



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300777

# Bautechnische Gesteinsuntersuchungen

Mitteilungen aus dem Mineralog.-verlog. Institut  
der Königl. Technischen Hochschule Berlin

Prof. Dr. J. Hirschwald

II Jahrgang 1911

BERLIN  
VERLAG VON HERBOLDT BORNTRÄGER

x  
1.586





J.X.46/1911

# Bautechnische Gesteinsuntersuchungen

Mitteilungen aus dem Mineralog.-geolog. Institut  
der Kgl. Technischen Hochschule Berlin

Herausgegeben

von

**Prof. Dr. J. Hirschwald**

Geheimer Regierungsrat

**II. Jahrgang 1911**

Heft 1 12



III 7c  
II 540

**BERLIN**

**VERLAG VON GEBRÜDER BORNTRAEGER**

W 35 Schöneberger Ufer 12a

1911



III 18027

F.X. 46/1911



nr inw. 1844

Akc. Nr. 1788/52

# Inhalt

---

1. Systematische Untersuchung der Gesteins-Materialien alter Bauwerke. 2. Die Verwitterung am Otto-Heinrichs-Bau des Heidelberger Schlosses . . . . .	1
2. Über die Einwirkung von Traß- und Zementmörtel auf natürliche Bausteine . . . . .	23
3. Ein Beitrag zur Petrographie des Trasses und zur Erklärung seiner hydraulischen Wirkungsweise . . . . .	34
4. Über die Auslaugung langsam abbindender Traßmörtel bei ihrer Verwendung zu Wasserbauten . . . . .	45
5. Kleinere Mitteilungen: Die Untersuchung der verschiedenen Gesteinsarten auf ihren Wert als Straßenbaumaterial . . . . .	51

---

# Ortsverzeichnis

---

Aderstädt S. 30; Altenbeken, Anröchte S. 31; Asse, Beesenlaubingen S. 30; Bell S. 35; Berkum S. 30, 31; Bernburg S. 30; Betheln S. 31; Bielefeld S. 30; Brohltal S. 27, 34, 38; Bürvenich S. 31; Cornelimünster S. 30; Doornik S. 46; Elmgebirge S. 31; Ettringen S. 35; Eupen S. 30; Fallersleben S. 31; Gänsehals S. 35; Gerolstein, Goslar, Grössa, Hainberg S. 30; Heidelberg S. 3; Heilbronn S. 3; Hellenberg S. 31; Herdringen S. 30; Hotteln S. 31; Hottensen S. 30; Hullersen S. 31; Hypstedt, Kammerforstberg S. 30; Kauffungen S. 29; Kempenich S. 35; Kretz S. 34; Krappiz S. 31; Kunzendorf S. 29; Kruft S. 34; Laer S. 31; Lengefeld S. 31; Limburg S. 29; Mariengarten S. 31; Mayen S. 35; Neckartal S. 3; Nettetal S. 26, 34, 36; Neudietendorf, Nienburg S. 31; Oese, Pallien S. 30; Plaidt S. 36, 38; Pontelsberg S. 30; Pozzuoli S. 39; Raeren, Rainberg S. 30; Rieden S. 35, 37, 39; Rittershausen, Röddel S. 30; Roßdorf, Rotenkirchen, Rüdersdorf, Savonnières S. 31; Schloßchenkopf S. 30; Schöncken S. 29; Sonnenstein, Sülfeld S. 31; Udelfangen, Vienenburg S. 30; Wanzleben S. 31; Weibern S. 39; Wenden, Weimar, Westerburg S. 31.

---

## Druckfehlerberichtigung:

S. 29, Fußnote, lies: S. 45 u. f. statt S. 23 u. f.



# Systematische Untersuchung der Gesteins-Materialien alter Bauwerke

## 2. Die Verwitterung am Otto-Heinrichs-Bau des Heidelberger Schlosses

von

J. Hirschwald

„Die Geschichte des Heidelberger Schlosses „zerfällt in zwei Hauptperioden: die der Erbauung und die der Zerstörung. Jahrhunderte „haben an ihm geschaffen, Jahrhunderte haben „daran zerstört. Denn nicht allein den Katastrophen des Dreißigjährigen und des Orléansschen Krieges, sowie dem Brande von 1764 „ist die Zerstörung der großartigen Bauanlage „zuzuschreiben; der Zahn der Zeit nagt fort „und fort an den Palästen und Mauern, den „Türmen und Wällen des ehrwürdigen Herrscher-sitzes von Kurpfalz. Eine dritte Periode ist „angebrochen: die der Erhaltung oder Restau-„ration.“

So schreibt A. von Oechelhäuser in seinem bau- und kunstgeschichtlichen Führer „Das Heidelberger Schloß“.

Wenn man als Entstehungszeit des Baues die Mitte des XV. Jahrhunderts annimmt, so dürften einzelne Teile, wie z. B. die innere Umfassungsmauer, an welche der Ruprechts-Bau sich anlehnt, bereits mehrere Jahrzehnte früher entstanden sein, während der Otto-Heinrichs-

Bau aus der Mitte des XVI. Jahrhunderts stammt. Diese Perle im Kranz der Schloßbauten, wie man mit Recht den Otto-Heinrichs-Bau genannt hat, ist zugleich das Schmerzenskind aller Freunde des Heidelberger Schlosses. Ohne Bedachung und ohne Querverbindungen ragt die überaus reich gegliederte und von zahlreichen Fensteröffnungen unterbrochene, westliche Fassade als freistehende Mauer empor, dem Wind und Wetter von allen Seiten preisgegeben.

Erst im Jahre 1883 begannen mit der durch die Großherzogl. Regierung, unter Zustimmung beider Kammern des Landes, getroffenen Einrichtung eines Schloßbaubureaus die planmäßigen Arbeiten, um auf Grund genauer Aufnahmen der einzelnen Teile ein Urteil über die zur Erhaltung des Bauwerks erforderlichen Maßnahmen zu gewinnen.

Nach Abschluß dieser, von den Bauräten J. Koch und F. Seitz ausgeführten Arbeiten, wurde im Jahre 1891 eine aus hervorragenden Fachmännern Deutschlands zusammengesetzte Kommission berufen, die sich über die weiteren

Maßnahmen zum Schutz des Schlosses zu äußern hatte. Das Ergebnis dieser Beratungen gipfelte in der Resolution, daß eine völlige oder teilweise Wiederherstellung des Schlosses außer Betracht zu bleiben habe, dagegen eine Erhaltung des jetzigen Zustandes mit allen Mitteln der Technik zu erstreben sei.

Die als Grundlage hierfür von dem Schloßbaubureau bereits ausgeführten umfangreichen Erhebungen erstreckten sich insbesondere auf die Untersuchung des Baugrundes, der Fundamente, der konstruktiven Festigkeit der Mauer- teile und der offensichtlichen Beschädigungen des Baugesteins durch Verwitterung.

Eine Ergänzung dieser Untersuchungen soll die vorliegende Arbeit liefern, welche die Feststellung der durch die Atmosphärien hervorgerufenen destruktiven Veränderungen des Gesteinsmaterials und des zeitlichen Fortschreitens der Verwitterung desselben zum Zweck hat.

Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Zerstörung des Baugesteins nicht durchweg als ein reiner Verwitterungsvorgang zu betrachten ist; daß vielmehr die infolge starker Zerklüftung der Pfeiler auftretenden ungleichmäßigen Druck-, Schub- und Knickwirkungen stellenweise eine erhebliche Steigerung der durch die Atmosphärien bewirkten Zermürbung des Materials zur Folge haben müssen. Es mag deshalb eine kurze Zusammenstellung der bisherigen Untersuchungsergebnisse über den konstruktiven Bestand des Bauwerks, soweit die betreffenden Verhältnisse für die statische Beanspruchung und Widerstandsfähigkeit des Materials in Betracht kommen, vorausgeschickt werden.

### 1. Der bauliche Zustand der Ruine<sup>1)</sup>.

Die seitens des Schloßbaubureaus unter Leitung von J. Koch und F. Seitz ausgeführten Untersuchungen und Aufnahmen hatten im allgemeinen folgendes Ergebnis:

<sup>1)</sup> Mit Benutzung des Werkes: J. Koch und F. Seitz „Das Heidelberger Schloß“, der Mitteilung von F. Seitz „Die Wiederherstellung des Heidelberger Schlosses, insbesondere des Otto-Heinrichs-Baues“, Deutsche Bauzeitung 1902 und der von dem Schloßbaubureau aufgenommenen Zeichnungen im Maßstabe von 1 : 40 bzw. 1 : 10.

1. Der Baugrund ist nach der stattgehabten Entwässerung als ein guter zu bezeichnen und auch die Fundamente befinden sich in angemessenem Zustand.
2. An der Hoffassade sind mehr als ein Drittel aller Steine in sehr erheblichem Maße in Verwitterung begriffen. So zeigen sich insbesondere der Triglyphenfries und die darunter liegenden Verdachungen der Fenster im Erdgeschoß fast gänzlich zerstört. Die Stockgurte sind an der Oberfläche aufgeblättert und vielfach außer jeder Form. Eine starke Verwitterung läßt ferner der Fries über dem ersten und zweiten Stock erkennen, sowie ein Teil der Fensterpfeiler und Abdeckungen, welche letztere, wie auch manche glatte Mauerquadern vertikal fortsetzende Zerklüftungen erkennen lassen. In beträchtlicher Verwitterung befinden sich auch die Gurtgesimse und die Fensterbekrönungen im 1. und 2. Stock.
3. An der Innenseite der Fassadenmauer zeigen die aus Werkstücken und zum Teil aus Ziegelmauerwerk bestehenden Pfeiler durchgängig eine mehr oder weniger starke vertikale Zerklüftung, die stellenweise gleichlaufend durch mehrere Quadern hindurchsetzt, was als Beweis betrachtet werden darf, daß diese Zerklüftung nicht den in früheren Jahrhunderten stattgehabten Bränden, sondern den ungleichen Druckwirkungen des Mauerwerks zuzuschreiben ist. Bezeichnend hierfür ist auch die Tatsache, daß in der Zeit zwischen den Aufnahmen im Jahre 1890 und 1905, Neubildungen von Rissen in den Fenstersturzquadern, Gesimsen und Friesen sämtlicher Geschosse, sowie Fugenerweiterungen zwischen den einzelnen Quadern bis in das Erdgeschoß hinab, festgestellt worden sind. Der Mörtel ist, wie namentlich an der Innenseite der Mauer erkennbar, stellenweise mürbe bis pulverig aufgelockert.
4. Die nördliche Hälfte der Fassadenmauer zeigt eine Ausbuchtung, die zur Zeit der Aufnahme zwar nicht bedenklich war, dennoch aber zur Folge hatte, daß das Gefüge der Mauerpfeiler im oberen Stockwerk, nament-

lich an dieser Stelle, gelockert ist, und die Fugen nach außen geöffnet sind.

Daß Bewegungen im Mauerwerk bereits früher stattgefunden haben, ergibt sich daraus, daß im vorigen Jahrhundert die Gewölbe eingeschlagen werden mußten, weil Schubwirkungen auf die Mauern bemerkbar waren.

Für die Beurteilung der Standhaftigkeit des Bauwerkes kommt ferner in Betracht, daß die freistehende Fassadenmauer auf ca.  $\frac{1}{5}$  ihrer Gesamtfläche von Fensteröffnungen unterbrochen wird; daß die durchgehenden, stark zerklüfteten Pfeiler nur eine Breite von 1 m und in den einzelnen Stockwerken eine Stärke von 1,15 m, 1,0 m bzw. 0,85 m haben, und daß die zerklüfteten Quadern zum Teil ohne feste Mörtelverbindung aufeinander liegen, stellenweise sogar gegeneinander verschoben sind.

Nach alledem läßt sich mit Sicherheit annehmen, daß innerhalb der freistehenden Mauer stetig Bewegungen stattfinden, die unter Einwirkung des Winddruckes zeitweise beträchtlich verstärkt werden müssen, so daß namentlich die durch Verwitterung in ihrer Festigkeit bereits beeinträchtigten Werkstücke, infolge der ungleichmäßigen Druck- und Knickwirkungen, einer gesteigerten Zermürbung unterworfen sind<sup>1)</sup>.

Welche strukturelle und substanzielle Veränderung das Gesteinsmaterial durch das Zusammenwirken der mechanischen Momente und der atmosphärischen Agentien im Laufe der Zeit erlitten hat, soll im folgenden durch eine Vergleichung der Mikrostruktur, substanziellen Zusammensetzung, Porosität und Festigkeit des ursprünglichen Materials mit der gegenwärtigen Beschaffenheit desselben im Bauwerk festgestellt werden.

<sup>1)</sup> Von Interesse wäre es, das Maß der stattfindenden Bewegungen des freistehenden Mauerwerks zu bestimmen, wie dies durch einen selbstregistrierenden Pendelapparat (Horizontalpendel), sowie durch Einspannen verschiebbarer Doppelröhren zwischen die Fensterwandungen zu ermöglichen sein würde.

## 2. Das Baumaterial.

Bekanntlich ist der Schloßbau aus rotem Buntsandstein des Neckartals errichtet, während der figürliche Schmuck aus gelbem Keupersandstein von Heilbronn besteht. Es wird angenommen, daß der rote Sandstein den ehemals hinter dem Schloß gelegenen, jetzt fast gänzlich verschütteten Brüchen entstammt<sup>1)</sup>. Von diesen Stellen war daher ausreichendes Material für die Untersuchung nicht zu gewinnen. Dagegen finden sich im Wallgraben des Schlosses, im sog. Stückgarten, nahe dem gesprengten „Dicken Turm“, gut erhaltene Werkstücke verschiedener Abänderungen des Gesteines, das im Innern noch vollkommen frisch erscheint und deshalb für den vorliegenden Zweck, neben den aus der Fassadenmauer entnommenen Probestücken, verwendet werden konnte. Da überdies der betreffende Sandstein in den zahlreichen, im unteren Neckartal aufgeschlossenen Brüchen eine übereinstimmende Ausbildung in den einzelnen Horizonten zeigt, so konnten auch diese Vorkommnisse zur Vergleichung herangezogen werden.

Im allgemeinen lassen sich unter den zum Otto-Heinrichs-Bau verwendeten Gesteinen folgende Abänderungen unterscheiden:

**Gestein I.** Sehr harter roter Sandstein ohne deutliche Schichtung, mit spärlichen Glimmerblättchen und vereinzelt Tongallen, ohne Sandlöcher. Körnung: 0,3—0,6 mm, untergeordnet 1,2—2,1 mm und zwar in aderförmiger Verteilung der verschiedenen Korngrößen; stellenweise Einschlüsse von 10—15 mm großen Quarzgeröllen. Vorherrschend feinporig; an den Stellen gröberer Körnung grobporig. S. Fig. 1 Seite 5.

**Gestein II.** Mittelharter bräunlichroter Sandstein, durch dunklere Lagen in Abständen von 8—20 mm sehr deutlich geschichtet, mit ziemlich reichlichen silbergrauen Glimmerblättchen und spärlichen Feldspatkörnchen; ohne Sandlöcher. Die Quarzkörnchen teils rötlich gefärbt und

<sup>1)</sup> Auf dem Gemälde des Schlosses von Jacob Focquier sind die alten Brüche hinter dem Schlosse und westlich davon deutlich erkennbar.

ziemlich stark pleromorph, teils weiß, von granulöser Struktur. Körnung: 0,2—0,5 mm in gleichmäßiger Verteilung. S. Fig. 3 Seite 7.

**Gestein III.** Mittelharter, in einzelnen Partien jedoch bröcklicher, bräunlichroter undeutlich geschichteter Sandstein, mit zahlreichen dunkelbraunen, auch weißen Sandlöchern von 5—15 mm, die stellenweise so dicht gehäuft sind, daß das Gestein kavernös erscheint. Auch finden sich weiße Flecken, von gleicher Festigkeit wie das rote Gestein und sehr reichlich rote Ton-schmitzen, nebst Glimmerblättchen auf den Schichtflächen. Die Quarzkörnchen teils rötlich gefärbt und schwach pleromorph, teils weiß, von granulöser Struktur. Korngröße 0,2—0,3 mm in ziemlich gleicher Verteilung. S. Fig. 5 Seite 9.

**Gestein IV.** Mittelharter roter Sandstein, ohne deutliche Schichtung, mit 3—4 mm großen, dunkel-gelbrot gefärbten Sandlöchern und unregelmäßigen, gelbroten Streifen. Die Quarzkörnchen teils rötlich gefärbt und sehr schwach pleromorph, teils weiß von granulöser Struktur; untergeordnet Körnchen von trübem Feldspat. Korngröße 0,2—0,24 (0,3) mm in ziemlich gleichmäßiger Verteilung. S. Fig. 7 Seite 12.

**Gestein V.** Mittelharter, intensiv rot gefärbter, dünnschichtiger Sandstein mit dunkleren

Schichtstreifen. Das Bindemittel ist teils rot, teils weiß und kaolinartig. Korngröße 0,12 bis 0,24 (0,3) mm. S. Fig. 9 Seite 13.

**Gestein VI.** Ziemlich weicher bis mittelharter, hellroter, feinkörniger Sandstein, sehr dünn geschichtet und ziemlich vollkommen schiefrig, mit stark tonigem Bindemittel und 2—4 mm großen, dunkelroten Sandlöchern. Die durch bräunliche Färbung markierten Schichtlagen haben eine Stärke von 0,5—1,5 mm. Korngröße 0,12—0,24 (0,3) mm. S. Fig. 11 Seite 14.

**Gestein VII.** Ziemlich harter, deutlich geschichteter, grobschiefriger Sandstein. Korngröße: 0,12—0,2 mm und 0,3—0,5 mm schichtenweise abwechselnd. Tonige Zwischenlagen mit verminderter Kornbindung in 4—9 mm weiten Abständen. S. Fig. 13 Seite 15.

**Gestein VIII.** Mittelharter, dunkelroter, undeutlich geschichteter Sandstein. Korngröße 0,24—0,4 mm. S. Fig. 15 Seite 16.

**Gestein IX.** Blaßroter, ungeschichteter, feinkörniger harter Sandstein mit weißen, kieseligen Flecken und gelblichen Sandlöchern. Korngröße: 0,09—0,15 mm. S. Fig. 17 Seite 17.

### 3. Vergleichende Untersuchung des Gesteinsmaterials in frischem und verwittertem Zustande.

#### Gestein I (s. Seite 3).

Verwendung: Ein Teil der Steine im Sockel der Hoffassade und in den Pfeilern der Rückwand.

#### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 1. Kieselige, feste Kornbindung; die Quarzkörnchen stark „pleromorph“ ausgebildet, z. T. zu vollständigen Kristallen ergänzt. Sehr spärliches „Porenzement“. Undeutliche Parallelstruktur. Typ: K.

#### B. Der Verwitterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 2. Das tonige Bindemittel in den Poren ist zum Teil ausgegagt; die vereinzelt auftretenden Feldspatkörnchen sind zersetzt; eine Lockerung der kieselig verwachsenen Quarzkörnchen ist nicht zu beobachten.

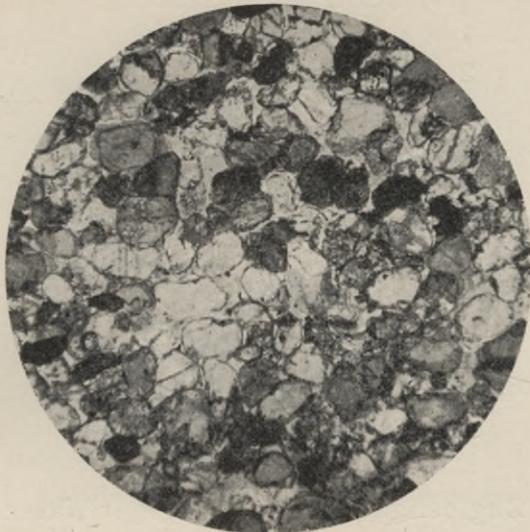


Fig. 1.

Bindungszahl  $Bz = 5 - 7$

Bindungsmaß  $Bm = 0,6 - 0,9$

In den lockeren Partien:

$Bz = 3 - 5$  und  $Bm = 0,5 - 0,7$ .

2. Wasseraufnahme<sup>1)</sup>.

$W_2 = 2,33\%$

$W_c = 5,11\%$

$P = 12,14$ .

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient

$S = 0,45$ .

Das Gestein ist demnach als durchaus frostbeständig zu bezeichnen.

3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro  $qcm^2$ ).

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	30,7 kg	} $M = 29,6$ .
2 . . . . .	30,0 "	
3 . . . . .	30,0 "	
4 . . . . .	27,7 "	
5 . . . . .	25,2 "	
6 . . . . .	24,6 "	



Fig. 2.

Anmerkung: Die dunkle Färbung einzelner Quarzkörner in Fig. 1 u. 2 beruht auf der Wirkung des polarisierten Lichts. Auch diese Körner erscheinen im gewöhnlichen Licht farblos und durchsichtig.

2. Wasseraufnahme.

$W_2 = 2,62\%$

$W_c = 5,73\%$

$P = 13,4$ .

Berechneter Sättigungskoeffizient

$S = 0,49$ .

Das Gestein kann somit auch in seinem gegenwärtigen Zustande noch als völlig frostbeständig erachtet werden.

3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro  $qcm$ .

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	27,4 kg	} $M = 26,9$ .
2 . . . . .	27,1 "	
3 . . . . .	26,8 "	
4 . . . . .	26,5 "	

<sup>1)</sup> Wasseraufnahme:  $W_2$  bei gewöhnlichem Druck,  $W_c$  im Kompressor bei 150 Atm.,  $P =$  Porosittskoeffizient.

<sup>2)</sup> ber die Zweckmäßigkeit einer Ersetzung der Druckfestigkeitsprüfung durch die Prüfung auf Zugfestigkeit für Wetterbestndigkeitsbestimmungen ist in dem Werke: Hirschwald, die Prüfung der natürlichen Bausteine usw. S. 169 das Nähere dargelegt worden. In dem vorliegenden Falle wäre allerdings auch die Feststellung der Druckfestigkeitsverminderung des verwitterten Gesteins von Interesse gewesen. Für derartige Untersuchungen war das erforderliche Material jedoch nicht zu erlangen. Übrigens käme eine solche Ergänzungsprüfung nur für die wenig verwitterten Gesteinsabnderungen in Frage. Die stärker verwitterten Steine sind bereits so mürbe, daß eine Druckfestigkeitsprüfung sich erubigt.

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	24,4 kg	} M = 23,7.
2 . . . . .	23,8 "	
3 . . . . .	23,6 "	
4 . . . . .	22,9 "	
5 . . . . .	15,4 "	
6 . . . . .	6,7 "	

Anmerkung: Die Zerreiflchen zu 5 und 6 zeigen bei größerer Körnung eine stark porige Ausbildung, wodurch sich die geringere Festigkeit erklärt.

Demnach berechnet sich die Kornbindungs-festigkeit, mit Ausschluß der Werte zu 5 und 6:

$$\zeta_r \perp = 60,0. \quad \zeta_r \parallel = 48,4.$$

4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasser-lagerung pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung.

1 . . . . .	27,6 kg	} M = 26,7.
2 . . . . .	27,5 "	
3 . . . . .	26,6 "	
4 . . . . .	25,0 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung.

1 . . . . .	22,4 kg	} M = 22,0.
2 . . . . .	22,2 "	
3 . . . . .	21,8 "	
4 . . . . .	21,6 "	

Hiernach berechnet sich die Kornbindungs-festigkeit in dem wassergelagerten Gestein:

$$\zeta_{rw1} \perp = 54,5. \quad \zeta_{rw1} \parallel = 44,9$$

und der Erweichungskoeffizient:

$$\eta = 0,9.$$

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitäts-berechnung<sup>1)</sup>:

$$Q = \frac{K}{p} \zeta_{rw1} = 0,85 + 0 + 0,1 = 0,95.$$

Das Gestein gehört also der Qualitäts-klasse I an.

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	21,2 kg	} M = 20,5.
2 . . . . .	21,0 "	
3 . . . . .	20,1 "	
4 . . . . .	19,6 "	

Somit berechnet sich die Kornbindungs-festigkeit:

$$\zeta_{1r} \perp = 57,2. \quad \zeta_{1r} \parallel = 44,4.$$

4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasser-lagerung pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	24,4 kg	} M = 23,5.
2 . . . . .	24,2 "	
3 . . . . .	22,8 "	
4 . . . . .	22,6 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	19,3 kg	} M = 18,9.
2 . . . . .	19,0 "	
3 . . . . .	18,7 "	
4 . . . . .	18,5 "	

Demgemäß berechnet sich die Kornbindungs-festigkeit in dem wassergelagerten Gestein:

$$\zeta_{rw1} \perp = 50,0. \quad \zeta_{rw1} \parallel = 40,2$$

und der Erweichungskoeffizient:

$$\eta = 0,87.$$

Hieraus läßt sich der „Verwitterungskoeffizient“  $q = \frac{\text{Festigkeit des alten Baugesteins}}{\text{Festigkeit des frischen Gesteins}}$  ableiten, welcher Koeffizient angibt, in welchem Maße sich die Festigkeit des Gesteins im Laufe eines bestimmten Zeitraumes durch die Verwitterung verringert hat. Für das Gesteins I ergibt diese Rechnung folgende Resultate:

a. Verwitterungskoeffizient am trockenen Ge-stein bestimmt<sup>1)</sup>:

$$q_t \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} = \frac{26,9}{29,6} = 0,9$$

$$q_{1t} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} = \frac{20,5}{23,7} = 0,87.$$

<sup>1)</sup> ber die Berechnung der Qualitätsklassen von Sandsteinen siehe: Hirschwald a. a. O. S. 330—343.

