

SCHNAPPHAKENKRÄFTE MIT NEUEM ANSATZ GENAUER BERECHNEN

Beim Fügen und beim Halten ist der Einfluss der Hakenneigung auf die Füge- und die Haltekraft erheblich. Die Praxis zeigt, dass insbesondere die Haltekraft nach bisheriger Berechnung überschätzt wird. Der Autor stellt im Folgenden ein neues Rechenmodell vor, das die Hakenneigung mit einem korrigierten Umsetzungsfaktor miteinbezieht.

Mit einem verbesserten, aber gleichwohl einfachen Rechenmodell für Schnapphaken ergeben sich wesentlich realistischere Werte für die Füge- und die Haltekraft als bisher. Die Verbesserung besteht darin, dass der Einfluss der Hakenverformung auf die Kraftumsetzung mit berücksichtigt wird. Die Abweichungen nach herkömmlicher Berechnungsart können je nach Geometrie und Reibungsverhältnissen erheblich sein. Dies zeigt eine eingehendere Analyse der Vorgänge Fügen und Lösen.

Kritisch betrachteter Schnappvorgang

Beim Fügen eines Schnapphakens (Abb. 1) wird die erforderliche achsiale Fügekraft F_1 auf der schiefen Ebene α_1 unter Überwindung der Haftreibung in die Querkraft F umgesetzt, die den Haken für das Einrasten um den Federweg f auslenkt. Analog ist für das Lösen die achsiale Lösekraft F_2 aufzubringen. Diese gilt auch als Haltekraft, d.h. Höchst-

kraft, welche die Schnappverbindung gerade noch zu halten vermag. Bei hinreichend grossem Winkel α_2 tritt Selbsthemmung auf, und die Schnappverbindung ist unter der achsialen Kraft F_2 unlösbar. Der Zusammenhang zwischen diesen Kräften wird in der einschlägigen Literatur [1 bis 5] inhaltlich übereinstimmend mit

$$F_{1,2} = \frac{\mu_0 + \tan \alpha_{1,2}}{1 - \mu_0 \cdot \tan \alpha_{1,2}} \cdot F = \eta_{1,2} \cdot F \quad [\text{N}] \quad (1)$$

angegeben. Darin ist $\eta_{1,2}$ der Umsetzungsfaktor mit der Haftreibungszahl μ_0 zwischen den Fügepartnern. Für die Füge- und Haltewinkel α_1 bzw. α_2 werden dabei die Werte des unverformten Schnapphakens eingesetzt. Auch die bekannten Rechenprogramme für die Auslegung von Schnappverbindungen [6, 7] basieren auf dieser Modellvorstellung. Mit der Vernachlässigung der Verformung werden indessen die Füge-

kraft F_1 meist unter- und die Haltekraft F_2 stets massiv überschätzt. Die entstehende Differenz hängt von Hakengeometrie und Reibungsverhältnissen ab und kann ganz beträchtliche Werte annehmen, wie das Beispiel weiter unten zeigt. Vor allem die Überschätzung der Haltekraft legt es nahe, ein Rechenmodell aufzustellen, das die Hakenverfor-

Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz, ist Professor für Technische Mechanik und Kunststoffkonstruktion an der Hochschule Rapperswil seit 1974; Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im NDS Kunststofftechnik an der FH Aargau seit 1976; Mitherausgeber der Loseblatt-Nachschlagewerke «Kunststoffpraxis: Eigenschaften» und «Kunststoffpraxis: Konstruktion».

mung bei der Kraftumsetzung berücksichtigt und somit genauere Kräfte liefert.

