

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107/108 (1936)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Der Formänderungseinfluss beim versteiften Stabbogen  
**Autor:** Stüssi, Fritz  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48344>

#### 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:** 22.02.2026

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

**INHALT:** Der Formänderungseinfluss beim versteiften Stabbogen. — Das «Z-Verfahren» als neuer Beitrag zur Abwasser-Reinigung. — Mutationen zur Stromrückgewinnung bei Nutzbremsung. — Unerlaubte Architekten-Reklameschriften. — Nebenarbeit von Staats-Angestellten im Bauwesen. — Ueber Warenhäuser. = Mitteilungen: Arbeitsmöglichkeiten für Techniker auf den Philippinen. Überströmstück und Wirkungsgrad bei mehrstufigen Kreiselpumpen. «Ablegereife» von Drahtseilen. Dieselram-

men. Drehfedernde Kupplungen. Strassenbahn und Autobus. Dammbruch in U. S. A. Keine Arbeitsmöglichkeiten für technisches Personal in Abessinien. Die Olympiade-Bauten in Berlin. Ausbau der Alpenstrassen. Subventionen an Hochbau-Renovationsarbeiten. — Wettbewerbe: Neumbauung des Hauptplatzes der Hauptstadt Quito in Ecuador. — Nekrologe: Louis Blériot. — Literatur. — Einführungskurs über Abwasserreinigung. — Mitteilungen der Vereine.

## Der Formänderungseinfluss beim versteiften Stabbogen.

Von Dr. sc. techn. FRITZ STÜSSI, Privatdozent an der E. T. H., Zürich.

1. Es ist seit längerer Zeit bekannt, dass bei verankerten Hängebrücken die elastischen Formänderungen, d. h. die Durchbiegungen, eine Entlastung des Versteifungsträgers bewirken. Diese Abweichungen gegenüber den Ergebnissen der technischen Elastizitätslehre, die die Kräfte am unverformten System wirkend annimmt, sind dort oft so gross, dass die Anwendung der noch häufig als üblich bezeichneten Berechnungsweise einer unvertretbaren Materialverschwendungen gleichkommt oder überhaupt eine vernünftige Bauausführung verunmöglichen würde. Bei Bogenträgern zeigen die Fehler der Elastizitätslehre entgegengesetztes Vorzeichen, da hier eine Vergrösserung der Bogenmomente infolge der Systemverformungen eintritt, was mit einer Abnahme der Tragwerksicherheit gleichbedeutend ist. In dieser Beziehung besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Tragwerken mit aufgehobenem Horizontalschub, bei denen diese Formänderungseinflüsse nicht bestehen, und eigentlichen Bogen- und Hängebrücken.

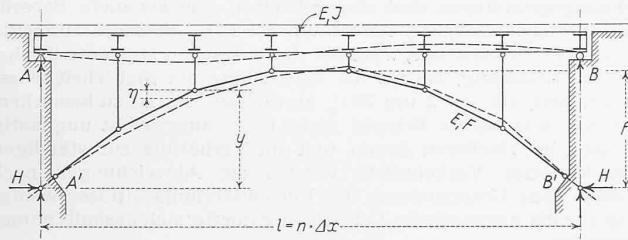


Abb. 1

Der versteifte Stabbogen (Abb. 1) nimmt unter den Bogenträgern insofern eine besondere Stellung ein, als sich hier diese Formänderungseinflüsse besonders einfach berechnen lassen. Dies deshalb, weil als massgebende Formänderungen hier die lotrechten Durchbiegungen des Versteifungsträgers auftreten, während bei gewöhnlichen Bogenträgern die Verschiebungsrichtung nicht von vornherein gegeben ist, sodass dort genau genommen mit zwei Verschiebungskomponenten zu rechnen ist. Der versteifte Stabbogen wird gerade in unsren Verhältnissen oft die zweckmässige Lösung darstellen. Da aber die Durchbiegungsvorschrift unserer neuen Verordnung (S. I. A.-Norm 112) bei üblicher Berechnung nach der Elastizitätslehre nicht genügt, um die Einflüsse der Formänderungen auf die Tragwerksicherheit genügend klein zu halten, scheint die Angabe einer einfachen Methode zur genaueren Berechnung dieser Tragwerksform gerechtfertigt.

