

DER BAUINGENIEUR

23. Jahrgang

5. September 1942

Heft 35/36

KRITISCHE BETRACHTUNGEN ZU DEN DEUTSCHEN BESTIMMUNGEN FÜR STAHLBETON BEZÜGLICH DER BERECHNUNG DER HAFT-, SCHUB- UND SCHERSPANNUNGEN.

Von Dr.-Ing. Fr. Dischinger, o. Professor, Berlin.

DK 624.012.4 : 624.042.1

A. Die Berechnung der Haftspannungen bei konstanter Balkenhöhe.

Nach den bisherigen deutschen Bestimmungen für Stahlbeton vom Jahre 1932 sind die Haftspannungen für den Fall, daß die Schubsicherung nur durch Bügel erfolgt, nach der Gleichung

$$(1) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z}$$

zu berechnen. Sobald aber die Schubsicherung teilweise durch abgobogene Schrägeisen und teilweise durch Bügel erfolgt, tritt unter der Voraussetzung einer vollständigen Schubsicherung an die Stelle der Gl. (1) die von M ö r s c h auf Grund seiner Fachwerktheorie entwickelte Gl. (1 a):

$$(1 a) \quad \tau = \frac{I}{2 u z} \cdot Q$$

Die Fachwerktheorie gibt uns wohl eine Erklärung dafür, daß die Haftspannungen bei Anordnen von schrägen Abbiegungen stark zurückgehen, sie kann uns aber über die Größenordnung der Abminderung keine hinreichenden Grundlagen geben, denn sie liefert schon sehr abweichende Ergebnisse, sobald die Neigungen der Fachwerkstäbe geändert werden. Auch ist es nicht möglich, auf diese Weise festzustellen, welche Haftspannungen bei einer Schubsicherung auftreten, die teilweise durch Bügel und teilweise durch Schrägeisen vorgenommen wird.

Die bisherigen Gleichungen führen zu dem unbefriedigenden Zustand, daß schon bei Anordnung einer geringen Anzahl von Schrägeisen von der günstigen Gl. (1 a) Gebrauch gemacht werden darf, während andererseits bei einer Schubsicherung, die ganz oder fast ausschließlich durch Schrägeisen erfolgt, die Gl. (1 a) zu ungünstige Ergebnisse liefert. Aus der Erkenntnis, daß durch Schrägeisen die Haftspannungen ermäßigt werden, läßt sich folgern, daß die Haftspannungen eine Funktion der Schubkräfte sein müssen, die von den Schrägeisen gedeckt werden und daß der ungünstigste Wert von τ_1 der Gl. (1) ganz allmählich in Form einer Funktion zu dem günstigsten Wert von τ_1 überleiten muß, der sich ergibt, wenn die Schubsicherung nur durch abgobogene Schrägeisen erfolgt.

Die Grundlagen der Biegetheorie im Stahlbeton sind bekanntlich:

a) Die B e r n o u l l i s c h e Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte bei der Verbiegung.

b) Das H o o k e s c h e Gesetz der Proportionalität von Spannungen und Dehnungen, das aber für die Beton- und Stahlquerschnitte gesondert angesetzt werden muß, weil der Elastizitätsmodul des Stahles n-mal größer ist als der des Betons. Hieraus folgen für die Stahlquerschnitte, die den gleichen Dehnungen wie die Betonquerschnitte unterworfen sind, n-fach größere Spannungen $(n = \frac{E_c}{E_b})$.

c) Das für den Bruchzustand maßgebende Stadium II, wonach die Betonzugspannungen, die sich aus der Biegungs- und der Schubbeanspruchung ergeben, in vollem Maße durch Stahlbewehrungen aufzunehmen sind.

Durch diese Grundlagen ist der Verlauf der inneren Kräfte

des Stahlbetonbalkens eindeutig festgelegt, so daß es möglich sein muß, eine strenge Lösung für die Haftspannungen zu finden. Dies soll im nachstehenden durchgeführt werden.

Um Irrtümer zu vermeiden, sei ausdrücklich bemerkt, daß bei den nachstehenden Entwicklungen nur das Stadium II betrachtet wird. Bekanntlich gelten hierbei nicht die bei dem homogenen Balken maßgeblichen Verträglichkeitsbedingungen, sondern neben den Gleichgewichtsbedingungen nur das ebene Formänderungsgesetz.

Mit den obigen Grundlagen ergeben sich die Schubspannungen in der neutralen Faser zu $\tau_0 = \frac{Q}{b_0 z}$. Wir gehen bei den weiteren Entwicklungen jedoch nicht von den Schubspannungen, sondern von der Schubkraft, die in der Ebene der neutralen Faser wirkt und durch welche die Druckzone des Balkens mit der Zugzone verübelt wird, aus. Diese auf die Längeneinheit bezogene Schubkraft in der neutralen Faser, die wir mit Verdübelungskraft bezeichnen wollen, beträgt

$$(2) \quad \begin{cases} \frac{dT}{dx} = T' = \frac{Q}{z} \\ \text{bzw. } T' = b_0 \tau_0. \end{cases}$$

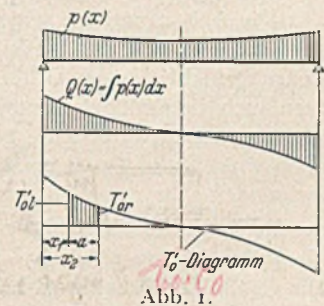


Abb. 1.

Bei veränderlicher Balkenhöhe bzw. bei veränderlichem Hebelarm z der inneren Kräfte berechnet sich die Verdübelungskraft aus der Gleichung

$$(2 a) \quad T'_0 = \frac{I}{z} \left(Q - \frac{M}{h} \operatorname{tg} \alpha \right).$$

Die Gl. (2 a) ergibt gegenüber der Gl. (2) eine Verminderung der Verdübelungskraft, wenn die Querschnittshöhe h mit dem Moment anwächst. Ist dies nicht der Fall, so wechselt der Faktor $\frac{M}{h} \operatorname{tg} \alpha$ sein Vorzeichen, und an die Stelle einer Entlastung tritt eine Vergrößerung der Verdübelungskraft.

Es ergibt sich mit Hilfe von Gl. (2) bzw. (2 a) die Größe der Verdübelungskraft für die Strecke a zwischen $x = x_1$ und $x = x_2$ nach Abb. 1 zu

$$(2 b) \quad T_a = \int_{x_1}^{x_2} T'_0 dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{Q}{z} dx \approx \frac{a}{2} (T'_{0l} + T'_{0r}).$$

Wir erhalten demnach die Größe der Verdübelungskraft auf der Strecke a mit Hilfe des T'_0 -Diagramms, der sogenannten Verdübelungsfläche. Bei konstantem Hebelarm der inneren Kräfte ($z = \text{const}$) ist das T'_0 -Diagramm affin zu dem der Querkräfte. Für kleine Strecken a können wir entsprechend der Gl. (2 a) die Größe der Kraft T_a hinreichend genau aus dem Inhalt der durch T'_{0l} und T'_{0r} begrenzten Trapezfläche berechnen.

In der neutralen Faser sind die Biegespannungen gleich Null, und daher verlaufen die Spannungstrajektorien unter einem Winkel von 45° zu der neutralen Faser. Demgemäß zerlegen wir die Ver-

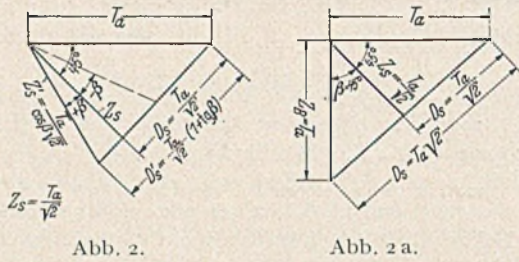
Wann man das nehmen werden

Schubkraft fläche

dübelungskraft nach Abb. 2 entsprechend dem Verlauf der Hauptspannungen unter 45° in eine Druckkraft D_S und in eine Zugkraft Z_S , die durch Bewehrungsstäbe aufzunehmen ist. Hierbei ist $Z_S = D_S = \frac{T_a}{\sqrt{2}}$. Es ist aber auch zulässig, die Zugeisen in eine von Z_S um den Winkel β abweichende Neigung zu legen. In diesem Falle ergibt sich die Zugkraft in den Bewehrungen zu

$$(3) \quad Z'_S = \frac{Z_S}{\cos \beta} = \frac{T_a}{\cos \beta \sqrt{2}}$$

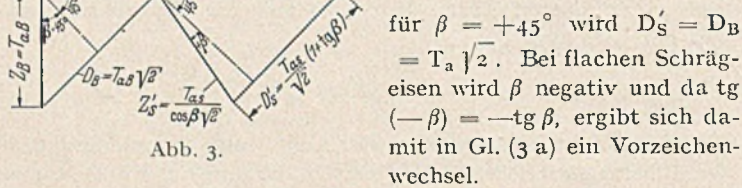
unabhängig davon, ob der Winkel β positiv oder negativ ist. Die Gl. (3) und die Abb. 3 zeigen, daß bei einer um den Winkel β gegenüber der Richtung der Zugtrajektorie abweichenden Schräg-



lage der Bewehrung nur der auf die Trajektorie projizierte Querschnitt der Bewehrung wirksam ist, d. h. bei jeder Abweichung von der 45°-Schräge vergrößert sich die Zugkraft und damit der Querschnitt der einzulegenden Eisen. Die größte Querschnittsfläche der Bewehrung ergibt sich bei senkrechten Stäben (Bügel), wobei $\beta = 45^\circ$ und $Z'_S = Z_B = T_a$ wird (Abb. 2 a). Z_B ist die Zugkraft der senkrechten Bügel.

Die Abb. 2 und 2 a zeigen, daß durch eine von der Richtung der Zugtrajektorie um den Winkel β abweichende Neigung der Bewehrung nicht nur die Größe der Zugkräfte der Bewehrung, sondern auch die Größe der immer in Richtung der Drucktrajektorien wirkenden Druckkräfte D'_S beeinflusst wird. Bei flachen Schrägeisen sinkt diese Druckkraft ab, dagegen steigt sie bei steileren Neigungen sehr rasch an, um bei senkrechten Bewehrungsstäben ihr Maximum mit $D'_S = T_a \sqrt{2}$ zu erreichen, immer aber verläuft diese Druckkraft unter 45° in Richtung der Drucktrajektorien. Die Größe der Druckkraft D'_S beträgt nach Abb. 2

$$(3 a) \quad D'_S = \frac{T_a}{\sqrt{2}} (1 + \operatorname{tg} \beta),$$



für $\beta = +45^\circ$ wird $D'_S = D_B = T_a \sqrt{2}$. Bei flachen Schrägeisen wird β negativ und da $\operatorname{tg}(-\beta) = -\operatorname{tg} \beta$, ergibt sich damit in Gl. (3 a) ein Vorzeichenwechsel.

Zweckmäßig zerlegt man nach Abb. 3 die Kraft T_a in einen Anteil T_{aS} , der durch Schrägeisen, und einen Anteil T_{aB} , der durch senkrechte Bügel aufgenommen wird. Damit ergeben sich die Zugkräfte Z'_S und Z_B in den Schrägeisen und in den Bügeln auf der Strecke a zu

$$(4) \quad Z'_S = \frac{T_{aS}}{\cos \beta \sqrt{2}}$$

$$(4 a) \quad Z_B = T_{aB}$$

Für $\beta = 45^\circ$ muß die Gl. (4) in die Gl. (4 a) übergehen.

Zwecks Berechnung der Haftspannungen betrachten wir nun gemäß der Abb. 4 zunächst einen durch ruhende Lasten symmetrisch belasteten Balken mit dem größten Moment $\max M$ in Feldmitte, dem die Zugkraft $\max Z = \frac{\max M}{z}$ entspricht. Der Zugkraft $\max Z$ wird das Gleichgewicht durch die entgegengesetzte Druckkraft $\max D$ gehalten.

Die Verdübelungskraft der einen Trägerhälfte $a = l/2$ ist ebenso groß wie $\max Z$; denn diese Zugkraft $\max Z$ wird ebenso wie die Druckkraft $\max D$ durch die Verdübelungskraft T_a er-

zeugt. Dies folgt auch aus der Gl. (2 b):

$$T_a = \int_{x=0}^{l/2} T'_0 dx = \frac{1}{z} \int_{x=0}^{l/2} Q dx = \frac{\max M}{z} = \max Z.$$

Die beiden äußeren waagerechten Kräfte T_a und $\max Z$, die auf den Balkenteil unterhalb der neutralen Achse einwirken, halten sich gegenseitig das Gleichgewicht. Von der gesamten Verdübelungskraft T_a soll nun nach Abb. 3 der Anteil T_{aS} durch die Schrägeisen unter dem Winkel β und der Anteil T_{aB} durch senkrechte Bügel aufgenommen werden. Damit ergibt sich die Zugkraft Z'_S in den Schrägeisen zu $Z'_S = \frac{T_{aS}}{\cos \beta \sqrt{2}}$ und die Zugkraft

in den Bügeln zu $Z_B = T_{aB}$. Hierbei ist zu beachten, daß sich die Zugkräfte Z'_S der Schrägeisen und Z_B der Bügel auf die gesamten Schrägeisen bzw. Bügel einer Balkenhälfte beziehen. Die

Kraft $Z'_S = \frac{T_{aS}}{\cos \beta \sqrt{2}}$ ist in den abgebogenen Schrägeisen bei Überschreiten der neutralen Faser infolge der Schubwirkungen schon vorhanden und braucht nicht mehr durch Haftung in der Zugzone eingeleitet zu werden. Infolgedessen ist die Kraft, die in dem Bereich der Zugzone durch Haftung in die Biegungszugeisen eingeleitet werden muß, durch den Wert

$$T_a - \frac{T_{aS}}{\cos \beta \sqrt{2}} = T_a \left(1 - \frac{T_{aS}}{T_a \cos \beta \sqrt{2}} \right)$$

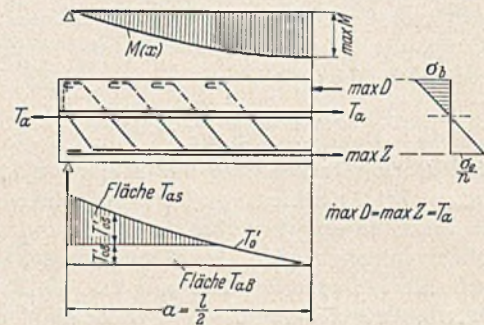


Abb. 4.

gegeben. Diese Kraft muß demnach durch Haftung in der Zugzone in den Biegungszugeisen hervorgerufen werden. Wir erhalten hiermit die gesamte Haftkraft auf der Länge $l/2$ aus der Gleichgewichtsbedingung

$$(5) \quad \int_{x=0}^{l/2} \tau_1 u dx = T_a \left(1 - \frac{T_{aS}}{T_a \cos \beta \sqrt{2}} \right).$$

Für den Sonderfall, daß die gesamte Schubsicherung nur mittels senkrechter Bügel durchgeführt wird, ist $T_{aS} = 0$ und damit

$$\int_{x=0}^{l/2} \tau_1 u dx = T_a = \int_0^{l/2} \frac{Q}{z} dx.$$

Hieraus ergibt sich

$$(5 a) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z},$$

und wir stoßen damit auf die am Anfang angegebene Gleichung der Haftspannungen der deutschen Bestimmungen [Gl. (1)]. Dagegen erhalten wir für den Sonderfall, daß die Schubsicherung nur durch abgebogene Schrägeisen vorgenommen wird mit $T_{aS} = T_a$

$$\int_{x=0}^{l/2} \tau_1 u dx = T_a \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right) = \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right) \int_0^{l/2} \frac{Q}{z} dx$$

und daraus

$$(5 b) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z} \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right).$$

Hieraus ergibt sich für Schrägeisen unter 45° mit $\beta = 0$

$$(5 c) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z} 0,293,$$

während nach den deutschen Bestimmungen entsprechend der Gleichung von Mörsch nach Gl. (1 a) mit einem wesentlich größeren Wert von $\tau_1 = \frac{Q}{uZ} 0,5$ zu rechnen wäre. Um von vornherein irrigen Anschauungen zu begegnen, sei ergänzend zu den obigen Ausführungen nochmals betont, daß in dieser äußeren auf den Balkenteil unter der neutralen Faser einwirkenden Kraft T_a sowohl die Horizontalkomponenten der Zugkräfte Z'_S wie auch der Druckkräfte D'_B enthalten ist.

Um den Übergang von der Gl. (5 a) zu den Gl. (5 b) bzw. (5 c) funktional darzustellen, müssen wir die obigen Betrachtungen auf eine Differentiallänge dx des Balkens ausdehnen. Bevor wir jedoch hierzu übergehen, soll das bisherige Resultat etwas genauer erörtert werden, um die günstige Wirkungsweise der abgebogenen Schrägeisen auf die Haftspannungen darzulegen.

Die abgebogenen Schrägeisen werden an den Abbiegungen durch die schrägen Druckkräfte D'_S in Spannung gesetzt. Selbstverständlich müssen auch die Kräfte Z'_S der abgebogenen Schrägeisen in der Druckzone durch Haftung oder durch Endhaken eingeleitet werden. Das erfolgt aber nicht durch eine Haftung in der Zugzone, da diese Schrägeisen bei dem Überschreiten der neutralen Faser schon ihre volle Kraft haben, sondern in der Druckzone. Eingeleitet wird diese Kraft demnach durch die in der Druckzone des Balkens liegenden Endhaken und zusätzlich durch Haftung in der Druckbereich des Balkens. Die Kraft, die in die abgebogenen Eisen außerhalb des Zugbereiches des Balkens eingeleitet wird, braucht in der Zugzone nicht mehr durch Haftung erzeugt zu werden, und dadurch erfolgt das starke Absinken der Haftspannungen bei dem Übergang von der Gl. (5 a) zu der Gl. (5 b).

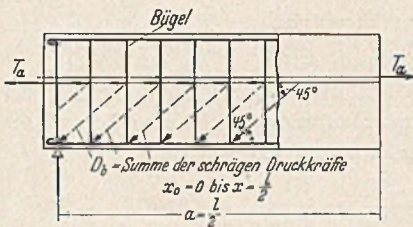


Abb. 5.

