Knickstabilität des Obergurtes oben offener Brücken

Autor(en): **Brunner, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **67 (1949)**

Heft 38

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-84133

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

rechneten Kurven entsprechenden Materialeigenschaften aufgewiesen:

$\beta = 300$ kg/cm²; $E = 285\,000$ kg/cm²; $E_e = 2\,050\,000$ kg/cm², $\Omega = 1\,\%$ (total); $v = {}^3/_8$

so hätte sie eine angenähert gemäss folgender Gleichung abweichende Knickfestigkeit $\sigma_k{}^*$ ergeben:

$$\frac{E}{\sigma_k{}^*}\sqrt{1 - \frac{\sigma_k{}^*}{\beta}} + 12\frac{E_e}{\sigma_k{}^*}v^2\Omega = K$$

woraus

$$\sigma_k{}^* = \frac{E}{K}\left(A - B + \sqrt{1 - \frac{EA}{\beta K} + B^2}\right)$$

worin

$$A = 12\,n\,v^2\,\Omega; \quad n = \frac{E_e}{E}$$

$$B = \frac{E}{2\,\beta\,K}$$

Einige, auf diese Weise auf die Grundlagen der Bilder 4 und 5 bezogene Versuchsresultate, soweit die Beschaffenheit der Probesäulen von den angenommenen Mittelwerten abwichen, sind dort eingetragen.

Das Stauchungs-Diagramm des Betons sollte bei jedem Knickversuch gleichzeitig gemessen werden. Zur Orientierung über den Einfluss des Elastizitätsmoduls wurden in den Bildern 4 und 5 die Versuche von Baumann einerseits auf den von ihm angegebenen, mittleren Elastizitätsmodul E_M, andererseits auf den im Mittel für Beton zutreffenden Elastizitätsmodul E_B bezogen:

$$E_M = \frac{600\,\beta}{300 + \beta} \text{ t/cm}^2 \text{ (Mörtel)}$$

$$E_B = \frac{600\,\beta}{200 + \beta} \text{ t/cm}^2 \text{ (Beton)}$$

Ueber das Knicken von unarmierten Betonstützen (Bild 6) sind nur wenige vollständige Versuchsangaben verfügbar; hier ist weitere experimentelle Abklärung erforderlich.

Genauere Untersuchungen, mit Berücksichtigung der längs dem Stab veränderlichen Steifigkeit und der Schubkräfte können nach dem Verfahren von *Vianello-Engesser* durchgeführt werden, wenn besondere Versuche über die Spannungs-Deformations-Diagramme des Materials und die mit Belastung und Exzentrizität veränderliche Stabsteifigkeit vorliegen.

Im Hinblick auf die genannten, komplizierten Zusammenhänge kann aber dieses Verfahren nur in absehbarer Zeit zum Ziel führen, wenn als Ausgangspunkt ein gut zutreffender Näherungswert zur Verfügung steht. Die Aufstellung von Näherungsverfahren entspricht dem von *L. Vianello* am Schluss seiner grundlegenden Abhandlung [16]) gemachten Hinweis:

Es kann nur empfohlen werden, alle Fälle auf die möglichst einfachen zurückzuführen und durch die hierdurch erzielte höhere Sicherheit gegen Umstände gedeckt zu sein, die sich der Berücksichtigung entziehen.

[16]) Z.VDI 1898, Bd. 42, S. 1436.

Knickstabilität des Obergurtes oben offener Brücken

DK 624.075.25

Von J. BRUNNER

Die Eidg. Materialprüfungs-Anstalt hatte es seit ihrer Gründung als eine ihrer Aufgaben betrachtet, die Knickstabilität von Konstruktionselementen aus den technisch wichtigsten Baustoffen zu untersuchen. Schon unter ihrem ersten Direktor L. v. Tetmajer wurden umfangreiche Versuche durchgeführt, die zu den noch heute bekannten und in ihrem Bereich noch brauchbaren Knickformeln und Graphiken (Tetmajer'sche Gerade) führten. Ein spezielles Interesse widmet die Anstalt auch den Vorschriften und Normen über die Berechnung und Ausführung von Bauten; die Knickstabilität des Obergurtes oben offener Brücken verdient besonders diese Aufmerksamkeit, da es sich hier immer noch um ein umstrittenes Gebiet handelt.

