

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 123/124 (1944)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen  
**Autor:** Frey-Baer, Otto  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-54026>

#### **Nutzungsbedingungen**

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

#### **Conditions d'utilisation**

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

#### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 03.02.2026

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

INHALT: Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen. — Holzerzeugung und Holztransport bei pfleglicher Waldwirtschaft. — Wettbewerb für ein Primarschulhaus auf dem Felsberg in Luzern. — Gasforschung und Gasverwertung. — Eine nichtgehaltene G. E. P.-Banketterede. — Mitteilungen: Akademischer Fortbildungskurs und Jubiläums-Generalversammlung der G. E. P. Generalversammlungen des S. E. V. und V. S. E. Marseille-Rotterdam en chaland ... Rêve, utopie? Eidg. Tech-

nische Hochschule. Die wirtschaftlichste Eisenbahntrasse einer Gebirgsüberquerung. Zementierung. Schweizerische Vereinigung für Gesundheitstechnik. Bauten aus Eisenbeton-Fertigteilen. Schweiz. Azetylen-Verein. Kunstmuseum Zürich. — Wettbewerbe: Schlachthof in Olten. Ortsgestaltung von Männedorf. Ortsplanungs-Wettbewerb Frauenfeld. Schulhaus mit Turnhalle «im Gute», Zürich. — Necrologie: Friedrich Brändle. Albert Kuhn. — Literatur. — Vortragskalender.

## Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen

Von Dipl. Ing. OTTO FREY-BAER, Baden

Das Problem der Dimensionierung von Stollenauskleidungen ist nicht neu. Eingehende Untersuchungen wurden bereits für Druckschächte ausgeführt, deren hoher Innendruck eine Blechpanzerung erforderte. Aber auch bei Druckstollen mit kleinerem Innendruck bis zu 150 m Wassersäule kann aus verschiedenen Gründen eine Betonauskleidung erforderlich sein, wobei jedoch an den Beton einer solchen Auskleidung wesentlich grössere Anforderungen gestellt werden müssen als an den Beton eines gepanzerten Querschnittes, bei dem die Dichtungsaufgabe von der Panzerung übernommen wird. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen sollen, sind die in einer einfachen Betonauskleidung auftretenden Spannungen je nach dem durchfahrenden Gebirge ganz beträchtlich, sodass es grosse Schwierigkeiten verursacht, absolut rissfrei zu konstruieren. Die Rolle, die eine allfällige Rundesenarmierung im Kräftespiel eines solchen Stollenquerschnittes übernimmt, ist besonderer Beachtung wert.

Wie bei allen unseren Berechnungen sind wir auch beim vorliegenden Problem auf gewisse Annahmen angewiesen, die von den tatsächlichen Verhältnissen mehr oder weniger abweichen. Beispielsweise müssen wir voraussetzen, dass das Gebirge ein homogener, elastischer Körper sei. Wie schon mehrfach in Stollen ausgeführte Elastizitätsmessungen gezeigt haben, ist diese Annahme nicht so roh, wie es auf den ersten Blick scheint, sie hält jedenfalls einem Vergleich mit den im Betonbau üblichen Annahmen durchaus stand. Hier wie dort sind in unseren Resultaten die Stellen nach dem Komma weniger wichtig; wir müssen vielmehr bestrebt sein, die zu erwartenden ungünstigen Verhältnisse in richtigem Masse zu berücksichtigen.

### 1. Theoretische Grundlagen

Das Hooke'sche Gesetz gilt für Beton nur angenähert, für Granit jedoch ist die Abweichung von diesem Gesetz noch beträchtlicher. C. Bach<sup>1)</sup> hat für Granit gefunden:

$$\text{Druck: } -50,0 < \sigma < 0 \text{ kg/cm}^2 \quad \varepsilon = \frac{1}{250\,000} \sigma^{1,132}$$

$$\text{Zug: } 0 < \sigma < 21 \text{ kg/cm}^2 \quad \varepsilon = \frac{1}{235\,000} \sigma^{1,374}$$

Da diese Beziehungen zwischen Spannung und spezifischer Dehnung je nach Felsqualität wiederum gewissen Schwankungen unterworfen sind, muss zur Vereinfachung sowohl für den Beton als auch für den Fels das Hooke'sche Gesetz angewendet werden.