Wir wollen nun den Verlauf der inneren Kräfte in der Zugzone des Balkens noch etwas genauer untersuchen und daraus eine weitere Bestätigung der Richtigkeit der oben dargelegten Gedankengänge ableiten. Wir betrachten zunächst wieder einen Balken, bei dem die Schubsicherung nur durch Bügel bewirkt wird. Die waagerechten Verdübelungskräfte zerlegen wir in eine Zugkraft in den Bügeln $Z_B = T_a$ und in eine unter 45° wirkende Druckkraft $D_B = T_a \sqrt{2}$ [s. Gl. (3) und (3 a) und die Abb. 2 a]. Die waagerechten Komponenten dieser Druckkräfte in Größe von $D_B \cos 45^\circ = T_a \sqrt{2} \frac{1}{\sqrt{2}} = T_a$ müssen nach Abb. 5 durch Haftung eingeleitet werden, so lange die Bügel mit den Längseisen nicht verschweißt sind, und wir erhalten gemäß Gl. (5) bzw. (5 a) die Haftspannung zu $\tau_1 = \frac{Q}{uZ}$. Wenn dagegen die Bügel mit den Längseisen verschweißt sind oder statt der Bügel gemäß der Abb. 5 a senkrechte Abbiegungen zur Aufnahme der Schubkräfte angeordnet werden, müssen die Haftspannungen ganz in Wegfall kommen, wie sich aus der folgenden Betrachtung ergibt. Bei senkrechten Abbiegungen zur Aufnahme der Schubkräfte beträgt die gesamte Kraft in diesen senkrechten Stäben nach Gl. (4) bzw. (4 a) $Z_S = Z_B = T_a$, d. h. die Kraft in den senkrechten Abbiegungen einer Balkenhälfte ist ebenso groß wie die der Längseisen ($= \max Z = T_a$) und wir erkennen, daß die Anspannung der sich dabei ergebenden Hängewerke nur durch die in der Winkelhalbierenden wirkenden schrägen Druckkräfte $D_B = T_a \sqrt{2}$ erfolgt, die sich in die senkrechten Kräfte $Z_B = T_a$ und die waagerechten Kräfte $\max Z = T_a$ zerlegen (Abb. 5 b). Wir finden damit die Gl. (5) bestätigt, denn für $\beta = +45^\circ$ wird bei senkrecht abgebogenen Eisen $T_{aS} = T_a$ und

$$\int_{x=0}^{l/2} \tau_1 u dx = T_a \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right) = 0 \quad \text{da } \cos \beta = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Schon aus der Überlegung, daß bei senkrecht abgebogenen Eisen die

Kraft in den Eisen $Z_S = T_a = \max Z$ ist, hätten wir ohne mathematische Betrachtungen folgern können, daß bei einer Konstruktion nach Abb. 5 a keine Haftspannungen auftreten können, da die senkrechten Abbiegungen schon bei Überschreiten der Nulllinie die volle Kraft $T_a = \max Z$ besitzen. Wir ersehen daraus, daß bei senkrechten Aufbiegungen die Haftspannungen ganz in Wegfall kommen, weil die gesamten Zugkräfte in den Längseisen selbsttätig durch die Hängewerkswirkung erzeugt werden, die aber sofort vollständig verloren geht, wenn an die Stelle der senkrechten Abbiegungen Bügel treten, die mit dem Längseisen nicht durch Schweißung fest verbunden sind.

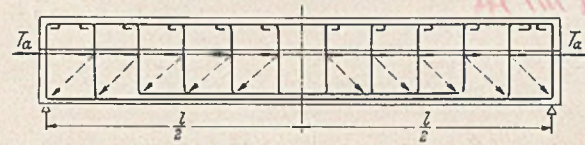


Abb. 5 a.

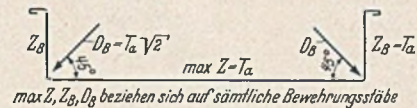


Abb. 5 b.

Nun betrachten wir den zweiten Fall, daß die Schubsicherung nur durch schräge Abbiegungen erfolgt. Die Verdübelungskraft $T_{aS} = T_a$ erzeugt in den Längseisen in Feldmitte die Zugkraft $\max Z = T_a$. Wir zerlegen die Verdübelungskraft T_a nach Abb. 6

in eine Zugkraft in den Schrägeisen $Z'_S = \frac{T_a}{\cos \beta \sqrt{2}}$ und in eine

unter 45° wirkende Druckkraft $D'_S = \frac{T_a}{\sqrt{2}} (1 + \tan \beta)$ [s. Gl. (3) und

(3 a)]. Von dieser Druckkraft D'_S benötigen wir nach Abb. 6 a eine Komponente K_S , um die Umlenkung der Kraft Z'_S in die gleich große Kraft Z''_S zu bewirken, wobei K_S in die Winkelhalbierende der beiden Kräfte Z'_S und Z''_S fallen muß, um das Gleichgewicht an den Knoten herzustellen (Abb. 6 a). Durch diese an den Abbiegestellen wirkenden Kräfte K_S werden die Zugeisen, die die Form eines Hängewerks besitzen, in Spannung gesetzt und im Gleichgewicht gehalten. In der Abb. 6 a ist die Zerlegung der Kraft D'_S in eine in der Winkelhalbierenden wirkende Komponente K_S und in eine Restkraft H dargestellt. Diese Restkraft H , die für

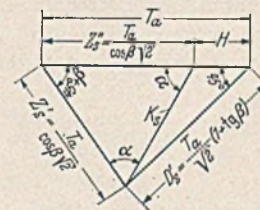


Abb. 6.



Abb. 6a.

das Gleichgewicht der Kräfte an den einzelnen Abbiegestellen nicht benötigt ist, muß durch Haftung in die Zugeisenlage stetig eingeleitet werden, da D'_S ebenfalls stetig längs der halben Balkenlänge wirkt, während die Kräfte K_S als Einzelkräfte an den Abbiegestellen angreifen. Nach Abb. 6 ergibt sich die restliche Horizontalkraft H zu

$$H = T_a - Z_S = T_a - \frac{T_a}{\cos \beta \sqrt{2}} = T_a \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right)$$

Da diese Kraft H durch Haftspannungen in die unteren Längseisen eingeleitet wird, erhalten wir auch aus dem Gleichgewicht an den Abbiegestellen das gleiche Ergebnis wie früher:

$$\int_{x=0}^{l/2} \tau_1 u dx = T_a \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}} \right)$$

Diese Gleichung ergibt sich aus der allgemeinen Gl. (5), wenn wir die gesamte Verdübelungskraft durch Schrägeisen aufnehmen und damit $T_{aS} = T_a$ setzen. In der Abb. 6 b ist die Wirkungsweise des Balkens dargestellt, bei dem die einzelnen abgebogenen Eisen als Hängewerke arbeiten, bei welchen die Umlenkung der Kraft an den Abbiegestellen durch die in den Winkelhalbierenden an-

greifenden Druckkräfte K_S bewirkt wird, so daß hierdurch keine Haftspannungen ausgelöst werden. Da aber $T_{aS} = T_a$ größer ist als die Horizontalkomponenten der Zugkräfte Z_S und der Druckkräfte K_S , muß, wie oben dargelegt, der Rest in Größe von $H = T_a \left(1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right)$ durch Haftung in die unteren Eiseneinlagen eingeführt werden.

Ergänzend hierzu sei noch bemerkt, daß bei abgelenktem Eisen mit verschiedenartigen Abbiegewinkeln auf beiden Seiten nach Abb. 7 die auf die beiderseitigen Abbiegestellen einwirkenden

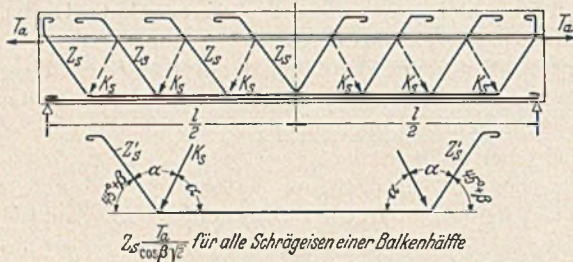


Abb. 6b.

den Horizontalkomponenten der Kräfte Z'_S und D'_S , deren Größe nach Abb. 6 durch $Z'_S \cos(45^\circ + \beta) + K'_S \cos \alpha = Z'_S$ gegeben ist, nicht miteinander im Gleichgewicht sind, wodurch eine zusätzliche Haftspannung ausgelöst wird, die aber ohne Bedeutung ist, da für Einleitung dieser kleinen Differenzkraft durch Haftung eine sehr große Länge zur Verfügung steht und um so mehr, als derartige Bewehrungen selten verwendet werden.

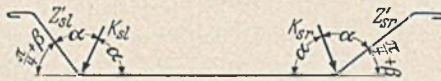


Abb. 7.

Zum Abschluß wollen wir nun die Größe der Haftspannungen für den Fall nachweisen, daß von der auf die Längeneinheit bezogenen Verdübelungskraft $\frac{dT'_0}{dx} = T'_0$ ein Teil T'_{0S} durch Schrägeisen und der Rest T'_{0B} durch Bügel aufgenommen wird. Hierzu betrachten wir nach Abb. 8 ein Balkenelement von der Länge dx , für das wir eine stetig verteilte Schrägbewehrung voraussetzen. Auf dieses Balkenelement dx wirken an den beiden senkrechten Begrenzun-

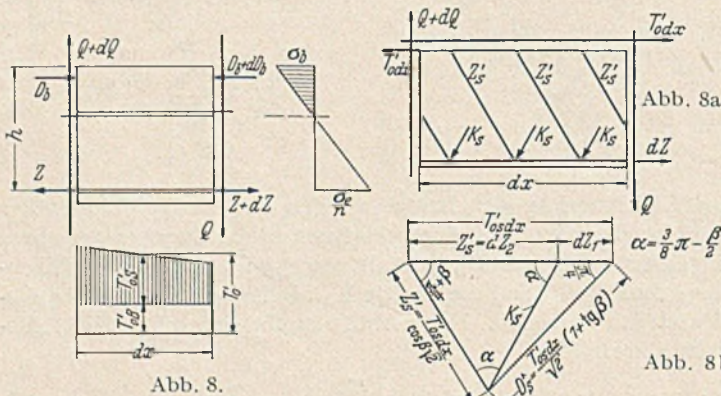


Abb. 8.

gen als äußere Kräfte die senkrechten Querkräfte Q und $Q + dQ$, die Druckkräfte D_b und $D_b + dD_b$, sowie die Zugkräfte der unteren Bewehrungsstäbe Z und $Z + dZ$. Nunmehr zerschneiden wir dieses Balkenelement längs der neutralen Faser und betrachten nach Abb. 8 a das unterhalb der neutralen Faser gelegene Balkenelement, auf das in der neutralen Faser als äußere Kraft in waagrechter Richtung die Verdübelungskraft $T'_0 dx$ einwirkt, und der das Gleichgewicht gehalten wird durch den Zuwachs dZ der Zugeiseneinlage. Von der gesamten Verdübelungskraft $T'_0 dx$ soll der Anteil $T'_{0B} dx$ durch Bügel, der Anteil $T'_{0S} dx$ dagegen durch Schrägeisen unter dem Winkel $(45^\circ + \beta)$ aufgenommen werden. Der Anteil $T'_{0B} dx$ zerlegt sich in eine Zugkraft in den Bügeln in Größe von $Z_B = T'_{0B} dx$ und eine unter 45° verlaufende Druck-

kraft $D_B = T'_{0B} dx \sqrt{2}$. Der Anteil $T'_{0S} dx$ dagegen zerlegt sich in eine Zugkraft in den Schrägeisen, die auf der Strecke dx die neutrale Faser durchschneiden und in eine unter 45° verlaufende Druckkraft D'_S . Die Größe der Zugkraft in den abgelenkten Eisen beträgt nach Gl. (3) $Z'_S = \frac{T'_{0S} dx}{\cos \beta \sqrt{2}}$ und die Größe der Druckkraft nach Gl. (3 a) $D'_S = \frac{T'_{0S} dx}{\sqrt{2}} (1 + \tan \beta)$. (s. auch Abb. 8 b).

Von dem Zuwachs dZ der Kraft der Zugeiseneinlage muß nun ein Anteil dZ_1 durch Haftung eingeleitet werden, während der zweite Anteil $dZ_2 = Z'_S = \frac{T'_{0S} dx}{\cos \beta \sqrt{2}}$ in den abgelenkten Eisen schon beim Durchschreiten der neutralen Faser vorhanden ist und an den Abbiegestellen nur durch entsprechende Druckkräfte K'_S in die Richtung der Zugeiseneinlage umgelenkt werden muß. Die Kraft dZ_1 , die durch Haftung aufgenommen werden muß, ergibt sich aus der Differenz von

$$dZ_1 = dZ - dZ_2 = T'_0 dx - \frac{T'_{0S} dx}{\cos \beta \sqrt{2}}$$

Nun ist $dZ_1 = \tau_1 u dx$ und damit erhalten wir die Haftspannung aus der Gleichung

$$\tau_1 u dx = T'_0 dx \left[1 - \frac{T'_{0S}}{T'_0} \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right]$$

$$(6) \quad \tau_1 = \frac{T'_0}{u} \left[1 - \frac{T'_{0S}}{T'_0} \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right] = \frac{Q}{u z} \left[1 - \frac{T'_{0S}}{T'_0} \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right]$$

Durch Integration der Gl. (6) erhalten wir wieder die früher abgeleitete Gl. (5). Für den Sonderfall, daß die Schubsicherung nur durch Bügel erfolgt, wird $T'_{0S} = 0$ und wir erhalten

$$(6a) \quad \tau_1 = \frac{T'_0}{u} = \frac{Q}{u z}$$

und für den Fall, daß die Schubsicherung nur durch Schrägeisen erfolgt, wird $T'_{0S} = T'_0$ und wir erhalten

$$(6b) \quad \tau_1 = \frac{T'_0}{u} \left[1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right] = \frac{Q}{u z} \left[1 - \frac{1}{\cos \beta \sqrt{2}}\right]$$

Da $T'_{0S} = \tau_{0S} b_0$ und $T'_0 = \tau_0 b_0$ sind, können wir den Quotienten $\frac{T'_{0S}}{T'_0}$ der Verdübelungskräfte auch durch den Quotienten $\frac{\tau_{0S}}{\tau_0}$ der Schubspannungen ersetzen.

Die Abbiegewinkel der Schrägeisen schwanken zwischen 30° und 60° , womit $\beta = \pm 15^\circ$ wird. Nun ist $\cos 15^\circ = 0,966 \approx 1,00$ und $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \approx 0,700$, so daß wir die Gl. (6) in vereinfachter Form wie folgt schreiben können:

$$(7) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z} \left[1 - 0,7 \frac{T'_{0S}}{T'_0}\right] = \left[1 - 0,7 \frac{\tau_{0S}}{\tau_0}\right]$$

$$(7a) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z}$$

$$(7b) \quad \tau_1 = \frac{Q}{u z} \cdot 0,3$$

Zu dem gleichen Ergebnis kommen wir selbstverständlich auch, wenn wir von dem Gleichgewicht an den Abbiegestellen ausgehen.

Vonder unter 45° verlaufenden Druckkraft $D'_S = \frac{T'_{0S} dx}{\sqrt{2}} (1 + \tan \beta)$, die durch die Verdübelungskraft $T'_{0S} dx$ stetig erzeugt wird, muß die Komponente K'_S örtlich an den Abbiegestellen angreifen (Abb. 8 und 8 a), um das Gleichgewicht an diesen Abbiegestellen herzustellen, während die übrigbleibende Komponente von D'_S in Größe von $dZ_1 = T'_0 dx - \frac{T'_{0S} dx}{\cos \beta \sqrt{2}}$ stetig durch Haftspannungen in die Zugeiseneinlage eingeleitet werden muß.

Damit ist der Verlauf der inneren Kräfte des Eisenbetonbalkens und die Wirkungsweise der Bügel und Schrägeisen geklärt. Die Schubsicherung durch Abbiegungen ist der Sicherung durch Bügel überlegen, weil hierbei die Kräfte in die Zugeisen zum

Das war die bisher genau so und mit genau der selben Richtung nach der Fachwelttheorie!

größten Teil durch Hängewerkswirkung und nur zu einem kleinen Teil durch Haftung eingeleitet werden. Je steiler die Abbiegungen angeordnet werden, um so kleiner werden die Haftspannungen, um sogar ganz zu verschwinden, wenn die Abbiegungen senkrecht hochgeführt werden (Abb. 5 a). Je steiler die Abbiegungen sind, um so größer werden aber auch die schrägen, örtlich an den Abbiegestellen angreifenden Druckkräfte, die für die Umlenkung der Zugkräfte der abgelenkten Bewehrungsstäbe benötigt werden. Die Leibungsspannung, die an den Abbiegestellen auf den Beton einwirkt, wird jedoch, gleiche Eisendurchmesser vorausgesetzt, mit steiler werdenden Abbiegungen sogar kleiner, da der zunehmenden Druckkraft an der Abbiegestelle ein stärker anwachsender Biegewinkel gegenübersteht.

Nun noch einige Worte zu der konstruktiven Durchbildung der Auflagerpunkte bei frei aufliegenden Balkenenden. Bei der Ableitung der Gleichungen für die Haftspannungen wurde vorausgesetzt, daß die Abbiegungen stetig entsprechend dem Anwachsen der Verdübelungskraft T'_{0s} angeordnet werden. Betrachten wir nun eine konstruktive Durchbildung des Endauflagers nach Abb. 9, so fällt auf, daß der Abstand zwischen den Endhaken und der ersten Abbiegestelle c größer sein kann, als der zwischen der ersten und zweiten Abbiegung d . Das muß selbstverständlich zu einer Steigerung der Haftspannungen führen. Eine solche Durchbildung ist bezüglich der Schubdeckung nicht in Ordnung, weil die Schub-

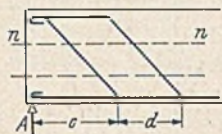


Abb. 9.

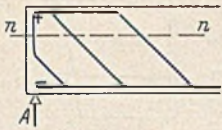


Abb. 9 a.

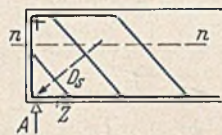


Abb. 9 b.

sicherung ja nicht nur für die neutrale Faser, sondern auch für jede tieferliegende zwischen der neutralen Faser und der Zugeiseneinlage vorhanden sein muß, ein Punkt, dem bisher nicht genügende Aufmerksamkeit geschenkt worden ist und der in dem Abschnitt B über die Schersicherung noch eingehender besprochen werden wird. Im Gegensatz zu Abb. 9 ist in der Abb. 9 a auch für jeden unterhalb der neutralen Achse liegenden waagerechten Schnitt die Schub-

sicherung gewahrt, so daß die Haftspannung den Werten der abgeleiteten Gl. (6) entspricht. Man kann jedoch die maximale Haftspannung in der Nähe der Auflager gegenüber den Werten der Gl. (6) noch weiter abmindern, wenn man nach Abb. 9 b am Auflager von den unten liegenden Bewehrungsstäben zwei nach oben senkrecht abbiegt, wodurch erreicht wird, daß sich der Auflagerdruck A in gleicher Weise wie bei einem Fachwerk in eine schräge Druckkraft D_B unter 45° und in eine waagerechte Zugkraft Z zerlegen kann. Diese Kraft Z entsteht dann nicht durch Haftung, sondern durch Hängewerkswirkung, bzw. es wird der Bereich der Haftung damit in den Druckbereich oberhalb des Auflagers A gelegt, in dem die Haftung leicht aufgenommen werden kann (vgl. auch die günstige Wirkungsweise nach der Abb. 5 b). Jedenfalls kann aber eine Übereinstimmung von Versuchen mit den oben abgeleiteten Gleichungen der Haftspannungen nur erwartet werden, wenn die Schubsicherung in der Nähe der Auflager entsprechend den Darlegungen zu den Abb. 9 a und 9 b restlos durchgeführt wird, d. h. auch für alle zwischen der neutralen Faser und der Zugeiseneinlage liegenden waagerechten Schnitte. Bei einer konstruktiven Durchbildung nach Abb. 9 ist eine restlose Schubsicherung für diese tieferliegenden waagerechten Schnitte nicht gegeben, womit auch die Haftspannungen gegenüber der obigen Gl. (6) anwachsen müssen.

