

# Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit

Autor(en): **Wiesmann, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **53/54 (1909)**

Heft 13

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28119>

## **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.

wandt erscheinen, die der Eisenhochbau hervorbrachte. Deshalb wird gern die Steingotik zum Vergleich mit den modernen Eisenkonstruktionen herangezogen und eine geistige Verwandtschaft konstatiert, die weder dem Material nach, noch überhaupt in der künstlerischen Absicht besteht. Allerdings hat es den Anschein, als ob in der Gotik mit den baukünstlerischen Prinzipien der Materialfülle und der kompakten Raumumschliessung gebrochen würde und im Wege der Entmaterialisierung eine Art von konstruktivem Gerüststil der, ähnlich wie in der Eisenarchitektur, den Raum nicht durch Flächen umschliesst, sondern nur durch Linien umschreibt, entstehen würde. Dieser Vergleich erfährt auch dadurch eine Stütze, dass, ähnlich wie im heutigen Glashausbau, auch in den gotischen Kathedralen die Füllungen zwischen den dünn aufstrebenden Pfeilern und Rippen aus Glas bestanden haben. Wobei allerdings nicht zu vergessen ist, dass in den gotischen Kathedralen farbiges Glas, in den modernen Glaseisenbauten jedoch durchsichtiges Klarglas zur Verwendung gekommen ist.

Dieser Vergleich hinkt natürlich auf mehr als einem Bein. Er beweist nur den fundamentalen Irrtum, der immer wieder entsteht, wenn die Eisenarchitektur durch die Brille der Baukunst angesehen wird, einer verwirrten Aesthetik zufolge, die für die modernen Konstruktionen Entschuldigungen und Rechtfertigungen sucht und froh ist, den einen oder andern Kompromiss entdeckt zu haben.

(Schluss folgt.)

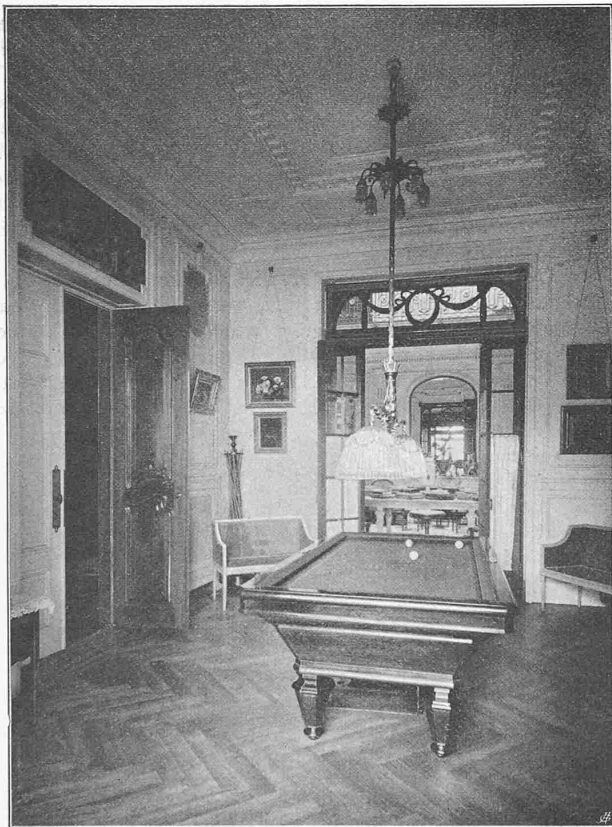


Abb. 11. Billardzimmer in der Villa J. D.-B.

## Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit.

Von E. Wiesmann, Ingenieur.

Anlässlich des Baues grosser Alpentunnels, wie Gotthard und Simplon, wurde die Frage aufgeworfen, wie sich der Gebirgsdruck in grossen Tiefen verhalte und wie er sich auf die Bauwerke im Innern der Gebirge äussere.

