

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

L. inv.

4737



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298993

Die
abgekürzte Wetterbeständigkeits-
probe der natürlichen Bausteine.



Die
abgekürzte Wetterbeständigkeitsprobe
der
natürlichen Bausteine,

mit besonderer Berücksichtigung der
Sandsteine, namentlich der Wesersandsteine

von

Professor Dr. Heinrich Seipp,
Ingenieur und Kgl. Baugewerkschul-Direktor.

F. Nr. 26 430



Frankfurt a. M.

Verlag von Heinrich Keller.

1905.

9.18

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.



114737

Dem

**Internationalen Verband für die Material-
prüfungen der Technik**

zugeeignet.

V o r w o r t.

Außerordentlich und hochehrfreulich ist die Entwicklung, die das moderne Materialprüfungswesen — ein echtes Kind unserer Zeit! — seit seiner eigentlichen Begründung (wenigstens für Deutschland) durch Bauschinger, erfahren hat und noch fortdauernd erfährt. Am spätesten und langsamsten hat dabei die Forschung, unter allen Zweigen ihres ausgedehnten Gebietes, wohl der Wetterbeständigkeitsprüfung der Bausteine sich bemächtigt, um endlich auch hier dem Praktiker schon vor der Verwertung der Materialien ein Urteil über deren mutmaßliches Verhalten während ihrer Verwendung an die Hand zu geben. Die Ursache zu diesem langsameren Fortschreiten nach der genannten Richtung hin ist eine doppelte, nahe genug liegende. Erstlich mochten gar manche andere Untersuchungen, obenan die Festigkeitsprüfungen, meistens dringlicher erschienen sein als die Wetterbeständigkeitsprobe. Hängt doch von den Ergebnissen jener z. B. die Dimensionierung und damit der Materialbedarf und Kostenbetrag und noch mancherlei anderes, in letzter Linie sogar die Formgebung, ab! Also bis auf das ästhetische Gebiet erstreckt sich der Nutzen solcher Festigkeitsprüfungen. Freilich ist es gerade jenes Gebiet, das andererseits auch wieder auf die Notwendigkeit der Wetterbeständigkeitsprüfungen gebieterisch hinweist. Welches nur halbwegs gebildete Auge wäre nicht schon von gelindem ästhetischem Ekel erfaßt worden beim An-

blick jener Fassaden, die bei ihren beginnenden oder fortgeschrittenen Wetterschäden und ihrem Verfall an Farbe und sonstiger Flächenbeschaffenheit nur noch Schattenbilder der einst gewollten und vor nicht langer Zeit noch gewesenen Herrlichkeit sind! Aber jede, noch so geringe, Einbuße an Farbe, Korn, Glanz, Lüster und allem Verwandten infolge der Verwitterung kommt unabweisbar einer Trübung des Materialcharakters und damit der vom Architekten feinfühlig beabsichtigten Wirkung gleich. Der zweite Grund zu jener langsameren Entwicklung der Wetterbeständigkeitsforschung ist in den ihr eigenen, besonderen Schwierigkeiten zu suchen, die von der Inangriffnahme der erforderlichen Aufgaben und Arbeiten wohl abhalten konnten und tatsächlich jedenfalls abgehalten haben. Die Schaffung einer exakt-zahlenmäßigen Grundlage für den Gang der Untersuchung ist eben hier besonders schwierig und heikel. Im gleichen Maße wünschenswert wäre darum auch die Mitarbeit vieler, um — viribus unitis — erfolgreicher und schneller dem erstrebten Ziele allmählich sich nähern zu können. Aber auch in dieser Hinsicht ist die Wetterbeständigkeitsforschung und sogar von seiten des „Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“, ungeachtet seiner Verdienste, im Vergleich zu dessen übrigen Arbeiten, wie mir scheinen will, etwas zu kurz gekommen. Als ein Hauptverdienst der vom genannten Verband für die Bearbeitung der Wetterbeständigkeitsfrage eingesetzten Kommission 7 betrachte ich die scharfe Fixierung des Problems für den Internationalen Kongreß in Zürich 1895. Ein zweites liegt natürlich in der ständigen Anregung, die von der Kommission ausgegangen ist. Auf sie habe ich auch die Entschließung zu meinen eigenen, seit jener Zeit mit erneutem Eifer in Angriff genommenen Untersuchungen und deren stetige Weiterführung dankbar zurückzuleiten. Im gleichen Sinne sehe ich endlich die vorliegende Schrift an, die einen weiteren kleinen Beitrag zur Lösung des Wetterbeständigkeitsproblems liefern soll. Ihr Inhalt umfaßt, kurz gesagt, im wesentlichen die Behandlung der folgenden zwei Aufgaben:

1. Werden in der Arbeit „neue Vorschläge“ für die „**abgekürzte** Wetterbeständigkeitsprüfung“, an der ja der Praktiker ein ganz besonderes Interesse haben muß, abgeleitet, und
2. wird darin gleichzeitig zum erstenmal eine vollständige exakte Wetterbeständigkeitsprüfung an einer der wichtigsten Gruppen der natürlichen Bausteine, nämlich an der der Sandsteine, oder wenigstens besonders wichtiger Repräsentanten derselben, durchgeführt. Insofern bildet die vorliegende Arbeit ein Seitenstück zu meiner früheren über die Dachschiefer.