Eine gleichmäßige Verteilung der Haftspannungen auf alle Bewehrungsstäbe der Zugzone ist nur dann gewährleistet, wenn diese Zugbewehrung an den Stellen der jeweiligen Abbiegungen in gleicher Höhe beansprucht ist wie die Abbiegungen selbst. Bei einer konstruktiven Durchbildung des Balkens nach Abb. 5 a ist dies immer, bei Anordnung von schrägen Abbiegungen nach Abb. 6 b dagegen nie der Fall, weil das Moment an den frei drehbaren Auflagern zu Null wird, während selbst bei einer vollen Schubsicherung durch schräge Abbiegungen in der Zugzone am

Auflager noch etwa 30% der maximalen Zugbewehrung vorhanden ist. Infolgedessen wird nach den Auflagern hin die Beanspruchung der Zugbewehrungen geringer als die der schrägen voll beanspruchten Abbiegungen. Als Folge davon muß das Schrägeisen beim Übergang in die Zugbewehrung Kraft abgeben, damit es sich bezüglich seiner Zugbeanspruchung den andern Bewehrungsstäben anpaßt, d. h. es muß in diesem Eisen eine Haftspannung mit negativen Vorzeichen auftreten. Da aber die gesamte Haftkraft τu durch die Gl. (6) festgelegt ist, muß demnach in der Nähe der Abbiegungsstelle örtlich in den übrigen Zugstäben eine geringe Erhöhung der Haftspannungen auftreten, die bei n -Stäben n -fach kleiner ist als die oben erwähnte Haftspannung mit negativen Vorzeichen in dem abgelenkten Eisen. Diese geringe Unstetigkeit in der Verteilung der Haftkraft auf die einzelnen Bewehrungsstäbe ist ohne jede Bedeutung, insbesondere, weil davon die Stellen der maximalen Haftspannungen am Auflager selbst nicht betroffen werden.

Die obigen Gleichungen der Haftspannungen sind schon in dem z. Zt. in Druck befindlichen „Taschenbuch für Bauingenieure“, Springer-Verlag, Herausgeber F. Schleichner, enthalten, jedoch ist dort die Ableitung sehr kurz gefaßt. Mit Rücksicht auf die sich z. Zt. in Vorbereitung befindliche Neufassung der deutschen Bestimmungen für Stahlbeton erschien es mir notwendig, dieses zwar einfache aber grundlegende Problem des Stahlbetonbalkens eingehend darzustellen. *Was ist das eigentlich hier 2 u dem Stoffarm?*

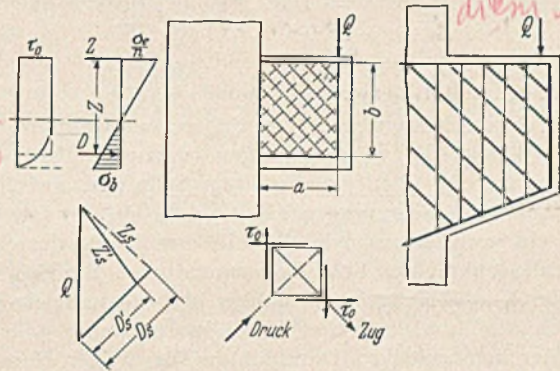


Abb. 10.

Abb. 10 a.

B. Die Berechnung auf Scheren.

Wenn der Abstand einer ausschlaggebenden Kraft vom Auflager kleiner ist als der Hebelarm der inneren Kräfte, ein Fall, der bei Krankonsolen fast immer auftritt, spricht man nicht von einer Beanspruchung auf Schub, sondern auf Scheren und berechnet nach Abb. 10 die Schrägeisen nicht aus der waagerechten Verdübelungskraft T'_0 , sondern aus der senkrechten Querkraft Q mittels der sich aus dem Kräftepolygon der Abb. 10 ergebenden Gleichung

$$(8) \quad Z' = \frac{Z}{\cos \beta} = \frac{Q}{\cos \beta \sqrt{2}}$$

Es erscheint nicht zweckmäßig und glücklich, für diesen Sonderfall der Schubbeanspruchung eine neue Bezeichnung — Scheren — einzuführen und damit den Eindruck zu erwecken, als handle es sich um eine von der Schubbeanspruchung abweichende Beanspruchung, um so mehr, als die obige Gl. (8) eine Berücksichtigung des Mitwirkens der Bügel nicht gestattet.

Der Grund für diese neue Bezeichnung liegt darin, daß sich scheinbar bei einer Berechnung mittels der Verdübelungskraft geringere Kräfte für die abgelenkten Eisen ergeben. Bei einer Berechnung der Schrägeisen mittels der Verdübelungskraft T'_0 , die bei einer Krankonsole nach Abb. 10 konstant ist ($T'_0 = \frac{Q}{z}$

bzw. $a T_a = Q \frac{a}{z}$), ergibt sich die Zugkraft in den abgelenkten Eisen, wenn eine Mitwirkung der Bügel außer acht bleibt, zu

$$(8 a) \quad Z' = \frac{T_a}{\cos \beta \sqrt{2}} = \frac{Q}{\cos \beta \sqrt{2}} \frac{a}{z}$$

Sobald demnach der Hebelarm der inneren Kräfte z größer ist als der Hebelarm a der äußeren Kräfte, ergibt scheinbar eine Berechnung nach Gl. (8 a) einen geringeren Bewehrungsquerschnitt. Tatsächlich muß aber bei Anwendung der Gl. (8) der sich hieraus ergebende Bewehrungsquerschnitt für jeden senkrechten Schnitt zwischen der Kraft Q und dem Auflager, d. h. auf der Strecke a und bei Verwendung der Gl. (8 a) für jeden waagerechten Schnitt auf der Höhe von z vorhanden sein. Wird entsprechend diesem Grundsatz die Bewehrung ausgeführt, so erhalten wir nach Gl. (8) wie nach Gl. (8 a) genau die gleichen Querschnitte der Schrägeisen. Das folgt auch schon aus der nachstehenden Überlegung. Der Rechteckquerschnitt az wird bei Vernachlässigung der unwesentlichen Biegungsspannungen nur durch Schub mit der Schubspannung $\tau_0 = \frac{Q}{b_0 z}$ beansprucht und jedes Element $d \times d \times z$ dieses Rechtecks besitzt eine gleich große schräge Druck- und Zugkraft, von denen die letztere durch Schrägeisen gedeckt werden muß, und infolgedessen muß der gesamte Querschnitt der Schrägeisen immer der gleiche sein, ganz unabhängig davon, ob die Berechnung nach Gl. (8) oder Gl. (8 a) erfolgt, wenn nur die grundlegende Voraussetzung erfüllt wird, daß alle senkrechten bzw. waagerechten Schnitte des Schubbeanspruchungsbereiches az gedeckt werden.

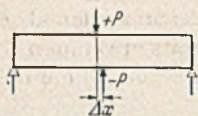


Abb. 11.

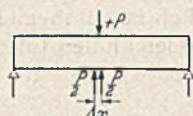


Abb. 11 a.

Eine Unterscheidung zwischen Scheren und Schub ist daher ganz überflüssig. Es würde genügen, vorzuschreiben, daß die Schubspannung in allen waagerechten Schnitten zwischen der Biegungszug- und Biegungsdruckkraft, d. h. auf der Höhe z vorhanden sein muß, ebenso wie sie bei Betrachtung der Scherung auch für alle senkrechten Schnitte notwendig ist. Eine Berechnung mittels der Verdübelungskraft ist aber immer vorzuziehen, damit man auch die Mitwirkung der Bügel in Rechnung stellen kann.

Zu der konstruktiven Durchbildung derartiger Konsolen ist noch zu bemerken, daß es ganz unrichtig ist, die Schubkräfte durch einzelne starke Schrägeisen aufzunehmen, die gar nicht voll in Arbeit kommen können, weil die notwendigen Haftlängen für die Einleitung ihrer großen Kräfte nicht zur Verfügung stehen. Im Gegensatz hierzu muß nach Abb. 10 a die Aufnahme der schrägen Kräfte durch eine größere Anzahl eng verteilter schwächerer Eisen erfolgen, ergänzt durch eine gute Verbügelung, deren Mitwirkung bei Verwendung der Gl. (8 a) berücksichtigt werden kann.

Durch den im Stahlbeton eingeführten Begriff Scheren ist schon viel Verwirrung geschaffen worden. Wenn zwei entgegengesetzte Kräfte auf einem Balken nach Abb. 11 oder 11 a einwirken und der Abstand der Kräfte verschwindet, so fällt die Biegungs- und damit auch die Schubbeanspruchung fort. Vielfach glaubt man, daß jetzt eine Scherbeanspruchung vorliegt. Das ist aber nicht der Fall, sondern der Balken wird auf Druck beansprucht, wodurch im Inneren des Balkens allerdings Zugbeanspruchungen in der x -Richtung ausgelöst werden, die die mittels der Airyschen Spannungsfunktion $\Delta \Delta F = 0$ berechnet werden können, siehe hierzu Fr. Dischinger: Beitrag zur Theorie der Halbscheibe und des wandartigen Balkens, Abhandlungen der Intern. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Zürich 1 (1932) S. 569. Diese statische Beanspruchung eines Balkens durch eine in sich im Gleichgewicht befindliche Kräftegruppe nach Abb. 11 a darf nicht mit dem dynamischen Stanzvorgang verwechselt werden.

C. Die Berechnung der Schub- und Haftspannungen bei außermittiger Normalkraft.

Für die Berechnung der Haftspannungen benötigt man die Kenntnis der Verdübelungskräfte bzw. der Schubspannungen. Gewöhnlich werden für die Ermittlung der Verdübelungskräfte oder

der Schubspannung die Gleichungen der reinen Biegung benutzt, da die bisher für eine außermittige Normalkraft entwickelten Gleichungen sehr umständlich und unübersichtlich sind. Solange es sich um außermittigen Druck handelt, kann man sich damit auch zufrieden geben, weil durch die Drucküberlagerung die Schub- und Haftbeanspruchungen zurückgehen. Nur bei Großkonstruktionen oder bei außermittigem Zug liegt ein Bedürfnis nach einer genaueren Untersuchung vor.

Bei außermittiger Normalkraft gibt es bekanntlich für die Berechnung der Biegungskräfte eine unendlich große Zahl von Lösungen, die den Gleichgewichtsbedingungen und dem ebenen Formänderungsgesetz (Bernoullische Hypothese) genügen. Das zeigen uns am besten die Bemessungstabellen für die Ermittlung der inneren Kräfte nach Mörsch oder Pucher, nach denen die Größen der Druck- und Zugbewehrung abhängig sind von dem Verhältnis σ_c/σ_b . Für ein bestimmtes Verhältnis von σ_c/σ_b ergibt sich ein Minimum der Gesamtbewehrung ($F_c + F'_c$).

Nun sind die Verdübelungskräfte (Schubspannungen) eine Funktion der Änderung der Biegungskräfte und infolgedessen entsprechen den zahlreichen Lösungen für die Biegungsbeanspruchung ebenso viele Lösungen für die Schub- und Haftspannungen. Zu jeder Lösung für die Biegungskräfte gehört aber nur eine Lösung für die Schub- und Haftspannungen, nämlich diejenige, welche der gewählten Lösung der Biegungskräfte entspricht.

Aus diesem Gedankengange ergibt sich eine sehr einfache Berechnung der Schub- und Haftspannungen. Hat man nach Abb. 12 nach den Tabellen von Mörsch für aufeinanderfolgende Schnitte 1, 2, 3 usw. die Größen der Zugeiseneinlagen F_{e1}, F_{e2}, F_{e3} usw. bei den Stahlspannungen $\sigma_{e1}, \sigma_{e2}, \sigma_{e3}$ usw. ermittelt, so folgen hieraus die Biegungszugkräfte $Z_1 = \sigma_{e1} F_{e1}, Z_2 = \sigma_{e2} F_{e2}, Z_3 = \sigma_{e3} F_{e3}$ usw. Die Differenzen $Z_1 - Z_2$ bzw. $Z_2 - Z_3$ dieser Biegungszugkräfte sind aber gleich den Verdübelungskräften auf den Strecken x_1, x_2 usw. Wir erhalten demgemäß die Verdübelungskräfte aus der Gleichung

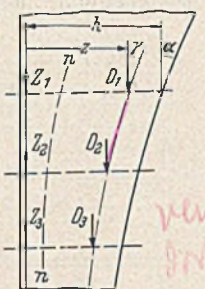


Abb. 12.

$$(9) \quad T'_0 = b_0 \tau_0 = \frac{Z_1 - Z_2}{\Delta x_1} \quad \text{bzw.} \quad T'_0 = b_0 \tau_0 = \frac{Z_2 - Z_3}{\Delta x_2} \quad \text{usw.}$$

Hierbei ist b_0 bei veränderlicher Balkenbreite die gemittelte Breite auf den Strecken $\Delta x_1, \Delta x_2$ usw. Um den tatsächlichen Größtwert der Verdübelungskraft zu erhalten, müssen selbstverständlich auch die größtmöglichen Differenzen $Z_1 - Z_2$ usw. in Rechnung gestellt werden, wobei aber jede Kleinigkeitskrämerei zu vermeiden ist, um die Untersuchung nicht unnötig zu erschweren.

Bei dieser Berechnungsart erhält man eine Schubbewehrung, die sich in Übereinstimmung mit der gewählten Biegebewehrung befindet. Ein stetiger Verlauf der Zugeiseneinlagen, der sich ergibt, wenn man die Querschnitte nach dem Optimum — ($F_c + F'_c$) ein Minimum — bewehrt oder sich annähernd im gleichen Abstand vom Optimum bewegt, verursacht auch einen stetigen Verlauf der Verdübelungskraft, was sehr erwünscht ist.

Für den Sonderfall der reinen Biegung wird bei dem Übergang von Δx zu $d x$

$$T'_0 = \frac{d Z}{d x} = \frac{d}{d x} \left(\frac{M}{z} \right) = \frac{1}{z} \frac{d M}{d x} - \frac{1}{z^2} \frac{d z}{d x}$$

Nun ist $\frac{d z}{d x} = \text{tg } \gamma$ und $\frac{\text{tg } \gamma}{z} = \frac{\text{tg } \alpha}{h}$, und damit erhalten wir für diesen Sonderfall mit $\frac{d M}{d x} = Q$ die bekannte Gleichung der Verdübelungskraft bei veränderlicher Balkenhöhe:

$$T'_0 = \frac{1}{z} \left(Q - \frac{M}{h} \text{tg } \alpha \right) = \frac{1}{3} \left(Q - \frac{11}{8} \frac{M}{h} \text{tg } \alpha \right)$$

Aus den Verdübelungskräften T'_0 können wir dann nach Spaltung in einen Anteil T'_{0s} , der durch Schrägeisen, und einen Anteil T'_{0B} , der durch Bügel aufgenommen werden soll, mittels der Gleichungen des Abschnittes A die Berechnungen der Haftspannungen durchführen.

Seitlich ist die Hauptzugspannung durch die Bügel zu vermindern, die ebenfalls in Rechnung zu ziehen sind.

HEBEN EINER GESPRENGTEN STAHLBETONBRÜCKE.

Von Dipl.-Ing. Walter Juen.

DK 624.624 : 624.059.2

Das Heben von gesprengten Stahlbetonbrücken ist besonders schwierig, wenn die Brücke in stark strömendem Wasser liegt und der Fluß nicht abgeriegelt bzw. umgeleitet werden kann.

Im vorliegenden Falle handelt es sich um das Heben einer gewölbten Stahlbetonbrücke mit drei Öffnungen über den eine

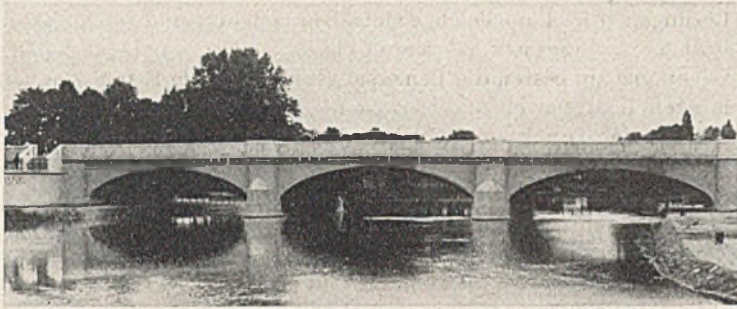


Abb. 1. Alte Brücke.

südwestdeutsche Stadt berührenden Fluß. Die Länge dieser früheren Brücke betrug ungefähr 75 m, die Spannweite der einzelnen Öffnungen war ungefähr 22 m. Die Konstruktionsbreite der Brücke war 20 m. Die Flußpfeiler hatten eine Breite von 3,60 m

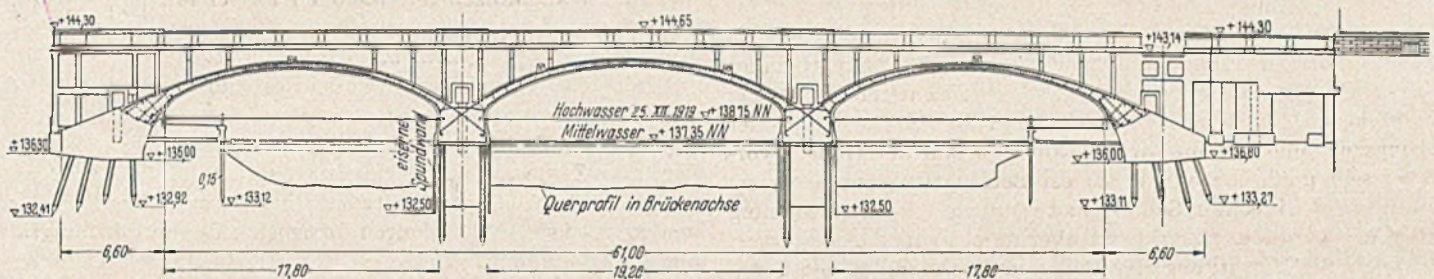


Abb. 2.

und waren im Schutze einer Stahlspundwand betoniert worden. Außerdem waren die Pfeiler noch auf Stahlbetonpfählen gelagert, die mit ihrem oberen Teil in den Pfeilerbeton hineinragten. Da die neue Brücke nicht mehr an die Stelle der alten zu liegen kommt, mußten auch diese Pfeiler entfernt und gehoben werden (Abb. 1 und 2).

Nach den bereits vorliegenden Erfahrungen war man der Meinung, daß die Räumung im Trockenen durchgeführt werden müsse. Da eine Umleitung des Flusses nicht möglich war, wäre es somit notwendig geworden, den Fluß entweder halbseitig oder in drei Teilen abzuspunden und dann die Brücke bei Wasserhaltung zu zerkleinern. Der Fluß führt bei Normalwasser eine Wassermenge von ungefähr 50 m³/sek. Die Gefahr von Hochwasser war während der Baumonate besonders groß. Die Spundwände hätten daher sehr kräftig abgesteift werden müssen. Die gegen die Brückentrümmer angesetzte Absteifung hätte während des Räumungsbetriebes ständig erneuert werden müssen und den Sprengbetrieb sehr behindert. Außerdem hätte die im Wasser liegende Brücke mindestens einmal durchtrennt werden müssen, um die Spundwand schlagen zu können.

Die andere Lösung war folgende: die Brücke wird durch Unterwasserspreng- und Schneidearbeiten möglichst stark zerkleinert, und die zerkleinerten Teile werden mit einem Schwimmbagger gehoben.

Diese Lösung ließ folgende Vorteile erwarten, die gerade bei der derzeitigen Lage des Baumarktes von ausschlaggebender Bedeutung sind:

1. einfache Baustelleneinrichtung,
2. geringer Arbeiter- und Materialbedarf.

Die 2—3 m hohe Wassersäule des Flusses bildet eine natürliche Verdämmung und ermöglicht so die Vornahme von Sprengungen mit stärkeren Ladungen. Dies war besonders wichtig,

da die Bebauung bis dicht an den Fluß heranreicht und ferner knapp oberhalb der Baustelle ein Steg den Fluß kreuzt.

Für diese Lösung lagen allerdings keine Erfahrungen vor. Man war lediglich vom Können und der Leistung der eingesetzten Taucher abhängig. Überdies war nicht sicher, ob die Entfernung der Flußpfeiler mit den Stahlbetonpiloten und den Larssenspundwänden überhaupt gelingen würde.

Nach entsprechenden Voruntersuchungen wurde dann jedoch im Hinblick auf die oben aufgezählten Vorteile das Wagnis übernommen und beschlossen, die Brücke mit Tauchern zu heben.