Verformung im Rechenmodell berücksichtigen

Der Schnapphaken ist im wesentlichen ein einseitig eingespannter Balken unter Einzellast F (Abb. 2). Die Biegetheorie liefert für den Balken mit konstantem Querschnitt [8] die Durchbiegung

$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

und die Neigung der Balkenachse am Kraftangriffspunkt

$$\varphi \approx \tan \varphi = \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot EI} \quad [\text{rad}] \quad (3)$$

EI ist darin die Biegesteifigkeit mit dem Elastizitätsmodul E und dem achsialen Flächenträgheitsmoment I

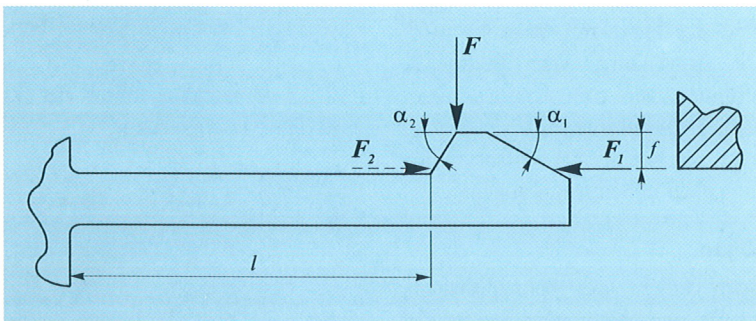


Abb. 1: Schnapphaken: Geometrie und Kräfte.

F : Querkraft
 f : Federweg
 F_1 : Fügekraft
 α_1 : Fügewinkel
 F_2 : Halte- bzw. Lösekraft
 α_2 : Halte- bzw. Lösewinkel

für die Biegeachse. Die Annäherung der Winkelfunktion $\tan \varphi$ durch den Winkel φ ergibt bekanntlich bis gegen 10 Grad eine Abweichung von rund 1 Prozent, was hier durchaus tolerierbar ist. Die Verknüpfung von (2) und (3) führt zum Zusammenhang

$$\varphi = \frac{3}{2} \cdot \frac{f}{l} = 1,5 \cdot \frac{f}{l} \quad [\text{rad}] \quad (4)$$

Dieses Resultat gilt für konstanten Querschnitt über die ganze Länge l des Balkens. Für beanspruchungsgerechtere Querschnittsverläufe mit dem grössten Querschnitt bei der Einspannung lässt es sich verallgemeinern zu

$$\varphi = c \cdot \frac{f}{l} \quad [\text{rad}] \quad (5)$$

Hier ist c ein vom Querschnittsverlauf abhängiger Zahlenfaktor. Er kann für nicht zu komplizierte Querschnittsverläufe wie beispielsweise lineare Verjüngung der Breite b oder der Höhe h analytisch berechnet werden (Tab. 1).

Der Neigungswinkel φ der Balkenachse am Kraftangriffspunkt verhält sich somit proportional zur Durchbiegung f und umgekehrt proportional zur Balkenlänge l. Um diesen

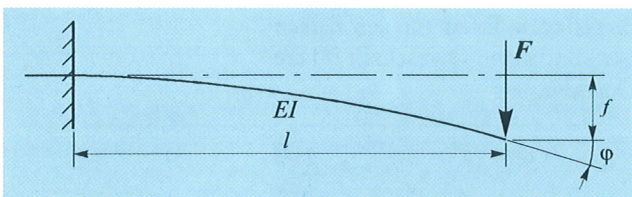


Abb. 2: Einseitig eingespannter Träger unter Querkraft F mit Durchbiegung f und Achsneigung φ .

Winkel neigen sich bei der Auslenkung f unter der Kraft F auch die schiefen Ebenen α_1 und α_2 am Haken, was sich auf die Kraftumsetzung (1) spürbar auswirkt. Somit besteht die erste Verbesserung des Rechenmodells darin, bei der Berechnung der Füge- und der Haltekraft dem Umsetzungsfaktor nicht die Winkel α_1 und α_2 zugrunde zu legen, sondern die um die Neigungswinkel φ_1 und φ_2 korrigierten Winkel α_1' und α_2' . Eine zweite Verbesserung ergibt sich, wenn in den Beziehungen (2) bis (5)

