

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300777

Bautechnische Gesteinsuntersuchungen

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

Herausgegeben von

Prof. Dr. J. Hirschwaldt

II. Jahrgang 1911

Teil I

BERLIN

VERLAG VON GEORGE BORNTRÄGER

x
1586

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 2



II 2
II 540

BERLIN

VERLAG VON GEBRÜDER BORNTRAEGER

W 35 Schöneberger Ufer 12a

1911

Inhalt

1. Theorie und Praxis der bauwissenschaftlichen Gesteinsuntersuchungen, ein Beitrag zur Reform der Gesteinsprüfung in den Technischen Versuchsanstalten 1
2. Systematische Untersuchung der Gesteinsmaterialien alter Bauwerke. 3. Das Baugestein am Straßburger Münster 19
3. Der „Hydratwassergehalt“ im Traß 35
4. Kleinere Mitteilungen: Erwiderung auf das Referat des Prof. Gary über das Werk: J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin 1911, in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Nr. 18, 1912 44
Über Traßmörtel-Mischungen und deren Wasserauslaugung 46

Ortsverzeichnis

Arzweiler S. 22; Breuschtal S. 22; Brohltal S. 40—43; Lembach S. 24; Mossigtal S. 22;
Nettetal S. 40—43; Niederhaslach S. 27; Wasselnheim S. 25.

Theorie und Praxis der bauwissenschaftlichen Gesteinsuntersuchungen

Ein Beitrag zur Reform der Gesteinsprüfung in den technischen Versuchsanstalten

Von

J. Hirschwald

Der bedeutsame Aufschwung, welcher anfangs der 70er Jahre auf allen Gebieten unseres gewerblichen und industriellen Lebens einsetzte, führte zur Begründung mannigfacher, die gewerblichen Interessen fördernder Institutionen, unter denen die technischen Versuchsanstalten eine hervorragende Bedeutung in Anspruch nehmen dürfen. Ihnen wurde die Aufgabe zuteil, alle in der Industrie und in den Gewerben verwendbaren Rohmaterialien, sowie die aus ihnen dargestellten Erzeugnisse auf diejenigen Eigenschaften zu prüfen, welche ihre technische Brauchbarkeit bzw. Leistungsfähigkeit bedingen.

In der richtigen Erkenntnis, daß diese Anstalten nur in engster Verbindung mit der wissenschaftlichen Forschung den an sie zu stellenden Anforderungen gerecht werden können, wurden dieselben den Technischen Hochschulen angegliedert, deren Dozenten sich vielfach dem Dienst jener Anstalten gewidmet haben.

Diese Maßnahme hat sich denn auch als durchaus zweckentsprechend erwiesen. Die meisten Abteilungen der betreffenden Institute,

wie namentlich diejenigen für die gesamte Metallprüfung, für Öl-, Papier- und Textil-Prüfung, haben sich nicht nur die in den wissenschaftlichen Laboratorien gewonnenen Erfahrungen stetig zunutze gemacht, sondern auch selbständig eine anerkennenswerte, fachwissenschaftliche Tätigkeit entfaltet, der zufolge die Ausbildung wichtiger Prüfungsmethoden nicht zum geringsten Teil diesen Anstalten zu danken ist.

Ganz abseits von dieser Entwicklung stehen die Abteilungen für die Untersuchung der natürlichen Bausteine an den meisten Versuchsanstalten. Ihr Arbeitsgebiet wird auch heute noch im wesentlichen durch die Methoden begrenzt, welche Bauschinger und Tetmajer seinerzeit für die Gesteinsprüfung bearbeitet haben, als da sind: die Festigkeitsprüfung, die Bestimmung des Raumgewichts, der Wasseraufnahme, sowie die experimentelle Frostprüfung, und es gelangen diese Untersuchungen an den meisten derartigen Anstalten auch jetzt noch in der ursprünglichen schematischen Weise zur Ausführung, ohne Berücksichtigung der durch die geologischen Ver-

hältnisse bedingten tektonischen Ausbildung der Gesteine, ihrer besonderen mineralogischen Zusammensetzung und ihrer strukturellen Verhältnisse¹⁾.

Die Fortschritte der letzten Jahrzehnte auf dem Gebiete der petrographischen Forschung, welche die Grundlage einer zuverlässigen, für den Fachmann leicht auszuführenden wissenschaftlichen Gesteinsuntersuchung bilden, sind bisher seitens der betreffenden Anstalten fast gänzlich unberücksichtigt geblieben, und man erachtet es schon als einen erwähnenswerten Fortschritt, daß in neuerer Zeit die wissenschaftlichen Benennungen der untersuchten Gesteine, sowie ihre allgemeine petrographische Beschaffenheit festgestellt und den Prüfungszeugnissen hinzugefügt werden, wie das z. B. in dem Materialprüfungsamt Berlin geschieht²⁾, allerdings ohne daß man eine Bezugnahme auf die sonstigen Prüfungsergebnisse für erforderlich erachtet³⁾.

Bezeichnend aber für die geltende Auffassung über die Entbehrlichkeit fachwissenschaftlicher Kenntnisse bei Ausführung der technischen Gesteinsprüfung ist es, daß diese elementaren Bestimmungen nicht in der vorgenannten Versuchsanstalt selbst zur Ausführung gelangen, sondern, mangels eines dafür geeigneten Beamten, der Geologischen Landesanstalt übertragen werden.

Schärfer als hierdurch kann die Unzulänglichkeit der Einrichtung eines Instituts für Gesteinsprüfung nicht wohl zum Ausdruck gelangen. Denn ebensowenig wie eine angemessene technische Prüfung des Eisens und Stahls denkbar ist, ohne Berücksichtigung der stofflichen und strukturellen Eigenschaften des Materials und ohne daß der Untersuchende die Methoden

beherrscht, welche die metallurgische Wissenschaft für Bestimmung dieser Eigenschaften bearbeitet hat, wird es möglich sein, eine sachgemäße Qualitätsprüfung der natürlichen Bausteine auszuführen, ohne Kenntnis und Berücksichtigung der tektonischen Ausbildungsweise der verschiedenen Gesteinsarten, des Wechsels ihrer Beschaffenheit in den einzelnen Bruchlagen, der mannigfachen stofflichen und strukturellen Eigenschaften, sowie endlich der Kenntnis und Anwendung der zur Bestimmung der letzteren gebräuchlichen wissenschaftlichen Methoden.

Nur der Fachmann, der über dieses Rüstzeug verfügt und außerdem auf dem Gebiete der technischen Gesteinsprüfung genügende Erfahrungen besitzt, wird die Qualitätsbestimmung der natürlichen Bausteine in einwandfreier Weise durchzuführen imstande sein.

Welche Bedeutung aber eine zweckentsprechende und zuverlässige Prüfung der betreffenden Materialien bei dem außerordentlichen Umfang ihrer Verwendung für das Baugewerbe, wie für den Steinbruchbetrieb tatsächlich haben würde, geht aus folgender Erwägung hervor.

Nach den Aufnahmen des Statistischen Reichsamtes werden alljährlich für mehr als 110 Millionen Mark natürliche Bausteine innerhalb Deutschlands gefördert und verarbeitet, während der Wert der vom Auslande eingeführten Gesteine sich auf 44 Millionen Mark pro Jahr beziffert.

Nimmt man an, daß wenigstens der 6fache Betrag für die Gesamtausführung solcher Bauwerke verausgabt wird, zu denen jenes Gesteinsmaterial Verwendung findet, so läßt sich ermessen, welche Einbuße an Nationalvermögen die Benutzung mangelhafter und deshalb vorzeitig verwitternder Gesteine durch Entwertung der ausgeführten Bauwerke zur Folge haben muß¹⁾.

¹⁾ Eine Trennung von Werk- und Pflastersteinen berücksichtigen die statistischen Aufnahmen nicht. Aber es ist die Verwendung mangelhaften Materials für den Straßenbau wegen der Steigerung der ohnehin bedeutenden laufenden Reparaturkosten sicherlich von nicht geringerem wirtschaftlichem Nachteil als für den Hochbau.

¹⁾ Es ist hier vorzugsweise von der Mehrzahl der deutschen Prüfungsanstalten die Rede, während in Österreich, der Schweiz, in Norwegen, Holland und Rußland eine Reform des Prüfungsverfahrens auf wissenschaftlicher Grundlage bereits in die Wege geleitet worden ist.

²⁾ Siehe Mitteilungen aus den Kgl. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin, 1900, S. 24.

³⁾ In den Veröffentlichungen der Gesteinsuntersuchungen dieser Anstalt vom Jahre 1910, S. 181 heißt es sogar: „Die Würdigung der Einzelheiten der Ergebnisse muß den Fachleuten (!) überlassen bleiben.“

In der Tat geht aber die Verwendung minderwertigen Baugesteins über alle Voraussetzung hinaus. Aus den diesseits angeregten Erhebungen der Kgl. Bauinspektionen hat sich ergeben, daß von 634 staatlichen Bauwerken, welche innerhalb 30 Jahren (1864—1894) in Preußen aus natürlichem Gestein aufgeführt worden sind, über ein Drittel, nämlich 289 Bauwerke aus einem Material bestehen, welches bereits in dem Zeitraum von 5—25 Jahren mehr oder weniger bedeutende und umfangreiche Verwitterungsschäden erlitten hat ¹⁾.

Eine große Zahl der hierbei in Betracht kommenden Gesteinsvorkommen ist seitens der Technischen Versuchsanstalt vor bzw. nach den betreffenden Bauausführungen auf ihre Festigkeit und Wasserbeständigkeit geprüft worden, und es hat diese Prüfung in den meisten Fällen ein günstiges Resultat ergeben.

Unter den vielen Beispielen dieser Art mag das folgende als besonders bezeichnend hier angeführt werden. Aus dem Sandstein eines bekannten Vorkommens sind im Bereich der Eisenbahndirektionen Hannover und Magdeburg folgende Bauwerke und Anlagen ausgeführt worden ²⁾.

1. Dienstgebäude des Eisenbahnbetriebsamtes in Hannover. Nach 26 Jahren zeigte sich das Baugestein bereits zum Teil stark verwittert und erwies sich auch nicht als druckfest.

2. Überführung bei Bahnhof Hainholz. Nach 20 Jahren zeigten die Werksteine 2—3¹/₂ cm tiefe und 3—5 cm breite rinnenförmige Auswitterungen, auch war das Material bereits stellenweise sehr mürbe.

- | | |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 3. Plattenkanal (Flügelmauern) daselbst | Nach 50 Jahren in Höhe des Wasserstandes beträchtliche Verwitterungsschäden. |
| bei km 17,6—17,7 | |
| 4. Desgl. „ „ 18,5—18,6 | |
| 5. Gewölbter Kanal (Flügelmauern) daselbst | |
| bei km 18,7—18,8 | |
| 6. Desgl. „ „ 19,1—19,2 | |
| 7. Desgl. „ „ 20,0—20,2 | |
| 8. Plattenkanal (Flügelmauern) daselbst | |
| bei km 22,0 | |
| 9. Desgl. „ „ 24,6—24,7 | |
| 10. Gewölbter Kanal (Flügelmauern) daselbst | |
| bei km 27,1—27,2 | |

¹⁾ Siehe J. Hirschwald, Die bautechnisch verwertbaren Gesteinsvorkommnisse des preußischen Staates. Berlin 1910 bei Gebr. Borntraeger.

²⁾ Der Name des betreffenden Steinbruchs ist hier aus naheliegenden Gründen fortgelassen worden, steht aber den Fachgenossen zur Verfügung.

11. Hauptbahnhof in Magdeburg, östliches Empfangsgebäude, nach 19 Jahren Gesimse, Abdeckungsplatten usw. teilweise verwittert.

12. Gewölbte Okerbrücke, Stirnmauern bei km 8,2 bis 8,3 auf der Strecke Vienenburg—Goslar. Nach 28 Jahren beträchtliche Verwitterungen.

13. Bahnüberführung (Ecken) bei km 11,5—11,6 auf der Strecke Vienenburg-Goslar. Nach 28 Jahren stark verwittert.

- | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 14. Wegeunterführung bei km 105,4—105,5 | Nach 24 Jahren stark verwittert. |
| auf der Strecke Seesen—Herzberg | |
| 15. Wegeunterführung bei km 105,5—105,6 | |
| daselbst | |
| 16. Wegeunterführung bei km 110,8—110,9 | |
| daselbst | |

17. Durchlaß bei km 111,8—111,9 auf der Strecke Seesen—Herzberg. Nach 24 Jahren z. T. beträchtliche Verwitterung.

- | | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 18. Wegeunterführung bei km 114,0—114,1 | Nach 24 Jahren z. T. beträchtliche Verwitterung. |
| daselbst | |
| 19. Wegeunterführung bei km 114,1—114,2 | |
| daselbst | |
| 20. Wegeunterführung bei km 116,1—116,2 | |
| daselbst | |
| 21. Sieberbrücke bei km 116,2—116,3 | |
| daselbst | |
| 22. Wegeunterführung bei km 116,3—116,5 | |
| daselbst | |

Das Prüfungszeugnis der technischen Versuchsanstalt zu Berlin-Charlottenburg beschränkt sich auf folgende Angaben:

Sandstein aus dem Steinbruch von X.:
Gewicht des Würfels von 6 cm Kantenlänge = 0,479 kg.

Druckfestigkeit in kg/qcm

lufttrocken	wassersatt	hieraus berechneter Erweichungskoeffizient
481	428	0,89
425	392	0,92
372	357	0,96.

Die spätere Wiederholung der Untersuchung ergab nach dem Prüfungszeugnis vom Jahre 1907 folgende Resultate an würfelförmigen Probekörpern von 7,19, 7,17 und 7,08 cm Kantenlänge, gedrückte Fläche 51,6 qcm.

kg Belastung bei der Zerstörung

Probe 1	24250
„ 2	21650
„ 3	22350
„ 4	30050
„ 5	24850

	kg Belastung bei der Zerstörung
Probe 6	23200
„ 7	23600
„ 8	23200
„ 9	25450
„ 10	25300
	<u>25300</u>
	Mittel 24290.

Hieraus ergibt sich die Festigkeit in kg/qcm:

493

471

419.

Das Material ist demnach erheblich fester als das früher untersuchte.

Bezeichnend für die Wertschätzung der in den Prüfungsanstalten üblichen Methode der Gesteinsuntersuchung ist es aber, daß die Baubehörden, selbst hinsichtlich der Prüfung eines so vielfach verwendeten Gesteinsvorkommens, sich im wesentlichen mit der Festigkeitsbestimmung desselben begnügen. Soweit jedoch diese Bestimmungen einen Anhalt für die Beurteilung des Materials gewähren, durfte angenommen werden, daß der in Rede stehende Sandstein, wenn auch nicht von erster, so doch, trotz des nicht sehr beträchtlichen Festigkeitsgrades, von guter Qualität war, da der Erweichungskoeffizient von 0,89 bis 0,96 auf große Wasserbeständigkeit des Bindemittels hindeutet.

In Wirklichkeit sind aber die obigen Prüfungsergebnisse lediglich für die untersuchten Probestücke, nicht aber für das betreffende Bruchmaterial zutreffend. Denn innerhalb mehrerer Bänke wechselt das gute Material mit zentimeterbreiten Streifen von lockerem Gefüge und tonigem Bindemittel und es hätte nur einer oberflächlichen Untersuchung für den Fachmann bedurft, um diese ungünstigen Verhältnisse zu erkennen¹⁾.

Übrigens standen an der betreffenden Lokalität s. Zt. zwei benachbarte Brüche in Betrieb, von denen der eine, welcher wohl das weichere Ma-

terial enthielt, jetzt aufgelassen ist. Die beiden erwähnten Prüfungszeugnisse beziehen sich anscheinend auf Bruch 1 und 2. Da es nicht ausgeschlossen erschien, daß an den genannten Eisenbahnbauten auch Material aus dem aufgelassenen Bruch verwendet worden ist, so war es von Interesse, die Wetterbeständigkeit des Gesteins an solchen Bauwerken zu kontrollieren, deren Material zweifellos aus der jetzt noch in Betrieb stehenden festeren Bruchlage stammt. Es sind das u. a. folgende Bauwerke in Y.: Residenzschloß, Museum, Justizpalast, Technische Hochschule, Hoftheater, Polizeigebäude.

Ein Fachgenosse berichtet mir über die Erhaltung dieser Bauwerke folgendes: Nach seiner Beobachtung „und dem Urteil seines bauwissenschaftlichen Kollegen sowie anderer Fachleute am Orte ist die Erhaltung des Gesteins an den betreffenden Bauwerken keine befriedigende und selbst bei einigermaßen sorgfältiger Auswahl des besten Materials erweist sich dasselbe für Monumentalbauten nicht geeignet. Die Verwitterungserscheinungen machen sich recht bald in Rissen bemerkbar, die sich in der Folge vertiefen und erweitern, sowie im Auspringen von Ecken geltend; auch ist die Festigkeit nicht sehr groß, so daß selbst dicke Platten bei starker Belastung oder Zug zum Durchbrechen neigen. Ferner besitzt das Gestein eine starke Durchlässigkeit für Feuchtigkeit, und trotz der Dicke der Wände erweisen sich dieselben namentlich an der Wetterseite im Innern feucht. Es ist daher nicht erfreulich, daß so viele monumentale Bauten aus diesem Material errichtet worden sind, und es wird für die Zukunft wohl wenig Neigung vorhanden sein, das Gestein in gleicher Weise zu verwenden“.

Es ist das eines der vielen Beispiele dafür, wie wenig die bisherigen Untersuchungsmethoden sich als geeignet erweisen, dem Baugewerbe einen sachgemäßen Anhalt für die Auswahl guten Gesteinsmaterials zu gewähren, und es erlangen dadurch die seit langem in den Kreisen der Bautechniker erhobenen Klagen über die unzulänglichen Prüfungsmethoden der Baugesteine durchaus ihre Berechtigung.

¹⁾ Nach den im diesseitigen Institut ausgeführten Untersuchungen schwankt der Erweichungskoeffizient in den abwechselnden Schichtlagen von 0,75—0,52 und die Kornbindungsfestigkeit von 24—9 kg/qcm Zugfestigkeit. Es war hiernach ohne jede weitere Prüfung das Material der betreffenden Bänke als wetterunbeständig zu bezeichnen.

In voller Würdigung dieser Umstände hatte das Ministerium der öffentlichen Arbeiten bereits im Jahre 1893 eine Kommission eingesetzt zur Ermittlung eines Verfahrens für die Untersuchung natürlicher Bausteine auf deren Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse. In einer 14jährigen Arbeitsperiode sind die hierzu erforderlichen Untersuchungen unter Benutzung eines umfangreichen Beobachtungsmaterials durchgeführt worden und fanden ihren Abschluß in der Aufstellung eines neuen Prüfungsverfahrens, dessen eingehende Begründung im Auftrage des Ministeriums 1908 veröffentlicht worden ist¹⁾.

An mehr als 1000 Baugesteinsvorkommen ist die praktische Ausführbarkeit dieser Methode geprüft und die Übereinstimmung der Prüfungsergebnisse mit dem Erhaltungszustand der betreffenden Gesteinsmaterialien an alten Bauwerken nachgewiesen worden. Von zahlreichen Prüfungsanstalten des In- und Auslandes wurden behufs Einführung dieser Methode Informationen von dem diesseitigen Institut eingefordert.

Das Prüfungsamt in Berlin-Lichterfelde hat diese Methode bisher nicht zur Einführung gebracht und nach Maßgabe der gegenwärtigen Organisation der betreffenden Abteilung auch nicht einführen können. Die preußischen Bauämter und Eisenbahnbehörden sind deshalb von dem vorgesetzten Ministerium angewiesen worden, in vorkommenden Fällen sich behufs Untersuchung von Baugesteinen auf ihre Wetterbeständigkeit an das Mineralogisch-geologische Institut der Technischen Hochschule zu wenden. Hiervon haben die betreffenden Behörden in zahlreichen Fällen Gebrauch gemacht, und auch die Kommunalverwaltungen, sowie die Steinbruchbesitzer haben sich vielfach mit Gesuchen um Gesteinsuntersuchung und Begutachtungen an das diesseitige Institut gewandt. Die letztgenannten Anträge

¹⁾ Siehe J. Hirschwald, Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit, Berlin 1908, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, sowie Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin 1912, Verlag von Gebr. Borntraeger. Das letztgenannte Werk soll im folgenden kurzweg als „Handbuch“ zitiert werden.

mußten, insoweit nicht ein besonderes wissenschaftliches Interesse vorlag, durchweg abgelehnt werden, da das Institut es lediglich als seine Aufgabe betrachtet, die bezüglichen Prüfungsmethoden des weiteren wissenschaftlich auszubilden und die Studierenden der Hochschule mit diesen Methoden bekannt zu machen. Hierzu bieten aber die Aufträge, die dem Institut seitens der Baubehörden gestellt werden, eine ausreichende praktische Grundlage.

Aufgabe der technischen Versuchsanstalten wird es demgemäß bleiben müssen, dem überaus umfangreichen praktischen Bedürfnis des Baugewerbes und der Steinbruchindustrie nach einer den wissenschaftlichen Anforderungen gemäßen Ausführung der Prüfung natürlicher Baugesteine zu entsprechen.

Wesentliche Änderungen in der Organisation der betreffenden Abteilung dieser Anstalten und der in denselben zur Anwendung gelangenden Methoden werden hierzu erforderlich sein, und um für diese unerläßliche Reform eine Grundlage zu schaffen, mögen die folgenden kritischen Besprechungen der einzelnen Prüfungsmethoden dienen.

1. Die Auswahl der zu untersuchenden Gesteinsproben.

Eine sachgemäße Reform auf dem in Rede stehenden Gebiet des Prüfungsverfahrens hat mit zweckentsprechenden Vorschriften für die Auswahl des Probematerials zu beginnen. Die bisherige Gepflogenheit, den Prüfungsanstalten lediglich einzelne größere Bruchstücke aus den Steinbrüchen zur Untersuchung einzusenden, ist als gänzlich unzulänglich zu verwerfen.

Fast ausnahmslos enthält jeder Steinbruch in den einzelnen Lagen ein nach seiner mineralogischen Zusammensetzung, Struktur, Festigkeit und Wetterbeständigkeit, also auch nach seiner Qualität und bautechnischen Verwendbarkeit mehr oder weniger verschiedenes Material.

Es gilt dies in erster Linie für die geschichteten Felsarten: Sandstein, Grauwacke, Kalkstein, Dachschiefer usw. Aber auch die massigen, kristallinen Gesteine, wie Granit,

Syenit, Diorit, Diabas, Porphy, Trachyt und Basalt weisen in den einzelnen Bruchlagen mannigfach verschiedene Eigenschaften auf. Den Steinbruchbesitzern ist es nicht zu verargen, wenn sie sich die bisherigen mangelhaften Vorschriften für die Probeeinsendung zunutze machten und lediglich Material aus den besten Lagen ihres Bruches zur Untersuchung einlieferten. Wenngleich nun die Prüfungsanstalten auf ihren Zeugnissen ausdrücklich bemerken, daß dieselben sich lediglich auf die untersuchten Proben beziehen, so lag es doch in der Natur der Sache, daß überall da, wo ein anderer Anhalt fehlte, diese Zeugnisse der Erteilung von Zuschlägen bei den ausgeschriebenen Submissionen zugrunde gelegt wurden.

Daß die Lieferungen selbst aber aus verschiedenen Bruchlagen erfolgen müssen, ist selbstverständlich, und in den meisten Fällen werden die Besteller auch bei Vergleichung des Materials mit den Musterstücken nicht imstande sein, einen Unterschied zu konstatieren. Denn nicht nur durch die Bearbeitung gehen die an der glatten Schlagfläche namentlich mit Hilfe der Lupe noch festzustellenden Unterschiede meistens verloren, sondern auch äußerlich gleichartiges Material aus verschiedenen Lagen zeigt in Dünnschliffen unter dem Mikroskop sehr beträchtliche Unterschiede der Kornbindung, Porenbildung und des Bindemittels. Andererseits sind Farbenunterschiede kein einwandfreier Beweis für die Herkunft des Materials aus verschiedenen Lagen, da innerhalb der einzelnen Schichten solche Unterschiede nicht selten sind.

Nach alledem werden die Prüfungszeugnisse nur dann einen sachgemäßen Anhalt für die Qualitätsbestimmung des Gesteinsmaterials eines Bruches gewähren können, wenn sie sich auf alle in demselben vorkommenden abbauwürdigen Lagen erstrecken.

Im Interesse des Baugewerbes sowohl, wie im Interesse derjenigen Steinbruchbetriebe, welche über ein im wesentlichen gutes Material verfügen, muß daher die Forderung gestellt werden, daß folgende Bestimmungen in die Vorschriften der Materialprüfungsanstalten für

die Ausführung von Gesteinsuntersuchungen aufgenommen werden:

1. Die Probeentnahme in den Brüchen geschieht durch Beamte oder anderweitige fachmännisch geschulte Beauftragte der Materialprüfungsanstalten auf Grund der eingehenden Untersuchung des Bruches hinsichtlich der Verschiedenheit des Materials in den einzelnen Lagen (Farbe, Körnung, Porosität, allgemeine Festigkeit usw.) und der tektonischen Ausbildung des Gesteins in denselben, wobei namentlich die Ablösungs- und Zerklüftungsverhältnisse, sowie Einschlüsse, Sandlöcher usw. bzw. hervortretende Verwitterungserscheinungen zu berücksichtigen sein werden.

2. Es ist eine Profilskizze aufzunehmen, in welcher die Bankmächtigkeit der einzelnen mit Nummern zu bezeichnenden Schichten und ihre besondere Ausbildungsweise einzutragen sind unter Beifügung einer Beschreibung der äußerlich erkennbaren Eigenschaften des Gesteins behufs Identifizierung desselben. Die zu entnehmenden Probestücke werden mit der entsprechenden Schichtnummer des Profils bezeichnet, sowie mit der Richtung der Schicht- bzw. Lagerfläche.

3. Durch mikroskopische Dünnschliffuntersuchung der eingelieferten Proben wird seitens des Prüfungsamtes nach Maßgabe der Verschiedenheit des Gesteins in den einzelnen Lagen festgestellt, aus welchen Schichten das Material (in annähernd kubischen Stücken von etwa 30 cm Seitenfläche mit der Bezeichnung wie zu 2 angegeben) zur Ausführung der speziellen Prüfung einzuliefern ist.

4. Den Prüfungszeugnissen wird die zu 2 erwähnte Profilzeichnung beigegeben und dabei bestimmt, daß eine Vervielfältigung dieser Zeugnisse behufs ihrer geschäftlichen Verwertung nur unter Hinzufügung des Profils und seiner Erläuterungen gestattet ist.

