

# KUNSTSTOFFE

# Synthetics

Magazin für Herstellung, Verarbeitung  
und Anwendung von Kunststoffen und neuen Werkstoffen

VERARBEITUNG

Johannes Kunz

Fügetechnik für Kunststoffkonstruktionen

## FORMSCHLUSS UNTERSTÜTZT KUNSTSTOFF-PRESSVERBINDUNG

Separatdruck aus Zeitschrift «Kunststoffe-Synthetics» Nr. 6/2002

**VS/H** MEDIEN  
VOGT-SCHILD/HABEGGER

Vogt-Schild/Habegger Medien AG, Zuchwilstrasse 21, CH-4501 Solothurn

Fügetechnik für Kunststoffkonstruktionen

# FORMSCHLUSS UNTERSTÜTZT KUNSTSTOFF-PRESSVERBINDUNG

Kunststoffe eignen sich wegen ihres viskoelastischen Verhaltens eher weniger für Pressverbindungen. Durch geeignete Modifikation der Fügegeometrie können sie aber mit einem gewissen Formschluss versehen werden, der den Kraftschluss unterstützt. Hiefür werden geeignete Auslegungs-Grundlagen benötigt.

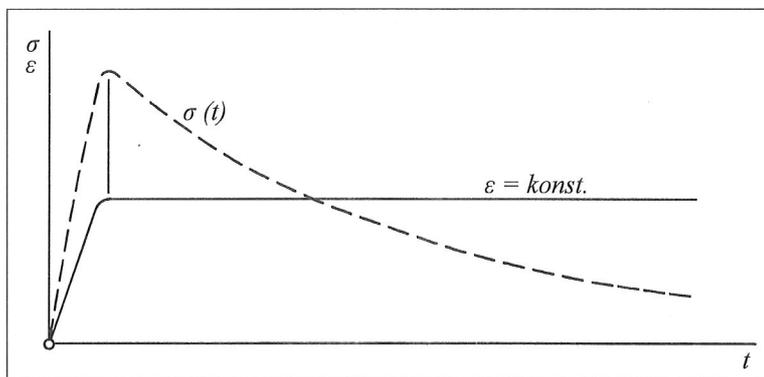


Abb. 1: Relaxation (schematisch); Spannungsabnahme in Funktion der Zeit bei konstant gehaltener Dehnung.

Pressverbindungen sind feste und im Prinzip kraftschlüssige Verbindungen, die durch Umsetzen eines Passungs-Übermasses über eine aufgezogene Verformung in mechanische Spannungen zustande kommen. Dieses Passungsübermass besteht zwischen Innen- und Aussendurchmesser zylindrischer Formelemente an Bauteilen, die aus beliebigen Werkstoffen bestehen können. Üblicherweise werden Pressverbindungen mit zylindrischen Oberflächen ausgeführt, so dass sie rein kraftschlüssig wirken. Damit verbunden ist bei Pressverbindungen mit Kunststoffteilen eine Spannungsrelaxation (Abb.1), welche unmittelbar nach dem Fügevorgang einsetzt und der die mögliche Kraftübertragung in der Höhe und zeitlich begrenzt.

Bei Verbindungen zwischen einer Kunststoffnabe und einer Metallwelle ist seit längerem bekannt, dass konstruktiv-geometrische Verände-

rungen an der Metallwelle einen gewissen Formschluss bewirken können, der den Kraftschluss unterstützt und dadurch die Kraftübertragung erhöht und gleichzeitig der Relaxation entgegenwirkt [1, 2, 3]. Für das vertiefte Verständnis der Wirkungsweise einer derartigen Formschlussunterstützung und die gezielte Auslegung von formschlussunterstützten Pressverbindungen in der Konstruktionspraxis sind darüber hinaus weitere Grundlagen von Interesse.

### Systematik schafft Klarheit

Ausgangspunkt einer einfachen Systematik ist die funktionelle Unterscheidung zwischen axialer und azimuthaler Formschlussunterstützung, je nachdem, ob diese gegen eine translatorische oder eine rotatorische Bewegung zwischen Welle und Nabe wirkt. Selbstverständlich ist auch eine kombiniert axial/azimutale Formschlussunterstützung möglich.