2. Wir setzen einen gelenkigen Stabbogen voraus, auf den der Versteifungsträger mit Pendelstützen abgestützt sei. Ueberzählige Grösse X sei der Horizontalschub H des Stabbogens. Bezeichnen wir das Moment der äussern Belastung im einfachen Balken A-B (Grundsystem) mit M\_0, so beträgt das Biegemoment M im wirklichen Tragwerk

$$M = M_0 - H \cdot (y - \eta), \quad (1)$$

wo  $\eta$  zunächst die Durchbiegung des Stabbogens bezeichnet. Da die elastischen Verkürzungen der Stützen vernachlässigbar klein sind, sind in den Knotenpunkten die Durchbiegungen  $\eta$  von Stabbogen und Versteifungsträger gleich gross. Wenn wir uns nun auch die Biegungslinie  $\eta$  des Versteifungsträgers polygonal, bestimmt durch die Durchbiegungen in den Knotenpunkten, vorstellen, so liefert uns die Differentialgleichung der elastischen Linie für den Versteifungsträger die Beziehung

$$M = -E J \eta'' = M_0 - H \cdot (y - \eta). \quad (2)$$

Den polygonalen Verlauf der Durchbiegungen können wir uns auch so entstanden denken, dass die Verformungen (Winkeländerungen) des Versteifungsträgers in den Knotenpunkten konzentriert angenommen werden. Dieser gedachte Versteifungsträger sei als Ersatzträger bezeichnet.

Gleichung 2 ist identisch mit der Differentialgleichung des Ersatzträgers, wenn dieser ausser durch die Momente  $M_0$  und

$-H \cdot y$  durch eine gedachte axiale Druckkraft  $N = H$  belastet ist, wobei  $N$  nur die Momente  $N \cdot \eta$ , aber keine Längsspannungen  $N : F$  erzeugt.<sup>1)</sup> Für einen bestimmten Festwert von  $N$  können wir die Durchbiegungen  $\eta$  in die beiden Anteile infolge  $M_0$  und  $-H \cdot y$  zerlegen:

$$\eta = \eta_0 - H \cdot \eta_{H=1} \quad \dots \quad (3)$$

Für jeden Anteil  $M_k$  gilt die Differentialgleichung

$$M_k + N \cdot \eta_k = -E J \cdot \eta_k'' \quad \dots \quad (4)$$

Die Lösung dieser Gleichung liefert die Durchbiegungsanteile  $\eta_k$ . Ein einfaches baustatisches Auflösungsverfahren für derartige lineare inhomogene Differentialgleichungen zweiter Ordnung wurde an anderer Stelle angegeben.<sup>2)</sup> Darnach kann die Differentialgleichung ersetzt werden durch ein System von dreigliedrigen Gleichungen, deren Auflösung ja jedem Statiker geläufig ist. Für den hier vorliegenden Fall lässt sich mit den Abkürzungen

$$U = \frac{6 E J_c}{\Delta x^2}, \quad i_m = \frac{J_c}{J_m}$$

und unter der wohl stets die Steifigkeitsverhältnisse genügend genau erfassenden Annahme feldweise konstanten Trägheitsmoments für jeden Knotenpunkt m die Gleichung anschreiben:

$$\begin{aligned} & -\eta_{m-1} (U + i_m \cdot N) + \eta_m \cdot 2 (U - (i_m + i_{m+1}) N) \\ & -\eta_{m+1} (U + i_{m+1} \cdot N) \\ & = i_m (M_{m-1} + 2 M_m) + i_{m+1} (2 M_m + M_{m+1}) \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (5)$$

Die Randbedingungen lauten:  $\eta_A = 0, \eta_B = 0$ . Die Feldweiten  $\Delta x$  werden entsprechend den Querträgerabständen gewählt; sie sind also bei Anordnung von Zwischenquerträgern kleiner als die Pfostenabstände. Damit sind die Durchbiegungsanteile  $\eta_k$  infolge der Momentenanteile  $M_k$  bestimmbar.