Querschnittsverlauf	Durchbiegung f [mm]	Achsneigung φ [rad]	Faktor c [-]
 $h = \text{konst.}$ $b = \text{konst.}$	$\frac{Fl^3}{3EI}$	$\frac{Fl^2}{2EI}$	1,5
 $h = \text{konst.}$ $b_B = \frac{b_A}{2}$	$\frac{Fl^3}{2,59EI_A}$	$\frac{Fl^2}{1,63EI_A}$	1,59
 $h = \text{konst.}$ $b_B = \frac{b_A}{4}$	$\frac{Fl^3}{2,34EI_A}$	$\frac{Fl^2}{1,39EI_A}$	1,68
 $h_B = \frac{h_A}{2}$ $b = \text{konst.}$	$\frac{Fl^3}{1,83EI_A}$	$\frac{Fl^2}{EI_A}$	1,83
 $h_B = \frac{h_A}{4}$ $b = \text{konst.}$	$\frac{Fl^3}{1,19EI_A}$	$\frac{Fl^2}{0,5EI_A}$	2,38

Tab. 1: Durchbiegung f, Achsneigung φ und Faktor c für Schnapphaken mit unterschiedlichen linearen Querschnittsverläufen.

nicht die Länge l von Abb. 1 eingesetzt wird, sondern der jeweils wirkliche Abstand l_1 bzw. l_2 der Kraft F vom Einspannquerschnitt.

Damit bedient sich auch das verbesserte Rechenmodell der Biegetheorie 1. Ordnung. Mit etwelchem Aufwand liesse sich im Rechenmodell auch noch der Einfluss jener Biegemomente berücksichtigen, die von der Füge- bzw. der Haltekraft ausgeübt wird. Die Anwendung einer Theorie 2. Ordnung, die vom Kräftegleichgewicht am verformten Körper ausgeht, wird zugunsten einer einfachen Lösung nicht in Betracht gezogen.

Fügen

Beim Fügen des Schnapphakens wächst der Neigungswinkel φ und damit auch die achsial aufzubringende Fügekraft F_1 mit zunehmender Auslenkung des Hakens. Die Höchstwerte werden unmittelbar vor dem Ende der schiefen Ebene α_1 erreicht (Abb. 3a). In dieser Position wirkt F als Querkraft F_F beim

Fügen im Abstand l_1 von der Einspannung. Die Achse ist nun um den Winkel φ_1 geneigt. Für die Kraftumsetzung in dieser Position ergibt sich als resultierender Winkel der schiefen Ebene

$$\alpha_1' = \alpha_1 + \varphi_1 = \alpha_1 + c \cdot \frac{f}{l_1} \quad [\text{rad}] \quad (6)$$

und der Umsetzungsfaktor aus (1) wird damit korrigiert zu

$$\eta_1' = \frac{\mu_0 + \tan \alpha_1'}{1 - \mu_0 \cdot \tan \alpha_1'} = \frac{\mu_0 + \tan(\alpha_1 + \varphi_1)}{1 - \mu_0 \cdot \tan(\alpha_1 + \varphi_1)} \quad [\text{rad}] \quad (7)$$

Die höhere Biegesteifigkeit des Hakenkopfes ist dabei unerheblich, da dieser Bereich der Länge l_1 praktisch