Die Bedeutung und Tragweite der Wetterbeständigkeitsforschung bedarf heutigen Tages keiner Begründung mehr. Die Notwendigkeit ihrer Pflege und ihres Ausbaues scheint an den maßgebenden Stellen sicher erkannt worden zu sein und das Interesse an diesem eigenartigen Forschungsgebiet erfaßt ersichtlich immer weitere Kreise. Mehr aber noch vielleicht als für die Gegenwart wird es sich für die Zukunft als ein Hauptfeld wissenschaftlicher und praktischer Betätigung erweisen. Aus beiden Gründen hoffe ich auf eine freundliche Aufnahme meiner Arbeit bei allen, die mit dem Material der natürlichen Bausteine in ihrem Berufe zu tun haben, also bei den entwerfenden und ausführenden Architekten und Ingenieuren sowie den Spezialisten der Steinindustrie: den Steinbruchbesitzern, Steinmetzen und Bildhauern; ferner bei den bauenden und bauüberwachenden Behörden, den Materialprüfungsanstalten usw. usw. Möge die Arbeit sich dem Praktiker praktisch-verwertbar, dem Theoretiker theoretisch-anregend erweisen! Für beide ward sie geschrieben.

Bezüglich der Tafeln des Werkes sei bemerkt, daß deren Abbildungen mit dem mikrophotographischen Apparat der Kgl. Baugewerkschule zu Buxtehude (die ich während des Sommers 1902 geleitet habe) hergestellt worden sind und zwar die 16 Abbildungen der Tafeln IV, V und VI von mir selbst, 8 Abbildungen der Tafeln III und VII von Herrn Oberlehrer Schwarz in Buxtehude nach meiner Anleitung. Ihm spreche ich auch an dieser

Stelle meinen Dank aus. Die Abbildung 1, Tafel III, ist mit freundlicher Zustimmung des Verlegers meines früheren Werkes: „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine etc.“, Herrn Costenoble in Berlin, jener Publikation entnommen. Zur Ausführung der mikroskopischen Arbeiten sind außerdem noch Instrumente der Herren Professor Dr. Kreuschmar und Dr. med. Tigges in Barmen benutzt worden, die mir freundlichst leihweise überlassen worden waren. Ganz besonderen, wärmsten Dank schulde ich für die tatkräftige Unterstützung meiner Bestrebungen dem Vorstand des „Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“, insbesondere dem hochverdienten und verehrten Präsidenten dieser Vereinigung, dem leider ihr und der Wissenschaft durch den Tod kürzlich zu früh entrissenen Professor Hofrat v. Tetmajer. Mit besonderem, tiefgefühltem Danke habe ich sodann des verdienstvollen, verehrten Obmanns der Kommission 7 des Verbands, des Herrn Professors Baurat A. Hanisch in Wien, zu gedenken, dessen liebenswürdigen, uneigennütigen Entgegenkommens im Text gebührend Erwähnung geschehen wird. Meinen Dank spreche ich ferner aus der Abteilung für Baumaterialprüfung des Königlichen Materialprüfungsamtes in Groß-Lichterfelde West für die schwierige Herstellung des Quarzitprobenplättchens (vergleiche S. 68 dieses Buches) mittelst der Diamantsäge, sowie allen denen, die mir noch sonst helfend zur Seite gestanden haben, ohne daß ich sie alle einzeln hier namhaft machen könnte; endlich der Verlagsbuchhandlung, die allen meinen Wünschen betreffs Ausstattung des Buches bereitwilligst entgegengekommen ist und ebenso der Kgl. Hofkunstanstalt für Lichtdruck von M. Rommel & Co. in Stuttgart, der Kgl. Universitäts-Druckerei von H. Stürtz in Würzburg, und der Firma C. Closheim in Frankfurt a. M., die alles aufgeboten haben, Bildwerk und Druck würdig zu gestalten.

Die Textfiguren sind in Zinkätzung, die Tafelabbildungen in Lichtdruck ausgeführt, mit Ausnahme der Tafel II, die auf dem Wege der Lithographie hergestellt worden ist.

