

DER BAUINGENIEUR

21. Jahrgang

5. November 1940

Heft 41/42

TORSION VON VOLL- UND HOHLQUERSCHNITTEN¹

Von Dr.-Ing. habil. K. Marguerre, Berlin-Adlershof.

DK 539.414

1. Einleitung.

Die Theorie des tordierten Stabes unterscheidet sich grundsätzlich von der elementaren Theorie des gebogenen Balkens. Beim Biegebalken erhält man dank der Bernoullischen Hypothese, daß (auch bei nicht verschwindendem Schube) die Querschnitte eben und normal zur verzerrten Balkenmittellinie bleiben, aus den Schnittresultanten (Normalkraft, Querkraft, Moment) in sehr einfacher Weise die Verzerrungen (insbesondere die Krümmung der Balkenmittellinie) und die örtlichen Spannungen. Beim Torsionsstab kann man weder die Verwindung der Stabmittellinie noch die Spannungsverteilung über den Querschnitt, vermöge einer ähnlich-vereinfachenden Hypothese, elementar bestimmen. Denn die Vernachlässigung der von den Schubspannungen herrührenden Verformungen ist beim Biegeproblem zulässig, weil dort die Schubspannungen im allgemeinen klein sind gegen die Längsspannungen; beim Torsionsproblem aber ist die das Torsionsmoment übertragende Schubspannung die einzige „große“ Spannung — ihre beiden Komponenten können nicht anders als nach dem strengen Elastizitätsgesetz des mehrachsigen Spannungszustandes bestimmt werden.

Als x-Achse wählen wir eine Achse parallel zu den Erzeugenden des zylindrischen Stabes. — Die von der Schubspannung τ_{xy} hervorgerufene Formänderung ist nach dem Hookeschen Gesetz gegeben durch den Ausdruck (s. Abb. 1)

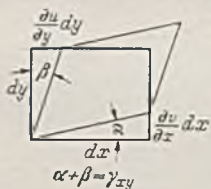


Abb. 1. Schubverzerrtes Element.

$$\gamma_{xy} = \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

sie setzt sich also aus zwei wesentlich verschiedenen Anteilen zusammen: einem von der Verschiebung v im Querschnitt her stammenden Anteil, und einem zweiten, der

herrührt von der Verschiebung u aus dem Querschnitt heraus, der sog. „Verwölbung“ des Querschnittes. Diesen Anteil zu bestimmen macht die mathematische Schwierigkeit des Torsionsproblems aus.

2. Die Grundgleichungen der Torsionstheorie.

Das Kennzeichen der „reinen“ Torsionsbeanspruchung eines Stabes ist, daß von den 6 Schnittresultanten (Schnittkräften und Momenten) $N_x, M_y, M_z, Q_y, Q_z, M_T$ die 5 ersten verschwinden

$$(2,1) \quad \left\{ \begin{aligned} N_x &= \int \sigma_x dF = 0, \\ M_y &= \int \sigma_x z dF = 0, \quad M_z = \int \sigma_x y dF = 0, \end{aligned} \right.$$

$$(2,2) \quad \left\{ \begin{aligned} Q_y &= \int \tau_{xy} dF = 0, \quad Q_z = \int \tau_{xz} dF = 0 \end{aligned} \right.$$

und nur die sechste

$$(2,3) \quad M_T = \int (\tau_{xz} y - \tau_{xy} z) dF \neq 0$$

ist. Den Forderungen (2,1) und der („Rand-“)Bedingung, daß auf dem betrachteten Teil des Zylindermantels keine Kräfte angreifen sollen, genügt man am einfachsten durch den Ansatz

$$(2,4) \quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{yz} = 0.$$

¹ Der Aufsatz, den der Verfasser auf Anregung des Herausgebers dieser Zeitschrift zusammengestellt hat, bringt das für die Anwendungen Wesentliche der klassischen Torsionstheorie; er versucht, den Lesern dieser Zeitschrift ein gerade neuerdings für die Bautechnik wichtiger gewordenen Gebiet (s. insbes. die Abschnitte 4 u. 5) in möglichst gedrängter Form nahezubringen.

Dieser Ansatz ist zunächst willkürlich, denn es kann z. B. aus (2,1) keineswegs auf das Verschwinden von σ_x geschlossen werden. Er ist nachträglich gerechtfertigt, wenn wir zeigen, daß sich mit ihm die Bedingungen des äußeren und inneren Gleichgewichts und die Bedingungen des inneren Zusammenhangs (in der Sprache der Statik: die Formänderungsbedingungen) erfüllen lassen. Denn da nach dem Kirchhoffschen Eindeutigkeitssatze nur eine Lösung des Problems existiert, so haben wir auf diesem Wege die Lösung gefunden.

Aus den Gleichgewichtsbedingungen am Element folgt zunächst, daß die Spannungen „vorn“ und „hinten“ gleich sein müssen; d. h. die beiden Schubspannungen $\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau_y$ und $\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_z$ dürfen nicht von x abhängen:

$$(2,5) \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = 0;$$

die dritte Gleichgewichtsbedingung lautet

$$(2,5') \quad \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} = 0.$$

Die eine Gl. (2,5') genügt nicht zur Bestimmung der beiden (nach (2,5) von x unabhängigen) Spannungen $\tau_y(y, z), \tau_z(y, z)$. Wir müssen noch die Spannungsverschiebungsgleichungen heranziehen. Unter Beachtung von (2,4) lauten sie

$$(2,6 a) \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0,$$

$$(2,6 b) \quad \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0,$$

$$(2,7) \quad \tau_y = G \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad \tau_z = G \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right).$$

Aus diesen Gleichungen lassen sich v und w ohne Kenntnis von τ und u explizit berechnen. Aus (2,6 a) und (2,7) folgt wegen (2,5) zunächst

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0.$$

v und w müssen also in x linear sein, und zwar sind sie, wenn wir den Endpunkt $x = 0$ des Zylinders festgehalten denken, unmittelbar proportional x . (2,6 b) sagt aus, daß v nicht von y , w nicht von z abhängt und daß die gekreuzten Ableitungen entgegengesetzt gleich sein müssen. Aus all diesen Bedingungen folgt, daß v und w sich ausdrücken müssen durch

$$(2,7') \quad v = -\vartheta x (z - z_0), \quad w = \vartheta x (y - y_0),$$

worin ϑ eine Integrationskonstante ist, die mit Hilfe der Gl. (2,3) aus dem gegebenen Torsionsmoment bestimmt werden muß. Ihre geometrische Bedeutung erkennen wir aus

$$\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \vartheta;$$

ϑ ist die Verwindung des Stabes, die gegenseitige Verdrehung zweier Querschnitte vom Abstände 1. Die Gl. (2,7') selbst beschreiben eine Drehung der Stabquerschnitte $x = \text{const.}$ um die „Drehachse“ y_0, z_0 . Diese Drehachse können wir, ohne daß sie damit durch einen ausgezeichneten Querschnittspunkt (etwa dem Schwerpunkt) gehen müßte, als x -Achse wählen. (2,7') schreibt sich dann einfacher

$$(2,7'') \quad v = -\vartheta x z, \quad w = \vartheta x y.$$

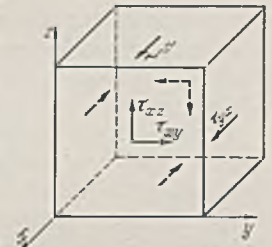


Abb. 2. Gleichgewicht eines Körperelementes.

Unter Beachtung von

Führen wir noch durch

$$(2,8) \quad u = \vartheta \varphi$$

eine Funktion $\varphi = \varphi(y, z)$, die sog. Einheitsverwölbung ein, so ist also

$$(2,9) \quad \tau_y = G \vartheta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} - z \right), \quad \tau_z = G \vartheta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} + y \right)$$

und für eine beliebige Richtung s , wenn mit r_t der Abstand der Tangente der Kurve s vom Drehpunkt bezeichnet wird

$$(2,9') \quad \tau_s = G \vartheta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial s} + r_t \right).$$

Die entscheidende Forderung, die wir an die Schubspannungen zu stellen haben, ist die, daß sie am Rande tangential verlaufen müssen; denn wenn die Schubspannungen eine Komponente senkrecht zum Rande hätten, müßten auch im Schnitt parallel zur x -Achse, d. h. auf dem Stabmantel, Schubspannungen wirken, was nach Voraussetzung nicht der Fall sein soll. Beim Kreisstab, der um seinen Mittelpunkt gedreht wird, verschwinden die Verwölbungen: die durch

$$(2,9'') \quad \tau_y = -G \vartheta z, \quad \tau_z = G \vartheta y$$

dargestellten Schubspannungen erfüllen die Randbedingung tangentialen Verlaufes am Außenkreis $\left(\frac{\tau_y}{\tau_z} = -\frac{z}{y} \right)$. Eben dies ist

aber bei beliebigen Querschnittsformen nicht der Fall, d. h. die Schubspannungen können im allgemeinen nicht durch (2,9'') gegeben sein, sondern nur durch (2,9). Mit anderen Worten: über die Schubspannungen (2,9'') überlagern sich infolge der Verwölbungen u weitere Schubspannungen, und zwar gerade so, daß die resultierende Spannung am Rande wieder tangential verläuft; oder wenn man will, umgekehrt, da die Spannungen tangential verlaufen müssen, so erleidet der Querschnitt außer der reinen Drehung (2,7) in seiner Ebene Verwölbungen u aus seiner Ebene heraus. Diese Verwölbungen dürfen bei der Berechnung des Torsionswiderstandes keinesfalls außer acht gelassen werden, denn die Annahme ihrer Behinderung, d. h. die Berechnung des Torsionsmomentes M_T nach (2,9'')

$$M_T = \iint (\tau_z y - \tau_y z) dy dz = G \vartheta \iint r^2 dy dz = G \vartheta J_p$$

würde bei den von der Kreisform abweichenden Querschnittsformen die Annahme einer Zwängung bedeuten, die eine erhebliche Erhöhung des Torsionswiderstandes

$$J_r = M_T / G \vartheta$$

über den wirklichen Betrag zur Folge hätte.

3. Die Bestimmungsgleichungen für die Verwölbung und für die Torsionsfunktion.

Im vorigen Abschnitt haben wir das Torsionsproblem zurückgeführt auf die Frage nach drei Unbekannten, die alle drei von x unabhängig sind: τ_y , τ_z und φ . Zu ihrer Bestimmung verfügen wir über drei Gleichungen

$$(3,1) \quad \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} = 0$$

$$(3,2) \quad \tau_y = G \vartheta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} - z \right), \quad \tau_z = G \vartheta \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} + y \right).$$

Die Lösung dieser Gleichungen kann in zweierlei Weise geschehen. Wir können 1. die Spannungen eliminieren, indem wir (3,2) in (3,1) einsetzen, oder wir können uns 2. durch Elimination der Verschiebungsgröße φ aus (3,2) die zweite zur Bestimmung der Spannungen notwendige Gleichung beschaffen. Der erste Weg führt auf die partielle Differentialgleichung für φ

$$(3,3) \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = \Delta \varphi = 0.$$

Randbedingung ist die Forderung tangentialen Verlaufes der Schubspannungen:

$$(3,3') \quad \tau_y dz - \tau_z dy = 0$$

$$(d. h. \tau_y \frac{dz}{ds} - \tau_z \frac{dy}{ds} = \tau_y \cos \alpha + \tau_z \sin \alpha = \tau_n = 0),$$

die für φ die Form

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} dz - \frac{\partial \varphi}{\partial z} dy = v dy + z dz = \frac{1}{2} d(y^2 + z^2) = \frac{1}{2} d(r^2),$$

oder

$$(3,3'') \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} z - \frac{\partial \varphi}{\partial z} y = r^2$$

annimmt, wenn r den Nullpunktsabstand des Randpunktes bedeutet, und wenn der Punkt die Ableitung nach einem die Randkurve $y=y(s)$, $z=z(s)$ kennzeichnenden Parameter s (z. B. der Bogenlänge) fordert ($r=0$ für den Kreis). Die Lösung der Gl. (3,3) für die Randbedingungen (3,3'') ist eine Aufgabe der Potentialtheorie.

Auf ein etwas einfacheres Gleichungssystem führt der zweite Weg. Durch Elimination von φ erhalten wir die zwischen den τ_y , τ_z bestehende Verträglichkeitsgleichung

$$(3,4) \quad \frac{\partial \tau_z}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial z} = 2 G \vartheta.$$

Befriedigen wir nun (3,1) durch Einführung einer sog. Spannungsfunktion (die wir, um sie von ähnlichen Ansätzen zu unterscheiden, Torsionsfunktion nennen wollen), indem wir ansetzen

$$(3,5) \quad \tau_y = \frac{\partial T}{\partial z}, \quad \tau_z = -\frac{\partial T}{\partial y},$$

so erhalten wir aus (3,4) für diese Funktion $T(y, z)$ die Gleichung

$$(3,6) \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \Delta T = -2 G \vartheta = \text{const.}$$

und die Randbedingung (3,3) geht über in

$$\frac{\partial T}{\partial y} dy + \frac{\partial T}{\partial z} dz = \frac{\partial T}{\partial s} ds = 0,$$

oder

$$(3,6') \quad T(s) = \text{const.}$$

wobei wir für Vollquerschnitte ohne Beschränkung der Allgemeinheit die Konstante $= 0$ setzen dürfen.

Die Gl. (3,6) und (3,6') sind unabhängig vom Ursprungspunkt der Koordinaten y, z , d. h. der Spannungszustand im tordierten Körper ist dagegen unabhängig von der Lage der Drehachse. Die Verwölbung φ ist nicht unabhängig von der Achsenlage; denn in der Randbedingung (3,3'') treten die Abstände y, z explizit auf. Aber man bestätigt sofort, daß das φ bei einem beliebigen Drehpunkt $D(y_D, z_D)$ (wir schreiben $\bar{\varphi}$) mit dem φ beim Drehpunkt S zusammenhängt nach

$$(3,7) \quad \bar{\varphi} = \varphi + y_D z - z_D y + K;$$

denn $\bar{\varphi}$ genügt der Differentialgleichung (3,3) und der Randbedingung

$$\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial y} dz - \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial z} dy = y dy + z dy = (y - y_D) dy + (z - z_D) dz,$$

wenn φ den Gl. (3,3) und (3,3'') genügt. Die beiden Verwölbungen unterscheiden sich also nur um eine (ebene) Schiefstellung des ganzen Querschnitts.

Die Unbestimmtheit der Drehachse enthält eine gewisse Schwierigkeit für die Vorstellung; sie klärt sich auf, wenn man beachtet, daß die geometrischen Formeln der Torsionstheorie, also insbesondere die Verschiebungsausdrücke (2,7') bzw. (2,7'') nur gelten unter der Voraussetzung kleiner Drehwinkel $\chi = \vartheta l$ des Stabes; und zwar setzt die Theorie Drehwinkel voraus, die so klein sind, daß die Verschraubung der Längsfasern noch nicht „merklich“ geworden ist: Dann bilden die Fasern ein Büschel von gleichlangen zueinander windschiefen Geraden, deren jede ohne Veränderung des Verzerrungszustandes als Drehachse gedeutet werden kann. Ist der Stab so lang, daß ϑl nicht mehr als kleine Größe angesehen werden darf, so bleiben die Spannungsgleichungen



Abb. 3. Zu Gl. (3,3''); Orientierung der Achsen n, s .

gleichwohl ungeändert, denn für sie kommt es nur auf das relative Verhalten zweier Nachbarquerschnitte an (τ enthält θ , nicht χ). Die Verschiebungen drücken sich zwar anders aus, wenn man sie auf ein im Raum ein für allemal festes Koordinatensystem bezieht²; aber sie können immer noch in der Form (2,7'') geschrieben werden, wenn man als (unverdrehten) Bezugsquerschnitt einen in der

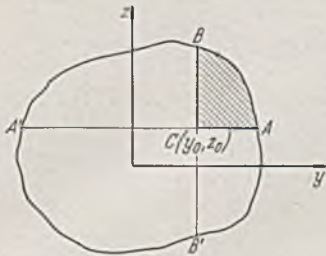


Abb. 4. Zur Deutung der Torsionsfunktion.

