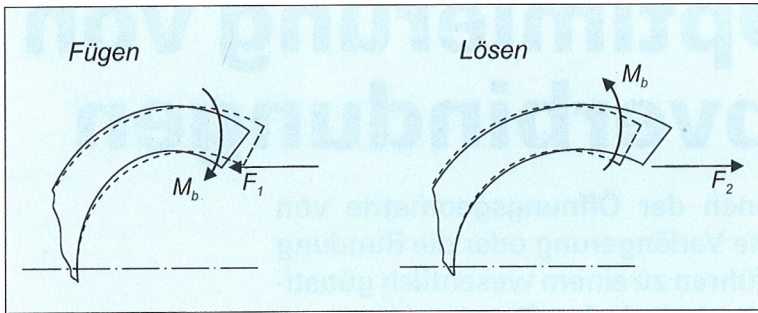


Abb. 3: Zubiegende Wirkung der Fügekraft und aufbiegende Wirkung der Lösekraft (schematisch) [5].

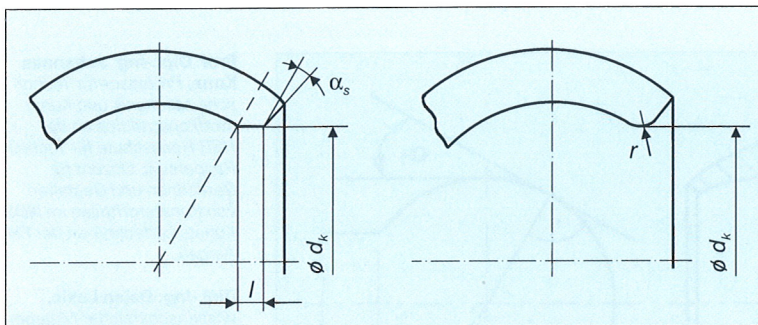


Abb. 4: Optimierungsparameter der Öffnungsgeometrie [5]: α_s : Schrägungswinkel; l : zylindrische Verlängerung; r : Rundungsradius.

ger ist als die erforderliche Kraft zum Fügen, und zwar bis zu 30%, was natürlich nicht erwünscht ist. Zwischen der Lösekraft F_2 und der Fügekraft F_1 besteht ein Zusammenhang [6] gemäss

$$F_2 \approx (0,92 - 4,1 \cdot \varepsilon) \cdot F_1 \quad (1)$$

mit der Dehnung

$$\varepsilon = \frac{d_1 - d_k}{d_k} \quad (2)$$

bei der maximalen Aufweitung.

Eine mögliche Erklärung für diese unerwünschte Tatsache ist die Wirkung der jeweiligen reibungsabhängigen achsialen Kraftkomponente an der Fügekante. Ihr Biegemoment auf die Aussenkugel hat

beim Fügen ein Zubiegen und damit eine Erhöhung der Reaktionskraft zur Folge, während beim Lösen der umgekehrte Effekt eintritt (Abb. 3). Für das einwandfreie Funktionieren einer Schnappverbindung ist jedoch die Kraft massgebend, die sie halten kann bzw. die für das Lösen erforderlich ist. Beim Auslegen einer Kugel-Schnappverbindung sollte einerseits nebst der Fügekraft vor allem auch die Lösekraft nach (1) verlässlich abgeschätzt werden, wozu neuerdings ein realitätsnahes Berechnungsmodell verfügbar ist [6]. Andererseits können durch eine geeignete Detailgestaltung der Öffnungsgeometrie das Verhältnis von Löse- zu Fügekraft und darüber hinaus die Druckverhältnisse in der Kontaktzone günstig beeinflusst werden.

In einer vergleichenden Analyse unter Verwendung der Finiten Elemente Methode (FEM) sind die Möglichkeiten untersucht worden, die sich für eine Optimierung der Öffnungsgeometrie anbieten. Diese Untersuchung orientiert sich an zwei konkreten Zielen:

- Reduktion der Druck- bzw. Vergleichsspannung in der Kontaktzone.

- Reduktion der Fügekraft im Vergleich zur Lösekraft, d.h. Verbesserung des Verhältnisses F_2/F_1 .

Als Optimierungsparameter stehen der Schrägungswinkel, eine zylindrische Verlängerung und ein Rundungsradius im Vordergrund (Abb. 4). Der Öffnungsdurchmesser d_k wird dabei durchwegs konstant gehalten.