Eine, erst nach fast beendigter Drucklegung dieser Arbeit vorgenommene pyknoskopische Prüfung der Sandstein-

Probepplatten 3—II, S. 67 d. B., lieferte, bis auf die Nörter Platte, durchweg ein negatives Ergebnis. Das „Röntgen-Bild“ der letzteren dagegen zeigte ganz deutlich (als dunklere Schattenbilder) die durch Kalksubstanz gedichteten Stellen, insbesondere den kalkigen Einschluß, Abbildung 5 (vgl. auch S. 84 d. B.).

Zum Schluß muß hier noch die Bemerkung Platz finden, daß, wie ich erst während des Druckes dieser Blätter erfahren habe, von der Firma Ströhlein & Co. („Glasbläserei und Lager chemischer, physikalischer, technischer Apparate und Gerätschaften“) in Düsseldorf ein fast $2\frac{3}{4}$ mal so engmaschiges Messingdrahtgewebe (Nr. 250) bezogen werden kann, als das auf S. 29 dieses Buches erwähnte. Ein solches würde allerdings der dort gestellten Forderung wohl in den meisten Fällen genügen. — Zur Trennung der Kieselsäure-Kristalle von den Sandkörnern durch Levigation in einem Flüssigkeits- oder Gasstrom (s. S. 28 d. B.) dient einer der gebräuchlichen Apparate.

Kattowitz i. O.-Schlesien, im Mai 1905.

Seipp.

Inhalts-Übersicht.

	Seite
Abschnitt I.	
Einleitung. Übersicht der wichtigeren Wesersandsteine . . .	I
Abschnitt II.	
Petrographische Charakterisierung der zu prüfenden Sandsteinsorten	12
A. Die physikalischen Prüfungen, einschließlich der Festigkeitserhebungen	13
1. Porosität, spez. Gewicht	14
2. Die Druckfestigkeitszahlen.	20
B. Die chemische Untersuchung	20
C. Die mikroskopische Untersuchung	31
1. Carrara-Marmor.	31
2. Quarzit von Weißenstein	31
3. Obernkircher Sandstein	32
4. Wrexer Sandstein.	34
5. Mehler Sandstein	35
6. Osterwalder Sandstein	37
7. Hardegser Sandstein.	38
8. Nörter Sandstein	39
9. Stadtoldendorfer Sandstein	41
10. Hilssandstein	42
11. „Sandstein von Essen“, frisch	43
12. „Sandstein von Essen“, verwittert	45
13. „Odenwald-Syenit“.	46
Anhang (Staudernheimer Sandstein).	47
Abschnitt III.	
Künstliche Verwitterungsproben	48
A. Der Frostversuch	48
B. Der künstliche oder abgekürzte Wetterbeständigkeitsversuch oder die obligatorische Agentienprobe	65
1. Der Versuchsapparat	65
2. Die Ausführung des Versuchs	70
3. Die Versuchsergebnisse	81

C. Verbindung der Ergebnisse des Frostversuchs und der obligatorischen Agentienprobe sowie der petrographischen Untersuchung. Endbewertung der Steinsorten	Seite 86
--	-------------

Abschnitt IV.

Vorschläge zu einer künftigen verbesserten künstlichen (abgekürzten) Wetterbeständigkeitsprobe für natürliche Bausteine	106
1. Die Frostprobe	107
2. Die obligatorische Agentienwirkung	109

Abschnitt V.

Schlußwort	116
5 Tabellen.	123
Erklärendes Verzeichnis der Tafeln	139
12 Tafeln	I—XII

Abschnitt I.

Einleitung. Übersicht der wichtigeren Wesersandsteine.

Der Sandstein gehört vermöge seiner großen Verbreitung und weitgehenden Verwendungsfähigkeit zu den wichtigsten, geschätztesten und häufigst verwandten Bausteinen. Seine Verbreitung ist größtenteils zurückzuführen auf sein Vorkommen in den meisten Gliedern der geologischen Formationsreihe. Seine vielseitige und ausgezeichnete Verwendungsfähigkeit als Bruch-, Hau- und Skulpturenstein bis zum feineren Statuar, als Fliesenmaterial, (bei kieseligen Sorten) als Mühlstein, Schleifstein und Pflasterstein beruht auf seiner petrographischen Eigenart und seinen Strukturverhältnissen. Ein Quarzgestein (in der Regel), läßt er sich doch nach Maßgabe seiner Bindemittelbeschaffenheit verhältnismäßig leicht bearbeiten. Durch die meistens vorhandene große Gleichmäßigkeit dieses Bindemittels sowie der Quarzkörner ist eine zweite Hauptbedingung für eine hohe Meißelbearbeitungsfähigkeit bei ihm erfüllt. Die Zahl der Sandsteinbrüche und ihre Jahresausbeute sind ungemein groß. Kein anderer Baustein kann sich in dieser Hinsicht entfernt mit dem Sandstein vergleichen. Entsprechend groß ist denn auch die Zahl der Bauausführungen mannigfachster Art aus Sandstein von den ältesten Zeiten des Mittelalters bis auf den heutigen Tag gewesen.