Deutung geben. Wir betrachten das schraffierte Stück ACB in Abb. 4; an der Fläche AC greift je Längeneinheit eine Schubkraft (in der x-Richtung)

$$(3.5') \quad T_1 = \int_A^C \tau_{zx} dy \equiv \int_A^C \tau_z dy$$

an; an der Fläche BC ist eine Kraft

$$(3.5'') \quad T_2 = \int_B^C \tau_{yx} dy \equiv \int_B^C \tau_y dz$$

wirksam. Da die beiden Kräfte an dem abgeschnittenen Teil im Gleichgewicht sein müssen (der Mantel ist ja spannungsfrei), ist

$$(3.5''') \quad T_2 = -T_1 = T.$$

Da man die Schnitte in irgendeiner Richtung führen kann und immer zum gleichen Betrage $T(y_0, z_0)$ kommen muß, so ist die Schubkraft T also eine eindeutige Funktion der Stelle y_0, z_0 , wenn man ihren Wert am Rande festlegt [$T_A = T_B = 0$]⁴. — Mit Rücksicht auf die enge Analogie, die zwischen dem Torsionsproblem und dem Problem der ebenen Strömung einer inkompressiblen Flüssigkeit besteht, bezeichnet man T vielfach auch als Schubfluß. Die „Strömung“ der τ ist nach (3,1) quellfrei, und $T(y_0, z_0)$ ist der zwischen dem Punkte y_0, z_0 und dem Rande hindurchtretende Fluß. —

Tragen wir T über y, z als Ordinate auf, so erhalten wir eine krumme Fläche im Raum, den sog. Spannungshügel, aus dessen Eigenschaften die folgenden Aussagen über die Schubspannungen entnommen werden können. Die Größe der Schubspannungskomponenten in einer bestimmten Richtung ist gegeben durch die Ableitung von T senkrecht zu dieser Richtung

$$\tau_y = \frac{\partial T}{\partial z}, \quad \tau_z = -\frac{\partial T}{\partial y}, \quad \text{allgemein } \tau_s = -\frac{\partial T}{\partial n}, \quad \tau_n = \frac{\partial T}{\partial s}.$$

Der Spannungsvektor $\vec{\tau} = \tau_y j + \tau_z k$ in einem Punkt fällt in die Richtung der Höhenlinien $T = \text{const.}$ (die also die „Schubspannungslinien“ sind), und seine Größe ist gegeben durch das Maximalgefälle ($\text{grad } T$) an dieser Stelle. Senkrecht zu den Höhenlinien verschwindet die Schubspannung.

Die wichtigste Eigenschaft des Spannungshügels ist der überaus einfache Zusammenhang, der zwischen ihm und dem Torsionsmoment M_T besteht. Nach (2,3) war

$$M_T \equiv G \theta J_T = \iint (\tau_z y - \tau_y z) dy dz = -\iint (T_y y + T_z z) dy dz;$$

dafür läßt sich mit Hilfe einer Teilintegration wegen $T_{\text{Rand}} = 0$ schreiben

$$(3.8) \quad M_T = 2 \iint T(y, z) dy dz;$$

das Moment ist also gleich dem doppelten Volumen des Spannungshügels. — Definiert man durch

$$(3.9) \quad \Psi = T/G \theta$$

eine (von g und der Verwindung θ unabhängige) neue Querschnittsfunktion $\Psi(y, z)$, so kann man (3,8) auch in der Form

$$(3.9') \quad J_T = 2 \iint \Psi dy dz$$

schreiben.

Die Beziehungen (3,8), (3,9') gelten zunächst nur für Vollquerschnitte. Bei Hohlquerschnitten tritt bei den Teilintegrationen ein Term hinzu

$$(3.8'') \quad T_{\text{Rand}} \cdot \mathfrak{F} \text{ Hohlfläche.}$$

Wenn man die naheliegende Verabredung trifft, daß man den Spannungshügel über Hohlräume als Hochplateau von der Höhe des Randes fortsetzen will, so stellt (3,8') das Volumen dieses Hügels dar, und (3,8) gilt dann für beliebige, auch hohle Querschnittsformen ($T_{\text{Außenrand}} = 0!$).

⁴ Die formale Einführung der Funktion T mit Hilfe der Gleichung (3,6) und die mehr anschauliche Einführung als Schubkraft beruhen auf derselben Gleichgewichtsüberlegung. Nur daß (3,5) das Gleichgewicht am Element und (3,5') das Gleichgewicht eines Abschnittes von endlicher Größe zum Ausdruck bringt. — Aus den Definitionsgleichungen (3,5') folgt übrigens in besonders einfacher Weise, daß die Resultierenden $\int_A^{A'} \tau_z dy, \int_B^{B'} \tau_y dz$ verschwinden ($T_A = T_{A'}, T_B = T_{B'}$), d. h. daß die Bedingungen (2,2) erfüllt sind.

² Kappus, R.: ZAMM 1939, S. 344.

³ Der von Föppl (Drang u. Zwang II, 2. Aufl. 1928, S. 130) wiedergegebene Webersche Satz, wonach der sog. Schubmittelpunkt eines Querschnitts zugleich der Drehpunkt bei Torsion ist, bezieht sich auf den Fall der „Wölbkrafttorsion“ ($\sigma_x \neq 0$, Behinderung der Verwölbung am Einspannende). — Der Beweis des Weberschen Theorems ergibt sich am einfachsten aus dem Bettischen Satz von der Gleichheit der „gemischten“ Arbeiten: Bezeichnet P eine in z -Richtung wirkende Endquerlast, durch die eine Verdrehung χ_P des Endquerschnittes und (am Einspannquerschnitt) Biegespannungen σ_x hervorgerufen werden, bezeichnet ferner M_T ein Drehmoment, durch das eine Endverdrehung $\theta \cdot 1$ und Verwölbungen u entstehen, schließlich y den Abstand des Kraftangriffspunktes vom Drehpunkt (der als Koordinatenursprung gewählt sein mag), so gilt nach Betti

$$(a) \quad M_T \chi_P = P y \theta + \int \sigma_x u dF.$$

Der Schubmittelpunkt M ist, der Definition nach, derjenige Punkt, in dem eine Endquerlast angreifen muß, wenn der Träger nicht tordiert werden soll. Ist nun der durch M_T belastete Träger starr eingespannt, so ist $u = 0$, und nach Gl. (a) folgt aus $P = 0$ dann auch $y = 0$, d. h. der wölbbehinderte (also nicht „rein“ tordierte) Träger dreht sich um den Schubmittelpunkt.

Gl. (a) läßt aber noch eine zweite Deutung zu: Denkt man sich den tordierten Träger am hinteren Ende frei verwölbbar, so folgt aus ihr mit

$$(b) \quad \chi_P = 0, \quad u = \theta \varphi, \quad \sigma_x = P l \frac{z}{J_y} \quad (y, z \text{ seien Hauptachsen des Querschnitts)}$$

für die Abszisse y_M des Schubmittelpunktes die Formel

$$(c) \quad y_M = -\frac{\int \varphi z dF}{J_y} \equiv -\frac{R_y}{J_y}.$$

Diese Formel gilt für jede Wahl des Koordinatenursprungs; man muß nur beachten, daß nach (3,3') die Torsionsverwölbung φ und damit das „Wölbmoment“ R_y vom Drehpunkt abhängt, und daß von eben diesem Drehpunkt aus y_M gezählt ist. — Man sieht, daß aus Gl. (a) über die Drehachse bei reiner Torsion nichts folgt, als daß die zur Drehung um M gehörigen Verwölbungen φ^* dadurch ausgezeichnet sind, daß ihr Wölbmoment

$$(d) \quad R_y^* = \int \varphi^* z dF \quad (\text{und ebenso natürlich } R_z^* = \int \varphi^* y dF)$$

verschwindet (M ist also eine Art „Wölbsehwerpunkt“). Daraus folgt u. a., daß der sog. Wölbwiderstand $\bar{C}_w = \int \varphi^2 dF$, der in der Theorie der Wölbkrafttorsion offener Profile (s. d. Anm. 7) eine wichtige Rolle spielt, bei Bezugnahme auf M einen Minimalwert annimmt; denn nach (3,7) ist

$$(e) \quad \frac{\partial \bar{C}_w}{\partial y_D} = 2 \bar{R}_y, \quad \frac{\partial \bar{C}_w}{\partial z_D} = -2 \bar{R}_z;$$

ferner folgt, daß ein „wölbfreier“ Querschnitt [d. h. ein Querschnitt, der unter Torsion eben bleibt, s. z. B. unten Gl. (4,8')] bei Drehung um M die Verwölbung $\varphi^* \equiv 0$ erleidet, dann also auch in diesem engeren Sinne wölbfrei ist. Trotzdem hat der Punkt M für die reine Torsion keine eigentlich physikalische Bedeutung, die gewinnt er erst in der Theorie der Wölbkrafttorsion und der Biegung durch eine Endquerkraft (s. u. a. die Arbeiten von C. Weber in der ZAMM 1924, S. 334, und Trefftz ebenda 1935, S. 220).

4. Dünnwandige Profile.

Der Torsionswiderstand dünnwandiger offener Profile (Wandstärke t) kann näherungsweise so berechnet werden, als ob das Profil ein gestrecktes Rechteck wäre. Vernachlässigt man die sehr geringfügige Spannung senkrecht zur Profilmittellinie⁵, so wird die Spannungsfunktion T einfach ein parabolisches Kuppeldach von längs der Profilabwicklung unveränderlicher Höhe;

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 0, \text{ also } \Delta T \approx \frac{\partial^2 T}{\partial n^2} = -2 G \vartheta,$$

$$(4.1) \quad \text{d. h. } T = G \vartheta \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 - n^2 \right], \tau_s = 2 G \vartheta n.$$

Der Torsionswiderstand wird nach (3,9')

$$(4.2) \quad J_T = \frac{1}{3} h t^3 \quad (h \text{ Länge der Abwicklung}).$$

Für die dünnwandigen offenen Profile ist kennzeichnend, daß die Schubspannung auf beiden Randkurven entgegengesetztes Zeichen hat und in der Mittellinie verschwindet. Der Gesamtschubfluß zwischen den beiden Berandungen

$$T_1 T(t/2) - T(-t/2) = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_s \, dn$$

ist Null. Die Verwölbung φ der Mittellinie läßt sich daher aus (2,9')

$$(4.3) \quad \tau_s = G \vartheta \left(r_t + \frac{\partial \varphi}{\partial s} \right)$$

mit $\tau_s = T_1/t = 0$ sofort berechnen; es ist

$$(4.4) \quad \varphi = \varphi_0 - \int_{\varphi_0}^s r_t \, ds = \varphi_0 - 2 \mathfrak{F}(s).$$

Die Enden eines aufgeschlitzten Ringes gleiten nach dieser Formel in Richtung der Achse gegeneinander und zwar um einen Betrag, der der vom Ring ungeschlossenen Fläche F proportional ist.

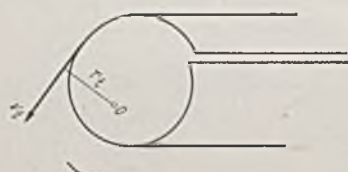


Abb. 5. Tordierter offener Querschnitt.

Der Torsionswiderstand geschlossener Profile ist ungleich größer als der offener. Wir erkennen dies wieder aus unserer Grundformel (3,8), wenn wir uns daran erinnern, daß in dem Volumen des Spannungshügels diesmal der ganze Rauminhalt unter dem Hochplateau $T_1 \mathfrak{F}_i$ mit enthalten ist. Wenn

die Wandung einigermaßen dünn ist, kann man sogar die lineare Veränderlichkeit der Schubspannungen über die Wanddicke (der im Fall des offenen Profils der gesamte Widerstand zu danken war) ganz vernachlässigen und den Mittelwert der Schubspannung

$$\tau = \frac{1}{t} \int_{-t/2}^{t/2} \tau_s \, dn \quad \text{bzw. den Schubfluß } T_1 = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_s \, dn$$

allein für den Torsionswiderstand verantwortlich machen. Setzt man $\tau = \text{konst.}$ mit n , so wird T zwischen Innen- und Außenrand der Wand linear, der Spannungshügel hat also die Form eines „flachen Daches“ mit geradlinig nach Null abfallender „Traufe“. Sein Rauminhalt ist unmittelbar gegeben durch das Produkt aus $T_1 = \tau t$ und der von der Mittellinie umschlossenen Fläche \mathfrak{F} . Das Torsionsmoment wird also

$$(4.5) \quad M_T = 2 T_1 \mathfrak{F},$$

für die Schubspannung kommt umgekehrt

$$(4.5') \quad \tau = M_T / 2 t F,$$

und zwar gelten diese Formeln für konstante wie für längs des Umfangs variable Wandstärke t . (Der Fluß T_1 ist, unabhängig von einer Veränderlichkeit der Wandstärke, mit s unveränderlich.)

Den Zusammenhang zwischen T_1 und ϑ (und damit J_T) erhalten wir aus (4, 3). Es ergibt sich

⁵ Ihre Berücksichtigung führt beim einfachen Rechteckprofil zu den für $t \leq 1/2 h$ gültigen Näherungsformeln

$$J_T = \frac{1}{3} h t^3 (1 - 0,630 t/h), \quad \tau_{\max} = \frac{3 M_T}{t^3 h (1 - 0,630 t/h)}$$

vgl. oben 4.2).

$$(4.3') \quad \varphi = \varphi_0 + \frac{1}{G \vartheta} \int \tau_s \, ds - \int r_t \, ds = \varphi_0 + \frac{T_1}{G \vartheta} \int \frac{ds}{t} - 2 \mathfrak{F}(s),$$

und wenn wir einmal ringsherum integrieren, so folgt aus der Bedingung, daß φ wieder mit φ_0 übereinstimmen muß:

$$(4.6) \quad \oint \tau_s \, ds = 2 G \vartheta \mathfrak{F}$$

oder

$$(4.6') \quad T_1 \oint \frac{ds}{t} = 2 G \vartheta F.$$

Die Aussage (4,6) bezeichnen wir als **Bredtschen Satz**; er tritt (als die Bedingung für den geometrischen Zusammenhang) bei dünnwandigen Profilen an die Stelle der Verträglichkeitsgleichung (3,4)⁶.

Aus (4,5) und (4,6') folgt die bekannte **Bredtsche Formel** für den Torsionswiderstand $J_T = M_T / G \vartheta$ eines dünnwandigen Hohlquerschnittes

$$(4.7) \quad J_T = \frac{4 \mathfrak{F}^2}{\oint \frac{ds}{t}},$$

die im Sonderfall $t = \text{konst.}$ mit $\oint ds = U$ (Umfang) übergeht in

$$(4.7') \quad J_T = \frac{4 \mathfrak{F}^2 t}{U}.$$

Bei dickwandigen Hohlquerschnitten liefert die Formel für J_T zu kleine Werte, da in ihr die „Eigentorsionssteifigkeit“ der Wand ($\sim t^3$) vernachlässigt ist.

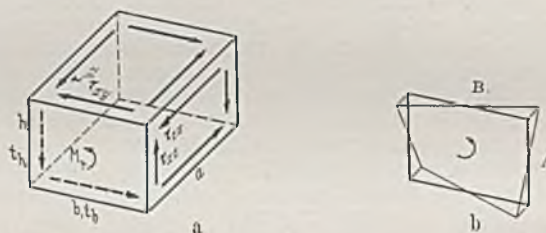


Abb. 6a. Rechteckkasten unter Schub. Abb. 6b. Verwölbter Endspant.

Es ist vielleicht nicht unnützlich, am Beispiel des Rechteckkastens Abb. 6 a den Verlauf der Torsionsverwölbungen zur Anschauung zu bringen. Wählen wir $\varphi_0 = 0$ im Punkte A, so ist nach (4,3') und (4,6') die Verwölbung in B

$$(4.8) \quad \begin{cases} \varphi = -2 \mathfrak{F}(s) + \frac{T_1}{G \vartheta} \int \frac{ds}{t} = -2 \mathfrak{F} \left(\frac{\mathfrak{F}(s)}{\mathfrak{F}} - \frac{\oint ds/t}{\mathfrak{F}} \right) = \\ = -2 b h \left(\frac{1}{4} - \frac{2 t_h}{2 \left(\frac{h}{t_h} + \frac{b}{t_b} \right)} \right) = -\frac{b h}{2} \left(\frac{b}{t_b} - \frac{h}{t_h} \right). \end{cases}$$

In den anderen Eckpunkten ergibt sich der Reihe nach $-\varphi$, φ , $-\varphi$, so daß der in Abb. 6 b dargestellte Verwölbungsverlauf entsteht. Abb. 6 b stellt gleichzeitig — bis auf die Drehung — den Endspant vor und nach der Deformation dar (die Eckwinkel des Spantes bleiben in erster Näherung rechte Winkel — die der Seitenflächen verändern sich entsprechend den dort angreifenden Schüben). — Bei

$$(4.8') \quad \frac{b}{t_b} = \frac{h}{t_h}$$

ist der Kasten „wölbfrei“ ($\varphi = 0$); bei überall gleicher Wanddicke ($t_b = t_h$) ist also insbesondere das Quadrat (überhaupt jedes gleichseitige Polygon) wölbfrei. Ein Rechteckkasten ist wölbfrei, wenn die Proportion (4,8') besteht, d. h. wenn die längere Seite die größere Wandstärke hat. Bei den (z. B. im Flugzeugbau

⁶ Die Aussagen

$$\int \left(\frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \right) dF = \int 2 G \vartheta \, dF \quad \text{und} \quad \oint \tau_s \, ds = 2 G \vartheta \mathfrak{F}$$

sind gleichwertig nur für Vollquerschnitte. Ihre Äquivalenz folgt aus dem Stokeschen Satz. (4,6) ist aber nicht der Stokesche Satz, sondern der Ausdruck für den geometrischen Zusammenhang eines Hohlquerschnittes $\varphi = \varphi_0$ und kann für Hohlquerschnitte aus (3,4) nicht ohne eine Sonderüberlegung gefolgert werden.

wichtigen) Kastenträgern, die durch je zwei Holmträger und zwei Bleche gebildet werden, ist es im allgemeinen gerade umgekehrt: Die Wandstärke der niedrigen Holmstege übertrifft die Stärke der Bleche um ein mehrfaches — solche Kästen erleiden daher sehr merkliche Verwölbungen. Deren Behinderung — z. B. durch eine Endspannung — ruft eine merkliche Abweichung vom reinen Torsionszustande hervor, weshalb die Untersuchung der Wölbspannungszustände — der „Wölbkrafttorsion“ — eine für genauere Rechnungen notwendige Ergänzung der allgemeinen Torsionstheorie darstellt⁷.