Von Seite der Geologen wird auf den grossen, nach Art der Flüssigkeiten wirkenden Druck, der selbst ein

Schliessen der unterirdischen Hohlräume bewirken könne, hingewiesen<sup>1)</sup>, während von technischer Seite mit Recht geltend gemacht wird, dass eine derartige Aeusserung so grosser Pressungen nicht wahrzunehmen sei.<sup>2)</sup>

In dieser Frage wird die sogenannte Gesteinsfestigkeit ins Treffen geführt und an der Hand der allgemein anerkannten Druckfestigkeitskoeffizienten nachgewiesen, dass das Gestein so grosse Druckspannungen, wie sie vom vollen



Abb. 10. Kabinett der Villa J. D.-B. Blick gegen Norden.

Gewicht der Ueberlagerungen herrühren sollten, gar nicht aufzunehmen im Stande wäre. Nur dadurch, dass wir die uns geläufigen Ansichten über die Druckfestigkeit der Gesteine aufgeben und so umgestalten, dass wir daraus eine Reihe von Erscheinungen im Verhalten gepresster Körper verstehen können, wird es möglich sein, für die scheinbar sich widersprechenden Erscheinungen im Innern der Gebirge eine Erklärung zu finden, die den Ansichten sowohl der Geologen, als auch der Techniker gerecht werden dürfte. Die Festigkeitslehre, der wir z. T. den hohen Stand des Bauwesens in technischer Hinsicht verdanken, sollte noch soweit ausgebaut werden, dass sie auch in Bezug auf das Walten der gigantischen Kräfte beim Entstehen und Bestehen der Gebirge Anwendung finden könnte.

Damit gehen wir über zu Kapitel

### I. Gesteinsfestigkeit.

Von einer Gesteinsart werde beispielsweise der Druckfestigkeitskoeffizient  $\sigma_d$  (bis zur Bruchgrenze) zu  $1000 \text{ kg/cm}^2$  angegeben. Diese Zahl sei von würfelförmigen Probekörpern von  $10 \text{ cm}$  Seitenlänge abgeleitet, indem diese unter einem Gesamtdrucke von  $10 \times 10 \times 1000 = 100\,000 \text{ kg}$  zusammenbrachen. Folglich sollte man meinen, ein Würfel aus gleichem Material von  $20 \text{ cm}$  Seitenlänge müsste unter

<sup>1)</sup> «Der Mechanismus der Gebirgsbildung» von A. Heim 1879.

<sup>2)</sup> «Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Bau des Simplontunnels» von Karl Brandau, «Schweiz. Bauztg.», Band LIII, Nr. 1, 2, 6 und 7.

einem genau viermal so grossen Gesamtdruck zusammenbrechen. Würde man nun Probekörper (ganz gleiches und homogenes Material vorausgesetzt) von 1 bis  $2 m^3$  pressen, so ergäbe sich ein viel grösserer Festigkeitskoeffizient. Dazu wäre aber eine Probepresse von so riesigen Abmessungen nötig, dass sich derartige Versuche kaum durchführen liessen. Man schlage deshalb einmal den umgekehrten Weg ein und nehme an ganz kleinen Probewürfeln (immer von homogenem, äusserst feinkörnigem Material), bei einem Kubikmillimeter beginnend und allmählich aufsteigend, Druckproben vor. Man wird finden, dass die kleinen Körper im Verhältnis zur Druckfläche der Zertrümmerung durch Druck oder Schlag viel weniger Widerstand entgegensetzen als grosse, dass also die in  $kg/cm^2$  ausgedrückte Druckfestigkeit  $\sigma_d$  gar kein absoluter Wert ist.<sup>1)</sup> Aus der Art und Weise, wie ein bis zum Bruch gedrückter Probekörper zerfällt, zeigt sich, dass die im Innern gelegenen Massenteilchen den Druck anders aufnehmen, als diejenigen an der Peripherie, sonst stellte sich nicht immer die gleichgeformte Bruchlinie (Abb. 1) ein, vielmehr würde der Körper gleichmässig in sich selbst zerfallen.