Die Baustelleneinrichtung bestand aus einem Taucherschiff, einem Schwimmbagger mit 3,5 t Tragkraft (ehemaliger Kohlenbagger), einem Schiff mit Bock und Winde zum Ziehen von Eisen und zwei Förderkähnen (Abb. 3). Das Schiff mit Bock und Winde war ungefähr 3 Wochen in Betrieb. Der verhältnismäßig schwache Bagger mußte eingesetzt werden, da wegen der geringen Abmessungen der Schleusen kein größeres Gerät herangebracht werden konnte. Grundsätzlich wurde von jedem festen Gerät abgegangen. Ein am Anfang eingesetzter Derrickkrahne an Land hat sich als unwirtschaftlich erwiesen und wurde gleich wieder abgebaut. Alle Schiffe wurden an den Piloten des bereits erwähnten Steges durch Seile festgehalten und durch Winden jeweils an die richtige Stelle gezogen.

Der Arbeiterstand auf dem Räumungsgerät war durchschnittlich folgender:

Auf dem Taucherschiff: 2 Tauchergruppen (2 Taucher und 2 Hilfsstaucher) und 8 Arbeiter als Hilfsmannschaft.



Abb. 3. Schwimmbagger mit Förderkahn, im Hintergrund Taucherschiff.

Auf dem Kranschiff und den Transportkähnen: 1 Fahrer, 1 Heizer, 1 Vorarbeiter und 2 Arbeiter zur Bedienung eines Schneideapparates und für die Winden der Schiffe.

Die Räumung selbst wurde von der flußabwärtigen Seite vorgetrieben. Der Nachteil der flußabwärts auftretenden größeren Strömung wurde dadurch wettgemacht, daß das beim Sprengen

gelockerte Material durch die Strömung von der Arbeitsstelle der Taucher weggetrieben wurde. Sobald die Taucher ihre Ladungen angebracht hatten, wurden alle Schiffe aus dem Sprengbereich entfernt und nach der Sprengung wieder an die Arbeitsstelle gezogen. Das Baggerschiff arbeitete meist dort, wo gerade gesprengt worden war, während die Taucher inzwischen neue Sprengungen ausführten. Das Schiff mit Bock und Winde war an der Stelle eingesetzt, wo die Taucher gerade arbeiteten, damit beim Ziehen der Eisen sofort die notwendigen Unterwasserschneidarbeiten durchgeführt werden konnten. Der ganze Räumetrieb konnte wegen der leichten Beweglichkeit der Einrichtung den jeweils notwendigen Erfordernissen angepaßt werden. Beim Abbauen der Pfeiler und an besonders schwierigen Stellen hat sich das gleichzeitige örtliche Zusammenarbeiten der ganzen Räumrichtungen als günstig

erwiesen, da dann von den Tauchern selbst der Einsatz des Gerätes vorgenommen werden konnte. Größere Schwierigkeiten hat das Entfernen der Pfeiler ergeben, das allein ungefähr ein Drittel der Räumungszeit in Anspruch nahm.

Die Räumungsarbeiten wurden im Groben in 3½ Monaten völlig durchgeführt. Eine Nachräumung für die Schifffahrt benötigte ungefähr 3 Wochen. In dieser Zeit wurden ungefähr 2400 m³ Material, davon die Hälfte Beton und ungefähr 70 t Eisen (davon ungefähr 45 t Bewehrungsrundisen) gehoben.

Im Verhältnis zu vorher und gleichzeitig mit der Arbeit ausgeführten Brückenhebungen haben sich bei dieser Arbeitsweise ganz bedeutende Zeit- und Kostenersparnisse ergeben. Grundlegend für das Gelingen und den Erfolg der Räumungsart ist allerdings der Einsatz von erfahrenen Tauchern.

DER KORROSIONSSCHUTZ ALS BAUPROBLEM.

Von Dipl.-Ing. Hans Hebberling, München.

DK 620.197.2

Übersicht: Kennzeichen guter Rostschutzfarben. — Die Haftfestigkeit und ihre Bedeutung. — „Passivierende“ Anstrichstoffe. — Vorzüge der Alkydharz-Bindemittel. — Gibt es „rostschützende“ Lacke?

Die derzeitige Lage auf dem Rostschutzgebiet läßt sich am besten durch die Tatsache kennzeichnen, daß das Angebot in sog. „ölfreien“ Rostschutzfarben in ständigem Anwachsen begriffen ist. Die Siebung und Sichtung dieser Erzeugnisse bereitet auch dem erfahrenen Fachmann mitunter nicht unerhebliche Schwierigkeiten, zumal es bis heute keine öffentlich anerkannten und somit allgemein verbindlichen Regeln dafür gibt, in welchen Fällen ein Anstrichstoff als „rostschützend“ zu bezeichnen sei. Es verlohnt sich infolgedessen, auf die allgemeinen Merkmale guter Rostschutzfarben mit einigen Worten einzugehen.

Als das erste und vordringlichste dieser Merkmale ist ausreichende **Haftfestigkeit auf dem Untergrund** zu benennen. Schon der erste Grundanstrich muß so fest mit der Metalloberfläche verbunden sein, daß letztere selbst bei einer etwaigen Beschädigung der darauffolgenden Deckanstriche nicht mit der Atmosphäre in Berührung kommen kann. Daß diese eigentlich selbstverständliche Forderung in der Praxis durchaus nicht immer eingehalten wird, wird jeder bestätigen können, der im Rostschutz auch nur über einige Erfahrungen verfügt. Denn hauptsächlich bei älteren Anstrichen kann man recht häufig ein örtliches Sichabheben der Filmdecke feststellen, das meist mit einem teilweisen Abplatzen der letzteren endet. Dabei stellt sich nicht selten heraus, daß der Rost die Eisenfläche bereits angegriffen hatte, noch ehe er als solcher sichtbar in die Erscheinung trat.

Nun ist aber die Haftfestigkeit eine **erfahrungsmäßige Größe** d. h. erst nach Jahren läßt sich feststellen, ob ein Anstrichstoff fest genug auf dem Eisen haftet. Hieraus ergibt sich, daß die Anwendung unerprobter Gemische und Verschnitte gerade in dieser Hinsicht stets ein großes Wagnis ist. Es hat denn auch eingehender Untersuchungen bedurft, um festzustellen, ob und in welchem Grade man beispielsweise die an sich vorzüglich haftende Bleimennige mit neutralen Stoffen verschneiden kann, ohne daß hierbei die oben erwähnten gefürchteten Folgeerscheinungen in Kauf genommen werden müßten. Heute kann als gesichert gelten, daß weder der Schwerspat noch gewisse sorgfältig ausgewählte Eisenrotfarben die Haftfähigkeit der Bleimennige oder deren sonstige Vorzüge vermindern, so daß man künftighin ebenso wie bisher mit einer dauernden Haltbarkeit der betr. Grundierungen rechnen kann¹.

Hier wäre noch ergänzend zu bemerken, daß auch die beste Rostschutzfarbe nur auf einer **sorgfältig vorbereiteten Metalloberfläche** ein einwandfreies Haften gewährleistet. Letztere muß vor dem Aufbringen des ersten Grundanstrichs vollkommen trocken und entfettet sein, auch darf sie weder eine spiegelartige Glätte noch auffallende Unebenheiten zeigen. Das

Aufräumen zu glatter Eisen- oder Stahlflächen wird im Großen zumeist auf **mechanischem Wege** bewerkstelligt, wovon an anderer Stelle bereits des Näheren die Rede war. Erwähnenswert erscheint, daß die beim Walzen und Hämmern sich bildende blauschwarze Schicht von Eisenoxyduloxyd die Haftfestigkeit der Grundanstriche nur dann begünstigt, wenn sie ihrerseits selbst den nötigen Zusammenhalt besitzt. Leider ist diese Voraussetzung nur selten gegeben, so daß es sich meist als notwendig erweist, diese Schicht zur Vermeidung von Fehlerquellen vor Anstrichbeginn zu entfernen.

Der erste Grundanstrich soll jedoch nicht nur fest auf dem Eisen haften; darüber hinaus scheint es vielmehr wünschenswert, daß er irgendwelche rostfördernde chemische bzw. elektrochemische Vorgänge auf der Metalloberfläche nach Möglichkeit unterbindet. Diese wichtige Eigenschaft kommt jedoch nur einer sehr begrenzten Auswahl sauerstoffreicher Chrom- und Bleifarben, vor allem aber der Bleimennige zu, der man nicht mit Unrecht die Fähigkeit zuschreibt, das Eisen in den elektrisch „passiven“ d. h. rosthindernden Zustand zu versetzen. Alle anderen hier in Betracht kommenden Pigmente scheiden für die Praxis vorweg aus, sei es aus Preisbildungsgründen oder auch, weil sie die bezeichneten Fähigkeiten nur in untergeordnetem Maße besitzen.

Zu den beiden erwähnten Eigenheiten guter Rostschutzfarben kommt nun als dritte die Fähigkeit zur Bildung unlöslicher „Metallseifen“, die dem Film ein besonderes Maß an mechanischer und chemischer Widerstandskraft verleihen und die in der bereits wiederholt geschilderten Weise durch chemische Wechselwirkung zwischen Pigment und Bindemittel entstehen. Diese „Metallseifen“ stellen halborganische Verbindungen aus Fettsäureglyzeriden und Metalloxyden dar, so daß ihre Entstehung stets an das Vorhandensein einer gewissen Mindestmenge an fetten Ölen gebunden ist.

Unter den bisher bekannt gewordenen Metallseifen stehen die aus den chemisch „aktiven“ Bleifarben — Bleimennige und Bleiweiß — erhaltenen nicht mit Unrecht in dem Ruf, daß sie dem Film besonders gute Eigenschaften verleihen, und dementsprechend haben sie auch im Rostschutz ausschlaggebende Bedeutung erlangt. Der derzeitige Ölmangel wirft nun naheliegenderweise die Frage auf, ob es denn nicht möglich sei, die anerkannten Vorzüge dieser Pigmente auf anderem Wege zur Geltung zu bringen und insbesondere mit Hilfe ölfreier Bindemittel Anstrichfilme von überdurchschnittlichem Wert aus ihnen zu erhalten. Die diesbezüglichen Nachforschungen haben zunächst ergeben, daß sehr viele der hier in Betracht kommenden Bindemittel aus physikalisch-chemischen oder maltechnischen Gründen mit ausgesprochen basischen Pigmenten entweder überhaupt nicht oder nur in untergeordnetem Maße verarbeitet werden können. Doch fanden sich unter den künstlichen Harzkörpern einige Typen, die die in sie gestellten Erwartungen bisher voll und ganz erfüllten und die — nach den neuerdings vorliegenden Ergebnissen zu schließen —

¹ Indessen darf der Zusatz an diesen Stoffen die Höchstgrenze von 40% nicht überschreiten!

auch weiterhin Erfolg versprechen. Es sind dies die Alkydharze, die allerdings neben dem eigentlichen Harzkörper (Phthalatharz) angemessene Mengen Fettsäuren chemisch gebunden enthalten.

Gleich hier sei bemerkt, daß die Hauptvorteile dieser Harze — geringe Trockenzeit und rasche Durchhärtung — bereits seit langem von der Reichsbahn, der Post und anderen maßgeblichen Stellen erkannt worden sind und ihrerseits großzügig verwertet werden. Gewisse ausgewählte Sorten dieser Harze begünstigen erfahrungsgemäß die an sich schon vorbildliche Haftfestigkeit der Bleimennige, desgleichen dürfte feststehen, daß die erwähnte Befähigung der letzteren zur „Eisenpassivierung“ durch sie in keiner Weise beeinträchtigt wird. Im übrigen bilden die Alkydharze nach wie vor den Gegenstand eingehender Untersuchungen, die heute noch keineswegs als abgeschlossen gelten können. Es liegen jedoch jetzt schon Anzeichen dafür vor, daß erstere sich in Anreibungen mit basischen Pigmenten keineswegs „neutral“ ver-

halten, wenn auch die Art der etwa eintretenden Bindungen bisher nicht einwandfrei geklärt werden konnte.

Die zur Anreibung mit basischen Pigmenten ungeeigneten Bindemittel sind fast durchweg durch lackartige Konsistenz, vor allem aber durch einen mehr oder minder ausgeprägten Säurecharakter gekennzeichnet, der ihre Verwendbarkeit für Eisengrundierungen vorweg stark beeinträchtigt. Man wird also diese Bindemittel nicht vorbehaltlos als „rostschützend“ bezeichnen können, was aber keineswegs ausschließt, daß sich ihre Vorteile je nach den örtlichen Umständen im Deckanstrich recht wohl verwerten lassen. Man tut jedoch gut daran, ihnen in diesem Falle eine Bleimennige-Grundierung — sei es in Leinölfirnis oder einem Alkydharz-Bindemittel — vorzugehen zu lassen. Bei der Alterung solcher Filme entstehen nämlich erwiesenermaßen ähnlich wie bei der des Leinölfilms saure Spalt- bzw. Abbauprodukte, die durch Bleimennige und Bleiweiß neutralisiert werden und somit ihre anstrichtechnisch schädlichen Wirkungen nicht entfalten können.

BEITRAG ZUM MOMENTENAUSGLEICHVERFAHREN.

Von Dipl.-Ing. Heinrich Wix und Bauingenieur Hans Dornau, Berlin.

DK 624.072.33

Übersicht: Es wird die Anwendung des Momentenausgleichsverfahrens bei der Berechnung von Rahmen mit elastischer Lagerung und Vierendeelträgern gezeigt.

Die Berechnung von verschieblichen und unverschieblichen rechteckigen Stockwerkrahmen mit Hilfe des Momentenausgleichsverfahrens von Hardy Croß ist im „Bauingenieur“ 19 (1938) S. 45 von Herrn Dr.-Ing. W. Derrnede eingehend erläutert.

Im nachstehenden soll dieses Verfahren weiter ausgebaut werden, und zwar für einen Rahmen mit Flächenlagerung und für einen Vierendeelträger. Das Berechnungsverfahren nach Croß wird dabei als bekannt vorausgesetzt.

Das Beispiel 1, Abb. 1a, stellt als Sonderfall einen sowohl waagrecht als auch lotrecht verschieblichen Rahmen mit elastischer Flächenlagerung (Bodendruck) dar.

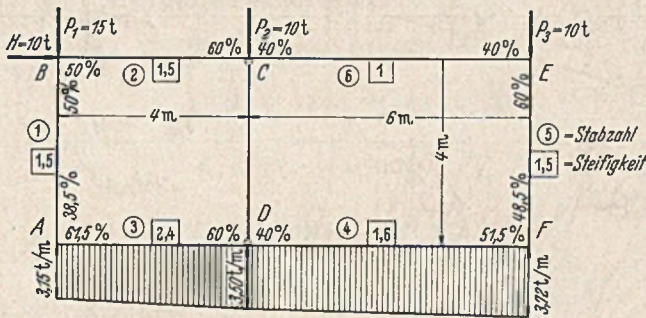


Abb. 1a. Rahmen mit elastischer Flächenlagerung.

Die Stabnummern sind in Kreise eingeschrieben, während die Steifigkeitswerte von Rechtecken umschlossen werden. Das System ist 4fach statisch unbestimmt.

Zunächst wird der unverschiebliche Zustand 0 gerechnet, vgl. Abb. 1b, Rahmen belastet mit den Feldlasten des Bodendrucks.

Die Einspannmomente hieraus sind

$$M_{ad} = -4,4 \text{ tm}; M_{da} = +4,5 \text{ tm}$$

$$M_{df} = -10,7 \text{ tm}; M_{fd} = +10,8 \text{ tm}.$$

Die ausgeglichenen Momente M_0 sind der Abb. 1b zu entnehmen und ergeben die Querkräfte:

$$Q_{ba} = 10,0 - \frac{0,23 + 0,62}{4} + \frac{1,24 + 5,59}{4} = 11,5 \text{ t}$$

$$Q_{bc} = 15,0 - \frac{0,23 + 0,41}{4} = 14,84 \text{ t}$$

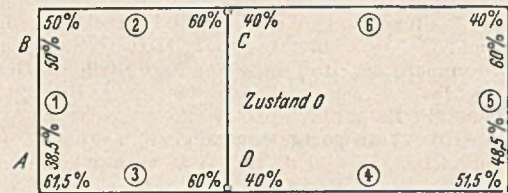
$$Q_{ad} = \frac{3,15 \cdot 4,0}{2} + \frac{0,35 \cdot 4}{6} - \frac{10,53 - 0,62}{4} = 4,05 \text{ t}$$

$$Q_c = 10,0 + \frac{0,23 + 0,41}{4} + \frac{0,41 + 1,24}{6} = 10,43 \text{ t}$$

$$Q_{d1} = 6,3 + 2 \cdot 0,23 + 2,48 + \frac{3,5 \cdot 6}{2} + \frac{0,22 \cdot 6}{6} + \frac{10,53 - 5,59}{6} = 20,78 \text{ t}.$$

Abb. 1b. Unverschiebliche Knotenpunkte.

$M_0 = +0,23$	$-0,23$	$-0,41$	$+0,41$	$+1,24$	$-1,24$	tm
		$2-0,08$	$2-0,06$			
$2+0,13$	$2+0,13$	$3+0,06$	$3+0,08$	$2+0,17$	$2+0,24$	
$3-0,12$	$3-0,14$	$2-0,28$	$2-0,19$	$3-0,09$	$3-0,32$	
$2-0,22$	$2-0,22$	$3-0,11$	$3+0,58$	$2+1,16$	$2+1,76$	
$3+0,44$					$3-2,92$	



$1-4,40$	$1+4,50$	$1-10,70$	$1+10,80$		
$3+1,86$	$2+3,72$	$2+2,48$	$3+1,24$		
$2+0,98$	$2+1,56$	$3+0,78$	$3-3,10$	$2-6,20$	$2-5,84$
$3-0,11$	$3+0,70$	$2+1,40$	$2+0,92$	$3+0,46$	$3+0,88$
$2-0,23$	$2-0,36$	$3-0,18$	$3-0,34$	$2-0,69$	$2-0,65$
$3+0,06$	$3+0,15$	$2+0,31$	$2+0,21$	$3+0,10$	$3+0,12$
$2-0,08$	$2-0,13$			$2-0,12$	$2-0,10$

$$M_0 = +0,62 \quad -0,62 \quad +10,53 \quad -10,53 \quad +5,59 \quad -5,59 \text{ tm}$$

Dann wird der obere Riegel waagrecht verschoben gedacht, siehe Abb. 1c, (Verschiebung 1). Die anzunehmenden 4 gleichen Einspannmomente der beiden Stiele sind $M_{ab} = M_{ba} = M_{ef} = M_{fe} = +100 \text{ tm}$. Diese Momente werden in Abb. 1d ausgeglichen. Die Querkräfte daraus sind:

$$Z_1 = \frac{35,0 + 41,1}{4} + \frac{27,0 + 33,25}{4} = 34,09 \text{ t}$$

$$D_a = \frac{35,00 - 1,1}{4} + \frac{41,1 - 1,75}{4} = 18,31 \text{ t}$$

$$D_d = 18,31 - \frac{27,0 + 1,1}{6} - \frac{33,25 + 1,75}{6} = 7,8 \text{ t}.$$

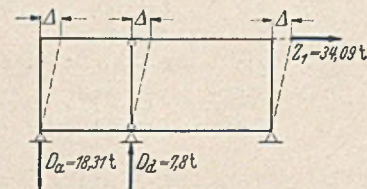
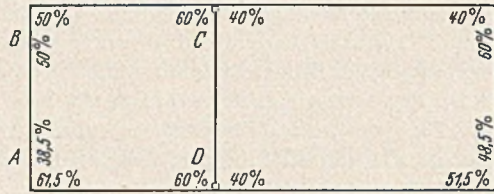


Abb. 1c.