Insonderheit gehört für einen großen Teil Norddeutschlands der Wesersandstein zu den wichtigsten Bausteinen. Völlig

unersetzlich ist er naturgemäß für das mittlere Westdeutschland, wertgeschätzt und nicht selten verwandt sogar im Ausland (Holland, Dänemark, Rußland).

Unter dem Namen „Wesersandstein“ werden hier alle Sandsteine zusammengefaßt, die den, den oberen und mittleren Weserlauf — etwa von Münden (Hann.) bis Minden (Westf.) — beiderseitig umlagernden Gebirgslandschaften entstammen. Es sind also — neben noch manchen anderen — namentlich folgende Hauptsandsteinsorten hierher zu zählen:

1. Der Sandstein von Carlsdorf, Gegend von Hofgeismar, Provinz Hessen-Nassau, der Buntsandsteinformation angehörig.

2. Der Sollingsandstein, das Material des Sollingplateaus, der Buntsandsteinformation angehörig, dessen Fundorte vorzugsweise in der preußischen Provinz Hannover und im Herzogtum Braunschweig gelegen sind. Dahin gehören die Sandsteine von Carlshafen a. d. W. und Trendelburg, noch in der Provinz Hessen-Nassau gelegen, von Hardeggen an der Bahnlinie Carlshafen-Northeim und dem nicht sehr fernen Nörten, beide in der Provinz Hannover; ferner von Dassel (Endpunkt der Bahnlinie Dassel-Salzderhelden) in der Provinz Hannover, aus den Sollingtälern der Rotminde (Fürstenberg b. Höxter) und der Holzminde (Pipping bei Holzminden), von Stadtoldendorf an der Eisenbahnlinie Holzminden—Kreiensen, von Eschershausen und Heyerberg b. Heyen im Emmetal, aus dem Forstbachtal bei Negenborn und Amelunxborn, unweit Stadtoldendorf. Sämtliche Vorkommen vom Fürstenberger Stein bis zum Amelunxborner gehören dem Herzogtum Braunschweig an.

3. Der Hilssandstein, das Material des Hilsgebirges im Herzogtum Braunschweig, bei Dorf Stroit, Bahnstation Naensen der Strecke Holzminden-Kreiensen, gehört der Kreideformation (dem Neokom) an.

4. Thüster Sandstein vom Thüster Berg, östlich vom Ithgebirge in der Provinz Hannover, der Juraformation (dem obersten weißen Jura) angehörig.

5. Der Osterwalder und Mehler Sandstein vom Osterwald bei Osterwald bzw. Mehle, nahe der Bahnlinie

Coppenbrügge-Elze in der Provinz Hannover, der Wealdenformation angehörig.

6. Der Nesselberger Sandstein vom Nesselberg bei Altenhagen (Fortsetzung der Osterwalder Höhen), unweit Springe in der Provinz Hannover, zur Wealdenformation gehörig.

7. Der Deistersandstein von Bredenbeck am Ostabhang des Deistergebirges in der Provinz Hannover, der Wealdenformation angehörig.

8. Der Süntel-Sandstein vom Süntelgebirge bei Münden a. D. in der Provinz Hannover, der Wealdenformation (dem Jura) angehörig.

9. Der Obernkircher oder Bückeberger Sandstein, auch als Bremer Sandstein (vorwiegend) bezeichnet, vom Bückeberge im östlichen Teil der eigentlichen Wesergebirgskette, östlich von Bückeburg, unweit Obernkirchen, in der Provinz Hessen-Nassau, der Wealdenformation angehörig.

10. Der Portaer Sandstein von Porta nahe Hausberge, unweit der Porta Westfalica in der Provinz Westfalen, die westliche und östliche Weserkette voneinander scheidet, der Juraformation (dem Dogger oder braunen Jura) angehörig.

11. Der Ibbenbüerer Sandstein von Ibbenbüren in der Provinz Westfalen, am westlichsten Ende der westlichen Weserkette, der Steinkohlenformation angehörig.

12. Der Teutoburger-Wald-Sandstein, wozu auch der Sandstein der Externsteine bei Horn und der von der Grotenburg unweit Detmold zählen, der Kreideformation (dem Neokom) angehörig. Herzogtum Lippe-Detmold und Provinz Westfalen. Endlich kann allenfalls noch zu den Wesersandsteinen gerechnet werden:

13. Der Wrexer Sandstein von Wrexen im Fürstentum Waldeck, der Buntsandsteinformation zugehörig, obschon seine Fundstätte schon ziemlich weitab vom eigentlichen Wesergebiet gelegen ist.