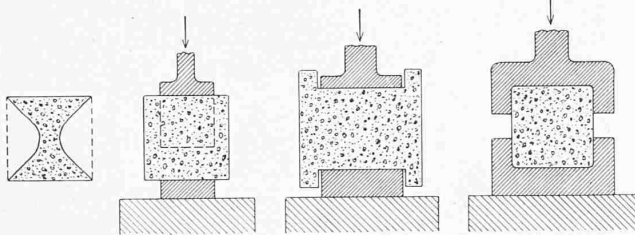


Abb. 1

Abb. 2.

Abb. 3.

Abb. 4.

Ein Probewürfel von 10 cm Seitenlänge werde zwischen zwei quadratischen Platten von nur 6 cm Seitenlänge (Abb. 2) bis zum Bruch gepresst. Es wird sich in Bezug auf die Druckfläche  $6 \times 6 cm^2$  ein grösseres  $\sigma_d$  ergeben, als wenn der Körper auf die gebräuchliche Art eingespannt worden wäre. Desgleichen zeigen die in Abbildung 3 und 4 dargestellten Pressverfahren eine Zunahme der Druckfestigkeit. Ganz natürlich, könnte man antworten, denn es stehen die Körper 2, 3 und 4 unter ganz andern Verhältnissen als Nr. 1. Folgerichtig würde es heissen: „Man hat den Festigkeitskoeffizienten günstig beeinflusst“. Und er lässt sich auch beeinflussen, also ist er nicht eine bestimmte Eigenschaft des Materials allein, sondern noch etwas mehr.

Ein anderes Beispiel: Bei einem Probewürfel aus Zementmörtel sei die Mischung so dosiert worden, dass ihm eine Druckfestigkeit von  $200 kg/cm^2$  zukomme. Nun werde er an einer Sondierungsleine in ein Meer von 7000 m Tiefe, wo natürlich eine Pressung von  $700 kg/cm^2$  herrscht, versenkt. Der Körper wird diesen Druck ruhig aushalten und es wird sich überdies herausstellen, wenn er wieder an die Oberfläche gebracht wird, dass seine ursprüngliche Druckfestigkeit in keiner Weise gelitten hat. Dieses Experiment lässt sich natürlich viel einfacher ausführen, indem wir den Körper in den Zylinder einer hydraulischen Presse bringen. Dort können wir ihn, ohne dass er irgendwie leidet, viel grösseren Pressungen als 700 at aussetzen.

Und wie gross ist die Druckfestigkeit des Wassers? Selbstverständlich null. Und doch kann man in der hydraulischen Presse durch Wasser ganz immense Pressungen übertragen, und doch trägt das Wasser, ohne sich zu verändern, im tiefsten Meere die ungeheure Last des darüberliegenden Wassers.

Geradeso wie ein Probekörper im Wasserzylinder einer hydraulischen Presse verhält sich ein alleseitig eingeschlossenes und eingespanntes Massenteilchen des Gesteins im Innern eines Berges. Ohne dass seine Struktur beeinflusst wird, kann es ganz ungeheure Pressungen aufnehmen.

<sup>1)</sup> Vergl. auch *Bauschinger*, Experimentelle Untersuchungen über die Gesetze der Druckfestigkeit. München 1876.

Sein Widerstand wächst mit dem Druck: Im vollen Sinn des Wortes *rückwirkende Festigkeit*. Wir dürfen daher den Satz aufstellen:

*Die spezifische Druckfestigkeit ist nicht eine blosse Eigenschaft eines Gesteins, sondern zugleich eine Funktion seiner Dimensionen und für die einzelnen Massenteilchen eine Funktion der Lage, mit einem Wort eine komplexe Grösse.*

Bei den dehnbaren Materialien, vornehmlich Metallen, verhält es sich etwas anders. Dort ist die Druckfestigkeit in gewissem Sinne das Umgekehrte der Zugfestigkeit, die gleiche mit  $-1$  multiplizierte Grösse.