Schrägungswinkel

Vergleichsbasis dieser Untersuchung ist ein mit dem anfänglichen Fügewinkel α_1 übereinstimmender Schrägungswinkel α_s . Bei der Vergrösserung dieses Schrägungswinkels ist davon auszugehen, dass der Druck und damit auch die Vergleichsspannung in der Kontaktzone abnehmen. Umgekehrt wird damit gleichzeitig die

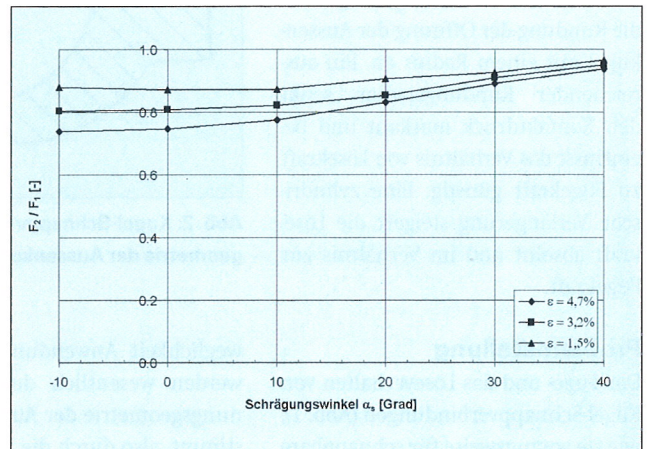


Abb. 5: Verhältnis Löse- zu Fügekraft in Funktion des Schrägungswinkels [5].

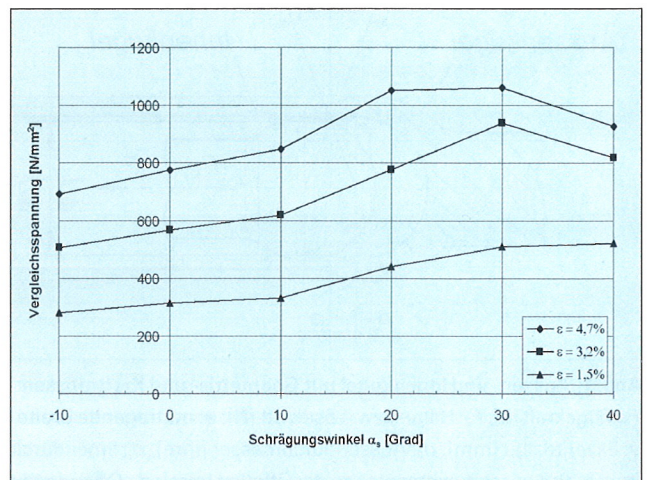


Abb. 6: Maximale Vergleichsspannung nach von Mises in der Kontaktzone in Funktion des Schrägungswinkels [5].

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.

Steifigkeit der Aussenkugel erhöht, was gegenüber der Druckreduktion überwiegt und sogar zu höheren Füge- und Lösekräften führt.

Es zeigt sich, dass mit zunehmendem Schrägungswinkel der Unterschied zwischen den Grössen von Löse- und Fügekraft unabhängig von der Dehnung mehr und mehr abnimmt (Abb. 5). Schrägungswinkel von mehr als 20° dürften zwar unrealistisch sein, doch legen die aus ihnen resultierenden Ergebnisse den Gedanken nahe, die Öffnung der Aussenkugel direkt mit einer zylindrischen Verlängerung zu versehen.

Der Einfluss des Schrägungswinkels auf die maximale Vergleichsspannung ist erwartungsgemäss nicht einheitlich. Insgesamt scheint die Zunahme der Steifigkeit die reduzierende Wirkung des grösseren Winkels auf den Druck mehr als zu kompensieren, insbesondere bei grösseren Dehnungen (Abb. 6). Damit dürfte diese konstruktive Massnahme als wenig wirksam eher in den Hintergrund treten.

Zylindrische Verlängerung

Die zylindrische Verlängerung (Abb. 4) ist so gestaltet, dass – unabhängig von ihrer Länge l – der Schrägungswinkel der Öffnung unverändert bleibt, d.h. dem anfänglichen Fügewinkel α_1 entspricht.