Aufgrund der werkstoffmechanischen Vorgänge kann weiter zwischen aktiver und passiver sowie kombiniert aktiv/passiver Formschlussunterstützung unterschieden werden (Abb. 2).

Aktive Formschlussunterstützung entsteht als Folge von lokalem Verdrängen von Kunststoffvolumen durch entsprechend gestaltete, ausserhalb des Passungsdurchmessers liegende konvexe Formelemente der Welle.

Passive Formschlussunterstützung dagegen entsteht durch lokale Restitution, d.h. Rückkriechen nach Entlastung von verdrängtem Kunststoffvolumen in entsprechend gestaltete, innerhalb des Passungsdurchmessers liegende konkave Formelemente der Welle.

**Johannes Kunz**, Professor für Technische Mechanik und Kunststoffkonstruktion an der Hochschule Rapperswil, Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im NDS Kunststofftechnik an der FH Aargau.

Abb. 2: Systematik nach den werkstoffmechanischen Vorgängen: aktive und passive Formschlussunterstützung.

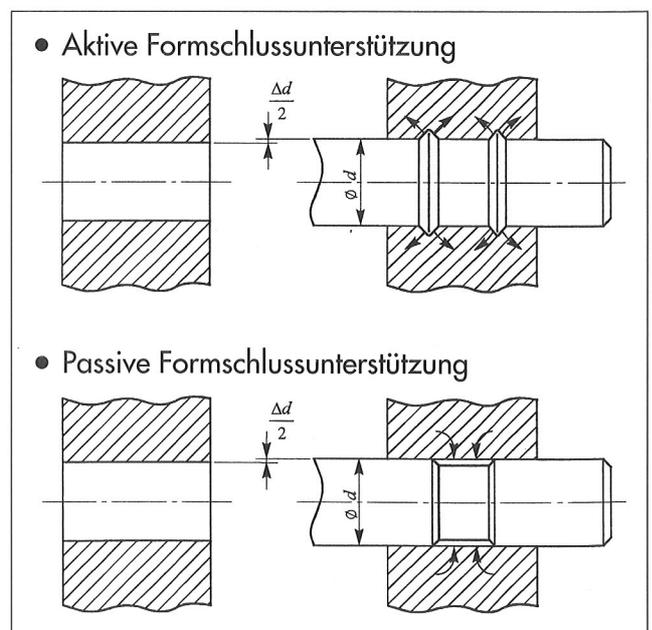
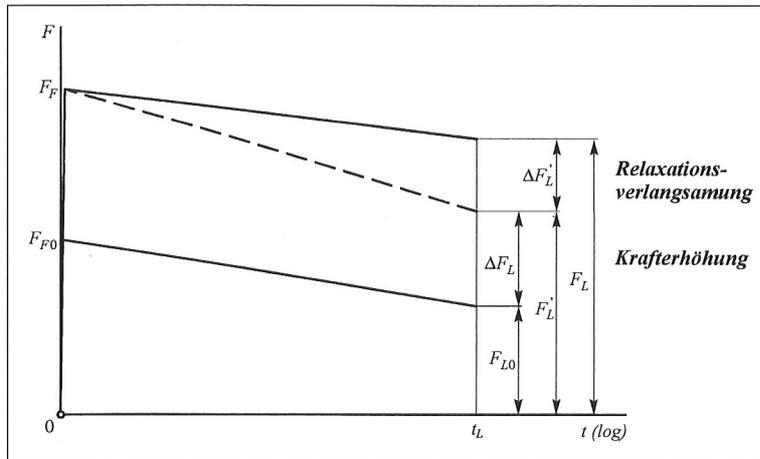


Abb. 3: Prinzipielle Wirkung der Formschlussunterstützung: Krafterhöhung und Verlangsamung der Relaxation.