Verschiebung 1. Abb. 1 d.

$M_1 = + 35,0$	$-35,0$	$+ 1,1$	$- 1,1$	$- 27,0$	$+ 27,0 \text{ tm}$
2+ 0,45	2+ 0,45	2- 0,2	2- 0,15	2+ 0,3	2+ 0,5
3- 0,5	3- 0,4	2- 0,8	2- 0,55	3- 0,25	3- 0,55
2+ 1,5	2+ 1,50	3+ 0,75	3+ 0,6	2+ 1,2	2+ 1,8
3- 2,4	3- 0,55	2- 1,1	2- 0,75	3- 0,4	3- 2,6
2+ 0,5	2+ 0,5	3+ 0,25	3+ 1,6	2+ 3,15	2+ 4,75
3- 14,5	3+ 13,5	2+ 27	2+ 18	3+ 9	3- 16,9
2- 50	2- 50	3- 25	3- 20	2- 40	2- 60
1+ 100					1+ 100



1+ 100					1+ 100
3- 25					3- 30
2- 29	2- 46	3- 23	3- 18,1	2- 36,2	2- 33,8
3+ 0,25	3+ 12,3	2+ 24,6	2+ 16,5	3+ 8,25	3+ 2,4
2- 4,85	2- 7,7	3- 3,85	3- 2,75	2- 5,5	2- 5,15
3+ 0,75	3+ 2,0	2+ 4,00	2+ 2,60	3+ 1,3	3+ 0,9
2- 1,05	2- 1,7	3- 0,85	3- 0,55	2- 1,1	2- 1,1
3+ 0,20	3+ 0,4	2+ 0,85	2+ 0,55	3+ 0,3	3+ 0,25
2- 0,2	2- 0,4	3- 0,20	3- 0,15	2- 0,3	2- 0,25
$M_1 = + 41,1$	$-41,1$	$+ 1,75$	$- 1,75$	$-33,25$	$+ 33,25 \text{ tm}$

Weiter wird das System vertikal in Richtung A B verschoben, siehe Verschiebung 2, Abb. 1 e. Hier werden die Einspannmomente entsprechend den Steifigkeiten zu

$M_{ad} = M_{da} = + 100 \text{ tm}$

und

$M_{bc} = M_{cb} = 100 \frac{1,5 \cdot 4}{4 \cdot 2,4} = + 62,5 \text{ tm}$

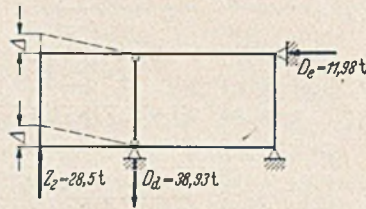


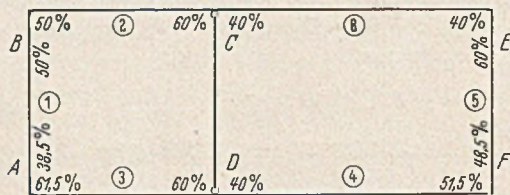
Abb. 1 e.

angenommen. Die ausgeglichenen Momente M_2 aus Abb. 1 f erzeugen die Querkräfte

$Z_2 = \frac{29,0 + 19,55}{4} + \frac{33,95 + 30,1}{4} = 28,15 \text{ t}$
 $D_d = -28,15 - \frac{19,55 + 4,2}{6} - \frac{30,1 + 10,85}{6} = -38,93 \text{ t}$
 $D_e = -\frac{29,0 + 33,95}{4} + \frac{4,2 + 10,85}{4} = 11,98 \text{ t}$

Verschiebung 2. Abb. 1 f.

$M_2 = -29,0$	$+ 29,0$	$+ 19,55$	$-19,55 \text{ tm}$	$- 4,2$	$+ 4,2 \text{ tm}$
2- 0,85	2- 0,85	2+ 0,15	2+ 0,05	2+ 0,05	2+ 0,10
3+ 0,5	3+ 1,2	2+ 2,45	2+ 1,65	3+ 0,8	3- 0,15
2- 15,15	2- 15,15	3- 7,6	3+ 3,5	2+ 6,95	2+ 0,75
3- 13,5	3- 18,7	2- 37,5	2- 25	3- 12,5	3- 2,05
	1+ 62,5	1+ 62,5		3- 4,85	2+ 10,4



1+ 100	1+ 100				
3- 30	2- 60				3- 20
2- 27	2- 43	3- 21,5	3+ 5,15	2+ 10,3	2+ 9,7
3- 7,6	3+ 4,9	2+ 9,85	2+ 6,5	3+ 3,25	3+ 5,2
2+ 1,05	2+ 1,65	3+ 0,8	3- 2,2	2- 4,35	2- 4,1
3- 0,40	3+ 0,4	2+ 0,85	2+ 0,55	3+ 0,3	3+ 0,4
			3- 0,15	2- 0,35	3- 0,35
		2+ 0,1	2+ 0,05		
$M_2 = -33,95$	$+33,95$	$+ 30,1$	$-30,1$	$- 10,85$	$+ 10,85 \text{ tm}$

Bei der vertikalen Verschiebung 3, Abb. 1 g sind die anzunehmenden Einspannmomente ähnlich wie oben

$M_{fd} = M_{df} = + 100 \text{ tm}$

$M_{ce} = M_{ec} = 100 \frac{1 \cdot 6}{6 \cdot 1,6} = + 62,5 \text{ tm}$

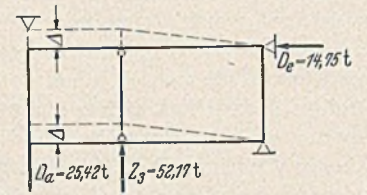


Abb. 1 g.

Die ausgeglichenen Momente M_3 aus Abb. 1 h liefern die Querkräfte

$D_a = -\frac{11,15 + 32,25}{4} - \frac{12,3 + 46,0}{4} = -25,42 \text{ t}$
 $Z_3 = 25,42 + \frac{32,25 + 37,5}{6} + \frac{46,0 + 44,95}{6} = 52,17 \text{ t}$
 $D_e = \frac{11,15 + 12,3}{4} - \frac{37,5 + 44,95}{4} = -14,75 \text{ t}$

Durch Überlagerung aller Belastungszustände erhält man für die Multiplikatoren C der 3 Verschiebungszustände die 3 Bedingungsgleichungen:

$-18,31 C_1 + 28,15 C_2 - 25,42 C_3 = -10,79$
 $+ 7,8 C_1 - 38,93 C_2 + 52,17 C_3 = + 10,35$
 $+ 34,09 C_1 - 11,98 C_2 - 14,75 C_3 = + 11,50$

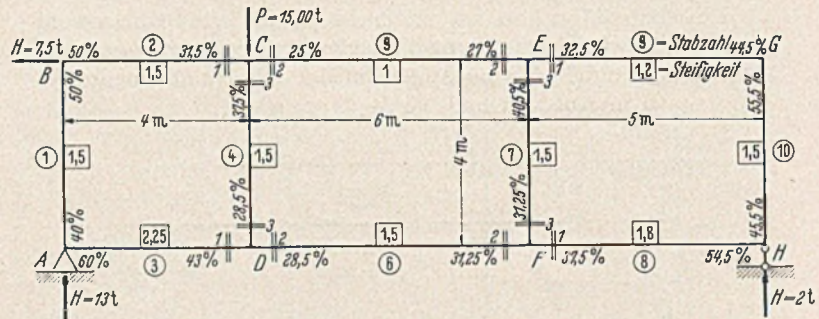


Abb. 2 a. Vierendeelträger.

Daraus folgen die Konstanten

$C_1 = + 0,262$ $C_2 = - 0,214$ $C_3 = 0$

die wirklichen Momente erhält man damit gemäß:

$M = M_0 + C_1 \cdot M_1 + C_2 \cdot M_2 + C_3 \cdot M_3$ zu

$M_A = -0,62 - 41,4 \cdot 0,262 - 33,95 \cdot 0,214 = -18,65 \text{ tm}$

$M_B = + 15,65 \text{ tm}$

$M_E = - 4,95 \text{ tm}$

$M_F = + 0,75 \text{ tm}$

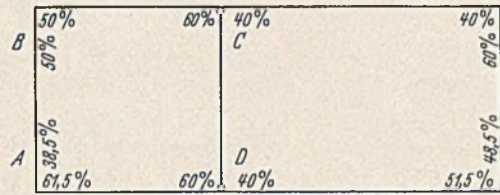
Das gleiche System mit eingespannter Innenwand ist 6 fach statisch unbestimmt und erfordert nach dieser Methode ebenfalls nur drei Bedingungsgleichungen.

Das Beispiel 2, Abb. 2a, behandelt einen Vierendeelträger, innerlich 6 fach statisch unbestimmt, aber statisch bestimmt gelagert.

Die Aufgabe wird in 3 Verschiebungszustände aufgelöst. Feldbelastungen sind nicht vorhanden, so daß dem Zustand o keine Kräfte entsprechen.

Verschiebung 3. Abb. 1h.

$M_3 = +11,15$	$-11,15$	$-32,25$	$+32,25$	$+37,5$	$-37,5$ tm
		$2+0,2$	$2+0,15$	$2-0,05$	$2-0,15$
$2+0,2$	$2+0,2$	$3+0,1$	$3-0,45$	$3+0,1$	$3+0,1$
$3-1,3$	$3+0,9$	$2+1,75$	$2+1,15$	$2-0,9$	$2-1,4$
$2+6,45$	$2+6,45$	$3+3,2$	$3-6,1$	$3+0,6$	$3+1,7$
$3+5,8$	$3-18,7$	$2-37,5$	$2-25,0$	$2-12,2$	$2-18,45$
			$1+62,5$	$3-12,5$	$3-19,35$
				$1+62,5$	



			$1+100$	$1+100$	
	$3-30$	$2-60$	$2-40$	$3-20$	
$2+11,6$	$2+18,4$	$3+9,2$	$3-20,65$	$2-41,3$	$2-38,7$
$3+3,2$	$3+3,45$	$2+6,85$	$2+4,6$	$3+2,30$	$3-9,2$
$2-2,55$	$2-4,1$	$3-2,05$	$3+1,8$	$2+3,55$	$2+3,35$
$3+0,1$	$3+0,1$	$2+0,15$	$2+0,1$	$3+0,05$	$3-0,7$
$2-0,05$	$2-0,15$	$3-0,05$	$3+0,2$	$2+0,35$	$2+0,3$
		$2-0,10$	$2-0,05$		
$M_3 = +12,3$	$-12,3$	$-46,0$	$+46,0$	$+44,95$	$-44,95$ tm

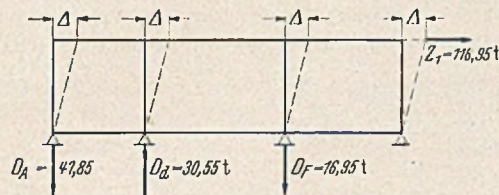
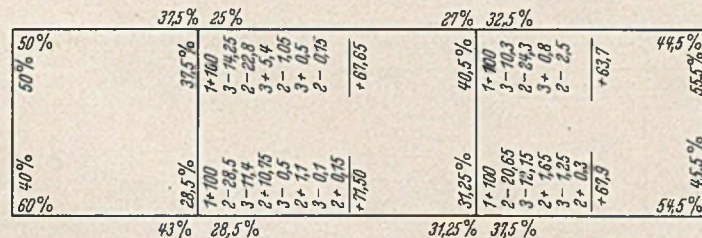


Abb. 2b.

Die seitliche Verschiebung 1 ist ebenso wie im Beispiel 1 gezeigt wurde, zu berechnen. Angenommene Einspannmomente bei den Stielen in Abb. 2 b und 2 c $M = 100$ tm.

Verschiebung 1. Abb. 2c.

$M_1 = +49,15$	$-49,15$	$-42,7$	$-24,95$	$-25,8$	$-37,9$	$-43,6$	$+43,6$
							$2+0,15$
$2+0,2$	$2+0,2$					$2+0,1$	$3-0,25$
$3-0,3$	$3-0,1$	$2-0,15$	$2-0,15$			$2-0,1$	$2-0,1$
$2+1,6$	$2+1,6$	$3+0,8$	$3-0,85$	$2-1,7$	$2-2,0$	$3-1,0$	$3+1,2$
$3-2,7$	$3-0,5$	$2-1,05$	$2-0,75$	$3-0,4$	$3+5,8$	$2+11,6$	$2+14,5$
$2+11,05$	$2+11,05$	$3+5,5$	$3-8,05$	$2-16,1$	$2-19,45$	$3-9,7$	$3-16,4$
$3-10,7$	$3-11,4$	$2-22,8$	$2-15,15$	$3-7,6$			
$2-50$	$2-50$	$3-25$			$3-22,25$	$2-44,5$	$2-55,5$
$1+100$							$1+100$



							$1+100$
	$3-25$	$3-21,5$	$2-43$	$2-28,5$	$3-14,25$	$3-19,7$	$3-27,75$
	$2-21,4$	$2-32,1$	$3-16,05$	$3-10,3$	$2-20,65$	$2-24,75$	$2-32,85$
	$3+5,5$	$3+8,1$	$2+16,25$	$2+10,75$	$3+5,4$	$3+1,4$	$2+2,8$
	$2-5,4$	$2-8,2$	$3-4,1$	$3+0,8$	$2+1,65$	$2+2,05$	$3+1,0$
	$3+0,8$	$3+0,8$	$2+1,6$	$2+1,1$	$3+0,55$	$3-0,25$	$2-0,5$
	$2-0,6$	$2-1,0$	$3-0,5$	$3+0,15$	$2+0,30$	$2+0,35$	$2-0,45$
			$2+0,2$	$2+0,15$			
$M_1 = +53,9$	$-53,9$	$-45,6$	$-25,85$	$-27,0$	$-40,9$	$-48,5$	$+48,5$

Die ausgeglichenen Momente M_i liefern die Querkräfte:

$$Z_1 = \frac{49,15 + 53,9}{4} + \frac{71,5 + 67,65}{4} + \frac{67,9 + 63,7}{4} + \frac{48,5 + 43,6}{4} = 116,95t$$

$$D_D = \frac{49,15 + 42,7}{4} + \frac{53,9 + 45,6}{4} - \frac{24,95 + 25,8}{6} - \frac{25,85 + 27,0}{6} = 30,55t$$

$$D_F = \frac{+17,28 - 37,9 + 43,6}{5} - \frac{40,9 + 48,5}{5} = -16,95t$$

Bei der senkrechten Verschiebung 2 sind rechts und links von einer gedachten Einspannungslinie, die durch den Stab C—D gebildet wird, entgegengesetzt drehende Momentensummen anzubringen, die einander gleich sind.

Auf jeder Seite der Einspannungslinie verhalten sich dabei die Momente zu einander wie ihre Steifigkeitszahlen.

Also nach Abb. 2 d

$$M_u = 100 \text{ tm}$$

$$M_o = 100 \frac{1}{1,5} = 100 \frac{1,5}{2,25} = 66,6 \text{ tm.}$$

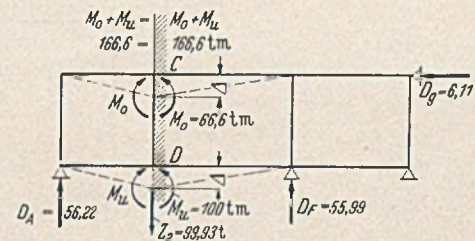


Abb. 2d.

Der Ausgleich der Momente aus Abb. 2 e erzeugt die Kräfte:

$$Z_2 = - \left(\frac{42,65 + 55,55}{4} + \frac{48,45 + 78,3}{4} + \frac{58,55 + 51,8}{6} + \frac{82,3 + 69,65}{6} \right) = - 99,93 \text{ t}$$

$$D_g = - \frac{42,65 + 48,45}{4} + \frac{3,0 + 4,0}{4} + \frac{35,65 + 39,4}{4} - \frac{6,35 + 8,65}{4} = - 6,11 \text{ t}$$

$$D_f = 43,71 + \frac{16,15 + 6,35}{5} + \frac{30,25 + 8,65}{5} = 55,99 \text{ t}$$

Bei der Verschiebung 3, Abb. 2 f und 2 g wird genau so verfahren. Angenommene Einspannmomente:

$$M_u = 100 \text{ tm}$$

$$M_o = 100 \frac{1,2}{1,8} = 100 \frac{1,0}{1,5} = 66,6 \text{ tm.}$$

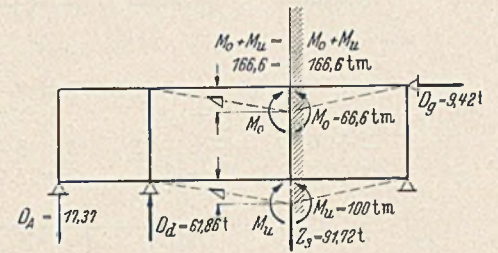


Abb. 2f.

Verschiebung 2. Abb. 2e.

$M_2 = -42,65$	$+ 42,65$	$+ 55,55$	$- 58,55$	$- 51,8$	$+ 16,15$	$+ 6,35$	$- 6,35$
2+ 0,15	2+ 0,15			2- 0,05	2- 0,05		
3- 0,20	3- 0,1	2- 0,2	2- 0,2	3- 0,1	3+ 0,2	2+ 0,3	2+ 0,4
2+ 0,95	2+ 0,95	3+ 0,5	3- 0,2	2- 0,35	2- 0,45	3- 0,2	3- 0,5
3- 1,20	3- 0,7	2- 1,35	2- 0,9	3- 0,45	3+ 1,1	2+ 2,2	2+ 2,75
2+ 7,65	2+ 7,65	3+ 3,8	3- 1,6	2- 3,25	2- 3,95	3- 1,95	3- 3,0
3- 16,70	3+ 1,4	2+ 2,85	2+ 1,95	3+ 1,0	3- 2,4	2- 4,8	2- 6,0
2- 33,30	2- 33,3	3- 16,65	3+ 9,0	2+ 18,0	2+ 21,6	3+ 10,8	
	1+ 66,6	1+ 66,6	1- 66,6	1- 66,6			

50%	37,5%	25%	27%	32,5%	44,5%
30% B	C	37,5%	E		G
	37,5%	2+2,85 3+1,4 2-1,35 3+0,5 2-0,2	40,5%	2+2,7 3+1,35 2-4,9 3+0,7 2-0,55 3+0,70 2-0,7	55,5%
40% A	D	28,5%	F		H
	28,5%	3+1,4 2+2,85 3-0,7 2+0,5 3-0,7 2+0,05 +4,0	31,25%	3+3,5 2+2,70 3-2,45 2+4,5 3-0,3 2+0,2	45,5%
60%	43%	28,5%	31,25%	31,5%	54,5%

3- 16,55	1+ 100	1+ 100	1- 100	1- 100			
2- 33,35	2- 50	3- 25	3+ 13,5	2+ 27	2+ 32,5	3+ 16,25	3- 3,0
3+ 3,8	3+ 2,2	2+ 4,35	2+ 2,85	3+ 1,4	3- 3,6	2- 7,2	2- 6,05
2- 2,4	2- 3,6	3- 1,8	3+ 0,7	2+ 1,45	2+ 1,75	3+ 0,9	3+ 1,4
3+ 0,5	3+ 0,4	2+ 0,8	2+ 0,5	3+ 0,3	3- 0,6	2- 1,25	2- 1,05
2- 0,35	2- 0,55	3- 0,3	3+ 0,1	2+ 0,2	2+ 0,2	3+ 0,1	3+ 0,2
		2+ 0,2	2+ 0,05			2- 0,15	2- 0,15
$M_2 = -48,45$	$+ 48,45$	$+ 78,3$	$- 82,3$	$- 69,65$	$+ 30,25$	$+ 8,65$	$- 8,65$

Verschiebung 3. Abb. 2g.