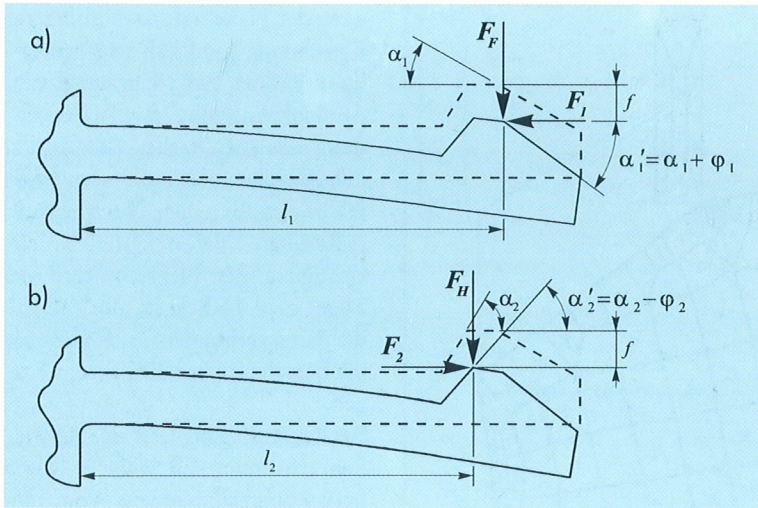


Abb. 3: Schnapphaken im verformten Zustand.
 a: Position des Hakens bei maximaler Fügekraft F_1
 b: Position des Hakens bei maximaler Haltekraft F_2

krümmungsfrei ist. Infolge Zunahme des Winkels α_1 auf α_1' nehmen auch der Umsetzungsfaktor η_1 und die Fügekraft F_1 zu.

Halten und Lösen

Der Hinterschnitt des Hakens verleiht diesem die Fähigkeit, eine achsiale Haltekraft F_2 aufzunehmen. Diese ist zu überwinden, wenn die Schnappverbindung achsial lösbar sein soll. Ihren Höchstwert erreicht die Haltekraft unmittelbar vor dem oberen Ende der schiefen Ebene α_2 (Abb. 3b) unter der Querkraft F_{FH} . In dieser Position ist l_2 der wirksame Abstand von der Einspannung, und die Neigung der Achse beträgt φ_2 . Daraus folgt für den resultierenden Winkel der schiefen Ebene

$$\alpha_2' = \alpha_2 - \varphi_2 = \alpha_2 - c \cdot \frac{f}{l_2} \quad [\text{rad}] \quad (8)$$

und für den korrigierten Umsetzungsfaktor

$$\eta_2' = \frac{\mu_0 + \tan \alpha_2'}{1 - \mu_0 \cdot \tan \alpha_2'} = \frac{\mu_0 + \tan(\alpha_2 - \varphi_2)}{1 - \mu_0 \cdot \tan(\alpha_2 - \varphi_2)} \quad [\text{rad}] \quad (9)$$

Da die Neigung der schiefen Ebene von α_2 auf α_2' abnimmt, nehmen auch der Umsetzungsfaktor η_2 und die Fügekraft F_2 entsprechend ab.

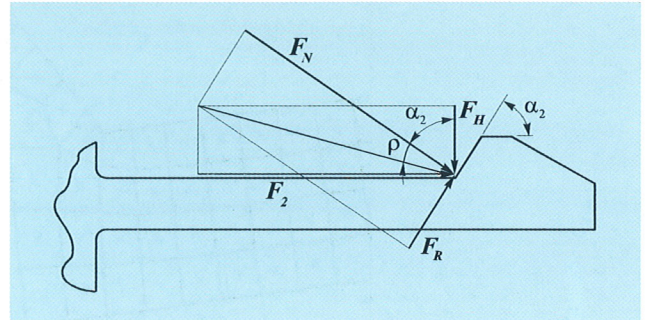
Selbsthemmung macht Verbindung unlösbar

Die Schnappverbindung wird achsial unlösbar, wenn Selbsthemmung auftritt, d.h. wenn der Umsetzungsfaktor η_1 aus (1) unendlich gross wird. Zu beachten ist, dass in diesem Fall der Winkel α_2 des unverformten Schnapphakens eingesetzt werden muss (Abb. 4), da bei Selbsthemmung eine Auslenkung verunmöglicht wird. Somit gilt für die achsial unlösbar Verbindung die Bedingung

$$\alpha_2 \geq \arctan\left(\frac{1}{\mu_0}\right) \quad [\text{rad}] \quad (10)$$

Ein 90°-Winkel ist also hierfür nicht zwingend erforderlich, verschafft aber eine zusätzliche Sicherheit. Die achsial unlösbar Schnapphakenverbindung kann aber lösbar konzipiert werden, indem die Auslenkung nicht über die achsiale Kraft F_2 aufgezungen wird, sondern direkt durch eine quer dazu wirkende Kraft F , beispielsweise aufgebracht durch Fingerdruck oder ein passendes

Werkzeug. Soll umgekehrt die Verbindung durch die achsiale Kraft F_2 gelöst werden können, muss α_2 kleiner als die rechte Seite von (10) sein.