5. Dünnwandige geschlossene Profile mit mehreren Zwischenstegen.

Die Berechnung mehrzelliger Hohlquerschnitte nach Art der Abb. 7 ist vom Standpunkte der eigentlichen Torsionstheorie sehr einfach. Denn wenn (was wir auch schon im vorigen Abschnitt vorausgesetzt haben) durch in ihrer Ebene starre Endspante (Querversteifungen) die Erhaltung der Querschnittsgestalt gewährleistet wird, ist genau wie beim einzelligen Hohlquerschnitt der „Schubfluß“ $T = \tau t$ in jedem Teil der Wandung aus Gleichgewichtsgründen konstant und teilt sich an den Verzweigungsstellen derart, daß Zu- und Abfluß gleich groß sind (s. Abb. 8); d. h. wenn zwei der T-Werte bekannt sind, läßt sich der dritte sofort angeben. Aus Gleichgewichtsüberlegungen kann man aber nur einen der Flüsse bestimmen, z. B. den Fluß in der äußeren Kontur, wenn alle Zwischenstege herausgenommen (oder, was dasselbe ist, durch Aufschneiden längs einer Erzeugenden wirkungslos gemacht) sind. Er folgt aus (4,5). Die Beträge der Flüsse $T_{i,i+1}$ in den Stegen zwischen zwei Zellen i und $i+1$ bleiben statisch unbestimmt. Sie ergeben sich aus der Formänderungsbedingung, daß die n -Stege eben nicht aufgeschnitten sind, daß also ihre Verwölbung stetig verlaufen muß; kleidet man diese Aussage in das dem Statiker vertraute Gewand des Arbeitssatzes (Anbringen von Einheitsschubkräften an den Schnitten und ihrer Zugeordneten am freien Ende), so erhält man ohne Schwierig-

Für eine beliebige Zelle kommt also

$$(5,1) \quad T_i \oint \frac{ds}{t} - T_{i+1} \int \frac{ds}{t} - T_{i-1} \int \frac{ds}{t} = 2 G \theta \delta_i.$$

Man erhält $(n+1)$ Gleichungen vom Typus (5,1) — eine mehr, als statisch Überzählige vorhanden sind, weil als weitere Unbekannte die Verwindung θ eingeht. Da diese Größe aber doch bestimmt werden muß (für die Berechnung von $J_T = M_T / G \theta$), so liegt darin kein Nachteil, und auf der anderen Seite ist (wenn man von der praktisch unwichtigen Anordnung nach Art von Abb. 9 absieht) das System dreigliedrig, und symmetrisch zu der (im allgemeinen stark überwiegenden) Hauptdiagonalen. Es läßt sich daher nach den dem Baustatiker geläufigen Verfahren sehr leicht lösen⁸.

Wir geben das System (5,1) explizit an, indem wir zugleich für die Beiwerte abkürzungsweise schreiben

$$(5,2) \quad c_i = \oint \frac{ds}{t}, \quad c_{i,i+1} = \int \frac{ds}{t} = c_{i+1,i}$$

[Umlauf um die i -te Zelle] [Steg zwischen i und $i+1$]

und durch Einführung der neuen Unbekannten (s. auch Gl. (3,9))

$$\Psi_i = T_i / G \theta$$

die Größe θ hinauswerfen; es lautet dann

$$(5,1') \quad \begin{cases} c_1 \Psi_1 - c_{12} \Psi_2 & = 2 \delta_1 \\ -c_{21} \Psi_1 + c_2 \Psi_2 - c_{23} \Psi_3 & = 2 \delta_2 \\ -c_{32} \Psi_2 + c_3 \Psi_3 - c_{34} \Psi_4 & = 2 \delta_3 \\ \dots & \dots \\ -c_{n,n-1} \Psi_{n-1} + c_n \Psi_n & = 2 \delta_n \end{cases}$$

Für den Torsionswiderstand J_T ergibt sich aus der Gleichgewichtsbedingung $M_T = 2 \sum T_i \delta_i$ und der Definitionsgleichung

$$J_T = \frac{M_T}{G \theta}$$

die Beziehung (vgl. (3,9'))

$$(5,3) \quad J_T = 2 \sum \Psi_i \delta_i.$$

Bezeichnen wir mit γ_{ik} gewisse Hilfsgrößen⁹ ($\gamma_{ik} = \gamma_{ki}$), so lautet die Auflösung der Ψ -Gleichungen:

$$\Psi_i = 2 [\delta_1 \gamma_{i1} + \delta_2 \gamma_{i2} + \delta_3 \gamma_{i3} + \dots + \delta_n \gamma_{in}] = 2 \sum_{k=1}^n \delta_k \gamma_{ik}.$$

Im einzelnen erhält man¹⁰:

$n = 1$ (kein Zwischensteg)

$$(5,4) \quad \gamma_{11} = \frac{1}{\oint ds/t}; \quad \Psi_1 = 2 \delta_1; \quad J_T = \frac{4 \delta_1^2}{\oint ds/t}.$$

$n = 2$ (ein Zwischensteg)

$$(5,5) \quad \gamma_{11} = \frac{c_2}{|c_{1k}|}, \quad \gamma_{12} = \frac{c_{12}}{|c_{1k}|}, \quad \gamma_{22} = \frac{c_1}{|c_{1k}|}, \quad |c_{1k}| = c_1 c_2 - c_{12}^2$$

$$(5,6) \quad J_T = 4 \frac{c_2 \delta_1^2 + 2 c_{12} \delta_1 \delta_2 + c_1 \delta_2^2}{c_1 c_2 - c_{12}^2}.$$

$$(5,6') \quad \begin{cases} T_1 = G \theta \Psi_1 = \frac{M_T}{J_T} \Psi_1 = \frac{M_T}{2} \frac{c_2 \delta_1 + c_{12} \delta_2}{c_2 \delta_1^2 + 2 c_{12} \delta_1 \delta_2 + c_1 \delta_2^2} \\ T_2 = \dots = \frac{M_T}{2} \frac{c_{12} \delta_1 + c_1 \delta_2}{c_2 \delta_1^2 + 2 c_{12} \delta_1 \delta_2 + c_1 \delta_2^2} \\ T_{12} = T_1 - T_2 = \dots = \frac{M_T}{2} \frac{(c_2 - c_{12}) \delta_1 - (c_1 - c_{12}) \delta_2}{c_2 \delta_1^2 + 2 c_{12} \delta_1 \delta_2 + c_1 \delta_2^2} \end{cases}$$

$n = 3$ (zwei Zwischenstege)

⁸ Der Gedankengang, der zu den Gleichungen vom Typus (5,1) führt, läßt sich auch so deuten: Man betrachtet ein System mit gegebenen θ (vorgeschriebener „Stützenverschiebung“), d. h. unbekanntem M_T , das bei $(n+1)$ Zellen $(n+1)$ -fach statisch unbestimmt ist. Führt man die $n+1$ Hautflüsse als statisch Überzählige ein und schreibt für jede der Zellen den Arbeitssatz an, so erhält man unmittelbar das System (5,1), das dreigliedrig sein muß, weil jeder der unbekannt Flüsse nur in seiner Zelle umläuft, sich also nur mit zwei Nachbarflüssen überlagern kann.

⁹ γ_{ik} ist die Unterdeterminante von c_{1k} dividiert durch die Determinante $|c_{1k}|$, das sog. algebraische Komplement zu c_{1k} .

¹⁰ Diese Formeln wurden (bis $n=5$ mit Rekursionsformeln für $n > 5$) erstmalig zusammengestellt von W. Lückner in einem Arbeitsblatt des Instituts für Festigkeit der DVL.

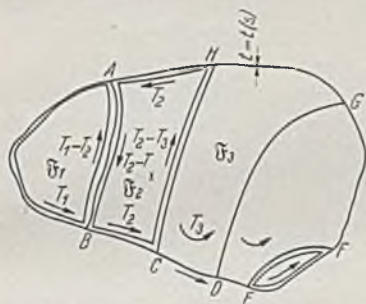


Abb. 7. Mehrfach zusammenhängender Querschnitt.

genommen (oder, was dasselbe ist, durch Aufschneiden längs einer Erzeugenden wirkungslos gemacht) sind. Er folgt aus (4,5). Die Beträge der Flüsse $T_{i,i+1}$ in den Stegen zwischen zwei Zellen i und $i+1$ bleiben statisch unbestimmt. Sie ergeben sich aus der Formänderungsbedingung, daß die n -Stege eben nicht aufgeschnitten sind, daß also ihre Verwölbung stetig verlaufen muß; kleidet man diese Aussage in das dem Statiker vertraute Gewand des Arbeitssatzes (Anbringen von Einheitsschubkräften an den Schnitten und ihrer Zugeordneten am freien Ende), so erhält man ohne Schwierig-

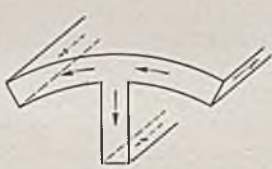


Abb. 8. Gleichgewicht an einer Verzweigungsstelle.



Abb. 9. Querschnitt mit Verzweigung des Steges.

keit das Gleichungssystem zur Bestimmung der n Statisch-Unbestimmten. Es ist n -gliedrig (jede Gleichung enthält alle n -Unbekannten) und für eine praktische Rechnung daher nicht sonderlich bequem. Ein sehr vieleinfacheres System bekommt man, wenn man die Formänderungsaussage in der Gestalt des Bredtschen Satzes (4,6) benutzt, indem man diese Formel für jede der $(n+1)$ Zellen anschreibt: Ist T_i der Fluß in der Haut der i -ten Zelle (zugleich Höhe des — über dem Hohlraum ebenen — Spannungshügels der Zelle i), so ist der Fluß im Steg $(i, i+1)$ gegeben durch $T_i - T_{i+1}$ (s. Abb. 7, zugleich das Gefälle zwischen den „Hochebenen“ i und $i+1$), und der Bredtsche Satz für die dritte Zelle (z. B.) schreibt sich (s. Abb. 7)

$$T_3 \int_G^H \frac{ds}{t} + (T_3 - T_2) \int_H^C \frac{ds}{t} + T_3 \int_C^D \frac{ds}{t} + (T_3 - T_4) \int_D^G \frac{ds}{t} = 2 G \theta \delta_3.$$

⁷ Die Theorie des wölbbehinderten symmetrischen Rechteckkastens wurde entwickelt von H. Ebner, Kastenträger... DVL-Jahrb. 1933 III, S. 72. Über die Wölbkrafttorsion offener Profile findet sich einiges bei R. Kappus, Drillknicken zentrisch gedrückter Stäbe, Luftf.-Forsch. 1937, S. 444 bzw. DVL-Jahrb. 1937, S. 200.

$$(5.7) \quad \begin{cases} c_{ik} = c_1 c_2 c_3 - c_1 c_{23}^2 - c_3 c_{12}^2, \\ \gamma_{11} = c_2 c_{33} - c_{23}^2, \gamma_{33} = c_1 c_2 - c_{12}^2, \\ \gamma_{12} = c_{12} c_3, \gamma_{23} = c_1 c_{23}, \gamma_{31} = c_{32} c_{21}, \gamma_{22} = c_1 c_3, \end{cases}$$

wobei überall $|c_{ik}|$ im Nenner ergänzt zu denken ist.

Bei größerer Zellenzahl rechnet man zweckmäßig nicht mehr in Formeln, sondern setzt sogleich die Zahlenwerte des gegebenen Beispiels ein und verfährt nach einem der vielen Verfahren zur Lösung eines Systems dreigliedriger Gleichungen.

Wie kann man die Wirkung von Zwischenstegen auf die Torsionssteifigkeit größenordnungsmäßig abschätzen? Aus (5,6) erkennen wir, daß für

$$(5.8) \quad (c_1 - c_{12}) \delta_2 = (c_2 - c_{12}) \delta_1$$

der Schubfluß T_{12} verschwindet, der Steg also wirkungslos wird. Um an bestimmtes zu denken, betrachten wir den Querschnitt Abb. 10. Es ist definitionsgemäß

$$c_1 - c_{12} = l_1/t_1, \quad c_2 - c_{12} = l_2/t_2,$$

und Gl. (5,8) läßt sich daher aussprechen in der Form: Ist ein zweizelliger Träger so bemessen, daß die Beziehung



$$(5.8') \quad \frac{t_1 \delta_1}{l_1} = \frac{t_2 \delta_2}{l_2}$$

besteht, so ist der Steg, ganz unabhängig von seinen Abmessungen, gegen Torsion wirkungslos. Man kann zeigen, daß entsprechend die Zwischensteg alle wirkungslos sind, wenn die Proportionen:

$$(5.8'') \quad \frac{t_1 \delta_1}{l_1} = \frac{t_2 \delta_2}{l_2} = \dots = \frac{t_n \delta_n}{l_n}$$

bestehen. Umgekehrt kann ein Zwischensteg die Torsionssteifigkeit niemals vermindern. Man erkennt dies aus (5,6), indem man diesen Ausdruck vergleicht mit

$$\bar{J}_T = \frac{4(\delta_1 + \delta_2)^2}{c_1 + c_2 - 2c_{12}}$$

Es ist

$$J_T - \bar{J}_T = \frac{[(c_1 - c_{12}) \delta_2 - (c_2 - c_{12}) \delta_1]^2}{(c_1 c_2 - c_{12}^2)(c_1 + c_2 + 2c_{12})} \geq 0.$$

Entsprechend kann man zeigen, daß die Torsionssteifigkeit einer Doppelröhre (Abb. 10) größer ist als die Summe der Torsionssteifigkeiten J_{T1}, J_{T2} der beiden Einzelröhren, die entstehen, wenn man sich das Stegmaterial auf beide Hälften verteilt denkt. Nur in dem Grenzfall, daß der Steg auf einen Punkt zusammenschrumpft, ist $J_T = J_{T1} + J_{T2}$ weil dann die Röhren ihre Verwölbungen wechselseitig nicht mehr behindern.

Eine obere Schranke für die Torsionssteifigkeit eines vielstegigen Kastens erhalten wir, wenn wir die Stege als sehr kräftig („starr“) ansehen. Dann verschwinden die c_{ik} für $i \neq k$ im Gleichungssystem (5,1'), und man erhält $4 \sum_i \frac{\delta_i^2}{c_i}$. Es ist daher:

$$(5.9) \quad 4 \frac{(\sum_i \delta_i)^2}{\sum_i \frac{ds}{t}} \leq J_T \leq 4 \sum_i \frac{\delta_i^2}{\phi \frac{ds}{t}}$$

wobei die untere Schranke geliefert wird durch den Fall vollkommener Wirkungslosigkeit der Stege (Gl. (5,8'')).

6. Zwei Folgerungen.

Für die Anwendungen sind aus der im Vorstehenden gegebenen Torsionstheorie zwei Folgerungen wichtig (wir deuteten sie in der Einleitung schon an).

1. Die Formel

$$(6.1) \quad \theta = \frac{M_T}{G J_T}$$

die genau so gebaut ist wie die Krümmungsformel des Biegebalkens

$$(6.2) \quad \kappa = \frac{M}{E J}$$

gestattet bei gegebenem M_T den Verwindungsverlauf zu berechnen für alle diejenigen Querschnittsformen, für die der Torsionswiderstand J_T bekannt ist. (Dessen Bestimmung ist im allgemeinen Fall eine Aufgabe der in den §§ 2 und 3 oben begründeten Torsionstheorie und kann in Sonderfällen mit Hilfe der in den §§ 4—5 wiedergegebenen Formeln erfolgen.) (6, 1) gilt (ebenso wie (6, 2)) streng nur bei reiner Momenten- $E n d$ Belastung. Überträgt man sie auf den durch veränderliche Torsionsmomente belasteten Stab und (was ebenfalls zulässig ist) auf den von Hause aus schwach gekrümmten Stab¹², so muß man, wie beim querbelasteten Biegebalken, gewisse Unstimmigkeiten im Formänderungszustand in Kauf nehmen. Der innere Widerspruch besteht beim Biegebalken in der Hypothese, daß die Querschnitte trotz nicht verschwindenden Schubes eben bleiben, beim Torsionsstab in der Annahme, daß die Verwölbungen sich frei ausbilden können, obwohl der Spannungszustand längs der Balkenerstreckung nicht mehr überall der gleiche ist — eine Verbesserung liefert beim Biegebalken die bekannte Schubkorrektur, beim Torsionsstab die Theorie der Wölbkrafttorsion, in der zum Ausdruck kommt, daß die durch die Wölbbehinderung geweckten Wölbkräfte einen Teil des Torsionsmomentes übernehmen können. Beide Korrekturen sind für Stäbe von gedrunenem Querschnitt ohne Bedeutung. Die Wölbkraftkorrektur kann für die offenen Walzprofile (I [usw.) merklich werden¹³; läßt man sie außer acht, so „liegt man auf der sicheren Seite“, denn da die Wölbkräfte einen Teil des Torsionsmomentes übernehmen, ist der Stab in Wirklichkeit steifer als man aus der einfachen Torsionstheorie folgert.