Als Berechnungsgrundlage dient die Theorie für dickwandige Rohre, wie sie z. B. in Föppl, Technische Mechanik, III. Band, Festigkeitslehre, § 58 der 12. Auflage, dargestellt ist.

Wir bezeichnen mit:

$u$  = elastische Vergrösserung des Radius  $x$ ;

$\varepsilon_t$  = spez. Dehnung in tangentialer Richtung;

$\varepsilon_r$  = spez. Dehnung in radialer Richtung.

Da die Länge eines Kreisumfangs proportional mit dem Radius wächst, ist  $\varepsilon_t = \frac{u}{x}$ . Die Grösse eines Elementes in radialer Richtung nach erfolgter Formänderung ist  $dx + \frac{du}{dx} dx$

und die entsprechende spez. Dehnung beträgt somit  $\varepsilon_r = \frac{du}{dx}$ .

Gemäss dem erweiterten Hooke'schen Gesetze ist:

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} (\sigma_t - \frac{1}{m} \sigma_r) \quad \varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \frac{1}{m} \sigma_t)$$

$m$  = Poisson'sche Zahl

Durch Auflösen dieser beiden Gleichungen und Einsetzen der oben gefundenen Werte für  $\varepsilon_t$  und  $\varepsilon_r$  erhalten wir:

<sup>1)</sup> C. Bach: «Elastizität und Festigkeit»; 8. Auflage, Seite 90.

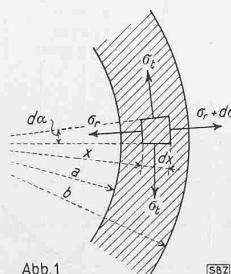


Abb. 1

SBZ

$$\sigma_t = \frac{m E}{m^2 - 1} \left( m \frac{u}{x} + \frac{du}{dx} \right)$$

$$\sigma_r = \frac{m E}{m^2 - 1} \left( m \frac{du}{dx} + \frac{u}{x} \right)$$

Werden nun an einem Element mit den Grössen in radialer Richtung von  $dx$  und in tangentialer Richtung von  $xd\alpha$  und  $(x + dx)d\alpha$  die Seitenkräfte angebracht und in radialer Richtung die Gleichgewichtsbedingung angeschrieben, ergibt sich die Gleichung

$$x^2 \frac{d^2 u}{dx^2} + x \frac{du}{dx} - u = 0$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung lautet:

$$u = Bx + \frac{C}{x}$$

Die beiden Integrationskonstanten  $B$  und  $C$  müssen jeweils mittels der Randbedingungen berechnet werden.

### 2. Berechnung des Elastizitätsmoduls des Gebirges

Der  $E$ -Modul des Gebirges ist in der Regel kleiner als derjenige eines Handstückes vom gleichen Material. Um den  $E$ -Modul der Stollenwandung in einem bestimmten Querschnitt einwandfrei feststellen zu können, ist es unerlässlich, in diesem Querschnitt Dehnungsmessungen vorzunehmen. Es wird daher vorausgesetzt, dass die Radiusvergrösserung  $u$  bei einem erzeugten Innendruck  $p_i$  bekannt ist. Der Radius des Ausbruch-Profiles sei  $b$ , der Außenradius des «dickwandigen Rohres» unendlich. Die Randbedingungen zur Berechnung der Integrationskonstanten lauten somit:

$$x = \infty : (\sigma_r)^{x=\infty} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$x = b : (\sigma_r)^{x=b} = -p_i \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Aus der Bedingung (1) ergibt sich  $m \frac{du}{dx} + \frac{u}{x} = 0$ . Darin bedeuten  $u = Bx + \frac{C}{x}$  und  $\frac{du}{dx} = B - \frac{C}{x^2}$ . Setzt man diese Werte für  $u$  und  $\frac{du}{dx}$  ein, so erhalten wir

$$mB + B = 0; \quad B = 0$$

Die zweite Bedingung lautet:

$$-p_i = \frac{m E}{m^2 - 1} \left( -m \frac{C}{b^2} + \frac{C}{b^2} \right) = \frac{m E}{m^2 - 1} \frac{1 - m}{b^2} C$$

$$C = p_i b^2 \frac{m + 1}{m E}$$

$$(u)^{x=b} = \frac{C}{b} = \frac{p_i b (m + 1)}{m E}$$

$$E = \frac{p_i b (m + 1)}{u m}$$

Darin bedeuten:

$p_i$  = Innerer Wasserdruk

$b$  = Radius des Stollenprofils

$u$  = Längenänderung des Radius (Vergrösserung positiv, Verkleinerung negativ)

$m$  = Poisson'sche Konstante  $\approx 6$

Eine kürzlich ausgeführte Dehnungsmessung in einem Stollen von 2,40 m Ø hat bei einem Innendruck von 10 kg/cm<sup>2</sup> ein  $u = 0,01875$  cm ergeben. Damit konnte der  $E$ -Modul des Felsens sehr einfach ermittelt werden:

$$E = \frac{10 \cdot 120}{0,01875} \cdot \frac{7}{6} = 75\,000 \text{ kg/cm}^2$$

### 3. Spannungen im unverkleideten Felsmantel bei Innendruck

Bei der Berechnung des  $E$ -Moduls des Felsmantels hat sich ergeben:

$$B = 0 \quad C = p_i b^2 \frac{(m + 1)}{m E}$$

Damit lassen sich die Spannungen leicht berechnen:

$$u = B x + \frac{C}{x} = p_i - \frac{b^2(m+1)}{m E x}$$

$$\frac{du}{dx} = B - \frac{C}{x^2} = -p_i \frac{b^2(m+1)}{m E x^2}$$

$$\underline{\underline{\sigma_t}} = \frac{m E}{m^2 - 1} \left( m \frac{u}{x} + \frac{du}{dx} \right) = p_i \frac{a^2}{x^2}$$

$$\underline{\underline{\sigma_r}} = \frac{m E}{m^2 - 1} \left( m \frac{du}{dx} + \frac{u}{x} \right) = -p_i \frac{a^2}{x^2}$$

Somit sind in allen Punkten des Felsmantels die Tangential- und Radialspannungen in ihren absoluten Werten gleich, besitzen aber umgekehrte Vorzeichen. An der Stollenleibung erreichen sie ihr Maximum in der Grösse des Innendruckes. Das heisst aber, dass die uns besonders interessierenden tangentialen Zugbeanspruchungen bei einem Innendruck von 100 m Wassersäule 10 kg/cm<sup>2</sup> betragen, ein Wert, der jedem gesunden Gebirge ohne weiteres zugemutet werden darf.

#### 4. Unarmierte Betonauskleidung bei Innendruck

Sei es, dass das Gebirge trotz gutem elastischem Verhalten untragbare Wasserverluste zeigt oder dass es wirtschaftlich ist, den Rauhigkeitskoeffizient zu verbessern, wird man sich entschliessen, den Stollen mit einer einfachen Betonauskleidung zu versehen. Solange der Beton keine Risse parallel zur Stollenaxe aufweist, wird er sich an der Aufnahme des Innendruckes im Massen seines elastischen Verformungsvermögens mitbeteiligen. Ist der Beton gerissen, dient er nur zur Uebertragung der radialen Druckspannungen auf den Fels, von dem die Tangentialspannungen allein übernommen werden können.

Wir nehmen nun an, dass der Beton nicht gerissen sei und überall satt am Felsen anliege und berechnen die Spannungen die im Beton und im Felsmantel auftreten.