Daß die Gebühren für eine auf solcher Grundlage ausgeführte Prüfung um ein Mehrfaches höher sein müssen, als die jetzt üblichen, ist keineswegs als Grund gegen eine solche Maßnahme zu betrachten. Denn es wird von seiten der Fachkreise willig anerkannt werden, daß nur den auf diese Weise gewonnenen Prüfungsergebnissen ein praktischer Wert zuzusprechen ist, und es

stehen solche Mehrkosten auch in keinem Verhältnis zu dem Nutzen, den die Steinbruchbetriebe aus solchen Zeugnissen, wenn sie ein günstiges Resultat liefern, zu ziehen vermag. Aber auch die einwandfreie Feststellung mangelhafter Lagen inmitten eines brauchbaren Gesteins wird es den Bruchbesitzern ermöglichen, durch Ausschaltung der ersteren bei den Lieferungen, den guten Ruf ihres Unternehmens zu wahren.

Andererseits wird man anerkennen müssen, daß die Versuchsanstalten nicht wohl in der Lage sind, Anträge auf Prüfung einzelner Lagen eines Steinbruchbetriebes ohne weiteres abzulehnen. In diesem Falle wird jedoch eine Feststellung der Mächtigkeit der betreffenden Bank, deren Material der Prüfung unterzogen werden soll, sowie der gesamten in Abbau stehenden Schichten des Steinbruches erforderlich sein, und es muß das Zeugnis erkennen lassen, daß es sich hierbei lediglich um eine Partialuntersuchung des Bruches handelt. Demgemäß werden die obigen Vorschriften durch folgende Bestimmungen zu ergänzen sein.

5. Bei Anträgen auf Untersuchung einer einzelnen bestimmten Lage des Bruches ist in dem auszustellenden Zeugnis ausdrücklich hervorzuheben, daß die Prüfung sich lediglich auf eine bestimmte Bank von anzugebender Mächtigkeit bezieht und daß eine Untersuchung der übrigen Bruchlagen nicht stattgefunden hat.

Wird die Vervielfältigung des Zeugnisses ohne diesen Zusatz untersagt, so dürfte damit eine mißbräuchliche Verwendung desselben ausgeschlossen sein.

2. Die Festigkeitsprüfung.

Die Prüfung auf Festigkeit hat für die Gesteinsuntersuchung einen mehrfachen Zweck; es soll dadurch bestimmt werden:

- a) die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegenüber ihrer Beanspruchung auf Druck, Biegung, Zug und Abscherung im Bauwerk;
- b) die Kornbindungsintensität der Gesteine, d. h. der Grad ihrer Gefügefestigkeit, behufs Beurteilung der Wetterbeständigkeit des Materials;

- c) die Erweichbarkeit der Gesteine im Wasser durch Vergleichung ihrer Festigkeit im trockenen Zustande und nach längerer Wasserlagerung;
- d) der Einfluß der Frostwirkung durch Vergleichung der Festigkeit des wasser-satten Gesteins mit derjenigen der wasser-gesättigten und mehrfach gefrorenen Proben.

Daß die Festigkeitsprüfungen für jede der zu untersuchenden Schichten bzw. Bruchlagen gesondert auszuführen sind, bedarf nach den Ausführungen in Abschn. 1 keiner besonderen Erörterung, und ebensowenig, daß die Prüfung nicht nur bei geschichteten Gesteinen \parallel und \perp zur Schichtfläche, sondern auch bei massigen Gesteinen \parallel und \perp zur Absonderungsfläche zu erfolgen hat, wenn es sich um genauere Feststellungen handelt.

Des weiteren ist jedoch zu berücksichtigen, daß eine ungleiche Kornbindungsfestigkeit des Gesteins nicht nur in den verschiedenen Schichten eines Bruches, sondern auch innerhalb derselben Bank auftreten kann.

Die Festigkeitsprüfung ist aber ein vorzügliches praktisches Mittel, diese Ungleichmäßigkeit zu erkennen und den Bautechniker darüber zu belehren, welche Gesteinsvorkommen ein mehr oder weniger gleichmäßiges Material liefern, damit er bei der Auswahl des Gesteins zu konstruktiven Bauteilen, wie Widerlager für Brücken und Gewölbe, stark belastete Tragsteine und Säulen, die ersteren Vorkommen bevorzugen kann. Und selbst dann wird er seinen konstruktiven Berechnungen nicht die durchschnittliche Festigkeit, sondern nur die Minimalwerte derselben zugrunde legen dürfen.

Es ist deshalb als eine vollständige Verkennung der bautechnischen Anforderungen, wie andererseits der Ausbildungsverhältnisse der Gesteine zu bezeichnen, wenn neuerdings von dem Prüfungsamt Berlin-Lichterfelde¹⁾ beschlossen worden ist, in den Mitteilungen der Prüfungsergebnisse „auf die Wiedergabe der

¹⁾ Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde 1910, S. 182.

Einzelwerte, sowie auf die Angabe der Höchst- und Mindestwerte jeder Versuchsreihe zu verzichten“, weil angeblich „diese Werte gar keinen Anhalt für die Beurteilung bieten“. Sie sind, so heißt es weiter, „immer Zufallswerte und können bei Wiederholung einer Prüfung vollkommen anders ausfallen, während die Mittelwerte nur wenig voneinander abweichen.“

Man fragt sich aber, kommt es denn bei der Prüfung eines so ungleichmäßigen Materials, wie es die natürlichen Gesteine sind, auf die Erzielung gut übereinstimmender Werte an oder nicht vielmehr auf die Feststellung tatsächlich vorhandener Ungleichmäßigkeiten? Und wenn des weiteren mitgeteilt wird, „daß man die Angabe von Höchst- und Mindestwerten grundsätzlich fallen gelassen hat“, so ist es doch wohl zweifellos, daß diese Maßnahme nur zu sehr geeignet ist, die wahre Natur des untersuchten Gesteins zu verschleiern, anstatt sie zur Kenntnis der Interessenten zu bringen.

Eine gewisse Bedeutung könnten diese Durchschnittswerte, mangels anderweitiger Grundlagen, lediglich für die Vergleichung von Festigkeitsbestimmungen bei Berechnung des Erweichungs- bzw. Frostbeständigkeits-Koeffizienten haben. Für solche vergleichenden Bestimmungen sind aber noch ganz andere wichtige Verhältnisse der Gesteinsausbildung zu berücksichtigen, wenn die gewonnenen Resultate Anspruch auf Zuverlässigkeit haben sollen.

Die Tatsache, daß die geschichteten Gesteine in ihren einzelnen Lagen verschiedene Kornbindung und Festigkeit besitzen, daß diese Verhältnisse, wie z. B. bei vielen Sandsteinen, in zentimeter-, ja sogar millimeterstarken Lagen wechseln und daß derartige Verschiedenheiten auch bis zu einem gewissen Grade bei den massigen kristallinen Gesteinen in den einzelnen Bänken vorkommen, läßt die Forderung gerechtfertigt erscheinen, daß die Vergleichung der Festigkeit an dem trockenen und wassergelagerten Gestein, sowie an dem wassersatten und vielfach der Frostwirkung ausgesetzten Material lediglich an solchen Proben geschehen darf, welche genau derselben Schichtenhöhe innerhalb derselben Bank entnommen worden

sind. Nur auf diese Weise wird die Berechnung des Erweichungs- und Frostbeständigkeitskoeffizienten zu brauchbaren Resultaten führen.

Es müssen daher würfelförmige Blöcke, welche nach der Schicht- bzw. Lagerfläche geschnitten sind, derartig zerteilt werden, daß eine größere Anzahl von Proben aus derselben Schichtenhöhe, zu vergleichenden Festigkeitsbestimmungen verwendet werden können. Eine spezielle Anleitung zur Herstellung solcher Probekörper ist in dem Handbuch S. 56 u. f. gegeben worden.

Aber auch innerhalb derselben Lage wechselt mitunter die Festigkeit nicht unerheblich, und es sind deshalb die an einer größeren Anzahl von Probekörpern gefundenen Werte reihenweise zu ordnen und die korrespondierenden Glieder dieser Reihe zur Berechnung der genannten Koeffizienten zu verwenden. Wenn überdies hierbei auch ein Durchschnittswert zur Vergleichung berechnet wird, so ist dagegen nichts einzuwenden, falls auch die Einzelwerte zur Kenntnis der Interessenten gelangen.

Zur Feststellung der Kornbindungsintensität, einer Bestimmung, welche für die Beurteilung der Wetterbeständigkeit der Gesteine von namhafter Bedeutung ist, eignet sich am besten die Zugfestigkeitsprüfung, weil dabei die Kohäsionsverhältnisse des Gesteins am vollkommensten zum Ausdruck gelangen. Näheres über die zweckmäßigste Form der Probekörper für diese Untersuchungen siehe Handbuch S. 66 u. f.

3. Die Bestimmung der Porosität und Wasseraufsaugung.

Die Feststellung der absoluten Porosität geschieht am zweckmäßigsten nach folgender, für die Praxis hinlänglich genauen Methode. Zunächst wird das Raumgewicht des Gesteins an glatt geschnittenen Würfeln von etwa 6 cm Kantenlänge durch Ausmessung und Auswägung bestimmt. Alsdann ist das spezifische Gewicht des Gesteinspulvers mittels des Pyknometers festzustellen.

Ist γ das spezifische Gewicht des Gesteinspulvers, δ das Raumgewicht der Kubikeinheit,

so berechnet sich daraus der Poreninhalt in Prozenten des Gesamtvolumens, oder der Porositätskoeffizient P , aus der Gleichung

$$P = \frac{(\gamma - \delta) 100}{\gamma}$$

Dieser Koeffizient ist sowohl für die Beurteilung der Dichtigkeitsverhältnisse des Gesteins, wie auch für die Berechnung der Kornbindungsfestigkeit in Betracht zu ziehen.

Zur Bestimmung des Sättigungskoeffizienten darf jener Wert jedoch nicht verwendet werden, denn hierbei handelt es sich lediglich um den Rauminhalt derjenigen Poren, welche dem von außen eindringenden Wasser zugänglich sind. Demgemäß ist folgende Methode zur Anwendung zu bringen:

Eine größere Anzahl parallelepipedisch geschlagener Probestücke von etwa 30 g bei sehr dichtem Gestein (Granit, Basalt, kristallinischem Kalk usw.) und von etwa 70 g bei porösem Gestein (Sandstein, Tuffstein, Tonschiefer usw.) werden bei 50° C. 3 Stunden getrocknet und nach dem Erkalten im Exsikkator ausgewogen. Alsdann sind dieselben ganz allmählich mittels des Tropfapparates unter Wasser zu setzen (siehe S. 112 des Handbuches) und nach Erlangung konstanten Gewichts wird die Menge des aufgenommenen Wassers mittels der Wage bestimmt. Der gefundene Wert sei = W . Dieselben Probestücke werden alsdann im Vakuum des weiteren mit Wasser gesättigt und gelangen hierauf in den mit Wasser gefüllten Kompressor, in dem sie 24 Stunden bei einem Druck von 150 Atm. verbleiben. Man darf annehmen, daß hierdurch alle dem Wasser von außen zugänglichen Poren von diesem erfüllt werden, und bestimmt nunmehr das Maximum der Wasseraufnahme. Dasselbe sei = W_c .

Dann ist der Sättigungskoeffizient S , d. h. derjenige Volumenteil der Poren, welcher bei der Wasseraufsaugung unter gewöhnlichem Druck gefüllt wird,

$$S = \frac{W}{W_c}$$

Erscheint das Gestein sehr deutlich geschichtet oder schiefrig, so tritt im allgemeinen auch eine schichtenförmige Anordnung

der Gesteinsporen und eine dementsprechende Verteilung des Wassers in denselben auf, ein Umstand, der im höchsten Grade ungünstig auf die Frostbeständigkeit des Gesteins einwirken kann.

Um deshalb einen Anhalt für die Beurteilung der durch die Porenanordnung bedingten Wasserverteilung zu gewinnen, wird nach der Seite 118 des Handbuches dargelegten Methode die Wasseraufsaugung des Gesteins, wie sie von der Schichtfläche und von der Querfläche aus stattfindet, bestimmt und aus dem Verhältnis der so erhaltenen Gewichte der aufgenommenen Wassermenge der „Verteilungskoeffizient“ berechnet. Diese Prüfung gelangt jedoch lediglich für Gesteine mit deutlich geschichteter Struktur zur Anwendung und für solche, welche beim Zerschlagen schiefrige Ablösungsflächen zeigen.

4. Die Frostprüfung.

Die Prüfung der Frostbeständigkeit der Gesteine kann auf zweifache Weise erfolgen:

1. durch das experimentelle Verfahren, nach welchem formatisierte Probestücke nach längerer Wasserlagerung wiederholt der Frostwirkung, unter jedesmaligem Wiederauftauen, ausgesetzt werden. Man stellt hierbei fest, ob ein Zerspringen der Gesteine oder ein Absanden an der Oberfläche stattfindet, und bestimmt überdies den Grad der Frostwirkung dadurch, daß das wassergetränkte Gestein vor und nach dem Gefrieren auf seine Festigkeit geprüft wird.

Unbedingtes Erfordernis ist hierbei jedoch, daß die zu vergleichenden Proben in der Weise aus derselben Schichtlage herausgeschnitten sind, wie dies in Abschn. 2, S. 8 des näheren angegeben wurde. Die Nichtbeachtung dieser Maßnahme kann zur Folge haben, daß die Festigkeitsprüfung an den dem Frost ausgesetzten Probestücken einen höheren Wert ergibt, als an dem einfach wassergelagerten Gestein.

Wie häufig dies infolge willkürlicher Auswahl der Probekörper vorkommt, mag an den folgenden Beispielen aus 28 Gesteinsuntersuchungen, welche von dem hiesigen Prüfungs-

amte im Jahre 1910 veröffentlicht worden sind (siehe die betr. Mitteilungen S. 181 u. f.), dargelegt werden.

	Druckfestigkeit in kg/qcm	
	wasser- satt:	nach 25 mal. Gefrieren:
Kalkstein (Schlesien?)	100	106
„ v. Verny	69	73
Muschelkalk v.?	87	105
Granit v. Poischwitz	87	89
„ v. Sachsen?	86	90
Quarzporphyr v. Oberröversdorf .	91	94
„ v. Schmalwassergrund	91	94
Diabas (?) v. Bitburg	90	93
Feldspatbasalt v. Ságh	92	96
Kalksandstein v. Habelschwerdt .	81	84
Sandstein v. Neukirchen	69	98
„ v. Bystra	67	77
„ v. Neuenstein	70	76

Daß solche Resultate — und sie finden sich in allen Veröffentlichungen seit fast 40 Jahren — ohne weiteres in die Prüfungszeugnisse aufgenommen werden, zeigt, wie schematisch die betreffenden Untersuchungen zur Ausführung gelangen und wie wenig man auf die notwendige Verbesserung der Methoden bedacht gewesen ist. Ganz ausgeschlossen sind derartige Ergebnisse allerdings auch bei sachgemäßer Auswahl des Probematerials nicht, aber dann wird man selbstverständlich annehmen, daß die Probestücke, welche nach dem Gefrieren einen höheren Festigkeitsgrad aufweisen als die ungefrorenen, an und für sich von festerem Gefüge waren, und derartige Fälle als Fehlversuche auszuschneiden haben.

Der beschränkte Geltungsbereich der experimentellen Frostprüfung ist an anderer Stelle (siehe Handbuch S. 246) des näheren dargelegt worden.

Bei der außerordentlichen Bedeutung, welche die Frostwiderstandsfähigkeit der Gesteine für ihre Verwendbarkeit als Baumaterial besitzt, erscheint demnach eine Ergänzung jener Methode unerläßlich und hierzu eignet sich in vortrefflicher Weise die theoretische Frostprüfung.

2. Die Methode der theoretischen Frostprüfung beruht auf der Tatsache, daß ein Gestein nur dann der Frostwirkung erliegt, wenn seine Poren um mehr als $\frac{1}{9}$ ihres Volumens durch das eindringende Wasser von diesem erfüllt werden. Ist die Wasseraufnahme eine geringere, so findet das gefrierende Wasser genügenden Raum zu seiner freien Ausdehnung, ohne auf die Porenwandungen einen erheblichen Druck auszuüben (näheres hierüber siehe Handbuch S. 199 u. f.). Der Grad der Porenfüllung wird durch den Sättigungskoeffizienten bestimmt, nach der Abschn. 3, S. 9 angegebenen Methode¹⁾.

Daneben kommt für die Beurteilung der Frostbeständigkeit eines Gesteins die Größe des Verteilungskoeffizienten (siehe S. 9) und des Erweichungskoeffizienten in Betracht. Der letztere ergibt sich aus der Festigkeit des Gesteins in trockenem und wassergelagertem Zustand.

Die Methode der theoretischen Frostprüfung hat sich bei der Untersuchung von 1050 Gesteinen, deren Frostbeständigkeitsgrad nach den Beobachtungen des Materials an älteren Bauwerken bekannt war, so vollkommen bewährt, daß sie als wohl begründet gelten kann und ihre Einführung in die technische Gesteinsprüfung als eine ebenso zweckentsprechende als notwendige Ergänzung der experimentellen Frostprüfung bezeichnet werden muß. Dabei ist ihre Ausführung so einfach und wenig zeitraubend, daß sie auch in dieser Hinsicht den praktischen Anforderungen durchaus entspricht.

5. Die Wetterbeständigkeitsprüfung.

Die Gesamtprüfung der Gesteine auf ihre mechanischen Eigenschaften, wie namentlich auf ihre Festigkeit und Abnutzbarkeit, anderseits aber auf ihre Frostbeständigkeit erlangt erst eine praktische Bedeutung, wenn zugleich die Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber den Einflüssen der Atmosphären zur

¹⁾ Wegen der nicht immer vollkommen gleichmäßigen Wasserfüllung der Poren ist der kritische Grenzwert für S, auf Grund der Erfahrung, auf 0,8 normiert worden.

Bestimmung gelangt. Denn mit der substanziellen und strukturellen Veränderung der Gesteine vermindert sich nicht nur ihre Festigkeit, sondern fast ausnahmslos auch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Frostwirkung.

Obgleich diese Verhältnisse längst bekannt sind, haben die Materialprüfungsanstalten im allgemeinen diesen Zweig der Gesteinsuntersuchung fast vollkommen vernachlässigt, und es ist vorzugsweise diesem Umstand zuzuschreiben, daß die technische Gesteinsprüfung den Anforderungen des Baugewerbes, wie denen des Steinbruchbetriebes, bisher so wenig zu entsprechen vermochte.

Wenn aber die Methoden, welche die mineralogisch-geologische Forschung für die Untersuchung der Gesteine auf ihre Wetterbeständigkeit bearbeitet hat, bisher, abgesehen von vereinzelten Anstalten, nicht in den Arbeitskreis der fraglichen Abteilungen Eingang gefunden haben, so beruht dies in erster Linie wohl auf dem Umstande, daß die Beamten dieser Abteilungen sich fast ausschließlich aus Ingenieuren zusammensetzen, welche jenen naturwissenschaftlichen Methoden fremd gegenüber stehen. Daher erklärt es sich denn auch, daß innerhalb der betreffenden Kreise das Bestreben hervortritt, jene wissenschaftlichen Methoden, welche irrtümlich als zu kompliziert und zeitraubend für die praktische Verwendung bezeichnet worden sind, durch mechanische Prüfungen zu ersetzen, welche in schematischer Weise ausgeführt werden können und an die Fachkenntnis der Prüfungsbeamten keine besonderen Anforderungen stellen. Welche geringen Aussichten auf Erfolg solche Bestrebungen haben und welcher Weg andererseits hier allein zum Ziele führen kann, mag durch die folgenden Erörterungen klargestellt werden.

Der Verwitterungsprozeß der Gesteine ist ein überaus komplizierter Vorgang, der im wesentlichen auf der Wechselwirkung folgender Faktoren beruht:

1. der chemischen Wirkung der Luft und des Wassers;
2. dem erweichenden Einfluß des Wassers auf gewisse Gesteinsbestandteile und ihrer dadurch bedingten Ausschlämmung;

3. der durch Temperaturwechsel bedingten stetigen Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteine;
4. der Wirkung der Rauchgase und
5. dem Einfluß des Frostes auf das wasserhaltige Gestein.

Bei dieser letzteren Wirkung kommt jedoch nicht allein das Zerspringen und Aufblättern durch den Frost in Betracht, sondern auch die erst in Jahrzehnten oder Jahrhunderten sich bemerkbar machende Auflockerung des Gesteinsgefüges.

Die Widerstandsfähigkeit eines Gesteins gegen alle diese Agentien hängt aber ab:

1. von der mineralogischen Zusammensetzung des Gesteins, der chemischen und morphologischen Beschaffenheit seiner Gemengteile;
2. von der allgemeinen Struktur des Gesteins und seines Porositätscharakters, sowie der dadurch bedingten Art der Wasseraufsaugung, und
3. von der Kornbindungsfestigkeit der Gemengteile.

Als Grundlage unserer Kenntnis der Gesteinsverwitterung sind die Ergebnisse zu betrachten, welche das eingehende Studium der Gebirgsgesteine und ihre im Laufe geologischer Zeiträume erlittenen Veränderungen geliefert haben.

Die hierbei auftretenden Prozesse zerfallen in zwei Kategorien:

- a) mechanische Verwitterung, bewirkt durch den Frost und die erodierende Tätigkeit des fließenden Wassers. Diese Vorgänge sind als verhältnismäßig schnell verlaufende zu bezeichnen;
- b) chemische Verwitterung, bedingt durch den Einfluß der Atmosphärien. Obgleich dieser letztere Einfluß erst in geologischen Zeiträumen zu einer vollständigen Zerstörung des Gesteins führt, ist derselbe für die geologischen Vorgänge an der Erdoberfläche doch von weitgehender Bedeutung. Denn das Material für die Bildung der großen Masse der sedimentären Gesteine, welches in

einer Mächtigkeit von vielen tausend Metern die Erdrinde zusammensetzt, ist in seiner gegenwärtigen Beschaffenheit wesentlich als ein chemisches Zersetzungsprodukt der kristallinen Silikatgesteine zu betrachten.

Es darf daher nicht wundernehmen, daß man anfangs, als man sich mit der Baugesteinsverwitterung zu beschäftigen begann, auch diese vorzugsweise durch chemische Prozesse zu erklären suchte, ohne zu berücksichtigen, daß es sich bei der Mehrzahl derselben um Wirkungen handelt, welche innerhalb der für Bauwerke in Betracht kommenden Zeiträume nur in so geringem Maße die Gesteine zu verändern vermögen, daß dadurch eine weitgehende Zerstörung ihres Gefüges nicht stattfinden kann.

Nichtsdestoweniger wurden die ersten Methoden zur Prüfung der Bausteine auf ihren Beständigkeitsgrad vorzugsweise auf Grund unserer Kenntnis jener chemisch-geologischen Verwitterungsvorgänge bearbeitet.

Wenn dies nach dem Vorstehenden als ein fundamentaler Fehler zu bezeichnen ist, so war es nicht minder bedenklich, den Wetterbeständigkeitsgrad der verschiedenen Gesteine dadurch zu bestimmen, daß man sie der Wirkung chemischer Agentien unterwarf. Man vermeinte hierbei eine experimentelle Nachahmung des natürlichen Verwitterungsprozesses zu erzielen. Um aber die Versuchszeit den praktischen Vorgängen anzupassen, mußten die chemischen Agentien (Säuren, alkalische Lösungen usw.) in einer Konzentration verwendet werden, welche den Gehalt der Luft bzw. der atmosphärischen Niederschläge um mehr als ein Hundertfaches überstieg.

Nun ist es aber eine bekannte Tatsache, daß die Wirkungsweise flüssiger chemischer Agentien auf feste Körper sich sehr wesentlich ändert mit dem Grade der Konzentration und der Einwirkungszeit jener Zersetzungsmitel. Im allgemeinen ist jede schnell verlaufende chemische Umwandlung eines festen Körpers mit dem Zerfall desselben verbunden, während dieselbe Zersetzung, wenn sie durch lange andauernde Tätigkeit sehr schwach wirkender

Agentien bewirkt wird, sich ohne jede Aufhebung des Zusammenhanges der festen Substanz vollziehen kann. Die Pseudomorphosen des Mineralreiches liefern hierfür zahlreiche Beispiele. So wird Olivin in Serpentin, Eisenkies in Brauneisen, Anhydrid in Gips, Gips in Aragonit, Eisenspat in Braunspat verwandelt, ohne daß das pseudomorphe Produkt den Gefügezusammenhang verliert; ja es kommt nicht selten vor, daß dasselbe eine größere Festigkeit erlangt, als das ursprüngliche Mineral.

Die künstliche Nachahmung dieser chemischen Umwandlungen liefert aber, soweit sie überhaupt möglich ist, in den meisten Fällen pulverförmige Zersetzungsprodukte.

Daß die Gefügefestigkeit der Baugesteine, welche durch schnell wirkende chemische Agentien vollständig zerstört wird, unter dem Einfluß der Atmosphärien trotz erfolgter chemischer Veränderungen vollkommen erhalten bleiben kann, dafür lassen sich zahlreiche Beispiele anführen. Es sei hier nur an die Bildung äußerst fester eisenschüssiger Rinden an manchen Sandsteinen erinnert, sowie an die Umwandlung der Oberfläche von Kalkstein in festen Gips unter der Einwirkung von Rauchgasen.

Da hiernach die künstliche chemische Zersetzung und der natürliche Verwitterungsprozeß nicht notwendigerweise physikalisch gleiche Produkte liefern, so wird die experimentelle Nachahmung des natürlichen Vorganges im allgemeinen auch keinen sicheren Anhalt für die Beurteilung des Verlaufes der natürlichen Verwitterung gewähren können.

Überdies kommt aber in Betracht, daß der Verwitterungsprozeß der Baugesteine keineswegs als ein rein chemischer zu betrachten ist, ja, daß die chemische Veränderung nicht einmal die Hauptrolle bei der Verwitterung der Baugesteine spielt und daß also auch aus diesem Grunde jene Untersuchungsmethoden ihren Zweck nicht zu erfüllen vermögen. Unter Berücksichtigung dieser Umstände hat denn auch die Kommission, welche s. Zt. vom Ministerium der Öffentlichen Arbeiten zur Ermittlung eines Prüfungsverfahrens für natürliche Bausteine eingesetzt worden war, einen gänzlich

anderen Weg eingeschlagen und eine Methode bearbeitet, welche man als die empirische Methode bezeichnen kann.