**Wirkungsweise analysieren**

Die Wirkungsweise der Formschlussunterstützung zeigt sich im Vergleich zwischen einer Verbindung mit formschlussunterstützender Geometrie der Metallwelle und einer rein kraftschlüssigen Vergleichsverbindung gleicher Nenngeometrie, also mit glatter Welle. Für die Anwendung in der Praxis ist zunächst wesentlich, dass sich die Formschlussunterstützung insgesamt in einer Erhöhung der übertragbaren Belastung gegenüber der Vergleichsverbindung und damit auch der Lösekraft in Funktion der Zeit auswirkt. Gleichzeitig aber haben formschlussunterstützende Modifikationen der Fügegeometrie auch eine entsprechende Erhöhung der Fügekraft zur Folge.

Eine genauere Analyse des Kraftverlaufes über der Zeit führt zur Erkenntnis, dass sich die formschlussunterstützenden Massnahmen grundsätzlich in zweierlei Hinsicht auswirken können (Abb. 3):

- Erhöhung der übertragbaren Belastung (Achsialkraft, Drehmoment) gegenüber einer vergleichbaren Pressverbindung ohne Formschlussunterstützung
- Verlangsamung der Spannungsrelaxation, d.h. Beibehaltung der möglichen Kraftübertragung über eine längere Zeitdauer

Wenn die Grössen  $F_F$  bzw.  $F_L$  die Füge- und die Lösekraft der formschlussunterstützten Verbindung bezeichnen, und  $F_{F0}$  bzw.  $F_{L0}$  jene der rein kraftschlüssigen Vergleichsverbindung (Abb. 3), so lässt sich die

totale Erhöhung  $F_L - F_{L0}$  der Lösekraft in eine eigentliche Krafterhöhung  $\Delta F_L$  und einen Anteil  $\Delta F_L'$  für die Relaxationsverlangsamung unterteilen. Als eigentliche Krafterhöhung ist jene Zunahme der Lösekraft zu betrachten, die sich aus der Annahme eines über der Zeit gleichbleibenden Kraftverhältnisses  $F_F/F_{F0} = F_L'/F_{L0}$  ergibt.

**Wie Formschlussunterstützung rechnerisch erfassen?**

Zahlenmässige Aussagen über die Formschlussunterstützung können am ehesten anhand gezielter Versuche mit verschiedenen Geometrien der verwendeten Metallwellen gewonnen werden. Dabei steht die differenzierte Erfassung von relativer Erhöhung der übertragbaren Belastung und Verlangsamung der Spannungsrelaxation im Vordergrund. Beide Effekte lassen sich durch Faktoren ausdrücken, die aus Messungen der vier oben genannten Kraftgrössen bestimmbar sind, nämlich je die Füge- und die Lösekraft einer formschlussunterstützten Verbindung und der entsprechenden Vergleichsverbindung. Anstelle der Fügekraft kann auch die Lösekraft unmittelbar nach erfolgtem Fügen gesetzt werden. Dies empfiehlt sich speziell bei azimuthaler Formschlussunterstützung.

Bei der Auslegung von Pressverbindungen in der Konstruktionspraxis interessiert in erster Linie die Kenntnis der erzielbaren Lösekraft  $F_L$  und der erforderlichen Fügekraft  $F_F$ . Für die Verbindung mit glatter Welle, die

hier als Vergleichsverbindung dient, gestaltet sich die Berechnung dieser Grössen  $F_{L0}$  bzw.  $F_{F0}$  anhand der bekannten Theorie der Pressverbindungen recht einfach, wenn die erforderlichen Werkstoff- und Reibungskennwerte bekannt sind. Bei Verbindungen mit Formschlussunterstützung ist es somit zweckmässig, von  $F_{L0}$  auszugehen und die Füge- und Lösekraft  $F_F$  bzw.  $F_L$  mit Faktoren  $C_F$  für die rechnerische Krafterhöhung und  $C_R$  für die Verlangsamung der Relaxation abzuschätzen.