$M_3 = +7,0$	$-7,0$	$-18,85$	$+ 52,75$	$+ 59,35$	$- 56,9$	$- 46,15$	$+ 46,15$
2+ 0,45	2+ 0,45	3- 0,1	2- 0,1	2- 0,15	2- 0,2	2+ 0,15	2+ 0,2
3- 0,5	3+ 0,45	3+ 0,25	3- 0,05	3- 0,25	3+ 0,55	3- 0,1	3- 0,25
2+ 2,75	2+ 2,75	2- 0,75	2- 0,5	2- 0,35	2- 0,4	2+ 1,1	2+ 1,35
3+ 4,3	3- 9,8	3+ 1,4	3- 0,15	3- 6,5	3+ 9,75	3- 0,2	3- 2,25
		2- 19,65	2- 13,05	1+ 66,6	1- 66,6	2+ 19,5	2+ 24,35
			1+ 66,6	1+ 66,6	1- 66,6	1- 66,6	3+ 22,75

50%	37,5%	25%	27%	32,5%	44,5%
30% B	C	37,5%	E		G
	37,5%	3-14,25 2-10,5 3+0,75 2-0,75 2-0,7	40,5%	3-2,0 2-0,5 3+0,3 2-0,2	55,5%
40% A	D	28,5%	F		H
	28,5%	2-28,5 3-8,8 2+4,5 3-0,4 2+0,25	31,25%	2-4,65 3-0,25 2+0,65 3-0,7 2+0,1	45,5%
60%	43%	28,5%	31,25%	31,5%	54,5%

			1+ 100	1+ 100	1- 100	1- 100	
2+ 8,6	3- 21,5	2- 43	2- 28,5	3- 14,25	3+ 27,25	2+ 54,5	2+ 45,5
3+ 1,4	2+ 12,9	3+ 6,45	3- 2,0	2- 4,05	2- 4,9	3- 2,45	3+ 12,2
2- 1,0	3+ 1,2	2+ 2,35	2+ 1,5	3+ 0,75	3- 2,65	2- 5,3	2- 4,45
3+ 0,2	2- 1,6	3- 0,8	3+ 0,3	2+ 0,65	2+ 0,85	3+ 0,4	3+ 0,7
2- 0,15	3+ 0,2	2+ 0,4	2+ 0,25	3+ 0,1	3- 0,3	2- 0,6	2- 0,5
	2- 0,25			2+ 0,1	2+ 0,1		
$M_3 = +9,05$	$- 9,05$	$- 34,6$	$+ 71,55$	$- 83,3$	$- 79,65$	$- 53,45$	$+ 53,45$

Ausgeglichen erhält man die Querkkräfte:

$$D_g = + \frac{7,0 + 9,05}{4} + \frac{46,15 + 53,45}{4} - \frac{36,95 + 33,9}{4} - \frac{2,45 + 3,65}{4} = 9,42 \text{ t}$$

$$D_d = \frac{7,0 + 18,85}{4} + \frac{9,05 + 34,6}{4} + \frac{52,75 + 59,35}{6} + \frac{71,55 + 83,3}{6} = 17,37 + 44,49 = 61,86 \text{ t}$$

$$Z_3 = -44,49 - \frac{56,9 + 46,15}{5} - \frac{79,65 + 53,45}{5} = 91,72 \text{ t.}$$

Die Zustände 1, 2 und 3 werden überlagert. Die entsprechenden Multiplikatoren C ergeben sich aus den 3 Bedingungsgleichungen:

$$\begin{aligned} + 116,95 C_1 - 6,11 C_2 + 9,42 C_3 &= -7,5 \\ + 30,55 C_1 - 99,93 C_2 + 61,86 C_3 &= -15 \\ - 16,95 C_1 + 55,99 C_2 - 91,72 C_3 &= 0. \end{aligned}$$

Daraus folgen die Werte:

$$C_1 = -0,0645; \quad C_2 = +0,221; \quad C_3 = +0,147.$$

Die wirklichen Momente folgen wieder aus:

$$M = C_1 \cdot M_1 + C_2 \cdot M_2 + C_3 \cdot M_3.$$

$$\begin{aligned} M_A &= +12,9 \text{ tm} & M_{C_2} &= +3,6 \text{ tm} \\ M_B &= -11,6 \text{ tm} & M_{D_2} &= -6,05 \text{ tm} \\ M_{C_1} &= +12,25 \text{ tm} & M_{E_2} &= -1,05 \text{ tm} \\ M_{D_1} &= -15,25 \text{ tm} & M_{F_2} &= +1,30 \text{ tm} \\ \\ M_{E_1} &= +2,35 \text{ tm} & M_{C_3} &= -8,65 \text{ tm} \\ M_{F_1} &= -2,4 \text{ tm} & M_{D_3} &= +9,2 \text{ tm} \\ M_G &= -2,55 \text{ tm} & M_{E_3} &= +3,45 \text{ tm} \\ M_H &= +2,70 \text{ tm} & M_{F_3} &= -3,75 \text{ tm} \end{aligned}$$

Die beiden vorstehenden Beispiele zeigen die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten des Momentenausgleichsverfahrens.

Auch Rahmen mit geknicktem Riegel und Zugband können nach dieser Methode berechnet werden, wie ein späterer Aufsatz zeigen soll.

Durch Zwischenkontrollen können bei dieser Methode die einzelnen Berechnungsvorgänge immer wieder geprüft werden.

VERSCHIEDENE MITTEILUNGEN.

Normblattentwürfe für Säureschornsteine.

Die Lebensdauer der Säureschornsteine hängt nicht nur von der Standsicherheit ab, also der richtigen statischen Ausführung, sondern vor allem auch von der Verhütung schädlichen Säureangriffs auf das Bauwerk. Um eine richtige Ausführung derartiger Bauwerke zu gewährleisten, erschien es zweckmäßig, entsprechende Richtlinien aufzustellen; dazu wurde im Rahmen des Deutschen Normenausschusses ein Arbeitsausschuß unter Vorsitz von Herrn Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c.

Gehler eingesetzt. Das Ergebnis seiner Arbeiten wurde in den beiden Normblattentwürfen

DIN 1058 Blatt 1 Säureschornsteine, Berechnung und Bauarten
Blatt 2 Säureschornsteine, Bauausführung niedergelegt.

Einsprüche und Anregungen zu den nachstehend abgedruckten Entwürfen erbittet in doppelter Ausfertigung der Deutsche Normenausschuß, Berlin NW 7, Dorotheenstraße 40, bis zum 10. Oktober 1942.

Mitteilungen des Deutschen Normenausschusses.

<h2 style="margin: 0;">Säureschornsteine</h2> <h3 style="margin: 0;">Berechnung und Bauarten</h3>	<p style="font-size: small;">Noch nicht endgültig!</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p style="margin: 0;">DIN</p> <p style="margin: 0;">1058</p> <p style="margin: 0;">Blatt 1</p> <p style="margin: 0;">Entwurf 1</p> </div>
---	---

Vorbemerkung. Die bauliche Durchbildung, die Festlegung der jeweiligen Bau- und Isolierstoffe sowie die Bauausführung von Säureschornsteinen erfordern eine gründliche Kenntnis im Schornstein- und im Säurebau.

„Säureschornsteine“ dürfen daher nur Unternehmer ausführen, die solche Kenntnisse besitzen und denen auf diesem Gebiet erfahrene Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, die eine sorgfältige Bauausführung gewährleisten.

Eine dauernde gewissenhafte Überwachung der Bauausführung durch eine erfahrene und zuverlässige Persönlichkeit ist im Säureschornsteinbau ganz besonders erforderlich.

I. Allgemeines.

§ 1. Begriffsbestimmung.

„Säureschornsteine“ sind Schornsteine, in denen neben chemisch aggressiven Abgasen zugleich Feuchtigkeit auftritt.

Es sind im allgemeinen Schornsteine, in denen im Gegensatz zu den Rauchgasschornsteinen nach DIN 1056 Blatt 1 die Abgastemperatur unter dem Taupunkt der im Abgas enthaltenen Dämpfe mindestens zeitweilig oder in Teilen des Schornsteins liegt, so daß Kondensatbildung auftritt.

§ 2. Beanspruchung der Säureschornsteine.

Bei der Ausführung von Säureschornsteinen sind neben den Forderungen für die Standfestigkeit nach DIN 1056 auch noch die Beanspruchungen aus der Einwirkung der Säuren und chemisch aggressiven Stoffe zu berücksichtigen.

Die chemisch aggressiven Stoffe zerstören die Baustoffe, wie Zement, Beton, Mauerwerk in Zement- oder Kalkmörtel, sowie Metalle, wie z. B. Stahl und andere Stoffe.

Der chemische Angriff richtet sich nach der Konzentration der aggressiven Stoffe, dem Feuchtigkeitsgehalt und der Temperatur der abzuführenden Gase.

Die zu erwartenden chemischen und thermischen Betriebsverhältnisse müssen daher vor Baubeginn unter Berücksichtigung der möglichen Schwankungen möglichst genau bestimmt werden, um diese Einwirkungen unschädlich machen zu können.

II. Grundlagen für die Berechnung der Standfestigkeit und Ingebrauchnahme.

§ 3. Standfestigkeitsnachweis.

Für Säureschornsteine gelten sinngemäß die Bestimmungen DIN 1056 „Grundlagen für die Ausführung freistehender Schornsteine“ und

DIN 1057 „Schornsteinmauersteine für freistehende Schornsteine“ für die Berechnung und den Nachweis der Standsicherheit, soweit durch die Vorschriften DIN 1058 abweichende Bestimmungen nicht festgelegt werden.

§ 4. Wärmespannungen.

Bei freistehenden säurefesten Rohren sind außerdem bei Temperaturen über 70° die Wärmespannungen im Mauerwerk der säurefesten Rohre nachzuweisen.

Als Vergleichswert unter Annahme eines vollelastischen homogenen Körpers ist die Wärmespannung

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \cdot \alpha_t \cdot E \cdot \Delta t = 0,75 \Delta t \leq \sigma_{tzul}$$

zu berechnen, wobei der Elastizitätsmodul für säurefestes Mauerwerk $E = 250\,000 \text{ kg/cm}^2$ und die Wärmedehnzahl für säurefestes Mauerwerk $\alpha_t = 0,000006$ angenommen ist.

Ferner ist die Wärmeleitzahl für säurefestes Mauerwerk $\lambda = 1,5 \text{ m/st}^\circ$ und als zulässige rechnerische Biegespannung $\sigma_{tzul} = 12 \text{ kg/cm}^2$ anzunehmen.

Diese Werte gelten für Mauerwerk aus Radialsteinen mit Nut- und Federausführung. Für Spezialsteinverbände können höhere Biegespannungen auf Grund von Versuchen zugelassen werden, wenn der Nachweis hierfür durch den Vergleich mit dem Normalsteinverband unter Verwendung von Nut und Feder erbracht wird.

Wird die rechnerische Biegespannung von $\sigma_{tzul} = 12 \text{ kg/cm}^2$ überschritten, so sind Gelenkfugen oder Dehnungsfugen anzuordnen.

§ 5. Ingebrauchnahme.

Säureschornsteine müssen vor Ingebrauchnahme genügend lange, z. B. je nach Witterung bei Durchschnittstemperaturen unter 10° etwa 14 Tage, bei solchen über 10° etwa 8 Tage zur Erhärtung der Kette zwecks Erhöhung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung chemisch aggressiver Stoffe unbenutzt bleiben. Die Angaben in DIN 1058 Blatt 2 zu § 14 (Kette) sind zu beachten. Die Vorschriften für die Austrocknung von Schornsteinen nach DIN 285 sind vor Einsetzen des Futters anzuwenden, wenn ein besonderes Austrocknen des Schornsteins bei Berücksichtigung der späteren Betriebstemperaturen erforderlich ist.

Das Bauwerk ist vor der Einwirkung von Frost während der Bauzeit zu sichern.

III. Bauarten.

§ 6. Gruppeneinteilung.

Da je nach chemischen und thermischen Betriebsverhältnissen die Beanspruchung der Schornsteinbaustoffe verschieden ist, ergeben sich verschiedene Gruppen von Bauausführungen. Diese Bauausführungen sind in folgender Tafel zusammengefaßt:

solche, bei denen warme Abgase mit großen Mengen chemisch aggressiver Stoffe durch Zugabe von Luft verdünnt und abgekühlt werden. Hierdurch können besondere starke Beanspruchungen entstehen.

Zu dieser Gruppe gehören auch Säureschornsteine, die zugleich als Säurewaschanlagen ausgebildet sind, d. h. zum Niederschlag gesundheitsschädlicher Abgase durch Wascheranlagen.

§ 7. Chemisch-technische Angaben.

Auf Baustoffe wirken chemisch-aggressiv: Säuren, Salze, Alkalien

Gefährdungsgruppe	Beanspruchungsgrad	Gas-eintritts-temperatur	Relative-Feuchtigkeit, Kondensatanfall, mit Abgasen mitgeführte Flüssigkeit	Art der Abgase und der aggressiven Stoffe	Bauart		
					Schaft	Kopfhöhe = 3facher Durchmesser	Futter
1	2	3	4	5	6	7	8
1 ¹	sehr gering	über 180°	gering	Heiße z. B. SO ₂ Abgase oder andere heiße Abgase mit chem. aggressiv. Stoffen beliebiger Art und Menge	Normaler Warm-schornstein DIN 1056 aus Mauerwerk oder Stahlbeton	Mauerwerk nach DIN 1056 Innen und außen säurefest verfugen	Normal (DIN 1056) Kopfhöhe in Hochofenzement evtl. Isolierung zwischen Schaft und Futter ⁵ mauern
2 ¹	gering bis mittel	120 bis 180°	gering bis mittel	warme Abgase mit geringen Mengen chemisch aggressiver Stoffe	a) Gemauerter Schaft. Innen säurefest verputzt b) Stahlbetonschaft. Hinter dem Futter säurebest. und temperaturbest. Anstrich	Mauerwerk nach DIN 1056 Innen und außen säurefest verputzt	Bei Anwendung eines Futters dieses in Hochofenzement mauern, evtl. Wärmeisolierung zwischen Schaft und Futter und säurefeste Verfüguung des Futters ⁵
3 ¹	mittel bis gering	70 bis 120°	mittel bis gering	warme Abgase mit mittleren bis geringen Mengen chemisch aggressiver Stoffe	Ausführung wie 4b oder 4c gegebenenfalls Innenrohr mit Gelenkfugen ^{2 3}		
4 ¹	stark bis sehr stark	bis 70°	mittel bis sehr groß	Schwaden und Dämpfe, chemisch aggressive Stoffe	a) Gemauerter Schaft. Innenflächen mit säurefester, säuredichter und temperaturbeständiger Schutzschicht verkleiden ⁴ b) Gemauerter Schaft. Innen verputzt mit kalkarmem Zementmörtel und säurefestem Schutzanstrich ⁴ c) Stahlbetonschaft. Innen mit säurefestem Schutzanstrich ⁴	Mauerwerk aus säurefesten Schornsteinmauersteinen in säurefestem Kitt Mauerwerk aus säurebeständigen Schornsteinmauersteinen in säurefestem Kitt Aus säurefestem Mauerwerk	Säurefestes Futter Freistehendes, säurefestes Innenrohr mit begehbarem Zwischenraum ^{2 3}

¹ Bei Schornsteinen, von deren einwandfreiem Bauzustand die Sicherung der Erzeugung stark abhängt und bei denen Instandsetzungsarbeiten nur schwer durchgeführt werden können, ist es zweckmäßig, die Ausführung 4a oder 4b zu wählen, die die größte Sicherheit bietet. Das gleiche gilt für Schornsteine, bei denen die Gaseintrittstemperaturen über den Bereich mehrerer Gruppen stark schwanken können.

² Falls durch die Betriebsweise Beschädigungen des Innenrohrs zu erwarten sind (z. B. durch Brände, zeitweise sehr hohe Temperaturen scharfen Temperaturwechsel, Verpuffungen od. dgl.), ist das Innenrohr in geschoßweise übereinander angeordnete Einzelbauteile aufzulösen.

³ Tritt im Schornstein Druck auf, so ist bei Wahl eines Innenrohres dieses durchgehend, also ohne Unterteilung auszuführen.

⁴ Bei geringen Bauhöhen bis etwa 40 m auch freistehender vollkommen säurefester Schornstein, wenn Bauwerk durch die Frosteinwirkung keinen Schaden erhalten kann.

⁵ Bei Beanspruchung durch schweflige Säure oder Schwefelsäure allein kann an Stelle von Hochofenzement auch Tonerdezement verwendet werden.

Bei Schornsteinen der Gruppe 1 ist die Schornsteinmündung durch Witterungseinflüsse und Kondensatbildung gefährdet.

Bei Gruppe 2 kann sich Kondensat in den kälteren, inneren Schornsteinwandflächen bilden und eine Gefährdung beim Anfahren und Außerbetriebsetzen des Schornsteins eintreten.

Die Gefährdung der Schornsteine von Gruppe 3 ist der Art nach die gleiche wie bei Gruppe 4, sie ist jedoch geringer, da infolge der höheren Temperatur der Taupunkt nicht wesentlich unterschritten werden kann.

Am meisten durch aggressive Stoffe gefährdet sind die Schornsteine der Gruppe 4, deren Abgastemperatur zum großen Teil unterhalb des Taupunktes der Abgase liegt, so daß Kondensat abgeschieden wird. In diese Gruppe fallen auch Schornsteine, bei denen das Abgas Kondensat, das sich bereits vor Eintritt in den Kamin gebildet hat, mitführt, und

und Lösungsmittel. Als solche Stoffe kommen bei Schornsteinen beispielsweise in Betracht:

1. chemisch sehr aggressiv:
Schwefelsäure, schweflige Säure, Schwefelsäure-Anhydrid, Salpetersäure, salpetrige Säure, salpetrigsaure Gase, Phosphorsäure, phosphorige Säure, Salzsäure, Flußsäure, Chlor, Brom und Jod, ferner Verbindungen dieser Stoffe, wie z. B. Sulfate, Nitrate, Chloride.
2. chemisch geringer aggressiv:
Borsäure und organische Säuren, wie Ameisensäure, Essigsäure, Carbonsäure, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Alkalien und Lösungsmittel.

Die Wasserdampfsättigung (Taupunkt) ist

bei °C	20	40	60	80	99°
g Wasser/mm ³ trockene Luft	19	63	196	705	22076

Mitteilungen des Deutschen Normenausschusses.

Säureschornsteine Bauausführung

Noch nicht endgültig!

DIN
1058
Blatt 2
Entwurf 1

Vorbemerkung. Die Lebensdauer der Säureschornsteine hängt nicht nur von der richtigen statischen Ausführung des Schornsteins ab, sondern besonders auch von der Verhütung schädlichen Säureangriffs des Bauwerks.

I. Schornsteinausbildung und Ausstattung.

§ 1. Abgasgeschwindigkeit.

Die Abgasgeschwindigkeit soll nicht so gering sein, daß auf die Schornsteinmündung gerichtete Winde die kalten, schweren Abgase zurückdrängen. Sie soll aber auch nicht so groß sein, daß Kondensattröpfchen aus dem Schornstein herausgeschleudert werden.

Sie ist an der Schornsteinmündung zweckmäßig zwischen 5 bis 8 m/s zu wählen.

§ 2. Fundament.

Das Fundament des Schornsteins ist so auszubilden, daß der Beton und die zugehörige Stahlbewehrung durch Säureeinwirkung nicht beschädigt werden können.