## II. Ablenkung der Kraftlinien.

Man denke sich einen schweren, homogenen, sehr langen Balken von durchgehend gleichem Querschnitt auf einer grossen Anzahl gleich beschaffener, aequidistanter Stützen in der Weise gelagert, dass jede Stütze den gleichen Anteil am Gewicht des Balkens trägt. Nun werde eine Stütze entfernt. Dann wird der Druck, der vorher auf diese Stütze entfiel, auf die beiden nächstliegenden übertragen. Diese werden durch den vermehrten Druck etwas zusammengepresst, sie weichen dem Drucke aus, wodurch die nächstfolgenden ebenfalls, wenn auch in etwas geringerem Masse, in Mitleidenschaft gezogen werden. So geht es, stets abnehmend, weiter bis zu einem Punkt, wo keine Druckzunahme mehr zu verspüren ist. Ähnlich verhält es sich im Innern des Gebirges, wenn da ein Hohlraum geschaffen wird. Weil die ausgebrochenen Materialteile keinen Widerstand mehr leisten, so wird der Druck, den sie vorher aufnahmen, auf die Umgebung übertragen. Die Teile an der Peripherie des Hohlraumes weichen dem Drucke aus, weil die Vorlagerung fehlt. Sie nehmen gar keinen oder nur wenig Druck auf. *Diesem Ausweichen braucht nur eine minimale Bewegung zu Grunde zu liegen*, genau wie in einer hydraulischen Presse der Druck stark abnimmt, wenn der Druckkolben nur eine unmessbar kleine Strecke zurückweicht.

Der Druck, sagen wir bildlich die Kraftlinien (Abb. 5) schreiten nach dem Innern fort, woselbst die Teile nach Massgabe der Vorlagerung stärker belastet werden können. Die Verschiebung der Kraftlinien wird bewirkt durch die Kohäsion, z. T. auch durch die Reibung der vorgelagerten Massenteilchen, welche die Reaktionskräfte aufnehmen und deren Wirkung summieren.

Um den Hohlraum herum entsteht eine druckfreie Zone oder zum mindesten eine solche von verminderter Spannung und es wird sich zwischen der neuen Lage der Kraftlinien und der Summe der Reaktionen der Massenteilchen ein Gleichgewichtszustand herstellen, so dass keine Ten-

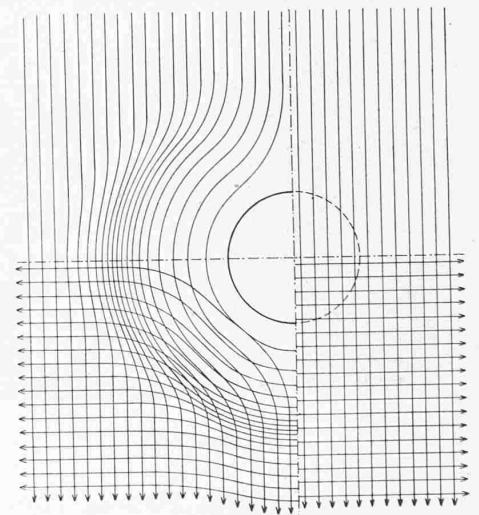


Abbildung 5.

denz vorhanden sein wird, den Hohlraum wieder zu schliessen. *Der Tunnelbauer hat also im Innern des Berges ein Stück Erdoberfläche geschaffen, wo sich die Gesteine, nachdem sie von dem ungeheuern Gebirgsdruck befreit worden sind, so verhalten, wie die gleiche Art oben auf der Erde.*

Im linken obern Viertel von Abbildung 5 ist der Vorgang nur für vertikal gerichtete Kräfte dargestellt. Da

aber die gleichen Spannungen auch seitlich auftreten, so ist der linke untere Quadrant in dieser Weise ergänzt. Denkt man sich allseitigen hydrostatischen Druck, so wären solche Kraftlinien in allen Richtungen zu ziehen. Einfacher gestaltet sich das Bild in Abbildung 6, wo die Ab- und Zunahme der Spannungen durch die Entfernung einer Art Niveaulinien von einander ausgedrückt wird.