<sup>1)</sup> Die hier eingesetzten Festigkeitswerte sind die Mittel aus den erhaltenen Einzelwerten.

b. Verwitterungskoeffizient am wassergelagerten Gestein bestimmt:

$$\rho_w \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} \frac{23,5}{26,7} = 0,88$$

$$\rho_{1w} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} \frac{18,9}{22,0} = 0,86.$$

Hieraus folgt, daß die Verwitterung eine

etwas größere Erweichungsfähigkeit des Gesteins im Wasser hervorgerufen hat, daß aber die Festigkeitsverminderung im allgemeinen, entsprechend der guten äußeren Erhaltung des Gesteins, noch keine sehr beträchtliche ist, so daß der Bestand desselben für absehbare Zeit gewährleistet erscheint.

### Gestein II (s. Seite 3).

Verwendung: Ein Teil der glatten Werkstücke in der Hoffassade, der Gesimse, Fenstergewände und Fenstergiebel.

#### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 3. Kieselige aber diskontinuierliche Kornbindung; die Quarzkörnchen ziemlich stark „pleromorph“, z. T. von granulöser Struktur; ziemlich reichlich Glimmerblättchen, spärlich Feldspatkörner. Reichliches toniges Porenbindemittel. Typ: K. Parallelstruktur: Typ. SmI.

Bindungszahl  $B_z = 3 - 5$

Bindungsmaß  $B_m = 0,6 - 0,9$ .

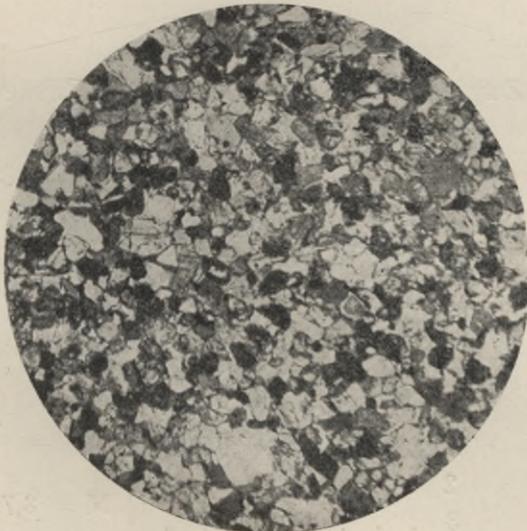


Fig. 3.

#### 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 3,68 \%$$

$$W_c = 5,80 \%$$

$$P = 13,5.$$

#### B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 4. Das tonige Bindemittel in den Poren ist z. T. ausgewaschen und hat sich an anderen Stellen angehäuft. Die Feldspatkörnchen sind stark zersetzt. Eine Lockerung der kieseligen Kornbindung ist nicht bemerkbar.

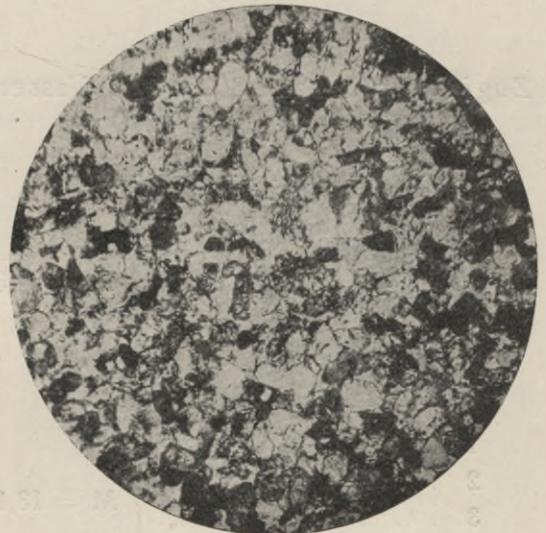


Fig. 4.

#### 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 4,36 \%$$

$$W_c = 6,32 \%$$

$$P = 14,6.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,634.$$

Das Gestein ist demnach als frostbeständig zu bezeichnen.

### 3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	28,9 kg	} M = 28,2.
2 . . . . .	28,5 "	
3 . . . . .	27,6 "	
4 . . . . .	27,6 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	19,7 kg	} M = 18,9.
2 . . . . .	19,0 "	
3 . . . . .	18,6 "	
4 . . . . .	18,5 "	

Es berechnet sich hiernach die Kornbindungsfestigkeit:

$$\zeta_r \perp = 61,5. \quad \zeta_r \parallel = 40,2.$$

Anmerkung: Das Gestein zeigt auf den Schichtflächen reichliche Glimmerblättchen und vereinzelt Tonschmitzen.

### 4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasserlagerung pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	25,6 kg	} M = 24,5.
2 . . . . .	25,0 "	
3 . . . . .	23,7 "	
4 . . . . .	23,7 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	14,4 kg	} M = 13,1.
2 . . . . .	13,4 "	
3 . . . . .	12,5 "	
4 . . . . .	12,0 "	

Demnach berechnet sich die Kornbindungsfestigkeit für das wassergelagerte Gestein:

$$\zeta_{rW} \perp = 52,1. \quad \zeta_{rW} \parallel = 28,0$$

und der Erweichungskoeffizient

$$\eta = 0,84.$$

Demnach berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,69.$$

Das Gestein ist somit auch in seinem gegenwärtigen Zustande noch als frostbeständig zu erachten.

### 3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	23,2 kg	} M = 22,5.
2 . . . . .	22,7 "	
3 . . . . .	22,4 "	
4 . . . . .	21,8 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	14,5 kg	} M = 13,9.
2 . . . . .	14,1 "	
3 . . . . .	13,7 "	
4 . . . . .	13,4 "	

Hieraus berechnete Kornbindungsfestigkeit:

$$\zeta_{r \perp} = 50,0. \quad \zeta_{r \parallel} = 30,9.$$

### 4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasserlagerung pro qcm.

a) Zerreiungsflche  $\perp$  zur Schichtung:

1 . . . . .	18,2 kg	} M = 17,6.
2 . . . . .	17,6 "	
3 . . . . .	17,5 "	
4 . . . . .	17,1 "	

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	9,7 kg	} M = 8,7.
2 . . . . .	8,5 "	
3 . . . . .	8,3 "	
4 . . . . .	8,2 "	

Somit berechnet sich die Kornbindungsfestigkeit für das wassergelagerte Gestein:

$$\zeta_{rW} \perp = 39,1. \quad \zeta_{rW} \parallel = 19,3$$

und der Erweichungskoeffizient

$$\eta = 0,78.$$

Es ergibt sich hiernach folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = 0,65 - 0,09 + 0,44 + 0,45 = 1,45.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitätsklasse I—II an.

Aus den vorstehenden Untersuchungsergebnissen folgen für den „Verwitterungskoeffizienten“ (s. Seite 6) nachstehende Werte:

a. Verwitterungskoeffizient am trockenen Gestein bestimmt:

$$\rho_t \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} \frac{22,5}{28,2} = 0,80$$

$$\rho_{1t} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} \frac{13,9}{18,9} = 0,74.$$

b. Verwitterungskoeffizient am wassergelagerten Gestein bestimmt:

$$\rho_w \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} \frac{17,6}{24,5} = 0,72$$

$$\rho_{1w} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} \frac{8,7}{13,1} = 0,66.$$

Bei diesem Gestein hat die Witterung demnach bereits eine beträchtlich größere Festigkeitsverminderung hervorgerufen als bei dem Gestein I. Auch die Erweichungsfähigkeit in Wasser hat in höherem Maße zugenommen.

Das namentlich in feuchtem Zustande mürbe Gestein dürfte daher in absehbarer Zeit eine erhebliche Abwitterung erfahren.

### Gestein III (s. Seite 4).

Verwendung: Ein Teil der glatten Werkstücke, der Steine in den Fenstergewänden, Gurtgesimsen, Säulen und Pilaster.

#### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 5. Vorwiegend kieselige, aber stark diskontinuierliche Kornbindung, untergeordnet schwach silifizierte tonige Kornbindung. Porenbindemittel stark tonig ohne namhafte Silifizierung. Die Quarzkörnchen sind

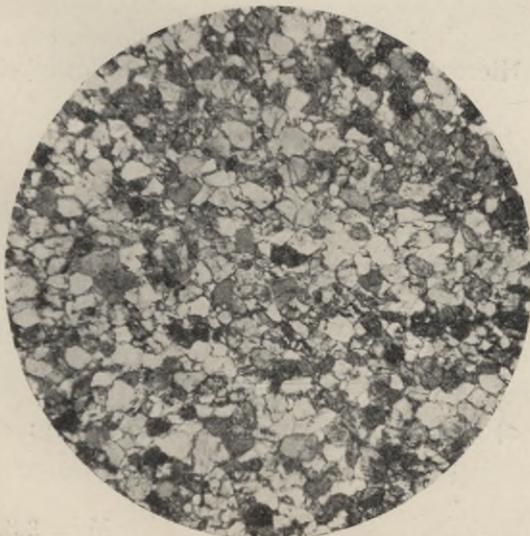


Fig. 5.

#### B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 6. Das tonige Bindemittel in den Poren ist z. T. ausgegast und hat sich an anderen Stellen in starken Schlieren angesammelt. Die Feldspatkörnchen sind zersetzt. Auch das tonige Kontaktzement

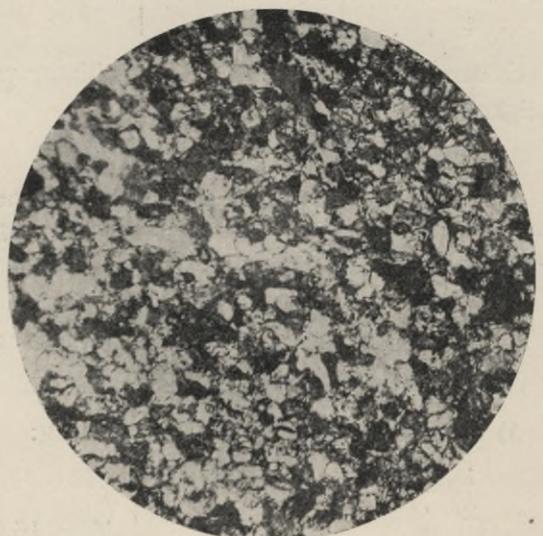


Fig. 6.

unvollkommen pieromorph ausgebildet und z. T. von granulöser Beschaffenheit; ziemlich reichlich Glimmer, untergeordnet Feldspat. Deutliche Parallelstruktur. Typ:  $\frac{K}{0,2 Kd}$

$$\text{Bindungszahl } B_z = 5 - 6$$

$$\text{Bindungsmaß } B_m = 0,7 - 0,8.$$

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_z = 4,72 \%$$

$$W_c = 7,26 \%$$

$$P = 16,4.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,65.$$

Das Gestein ist demnach als durchaus frostbeständig zu bezeichnen.

## 3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro qcm.

### a) Zerreiungsflche $\perp$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 22,7 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 21,2 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 20,8 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 20,5 \text{ " } \end{array} \right\} M = 21,3.$$

### b) Desgl. $\parallel$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 8,6 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 8,5 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 7,6 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 7,3 \text{ " } \end{array} \right\} M = 8,0.$$

Es berechnet sich hiernach die Kornbindungsfestigkeit:

$$\zeta_r \perp = 52,0. \quad \zeta_r \parallel = 19,7.$$

Anmerkung: Das Gestein hat auf den Schichtflächen sehr reichliche Tonschmitzen, woraus sich die geringe Festigkeit zu b) erklärt.

## 4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasserlagerung pro qcm.

### a) Zerreiungsflche $\perp$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 19,6 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 18,2 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 14,4 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 13,5 \text{ " } \end{array} \right\} M = 16,4.$$

ist meist verschwunden und die Kornbindung dadurch erheblich gelockert.

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_z = 6,21 \%$$

$$W_c = 8,85 \%$$

$$P = 19,3.$$

Demgemäß berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,70.$$

Das Gestein ist deshalb noch als frostbeständig zu erachten.

## 3. Zugfestigkeit in trockenem Zustande pro qcm.

### a) Zerreiungsflche $\perp$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 13,8 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 13,2 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 12,8 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 12,4 \text{ " } \end{array} \right\} M = 13,1.$$

### b) Desgl. $\parallel$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 5,3 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 5,2 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 4,2 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 4,1 \text{ " } \end{array} \right\} M = 4,7.$$

Hieraus berechnete Kornbindungsfestigkeit:

$$\zeta_{r \perp} = 35,3. \quad \zeta_{r \parallel} = 13,0.$$

## 4. Zugfestigkeit nach 30 tägiger Wasserlagerung pro qcm.

### a) Zerreiungsflche $\perp$ zur Schichtung:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \dots\dots\dots 9,8 \text{ kg} \\ 2 \dots\dots\dots 9,6 \text{ " } \\ 3 \dots\dots\dots 9,1 \text{ " } \\ 4 \dots\dots\dots 8,6 \text{ " } \end{array} \right\} M = 9,3.$$

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	6,3 kg	}	M = 5,8.
2 . . . . .	6,2 "		
3 . . . . .	5,6 "		
4 . . . . .	5,2 "		

Demnach berechnet sich die Kornbindungs-  
festigkeit für das wassergelagerte Gestein:

$$\zeta_{rw \perp} = 40,0. \quad \zeta_{rw \parallel} = 14,1$$

und der Erweichungskoeffizient

$$\eta = 0,77.$$

Es ergibt sich hiernach folgende Qualitäts-  
berechnung:

$$Q = 0,8 K \quad p_4 \quad 0,2 Kd_4 \quad p_4 \quad \zeta_{rw} \\ Q = 0,8 (0,75 - 0,11) + 0,2 (2,8 - 0,16) + 0,6 + \\ 4d_2 \\ 0,52 = 2,16.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitäts-  
klasse II an.

Anmerkung: Für die folgenden Gesteinsabänderungen (IV—IX) war genügendes Probematerial zur Ausführung der Festigkeitsprüfungen nicht erhältlich. Die Untersuchungen beschränkten sich daher auf die vergleichende Feststellung der mikroskopischen Struktur, wie insbesondere des Typus der Kornbindung, nebst Bestimmung der Wasseraufnahme und des Sättigungskoeffizienten in dem frischen und dem der Witterung ausgesetzt gewesenen Material. Diese Untersuchungen erscheinen nicht nur zur Bestimmung des Verwitterungsgrades, sondern erfahrungsgemäß auch zur Feststellung der Qualitätsklasse des Materials in solchen Fällen ausreichend, in welchen, wie bei den vorliegenden Gesteinen, der Festigkeitsgrad näherungsweise dem mittleren Wert für die betreffenden Strukturtypen entspricht.

b) Desgl.  $\parallel$  zur Schichtung:

1 . . . . .	3,5 kg	}	M = 3,1.
2 . . . . .	3,2 "		
3 . . . . .	2,8 "		
4 . . . . .	2,7 "		

Somit berechnet sich die Kornbindungs-  
festigkeit in dem wassergelagerten Gestein:

$$\zeta_{rw \perp} = 26,0. \quad \zeta_{rw \parallel} = 8,6$$

und der Erweichungskoeffizient

$$\eta = 0,73.$$

Aus den vorstehenden Untersuchungsergebnissen ergeben sich für den Verwitterungskoeffizienten (s. S. 6) folgende Werte:

a. Verwitterungskoeffizient am trockenen  
Gestein bestimmt:

$$\rho_t \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} \frac{13,1}{21,3} = 0,61$$

$$\rho_{it} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} \frac{4,7}{8,0} = 0,59.$$

b. Verwitterungskoeffizient am wasserge-  
lagerten Gestein bestimmt:

$$\rho_w \text{ (Festigkeit } \perp \text{ zur Schichtung)} \frac{9,3}{16,4} = 0,57$$

$$\rho_{iw} \text{ (desgl. } \parallel \text{ zur Schichtung)} \frac{3,1}{5,8} = 0,53.$$

Die beträchtliche Festigkeitsverminderung des alten Baugesteins (Verwitterungskoeffizient 0,61—0,59), sein Erweichungskoeffizient (0,73) und seine namhafte strukturelle Veränderung lassen eine beschleunigte Zerstörung des betreffenden Materials mit Sicherheit erwarten.

#### Gestein IV (s. Seite 4).

Verwendung: Ein Teil der Gurtgesimse und Architrave sowie der Säulen und Pilaster.

##### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 7. Vorwiegend kieselige, aber stark diskontinuierliche Kornbindung, untergeordnet tonige, schwach sili-fizierte Kornbindung.

##### B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 8. Das tonige Bindemittel in den Poren ist größtenteils ausgewittert, desgl. das differente Kontaktzement. Infolgedessen ist das Gestein poröser

Deutliche Parallelstruktur:

$$\text{Typ } \frac{K}{0,3 Kd} \cdot \text{Sm. II}$$

Bindungszahl  $Bz = 2 - 4$ .

Bindungsmaß  $Bm = 0,2 - 0,4 (0,8)$ .

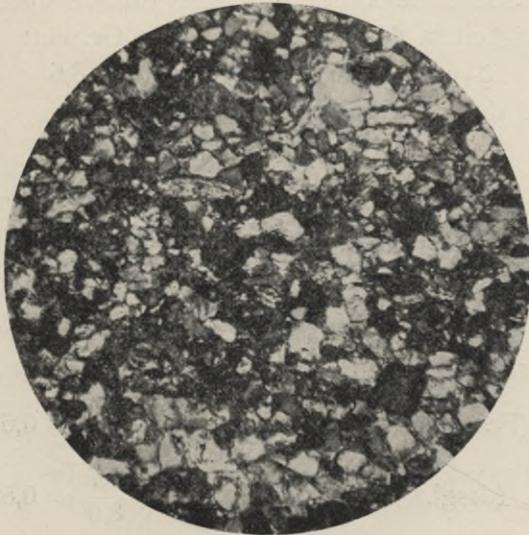


Fig. 7.

2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 5,27\%$$

$$W_c = 7,32 \text{ „}$$

$$P = 16,5.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,72.$$

Das Gestein ist demnach noch als frostbeständig zu bezeichnen.

3. Festigkeit. Etwas geringer als Gestein III.

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = 0,7 (1,5 - 0,39) + 0,3 (2,7 - 0,38) = 1,47.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitätsklasse I—II an.

geworden und hat an Festigkeit beträchtlich verloren.

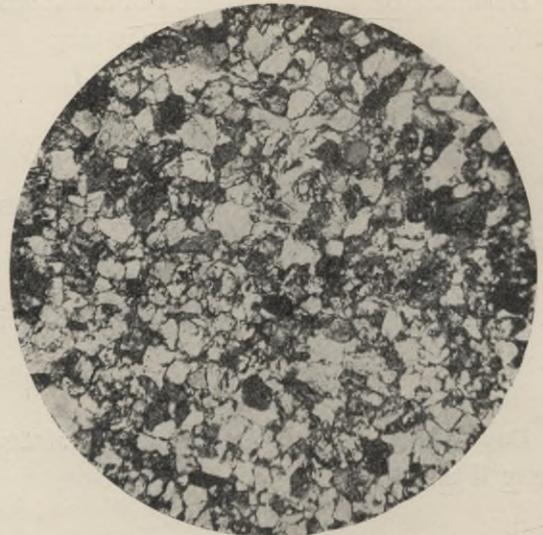


Fig. 8.

2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 7,50 \%$$

$$W_c = 9,0 \text{ „}$$

$$P = 19,6.$$

Somit der Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,81.$$

Das verwitterte Gestein ist daher der weiteren Zermürbung durch Frostwirkung unterworfen.

3. Erweichung der Probe in Wasser:

Erheblich stärker als Gestein III.

Nach Maßgabe der starken Lockerung des Gefüges und des hohen Sättigungskoeffizienten muß mit einer beschleunigten Verwitterung des Gesteins gerechnet werden.

**Gestein V** (s. Seite 4).

Verwendung: Ein Teil der Gurtgesimse und Architrave, sowie der Säulen und Pilaster.

**A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.**

1. Mikrostruktur. Fig. 9. Teils kieselige, aber sehr stark diskontinuierliche Kornbindung,

**B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).**

1. Mikrostruktur. Fig. 10. Das tonige Porenbindemittel ist in den feinkörnigen Lagen

teils silifizierte - tonige Kornbindung. Vollkommene Parallelstruktur bei ungleichmäßiger Körnung in schichtiger Verteilung. Das tonige Porenbindemittel besonders reichlich in den feinkörnigen Lagen.

$$\text{Typ } \frac{Kd_3}{0,3 K} \cdot \text{Sm II—III}$$

$$\text{Bindungszahl Bz} = 3-4$$

$$\text{Bindungsmaß Bm} = 0,5-0,7.$$

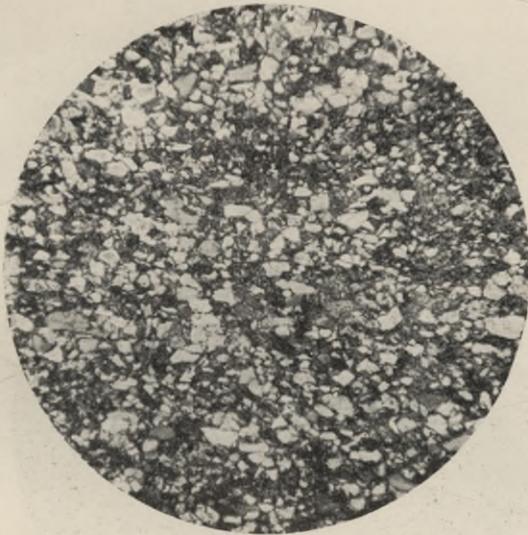


Fig. 9.

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 5,04\%$$

$$W_c = 7,20 \text{ „}$$

$$P = 16,28.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient

$$S = 0,70.$$

Das Gestein ist demnach als frostbeständig zu bezeichnen.

## 3. Festigkeit: Etwas geringer als Gestein III.

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = 0,7 \left( \frac{0,7 Kd_3}{p_3} - 0,36 \right) + 0,3 \left( \frac{0,3 K}{p_3} - 0,33 \right) = 1,72.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitätsklasse I—II: II an.

ausgewittert und auch das gleichartige Kontaktzement größtenteils ausgenagt. Das Gestein ist infolgedessen mürbe geworden; es zeigt eine sandige Abwitterung und stellenweise starke Zerklüftung.

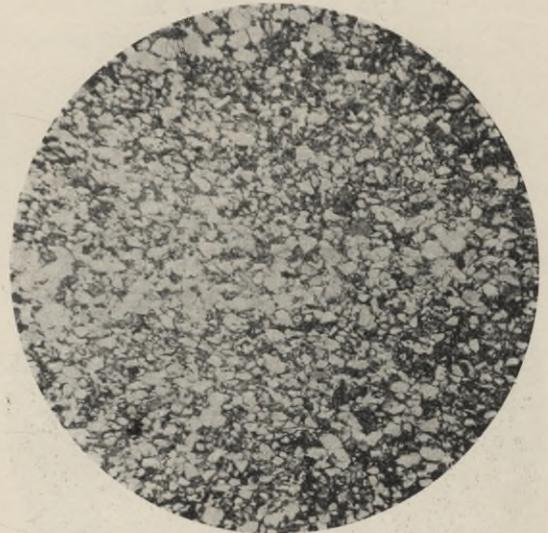


Fig. 10.

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 8,31\%$$

$$W_c = 9,89 \text{ „}$$

$$P = 21,1.$$

Somit der Sättigungskoeffizient

$$S = 0,84.$$

Das verwitterte Gestein ist somit der weiteren Zerstörung durch den Frost unterworfen.

## 3. Erweichung der Proben in Wasser:

Sehr beträchtlich stärker als Gestein III, so daß das Material in kleinen Stücken zwischen den Fingern zerdrückbar ist.

Die starke Zermürbung des Gesteins und sein hoher Sättigungskoeffizient lassen einen schnellen Fortgang der Verwitterung erwarten.

**Gestein VI** (s. Seite 4).

Verwendung: Triglyphenfries über dem Erdgeschoß und Friese über dem 1. und 2. Stock.