Im neuen Entwurf der Normen des S. I. A. ist aus der alten Vorschrift von 1935 die modifizierte «Engesser-Formel» übernommen worden; sie wurde aber gegenüber der früheren Formulierung wesentlich vereinfacht dargestellt. Darnach beträgt die ideelle Knicklänge des quergestützten Stabes

$$l_k = \pi\sqrt[4]{\frac{1}{4}EJ\,a\,\delta}$$

Hierin bedeuten a die Feldweite und δ die Federkonstante des stützenden Querrahmens, z. B. in cm/t, für eine am Rahmenkopf angreifende Horizontalkraft.

Die vorliegende kurze Abhandlung will zum prinzipiellen Verständnis der sonst wenig übersichtlichen Formel beitragen und zeigen, wie von ihr ausgehend die Stabilitätsuntersuchungen des Obergurtes wesentlich erweitert werden können.

Zunächst sei die Formel selbst kurz betrachtet und übersichtlich abgeleitet. Sie geht davon aus, dass ein Knickstab (hier der Obergurt) in einem elastischen Medium eingebettet liege, das dem seitlichen Ausweichen entgegenwirkt. Es wird vorerst angenommen, dass die Stützung kontinuierlich erfolge; dann wird die physikalische Knicklänge l_0 gesucht, die ein Minimum der Tragkraft ergibt. l_k ist die zur Tragkraftberechnung einzusetzende ideelle Knicklänge des ungestützt gedachten Stabes.

Die Tragkraft O_K des Tragsystems setzt sich zusammen aus der Tragkraft O_{K_0} der Knickwelle (ungestützt) und der Vermehrung der Tragkraft infolge Querstützung, also

$$O_K = O_{K_0} + O_{KR} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} + \frac{c\,l^2}{9{,}6}$$

Der Ausdruck O_{KR} ergibt sich aus der Momentengleichung inbezug auf die Stabmitte bei Annahme einer sinusförmigen Ausbiegung der Stabaxe (oder angenähert zur Vereinfachung der Berechnung einer parabelförmigen Ausbiegung, wobei $9{,}6 \backsim \pi^2$) und der Proportionalität von Seitenkraft und Ausbiegungsgrösse (Bild 1). c ist die Querbelastung pro cm (wenn wir alle in der Formel vorkommenden Werte in cm dimensionieren!) und pro cm Ausbiegung. Um nun das Minimum der Tragkraft für ein zu bestimmendes l_0 zu finden, wird die Gleichung nach l differenziiert und ergibt

$$l_0 = \pi\sqrt[4]{\frac{EJ}{c}}$$

Durch Einsetzen dieser Knicklänge ergibt sich der minimale Wert für O_K zu:

$$O_K = \sqrt{EJ\,c} + \sqrt{EJ\,c} = 2\sqrt{EJ\,c}$$

oder nach einiger Umformung

$$O_K = 2\,\frac{\pi^2 EJ}{l_0{}^2}$$

Der quergestützte Stab trägt also in dem gesuchten minimalen Fall genau das Doppelte des ungestützten Stabes.

Um die zur Tragkraftberechnung einzuführende *ideelle* Knicklänge zu erhalten, sei daran erinnert, dass die Tragkraft umgekehrt proportional dem Quadrat der Knicklänge wächst; also ist hier eine Knicklänge $l_k = \frac{l_0}{\sqrt{2}}$ zu berücksichtigen.

$$l_k = \pi\sqrt[4]{\frac{1}{4}\frac{EJ}{c}}$$

Wir setzen nun diese kontinuierliche Stützung mit der wirklichen Stützung durch Querrahmen in Beziehung. Wir bezeichnen mit $R_1 = c\,a$ die Reaktion des Halbrahmenkopfes pro cm Einbiegung, bzw. mit $\delta = 1/R_1$ die Einbiegung des Halbrahmenkopfes pro t Seitenlast (Federkonstante). Hiermit wird $c = R_1/a = 1/a\,\delta$, woraus folgt:

$$l_k = \pi\sqrt[4]{\frac{1}{4}EJ\,a\,\delta}$$

Für neu auszuführende Brükken wird nun der Rahmenwiderstand am günstigsten so gewählt

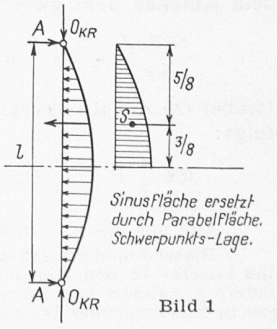


Bild 1

werden, dass das Ausknicken über ein Feld erfolgt, und da wird in den praktischen Verhältnissen der Obergurt einen Schlankheitsgrad aufweisen, bei dem nicht mehr der Elastizitätsmodul E gilt, sondern ein Modul T_k als Knickmodul. Dieser wurde nun von der Eidg. Materialprüfungs-Anstalt für die wichtigsten Baustoffe (Baustahl, Bauholz, hochwertiger Stahl, Gusseisen, usw.) bestimmt[1]).