Ein Druck im Innern im Verhältnis der Ueberlagerung herrscht ohne Zweifel, weil ja das Untere das Obere tragen muss und von diesem gepresst wird. Der Druck muss sich allseitig ausbreiten, wie in einer Flüssigkeit, darin haben die Geologen recht, meines Erachtens tritt der allseitige Druck sogar schon in mässigen Tiefen auf; aber das Gestein kann infolge der Kohäsion (eventuell auch Reibung) die Kraftlinien dauernd ablenken, eine Flüssigkeit kann das nicht. Dieser Umstand wurde nicht genügend berücksichtigt. An der Oberfläche der Gebirge, an seitlichen Hängen sind die Kraftlinien vertikal oder mehr oder weniger parallel zu den natürlichen Böschungen gerichtet. Mit dem Vordringen nach dem Innern nehmen dann die seitlichen Pressungen zu, bis in einer gewissen Entfernung von der Oberfläche allseitiger „hydrostatischer“ Druck hergestellt ist, aber ohne dass die Gebirgsmassen das Bestreben zeigen müssten seitlich auszuweichen. Auch hier sind es Kohäsion und Reibung, die diesen allmählichen Uebergang ermöglichen.

### III. Anwendungen und Schlussgedanken.

Der in den Abbildungen 5 und 6 dargestellte einfache Verlauf der Kraftlinien gilt nur für homogenes Gestein. Wenn in diesem die Kohäsion nicht vorher schon zerstört worden ist, so braucht die Reibung nicht hinzutreten. Wo hingegen Blätterung, Zerknitterung usw. den natürlichen Zusammenhang des Materials aufgehoben hat, muss die Reibung die Ablenkung der Kraftlinien bewirken. Durch Einbau oder Ausmauerung wird für die Schubkräfte (Reaktionen), deren Wirkung sich mit dem Fortschreiten nach dem Innern summiert, ein Stützpunkt geschaffen, sodass es gelingt, den Hohlraum mit verhältnismässig geringen Mitteln gegen Einbruch zu sichern. An der Sohle finden die ausweichenden Kräfte in der Schwere des Materials schon einen Stützpunkt, deshalb kommt man in den meisten Fällen ohne Sohlengewölbe aus. Die sog. Berg-

Basis gegeben, so entstehen sichtbare Bewegungen (Rutschungen), die so lange andauern, bis die Kräfte im Innern eine sichere Unterlage gefunden haben. So stellt sich jedes diesbezügliche Vorkommnis im Tunnel als ein Spezialfall des oben Gesagten dar, indem die Kraftlinien nur umso weiter ausweichen müssen, je nachgiebiger wegen Schichtung, Blätterung usw. das Material ist. Sie nehmen eine andere Form an je nach der lokalen Beschaffenheit des Gesteins; sie geben uns davon ein richtiges Bild und umgekehrt. In Zonen, wo sich das Gestein vom Gebirgsdruck befreit hat, unterscheidet sich dieses in seinem Verhalten nicht von dem an der Erdoberfläche. Gibt das Material in vertikalem Sinne nach und finden die ausweichenden Spannungen nirgends Halt, so geht das Nachstürzen fort, bis an der Erdoberfläche Tagebrüche eintreten. Alles dies gilt auch für den Bergbau im Allgemeinen, obgleich es sich dort um Hohlräume von viel grösserer Ausdehnung handelt. Man begreift nun die Schwierigkeiten, die sich bergmännischen Arbeiten entgegenstellen können, wenn im gelockerten, zerknitterten Gestein noch Wasser hinzutritt und wir so ohne jegliche Hilfe von Kohäsion und Reibung den Kampf mit den widerstrebenden Kräften aufnehmen müssen. Dieser ist auch ziemlich aussichtslos, wenn es uns nicht gelingt, durch Wasserentzug jene Hilfskräfte zu neuer Tätigkeit zu erwecken. Es kann aber keine Rede sein von einem „sich schliessen“ der Hohlräume, als ob das Material ein quellender Teig wäre, weil durch Nachstürzen nur ein hohler Raum an einer andern Stelle entstehen würde. Eine Ausnahme macht unter gewissen Umständen das sogenannte blähende Gebirge. Auch trifft man im Innern selbst sehr hoher Berge Drusen, Spalten, natürliche Hohlräume verschiedenster Form, die schon lang Zeit gehabt hätten, sich zu schliessen, wenn nicht um sie herum ein Gleichgewichtszustand herrschte.