**A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.**

1. Mikrostruktur. Fig. 11. Das Gestein zeigt eine sehr vollkommene Parallelstruktur. Kleine Korngruppen mit kieseliger Bindung sind durch sehr reichliches, schwach silifiziertes, toniges Zwischenmittel, in schichtiger Verteilung, von einander getrennt.

$$\text{Typ } \frac{Kd_3}{0,2 K} \cdot \text{Sm V } z_3$$

$$\text{Bindungszahl } Bz = 3$$

$$\text{Bindungsmaß } Bm = 0,1 - 0,2.$$

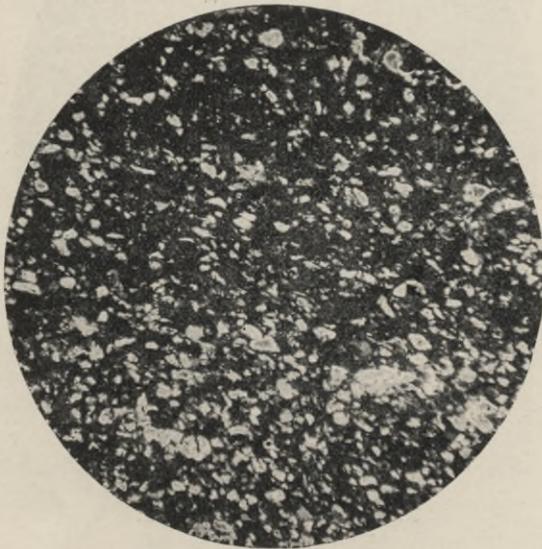


Fig. 11.

**2. Wasseraufnahme.**

$$W_2 = 5,71\%$$

$$W_c = 8,27 \text{ „}$$

$$P = 18,26.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient

$$S = 0,69.$$

Das Gestein ist demnach als frostbeständig zu bezeichnen.

**3. Festigkeit: Etwas geringer als Gestein III.**

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = [0,8 Kd_3 \quad p_3 \quad 0,2 Kp_3 \quad \text{Sm V}] \cdot 1,25 \\ = 2,56.$$

Das Gestein gehört demnach der Qualitätsklasse II—III an.

**B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).**

1. Mikrostruktur. Fig. 12. Das tonige Zwischenmittel ist stellenweise vollkommen ausgewaschen, so daß der Zusammenhang zwischen den kleinen Korngruppen gänzlich aufgehoben erscheint und das Gestein völlig zermürbt ist.

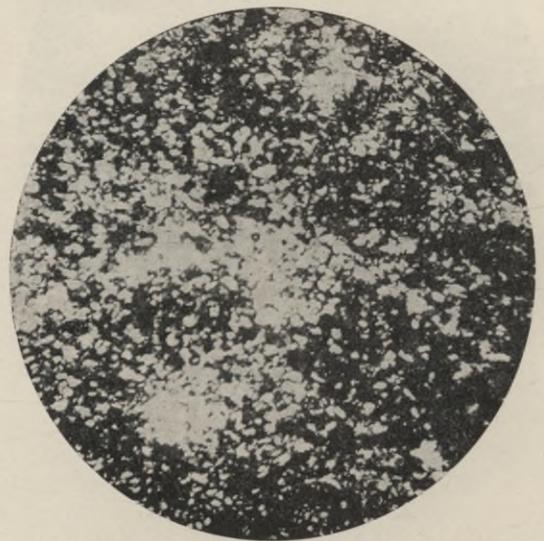


Fig. 12.

**2. Wasseraufnahme.**

Die betreffenden Werte waren nicht bestimmbar, da das Gestein im Wasser stark abbröckelt.

3. Erweichung im Wasser. Die Proben werden im Wasser so mürbe, daß sie in kleineren Stücken gänzlich zerfallen.

Bei der völligen Wassersättigung der Poren des verwitterten Materials muß eine weitere, schnell fortschreitende Zermürbung und Abwitterung durch den Frost herbeigeführt werden.

**Gestein VII** (s. Seite 4).

Verwendung: Abdeckung der Fenstergiebel im Erdgeschoß.

**A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.**

1. Mikrostruktur. Fig. 13. Teils kieselige, jedoch sehr stark diskontinuierliche, teils tonige Kornbindung. Vollkommene Parallelstruktur in abwechselnd gröberer und feinerer Körnung; die Poren, namentlich in den feinkörnigen Lagen mit tonigem Bindemittel erfüllt. In Abständen von 8—10 mm tonige Zwischenlagen von geringer Kornbindung.

$$\text{Typ } \frac{\text{K}}{0,4 \text{ Kd}_3} \cdot \text{Sm III z}_5$$

$$\text{Bindungszahl Bz} = 2-4$$

$$\text{Bindungsmaß Bm} = 0,3-0,6.$$

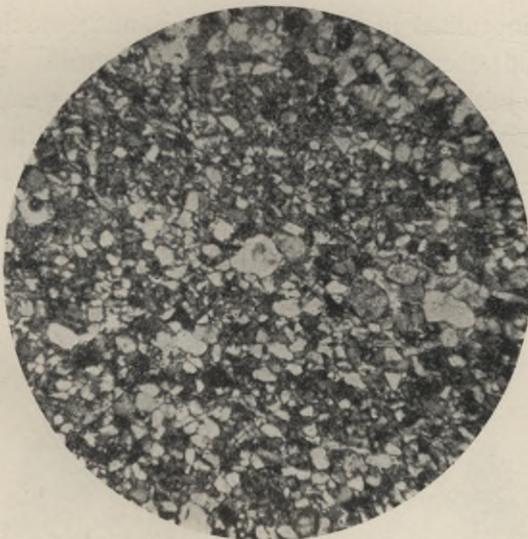


Fig. 13.

**2. Wasseraufnahme.**

$$W_2 = 4,93\%$$

$$W_c = 7,25 \text{ „}$$

$$P = 16,38.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient

$$S = 0,68.$$

Das Gestein ist demnach nur innerhalb der einzelnen Lagen mit kieseliger Kornbindung frostbeständig; dagegen findet infolge der tonigen Zwischenlagen ein plattenförmiges Abfrieren statt.

**B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).**

1. Mikrostruktur. Fig. 14. Das tonige Zwischenmittel ist stark zermürbt und z. T. ganz ausgewaschen. Der Zusammenhang der einzelnen Schichten deshalb ein so geringer, daß die Proben beim Schleifen schichtig zerspalten. Auch innerhalb der festeren Lagen ist das tonige Bindemittel z. T. ausgewittert und die Kornbindung dadurch gelockert.

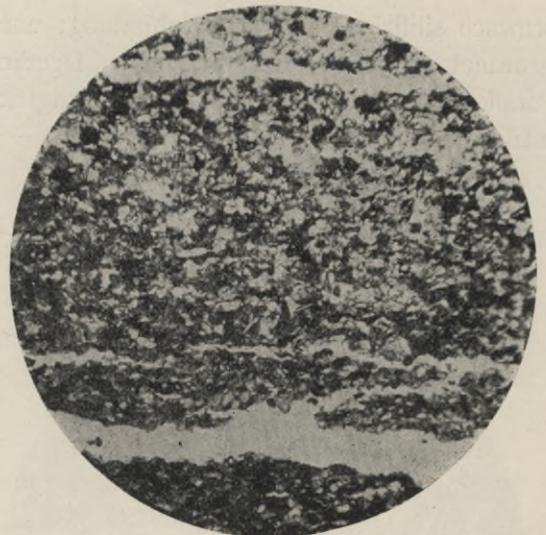


Fig. 14.

**2. Wasseraufnahme.**

$$W_2 = 6,90\%$$

$$W_c = 8,52 \text{ „}$$

$$P = 18,71.$$

Somit der Sättigungskoeffizient

$$S = 0,81.$$

Der Sättigungskoeffizient übersteigt demnach den kritischen Wert und das Gestein ist deshalb auch innerhalb der festeren Lagen nicht mehr frostbeständig.

3. Festigkeit. Innerhalb der kieseligen Lagen nahezu wie Gestein II; rechtwinklig zur Schichtung jedoch ziemlich gering.

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = [0,6 \text{ K} \quad p_1 \quad 0,4 \text{ Kd}_3 \quad p_1 \text{ Sm III z}_5 \\ = [0,6 (1,0 - 0,25) + 0,4 (2,5 - 0,26)] \cdot 1,25 \\ = 1,7.$$

Das Gestein gehört demnach der Qualitätsklasse I—II: II an.

3. Erweichung in Wasser. Die tonigen Zwischenlagen erweichen in dem Maße, daß das Gestein sich leicht mit dem Messer in 8—10 mm starke Platten zerspalten läßt. Ein beschleunigtes plattenförmiges Abfrieren ist daher mit Sicherheit zu erwarten.

### Gestein VIII (s. Seite 4).

Verwendung: Fensterbekrönungen im I. und II. Stock und Skulpturen in den Fenstergiebeln des Erdgeschosses.

#### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 15. Vorherrschend, schwach silifizierter tonige Kornbindung; untergeordnet kieselige Kornbindung. Deutliche Parallelstruktur. Körnung stellenweise ungleichmäßig.

$$\text{Typ } \frac{\text{Kd}}{0,3 \text{ K}} \cdot \text{Sm I—II}$$

Bindungszahl: Bz = 3—5.

Bindungsmaß: Bm = 0,2—0,6.



Fig. 15.

#### 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 4,93 \%$$

$$W_c = 7,25 \%$$

$$P = 16,38.$$

#### B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 16. Das tonige Bindemittel in den Poren ist z. T. ausgewaschen und ebenso das tonige Kontaktzement. Die Kornbindung ist dadurch mehr oder weniger gelockert und stellenweise, wie namentlich an den skulpturierten Steinen, in dem Maße aufgehoben, daß das Material völlig mürbe erscheint.

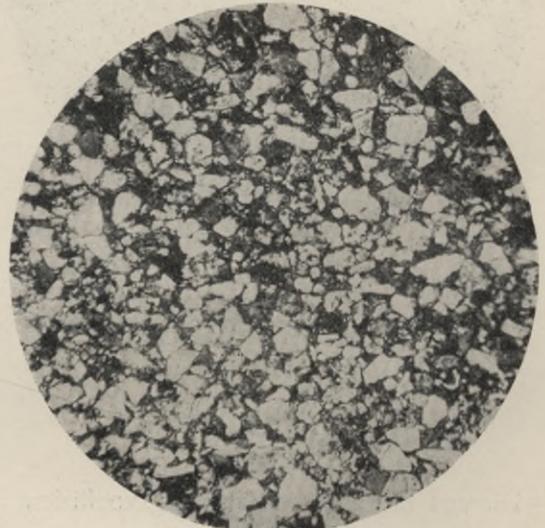


Fig. 16.

#### 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 8,32 \%$$

$$W_c = 10,14 \%$$

$$P = 21,50.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,68.$$

Das Gestein ist demnach als frostbeständig zu erachten.

3. Festigkeit. Beträchtlich geringer als Gestein III.

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$Q = 0,7 Kd_4 \quad p_4 \quad 0,3 \quad Kp_4$$

$$Q = 0,7 (3,0 - 0,26) + 0,3 (1 - 0,25) = 2,14.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitätsklasse II an.

Somit der Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,82.$$

Das verwitterte Gestein ist demnach der fort-dauernden, erhöhten Frostwirkung unterworfen.

3. Erweichung der Proben in Wasser. Im allgemeinen sehr beträchtlich: stellenweise so bedeutend, daß kleinere Proben sich zwischen den Fingern zerdrücken lassen.

Die starke Zermürbung des Gesteins und sein hoher Sättigungskoeffizient bedingen ein rasches Fortschreiten der Verwitterung.

### Gestein IX (s. Seite 4).

Verwendung: Turmwandung am Durchgang nach dem großen Kamin.

#### A. Frisches Material aus dem Innern eines Werkstücks.

1. Mikrostruktur. Fig. 17. Vorwaltend kieselige, stark diskontinuierliche Kornbindung, untergeordnet ziemlich stark silifizierte tonige Kornbindung. Deutliche Parallelstruktur. Quarzkörnchen z. Teil klar und durchsichtig, z. T. undurchsichtig, meist von granulöser Struktur. Bindemittel in den Poren von erdiger Beschaffenheit.

$$\text{Typ } \frac{K}{0,2 Kd} \cdot \text{Sm II}$$

$$\text{Bindungszahl } Bz = 2 - 4$$

$$\text{Bindungsmaß } Bm = 0,5 - 0,7.$$

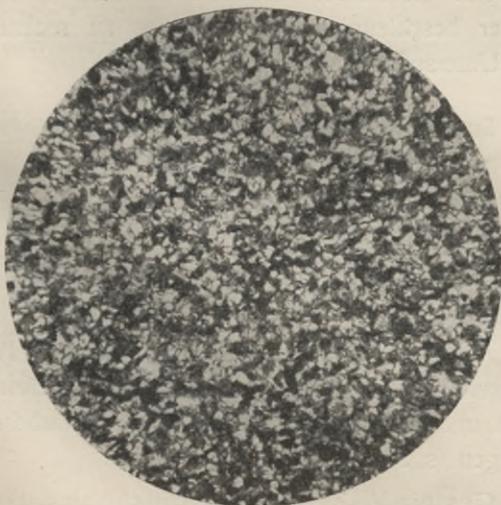


Fig. 17.

Mitt. d. Min.-geolog. Inst. d. Techn. Hochschule Berlin

#### B. Der Witterung ausgesetzt gewesenes Material (Äußere Rinde).

1. Mikrostruktur. Fig. 18. Das Porenzement erscheint stellenweise ausgenagt, die aggregierten Quarzkörnchen sind z. T. zermürbt und die Kornbindung ist dadurch aufgehoben worden. Diese Umbildung erstreckt sich jedoch nur auf die äußere Rinde, während das Gestein unmittelbar darunter noch ziemlich intakt ist.

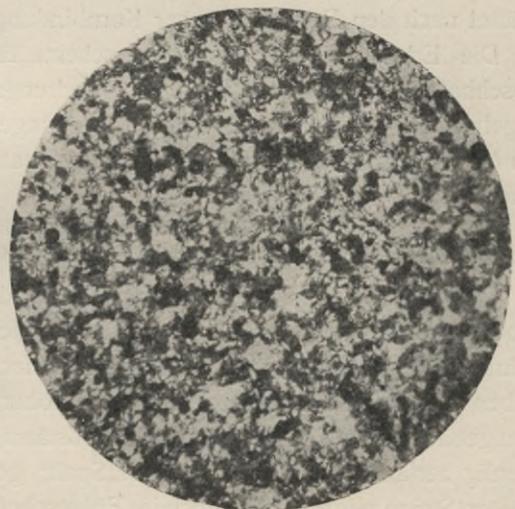


Fig. 18.

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 5,31 \%$$

$$W_c = 7,81 \%$$

$$P = 17,43.$$

Hieraus berechneter Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,68.$$

Das Gestein ist demnach als durchaus frostbeständig zu bezeichnen.

## 3. Festigkeit. Näherungsweise wie Gestein II.

Es ergibt sich hieraus folgende Qualitätsberechnung:

$$0,7 \quad K \quad 3d_2 \quad p_4 \quad 0,2 \quad Kd_2 \quad p_4$$

$$Q = 0,7 (1,34 - 0,25) + 0,2 (0,348) = 1,46.$$

Das Gestein gehört somit der Qualitätsklasse I—II an.

#### 4. Der Verwitterungsgrad und die voraussichtliche Erhaltungsdauer des Materials in den einzelnen Baugliedern.

##### a. Glatte Werkstücke der Hoffassade und roh bearbeitete Quadern in den Pfeilern der Rückseite: Gestein I, II und III.

Gestein I. Geringe Oberflächenverwitterung durch Ausnagung von Sandkörnchen bzw. der kleinen Sandlöcher ohne namhafte Festigkeitsverminderung des Gesteins; stellenweise zerklüftet nach den Partien geringer Kornbindung.

Die Erhaltung des Gesteins erscheint für absehbare Zeit gewährleistet (s. Untersuchungsergebnis S. 4—7), soweit durch Bewegungen im Mauerwerk nicht weitere Zerklüftungen stattfinden.

Anmerkung: Die gleiche Einschränkung gilt auch für die Beurteilung der Erhaltungsdauer der übrigen Bauteile.

Gestein II. Im allgemeinen unbedeutende Oberflächenverwitterung aber z. T. ziemlich mürbe und stellenweise zerklüftet. Mehrfach haben sich an der Oberfläche blasige Erhöhungen gebildet, unter denen das Gestein vollständig mehlig zerfallen ist. Die auf den „Spalt“ gestellten Steine zeigen, namentlich im Erdgeschoß, starke schichtige Abblätterung und Zermürbung.

## 2. Wasseraufnahme.

$$W_2 = 6,52 \%$$

$$W_c = 9,05 \%$$

$$P = 19,65.$$

Somit der Sättigungskoeffizient:

$$S = 0,72.$$

Das Gestein ist demnach, auch an seiner Oberfläche zunächst noch als frostbeständig zu bezeichnen.

3. Erweichung in Wasser. Die äußere Rinde erweicht ziemlich beträchtlich; das Gestein im Innern dagegen nur in geringem Grade.

Die Festigkeit des alten Baugesteins und sein verhältnismäßig geringer Sättigungskoeffizient gewährleisten noch für absehbare Zeit eine gute Erhaltung des Materials.

An den lagerhaft versetzten Steinen dürfte die Verwitterung nur langsam fortschreiten (s. Untersuchungsergebnis S. 7), während für die auf den Spalt gestellten Quader ein schneller Fortgang der Zerstörung zu erwarten ist.

Gestein III. Mehr oder weniger beträchtliche Oberflächenverwitterung bei ziemlich starker Zermürbung und vielfacher Zerklüftung, insbesondere an den durch Häufung von Sandlöchern kavernen Stellen.

Für die stärker verwitterten Steine ist mit einer beschleunigten Zermürbung zu rechnen (s. Untersuchungsergebnis S. 9).

##### b. Gurtgesimse und Architrave, sowie Säulen und Pilaster: Gestein II, III, IV und V.

Gestein II, III und IV. Geringe bis ziemlich beträchtliche, stark tonige Verwitterungsrinde; im Innern z. T. bereits sehr mürbe; stellenweise zerklüftet.

An den mürben Steinen (namentlich IV) schreitet die Verwitterung verhältnismäßig schnell fort und verursacht unregelmäßige Ausbröckelungen (s. S. 11—12).

Gestein V. Ziemlich beträchtliche bis starke, sandige Abwitterung mit vertikalen Rißbildungen

und schichtiger Ablätterung. Stellenweise siedelt sich eine schwarze Flechte auf der Oberfläche an, die alsdann eine beschleunigte Verwitterung erfährt.

Die bereits stark zermürbten Steine dürften in kurzer Zeit eine völlige Zerstörung erleiden (s. S. 12—13).

#### c. Fenstergewände: Gestein I und II.

Gestein I. An vereinzelt Stellen zerklüftet bei sehr geringfügiger Oberflächenverwitterung.

Gestein II. Schwache Oberflächenverwitterung, jedoch z. T. bereits merkbare Festigkeitsverminderung.

Die Erhaltung der meisten Steine erscheint, bis auf etwa eintretende Zerklüftung, für längere Zeiträume gesichert (s. S. 7—9).

#### d. Triglyphenfries über dem Erdgeschoß und Friese über dem 1. und 2. Stock: Gestein VI.

Gestein VI. Fast durchgängig stark verwittert mit Ablätterung und Zermürbung, welche letztere stellenweise bereits bis zu 3 cm Tiefe nachweisbar ist.

Die Verwitterung schreitet erfahrungsgemäß schnell fort, so daß eine baldige weitere Zerstörung der betreffenden Architekturteile bis zu bedeutender Tiefe der Quadern zu erwarten steht. Am stärksten ist der Triglyphenfries von der Verwitterung ergriffen (s. S. 14).

#### e. Abdeckung der Fenstergiebel im Erdgeschoß: Gestein VII.

Gestein VII. Durch Frost derartig schichtig aufgeblättert, daß sich 50 cm lange und 8 mm starke Platten mit Leichtigkeit abheben lassen.

Bei der progressiven Steigerung der Frostwirkung ist in kurzer Zeit eine vollständige Zerstörung des Materials mit Sicherheit anzunehmen (s. S. 15—16).

#### f. Fensterbekrönungen im 1. und 2. Stock, sowie Skulpturen in den Fenstergiebeln des Erdgeschosses: Gestein V und VIII.

Gestein V. Mehr oder weniger stark verwittert, stellenweise sehr mürbe.

Gestein VIII. Stark verwittert und vollständig zermürbt.

Für den größten Teil der skulpturierten Steine muß mit einer baldigen vollständigen Zerstörung gerechnet werden (s. S. 16—17).

Anhang:

#### g. Turmwandung am oberen Durchgang nach dem großen Kamin: Gestein IX.

Gestein IX. Geringe, unregelmäßig schuppige Abwitterung ohne namhafte Festigkeitsverminderung im Innern.

Die Verwitterung schreitet an dem harten Material erfahrungsgemäß nur langsam fort (s. S. 17—18).

Nach dem Vorstehenden befinden sich fast alle profilierten und skulpturierten Steine der Fassade in mehr oder weniger beträchtlichem Zerfall und nur ein Teil der glatten Werkstücke ist noch von solcher Beschaffenheit, daß ein längerer Bestand derselben angenommen werden darf.

Für die Beurteilung der Erhaltungsdauer der gefährdeten Architekturteile erscheint es von Wichtigkeit, einen Zeitmaßstab des Fortschreitens der Verwitterung zu erlangen, und es ist dies namentlich an den am meisten zerstörten Steinen der Gurtfrieze möglich gewesen, deren Erhaltung, wegen ihrer konstruktiven Bedeutung, von besonderem Wert erscheint.

Die betreffenden Untersuchungen sollen deshalb zum Schluß eingehender erörtert werden.

#### 5. Die Bestimmung eines Zeitmaßstabes für das Fortschreiten der Verwitterung.

Im allgemeinen kann man zwei Stadien der Gesteinsverwitterung unterscheiden:

1. Prägressive oder vorbereitende Verwitterung, welche, ohne eine namhafte Veränderung der Oberfläche hervorzurufen, eine allmähliche strukturelle bzw. substanzielle Umbildung des Gesteins bewirkt, womit meistens eine mehr oder weniger beträchtliche Zunahme der Porosität und entsprechende Verminderung der Festigkeit verbunden ist. Dieser Prozeß

kann Jahrzehnte, bei guten Gesteinen sogar Jahrhunderte andauern, ehe eine deutliche Oberflächenverwitterung einsetzt. Derartige Umbildungen des Gesteins sind teils ohne weiteres wahrnehmbar, teils können sie nur durch mikroskopische und chemische Untersuchungen bzw. durch Feststellung der Festigkeitsverminderung erkannt werden.

2. Potentielle Verwitterung, d. h. starke äußere Zerstörung des Gesteins, welche bei guten Materialien erst dann eintritt, wenn die strukturelle bzw. substanzielle Beschaffenheit derselben durch den prägressiven Prozeß so weit verändert worden ist, daß eine energische Einwirkung der Atmosphäriken ermöglicht wird.

Bei erstklassigen Gesteinen bedarf es der Jahrhunderte, ehe der prägressive Prozeß bis zu dem Stadium der potentiellen Verwitterung gelangt, die auch dann nur langsam fortschreitet. Verw. Typ. I.

Die Gesteine mittlerer Qualität zeigen drei verschiedene Arten des Zerstörungsvorganges:

- a) Die prägressive Umbildung bedarf langer Zeiträume, dringt aber bis zu bedeutender Tiefe in das Gestein ein, und es nimmt deshalb auch die endlich einsetzende potentielle Verwitterung einen raschen Verlauf. Verw. Typ. II.
- b) Auf die prägressive Veränderung der äußersten Rinde folgt alsbald auch die potentielle Verwitterung derselben; beide Prozesse schreiten aber verhältnismäßig langsam nach der Tiefe zu fort, wie dies namentlich bei sehr dichten, jedoch frostbeständigen Gesteinen häufiger der Fall ist. Verw. Typ. III.
- c) Nach langdauernder, allmählicher Ausnagung weniger widerstandsfähiger, dünner Zwischenlagen bei geschichteten Gesteinen, findet infolge von Frostwirkung eine plattenförmige Ablösung bzw. eine dünnschichtige Abwitterung statt. Verw. Typ. IV.

Endlich tritt bei schlechten Gesteinen die potentielle Verwitterung schon nach kurzer Zeit unvermittelt ein, d. h. ohne wahrnehmbare

prägressive Wirkung und nimmt einen überaus schnellen Verlauf. Verw. Typ. V.

Die am Otto-Heinrichs-Bau zur Verwendung gelangten Sandsteine gehören dem Verw. Typ. I sowie II a, b und c an und zwar:

1. Verw. Typ. I: Ein Teil der glatten Quadern der Hoffassade und der roh bearbeiteten Werkstücke in den Pfeilern und Wandungen der inneren Mauerfläche (Gestein I und II, z. T. III und V s. S. 3—4).
2. Verw. Typ. II a: Friese, Gurtgesimse und Architrave der Hoffassade (Gestein Nr. VI, z. T. III, IV und V, s. S. 4).
3. Verw. Typ. II b: Das Gestein der Turmwandung am oberen Durchgang nach dem großen Kamin. (Gestein Nr. IX s. S. 4).
4. Verw. Typ. II c: Abdeckungen der Fensterüberdachungen im Erdgeschoß (Gestein Nr. VII s. S. 4).