Der Grundgedanke bei der Bearbeitung derselben war folgender:

1. An dem Gesteinsmaterial möglichst zahlreicher älterer Bauwerke war zunächst festzustellen, inwieweit diejenigen Prozesse, welche die Verwitterung in geologischen Perioden bewirken, auch innerhalb der für Bauwerke in Betracht kommenden Zeiträume eine zerstörende Wirkung auf das Gesteinsmaterial auszuüben vermögen, und

2. Welcher Art demgemäß die Verwitterungserscheinungen sind, welche die untersuchten Baugesteine aufweisen.

3. Nach dem Grade der äußeren Verwitterung, der inneren Zermürbung und dem Alter des Baugesteins ist die Beständigkeitsklasse desselben unter Zugrundelegung eines bestimmten Schemas zu bestimmen.

4. Die Gesteine der verschiedenen Qualitätsklassen sind auf alle jene Eigenschaften zu untersuchen, welche nach den Ergebnissen der Erhebungen zu 1, mehr oder weniger günstig bzw. ungünstig auf die Wetterbeständigkeit des Materials einzuwirken vermögen, als da sind: die mineralogische Zusammensetzung, die Struktur der Gemengteile und ihre Anordnung im Gestein, die Porositätsverhältnisse, die Wasseraufnahme und das Maß der Porenfüllung bei derselben, die Erweichbarkeit des Gesteins in Wasser, die Kornbindungsfestigkeit und die Frostbeständigkeit.

Die Bestimmung dieser Eigenschaften soll mittels möglichst einfacher, auch in den Materialprüfungsanstalten durchführbarer Methoden, bearbeitet werden.

5. Durch vergleichende Untersuchung der verschiedenen Gesteine und ihrer Abarten ist ferner festzustellen, in welcher Beziehung die zu 4 genannten Eigenschaften zu dem Erhaltungsgrad der Gesteine und der Art ihrer etwaigen Zerstörung stehen.

6. Nachdem auf diese Weise erkannt worden ist, welche Eigenschaften der Gesteine als günstig oder ungünstig für deren Wetterbeständigkeits-

grad zu betrachten sind, soll durch vergleichende Untersuchungen eine ziffermäßige Bewertung dieser Eigenschaften erfolgen, derart, daß durch Summierung dieser Werte ein Anhalt für die Beständigkeitsklasse des Gesteins auch in solchen Fällen gewonnen werden kann, in denen dasselbe hinsichtlich seiner Ausbildung nicht vollständig mit einem Gestein der Untersuchungsreihe übereinstimmt. Hierbei sind entsprechend der Bezifferung der Qualitätsklassen von 1—6 die günstigen Eigenschaften als negative, die ungünstigen als positive Werte in die Berechnung einzuführen.

Nach diesen Gesichtspunkten sind die Baugesteine von 1050 älteren Bauwerken bearbeitet worden, wobei 532 Sandsteine einschl. Grauwacken, 175 Kalksteine, 122 Dachschiefer, 27 Granite und Syenite, 37 Gneise und kristallinische Schiefer, 28 Porphyre, 22 Trachyte und Andesite, 48 Basalte, 58 vulkanische Tuffe und 12 Schalsteine verschiedener Vorkommen, also 1061 Gesteine, zur Untersuchung gelangten.

Die Zuverlässigkeit der hiernach bearbeiteten Methode, sowie ihre praktische Brauchbarkeit ist durch die Übereinstimmung der berechneten Beständigkeitsklassen mit den durch die Beobachtung an den gedachten Bauwerken festgestellten Qualitätsklassen der Gesteine erwiesen worden.

Bei der Ausführung dieser Prüfungen kommen folgende Methoden zur Anwendung:

1. Die mikroskopische Untersuchung in Dünnschliffen behufs Feststellung der mineralogischen Zusammensetzung, der allgemeinen Struktur, der Ausbildungsweise der Gemengteile und ihres etwaigen Verwitterungsgrades, der Porosität, der Art und Intensität der Kornbindung, sowie der substantiellen Beschaffenheit des Bindemittels bei sedimentären Gesteinen.

2. Die Wasseraufnahme des Gesteins unter gewöhnlichem Druck und im Kompressor bei 150 Atm. zur Bestimmung des Sättigungskoeffizienten, die Feststellung der Wasserverteilung behufs Bestimmung des Verteilungskoeffizienten.

3. Die Erweichbarkeit der Gesteine in Wasser durch Vergleichung der Festigkeit in trockenem Zustande und nach längerer Wasserlagerung.

4. Die Kornbindungsfestigkeit durch Reduktion des Festigkeitswertes auf die Summe der Kornbindungsflächen in der Zerreißeungs-ebene und eventuell

5. die experimentelle Frostprüfung.

Obgleich diese Methoden von jedem, der mit den Grundlehren der wissenschaftlichen Gesteinskunde vertraut ist, leicht und in kurzer Zeit ausführbar sind, und eine namhafte Zahl von Prüfungsanstalten gegenwärtig mit der Vorbereitung zur Einführung derselben beschäftigt ist, wird von anderer Seite der Einwand erhoben, daß dieses Prüfungsverfahren wohl in der Hand des Mineralogen, nicht aber in der Praxis der Versuchsanstalten eine angemessene Verwendung finden könne. Zutreffend erscheint dieser Einwand nur solange, als die Prüfungsanstalten sich der berechtigten Anforderung entziehen, für die Gesteinsuntersuchung fachmännisch gebildete Beamte anzustellen, welche Forderung aber nicht nur im Hinblick auf die Wetterbeständigkeitsprüfung, sondern, wie eingangs des näheren dargelegt wurde, auch für die Auswahl des Probematerials, die sachgemäße Bearbeitung der Probekörper, wie für die zuverlässige Ausführung der mechanischen Gesteinsprüfung unerläßlich erscheint.

Die Abneigung gewisser Kreise, dieser Forderung gerecht zu werden, hat den wenig glücklichen Gedanken gezeitigt, eine Wetterbeständigkeitsprüfung der Gesteine auf rein mechanischem Wege zu begründen. Zu diesem Zweck werden gegenwärtig seitens des hiesigen Materialprüfungsamtes folgende Versuche ausgeführt:

Es sind von 24 Gesteinen (4 Granite, 7 Gabbros, Basalte und Diabase, 5 Sandsteine, Quarzite und Grauwacken, 8 Marmorarten, Kalksteine und Tuffe) kleine 1 bis 1,5 mm dicke Plättchen geschnitten und diese der Witterung ausgesetzt, um den etwaigen Gewichtsverlust in gewissen Zeitabschnitten zu bestimmen, zugleich aber größere Blöcke derselben Gesteinsarten im Freien aufgestellt, an denen die Haltbarkeit des Materials festgestellt werden soll.

Erwägt man, daß an ein gutes Baugestein die Forderung einer mehrhundertjährigen Halt-

barkeit gestellt wird, daß andererseits Gesteine, welche sich 2—3 Jahrhunderte vortrefflich erhalten haben, infolge der allmählichen inneren Umwandlung, die nur durch mikroskopische Untersuchung feststellbar ist, plötzlich in auffälliger Weise zu verwittern beginnen, wie das z. B. erst neuerdings am Heidelberger Schloß festgestellt worden ist¹⁾, so fragt man sich, wie lange sollen die erwähnten Versuche fortgesetzt werden, um zu einem abschließenden Resultat zu gelangen, und sind denn in der Tat bei der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Gesteinsausbildung die Erfahrungen an 24 Gesteinen hinreichend, um damit die Grundlage für eine neue Prüfungsmethode zu gewinnen?

Empirisch gewonnene Resultate lassen sich nur verallgemeinern, wenn sie an einer so großen Zahl von Versuchen gewonnen worden sind, daß man zu der Schlußfolgerung berechtigt ist, was in hunderten von Fällen in konstanter Weise eintrat, wird sich auch stets in gleicher Weise wiederholen.

Unter 532 Sandsteinen, welche für die Begründung einer Methode der Sandsteinprüfung diesseits verwendet worden sind, fanden sich kaum zwei von absolut gleicher Beschaffenheit. Und da gibt man sich der Hoffnung hin, mit fünf Proben von Sandsteinen, Quarziten und Grauwacken, also mit höchstens drei Sandsteinproben ein generell verwertbares Resultat zu erhalten. Es muß billigerweise bezweifelt werden, daß ein Fachmann, der die Ausbildung der natürlichen Gesteine kennt, derartigen Versuchen irgendwelche grundlegende Bedeutung beizumessen vermag.

Dazu kommt aber noch ein anderes schwerwiegendes Bedenken hinsichtlich der wissenschaftlichen Zuverlässigkeit der in Rede stehenden Methoden.

Eine der wichtigsten Eigenschaften für die Wetterbeständigkeit der Gesteine ist ihre Gefügestärke, d. h. die Intensität ihrer Kornbindung. Diese ist naturgemäß innerhalb der

¹⁾ Siehe: Die Verwitterung am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses, Bautechnische Gesteinsuntersuchungen Jahrg. 1911, Heft 1, S. 1.

Kornlage an der Schnittoberfläche bedeutend geringer als im Innern des Gesteins, und noch geringer ist dieselbe an den Kanten. Würde man deshalb ein dünnes, aus einer oder wenigen Kornlagen bestehendes Plättchen auf seine Druckfestigkeit prüfen, so müßte man ein erheblich niedrigeres Resultat erhalten, als bei der Prüfung eines dickeren Würfels, ohne daß dabei eine Proportionalität zwischen der Festigkeit eines solchen dünnen Plättchens bzw. eines größeren Würfels und ihren Dimensionen zu konstatieren wäre. In gleicher Weise wird auch das dünne Plättchen bedeutend schneller verwittern, und hierauf beruht es vorzugsweise, daß die feineren Teile skulpturierter Bauglieder schneller zerstört werden, als die massigen Werkstücke.

Zudem sind die Gesteine so unregelmäßig struiert, die Verteilung ihrer Poren ist eine so verschiedene, daß auch aus diesem Grunde die betreffenden Versuche mit einer bedenklichen Fehlerquelle behaftet sein müssen. Es gibt Gesteine, wie z. B. zahlreiche Sandsteine, bei denen in millimeterdicken Lagen wesentliche Verschiedenheiten der Ausbildung auftreten, sei es hinsichtlich der Korngröße, des Bindemittels oder der Kornbindungsverhältnisse. Selbst bei kristallinen Gesteinen ist das Mengenverhältnis der Mineralbestandteile in kleinen Gesteinsabschnitten sehr verschieden. Deshalb wird auch die Druckfestigkeitsprüfung an Gesteinswürfeln von 1 cm oder gar von wenigen Millimetern Kantenlänge vielfach größere Differenzen innerhalb der einzelnen Versuchsreihen ergeben, als sie bei Verwendung der üblichen Würfelabmessung von 6 cm Kantenlänge erhalten werden. Niemand würde aber der Meinung sein, durch Versuche an solchen minutiösen Probekörpern die für die Bautechnik in Betracht kommenden Festigkeitsverhältnisse der Gesteine zu bestimmen. Was aber für die Festigkeitsprüfung gilt, hat auch für die Bestimmung des Wetterbeständigkeitsgrades, der von der Kornbindungsfestigkeit wesentlich beeinträchtigt wird, eine sinngemäße Bedeutung. Dennoch glaubt man aus der Gewichts Differenz, welche diese kleinen, an verschiedenen Orten aufgestellten

Probepfättchen im Laufe einiger Jahre aufwiesen, nicht nur auf den Wetterbeständigkeitsgrad des Gesteins, sondern auch auf den örtlich verschiedenen Einfluß der Atmosphären schließen zu dürfen¹⁾, ohne hierbei die ungleiche Strukturbeschaffenheit jener Probepfättchen einer Berücksichtigung zu unterziehen.

Nach alledem werden die erwähnten Versuche, selbst wenn sie viele Jahrzehnte und an der hundertfachen Anzahl der jetzt zur Anwendung gelangten Proben vorgenommen würden, keine wissenschaftlich begründeten und demgemäß auch keine praktischen Resultate aufweisen. Das Experiment gibt eben nur auf richtig gestellte Fragen eine richtige Antwort, daher denn auch die sachgemäße Erfassung des Problems die Vorbedingung jedes wissenschaftlichen Erfolges ist.

Aber selbst wenn die in Rede stehenden Untersuchungen wissenschaftlich einwandfrei wären, wenn man also an kleinen Gesteinsplättchen, die fünf oder zehn Jahre der Witterung ausgesetzt gewesen sind, feststellen könnte, welche Veränderungen das Gestein in Jahrhunderten erleiden wird, so muß man sich doch fragen, was denn eigentlich mit solchen Versuchen erreicht werden soll? Denkt man daran, diese Methode etwa auch in die praktische Gesteinsprüfung einzuführen und die Antragsteller 5—10 Jahre auf das Zeugnis warten zu lassen, in welcher Zeit das betreffende Material bereits so weit abgebaut sein dürfte, daß eine Kontrollprüfung des neuen Anbruchs erforderlich wäre. Oder sollen diese Versuche lediglich dazu dienen, die Verwitterungserscheinungen festzustellen, welche an den verschiedenen Bausteinen auftreten können? Dann liegt es doch wohl auf der Hand, daß die Untersuchung der Verwitterungsrinde an Gesteinen von Bauwerken verschiedenen, bis zu Jahrhunderten reichenden Alters und die Vergleichung der verwitterten Rinden mit dem noch unzersetzten Material im Innern der Werkstücke — Versuche wie sie diesseits bereits an mehr als 1000 verschiedenen Gesteinen ausgeführt worden sind —, eine in

¹⁾ Siehe Gary, Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde, 1910, S. 210.

jeder Hinsicht sachgemäßere Grundlage für die Ermittlung einer Prüfungsmethode liefern müssen, als jene in Rede stehenden Experimente bei ihrem beschränkten Umfange und ihren unzulänglichen Versuchszeiten.

Es muß deshalb befremden, daß der deutsche Verband für die Materialprüfung der Technik trotz alledem sich auf jene aussichtslosen Untersuchungen festgelegt hat und für dieselben in weiteren Kreisen, namentlich auch bei den deutschen Behörden, um Unterstützung wirbt. Zur Begründung dieses Vorgehens wird in dem Protokoll der in Nürnberg stattgehabten 11. Hauptversammlung des genannten Verbandes vom 8. Oktober 1910 ausgeführt, daß die von dem Mineralogisch-geologischen Institut der Technischen Hochschule zu Berlin bearbeitete Methode der technischen Gesteinsprüfung „nicht nur eine außerordentlich kostspielige Apparatur erfordere, sondern auch für die Praktiker nicht berechnet ist“.

Diese Behauptung ist aber durchaus unzutreffend und irreführend. Zur Ergänzung der Apparatur, wie sie in den Prüfungsanstalten im Gebrauch ist, dient im wesentlichen ein Mikroskop, das auch ohnehin keiner Prüfungsanstalt fehlen sollte, und ein kleiner Kompressionsapparat. Was aber die praktische Verwendung der betreffenden Methode anlangt, so kann es dem Ausschuß des genannten Verbandes nicht unbekannt sein, daß das in Rede stehende Prüfungsverfahren lediglich für die praktische Verwendung bearbeitet worden ist, und daß die vom Ministerium der Öffentlichen Arbeiten eingesetzte Kommission (bestehend aus 2 praktischen Baubeamten, 2 Mineralogen und Geologen, 2 analytischen Chemikern) die Ausführung dieser Arbeiten überwacht hat. Einer solchen Kommission darf wohl einiges Urteil, auch über die praktische Verwendbarkeit der erzielten Resultate, beigemessen werden.

In der Tat hat sich denn auch die betreffende Methode bei der Untersuchung der hierfür in Betracht gezogenen 1061 Bausteinen nicht nur voll auf bewährt, sondern es ist andererseits festgestellt worden, daß es für die Beamten der Prüfungsanstalten nicht schwer hält, sich die Kenntnis der-

selben in verhältnismäßig kurzer Zeit zu eigen zu machen. Von den Delegierten auswärtiger Regierungen, welche von diesen zur Ausbildung an das diesseitige Institut abgeordnet wurden, haben selbst diejenigen, denen die erforderliche fachwissenschaftliche Vorbildung fast gänzlich fehlte, es ermöglicht, sich innerhalb 4 Monaten die erforderlichen Kenntnisse des Untersuchungsverfahrens in dem Maße zu erwerben, daß sie imstande waren, selbständige und zuverlässige Gesteinsuntersuchungen auszuführen. Den Einwendungen, welche von dem genannten Verband erhoben worden sind, fehlt es daher an jeder tatsächlichen Grundlage, und wenn dessenungeachtet die deutschen Prüfungsanstalten bei ihrer ablehnenden Stellung gegenüber den wissenschaftlichen Methoden bei Ausführung von Gesteinsuntersuchungen beharren, so wird es nicht ausbleiben, daß die ausländischen Anstalten, welche gegenwärtig die Einführung jener Methode in die Wege geleitet haben, alsbald vor den unsrigen einen bedeutenden Vorsprung erlangen.

Wir werden in absehbarer Zeit in der Lage sein, die Ergebnisse, welche jene auswärtigen Prüfungsanstalten in dieser Hinsicht erzielt haben, mit den Resultaten zu vergleichen, welche die Gesteinsuntersuchungen unserer Prüfungsämter liefern. Es wird das zur Klärung der Anschauungen vielleicht mehr beitragen als theoretische Erörterungen es vermögen und den Beweis dafür erbringen, daß die Materialprüfungsanstalten sich den wissenschaftlichen Methoden nicht verschließen dürfen, wenn sie sich auf der Höhe ihrer Aufgabe erhalten wollen.

Endlich hat man auch versucht, den Untersuchungen mit dem Sandstrahlgebläse eine gewisse Bedeutung für die Prüfung des Wetterbeständigkeitsgrades der Gesteine zuzuschreiben¹⁾. Es erscheint jedoch kaum nötig, hierauf des näheren einzugehen. Wenn man das Sandstrahlgebläse solange auf die geschliffene Gesteinsoberfläche wirken läßt, bis die weicheren Mineralgemengteile ausgenagt sind, so erhält

¹⁾ Siehe Gary, Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde 1904, S. 108 und 1906, S. 28.

man ein Bild von der Anordnung dieser und der zurückgebliebenen härteren Bestandteile, also in gewissem Sinne ein Strukturbild. Aber dasselbe ist naturgemäß von ungleich größerer Zeichnung, als sie ohne weiteres die mikroskopische Beobachtung eines Dünnschliffes liefert (siehe die Abbildungen auf Tafel I—VI, S. 154 des Handbuchs).

Alle die dargelegten Mängel in der Ausführung der technischen Gesteinsprüfung, ebenso wie die Fehlversuche, welche auf diesem Gebiet gemacht wurden, sind darauf zurückzuführen, daß es den meisten Materialprüfungsanstalten bisher an fachwissenschaftlich, d. h. petrographisch geschulten Beamten fehlt, und es wird eine Reform auf dem in Rede stehenden Gebiet erst zu erwarten sein, wenn in den betreffenden Abteilungen in gleicher Weise, wie es in den übrigen Zweigen der Materialprüfung längst geschehen ist, wissenschaftlich vorgebildete Fachleute angestellt werden.

In einem für die „Mitteilungen des internationalen Verbandes für die Materialprüfung der Technik“, 1912, Bd. II, Nr. 8 verfaßten Aufsatz „Grundzüge für die Organisation des öffentlichen Materialprüfungswesens“ schreibt der Direktor des hiesigen Materialprüfungsamtes, A. Martens: Von einer öffentlichen, vom Staate unterhaltenen Prüfungsanstalt müsse man verlangen, „daß sie nach allen Regeln der Kunst und der Wissenschaft geführt wird und daß sie unentgeltlich der Wissenschaft dient“.

Dieser Forderung kann man nur vollinhaltlich zustimmen, überdies müssen auch, wie es des weiteren heißt: „die leitenden Stellen der einzelnen Abteilungen mit sehr tüchtigen Sonderfachleuten besetzt werden, so daß in den Abteilungen die Erfahrungen des Sonderfaches (doch wohl auch die wissenschaftlichen! d. Verf.) in hoher Vollkommenheit vertreten sind“.

Zusammenfassung der Vorschläge zur Reform der technischen Gesteinsprüfung.

1. Der Untersuchung eines Gesteinsvorkommens in den Prüfungsanstalten geht eine Untersuchung des betreffenden Steinbruches voraus. Zu berücksichtigen ist hierbei:

- a) Die Mächtigkeit der einzelnen Schichten und die Art der Zerklüftung des Gesteins innerhalb derselben;
- b) die äußerlich erkennbaren Eigenschaften des Gesteins in jeder dieser Schichten behufs Identifizierung des Probematerials;
- c) die Wasserführung der vorhandenen Spalten und die dadurch etwa bedingte Veränderung des Gesteins in ihrer Nähe;
- d) die Aufnahme einer Profilskizze;
- e) die Entnahme von Handstücken aus jeder der verschiedenen Schichten, wobei die Proben mit Nummern entsprechend der Nummerierung der Schichten des Profils zu bezeichnen sind.

2. Die den Prüfungsanstalten gelieferten Handstücke werden in Dünnschliffen auf ihre mineralogische Zusammensetzung und Struktur untersucht und hiernach die Gleichheit oder Ungleichheit des Materials in den verschiedenen Bruchlagen bestimmt. Aus denjenigen Schichten, welche ein ungleiches Material enthalten, werden alsdann je zwei roh bearbeitete würfelförmige Probeflöcke von ca. 30 cm Kantenlänge, deren eine mit einem Zeichen zu versehenende Seite der Schicht- bzw. Lagerfläche entspricht, behufs Ausführung der Spezialuntersuchung eingefordert. Die einzelnen Blöcke sind mit den Schichtnummern (s. 1 e) zu versehen.

3. Behufs Ausführung der Festigkeitsprüfung werden die Gesteinsblöcke mittels des Diamantschneidegatters zerteilt und die einzelnen Probestücke nach einem bestimmten Schema nummeriert (s. Handbuch S. 56 u. f.).

Es ergeben sich hieraus Gruppen von Probestücken, welche genau der gleichen Schichtenlage bzw. der gleichen Schnittlage rechtwinklig zur Schichtung angehören. Die Prüfungsergebnisse sind nach diesen Gruppen zu ordnen.

Für die vergleichende Untersuchung behufs Feststellung der Erweichungs- und Frostbeständigkeitskoeffizienten ist aus den einzelnen Gruppen die eine Hälfte der Probekörper in trockenem Zustande und die andere nach längerer Wasserlagerung bzw. nach mehrfacher Frostwirkung zu prüfen. Nur diese einzelnen Gruppenuntersuchungen liefern unter sich vergleichbare Resultate und sind deshalb zur Bestimmung des Erweichungs- und Festigkeitskoeffizienten verwendbar.

4. Die Kornbindungsfestigkeit wird aus der Zugfestigkeitsprüfung und dem Porositätskoeffizienten berechnet (s. Handbuch S. 189). Für näherungsweise Bestimmungen kann hierzu allenfalls die Druckfestigkeitsprüfung verwendet werden. Diese Vereinfachung des Verfahrens ist stets zulässig bei Gesteinen von beträchtlicher Festigkeit ($K = 400 \text{ kg/qcm}$ und darüber), sowie für Gesteine, welche schon nach ihrem niedrigen Erweichungskoeffizient ($\eta = 0,5$ und darunter) als wetterunbeständig betrachtet werden dürfen.

5. Der Sättigungskoeffizient ist aus dem Ergebnis der Wasseraufnahme unter gewöhnlichem Druck und im Kompressionsapparat bei 150 Atm. zu berechnen (s. Handbuch S. 112 u. f.).

Die Bestimmung des Verteilungskoeffizienten kommt nur für deutlich geschichtete bzw. schiefrige Gesteine in Betracht. Er wird berechnet aus der Wasseraufnahme von der Schnittfläche und der Querfläche her (s. Handbuch S. 180).

6. Experimentelle und theoretische Frostprüfung. Die erstere erfolgt nach dem bisher üblichen Verfahren. Die theoretische Prüfung geschieht unter Berücksichtigung des Sättigungs-, Verteilungs- und Erweichungskoeffizienten (s. Handbuch, Schema für die Qualitätsbestimmung der einzelnen Gesteinsarten:

- S. 459—462 Sandsteine und Grauwacken;
- „ 580—582 Kalksteine;
- „ 638—639 Dachschiefer;
- „ 676 Granitische Gesteine;
- „ 755 Basalte).

7. Die Wetterbeständigkeitsprüfung erfordert die mikroskopische Untersuchung von Dünnschliffen des Materials auf folgende Eigenschaften:

- a) Mineralogische Zusammensetzung (Haupt- und Nebenbestandteile);
- b) allgemeine Strukturverhältnisse;
- c) Art und eventl. Maß der Kornbindung;
- d) Beschaffenheit des Kontakt- und Porenzementes bei sedimentären Gesteinen.

Daneben kommen folgende Untersuchungsergebnisse in Betracht:

- e) Intensitäts- und Kontinuitätsgrad der Kornbindung;
- f) Erweichungskoeffizient, Sättigungs- und Verteilungskoeffizient zur theoretischen Bestimmung der Frostbeständigkeit.

Nähere Anleitung zur Ausführung der mikroskopischen Untersuchung, sowie zur ziffermäßigen Bewertung der Gesteinseigenschaften gibt das Handbuch in den Kapiteln über die einzelnen Gesteinsarten.

8. Die Prüfungszeugnisse enthalten das Resultat der Untersuchung für jede einzelne der verschiedenen Gesteinslagen unter Beschreibung der äußerlich erkennbaren Eigenschaften des Materials behufs seiner Identifizierung bei der Lieferung. Das Profil mit Erläuterung über die Mächtigkeit der einzelnen Schichten und die sonstigen technisch in Betracht kommenden Verhältnisse ist dem Zeugnis beizufügen.

9. Für Prüfungszeugnisse, welche sich lediglich auf eine einzelne Gesteinslage beziehen, sind besondere Formulare zu verwenden. Es ist in solchen Zeugnissen ausdrücklich zu bemerken, daß dieselben sich nur auf eine bestimmte Lage des Bruches beziehen, deren Mächtigkeit und Höhenlage anzugeben ist. Auch die Mächtigkeit der gesamten in Abbau befindlichen Lagen wird zu verzeichnen sein, um kenntlich zu machen, in welchem Verhältnis die untersuchte Gesteinsart zu der Gesamtförderung des Bruches steht.