Die relative Verlangsamung der Relaxation ist das Verhältnis der effektiven Lösekraft  $F_L$  zur theoretischen Lösekraft  $F_L'$ , das durch die vier genannten Messwerte wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$C_R = \frac{F_L}{F_L'} = \frac{F_L \cdot F_{F0}}{F_F \cdot F_{L0}} \quad (1)$$

Die eigentliche Krafterhöhung zeigt sich, wie weiter oben ausgeführt, als Differenz  $\Delta F_L$  der theoretischen Lösekraft  $F_L'$  zur Lösekraft  $F_{L0}$  der Vergleichsverbindung. Somit ist der Quotient  $F_L'/F_{L0}$  die relative Krafterhöhung gemäss

$$C_F = \frac{F_L'}{F_{L0}} = \frac{F_F}{F_{F0}} \quad (2)$$

Ausgehend von der Lösekraft  $F_{L0}$  der glatten Vergleichswelle kann mit (1) und (2) nun die zu erwartende Lösekraft  $F_L$  der formschlussunterstützten Verbindung mit der einfachen Gleichung

$$F_L = C_F \cdot C_R \cdot F_{L0} \quad (3)$$

bestimmt werden, und für die erforderliche Fügekraft  $F_F$  der formschlussunterstützten Verbindung gilt dementsprechend

$$F_F = C_F \cdot F_{L0} \quad (4)$$

Anhand der Faktoren (1) und (2) kann nun durch Auswertung von Messungen die Wirksamkeit einer formschlussunterstützenden Massnahme beurteilt werden. Eine wirkungsvolle Formschlussunterstützung liegt dann vor, wenn  $C_F$  deutlich

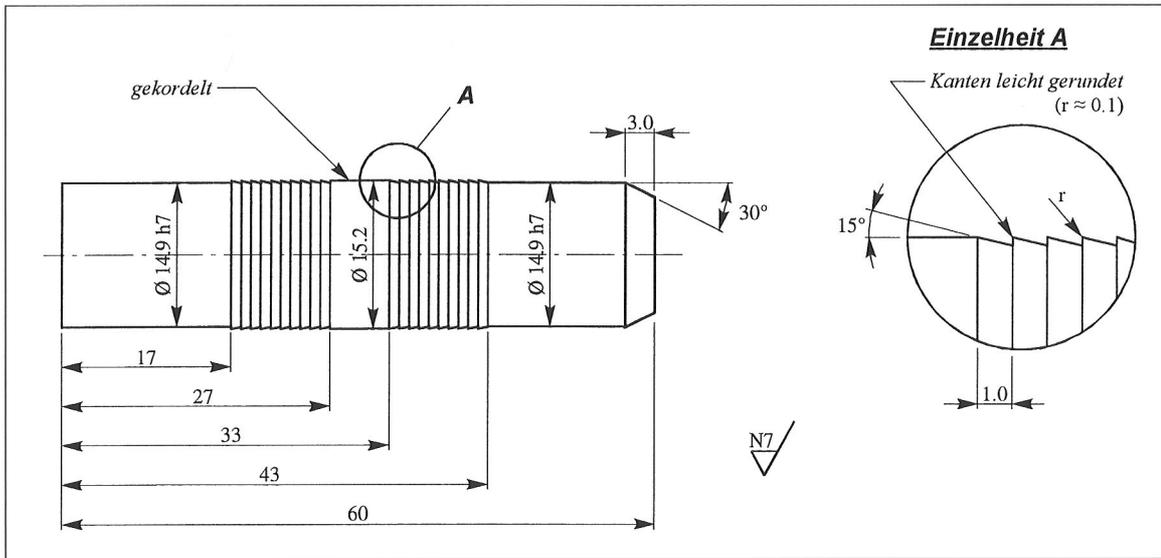


Abb. 4: Beispiel einer untersuchten Stahlwelle mit komplexer Geometrie für einseitige axiale, aktive Formschlussunterstützung.

grösser als 1 ist. Für  $C_R$  wäre grösser als 1 ebenfalls wünschenswert.