Ein Zeitmaßstab für das Fortschreiten der potentiellen Verwitterung hat sich namentlich aus dem Verhalten des Materials zu 2, Verw. Typ. IIa (Gestein VI S. 14 Fig. 13, 14 S. 15) ableiten lassen, aus dem die Friese und Gesimse über dem Erdgeschoß und dem 1. und 2. Stock bestehen.

In Anbetracht der konstruktiven Bedeutung dieser Architekturteile (s. Fig. 19 S. 21) erscheinen die betreffenden Feststellungen, wie schon an anderer Stelle hervorgehoben wurde, von besonderem Wert für die Beurteilung der Erhaltungsdauer des ganzen Bauwerks.

Von allen an der Fassade verwandten Gesteinen ist das in Rede stehende Material der Friese am wenigsten günstig struiert. Es ist ein überaus dünnschichtiger, schiefriger Sandstein, der augenscheinlich deshalb für die betreffenden Architekturteile gewählt worden ist, weil er sich unschwer in langen und verhältnismäßig schmalen Stücken brechen ließ und wegen seiner geringen Härte eine leichte bildhauerische Bearbeitung gestattete.

Bei den Aufnahmen, welche im Jahre 1890 von dem Schloßbaubureau ausgeführt wurden, war bereits der größte Teil des Triglyphenfrieses über dem Erdgeschoß stark verwittert

und zermürbt, während einzelne Steine desselben noch äußerlich ziemlich intakt erschienen. Im Jahre 1902, also nach 12 Jahren, ergab die stattgehabte Revision, daß auch diese Teile des Frieses stellenweise eine beträchtliche Oberflächenverwitterung bei starker innerer Zermürbung zeigten, welche letztere an den im Frühjahr 1910 von dem Verfasser entnommenen Proben bis auf 20—30 mm Tiefe fortgeschritten war.

Ein so rascher Verlauf der Verwitterung an einem Gestein, welches mehr als 300 Jahre dem Einfluß der Verwitterung äußerlich widerstanden hat, kann nur stattfinden, wenn der prägressive Prozeß das Gefüge des Gesteins bereits bis zu bedeutender Tiefe verändert und für die potentielle Verwitterung vorbereitet hat, die alsdann, einmal eingeleitet, in rapider Weise fortschreitet.

Erfahrungsgemäß erleidet der zeitliche Fortgang der potentiellen Verwitterung eine stete Steigerung, die näherungsweise durch eine arithmetische Progression ausgedrückt werden kann, deren „Differenz“ für Gesteine ungleicher Qualität naturgemäß sehr erheblich verschieden ist. Bei dünn geschichteten Sandsteinen der hier in Rede stehenden Art haben die bisherigen Feststellungen eine Progressions-Differenz = 0,3 für die Zeiteinheit von 5 Jahren ergeben, vom Beginn deutlicher Oberflächenverwitterung an gerechnet.

Somit würde das Fortschreiten der Abwitterung bzw. Zermürbung an dem betreffenden Material in 60 Jahren = 12 Zeiteinheiten, gemäß der Formel

$$s = \frac{[2a + (n - 1) d] n}{2}$$

um 25,8 cm fortschreiten, d. h. es werden die 45 cm tiefen Quadern des Triglyphenfrieses und der aus dem gleichen Material bestehenden Steine der Frieße über dem 1. und 2. Geschoß, in dem gedachten Zeitraum um mehr als ihre halbe Stärke zerstört werden.

Welche Folgen dieser Verwitterungsvorgang für den Bestand der Fassadenmauer haben muß, ergibt sich aus dem Umstande, daß die Friesquadern  $F_1$ — $F_3$  (Fig 19)<sup>1)</sup> die bereits eben-

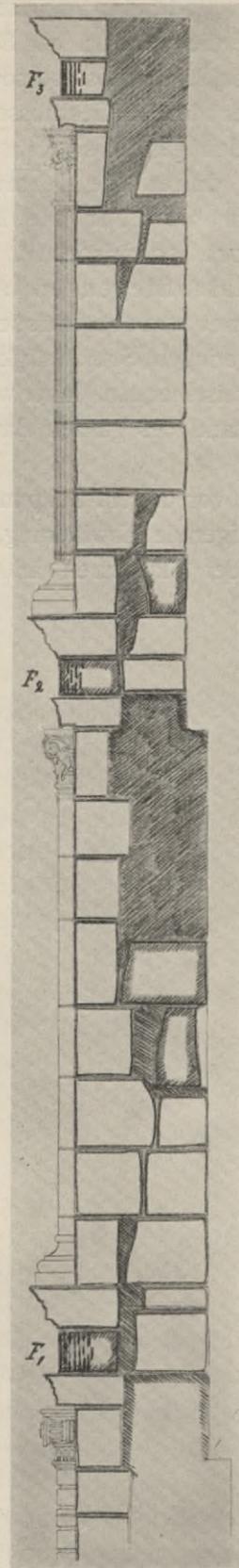


Fig. 19.

Nach einer vom Schloßbaubureau  
aufgen. Zeichnung. 1:10.

<sup>1)</sup> Die schräge schraffierten Teile bestehen aus Ziegelmauerwerk.

falls stark verwitterten Gurtgesimse tragen, und daß auf diese die Quadern der 35,5 m langen Halbsäulen des 2. Geschosses, sowie der 41 m langen Pilaster des 1. Geschosses nebst den Fenstergewänden gestellt sind.

Schreitet daher die Zermürbung der Friesquadern bis über die halbe Tiefe derselben fort, so wird mit einem Einsturz der daraufliegenden Architekturteile gerechnet werden müssen.

Bei der geringen Standfestigkeit der stark zerklüfteten, freistehenden Mauer wäre hierdurch aber der Bestand des ganzen Baues in Frage gestellt.

Daß lange vor diesem Zeitpunkt, durch die sich stetig steigende Abwitterung, eine völlige Vernichtung der Skulpturen an den Friesen,

Gesimsen, Fensterbegrönungen usw. zu erwarten steht, darf nach dem schon jetzt so ungünstigen Erhaltungszustand dieser Architekturteile mit Sicherheit angenommen werden.

Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, daß die freistehende Fassadenmauer des Otto-Heinrichs-Baues innerhalb dieses Jahrhunderts dem gänzlichen Untergange geweiht ist, falls es nicht gelingt, dem drohenden Zerfall durch geeignete Maßnahmen wirksam zu begegnen.

In wie weit lediglich die Lockerung des Verbandes in dem der fortdauernden Zerklüftung unterworfenen Mauerwerk eine beschleunigte Zerstörung des Bauwerks zur Folge haben kann, ist bei den vorstehenden Erwägungen außer Betracht geblieben.

# Über die Einwirkung von Traß- und Zementmörtel auf natürliche Bausteine

von

J. Hirschwald

Durch Prof. van der Kloes ist die Ansicht vertreten worden<sup>1)</sup>, daß die Verwitterung der natürlichen Bausteine nicht allein auf dem Einfluß der Atmosphären und des Frostes beruhe, sondern zum sehr erheblichen Teil zurückzuführen sei auf die Wirkung einer fehlerhaften Mischung des zum Hintermauern und Ausfugen verwandten Traß- und Zementmörtels.

Der nachteilige Einfluß von Zement auf gewisse Arten natürlicher Gesteine ist eine in der Praxis längst bekannte Tatsache; neu dagegen ist an der in Rede stehenden Behauptung, daß es namentlich ein zu großer Zuschlag von Kalk und eine zu geringe Beimengung von Sand sei, wodurch diese ungünstige Wirkung hervorgerufen werde, und ferner, daß die Verwitterung der natürlichen Bausteine nicht etwa nur in einzelnen Fällen, sondern in umfangreichem Maße auf den Einfluß des Mörtels zurückzuführen sei.

Da diese Ansicht mehrfachen Widerspruch erfahren hat, ohne daß dadurch die beregte

Frage zu einer befriedigenden Lösung gelangt wäre, so hat der V. Internationale Kongreß für die Materialprüfung der Technik (Kopenhagen 1909) dem Antrage von van der Kloes Folge gegeben und eine Kommission eingesetzt, um die Wirkung der Mörtelsubstanz auf die natürlichen Bausteine einer sachgemäßen Prüfung zu unterziehen. Als Mitglied dieser Kommission ist der Verf. veranlaßt worden, sich an der Ausführung dieser Untersuchungen zu beteiligen, und es mögen die diesseits gewonnenen Ergebnisse hier in Kürze dargelegt werden.

Van der Kloes stützt seine Ansicht auf Beobachtungen von Gesteinsverwitterungen namentlich an holländischen Bauwerken und weist darauf hin, daß die betreffenden Schäden vorzugsweise in der Nähe der Fugen und zwar insbesondere dann auftreten, wenn auch die Mörtelsubstanz eine Zerstörung erfahren hat. Experimentelle Untersuchungen über die ursächlichen Beziehungen dieser Erscheinungen sind jedoch nicht ausgeführt worden.

Bevor deshalb auf den Kernpunkt der Sache näher eingegangen werden soll, ob die den Auslaugungsprodukten des Mörtels zugeschriebene Zerstörung des Baugesteins sich wissen-

<sup>1)</sup> v. d. Kloes: Die Folge des Gebrauchs unrichtig zusammengesetzter Mörtel; Zentralblatt der Bauverwaltung, 1909, S. 557; Baumaterialien-Markt, 1911, S. 559; Revue des Matériaux de construction et de travaux publics, 1911, No. 75.

schaftlich nachweisen und erklären lasse, mag erörtert werden, ob das Auftreten von Verwitterungserscheinungen in der Nähe von Stoß- und Lagerfugen nicht auch durch andere Ursachen, als durch die chemische Wirkung des Mörtels hervorgerufen werden kann.

Von Bedeutung erscheint hierbei in erster Linie die Tatsache, daß die Verwitterung des Baugesteins in den allermeisten Fällen und selbst dann an der äußeren Umgrenzung der Werkstücke beginnt, wenn zur Hintermauerung und zum Vergießen der Fugen reiner Kalkmörtel verwendet worden ist, bzw. ein Ausstemmen der Fugen mit Blei stattgefunden hat, oder, wie bei alten Römerbauten, die Quadern ohne Mörtel unmittelbar aufeinander gesetzt worden sind.

Die Ursache für den Beginn der Verwitterung an den Fugen der Werkstücke kann aber eine sehr mannigfache sein, und es sind hierbei namentlich folgende Verhältnisse hervorzuheben:

1. Ist das Ausfugungsmaterial dichter als das Gestein selbst, so wird das in die Werkstücke eindringende Wasser sich in dem unteren Teil derselben über der Lagerfuge ansammeln und hier vorzugsweise zur Wirkung gelangen. Überdies aber kommt in Betracht, daß viele Gesteine, wie namentlich die Sandsteine, einen

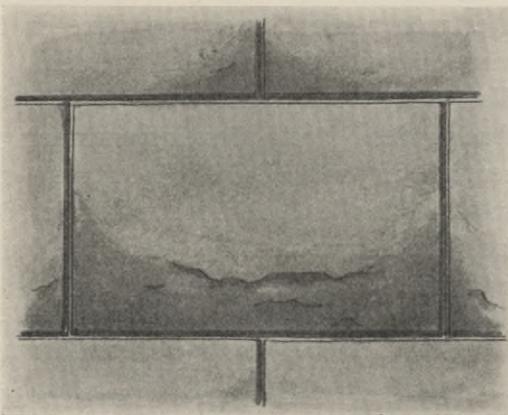


Fig. 20.

erheblichen Gehalt an wasserlöslichen Bestandteilen besitzen, welche sich beim allmählichen Verdunsten des Wassers in der äußeren Gesteinsrinde absetzen, so

daß diese stetig dichter und schließlich nahezu wasserundurchlässig wird. Das von dem oberen, porös gebliebenen Teil des Werkstücks aufgenommene Wasser wird daher, indem es hinter die untere, undurchlässig gewordene Rinde hinabsickert, auch während des Winters daselbst z. T. zurückbleiben und beim Gefrieren eine schalenförmige Abwitterung oberhalb der Lagerfuge bewirken (siehe Fig. 20)<sup>1)</sup>.

2. An vorspringenden Architekturteilen (Gesimsen, Kragsteinen usw.) findet, infolge der vermehrten Wasseraufsaugung, eine verstärkte Abwitterung der gedachten Art an den unteren Flächen und zwar sowohl an den Lagerfugen wie an den Stoßfugen

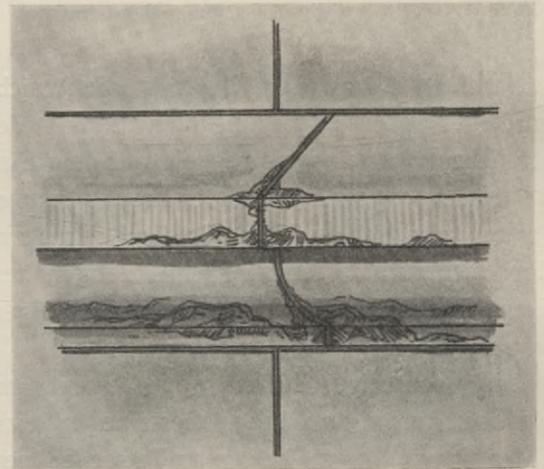


Fig. 21.

statt (s. Fig. 21). Auch hier wird die gute Qualität und Undurchlässigkeit des Mörtels die Wirkung erhöhen.

3. Fette Mörtel haben bekanntlich die Eigenschaft, beim Abbinden in beträchtlichem Maße zu schwinden. Bei Verwendung solcher Mörtel zum Ausfugen können sich Ablösungsspalten bilden, welche das Regenwasser längere Zeit festhalten, so daß auch dadurch eine schnellere Ver-

<sup>1)</sup> Näheres: Diese Mitteilungen, Jahrg. 1910, Heft 2, S. 47 „Die schalenförmige Verwitterung und ihre Beziehung zu dem Gehalt der Gesteine an wasserlöslichen Bestandteilen“.

witterung des Gesteins an den Fugen herbeigeführt wird. Ist das Gestein von geringer Festigkeit, so können durch den schwindenden Mörtel Rißbildungen im Gestein selbst, in der Nähe der Fuge hervorgerufen werden.

4. Besitzt das Ausfugungsmaterial dagegen eine sehr poröse Beschaffenheit, wie das bei mageren Mörteln der Fall ist, so wirkt das Regenwasser sowohl von der Oberfläche als auch von der Fuge aus auf das Gestein ein und bewirkt auf diese Weise eine erhöhte Zerstörung an der Umgrenzung der Werkstücke. Die gleiche Wirkung wird ausbröckelnder Mörtel, namentlich an freiliegenden Architekturgliedern, hervorrufen (s. Fig. 22).

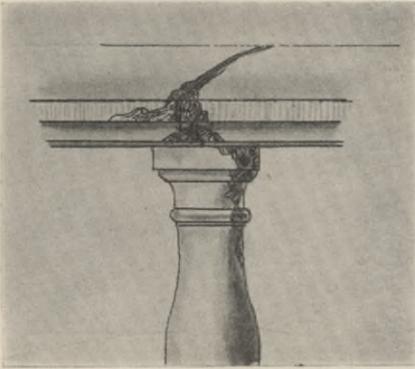


Fig. 22.

Unterstützt wird der in Rede stehende Prozeß durch die geringere Gefügefestigkeit des Gesteins an den Kanten des Werkstücks<sup>1)</sup>.

5. Am Sockel von Gebäuden wird poröser Mörtel eine starke Aufsaugung der Grundfeuchtigkeit bzw. des Spritzwassers innerhalb der Fugen zur Folge haben, wodurch namentlich dann, wenn die Verblendungsplatten aus geschichtetem und auf den Spalt gestelltem Gestein bestehen, eine starke Verwitterung an den Stoß-

fugen herbeigeführt werden kann. Ist der Mörtel von guter, dichter Beschaffenheit, so steigt die Grundfeuchtigkeit durch Kapillarattraktion an der Mörtelfuge in die Höhe, wird ständig aus dem Boden wieder ersetzt und verursacht so in gleicher Weise eine Zerstörung des Gesteins in der Nähe der Fugen (s. Fig. 23).

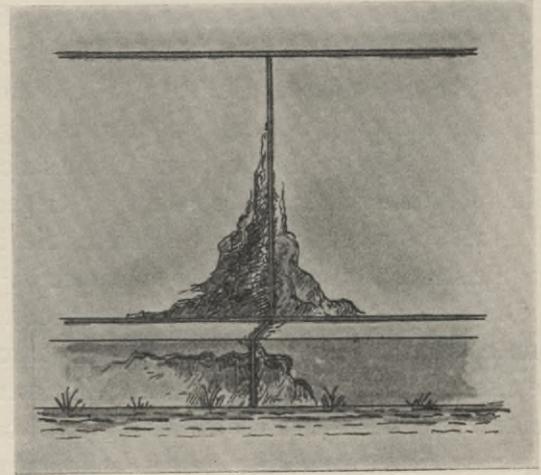


Fig. 23.

Aus alledem ergibt sich, daß der Beginn der Verwitterung an der Umgrenzung der Werkstücke als eine ganz allgemein auftretende Erscheinung zu betrachten ist, die in den meisten Fällen zurückgeführt werden kann auf die verminderte Gefügefestigkeit an den Kanten der Gesteinsquadern, sowie auf die mit dem Porositätsunterschied zwischen Mörtel und Gesteinsmaterial zusammenhängenden Verhältnisse der Wasseransammlung in den einzelnen Werkstücken.

Es fragt sich nunmehr, ob abgesehen hiervon, auch ein substanzieller Einfluß des Mörtels auf das Baugestein in der von van der Kloes behaupteten Weise stattfinden kann. Eine derartige Wirkung ist nur möglich, wenn die aus dem Mörtel durch Wasser ausziehbaren Bestandteile auf die Zusammensetzung der Gesteine chemisch einzuwirken vermögen.

v. d. Kloes ist allerdings der Ansicht, daß es sich hierbei im Grunde um einen physikalischen Prozeß handelt. Nach seiner Meinung soll das Auskristallisieren der aus dem Mörtel

<sup>1)</sup> Denkt man sich den Zusammenhang der körnigen Gesteinsbestandteile durch die Zahl ihrer gegenseitigen Verbindungen ausgedrückt, so werden die einzelnen Körner an der Oberfläche des Werkstücks nur die halbe, an den Kanten dagegen nur den vierten Teil der Kornbindungen aufweisen, welche im Innern des Gesteins besteht.

stammenden Salze in den Poren des Gesteins, durch die damit verbundene Volumvergrößerung, das Gesteinsgefüge zerstören. „Die jedesmalige Auflösung des Ausschlages durch Regen und das Wiederauskristallisieren beim Trocknen veranlaßt, daß dieselben Salzteilchen wiederholt ihre Wirkung ausüben können“<sup>1)</sup>.

Diese Auffassung steht jedoch mit den wissenschaftlichen Erfahrungen nicht in Einklang. Es gibt kein in Wasser lösliches Salz, welches ein geringeres spezifisches Gewicht hat, als seine gesättigte wässrige Lösung, und daraus folgt, daß alle derartigen Salze bei ihrer Kristallisation keine Volumvergrößerung, sondern im Gegenteil eine Volumverminderung erfahren, die in den meisten Fällen sogar sehr beträchtlich ist<sup>2)</sup>.

Die wasserlöslichen Bestandteile der Mörtel können daher, wenn überhaupt, so nur durch chemische Zersetzung auf das Gestein einwirken, und es wird deshalb für die Lösung der vorliegenden Frage zunächst darauf ankommen, die verschiedenen Traßarten und Zemente auf die Natur ihrer durch Wasser ausziehbaren Bestandteile zu untersuchen.

### A. Wasserlösliche Bestandteile im Traß.

Ausführung der Analysen. Ca. 15 g fein gepulverter Traß wurde mit 200 ccm dest. Wasser 3 Tage lang in einem Rotationsapparat geschüttelt, die abfiltrierte Lösung auf 250 ccm auf-

<sup>1)</sup> v. d. Kloes: Die Folgen des Gebrauchs unrichtig zusammengesetzter Mörtel; Zentralblatt der Bauverwaltung, 1909, S. 537.

<sup>2)</sup> Früher glaubte man auch die Frostwirkung nachahmen zu können, indem man das Gestein mit einer konzentrierten Natriumsulfatlösung tränkte und diese in den Poren des Gesteins, durch Austrocknen desselben, kristallisieren ließ. Man hat aber längst erkannt, daß diesem Versuch eine irrtümliche Annahme zugrunde liegt. Auch das Natriumsulfat ist beträchtlich schwerer und deshalb dichter als seine gesättigte Lösung; es vermag also beim Auskristallisieren keinen Druck auf die Porenwandungen auszuüben. In der Tat ist denn auch nachgewiesen worden, daß die bei manchen Sandsteinen, durch Einwirkung konzentrierter Lösungen jenes Salzes hervorgerufene Zermürbung des Gesteins, lediglich auf chemische Zersetzung des mergeligen Bindemittels desselben zurückzuführen ist.

gefüllt und gemessene Volumina derselben zur analytischen Bestimmung der einzelnen Bestandteile verwendet<sup>1)</sup>.

#### a) Probematerial aus dem Nettetal

##### 1. Grauer Traß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,460 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,443 „
CaO . . . . .	0,032 „
MgO . . . . .	—
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,305 „
SO <sub>3</sub> . . . . .	—
Cl . . . . .	Spur
Gesamter Wasserauszug	1,240 %

##### 2. Gelber Traß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,102 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,062 „
CaO . . . . .	0,082 „
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,217 „
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,044 „
Cl . . . . .	0,049 „
Gesamter Wasserauszug	0,556 %

##### 3. Blauer Traß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,033 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	—
CaO . . . . .	0,151 „
MgO . . . . .	0,014 „
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,276 „
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,062 „
Cl . . . . .	0,057 „
Gesamter Wasserauszug	0,593 %

##### 4. Geimen (erdig)

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,341 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,338 „
CaO . . . . .	0,041 „
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,274 „
SO <sub>3</sub> . . . . .	—
Cl . . . . .	0,031 „
Gesamter Wasserauszug	1,025 %

<sup>1)</sup> Die betreffenden Analysen sind von dem Assistenten Dr. Herscovici ausgeführt worden. Obgleich das Material hierzu von verschiedenen Stellen größerer Probestücke entnommen und nach dem Pulvern sorgfältig miteinander gemischt wurde, können die erhaltenen Resultate nicht die Bedeutung von Durchschnittswerten für die einzelnen Traßsorten beanspruchen. Solche Werte lassen sich nur aus zahlreichen Stichproben größerer Quantitäten des Mahlgutes, wie es auf den Gruben hergestellt wird, gewinnen. Es mag hierauf besonders hingewiesen werden, weil in der Praxis Wert auf eine bestimmte Mischung des Materials aus den verschiedenen Lagen gelegt wird, zu deren Beurteilung die obigen Analysen als ausreichend nicht zu erachten sind.

## 5. Tauch

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,210 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,495 "
CaO . . . . .	0,042 "
MgO . . . . .	0,030 "
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,328 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,048 "
Cl . . . . .	Spur
Gesamter Wasserauszug	1,153 %

## 4. Tauch.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,129 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,143 "
CaO . . . . .	Spur
MgO . . . . .	0,013 "
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,212 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spur
Cl . . . . .	0,023 "
Gesamter Wasserauszug	0,520 %

## 6. Weicher Traß (Lage unterhalb des Bergtrasses)

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,340 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,115 "
CaO . . . . .	Spur
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,098 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spur
Cl . . . . .	0,026 "
Gesamter Wasserauszug	0,579 %

## 5. Klörgut.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,216 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,287 "
CaO . . . . .	0,074 "
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,146 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spur
Cl . . . . .	0,020 "
Gesamter Wasserauszug	0,743 %

## 7. Bergtraß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,026 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,066 "
CaO . . . . .	Spur
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,049 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,054 "
Cl . . . . .	0,016 "
Gesamter Wasserauszug	0,211 %

## 6. Bergtraß.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,020 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,035 "
CaO . . . . .	0,022 "
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,038 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	—
Cl . . . . .	0,018 "
Gesamter Wasserauszug	0,133 %

## b) Probematerial aus dem Brohltal

## 1. Grauer Traß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,075 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,116 "
CaO . . . . .	0,018 "
MgO . . . . .	0,135 "
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,050 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,030 "
Cl . . . . .	0,026 "
Gesamter Wasserauszug	0,450 %

## 2. Gelber Traß

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,019 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,053 "
CaO . . . . .	0,075 "
MgO . . . . .	0,033 "
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,276 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,042 "
Cl . . . . .	0,070 "
Gesamter Wasserauszug	0,568 %

## 3. Blauer Traß.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,485 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,454 "
CaO . . . . .	0,066 "
MgO . . . . .	0,041 "
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,255 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	—
Cl . . . . .	0,020 "
Gesamter Wasserauszug	1,321 %

## B. Wasserlösliche Bestandteile im Zement.

Ausführung der Analysen. Es wurden ca. 15 g einer Durchschnittsprobe von 1 kg Zementmehl in gleicher Weise behandelt, wie das für die Traß-Analysen angegeben worden ist<sup>1)</sup>.