2. Die Analogie, welche nach (6, 1) und (6, 2) zwischen Biegung und Torsion vorhanden ist, bleibt nicht bestehen, wenn man die Frage nach den örtlichen Beanspruchungen stellt. Neben $\sigma_{max} = M/W$ läßt sich zwar formal eine Formel $\tau_{max} = M_T/W_T$ stellen — W_T steht aber mit J_T keineswegs in einem einfachen Zusammenhang; seine Bestimmung ist wieder eine von Fall zu Fall zu lösende Aufgabe der Torsionstheorie der betr. Querschnittsform¹⁴. —

¹² Sehr ausführlich ist der Balken konstanter Vorkrümmung behandelt von Biezeno u. Grammel im Kap. V ihrer „Technischen Dynamik“ (Berlin 1939).

¹³ S. Anm. 7.

¹⁴ Über die Spannungserhöhung in einspringenden Ecken (Hohlkehlen) s. z. B. E. Trefftz, Z. ang. Math. Mech. 2 (1922) S. 263; Föppl, Drang u. Zwang II, 2. Aufl. München 1928, S. 70.

KURZE TECHNISCHE BERICHTE.

Deer Isle-Sedgwick-Hängebrücke.

Die Mitte 1939 fertiggestellte Brücke verbindet über die am Atlantik gelegene Eggemoggin-Bucht hinweg die Deer Insel mit der Ortschaft Sedgwick im Bundesstaat Maine (USA). Die Deer Insel ist durch riesige Granitsteinbrüche bekannt und wird wegen ihrer landschaftlichen Reize viel von Urlaubern aufgesucht. Die häufig auftretenden heftigen Stürme vom Atlantik her und der Eisgang in den Wintermonaten erschwerten den früher betriebenen Verkehr mit Fähren derart, daß es schließlich zum Bau einer festen Straßenverbindung kam.

Bei Entwurf und Ausführung waren Schwierigkeiten zu überwinden, die in der großen Wassertiefe der Bucht und in der den Atlantikstürmen ausgesetzten Lage ihre Ursache finden. Die zur Verfügung stehenden öffentlichen Geldmittel waren außerdem recht knapp bemessen und zwangen zur äußersten Sparsamkeit bei der baulichen Gestaltung. Diese Hemmnisse veranlaßten die Erbauer, bei manchen Einzelheiten völlig neue Wege einzuschlagen.

Eine symmetrische Hängebrücke mit Schwergewichtsverankerungen für die Tragkabel war die Lösung, die den verschiedenen Anforderungen am besten gerecht wurde. In der Mittelöffnung ist die Brücke 329,2 m,

in den Seitenöffnungen je 147,5 m weit gespannt. Beidseitig schließt sich eine Rampebrücke mit sechs Öffnungen von je 19,8 m Stützweite an. Sie ist als Deckbrücke mit durchlaufenden Vollwandhauptträgern ausgeführt. Da die Eggemoggin-Bucht schiffbar ist, verlangte das Kriegsministerium eine freie Durchfahrts Höhe von 25,9 m über HHW auf 61 m Breite in der Hauptöffnung. Hierdurch kommt in Brückenmitte OK Fahrbahn auf 30 m über HHW zu liegen. Die Gradienten ist an dieser Stelle mit einem lotrechten Halbmesser von nur 122 m ausgerundet. Sie fällt nach beiden Seiten um $6\frac{1}{2}\%$. Diese ungewöhnlichen

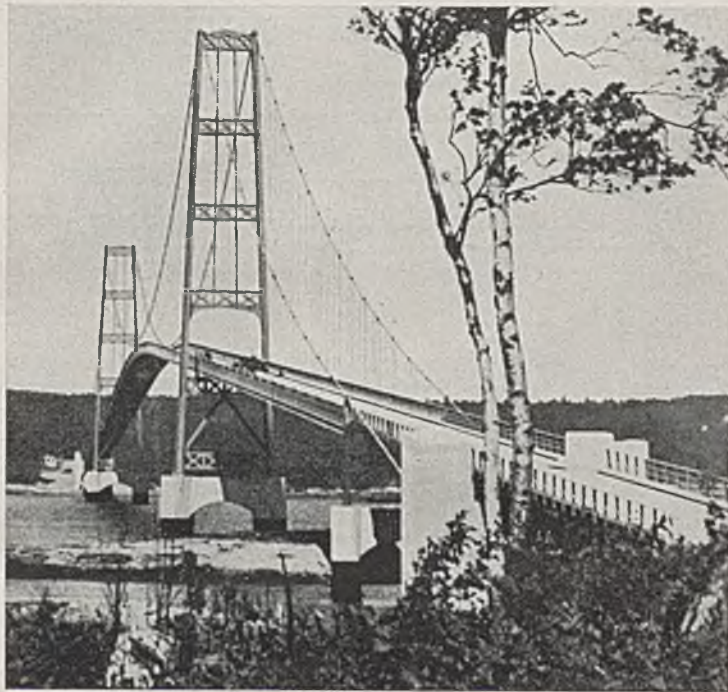


Abb. 1. Ansicht des fertigen Bauwerkes.

Maße wurden gewählt, um an Länge der Rampebrücken und damit an Baukosten zu sparen!

Durch ausführliche Bodenuntersuchungen wurde überall ein zur Gründung gut geeigneter harter Felsboden mit geringer Überdeckung festgestellt. Die Felsoberfläche zeigte leider einen sehr unregelmäßigen Verlauf, wodurch die Gründungsarbeiten erheblich erschwert wurden. Alle Pfeiler und Widerlager konnten auf dem tragfähigen Felsboden erstellt werden.

Bei der Pfeilergründung für den Pylon wurde ein Senkkasten mit aus stählernen Spundwandbohlen gebildeten Wandungen verwendet. Der Senkkasten mit seinen Aussteifungsrahmen und Verbänden wurde im Werk vollständig angefertigt und auf dem Wasserwege zur Baustelle gebracht. Die unteren Kanten der Wandungen wurden durch Abbrennen genau der sorgfältig erkundeten Felsoberfläche angepaßt. Nachdem die den Fels überdeckenden Ablagerungen entfernt waren, setzte ein riesiger Schwimmkran den 135 t schweren Senkkasten an der vorgeschriebenen Stelle ab (Abb. 2). Hierauf wurde der Senkkasten unter Wasser ausbetoniert. Die OK des so gebildeten Pfeilerfußes von $8,53 \cdot 18,44$ m Grundfläche lag so tief unter der Wasseroberfläche, daß weder Stürme noch die Gezeitenströmungen gefährlich werden konnten. Auf den Pfeilerfuß wurden zwei zylindrische Betonsäulen mit Stahlmantel gesetzt, die am oberen Ende durch einen schweren Eisenbetonriegel verbunden sind.

Die Baustelle der Widerlager und der meisten Pfeiler der Rampebrücken lagen bei Ebbe auf dem Trocknen. Einige der flachen Gründungen, darunter die der Verankerung auf dem Sedgwick-Ufer, wurden innerhalb niedriger Erdfangedämme ausgeführt. Beim Bau der Verankerung am Deer Isle-Ufer und eines Pfeilers der Rampebrücke erwies sich der blaue Ton zwischen den beiden Wandungen des hölzernen Fangdamms als so fest und zäh, daß beim nächsten Pfeiler der Rampebrücke die Baugrube ohne Fangedamm ausgeschachtet werden konnte. Obwohl die Baugrube bei jeder Flut voll Wasser lief, standen die Wände nach dem Abspumpen unverändert lotrecht.

Die Brückenfahrbahn ist mit 6,10 m Breite zwischen den Schrammborden für zweisepurigen Verkehr bemessen. Die beidseitigen Fußwege sind 0,38 m breit angelegt. Als Fahrbahntafel dient eine Eisenbetonplatte. Die Versteifungsbalken sind vollwandig und 1,98 m hoch. Die Berechnung erfolgte für H-15 Last nach der einschlägigen Vorschrift „The American Association of State Highway Officials“ mit den für weitgespannte Brücken gültigen Abminderungen.

Die Stahlpylone erheben sich 56,4 m über Pfeileroberkante. Ihre Stiele sind aus zwei Breitflanschprofilen von 914 mm Höhe gebildet. In Richtung Brückenlängsachse sind die Breitflanschträger 1524 mm von-

einander entfernt. Die Flansche sind durch schwere Bindungen und durch eine Verjitterung aus Doppelwinkeln verbunden. Die Querverbindung der Pylonenstiele wird durch 2,13 m hohe doppelwandige Blechträger hergestellt, die rd. 10,7 m weit gespannt sind. Um diese Riegel in der Ansicht als nicht zu schwer erscheinen zu lassen, sind die Stegbleche so ausgeschnitten, daß der Eindruck von Fachwerkträgern entsteht. Die zwei lotrechten Pfosten zwischen den Pylonenstielen, die vom Oberriegel bis zum Portalriegel laufen, sind nur aus architektonischen Gründen angeordnet. Sie bestehen aus leichtem Gitterwerk.

Die unteren Teile des Pylons bis etwa 24 m Höhe wurden vom Schwimmkran aufgestellt. Zur weiteren Montage wurde ein sog. „Kletterkran“ benutzt. Zwei miteinander verspannte Blechträger bildeten einen Ständer, der an seinem oberen Ende einen waagerechten Kragträger für die Hubvorrichtung trug. Für den Ständer wurden Hauptträger der Rampebrücke genommen. Der Ständer wurde an den Querriegeln des Pylons befestigt und kletterte entsprechend dem Baufortschritt nach oben. Seine Länge entsprach $2\frac{1}{2}$ Querriegelentfernungen. Mit dem Schwimmkran wurden die Bauteile auf einem Holzgerüst in Fahrbahnhöhe zu rd. 35 t schweren Einheiten bestehend aus zwei Stielteilen und einem Querriegel zusammengebaut. Der Kletterkran hob dann die Einheit vom Gerüst zur Einbaustelle empor. Nachdem die Anschlüsse hergestellt waren, wurde er um die entsprechende Stufe nach oben verschoben. Das Verfahren hat sich als sehr zweckmäßig erwiesen. Beim Sedgwick-Pylon war die Arbeit des Kranes nach drei Tagen erledigt. Die Antriebsmaschine für die Hubvorrichtung stand auf einer Plattform, die vom Pfeiler auskragte und durch Seilverspannungen vom Pylon gehalten wurde (Abb. 3). Zur Plattform wurden ebenfalls Bauteile der Rampebrücke verwendet.

Die 191 mm starken Tragkabel der Brücke enthalten 19 verzinkte Drahtseile von je 38 mm \varnothing . Alle Seile, auch die der Aufhängungen, wurden vorgereckt und für ständige Last genau abgelängt, so daß die schwierigen Richtarbeiten auf der Baustelle umgangen wurden. Die zum Ausgleich von unvermeidlichen Montageungenauigkeiten vorzunehmenden Korrekturen am Tragkabel waren sehr klein. Die Einregulierung auf genaues Maß erfolgte über ein zwischen Seil und Augenstab der Verankerung eingeschaltetes Spansschloß. Diese Neuerung wurde erstmals bei der Tausend Insel-Hängebrücke über den Sankt Lorenz-Strom erprobt.

Das Verlegen der Seile geschah, von einigen Abweichungen abgesehen, in herkömmlicher Weise. An Stelle der sonst üblichen Montageaufstege fand ein fahrbares Montagegerüst Verwendung, das oberhalb des Tragkabels auf besonderen Montageeisen lief (Abb. 4). Ein solches Fahrgerüst soll sich billiger als Montageaufstege stellen, wenn vorgereckte Seile zu verlegen sind, bei denen die genaue Lage der Kabelschellen für die Aufhängungen an einem Führungsseil vorher angezeichnet werden kann.

Bei früheren Bauten war die Führung für das Hilfsseil, das die einzelnen Tragseile über die Wasserfläche zog, stets über oder dicht bei den Kabelsätteln aufgestellt worden. Bei dieser Ausführung legte der Unternehmer die Führungsrolle in die Mitte zwischen beide Kabelsättel. Nach-



Abb. 2. Absetzen des Senkkastens mit dem Schwimmkran.



Abb. 3. Zusammenbau des Pylons. Kletterkran in höchster Stellung.

dem das einzelne Seil gezogen und mit seinen Verankerungen verbunden war, wurde es mittels einfacher Flaschenzüge aus der Führungsrolle gehoben und seitlich in den Kabelsattel gebracht. Die Bauwinde stand auf einem leichten Hilfsgerüst oberhalb des Pylonenriegels. Das Verfahren wird als gut geeignet für schmale Hängebrücken empfohlen, da hier die seitliche Verschiebung gering bleibt. Das Verlegen der Seile in die Kabelsättel auf den Umlenkensäulen vor den Verankerungen bereitete wegen des nur schwachen Knickes im Tragkabel keinerlei Schwierigkeiten.

Bei Montagebeginn waren die Kabelsättel auf den Pylonen um 381 mm zum Ufer hin verschoben. Die Rückführung in die Endlage erfolgte in drei Stufen zu je 127 mm; die erste Verschiebung wurde vorgenommen, nachdem alle Seile verlegt und ein Teil der Stahlguß-Kabelschellen rechts und links vom Sattel verschraubt war, um ein Gleiten



Abb. 4. Einbau der Kabelschellen vom Montagegerüst aus.

der Seile untereinander zu verhindern. Die zweite und dritte Stufe ergab sich aus dem Baufortschritt beim Einhängen des Versteifungsträgers.

Hierbei war ganz besonders darauf zu achten, daß die leichten Pylone und ihre Verbindung mit dem Unterbau nicht überlastet wurden. Daher erfolgte die Montage des Versteifungsträgers in einer vorher genau festgelegten Reihenfolge der Teilstücke. Der Einbau begann in der Hauptöffnung und erstreckte sich zunächst nur über die mittlere Hälfte. Zum Ausgleich des Schubes wurden sodann die Versteifungsträger in den Seitenöffnungen vom Ufer aus bis zur Mitte angehängt. Nun wurde zuerst die Mittelöffnung und anschließend die Seitenöffnung fertig montiert. Zum Einsetzen der Trägerstücke diente der gleiche Schwimmkran wie beim Bau der Pylonenpfeiler.

Beim Entwurf der Brücke bestanden Bedenken, ob nicht durch Windstöße von unten auf die Fahrbahntafel in Anbetracht der geringen ständigen Last (Leichtfahrbahn) und der im Verhältnis zur Spannweite sehr niedrigen Höhe des Versteifungsträgers ($h : l = 1 : 166$) eine Wellenbewegung in der Längsachse des Bauwerkes hervorgerufen werden könne. Diese Erscheinung hätte zwar auf das Tragvermögen keinen Einfluß gehabt; eine Beunruhigung der Benutzer wäre aber sicher nicht ausgeblieben. Mit einem Mehrkostenaufwand von 5000 Dollar wurde aus diesem Grunde eine Anordnung geschaffen, die mit Sicherheit ein Schwingen der Brücke ausschließt: Das Tragkabel wurde in der Mitte der Hauptöffnung an den Gurt des Versteifungsträgers angeschlossen. Es verhindert so eine Verschiebung in der Längsachse der Brücke. Zum

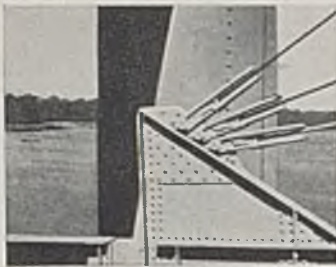


Abb. 5. Anschluß der Sturmseile.

ändern wurden drei Sturmseile vom Obergurt des Versteifungsträgers am Pylonaufleger radial zum Tragkabel gezogen (Abb. 5).

Der Einbau der Rampenüberbauten erfolgte bei Flut ebenfalls mit dem Schwimmkran.

Das Bauwerk wurde als WPA-Projekt aus staatlichen und kommunalen Geldern mit einem Gesamtaufwand von 870 000 Dollar errichtet. [Nach Civ. Engng. 9 (1939) S. 3 und Engng. News-Rec. 122 (1939) S. 870.]

Burchard, Linz/Donau.

Untersuchung über den Baustoffbedarf von Plattenbrücken in Eisenbeton.

Der erforderliche Eisenquerschnitt und die erforderliche Plattenstärke wurden als Funktion von Stützweite und Betonspannung an Hand durchgerechneter und durchkonstruierter Beispiele nachgewiesen. Auf die Wiedergabe der Werte im einzelnen sei hier verzichtet. Die Grundlagen für die Berechnung sind folgende:

DIN 1070—1075 und DIN 1045.

Baustoffe: St. 52 $\sigma_b = 1800 \text{ kg/cm}^2$.

