

Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens

Autor(en): **Schmid, H. / Sattler, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83/84 (1924)**

Heft 14

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-82770>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

der Hausfrau das Sauberhalten des Haupteingangs erleichtert wird. Sehr gemütlich ist das grosse Wohnzimmer, dessen wirklich benutzbare, geräumige Kamin-Nische der geistige und geometrische Mittelpunkt des Hauses ist; diese zentrale Feuerstelle temperiert das ganze Haus, im Winter brennt sie Tag und Nacht. Der Bauherr entschloss sich für die offene Feuerung, weil er der Ofenwärme vor der Zentralheizung den Vorzug gibt. Nicht ganz so glücklich erscheint der Obergeschoss-Grundriss, wo die Stellung zweier Betten etwas improvisiert aussieht. Auch wird hier eine weitere Heizgelegenheit von den Bewohnern gelegentlich vermisst. Im Aeussern geben die einspringenden Winkel willkommenen Schutz vor dem Wind, und Gelegenheit, den Sonnenschein restlos zu geniessen, sie ersetzen damit Balkone und Veranden, was der Geschlossenheit des Baukörpers zugute kommt (Abb. 8). Der Garten konnte inzwischen gegen Südwesten so weit erweitert werden, dass dem Hause eine gute Besonnung für alle Zeit gesichert bleibt.

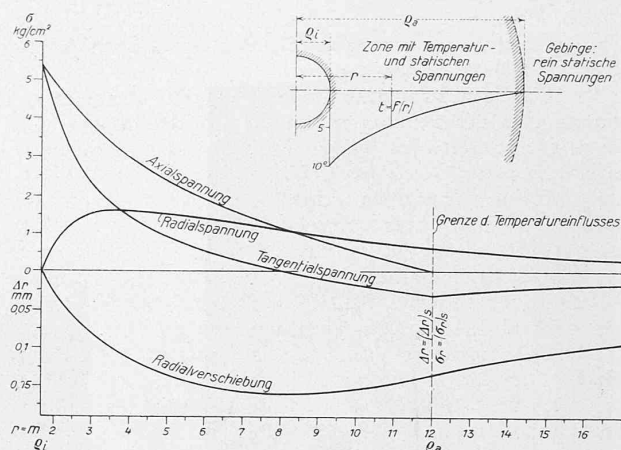
Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens.

In Nr. 23 der „S. B. Z.“ vom 8. Dezember vorigen Jahres veröffentlicht Herr Dipl.-Ingenieur W. Sattler ein Verfahren zur angenäherten Ermittlung der bei Druckstollen infolge von Temperaturänderungen auftretenden Durchmesser- und Radialverschiebungen. Der Verfasser wird hierbei zu dem Schluss geführt, dass sich infolge der winterlichen Abkühlung des Betriebswassers Verschiebungen der Stollenwandungen nach aussen hin (bergeinwärts) einstellen, deren zahlenmässige Grösse sich auf einige Zehntelmillimeter beziffern dürfte.

Seit geraumer Zeit beschäftigt auch mich das Problem der in der Umgebung solcher unterirdisch erschlossener Hohlräume auftretenden Kräfteverteilung. In diesem Zusammenhang mag es daher nicht ohne Interesse sein, ein aus etwas weitem Gesichtspunkten und auf Grund der Elastizitätslehre gewonnenes Resultat dem Ergebnis der Ableitung Sattlers vergleichsweise gegenüberzustellen. Doch kann hier natürlich nicht der Ort sein, die an sich komplizierte Materie in aller Ausführlichkeit und erschöpfend wiederzugeben. Ich beschränke mich daher darauf, den im Rahmen dieses Vergleiches interessierenden Sonderfall in aller Kürze darzulegen und das Wesentliche des Ergebnisses hervorzuheben. — Zu dem von Sattler angegebenen Näherungsverfahren sei vorgängig noch das Folgende bemerkt:

Durch die in dem konkreten Falle ungleichförmigen und partiellen Temperaturwirkungen gerät die von Wärmeschwankungen berührte Felszone in einen kombinierten Zustand von Temperatur- und statischen Spannungen. Diesen genau oder angenähert ermittelten Spannungszuständen sind die in Erscheinung tretenden Verschiebungen zuzuschreiben. Bei aufmerksamer Betrachtung des von Sattler vorgeschlagenen Rechnungsverfahrens wirft sich aber unwillkürlich die Frage auf, ob der Verfasser in der Vernachlässigung dieser Spannungszustände nicht etwas zu weit gegangen sei? Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass die in tangentialer Richtung wirkende Spannung das m -fache des Wertes der Radialspannung aufweisen müsste, sollte sie in der Lage sein, die durch letztgenannte verursachte Radialdehnung vollständig zu kompensieren.