Wir haben noch die Elastizitätsbedingung zur Bestimmung des überzähligen Horizontalschubes  $H$  aufzustellen. Sie lautet, dass der Abstand der beiden Auflagergelenkpunkte  $A'$  und  $B'$  sich nicht ändert. In Abb. 2 ist ein Stabbogenfeld in ursprünglichem Zustand und nach eingetreterener Verformung skizziert. Daraus können wir die geometrischen Beziehungen

$$\frac{(\Delta x + \Delta \xi)^2 + (\Delta y - \Delta \eta)^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2} = (s + \Delta s)^2 = s^2$$

ablesen.<sup>3)</sup> Unter Vernachlässigung der kleinen Grössen  $\Delta \xi$  gegen  $\Delta x$ ,  $\Delta \eta$  gegen  $\Delta y$  und  $\Delta s$  gegen s erhalten wir durch Subtraktion

$$\Delta x \cdot \Delta \xi - \Delta y \cdot \Delta \eta = s \cdot \Delta s$$

oder

$$\Delta \xi = \Delta y \cdot \frac{\Delta \eta}{\Delta x} + s \cdot \frac{\Delta s}{\Delta x}. \quad \dots \quad (6)$$

Die Stabverkürzung  $\Delta s$  setzt sich aus der Zusammendrückung infolge der Längskraft  $S = H : \cos \alpha$  und aus dem Einfluss der Temperaturänderung zusammen:

<sup>1)</sup> Eine ähnliche Umdeutung der Differentialgleichung finden wir bei S. Timoshenko: «Suspension bridges with a continuous stiffening truss», Abhandlungen I. V. B. H. 2. Band, 1933/34, bei der Berechnung von Hängebrücken. Dagegen wird erst durch die gedankliche Trennung von  $H$  und dem gedachten Festwert  $N$  eine Zerlegung in Teileinflüsse und damit eine zur üblichen Theorie statisch unbestimmter Tragwerke analoge Berechnung möglich.

<sup>2)</sup> F. Stüssi: «Baustatische Methoden». «SBZ» Bd. 107, S. 277, 20. Juni 1936. S. auch: F. Stüssi: «Die Stabilität des auf Biegung beanspruchten Trägers», Abhandlungen I. V. B. H. 3. Band 1935.

<sup>3)</sup> Diese Ableitung der Elastizitätsbedingung stimmt, abgesehen von der Zerlegung in Teildurchbiegungen  $\eta$ , mit einer auch bei der genaueren Berechnung von Hängebrücken verwendeten Form überein. Siehe Hans Bleich: «Die Berechnung verankerter Hängebrücken», Wien, Springer, 1935. Uebrigens erlaubt auch bei Hängebrücken die Trennung von  $N$  und  $H$  eine Vereinfachung der genaueren Berechnung, s. F. Stüssi: «Zur Berechnung verankerter Hängebrücken» Abhandlungen I. V. B. H., 4. Band 1936.

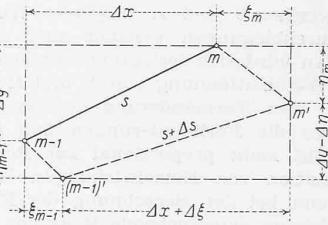


Abb. 2

$$\Delta s = -\frac{H \cdot s}{E F \cos \alpha} + \alpha_t \cdot t \cdot s \quad \dots \dots \quad (7)$$

Beachten wir, dass  $s = \Delta x : \cos \alpha$ , so erhalten wir mit den Abkürzungen

$$\Sigma \frac{F_c \cdot \Delta x}{F \cdot \cos^3 \alpha} = L, \quad \Sigma \frac{\Delta x}{\cos^2 \alpha} = L_t \quad \dots \dots \quad (8)$$

die Elastizitätsbedingung

$$\Sigma \Delta \xi = 0 = -H \cdot \frac{L}{E \cdot F_c} + \alpha_t \cdot t \cdot L_t + \Sigma \Delta y \cdot \frac{\Delta \eta}{\Delta x} \quad \dots \quad (9)$$

Denken wir uns die Bogenaxe als Seilpolygon mit  $H = 1$  zu Lasten  $P_v$ , so stellt  $\Sigma \Delta y \cdot \frac{\Delta \eta}{\Delta x}$  die virtuelle Arbeit dieser Lasten während der Verschiebungen  $\eta$  dar und kann deshalb einfacher geschrieben werden

$$-\Sigma \Delta y \cdot \frac{\Delta \eta}{\Delta x} = \Sigma P_v \cdot \eta \quad \dots \dots \quad (10)$$

Liegen die Knotenpunkte des Stabbogens auf einer Parabel, so ist

$$P_v = \frac{8 f}{l^2} \cdot \Delta x = \frac{8 f}{n^2 \cdot \Delta x}$$

und Gleichung 9 geht mit Beachtung von Gleichung 3 in die zur üblichen Berechnungsweise analoge Form über:

$$H \cdot \left( \frac{L}{E F_c} + \frac{8 f}{n^2 \cdot \Delta x} \cdot \Sigma \eta_{H=1} \right) = \alpha_t \cdot t \cdot L_t + \frac{8 f}{n^2 \cdot \Delta x} \cdot \Sigma \eta_0. \quad (11)$$

Die Summen  $\Sigma$  erstrecken sich über die ganze Spannweite.