Die Tragkraft des Obergurtes beträgt:

$$O_K = \frac{\pi^2 T_k J}{l_k^2}$$

Eine Ungenauigkeit der «Engesser-Formel» liegt nun darin, dass die Länge l_k mit dem Elastizitätsmodul E berechnet wird, die Tragkraft aber mit T_k. Dazu ist zu bemerken, dass zur Berechnung von l_k der Beitrag aus dem Halbrahmen wohl meist mit E berechnet werden kann, dass ferner der Elastizitätsmodul nur unter der vierten Wurzel erscheint, während O_K direkt proportional dem Modul T_k ist, also viel stärker interveniert. T_k bestimmt sich aber nach Ueberschreiten der Proportionalitätsgrenze aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm. Es zeigt sich hier also die Notwendigkeit der experimentellen Untersuchung der materialtechnischen Eigenschaften der Baustoffe, vor allem der neuen Baustoffe.

Stellen wir die Bedingung, dass die Tragkraft des Obergurtes gleich der Tragkraft des einfeldigen Stabes sei, also $l_k = a$, so ergibt die Vorschriftsformel

$$a = \pi \sqrt[4]{\frac{1}{4} E J a \delta}$$

$$a^4 = \pi^4 \frac{1}{4} E J a \delta$$

$$\delta = \frac{4a}{\pi^2} \frac{1}{\frac{\pi^2 E J}{a^2}} = \backsim \frac{0{,}4\, a}{O_K} \quad [\text{cm/t}]$$

Die nachfolgende Untersuchung zeigt, dass wir damit nur eine kleinere Federkonstante zulassen, uns also auf der sicheren Seite bewegen, als wenn wir zur Berechnung eine diskontinuierliche Querstützung (Rahmenstützung) am Zweigelenkbogen annehmen.

Zur Darlegung der prinzipiellen Verhältnisse bei Einzelrahmen-Stützung wählen wir hier eine Knickwelle über zwei Felder. Wir betrachten sie als sinusförmigen Zweigelenkbogen[2]). Es setzt dies streng genommen voraus, dass die Endpunkte der Welle (Wendepunkte) in der ursprünglichen Gleichgewichtslage bleiben. Da die Ausbiegungen f aber verhältnismässig klein sind, so kann diese Voraussetzung als praktisch erfüllt betrachtet werden. Ferner werden starre Endrahmen vorausgesetzt. Sind die Endrahmen jedoch nicht steifer als die übrigen Rahmen, so weichen sie aus der neutralen Axe aus, und die Endwellen nehmen eine von den übrigen abweichende Gestalt an. Selbstverständlich werden auch die übrigen Wellen ihre Form etwas ändern, was jedoch für die praktische Berechnung wiederum nicht ausschlaggebend ist.

Für einen sinusförmigen Zweigelenkbogen ergibt sich die Obergurtkraftzunahme infolge Rahmenstützung (Bild 2) zu

$$O_{KR} = \frac{4}{\pi^2} \frac{a}{f} R = \backsim 0{,}4 \frac{a}{f} R$$

Die Gesamtgurtkraft ist

$$O_K = \frac{\pi^2 T_k J}{4 a^2} + 0{,}4 \frac{a}{f} R, \text{ wobei } R = R_1 f$$

Soll aber das Knicken über ein Feld gleichwertig sein dem Knicken über zwei Felder, so muss sein

$$\frac{\pi^2 T_k J}{4 a^2} + 0{,}4 \frac{a}{f} R = \frac{\pi^2 T_k J}{a^2} = O_K$$

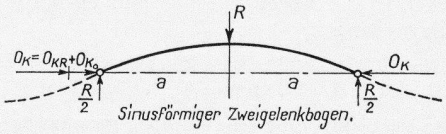
(wobei O_K die Knickkraft über ein Feld bedeutet). Hieraus folgt:

$$0{,}4 \frac{a}{f} R = \frac{3}{4} O_K$$

[1]) SBZ 1947, Nr. 28, S. 379*, besonders Bilder 8 und 9.