Zulässige Betonspannungen: $\sigma_b = 48,0 \text{ kg/cm}^2$, 56 kg/cm^2 , 64 kg/cm^2 .

Belastungen:

1. Fahrbahn: (bestehend aus 12 cm Kleinpflaster + 10 cm Bettung)

a) Versteigung $g_v = 0,530 \text{ t/m}^2$,

b) Fahrbahnplatte $g_f = d \cdot 2,4 \text{ t/m}^2$.

2. Verkehrslast:

a) 24-t-Dampfwalze für die Brückenklasse I,

b) Menschengedränge: $p = 0,500 \text{ t/m}^2$.

Angaben über den Brückenquerschnitt s. Abb. 1.

Die Untersuchung ist durchgeführt für Brücken mit der Fahrbahnweite von 8,60 m. Um die Ergebnisse der mathematischen Betrachtung zugänglich zu machen, sind die punktwise konstruierten Kurven in mathematische Form gebracht.



Abb. 1.

Der Ansatz für den Eisenbedarf der Platte ist gegliedert in den Bedarf der Längs- und Querbewehrung, den Bedarf der Fußgängerkonsole und den Bedarf der Einsteckseisen. Die der Berechnung zugrunde liegende zulässige Eisenspannung ist, wie oben erwähnt, $\sigma_b = 1800 \text{ kg/cm}^2$. Bei Anwendung anderer Eisenspannungen ist die nach dem Ansatz gefundene Größe des Eisenbedarfs im Verhältnis der Eisenspannungen zu vergrößern bzw. zu vermindern.

Für den Eisenbedarf in Abhängigkeit von σ_b und der Stützweite l ergab sich

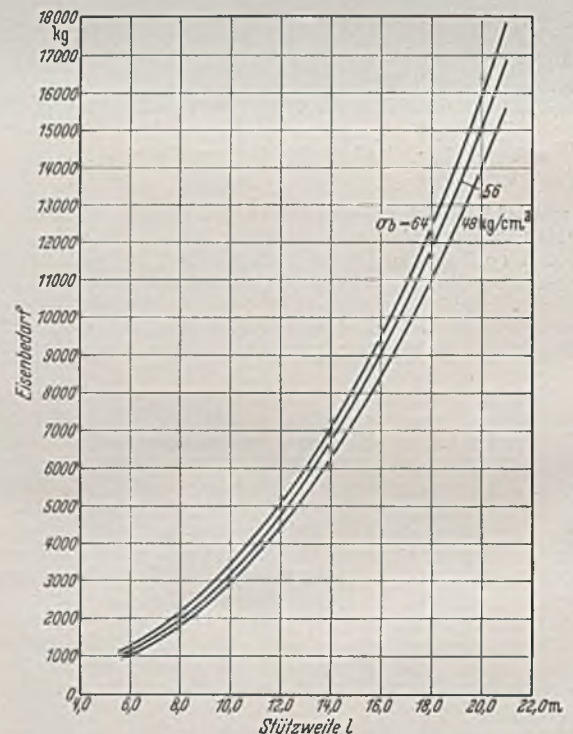


Abb. 2. Eisenbedarf in Abhängigkeit von der Stützweite l .

1. Eisenbedarf der Platte in kg:

a) Längsbewehrung: $E_1 = \frac{b}{9,3} \cdot (\sigma_b + 32 + 8/3 l) \cdot (\frac{1}{2} l)^2$,

b) Querbewehrung: $E_2 = \frac{b}{9,3} \cdot (\sigma_b - 8) \cdot \frac{1}{2} \cdot l$ ($b = \text{Fahrbahnweite} + 0,7 \text{ m}$),

2. Fußgängerkonsolen: $E_3 = 11 \cdot l$,

3. Einsteckseisen: $E_4 = 80$.

Überall ist σ_b in kg/cm^2 , l in m einzusetzen, der Eisenbedarf ergibt sich dann in kg.

Der Gesamteisenbedarf (in kg) einer Plattenbrücke mit einer Fahrbahnweite von 8,60 m ergibt sich somit aus:

$$E = (\sigma_b + 32 + 8/3 l) \cdot (\frac{1}{2} l)^2 + (\sigma_b + 14) \cdot \frac{1}{2} l + 80 \quad (1)$$

Für die Plattenstärke d (in m) in Abhängigkeit von σ_b (in kg/cm^2) und der Stützweite l (m) ergab sich:

$$d = \frac{0,08 \cdot l^2}{\sigma_b - 24} + \left(\frac{0,6}{\sigma_b - 24} + 0,027 \right) \cdot l + 0,09 \quad (2)$$

σ_b ist in kg/cm^2 , l in m einzusetzen.

Der Betonbedarf ergibt sich hiermit nach:

$$B = l' (b d + F_k) \quad (3)$$

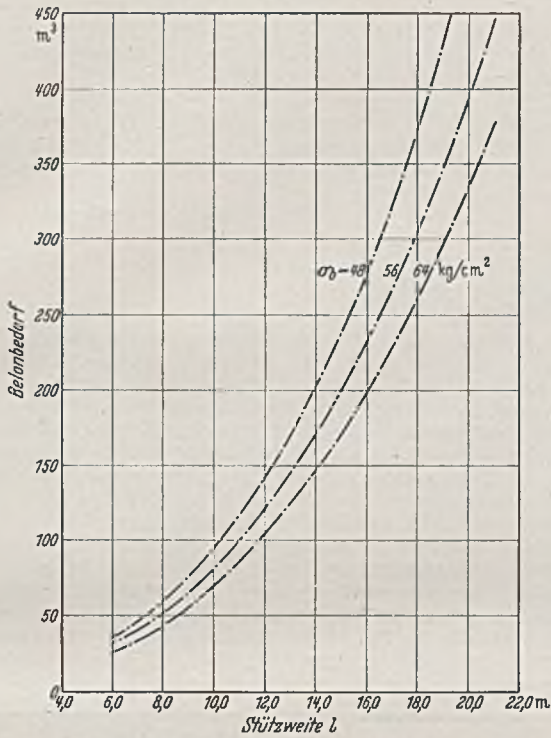


Abb. 3. Betonbedarf in Abhängigkeit von der Stützweite l .

Hierzu ist l' zu 1,15 l anzunehmen, b zu Fahrbahnbreite + 0,7 m, F_k ist der Querschnitt der über den Plattenrand auskragenden beiden Fußgängerkonsolen, d ist aus Gl. (2) in m einzusetzen.

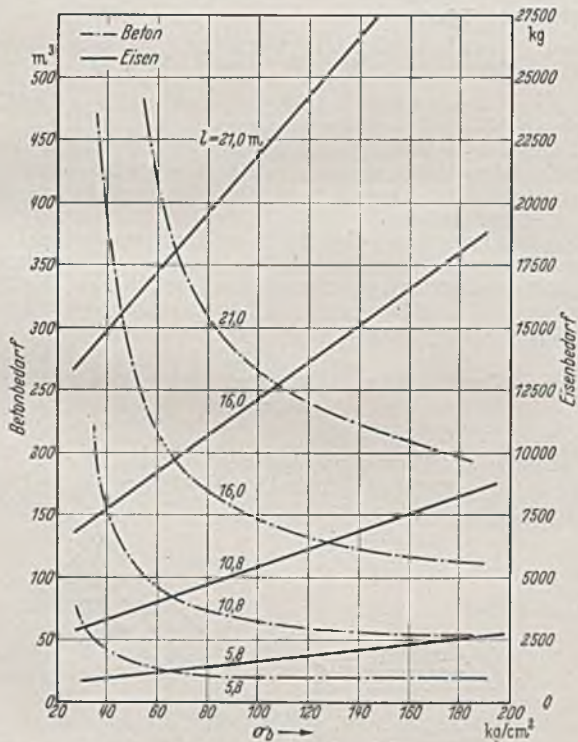


Abb. 4. Beton- und Eisenbedarf in Abhängigkeit von σ_b .

Abb. 3 bringt die Darstellung des Betonbedarfs, Abb. 2 die des Eisenbedarfs in Abhängigkeit von der Stützweite l , Abb. 4 von der Betonspannung σ_b . Für die Praxis kommen nur die Werte bis etwa $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$ in Betracht (zunächst gemäß den Bestimmungen nur bis $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$), die übrigen Werte sind nur zur Vervollständigung des Gesamtbildes gebracht.

Es ist aus der Darstellung zu ersehen, daß bei größeren Stützweiten die Größe des Bedarfs an Eisen und Beton immer empfindlicher wird gegenüber kleinen Veränderungen der Größe der Betonspannung σ_b . Besonders deutlich ausgeprägt ist dieses für den Betonbedarf.

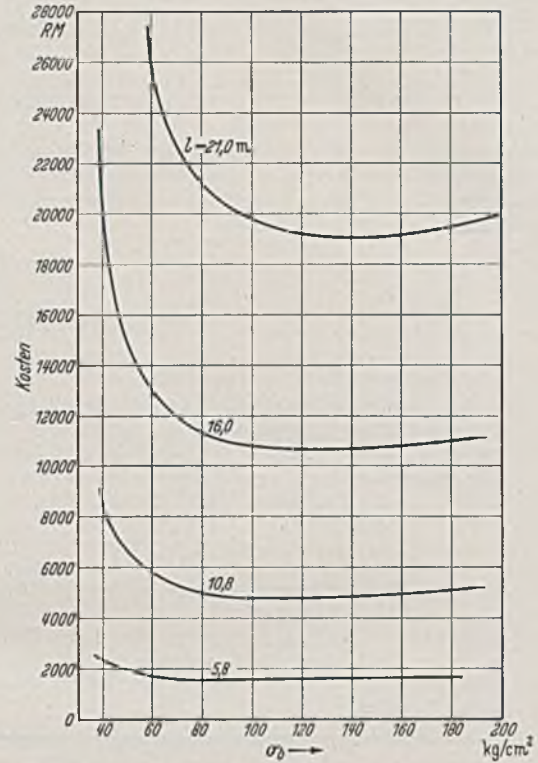


Abb. 5. Kosten von Beton und Eisen in Abhängigkeit von σ_b .

Kostenermittlung und die wirtschaftlichste Betonspannung.

Für die Gesamtkosten K gilt:

$$K = k_b \cdot B + k_e \cdot E \quad (\text{RM}),$$

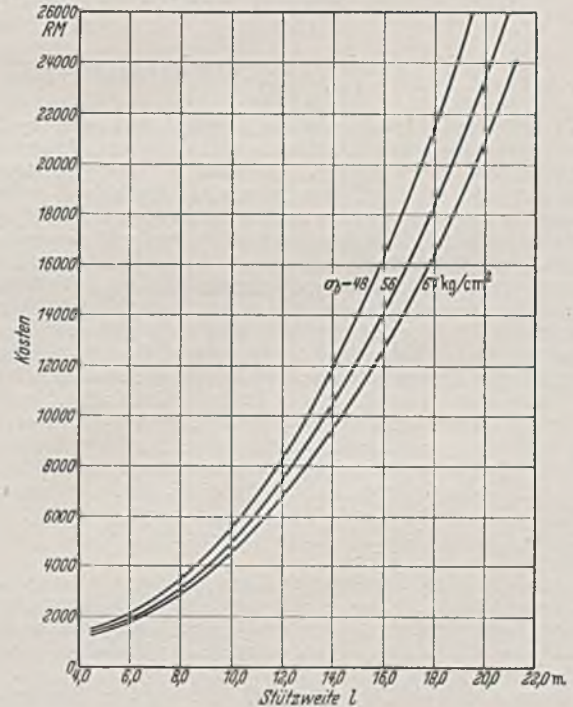


Abb. 6. Kosten von Beton und Eisen in Abhängigkeit von der Stützweite l .

wobei k_b die Kosten von 1 m^3 Beton und k_e die Kosten von 1 kg Eisen sind, B und E wie vor. Nach dem Einsetzen der Werte von B und E aus den Gl. (1), (2) und (3) ergibt sich die wirtschaftlichste Betonspannung σ_{bw} in kg/cm^2 aus:

$$\sigma_{bw} = \frac{8 \cdot l + 6\alpha}{25 \cdot \alpha \cdot (1 + 2)} + 24. \quad (4)$$

wobei $\alpha = k_e : k_b$.

Annahme: $k_b = 50$ RM./m³; $k_e = 0,3$ RM./kg $\alpha = 0,006$.

Das Kostenminimum ergibt sich dann für folgende Werte in Abhängigkeit von der Stützweite:

l	5,00	6,00	8,00	10,00	15,00	20,00 m
σ_{bw}	100,0	104,0	110,0	116,0	128,0	140,0 kg/cm ² .

In Abb. 5 und Abb. 6 ist die Abhängigkeit der Gesamtkosten von der gewählten Betonspannung σ_b wie von der Stützweite l dargestellt, die Untersuchung ist zur Vervollständigung des Kurvenbildes bis auf $\sigma_b = 200$ kg/cm² durchgeführt.

Als Kosten sind für Beton 50,— RM/m³, für Eisen 0,3 RM/kg angenommen. Eine Änderung dieser Werte in den praktisch vorkommenden Grenzen würde das Gesamtbild wenig verändern.

Wie aus Gl. (4) und der Darstellung Abb. 5 zu ersehen ist, liegen die wirtschaftlichsten Betonspannungen jenseits der Grenzen des praktisch Durchführbaren. Es folgt daraus, daß die Betonspannungen immer voll auszunutzen sind. Diese Forderung ist besonders bei Plattenbrücken von über 10 m Stützweite zu beachten, da hier ein geringes Heruntergehen in den Betonspannungen schon große Kostenunterschiede hervorruft.

Bei dieser Forderung wird unterstellt, daß die Beschränkungen im Stahlverbrauch in absehbarer Zeit fortfallen. Die Kurven in Abb. 4 für den Stahl- und Betonverbrauch geben im übrigen ein klares Bild über den durch die Einschränkung des Stahlverbrauchs notwendigen Mehrverbrauch an Beton.

v. Berg, Danzig-Langfuhr.

VERSCHIEDENE MITTEILUNGEN.

Zur Einführung

Der Arbeitsausschuß „Prüfung von natürlichen Gesteinen“ beim Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik (DVM) hat unter Leitung von Herrn Professor Otto Graf, Stuttgart, und unter besonderer Mitarbeit der Herren Professor Dr. Grengg, Wien, und Dr.-Ing. habil. Stöckle, Berlin, die nachstehend veröffentlichten Normblattentwürfe ausgearbeitet.

Die Entwürfe stellen eine erhebliche Erweiterung der Beurteilungsgrundlage für die Verwendbarkeit natürlicher Gesteine dar.

Der Entwurf DIN DVM E 2106 enthält ausführliche Angaben zur Beurteilung der Wetterbeständigkeit.

Das Normblatt DIN DVM E 2111 behandelt den Kristallisationsversuch, der eine gute Ergänzung des Frostversuches ist. Das Prüfverfahren ist bisher noch nicht allgemein bekannt, hat sich aber bereits an vielen Stellen bewährt.

Die Veranlassung zur Ausarbeitung eines Prüfverfahrens für die Prüfung der Biegefestigkeit, DIN DVM E 2112, war die Tatsache, daß man bisher bei Gesteinen, die auf Biegung beansprucht werden, keine ausreichende Vorstellung hatte, was sie aushalten. Ein solches Prüfverfahren wurde daher dringend gewünscht. Bei den Abmessungen der Proben wurde darauf Rücksicht genommen, daß sie nach der Prüfung der Biegefestigkeit auch zu anderen Prüfungen verwendet werden können.

Der Neuentwurf des Normblattes DIN DVM 2101 ist ein Vorschlag zu einer wesentlichen Erweiterung des seit längerer Zeit bestehenden Normblattes, das sich als unzulänglich erwies. Der Entwurf hat das österreichische Normblatt Önorm B 3102 als Grundlage.

Die Interessenten werden gebeten, die Entwürfe zu prüfen und begründete Einsprüche und Änderungsvorschläge in doppelter Ausfertigung der Geschäftsstelle des Deutschen Verbandes 10, die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, bis zum 30. November 1940 mitzuteilen.

	Noch nicht endgültig!	DIN Entwurf DVM 2101
<h2 style="margin: 0;">Prüfung von Naturstein</h2> <h3 style="margin: 0;">Richtlinien für die Probenahme</h3>		

Einspruchsfrist bis 30. November 1940

(Einspruchszuschriften in doppelter Ausfertigung an den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, erbeten)

A. Probenahme am Gewinnungsort

Allgemeines

1. Die Probe ist im Beisein des Antragstellers oder des Besitzers oder eines Vertreters des Steinbruch- (Schotter- und Sandgruben-) Besitzers (Pächters) durch einen in bautechnischen Fragen erfahrenen Berufsgeologen oder -petrographen oder einen geologisch ausgebildeten Ingenieur zu entnehmen. Dies ist im Prüfzeugnis zu bestätigen.

Die an die Prüfanstalt zu sendenden Proben sind zu versiegeln oder zu plombieren. Bei Blöcken kann die Sicherung auch durch ein abgeschlagenes und mit dem Block gleichlautend bezeichnetes Paßstück erfolgen. Proben loser Gesteine sind in dichte Kisten oder Büchsen zu verpacken, damit Feinteile auf dem Transport nicht verlorengehen können.