Innerhalb der Betrachtungsweise des genannten Verfassers beläuft sich jedoch das fragliche Verhältnis nur auf einen Bruchteil des erforderlichen, nämlich $\frac{m+1}{m}$. Hieraus aber wäre zu schliessen, dass die, bei freier Beweglichkeit des von Temperaturspannungen beeinflussten Fels-Hohlzylinders entstehenden Verschiebungen, durch die statischen Spannungen wenigstens zum Teil wieder rückgängig gemacht würden. Des weitern bleibt bei der Wahl dieses approximativen Rechnungsganges die in Richtung der Stollenaxe gehinderte Verschieblichkeit nicht ohne Einfluss auf das



Schlussresultat. Die aber überdies noch bestehenden Eigenspannungen in den einzelnen Felsringen würden unter Umständen auch ein nach diesen Gesichtspunkten behandeltes Näherungsverfahren wieder illusorisch machen. — Es darf daher nicht verwundern, wenn das aus der Elastizitätslehre hervorgehende Resultat in etwelchen Widerspruch zu dem des vorbesprochenen Näherungsverfahrens zu stehen kommt.

Als Voraussetzungen hierzu kommen, ausser den in der Elastizitätslehre allgemein üblichen, in Betracht: 1. ein axensymmetrischer Spannungszustand, der sich unter der Herrschaft einer beliebigen Temperaturkurve $t = f(r)$ herausbildet, und 2. eine in Richtung der Stollenaxe an das lineare Gesetz gebundene Verschiebung $\Delta z = a \cdot z + b$. Ausserdem sei die Radialverschiebung Δr von z unabhängig. Damit werden die ersten zwei der elastischen Grundgleichungen in Zylinderkoordinaten (vergl. beispielsweise Föppl, „Technische Mechanik“, Band V, 1920, Seite 239), die für den Fall von Temperaturänderungen bestehen, identisch erfüllt. Von der letzten in Bezug auf die Radialverschiebung verbleibt:

$$\frac{d}{dr} \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (r \cdot \Delta r) \right\} = \frac{(m+1)}{(m-1)} \cdot a \cdot \frac{dt}{dr}$$

und aus ihr folgt durch einmalige Integration

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (r \cdot \Delta r) = \frac{(m+1)}{(m-1)} \cdot a \cdot t + 2A$$

Wird diese Gleichung nunmehr unter Einführung der, gemäss Voraussetzung ganz beliebigen Funktion $t = f(r)$ vollständig integriert, so ergibt sich

$$\Delta r = \frac{(m+1)}{(m-1)} \cdot \frac{a}{r} \cdot F(r) + A \cdot r + \frac{B}{r},$$

worin hier und fortan $\int r \cdot f(r) \cdot dr$ mit $F(r)$ bezeichnet werden soll. Dieser Verschiebung entspricht insbesondere die Radialspannung

$$\sigma_r = 2G \left\{ \frac{m}{m-2} \cdot A - \frac{B}{r^2} - \frac{m+1}{m-1} \cdot \frac{a}{r^2} \cdot F(r) + \frac{a}{m-2} \right\}$$

σ_t und σ_z zeigen ähnliche Ausdrücke; die Schubspannung τ ist naturgemäss gleich Null.

Das anstossende Gebirge unterliegt einem rein statischen, ebenfalls axensymmetrischen Spannungszustande, der nachstehendem Ansatz genügt: $(\sigma_r)_s = \frac{C}{r^2}$; $(\Delta r)_s = -\frac{C}{2Gr}$. Der andauernd bestehende innige Kontakt zwischen dem durch die Temperaturunterschiede in Mitleidenschaft gezogenen Felszylinder und dem übrigen Gebirge fixiert dann die Grenzverhältnisse wie folgt:

$$r = q_i: \sigma_r = 0; \quad r = q_a: \sigma_r = (\sigma_r)_s, \quad \Delta r = (\Delta r)_s,$$

woraus die Konstanten A und B bestimmt werden zu

$$A = -\frac{a}{2(m-1)}; \quad B = \frac{1}{m-1} \left\{ \frac{a}{2} \cdot q_i^2 - (m+1) a \cdot F(q_i) \right\}$$

somit

$$\Delta r = \frac{1}{m-1} \cdot \frac{1}{r} \left\{ (m+1) \cdot a \left[F(r) - F(q_i) \right] - \frac{a}{2} (r^2 - q_i^2) \right\}$$

oder $(\Delta r)_{r=q_i} = 0$.