Von der Oberfläche der Bodenplatte soll säurehaltiges Kondensat aus dem Schornstein, z. B. bei Beschädigungen der Kondensatabführung, sofort ablaufen können. Der eigentliche Fundamentbeton erhält zweckmäßig eine Betonschutzschicht als Auflage, die außerdem mit einem Schutzanstrich, besser mit Schutzschicht und Plattenauflagen zu versehen ist.

§ 3. Schaftmauerwerk.

Das Außenschafmauerwerk ist nach DIN 1056 im allgemeinen aus Schornsteinmauersteinen als „Kaltschornstein“ herzustellen. Die Außenfläche und die Innenfläche sollen möglichst glatt und dicht gefugt sein, damit Kondensat und Niederschlagswasser schnell abfließt und nicht in das Mauerwerk eindringen kann und Schutzanstriche leicht aufgebracht werden können. Stahlbeton für den Außenschaf ist nur anzuwenden, wenn eine dauernde Überwachung der Innenwandung oder Instandhaltung des Schutzanstriches der Innenwandung möglich ist (z. B. begehbare Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr).

Kann eine Säureeinwirkung von außen auftreten, dann ist der Stahlbeton entsprechend zu schützen.

§ 4. Säurefestes Futter oder Innenrohr.

Das säurefesteste Futter kann als Auskleidung, die unmittelbar an den Außenschaf auf die Schutzschicht mit Kitt angemauert ist, oder als freistehendes Futterrohr ausgebildet werden, das im Schornstein mit Abstand vom Außenschaf oder als Stockwerksfutter angeordnet ist.

Freistehende Innenrohre können bis zur Mündung als Standrohre ausgeführt werden oder als Stockwerksfutter schußweise unterteilt sein; hierbei ist sicherzustellen, daß kein Kondensat zwischen den einzelnen Futterstücken nach außen gelangen kann.

Sehr schlanke freistehende Innenrohre werden gegen das Außenschafmauerwerk zweckmäßig abgestützt, um trotz dünnwandiger Ausführung die Standsicherheit zu gewährleisten. Es ist hierbei das verschiedene Schwingungsverhalten des inneren und äußeren Rohrs zu berücksichtigen; es sind deshalb elastische säurefeste Zwischenlagen zwischen Abstützung und Innenrohr oder zwischen Abstützung und Außenschaf anzuordnen. Die Abstützung darf durch die Einwirkung der Säure nicht gefährdet werden und keine Säure nach dem Schafmauerwerk überleiten. Die Abstützung ist so auszuführen, daß der Stützendruck sich möglichst gleichmäßig auf das Innenrohr verteilt und örtlich hohe Beanspruchungen vermieden werden.

Die Mindestdicke des freistehenden Innenrohrs muß, sofern nicht für Sondersteinverbände besondere Zulassungen erteilt sind, bei freistehenden Röhren bis 50 m Höhe 12 cm, über 50 m Höhe 15 cm, bei als Stockwerksfutter unterteilten Röhren 10 cm betragen. Für säurefeste, unmittelbar am Außenschaf angeordnete Futterauskleidung ist die Mindestdicke mit 6 cm vorzusehen.

Bei einem lichten Durchmesser von mehr als 3 m ist entweder eine größere Futterdicke oder Nut- und Federauskleidung zu wählen.

Für freistehende Innenrohre sind Steine mit Nut und Feder oder Sondersteine mit gleicher Wirkung anzuwenden. Säurefeste Futterteile, die durch hohe Abgastemperaturen beansprucht werden, sind durch ein davor angeordnetes zweites Futter aus säurebeständigen Schamottesteinen zu schützen.

Treten im Futtermauerwerk Zugspannungen auf, wird zu ihrer Aufnahme zweckmäßig ein geeigneter Steinverband angewendet; andernfalls sind zur Aufnahme von Ringspannungen vor Säureeinwirkungen geschützte oder säurebeständige Bewehrungsringe als äußere Ringbewehrung vorzusehen.

§ 5. Abgaszuführung.

Die Abgase sind dem Schornstein so hoch über dem Fußboden der Werkhalle zuzuführen, daß etwaiges Kondensat aus den Abgasen

am tiefsten Punkt der Abgaszuführung, aber noch oberhalb des Schornsteinfundaments entnommen werden kann.

Es ist unzulässig, die Abgase durch das Fundament dem Schornstein zuzuführen. Sie sind seitlich durch den Schornsteinschaft hindurch entweder durch einen seitlichen Stutzen oder durch die als unterer Abschluß dienende Trichterplatte in den säurefest ausgekleideten Schornsteinraum einzuführen.

Falls durch die Gaseintrittsöffnung eine erhebliche Schwächung des säurefesten Futterrohrs entsteht, ist es in einen unteren Einführungsbauteil und das eigentliche darüber angeordnete säurefeste Innenrohr zu unterteilen.

§ 6. Futterauflager.

Das Auflagerkonsol des Schafmauerwerks für die Aufnahme des säurefesten Futterrohrs oder der Unterbau des säurefesten Innenrohrs oder des Abgaseinführungsbauwerks sind so auszubilden, daß sie nicht durch Säureeinwirkungen angegriffen werden können. Es ist deshalb eine säuredichte und säurefeste Dichtung vorzusehen. Sie soll gewährleisten, daß alles an dem säurefesten Rohr innen und außen auftretende säurehaltige Kondensat einwandfrei ohne Schädigung des Bauwerks abgeleitet wird.

Die Dichtungsstelle muß nachprüfbar sein. Schadhafte Auflagerdichtungen müssen ausgewechselt werden können.

Das Kondensat wird zweckmäßig dem Kondensatabfluß am Bodenrichter im Innenrohr zugeleitet.

Ist das Innenrohr oder der Abgaseinführungsbauteil oder die Bodenrichterplatte durch einen besonderen Unterbau abgestützt, so muß er aus säurefestem Mauerwerk ausgebildet sein, damit er z. B. bei undichtem Auflager des Abgasrohrs oder der Bodenrichterplatte nicht gefährdet ist.

§ 7. Trichter und Kondensatabführung.

Der Trichterboden oder die Abschlußplatte des säurefesten Innenrohrs ist getrennt von der säurefesten Innenauskleidung des Schornsteins im Bauwerk auf dem Außenschaf oder auf einem besonderen Stützbauteil eines Unterbaues aufzulagern, damit sie ohne Beeinflussung des Säurerohrs erneuert werden kann.

Die Bodenabschlußplatte, die meistens als Trichter ausgebildet wird, und ihr Auflager sind gegen chemische Einwirkungen sorgfältig zu schützen.

Am tiefsten Punkt der Bodenplatte soll der Kondensatabfluß liegen. Unter der Bodenplatte muß ein begehbare Raum vorhanden sein.

Die Rohrleitungen zur Abführung des Kondensats aus dem Bodenrichter des Schornsteins müssen entweder aus säurefesten keramischen Rohren bestehen oder mit einer säurefesten Schutzschicht versehen sein.

Geeignete Vorkehrungen, wie Zwischentrichter, gegebenenfalls mit Siebrost, sind zur Überwachung des Kondensatablaufes einzubauen.

§ 8. Schornsteinmündung und Kopfabdeckung.

a) Schornsteinmündung.

Im Bereich der Abgasfahne, also in einer Höhe, die dem 3fachen Mündungsdurchmesser entspricht, ist der oberste Teil des Schornsteins der Säureeinwirkung sehr ausgesetzt. Er muß durch eine säurefeste Verfüllung der Mauerwerksfugen oder andere Maßnahmen besonders geschützt werden oder ist ganz aus säurefesten Baustoffen herzustellen.

Das freistehende Innenrohr kann, wenn es vom Außenschaf getrennt ist,

1. in Höhe der Außenschafmündung,
2. darüber oder
3. unterhalb des Schafkopfmauerwerks enden.

Säurehaltiges Kondensat aus den Abgasen oder Niederschlagswasser dürfen nicht in den Raum zwischen Außen- und Innenschaf gelangen.

Die Ausführungen nach 1 und 2 sind zwischen Außenschaf und Innenrohr elastisch abzustützen.

Bei der Ausführung nach 3 ist der Außenschaf oberhalb des Innenrohrs säurefest auszubilden.

Etwaiges Kondensat von der Außen- und der Innenfläche des Außenrohres ist in das Innenrohr abzuleiten.

b) Abreißring.

Um das Abreißen der Abgasfahne und damit eine Schonung des äußeren Mauerwerks am Schornsteinkopf zu begünstigen, soll ein Mauerwerksring am Schornsteinkopf in einer dem Durchmesser gleichen Entfernung von der Schornsteinmündung ausgekragt werden.

c) Abdeckung.

Schaftmauerwerk und Futter sind unabhängig voneinander mit einem Ring aus säurefesten Baustoffen abzudecken.

Ist der Außenschaft nicht säurefest hergestellt, so ist er durch eine säurefeste Schutzschicht zwischen Abdeckung und Schaftmauerwerk gegen chemische Einwirkungen zu sichern.

§ 9. Steigleitern.

Für säurefeste Steinrohre können die gemäß den für den allgemeinen Schornsteinbau von den Baugewerksberufsgenossenschaften erlassenen Unfallverhütungsvorschriften vorgeschriebenen Steigeisen nicht verwendet werden, da sie in säurefestes Mauerwerk nicht eingemauert werden können, ohne selbst durch Säureeinwirkung gefährdet zu sein oder das Mauerwerk zu schädigen. Das Gleiche gilt auch für die Rückenschutzbügel.

Als Leiterholme sind zwei vom Schornsteinfuß von unten bis zur Mündung durchlaufende, senkrechte Steinleisten aus dem säurefesten Mauerwerk auszukragen, in die auswechselbare Leitersprossen eingelegt werden, die aus säurebeständigen Legierungen oder vor Säureeinwirkungen geschütztem Stahl bestehen.

In den keramischen Leiterholmen sind Vorrichtungen zur Aufnahme der Rückenschutzbügel und Öffnungen zur Durchführung der Rüstseile vorzusehen.

Einrüstringe.

Zum Besteigen oder Befahren von säurefesten Rohren von außen sollte der Schornstein mit vor Säureeinwirkungen geschützten Konsolgerüsten von Fall zu Fall eingerüstet sein. Die Spannseile sind dabei durch säurefeste, z. B. schlauchartige Überzüge zu schützen und auf Steinringen aufzulagern, die aus dem säurefesten Mauerwerk waagrecht ausgekragt sind.

§ 10. Blitzableiter.

Die Blitzableiter an Säureschornsteinen müssen im Bereich der Abgasfahne aus besonders legierten, säurefesten Werkstoffen bestehen. In der Entfernung von dem 3fachen Schornsteinkopfdurchmesser von der Schornsteinmündung darf die Ableitung aus verzinktem Stahlband oder Stahldraht sein. Die Anschlußstelle des legierten, säurefesten Werkstoffes an die Ableitung muß säurefest umkleidet sein, um die Bildung von Schäden durch an der Lötstelle entstehende elektrische Ströme zu vermeiden.

§ 11. Leuchtringe.

Etwasige Leuchtringe an Säureschornsteinen sind gegen Säureeinwirkung zu schützen.

Die Konsolbühnen zur Aufnahme des Leuchtgerätes und zur Bedienung dürfen nicht aus Baustoffen bestehen, die durch chemische Einwirkungen beschädigt werden können. Die Bühnen müssen ohne Schwierigkeit ausgewechselt werden können.

II. Baustoffe.

§ 12. Mauerwerk und Steine.

Für den Außenschaft sind Schornsteinmauersteine nach DIN 1057 zu verwenden, die beständig gegen die zu erwartenden chemischen Einwirkungen sind. Sie müssen deshalb möglichst kalkarm sein und dürfen „freien Kalk“ nicht aufweisen.

Für „säurefestes Futtermauerwerk“ oder das Innenrohr müssen die Mauersteine oder Auskleidungsplatten säurefest, nach Möglichkeit säuredicht, und möglichst unempfindlich gegen Temperaturschwankungen sein. Das Mauerwerk soll folgende Eigenschaften aufweisen:

1. Raumgewicht nicht unter 2,05,
2. Kaltdruckfestigkeit mehr als 400 kg/cm²,
3. Porosität (nach DIN 1065) nicht mehr als 10%,
4. Säurelöslichkeit nicht mehr als 0,4%.

Die Säurelöslichkeit wird nach den nachstehend angeführten Verfahren festgestellt:

1. Bestimmung des Gewichtsverlustes gekörnter Baustoffe (Verfahren des Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie)¹.

Die zwischen dem 64- und dem 120-Maschensieb gewonnene Körnung wird durch Waschen von feinem Staub befreit und getrocknet. Dann werden 100 g dieser Körnung in einer Platinschale mit einer Säuremischung, bestehend aus 25 g konzentrierter Schwefelsäure, 10 g Salpetersäure von 1,4 Dichte und 65 cm³ Wasser bis zum Sieden erhitzt. Das Erhitzen wird bis zum Auftreten dichter Schwefelsäuredämpfe fortgesetzt.

Nach dem Erkalten wird der Inhalt der Schale mit Wasser aufgenommen, dem man 10% Salpetersäure von 1,4 Dichte zugesetzt hat, und nochmals bis zum Sieden erhitzt. Der Rückstand wird auf einem Filter gesammelt, mit Wasser ausgewaschen, getrocknet und gewogen. Der eingetretene Gewichtsverlust gilt als Maß für die Angreifbarkeit.

Mit diesem Verfahren läßt sich jedoch nicht zuverlässig die Schwefelsäurebeständigkeit von säurefesten Steinen ermitteln. Gegebenenfalls ist folgende Ergänzungsprüfung vorzunehmen²:

¹ Bei Normung des Prüfverfahrens tritt an Stelle der angeführten Prüfverfahren das Normverfahren.

² I. G. Verfahren Höchst/Leuna.

2. Prüfung der Minderung der Druckfestigkeit säurefester Steinkörper durch Säureeinwirkung.

Zylindrische Körper von je 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe werden je 8 Tage in kalte und heiße Säuren verschiedener Art (75%ige Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure) eingelegt. Die Druckfestigkeit der Körper wird vorher und nachher festgestellt. Der Vergleich der Druckfestigkeitswerte ist ein Maß über die Schädigung des Gefüges der Steine durch die chemische Beanspruchung. Die Proben dürfen nicht zerfallen oder gesprengt werden. Es sind mindestens je 1 Probe aus 3 verschiedenen Steinen zu untersuchen.

Engfügiges säurefestes Futtermauerwerk muß aus möglichst formgerechten Steinen hergestellt werden. Das Steingefüge soll gleichmäßig sein. Risse, Schlieren, Lunken oder Löcher sollen möglichst nicht im Stein vorhanden sein.

§ 13. Säurefeste Schutzschichten und Schutzanstriche.

a) Schutzschichten.

Schutzschichten bestehen im allgemeinen aus bituminösen oder kautschukartigen Stoffen oder säurebeständigen Kunststoffen. Durch ihr verschiedenes thermisches und chemisches Verhalten ist ihr Anwendungsgebiet begrenzt.

Für jeden Anwendungsfall müssen sie aber ausreichend chemisch und thermisch beständig und unbedingt flüssigkeitsdicht sein. Sie müssen am Mauerwerk gut haften und so elastisch und dehnbar sein, sowohl bei den höchsten Betriebstemperaturen als auch bei niedrigen, z. B. bei Betriebsstillstand im Winter, daß sie feine Risse usw., wie sie im Schaftmauerwerk durch das Schwanken des Schornsteins entstehen, überbrücken, ohne hierdurch beschädigt zu werden. Weiterhin müssen die Schutzschichten genügend alterungsbeständig hinsichtlich der chemischen als auch ihrer mechanischen Eigenschaften sein.

Es ist zweckmäßig, die Schutzschichten stets durch eine mindestens 60 mm dicke säurefeste Steinverkleidung, möglichst mit Nut und Feder, vor Beschädigungen zu schützen.

Oberhalb etwa 70° sind Schutzschichten im allgemeinen nicht mehr anwendbar.

b) Schutzanstriche.

1. Säurefeste Schutzanstriche bieten im allgemeinen nur vorübergehenden Schutz und müssen daher überwacht und von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Normale Schutzanstriche sind wegen ihrer thermischen und chemischen Beständigkeit im allgemeinen nur bis etwa 70° anwendbar. Sollen sie bei höheren Temperaturen verwendet werden, so ist ihre Eignung und Haltbarkeit nachzuweisen. Sie sind mehrmals, im allgemeinen mindestens dreimal aufzutragen, damit ein dichter Anstrich erzielt wird.

2. Zur Bindung freien Kalkes in säurewiderstandsfähiges Calciumfluorid sind „Flutanstriche“ geeignet. Deshalb sind Bauteile, die mit Zement- oder kalkhaltigen Mörteln behandelt sind und die Säureeinwirkungen unterliegen, zweckmäßig mit Flutanstrichen zu versehen.

3. Auch die Außenflächen des Schornsteinschaftes, besonders die Stahlbetonschornsteine und die Mörtelfugen der gemauerten Schäfte, unterliegen den Einwirkungen chemisch aggressiver Stoffe, die aus den Abgasfahnen durch das Regenwasser an den Schornsteinschaft gelangen können. Die Außenflächen sind durch Anstriche zu schützen, die in regelmäßigen Zeitabständen entsprechend ihrem Verwitterungszustand zu erneuern sind.

Geeignet sind:

1. wasserabweisende, in die Baustoffe eindringende Schutzmittel,
2. schutzfilmbildende Anstriche.

Die Wirkung solcher Schutzanstriche auf gemauerten Schäften wird ganz erheblich erhöht, wenn man zunächst eine säurefeste Verfüzung des Schornsteinschaftes mit geeigneten säurefesten Kittungen durchführt. Unter Umständen erübrigt sich dann sogar ein Schutzanstrich.

§ 14. Mörtel und Kitte.

a) Mörtel.

Der Außenschaft soll mit Mörtel mit möglichst wenig Kalk oder mit kalkarmem Zement (Hochofenzement, Tonerdezement) aufgemauert werden. Die Betriebstemperatur oder die Temperatur im Schaftmauerwerk muß dann aber so gering sein, daß die Dehnfähigkeit des Mauerwerks die eintretenden Wärmespannungen ohne Schaden aufnehmen kann. Als Mörtelzuschlag ist ein säurebeständiger Werkstoff zu verwenden.

b) Kitte.

Als säurefeste Kitte werden je nach Art der chemisch aggressiven Stoffe und der Betriebstemperatur solche auf der Grundlage von Wasser, Kunstharz oder für Ausfugen von Bitumen verwendet. Kunstharzkitte sind bis etwa 150°, Wasserglasskitte noch für höhere Temperaturen anwendbar. Es sind hierbei säurefeste, aber nicht dichte, und säurefeste, zugleich flüssigkeitsdichte Kitte zu unterscheiden, außerdem „säurefeste Kitte“, die zugleich gegen saure und alkalische Beanspruchungen beständig sind und solche, die sauren, aber nicht alkalischen Einwirkungen widerstehen, ferner säurebeständige, aber nicht

wasser- und dampfbeständige Kitten sowie solche, die zugleich beide Beanspruchungen vertragen. Die Kitten erreichen ihre volle Widerstandsfähigkeit gegen Einwirkung chemisch aggressiver Stoffe im allgemeinen erst nach mehreren Tagen, wenn sie genügend erhärtet sind. Manche müssen noch besonders nachbehandelt, z. B. abgesäuert werden.

Alle notwendigen Angaben über säurefeste Kitten sind in den entsprechenden Merkblättern des Lieferers enthalten. Die Verarbeitungsvorschriften sind unbedingt zu beachten.

Bitumenkitten sind nur für Außentemperaturen bis 40° anwendbar.

III. Bauausführung.

§ 15. Allgemeines.