## Zement I.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,021 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	—
CaO . . . . .	2,304 "
MgO . . . . .	0,028 "
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,261 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,061 "
Gesamter Wasserauszug	2,675 %

## Zement II.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,026 %
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	—
CaO . . . . .	3,129 "
MgO . . . . .	Spur
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,826 "
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spur
Gesamter Wasserauszug	3,981 %

<sup>1)</sup> Die Untersuchungen sind an folgenden Fabrikaten ausgeführt worden: Germania-Zement, Misburg; Portland-Zement, Schönebeck a. E.; Portland-Zement, Hercynia, Harzburg; Portaer Roman-Zement.

Zement III.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,041 ‰
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,065 ‰
CaO . . . . .	1,133 ‰
MgO . . . . .	—
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,118 ‰
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,049 ‰
Gesamter Wasserauszug	1,406 ‰

Zement IV.	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	Spur
(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	Spur
CaO . . . . .	2,109 ‰
MgO . . . . .	—
(K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O) . . . . .	0,658 ‰
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spur
Gesamter Wasserauszug	2,767 ‰

Aus den vorstehenden Analysen ergibt sich folgendes: Im Traß des Nettetals sind bis zu 1,24 ‰, in dem des Brohltals bis zu 1,32 ‰ an wasserlöslichen Bestandteilen nachgewiesen, von denen namentlich Alkali- und Magnesiumsulfat, sowie die Alkalichloride als chemisch aktive Substanzen betrachtet werden dürfen.

Zu berücksichtigen ist überdies, daß durch den reichlichen Zuschlag von Kalkhydrat zum Traß eine erhebliche Vermehrung der wasserlöslichen Bestandteile bewirkt wird<sup>1)</sup>.

Alkali- und Magnesiumsulfat sowie Alkalichlorid wirken namentlich zersetzend auf kohlen-sauren Kalk ein, indem unter Bildung von Gips bzw. Chlorcalcium die Alkalien ausgeschieden und durch den Kohlensäuregehalt der Luft alsbald in Alkalibikarbonate verwandelt werden. Unter der Einwirkung der Rauchgase können diese Karbonate aber wiederum in Sulfate umgewandelt werden, wodurch der Prozeß sich fortdauernd wiederholt.

Diese Zersetzung wird sich aber, bei der reichlichen Anwesenheit von Calciumhydroxyd, fast ausschließlich innerhalb des Mörtels vollziehen, so daß eine unmittelbare Wirkung der Sulfate auf das Baugestein im allgemeinen nicht stattfindet. Wohl aber werden die gebildeten Alkalikarbonate auf gewisse Gesteinsbestandteile eine mehr oder weniger starke Zersetzung auszuüben vermögen und das gleiche gilt auch von dem

gebildeten Chlorcalcium. In Betracht kommen hierbei namentlich folgende Reaktionen: Kohlen-saure Alkalien lösen Kieselsäure und zersetzen tonige Substanzen, sowie auch in erheblichem Maße solche Silikate, welche sich nicht mehr in vollkommen frischem Zustande befinden, wie Feldspat, Hornblende, Augit, Leucit, Nephelin usw. und insbesondere die in kristallinen Gesteinen (Trachyt, Basalt) vorkommenden glasisgen Substanzen. Ebenso sind die genannten Silikate von Chlorcalcium in erheblichem Grade zersetzbar.

Die Ausblühungen des Mörtels werden daher auf tonige Gesteine (Sandsteine, Grauwacken, tonige Kalksteine und Tonschiefer), wie auf gewisse kristallinische Silikatgesteine chemisch einzuwirken vermögen, doch ist hierbei zu berücksichtigen, daß damit eine Zerstörung des Gesteins nur dann verbunden sein wird, wenn dasselbe auch von den Atmosphärien in erheblichem Maße angegriffen wird, also zu den wetterunbeständigen Gesteinen gehört. So werden z. B. Sandsteine und Grauwacken mit kieselig-er Kornbindung, falls sie toniges Porenzement enthalten, zwar eine Zersetzung des letzteren durch Alkalikarbonate bzw. Calciumchlorid erfahren, ohne daß dadurch jedoch der Zusammenhang des Gesteins in erheblichem Maße beeinträchtigt wird. Kristallinische Silikatgesteine werden durch jene Auslaugungsprodukte des Mörtels nur dann erheblich angegriffen werden, wenn ihre Mineralbestandteile bereits stärker zersetzt sind, die Gesteine also an und für sich zu den nicht mehr vollkommen wetterfesten gehören.

Nun behauptet aber v. d. Kloes, daß nur der fehlerhaft zusammengesetzte Mörtel eine schädliche Einwirkung auf das Baugestein ausübt, und als fehlerhaft bezeichnet er solche Mischungen, welche einen zu großen Gehalt an Kalk und einen zu geringen Gehalt an Sand besitzen.

Daß das quantitative Verhältnis von Traß, Kalk und Sand den geschilderten chemischen Prozeß beeinflusst, ist nur dann denkbar, wenn der Kalkzuschlag zu gering wäre, um für die Zersetzung der im Traß vorhandenen Sulfate

<sup>1)</sup> Siehe Tannhäuser, Ein Beitrag zur Petrographie des Trasses usw., dieses Heft S. 41, 42.

auszureichen, was bei keiner der fraglichen Mörtelmischungen zutrifft. Dagegen wird ein fehlerhaftes Mischungsverhältnis die physikalischen Eigenschaften des Mörtels, seine Festigkeit und Dichtigkeit allerdings ungünstig beeinflussen können und hierdurch seine Auslaugbarkeit durch Wasser erhöhen. Auch sehr fette und deshalb stark schwindende Mörtel können bei Verwendung zum Ausfugen, durch Ablösung vom Gestein, ein Eindringen des Wassers in die Fuge ermöglichen und hierdurch die Gesteinsverwitterung begünstigen.

Über die sachgemäße Mischung des Traßmörtels gehen aber die Ansichten der Fachleute weit auseinander. Während nach A. Hambloch<sup>1)</sup> erfahrungsmäßig der Satz gilt, das 2 Teile Kalk zur vollkommenen Bindung von 1 Teil Kieselsäure im Traß erforderlich sind, und demgemäß  $\frac{2}{3}$  bis  $1\frac{1}{4}$  Teil Kalkteig auf 1 Teil Traß und 1 bis 2 Teile Sand zu rechnen sind, verlangt v. d. Kloes ein Mischungsverhältnis von 1 Teil Kalkteig auf 3 Teile Traß und 4—6 Teile Sand und behauptet, daß kalkreichere und sandärmere Mörtel wetterunbeständig seien und unter fortwährender Auslaugung durch die meteorischen Niederschläge zerstört werden.

Es steht hier also Erfahrung gegen Erfahrung, und es kann nicht zweifelhaft sein, daß Mörtel, welche nach den verschiedenen Vorschriften zusammengesetzt waren, sich in zahlreichen Fällen gut bewährt haben. Hinsichtlich ungünstiger

Ergebnisse bleibt daher nur die Annahme übrig, daß neben dem quantitativen Verhältnis der Mischung auch andere Faktoren auf die Qualität des Mörtels in hervorragender Weise einzuwirken vermögen.

In Betracht dürften hierbei namentlich kommen:

1. Die Qualität des Trasses selbst;
2. Die Zusammensetzung des Kalkes, insbesondere sein Gehalt an Magnesia, der unter Einwirkung der Rauchgase zur Bildung von Magnesiumsulfat und demgemäß zu Ausblühungen führen muß;
3. die Vollkommenheit der Mischung der einzelnen Bestandteile;
4. die Beschaffenheit des verwendeten Sandes, und
5. die Menge des zum Anrühren des Mörtels gebrauchten Wassers.

Da die Bestimmung der zweckmäßigen Mischung des Traßmörtels außerhalb des Rahmens der gegenwärtigen Arbeit liegt, so muß die weitere Verfolgung dieser wichtigen Frage anderweitigen Untersuchungen vorbehalten bleiben<sup>1)</sup>.

Schon hier aber ist darauf hinzuweisen, daß die Auswahl eines möglichst magnesiafreien Kalkes zur Bereitung des Traßmörtels um so größere Sorgfalt erheischt, als die meisten Kalksteine einen recht beträchtlichen Gehalt an jenem für die Mörtelbereitung schädlichen Bestandteile besitzen.

Die folgenden im diesseitigen Institut ausgeführten Analysen mögen zur Charakterisierung der Kalksteinzusammensetzung dienen:

Fundort	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ton	Quarzsand	Org. Substanz	FeS <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> + 2 aq	Summe
Archäische Formation.										
Kunzendorf, Liegnitz . . . . .	99,11	1,00	—	0,05	0,07	—	—	—	—	100,23
Kauffungen, Schlesien I . . . . .	98,29	1,26	0,12	—	0,38	—	0,20	—	—	100,25
„ „ II . . . . .	98,41	—	—	0,03	0,46	0,35	0,81	—	—	100,06
Devon.										
Limburg I . . . . .	51,91	40,78	—	0,34	3,51	3,50	0,33	—	—	100,44
„ II . . . . .	45,86	46,20	—	0,68	5,68	1,73	0,14	—	—	100,29
Schöneken, Kr. Prüm . . . . .	51,14	42,88	—	0,42	0,91	1,87	3,10	—	—	100,32

<sup>1)</sup> Über das ungünstige Verhalten langsam abbindender Traßmörtel bei ihrer Verwendung zu Wasserbauten s. den bez. Aufsatz in diesem Heft S. 23 u. f.

Fundort	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ton	Quarzsand	Org. Substanz	FeS <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> + 2 aq	Summe
Devon.										
Berkum, Westfalen I . . . .	90,48	0,27	0,93	0,18	2,71	3,77	1,15	—	—	99,31
„ „ II . . . .	94,75	1,91	0,83	0,046	0,69	1,89	—	—	0,13	100,20
Gerolstein . . . . .	53,25	41,81	0,84	—	0,83	0,32	1,27	—	—	99,34
Raeren, Kr. Eupen I . . . .	87,35	10,10	—	0,25	2,68	0,03	0,61	0,097	0,254	101,36
„ „ II . . . .	83,03	1,20	—	0,15	7,88	5,31	—	0,64	0,137	99,68
Eupen . . . . .	93,87	0,21	—	0,22	2,60	1,52	0,56	—	0,095	99,07
Rittershausen, Rheinprov. I	87,33	7,85	—	—	1,55	2,77	0,30	0,24	0,268	100,40
„ „ II	96,33	3,44	—	—	0,52	0,36	—	0,0028	0,04	100,69
Karbon.										
Cornelimünster, Aachen I .	72,52	19,70	2,31	0,06	1,56	2,05	—	g. M.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g. M.	98,14
„ „ II .	94,89	1,49	0,29	0,10	1,06	1,26	0,48	CaO = 0,96	MgO = 0,02	100,55
Belgien . . . . .	95,67	1,74	—	0,32	—	2,56	0,50	an SiO <sub>2</sub> gebunden	—	100,79
Herdringen, Kr. Arnsberg .	89,64	1,89	—	0,25	1,54	6,64	—	0,165	0,218	100,33
Oese, Kr. Iserlohn . . . .	55,39	0,80	0,93	0,046	2,65	36,90	—	—	—	96,67
Zechstein.										
Hammerforstberg, Ellrich . .	55,09	43,91	—	0,18	0,38	0,12	0,52	—	—	100,20
Rainberg, Ellrich . . . . .	46,28	32,28	0,20	—	19,27	—	1,18	—	—	99,21
Pontelsberg b. Ellrich . . .	96,43	1,72	—	0,05	0,43	1,02	0,50	—	—	100,15
Udelfangen . . . . .	60,72	36,67	—	0,46	1,45	—	1,91	—	—	101,21
Trias (Rogenstein).										
Schlöbchenkopf bei Sanger- hausen . . . . .	88,85	0,21	—	1,42	—	7,81	0,23	—	—	98,52
Beesenlaubingen, Saalkreis I	90,43	1,66	—	0,30	3,77	3,23	—	—	—	99,39
„ „ II	74,78	1,62	—	0,94	11,76	10,70	1,02	—	—	100,82
Vienenburg, Kr. Liebenburg .	69,76	3,15	1,37	0,50	16,16	11,32	—	—	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,40	102,16
Bernburg I . . . . .	80,80	4,39	—	0,68	6,67	7,43	0,93	—	—	99,93
„ II . . . . .	52,78	37,19	—	1,04	3,48	4,77	0,58	0,089	0,250	100,17
Aderstädt . . . . .	79,12	1,79	0,90	—	1,88	14,46	—	—	—	98,15
Grössa . . . . .	76,41	3,99	—	0,75	4,48	14,28	0,10	—	—	100,03
Asse b. Schöppenstedt . . .	96,93	0,76	—	0,35	1,81	0,26	—	—	—	100,11
Trias (Muschelkalk).										
Pallien b. Trier . . . . .	52,89	42,84	0,48	—	1,56	1,78	0,36	—	—	99,91
„ . . . . .	53,57	37,51	—	1,09	1,82	5,20	0,76	—	—	99,95
Hainberg, Kr. Göttingen . .	89,29	0,67	—	0,25	2,29	4,38	1,10	g. M.	—	97,98
Jühnde, Kr. Göttingen . . .	96,32	0,44	1,54	—	—	1,10	0,78	g. Sp.	—	100,18
Goslar . . . . .	92,52	3,05	—	0,25	0,09	3,28	—	CaO = 0,97	MgO = 0,03	100,19
Bielefeld I . . . . .	79,70	14,07	—	0,37	1,89	3,28	0,27	an SiO <sub>2</sub> gebunden	—	99,58
„ II . . . . .	94,34	2,04	—	0,61	0,93	2,59	0,35	g. M.	—	100,86
„ III . . . . .	94,48	1,24	—	0,17	2,42	1,08	0,25	—	—	99,64
Gr.- u. Kl.-Wenden b. Nord- hausen I . . . . .	95,72	1,37	0,32	0,38	0,58	1,41	—	0,005	0,017	99,50
„ II . . . . .	97,55	0,74	—	0,87	0,45	0,51	0,31	—	—	100,43
Hüppedt, Kr. Worbis . . . .	97,35	0,95	—	0,44	0,08	0,91	—	0,33	0,77	100,83
Auf dem Röddel, Kr. Querfurt	96,12	0,42	—	0,46	0,58	0,96	0,57	—	—	99,11
Hottensen, Nordheim . . . .	95,23	0,63	0,16	—	0,62	1,07	0,82	—	—	98,53

Abkürzungen: Sp., g. Sp., g. M., bedeuten: Spuren, geringe Spuren, geringe Mengen.

Fundort	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ton	Quarzsand	Org. Substanz	FeS <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> + 2aq	Summe
Trias (Muschelkalk).										
Hotteln, Kr. Hildesheim I . . . . .	96,55	1,55	0,42	—	0,45	1,37	0,09	—	—	100,43
„ „ II . . . . .	96,24	0,02	—	0,34	0,63	1,53	0,31	0,0002	0,15	99,22
„ „ III . . . . .	98,03	0,84	—	0,40	—	0,85	0,04	0,0002	0,119	100,28
„ „ IV . . . . .	98,02	0,42	—	0,37	0,96	0,25	0,20	—	—	100,22
„ „ V . . . . .	98,14	0,02	—	0,24	0,96	0,25	—	—	—	99,61
„ „ VI . . . . .	96,68	0,65	0,40	—	0,03	1,56	0,28	—	—	99,60
„ „ VII . . . . .	97,45	0,80	—	0,31	0,58	0,40	—	—	—	99,54
„ „ VIII . . . . .	97,39	1,03	0,44	—	—	1,04	—	—	—	99,90
„ „ IX . . . . .	97,16	0,42	—	0,22	1,39	0,38	—	—	—	99,57
Betheln, Kr. Marienbg. . . . .	96,16	0,84	—	0,32	0,35	1,31	0,46	—	—	99,44
Hellenberg, Dorste . . . . .	51,02	40,61	—	1,34	2,60	3,96	1,16	—	—	100,69
Fallerleben . . . . .	96,41	1,39	—	0,25	1,49	0,24	0,57	—	—	100,35
Sonnenstein, Kr. Holungen . . . . .	98,82	0,33	—	0,05	0,96	0,49	—	—	—	100,68
Mariengarten, Kr. Dramfeld . . . . .	96,43	1,09	—	0,59	0,76	0,60	0,66	—	—	100,13
Wanzleben . . . . .	11,71	6,93	—	1,30	1,68	77,17	0,09	—	—	98,88
Westerberg, Hannover I . . . . .	77,57	0,76	—	0,10	7,62	13,22	0,67	—	—	100,17
„ „ II . . . . .	83,04	0,90	—	0,61	5,06	9,89	0,55	—	—	100,05
Rüdersdorf I . . . . .	96,71	1,24	Sp.	Sp.	1,05	0,38	—	—	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Sp.	99,38
„ II . . . . .	96,90	0,98	—	0,13	1,16	0,14	0,50	—	—	99,81
Neudietendorf-Weißenfels . . . . .	96,51	0,88	—	Sp.	0,63	0,80	0,58	—	—	99,40
Krappitz, Oppeln . . . . .	98,55	0,61	—	0,39	0,67	0,15	0,83	—	—	101,20
Lengefeld . . . . .	95,82	0,50	0,48	—	1,00	0,45	1,19	—	—	99,44
Hullersen-Rotenkirchen, Einbeck . . . . .	92,86	0,82	—	0,36	1,62	3,34	0,35	—	—	99,35
Nienburg . . . . .	97,28	1,24	0,30	—	—	1,06	0,65	g. M.	—	100,53
Weimar . . . . .	83,51	10,43	—	1,90	3,45	0,68	0,12	Sp.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g. M.	100,09
Bürvenich, Düren . . . . .	48,85	33,35	2,84	—	14,43	—	0,90	—	—	100,37
Elmgebirge, Kr. Helmstedt . . . . .	95,09	0,69	—	0,48	0,53	2,10	0,43	—	—	99,32
Lias.										
Savonnières, Frankreich . . . . .	88,25	2,21	—	0,31	0,81	3,72	2,23	CaO = 1,33   MgO = 0,04 an SiO <sub>2</sub> gebunden		99,00
Weißer Jura.										
Sülfeld (?), Kr. Gifhorn . . . . .	97,64	1,51	—	0,43	0,76	0,23	0,09	—	—	100,66
Turon.										
Anröchte, Westfalen . . . . .	49,70	1,09	—	5,42	7,13	36,68	0,93	—	—	100,95
Altenbeken, Paderborn I . . . . .	86,19	9,87	2,38	—	1,89	—	—	—	—	100,33
„ „ II . . . . .	96,05	2,92	0,30	—	2,26	0,20	—	—	—	101,73
Senon.										
Stromberg, Münster . . . . .	90,64	0,88	1,70	—	1,97	4,37	0,11	—	—	99,67
Anröchte, Westfalen . . . . .	52,60	0,66	4,80	—	14,57	26,42	1,09	g. M.	—	100,04
Berkum, Westfalen . . . . .	89,05	0,29	1,12	—	1,41	6,38	0,47	—	—	98,72
Quartär (Kalktuff).										
Laer, Kr. Melle . . . . .	98,37	Sp.	0,32	—	0,18	0,02	0,81	0,81	—	100,51
Roßdorf, Kr. Darmst. I . . . . .	98,33	0,12	—	0,09	0,34	0,05	1,52	—	—	100,11
„ „ II . . . . .	94,20	—	0,64	—	4,55	0,44	0,94	—	—	100,77

Die Kalksteine der einzelnen Formationen zeigen hiernach einen sehr verschiedenen Gehalt an  $MgCO_3$ . Derselbe schwankt, wenn man von den eigentlichen Dolomiten absieht, bei den untersuchten Gesteinen innerhalb folgender Grenzen:

	Gehalt an $MgCO_3$
1. Archaicum . . . . .	0— 0,12 %
2. Devon . . . . .	0,21—10,10 „
3. Karbon . . . . .	0,80— 1,89 „
4. Zechstein . . . . .	— 1,72 — „
5. Untere Trias (Rogenstein) .	0,21— 4,39 „
6. Mittlere Trias (Muschelkalk)	0,33—14,07 „
7. Lias . . . . .	— 2,21 — „
8. Weißer Jura . . . . .	— 1,51 — „
9. Turon . . . . .	1,09— 9,87 „
10. Senon . . . . .	0,29— 0,88 „
11. Quartär (Kalktuff) . . .	0— 0,12 „

Sehr verschieden kann auch die Zusammensetzung der einzelnen Lagen desselben Vorkommens sein. So schwankt der Gehalt an Magnesiumkarbonat in den Kalksteinen der Umgegend von Hotteln, Kr. Hildesheim, zwischen 0,02 und 1,55 %; in denen der Umgegend von Bielefeld zwischen 1,24 und 14,07 %.

Völlig magnesiafreie Kalksteine gehören zu den seltenen Vorkommen. Es erscheint deshalb von Bedeutung, eine möglichst große Zahl von gut und schlecht bewährten Mörteln zu analysieren, um auf diese Weise festzustellen, welcher Grenzwert an Magnesiumkarbonat in den Kalksteinen für ihre Verwendung zur Traß-Mörtelbereitung zulässig erscheint.

Auch die reinen Kalkmörtel werden in diese Untersuchung einzubeziehen sein, da die sog. „Salpeterausblühungen“ an denselben vorzugsweise auf Eisenkies-Einsprengungen in magnesiahaltigen Kalksteinen zurückzuführen sind.

Übrigens ist hervorzuheben, daß die Analysen keinen sachgemäßen Maßstab für den Gehalt an Eisenkies im Kalk geben, da das Mineral meistens sporadisch im Gestein eingesprengt ist und für dessen chemische Untersuchung nur wenige Gramm verwendet werden können. Man ist deshalb auf eine äußerliche Untersuchung des Materials angewiesen und es kommt hierbei zu statten, daß der Eisenkies

infolge seines lebhaften Metallglanzes und seiner gelben Farbe, selbst in feinen Imprägnationen, mit Hilfe der Lupe leicht im Kalkstein zu erkennen ist.

Hinsichtlich der Wirkung des Zements auf natürliche Bausteine läßt sich annehmen, daß dieselbe, infolge des im allgemeinen größeren Gehaltes an wasserlöslichen Bestandteilen bzw. an Alkalisulfaten, eine noch ungünstigere als die des Traßmörtels ist, was durch die Erfahrung bestätigt wird. Zwar kommen Zemente in den Handel, welche nur Spuren von Schwefelsäure und einen geringeren Gehalt an wasserlöslichem Alkali als die Traßsorten enthalten; aber es ist andererseits hervorzuheben, daß die Fabriken keineswegs ein durchaus gleichmäßiges Material zu liefern vermögen, weil namentlich der Gehalt an Eisenkies in den Kalken und Tonen meist sehr ungleichmäßig verteilt ist. In einzelnen Schichten der abgebauten Lager kann er nahezu vollständig fehlen und in anderen um so reichlicher auftreten. Ganz eisenkiesfreie Kalk- und Tonlager gehören zu den seltenen Vorkommen. Einen ähnlichen Wechsel zeigt der Magnesiumgehalt in den einzelnen Schichten der Kalksteinbrüche.

Unter diesen Umständen empfiehlt es sich, die Anwendung von Zement zum Ausfügen der Werkstücke bzw. zum Hintermauern derselben tunlichst zu vermeiden und hierzu lediglich magnesiafreien Kalkmörtel zu verwenden.

Auch hier gilt aber, was bereits hinsichtlich des Trasses bemerkt worden ist, daß in hervorragender Weise wetterfeste Gesteine, wie z. B. kieselige Sandsteine und Grauwacken, sowie kristallinische Silikatgesteine von frischer Beschaffenheit, durch die Auslaugungsprodukte des Zements eine namhafte Veränderung nicht erleiden, während wetterunbeständige Gesteine in erhöhtem Maße davon zerstört werden können.