*Beton:*

Bezeichnungen:

$u^B$  = Radialverschiebung eines Betonelementes

$x$  = Radius des betrachteten Elementes

$E_B$  = Elastizitätsmodul des Betons

$\sigma_t^B$  und  $\sigma_r^B$  = Tangential- bzw. Radialspannung im Beton

$B_B$  und  $C_B$  = Integrationskonstanten im Betonbereich

$$u^B = B_B x + \frac{C_B}{x} \quad \frac{du^B}{dx} = B_B - \frac{C_B}{x^2}$$

$$\sigma_t^B = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left( m \frac{u}{x} + \frac{du}{dx} \right) = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B(m+1) + \frac{C_B}{x^2}(m-1) \right]$$

$$\sigma_r^B = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left( m \frac{du}{dx} + \frac{u}{x} \right) = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B(m+1) - \frac{C_B}{x^2}(m-1) \right]$$

*Fels:*

$u^F$  = Radialverschiebung eines Felselementes

$x$  = Radius des betrachteten Felselementes

$E_F$  = Elastizitätsmodul des Felsens

$\sigma_t^F$  und  $\sigma_r^F$  = Tangential- bzw. Radialspannung im Felsen

$B_F$  und  $C_F$  = Integrationskonstanten im Felsbereich

$$u^F = B_F x + \frac{C_F}{x} \quad \frac{du^F}{dx} = B_F - \frac{C_F}{x^2}$$

$$\sigma_t^F = \frac{m E_F}{m^2 - 1} \left( m \frac{u}{x} + \frac{du}{dx} \right) = \frac{m E_F}{m^2 - 1} \left[ B_F(m+1) + \frac{C_F}{x^2}(m-1) \right]$$

$$\sigma_r^F = \frac{m E_F}{m^2 - 1} \left( m \frac{du}{dx} + \frac{u}{x} \right) = \frac{m E_F}{m^2 - 1} \left[ B_F(m+1) - \frac{C_F}{x^2}(m-1) \right]$$

Mittels der vier Randbedingungen müssen nun vorerst die vier Integrationskonstanten  $B_B$ ,  $B_F$ ,  $C_B$  und  $C_F$  bestimmt werden.

$$(\sigma_r^F)_{x=\infty} = 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$(\sigma_r^F)_{x=b} = (\sigma_r^B)_{x=b} \quad \dots \quad (2)$$

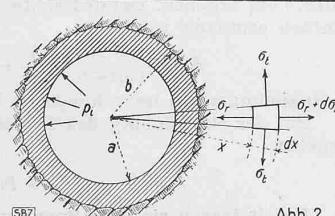


Abb. 2

$$(\sigma_r^B)_{x=a} = -p_i \quad \dots \quad (3)$$

$$(\sigma_r^B)_{x=b} = (\sigma_r^F)_{x=b} \quad \dots \quad (4)$$

$$\frac{m E_F}{m^2 - 1} \left[ B_F(m+1) - 0 \right] = 0 \quad \dots \quad (1)$$

$$\frac{m E_F}{m^2 - 1} \left[ B_F(m+1) - \frac{C_F}{b^2}(m-1) \right] =$$

$$= \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B(m+1) - \frac{C_B}{b^2}(m-1) \right] \quad \dots \quad (2)$$

$$\frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B(m+1) - \frac{C_B}{a^2}(m-1) \right] = -p_i \quad \dots \quad (3)$$

$$B_B b + \frac{C_B}{b} = B_F b + \frac{C_F}{b} \quad \dots \quad (4)$$

Aus diesen letzten vier Gleichungen sind mit Leichtigkeit die vier Unbekannten zu berechnen. Da es sich um eine rein algebraische Operation handelt, können wir uns die Ausführung ersparen und wenden uns, da nun sofort die Spannungen berechnet werden können, einem Beispiel zu.

Es sei:

$$a = 100 \text{ cm} \quad b = 120 \text{ cm} \quad p_i = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad m = 6$$

$$E_B = 200000 \text{ kg/cm}^2 \quad E_F = 75000 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{in Abschnitt 2 berechnet})$$

$$B_F = 0 \quad C_F = +1,199$$

$$B_B = +0,00002165 \quad C_B = +0,887$$

$$(\sigma_t^B)_{x=a} = +20,4 \text{ kg/cm}^2 \quad (\sigma_r^B)_{x=a} = -10,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_t^B)_{x=b} = +15,8 \text{ kg/cm}^2 \quad (\sigma_r^B)_{x=b} = -5,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_t^F)_{x=b} = -(\sigma_r^F)_{x=b} = +5,4 \text{ kg/cm}^2$$

Diese Spannungen sind in Abb. 3 grafisch dargestellt.