Die hieraus hervorgehenden Spannungen und Verschiebungen sind in der nebenstehend beigefügten Abbildung grundsätzlich wiedergegeben.

Es zeigt sich also, dass die als Folge der Temperatur-Spannungen in Erscheinung tretenden Verschiebungen sich *weder ganz noch teilweise an der Peripherie des Hohraumes vollziehen, sondern schon im Gebirgsinnern ihre volle Auswirkung finden*. Inwiefern natürlich in Wirklichkeit die Inhomogenität und Anisotropie namentlich der Schichtgesteine zu Abweichungen Anlass geben können, lässt sich hier weiter nicht beurteilen. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass auch in jenen Fällen die Durchmesser-Verschiebungen sich als geringfügig erweisen werden.

Diese Tatsache ist für eine Mauerwerks-Auskleidung — namentlich bei Druckstollen — von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Da niedrigere Temperaturen bei längerer Einwirkung (3 bis 5 Monate) sich bis tief in das Gebirge hinein fühlbar machen können, und zwar bis zu Tiefen, die das fünffache Mass des innern Durchmessers sehr wohl zu überschreiten vermögen, so müssten nach dem zu Beginn erwähnten Annäherungsverfahren Beanspruchungen in der Verkleidung auftreten, denen diese nicht mehr gewachsen wäre.

Für den Fall des dort angeführten Beispiels berechnen sich bei einer 20 cm starken Betonverkleidung mit $\rho_i = 1,30$ m, $\rho_a = 1,50$ m, $m_B = 8$, $E_B = 150000$ kg/cm², $m_F = 10$, $E_F = 60000$ kg/cm², $\Delta r = 0,16$ mm, die radiale Zugspannung der äussern Peripherie zu 1,75 kg/cm² und daher $(\sigma_i)_{\rho_i} = 14$ kg/cm². Mit zunehmender Widerstandsfähigkeit des Felsens, d. h. mit wachsendem E_F , wird das Resultat ungünstiger.

Hierzu gesellen sich noch Eigenspannungen im Beton selbst und solche, die durch die Schwinderscheinung und die statischen Verhältnisse gegeben sind. Unter solchen Umständen müsste wohl allgemein eine reine Mauerwerks-Auskleidung, die bei Druckstollen ja in erster Linie die Dichthaltung der Stollenwandungen gewährleisten soll, als ein zur Erfüllung dieses Zweckes recht fragwürdiges Mittel angesprochen werden.

Das vorstehende Resultat aber zerstreut diese Bedenken wieder einigermaßen, indem eine Temperaturbeanspruchung des Mauerwerks lediglich durch die Stärke seiner eigenen Wandung und den in ihr vorhandenen Temperaturabfall bedingt ist. Dies unabhängig davon, wie weit der Wärmezug in das Gebirge hinein fortgeschritten ist und welcher Gesetzmässigkeit die dadurch hervorgerufene Temperaturverteilung auch unterstehen mag.

Chur, 4. Februar 1924.

H. Schmid, Ing.

Den vorstehenden Aeusserungen des Herrn Ingenieur H. Schmid ist als wesentliches Moment zu entnehmen, dass er annimmt, der Stollen sei in der Längsrichtung, d. h. in Richtung der Stollenaxe vollkommen eingespannt und zwar sowohl das Gestein, als auch die Betonröhre. Infolge dieser Längseinspannung rechnet Schmid mit einem dreiaxigen Spannungszustand und gelangt hierbei zum Ergebnis, dass wegen dieser Längseinspannung eine Vergrösserung des lichten Durchmessers eines unverkleideten Stollens infolge der Abkühlung der Stollenwand nicht auftritt. Diese Vergrösserung des lichten Stollendurchmessers soll durch starke Spannungen im Gestein, worunter auch starke Axialspannungen angeführt sind, verhindert werden.

Im Gegensatz dazu habe ich in meinen Berechnungs-Annahmen die Voraussetzung gemacht, dass keine Längseinspannung bestehe, obwohl dies streng genommen nicht richtig ist. Diese Annahme ergibt eine stärkere Beanspruchung des Beton; bei den vorläufig noch unangeklärten Voraussetzungen und auch unvollkommenen Beobachtungen erscheint mir meine Annahme die vorsichtigeren. Ich gebe gerne zu, dass die Behandlung des Problems vom dreiaxigen Spannungszustand aus, d. h. unter der Annahme einer vollkommenen Längseinspannung, äusserst interessant und auch wertvoll ist, obwohl mich das von Schmid gefundene Resultat etwas überrascht.