### Gesamtergebnis

Die Resultate der vorstehenden Untersuchung lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Die Verwitterung der natürlichen Bausteine beginnt fast immer an den Rändern der Werkstücke, also in der Nähe der

- Fugen und schreitet hier am schnellsten fort. Diese Erscheinung ist im allgemeinen zurückzuführen auf die Ansammlung des in das Gestein eingedrungenen Wassers über den Lagerfugen und an dem unteren Teil der Stoßfugen, sowie andererseits auf die verminderte Gefügesteifigkeit an den Kanten der Werkstücke.
2. Eine Einwirkung des zum Ausfugen verwendeten Traß- bzw. Zementmörtels auf das Baugestein kann stattfinden, wenn der Mörtel eine erhebliche Menge an Alkali- und Magnesiumsulfat sowie an Alkalichlorid enthält und das Bindemittel des Gesteins, bzw. seine körnige Bestandmasse aus solchen Mineralsubstanzen besteht, welche durch die genannten Sulfate und Chloride oder durch die aus den ersteren unter dem Einfluß des Kalkes entstehenden Karbonate zersetzt werden.
  3. Die vorgedachte Wirkung des Mörtels ist bei guter Beschaffenheit desselben eine vorübergehende und hört im wesentlichen auf mit dem vollkommenen Abbinden desselben. Ist der Mörtel jedoch aus irgendwelcher Ursache nicht wetterbeständig und zeigt er infolgedessen fortdauernde Ausblühungen, so ist auch die Möglichkeit einer stetigen Einwirkung auf das Baugestein gegeben.
  4. Wetterfeste Gesteine werden durch die aus dem Mörtel ausgelaugten Substanzen im allgemeinen nur wenig angegriffen, während diese Auslaugungsprodukte die Verwitterung schlechter Bausteine erheblich beschleunigen können.
  5. Der als Zuschlagsmittel zum Traß verwendete Kalk soll möglichst frei von Magnesiumkarbonat und Eisenkies sein.

# Ein Beitrag zur Petrographie des Trasses und zur Erklärung seiner hydraulischen Wirkungsweise

Von

F. Tannhäuser

Das Material zu der vorliegenden Arbeit wurde von mir für eine von dem Ministerium der öffentlichen Arbeiten veranlaßte Untersuchung im Sommer 1910 gesammelt. Unterstützt wurde ich hierbei durch das Entgegenkommen der Firmen: Gerhard Herfeldt-Andernach, J. Meurin-Andernach, Jakob Mittler jr.-Orbachsmühle im Brohltal und D. Zervas Söhne-Köln. Außerdem stellten mir die Firmen G. Herfeldt und D. Zervas-Söhne durch Vermittelung der Herren A. Hambloch und A. Wagner eine reiche Auswahl von Analysen zur Verfügung. Dem erstgenannten Herrn verdanke ich auch das Klischee zu Fig. 24.

## 1. Allgemeines

Der Traß, in der Technik auch Duckstein<sup>1)</sup> genannt, gehört bekanntlich zu den

<sup>1)</sup> In der Petrographie bezeichnet man als Duckstein „lückenhafte poröse und kavernöse Kalkkarbonatmassen in schaligen und wulstförmigen Lagen ohne eigentliche deutliche Schichtung, welche sich aus kalkreichem Fluß- und Quellwasser, zum großen Teil unter Mitwirkung von Moosen und Algen absetzen“. (Vergl. Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre, 1901, S. 420). Demnach ist die Bezeichnung „Duckstein“ für den kalkarmen Traß petrographisch nicht gerechtfertigt.

Pozzuolanen, d. h. zu den natürlichen hydraulischen Mörtelbildnern, die ihren Namen nach dem Vorkommen bei Pozzuoli, westlich Neapel, erhalten haben.

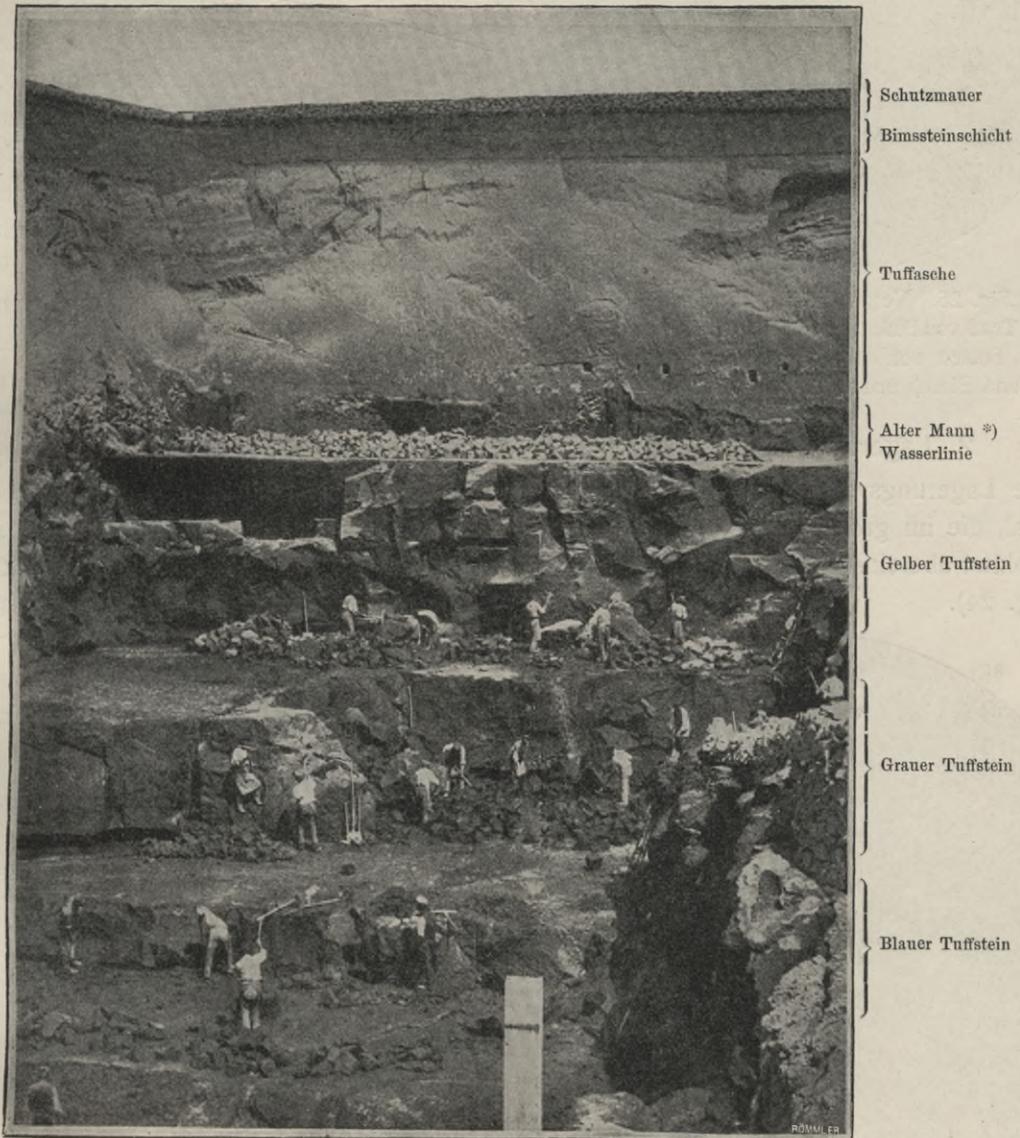
In Deutschland sind es zwei Lokalitäten der Vordereifel, deren Material für den Wasserbau eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangte: einmal die ausgedehnten Lager im Brohltal mit seinen Seitentälern, die aber heute bereits zum größten Teil abgebaut sind, dann die mächtigen Ablagerungen im Nettetal bei den Dörfern Plaidt, Kretz und Kruft, welche uns noch für lange Zeiten mit dem wertvollen Material versorgen können.

Wie die wiederaufgewältigten zahlreichen verlassenen Baue sowohl im Brohl- als auch im Nettetal beweisen, wußten bereits die alten Römer den Wert des Trasses zu schätzen, der wie der künstliche Zement die Fähigkeit besitzt, nach Zusatz von gelöschtem Kalk und Sand auch unter Wasser zu erhärten. Und zwar hat der Traß gegenüber den künstlichen hydraulischen Mörteln den Vorzug, daß er weit langsamer — vollständig erst nach Jahren — abbindet, ein Umstand, der ihn gerade für die Verwen-

zung zu schweren Talsperren und Molenbauten geeignet macht, weil er infolge seiner lange anhaltenden Elastizität bei den nachträglichen, unvermeidlichen Senkungen die Bildung von Rissen und klaffenden Spalten verhindert.

Seiner Entstehung nach gehört der Traß zu den jungvulkanischen, diluvialen Tuffen des Laacher-Seegebietes. Im Gegensatz zu den

sonstigen mannigfachen Tuffsteinvorkommen der Vordereifel, wie z. B. am Gänsehals, ferner in der Umgegend von Rieden, Mayen, Ettringen, Bell, Kempenich usw., die allesamt leucitführend sind, rechnet der Traß zu den leucitfreien Gesteinen, die einem rein trachytischen Magma entstammen.



Entwässerungs-Kanal

Fig. 24.

### Tuffstein-Grube

von Gerhard Herfeldt in Plaidt bei Andernach a. Rhein.

\*) Bergtechnischer Ausdruck für in früheren Zeiten bereits ausgebeutete und wieder ausgefüllte Grubenräume.

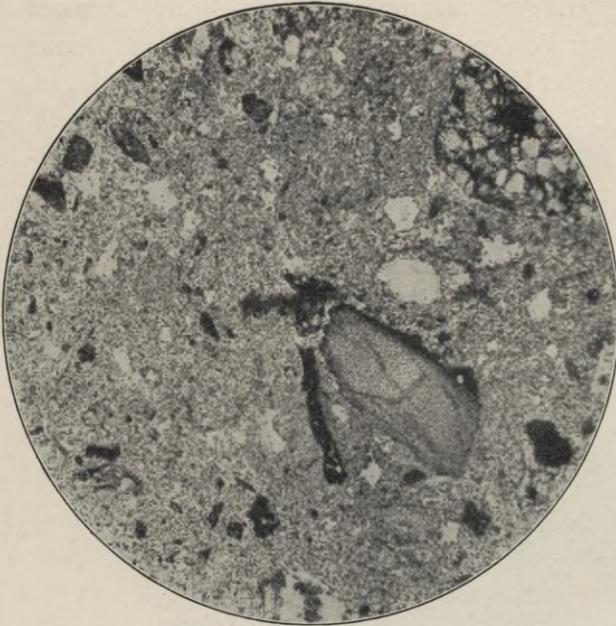


Fig. 25. Vergr. 15 mal, gewöhnl. Licht.

**Gelber Traß** von Plaidt; in der dichten Grundmasse liegen kleinere Fetzen von stark zersetzten Mineralien (Hornblende und Biotit) und größere fremde Gesteinsbrocken.

## 2. Lagerungsverhältnisse

Die Lagerungsverhältnisse des Trasses im Nettetal, die im großen und ganzen mit denen im Brohltal übereinstimmen, sind kurz folgende (s. Fig. 24).

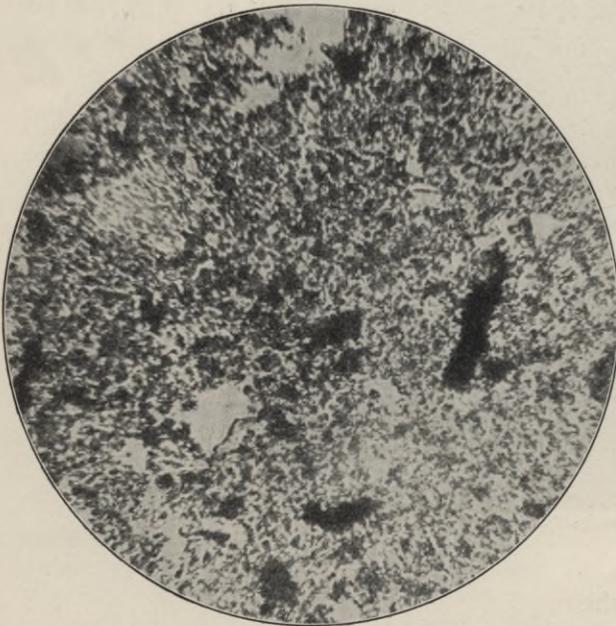


Fig. 26. Vergr. 140 mal, gewöhnl. Licht.

Grundmasse von Fig. 25 bei starker Vergrößerung; dieselbe besteht aus einem innigen Gemenge von schaumigem bis gekörneltm Glase mit dazwischen geklemmten winzigen Partikelchen von Sodalithmineralien.

Über dem Unter-Devon, das hier in der Hauptsache aus stark gefalteten Schiefen, Grauwacken und Sandsteinen zusammengesetzt ist, folgt in der Regel zunächst ein plastischer Ton in zeitweiliger Wechsellagerung mit schwachen Bimssteinschichten, die stark wasserführend und daher beim Abbau sehr gefürchtet sind. Darüber lagert das anstehende Tuffgestein, der eigentliche Traß, bis zu einer Mächtigkeit von 25 Metern. Die untersten Schichten desselben sind von bläulich-grauer, die mittleren von grauer und die obersten von gelblich-grauer Färbung. Hand in Hand mit der zunehmenden Intensität der Färbung geht eine nach der Tiefe zu fortschreitende größere Härte des Trasses, mit der wiederum eine beträchtlichere hydraulische Wirkung verbunden ist, da der härtere Traß weniger erdige Beimengungen enthält. Infolgedessen verlangen die Baubehörden, daß für ihre Lieferungen das Traßmehl in geeigneter Weise aus den drei Lagen vermischt wird. Diese drei Spielarten des Trasses liegen unterhalb des Grundwasserspiegels. Hierdurch wird auch eines Teils die hellere Färbung der obersten Traßpartien bedingt, die auf einer reichlicheren Bildung von Eisenhydroxyd beruht. Zum andern Teil dürfte die hellere Färbung schon durch das oben erwähnte reichlichere Vorhandensein von erdigen Beimengungen hervorgerufen werden.

Über dem eigentlichen Traß tritt entweder eine Schicht festerer Tuffasche mit größeren Bimssteineinschlüssen auf, die man *Tauch* nennt, oder der sogenannte weiche Traß; beiden kommt nur eine weit geringere hydraulische Wirkung zu als dem guten Traß.

Hierauf liegt in einer Mächtigkeit, die zwischen 5 bis 20 Metern und darüber schwankt, der berühmte Bergtraß oder wilde Traß, auch kurz als *Asche* bezeichnet, der früher vielfach, trotz seiner Wertlosigkeit als hydraulischer Mörtel, zu umfangreichen Fälschungen benutzt worden ist, besonders in einer Zeit, in der der Traß im Brohltal anfang, rapide abzunehmen.

Den Abschluß bildet eine ca. 2 Meter starke Bimssteinablagerung, die mit Kalkbrei angerührt, die leichten und luftdurchlässigen „Schwemmsteine“ liefert.

### 3. Petrographische Zusammensetzung

Bezüglich der petrographischen Zusammensetzung haben die mikroskopischen Untersuchungen für die verschiedenen Tuffarten nachstehendes Resultat ergeben.

1. Traß. Der blaue, graue und gelbe Traß unterscheiden sich lediglich durch den verschiedenen Gehalt an erdigen Beimengungen und an Eisenhydroxyd. Im übrigen besteht der Traß in der Hauptsache aus unregelmäßig begrenzten und recht verschieden großen Bimssteinstücken und ferner aus Gesteinsbrocken, die entweder von den bei der Eruption der Tuffmassen durchbrochenen sedimentären Gesteinen — vornehmlich Tonschiefern, Grauwacken und Quarziten — oder auch von älteren Eruptivgesteinen herrühren. Sowohl die Bimssteinstücke, als auch die fremden Gesteinsbrocken sind durch eine Grundmasse verkittet, die neben erdigen Bestandteilen zum größeren Teil von einem schaumigen oder auch gekörnelten Glase gebildet wird (s. Fig. 25).

Zwischen den glasigen Partien der Grundmasse sind aber auch nicht unbedeutende Mengen von farblosen Sodalithmineralien ein-

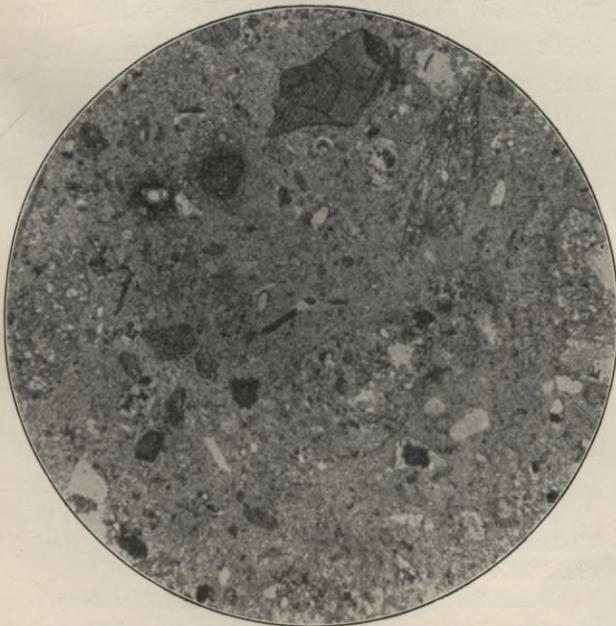


Fig. 27. Vergr. 15 mal, gewöhnl. Licht.

Leucittuff von Rieden; in der dichten Grundmasse liegen wie beim Traß teils stark zersetzte Mineralpartikel, teils fremde Gesteinsbrocken.

geklemmt, und zwar dürfte es sich dabei sowohl um Sodalith als auch um Nosean und Hauyn, bezw. um Mischungen dieser isomorphen Mineralien handeln (s. Fig. 26). Eine eindeutige

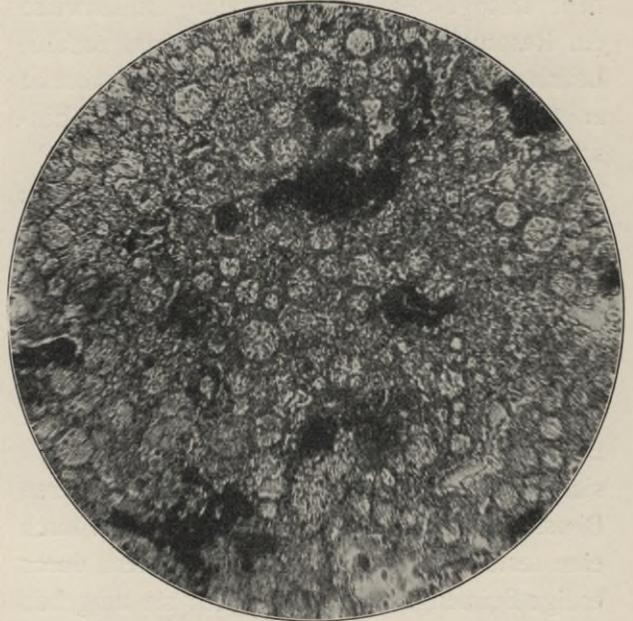


Fig. 28. Vergr. 140 mal, gewöhnl. Licht.

Grundmasse von Fig. 27 bei starker Vergrößerung; dieselbe besteht aus einem körnigen Glase, in dem zahlreiche Leucitkristalle eingebettet liegen.

Entscheidung dieser Frage war leider weder mit Hilfe des Mikroskops noch durch die mikrochemische Analyse zu erreichen. Das niedrige Brechungsvermögen, sowie der sichere Nachweis von Chlor und Schwefelsäure schließen aber jeden Irrtum aus. Wahrscheinlich ist gerade das geringe Brechungsvermögen schuld daran gewesen, daß man bisher diese Mineralien in der ebenfalls schwach brechenden glasigen Grundmasse übersehen hat.

Neben diesen Bestandteilen sind am Aufbau des Trasses noch beteiligt Sanidin, von dem bereits Gerhard vom Rath<sup>1)</sup> nachweisen konnte, daß er durch einen hohen Natrongehalt ausgezeichnet ist, in geringeren Mengen Plagioklas, ein blaßgrüner, gemeiner Augit, gelblichgrüner Ägirinaugit und violetter Titanaugit — deutlich pleochroitisch mit gelegentlicher Sanduhrstruktur —, ferner brauner Glim-

<sup>1)</sup> Pogg. Ann., Bd. 135.

mer und eine braune Hornblende, die häufig starke Resorptionsphänomene erkennen läßt. Akzessorisch wurden bereits durch frühere Untersuchungen, insbesondere von Völzing<sup>1)</sup>, Hauyn, Nosean, Apatit, Titanit, Zirkon und Magnetit nachgewiesen. Der letztere ist teilweise ein Resorptionsprodukt des Hornblendezerfalls. Leucit als ursprünglicher Bestandteil fehlt; kommt er trotzdem vor, so entstammt er den Einschlüssen älterer Laven.

Erwähnt sei noch, daß in der Grundmasse häufig Ausscheidungen von büschelförmig aggregierten Feldspatmikrolithen und feinen Pyroxennädelchen enthalten sind.

2. Tauch und weicher Traß. Wie bereits erwähnt, handelt es sich beim Tauch um eine festere Tuffasche, die als Einschlüsse größere Bimssteinstücke führt. Der weiche Traß setzt sich in der Hauptsache ebenfalls aus größeren Bimssteinbrocken zusammen, die aber nicht durch eine feste Grundmasse verkittet, sondern durch erdige Beimengungen, von denen sie umgeben sind, nur ganz lose zusammengehalten werden. Der makroskopischen Ausbildungsweise entspricht auch das mikroskopische Bild.

Beim Tauch sehen wir eine glasige, ziemlich weitgehend zersetzte Grundmasse mit größeren Partien von Bimsstein und fremden Gesteinen, sowie Einsprenglinge von Sanidin, Glimmer, Hornblende usw. Die Sodalithminerale treten in der Grundmasse stark zurück, wenn sie auch keineswegs gänzlich fehlen. Bei der starken Trübung der Grundmasse sind dieselben allerdings nur ausnahmsweise sicher zu erkennen.

Infolge der erdigen Beschaffenheit des weichen Trasses war es nicht möglich, gute Dünnschliffe herzustellen. Das fein verteilte Material konnte für die mikroskopische Untersuchung nur mit Terpentinöl durchtränkt eingedeckt werden. Die erdigen Bestandteile überwiegen bei weitem. Einsprenglinge von Feldspat und zersetzten bunten Bestandteilen waren nur spärlich und von geringen Dimensionen vorhanden. Mineralien der Sodalithgruppe

<sup>1)</sup> Der Traß des Brohltales. Jahrb. der Königl. preuß. geol. Landesanstalt, 1907, Bd. XXVIII, S. 1—56.

wurden nicht konstatiert; vielleicht sind sie aber auch hier in untergeordneten Mengen zugegen.

3. Bergtraß. Auch beim Bergtraß haben wir es mit mehr oder weniger lockeren Massen zu tun, deren Zusammenhang im Gegensatz zum weichen Traß jedoch immerhin so groß ist, daß man hier und da senkrechte Wände von beträchtlicher Höhe anstehen sieht, die auch ohne Gefahr des Einsturzes abgebaut werden können. In petrographischer Beziehung ähnelt der Bergtraß den beiden soeben beschriebenen Abarten: dieselben erdigen Beimengungen und dieselben sonstigen Bestandteile. Besonders aber muß hervorgehoben werden, daß nach dem chemischen Befund — wenn auch in weit bescheidenerem Maße als bei gutem Traß — gleichfalls Sodalithminerale vorhanden sind. Es wird sich noch Gelegenheit bieten, auf die besondere Bedeutung, die den letzteren zukommt, hinzuweisen.

#### 4. Chemische Zusammensetzung

Über die chemischen Verhältnisse der verschiedenen Traßarten geben uns nachfolgende Analysen Aufschluß, die dem Material des Herrn A. Hambloch entnommen wurden<sup>1)</sup>. Zum Vergleich mögen die Analysen je eines Leucittuffes von Rieden und Weibern sowie die zweier Pozzuolane von Neapel<sup>2)</sup> dienen.

1. Traß von Plaidt und Kretz im Nettetal  
(gute Durchschnittsanalyse)
2. Blauer Traß von Plaidt
3. Grauer „ „ „
4. Gelber „ „ „
5. Tauch „ „
6. Bergtraß „ „
7. „ von Brohl
8. Bimssand „ Plaidt

<sup>1)</sup> Weitere Traßanalysen findet man in:

A. Hambloch, Der Traß, seine Entstehung, Gewinnung und Bedeutung im Dienste der Technik. Berlin 1909, S. 5.

Ders., Der rheinische Traß als hydraulischer Zuschlag in seiner Bedeutung für das Baugewerbe. Andernach, 1903. S. 5—6.

K. Völzing, a. a. O. S. 27.

<sup>2)</sup> I. Roth, Die Gesteinsanalysen in tabellarischer Übersicht; 1861. S. 20.