Die tangentialen Betonzugspannungen von 20 kg/cm<sup>2</sup> infolge Innendruck erreicht den Bereich der Betonzugfestigkeit. Wenn man an die zusätzlichen Temperaturspannungen denkt, kann mit Sicherheit angenommen werden, dass der Beton reißt. Trotzdem dies für den Beton eine charakteristische Eigenschaft ist, gibt dies im Wasserbau zu Bedenken Anlass und man ist versucht, diese Zugspannungen mittels einer Armierung herabzusetzen. Vorerst soll jedoch noch gezeigt werden, welche Werte die uns am meisten interessierenden tangentialen Zugspannungen

$$(\sigma_t^B)_{x=a} \text{ und } (\sigma_t^F)_{x=b}$$

bei verschiedenen Elastizitätsmoduli des Felsmantels annehmen.

Wir benützen dazu wiederum den obigen Stollenquerschnitt und lassen den  $E$ -Modul des Felsens von 200000 kg/cm<sup>2</sup> bis auf Null sinken.

Es ist aus Abb. 4 ersichtlich, dass bei einer guten Felsqualität mit einem  $E$  von 200000 kg/cm<sup>2</sup> die Betonzugspannung bei 100 m Wassersäule Innendruck 10 kg/cm<sup>2</sup> beträgt, welche Spannung einem guten Beton noch zugemutet werden darf. Zudem ist die Durchmesserdehnung sehr klein, sodass Risse, die z. B. in Arbeitsfugen

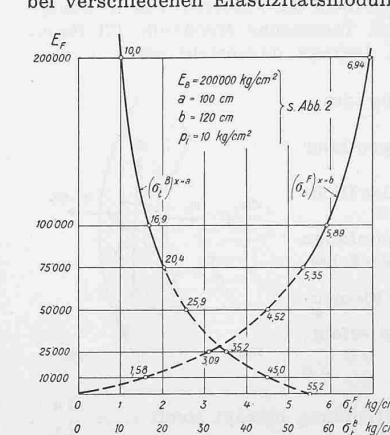


Abb. 4

aufreten können, keine schädlichen Wasserverluste zur Folge hätten.

#### 5. Armierte Betonauskleidung bei Innendruck

Wie sich bei der Berechnung der unarmierten Betonauskleidung gezeigt hat, erreichen die tangentialen Zugspannungen im Beton Werte, die ein Reissen des Betons vermuten lassen. Es

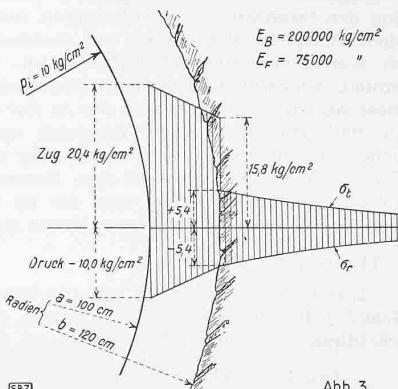


Abb. 3

wird nun von besonderem Interesse sein, zu untersuchen, wie stark diese Zugspannungen im Beton mittels einer Armierung reduziert werden können und wie stark dabei die Armierung beansprucht wird. Anschliessend soll dann noch die Spannungsberechnung durchgeführt werden unter der Annahme, dass der Beton eine grosse Anzahl radialer Risse aufweise.

#### a) Beton nicht gerissen

Wir müssen voraussetzen, dass der Zusammenhang zwischen Beton und Fels einerseits und Beton und Rundseisen andererseits nicht gestört sei. Um die Rechnung nicht unnötig beschwerlich zu gestalten, wird zudem die vereinfachende Annahme getroffen, dass der Radius der Armierung gleich dem Innenradius der Betonauskleidung sei ( $a$  in Abb. 5).