Unter allseitigem Druck verändert sich das Gestein nicht, sondern nur, wenn unter einseitigem Druck und durch das Spiel von Drehmomenten Bewegung ausgelöst wird. Physikalische Veränderungen des Gesteins werden, kurz gesagt, nur hervorgerufen durch mechanische Arbeit.

### Elektrostahlofen System Girod.

Es dürfte als bekannt vorausgesetzt werden, dass die Herstellung von Stahlformguss in elektrischen Oefen bereits seit Jahren von mehreren Erfindern mit verschiedenem Erfolg betrieben wird. In der Hauptsache handelt es sich darum, geringwertiges Rohmaterial unter Abwesenheit von Kohle oder sonstigen Brennstoffen einzig vermittelt des elektrischen Stromes in flüssigen Zustand überzuführen, von den unerwünschten Beimischungen zu befreien und so dem Giesser einen hochwertigen flüssigen Stahl zu liefern, den er auf altgewohnte Weise in Sand- oder Lehmformen giessen kann. Der bis dahin zum grössten Teile aus dem Martinofen gewonnene Stahlguss vermag nicht allen Ansprüchen gerecht zu werden, indem seine Raffination eine unzulängliche ist, während die elektrischen Oefen im allgemeinen eine sozusagen völlige Reinigung des Einsatzes ermöglichen. Die verschiedenen Systeme lassen sich in zwei Gruppen teilen, in Induktionsöfen und in Lichtbogen-Widerstandsöfen. Als Erfinder der erstern sind zu nennen Kyellin und in neuerer Zeit Röchling-Rodenhauser, als Vertreter der andern Gruppe Héroult, Stassano und Girod. Jedes dieser Systeme hat seine besondern Vorzüge und ist mehr oder weniger für besondere Verhältnisse berechnet. Vielleicht bringen die nächsten Jahre etwelche Abklärung, doch ist wohl nie an ein einheitliches System zu denken, ganz abgesehen davon, dass die Aufgabe auf verschiedene Arten gelöst werden kann und dabei oft örtliche Verhältnisse oder ein besonderes Rohmaterial berücksichtigt werden müssen. Ohne auf eine Gegenüberstellung der verschiedenen Oefen einzutreten, die aus der Fachliteratur hinreichend bekannt sind, wollen wir hier das System Girod schildern, das in der Schweiz zuerst praktische Anwendung gefunden hat.

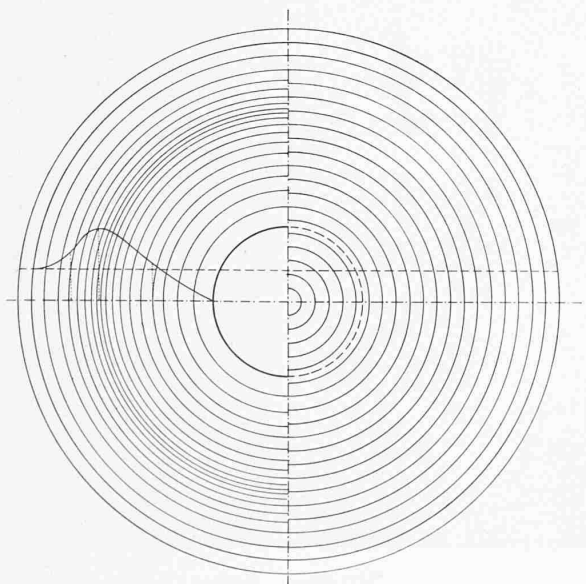


Abbildung 6.

schläge sind ein hör- und sichtbares Zeichen für das Wandern der Spannungen, entsprechend dem „Brennen der Fugen“ und Abblättern der Kanten bei überlastetem Mauerwerk. Kommt man mit dem Einbau oder der Ausmauerung zu spät, d. h. wird dem nur durch Reibung zusammengehaltenen Material nicht rechtzeitig eine feste

Bd. LV Nr. 2  
596.