Systematische Untersuchung der Gesteins-Materialien alter Bauwerke

3. Das Baugestein am Straßburger Münster.

Von

J. Hirschwald

„Während der Kölner Dom nur als Bruchstück auf uns gekommen war und erst durch das Interesse der Neuzeit für die Erhaltung unserer nationalen Baudenkmäler vom Untergang gerettet und der Vollendung zugeführt wurde, haben neun Jahrhunderte daran gearbeitet, dem Straßburger Münster seine heutige Gestalt zu geben¹⁾.“

Soweit geschichtliche Berichte vorhanden sind, ist der Münsterbau im Jahre 1015 begonnen worden. Erhalten hat sich von der ursprünglichen Anlage aber wohl nicht mehr, als ein ganz geringer Teil der Krypta. Nach der Zerstörung durch wiederholte Feuersbrünste wurde gegen Ende des 12. Jahrhunderts der Aufbau der Ostpartie, der Apsis und des Querschiffs in Angriff genommen und zwar im romanischen Stile. Eine Zeit energischer Bautätigkeit setzte alsdann Mitte des 13. Jahrhunderts ein. 1250 wurde mit dem Bau des Lang-

hauses und des Hauptschiffes begonnen und 1275 sind die Gewölbe des hohen Mittelschiffes und damit das ganze Gebäude ausschließlich der Vordertürme vollendet worden. Bald darauf ging man an den Ausbau der Hauptfassade und den Bau der Türme. Im Jahre 1298 wurden durch eine erneute Feuersbrunst beträchtliche Teile des Langhauses, namentlich der Dachstuhl und auch wohl die obersten Partien des Mauerwerkes zerstört. Die Wiederherstellungsarbeiten gingen in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts nur langsam vorwärts. Erneute Brände zerstörten wiederum beträchtliche Teile der Westfassade, des Dachwerkes, des Hauptschiffes nebst der Vierungskuppel. Erst im 15. Jahrhundert ist dann die Westfassade wieder ausgebaut worden, der Nordturm hochgeführt, mit dem Helm versehen und 1439 mit der Errichtung eines Kranzes und eines Marienbildes auf der Spitze des Turmes der Bau beschlossen worden. Damit galt der Münsterbau für beendet, da man den Ausbau des zweiten Turmes aufgegeben hatte. Was nun folgt, ist lediglich eine Ge-

¹⁾ J. Kohte, Vom Münster in Straßburg, Denkmalspflege, II. Jahrgang 1900.

schichte der Beschädigungen und Wiederherstellungen des Baues¹⁾).

In beredten Worten schildert L. Arntz²⁾ den baulichen Zustand des Münsters, sowie das Bedürfnis stetiger Herstellungsarbeiten an demselben und da seine Ausführungen erkennen lassen, wie notwendig eine sorgfältige fachmännische Untersuchung sich erweist, um den tatsächlichen Erhaltungszustand eines solchen Bauwerkes richtig zu würdigen, so mag der betreffende Aufsatz hier auszugsweise wiedergegeben werden.

Arntz schreibt: „Wie der Bau so stolz in die Lüfte ragt, möchte ihn der Beschauer für ein vollkommen gesichertes Werk halten. Wenn die Abendsonne um den Reichtum seines gotischen Blumenschmuckes spielt und durch die schlanken Stabmaßwerköffnungen des Helmes bricht, so daß das Ganze in ein warmes rotes Licht getaucht wird, dann scheint das ehrwürdige Münster in jugendlicher Frische zu strahlen. In der Tat ist auch die Standfestigkeit der Hauptmasse des Gebäudes zurzeit nirgends gefährdet und das genügt wohl vielen von denen, die vor oder auf dem Münster in behaglicher Betrachtung der großen Arbeit vieler Geschlechter weilen.“

„Aber wenn im November ein kalter Herbstnebel die Turmspitzen verhüllt oder der Regenschirm um die dunklen Mauermassen saust und die Wasserspeier das abströmende Wasser kaum bewältigen können, wenn der Winter mit Frost und Schnee einzieht in die offenen Galerien und Altane, dann denken die Bauleute mit Sorgen, welchen Schaden Frost und Feuchtigkeit dem mächtigen Bau wiederum zugefügt haben, dann blättert hier und da die Oberfläche des Steines ab, in den wuchtigen Quadern zeigen sich Risse, die alten Eisenverankerungen rosten und helfen gerade da zerstören, wo sie schützen und halten sollen. Wohl haben die alten Meister des Münsters diesen Feind der Bauwerke gut erkannt und haben durch verständige Auswahl

und Verwendung des in der Nähe vorkommenden Vogesensandsteins, sowie durch zweckentsprechende Wasserableitung in Form und Fügung alles Mögliche getan, um dem unvermeidlichen Angriff des Wetters wirksam zu begegnen. Aber viele hundert Winter sind nicht spurlos an dem Münster vorübergezogen, und wenn sich auch manche feingegliederte Bauteile des 13. und 14. Jahrhunderts fast so frisch erhalten haben, wie sie aus der Künstlerhand hervorgegangen sind, so stehen doch daneben noch manch andere Produkte einer späteren Zeit, in der die gesunde Technik mehr oder weniger nachließ und ein Abnehmen des technischen Verständnisses fehlerhafte Konstruktion im Gefolge hatte, die dem Angriff der Elemente auf die Bausubstanz nachweislich Vorschub leistete. Schließlich wurde auch der für jedes Bauwerk nötige Unterhalt vernachlässigt, und so fiel das edle Menschengebilde der Rücksichtslosigkeit und dem Unverstand zum Opfer, der so gern das Besserwissenwollen an Stelle des Besserkönnens setzt. Erst als im Jahre 1810 auf Anregung des verdienstvollen Präfekten Lezai-Marnesia für die Münsterpflege eine ständige Werkhütte unter Aufsicht des Staates errichtet wurde, begannen wieder bessere Tage für das Werk „Unserer lieben Frauen“. Mit Eifer wurde die Herstellung eines umfangreichen neuen Figureschmucks, die Instandsetzung der Kunstverglasung, die Wiederherstellung des Chors betrieben, aber auf die Ergänzung der struktiven Substanz und die Sicherung gefährdeter Bauglieder wurde nicht in ausreichendem Maße Wert gelegt.“

„So ist es kein Wunder, daß die hervorragenden Sachverständigen, von denen der Bürgermeister Back im Jahre 1888 ein Gutachten über die am Münster vorzunehmenden Arbeiten erbat, der Generalinspektor der historischen Denkmäler, Architekt Böswillwald in Paris und der Dombaumeister von St. Stephan in Wien, Friedrich v. Schmidt, nach eingehender Prüfung des damaligen baulichen Zustandes des Münsters eine lange Liste der augenfälligsten Schäden aufstellten. Auch die Berichtersteller erkennen an, daß die Stand-

¹⁾ Nach N. Bendiner, „Das Straßburger Münster“, Stuttgart 1908.

²⁾ L. Arntz, „Die Zukunft des Straßburger Münsters“, Beilage zur Allgemeinen Zeitung, München, Nr. 277, 1899.

festigkeit der Hauptmasse des Gebäudes durch die vorgefundenen Schäden nicht gefährdet ist und finden in dem Innern des Bauwerkes keine bedenklichen Mängel¹⁾, umso mehr aber an dem Äußeren des Münsters, das sich in einem Zustand des Verfalles befindet, welcher demjenigen, welcher das Bauwerk nicht sehr eingehend besichtigt hat, unglaublich scheinen muß. Die Sachverständigen fanden nicht weniger als alles, was zu den beiden Seitenflächen des Langschiffes gehört, von der Unterkante des Triforiums bis zur Oberkante der Krönungsbalustrade, die Strebepfeiler, die oberen Teile der Seitenschiffe, die Kapellen und das Querschiff, die ganze Zierarchitektur der verschiedenen Turmstockwerke und ihrer Strebepfeiler, des Hauptportals und des Maßwerks der Großen Rose, alle diese Teile fanden sie mehr oder weniger angegriffen. Was hier summarisch zusammengefaßt ist, das erscheint in einer traurigen Reihe in dem Bericht aufgeführt. Da heißt es: hier beschädigt, dort durch die Zeit zerstört, anderes wieder, völlig vermorscht, bildet nur noch formlose

¹⁾ Leider haben sich nachträglich auch im Innern namhafte Schäden, insbesondere starke Risse an einem der Mittelpfeiler ergeben. Man legte diesen Schäden anfangs keine besondere Bedeutung bei, da stärkere Risse sich bei fast allen anderen Bauwerken finden und man annahm, daß die Bewegung im Bauwerk, durch welche dieselben hervorgerufen waren, längst zur Ruhe gekommen sei. Im Jahre 1903 machte der Münsterbaumeister Knauth jedoch die Beobachtung (siehe Denkmalspflege 1910, S. 73), daß an verschiedenen Stellen die zur Ausbesserung eingesetzten Steine und selbst solche, deren Alter auf höchstens 50—60 Jahre angenommen werden darf, an den Lagerfugen neuerdings wieder Absprengungen zeigten. Durch Einritzen von Marken konnte dann festgestellt werden, daß ein stetiges, wenn auch langsames Wachsen der Risse stattfindet. Der Pfeiler weicht von der lotrechten Richtung ab und zwar um etwa 25 mm nach Süden vom Sockel bis zum Kapitäl und um etwa 140 mm nach Norden zwischen den Kapitälhöhen des Seiten- und Mittelschiffes. Die Ursache ist eine zweifache: Erstens unterliegt der betreffende Pfeiler einer starken Mehrbelastung gegenüber den anderen Schiffpfeilern, zweitens aber ist der schlechte Untergrund daran schuld. Die Grundmauer ruht auf einer sandigen, etwa 2,5 m starken Lettenschicht mit untergelagerter Kiesschicht. Durch die Lettenschicht gehen hölzerne Pfähle hindurch, welche die Grundmauer tragen, nunmehr aber verfault sind.

Massen. Seit dem Erscheinen dieses Berichtes sind zehn Jahre ins Land gegangen, und in dieser Zeit ist die Werkverwaltung nicht müßig gewesen. An der Südseite hat sie eingesetzt, welche nach den eigentümlichen klimatischen Verhältnissen Straßburgs am schwersten getroffen ist. Hier ist durch eine zweckentsprechende Instandsetzung älterer Teile in zwischen einem weitergehenden Verfall vorgebeugt worden. Die Sicherungsarbeiten an der Nordseite des Langhauses sind vorbereitet und in Ausführung begriffen. Gleichzeitig wurde auch schon mit der Einrüstung und Aufnahme an der Südwestseite der Turmpartie vorgegangen. Eine ebenso umfangreiche wie schwierige Arbeit ist damit in Angriff genommen, denn das reiche Zierwerk im ganzen Turmaufbau, die Glieder der Giebel, Fialen, Baldachine, der Stab- und Maßwerke sind teilweise bis zur Unkenntlichkeit abgebröckelt, zerrissen, geborsten und selbst die in diesem Jahrhundert eingefügten Werkstücke — minderwertiges und nicht immer sorgfältig ausgesuchtes Material — zeigen schon auffallende Verwitterung. Von weit tiefergehender Bedeutung für den Baubestand aber ist eine Reihe von Konstruktionsschäden, zumal da, wo es sich um Mängel in der Entwässerung handelt. Was bisher zur Beseitigung dieser Schäden und Mängel geschehen ist, ist nur ein kleiner Bruchteil von dem was geschehen muß, notwendig geschehen muß, wenn die wahren Interessen des großen Baues gewahrt werden sollen, und wir das Werk, an dem die Väter in treuer Arbeit geschaffen haben, den Enkeln nicht in traurigstem Zustande hinterlassen wollen. Auf diesem Gebiet liegen die Aufgaben, die gelöst werden wollen, wenn die Zukunft des Münsters als gesichert betrachtet werden soll.“

Dieser Mahnruf, der sich an die weiten Kreise von Verehrern der reichen Hinterlassenschaft früherer Jahrhunderte an historischen Baudenkmalern wendet, ist nicht unbeachtet geblieben. In erfreulicher Weise ist seither unter bewährter Leitung an der Instandsetzung des herrlichen Bauwerkes fortgearbeitet worden, und die einmal begonnene Arbeit wird unter dem

hilfsbereiten Schutz der Reichsregierung stetig fortgeführt.

Seit aber diese Arbeiten in umfangreichem Maße in Angriff genommen wurden, sind auch namhafte Fortschritte in der Untersuchung der natürlichen Bausteine gemacht worden, deren Ergebnisse dazu beitragen können, die Ursache der Verwitterung an den verwandten Gesteinsarten festzustellen, auf Grund der hierdurch gewonnenen Erfahrungen die Qualität des in den benachbarten Brüchen vorkommenden verschiedenen Materials zu bestimmen und dadurch bei der Auswahl des Gesteins für die weiteren Arbeiten wichtige Dienste zu leisten.

1. Der Vogesen-Sandstein.

Das alte Baumaterial des Münsters entstammt nach einer brieflichen Mitteilung des Herrn Münsterbaumeisters Knauth fast ausnahmslos den Sandsteinbrüchen des Breusch- und Mossigtales, welche auch noch gegenwärtig das Material für die Restaurationsarbeiten liefern.

Die Gehänge der Täler werden im allgemeinen von der Haupttage des mittleren Buntsandsteins („Vogesensandstein“) gebildet, einem vorzugsweise roten, tonarmen, glitzernden Sandstein abwechselnd mit tonreicheren schiefrigen Zwischenlagen. Darauf folgen konglomeratartig ausgebildete Grobsandsteinbänke mit Geröllagen, die von dem sogenannten „Votziensandstein“ bedeckt werden, einem feinkörnigen, tonigen Sandstein, welcher nach oben mit bunten, z. T. mergeligen Lettenschiefern abschließt.

Die Steinbrüche stehen vorzugsweise im Vogesensandstein, aber auch der Votziensandstein wird in beträchtlichem Maße abgebaut. Obgleich der mittlere Buntsandstein der Vogesen im allgemeinen als ein ausgezeichnete Baustein zu betrachten ist, so finden sich doch auch mannigfach Schichten von geringerer Qualität und da, wie Kohte (a. a. O.) zutreffend bemerkt, „die späteren Bauleute nicht mehr die Sorgfalt der älteren bei Auswahl des Materials beobachteten und vielfach auch fehlerhafte Bänke zur Benutzung gelangten“, so kann es nicht wunder-

nehmen, daß die einzelnen Bauteile einen sehr verschiedenen Erhaltungszustand aufweisen.

Um die Herkunft des alten Baugesteins am Münster soweit als angängig feststellen zu können, wurde zunächst das dem diesseitigen Institut zur Verfügung gestellte Material der gegenwärtig in Betrieb stehenden Brüche untersucht.

1. Sandstein von Arzweiler¹⁾.

Lage A. (Geisenberg.) Farbe: graurot.

Feinkörniges festes Gestein, mit ziemlich zahlreichen, aber sehr kleinen zerstreuten Glimmerblättchen. Schichtung nur durch die Einlagerungsrichtung des Glimmers erkennbar. Quarzkörnchen stark pleromorph und in allen Schattierungen von dunkel- bis hellrot gefärbt, z. T. auch rein weiß. Gefüge: Sehr gleichmäßig und feinporig.

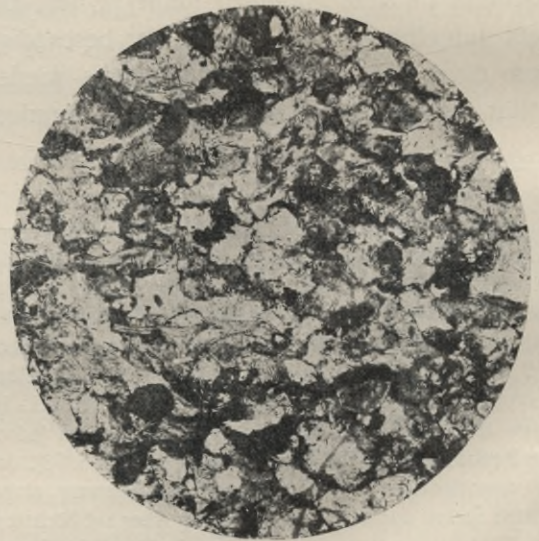


Fig. 1. Vergr. 30 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 1 und 2) Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung;

¹⁾ Die Schriffe toniger Sandsteine enthalten z. T. noch Schleifmaterial, welches in der Abbildung schwarz erscheint, wodurch unter Umständen die Deutlichkeit des Strukturbildes beeinträchtigt wird. Da aber das Auswaschen des Smirgels zugleich einen Verlust an Porenzement herbeiführen würde, so ist von einer derartigen Präparation der Dünnschliffe Abstand genommen worden, zumal die Unterscheidung von Smirgel und Porenzement bei der mikroskopischen Untersuchung der Schriffe keine Schwierigkeit bereitet.

die Quarzkörnchen meist langgestreckt; spärliches, schwach silifiziertes, toniges Porenzement.

Typ $K_{p5} \pi_5$ 1 d₁; Schichtungstyp: Sm I

Kornbindungszahl: $B_z = 3-5$

Kornbindungsmaß: $B_m = 0,7-0,9$

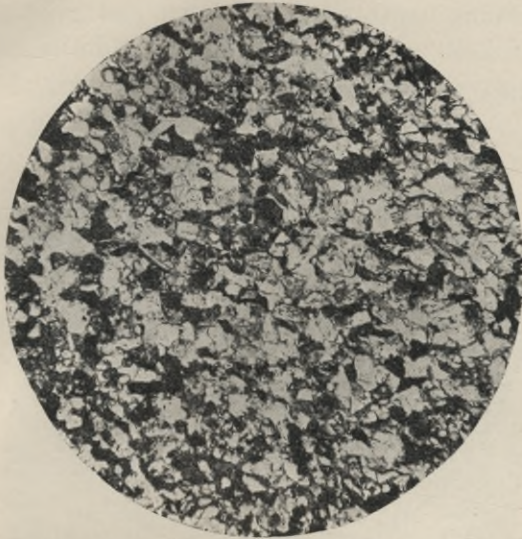


Fig. 2. Vergr. 13 ×.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 5,48$

Im Kompressor: $W_c = 8,49$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,645$

Festigkeitsgrad: Klasse I; Wassererweichung: sehr gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I A.

Qualitätsberechnung:

$$Q = K_{p5} \pi_5 \zeta_w 1 d_1 = 0,65 - 0,09 + 0 + 0,06 = 0,62$$

Qualitätsklasse: IB—C.

Lage B. (Geisenberg.) Farbe: grauweiß. Ziemlich feinkörniges und festes Gestein mit spärlichen, sehr kleinen Glimmerblättchen. Schichtung nur durch die Einlagerungsrichtung des Glimmers erkennbar. Quarzkörnchen nur z. T. pleromorph. Gefüge: Sehr gleichmäßig und feinporig. Akzessorisch ziemlich reichlich Magnetit.

Mikrostruktur: (s. Fig. 3) Kieselige, schwach diskontinuierliche Kornbindung; die

Quarzkörnchen sind meist langgestreckt, untergeordnet rundlich, Porenzement fehlt.

Typ $K_{p0} \pi_0$ 1 d₁; Schichtungstyp: Sm II

Kornbindungszahl: $B_z = 2-3$ (4)

Kornbindungsmaß: $B_m = 0,2-0,3$

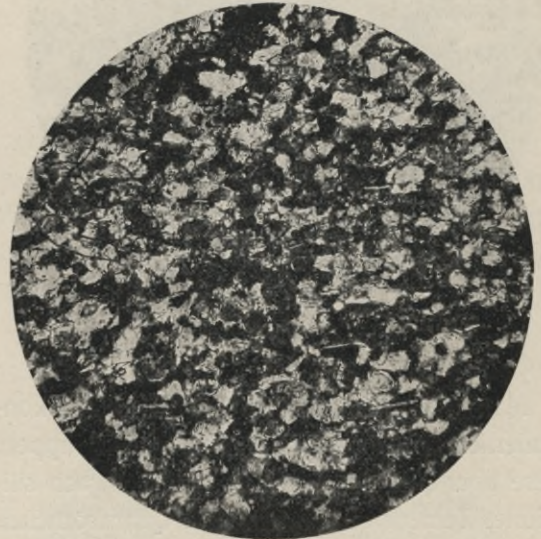


Fig. 3. Vergr. 13 ×.

Die kleinen geschlossenen Korngruppen durch reichliche Poren unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,55$

Im Kompressor: $W_c = 10,23$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,640$

Festigkeitsgrad: Klasse I—II; Wassererweichung: sehr gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I A.

Qualitätsberechnung:

$$Q = K_{p0} \pi_0 \zeta_w 1 d_1 = 1,4 + 0 - 0,3 + 0,07 = 1,17$$

Qualitätsklasse: I.

Lage C. (Schwangenwald.) Farbe: grauweiß, gelb geflammt.

Feinkörniges, ziemlich festes, gleichmäßig struiertes Gestein mit sehr spärlichen Glimmerblättchen. Sehr deutlich geschichtet und ebenflächig spaltend. Quarzkörnchen deutlich pleromorph. Gefüge: Sehr gleichmäßig und feinporig.

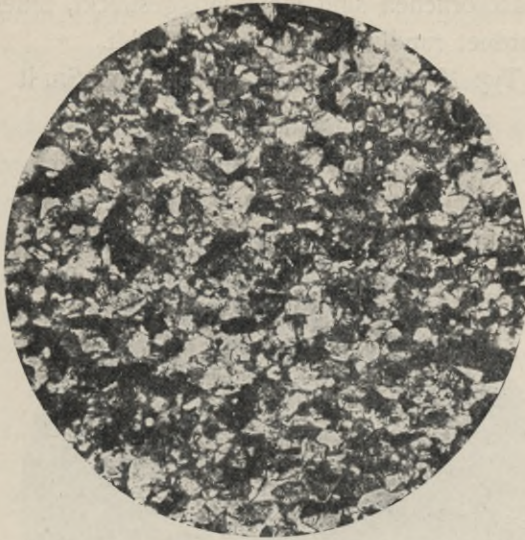


Fig. 4. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 4) Kieselige, kontinuierliche Bindung innerhalb der Korngruppen, diese aber teilweise durch toniges, schwach silifiziertes Zement verbunden. Die Quarzkörnchen vorwiegend rundlich mit reichlichen Feldspatkörnchen untermischt. Porenzement fehlt.

Typ $\frac{K}{0,3 Kd_5} p_0 \pi_0$; Schichtungstyp: Sm I

Kornbindungszahl: $Bz = 3-5$
 Kornbindungsmaß: $Bm = 0,3-0,8$ } innerhalb der geschlossenen Korngruppen

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,47$

Im Kompressor: $W_c = 10,11$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,630$

Festigkeitsgrad: Klasse I—II; Wassererweichung: ziemlich beträchtlich.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I—II.

Qualitätsberechnung:

$$Q = \frac{K}{0,3 Kd_5} p_0 \pi_0 \zeta_w$$

$$Q = 1,84 + 0 - 0,2 = 1,64$$

Qualitätsklasse: I—II.

2. Sandstein von Lembach.

Farbe: rot.

Feinkörniges, ziemlich festes Gestein ohne Glimmer. Schichtung nur unvollkommen aus-

gebildet. Quarzkörnchen deutlich pleromorph und vorwiegend rot, untergeordnet weiß gefärbt. Gefüge: Sehr gleichmäßig und feinporig.

Anmerkung: Es kommen jedoch auch Bänke vor, in denen das Gestein deutlich geschichtet ist und reichlichen Glimmer enthält.

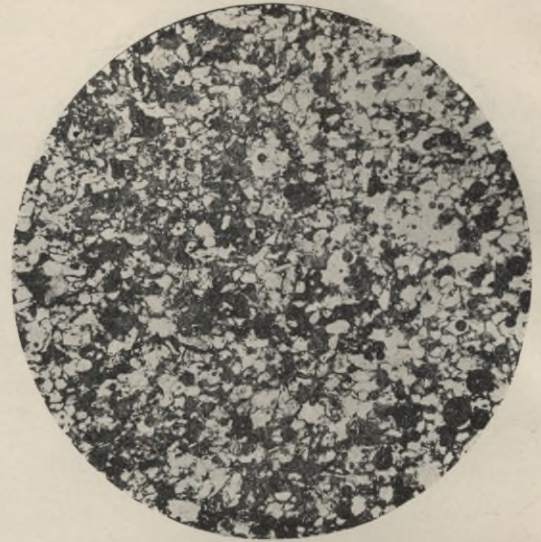


Fig. 5. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 5) Kieselige, im allgemeinen kontinuierliche Kornbindung. Die Quarzkörnchen vorwiegend rundlich. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Typ $K_1 p_5 \pi_5 1 d_1$; Schichtungstyp: Sm I—II.

Kornbindungszahl: $Bz = 3-4$

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,2-0,7$

Die größeren geschlossenen Korngruppen sind stellenweise durch mehr oder weniger reichliche Poren unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,92$

Im Kompressor: $W_c = 10,93$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,633$

Festigkeitsgrad: Klasse I—II; Wassererweichung: gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I B.

Qualitätsberechnung:

$$Q = K p_5 \pi_5 \zeta_w 1 d_1$$

$$Q = 1,3 - 0,2 - 0,1 + 0,07 = 1,07$$

Qualitätsklasse: I.

3. Sandstein von Wasselheim.

Lage A. Farbe: dunkelrot.

Feinkörniges, ziemlich festes Gestein mit sehr reichlichen größeren Glimmerblättchen. Schichtung nur durch die Einlagerungsrichtung des Glimmers erkennbar. Die Quarzkörnchen sind deutlich pleromorph und von hellroter, z. T. sehr dunkelroter Farbe. Gefüge: Ziemlich gleichmäßig, aber etwas grobporig.

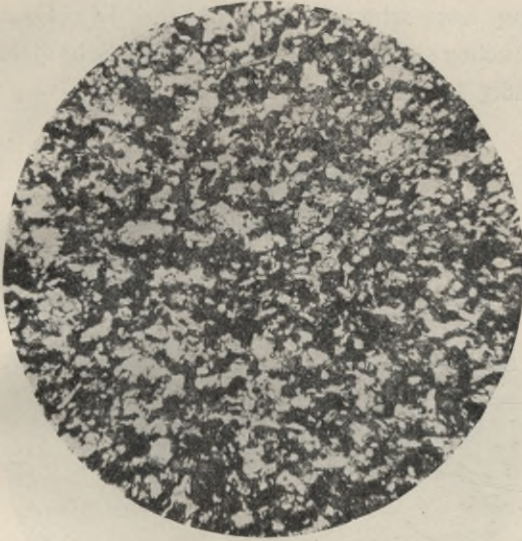


Fig. 6. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 6) Kieselige, mehr oder weniger diskontinuierliche Kornbindung. Die Quarzkörnchen meist langgestreckt. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Typ $K_{p5} \pi_5 2 d_2$; Schichtungstyp: Sm VII.

Kornbindungszahl: $Bz = 2-3$

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,2-0,4$

Die kleinen Korngruppen von größeren Porenzügen unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,03$

Im Kompressor: $W_c = 8,81$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,684$

Festigkeitsgrad: Klasse II—III; Wassererweichung: gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I.

Qualitätsberechnung:

$$Q = 1,4 - 0,18 + 0 + 0,2 = 1,42$$

Qualitätsklasse: I—II.

Lage B. Farbe: rot.