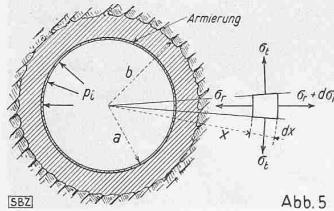


Abb. 5

An der Uebernahme des Innendruckes beteiligen sich nun kraft ihres elastischen

Verformungsvermögens nebst dem Beton und dem Felsmantel auch die Rundseisen, die wir uns über die Stollenlänge gleichmässig verteilt denken. Diesem Zusammenspiel müssen wir

beim Ansatz der Randbedingungen Rechnung tragen. Für den Verlauf der Spannungen im Beton und im Felsen können jedoch wieder die allgemeinen Ausgangsgleichungen wie bisher benutzt werden:

#### Beton:

$$\sigma_t^B = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B (m + 1) + \frac{C_B}{x^2} (m - 1) \right]$$

$$\sigma_r^B = \frac{m E_B}{m^2 - 1} \left[ B_B (m + 1) - \frac{C_B}{x^2} (m - 1) \right]$$

$$u^B = B_B x + \frac{C_B}{x}$$

#### Fels:

Durch die Bedingung, dass  $(\sigma_r^F)^x=\infty = 0$  sein muss, wird die Integrationskonstante  $B_F = 0$ . Die Grundgleichungen lauten daher in der vereinfachten Form

$$\sigma_t^F = \frac{m E_F}{(m + 1) x^2} C_F = -\sigma_r^F$$

$$u^F = \frac{C_F}{x}$$

#### Armierung:

$u^A$  = Radialverschiebung der Armierung

$\sigma_e$  = Eisenspannung (tangential)

$\sigma_r^A$  = radiale Eisenspannung

$E_e$  = Elast.-Modul des Eisens

$F_e$  = Querschnitt des Eisens pro Einheit der Stollenlänge

#### Randbedingungen:

$$(\sigma_r^F)^x=b = (\sigma_r^B)^x=b \quad \dots \quad (1)$$

$$(\sigma_r^B)^x=a - \sigma_r^A = -p_i \quad \dots \quad (2)$$

$$(u^B)^x=b = (u^F)^x=b \quad \dots \quad (3)$$

Vorerst bedarf die Gleichung (2) noch einiger Erläuterungen, da der Wert der Spannung  $\sigma_r^A$  noch unbekannt ist. Wir wissen nur, dass sie durch die Anspannung der Eisen nach innen auf den Beton und daher der Betondruckspannung entgegenwirkt. Nun ist aber

$$(u^B)^x=a = u^A$$

$$\text{und } (u^B)^x=a = B_B a + \frac{C_B}{a}$$

$$u^A = \frac{a \sigma_e}{E_e}$$

Daraus ergibt sich

$$\sigma_e = \frac{E_e}{a} \left( B_B a + \frac{C_B}{a} \right)$$

Nach der Kesselformel ist  $\sigma_e = \frac{a \sigma_r^A}{F_e}$

Wenn wir diese Ausdrücke für  $\sigma_e$  einander gleichsetzen, und nach  $\sigma_r^A$  auflösen, erhalten wir

$$\sigma_r^A = \frac{E_e F_e}{a^2} \left( B_B a + \frac{C_B}{a} \right)$$

Damit können wir zur Bestimmung der Integrationskonstanten übergehen:

$$C_F = \frac{E_B}{E_F} C_B - \frac{b^2 E_B (m + 1)}{E_F (m - 1)} B_B \quad \dots \quad (1)$$

$$B_B \left( \frac{m E_B}{m - 1} - \frac{E_e F_e}{a} \right) - C_B \left[ \frac{m E_B}{(m + 1) a^2} + \frac{E_e F_e}{a^3} \right] = -P_i \quad (2)$$

$$C_F = E_B b^2 + C_B \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

Auch hier dürfen wir uns die algebraische Darstellung der Unbekannten  $B_B$ ,  $C_B$  und  $C_F$  ersparen, umso mehr als im gegebenen Falle durch Einsetzen der bekannten Zahlenwerte die Arbeit stark erleichtert wird. Als Beispiel diene wiederum der in den vorhergehenden Kapiteln untersuchte Stollenquerschnitt,

$$a = 100 \text{ cm} \quad b = 120 \text{ cm} \quad p_i = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad m = 6$$

$$E_e = 2100000 \text{ kg/cm}^2 \quad E_B = 200000 \text{ kg/cm}^2$$

$E_F$  und  $F_e$  seien variabel, wobei jedoch zu beachten ist, dass der Eisenquerschnitt pro cm Stollenlänge eingeführt wird.