Die vorstehende, gedrängte und keineswegs erschöpfende Aufzählung bestätigt, zugleich schon für einen Bezirk von nicht

allzugroßer Ausdehnung, das Vorkommen des Sandsteins in den verschiedensten geologischen Formationen.

Erheblich ist die Mannigfaltigkeit allein schon der Wesersandsteine hinsichtlich ihrer physikalisch-chemisch-technischen Eigenschaften, hinsichtlich Farbe, Bindemittelbeschaffenheit, Wasseraufsaugung, Festigkeit, Wetterbeständigkeit usw. Manches über diese Punkte ist, auch bei den anderen Sandsteinsorten, hinreichend bekannt. Über vieles jedoch, ja über das meiste liegt unsere Kenntnis noch sehr im argen. Bekannt sind die für die wichtigeren Sandsteinsorten in Betracht kommenden allgemeinen geologischen Verhältnisse. Was noch fehlt, ist ein gründliches örtlich-monographisches, petrographisch- und architektonisch-geologisches Eingehen auf diese Verhältnisse, eine vollständige „Steinbruchgeologie“ der Sandsteingebiete, sowie eine umfassende Schilderung ihrer steinindustriellen Betriebe nach deren Einrichtungen, ihrer Ausbeute, ihrem Absatz usw. Über die notwendigsten Festigkeitsangaben für die meisten Sandsteinsorten verfügt man (für viele fehlen sie noch); über ihre Bindemittelbeschaffenheit aber sind wir meist ganz im Dunkeln oder auf viel zu allgemeine Angaben angewiesen. Auf dem Gebiete der Wetterbeständigkeitsprüfung gar ist noch so gut wie nichts geschehen, was freilich ebenso auch für alle übrigen Bausteine — mit Ausnahme der Dachschiefer — gilt. Diese Sachlage hat zur vorliegenden Arbeit mit den Anstoß gegeben; insbesondere hielt ich es an der Zeit, endlich einmal der Wetterbeständigkeitsfrage bei den Sandsteinen in exakt-versuchsmäßiger Weise näher zu treten. Verzichten mußte ich dabei leider ganz darauf, den „natürlichen Verwitterungsversuch“ anzustellen, sowie auch nicht daran zu denken war, die geplanten „künstlichen oder abgekürzten Verwitterungsproben“ auf alle wichtigeren Sandsteinvorkommen, ja nur auf einige Hauptgruppen derselben auszudehnen. Ich mußte mich auf eine einzige Gruppe beschränken und sogar noch unter den einzelnen Sorten derselben Auswahl treffen. Ich entschied mich für die Wesersandsteine, welche ich durch mehrjährigen Aufenthalt im Wesergebiete aus eigener Anschauung in zahlreichen Verwendungsbeispielen, ebenso wie

an den Stätten ihrer Gewinnung, genauer kennen gelernt hatte. Es wurden von den oben angeführten 13 Sorten 8, die mir teils bautechnisch besonders wichtig, teils von größerem Interesse für die Prüfung zu sein schienen, herausgegriffen. Auf den folgenden Seiten 6 bis 11 dieses Buches werden zunächst einige wünschenswerte Angaben über Vorkommen und Gewinnung dieser 8 Sandsteine in Tabellenform ganz nach Art des H. Kochschen Werkes: „Die natürlichen Bausteine Deutschlands, Berlin 1892“, zusammengestellt. Dieser Zusammenstellung liegen die von den betreffenden Steinbruchbesitzern oder -pächtern selbst ausgefüllten Fragebogen zugrunde. Sodann folgt — in Abschnitt II — eine physikalisch-chemisch-petrographische Charakterisierung der 8 Sorten, soweit sie auf Grund der angestellten Untersuchungen möglich war. Hinzugenommen wurde noch eine 9. Sorte (in der Folge als „Sandstein von Essen“ bezeichnet). Endlich wurde die Arbeit noch auf 3 andere Gesteine: Carrara-Marmor, eine Quarzitsorte und „Odenwald-Syenit“ von Lindenfels, die besonders im Abschnitt III eine wichtige Rolle spielen werden, ausgedehnt. Dieser Abschnitt III endlich ist einer der wichtigsten Aufgaben dieser Arbeit, der Wetterbeständigkeitsprüfung der 9 Sandsteine, gewidmet. Das Hauptergebnis der Arbeit jedoch ist im Abschnitt IV enthalten: die Anleitung zu einer künftigen verbesserten „künstlichen“ oder abgekürzten Wetterbeständigkeitsprobe für natürliche Bausteine.