Als Folge dieser zylindrischen Verlängerung stellen sich oberhalb

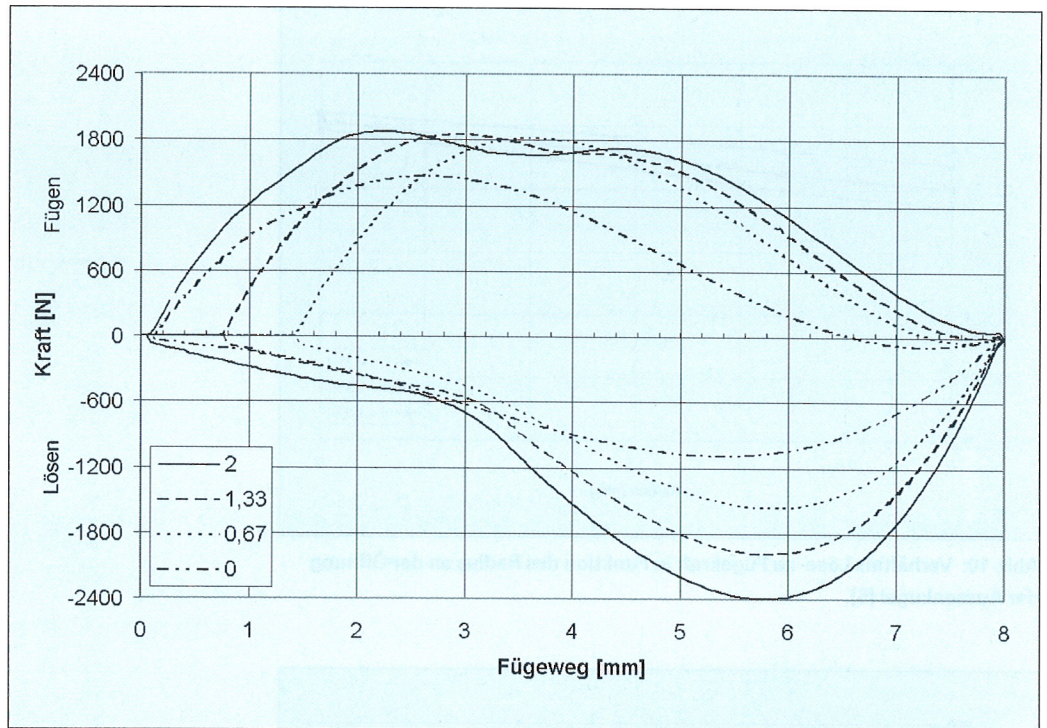


Abb. 7: Kraftverläufe beim Fügen und Lösen einer Kugel-Schnappverbindung mit einer Dehnung von 4,7% und unterschiedlichen zylindrischen Verlängerungen [5] (Fügevorgang von links nach rechts).

eines bestimmten Mindestwertes markante Abweichungen vom typischen Kraftverlauf beim Fügen und Lösen der Verbindung ein, da die Kontaktstelle von der einen Kante an der Öffnung der Aussenkugel entlang der zylindrischen Verlängerung zur anderen Kante verschoben wird (Abb. 7). Mit zunehmender Länge l steigt das Verhältnis von Löse- zu Fügekraft stetig an, und ab einer bestimmten dehnungsabhängigen

Grösse von l wird die Fügekraft F_1 sogar kleiner als die Lösekraft F_2 (Abb. 8). Bei den untersuchten Grössenverhältnissen mit einem Öffnungsdurchmesser d_k im Bereich von 19,1 bis 19,7 mm genügt hierfür je nach Dehnung bereits eine Länge $l \approx 0,5 \div 1,2$ mm.

Die zylindrische Verlängerung der Öffnungspartie hat auf die maximale Vergleichsspannung in der Kontaktzone zwar nur einen gering-

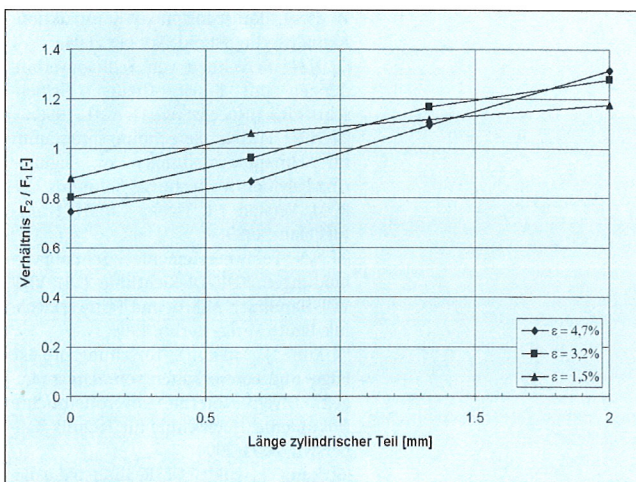


Abb. 8: Verhältnis Löse- zu Fügekraft in Funktion der zylindrischen Verlängerung [5].

