

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 71/72 (1918)
Heft: 13

Artikel: Hohlkehlenschärfe und Dauerbiegung
Autor: Stodola, A. / Schüle, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-34733>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Tabelle II

2. Versuchsreihe

Wellenbezeichnung	10	11	12	13	14	15	16	17
Durchmesser d. Eindrehung (Hals) d_0 mm	18	18	18	18	18	18	18	18
Durchmesser des Anschlusses d_1 mm	21	21	24	24	21	21	24	24
Verhältnis der Durchmesser $d_0 : d_1$	0,857	0,857	0,750	0,750	0,857	0,857	0,750	0,750
Halbmesser der Hohlkehle ϱ mm	0	0	0	0	2	2	2	2
Verhältnis $\varrho : d_0$	0	0	0	0	0,111	0,111	0,111	0,111
Bieungsbeanspruchung σ t/cm ² ±	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
Umdrehungen bis zum Bruch N	58937	17896	40257	13119	160676	59976	131453	29328

Unterschiede in ihren Ergebnissen. Es ist aber zu beachten, dass der Bruch bei langsam zunehmender Belastung wie bei der Zerreißprobe ein interzellularer Bruch mit sehniger Struktur ist; bei Dauerbiegeproben finden abwechselnd Zug- und Druckspannungen statt, die zuletzt den Bruch ohne vorherige Streckung des Materials verursachen; dieser Bruch ist feinkörnig im Aussehen und extrazellulär; er findet statt in der Abgrenzung der Ferritzellen.

Die Kerbschlagbiegeprobe kann Aufschluss geben über das Verhalten des Materials bei plötzlichem Bruch. Zu

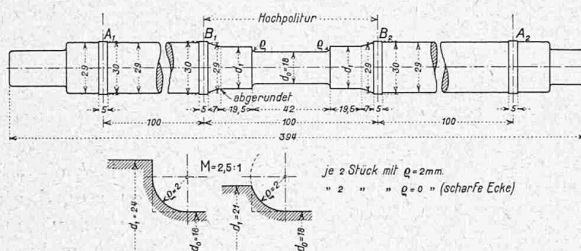


Abb. 3. Probestäbe für die zweite Versuchsreihe.

diesem Zwecke sind je zwei Probestäbe von $8 \times 1 \times 1$ cm aus dem Kern beider Wellenstäbe entnommen worden und die Kerbe von 2 mm Durchmesser und 2,5 mm Tiefe einmal nach aussen und einmal nach innen gebohrt worden. Die Kerbzähigkeit, ermittelt (aus zwei Versuchen) am vertikalen Amsler'schen Fallhammer, ausgedrückt in kgm/cm^2 des Bruchquerschnittes an der Kerbe, betrug bei dem Wellenmaterial der

	1. Serie	2. Serie
Kerbe aussen	16,1	5,50 kgm/cm^2
Kerbe innen	11,4	8,7 "

An der Bruchstelle zeigen alle Proben eine deutliche Einschnürung; wenn die obigen Werte unter sich sehr verschieden sind, so deuten sie doch nicht auf brüchiges Material. Die Grenze für letzteres wird gewöhnlich mit 4 kgm/cm^2 Kerbzähigkeit geschätzt.

Die Dauerbiegeproben zeigten drei verschiedene Arten von Brucherscheinungen; die Wellen beider Reihen mit

$\varrho = 0$ wurden unmittelbar vor dem Bruch in der scharfen Ecke ringsum rissig; die Bruchflächen (siehe Abb. 5, Nr. 1 und 2) zeigen einen scharfen, 0,1 bis 0,2 mm hervortretenden Rand und sind ins Innere des stärkern Wellenteiles leicht konkav; der Kern wurde im letzten Moment gewaltsam zerissen und hat infolgedessen eine gröbere Struktur.

Die Wellen mit $\varrho = 2$ mm sind ebenfalls ringsum kurz vor dem Bruch rissig geworden und zwar in der Rundung dicht am zylindrischen Teil; der zuletzt gebrochene Kern liegt etwas exzentrisch; die Bruchfläche (Abb. 5, Nr. 5 und 6) ist leicht

konkav gegen das starke Ende der Welle; ringsum sind kleinere Zaken aufgetreten, die auf sehr feine verwaltete Blasen im Material hindeuten.