Feinkörniges, ziemlich festes Gestein mit sehr reichlichen größeren Glimmerblättchen. Schichtung nur durch die Einlagerungsrichtung des Glimmers erkennbar. Die Quarzkörnchen sind deutlich pleromorph und von hell- bis dunkelroter Farbe. Gefüge: Ziemlich gleichmäßig, aber etwas grobporig.

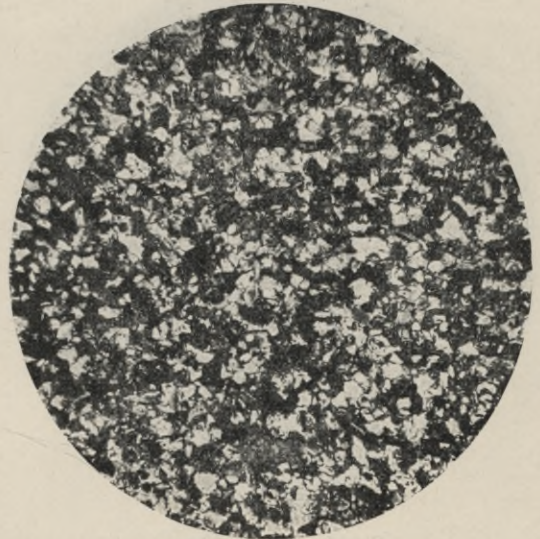


Fig. 7. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 7) Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung; die Quarzkörnchen kantig; Porenzement tonig, schwach silifiziert. Typ $K_{p5} \pi_5 1 d_2$; Schichtungstyp: Sm III.

Kornbindungszahl: $Bz = 3-5$

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,3-0,6$

Die geschlossenen Korngruppen von größeren Poren unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 5,44$

Im Kompressor: $W_c = 7,73$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,703$

Festigkeitsgrad: Klasse II; Wassererweichung: gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I: I—II.

Qualitätsberechnung:

$$Q = 1 - 0,13 + 0 + 0,11 = 0,98$$

Qualitätsklasse: I.

Lage C. Farbe: rot.

Feinkörniges, festes Gestein mit ziemlich reichlichen Glimmerblättchen; unvollkommen geschichtet. Die Quarzkörnchen deutlich pleromorph und von hell- bis dunkelroter Färbung. Gefüge: Sehr gleichmäßig und ziemlich dicht.

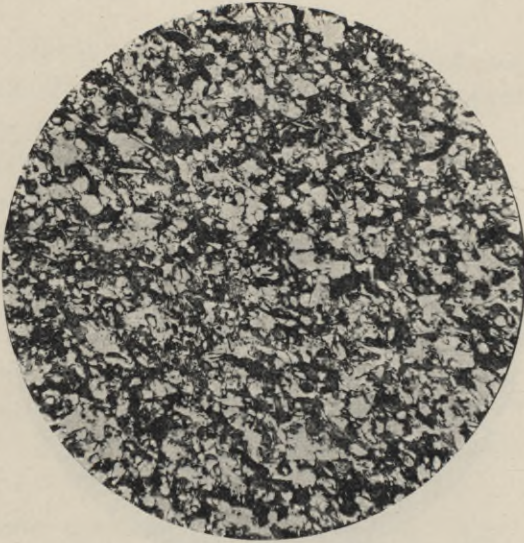


Fig. 8. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 8) Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung; die Quarzkörnchen kantig bis rundlich; Porenzement tonig, schwach silifiziert. Typ $K_{p_5} \pi_5 1d_2$;

Schichtungstyp: Sm II.

Kornbindungszahl: $Bz = 3-5$

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,4-0,8$

Die größeren geschlossenen Korngruppen von isolierten Poren unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,11$

Im Kompressor: $W_c = 8,87$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,689$

Festigkeitsgrad: Klasse I—II; Wassererweichung: sehr gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse IC.

Qualitätsberechnung:

$$Q = 1 - 0,13 - 0,2 + 0,05 = 0,72.$$

Qualitätsklasse: IC.

Lage D. Farbe: rot.

Sehr feinkörniges und sehr festes Gestein mit zerstreuten kleinen Glimmerblättchen. Schichtung nur schwach ausgebildet. Die Quarzkörnchen stark pleromorph. Gefüge: Sehr gleichmäßig und dicht.

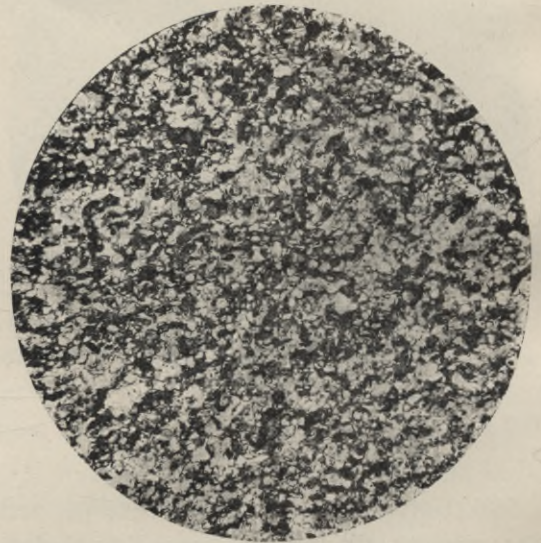


Fig. 9. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 9) Kieselige, im wesentlichen kontinuierliche Kornbindung; die Quarzkörnchen kantig, z.T. stark langgestreckt; Porenzement tonig, ziemlich stark silifiziert.

Typ $K_{p_4} \pi_4 1d_1$; Schichtungstyp: Sm II—III.

Kornbindungszahl: $Bz = 3-4$.

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,4-0,7$.

Die größeren geschlossenen Korngruppen von schmalen Porenzügen unterbrochen.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 5,22$

Im Kompressor: $W_c = 7,95$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,656$.

Festigkeitsgrad: Klasse I; Wassererweichung: gering.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse IB.

Qualitätsberechnung:

$$Q = 1 - 0,25 - 0,15 + 0,06 = 0,66.$$

Qualitätsklasse: IB—C.

Lage E. Farbe: hellgelb.

Ziemlich feinkörniges, festes Gestein mit spärlichen Glimmerblättchen und wenig zersetztem Feldspat. Quarzkörnchen deutlich pleromorph ausgebildet, von wasserheller bis trüb graugelber Färbung. Gefüge: Gleichmäßig und feinporig.

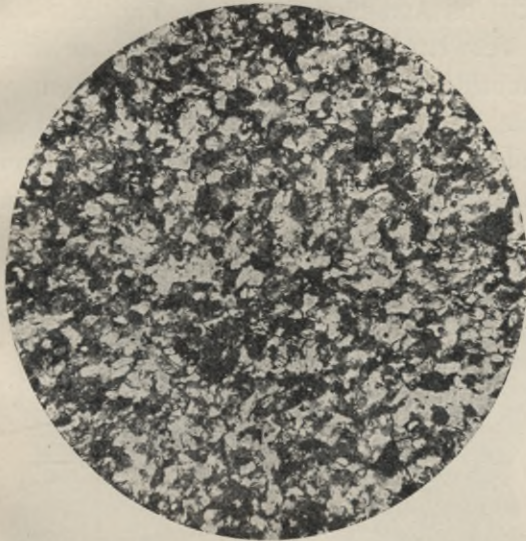


Fig. 10. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 10) Kieselige, kontinuierliche Bindung in den Korngruppen, diese aber durch ein toniges, schwach silifiziertes Zement verbunden. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Typ $\frac{K}{0,3Kd_5} p_5 \pi_5$; Schichtungstyp: Sm V.

Kornbindungszahl: $Bz = 2-4$

Kornbindungsmaß: $Bm = 0,2-0,6$.

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 5,82$

Im Kompressor: $W_c = 8,69$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,669$.

Festigkeitsgrad: Klasse II; Wassererweichung: ziemlich beträchtlich.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse I—II.

Qualitätsberechnung:

$$Q = 2,18 - 0,18 + 0 = 2.$$

Qualitätsklasse: II.

4. Sandstein von Niederhaslach bei Urmatt.

Farbe: gelb mit rötlichen welligen Streifen quer zur Schichtung.

Feinkörniges Gestein von mittlerer Festigkeit mit reichlichen Glimmerblättchen auf den Schichtflächen. Gefüge: Gleichmäßig, aber ziemlich locker.

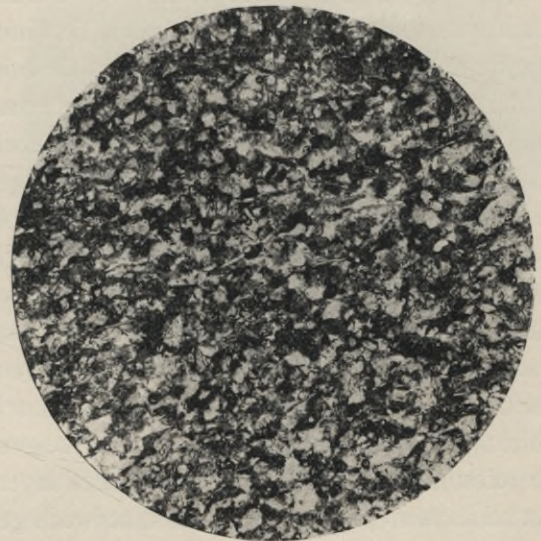


Fig. 11. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: (s. Fig. 11) Kieselige Bindung in den einzelnen Korngruppen, diese selbst aber z. T. durch toniges, wenig silifiziertes Zement verbunden, welches auch die Poren erfüllt.

Typ $\frac{K}{0,2Kd_5} p_5 \pi_5$; Schichtungstyp: Sm I.

Kornbindungszahl: $Bz = 2-3$ } innerhalb der
Kornbindungsmaß: $Bm = 0,2-0,4$ } geschlossenen
Korngruppen

Wasseraufnahme:

Unter gewöhnlichem Druck: $W_2 = 6,79$

Im Kompressor: $W_c = 9,61$

Sättigungskoeffizient: $S = 0,706$

Festigkeitsgrad: Klasse II—III; Wassererweichung: beträchtlich.

Frostbeständigkeitsgrad: Klasse II.

Qualitätsberechnung:

$$\frac{K}{0,3Kd_5} p_5 \pi_5 \zeta w \eta$$

$$Q = 0,98 + 1,95 + 0,184 = 2,114$$

Qualitätsklasse: II:(II—III).

2. Das alte Baugestein.

Die besten Abänderungen des Vogesensandsteins haben sich an dem Münsterbau in einem Zeitraum von mehr als 600 Jahren so vortrefflich erhalten, daß kaum Spuren einer Verwitterungsrinde zu erkennen sind und das Gestein an der Oberfläche noch nahezu dieselbe Härte und Festigkeit wie im Innern besitzt. Daneben findet sich allerdings auch bei weitem weniger wetterbeständiges Material und z. T. sogar solches von mittelmäßiger Qualität. Namentlich sind es die nicht lagerhaft versetzten Werkstücke und unter ihnen insbesondere diejenigen aus geschichteten, glimmerreichen Abänderungen, welche eine beträchtliche Zerstörung durch schichtige Aufblätterung oder Zerklüftung zeigen. Überdies findet sich aber auch an vielen lagerhaft versetzten, glimmerhaltigen und schwach geschichteten Gesteinen namentlich an der Südseite des Lang- und Querschiffes, insbesondere am Fußgesims, eine auffällige schalenförmige Abwitterung, die z. T. äußerst dünn ist, z. T. eine Stärke bis zu 8 mm erreicht. Dieselbe Erscheinung, wenngleich seltener, ist am Sockel der Nordseite zu beobachten.

Ungleich stärkere Verwitterungen treten an fast allen feingliedrigen Architekturteilen auf, wie an den Fialen, Strebebögen, Galerien, Pfeilern, Baldachinen, Kreuzblumen, dem Maßwerk der Fensterrosen, wie an dem figürlichen Schmuck des Bauwerkes, und es macht sich an diesen Architekturteilen in erhöhtem Maße die ungünstige Wirkung der Parallelstruktur des Gesteins geltend, welche zu schichtenförmigen Ausnagungen und Zerspaltungen der Werkstücke

namentlich dann Veranlassung gibt, wenn das Gestein nicht regelrecht bearbeitet worden ist.

Im folgenden sollen die besonderen Verhältnisse der Verwitterung an einer Anzahl alter Baustücke erörtert werden, welche von dem Münsterbauamt ausgewählt und dem diesseitigen Institut behufs näherer Untersuchung eingesandt worden sind.

1. Strebepfeileraufsatz von der Nordseite des Langhauses. Bauzeit: 1260—1275 (siehe Fig. 12 a, b).

Herkunft: Ähnliches Gestein wie Lage B von Wasselnheim (s. Fig. 7), aber etwas grobkörniger, heller rot, weniger Glimmer und geringerer Schichtungsbildung; vielleicht aber auch von Arzweiler, Lage A (s. Fig. 2).

Verwitterung: Die Oberfläche ist durch Staubteilchen geschwärzt, eine Verwitterungsrinde jedoch nicht wahrnehmbar; auch ist das Gestein selbst an der Oberfläche noch vollkommen fest. Dagegen zeigen sich vielfach schmale Schichtrisse.

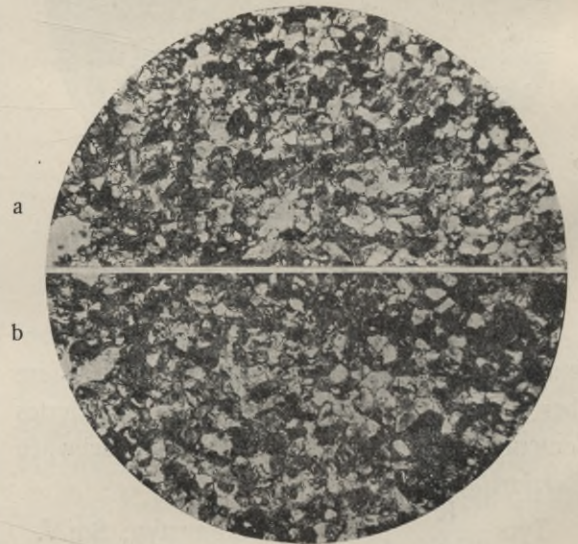


Fig. 12. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 12a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung. Die Quarzkörnchen kantig bis rundlich. Porezement tonig, schwach silifiziert.

Fig. 12b (aus der äußeren Rinde): Keine Auflockerung der Kornbindung vorhanden.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungsgrade der Klasse IC an.

Die Qualitätsberechnung des Gesteins von Wasselnheim Lage B ergab Klasse I, diejenige des Gesteins von Arzweiler Lage A Klasse IB—C.

2. Strebepeiler von der Nordseite des Langhauses. Bauzeit: 1260—1275 (siehe Fig. 13 a, b).

Herkunft: Ähnliches Gestein wie Lage C von Wasselnheim (s. Fig. 8).

Verwitterung: Die Oberfläche ist durch Staubteilchen geschwärzt, eine Verwitterungsrinde jedoch kaum wahrnehmbar. Dagegen zeigt sich eine beträchtliche Aufblätterung nach den Schichtflächen, welche reichliche Glimmerlagen enthalten; auch ist die Rinde von etwas geringerer Festigkeit als das Gesteinsinnere.

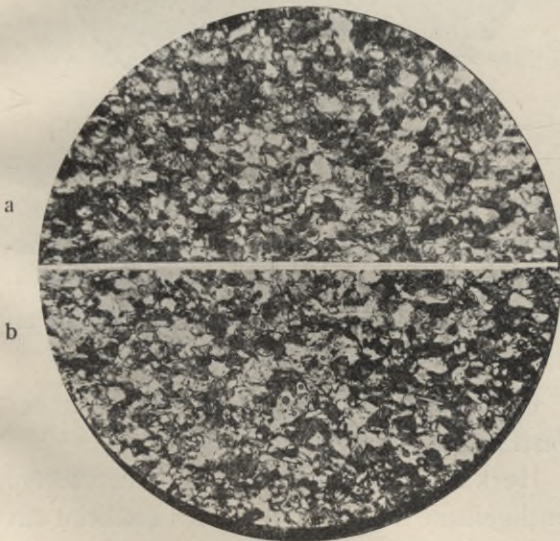


Fig. 13. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 13a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung. Die Quarzkörnchen kantig bis rundlich. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Fig. 13b (aus der äußeren Rinde): Spuren von Auflockerung der Kornbindung und etwas stärkere Ansammlung des tonigen Bindemittels in den Poren.

Nach seinem Erhaltungszustand gehört das Gestein der Qualitätsklasse IC—I an.

Die Qualitätsberechnung des Gesteins von Wasselnheim Lage C ergab Klasse IC.

3. Ornament von der Nordseite des Langhauses. Bauzeit: 1260—1275 (s. Fig. 14 a, b).

Herkunft: Ähnliches Gestein wie Lage B von Wasselnheim (s. Fig. 7), aber etwas grobkörniger und mit zahlreichen kleinen Tongallen auf den Schichtflächen.

Verwitterung: Ziemlich starke, narbige Verwitterungsrinde mit dunklerer Färbung bis zu etwa 8 mm. Aufblätterung nach den unregelmäßigen Schichtflächen.

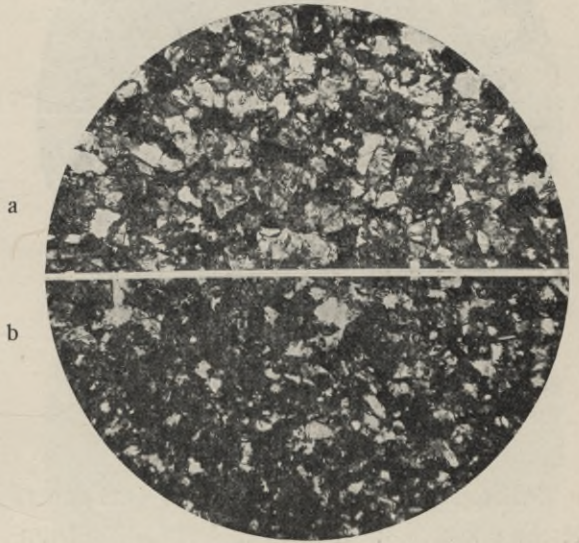


Fig. 14. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 14a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung. Die Quarzkörnchen kantig. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Fig. 14b (aus der äußeren Rinde): Starke Auflockerung der Kornbindung und sehr reichliche Einlagerung des tonigen Bindemittels in den vergrößerten Poren.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungsgrade zur Qualitätsklasse I: I—II.

Die Qualitätsberechnung des Gesteins von Wasselnheim Lage B ergab Klasse I, doch zeigt dieses Gestein keine Tongallen auf den Schichtflächen.

4. Große Verblendrose im Mittelbau der Westfassade. Bauzeit: um 1300.

Herkunft: ?. Mit keinem der untersuchten Bruchgesteine identisch. Das Baugestein ist von roter Farbe, mittelkörnig, feinporig und

zeigt kleine Tongallen und spärlichen Glimmer auf den Schichtflächen.

Verwitterung: Äußerlich durch Staubteilchen stark geschwärzt, ohne erhebliche Verwitterungsrinde, doch ist das Gestein an der Oberfläche merklich mürber als im Innern.

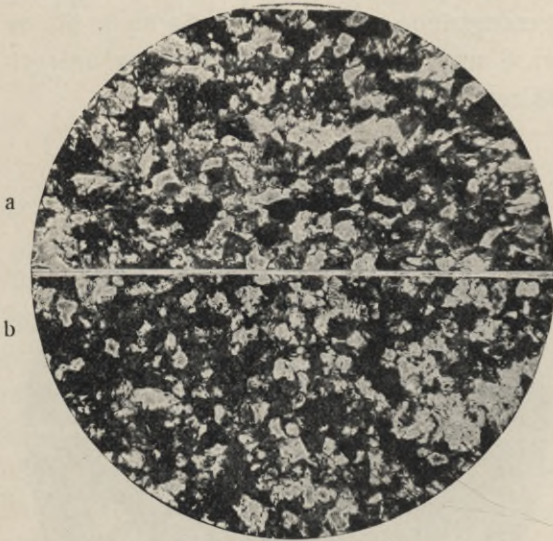


Fig. 15. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 15a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Bindung. Die Quarzkörnchen kantig bis rund. Porenzement tonig, schwach silifiziert.

Fig. 15b (aus der äußeren Rinde): Ziemlich beträchtliche Auflockerung der Kornbindung und reichliche Einlagerung des tonigen Bindemittels in den vergrößerten Poren.

Nach seinem Erhaltungszustand gehört das Gestein der Qualitätsklasse IC an.

5. Große Verblendrose im Mittelbau der Westfassade. Bauzeit: um 1300.

Herkunft: ?. Mit keinem der untersuchten Bruchgesteine identisch. Das Baugestein ist mittelkörnig, ziemlich porös und zeigt dunklere eisenschüssige Schichtstreifen; auf den Spaltflächen spärliche Glimmerblättchen.

Verwitterung: Das auf den Spalt gestellte Werkstück zeigt eine stark narbige, ziemlich mürbe Verwitterungsrinde und Spaltrisse parallel der Schichtung.

Mikrostruktur: Fig. 16a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, diskontinuierliche

Kornbindung mit sehr reichlichem tonigen Porenzement ohne wahrnehmbare Silifizierung. Die Quarzkörnchen kantig ausgebildet und schwach pleromorph.

Fig. 16b (aus der äußeren Rinde): Beträchtliche Auflockerung der Kornbindung und Aus-

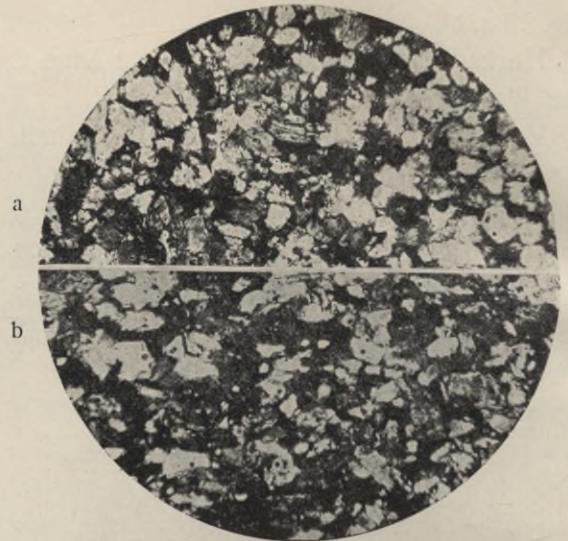


Fig. 16. Vergr. 13 ×.

füllung der neu gebildeten Hohlräume mit Tonsubstanz.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungszustand zur Qualitätsklasse I: I—II.

6. Große Verblendrose im Mittelbau der Westfassade. Bauzeit: um 1300.

Herkunft: ?. Mit keinem der untersuchten Bruchgesteine identisch. Äußerlich erscheint das Baugestein ähnlich dem vorigen, aber ohne die dunklen Schichtstreifen.

Verwitterung: Das auf den Spalt gestellte Werkstück zeigt eine narbige, aber feste Verwitterungsrinde und Spaltrisse parallel der Schichtung.

Mikrostruktur: Fig. 17a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, kontinuierliche Kornbindung mit tonigem, ziemlich stark silifizierten Porenzement. Quarzkörnchen kantig, z. T. langgestreckt mit pleromorpher Ausbildung.

Fig. 17b (aus der äußeren Rinde): Feinkörnige Lage mit rundlichen Quarzkörnchen ohne wahrnehmbare Auflockerung der Kornbindung.

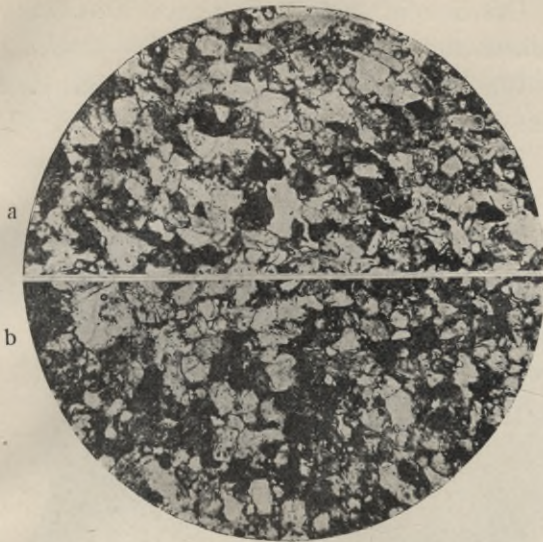


Fig. 17. Vergr. 13 ×.

Nach seinem Erhaltungszustand gehört das Gestein der Qualitätsklasse IC—I an.

7. Hauptgesims der St. Martins-Kapelle. Bauzeit: 1515—1520.

Herkunft: ?. Mit keinem der untersuchten Bruchgesteine identisch. Das Baugestein hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem gelben Sandstein von Niederhaslach. Es zeigt eine unregelmäßige, durch ockerige Streifen angedeutete Schichtung, ist aber von beträchtlicher Festigkeit.

Verwitterung: Die Verwitterungsrinde ist im allgemeinen ziemlich gering, stellenweise etwas beträchtlicher infolge durchgehender Ockerschichten.

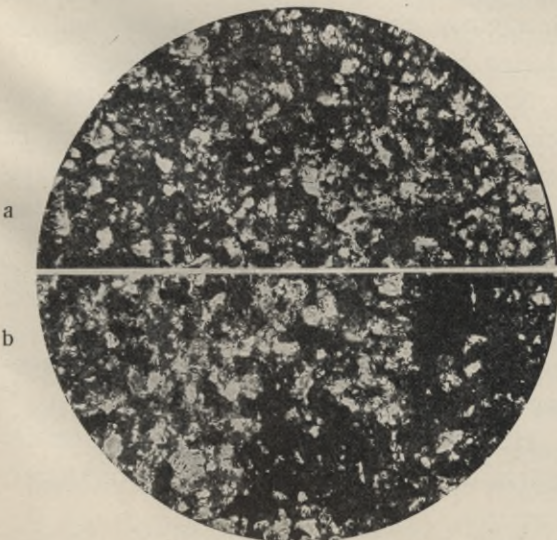


Fig. 18. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 18a (aus dem Innern des Werkstücks): Wesentlich verschieden von dem Niederhaslacher Gestein. Kieselige Bindung innerhalb der kleinen Korngruppen, welche durch ein stark silifiziertes Porenzement verbunden sind.

Fig. 18b (aus der äußeren Rinde): In der Nähe der dunkelgelben Streifen stark aufgelockert und die gebildeten Hohlräume durch ockerige Einlagerungen ausgefüllt.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungszustand zur Qualitätsklasse I:I—II.