Die Prüfanstalt hat von jedem geprüften Gestein eine Probe, die die wesentlichen Eigenschaften und Merkmale erkennen läßt, mindestens zwei Monate nach Ausstellung des Prüfzeugnisses aufzubewahren.

Von der Probenahme ist ein Bericht anzufertigen. Dieser Bericht ist in das Prüfzeugnis aufzunehmen und dient zur Unterrichtung der die technischen Prüfungen durchführenden Ingenieure. Der Bericht ist den Antragsteller oder Steinbruchbesitzer abschriftlich zu überlassen.

Der Bericht hat folgende Angaben zu enthalten:

- a) Name und Anschrift des Antragstellers, des Besitzers oder Pächters der Gewinnungsstelle;
- b) Lage der Gewinnungsstelle (Land, Provinz, Regierungsbezirk, Oberamtsbezirk, Kreis, Amtsbezirk, Gemeinde, Flur), wenn möglich, Lage auf dem Meßtischblatt oder Lageskizze, 1: 25 000;
- c) Angabe, ob und wie weit die entnommene Probe den Durchschnitt des gewonnenen Materials darstellt;
- d) Verwendungszweck des Gesteins oder der aus ihm hergestellten Erzeugnisse;
- e) Zahl, Art, Bezeichnung und Bezifferung der Proben;
- f) Beschreibung der Lagerstätte (Bruchbeschreibung) nach den Feststellungen bei der Probenahme gemäß Abschnitt 2 bis 6 bzw. des Lagergutes gemäß Abschnitt 7 bis 10.

Anmerkung: Nach Möglichkeit ist auch die Art der Gewinnung, Förderung und Verwendung festzustellen; Abbau, Förderung, Verarbeitung, Stapelung, Verladung, tägliche, monatliche, jährliche Fördermenge, Gesamtvorrat, Erfahrung über Bewährung.

Probenahme für die gesteinskundliche Untersuchung

2. Von den gesteintechnisch unterscheidbaren Sorten des für den Abbau in Betracht gezogenen Gesteinskörpers sind genügend große Handstücke, die das Gestein nach Mineralbestand und Gefüge kennzeichnen, zu entnehmen.

Die Entnahmestellen sind in einem Lageplan festzuhalten, Entnahmestellen und Probestücke sind gleichlaufend zu beziffern.

Außer frischen Probestücken sollen auch solche, die über Verwitterungs- und Zerstörungerscheinungen Aufschluß geben, genommen und gekennzeichnet werden.

Probenahme für die technologische Untersuchung

3. a) Probekblock

Von jeder zur Verwendung kommenden Gesteinssorte des für die Gewinnung in Betracht gezogenen Gesteinskörpers werden Probekblöcke im Ausmaße von mindestens 20 cm × 20 cm × 30 cm gewählt. (Bei

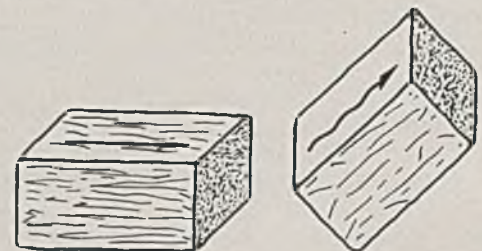


Bild 1.

Bild 2.

grobkörnigem und großporigem Gestein sind die Proben entsprechend größer zu wählen.) Das Loslösen der Probekblöcke hat möglichst vorsichtig zu geschehen (weit vom Sprengloch, Vermeidung des Zerschlagens mit schweren Hämmern u. ä.).

Die Blöcke werden durch fortlaufende Nummern auf der oberen Lagerfläche gekennzeichnet. Eine besondere Streckrichtung, Faserung, Schieferung oder Fladerung usw. wird durch einen Pfeil (Bild 1) angegeben; sind weder Lager- noch Streckrichtung wahrzunehmen, so wird die im Vorkommen oben liegende Fläche des Blockes durch einen Wellenlinienpfeil (Bild 2) kenntlich gemacht.

b) Gebrochene Probe

Bei Gesteinsvorkommen, die Brechergut liefern sollen, sind außerdem etwa 50 kg von 30—70 mm-Korn — wenn möglich, gleiche Teile 30/40 usw. — zu entnehmen. Ist schon eine Brecheranlage vorhanden, so sind aus den Vorratsbehältern von jeder der erzeugten Gesteinskörnungen 5—10 kg als Durchschnittsprobe — bei kleinen Körnungen entsprechend weniger Rohmaterial — zu ziehen.

I. Anstehendes Gestein (fester Fels)

4. Bei der Probenahme sind außer den unter 1 angegebenen Punkten folgende Feststellungen zu machen:

- Die Entnahmestellen der Proben sind in eine Lageskizze einzuzichnen und gleichlautend mit den Proben zu bezeichnen oder zu beziffern (Lichtbild);
- Abmessungen des Bruches oder der Aufschlüsse oder Schürfstellen;
- allgemeine geologische und gesteinskundliche Kennzeichnung des Vorkommens und der Gesteine (neben der wissenschaftlichen Bezeichnung des Gesteins ist gegebenenfalls auch die zulässige Handelsbezeichnung aufzuführen);
- Mächtigkeit und Ausbildung der Verwitterungskruste und des übrigen Abraumes, sonstige Veränderungen des Gesteins unter Einfluß der Tagesoberfläche (dünnbankige Ausbildung, Verfärbung, Änderung der Spaltbarkeit u. a.); Art und Dicke der Überlagerung des bauwürdigen Gesteins durch andere Gesteins-, Schutt-, Sand- oder Erdmassen;
- Angaben über Verwendbarkeit oder Abbauwürdigkeit des Gesteins in verschiedenen Teilen des Vorkommens;
- makroskopische Kennzeichnung des Gesteins;
- Wasserhältnisse (Grundwasser, Sickerwasser usw.)

α) Bei Erstarrungsgesteinen (Granit, Porphyr, Gabbro, Basalt, Basaltlava, Diabas u. a.):
Lagerungsform: Stock, Kuppe, Decke, Strom — soweit erkennbar — Gang;

Absonderung: dick- oder dünnbankig, säulig, kugelig; Unterschied der Ausbildung in oberen und tieferen Lagen, bei Gängen am Rande (Saalband) und in der Mitte des Ganges;

Klüftung: weit- oder engscharig, in parallelem oder unregelmäßigem Verlauf, senkrecht oder schiefwinklig zur Bankung (möglichst ziffernmäßig);

Trennbarkeit: nach bevorzugten Richtungen: ebenflächig spaltend, unregelmäßig nach Adern u. dgl.;

Abmessungen: größtmögliche Werkstückabmessungen: a) nach Maßgabe von Absonderung und Klüftung, b) nach Gewinnungs- und Abtransportmöglichkeit;

Sonstige Gesteinseigenschaften: Verschiedenheit der Gesteinsausbildung im Vorkommen, z. B. schlierenartige Durchsetzung oder Eindringen von Gängen anderer vom Muttergestein unterschiedlicher Gesteine; Unterschied der Farbe, Größe und Gleichmäßigkeit der Körnung, stellenweise Anreicherung von Mineralien, die u. U. die Verwendbarkeit des Gesteins beeinflussen, z. B. Glimmer, Kalkspat, Schwefelkies; stellenweise Schieferzonen (Gneis), Ruschelzonen;

β) Bei Schichtgesteinen (Sandstein, Konglomerat, Grauwacke, Quarz, Kalkstein, Tuffstein u. a.):
Lagerungsform: waagrecht, geneigt, sattel- und muldenförmig, gefaltet;

Schichtung und Bankung: ebenflächig oder wellig, dick- oder dünnbankig, parallelförmig oder diskordant, Mächtigkeit der Einzelbänke; Mengenanteil unbrauchbarer Zwischenlagen;

Klüftung und Spaltbarkeit: weit- oder engscharig, in parallelem oder unregelmäßigem Verlauf, senkrecht oder schiefwinklig zur Bankung; Abmessungen: größtmögliche Werkstückabmessungen:

a) nach Maßgabe von Bankung und Klüftung, b) nach Gewinnungs- und Abtransportmöglichkeit;

Sonstige Gesteinseigenschaften: Verschiedenheit der einzelnen Bänke an Färbung, Gefüge, Härte, Festigkeit u. dgl.; Schichtung innerhalb der dickeren Bänke (keine, dünn, grob, deutlich, undeutlich); Einlagerungen von Fossilien u. dgl., von Mineralien, organischen Bestandteilen, Hohlräumen mit oder ohne Mineralausscheidungen, die durch Art und Ausbildung u. U. die Verwendbarkeit beeinflussen.

γ) Bei metamorphen Gesteinen (Gneis, Amphibolit, Serpentin, Hornfels, Kontaktfels u. a.):

Je nach Gesteinszusammensetzung, Art und Grad der Umwandlung entsprechen metamorphe Gesteine in Ausbildung und Lagerungsform entweder mehr den Erstarrungsgesteinen (z. B. Granit-Gneise) oder Schichtgesteinen (Dachschiefer u. a.).

Die Erhebungen erfolgen dementsprechend entweder in Anpassung an die bei den Erstarrungsgesteinen oder an die bei Schichtgesteinen gegebenen Richtlinien. Stets ist auf die Schieferung der Gesteine, Lage

der Schieferungsebene im Raum, Trennbarkeit nach der Schieferungsebene usw. besonders Bedacht zu nehmen.

II. Lose Ablagerungen.

5. Probenahme für die technologische Untersuchung.

Die Proben werden aus Gruben, Schlitzen, Stollen oder Bohrlöchern entnommen, die so bemessen sein müssen, daß die Ablagerung, soweit sie für den Abbau in Betracht kommt, entsprechend aufgeschlossen wird. Die Anordnung und der Abstand der Schurfstellen richtet sich nach Form und Art der Lagerstätte. Sie sind fortlaufend zu beziffern und im Lageplan des Vorkommens festzuhalten. Das Probegut aus den einzelnen Entnahmestellen ist diesen entsprechend zu bezeichnen.

Die Sorten eines Schurfprofils sind entweder nach den einzelnen Schichten getrennt oder im natürlichen Verhältnis zu einer Durchschnittsprobe vereint zu entnehmen. Im letzteren Falle werden etwa prismatische Körper vom Hangenden zum Liegenden herausgeschnitten und durch wiederholtes Umschaukeln nach dem Kegelverfahren gut durchgemischt. Der letzte Kegel wird kreisförmig oder viereckig ausgebreitet und symmetrisch gevierteilt. Hiervon werden zur Einengung der Gesamtdurchschnittsprobe zwei gegenüberliegende Abschnitte beiseite geworfen. Die verbleibenden Teile werden gut gemischt. Man fährt dann mit dem Einengen und Wiedermischen so lange fort, bis eine Probemenge von 50 kg bei groben Körnungen und entsprechend weniger bei feineren Körnungen zur Prüfung verbleibt.

6. Bei der Probenahme sind außer den unter 1 angegebenen Punkten folgende Feststellungen zu machen:

- Die Entnahmestellen der Proben sind in eine Lageskizze einzuzichnen und gleichlautend mit den Proben zu bezeichnen oder zu beziffern (Lichtbild);
- Kennzeichnung des Vorkommens nach Form, Ausdehnung, Entstehung (Gehängeschutt, Fluß-, See-, Meeres-, Wind- oder Glazialbildung) und geologischem Alter;
- Form und Abmessungen der Gewinnungsstellen;
- Mächtigkeit, Ausdehnung und Beschaffenheit der Abraumschichten (Mutterboden, Verwitterungszone usw.);
- Form, Tiefanlage und Wasserdurchlässigkeitsgrad der liegenden Schichten, soweit möglich;
- unbrauchbare Einlagerungen in Form von Flözen, Nestern u. dgl.; Angaben, inwieweit diese beim Abbau ausgehalten werden können;
- Wasserführung und Grundwasserhältnisse.

B. Probenahme auf Lagerplätzen

I. Bruchsteine, Werksteine, Pflastersteine u. dgl. von Lagerplätzen, Werkplätzen, aus Lieferungen usw.

7. Probenahme.

Unter Berücksichtigung des Verwendungszwecks wird von jeder Gesteinsorte eine das Gestein nach Mineralbestand und Gefüge entsprechend kennzeichnende Probe hinreichender Größe für die in Aussicht genommenen Prüfungen entnommen. Die Proben sind fortlaufend zu beziffern, vom Probenehmer zu versiegeln oder wie unter 1 angegeben zu kennzeichnen.

8. Bei der Probenahme sind außer den unter 1 angegebenen Punkten folgende Feststellungen zu machen:

- Ortsbezeichnung und kurze Kennzeichnung der Entnahmestelle, Tag der Lieferung, Wagen, Schiff usw.;
- Menge, Lagerungsart, Benennung (Gesteinsart und Art des Erzeugnisses), Bearbeitungsart, Abmessungen;
- Angaben über Gleichmäßigkeit; bei Vorhandensein verschiedener Sorten Beschreibung derselben, Angabe ihrer Mengenanteile am Gesamtgut.

II. Lose Gesteine (Körnungen) aus Lagerbeständen bzw. aus Ladegut

9. Probenahme.

Die Art der Probenahme hängt von den örtlichen Verhältnissen ab und ist dem in Aussicht genommenen Verwendungszweck anzupassen. Die als Durchschnittsmuster entnommenen Proben sind so zu verpacken und zu versiegeln, daß eine unversehrte Ankunft gewährleistet erscheint.

Zurichten (Einengen und Mischen) der Probe siehe Abschnitt 6. Wenn erforderlich, z. B. bei Feuchtigkeit der Proben, Vorhandensein flüchtiger Bestandteile usw. ist u. U. ein luftdichter Verschluß vorzunehmen.

10. Bei der Probenahme sind außer den unter 1 angegebenen Punkten folgende Feststellungen zu machen:

- Ortsbezeichnung und kurze Kennzeichnung der Entnahmestelle;
- Menge, Lagerungsart, Benennung (Gesteinsart und Art des Erzeugnisses), Korngröße;
- Angaben über Gleichmäßigkeit; bei Vorhandensein verschiedener Sorten, Beschreibung derselben, Angabe ihrer Mengenanteile am Gesamtgut.

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Noch nicht endgültig!

Prüfung von Naturstein Kristallisationsversuch

DIN
Entwurf
DVM 2111

Einspruchsfrist bis 30. November 1940

(Einspruchszuschriften in doppelter Ausfertigung an den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, erbeten)

Zweck der Prüfung

1. Die Kristallisationsprüfung dient zur Ergänzung des Gefrier-versuches. Sie beruht auf der Eigenschaft des Natriumsulfats bis $32,7^\circ$ mit 10 Teilen Wasser (als Glaubersalz), bei höherer Temperatur aber wasserfrei (als Thenardit) zu kristallisieren. Treten Wasser oder wässrige Lösungen von Natriumsulfat zu wasserfreiem Salz, dann kristallisiert es unter beträchtlicher Volumenvermehrung zu Glaubersalz ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) um.

2. Die Kristallisationsprüfung stellt demnach eine dem Gefrier-versuch entsprechende, doch schärfere Beanspruchung dar. Ihre Anwendung ist ferner darin zu begründen, daß Zerstörungen von Baustoffen durch Mauersalze häufig sind.

Probenherstellung und Probenvorbereitung

3. Als Proben werden Würfel von in der Regel 4 cm Kantenlänge verwendet. Die Proben werden bei 105° bis 110° auf Gewichtskonstanz getrocknet und auf 0,1 g genau gewogen.

4. Von jeder Gesteinsprobe werden mindestens 3 Würfel geprüft.

Versuchslösung

5. Als Versuchslösung wird gesättigte Natriumsulfatlösung verwendet, die einige Tage vor Versuchsbeginn durch Auflösen von reinem käuflichen Natriumsulfat (wasserfreies Salz oder Glaubersalz) in Wasser von $20^\circ \pm 1^\circ$ bereitet wird. Zur Herstellung der gesättigten Lösung werden je 1 Liter Wasser, etwa 570 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (Handelssorte Natriumsulfat reinst, kristallisiert) oder 250 g Na_2SO_4 (Handelssorte Natriumsulfat reinst, getrocknet) benötigt. Bei $20^\circ \pm 1^\circ$ ergibt diese Salzmenge eine gesättigte Lösung und etwas Bodenkörper, welcher Unter- oder Überschreiten der Sättigung bei Temperaturschwankungen verhindert. Das Salz wird unter ständigem Rühren in die notwendige Wassermenge eingebracht und die Lösung bis zu Erreichen der Sättigung weiter gerührt. Während des Versuches wird die Lösung auf $20^\circ \pm 1^\circ$ gehalten.

Die Lösung ist für jede Versuchsreihe neu zu bereiten.

Ausführung der Prüfung

6. Die Kristallisationsprüfung besteht in 10maliger Wiederholung einer Tränkung der Probe in Natriumsulfatlösung und Trocknung bei

105° bis 110° . Ist ein Würfel nach einer geringeren Anzahl von Versuchen weitgehend zerfallen, kann die Prüfung vorzeitig abgebrochen werden.