9. Leucittuff von Rieden  
10. „ „ Weibern

11. Pozzuolan von Neapel  
12. „ „ „

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
SiO <sub>2</sub>	56,12	56,54	58,19	57,02	59,64	60,94	61,13	58,11	54,12	61,08	59,14	59,81
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,09	0,56	0,58	—	—	—	—	Sp.	Sp.	nicht best.	nicht best.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,16	18,97	18,04	17,45	14,71	15,98	13,41	19,94	19,80	12,60	21,28	16,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,83	3,24	3,66	4,15	5,55	3,66	7,28	2,87	5,10	4,45	} 4,76	} 4,57
FeO	0,78	0,94	0,58	1,04	0,61	1,10	1,01	0,34	0,44	0,84		
CaO	2,16	1,98	2,42	2,15	3,40	2,97	5,13	1,70	1,74	2,54	1,90	1,59
MgO	1,41	1,54	1,14	1,64	3,92	2,11	2,12	1,18	1,20	0,90	—	—
Na <sub>2</sub> O	4,04	4,44	3,61	4,22	3,96	5,14	4,12	4,97	10,38	8,64	6,23	—
K <sub>2</sub> O	4,31	3,69	4,10	4,11	4,10	5,08	3,63	8,14	4,52	4,94	4,37	14,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,07	0,04	0,09	—	—	—	—	—	—	—	—
Cl	nicht best.	0,16	Sp.	Sp.	2,56 (NaCl)	3,25 (NaCl)						
SO <sub>3</sub>	0,04	0,42	0,06	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—
hydr. H <sub>2</sub> O	3,14	—	—	—	—	—	—	—	0,60	0,33	—	—
Hydr. H <sub>2</sub> O	7,68	8,12	7,71	7,36	4,19	3,16	2,20	2,84	2,26	3,69	—	—
Summa	100,06	100,04	100,11	100,20	100,08	100,14	100,03	100,25	100,16	100,01	100,25	99,73

Zu diesen Analysen ist folgendes zu bemerken.

Da die mikroskopische Untersuchung bei den guten Traßsorten einen beträchtlichen Gehalt der Grundmasse an chlor- und schwefelsäurehaltigen Sodalithmineralien ergeben hatte und außerdem Dr. Michaelis<sup>1)</sup> bei sechs Analysen von blauem, grauem und gelbem Traß aus dem Nettetal einen Schwefelsäuregehalt von 1,131 %; 0,926 %; 0,784 %; 0,684 %; 1,326 % und 0,525 % angibt, so wurde durch Herrn W. Netthöfel nochmals eine genaue Chlor- und Schwefelsäurebestimmung vorgenommen. Jede Bestimmung wurde dreimal ausgeführt, und zwar wurde Chlor bestimmt einmal durch Aufschluß mit chlorfreier Soda, das andere Mal durch Destillation mit konzentrierter Schwefelsäure. Die Einwage betrug ca. 5 g. Schwefelsäure wurde erstens bestimmt durch Aufschluß mit Soda und Salpeter, zweitens durch Kochen mit Königswasser. Die Einwage betrug ca. 2 g. Zu beiden Bestimmungen wurde Traßmehl angewandt, das den Vorschriften entsprechend aus 1/2 gelbem, 1/4 grauem und 1/4 blauem Traß gemahlen war.

<sup>1)</sup> Vergl. A. Hambloch, Der rheinische Traß usw., S. 5.

### 1. Chlorbestimmung

Die Schmelze ergab 0,1390 % Cl  
die Destillation I „ 0,1365 „ „  
„ „ II „ 0,1373 „ „

### 2. Schwefelsäurebestimmung

Die Schmelze ergab 1,3916 % SO<sub>3</sub>  
Königswasser I „ 1,3706 „ „  
„ II „ 1,3778 „ „

Vergleichsuntersuchungen am Bergtraß hatten folgendes Ergebnis.

### 1. Chlorbestimmung.

Die Schmelze ergab 0,1079 % Cl.  
die Destillation I „ 0,1070 „ „  
„ „ II „ 0,1074 „ „

### 2. Die Schwefelsäurebestimmung

Die Schmelze ergab 0,4883 % SO<sub>3</sub>  
Königswasser I „ 0,4822 „ „  
„ II „ 0,4816 „ „

Läßt man zunächst den verschiedenen Gehalt an Chlor und Schwefelsäure außer acht, und berücksichtigt man ferner auch nicht den verschiedenen Gehalt an chemisch gebundenem Hydratwasser, der erfahrungsgemäß für die guten Traßsorten des Nette- und Brohltales über 7 % betragen soll, so zeigen die übrigen Ana-

lysenwerte der Proben 1—7 nur Schwankungen, die teils innerhalb der erlaubten Analysenfehlergrenze liegen, teils durch die petrographische Ungleichmäßigkeit des Materials ihre Erklärung finden.

Der Bimssand (Probe 8) zeichnet sich durch einen höheren Gehalt an Alkalien aus, desgleichen die Leucittuffe von Rieden und Weibern (Probe 9 u. 10). Die Pozzuolane von Neapel haben einen beträchtlichen Chlorgehalt.

### 5. Hydraulische Eigenschaften

Es mußte von Interesse sein, auf Grund des mikroskopischen und chemischen Befundes der verschiedenen Traßsorten eine Erklärung für ihre abweichende hydraulische Wirkungsweise zu erlangen.

Seit den Untersuchungen Tetmajers<sup>1)</sup> herrscht die Meinung, daß die hydraulische Wirkung der guten Traßsorten auf ihrem hohen Gehalt an löslicher, d. h. aktionsfähiger Kieselsäure beruhe, der wiederum Hand in Hand gehe mit einem hohen Gehalt an chemisch gebundenem Hydratwasser. Unter anderen vertritt in neuerer Zeit besonders A. Hambloch<sup>2)</sup> in mehreren Schriften diesen Standpunkt und auch Völzing<sup>3)</sup> ist geneigt, sich dieser Ansicht anzuschließen.

Zunächst steht wohl fest, daß die guten Traßsorten des Brohl- und Nettetales gegenüber den minderwertigen Sorten einen höheren Gehalt an Hydratwasser aufweisen<sup>4)</sup>. Die Mineralien, die sich als Einsprenglinge an der Zusammensetzung sämtlicher Traßarten beteiligen, sind die gleichen:

<sup>1)</sup> Über die Verwendung von Schlackenzement. Schweizer Bauzeitung 1886, Heft 14—17.

<sup>2)</sup> Zuletzt in: Das Hydratwasser im Traß. Armierter Beton, 1911, Heft 5.

<sup>3)</sup> A. a. O. S. 26.

<sup>4)</sup> Bei der Bestimmung des Hydratwassers, wie sie gegenwärtig in den Materialprüfungsanstalten gehandhabt wird, erscheint es allerdings sehr fraglich, ob einerseits alles Hydratwasser bestimmt wird, da Mineralien, wie z. B. die Zeolithe, ihr Kristallwasser bereits bei 60—70° abgeben, und ob andererseits bei den angewandten hohen Glühtemperaturen nicht auch sonstige flüchtige Bestandteile entweichen. Ferner sei darauf hingewiesen, daß eine Berücksichtigung des hygroskopischen Wassers bei der Analysenberechnung (vgl. Analyse 1, 9 und 10) nicht statthaft ist.

Feldspat, Augit, Hornblende, Glimmer und akzessorisch Titanit, Apatit usw. Dazu kommen noch als Hauptbestandteile Einschlüsse von fremden Gesteinsbrocken. Diese letzteren sowohl als auch die aufgezählten Mineralien mit Ausnahme des Glimmer sind frei von Hydratwasser, der Glimmer enthält zwar chemisch gebundenes Wasser, kommt aber nur in solch geringen Mengen vor, daß von ihm unmöglich die 7% Hydratwasser und mehr herrühren können. Folglich kann der hohe Hydratwassergehalt nur in der Grundmasse enthalten sein.

Wie die mikroskopischen Untersuchungen ergeben haben, besteht die Grundmasse aus Glas und Sodalithmineralien. Die Sodalithmineralien führen kein chemisch gebundenes Wasser, der Hauptwassergehalt muß also in dem Glas der Grundmasse stecken, einerlei ob er darin primär vorhanden ist — bei der Bildung des Trasses haben Wasserdämpfe eine erhebliche Rolle gespielt —, oder ob er in neugebildeten wasserhaltigen Silikaten sitzt, wie dies Völzing annimmt. Die Untersuchungen konnten von Völzing in dieser Richtung nicht weiter fortgeführt werden, und er begnügt sich daher mit dem Hinweis, „daß neue Arbeiten noch wesentliche und interessante Resultate über die Bildung des Tuffsteins, wie über die Umbildung des Traß ergeben werden“<sup>1)</sup>. Wegen der erdigen Beimengungen und der teilweisen Trübung der glasigen Grundmasse war eine Kontrolle bezüglich der Richtigkeit der Völzingschen Annahme nicht möglich. Zweifellos sind aber Neubildungen nicht in dem Maße vorhanden, daß sie einen Wassergehalt von 7% rechtefertigen könnten.

Die Frage ist nun: ist wirklich das Glas der Grundmasse mit seinem hohen Wassergehalt die Ursache der hydraulischen Wirkung der guten Traßsorten?

Zwei Gründe sprechen ohne weiteres dagegen.

Erstens handelt es sich um ein trachytisches Glas, welches, nach dem Kieselsäuregehalt der

<sup>1)</sup> A. a. O. S. 24.

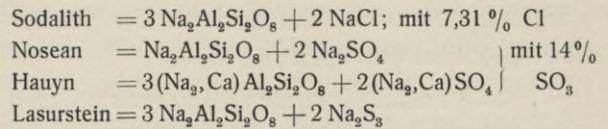
Analysen zu urteilen, immerhin schon zu den saureren Gesteinsgläsern zu rechnen ist. Zahlreich ausgeführte ältere Untersuchungen haben aber bereits gelehrt, daß die saueren Gläser — im Gegensatz zu den basischen — nur verhältnismäßig schwer zersetzbar sind. Es ist daher nicht wahrscheinlich, daß es dem gelöschten Kalk gelingen wird, das Glas in geeigneter Weise unter Abscheidung von aktionsfähiger Kieselsäure aufzuschließen.

Zweitens enthalten auch die minderwertigen Traßsorten reichliche Mengen von Glas in der Grundmasse. Und da beide Glasarten ein und demselben vulkanischen Prozeß ihre Entstehung verdanken, so kann man annehmen, daß sie auch annähernd die gleiche chemische Zusammensetzung haben — wofür auch die auffallende Übereinstimmung der chemischen Analysen spricht —, sich infolgedessen der Einwirkung des gelöschten Kalkes gegenüber auch annähernd gleich verhalten werden, d. h. daß sie auch annähernd dieselben hydraulischen Eigenschaften besitzen. Aus dem abweichenden Verhalten der verschiedenen Traßsorten läßt sich daher schließen, daß das Glas der Grundmasse nicht die Ursache der hydraulischen Wirkung der guten Trasse ist und daß ferner der Wassergehalt der Grundmasse ebenfalls in keinerlei Beziehung zu den hydraulischen Wirkungen steht, sondern etwas Nebensächliches, mit der Art und Weise der Entstehung der Trasse Zusammenhängendes ist. Und hierdurch findet auch der höhere Wassergehalt der guten Trasse seine Erklärung, weil in den tieferen und festeren Tuffmassen die bei der Eruption des vulkanischen Magmas mit heraufgerissenen heißen Wasserdampfmengen länger festgehalten und später bei der Abkühlung eingeschlossen wurden, während dieselben in den oberen lockeren Tuffmassen leichter entweichen konnten<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Bezüglich der Bezeichnung „Hydratwasser“ sei noch folgendes bemerkt: Natürliche Gläser wie die Pechsteine zeigen einen Wassergehalt, der bis zu 15% steigt. Trotzdem erleidet nach Zirkel die glasige Grundmasse selbst bei beträchtlichem Erhitzen keine wesentliche Wasserabgabe, denn die optischen Verhältnisse ändern sich dabei nicht im geringsten. Gänzlich verschwindet

Nach alledem bleibt nur noch ein Bestandteil des Trasses übrig, der zur Erklärung seiner hydraulischen Eigenschaften herangezogen werden kann, die Sodalithmineralien.

Unter dieser Bezeichnung werden folgende isomorphe Mineralien bzw. deren Mischungen zusammengefaßt:



Die Formeln stehen nicht unbedingt fest, sondern erfahren von einzelnen Forschern Änderungen. Sämtliche Glieder der isomorphen Reihe sind durch Säuren leicht zersetzbar unter Abscheidung von gelatinöser Kieselsäure.

Bezüglich der Einwirkung von gelöschtem Kalk auf die in der Grundmasse des Trasses enthaltenen Sodalithmineralien sind zwei Möglichkeiten diskutierbar.

Entsprechend der Auffassung von Tetmajer, Hambloch und Völzing müßte es zu intermediärer Bildung von freier, aktionsfähiger Kieselsäure kommen, die dann zur Bildung von wasserhaltigen Calciumsilikaten verbraucht würde. Gegen diese Möglichkeit spricht ein wichtiges Bedenken. Beim Entstehen von kolloidaler Kieselsäure wäre bei dem großen spezifischen Volumen derselben eine wesentliche Ausdehnung und beim nachherigen Übergang in eine kristallisierte Substanz ein merkliches Schwinden zu erwarten. Ein Vorzug des Traßmörtels besteht aber nach Hambloch<sup>1)</sup> gerade in seinem um 50% höheren Raummaß gegenüber dem Zement.

Eine weit größere Berechtigung schien die Annahme zu haben, daß ein Austausch der in

der Wassergehalt erst bei Rotglut. Diese Erscheinung ist nur dadurch zu erklären, daß das Wasser, zum Teil wenigstens, mikroskopisch in der glasigen Pechsteinmasse eingeschlossen ist. Sollten ähnliche Verhältnisse auch beim Traß vorliegen, was höchst wahrscheinlich ist, so würde es sich bei der Hydratwasserbestimmung nicht um einwandfreie Resultate handeln.

Weiteres über den Wassergehalt natürlicher Gläser und deren Verhalten beim Erhitzen siehe bei O. Stutzer, Untersuchungen über den Wassergehalt der Pechsteine. Steinbruch und Sandgrube, 1911, Heft 25, S. 705—706.

<sup>1)</sup> Die Monographie des Trasses. Andernach 1908. S. 9.

den Sodalithmineralien enthaltenen Alkalien gegen Calcium unter gleichzeitiger Neubildung von schwerer löslichen Silikaten stattfindet, ein Vorgang, wie er in der Natur bereits beim Hauyn zu konstatieren ist (vergl. Formel).

Um eine eventuelle Bestätigung dieser Theorie zu erlangen, sind folgende Versuche im diesseitigen Laboratorium durch Herrn Dr. Herscovici ausgeführt worden:

1. 15 g Traßmehl wurden 3 Tage mit 200 ccm Wasser geschüttelt; im Wasserauszug waren 0,248 % Alkalien gelöst.
2. 15 g Traßmehl und 10 g gelöschter Kalk wurden 3 Stunden lang mit 200 ccm Wasser gekocht; im Wasserauszug waren 1,808 % Alkalien vorhanden.
3. 15 g Traßmehl und 15 g gelöschter Kalk wurden 3 Stunden lang mit 200 ccm Wasser gekocht; im Wasserauszug wurden 2,147 % Alkalien bestimmt.
4. 15 g Traßmehl und 10 g gelöschter Kalk wurden unter Zusatz von Wasser gemischt, banden 14 Tage ab und wurden dann 3 Tage mit 200 ccm Wasser geschüttelt; gefunden wurden im Wasserauszug 1,656 % Alkalien.
5. 15 g Traßmehl und 15 g gelöschter Kalk wurden unter Zusatz von Wasser gemischt, banden 14 Tage ab und wurden ebenfalls drei Tage geschüttelt mit 200 ccm Wasser; gelöst waren 1,742 % Alkalien.

Um festzustellen, wie groß die Alkaliauscheidung im Verhältnis zu dem Gesamtgehalt an wasserlöslichen Bestandteilen ist, wurden folgende Analysen ausgeführt:

1. 15 g Traßmehl wurden 3 Stunden mit 200 ccm Wasser gekocht;

#### 1. Versuch

Wasserauszug . . . 1,40 %  
 darin ( $K_2O + Na_2O$ ) 18,19 „ des Wasserauszuges

#### 2. Versuch

Wasserauszug . . . 0,95 %  
 darin ( $K_2O + Na_2O$ ) 19,36 „ des Wasserauszuges.

2. 15 g Traßmehl und 15 g Kalkhydrat wurden 3 Stunden mit 200 ccm Wasser gekocht;

#### 1. Versuch

Wasserauszug . . . 3,87 %  
 darin ( $K_2O + Na_2O$ ) 40,23 „ des Wasserauszuges.

#### 2. Versuch

Wasserauszug . . . 3,66 %  
 darin ( $K_2O + Na_2O$ ) 35,65 „ des Wasserauszuges.

Die Versuche zeigen, daß in der Tat ein erheblicher Austausch von Alkalien gegen Calcium stattfindet, und zwar sind die Prozente beim Kochen etwas höher als beim Abbinden, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die letzteren Versuche nur 14 Tage dauerten, während in Wirklichkeit der Traß jahrelang abbindet. Es ist daher anzunehmen, daß im Laufe der Zeit der Austausch noch weit größer werden wird. Und da der Ersatz des im Sodalith vorhandenen Natriums durch Calcium ganz allmählich Molekül für Molekül vor sich geht, ist es leicht erklärlich, daß der Traßmörtel weit langsamer abbindet als der künstliche Zementmörtel. Bezüglich der Reaktionsgeschwindigkeit, d. h. der Schnelligkeit des Abbindens muß man sich ferner vor Augen halten, daß die chemische Reaktionsgeschwindigkeit keine Konstante ist, sondern außer von Temperatur und Druck noch von vielen anderen materiellen Faktoren beeinflusst werden kann (Katalysatoren!).

Die in der Grundmasse der guten Traßvarietäten vorhandene Menge von Sodalithmineralien berechnet sich nach dem gefundenen Chlor- und Schwefelsäuregehalt auf 12 % der Gesamtmenge. Da der Traß durchschnittlich zu ca. 50 % aus Einsprenglingen und Bimsstein- oder Gesteinsbrocken und zu ca. 50 % aus Grundmasse besteht, so sind die Sodalithmineralien zu ca.  $\frac{1}{4}$  an der Zusammensetzung der Grundmasse beteiligt.

Für den Bergtraß ergeben sich nur 5,17 % Sodalithmineralien, das macht etwa  $\frac{1}{10}$  der Grundmassensubstanz aus. Die hydraulische Wirkung des Bergtrasses kann also höchstens

$\frac{2}{5}$  der Intensität des guten Trasses betragen, vorausgesetzt, daß sie nicht durch den großen Gehalt an erdigen Beimengungen noch weiter herabgemindert wird, was man jedoch mit Sicherheit annehmen kann. Der Grund für die verschiedenen Mengen von Sodalithmineralien im guten Traß und im Bergtraß ist derselbe wie für den verschiedenen Wassergehalt, indem in den tieferen Lagen die Chlor- und Schwefelsäuredämpfe wieder in erhöhtem Maße absorbiert werden konnten.

Eine Bestätigung, daß der Austausch von Calcium gegen Natrium auch wirklich aus den Sodalithmineralien hervorgeht und nicht etwa aus dem Alkaligehalt des Glases der Grundmasse, wurde durch entsprechende Kontrollbestimmungen am Leucittuff von Rieden erhalten.

1. 15 g gemahlener Tuffstein wurden 3 Tage mit 200 ccm Wasser geschüttelt; im Wasserauszug hatten sich 0,122 % Alkalien gelöst.
2. 15 g gemahlener Tuffstein und 10 g gelöschter Kalk wurden unter Zusatz von Wasser gemischt, banden 14 Tage ab und wurden dann 3 Tage mit 200 ccm Wasser geschüttelt; der Wasserauszug ergab 0,216 % Alkalien.

Obgleich der alkalireiche Leucit mindestens ebenso leicht angreifbar ist wie das Glas der Grundmasse, hatte sich nach dem Abbinden mit Kalk nur die doppelte Menge Alkalien wie im gewöhnlichen Wasserauszuge gelöst, gegenüber der  $6\frac{1}{2}$ -fachen Menge beim Traß.

Der Versuch läßt es gleichzeitig verständlich erscheinen, warum die leucitführenden Tuffe der Eifel als hydraulische Mörtelbildner keine Verwendung finden können.

Über die Strukturverhältnisse der Leucittuffe geben die Abbildungen Fig. 27, 28 S. 37 Aufschluß.

Bei alledem könnte auf die Möglichkeit hingewiesen werden, daß die erhaltenen Resultate lediglich einer aufschließenden Wirkung des Ätzkalks auf die Silikatsubstanzen der Grundmasse zuzuschreiben seien. Um diesem Einwand

zu begegnen, wurde der Ätzkalk durch ein neutrales lösliches Calciumsalz, das Calciumchlorid, ersetzt, das irgend eine zerstörende Wirkung auf Silikatmoleküle nicht auszuüben vermag.

Es wurden wiederum 15 g Traßmehl mit 10 g Calciumchlorid 3 Stunden gekocht. Die Bestimmung der Alkalien im Wasserauszug ergab 1,96 % Alkalien gegenüber 0,248 % im Wasserauszug von reinem Traß und 1,808 % im Wasserauszug von 15 g Traß und 10 g Calciumhydroxyd! Besonders sei ferner hervorgehoben, daß freie, „aktionsfähige“ Kieselsäure mit einem abgesättigten neutralen Salz, wie es das Chlorcalcium ist, überhaupt nicht reagieren könnte. Die Austauschbarkeit der Alkalien und Erdalkalien gegeneinander ist zudem in letzter Zeit durch die unter dem Namen „Permutationsverfahren“ in die Technik eingeführte Wasserreinigung vermittels zeolithartiger Substanzen allgemein bekannt geworden.

Zum Schlusse sei noch auf den Chlorgehalt der Pozzuolane von Neapel hingewiesen (vergl. Analysen 11 u. 12). Auch hier dürfte derselbe mit einem Gehalt an Sodalithmineralien in Verbindung stehen, da andere chlorhaltige Mineralien nicht in Frage kommen können.

### Zusammenfassung.

Die vorliegenden Untersuchungen haben zu folgenden Resultaten geführt.

Die hydraulische Wirkung des Trasses beruht auf seinem Gehalt an Sodalithmineralien in der Grundmasse, und zwar beträgt derselbe 12 % der Gesamtmenge beim guten Traß gegen 5,17 % beim Bergtraß, das macht  $\frac{1}{4}$  bzw.  $\frac{1}{10}$  der Grundmasse aus. Daraus ergibt sich, daß die hydraulische Wirkung des Bergtrasses sich im günstigsten Falle nur auf  $\frac{2}{5}$  der Intensität des guten Trasses belaufen kann. Die Wirkung selbst erfolgt in der Weise, daß die Alkalien der Sodalithmineralien gegen das Calcium des gelöschten Kalkes ausgetauscht werden, unter gleichzeitiger Bildung von schwerer löslichen Silikaten. Eine Abscheidung von aktionsfähiger Kieselsäure findet dabei nicht statt.

Der Wassergehalt hat mit der hydraulischen Wirkung des Trasses nichts zu tun. Die verschiedene Höhe desselben in den verschiedenen Traßarten steht in engster Beziehung zu deren Entstehung, desgleichen der verschieden hohe Gehalt an Sodalithmineralien.

Ob die für die Trasse des Nette- und Brohltals geltenden Verhältnisse auch für andere

Traßvorkommen zutreffen, soll weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Auch bedarf es noch besonderer Versuche, um darzutun, inwieweit die Chlor- und Schwefelsäurebestimmung geeignet ist, die Qualität der verschiedenen Traßsorten in einwandfreierer Weise festzulegen, als die Wasserbestimmung.

# Über die Auslaugung langsam abbindender Traßmörtel bei ihrer Verwendung zu Wasserbauten

von

J. Hirschwald

Durch Herrn Oberingenieur P. Joosting, Abteilungsvorsteher der Niederländischen Staatsbahn-Gesellschaft in Utrecht, erhielt der Verf. Kenntnis von einer eigenartigen Mörtelzerstörung an der in den Jahren 1875—1879 erbauten Eisenbahnbrücke über den „Waal“ genannten Hauptarm des Rheins bei Nymwegen.

Schon seit längerer Zeit zeigten sich an den Pfeilern starke stalaktitische Sinteransätze in

ungewöhnlichem Umfange, überdies aber eine Verkittung der die Pfeiler umgebenden Schottermassen zu einem festen Konglomerat. Diese Bildungen finden sich unterhalb des mittleren Wasserstandes rund um die Pfeiler herum in einer Stärke von 0,1 bis 0,3 m. Von einem uns eingesandten großen Probestück dieses Zementierungsproduktes gibt Fig. 29 eine Vorstellung.



Fig. 29. Zementierter Fluß-Schotter an der Waalbrücke. — Maßstab 1 : 8.

Herr P. Joosting teilte uns folgende nähere Daten mit:

1. Die durch den Mörtel infiltrierten und zusammengebackenen Schottermassen zeigen

sich nur in unmittelbarer Nähe der Pfeiler und sind mit dem Mauerwerk ziemlich fest verbunden. Die Pfeiler stehen in einem angeschwemmten Flußsande, der in den letzten Jahren für Bauzwecke vielfach abgegraben wird, wodurch die zementierte Schottermasse freigelegt wurde.

2. Die Stellen, an denen die zur Untersuchung eingesandten Mörtelproben aus dem Innern des Pfeilers entnommen wurden, sind in Fig. 30 mit 1 bis 5 bezeichnet. Sie liegen 1,5 bis 3,5 m über dem niedrigsten und 3,5 bis 5,5 m unter dem höchsten Wasserstande.