8. Galerie der St. Martins-Kapelle. Bauzeit: 1515—1520.

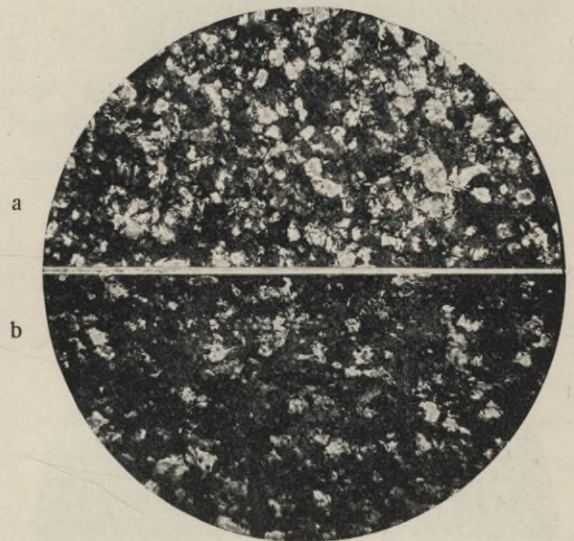


Fig. 19. Vergr. 13 ×.

Herkunft: Das sehr feste Gestein ist dem der Lage C von Wasselnheim ähnlich, zeigt aber eine deutlichere Schichtung und auch etwas reichlicheres toniges Porenzement.

Verwitterung: Die Oberfläche ist durch Staubteilchen geschwärzt und etwas mürbe, eine Verwitterungsrinde jedoch kaum wahrnehmbar. Dagegen zeigt der bogenförmige Teil des Probestückes Schichttrisse und Abspaltungen.

Mikrostruktur: Fig. 19a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, kontinuierliche Kornbindung; ziemlich reichliches, stark silifiziertes Porenzement.

Fig. 19b (aus der äußeren Rinde): Beträchtliche Kornauflockerung und Anreicherung der

tonigen Substanz in den neu gebildeten Hohlräumen.

Nach seinem Erhaltungszustand würde das Gestein der Qualitätsklasse I: I—II angehören, doch ist zu berücksichtigen, daß die Zerstörung wenigstens zum Teil durch die unsachgemäße Bearbeitung (parallel zur Schichtung) hervorgerufen worden ist.

Die Qualitätsberechnung des Gesteins von Wasselnheim Lage C ergab Klasse IC.

9. Fialen der St. Martins-Kapelle. Bauzeit: 1515—1520.

Herkunft: Ähnliches Gestein wie dasjenige von Niederhaslach (s. Fig. 11), aber beträchtlich größere Festigkeit.

Verwitterung: Das parallel zum Spalt bearbeitete Werkstück zeigt auf der plattenförmigen Querfläche regelmäßige, stark schichtige Ausnagungen von 3—5 mm Tiefe und 4—8 mm Breite, so daß die Oberfläche parallel gerieft erscheint.

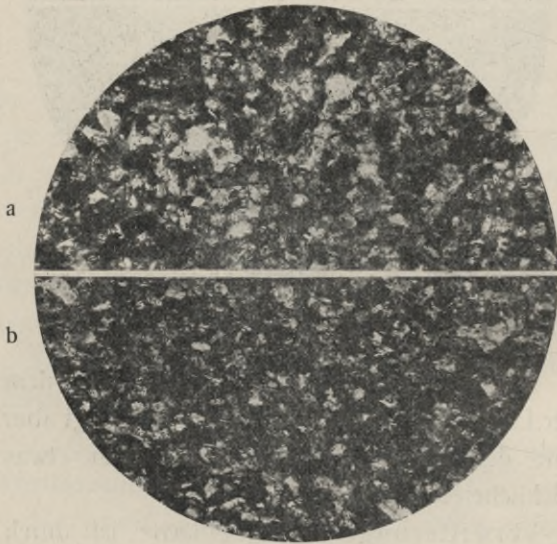


Fig. 20. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 20a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, diskontinuierliche Kornbindung von parallel eingelagerter, schwach silifizierter, toniger Zwischenmasse unterbrochen.

Fig. 20b (aus der äußeren Rinde): Beträchtliche Lockerung der Kornbindung und starke Anreicherung der Tonsubstanz in den neu gebildeten Zwischenräumen.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungszustand zur Qualitätsklasse I: I—II.

10. Säulenstück der Vierungskuppel. Bauzeit: 12. Jahrhundert.

Herkunft: Ähnlich wie Lage C von Wasselnheim (s. Fig. 8).

Verwitterung: Das auf den Spalt gestellte Werkstück zeigt nur eine geringe Verwitterungsrinde, aber starke, schichtige Aufblätterung.

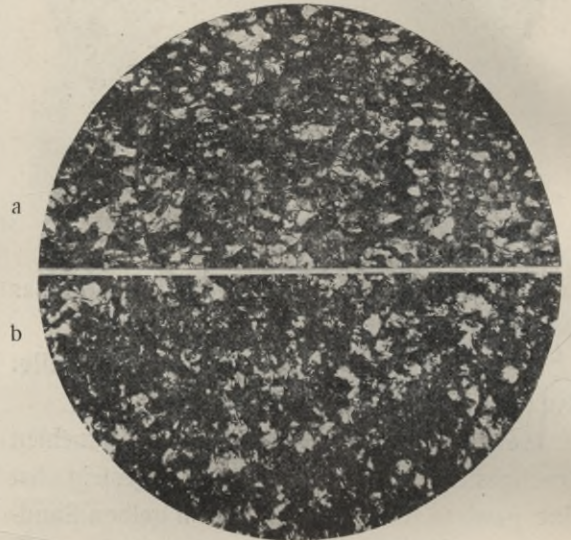


Fig. 21. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 21a (aus dem Innern des Werkstücks¹⁾): Kieselige, vorwiegend kontinuierliche Kornbindung; Quarzkörnchen kantig; Porenzement schwach silifiziert.

Fig. 21b (aus der äußeren Rinde): Ziemlich beträchtliche Auflockerung der Kornbindung und Einlagerung von Tonsubstanz in den neu gebildeten Hohlräumen.

Nach dem Erhaltungsgrad würde das Gestein der Klasse I: I—II angehören, doch ist auch hier zu berücksichtigen, daß die Zerstörung z. T. durch die unsachgemäße Bearbeitung bedingt sein dürfte.

Für das Wasselnheimer Gestein Lage C ist die Klasse IC berechnet worden.

11. Säulenknäuf der St. Katharinen-Kapelle. Bauzeit: 1349—1354.

Herkunft: ? Nicht identisch mit einem der untersuchten Bruchgesteine. Das rotgefärbte,

¹⁾ Der Schliff enthält viel Schleifmaterial, das nicht genügend ausgewaschen worden ist.

sehr dünn-schichtige Gestein zeigt auf der Schieferungsfläche sehr reichliche Glimmerlagen.

Verwitterung: Vollständige Zermürbung durch schichtige Aufblätterung.

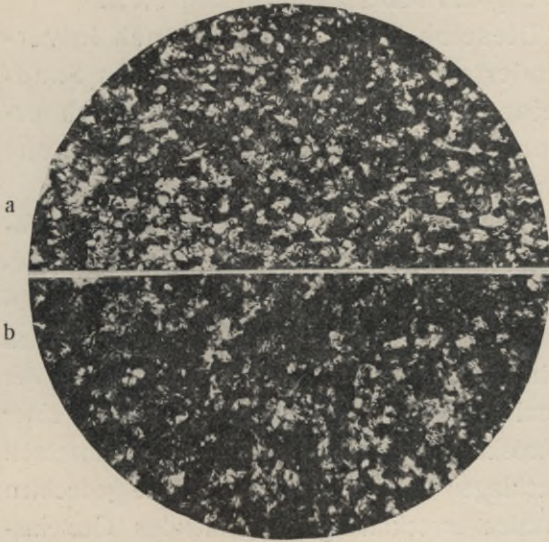


Fig. 22. Vergr. 13 ×.

Mikrostruktur: Fig. 22 a (aus dem Innern des Werkstücks): Die kleinen parallelgestreckten Korngruppen zeigen kieselige Bindung, sind aber durch ein toniges, nicht silifiziertes Porenzement voneinander getrennt.

Fig. 22 b (aus der äußeren Rinde): Starke Auflockerung der Kornbindung und starke Anreicherung des tonigen Bindemittels.

Das Gestein gehört nach seinem Erhaltungszustand der Qualitätsklasse II an.

12. Knaufstiel einer Fiale der Hochschiffsgalerie. Bauzeit: Ende des 15. Jahrhunderts.

Herkunft: ?. Nicht identisch mit einem der untersuchten Bruchgesteine. Das Gestein ist von gelbroter Farbe, undeutlicher Schichtung und enthält ziemlich reichlichen Glimmer.

Verwitterung: Das auf den Spalt gestellte Architekturstück zeigt eine starke, aber feste narbige Verwitterungsrinde und schichtige Aufblätterung.

Mikrostruktur: Fig. 23 a (aus dem Innern des Werkstücks): Kieselige, diskontinuierliche Kornbindung; reichliches toniges Porenzement.

Fig. 23 b (aus der äußeren Rinde): Mäßige Auflockerung der Kornbindung, aber reichliche Einlagerung der tonigen Substanz in den Schichtfugen.

Nach seinem Erhaltungszustand gehört das Gestein zur Qualitätsklasse I—II; bei sachgemäßer Bearbeitung wäre jedoch ein besserer Erhaltungszustand zu erwarten gewesen.

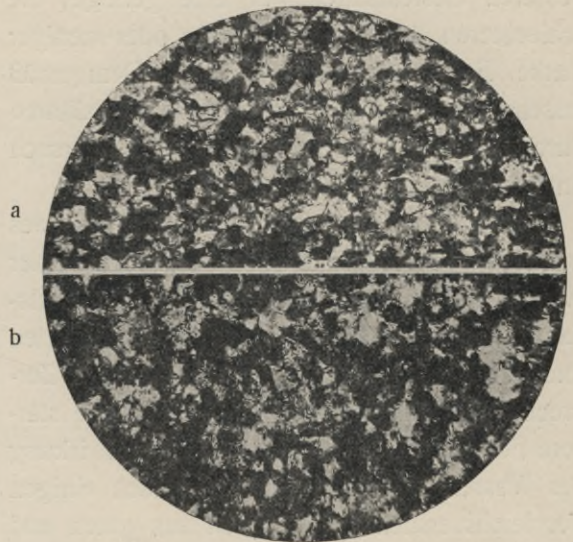


Fig. 23. Vergr. 13 ×.

3. Die Auswahl des Gesteins für die Renovationsarbeiten.

Wie bereits bemerkt, werden zu den Renovationsarbeiten vorzugsweise die Gesteinsvorkommen des Breusch- und Mossigtals verwendet, also diejenigen, welche schon von alters her das Material zum Münsterbau geliefert haben.

Da diese Brüche jedoch in ihren einzelnen Lagen selbst bei äußerlich gleicher Beschaffenheit Gesteine von erheblich verschiedener Qualität liefern, so mögen hier zum Zweck einer sorgfältigen Auswahl des Materials und seiner sachgemäßen Verwendungsweise die Erfahrungen zusammengestellt werden, welche sich aus den vorstehenden Untersuchungen ergeben haben:

1. Die glimmerreichen und deutlich geschichteten oder sich schiefrig schlagenden Abänderungen des Vogesensandsteins sollten nur zu glatten Werkstücken im aufgehenden Mauerwerk, nicht aber zu Gesimsen und feineren Architekturteilen verwendet werden.

2. Die guten Lagen der betreffenden Brüche zeichnen sich durch eine vorwaltend kieselige Kornbindung des Gesteines aus, während in

dem Material der schlechteren Lagen kleinere Korngruppen von kieseliger Bindung durch ein toniges Zwischenmittel zusammengehalten werden. In Übereinstimmung hiermit zeigen die besseren Gesteinsarten nur eine geringe, die schlechteren dagegen eine mehr oder weniger starke Erweichung im Wasser. Demgemäß lassen sich die verschiedenen Gesteinsqualitäten durch folgenden leicht ausführbaren Versuch unterscheiden:

Es werden etwa faustgroße Probestücke des fraglichen Gesteins etwa 24 Stunden unter Wasser gelegt, und man überzeugt sich alsdann durch Zerschlagen des wassergelagerten und des trockenen Gesteins, sowie durch Zerbrechen dünner Scherben beider, ob eine stärkere Festigkeitsverminderung durch Einwirkung des Wassers stattgefunden hat. Nach einigen Vergleichsversuchen an Proben aus guten und schlechten Lagen wird man alsbald zu einer sicheren Beurteilung des Gesteins nach der angegebenen Methode gelangen.

3. Die Bearbeitung und das Versetzen aller Werkstücke und insbesondere derjenigen aus geschichtetem Material hat stets „lagerhaft“ zu erfolgen. Die Nichtbeachtung dieser Regel hat an zahlreichen Werkstücken des aufgehenden Mauerwerks eine vorzeitige Zerstörung herbeigeführt.

4. Zu feineren Architekturgliederungen und namentlich solchen von beträchtlicher Länge und geringer Dicke (Fialen, Maßwerk, Strebebögen, Galerien, Pfeiler usw.) dürfen deutlich geschichtete Sandsteine in keinem Fall verwendet werden. Die einzelnen Bänke der in Frage kommenden Brüche haben gewöhnlich nur eine Mächtigkeit von 0,7 m und höchstens 1 m. Die längeren Werkstücke müssen daher nach der „Schicht“ herausgearbeitet werden, und die Folge davon ist, daß sehr bald Schichtrisse in den auf den Spalt gestellten Werkstücken entstehen und im weiteren Verlauf eine vollkommene Zermürbung des Materials durch stetig vermehrte Wasseraufsaugung eintritt.

5. Auch zu allen sonstigen feineren Architekturteilen, Kreuzblumen, Blätterkapitälen und

auch zu Figuren ist der Anwendung geschichteten Sandsteins durchaus zu widerraten. Das Wasser dringt hier von allen Seiten in die Schichtfugen ein und bewirkt eine schnelle Zerstörung des Materials durch den Frost.

Dieselbe Wirkung, wenn auch in vermindertem Maße, tritt an solchen Sandsteinen auf, welche ohne äußerlich erkennbare Schichtung eine ausgesprochene Parallelstruktur besitzen.

Die mikroskopische Untersuchung des Vogesensandsteins läßt erkennen, daß die Mehrzahl der äußerlich massig erscheinenden Abänderungen desselben (siehe die vorstehenden Abbildungen) eine solche Parallelanordnung der Kornlagen aufweisen, und hier wird es einer mikroskopischen Untersuchung der einzelnen Bruchlagen bedürfen, um die für die gedachten Arbeiten zweckmäßig erscheinenden Gesteinsbänke festzustellen. Solche Untersuchungen sind von fachmännischer Seite leicht auszuführen und die geringe Mühewaltung steht in keinem Verhältnis zu dem Nutzen, welcher daraus für die Gewinnung geeigneten Baumaterials erwächst.

Es mag zum Schluß darauf hingewiesen werden, daß diese Vorsicht namentlich auch bei der Auswahl des Gesteins für bogenförmig gestaltete Architekturteile, welche einer namhaften Druckwirkung ausgesetzt sind, zu beachten ist.

Das Maßwerk der großen Fensterrose von 13,5 m Durchmesser, welche stetig erhebliche Ausbesserungen erfordert, ist nach der mir gewordenen Mitteilung aus der Wasselnheimer Gesteins-Lage D (s. Fig. 9) hergestellt worden. Auch dieses Material zeigt aber eine deutliche Parallelstruktur und demgemäß eine verminderte Biegungs- und Schubfestigkeit parallel zur Schichtung. Diese letztere geht aber durch die bogenförmig gestalteten Teile des Maßwerkes quer hindurch und die Folge hiervon ist eine Zerstörung des Materials bei verhältnismäßig geringem seitlichem Druck. Nur ein vollkommen massig, d. h. regellos struiertes Gestein von sonst guter Qualität wird für derartige Arbeiten als zweckentsprechend erachtet werden dürfen.

Der „Hydratwassergehalt“ im Traß

Von

F. Tannhäuser

Für die Prüfung von Traß auf seinen mörteltechnischen Wert sind von der 4. Versammlung des Deutschen Verbandes für die Materialprüfung der Technik vom 29. September 1900 in Rüdeshcim Normen aufgestellt worden, welche sich auf den Hydratwassergehalt des Trasses stützen¹⁾. Da die guten Tuffsteine einen Hydratwassergehalt von mindestens 7% enthalten, während derselbe in den schlechteren Sorten wesentlich geringer ist, so soll die Feststellung des erwähnten Wassergehaltes im Traß als ein sicheres Kriterium dafür gelten, ob derselbe aus guten hydraulischen Tuffsteinen vermahlen worden ist.

Zwecks Ermittlung des Glühverlustes selbst wurden folgende Bestimmungen festgesetzt.

Um zunächst die Menge des hygroskopischen (mechanisch festgehaltenen) Wassers zu bestimmen, werden 10 g feingemahlene Traßpulvers in ein Wiegegläschen mit eingeschliffenem Stopfen und einer Bodenfläche von mindestens 4 cm Durchmesser gefüllt. Das Gläschen wird offen mit geneigt auf die Öffnung gelegtem Stopfen in einen Trockenschrank mit Wasserspülung und Lüfterneuerung gebracht und während 3 Stunden gleichmäßig auf annähernd 98° C erhitzt. Die festgestellte Gewichtsabnahme

wird als der Gehalt des Trasses an hygroskopischem Wasser angesehen.

Weitere 10 g Traßmehl dienen zur Bestimmung des Hydratwassers. Die Probe wird in einem Platin- oder Porzellantiegel entweder 30 Minuten über dem Gasgebläse oder 40 Minuten in einem Hempelschen Glühofen bis zur Rotglut erhitzt. Nach Abzug der vorher bestimmten hygroskopischen Wassermenge ergibt der verbleibende Gewichtsverlust den Hydratwassergehalt, der prozentual auf die Gewichtsmenge des vorgetrockneten Trasses umgerechnet wird.

Bereits in einer früheren Arbeit: „Ein Beitrag zur Petrographie des Trasses und zur Erklärung seiner hydraulischen Wirkungsweise“¹⁾ war darauf hingewiesen worden, daß es bei dieser Methode äußerst fraglich erscheine, ob einerseits alles Hydratwasser bestimmt wird, da Mineralien, wie z. B. die Zeolithe, ihren Wassergehalt teilweise bereits bei wesentlich niedrigeren Temperaturen als 98° abgeben, und ob andererseits bei den hohen angewandten Glüh-temperaturen nicht auch flüchtige Bestandteile, wie Kohlensäure, Chlor und Schwefelsäure der Grundmasse, entweichen. Zum Vergleich wurden ferner die Pechsteine angeführt, bei deren bis

¹⁾ Vergl. auch die Beschlüsse der 12. Versammlung vom 18. September 1908 in Darmstadt und der 13. Versammlung vom 9. Oktober 1909 in Stuttgart.

¹⁾ Bautechnische Gesteinsuntersuchungen 1911, Heft 1 S. 40 u. 41 Anmerkung.

15% steigendem Wassergehalt es sich zum großen Teil nicht um chemisch gebundenes Wasser handelt, obgleich der Wassergehalt vollständig erst bei Rotglut fortgeht. Von besonderem Interesse mußte es schließlich sein, den Glühverlust des Trasses bei verschiedenen Temperaturen zu kontrollieren, da die Art und Weise der Wasserabgabe geeignet ist, zu entscheiden, inwieweit es sich bei derselben überhaupt um Hydratwasser handelt¹⁾.

Wenn auch die mikroskopische Untersuchung für die Gegenwart von Zeolithen in der Grundmasse kein positives Ergebnis lieferte, so ist es bei der stellenweise starken Trübung derselben infolge weitgehender Verwitterung und bei der Neigung der Sodalithminerale in Aggregaten von Natrolith überzugehen keineswegs ausgeschlossen, daß trotzdem in geringen Mengen sekundäre zeolithische Substanzen auftreten²⁾. Es wurde daher zunächst die Wassermenge festgestellt, die einige Zeolithe schon unter 100° abgeben.

1. Gepulverte Analzimschubstanz [$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] verlor bei 24stündigem Trocknen über Phosphorpentoxyd 0,128 und beim Erhitzen auf 95° 0,238 Gewichtsprozente Wasser.

¹⁾ Die seinerzeit auf Veranlassung Garys ausgeführten Untersuchungen (vergl. Mitteilungen aus den Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1896, S. 193 u. f.) haben diese Verhältnisse nicht berücksichtigt.

²⁾ Gegen die Wahrscheinlichkeit, daß Zeolithe in größeren Mengen in der Grundmasse enthalten sind, spricht auch der folgende Umstand. Im Gegensatz zum Traß haben die Leuzittuffe von Rieden, Mayen, Weibern, Ettringen usw. in der Eifel einen Hydratwassergehalt von nur 2,26–3,69%. Bei den Leuziten dieser Tuffe, die sowohl als Einsprenglinge als auch in der Grundmasse reichlich zu finden sind, handelt es sich aber nicht um frisches Material, vielmehr sind dieselben bereits weitgehend zersetzt und in Pseudomorphosen von Analzim umgewandelt, wie solche Grosse in seiner Arbeit über die jüngeren Ergußgesteine Mittelitaliens beschrieben hat. (Petrographische Untersuchung jüngerer Ergußgesteine Mittelitaliens. Inaug. Diss. Berlin 1908, S. 65 u. f.) Selbst wenn man also a priori annimmt, daß in der Traßgrundmasse ebenso reichlich Zeolithe vorhanden sind, wie Leuzite resp. Analzime in der Grundmasse der Leuzittuffe — man könnte dann bei der mikroskopischen Untersuchung aber diese Mengen von Zeolithen keinesfalls übersehen —, so würden diese Zeolithmengen trotzdem noch lange nicht ausreichen, um einen Hydratwassergehalt von 7% und mehr zu erklären.

2. Gepulverte Chabasitsubstanz [$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] erlitt bei 24stündigem Trocknen über Phosphorpentoxyd einen Gewichtsverlust von 2,337% und bei 95° von 5,057%.

Um eine eventuelle Abgabe der erwähnten flüchtigen Bestandteile beim Glühen konstatieren zu können, wurden einmal Proben von gepulvertem Kalziumkarbonat (Marmor) 24 Stunden über Phosphorpentoxyd getrocknet und dann 40 Minuten über dem Dreilochbrenner erhitzt, da Traßmehl mit Salzsäure behandelt eine schwache Reaktion auf Kohlensäure ergeben hatte. Die Verluste waren 2,021% resp. 25,854%. Dieselben Versuche wurden mit Lasurstein, einem natürlichen Gemenge von Hauyn [$3(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2(\text{Na}_2, \text{Ca})\text{SO}_4$], Sodalith [$3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{NaCl}$] und Ultramarin [$3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{Na}_2\text{S}_3$] wiederholt. Das Ergebnis von 0,157% resp. 0,471% Gewichtsverlust läßt ebenfalls deutlich eine Abgabe flüchtiger Bestandteile in der Rotglut erkennen. Die Resultate zeigen also, daß beim Erhitzen von Traß tatsächlich die Möglichkeit besteht, einerseits einen Verlust an Zeolithwasser bereits unter 100° zu erhalten, andererseits beim Glühen einen Gehalt an anderen flüchtigen Bestandteilen als Hydratwasser mitzubestimmen.

Für die Praxis liegt die Sache allerdings anders, denn der anstehende Traß besteht zur einen Hälfte aus Einsprenglingen und Bimsstein- oder eingeschlossenen fremden Gesteinsbrocken und nur zur anderen Hälfte aus Grundmasse. Aber auch von dieser letzteren entfällt günstigsten Falles nur rund der vierte Teil auf Zeolithe und solche Substanzen, die sonstige flüchtige Bestandteile enthalten, und zumal der Gehalt an Kalziumkarbonat als Zersetzungsprodukt dürfte sich in bescheidenen Grenzen bewegen. Infolgedessen reduzieren sich die oben angeführten Gewichtsverluste derart, daß sie bei der praktischen Wasserbestimmung wohl vernachlässigt werden können, ohne einen bedenklichen Fehler zu machen.

Bevor auf die speziellen Untersuchungen eingegangen wird, die ausgeführt wurden, um den genauen Gewichtsverlust des Trasses bei verschiedenen Temperaturen zu ermitteln, mag

eine Präzisierung der in Frage kommenden Begriffe: mechanisch eingeschlossenes, adsorbiertes, chemisch gebundenes und hygroskopisches Wasservorausgeschickt und die Beziehungen dieser Begriffe zur „Hygroskopizität“ erörtert werden.

Das mechanisch eingeschlossene Wasser ist dadurch charakterisiert, daß ihm noch sämtliche physikalischen Eigenschaften des gewöhnlichen flüssigen Wassers: Gefrierpunkt von 0°C , Siedepunkt von 100°C und besonders der bestimmte Dampfdruck für jede Temperatur eigen sind. Mechanisch beigemengtes Wasser muß sich bei jeder beliebigen Temperatur vollständig durch Verdampfen entfernen lassen, vorausgesetzt, daß die Luft einwirken kann und die umschließende Substanz, wie z. B. bei den Pechsteinen, nicht zu fest und homogen ist, weil dann erst die Struktur der Substanz zerstört werden muß, bevor das eingeschlossene Wasser entweicht.

Bezüglich des adsorbierten Wassers sei folgendes bemerkt. Der Begriff der Adsorption von Gasen durch feste Körper ist erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit in die physikalische Chemie eingeführt worden, obgleich die grundlegenden Erscheinungen schon ziemlich lange bekannt waren. Man versteht unter Adsorption die Fähigkeit fester Körper, namentlich solcher mit großer Oberflächenentwicklung, Gase und Dämpfe in reichlichen Mengen an der Oberfläche zu kondensieren. So adsorbiert z. B. Kohle: Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Ammoniak u. a. m.; Meerschaum: Ammoniak, Schwefeldioxyd und Chlormethyl; Glaspulver: Kohlensäure, Ammoniak, Stickoxyd und Schwefeldioxyd¹⁾. Aus Messungen zahlreicher Autoren, insbesondere aus den zuverlässigen Untersuchungen von Travers, weiß man ferner, daß eine starke Adsorption auch bei Temperaturen erfolgen kann, die weit über dem Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit liegen. So zeigt das Traverssche Diagramm in Fig. 24 die Adsorption von Kohlensäure durch Kohle bei verschiedenen Temperaturen, wobei auf der

Ordinate das von derselben Kohlenmenge adsorbierte Gasvolumen und auf der Abszisse der Druck in cm Quecksilber abgetragen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Siedepunkt der flüssigen Kohlensäure bei -78° liegt.