### Zahlenwerte sprechen für sich

Frühere Untersuchungen [1, 2] lassen sich leider nicht mehr nachträglich in der genannten Art auswerten, da keine Vergleichsresultate mit glatten Wellen bekannt sind. Hingegen wurden an der HSR in mehreren Arbeiten verschiedene axiale und azimutale Varianten von der einfachen Rändelung bis zum komplexen Profil untersucht und ausgewertet [4 bis 7]. Dabei hat sich u.a. bestätigt, dass mit einer gewöhnlichen Rändelung ganz gute Resultate erzielt werden können. Sie ist nicht nur einfach herstellbar, sondern überzeugt auch hinsichtlich ihrer kombiniert aktiv/passiv formschlussunterstützenden Wirkung. So liefert eine Kreuzrändelung (Kordelung) mit Teilung  $t = 0,4$  mm für die axiale Formschlussunterstützung nach 400 Stunden im gefügten Zustand die Faktoren  $C_F \approx 2,0$  und  $C_R \approx 1,4$  [6]. Dies bedeutet eine totale Verbesserung gegenüber der glatten Vergleichswelle um den Faktor 2,8. Zu beachten ist allerdings, dass eine solche Verbindung praktisch nicht reversibel lösbar ist, da beim Lösen und womöglich schon beim Fügen die Rändelung einen gewissen Materialabtrag erzeugen kann.

Mit einem groben Längsrändel der Teilung 1,5 mm als Beispiel für eine azimutal wirkende Formschlussunterstützung resultierten nach 1000

Stunden Fügedauer Faktoren  $C_F \approx 3,8$  für die eigentliche Erhöhung des übertragbaren Drehmomentes und  $C_R \approx 1,2$  für die Verlangsamung der Relaxation, insgesamt also  $C \approx 4,5$  [4]. An einem andern Beispiel mit komplexer Geometrie für einseitige axiale, aktive Formschlussunterstützung (Abb. 4 und 5) ergaben sich bei 1000 Stunden Fügedauer Faktoren  $C_F \approx 2,5$  und  $C_R \approx 2,0$ , also eine totale Verbesserung um den Faktor 5 [4]. Die Herstellung eines solchen Oberflächenprofils ist natürlich mit entsprechendem Aufwand verbunden.

Erwartungsgemäss ergibt die rein passive Formschlussunterstützung eine weit geringere Wirkung in der Grössenordnung von insgesamt  $C \approx 1,2 - 1,5$ . Dies kann allenfalls für die axiale Selbstarretierung von Bolzen genügen, die weder durch eine Achsalkraft noch durch ein Drehmoment beansprucht sind.

Für die Konstruktionspraxis interessant ist die Erkenntnis, dass Pressverbindungen von Kunststoffnaben mit Metallwellen durch eine Formschlussunterstützung erheblich verbessert werden können. Dabei können die in der Fachliteratur [1, 2, 3] empfohlenen Abmessungsverhältnisse ohne weiteres übernommen werden.

### Literatur

[1] Schmidt, H.: Pressverbindungen bei Kunststoffteilen, Teil 2: Massnahmen zur Steigerung der Belastbarkeit.

- Kunststoffe 66 (1976)3, S. 170 – 173  
 [2] Erhard, G., Strickle, E.: Pressverbindung von gerändelten Bolzen mit Kunststoffbauteilen. Konstruktion – Elemente – Methoden (1976)9, S. 58 – 60  
 [3] Berechnen von Pressverbindungen. Firmenschrift B.3.4, Hoechst AG Frankfurt/Main, 1992  
 [4] Keller, R., Sallenbach, R.: Untersuchungen zur axialen und azimutalen Formschlussunterstützung bei Pressverbindungen mit Kunststoffen. Studienarbeit HSR 2001  
 [5] Schweizer, R.: Formschlussunterstützung bei Presseverbindungen mit Kunststoffen. Studienarbeit HSR 1998  
 [6] Schädler, B.: Formschlussunterstützung bei Presseverbindungen mit Kunststoffen. Diplomarbeit HSR 1995  
 [7] Loher, T.: Kunststoff-Pressverbindungen mit Stahlwellen. Diplomarbeit HSR 1991

Abb. 5: Wirkung der Formschlussunterstützung nach Abb. 4, ausgedrückt durch die Faktoren  $C_F$ ,  $C_R$  und  $C$ .