Bei Ausführung von Säurebauarbeiten wirken sich Witterungseinflüsse sehr erheblich aus. Hohe Temperaturen beschleunigen das Abbinden der Säurekitten erheblich, tiefe Temperaturen verursachen das Gegenteil. Nasse Witterung erschwert die Ausführung einwandfreier Schutzschichten und Verkittungen.

Schutzmaßnahmen gegen schädliche Witterungseinflüsse sind vorzusehen.

§ 16. Säuremauerwerk.

Säuremauerwerk soll aus gut geformten Steinen, die gleichmäßig enge Fugen einzuhalten ermöglichen, hergestellt werden.

Um ein möglichst dichtes und standfestes Mauerwerk zu erreichen, z. B. für freistehende Futterrohre, ist es in vielen Fällen zweckmäßig, Steine mit Nut und Feder zu verwenden. Am Außenschaft angemauertes Futter kann auch aus Steinen ohne Nut und Feder hergestellt werden. Die Steine dürfen nicht naß verarbeitet werden. Sie müssen saubere Arbeitsflächen haben. Die Fugen der verschiedenen Steinlagen sind zu versetzen.

Nach dem Verlegen in Kitt dürfen die Steine bis zur ausreichenden Erhärtung der Kittfugen, die von der Kittart abhängt, nicht mechanisch beansprucht werden.

Die Zeit zur Erhärtung hängt von der Witterung ab. Bei kühler Witterung erhöht sie sich erheblich, bei wärmerer Witterung dagegen verkürzt sie sich.

Bei kalter Witterung sollten außerdem die Bauteile und auch die zur Verarbeitung kommenden Steine und der Kitt vorsichtig erwärmt werden. Dabei dürfen stellenweise nicht etwa zu hohe Temperaturen auftreten. Bei Frost ist Säurebauarbeit nicht auszuführen.

Die für die verschiedenen Kittarten vom Lieferer gegebenen Hinweise sind zu beachten.

Da eine vollständige Erhärtung der Kitten z. T. erst nach einigen Tagen eintritt, ist das frische Säuremauerwerk für starke mechanische Beanspruchungen, z. B. durch Arbeitsgerüste, nicht geeignet. Als Gerüste sind deshalb zweckmäßig Standgerüste oder am Außenschaft anzuordnende Hängegerüste zu verwenden.

§ 17. Fugen und Kitten.

a) Außenschaft.

Bei dem in Zementmörtel oder in Zement-Kalkmörtel aufgemauerten Außenschaft sind etwa 12 mm dicke Fugen einzuhalten.

Sollen diese z. B. an der Schornsteinmündung gegen Säureeinwirkung durch Ausfugen mit säurefestem Kitt geschützt werden, so sind sie zunächst etwa 15 mm tief sauber auszukratzen, dann nach dem Abbinden mit 10%iger Magnesiumsiliziumfluoridlösung zu streichen, mit Wasser nachzuwaschen und nach dem Trocknen zu verfugen.

Erfordert der angewendete Kitt zur Erzielung seiner Beständigkeit gegen Wasser (Regen) und chemisch aggressive Stoffe eine Nachbehandlung, z. B. durch Absäuern, so ist sie nach Erhärten des Kittes auszuführen und dann mit Wasser nachzuwaschen. Säure darf dabei nicht in ungeschützte Mörtelfugen, z. B. bei tiefer gelegenen Mauerwerksteilen, eindringen.

Wenn der Kitt vor seiner Erhärtung gegen Wasser empfindlich ist, ist das verfugte Mauerwerk gegen Einwirkung des Wassers, auch des Regenwassers, bis zur genügenden Erhärtung zu schützen. Als Schutz genügt ein Abdecken mit Dachpappe oder dergleichen.

b) Säurefestes Mauerwerk.

Bei säurefestem Mauerwerk soll die Fugendicke möglichst nicht mehr als 3 mm sein, wenn später nicht mehr nachgefugt werden kann oder Instandsetzungsarbeiten nicht oder nur unter größten Betriebschwierigkeiten ausführbar sind. Wenn nachgefugt werden soll und Ausbesserungen durchführbar sind, ist die Fugendicke mit etwa 5 mm einzuhalten. Die Fugen sind voll mit Kitt auszufüllen.

Es darf nur ein Kitt verarbeitet werden, dessen Eigenschaften einwandfrei sind und der nicht etwa durch lange Lagerung oder andere Einflüsse gelitten hat.

Die Kittmassen müssen in der Regel in kleinen Mengen zubereitet und sofort verarbeitet werden. Sie dürfen nicht mehr verwendet werden, wenn sie bereits beginnen, sich zu verfestigen.

Die besonderen Vorschriften für die Verarbeitung und Nachbehandlung der einzelnen Kittarten sind zu beachten.

Kittarbeiten sollen nur durch geübte und erfahrene Facharbeiter ausgeführt werden.

§ 18. Anstriche.

Die durch Anstriche zu schützende Fläche muß frei von Schmutz und Staub sein, damit der Anstrich fehlerfrei haftet. Wenn keine Sondervorschrift besteht, darf im allgemeinen nur auf trockenem Untergrund gestrichen werden. Der Witterungseinfluß ist deshalb zu berücksichtigen.

Die für die zu verwendenden Baustoffe geltenden Verarbeitungsvorschriften sind zu beachten.

§ 19. Schutzschichten.

Mauerwerk kann eine Vorbehandlung erfordern, bevor Schutzschichten aufgebracht werden.

Wenn die Oberfläche des Mauerwerks unregelmäßig gemauert ist, muß es vor Aufbringen der Schutzschicht mit einer Zementmörtel-Putzschicht ausgeglichen werden. Bei dicken über große Flächen ausgedehnten Putzschichten ist vor dem Verputzen auf dem Mauerwerk ein Putzträger anzubringen.

Nach Abbinden und etwaiger Behandlung mit Magnesiumsilizium-Fluoridlösung des Ausgleichputzes wird auf die trockene Putzschicht — je nach Arbeitsvorschrift — zunächst eine Grundierungsschicht und dann erst die Schutzschicht aufgebracht. Die Dicke der Schutzschicht soll im allgemeinen mindestens 3 mm betragen. Sie muß aber so bemessen werden, daß unter Berücksichtigung von feinen Rißbildungen im Untergrund ihre Dichtigkeit einwandfrei gewährleistet ist.

IV. Verschiedenes.

§ 20. Maßnahmen gegen Unfälle und Gesundheitsschäden.

a) Verarbeitung der Säurekitten.

Zur Vermeidung von Gesundheitsschädigungen sind in manchen Fällen besondere Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Die bestehenden Verarbeitungsvorschriften sind sorgfältig zu beachten.

b) Instandsetzungsarbeiten an Säureschornsteinen.

Mauerwerk, an dem Instandsetzungsarbeiten auszuführen sind, ist oft mit Säure stark getränkt. Seile, Rüstungsböcke, Arbeitsgerät u. dgl., die mit solchem Mauerwerk in Berührung kommen, werden durch Säureeinwirkung gefährdet. Dadurch erhöht sich die Unfallgefahr, die im Schornsteinbau bereits erheblich ist, weiter.

Die Arbeitsgeräte müssen durch säurebeständige Schutzanstriche oder säurefeste Verkleidungen vor Korrosionsschäden geschützt werden.

Die gleichen Ursachen können die Gesundheit der Schornsteinmänner gefährden. Wenn erforderlich, sind Schutzmaßnahmen gegen Gesundheitsschäden vorzusehen.

§ 21. Bauüberwachung.

Nach Inbetriebnahme ist der Säureschornstein, so oft es die Betriebsverhältnisse erlauben, auf seinen Bauzustand zu überprüfen. Solche Nachprüfungen sind möglichst mehrmals im Jahr vorzunehmen. Über den jeweiligen Baubefund sind Niederschriften anzufertigen.

Berichtigung.

In der Abb. 1 meines Aufsatzes „Die Knicksicherheit des Stützenrostes“¹ müssen in der Bezeichnung der Kreuzungspunkte der Stützen und der Querbalken die Buchstaben k und r vertauscht werden.

Herr Oberingenieur W a n s l e b e n, Rheinhausen, der mich auf diesen Schreibfehler aufmerksam gemacht hat, weist auf den Ansatz:

$$w_k = \frac{P \cdot l^3}{E \cdot J'} \cdot \frac{1 - \frac{2}{3} \cdot \sin^2 \frac{\pi}{2n'}}{16 n^3 \sin^4 \frac{\pi}{2n'}} \cdot \sin \frac{\pi \cdot k}{n'}$$

hin, der die Durchbiegungen der Querbalken an den Kreuzungsstellen mit den Stützen genau angibt. Bei Benutzung dieses Ansatzes tritt in der Gl. (22) an Stelle des Faktors $\frac{\pi^4}{4} = 24,35227$ der Bruch

$$\frac{4 n^4 \cdot \sin^4 \frac{\pi}{2n'}}{1 - \frac{2}{3} \cdot \sin^2 \frac{\pi}{2n'}}$$

Dieser hat für

$n' = 2$	3	4	
den Zahlenwert:	24,000 00	24,300 00	24,336 50

Hiervon weicht der von mir eingeführte überaus einfache Annäherungswert nur um

$1,467$	$0,215$	$0,065 \%$
---------	---------	------------

ab und wird deshalb, wie ich schon in meiner Arbeit hervorgehoben hatte, unbedenklich benutzt werden können. Will man beim Vorhandensein einer einzigen Stütze, dem Fall, in dem die Abweichung allein merklich wird, diese vermeiden, so kann man hier den Annäherungswert durch den genauen 24,000 ersetzen.

In Gl. (7) fehlt hinter A_a das Gleichheitszeichen.

G a e d e, Hannover.

¹ Bauingenieur 23 (1942), S. 166.

Keine Ausdehnung der Betriebsführer-Haftung.

§ 831 BGB.: Wer einen anderen zu einer Verrichtung bestellt, ist zum Ersatz des Schadens verpflichtet, den der andere in Ausführung der Verrichtung einem Dritten widerrechtlich zufügt.

Zur Ausführung übertragener Arbeiten in diesem Sinne gehört nicht der Weg, den ein an eine Arbeitsstelle entsandter Arbeiter zurücklegt. Es gibt zahlreiche Fälle, in denen ein Handwerker einen Gesellen zur Vornahme von Arbeiten in das Haus eines Kunden schickt oder ein Unternehmen an einem von seinem Betriebssitz entfernt liegenden Ort Bauarbeiten oder Montagearbeiten ausführt und dazu bei ihm beschäftigte Arbeiter entsendet, wobei es ihnen für die tägliche Hin- und Rückfahrt die sog. Auslösung zahlt. Wollte man in solchen Fällen — so nahm das Reichsgericht in einem jetzt entschiedenen Falle zu dieser Frage Stellung — die gesamte zur Zurücklegung des Weges erforderliche Tätigkeit als in Ausführung der übertragenen Arbeiten vorgenommen ansehen, so entspräche eine solche Ausdehnung der Haftung des Betriebsführers nicht dem Sinn und dem Zweck des § 831 BGB., ganz abgesehen davon, daß sie, namentlich für kleinere Unternehmen wirtschaftlich nicht tragbar wäre. Dem Betriebsführer kann eine Beurteilung des mutmaßlichen Verhaltens des Arbeiters außerhalb der eigentlichen Beschäftigung nicht wohl angesonnen werden, es ist ihm auch gar nicht möglich, insofern eine Sorgfalt auszuüben, wie sie § 831 BGB. im Auge hat.

In dem vom RG. entschiedenen Falle hatte ein auf einen Bauernhof mit Arbeiten betrauter Maurer sein zur Hin- und Rückfahrt benutztes Fahrrad repariert, dabei war ihm ein Schraubenschlüssel abgesprungen

und hatte ein zusehendes Kind so schwer an einem Auge verletzt, daß dessen Sehkraft verlorenging. Der Maurer wurde zu Schadensersatz verurteilt, die Klage gegen seinen Betriebsführer abgewiesen. „Reichsgerichtsbriefe.“ (VI 133/41. — 2. 6. 1942.) Petzold, Leipzig.

Tödlicher Unfall durch Absturz einer Balkonwand.

An einem im Jahre 1921 erbauten Mehrfamilienhaus in Gelsenkirchen stürzte am 1. Oktober 1938 eine Balkonwand ab und mit ihr die Ehefrau des Mieters. Die Frau wurde tödlich verletzt. Das Haus war durch den seit Jahren unter dem Grundstück betriebenen Bergbau in Mitleidenschaft gezogen; auch an den Balkonwänden waren Risse aufgetreten, die mit Zementmörtel verschmiert worden waren.

Auf die Klage des Ehemanns der Verunglückten wurde der Erbauer des Hauses von den örtlichen Gerichten und vom Reichsgericht zu Schadensersatz verurteilt. Die Tragkonstruktion der an dem Hause angebauten Balkone bestand aus Eisenträgern, die eine Betonplatte mit Estrich trugen; die Brüstungen waren aus Bimssteinelementplatten, die beiderseits verputzt waren. Eine verankernde Verbindung der Brüstungen mit der Betonplatte und den Trägern war nicht vorhanden. In der Nichtverwendung einer Eisenkonstruktion erblickten die Gerichte eine Verletzung allgemein anerkannter Regeln der Baukunst. Der Beklagte habe offensichtlich den Polieren und Mauern entweder das nötige Material nicht gegeben oder ihnen unzureichende oder gar unrichtige, eine falsche Ersparnis bezweckende Anweisungen gegeben. „Reichsgerichtsbriefe.“ (VI 93/41. — 9. 6. 1942.) Petzold, Leipzig.

PATENTBERICHTE.**Bekanntgemachte Anmeldungen.**

Bekanntgemacht im Patentblatt Heft 27 vom 2. Juli 1942 und von demselben Tage an auf drei Monate beim Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 37 b, Gr. 5/02. H 150 929. Erfinder, zugleich Anmelder: Hermann Honnef, Berlin. Druckfeste Knotenpunktausbildung für die Verbindung von mehr als zwei mit Anschlußstücken versehenen Fachwerkstäben. 6. III. 37.
- Kl. 37 f, Gr. 5. St 60 329. Erfinder: Oswald Stein, Düsseldorf. Anmelder: Oswald Stein, vorm. Continentale Ofenbauges. m. b. H., Düsseldorf. Verfahren und Kamin zum Verdünnen schädlicher Abgase. 23. XII. 40.
- Kl. 61 a, Gr. 29/07. D 75 365. Erfinder: Walter Schulz, Essen. Anmelder: Auergesellschaft A.-G., Berlin. Belüftungsanlage für mehrere Gasschutzräume. 25. V. 37. Österreich.
- Kl. 68 b, Gr. 1/02. K 153 673. Erfinder: Artur Kiekert, Heiligenhaus. Anmelder: Kiekert & Nieland, Heiligenhaus, Bez. Düsseldorf. Sicherung der Offenstellung des Vorreibers oder Schließhebels an Türen für Luftschutzräume; Zus. z. Pat. 626 268. 4. III. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 75 c, Gr. 3. E 53 404. Erfinder: Dipl.-Ing. Alfred Hettich, Eßlingen a. N. Anmelder: Fa. J. Eberspächer, Eßlingen a. N. Verfahren zur Herstellung von Körperschalldämpfenden Schichten auf Wandungen von Räumen, in denen Schallwellen auftreten. 24. II. 40. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 84 b, Gr. 1. M 145 855. Erfinder: Dr.-Ing. e. h. Theodor Becher, Wiesbaden. Anmelder: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G., Nürnberg. Schiebetor für Schleusen. 14. VIII. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 84 b, Gr. 1. M 145 936. Erfinder: Ludwig Fischer, Nauheim. Anmelder: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.-G., Nürnberg. Wasserdurchlaß in doppelwandigen Schleusentoren o. dgl. 22. VIII. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 84 c, Gr. 1. D 85 945. Erfinder: Dr.-Ing. Hermann Blum, Dortmund. Anmelder: Dortmund-Hoerder Hüttenverein A.-G., Dortmund. Vorrichtung zur Errichtung von Zellenfangdämmen. 16. IX. 41.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Heft 28 vom 9. Juli 1942 und von demselben Tage an auf drei Monate beim Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 19 c, Gr. 9/10. R 100 541. Erfinder: Hans Roß, Leipzig. Anmelder: Elisabeth Roß, geb. Häusel, Eisenach. Einrichtung zum Fortbewegen von schweren Stampframmen. 18. X. 37.

- Kl. 37 b, Gr. 5/01. H 151 763. Erfinder: Karl Wucherpfennig, Bremen. Anmelder: Hahndorf & Wucherpfennig, Bremen. Zweiteiliger Metalldübel zur Verbindung von hölzernen Baugliedern; Zus. z. Pat. 634 921. 24. V. 37.
- Kl. 37 b, Gr. 5/04. A 89 592. Erfinder, zugleich Anmelder: Norbert Ahrens, Hamburg-Aumühle. Längsgeschlitzter, mit Führungsbuchse versehener Hülsenspreizdübel. 26. V. 39.
- Kl. 37 b, Gr. 5/04. L 94 133. Erfinder: Dipl.-Ing. Rolf Bertelsmann, Hamburg. Anmelder: Max Langensiepen K.-G., Hamburg. Dübel aus Gummi oder gummiähnlichen Stoffen. 2. II. 38. Österreich. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 85 c, Gr. 6/01. D 78 148. Erfinder, zugleich Anmelder: Franz Dohns, Chemnitz. Abwasserkläranlage. 4. VI. 38.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 29 vom 16. Juli 1942 und von demselben Tage an auf drei Monate beim Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 19 c, Gr. 9/10. R 105 150. Erfinder: Alfred Rathel, Freital. Anmelder: Richter & Nordmeier, Maschinenfabrik G. m. b. H., Freital. Motorisch angetriebenes Handstampfgerät. 4. V. 39. Technische Messe und Baumesse in Leipzig 5. III. 39. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 81 e, Gr. 145, H 156 574. Erfinder, zugleich Anmelder: Georg Heuchemer, Stuttgart. Hohlträger für raumbewegliche Hängebahnen und Kettenförderer. 21. VII. 38.
- Kl. 84 b, Gr. 1. G 98 254. Erfinder: Dr.-Ing. Otto Flachsbar, Mülheim-Ruhr-Speldorf. Anmelder: Gutehoffnungshütte Oberhausen A.-G., Oberhausen, Rhld. Abschluß- und Füllereinrichtung für umlauflose Schleusen. 9. VII. 38.
- Kl. 84 b, Gr. 1. G 99 041. Erfinder: Dipl.-Ing. Otto Franz, Duisburg. Anmelder: Gutehoffnungshütte Oberhausen A.-G., Oberhausen, Rhld. Hubtor für Schleusen und ähnliche Wasserverschlüsse. 26. XI. 38. Protektorat Böhmen und Mähren.
- Kl. 84 b, Gr. 1. Sch 118 810. Erfinder, zugleich Anmelder: Anton Marb, Nordhausen. Antrieb mit endloser Kette für schützartige Verschlüsse, insbesondere für Schützkörper von Schleusen. 6. VII. 39.

INHALT: Kritische Betrachtungen zu den deutschen Bestimmungen für Stahlbeton. Von Dr.-Ing. Fr. Dischinger, o. Professorin Berlin. S. 259. — Heben einer gesprengten Stahlbetonbrücke. Von Dipl.-Ing. Walter Juén. S. 265. — Der Korrosionsschutz als Bauproblem. Von Dipl.-Ing. Hans Heberling, München. S. 266. — Beitrag zum Momentenausgleichverfahren. Von Dipl.-Ing. Heinrich Wix und Bauingenieur Hans Dornau, Berlin. S. 267. — Verschiedene Mitteilungen. S. 271. — Norablattentwürfe für Säureschornsteine. — Berichtigung. — Keine Ausdehnung der Betriebsführer-Haftung. — Tödlicher Unfall durch Absturz einer Balkonwand. — Patentberichte. S. 276.