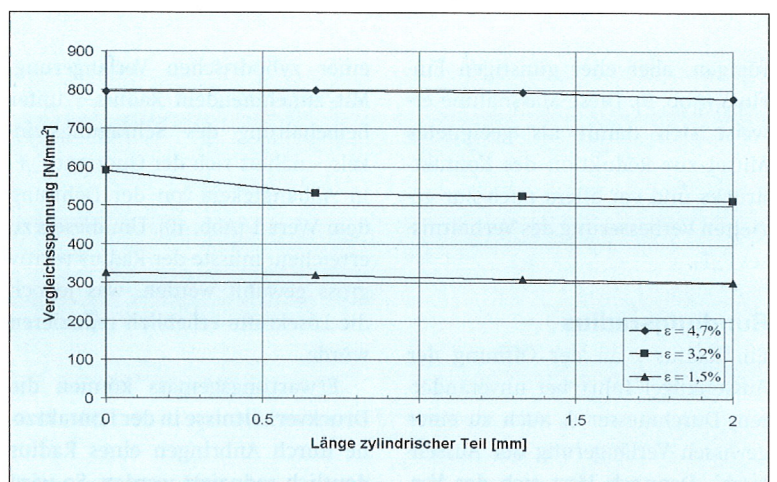


Abb. 9: Maximale Vergleichsspannung nach von Mises in der Kontaktzone in Funktion der zylindrischen Verlängerung [5].

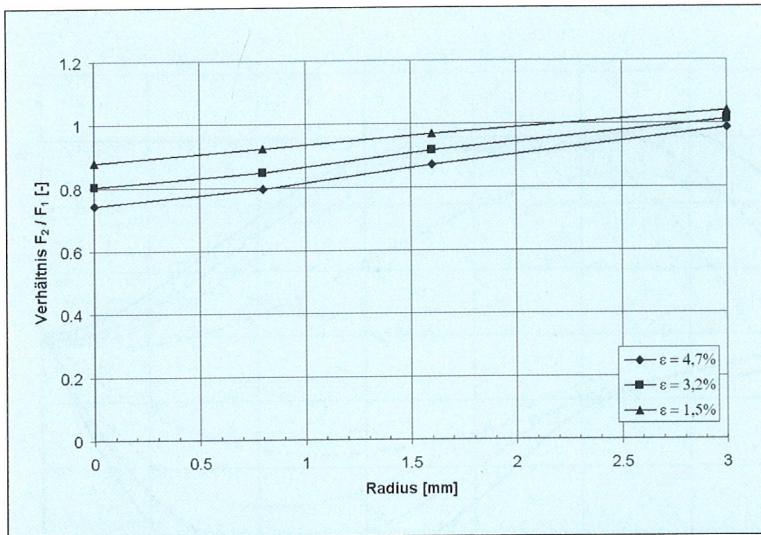


Abb. 10: Verhältnis Löse- zu Fügekraft in Funktion des Radius an der Öffnung der Aussenkugel [5].

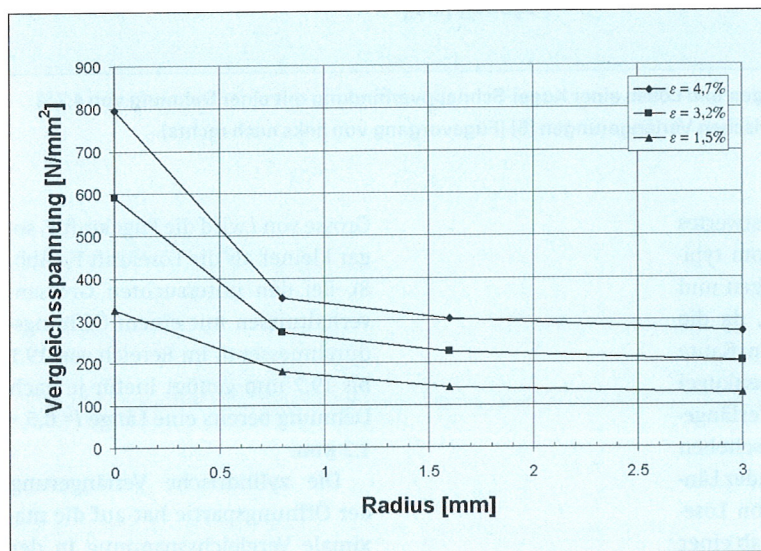


Abb. 11: Maximale Vergleichsspannung nach von Mises in der Kontaktzone in Funktion des Radius [5].