1	2	3	4	5	6	7	8	
							Größe	
							Quader- abmessung	Schicht- stärke
Laufende Nr.	Fundort bezw. Bruch- stelle	Nächste Bahn- oder Schiffs- station	Name des Bruch- besitzers oder pächters	Seit wann im Betrieb	Bisherige größte Leistungs- fähigkeit im Jahre	Größte Leistungs- fähigkeit überhaupt jährlich		
1	Auf dem Bück- berge bei Ober- kirchen, Kreis Rinteln.	Osterholz, Station der Rinteln- Stadt- hagener Eisenbahn.	Obern- kirchener Sandstein- brüche G. m. b. H.	Seit über 700 Jahren.	3000 bis 4000 cbm brauchbaren Werkstein.		Länge und Breite un- begrenzt.	Von 5 bis 100 cm.
2	Wrexen, Fürsten- tum Waldeck.	Bahn- station ist Scherfede, Westf.	C. Wöllbrink.	Seit 12 Jahren.	120 Doppel- ladungen à Ladung 5,20 cbm durch- schnittlich.	Kann je nach Geschäfts- gang bis 200 Ladungen erhöht werden.	12—16 m lang, 4—7 m breit.	5,00 m hoch.

9	10	11			12	13
		Preis für das Roh- material, das cbm frei				
		Eisenbahn- wagen	Schiff bei ganzen Ladun- gen			
Zu welchen Bauzwecken verwendbar	Ausgeführte Bauwerke oder Bauteile früherer und neuerer Zeit	bis zu 10000 kg	bei Mas- sen- bezug		Zahl der im Betriebe beschäf- tigten Arbeiter	Bemer- kungen
		№	№	№		
Zu architek- tonischen und Bildhauer- Arbeiten.	In Berlin: Siegestsäule, Außen- fronten des Stadtbahnhofes Ale- xanderplatz, chem. Laboratorium der Technischen Hochschule in Charlottenburg usw. In Bremen: Das alte Rathaus (z. T. 400 Jahre alt), Stadtwage, Kornhaus, Börse, Post usw. In Cöln: Die Domtürme, die Rathausvorhalle usw. In Hamburg: Der Justizpalast, die Börse, z. T. Rathausfronten usw. In Königsberg i. Pr.: Die Börse. In Lübeck: Das Rathaus. Im Ausland: In Antwerpen: Das Rathaus. In Kopenhagen: Die Schlösser Rosenborg, Amalienborg usw. Schloß Fredensborg. In Helsingör: Schloß Kron- borg. In Amsterdam: Amsterdamer Bank u. v. a. Bauten. In Bergen (Norwegen): Die Börse. In Christiania: Das neue Theater usw. In Petersburg: Schloß Zars- koje-Selo. In Basel: Die Elisabethkirche. In Bern: Das Münster. In Baltimore: Die Kathedrale.	Je nach Dimensionen und Verwendungs- zweck.			200 bis 300 Bruch- arbeiter und Stein- hauer.	
Zu allen vor- kommenden Bauten.	Unter anderen die Kirchen: Schei- digen, Sümmern, Ostinghausen, Hillentrup b. Dörentrup, Lippe. Villa Schürhoff in Soest. Villa des Freiherrn von Bockum Dallfs in Völlinghausen. Schloß des Grafen Stolberg zu Stolberg in Borlinghausen.	34	28—30	—	Je nach Geschäfts- gang 15—25 Mann.	

1 Laufende Nr.	2 Fundort bzw. Bruchstelle	3 Nächste Bahn- oder Schiffstation	4 Name des Bruchbesitzers oder Pächters	5 Seit wann im Betrieb	6 Bisherige größte Leistungsfähigkeit im Jahre	7 Größte Leistungsfähigkeit überhaupt jährlich	8 Größte	
							Quaderabmessung	Schichtstärke
3	Mehle.	Station Mehle.	Meine & Ille mann.	Seit ca. 40 Jahren.	ca. 1000 cbm.	—	ca. 3 cbm Inhalt.	1,30 m.
4	Osterwald.	Station Osterwald.	Meine & Ille mann.	Von uns seit 12 Jahren betrieben, früher vom Fiskus betrieben.	ca. 2000 cbm.	—	3-4 cbm Inhalt.	1,50 m.
5	Hünschenburg.	Hardeggen.	J. Schonlau.	1875.	1700 cbm Bruchsteine, 100 cbm Rohmaterial, 250 cbm Werksteine.	Bis 12/8 m.	Bis zu 2,0 m.	
6	Steinbruch im Rodethal.	Bahnstation Nörten.	Franz Wenig.	1830.	300 cbm bearbeitete Werksteine.	An bearbeiteten Steinen ca. 300. — Dazu noch Rohmaterial.	4,0 m Länge und diese Breite.	Ich habe Felsen von einer Höhe von 3,0 m ohne Lager, bin also in der Lage, jede Schichthöhe zu bekommen.