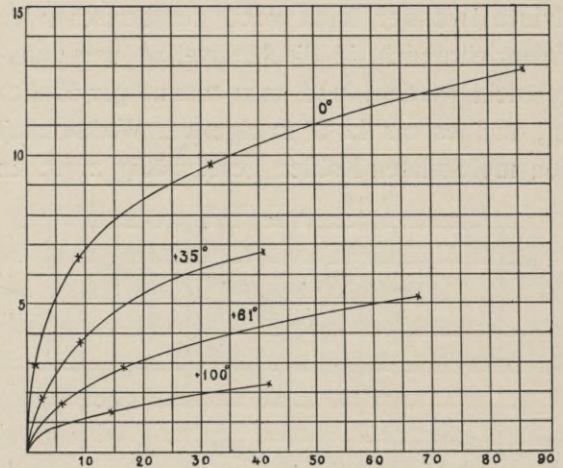


Fig. 24. Adsorption von Kohlensäure durch Kohle bei verschiedenen Temperaturen. (Aus H. Freundlich, Kapillarchemie.)

Hieraus ist die wichtige Folgerung zu ziehen, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit zur Adsorptionsmöglichkeit des Dampfes keine Sonderstellung vor anderen Temperaturen einnimmt.

Für die Adsorption von Kohlensäure an Kohle kann naturgemäß eine chemische Deutung nicht gefunden werden, ebensowenig wie für die Adsorption von Ammoniak an Meerschaum, Kohlensäure an Glaspulver usw., sodaß also keine chemische Verbindung zustande kommt.

Des weiteren ist es äußerst wichtig, daß, wie das Chappuissche Diagramm in Fig. 25 erkennen läßt, die Abgabe des adsorbierten Gases kontinuierlich erfolgt (bei variablem Druck). Die Versuche wurden mit Kohlensäure und Ammoniak von 0° gemacht; als Adsorbens dienten Stäbchen von Kohle aus Pfaffenhutholz und Meerschaum. Auf der Abszisse wurden die Drucke in cm Quecksilber, auf der Ordinate die auf 0° und 76 cm Quecksilber reduzierten Gasvolumen eingetragen.

Speziell für Wasser besitzen fast alle festen Körper Adsorptionsvermögen und die letzten Reste adsorbierten Wassers sind beispielsweise bei Glas nur durch starkes Erhitzen austreibbar.

¹⁾ Vergl. H. Freundlich, Kapillarchemie S. 96 u. 97.

Beiläufig sei hier eingeschaltet, daß nach den Untersuchungen von Tammann¹⁾ sich auch der Wassergehalt mancher Zeolithe wie adsorbiertes Wasser verhält.

Beim chemisch gebundenen Wasser hat man zwei Unterarten zu unterscheiden. Das Kristallwasser kann nach der herrschenden Valenzlehre nicht in die Atomverbindung untergebracht werden, und man nimmt gewöhnlich an, daß es als H₂O infolge der Wirksamkeit von molekularen Kräften gesetzmäßig zwischen

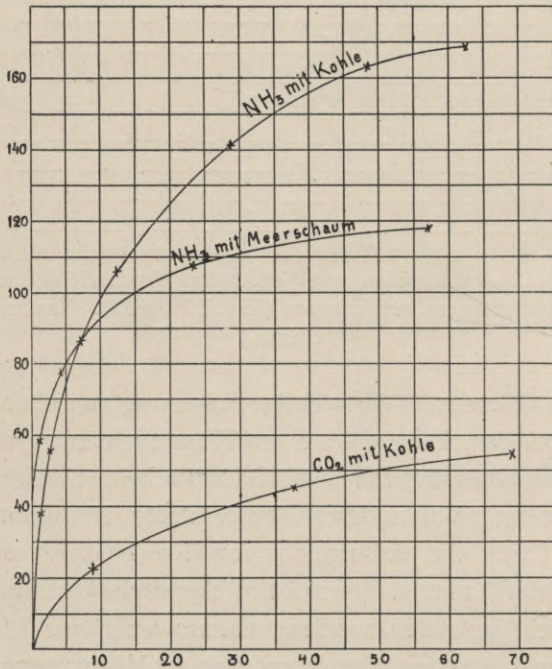


Fig. 25. Adsorption von Kohlensäure und Ammoniak durch Meerschaum und Kohle bei 0° und variablen Druck. (Aus H. Freundlich, Kapillarchemie.)

den Molekülen eingelagert ist (koordinative Bindung). Seine Bindung ist meist nur locker und es kann aus manchen Substanzen schon bei gewöhnlicher Temperatur herausgehen, aus anderen erst beim Erhitzen auf 100°, 200°, 300° und 350°. Ebenso leicht wie das Kristallwasser aus seinen Verbindungen ausgetrieben wird, nehmen es die wasserfrei gewordenen Substanzen in wasserhaltiger Umgebung wieder auf. Erhitzt man z. B. den Gips, CaSO₄ + 2 H₂O, bis auf

¹⁾ Über die Dampfspannungen von kristallisierten Hydraten, deren Dampfspannung sich kontinuierlich mit der Zusammensetzung ändert. Zeitschr. f. physikal. Chemie 1898, S. 323 u. f.

200°, so verliert er den größten Teil seines Kristallwassers, nimmt es beim Anfeuchten aber wieder auf und regeneriert sich zu Gips. Bemerkenswert ist noch, daß das Kristallwasser für gewöhnlich etappenweise entweicht. Der

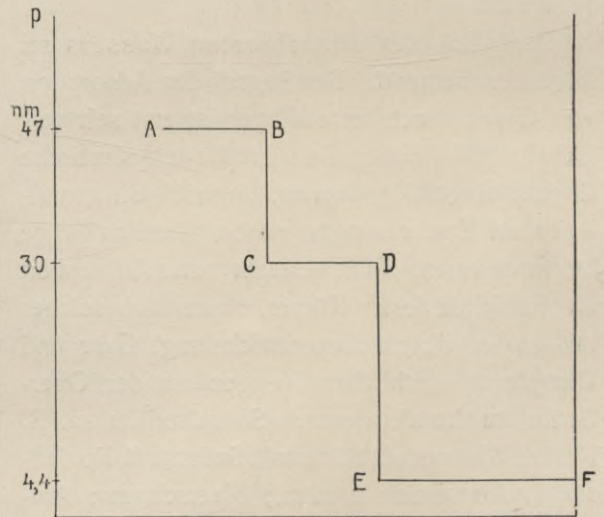
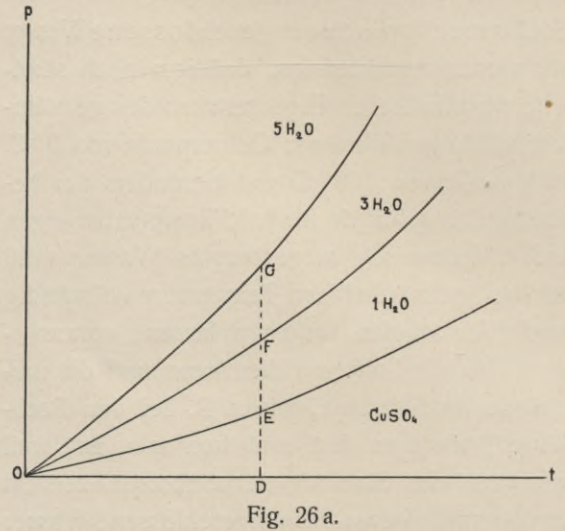


Fig. 26 b. Dampfdrucktensurkurven des Systems Kupfersulfat + Wasser. (Aus A. Findlay, Phasenlehre.)

Eisenvitriol, FeSO₄ + 7 H₂O, gibt zunächst 3 Moleküle beim Erhitzen ab, bei weiterer Temperaturerhöhung ist die Wasserabgabe eine Zeit lang unterbrochen, dann entweichen wiederum 3 Moleküle und nach einer abermaligen Pause verschwindet das letzte Molekül erst bei stärkstem Erhitzen. Der Kupfervitriol bildet die Hydrate: CuSO₄ + H₂O, CuSO₄ + 3 H₂O, CuSO₄ + 5 H₂O. Die Entwässerung von CuSO₄ + 5 H₂O erfolgt in drei Sprüngen, wie

aus den Dampfdrucktensionskurven des Systems Kupfersulfat + Wasser, Fig. 26a u. 26b, hervorgeht.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse beim Konstitutionswasser. Hier ist das Wasser nicht als H_2O vorhanden, sondern man nimmt an, daß H und O als Hydroxylrest (OH) unmittelbar chemisch mit den Atomen der Substanz verbunden ist. Das Konstitutionswasser, auch basisches oder Hydratwasser genannt, wird im allgemeinen erst beim Glühen frei und von der Substanz dann oft nicht wieder aufgenommen. Eine feste Temperaturgrenze, unterhalb der das Kristallwasser und oberhalb der das Konstitutionswasser entweicht, läßt sich allerdings nicht angeben; ebensowenig ist es in allen Fällen ausgeschlossen, daß auch Konstitutionswasser nicht wieder aufgenommen werden kann. Außerdem ist die Möglichkeit vorhanden, daß beide, Kristallwasser und Konstitutionswasser, in ein und derselben Substanz neben einander enthalten sein können. Jedenfalls kann man aber wohl als feststehend betrachten, daß ersteres meist schon bei niedrigen Temperaturen und sprungweise abgegeben wird, letzteres erst in der Glühhitze.

Wie vorsichtig man jedoch bei der Deutung all dieser Verhältnisse sein muß, zeigten erst in neuester Zeit die Untersuchungen von Allen und Clement¹⁾. Im Gegensatz zu der bisherigen Annahme konnten sie nachweisen, daß der Wassergehalt des Tremolits, den man ebenso wie den des Glimmers, Epidots, Turmalins u. a. m. als Konstitutionswasser deutete, die gleiche Rolle spielt, wie in den Zeolithen. Auch weitere Amphibole, wie Kupferit, Aktinolith, Glaukophan und andere enthalten nach diesen Autoren Wassermengen von 1—3%, die zweifellos als adsorbiertes Wasser angenommen werden müssen.

Zu dem Siedepunkt des gewöhnlichen Wassers steht die Temperatur, bei der chemisch gebundenes Wasser frei wird, gleichfalls in keiner direkten Beziehung, wie die zahlreichen, kristall-

wasserhaltigen Salze beweisen, die unter Verwitterung einen Teil ihres Kristallwassers schon bei gewöhnlicher Temperatur verlieren können (Zeolithe, Soda, Glaubersalz u. s. w.) Man darf also durchaus nicht den Schluß ziehen, daß unter 100° entweichendes Wasser nicht chemisch gebunden sei. Die Wahl des Temperaturpunktes von $100^\circ C$ für eine Untersuchung des Zustandes des Wassers ist nach physikalisch-chemischen Grundsätzen nicht berechtigt.

Was nun schließlich den Begriff der „Hygroskopizität“ anbelangt, so wird darunter ziemlich wahllos sowohl der Vorgang der Adsorption als auch der chemischen Bindung vereinigt. Daß hygroskopisches Wasser keinesfalls aber lediglich mechanisch beigemengtes Wasser sein muß, veranschaulichen deutlich Salze wie $CaCl_2$, $MgSO_4 + H_2O$ und andere, die an der Luft Wasser aufnehmen unter Bildung von neuen Hydraten mit höherem Wassergehalt und endlich sogar von gesättigten Lösungen. Für alle diese Vorgänge ist charakteristisch, daß das entstandene Hydrat, bzw. die entstandene Lösung, einen niedrigeren Wasserdampfdruck besitzt, als Wasser bei gleicher Temperatur, während wir oben gesehen haben, daß ein wichtiges Kennzeichen für mechanisch beigemengtes Wasser die Gleichheit des Dampfdruckes sowohl als auch der übrigen physikalischen Eigenschaften des gewöhnlichen Wassers ist. Der Begriff „Hygroskopizität“ wird daher am besten vermieden, weil er durch die vorstehend behandelten, exakteren Begriffe ersetzt werden kann.

Wir kommen nunmehr zu den Versuchen, die ausgeführt wurden, um die genaueren Temperaturen festzustellen, bei denen das im Traß enthaltene Wasser abgegeben wird. Dieselben wurden bis 154° in einem sog. „Vakuumtrockenapparat“ ausgeführt, wie er in Fig. 27 dargestellt ist, von 200° — 350° wurde ein Trockenschrank benutzt, da bei diesen Temperaturen ein mehrmaliges Zerspringen der Glasgefäße des Vakuumtrockenapparates eintrat. Die höheren Temperaturen wurden durch Glühen über dem Dreilochbrenner resp. im Gebläse erzielt.

Der Vakuumtrockenapparat weist folgende Versuchsanordnung auf.

¹⁾ Zeitschr. f. anorg. Chemie 1910, Bd. 68, S. 317.

In einem kupfernen Kolben werden Flüssigkeiten von genau bestimmten Siedepunkten zum Sieden erhitzt. Die sich hierbei entwickelnden Dämpfe gelangen in einen Mantelapparat, in dem sich die zu untersuchende Traßmenge in einer Glasröhre befindet. Zur Kontrolle der Temperatur wurde ein Zinckensches Thermometer in die Glasröhre gelegt. In dem oberhalb des Mantelapparates angebrachten Kugelhühler kondensieren sich die Dämpfe wieder

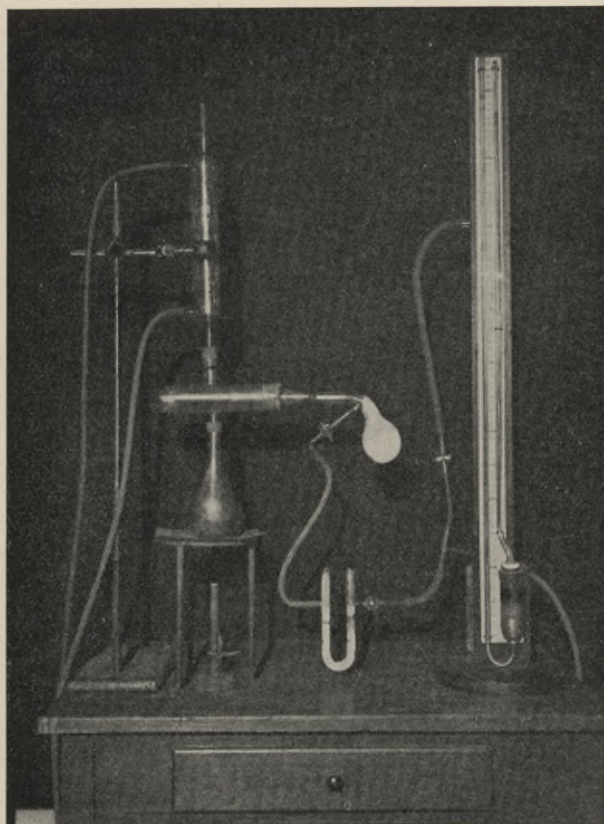


Fig. 27.

und fließen in den Kolben zurück. Um das aus der Substanz entweichende Wasser zu entfernen, wird die Glasröhre, die die Traßmenge enthält, mit einer Retorte verbunden, welche mit Phosphorpentoxyd gefüllt ist. Letzteres nimmt bekanntlich begierig Wasser auf. Die Retorte ist mit einem Hahn versehen. Um ganz sicher zu gehen, daß das bei einer bestimmten Temperatur aus der Substanz entweichende Wasser auch wirklich aus der Substanzröhre hinausgelangt, wird der Hahn der Retorte unter

Zwischenschaltung eines Chlorkalziumrohres mit einer Saugpumpe verbunden, so daß die Retorte und das Substanzrohr unter vermindertem Druck stehen. Derselbe betrug durchschnittlich nur 5—10 mm. Die jedesmalige Versuchszeit war drei Stunden, beim Glühen 40 und 30 Minuten unter Anwendung von ca. 5 g Substanz. Als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen diente Traßmehl, das den Vorschriften entsprechend aus $\frac{1}{2}$ gelbem, $\frac{1}{4}$ grauem und $\frac{1}{4}$ blauem Traß gemahlen war. Dasselbe wurde zunächst drei Stunden bei 35° C vorgetrocknet.

Die im diesseitigen Institut ausgeführten Versuche hatten folgendes Ergebnis.

1. Versuch.

Temperatur: 59° (durch Chloroform).

Angew. Substanzmenge: 4,9515 g.

Gewichtsverlust: 0,0884 g = 1,785 %.

2. Versuch.

Temperatur: 80° (durch Benzol).

Angew. Substanzmenge: 4,8120 g.

Gewichtsverlust: 0,0968 g = 2,011 %.

3. Versuch.

Temperatur: 99° (durch Wasser).

Angew. Substanzmenge: 5,1440 g.

Gewichtsverlust: 0,1134 g = 2,204 %.

4. Versuch.

Temperatur: 109° (durch Toluol).

Angew. Substanzmenge: 4,9734 g.

Gewichtsverlust: 0,1232 g = 2,477 %.

5. Versuch.

Temperatur: 128° (durch Xylol).

Angew. Substanzmenge: 4,9972 g.

Gewichtsverlust: 0,1704 g = 3,409 %.

6. Versuch.

Temperatur: 154° (durch Monobrombenzol).

Angew. Substanzmenge: 4,6238 g.

Gewichtsverlust: 0,2088 g = 4,516 %.

7. Versuch.

Temperatur: 200° (3 St. im Trockenschrank).

Angew. Substanzmenge: 5,0072 g.

Gewichtsverlust: 0,2836 g = 5,664 %.

8. Versuch.

Temperatur: 250° (3 St. im Trockenschrank).

Angew. Substanzmenge: 5,0076 g.

Gewichtsverlust: 0,3312 g = 6,614 %.

9. Versuch.
Temperatur: 300° (3 St. im Trockenschrank).
Angew. Substanzmenge: 5,0008 g.
Gewichtsverlust: 0,3730 g = 7,459 %.
10. Versuch.
Temperatur: 350° (3 St. im Trockenschrank).
Angew. Substanzmenge: 5,0022 g.
Gewichtsverlust: 0,3964 g = 7,925 %.
11. Versuch.
Temperatur: $400\text{--}700^{\circ}$ (40 Min. über dem Dreilochbrenner).
Angew. Substanzmenge: 5,0009 g.
Gewichtsverlust: 0,4534 g = 9,067 %.
12. Versuch.
Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse).
Angew. Substanzmenge: 5,0028 g.
Gewichtsverlust: 0,4586 g = 9,167 %.

Nach Abzug von 2,204 %, die bis 99° entweichen, bleibt also ein Gewichtsverlust von rund 7 %.

zwischen 59° und 100° kontinuierlich entweicht, Falls Zeolithe in der Grundmasse auftreten, wird ein Teil ihres Wassers frei werden. Im übrigen spricht die Kontinuität der Abgabe für adsorbiertes Wasser. Bei 109° steigt dann die Kurve steil bis zu 154° . Das Wahrscheinlichste bei der Abgabe zwischen 100° und 154° ist, daß man es dabei mit mechanisch eingeschlossenem Wasser nach Art der Pechsteine zu tun hat, das infolge der hohen Dampfspannung frei wird; möglicherweise ist es aber auch zum Teil Kristallwasser. Gegen Hydratwasser, also Konstitutionswasser, spricht sowohl die niedrigen Temperaturen, als auch die starken Umbiegungen der Kurve, die auf ein ruckweises Entweichen hindeuten. Der weitere überaus regelmäßige Verlauf der Kurve von 154° an bis zu 350° und die immerhin noch geringen Temperaturen machen wieder die Gegenwart von adsorbiertem Wasser wahrscheinlich,

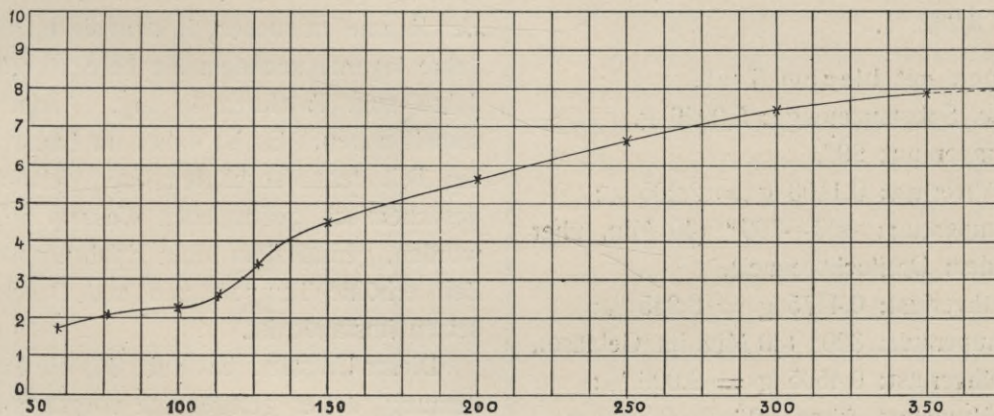


Fig. 28. Kurve für den Gewichtsverlust von Traß bei gleichem Druck und wachsenden Temperaturen.

Die Ergebnisse veranschaulicht die Kurve in Fig. 28. Auf der Ordinate wurden die Prozentzahlen des abgegebenen Wassers abgetragen, auf der Abszisse die Temperaturen.

Welche Schlußfolgerungen lassen nun die Versuche bezüglich der gefundenen Gewichtsverluste zu? Handelt es sich dabei — abgesehen von Kohlensäure, Chlor und Schwefelsäure — einwandfrei um Hydratwasser im wissenschaftlichen Sinne des Wortes? Die Kurve läßt erkennen, daß zunächst das Wasser

während etwa vorhandenes Hydratwasser erst bei den höchsten Temperaturen in Betracht kommt.

Um nun einen Anhalt dafür zu gewinnen, ob und inwieweit die bisher geübte Wasserbestimmung für die Qualität der verschiedenen Traßsorten eine Gewähr leistet, wurden folgende Versuche gemacht, nachdem die Proben wiederum drei Stunden lang bei 35° vorgetrocknet waren.

13. Versuch mit gelbem Traß¹⁾.
Angew. Substanzmenge: 5,0014 g.
- a) Temperatur: 99°,
Glühverlust: 0,1084 g = 2,167 %;
- b) Temperatur: 400—700° (40 Min. über dem Dreilochbrenner),
Glühverlust: 0,4474 g = 8,946 %;
- c) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),
Glühverlust: 0,4513 g = 9,023 %;
Glühverlust über 99° = 0,3429 g = 7,008 %²⁾.
14. Versuch mit grauem Traß.
Angew. Substanzmenge: 5,0028 g.
- a) Temperatur: 99°,
Glühverlust: 0,1098 g = 2,194 %;
- b) Temperatur: 400—700° (40 Min. über dem Dreilochbrenner),
Glühverlust: 0,4483 g = 8,961 %;
- c) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),
Glühverlust: 0,4519 g = 9,033 %;
Glühverlust über 99° = 0,3421 g = 6,992 %.
15. Versuch mit blauem Traß.
Angew. Substanzmenge: 5,0026 g.
- a) Temperatur: 99°,
Glühverlust: 0,1103 g = 2,205 %;
- b) Temperatur: 400—700° (40 Min. über dem Dreilochbrenner),
Glühverlust: 0,4475 g = 8,945 %;
- c) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),
Glühverlust: 0,4505 g = 9,006 %;
Glühverlust über 99° = 0,3402 g = 6,954 %.
16. Versuch mit Bergtraß.
Angew. Substanzmenge: 5,0019 g.
- a) Temperatur: 99°,
Glühverlust: 0,0232 g = 0,463 %;
- b) Temperatur: 400—700° (40 Min. über dem Dreilochbrenner),
Glühverlust: 0,1584 g = 3,167 %;
- c) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),
Glühverlust: 0,1652 g = 3,303 %;
Glühverlust über 99° = 0,1420 g = 2,852 %.
17. Versuch mit Bergtraß (zur Kontrolle).
Angew. Substanzmenge: 4,9508 g.
- a) Temperatur: 99°,
Glühverlust: 0,0250 g = 0,505 %;
- b) Temperatur: 400—700° (40 Min. über dem Dreilochbrenner),
Glühverlust: 0,1578 g = 3,187 %;
- c) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),
Glühverlust: 0,1618 g = 3,268 %;
Glühverlust über 99° = 0,1368 g = 2,777 %.

Bei diesen Versuchen ist auffallend, daß der Glühverlust über 99° für die guten Traßsorten nur grade 7% erreicht, während andere Autoren stets über 7%, ja selbst über 8% angeben¹⁾. Der Grund hierfür ist in einer längeren Aufbewahrung des Probematerials in einem trockenen Raume zu suchen, in dem sie beinahe zwei Jahre lagern, nachdem sie bereits vorher zwei Jahre zum Trocknen in sog. „Arken“ aufgestapelt waren. Es ist daher im Laufe der Zeit ein Teil des adsorbierten oder vielleicht auch des chemisch gebundenen Wassers abgegeben worden, gemäß dem alten Erfahrungssatz, daß Zeit erhöhte Temperaturen und Druck zu ersetzen imstande ist.

Dieser Umstand hat auch für die Praxis Bedeutung, da es gelegentlich vorgekommen ist, daß Lieferungen aus guten hydraulischen Tuffsteinen, die mehrere Jahre auf Vorrat gelegen hatten, bei der Prüfung wegen zu geringen Glühverlustes zurückgewiesen worden sind.

Zur Kontrolle wurden deshalb noch einige Glühverlustbestimmungen an frischem Traßmehl ($1/2 : 1/4 : 1/4$) vorgenommen, und zwar wurden die Proben teils bei 35° drei Stunden vortrocknet, teils unmittelbar auf 99° erwärmt, um zu sehen, ob die Vortrocknung irgendwelchen Einfluß auf die spätere Glühverlustbestimmung hat.

¹⁾ Über die Bezeichnung der verschiedenen Traßsorten s. die S. 35 zitierte Arbeit.

²⁾ Sämtliche Glühverlust-Werte berechnet auf die Gewichtsmenge des bei 99° getrockneten Trasses, gemäß den vorgeschriebenen Prüfungsnormen.

³⁾ Vergleiche die Analysen auf S. 39 der vorher zitierten Arbeit.

18. Versuch. (Das Traßmehl wurde 3 Stunden lang bei 35° vorgetrocknet.)

Angew. Substanzmenge: 5,0064 g.

a) Temperatur: 99°,

Glühverlust: 0,1086 g = 2,168 %;

b) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse).

Glühverlust: 0,4635 g = 9,258 %;

Glühverlust über 99° = 0,3549 g = 7,246 %.

19. Versuch. (Zur Kontrolle; das Traßmehl wurde ebenfalls vorgetrocknet).

Angew. Substanzmenge: 5,0081 g.

a) Temperatur: 99°,

Glühverlust: 0,1042 g = 2,079 %;

b) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),

Glühverlust: 0,5019 g = 10,020 %;

Glühverlust über 99° = 0,3977 g = 8,109 %.

20. Versuch. (Das Traßmehl wurde entsprechend den Traßnormen nicht vorgetrocknet).

Angew. Substanzmenge: 5,0011 g.

a) Temperatur: 99°,

Glühverlust: 0,1211 g = 2,421 %;

b) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),

Glühverlust: 0,4802 g = 9,602 %;

Glühverlust über 99° = 0,3591 g = 7,358 %.