7. Nach Bestimmung des Trockengewichtes werden die Würfel in einem mit Deckel verschließbaren Gefäß bei $20^\circ \pm 1^\circ$ in die Lösung eingelegt. Die Proben sollen während der ersten Stunde zu $\frac{1}{4}$, während der zweiten zu $\frac{1}{2}$, während der nächsten 2 Stunden zu $\frac{3}{4}$ ihrer Höhe in der Lösung stehen. Weitere 20 Stunden werden sie von der Lösung vollständig bedeckt gehalten.

8. Die aus der Lösung entnommenen Würfel werden nach kurzem Abtropfen der Flüssigkeit 4 Stunden lang bei 105° bis 110° in einem gut durchlüfteten Trockenschrank gelagert. Dann werden sie so lange bei $20^\circ \pm 1^\circ$ in einem Exsikkator über Chlorkalzium gehalten, bis sie diese Temperatur haben.

9. Die erkalteten Würfel werden bei der zweiten und den weiteren Tränkungen so in ihre gesättigte Natriumsulfatlösung von $20^\circ \pm 1^\circ$ gelegt, daß sie von der Lösung vollständig bedeckt werden. Die Würfel bleiben bei gleichbleibender Temperatur mindestens 16 Stunden in der Lösung.

10. Diese Arbeitsweise wird auch bei den folgenden Versuchsabschnitten eingehalten.

Auswertung der Prüfung

11. Nach Beendigung des Versuches werden die Würfel so lange in fließendem Wasser gewaschen, bis nach $\frac{1}{4}$ stündiger Lagerung der Proben in destilliertem Wasser (etwa doppeltes Probenvolumen) in diesem keine oder nur unbedeutende Mengen von Sulfat nachweisbar sind. Gehalt an Sulfat wird in schwach salzsaurer Lösung mit Bariumchlorid nachgewiesen, es darf hierbei nur eine geringe Trübung der Lösung eintreten.

Als Maß der Beständigkeit gilt beim Absanden der Proben der Gewichtsverlust (abgesandetes und durch leichten Druck mit den Fingern zu lockerndes Material) in g/cm^2 Probenoberfläche, bei Aufspalten der Proben die Zahl der Bruchstücke. Ergänzend wird ein kurzer Gesamtbefund über Beschaffenheit der noch zusammenhaltenden Körper gegeben.

Auf Grund der bisherigen Versuche können Grenzzahlen für eine Gütenorm noch nicht gegeben werden.

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Noch nicht endgültig!

Prüfung von Naturstein Wetterbeständigkeit

DIN
Vornorm
Entwurf
DVM 2106

Einspruchsfrist bis 30. November 1939

(Einspruchszuschriften in doppelter Ausfertigung an den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, erbeten)

Vorbemerkung

1. Die Prüfung der Wetterbeständigkeit gibt die wichtigste Grundlage zur Beurteilung natürlicher Gesteine, die im Freien verwendet werden sollen. Sie ist grundsätzlich durchzuführen bevor die Festigkeitseigenschaften geprüft werden. Sie umfaßt:

I. Erhebungen an der Lagerstätte und an alten Bauwerken.

II. Gesteinskundliche Untersuchungen.

III. Physikalisch-technologische Prüfungen.

Die einzuhaltende Arbeitsweise ist durch Tafel 1 dargestellt.

Die Beanspruchung eines Baustoffes durch die klimatischen Umweltseinflüsse wechselt stark je nach den besonderen Standort- und Einbauverhältnissen. Es ist nicht möglich, all diese, die Bewährung eines Baustoffes bestimmenden Umstände durch ein Prüfschema voll zu erfassen. In Grenzfällen ist reiche persönliche Erfahrung erforderlich.

1. Erhebungen an der Lagerstätte und an alten Bauwerken

2. Zum Nachweis der praktischen Bewährung und der zweckmäßigen Anwendung und Bearbeitung sind, wenn möglich, an der Lagerstätte und an alten Bauwerken Erhebungen durchzuführen. Bei Auswertung dieser Erhebungen ist auf die besonderen Standortsbedingungen,

bei Bauten auch auf die besonderen Einbauverhältnisse des Gesteins Bedacht zu nehmen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, daß die Witterungseinflüsse auf einen Baustoff bedingt sind durch:

a) an der Lagerstätte und an Bauten durch das allgemeine Klima der Örtlichkeit, gegeben durch Höhe, Art und Verteilung der Niederschläge, Windverhältnisse, Luftfeuchtigkeit (Nebelbildung), Temperaturverhältnisse im täglichen und jahreszeitlichen Wechsel, insbesondere Tiefe und Häufigkeit von Frosttemperaturen, Rauchgasgehalt der Luft (Lage in Nähe von Heizhäusern) usw., Stand des Grundwassers und dessen Schwankungen usw.

b) Bei Bauten außerdem durch das besondere Kleinklima im Bereiche des beobachteten Bauteiles, bedingt durch Lage am Bauwerk, Formgebung, Art des Einbaues und Einfluß anderer mitverwendeter Baustoffe (Mörtel, Metalle und andere Baustoffe), insbesondere durch die Möglichkeit des Zutrittes von Feuchtigkeit aus dem Boden, durch Schäden im Gebäude usw., durch Salzgehalt des Bodens und der mitverwendeten Baustoffe, Art und Verwendung des Gebäudes u. a. Diese bestimmen Grad und Art der Durchfeuchtung, Wechsel von Durchfeuchtung und Austrocknung, Wechsel von Frost und Tautemperaturen, Zuwanderung schädlicher Stoffe,

α) Handtellergröße und etwa 1 cm dicke, einseitig fein geschliffene Gesteinsplättchen werden mindestens 36 Stunden in destilliertem Wasser gekocht.

β) In gleicher Weise wie unter α) vorbereitete Platten werden durch 10 Tage in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser von Zimmertemperatur (15° bis 20°) gelagert.

b) Veränderung des Aussehens der Sichtflächen bei Anwitterung

Eine Prüfung hierauf kommt in erster Linie bei Gesteinen in Frage, welche als Werk- und Dekorationsgesteine mit geschliffenen oder polierten Sichtflächen im Freien verwendet werden sollen. Sie dient lediglich zur qualitativen Angabe der bei Witterungseinwirkung zu erwartenden Farbveränderungen. Allgemein anwendbare normungsreife Verfahren bestehen hierfür nicht. Es wird empfohlen, die angeschliffene und polierte Fläche mit wässriger Lösung von CO₂, verdünnter Salzsäure (1:100) oder verdünnter SO₂-Lösung bis zur schwachen Anätzung zu behandeln. Gegebenenfalls sind auch die Farbbeständigkeit bei Einwirkung des Sonnenlichtes (durch Behandeln mit Quecksilberdampflampe), die Veränderungen unter oxydierenden Einflüssen (insbesondere bei Anwesenheit von Schwefelkies), die Neigung zur Verschmutzung durch Ruß, basische Kupferverbindungen und Eisenrost zu überprüfen.

c) Sonstige besondere Prüfverfahren

In gewissen Fällen sind die Beständigkeit gegen oftmalige wiederholte oder schroffe Temperaturwechsel, die Gefügelockerung durch den

Bearbeitungsvorgang usw. zu untersuchen. Normungsreife Verfahren bestehen hierfür nicht.

III. Physikalisch-technologische Prüfungen

1. Rohwichte (Raumgewicht), Wichte (spezifisches Gewicht), Dichtigkeitsgrad (Porengehalt) nach DIN DVM 2102.

2. Wasseraufnahme, Wasserabgabe nach DIN DVM 2103. Ergänzend werden die Druckfestigkeit (DIN DVM 2105) wassersatter Probekörper und der Druckfestigkeitsabfall gegenüber trockenen Körpern bestimmt.

3. Frostbeständigkeit nach DIN DVM 2104. Ergänzend können die Druckfestigkeit (DIN DVM 2105) wassersatter, der Frostprüfung unterzogener Probekörper und der Druckfestigkeitsabfall gegenüber trockenen Körpern bestimmt werden.

4. Kristallisationsprüfung nach DIN DVM 2111. Dieselbe wird als wahlweise Ergänzung der Frostbeständigkeitsprüfung vorgeschlagen.

Ergänzend können die Druckfestigkeit (DIN DVM 2105) an den der Kristallisationsprüfung unterzogenen Probekörpern und der Festigkeitsabfall gegenüber unbehandelten Probekörpern bestimmt werden.

Wegen Auswertung der Ergebnisse dieser Prüfungen wird auf die Tafel verwiesen.

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Noch nicht endgültig!

DIN

Entwurf
DVM 2112

Prüfverfahren für natürliche Gesteine
Biegeversuch

Einspruchsfrist bis 30. November 1940

(Einspruchszuschriften in doppelter Ausfertigung an den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, erbeten)

Probenherstellung

1. Die Proben — für jede Prüfungsart 5 Stück — sind möglichst aus unbehauenen Blöcken herauszusägen und dann sorgfältig winkelrecht zu schleifen.

Abmessungen der Probekörper

2. Die Probekörper sind Prismen von quadratischem Querschnitt. Die Kantenlänge des Querschnittes soll mindestens 4 cm und die Länge des Prismas mindestens das Vierfache der Kantenlänge des Querschnittes betragen. Bei Gesteinen mit ungleichmäßigem oder grob-kristallinem Gefüge ist die Kantenlänge größer (mindestens 6 cm) zu wählen.

Prüfung

3. Die Proben werden als Balken auf zwei Auflagerwalzen (Walzen als Bolzen von 10 mm Durchmesser) gelagert. Der Mittenabstand L_s der Auflagerwalzen soll 3,5 h (siehe Bild 1) betragen. Die

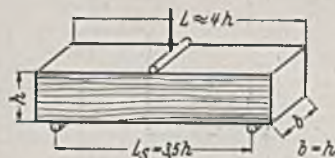


Bild 1

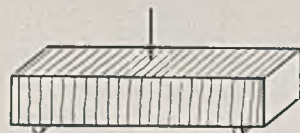


Bild 2

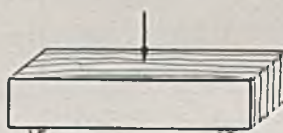


Bild 3

Belastung wirkt über eine Belastungswalze in der Mitte zwischen den Auflagerwalzen. Sie soll sich linienförmig über die ganze Breite der Probe verteilen. Mindestens zwei Walzen sollen in der Richtung der Lastebene beweglich sein. Die Belastung ist gleichmäßig bis zum Bruch zu steigern, so daß die Spannung um etwa 2 kg/cm² je Sekunde zunimmt.

4. Die Biegefestigkeit wird nach der Formel

$$\sigma_{Bb} = \frac{3 P \cdot L_s}{2 h^3}$$

berechnet;

Hierin bedeuten:

- P = Bruchlast
- L_s = Stützweite
- h = Höhe und Breite

Sie ist auf ganze kg/cm² gerundet anzugeben. Maßgebend ist das Mittel aus 5 Versuchen.

5. In der Regel werden lufttrockene Probekörper nach Bild 1 senkrecht zur Lagerfläche (natürlicher Schichtung, Bankung oder Schieferung) geprüft. Schichtgesteine und ausgesprochen schieferige Gesteine sind nach Bild 1 und nach Bild 2 zu prüfen; die Prüfung nach Bild 3 ist nur in Sonderfällen durchzuführen. Zusätzlich kann die Biegefestigkeit im wassergetränkten Zustand (vgl. DIN DVM 2103) und im wassergetränkten Zustand nach 25maligem Gefrieren und Auftauen (vgl. DIN DVM 2104) ermittelt werden.

6. Wenn die Biegefestigkeit wassersatten und ausgefrorenen Gesteins ermittelt wird, sind die Änderungen der Festigkeit in % der nach Bild 1 ermittelten Biegefestigkeit der lufttrockenen Proben anzugeben.

Die beim Biegeversuch entstandenen Reststücke können nach entsprechender Bearbeitung zu Würfeln zu anderen Prüfungen, wie z. B. die Bestimmung der Druckfestigkeit nach DIN DVM 2105 oder für die Bestimmung der Schlagfestigkeit nach DIN Vornorm DVM-Prüfverfahren 2107 benutzt werden.

Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Noch nicht endgültig!

DIN

Entwurf
DVM 2171

Stoffmengen und Mischungsverhältnis im Frisch-Mörtel
und Frisch-Beton

Einspruchsfrist bis 30. November 1939

(Einspruchszuschriften in doppelter Ausfertigung an den Deutschen Verband für die Materialprüfung der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, erbeten)

Zur Einführung.

Der Arbeitsausschuß „Mischungsverhältnis von Beton“ des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik (DVM) hat unter

Leitung von Herrn Professor Dipl.-Ing. L. K r ü g e r, Berlin-Dahlem, als weiteres Arbeitsergebnis den nachstehend veröffentlichten Normblattentwurf DIN DVM E 2171 aufgestellt.

Der Entwurf behandelt im Gegensatz zu dem bereits herausgegebenen Normblatt DIN DVM 2170 — Mischungsverhältnis und Bindemittelgehalt von erhärtetem Mörtel und Beton — die Prüfung des Beton in noch nicht abgebindenem Zustand.

Die Interessenten werden gebeten, den Entwurf zu prüfen und begründete Einsprüche und Änderungsvorschläge in doppelter Ausfertigung der Geschäftsstelle des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, Berlin NW 7, Dorotheenstraße 40, bis zum 30. November 1940 mitzuteilen.

Begriff

1. Frisch-Mörtel und Frisch-Beton sind im Gegensatz zu Fest-Mörtel und Fest-Beton das Mörtel- und Betongemisch, d. h. der noch nicht erhärtete, nicht verarbeitete oder verarbeitete Mörtel und Beton.

2. Die Stoffmengen werden für 1 m³ Frisch-Mörtel oder Frisch-Beton¹ in Kilogramm angegeben. Das Gewicht der in 1 m³ enthaltenen Gewichtsmenge Bindemittel, Zuschlagstoff und Wasser wird aus dem Raumgewicht des Frisch-Betons errechnet.

Dabei wird als Bindemittel auch ein werkmäßig hergestelltes Gemisch aus Zement mit einem oder mehreren hydraulischen Zusatzstoffen (z. B. Traß, Hochofenschlacke) verstanden.

Werden feingemahlene Zusatzstoffe, wie z. B. Traß, zum Bindemittel auf der Baustelle zur Herstellung des Mörtels oder Betons verwendet, so wird zunächst das Gemisch aus Zement und Zusatzstoff bestimmt.

Soll der Gehalt des Bindemittels getrennt nach Zement und Zusatzstoff festgestellt werden, so müssen die Gewichtsanteile der einzelnen staubförmigen Stoffe bei der Aufgabe in die Mischmaschine ermittelt werden. Hieraus läßt sich die Zusammensetzung der nach Abschnitt 11 erhaltenen Bindemittelmenge durch verhältnismäßiges Aufteilen entsprechend dem Mischungsverhältnis errechnen.

Läßt sich jedoch das Mischungsverhältnis des Bindemittelgemisches bei der Aufgabe in die Mischmaschine nicht hinreichend genau ermitteln oder ist es wesentlichen Schwankungen unterworfen, so ist der Zementgehalt in dem nach Abschn. 9 herausgewaschenem Bindemittel durch eine chemische Analyse nach DIN DVM 2170 zu ermitteln.

3. Das Mischungsverhältnis ist das Verhältnis von Bindemittel zum Zuschlagstoff in Gewichtsteilen oder Raumteilen. Der Bindemittelgehalt wird gleich 1 gesetzt, wobei anzugeben ist, ob es sich um Gewichtsteile oder um Raumteile handelt (z. B. 1 Gewichtsteil Zement + 6,3 Gewichtsteile Kiessand usw.).

Zweck der Prüfung

4. Die Prüfung wird am Frisch-Mörtel und Frisch-Beton an mehreren Einzelproben oder an einer Durchschnittsprobe durchgeführt, möglichst unmittelbar nach dem Mischen. Es wird festgestellt, wie der Mörtel oder Beton zusammengesetzt sind. Im allgemeinen wird hierdurch der Nachweis erbracht, ob die vorgeschriebene Mischung eingehalten wurde. Es handelt sich also um die Nachprüfung des in 1 m³ Mörtel oder Beton enthaltenen Zementgewichtes oder die des Mischungsverhältnisses. Hierzu wird der Gehalt an Bindemittel durch nasses Trennen mit dem Prüfsiebgewebe 0,2 DIN 1171 ermittelt. Der vom Zuschlagstoff herrührende Anteil 0 bis 0,2 mm wird durch einen besonderen Siebversuch bestimmt und berücksichtigt.

Probenahme

5. Probemenge und Ort der Probenahme

Für eine Bestimmung werden etwa 40 kg Frisch-Beton, das sind etwa 20 l, entnommen, und zwar je nach dem Bauverfahren oder dem Zweck der Prüfung, z. B. als Betongemisch nach dem Entleeren der Mischmaschine aus dem Beförderungskübel, während des Einbringens in die Schalung und unmittelbar nach dem Einbringen aus der Schalung oder aus dem Beton in der Schalung. Wird nur eine Feststellung ausgeführt, so muß die Probe dem Durchschnitt entsprechen. Sie ist dann aus mehreren Mischungen oder an verschiedenen Stellen aus der Schalung zu entnehmen. Bei entmischtem Beton oder sehr wechselnden Mischungen sind entsprechend mehr Entnahmen nötig und zweckmäßig mehrere Bestimmungen durchzuführen.