[2]) Dieser Annahme gab auch Oberingenieur *F. Ackermann* (Kriens und Luzern) in den Kommissionsberatungen den Vorzug gegenüber andern Annahmen und vertrat sie in Zuschriften gegen Einwendungen in überzeugender Weise.

Bild 2.



Die Rahmenreaktion für 1 cm Ausbiegung muss also mindestens betragen

$$R_1 = \frac{O_K}{0{,}533\, a}$$

bzw. die Federkonstante darf höchstens betragen

$$\delta = \frac{0{,}533\, a}{O_K}$$

Die Federkonstante darf also grösser sein als nach der schweizerischen Vorschrift, der Halbrahmen somit schwächer.

Es kann der Einwand erhoben werden, dass für die zweigliedrige Welle die Gleichgewichtsfigur für gleichwertiges Ausknicken über ein oder zwei Felder dem Bild 3 entspreche und dass deshalb jeder Stab einzeln nach einer Sinuswelle ausknicke. Für einen nach zwei ganzen Sinuswellen gebildeten Zweigelenkbogen, der in der Mitte eine horizontale Tangente hat, ändert sich der Koeffizient in der massgebenden Gleichung etwas, nämlich:

$$R_1 = \frac{O_K}{0{,}5\, a}$$

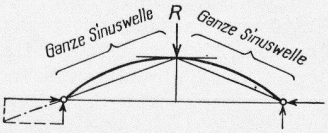


Bild 3

Für eine Welle über zwei Felder ist diese Annahme zutreffender, wird aber für Wellen über mehrere Felder zur Berechnung zu kompliziert; wir arbeiten daher durchgehend mit einer einfachen Sinuswelle. Ganz ähnlich lässt sich dann die Untersuchung auch durchführen über drei oder mehr Felder.

Die schweizerische Normenformel berücksichtigt ferner nicht eine Stützrahmenkopf-Verschiebung infolge ungleichmässiger Querträgerbelastung. Ihrer Struktur gemäss kann sie das auch nicht. Dennoch ist es erwünscht, eine anfängliche Verschiebung einbeziehen zu können für eine genauere Berechnung, die dann auch einen Vergleich mit den Ergebnissen der Normenformel gestattet.

Findet eine Halbrahmenkopf-Verschiebung statt, bevor der Obergurt als solcher ausknickt, so zieht diese den Gurt gegen die Brückenmitte und belastet ihn. Wird aber der Obergurt an die Knickgrenze gebracht, so stützen ihn die Halbrahmen. Es liegt also ein System *veränderlicher Stützungsart* vor.

Wiederum für einen Zweigelenkbogen über zwei Felder sei die anfängliche Rahmenkopf-Verschiebung f_0. An Stelle der Gleichung

$$O_{KR} = \frac{0{,}4\, a}{f} R$$

tritt nun die Gleichung (denn $f = f_0 + f_1 R$)

$$O_{KR} = \frac{0{,}4\, a}{f_0 + f_1 R} R$$

wobei $f_1 = \delta$; die erforderliche effektive Rahmenreaktion ist nun

$$R = \frac{O_{KR} f_0}{0{,}4\, a - O_{KR} f_1}$$

Sind drei Felder in Betracht zu ziehen, so lauten die entsprechenden Formeln

$$O_{KR} = \frac{0{,}95\, a}{f_0 + f_1 R} R$$

$$R = \frac{O_{KR} f_0}{0{,}95\, a - O_{KR} f_1}$$

Muss die Untersuchung auf n Felder ausgedehnt werden, so lauten die Gleichungen

$$O_{KR} = \frac{0{,}105\, n^2 a}{f_0 + f_1 R} R \text{ und}$$

$$R = \frac{O_{KR} f_0}{0{,}105\, n^2 a - O_{KR} f_1}$$

Die Werte ergeben sich angenähert aus der Einflusslinie für den Horizontalschub des Zweigelenkbogens.