Die Wellen mit der stärkern Ab-rundung ($\varrho = 5$ mm) sind an einer Stelle (Abb. 5, Nr. 7) oder an zwei Stellen (Ab-

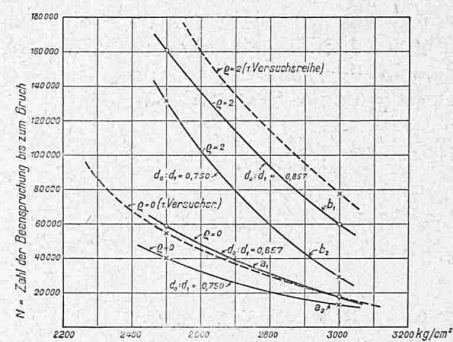


Abb. 4.

bildung 5, Nr. 8) rissig geworden. Durch ferneres Drehen der belasteten Welle ist der Riss sichelförmig erweitert worden, die Schwingungen wurden am Ende so stark, dass der Versuch unterbrochen werden musste. Die Welle wurde hierauf durch einfache Biegung gewaltsam gebrochen. Der Riss ist beim Uebergang des zylindrischen Teiles in die Rundung entstanden.

Die im Betrieb vorkommenden Wellen- oder Achsenbrüche sind durch Abbildung 5, Nr. 7, charakterisiert. Aus den besprochenen Dauerbiegeproben geht hervor, dass die Ausdehnung des Risses über den ganzen Umfang der Welle nur bei scharfem Uebergang des Wellenhalses im Anschlussteil eintritt.

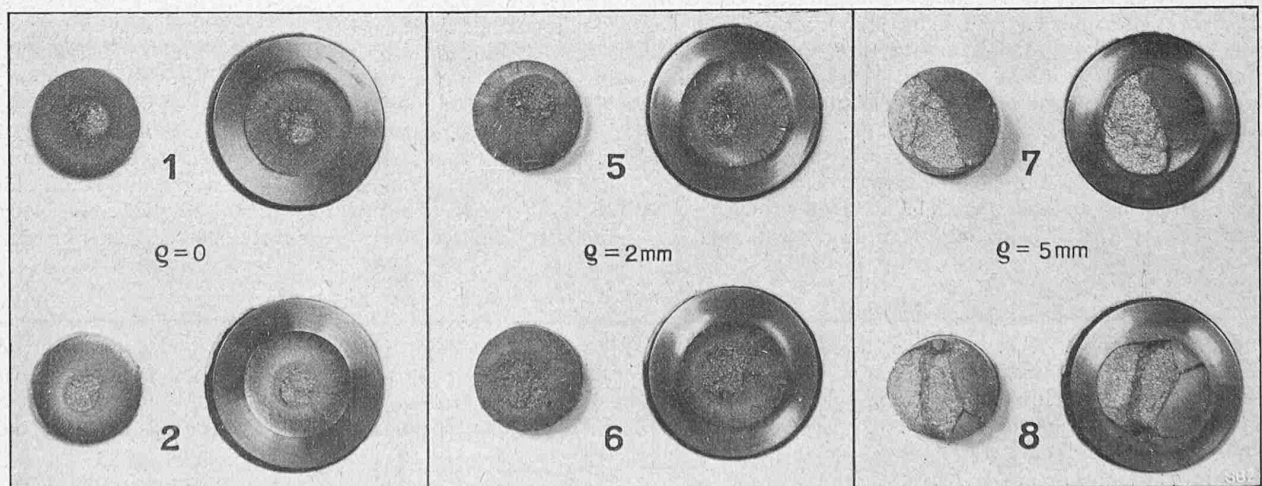


Abb. 5. Bruchflächen der Versuchstäbe mit verschiedenen Hohlkehlenrößen; oben Stäbe der ersten, unten Stäbe der zweiten Versuchsreihe.

Als Erklärung für diese Unterschiede möge folgende angeführt werden: Der Bruch bei Dauerbiegeproben entsteht durch „Ermüdung“ des Materials, z. B. durch Anhäufung bleibender Dehnungen, die auch unterhalb der auf den ganzen Querschnitt bezogenen Fließgrenze auftreten können bei lokaler Ueberanstrengung des Materials; insbesondere

- a) infolge von Einschlüssen oder von verwalzten Blasen¹⁾,
- b) infolge der Wirkung der Hohlkehle.

Bei relativ grossem Halbmesser der Hohlkehle (hier $\rho = 5 \text{ mm}$) überwiegt die unter a) erwähnte Ursache; der Bruch beginnt an einer Stelle durch einen feinen Riss der nach und nach sich sichelförmig im Querschnitt ausdehnt. Bei scharfer Abrundung ($\rho = 0$ bis 2 mm) überwiegt die unter b) erwähnte Ursache; ringsum ist an der Uebergangsstelle des Wellenhalses in das stärkere Wellenende die Gefahr der Rissbildung gleichzeitig vorhanden.