Damit gestaltet sich die Untersuchung eines bestimmten Belastungsfalls wie folgt: Zunächst werden für die  $M_0$ -Momente und die Momente infolge  $H=1, -1 \cdot y$ , die zugehörigen Durchbiegungen  $\eta$  durch Auflösung des Gleichungssystems Gl. 5 bestimmt, wobei für  $N$  ein geschätzter Wert des Horizontalschubes  $H$  eingesetzt wird. Die Elastizitätsbedingung Gl. 11 liefert nun den Horizontalschub  $H$ , womit sich die Tragwerkssmomente  $M$  und die Durchbiegungen  $\eta$  durch Superposition nach den Gleichungen 1 und 3 bestimmen lassen. Stimmen der geschätzte Wert  $N$  und der berechnete Wert  $H$  nicht miteinander überein, so ist eine zweite Rechnung mit dem neuen Wert von  $N=H$  durchzuführen. Sind eine Reihe von Belastungsfällen zu untersuchen, so ist es einfacher, die Berechnung für zwei Grenzfälle von  $N$ ,  $N=H_g$  und  $N=H_{g+p_{tot}}$ , durchzuführen und die Werte  $\eta$  und  $M$  durch Interpolation zu bestimmen. Beachten wir, dass die hier dargestellte Berechnung für  $N=0$  die gleichen Resultate ergibt, wie die Elastizitätslehre, so erkennen wir, dass für alle zwischen 0 und  $H$  liegenden Werte von  $N$  die Momente und Durchbiegungen genauer sind als nach üblicher Berechnung. Man wird sich deshalb praktisch auch mit einer nur annähernden Uebereinstimmung von  $N$  und  $H$  zufrieden geben dürfen.

Der Formänderungseinfluss äussert sich u.a. auch darin, dass die Formänderungen und die Tragwerkbeanspruchungen nicht mehr proportional zur Belastung wachsen. Eine Superposition von Einzelwirkungen ist deshalb nur dann zulässig, wenn bei der Berechnung der Einzeleinflüsse der Gesamt-wirkung entsprechende Wert von  $N$  berücksichtigt wurde. Aus diesem Grunde ist der Einfluss der ständigen Last je nach der Anordnung der Verkehrslast und dem Vorzeichen der Temperaturänderung verschieden, sodass sich für jeden Belastungsfall eine gemeinsame Berücksichtigung aller Einflüsse empfiehlt.

Da mit zunehmender Belastung die Momente im Versteifungsträger stärker anwachsen als bei linearem Zusammenhang, genügt die Berechnung der unter Gebrauchslast auftretenden Beanspruchungen nicht mehr zur Beurteilung der Sicherheit. Bezeichnen wir den verlangten Sicherheitsgrad mit  $v^4$ , so ist die durch die Vorschrift zulässiger Beanspruchungen indirekt geforderte Sicherheit dann eingehalten, wenn in jedem Schnitt des

Versteifungsträgers die Vergleichsspannung  $\sigma'$  infolge der  $\frac{1}{v}$ fachen Momente aus  $v$ -facher Belastung unter der zulässigen Beanspruchung liegt. Damit wird für Stahl ein idealisiertes Spannungsdehnungsdiagramm mit zusammenfallenden Proportionalitäts- und Fließgrenzen<sup>5)</sup> und ebenso für Beton ein mittlerer konstanter Elastizitätsmodul vorausgesetzt.