Am Beispiel zeigt sich der Unterschied

Gegeben ist ein achsial lösbarer Schnapphaken von der Länge $l = 12,0$ mm und dem konstanten Rechteckquerschnitt $b = 4,0$ mm und $h = 2,0$ mm. Füge- und Haltewinkel betragen $\alpha_1 = 30^\circ$ bzw. $\alpha_2 = 60^\circ$. Der Federweg ist $f = 1,5$ mm. Angenommen werden der Elastizitätsmodul $E = 3000$ N/mm² und die Haftreibungszahl $\mu_0 = 0,3$. Die Abstände der Querkraft F von der Einspannung beim Fügen und beim Lösen sind $l_1 = 13,9$ mm bzw. $l_2 = 12,9$ mm. Die Überprüfung hinsichtlich Selbsthemmung ergibt $\alpha_2 = 60^\circ < \arctan(1/\mu_0) = 73,3^\circ$. Dies widerspricht der Bedingung (10), also ist die Verbindung achsial lösbar.

Die am Haken beim Fügen und beim Lösen wirkenden Kräfte werden zu Vergleichszwecken auf vier Arten bestimmt und einander gegenübergestellt (Tab. 2), nämlich (1) nach dem bisherigen Ansatz ohne Verformung, (2) nach dem hier vorgestellten analytischen Rechenmodell mit Hakenneigung, (3) analytisch mit Berücksichtigung von Hakenneigung und Biegemoment aus Füge- bzw. Haltekraft (Rechenmodell hier nicht beschrieben) sowie (4) mit der Finite Elemente Methode (FEM) (Abb. 5). Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Resultaten von (3) und der FEM-Berechnung (4), während der bisherige Ansatz (1) ohne Verformung vor allem für das Halten resp. Lösen stark abweichende Ergebnisse liefert. So

Abb. 4: Halten: Position des Schnapphakens und Kräfteverhältnisse bei Selbsthemmung.

- F_N : Normalkraft
- F_R : Reibkraft
- F_2 : Haltekraft
- α_2 : Haltewinkel

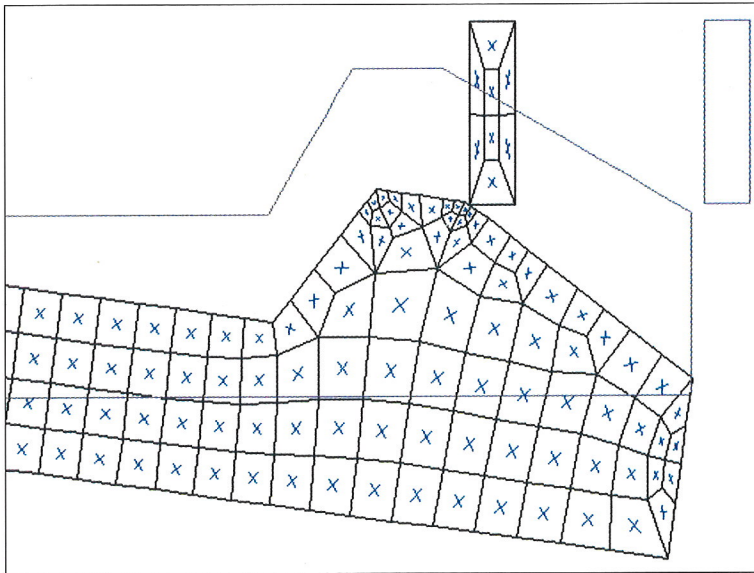


Abb. 5: FEM-Modell des im Beispiel untersuchten Schnapphakens in der Position bei maximaler Fügekraft.

wird die Haltekraft des Hakens mit dem bisherigen Ansatz gegenüber den FEM-Resultaten um mehr als das Dreifache überschätzt! In weit-aus realistischerer Größenordnung liegen die Resultate nach dem neuen Rechenmodell (2), wenn auch die fehlende Berücksichtigung des Momenteneinflusses von Füge- bzw.