fügen, aber eher günstigen Einfluss (Abb. 9). Diese Massnahme erweist sich damit als geeignetes Mittel zur Reduktion des Kontaktdrucks und vor allem auch zur gezielten Verbesserung des Verhältnisses F_2/F_1 .

Rundungsradius

Ein Radius r an der Öffnung der Aussenkugel führt bei unverändertem Durchmesser d_k auch zu einer gewissen Verlängerung der Aussenkugel. Dennoch lässt sich das Verhältnis von Löse- zu Fügekraft nicht im selben Masse beeinflussen wie bei

einer zylindrischen Verlängerung. Mit zunehmendem Radius – unter Beibehaltung des Schrägungswinkels – nähert sich der Quotient F_2/F_1 in Abhängigkeit von der Dehnung dem Wert 1 (Abb. 10). Um diesen zu erreichen, müsste der Radius relativ gross gewählt werden, was jedoch die Lösekräfte erheblich reduzieren würde.

Erwartungsgemäss können die Druckverhältnisse in der Kontaktzone durch Anbringen eines Radius deutlich reduziert werden. So wird die maximale Vergleichsspannung nach von Mises durch einen Radius

vernünftiger Grösse praktisch halbiert (Abb. 11).

Folgerungen

Für die Optimierung einer Kugel-Schnappverbindung empfiehlt es sich also, die Öffnungsgeometrie der Aussenkugel im Detail sehr sorgfältig zu gestalten. Als erste Massnahme dürfte wohl das Anbringen eines angemessenen Rundungsradius im Vordergrund stehen, womit nicht nur der lokale Druck markant gesenkt werden kann, sondern auch das Verhältnis von Löse- zu Fügekraft günstig beeinflusst wird. Beim untersuchten Grössenbereich der Schnappverbindungen genügt ein Radius von etwa $1,0 \div 1,5$ mm, was etwa $5 \div 7,5\%$ des Öffnungsdurchmessers d_k entspricht.

Wenn es darum geht, die Lösekraft gegenüber der Fügekraft deutlich zu erhöhen, ist die zylindrische Verlängerung die Massnahme der Wahl. Die erforderliche Länge dieser zylindrischen Partie bewegt sich bei den untersuchten Schnappverbindungen im Bereich von $1,0 \div 2,0$ mm, was etwa $5 \div 10\%$ des Öffnungsdurchmessers entspricht. Selbstverständlich können die Konturen der zylindrischen Verlängerung ebenfalls mit Radien gerundet werden, wodurch der lokale Druck in der Kontaktzone noch etwas reduziert werden kann.

Literatur:

- [1] Kunz J.: Schnappverbindungen. In: Kunz, J., Michaeli, W., Herrlich, N., Land, W. (Hrsg.): Kunststoffpraxis: Konstruktion, Aktualisierungsstand Oktober 2004.
- [2] N.N.: Berechnen von Schnappverbindungen mit Kunststoffteilen. Firmenschrift B.3.1 Hoechst AG, 11. Aufl., 1996.
- [3] N.N.: FitCalc. Berechnungsprogramm für Schnappverbindungen. In: Engineering Polymers for Technical Solutions. CD-ROM, Version 1.1. Ticona GmbH, Frankfurt/Main, 1999.
- [4] N.N.: Feinwerkzeugelemente – Schnappverbindungen. VDI/VDE-Richtlinie 2251. VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik. Beuth Verlag Berlin, 1998.
- [5] Kunz, J., Lukic, D.: Forschungsprojekt Füge- und Löseverhalten von Schnappkugeln. Diverse interne, unveröffentlichte Dokumente. Hochschule für Technik Rapperswil, 2002-2004.
- [6] Kunz, J., Lukic, D.: Realitätsnahe Berechnung von Kugel-Schnappverbindungen. Kunststoffe-Synthetics 51 (2004) 12, S. 15-18.