3. Der Mauerkern der Pfeiler besteht aus Backsteinen, die Verblendung aus Granitwerksteinen und zwar aus dem unter der Bezeichnung „Petit Granit de l'Ourthe“ in den Handel gebrachten Material.

4. Der Mörtel des Ziegelmauerwerks hat angeblich folgende Zusammensetzung:

a) Unterhalb des höchsten Wasserstandes: 2 Raumteile Kalk und 1 Raumteil Traß ohne Sandzusatz.

b) Oberhalb des höchsten Wasserstandes: 5 Raumteile Kalk, 2 Raumteile Traß und 2 Raumteile Sand.

Soweit sich feststellen läßt, ist der verwendete Kalk ein Steinkalk, Sorte 3 von A. Dumont in Doornik (Tournay) bezogen; der Traß entstammt dem Brohltal und Nettetäl.

5. Ein Steigen des Wasserstandes über den durchschnittlichen Stand und über die jeweilige Bauhöhe kam während der Aufmauerung der Pfeiler häufig vor. Es finden sich darüber in den Bauakten folgende Aufzeichnungen:

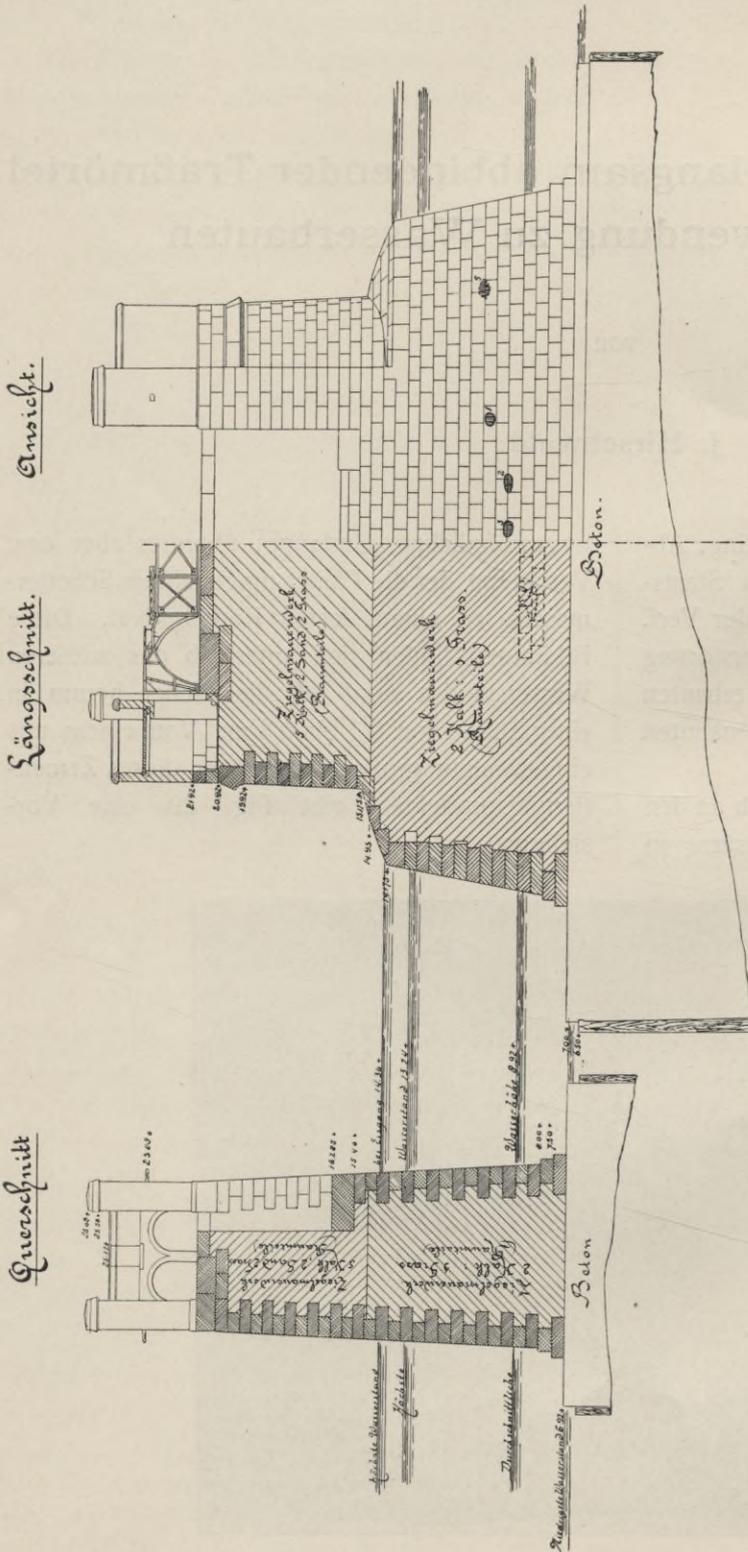


Fig. 30. Pfeiler V der Waalbrücke bei Nymwegen. — Maßstab 1:34.

(die Zahlen beziehen sich auf den Amsterdamer Pegel; die Pfeilersohle liegt auf einer Betonunterlage 7 m über A. P.).

	Erreichte Höhe der Pfeiler- aufmauerung:	Höhe des Wasser- stands:
1876 August:	+ 7,50 m A. P.	+ 7,50—13,2 m A. P.
" "	+ 8,00 m "	+ 7,50— 9,00 m "
" "	+ 8,50 m "	+ 7,50— 8,50 m "
" September:	+ 12,50 m "	+ 7,50— 9,75 m "
" Dezember:	+ 14,20 m "	+ 7,50—10,30 m "
1877 Februar:	+ 16,80 m "	+ 7,50—10,70 m "

Nach Fertigstellung des Pfeilerkopfes im Juli 1877 (21,8 m A. P.) schwankte der Wasserstand bis Dezember 1879 zwischen 7,4 und 12,3 m über A. P.

Diejenigen Teile des Pfeilers, aus denen die zur Untersuchung eingesandten Mörtelproben entnommen wurden (9,5—14 m), sind in der Zeit von August bis Dezember 1876 aufgemauert worden. Der Wasserspiegel stieg innerhalb dieser Zeit bis auf 10,3 m.

Man ersieht hieraus, daß das Mauerwerk z. T. unmittelbar nach seiner Herstellung von Wasser bedeckt wurde, und es ist somit erklärlich, daß der frische, noch weiche Mörtel eine starke Auslaugung bzw. eine vollständige Ausschläm- mung erfahren konnte, deren Produkte sich alsdann an der Außenwand des Pfeilers in Form eines stalaktitischen Sinters absetzten, und da, wo sie in den Untergrund eindrangen, die Zementierung des Flußschotters bewirkten. Die Annahme, daß die letzteren Bildungen etwa durch zufällig in die Umgebung des Pfeilers gelangten Traßmörtel entstanden sein könnten, wird durch die Tatsache widerlegt, daß die gleichen Bildungen in der ganzen Umgebung sämtlicher Pfeiler, wenn auch in verschiedener Stärke auftreten und überall dem Mauerwerk glatt anhaften.

6) Für die äußere Ausfüllung war eine Mischung von 1 Teil Zement auf 2 Teile Sand vorgeschrieben. Am oberen Teil des Pfeilers hat sich der Zementmörtel stellenweise gelockert und ist auch z. T. aus den Fugen gefallen. Im übrigen aber ist die Mörtelfüllung, welche 2 bis 5 cm in die Fugen hineinreicht, gut erhalten. Werden jedoch die Fugen freigelegt, so findet man dahinter den Traßmörtel auch jetzt noch feucht und weich, z. T. vollkommen

ausgenagt, so daß die Fugen stellenweise hohl sind.

Zu erwähnen ist überdies, daß man die Holzkeile, auf welche die Werksteine ursprünglich behufs Ausrichtung gelegt waren, stellenweise und namentlich in Höhe des veränderlichen Wasserstandes, nicht entfernt hat; sie sind jetzt verfault und da an diesen Stellen die Zementfugung fehlt, so findet das in die Pfeiler eingedrungene Wasser hier einen ungehinderten Ausweg.

Es fragt sich nun, welchen Ursachen die in Rede stehende Auslaugung bzw. vollständige Ausschläm- mung des Mörtels und seine z. T. noch jetzt, nach 30jährigem Bestande des Bauwerks, erhaltene weiche Beschaffenheit im Innern der Pfeiler zuzuschreiben ist.

In Betracht können hierbei zunächst kommen:

1. das Mischungsverhältnis der Mörtelbestandteile, und
2. die Beschaffenheit des verwendeten Trasses und Kalkes.

Um die vorliegende Frage so weit als tunlich zu klären, erschien es erforderlich, die chemische Zusammensetzung des am wenigsten veränderten Mörtels aus größerer Tiefe des Pfeilers festzustellen und mit den Analysen des Mörtels aus den äußeren Teilen des Mauerwerks, sowie mit denen der Auslaugungsprodukte (den stalaktitischen Sinterbildungen und dem Verkittungs- material der Schottermassen) zu vergleichen. Als Ergänzung hierzu waren die Auslaugungs- produkte guter Traßsorten zu bestimmen.

Zu diesem Zweck hatte Herr P. Joosting aus dem Pfeiler V folgende Proben entnehmen lassen:

- a) 4 Proben aus den Fugen zwischen der Granitbekleidung und dem Ziegelmauerwerk 9,5 bis 14 m über A. P;
- b) 19 Proben aus den Fugen in 1 bis 3,2 m Tiefe von der Außenfläche der Mauer und einer Höhe von 9,5 bis 14 m über A. P.

#### Analysen<sup>1)</sup>:

Eine Durchschnittsprobe von ca. 5 g wurde mit 200 ccm 10prozentiger Salzsäure 3 Stunden

<sup>1)</sup> Die nachstehenden Analysen sind von dem Assistenten Dr. Herscovici ausgeführt worden. Nicht berücksichtigt sind: H<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> und Cl. Der Gehalt an MgO wurde nur an einzelnen Proben bestimmt und ergab 0%, 0,81, 1,11 und 1,77 %.

unter mäßigem Erwärmen behandelt, die abfiltrierte Lösung analysiert und der Sandgehalt

in dem unlöslichen Rückstand durch Abschläm-  
men bestimmt.

Pfeilerhöhe und Mauertiefe, aus der die Mörtelprobe entnommen ist:	1	2	3					7	8	9		
	Sand	Durch HCl nicht zersetzter Trafrückstand	Durch HCl gelöst					CO <sub>2</sub>	Berechneter Gehalt des durch CO <sub>2</sub> nicht ge- bundenen CaO	Zusammensetzung des Mörtels aus der Analyse berechnet		
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub>			Sand	Kalk (CaCO <sub>3</sub> + CaO)	Traß

### A. Mörtel aus den Fugen zwischen der Granitbekleidung und dem Ziegelmauerwerk

Höhe 9,5 bis 10 m über A. P.

1.	15,76	4,13	8,73	7,21	1,93	42,97	13,96	25,19	15,76	56,93	27,31
2.	15,12	5,77	5,94	7,01	1,34	35,15	15,76	15,09	15,12	54,31	33,57

Höhe 13,5 bis 14 m über A. P.

3.	45,16	3,62	7,91	3,51	0,97	23,17	13,26	7,44	45,16	36,43	18,41
4.	61,03	2,05	10,10	2,72	1,70	12,60	6,88	3,83	61,03	29,48	9,49

Höhe 9,5 bis 10 m über A. P.

### B. Mörtel aus dem Ziegelmauerwerk

Aus 1 m Mauertiefe . . . .	14,91	5,77	8,06	5,23	2,27	38,32	7,77	28,17	14,91	46,09	39,00
desgl.	11,58	8,34	6,05	6,82	0,74	41,30	11,02	27,27	11,58	52,32	36,10
Aus 1 bis 1,5 m Mauertiefe . .	9,38	7,09	7,61	7,91	1,89	38,75	15,31	19,26	9,38	54,06	36,56
Aus 1,85 bis 2,05 m Mauertiefe	13,80	9,58	3,67	6,35	1,73	36,49	19,13	12,13	13,80	55,62	30,58
Aus 2,05 bis 2,30 m Mauertiefe	8,58	15,15	2,57	7,47	2,70	36,66	14,67	17,99	8,58	51,33	40,09

Höhe 13,5 bis 14 m über A. P.

Aus 1 m Mauertiefe . . . .	43,27	3,01	3,84	3,99	0,44	27,58	12,07	12,22	43,27	39,65	17,08
desgl.	42,84	3,73	3,86	4,00	0,58	25,65	8,09	15,36	42,84	33,74	23,42
Aus 1 bis 1,5 m Mauertiefe . .	41,40	5,51	2,30	4,02	0,82	26,15	15,38	6,57	41,40	41,53	17,07
Aus 1,9 bis 2,1 m Mauertiefe .	36,22	8,40	1,65	4,87	1,39	26,30	16,55	5,24	36,22	42,85	20,93
Aus 2,75 bis 3,2 m Mauertiefe .	38,79	6,25	1,98	5,15	1,58	26,11	16,29	5,37	38,79	42,40	18,81

### C. Mörtel aus dem zementierten Schotter

77,64*)	3,25	0,48	2,03	0,65	8,71	5,81	1,31	77,64*)	14,52	7,84
---------	------	------	------	------	------	------	------	---------	-------	------

\*) Einschließlich des zementierten feineren Flußsand

### D. Stalaktitische Sinterbildung

Höhe 13 m über A. P. . . .	—	2,71	0,21	0,59	0,16	53,63	41,07	1,35	—	93,65	4,72
----------------------------	---	------	------	------	------	-------	-------	------	---	-------	------

Aus diesen Analysen ergibt sich folgendes:

1. Entgegen den Angaben der Bauakten, daß der Mörtel des Pfeilersockels bis zur Grenze des höchsten Wasserstandes lediglich aus zwei Raumteilen Kalk und einem Raumteil Traß bestehen soll, enthalten die untersuchten Mörtelproben sämtlich eine erhebliche Sandmenge, die in der Höhe von 9,5 bis 10 m A. P. 8,58 bis 15,76 % beträgt, in der Höhe von 13,5 bis 14 m A. P. hingegen 36,22 bis 45,16 %. Da der Mörtel eine namhafte Auslaugung erfahren hat, so wird allerdings der ursprüngliche Prozentsatz an Sand entsprechend niedriger gewesen sein.

2. Nimmt man an, daß gemäß der Bauvorschrift auf 2 Raumteile Kalk 1 Raumteil Traß verwendet worden ist, so ergibt sich, daß in der Höhe von 9,5 bis 10 m eine Auslaugung von  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{8}{10}$  (durchschnittlich  $\frac{1}{2}$ ) des Kalkgehaltes stattgefunden hat, während in der Höhe von 13,5 bis 14 m das ursprüngliche Verhältnis von Kalk und Traß nahezu unverändert geblieben ist. Die Auslaugung hätte demnach vorzugsweise in dem unteren Sockelteil bis zur Höhe des mittleren Wasserstandes stattgefunden.

3. Der Gehalt an Kohlensäure schwankt zwischen 7,77 und 19,13 % entsprechend einem

Gehalt an kohlen saurem Kalk von 17,64 bis 43,43 %. Der Überschuß an Kalk, von dem angenommen werden darf, daß er zum größten Teil an Kieselsäure gebunden ist, beträgt 5,24 bis 28,17 %.

Für die Erklärung eines so bedeutenden Gehalts an kohlen saurem Kalk im Traßmörtel können zunächst folgende Umstände in Betracht kommen.

Entweder es war der Kalkzuschlag zu groß, um selbst bei guter Beschaffenheit des Trasses von diesem vollständig gebunden zu werden, oder es ist ein Traß von ungenügender Qualität verwendet worden, dessen chemische Bindungsfähigkeit auch gegenüber einem normalen Kalkzuschlag nicht ausreichend war.

Berechnet man aus der Kolumne 11 der vorstehenden Analysentabelle den Durchschnittswert der angegebenen Ziffern, so ergibt sich ein mittlerer Traßgehalt von 28,2 %, welcher einem durchschnittlichen Kalkgehalt, nach den Ziffern der Kolumne 6, von 31,2 % gegenübersteht. Da das aus der Auslaugung des Fugenmörtels gebildete Bindemittel des Schotter-Konglomerats einen Gehalt von 8,71 % Kalk enthält (s. Analyse unter C), so wird man daraus, sowie nach dem Umfange jener Bildungen schließen dürfen, daß der ursprüngliche Kalkgehalt des Mörtels zwar erheblich größer als der jetzt gefundene war, aber wohl kaum das vorgeschriebene Maß von 2 Kalk auf 1 Traß überschritten hat.

Für die zweite Annahme, daß möglicherweise ein schlechter Traß, etwa ein durch Bergtraß verfälschtes Material verwendet worden sei, ist aus den Analysen nach Lage der Verhältnisse ein Anhalt nicht zu gewinnen, da guter Traß und Bergtraß hinsichtlich der hier bestimmbaren Bestandteile einen erheblichen Unterschied nicht erkennen lassen, und es muß daher die bezügliche Frage, ebenso wie die nach der Qualität des verwendeten Kalkes, als eine offene bezeichnet werden.

Unabhängig hiervon läßt sich aber aus dem analytischen Befunde, in Verbindung mit den Angaben über die bei der Bauausführung stattgehabten Veränderungen des Wasserstandes, eine andere und durchaus befriedigende Erklärung

für die mangelhafte Beschaffenheit des in Rede stehenden Mörtels ableiten.

Wie aus Fig. 30 ersichtlich ist, liegt der ganze Sockel des Pfeilers V, in gleicher Weise wie der der übrigen Brückenpfeiler, innerhalb des veränderlichen Wasserstandes, und es hat nachweisbar (s. S. 47) während des Baues ein mehrfaches Steigen des Wasserspiegels über den bereits fertiggestellten Teil der Pfeiler stattgefunden.

Infolge des Kohlen säuregehaltes des Flußwassers mußte daher eine Umwandlung eines Teiles des Kalkhydrates in Kalkkarbonat stattfinden, ein Prozeß, der bekanntlich ungleich schneller verläuft, als die Umbildung des Kalkhydrats in Kalksilikat, selbst bei Anwendung eines durchaus guten Trasses.

Das gebildete Kalkkarbonat kommt aber für den Erhärtungsprozeß des Trasses nicht mehr in Betracht, und da überdies auch noch ein beträchtlicher Verlust von Kalkhydrat durch Auslaugung nachzuweisen ist, so erscheint es erklärlich, daß der im Mörtel verbliebene Rest für die hydraulische Bindung des Trasses nicht mehr ausreichte. Der Mörtel mußte daher unter Einwirkung des Wassers weich werden, wie es nach dem Befunde im Innern der Pfeiler auch jetzt noch, 32 Jahre nach Herstellung des Bauwerks, der Fall ist.

Unterstützt wird diese Erklärung durch folgende Erwägung.

Die ausgeführten Mörtelanalysen ergaben im Durchschnitt 28 % Traß auf einen mittleren Gehalt von 15,2 % an kohlen säurefreiem Kalk. Nach den bisherigen Erfahrungen<sup>1)</sup> ist aber zum Abbinden des Trasses ein Zuschlag von  $\frac{2}{3}$  bis  $1\frac{1}{4}$  Teil Kalk auf 1 Teil Traß erforderlich, während in dem vorliegenden Falle nur ca.  $\frac{1}{2}$  Teil freies Calciumhydroxyd vorhanden war.

Aus alledem ergibt sich, daß die mangelhafte Beschaffenheit des Mörtels an der Waalbrücke und seine beträchtliche Ausschlämmung im wesentlichen zurückzuführen ist auf die Umwandlung des größten Teils des Kalkhydrats in Kalkkarbonat vor dem Abbinden des Mörtels.

<sup>1)</sup> A. Hambloch: Die Folgen des Gebrauchs ungünstig zusammengesetzter Mörtel. Zentralblatt der Bauverwaltung 1909; S. 639.

Nachdem für den zu Wasserbauten bestimmten Zementmörtel ein Zuschlag von Traß sich als vorteilhaft erwiesen hat, verwendet man jetzt vielfach auch einen mäßigen Zusatz von Zement zum Traßmörtel, wodurch der Eintritt des ersten Stadiums der Erhärtung beschleunigt wird. Wenn dies vorzugsweise in der Absicht geschieht, dem Bauwerk schon vor dem Abbinden des Traßmörtels eine gewisse Stabilität zu sichern, so hat eine solche Beimengung noch den bedeutsamen Vorteil, den Mörtel von vornherein gegen Ausschlammung widerstandsfähiger zu machen und, was ganz besonders in Betracht

kommt, die Einwirkung der Kohlensäure des Fluß- und Meerwassers auf das Kalkhydrat zu verhindern bzw. einzuschränken, so daß letzteres in seinem wesentlichen Bestande für die Verbindung mit den reaktionsfähigen Gemengteilen des Trasses wirksam bleibt.

Das hier erörterte Beispiel läßt die Notwendigkeit erkennen, die schon vielfach geübte Praxis, den für Wasserbauten bestimmten Traßmörtel mit einem mäßigen Zusatz von Zement zu versehen, allgemein zur Einführung zu bringen.

## Kleinere Mitteilungen

### Die Untersuchung der verschiedenen Gesteinsarten auf ihren Wert als Straßenbaumaterial.

Die wirtschaftliche und technische Bedeutung der Verwendung geeigneter, dauerhafter Materialien für den Bau unserer Straßen läßt es wünschenswert erscheinen, die natürlichen Gesteinsarten in gleicher Weise, wie dies für ihre Anwendung im Hochbau bereits geschehen ist, auch hinsichtlich ihres Verhaltens als Straßenbaumaterial einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen, behufs Gewinnung einer Grundlage für die Prüfung der Gesteine auf ihre für den gedachten Zweck in Betracht kommenden günstigen oder ungünstigen Eigenschaften.

Die Unterzeichneten beabsichtigen dieserhalb zunächst experimentelle Untersuchungen an den Decken typischer Kleinschlagstraßen durchzuführen, um die Beziehungen festzustellen, welche zwischen der Erhaltungsdauer dieser Straßen und den Eigenschaften ihres Gesteinsmaterials, — dessen chemisch-mineralogischer Zusammensetzung, Struktur, Härte, Festigkeit, Sprödigkeit und Wetterbeständigkeit —, bestehen. Des weiteren sollen Untersuchungen darüber ausgeführt werden, ob und in welchem Maße, außer der rein mechanischen Verkeilung und Pressung des Kleinschlags beim Einwalzen, noch innigere Verbindungen im Laufe der Zeit durch chemische Veränderungen des gebildeten Gesteinsmehls stattfinden, welchen Einfluß die bei den verschiedenen Materialien entstehenden Produkte, nach ihrer Plastizität, Haftfestigkeit und ihrem Erhärungsgrade, auf die Erhaltung der Straßendecken ausüben, welche Gesteinsarten nach ihrem günstigen Verhalten in dieser Hinsicht zu empfehlen sind, und ob sich überdies die Beimischung des einen oder anderen Materials zum Kleinschlag als wünschenswert und praktisch erweist.

Die Ausführung dieser Untersuchungen soll an Proben stattfinden, welche in Größe von 1 qm den

Straßendecken, unter Ausschluß der Packlagen, entnommen sind.

Bei Beurteilung der gewonnenen Resultate werden in Betracht zu ziehen sein: der Verkehr auf den betreffenden Straßen, die Neigung derselben, ihre sonnige oder nasse Lage, der Untergrund und dessen hydrographische Verhältnisse, das Alter und das Maß der bisherigen Abnutzung der Straßen.

Die Provinzialverwaltungen haben sich zur Förderung dieser Untersuchungen in dankenswerter Weise bereit erklärt, und es sind bisher dem Mineralogisch-geologischen Institut der Technischen Hochschule folgende Straßenproben der gedachten Art eingesandt worden:

Provinz:	Kreis:	Deckenmaterial:
1. Westfalen,	Münster:	Basalt
„	Hagen:	Grauwacke
„	Siegen:	Porphy
„	Meschede:	Grünstein, Kalkstein, Kieseldolomit
„	Soest:	Hornstein
„	Paderborn:	Basalt und Kalkstein
„	Bielefeld:	Quarzit und Kiesel- dolomit
2. Rheinland,	Gummersbach:	Grauwacke
3. Hessen,	Frankfurt a.M.:	Basalt und Quarzit
4. Hannover,	—:	Basalt, Muschelkalk, Keuper- u. Kohlen- sandstein
5. Schlesien,	Oppeln:	Basalt
6. Sachsen,	Weißenfels:	Melaphyr
7. Brandenburg,	Nauen:	Basalt
8. Westpreußen,	Danzig:	Granit (Findlinge)

Weitere Probesendungen sind in Aussicht gestellt worden.

Die Ergebnisse der betreffenden Untersuchungen sollen in dieser Zeitschrift fortlaufend veröffentlicht werden.

J. Brix

J. Hirschwald









Biblioteka PK

**J.X.46**

/ 1911

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300777