Haltekraft zu gewissen Abweichungen führen.

Die Folgerungen liegen auf der Hand

Der Einfluss der Hakenneigung beim Fügen und beim Halten auf die Füge- und die Haltekraft ist erheblich. Insbesondere die Unterschät-

zung der Haltekraft nach bisheriger Berechnung kann sich sehr nachteilig auswirken. Es ist daher angezeigt, die Hakenneigung durch Verwendung des neuen Rechenmodells, d.h. mit dem korrigierten Umsetzungsfaktor einzubeziehen. Noch genauere Resultate ergeben sich bei Berücksichtigung der Biegemomente aus Füge- bzw. Haltekraft, doch dürfte der damit verbundene Aufwand eher die Berechnung mit FEM rechtfertigen.

Bei der Auslegung lässt sich die Hakenverformung auf einfache Weise berücksichtigen, indem von den resultierenden Winkeln α_1' und α_2' ausgegangen wird. Daraus kann mit (6) bzw. (8) auf die Winkel α_1 und α_2 für die Nulllage zurückgerechnet werden, in welcher der Haken spritzgegossen wird.

Literatur

- [1] Schnappverbindungen aus Kunststoff. Praxisinformation Bayer AG. Firmenschrift KU 46040, Leverkusen 1988
- [2] Delpy, U., et al.: Schnappverbindungen aus Kunststoff. expert Verlag, Ehningen bei Böblingen 1989
- [3] Berechnen von Schnappverbindungen mit Kunststoffteilen. Hoechst AG, Firmenschrift B.3.1, Frankfurt/Main 1991
- [4] Erhard, G.: Konstruieren mit Kunststoffen. 2. Aufl. Hanser Verlag, München 1999
- [5] Kunz, J.: Schnappverbindungen. In: Kunz, J., Michaeli W., Herrlich, N., Land, W. (Hrsg.): Kunststoffpraxis: Konstruktion. Weka Fachverlag für technische Führungskräfte, Augsburg, Aktualisierungsstand April 2000
- [6] SNAPS. Berechnung von Schnappverbindungen. CD-ROM, Version 6.0.1. BASF AG, Ludwigshafen
- [7] FitCalc. Berechnungsprogramm für Schnappverbindungen. In: Engineering Polymers for Technical Solutions. CD-ROM, Version 1.0. Ticona GmbH, Frankfurt/Main 1998
- [8] Beitz, W., und Grothe, K.-H. (Hrsg.): Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, 20. Aufl. Springer Verlag, Berlin 2000

Tab. 2: Ergebnisse des Rechenbeispiels und Vergleich mit FEM-Berechnung.

Vorgang	Rechengröße	Einheit	(1) Bisheriger Ansatz ohne Hakenneigung	(2) Analytisches Rechenmodell mit Hakenneigung	(3) Analytisches Rechenmodell mit Hakenneigung und Füge- bzw. Lösemoment	(4) FEM-Berechnung
Fügen	Querkraft F	[N]	20,8	13,4	16,3	17,6
	Fügekraft F_1	[N]	22,1	19,9	24,1	25,1
	Hakenneigung φ_1	[°]	----	9,3	9,3	9,2
	Umsetzungsfaktor η_1	[-]	1,06	1,48	1,48	----
Lösen/Halten	Querkraft F	[N]	20,8	16,8	12,9	14,6
	Lösekraft F_2	[N]	88,1	39,0	29,9	28,3
	Hakenneigung φ_2	[°]	----	10,0	10,0	9,9
	Umsetzungsfaktor η_2	[-]	4,23	2,32	2,32	----