9 Zu welchen Bauzwecken verwendbar	10 Ausgeführte Bauwerke oder Bauteile früherer oder neuerer Zeit	11 Preis für das Rohmaterial, das cbm frei			12 Zahl der im Betriebe beschäftigten Arbeiter	13 Bemerkungen
		Eisenbahnwagen		Schiff bei ganzen Ladungen		
		bis zu 10000 kg	bei Massenbezug			
Fassaden und Monumentalbauten.	Stadtbahnunterführungen in Berlin. Sockel zum Rathause in Braunschweig. Bahnhof in Brake i. O. Bank in Emden. Verschiedene Villen und Privatbauten, Erbbegräbnisse u. a. m.	—	—	—	ca. 40 Arbeiter	
Fassaden und Monumentalbauten.	Schloß Marienburg bei Nordstemmen. Arbeiten zum Cölnner Dom. Post in Oldenburg i. Gr. Militär-Dienst-Versicherungs-Anstalt in Hannover. Braunschw. Hannov. Hypotheken-Bank in Hannover. St. Georg-Passage in Hannover. Arbeiten zum Rathause in Hannover u. a. m.	—	—	—	ca. 60 Arbeiter	
Jeder Art.	Ertinghäuser Tunnel. Drehbrücken z. Ems-Vechte Kanal, zahlreiche Unterführungen, Durchlässe pp. bei Eisenbahnbauten. Lehrerinnenseminar Paderborn, Betr.-Amts-Geb. „ „ „ Prov.-Amts-Bauten „ „ „ Priesterseminar „ „ „ Kirchenbauten: Lippspringe, Ottenhausen, Mühlhausen. 2 Weserbrücken usw. Sodann ist aus diesem Material in früherer Zeit die alte Burg Hardeck erbaut.	30-35 pro cbm.	—	—	40-50	
Zu Hochbauzwecken und auch zu Wasserbauten.	Rhumemühle, Northeim. Kirchen in Duderstadt, Northeim, Nörten, Herzberg (Harz). Lehrerseminar Verden a. d. Aller, Northeim. Schule in Hamburg. 5 große Sandsteinfassaden für Architekten Sander & Köhler in Cassel. Insges. etwa 25 größere Privatbauten, massiv. Amtsgericht Alfeld. Proviant-Amt Osnabrück. Leichenhalle Göttingen und viele andere große Bauwerke.	pro cbm 25,00.	—	—	35 Mann. Außerdem noch 10 Steinhauer außerhalb des Steinbruchs.	Ich bin in der Lage, jedes Quantum zu liefern und garantiere für gute, saubere Ausführungen. Preise nach Übereinkunft.

1	2	3	4	5	6	7	8	
							Größe	
Laufende Nr.	Fundort bzw. Bruchstelle	Nächste Bahn- oder Schiffstation	Name des Bruchbesitzers oder Pächters	Seit wann im Betrieb	Bisherige größte Leistungsfähigkeit im Jahre	Größte Leistungsfähigkeit überhaupt jährlich	Quader-	Schicht-
							abmessung	stärke
7	Der Solling und das anliegende Terrain bei Stadtoldendorf und Holzminden.	Holzminden und Stadtoldendorf. Beides Bahnstation und Holzminden Schiffstation d. Weser.	Administration der Sollinger Steinbrüche Haarmann & Co. zu Holzminden.	Seit mehr als 50 Jahren.	2000 Doppeladungen à 200 Ztr.	Unbeschränkt, je nach Bedarf.	In jeder beliebigen Größe und Stärke. Das Material findet sich als Platten, zum Decken der Dächer; als stärkere Platten, scharriert und auf Schleifwerken geschliffen, zu Flurbelägen, Trottoiren usw. usw.	
7a	Sollinger Wald resp. Sollinggebirge.	Deensen-Arholzen und Stadtoldendorf.	C. Reese & Co., Holzminden.	Unter nebenstehender Firma seit 1899, aber schon früher unter anderer Firma.	Ca. 1000 cbm Werksteine und Platten.	2—4,00 m.	10—150 cm, also bis 1,50 m hohe Schichten.	
7b	Hoopthal bei Stadtoldendorf am Sollinger Walde im Herzogt. Braunschweig.	Stadtoldendorf.	E. Rothschild.	1860.	—	4000 cbm.	12 m lang, 10 m breit.	1,50 m.
8	Hilsgebirge b. Dorf Stroit.	Bahnstation Naensen.	F. Sotter, Delligsen.	Seit 1860.	1000 cbm.	—	2,00 cbm.	1,00.