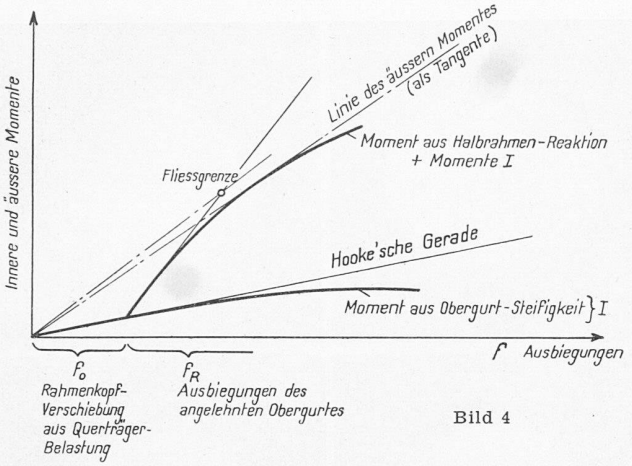


Bild 4

Ueber die Frage der Grösse von f_0 dürften folgende Annahmen für die Berechnung massgebende Werte liefern: Eine für alle Querträger gleichmässige Belastung ergibt $f_0 = 0$. Zu vergleichen sind: Ein oder zwei oder drei belastete Querträger und unbelastete Nachbar-Querträger. Als Querträgerbelastung ist anzunehmen die auf diesen Querträger fallenden grösstmöglichen Axlasten plus 100 % Stosszuschlag.

Die grundsätzlichen Beziehungen sind auf Bild 4 graphisch dargestellt (wir betrachten hier als prinzipielle Darstellung nur zwei Felder und nehmen an, alles spiele sich im elastischen Bereich ab; auf den überelastischen Bereich wird weiter unten eingetreten). Die Obergurtkraft aus der Steifigkeit des Stabes wächst linear mit dem Ausbiegungspfeil f; ebenso wächst linear die Obergurtkraft aus der Rahmenreaktion vom Anlehnungsstadium an mit dem Pfeil f_R. Die Momentensumme der beiden «Hooke'schen Geraden» stellt die zur Verfügung stehenden inneren Momente dar; wir könnten z. B. bis zur Fliessgrenze oder zur Bruchgrenze gehen, diese würde die Linie der zulässigen äussern Momente bestimmen.

Nun aber werden für unsere Brückenbau-Verhältnisse im Unstabilitätszustand die Spannungen σ_p meist überschritten, so dass die Dehnungen nicht mehr proportional den Spannungen zunehmen; also wachsen auch die rückwirkenden Momente nicht mehr proportional den Ausbiegungen. Die Momentenlinien sind keine Geraden mehr, sondern Kurven; erst von den Unstabilitätslasten können wir auf die zulässigen Lasten schliessen: Es muss hier das *Traglastenverfahren* angewendet werden [3]).

[3]) SBZ Bd. 123, S. 247* (20. Mai 1944).

Vergleichende Berechnungen zeigen, dass die schweizerische Normenformel Orientierungswerte gibt, die durch einen entsprechend gewählten Sicherheitsgrad n dividiert, konstruktiv brauchbare Werte darstellen. Das Hooke'sche Gesetz des geradlinigen Zusammenhanges zwischen Spannung und Dehnung ist aber in erster Linie zu korrigieren durch das wahre Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

Die im elastischen Bereich durchgeführte Berechnung gibt uns ein «festes Gerippe», das aber durch den Ingenieur auf Grund der durch Versuche festgestellten materialtechnischen Eigenschaften zu interpretieren ist.

Das innere Moment M_{i_0} aus Obergurtsteifigkeit wächst (bei Voraussetzung des Hooke'schen Gesetzes) linear mit dem Ausbiegungspfeil; es beträgt z. B. für zwei Felder:

$$M_{i_0} = \frac{\pi^2 EJ}{(2a)^2} f$$

Von dem Ausbiegungspunkt an, wo sich der gegen die Brückenmitte hin verbogene Obergurt auf den Halbrahmen stützt, kommt ein Moment dazu, das sich aus der Grösse der Reaktion R berechnet.

$$M_{iR} = 0{,}4\, a R, \text{ wobei } R = R_1 f_R$$

Die Summe beider Momente ergibt das zur Verfügung stehende innere Moment M_i. Das äussere belastende Moment M_a für Wellenmitte steigt linear mit dem Wert $f = f_0 + f_R$.

Alle gebräuchlichen Konstruktionsmaterialien (Baustahl, Bauholz, Leichtmetalle usw.) weisen eine Proportionalitätsgrenze auf; bei Spannungen über diese hinaus tritt an Stelle des Moduls E ein modifizierter und variabler Modul T; die inneren Momentlinien sind keine Geraden mehr, sondern nach der f-Axe hin konkav gekrümmte Kurven (Bild 4).

$$T J = M \varrho\,; \; M = \frac{T J}{\varrho}$$

wobei ϱ den Krümmungsradius des Obergurtes in der Mitte bezeichnet. Bei sinuslinienförmiger Ausbiegungsaxe ist

$$\varrho = \frac{l^2}{\pi^2} \frac{1}{f}$$

wobei l die Wellenlänge darstellt.