3. Um die Grössenordnung des Formänderungseinflusses beim betrachteten Stabbogen zu veranschaulichen, sind in Abb. 3 die Momente und Durchbiegungen für die annähernd massgebende Anordnung halbseitiger Verkehrslast für eine nach der neuen Verordnung in üblicher Weise bemessene Strassenbrücke aus Stahl von  $l=35$  m mit einer grössten Durchbiegung von 5,0 cm

<sup>4)</sup> Wir führen hier, im Gegensatz zu einigen kürzlich in der Fachpresse gefallenen Auseinandersetzungen nur einen, für ständige und zufällige Belastung gleichen Sicherheitsgrad ein, weil wir der Auffassung sind, dass der Sicherheitsgrad nicht dazu da ist, um eventuelle spätere Verkehrslasterhöhungen zu decken. Diese Auffassung ist dann umso mehr gerechtfertigt, wenn die zulässigen Beanspruchungen, wie in Art. 64 unserer Verordnung, von den Spannungsgrenzwerten abhängig gemacht werden.

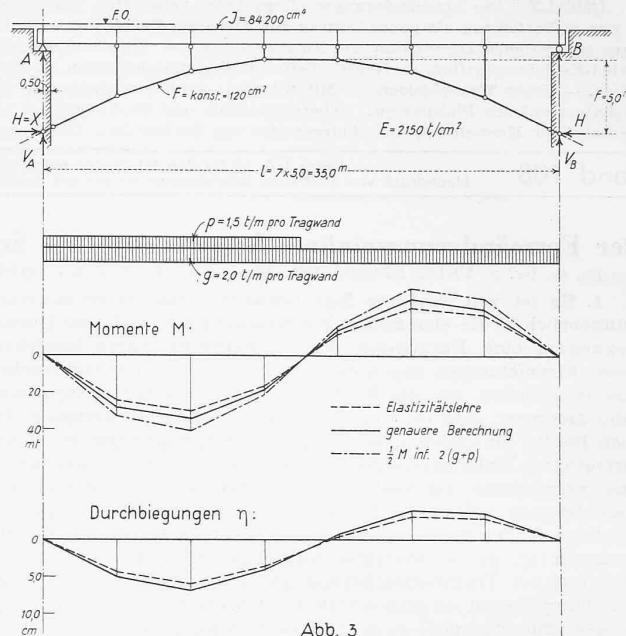


Abb. 3

=  $1/100$  der Spannweite infolge Verkehrslast dargestellt. Die Berechnungsgrundlagen sind eingeschrieben. Die genauere Berechnung für Gebrauchslast liefert um rd. 15 % grössere Momente als die Elastizitätslehre, während die  $1/v$ -fachen Momente infolge  $v$ -facher Belastung, die für die Beurteilung der Sicherheit massgebend sind, für  $v=2$  um 35 % anwachsen. Es ist zu bemerken, dass das untersuchte Beispiel nicht etwa ausgesucht ungünstig ist, denn bei flacheren Bogen und im Verhältnis zur ständigen Last kleinerer Verkehrslast werden die Abweichungen noch grösser. Eine Untersuchung der Formänderungseinflüsse wenigstens für die ungünstigste Laststellung dürfte sich deshalb immer empfehlen.

Die Unterschiede zwischen genauerer Berechnung und Elastizitätslehre sind hier beim Stabbogen, wie bei den Bogenträgern überhaupt, wesentlich geringer als bei den meisten Hängebrücken. Insbesondere liefern hier die auf Grund von Einflusslinien nach der Elastizitätslehre ermittelten ungünstigsten Belastungsanordnungen auch bei der genaueren Berechnung annähernd und praktisch genügend genau die ungünstigsten Schnittkräfte und Formänderungen. Das bedeutet gegenüber der Berechnung von Hängebrücken eine nicht unwe sentliche Erleichterung.

4. Das hier skizzierte Berechnungsverfahren weist noch eine Unstetigkeit auf. Es versagt nämlich dann, wenn im Gleichungssystem Gl. 5 für  $N$  die kleinste Knicklast  ${}_1 N_{kr}$  des Ersatzträgers eingeführt wird. Diese Schwierigkeit, die übrigens nur bei sehr schlanken Versteifungsträgern eintritt, kann dadurch umgangen werden, dass die Teildurchbiegungen  $\eta$  für zwei verschiedene Werte von  $N$ ,  $N \leq {}_1 N_{kr}$  berechnet und die Endresultate durch Interpolation bestimmt werden. Der Wert von  ${}_1 N_{kr}$ , unter dem der Ersatzträger in einer Halbwelle ausknickt, kann nach dem Verfahren von Vianello auch bei beliebig veränderlichen Querschnittswerten leicht berechnet werden. Er spielt übrigens für das Gesamttragwerk weiter keine Rolle.