Vorbehandlung

6. Nach gründlichem Durchmischen werden 2 Proben P₁ und P₂ von je 5000 g abgewogen und in dicht schließenden Behältern aufbewahrt. Der Rest — Probe P₃ — wird zur Bestimmung des Raumgewichtes des Betons nach Abschnitt 8 verwendet.

Probe P₁ dient zur Bestimmung des Wassergehaltes, P₂ zur Ermittlung des Gehaltes an Zuschlagstoffen und P₃ zur Ermittlung des Raumgewichtes. Die Versuche sind sofort nach Entnahme der Proben einzuleiten. Ist das für Probe P₂ nicht möglich, so kann diese Probe mit reich-

lich Wasser versetzt und verrührt werden, um das Abbinden des Zementes weitgehend zu verzögern.

Wassergehalt

7. Die Probe P₁ von 5000 g Gewicht für die Bestimmung des Wassergehaltes wird in ein geeignetes Gefäß oder auf ein Blech mit einer Bodenfläche von etwa 40 cm Durchmesser und etwa 10 cm hohem Rand gebracht und unter ständigem Rühren möglichst rasch und scharf durch Erhitzen getrocknet. Das Trockengewicht T in Gramm der Probe P₁ wird ermittelt. Der Wassergehalt f in % des Gewichtes des ursprünglichen wasserhaltigen Betongemisches beträgt

$$f = \frac{P_1 - T}{P_1} \cdot 100 = \frac{5000 - T}{5000} \cdot 100 (\%).$$

Raumgewicht

8. Zur Bestimmung des Raumgewichtes wird Beton der Probe P₃ in eiserne Formen von 30 oder auch 20 cm Kantenlänge nach DIN 1048 oder in eine dichte Holzform von 30 cm Kantenlänge (diese Form darf nur für die Raumgewichtsbestimmung verwendet werden) eingebracht und ebenso wie beim Bau verdichtet. Aus Gewicht und Rauminhalt des so verdichteten Frisch-Betons ergibt sich das Raumgewicht r von 1 m³ in kg/m³. Das Raumgewicht wird auf 10 kg gerundet.

Gehalt an Zuschlagstoff

9. Aus der Probe P₂ von 5000 g Gewicht für die Bestimmung des Gehaltes an Zuschlagstoff G werden die Anteile 0 bis 0,2 mm (vorwiegend Zement) durch Auswaschen der Probe über dem Prüfsiebgewebe 0,2 DIN 1171 entfernt. Vor dieses empfindliche Prüfsiebgewebe werden die Rundlochsiebe 1 DIN 1170 und 7 DIN 1170 als Schutzsiebe vorgeschaltet. Der gesamte Rückstand über dem Prüfsiebgewebe 0,2 DIN 1171 wird nach wiederholtem Abspülen getrocknet. Das Trockengewicht G₁ wird in Gramm angegeben.

10. Der Zuschlagstoff enthält oft einen wesentlichen Anteil Sand unter 0,2 mm Körnung und abschlämmbare Bestandteile. Sie sind deshalb nach dem nachstehend angegebenen Verfahren an einer aus dem Vorrat an Zuschlagstoffen zu entnehmenden oder zusammensetzenden Probe zu ermitteln und dem Gewicht G₁ hinzuzuzählen.

Dieser Anteil (S) von 0 bis 0,2 mm Körnung, der mit dem Zement nach Abschnitt 9 abgeschlämmt wurde, wird wie folgt ermittelt:

Mit dem am Bau benutzten Zuschlagstoffgemisch wird der Kornanteil von 0 bis 0,2 mm Körnung (= n%) wie üblich durch den Siebversuch ermittelt. Sofern es sich um Zuschlagstoff handelt, der aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt wird, ist das Zuschlaggemisch für den Siebversuch aus entsprechenden Anteilen wie am Bau zusammensetzen². Der Anteil S an Staub, ermittelt an dem Zuschlagstoff in %, zu Probe P₂ ist dann in g

$$S = \frac{n \cdot G_1}{100 - n} (g).$$

Der in der Probe P₂ vorhandene Zuschlagstoff G ergibt sich damit in g hinreichend genau zu

$$G = G_1 + S \text{ oder nach Umrechnung zu}$$

$$G = \frac{G_1 \cdot 100}{100 - n} (g).$$

Stoffmengen

11. Die in 1 m³ frischem, verdichteten Beton enthaltenen Stoffmengen sind:

$$\text{Bindemittel (Zement + Zusatzstoff)} = \frac{r \cdot (T - G)}{5000} (kg/m^3)$$

$$\text{Zuschlagstoff (trocken)} = \frac{r \cdot G}{5000} (kg/m^3)$$

$$\text{Wasser} = \frac{r \cdot (5000 - T)}{5000} (kg/m^3).$$

Mischungsverhältnis

12. Das Mischungsverhältnis nach Gewicht ergibt sich aus den nach Ziffer 11 errechneten Werten als Verhältnis des Bindemittels zum Zuschlagstoff (Bindemittelgehalt gleich 1 gesetzt). Für die Umrechnung auf Raumteile werden die besonders ermittelten Raumgewichte der Stoffe (siehe DIN DVM 2110) benutzt. Hierbei ist anzugeben, welcher Feuchtigkeitsgehalt der Zuschlagstoff bei der Ermittlung des Raumgewichtes aufwies.

² In den meisten Fällen ist ein besonderer Siebversuch nicht erforderlich, weil der bei der Bauüberwachung oder bei der Eignungsprüfung ermittelte Anteil 0 bis 0,2 mm bei der Rechnung benutzt werden kann.

¹ Im folgenden wird bei den Ausführungen nur der Frisch-Beton erwähnt; für Frisch-Mörtel wird sinngemäß verfahren.

BUCHBESPRECHUNGEN.

R e g e r, F.: Tachymetertafeln für neue (zentri-male) Teilung. Tafelwerte auf 1 cm für die Höhenunterschiede, auf 1 dm für die Horizontalentfernungen. I. D von 10 bis 100 und α bis zu 52°, II. D von 101 bis 200 und α bis zu 26°, III. D von 201 bis 400 und α bis zu 13°. Stuttgart: J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung 1940. VII/490 S. Gr. 8°. Preis geb. RM. 19,50.

Zur topographischen Geländeaufnahme nach der Zahlenmethode mit der „schnellfüßigen Tachymetrie“ müssen unzählige Entfernungen und Höhenunterschiede von den Instrumentenstandpunkten zu den die Geländeoberfläche charakterisierenden Aufnahmepunkten ermittelt werden. Zur Zeitersparnis für die damit verbundenen umfangreichen Rechenarbeiten sind die verschiedenartigsten Hilfsmittel wie Rechenschieber, Zahlentafeln, Schiebetachymeter, Schiebebretter, Nomogramme, selbst-reduzierende Tachymeter usw. herausgebracht worden. In diesem Wettbewerb haben die im Jahre 1880 von Professor Dr. W. J o r d a n zuerst herausgegebenen „Hilfstafeln für Tachymetrie“, die im Jahre 1939 die 12. Auflage erlebt haben, wegen ihrer besonderen Vorzüge eine führende Stelle eingenommen. Mit den von Obervermessungsrat Dr. R e g e r herausgegebenen Ergänzungs-Tafeln hierzu können die Höhen- und horizontalen Entfernungsunterschiede, die in der Tachymeterpraxis in der Ebene wie im Hochgebirge vorkommen, auf bequemste Weise — für die Altgradteilung ($1^\circ = 90'$, $1' = 60''$) — entnommen werden.

Nachdem die Neugradteilung ($1^\circ = 100''$, $1'' = 100'''$) durch Er-läß des Reichsministeriums des Innern vom Jahre 1937 für alle V e r m e s s u n g s b e h ö r d e n des Reiches bindend vorgeschrieben wurde, müssen auch alle zugehörigen Tafelwerke auf die Neugradteilung um-gestellt werden, da die Umwandlung von alter in neue Teilung — selbst mit Hilfe bequemster Umwandlungstafeln — bei der Unzahl von Mes-sungen eine nicht zu tragende Arbeitsvermehrung bedeuten würde.

Auf Grund der vorbereitenden Beratungen des Beirats für das V e r m e s s u n g s w e s e n hatte der Verfasser der oben angezeigten Tafeln in vor-ausschauender Weise schon im Jahre 1928 mit den Arbeiten für die vor-liegenden Neugradtachymetertafeln mit der Absicht begonnen, daß spätere E r g ä n z u n g e n sich erübrigen. Dazu war die Berech-nung von 333 555 Tafelwerten notwendig.

Die Anlage der Tafeln, der Druck und die Ausstattung entsprechen ganz den bewährten Jordanschen Tafeln, so daß sie berufen sind, an deren Stelle zu treten, was als beste Anerkennung für die sorgfältig geleistete Arbeit zu bezeichnen ist. B r e n n e c k e, Berlin.

R o l o f f, P.: Die Eisenbetonbaustelle, Teil II. Mit 345 Abb. Berlin: Verlag der Deutschen Arbeitsfront G. m. b. H. 1940, 298 S. Gr. 8°. Preis geb. RM 4,80, kart. RM 4,—.

Nur vorübergehend durch Rücksichten auf den Arbeitseinsatz ge-hemmt, ist die Maschine im unaufhaltsamen Vordringen im Bauwesen. Selbst kleine Eisenbetonbaustellen arbeiten mit Betonmischmaschinen, Förderbändern, Hebezeugen usw. In immer weitere, nur ungenügend maschinentechnisch vorgebildete Hände kommen diese Geräte, Kraft- und Arbeitsmaschinen, deren zweckmäßige Benutzung und Erhaltung von größter privat- und volkswirtschaftlicher Bedeutung ist, durch deren unrichtige Bedienung andererseits das Leben und die Gesundheit vieler Volksgenossen bedroht ist. Der vorliegende zweite Teil der in der Schrif-tenreihe „Der Bauwerker“ herauskommenden Arbeit von Roloff über die Eisenbetonbaustelle, deren ersten Band wir im Bauing. 20 (1939) S. 604 besprochen haben, hat sich die Aufgabe gestellt, dem Kameraden an der Baustellenfront“ das für ihn Wichtigste über die Verwendung der auf der Baustelle vorkommenden maschinellen Einrichtungen aller Art zu sagen. Dem Zwecke der Schriftenreihe entsprechend beschränkt sich die Darstellung auf das Grundsätzliche der Gesamtanordnung der verschie-denen Geräte und Maschinen und geht genauer vor allem auf das ein, was der Benutzende bei der Bedienung und Unterhaltung zu beachten hat, warnt ihn vor Bedienungsfehlern und, was besonders wichtig sein kann, auch vor Eingriffen und Reparaturen, die nur der geschulte Fach-mann mit Erfolg ausführen kann. Die Darstellung ist klar, anregend und eindringlich und wird aufs beste durch zahlreiche Abbildungen unter-stützt.

Das Werk kann ebenso wie der erste Teil den Kreisen, für die es in erster Linie bestimmt ist, aber auch dem jungen Bauleiter, sowie den Studierenden der Hoch- und Fachschulen warm empfohlen werden.

G a e d e, Hannover.

PATENTBERICHTE.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 37 vom 12. September 1940 und von demselben Tage an im Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 19 c, Gr. 8/20. B 177 902. Erfinder, zugleich Anmelder: Hugo Burger, Leipzig. Ramm- und Verdichtungsgerät, insbesondere für den Straßenbau. 25. III. 37.
- Kl. 19 c, Gr. 9/10. B 171 716. Robert Bosch G. m. b. H., Stuttgart. Vorrichtung zum Antrieb eines an eine Brennkraftmaschine angebauten Magnetzünders. 9. XI. 35.
- Kl. 21 h, Gr. 29/12. B 166 535. Edward G. Budd Manufacturing Company, Philadelphia, Pennsylvania, V. St. A.; Vertr.: Dipl.-Ing. G. Bueren, Pat.-Anw., Berlin SW 61. Elektrisches Widerstandsnahtschweißverfahren. 13. VIII. 34. V. St. Amerika 28. VIII. 33.
- Kl. 37 a, Gr. 2. Sch 117 144. Erfinder, zugleich Anmelder: Hans Wilhelm Schäfer, Mannheim. Verfahren zur Herstellung von Decken aus Eisenbetonplatten. 3. XII. 38.
- Kl. 37 b, Gr. 5/04. L 92 460. Erfinder, zugleich Anmelder: Dr. phil. Fritz Limmer, Darmstadt. Spreizdübel. 27. IV. 37.
- Kl. 37 d, Gr. 24/09. K 139 286. Eduard Krähmer, Köln-Lindenthal. Anschläge für Doppeltüren mit abgedichteten Türblattkanten — Außenseiten für Luftschutzräume; Zus. z. Pat. 678 303. 12. IX. 35.
- Kl. 42 k, Gr. 21/03. V 35 584. Erfinder: Hans Güth, Westerfeld ü. Hannover. Anmelder: Vereinigte Leichtmetallwerke G. m. b. H., Hannover-Linden. Vorrichtung zum selbsttätigen Bestimmen der Streckgrenze an Probestäben auf elektrischem Wege. 19. I. 39.
- Kl. 72 g, Gr. 7/01. W 102 948. Erfinder: Leo Winkel, Dinslaken, Ndrh. Anmelder: L. Winkel & Co. Luftschutztürme, Duisburg. Luftschutzgebäude. 21. II. 38. Österreich.
- Kl. 72 g, Gr. 7/03. M 136 700. Erfinder, zugleich Anmelder: Walter Mohn, Bautzen i. Sa. Gasdichtes, einbaufähiges Lampengehäuse zur Aufnahme von Leuchten in Luftschutzräumen. 23. XII. 36.
- Kl. 72 g, Gr. 8. D 78 588. Rudolf Dietel, Düsseldorf. Hindernispfahl. 3. VIII. 38.
- Kl. 84 a, Gr. 1. M 142 086. Erfinder: Friedrich Pockberger, Hadersdorf-Weidlingen. Anmelder: Maschinen- und Waggonbau-Fabriks-Akt.-Ges. in Simmering vormals H. D. Schmidt, Wien. Vorrichtung zur Ufer- und Flußregulierung. 27. VI. 38.

Kl. 84 c, Gr. 2. D 74 172. Erfinder: Hermann Scheelhaase, Berlin-Rahnsdorf. Anmelder: Dortmund-Hoerder Hüttenverein, Akt.-Ges., Dortmund. Verfahren zur Herstellung von Bauwerken im Grundwasser oder offenen Wasser; Zus. z. Pat. 684 864. 17. XII. 36.

Bekanntgemachte Anmeldungen.

- Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 38 vom 19. September 1940 und von demselben Tage an auf drei Monate im Reichspatentamt ausgelegt.
- Kl. 19 c, Gr. 6/10. K 149 400. Erfinder, zugleich Anmelder: Karl Krah, Kiel. Dübelverbindung, insbesondere für Fugen in Betonstraßendecken. 1. II. 38.
- Kl. 19 c, Gr. 2. Sch 117 297. Erfinder, zugleich Anmelder: Alfons Schroeter, Berlin. Stützwand; Zus. z. Pat. 561 822. 22. XII. 38.
- Kl. 37 d, Gr. 4c/08. M 140 619. Erfinder, zugleich Anmelder: Eugen März, Hamburg. Fahrbares Handgerät zum Ausbreiten und Glätten der Masse von Fußbodenbelägen. 8. II. 38. Österreich.
- Kl. 38 h, Gr. 2/01. R 93 346. Franz Rudert, Dresden-Weißer Hirsch. Verfahren zum Härten von Weichholzschnellen für Eisenbahn-, insbesondere Baggergleise. 14. V. 35.
- Kl. 49 h, Gr. 35/02. K 152 950. Erfinder: Dr.-Ing. Wilh. Püngel, Dortmund. Anmelder: Kohle- und Eisenforschung G. m. b. H., Düsseldorf. Verfahren zur Herstellung von widerstandsgeschweißten Bauteilen aus Stahl. 29. XII. 38.
- Kl. 72 g, Gr. 3/01. F 84 742. Erfinder, zugleich Anmelder: Willi Faller, Berlin-Friedenau. Geschoß- und splittersicheres Schutzgitter. 29. III. 38.
- Kl. 84 a, Gr. 3/07. D 75 122. Erfinder: Josef Beinecke, Dortmund-Wambel. Anmelder: Dortmunder Union Brückenbau-Akt.-Ges., Dortmund. Triebstockgelenkzahnstange zum Antrieb von Schützenwehren und ähnlichen Wasserverschlüssen. 19. IV. 37. Österreich.
- Kl. 85 c, Gr. 3/01. M 138 964. Erfinder, zugleich Anmelder: Erwin Mater, Schaffhausen, Schweiz; Vertr.: Dr. E. Müller, Pat.-Anw., Berlin-Tempelhof. Verfahren und Vorrichtung zur biologischen Reinigung von vorgeklärtem Abwasser. 16. VIII. 37. Schweiz. 18. VIII. 36.