Die *Tangente an die Summe dieser Kurven* ergibt das Mass für die grösste Obergurtkraft im Stabilitätsfall. Es zeigt sich in dieser Betrachtung, dass auch hier die Gleichgewichtslage am Tragsystem kein Spannungsproblem, sondern ein Stabilitätsproblem darstellt.

Diese kurze Abhandlung wollte vor allem Einsicht in die qualitativen Verhältnisse geben und nicht eingehen auf die quantitativen Werte.

Ueber innere Spannungen in flächenhaften Materialverbindungen

DK 539.319 : 668.3

Von H. KÜHNE, Mitarbeiter K. ENSNER, H. STRÄSSLER

Materialgerechtes Trennen und Verbinden ist eine der wichtigsten Aufgaben des Konstrukteurs. Wo Materialien verschiedener Beschaffenheit miteinander in Berührung treten, zeigen sich alle gegenseitigen physikalischen und chemischen Unterschiede in ausgeprägter Form. Sie wirken sich unter anderem durch Spannungen, Korrosionserscheinungen usw. aus. Je starrer ihre Verbindung ist, um so grösser werden im allgemeinen die Spannungen, die durch thermische, hygroskopische oder konstitutionelle Volumenänderungen hervorgerufen werden.

Flächenhaftes Verbinden mit dünnen Schichten organischer oder anorganischer Bindemittel (z. B. Zemente, Lote, Leime, Klebstoffe, Kitte) ermöglicht in vielen Fällen eine Steigerung der Materialausnützung, sowie eine Vereinfachung der Herstellung und hat daher in der modernen Technik eine starke Verbreitung gefunden. Neben alten lang bewährten Verfahren hat die Kunststoffindustrie neue Verbindungsmöglichkeiten geschaffen, so dass heute schon verschiedenartigste Werkstoffe miteinander verbunden werden können. Wir dürfen annehmen, dass neue Erkenntnisse über das Wesen der Oberflächenhaftung weitere und vollkommenere Verbindungen ermöglichen.

Obschon die Verbindungsverfahren teilweise eingehend untersucht wurden, sind ihre Besonderheiten dem Konstrukteur meist wenig bekannt. Oft wird bei der Gestaltung einer solchen Konstruktion nur ein fiktiver Endzustand vorausgesetzt, wobei die zu verbindenden Teile als homogenes Ganzes betrachtet werden. Die Schicht des Bindemittels an sich, wie auch die Einflüsse des Herstellungsprozesses werden vernachlässigt, was zu völlig unerwarteten Schäden und ganz einseitiger Beurteilung der Verbindungsmöglichkeit führen kann. Es erscheint daher angezeigt, einige jener Faktoren einander gegenüberzustellen, welche die Eigenschaften der Verbindung von Seiten der spezifischen Verfestigungsbedingungen des Bindemittels namhaft beeinflussen können. Dabei sei vorausgesetzt, dass ein Verbindungsmittel vorliegt, dessen Bindeaffinität zum Werkstoff eine Festigkeit zwischen Bindemittel und Werkstoff garantiert, die mindestens nahe an die Festigkeitseigenschaften des schwächsten Materiales (verfestigtes Verbindungsmittel oder Werkstoff) herankommt.

Um das Verbindungsmittel mit der Materialoberfläche in innige aktive Berührung zu bringen, wurden bisher hierfür Stoffe verwendet, die vor der endgültigen Verfestigung eine flüssige bzw. plastische, mehr oder weniger viskose Phase durchlaufen. Der Verflüssigungs- und Wiederverfestigungsvorgang kann verschiedener Natur sein, so z. B.:

1. Verflüssigung durch Temperaturerhöhung über den Schmelzpunkt des Bindemittels, Verfestigung durch Rückkühlung unter den Schmelzpunkt (z. B. Metall-Lote, Thermoplaste).
2. Verflüssigung durch Auflösen des Bindemittels in einem Lösungsmittel, Wiederverfestigung durch Verdunstung des Lösemittels (z. B. Gummi arabicum, Zelluloseester).