Durch Berechnung der Unbekannten  $B_B$ ,  $C_B$  und  $C_F$  für verschiedene Werte von  $E_F$  und  $F_e$  und nachheriges Einsetzen in die Spannungsgleichungen wurde der Verlauf der Tangentialspannung im Beton an der Inneneinbung und der Verlauf der Eisenspannung erhalten, wie er in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt ist.

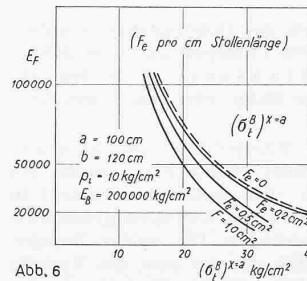


Abb. 6

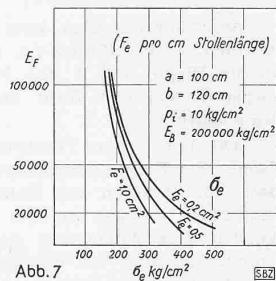


Abb. 7

Es gehen aus den Diagrammen folgende zwei Tatsachen mit aller wünschbaren Deutlichkeit hervor: Die Armierung kann bei weitem nicht ausgenutzt werden. Als zweites muss festgestellt werden, dass die tangentiale Zugspannung im Beton durch die Armierung ganz unwesentlich vermindert wird, sodass trotz der Bewehrung mit dem Reissen des Betons gerechnet werden muss. (Schluss folgt)

## Holzerzeugung und Holztransport bei pfleglicher Waldwirtschaft

Von Prof. Dr. H. KNUCHEL, Abteilung für Forstwirtschaft a. d. E.T.H.

(Schluss von Seite 176)

### 3. Holzrüstung, Holztransport und Transporteinrichtungen

Eine verfeinerte Waldwirtschaft kann nur bei sehr guter Aufschliessung der Wälder durch Strassen, Schleifwege und andere Transporteinrichtungen getrieben werden, die gestalten, jederzeit und überall Bäume der verschiedensten Grössklassen zu fällen und abzutransportieren. Die Aufschliessung unserer Wälder ist in den letzten Jahrzehnten ungemein gefördert worden, zum Teil mit Unterstützung des Bundes. Alle Projekte werden sorgfältig geprüft, und es werden Beiträge nur für gut angelegte Transporteinrichtungen gewährt. Im Laufe der Zeit wurden Erfahrungen gesammelt, die beim Bau neuer Transporteinrichtungen zu berücksichtigen sind. Es seien hier nur einige forstliche Gesichtspunkte berührt.

Aus den Schlägen wird das Holz zunächst an die Wege oder auf Sammelplätze geschleift. Man nennt das Rücken. An den Wegen werden aus gleichartigen Stücken Lose gebildet, was man Sortieren nennt. Es folgt die Schlagaufnahme, durch die das Holz von der Verwaltung übernommen wird; sie ist verbunden mit der Kontrolle der Rüstung und der Maße, sowie mit der Schätzung des Wertes jeder Verkaufsnr. Dann werden die Maßlisten erstellt und das Holz zum Verkauf ausgeschrieben. Mit Ausnahme des Papierholzes und gelegentlich auch anderer Sortimente wird das Holz in den Wäldern des Mittelalpens und des Jura ab Wald verkauft, d. h. die Preise verstehen sich für im Schlag liegendes oder an die Wege und auf Lagerplätze gerücktes Holz. Im Gebirge werden die Rüstung und Beifahrer meist an Akkordanten vergeben, und die Preise verstehen sich dann ab Lagerplatz der Talstation.