Aus den nur auszugsweise und sehr gedrängt gegebenen mathematischen Angaben des Einsenders sind indessen die Grundlagen und Voraussetzungen seiner Berechnung zu wenig ersichtlich, als dass ich mich über deren Zulässigkeit aussprechen könnte und ich behalte mir vor, darauf näher einzutreten, wenn einmal diese notwendigen grundsätzlichen Voraussetzungen aus ausführlicheren Darstellungen erkennbar sein werden. Vorläufig habe ich den Eindruck, dass diese Voraussetzungen wie das von Schmid gefundene Resultat mit den tatsächlichen Verhältnissen nicht recht übereinstimmen.

Zürich, 16. Februar 1924.

W. Sattler.

*

Nachschrift. Die von Ingenieur Sattler gegebene Ausdeutung obigen Schlussresultates lässt mich erkennen, dass er leider gerade den Schwerpunkt meiner Ausführungen, der in einem von Einzelheiten unabhängigen Ergebnis zu erblicken ist, übersehen hat. Um Missverständnissen zuvorzukommen, kann ich nicht umhin, noch besonders zu betonen, dass die meiner Ableitung zu Grunde liegenden Voraussetzungen, deren unter Alinea 5 in einem, für die klare Umschreibung des Problems genügenden Umfange Erwähnung getan wurde, der Axialspannung σ_z durch *keine* Beschränkung auferlegen. Entspricht einer vollkommenen Einspannung $\Delta z = 0$ der Koeffizientenwert $a = 0$, so kann man andererseits der Oberflächenforderung $\sigma_z = 0$ durch passende Formulierung der *selben* Konstanten Genüge tun (vergl. hierüber ausführl. Föppl V, 1920, S. 243/244). Der Ansatz für das rein statisch beanspruchte Gebirge gibt unveränderlich, und unbeachtet der Dehnungsverhältnisse nach der Stollenaxe, als Spannung $\sigma_z = 0$. Das beigefügte Diagramm bezieht sich allerdings auf Verhältnisse im Gebirgsinnern; das Ergebnis für die Durchmesser-verschiebung bleibt aber, wie sein Ausdruck hierfür beweist, von den dem Problem im besondern zustehenden Konstantenwerten a stets unangetastet.

Chur, 16. März 1924.

H. Schmid.

Die Richtigkeit der Voraussetzungen und des Ergebnisses der mathematischen Behandlung des Problems nach Ing. Schmid lässt sich, trotz seines Nachsatzes, aus den kurzen auszugsweisen Darlegungen nicht genügend erkennen oder prüfen. Doch wäre es vielleicht von Interesse, wenn er seine angedeutete Behandlung des Druckstollenproblems, von der der vorliegende Abschnitt offenbar nur einen kleinen, aus dem Zusammenhang herausgerissenen Abschnitt bedeutet, in vollständigem Umfang ausführlich darstellen würde. Bis dahin erübrigt sich aber meines Erachtens eine weitere Diskussion.

Zürich, 21. März 1924.

W. Sattler.

Damit schliessen auch wir den Meinungsaustausch an dieser Stelle.

Die Redaktion.

Zur Frage des Architekten-Doktorgrades.

Nicht dass diese Frage bei uns brennender wäre, als an irgend einer anderen Hochschule, die diesen Titel verleiht: er ist überall ein Sorgenkind; mehr noch, eine Gefahr, und das mag die folgenden Betrachtungen rechtfertigen. Denn es ist gewiss besser, wenn wir Architekten diese delikaten Fragen selber aufröhlen, als dass wir warten, bis uns von aussen her, etwa vonseiten der Universitäten oder vonseiten der rein technischen Abteilungen Technischer Hochschulen diese Dinge gesagt werden, die schliesslich eben von irgend jemandem gesagt werden müssen.

Denn dieser Doktorgrad, ganz im Prinzipiellen, ist eine Verlegenheit. Er ist nicht aus einem Bedürfnis entstanden, sondern aus Analogie, aus Prestige-Gründen. Im wilhelminischen Deutschland, dem titelsüchtigen, hat es angefangen: die Professoren der Technischen Hochschulen wollten an Rang den Geheimräten der Universitäten nicht nachstehen, der Polytechniker beanspruchte in der Gesellschaft den selben schönen Titel wie der Mediziner und Jurist, der die selbe Anzahl von Semestern studiert hat und so wurde der „Dr.-Ing.“ erfunden, wie man aus Prestige- und Reklame-Gründen etwa noch die phantastischen Titelkentauren „Handels-