21. Versuch. (Zur Kontrolle; das Traßmehl wurde ebenfalls nicht vorgetrocknet).

Angew. Substanzmenge: 5,0040 g.

a) Temperatur: 99°,

Glühverlust: 0,1120 g = 2,240 %;

b) Temperatur: 800° (30 Min. im Gebläse),

Glühverlust: 0,5020 g = 10,032 %;

Glühverlust über 99° = 0,3900 g = 7,972 %.

Die Ergebnisse zeigen, daß auch bei frischem Material der Glühverlust nicht unbeträchtlichen Schwankungen unterworfen ist; ferner aber, daß man folgende Punkte bei der Glühverlustbestimmung berücksichtigen muß, falls man überhaupt zu dem in den Normen vorgesehenen Glühverlust von 7 % gelangen soll.

1. Das Material darf nicht zu lange gelagert haben, da sonst auch Tuffsteine von einwandfreier Qualität einen Glühverlust von unter 7 % liefern können;

2. man wird gut daran tun, die Proben den Vorschriften gemäß genau drei Stunden auf 99° zu halten, da bei längerem Erhitzen eine kontinuierliche Wasserabgabe stattfinden kann; einer Vortrocknung bedarf es nicht, vielmehr können die Proben gleich auf 99° gebracht werden.

Im übrigen aber ist die Wasserbestimmung über 99°, die lediglich den praktischen Bedürfnissen Rechnung tragen soll und wegen ihrer leichten Ausführbarkeit auch in der Praxis allgemein gehandhabt wird, sehr wohl geeignet, einen Maßstab für die Qualität der guten Traßsorten speziell des Nette- und Brohltales zu geben und Verfälschungen durch den minderwertigen Bergtraß ohne weiteres zu erkennen. Ob eine Bewertung anderer Traßvorkommen einzig und allein nach dem Wassergehalt zulässig ist, muß dahingestellt bleiben.

Kleinere Mitteilungen

Erwiderung auf das Referat des Prof. Gary über das Werk: J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin 1911, in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Nr. 18, 1912, S. 726.

Einen unbeabsichtigten, aber gerade deshalb bezeichnenden Beitrag zu der in dem Aufsatz: Theorie und Praxis der bautechnischen Gesteinsprüfung (Seite 1 dieses Heftes) erörterten Frage hinsichtlich der Reformbedürftigkeit der betreffenden Abteilungen an den Materialprüfungsanstalten liefern die Ausführungen des Herrn Gary in dem vorgenannten Referat.

Obgleich Herr G. kein Hehl daraus macht, daß er der mineralogisch-geologischen Wissenschaft gänzlich fern steht, glaubt er andererseits den Standpunkt vertreten zu sollen, daß die Einführung der von jener Wissenschaft gelieferten Methoden in die praktische Gesteinsprüfung durchaus entbehrlich sei.

Die Verkennung der Notwendigkeit einer wissenschaftlichen Ausgestaltung des in Rede stehenden Prüfungsverfahrens bildet denn auch den Grundton des betreffenden Referats, und da die prinzipielle Seite dieser Frage bereits in dem Aufsatz Seite 1 dieses Heftes eingehend behandelt worden ist, so sollen hier im wesentlichen nur die Einwendungen des Ref. hinsichtlich der vorgeschlagenen mechanisch-technischen Methoden kurz erörtert werden.

1. Obgleich Ref. anerkennt „daß zweifellos erst nach sorgfältiger Untersuchung des Steinbruchs und aller darin vorkommenden Gesteinsarten und Schichten ein Schluß auf die Güte der gesamten nutzbaren Förderung gezogen werden kann“, eine Untersuchung, wie sie für die Auswahl des der mechanischen Prüfung zu unterziehenden Materials unbedingtes Erfordernis ist, spricht er die Ansicht aus, daß „die hierfür gegebene Anleitung nur in seltenen Fällen praktische Verwendung finden könne, da eine solche Untersuchung dem Steinbruchbesitzer zu hohe Opfer an Zeit und Geld auferlegt“. Darauf ist zu erwidern, daß, wenn nur in der gedachten Weise eine Beurteilung des gefördertsten Gesteinsmaterials möglich ist, die Unterlassung der betreffenden Untersuchung

und demgemäß die mechanische Prüfung an willkürlich ausgewählten Probestücken notwendigerweise zu völlig unzutreffenden Ergebnissen führen muß. Übrigens sind unsere technischen Betriebe gewohnt, für ein einzelnes fachwissenschaftliches Gutachten von autoritativer Seite den 10- und 20fachen Betrag der jeweilig vorgeschriebenen Gebühren für Gesteinsprüfungen zu gewähren, und sie werden, abgesehen von den kleinen Förderungen für den lokalen Bedarf, gern ein Mehrfaches dieser Gebühren zahlen, wenn sie damit ein Zeugnis erhalten, das eventl. den Betrieb ihres Unternehmens und dessen Konkurrenzfähigkeit sicher stellt, was bekanntlich für die gegenwärtigen Prüfungszeugnisse, mangels ihrer Anerkennung in den Kreisen der Bautechniker, nicht zutrifft.

2. Der Hinweis darauf, in welchem Maße eine unsachgemäße Bearbeitung der Probekörper das Resultat der Festigkeitsprüfung zu beeinträchtigen vermag, durfte in einem Handbuch der Gesteinsprüfung nicht fehlen. Und wenn hierbei zur Erklärung Beispiele der Ergebnisse der Berliner Versuchsanstalt aus den Betriebsjahren 1892/95 angeführt werden, so geschah dies, weil nachweisbar in jener Zeit unsachgemäß bearbeitete Würfel zur Prüfung herangezogen worden sind. In den von dem Ref. veröffentlichten Prüfungsergebnissen, Jahrgang 1897, heißt es Seite 47: „Die Herstellung der Würfel wurde früher zum größten Teil außerhalb der Versuchsanstalt vorgenommen, die Druckflächen sind indessen in allen Fällen auf der Diamant-hobelmaschine oder mit Feinschmirgel auf der Schleifscheibe nachgearbeitet und völlig eben und nach Möglichkeit (!) parallel gestaltet worden.“

Die unzulängliche Herrichtung der Proben geschah also noch bis 1896. Aber es handelt sich hierbei nicht nur um würfelförmige Probekörper, sondern auch um solche für die Zugfestigkeitsprüfung. Diese werden auch heute noch in den Prüfungsanstalten in der bekannten 8 Form verwendet, eine Form, welche mit den dort verfügbaren Schneidemaschinen nicht herstellbar ist und deshalb mit Handwerkszeug bearbeitet werden muß. Es ist für Zugversuche diesseits eine Form in Vorschlag gebracht worden, welche sich mittels des Diamantschneidegatters leicht herstellen läßt. Aber

auch für die Anfertigung solcher Probekörper besitzt das Prüfungsamt Lichterfelde scheinbar auch heute noch keine angemessene Einrichtung und nahm deshalb vor 1 $\frac{1}{2}$ Jahren die Gefälligkeit des diesseitigen Instituts in Anspruch, wobei übrigens ein für derartige Versuche völlig ungeeigneter Gesteinsblock eingeliefert wurde.

Endlich ist es mir bekannt, daß namhafte Prüfungsanstalten erst in neuester Zeit zur Anschaffung zweckentsprechender Diamantschneidemaschinen sich entschlossen haben.

Wie bringt es nun der Ref. mit seiner Kenntnis der Verhältnisse und mit seinen eigenen Veröffentlichungen in Einklang, zu schreiben: „Von dem Verfasser eines Buches, wie des vorliegenden, der in Berlin seinen Wohnsitz hat, hätte man wohl eine bessere Information erwarten dürfen, die ihm gezeigt hätte, daß bereits seit Jahrzehnten (sic!) in den Materialprüfungsämtern Probestücke mittels Diamantsägen aus den eingereichten Blöcken herausgeschnitten werden, ganz in der Weise, die er als empfehlenswert bezeichnet.“

3. Was die Abnutzungsprüfungen betrifft, so sind mir die Mängel derselben hinreichend bekannt. Für die Prüfung von Pflastermaterial gebe ich denselben, wie auch andere Fachleute, immer noch den Vorzug vor der Prüfung mit dem Sandstrahlgebläse, das die weichen Gemengteile der Gesteine in einer Weise ausnagt, wie es bei der Beanspruchung der Straßendecken niemals vorkommt, da bei diesen die härteren Rippen unter der Last der Fuhrwerke ebenfalls zermalmt werden.

4. Die Bestimmung der Wasserverteilung der geschichteten Gesteine geschieht durch Feststellung der Wasseraufnahme von der Fläche bezw. der Querfläche mittels der Wage. In welcher Weise hierbei „das subjektive Empfinden des Beobachters“ von Einfluß sein soll, ist ganz unerfindlich.

5. Die Untersuchungen mittels des Mikroskops sollen, wie der Ref. meint, „in der Hand des Gelehrten (!) zweifellos wertvolle Aufschlüsse über den inneren Aufbau der Gesteine zu geben vermögen“. (Weshalb nicht auch in der Hand des fachmännisch geschulten Prüfungsbeamten? Man vergleiche die vortrefflichen Arbeiten in der Abteilung für Metallprüfung). „Für die Praxis wird aber der einfache Gefriersversuch in Verbindung mit der Festigkeitsprüfung, die beide ohne hohen Zeit- und Kostenaufwand ausgeführt werden können, seinen Wert (nämlich für die Wetterbeständigkeitsbestimmung) behalten.“

Sollten denn die Beamten der Abteilungen für Gesteinsprüfung so ganz ohne jede Fachbildung sein, daß sie sich die Methoden der mikroskopischen Untersuchung der Gesteine nicht anzueignen ver-

mögen, wenn dieselbe wirklich „von hohem Werte“ ist, und glaubt der Ref. denn in der Tat, daß die Wetterbeständigkeit der Gesteine lediglich auf ihrer Frostbeständigkeit beruht? Dann müßte man allerdings annehmen, daß die zahlreichen und umfassenden Arbeiten über die Verwitterung der Gesteine, deren Ergebnisse längst Gemeingut aller Fachleute geworden, an den Vertretern der Materialprüfungsanstalten spurlos vorübergegangen sind.

6. Von der Bestimmung des „Sättigungskoeffizienten“ meint der Ref., daß die bezügliche Methode „Versuche, welche zahlenmäßige Unterlagen liefern“, nicht ersetzen könne. Der Sättigungskoeffizient als Quotient aus der Wasseraufnahme unter gewöhnlichem Druck und derjenigen im Kompressor unter 150 Atm. stellt aber ein ebenso zahlenmäßiges Resultat dar, wie der bei der experimentellen Frostprüfung erhaltene Quotient aus der Druckfestigkeit des wassergelagerten Gesteins vor und nach dem Gefrieren desselben. Es ist daher nicht zu erkennen, welchen Sinn die obige Bemerkung haben soll.

7. Ref. bemängelt ferner die Beurteilung des Beständigkeitsgrades an dem Material alter Bauwerke nach dem Grade der Oberflächenverwitterung und der Auflockerung im Innern, sowie die hierauf begründete Einteilung in 6 Beständigkeitsklassen. Er meint, „man eröffnet dadurch der freien Spekulation die Tür“. Nun sehen wir einmal, welche anderen exakteren Bestimmungen er selbst in solchem Fall zur Anwendung bringt. Ref. hat behufs Begründung eines neuen Prüfungsverfahrens 24 (!) Gesteinsarten der Witterung an verschiedenen Orten ausgesetzt.

Über die beobachteten Verwitterungserscheinungen gibt er wörtlich folgendes bekannt: ¹⁾

„In Lichterfelde hat sich in den Drusen der Basaltlava schon innerhalb des ersten Jahres Moos angesiedelt, an den anderen Orten nicht, dagegen sind Moose auf dem Weibern-Tuff und der Nördlinger Brekzie in Ruhrort aufgetreten, an den drei anderen Orten aber nicht.“

„Der Fichtelgebirgsdiabas weist an einer roh bearbeiteten Fläche an drei Lagerungsstellen braune Flecken auf, nur auf dem Brocken nicht.“

„Der pentelische Marmor hat an drei Orten unregelmäßig verteilte gelbe, braune und grüne Flecken erlitten, nur in Ruhrort nicht.“

„Der Lauterecker und der Kudowaer Sandstein zeigen in Lichterfelde wolkige Grünfärbung, die an anderen Orten nicht aufgetreten ist.“

¹⁾ Protokoll der 12. Hauptversammlung des Deutschen Verbandes für die Materialprüfung der Technik, Düsseldorf 1911.

„Der Weiberner Tuff hat in Lichterfelde und Hörnum starke Dunkelfärbung und einzelne Absplitterungen erlitten, auf dem Brocken ist er unversehrt geblieben“ usw.

Darauf beschränken sich die ganzen Feststellungen. Dann wird hinzugefügt: „Die Beobachtungen lassen schon jetzt erkennen, daß der Standort der Gesteine (je ein Probestück!) für deren Haltbarkeit von ganz ausschlaggebender Bedeutung ist. Hoffentlich gelingt es mit der Zeit, soviel Beobachtungsmaterial zu sammeln, daß der Ausschluß seinem Ziele (nämlich, auf Grund der Beobachtungen an 24 Gesteinsarten ein neues Prüfungsverfahren zu begründen, der Verf.) bald näher rückt.“

Und nun vergleiche man mit diesen Bestimmungen des Verwitterungsgrades die von dem Ref. bemängelten, nach einem detaillierten Schema ausgeführten Feststellungen, wie sie bei der Beurteilung des Materials von 1050 älteren Bauwerken diesseits zur Veröffentlichung gelangt sind, und dann entscheide man darüber, welche Methode „der freien Spekulation“ am meisten Vorschub leistet!

8. Das Handbuch bildet die Neubearbeitung des Werkes: „Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit, Berlin 1908,“ welches letztere seiner Aufgabe gemäß in weit geringerem Grade als das vorliegende Werk die Bedürfnisse des Praktikers berücksichtigte, trotzdem aber von dem Ministerium der öffentlichen Arbeiten in mehreren hundert Exemplaren für die Beamten der Bau- und Eisenbahnbehörden angeschafft worden ist, während der Rest der Auflage innerhalb Jahresfrist von den privaten Bau- und Steinbruchbetrieben vergriffen wurde. Trotzdem behauptet der Ref., ohne den umfangreicheren, soeben erschienenen II. Teil abzuwarten, welcher die systematische Ausführung der Prüfung an den einzelnen Gesteinsarten enthält, „daß es kein Buch sei, welches etwa geeignet ist, den Steinbruchbesitzern oder Baubeamten die von ihnen gewünschten Aufschlüsse zu geben.“

Die hierfür maßgebenden Kreise denken freilich anders, und welchen Wert dieselben den wissenschaftlichen Prüfungsmethoden gegenüber denen des Materialprüfungsamtes beilegen, geht zur Genüge aus der Tatsache hervor, daß dem mineralogisch-geologischen Institut Anträge von Behörden und Privaten auf Untersuchung von Baugesteinen in solcher Zahl zugehen, daß die privaten Anträge, wie bereits an anderer Stelle bemerkt worden ist, bisher ständig abgelehnt werden mußten.

J. Hirschwald

Über Traßmörtel-Mischungen und deren Wasserauslaugung (Vorläufige Mitteilung).

Die von Prof. van der Kloes aufgeworfene Frage nach der zweckmäßigen Zusammensetzung des Traßmörtels hat bisher eine allseitig befriedigende Lösung nicht gefunden. Während nach Hambloch die in Deutschland übliche Mischung von $\frac{2}{3}$ —1 Raumteil Fettkalkteig auf 1 Raumteil Traß und $1\frac{1}{4}$ Sand sich nach langjährigen Erfahrungen für Bauten unter Wasser gut bewährt hat, empfiehlt v. d. Kloes eine Mischung von 1 Teil Fettkalkteig auf 3 Teile Traß und 4 Teile Sand, und beruft sich auf zahlreiche Beispiele, in denen die kalkreicheren und sandärmeren Mörtel fortdauernd starke Auslaugungen von Kalkhydrat erlitten haben.

Wenn die bisherige Auffassung richtig ist, daß bei der Erhärtung des Traßmörtels eine chemische Bindung des Kalkes, sei es durch im Traß angeblich vorhandene aktionsfähige Kieselsäure, oder durch die darin vorkommenden leicht zersetzbaren Silikate stattfindet, dann wäre diejenige Mischung als die normale zu bezeichnen, bei welcher der Kalkgehalt nicht größer ist, als es der Bindungsfähigkeit der Kieselsäure bzw. der zersetzbaren Silikate entspricht. Von einem solchen Mörtel dürfte, gleichviel welche Eigenschaften er sonst besäße, angenommen werden, daß er frei von Kalkauswitterungen sich erweisen würde.

Um über die in Rede stehenden Bindungsverhältnisse experimentelle Daten zu erhalten, sind folgende Versuche ausgeführt worden.

Es wurden Mischungen von Kalkteig mit Traß in verschiedenen, genau bestimmten Verhältnissen hergestellt und mit diesen Mörteln kleine, poröse Tonzellen (wie sie für galvanische Elemente verwendet werden) gefüllt. Ein Teil dieser Proben wurde in Wasser gestellt, ein anderer, welcher die gleichen Mischungen enthielt, nur täglich mit Wasser befeuchtet.

Nach 3 Monaten sind die den Tonzellen entnommenen, erhärteten Mörtelzylinder langsam bei 35°C getrocknet, fein gepulvert, gesiebt und in zweifacher Weise wie folgt behandelt worden:

1,10 g des gepulverten Mörtels wurden mit 200 ccm dest. Wasser 24 Stunden im Rotationsapparat geschüttelt und der Wasserauszug analysiert;

2,10 g des gepulverten Mörtels wurden mit 200 ccm Wasser, dem $0,1\%$ Essigsäure zugesetzt worden war, in gleicher Weise behandelt.

Die zweite Versuchsreihe hatte den Zweck, zu bestimmen, welche Menge des Kalkhydrats in wasserunlösliches Karbonat umgewandelt worden ist. Es

war vorher festgestellt worden, daß bei der angewandten Verdünnung der Essigsäure das im abgebundenen Traßmörtel gebildete Kalksilikat nicht merklich angegriffen wurde. Die dieserhalb ausgeführten Analysen ergaben keine oder nicht wägbare Spuren von Kieselsäure im Auszug.

Der für die Mörtelmischungen verwandte gebrannte Kalk hatte folgende Zusammensetzung¹⁾:

CaO	96,57%
MgO	0,66 „

In Säuren unlösliche

Bestandteile	2,39 „
	<hr/> 99,62%

Zu den Versuchen wurden folgende Mörtelmischungen hergestellt:

Mischung I.

1 Raumteil gebrannter Kalk =	24,86 g
1 ¹ / ₂ „ Traß =	26,92 g

Mischung II.

1 Raumteil gebrannter Kalk =	24,86 g
1 „ Traß =	17,95 g

Mischung III.

1 Raumteil gebrannter Kalk =	24,86 g
³ / ₄ „ Traß =	13,45 g

Das Versuchsergebnis war folgendes:

A. Mischung I (kalkarm).

Anmerkung: Die Prozentzahlen des im Wasserauszuge nachgewiesenen Gehalts an Kalk und Alkalien beziehen sich durchgehend auf den Gehalt der Mörtelproben an Kalkhydrat bezw. an Traß.

1. Wasserauszug des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	5,39 „
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	0,94%

2. Wasserauszug des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	Spur
CaO	3,99%
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	1,54%

3. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	6,70 „

4. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	4,87 „

B. Mischung II (gleichartig).

1. Wasserauszug des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	Spur
CaO	4,03%
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	0,76%

2. Wasserauszug des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	3,56 „
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	1,02%

3. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	5,42 „

4. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	Spur
CaO	4,96%

C. Mischung III (kalkreich).

1. Wasserauszug des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	3,76 „
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	Spur

2. Wasserauszug des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	3,16 „
MgO	Spur
(K ₂ O + Na ₂ O)	0,99%

3. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des unter Wasser abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	0,00%
CaO	4,73 „

4. Auszug mit verdünnter Essigsäure (0,1%) des an der Luft abgebundenen Mörtels:

SiO ₂	Spur
CaO	4,54%

Die hieraus sich ergebenden z. T. überraschenden Resultate sind folgende:

1. Die kalkreichere Mörtelmischung ergibt einen geringeren Wasser- und Säureauszug an CaO als die kalkärmere Mischung;

2. Der unter Wasser abgebundene Mörtel liefert einen größeren Wasser- und Säureauszug an CaO als der an der Luft erhärtete Mörtel. Diese Differenz ist an der kalkärmeren Mischung größer als an der kalkreicheren.

3. Der Säureauszug ist um 0,9—1,4% reicher an CaO als der Wasserauszug, ein Beweis, daß während des Abbindens ein Teil des Kalks in Karbonat, welches in Wasser unlöslich ist, umgewandelt wurde.

¹⁾ Die nachfolgenden Analysen sind von dem Assistenten Dr. Herscovici ausgeführt worden.

4. Der Alkaligehalt, welcher ausschließlich dem Traß entstammt, ist in dem Wasserauszug des kalkärmeren Mörtels größer als in dem des kalkreicheren und in dem Auszug des unter Wasser abgebundenen Mörtels kleiner als in dem Auszug des an der Luft erhärteten.

Siehe auch: F. Tannhäuser, Ein Beitrag zur Petrographie des Trasses. Heft I, S. 42, 1911 dieser Zeitschrift.

Die Ergebnisse zu 1 und 2 scheinen mit unserer bisherigen Auffassung von der hydraulischen Wirkung des Traßmörtels in direktem Widerspruch zu stehen. Denn man hätte annehmen sollen, daß die kalkreichere Mischung auch einen größeren Überschuß an nicht gebundenem CaO enthalte und demgemäß einen größeren Wasser- bzw. Säureauszug ergeben würde als die kalkärmeren, während tatsächlich das Gegenteil der Fall ist.

Für die an der Luft abgebundenen Mörtel ergibt sich allerdings eine diesen Widerspruch aufhebende Erklärung aus der Struktur des erhärteten Mörtels. Obgleich nämlich die Mischung des Trasses mit dem durchaus gleichmäßigen Kalkteig unter Zusatz von wenig Wasser in einer Porzellan-Reibschale sehr sorgfältig vorgenommen worden war, zeigte das Erhärtungsprodukt der Mischung I zahlreiche 2—4 mm große, eiförmige Kalk-Konkretionen, welche in der Mischung II weniger reichlich und kleiner, in der Mischung III, der kalkreichsten, am spärlichsten und kleinsten auftreten.

Zur Erläuterung dieser Separation des Mörtelgemenges sei folgendes bemerkt: Mischt man eine in Wasser lösliche Substanz mit einem feinpulverigen in Wasser unlöslichen Stoff unter mäßigem Wasserzusatz zu einer teigartigen Masse zusammen, so findet beim Austrocknen entweder eine Effloreszenz der löslichen Substanz an der Oberfläche statt oder unter Umständen eine Ausscheidung der betreffenden Substanz in Form kleinerer oder größerer Konkretionen inmitten der austrocknenden Masse. Dieser letztere, auf Kapillarwirkung und auf Massenanziehung der kleinsten Teilchen beruhende Prozeß tritt im Mineralreich sehr häufig auf. So findet man Konkretionen von Kalkspat, Gips, Markasit, Brauneisen und Mergel (Septarien) im Ton und Lehm, von Brauneisen im Sandstein, von Kieselerde (Feuerstein) in der Kreide. Solche Konkretionen sind entweder von kristallinischer Ausbildung, oder falls amorph, meist von rundlicher Form und das letztere ist hinsichtlich der Kalkausscheidungen in dem erhärteten Traßmörtel der Fall.

Der Umstand nun, daß die in Rede stehenden Kalkkonkretionen in der kalkärmeren Mörtelmischung I bedeutend reichlicher vorhanden waren

als in den kalkreicheren Mischungen II und III, erklärt die schwächere Kalkauslaugung der letzteren.

Übrigens läßt sich erwarten, daß diese Entmischung der Mörtelbestandteile eine wesentliche Modifikation bei reichlichem Sandzusatz erfährt und es wird beabsichtigt, dieserhalb eingehendere Versuche auszuführen.

Für die unter Wasser erhärteten Mörtelproben ist die vorstehende Erklärung jedoch nicht zutreffend, da hier die Bildung von Kalk-Konkretionen vollkommen fehlt und die Mörtelmasse, auch bei Anwendung einer starken Lupe, in ihrer Struktur durchaus gleichmäßig erscheint.

Will man in diesem Fall für die in Rede stehenden Auslaugungsverhältnisse eine Erklärung geben, so kann dieselbe, bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis, nur eine hypothetische sein.

Es darf angenommen werden, daß bei reichlichem Kalkzusatz eine schnellere und vollkommene Aufschließung des Trasses eintritt und daß deshalb auch kieselreichere und schwerer zersetzbare Kalkverbindungen entstehen, als dies bei geringerem Kalkgehalt der Fall ist. Auch wäre es dankbar, daß bei stärkerer Zersetzung des Trasses in reichlicherer Menge kolloidale Substanzen entstehen, welche den Kalk bzw. die gebildeten Kalkverbindungen umhüllen und dadurch gegen die auslaugende Wirkung des Wassers schützen.

Aber alle diese Verhältnisse bedürfen noch einer eingehenden und umfassenden experimentellen Erforschung, und wenn trotzdem die vorstehenden fragmentarischen Untersuchungsergebnisse hier mitgeteilt werden, so geschieht es lediglich, um darauf hinzuweisen, wie lückenhaft unsere Kenntnis auf dem betreffenden Gebiet zurzeit noch ist, und wie ratsam es erscheint, alle theoretischen Diskussionen über normale Mörtelmischungen so lange zurückzustellen, bis eine erschöpfende wissenschaftliche Grundlage für die sachgemäße Beurteilung der einschlägigen Fragen gewonnen sein wird. Dabei dürfen aber auch die Erfahrungen der Bautechniker nicht unbeachtet bleiben, zumal die Gleichmäßigkeit der Mörtelmischung, — welche in der Praxis niemals bis zu dem Grade erreichbar sein wird wie bei den im kleinen ausgeführten Laboratoriumsversuchen, — auf den Abbindungsprozeß von erheblichem Einfluß ist. Als sehr wünschenswert muß es daher bezeichnet werden, daß bei der Sammlung des praktischen Beobachtungsmaterials auch auf die Feststellung der mehr oder weniger gleichmäßigen strukturellen Zusammensetzung der erhärteten Mörtelsubstanz gebührend Rücksicht genommen wird.

J. Hirschwald



Biblioteka PK

J.X.46

/ 1911

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300777