Von grundlegender Bedeutung für das Tragwerk ist dagegen die zweite Knicklast,  ${}_2 N_{kr}$ , unter der der Ersatzträger in zwei Halbwellen, also gegensymmetrisch, ausknickt. Ist der Horizontalschub  $H$  gleich  ${}_2 N_{kr}$ , so ist die Versteifung des Stabbogens durch den Versteifungsträger ungenügend, das Tragwerk ist unstabil. Dieses Stabilitätsproblem ist insofern bemerkenswert und eigenartig, weil für die Stabilität eine gedachte Knickkraft eines in Wirklichkeit gar nicht auf Druck beanspruchten Tragwerksteils massgebend wird. Bei konstantem Querschnitt des Versteifungs trägers und für dichte Asteilung der Stützen (stetige Stützung des Versteifungsträgers) besitzt  ${}_2 N_{kr}$  den Wert

$${}_2 N_{kr} = \frac{4 \pi^2 \cdot E J}{l^2}. \quad (12)$$

<sup>5)</sup> Bei einem allgemeinen Spannungsdehnungsdiagramm, wie es etwa der Untersuchung des Knickens gelenkig gelagerter Druckstäbe im plastischen Bereich zu Grunde gelegt wird, gestaltet sich die Untersuchung der Sicherheit wesentlich komplizierter. Für den Dreigelenkbogen ist diese Untersuchung von E. Chwalla («Die Tragfähigkeit stählerner Dreigelenkbogen», «Stahlbau» 1935) durchgeführt worden. Dagegen zeigen neuere Biegungsversuche an Balken aus Baustahl, dass die hier vorausgesetzte Idealisierung des Spannungsdehnungsdiagramms für Bemessungszwecke genügend zuverlässige Resultate liefert.

Bemerkenswert ist ferner, dass beim vorliegenden Problem ein Knicken im plastischen Bereich im üblichen Sinne nicht existiert, da ja die Knicklast nur eine ideelle, keine Druckspannungen erzeugende Kraft ist.

Die Knicklast  $N_{kr}$  besitzt noch eine weitere Bedeutung: sie erlaubt für die Anordnung halbseitiger Nutzlast eine bemerkenswert genaue Abschätzung des grössten Biegemomentes  $M$  aus dem entsprechenden Wert nach der Elastizitätstheorie,  $M_{el}$ , d. h. der Formänderungseinflüsse, durch die Beziehung

$$M = M_{el} \cdot \frac{1}{1 - \frac{H}{2N_{kr}}} \quad (13)$$

Für die praktische Bemessung wird wohl immer dieser Belastungsfall ausschlaggebend sein, die Knickgefahr des Tragwerks unter voller Verkehrslast wird dagegen an Bedeutung zurücktreten.<sup>6)</sup> <sup>7)</sup>

<sup>6)</sup> F. Stüssi: «Aktuelle baustatische Probleme der Konstruktionspraxis (Knicklast und Grundschwingszahl von Bogenträgern).» *SBZ* Bd. 106, Seite 132, 21. September 1935.

<sup>7)</sup> S. auch: E. Chwalla: «Die Tragfähigkeit stählerner Dreigelenkbögen», *Stahlbau* 1935.

## Das „Z-Verfahren“ als neuer Beitrag zur Abwasser-Reinigung.

Von Ing. PAUL ZIGERLI, Zürich.

### Allgemeine Abwasserfragen.

Während sich das Ausland seit Jahrzehnten intensiv mit der Abwasser-Reinigung beschäftigt (England, Deutschland und die U. S. A. sind diesbezgl. führend), ist dieses Problem in der Schweiz — außer in grösseren Städten und einzelnen Industrien — erst in letzter Zeit aktuell geworden. Allerdings wird es nun energisch angepackt; die Errichtung der «Beratungsstelle der E. T. H. für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung» legt hierfür Zeugnis ab. — Ganz allgemein orientieren über den heutigen Stand der Abwasserfrage u. a. Aufsätze von F. Langbein<sup>1)</sup>, sowie von M. Wegenstein<sup>2)</sup>, die beide ausschlussreich sind. Es sei insbesondere auch auf die Arbeiten von Ing. J. Müller über die Kläranlage der Stadt Zürich<sup>3)</sup>, sowie von Dr. Husmann über die Versuchsanlagen der Stadt Zürich zur biologischen Reinigung der Abwässe<sup>4)</sup> verwiesen.