Zum Vergleiche des Verhaltens des Materials beider Reihen bei der Dauerbiegeprobe wurde mit Material der zweiten Versuchsreihe die Welle Nr. 18 abgedreht wie Nr. 7 der ersten Reihe, d. h. mit $\rho = 5 \text{ mm}$ und mit $2,5 \text{ t/cm}^2$ auf Biegung beansprucht. Der Bruch trat ein nach 824 263 Umdrehungen, gegenüber 705 396 bei Welle Nr. 7. Das Aussehen der Bruchfläche war dasselbe wie bei Nr. 7. Der nicht sehr grosse Unterschied in den Umdrehungszahlen rührt wohl daher, dass bei Welle Nr. 8 eine lokale Schwächung infolge von Einschlüssen oder verwalzten Blasen später eintrat wie bei Nr. 7.

Die Grösse der Beanspruchung, die durch die Hohlkehle bei variabler Abrundung verursacht wird, ist theoretisch selbst innerhalb des Gebietes der vollständigen Elastizität nicht ermittelbar; umso weniger ist dies der Fall, wenn örtlich die Elastizitätsgrenze oder Streckgrenze überschritten wurde²⁾. Hingegen liegt es auf der Hand, dass die Grösse der Ueberbeanspruchung in der Hohlkehle nicht von der absoluten Grösse des Krümmungshalbmessers sondern lediglich von seinem Verhältnisse zum Wellendurchmesser und vom Verhältnisse des Wellendurchmessers im Lagerhals und in der Verstärkung abhängt. Die Länge des Lagerhalses betrug zwar nur 60 mm , doch dürfte sich die Spannungstörung der Hohlkehle innerhalb des Halses und in der Verstärkung genügend ausgeglichen haben, so dass man den Hals theoretisch als unendlich lang ansehen kann. In der zweiten Versuchsreihe schien es nun zweckmässig, die Länge des Lagerhalses auf 42 mm herabzusetzen, damit der Uebergang durch den Zwischendurchmesser d_1 in den gegebenen Aussendurchmesser von 29 mm ein genügend sanfter sei. Auch hier ist die Annahme vollständigen Ausgleichs für die Schätzung zulässig, da der Halbmesser der an diesen Stäben verwendeten Hohlkehlen nur bis auf 2 mm heraufreicht.

Uebersichten wir die graphische Darstellung der Ergebnisse, so erkennen wir mit voller Klarheit, wie sehr durch die zunehmende Schärfe der Hohlkehle die Biegezugfestigkeit bei gleicher Belastung abnimmt. Wir können die bei Welle Nr. 1 eingestellte Beanspruchung als Grenzwert für die scharfe Hohlkehle betrachten, da hier nach rund zwei Millionen Biegungen die Festigkeit noch dermassen wenig gelitten hat, dass der Stab bei einer Beanspruchung mit $2,0 \text{ t/cm}^2$ noch 252 680 Biegungen bis zum Bruche ausgehalten hat. Extrapoliert man der Schätzung nach die Kurven für die Hohlkehlen von 2 und 5 mm Hohlkehlenhalbmesser, so wird man auf etwa $2,0 \text{ t}$ und $2,3 \text{ t}$ als Grenzen der Festigkeit geführt. Diese Werte sind als Abhängige des Verhältnisses $\rho : d_0$, wo ρ den Hohlkehlenhalbmesser bedeutet, in Abbildung 6 dargestellt. Rechnen wir die Grenzbiegezugfestigkeit K_{bg} , die im wesent-

lichen dasselbe ist, wie die sogen. Schwingungsfestigkeit, in Teilen der statischen Zugfestigkeit K bzw. der Streckgrenze σ_s aus, so erhalten wir folgende Verhältnisse:

Verhältnis $\frac{\rho}{d_0}$	0	0,111	0,277
Grenzbiegezugfestigkeit $K_{bg} \text{ t/cm}^2$	1,5	2,0	2,3
Verhältnis $K_{bg} : \text{Zugfestigkeit}$	0,338	0,453	0,522
Verhältnis $K_{bg} : \text{Streckgrenze}$	0,461	0,616	0,708