Die Zusammensetzung der Fremdstoffe in einem normal verschmutzten Abwasser zeigt Abb. 1.

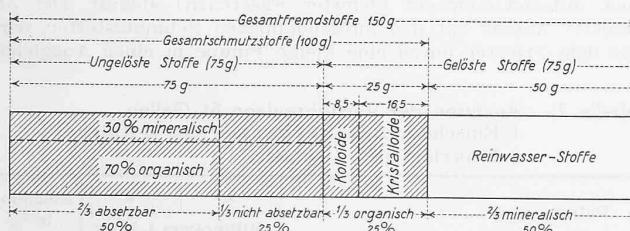


Abb. 1. Zusammensetzung der Fremdstoffe im Abwasser nach Strell.

Es ist scharf zu unterscheiden zwischen «Klärung» und «Reinigung» von Abwässeern, worin immer wieder eine gewisse Begriffsverwirrung anzutreffen ist.

Unter «Klärung» ist zu verstehen die Entfernung der absetzbaren Schwebestoffe (Sinkstoffe) aus dem Abwasser in mechanischen Kläranlagen wie Emscherbrunnen, Travisbecken usw., worüber die kleine Schrift von Dr. O. Mohr<sup>5)</sup> orientiert. Was in diesem Zusammenhang über Hauskläranlagen zu erwähnen ist, behandeln vor kurzem ausführlich H. F. Kuisel, G. Lüthi und J. Müller<sup>6)</sup>. Allgemein ist zu sagen, dass der Ablauf aus solchen Klär- oder Absitzbecken in keinem Fall ein «gereinigtes» Abwasser darstellt, indem darin noch die nicht absetzbaren Schwebestoffe organischer und anorganischer Natur, die Kolloide (Fett, Stärke, Eiweiß usw.) und die echt gelösten Stoffe (Kristalloide: Harnstoff, Zucker, organische Säuren) enthalten sind. Dieser Abfluss ist trotz der vorangegangenen Klärung in den weitaus meisten Fällen noch fäulnisfähig, und die daraus entstehende Verschmutzung des Vorfluters zeitigt dann als sekundäre Verunreinigung das massenhafte Auftreten der bekannten grauen, stinkenden Zotteln von Abwasserpilzen (*Sphaerotilus*) in unseren Bächen und Flüssen unterhalb der Ausmündungen von Absitzbecken und Kanalisationen.

Unter «Reinigung» dagegen versteht man die Befreiung des Abwassers von den organischen Stoffen bis zur praktischen Fäulnisunfähigkeit durch Weiterbehandlung des Abwassers aus den vorgenannten Absitzbecken. Es soll so dem Vorfluter ein für ihn unschädliches Wasser zugeführt werden. Dies geschieht heute durch sog. biologische Anlagen, die wir hier nicht näher zu behandeln brauchen; immerhin sei nachstehend die Erklärung des Vorganges z. B. beim Belebtschlamm-Verfahren nach Bus-

well und Long<sup>7)</sup> angegeben: «Die Flocken des aktivierten Schlammes bestehen aus einem schleimigen Grundstoff, worin Fadenbakterien und einzelne Bakterien eingebettet sind und worauf verschiedene Arten von Protozoen und Metazoen leben. Die Reinigung des Abwassers geht dadurch vor sich, dass seine organischen Stoffe von den Lebewesen aufgenommen und in lebende Masse der Flocken verwandelt werden. Durch diesen Vorgang werden die organischen Stoffe des Abwassers aus der gelösten und kolloidalen Form in eine körperliche Form übergeführt, sodass sie durch Absetzen aus dem Abwasser beseitigt werden können.»

Die Belastungsmöglichkeit des Vorfluters<sup>8)</sup> ist nicht nur abhängig von seiner Wassermenge, sondern in hohem Massen auch von der Zusammensetzung des Abwassers. Diese ist nicht nur von Ort zu Ort ganz verschieden, sondern ändert auch fortwährend innerhalb der Tages- und Nachtstunden, der Werk- und Feiertage, der Jahreszeiten usw.; es sei dabei auch auf die Verschiedenartigkeit der Industriezweige in den einzelnen Ortschaften hingewiesen. Das klassische «Taschenbuch der Stadtentwässerung» von Imhoff gibt hierüber erschöpfend Auskunft.