Der Einfluss des Verhältnisses der Wellenstärke im Hals und in der sich anschliessenden Fortsetzung tritt uns deutlich in Abb. 4 entgegen. Die Abnahme der Grenzbiegezugfestigkeit ist hiernach um so grösser, je kleiner das Verhältnis $d_0 : d_1$ gewählt wird. Allerdings fallen die mit den Baustoffen der zweiten Serie gewonnenen Werte aus der Reihe derjenigen der ersten Versuchsreihe heraus, was auf die erwähnte Ungleichheit der Baustoffe zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist, dass dieser Unterschied bei der scharfen Hohlkehle sozusagen verschwindet und dass hier auch der Einfluss des Verhältnisses $d_0 : d_1$ fast vernachlässigbar ist. Wenn man sich erlaubt, die gewonnenen Kurven anhand der in der ersten Versuchsreihe gewonnenen Schaulinien zu extrapolieren, so würde sich als Grenzbiegezugfestigkeit für die Kurven a_1, a_2 etwa $1,4$ bis $1,6 \text{ t/cm}^2$, für die Kurven b_1, b_2 $1,7$ bis $1,8 \text{ t/cm}^2$ ergeben. Diese Werte sind in Abb. 7 graphisch dargestellt, deren Ergänzung durch weitere Punkte wohl sehr wünschbar wäre, um eine Extrapolation nach abnehmenden und zunehmenden Werten des Verhältnisses $d_0 : d_1$

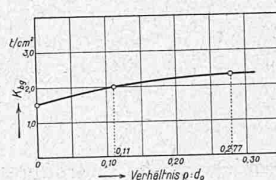


Abb. 6.

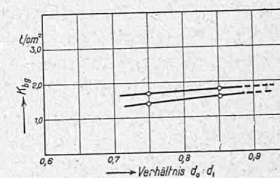


Abb. 7.

zu ermöglichen. Allein schon das vorhandene Material lehrt, dass in unzähligen Fällen der Praxis durch Eindrehung eines Wellenhalses in durchgehende Wellen eine erhebliche und unvermutete Schwächung dieses Maschinenteiles hervorgerufen worden ist. In der Tat wird ein Rundungshalbmesser von 11% des Wellendurchmessers, den man selten ausführt, schon als sehr gut gelten können; trotzdem wird die Dauerbiegezugfestigkeit im Vergleich mit derjenigen einer glatten Welle, wie die Schaubilder lehren, in bedeutendem Masse herabgesetzt. Schätzen wir die Grenzbiegezugfestigkeit der unversehrten Welle, da sie grösser sein muss als die Festigkeit bei 5 mm Hohlkehlenhalbmesser, zu etwa $2,5 \text{ t/cm}^2$ ein, so erleidet sie durch die Hohlkehle mit $\frac{\rho}{d_0} = 0,11$ eine Einbusse von $\frac{0,5}{2,5} = 20\%$. Die Einbusse vergrössert sich, wenn sich die Hohlkehle der scharfen Ecke nähert auf $\frac{1,0}{2,5} = 40\%$. Die übliche Rechnungsart ist daher in bezug auf den wahren Sicherheitsgrad von abgesetzten Wellen in einer Täuschung befangen und die vorliegenden Versuche dürften geeignet sein, die Aufmerksamkeit des Konstrukteurs auf den verkannten Gefahrpunkt zu lenken.

Zusammenfassung.

Der Einfluss der Hohlkehle auf die Festigkeit von Wellen mit eingedrehtem Lagerhals bei wiederholter Biegebeanspruchung („Dauer-Biegung“) wurde in den praktisch benützten Grenzen des Rundungshalbmessers untersucht. Bei einem Verhältnis des Rundungshalbmessers zum Wellendurchmesser von $0,28$ bis 0 (scharfe Ecke) sinkt die Dauerbiegezugfestigkeit auf 52% bzw. 34% der ursprünglichen Zugfestigkeit. Je kleiner das Verhältnis des Lagerhalsdurchmessers zum Wellendurchmesser ist, desto stärker tritt die Schwächung durch die Hohlkehle hervor.

¹⁾ Siehe Schüle, «Sitzungsberichte der schweizer. Mitglieder des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik», Nr. 2. Zürich 1909, Verlag der Eidg. Materialprüfungsanstalt.

²⁾ Bis jetzt liegen nur für den Einfluss von runden Bohrungen im unendlich ausgedehnten Blech von Kirsch und für halbkreisförmige Kerben am Rande eines Stabes von Leon Lösungen vor. Wir verweisen auf die wertvollen Erörterungen des letztern über Ermüdungserscheinungen an Baustoffen in der Z. d. V. d. I. 1917, Seite 192.