Sierp<sup>9)</sup> schrieb schon vor fünf Jahren: «Bei der Entscheidung der Frage des Einflusses des Abwassers auf den Vorfluter spielt die Veränderung der biologischen Vorgänge, die bei der Vermischung des Abwassers im Vorflutwasser auftreten, eine entscheidende Rolle.» Aber nicht nur der Verdünnungsgrad<sup>10)</sup> des Abwassers im Vorfluter ist wichtig, sondern auch die Temperatur und sogar der Barometerstand, wie Sierp im gleichen Aufsatz ausführt: «Bei niedriger Temperatur werden grössere Sauerstoffmengen aufgenommen als bei höherer, dagegen spielen sich die biologischen Vorgänge bei höherer Temperatur viel schneller als bei niedriger ab. — Plötzliche Schwankungen des Barometerstandes, wie sie bei Gewittern usw. auftreten, haben schon oft den Sauerstoffgehalt des Vorfluters so weit herabgesetzt, dass Fischsterben auftreten konnte.»

Die vorstehenden Ausführungen zeigen deutlich, dass niemals schematisch ein bestimmtes Klärsystem angewendet werden kann, weil nirgends die gleichen Verhältnisse anzutreffen sind. Vorgängig jeder Projektierung einer Abwasser-Reinigungsanlage sind daher unter allen Umständen folgende Untersuchungen vorzunehmen: 1. Genaue Untersuchung und Studium der Vorfluterverhältnisse. 2. Chemische und biologische Untersuchung des Abwassers; beide in qualitativer wie quantitativer Hinsicht. Diese Studien bedingen eine enge Zusammenarbeit des projektierenden Ingenieurs mit den kantonalen und städtischen Laboratorien, die sich immer mehr auf dieses wichtige Gebiet einstellen, oder mit der oben erwähnten Beratungsstelle der E. T. H., speziell mit deren chemisch-biologischer Abteilung.

In der Schweiz herrschen zwei Systeme der Abwasserbehandlung vor: a) mechanische Kläranlagen, b) biologische Reinigungsanlagen.

Die ersten genügen in den weitaus meisten Fällen nicht, weil, wie oben ausgeführt, der Ablauf daraus fäulnisfähig bleibt; sie stellen lediglich eine Vorstufe der Abwasserreinigung dar. Die biologischen Reinigungsanlagen anderseits sind meist sehr kostspielig in Erstellung und Betrieb und werden daher, außer für grössere Städte, stets nur für bestimmte industrielle Betriebe in Frage kommen. Dazu kommt, dass sie im Winter ohne Heizung nicht betriebsfähig sind, weil die Kleinlebewesen

<sup>1)</sup> «Der Bauingenieur», Heft 13 und 14, 29. März 1935.  
<sup>2)</sup> «Wasser- und Energiewirtschaft», 1936, Heft 4 und 5.

<sup>3)</sup> «SBZ», Bd. 107, Nr. 18 und 19, Mai 1936.  
<sup>4)</sup> «SBZ», Bd. 107, Nr. 20, Mai 1936.

<sup>5)</sup> «Mechan. Kläranlagen für Städte und Gemeinden», von Dr. Ing. O. Mohr, Verlag Oldenbourg, 1931.

<sup>6)</sup> Ueber Hauskläranlagen, in «Schweiz. Zeitschrift für Strassenwesen», Nr. 8 und 9, 1936 (Zusammenfassung in «SBZ», Bd. 108, S. 20).

<sup>7)</sup> Buswell und Long: Microbiology and Theory of activated sludge, in «Eng. News Rec.» 90, Nr. 3 (18. I. 1928), aus «Vom Wasser», S. 143/144, Berlin, 1927.

<sup>8)</sup> Vergl. Mahr: Die zulässige Belastung eines Gewässers durch Abwasser, in «Techn. Gemeindeblatt», Nr. 15, 1930.

<sup>9)</sup> Dr. Sierp und F. Fränsemeyer, Ruhrverband Essen: Fortschritte in der Kenntnis des biochemischen Sauerstoffbedarfs, in «Techn. Gemeindeblatt», Heft 17 und 18, 1931.

<sup>10)</sup> Vergl. Csensny, «Vom Wasser», 1935, S. 34.