9	10	11			12	13
		Preis für das Rohmaterial, das cbm frei				
		Eisenbahnwagen		Schiff bei ganzen Ladungen		
Zu welchen Bauzwecken verwendbar	Ausgeführte Bauwerke oder Bauteile früherer und neuerer Zeit	bis zu 10000 kg	bei Massenbezug	Zahl der im Betriebe beschäftigten Arbeiter	Bemerkungen	
		<i>M</i>	<i>M</i>			<i>M</i>
Als Quader für Fassaden. Sodann zu ausgehöhlten Quadern für Krippen, Tröge und Säurebottiche.	Alte Kirchen, die schon um 1000 und früher gebaut sind, desgleichen Fassadenmaterial der verschiedensten Neubauten.	40—45 Mark pro cbm.		Ca. 4—500 Arbeiter.		
Sockel und Gesimse sowie Platten zu Fußböden.	Alte Bauwerke: Kloster Amelunxborn, Schloß Corvey usw. Neuere Bauten (wenn auch nicht gerade von uns): Bahnhöfe Kreensen, Uelzen, Osnabrück. Realgymnasium Barmen (Sedanstraße). Kirche in Cöln (Neustadt), „ in Lühtringen usw. usw.	30—50,00 pro cbm.		ca. 70 Mann.		
Werksteine. Bildhauerarbeiten. Treppentufen. Podeste. Flurplatten. Dach- und Wand-Bekleidungen. Säurefeste chemische Apparate. Sielböden und Dampfstutzen.	Viele öffentliche Gebäude wie Kirchen, Schulen, Kasernen, Rathäuser, Gerichtsgebäude. Villen und Wohnhäuser. Eisenbahn- und sonstige Brücken. Lokomotivschuppen.	10—40 Mark pro cbm je nach Größe und Qualität.		2—300 Arbeiter.	Zugfestigkeit lufttrocken. 38,7 kg/cm ² , wassersatt; 36,1 kg/cm ² , ausgefroren.	
Zu Bauzwecken verschiedener Art.	Brücken. 3 Kirchen: Stroit, Ammensen, Delligsen. Rathaus in Braunschweig.	45 M. pro cbm fr.	—	—	10—40.	

Abschnitt II.

Petrographische Charakterisierung der zu prüfenden Sandsteinsorten.

Die Wetterbeständigkeitsprobe, namentlich die „natürliche“, annähernd aber auch die „künstliche“, liefert, in ihrer Vollen- dung, ein abgeschlossenes und vollständiges Bild des mutmaß- lichen künftigen Verhaltens der Steine gegen die Einflüsse der Atmosphärien und der Rauchgasstoffe. Dessenungeachtet gibt es noch anderweitige Proben und Versuche, die zur Ergänzung der vorigen dienen, wohl auch hie und da etwaige Mängel und Lücken derselben beseitigen und ausfüllen können und darum erwünscht erscheinen. Sie sind als fakultative Prüfungen zu bezeichnen im Gegensatz zu den obligatorischen, nämlich dem „natürlichen“ und dem „künstlichen“ Wetterbeständig- keitsversuch, unter Umständen aber auch zu gewissen

Sonderprüfungen.

Zu den fakultativen Prüfungen gehören:

1. Die Porositätsprobe, die mikroskopische Unter- suchung, die chemische Analyse und
2. Die Agentienprobe a) unter Ausschluß der Rauch- gas- (SO_2 -) Wirkung und b) am gepulverten Material. S. S. 180*).

*) Ohne weitere Angaben citierte Seitenzahlen beziehen sich stets auf mein früher erschienenes Werk: „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine und die Wetterbeständigkeitsproben usw. Jena, 1900, Costenoble“.

Die fakultativen Prüfungen sind also zur einen Hälfte rein physikalisch-chemisch-petrographischer Art. Eben solcher Art sind freilich im Grunde genommen auch die Einzelheiten der obligatorischen Prüfungen: des „natürlichen“ und „künstlichen“ Wetterbeständigkeitsversuches (Feststellung von Farbe, Glanz, Glätte, Rauigkeit und sonstiger Oberflächenbeschaffenheit vor und nach dem Versuch), ja der ganze „künstliche“ Versuch selbst.

Wieder andere solcher Prüfungen sind obligatorisch im Sinne von „speziellen“ Prüfungen (s. S. 181), etwa bei ganz ungewöhnlichem Verhalten einer Steinsorte oder mit Rücksicht auf besondere Verwendungsarten des Steins u. dergl. Dahin gehören Abnutzungsversuche bei Treppen- und Pflastermaterial, Prüfung des Verhaltens von Schiefeln im Temperaturwechsel und dergl.

Die physikalischen Prüfungen, einschließlich der Festigkeitsermittlung, die chemischen und mikroskopischen Prüfungen, im Verein mit der Feststellung der strukturellen Verhältnisse des Steins, geben gleichsam den Schlüssel zur Erklärung der Veränderungen, die natürliche Verwitterung oder „künstliche“ Versuche am Material hervorrufen. In diesem Sinne haben sie besonderen Wert und sollten bei umfassenderen Wetterbeständigkeitsuntersuchungen nicht unterbleiben.

Den allgemeinen petrographischen Charakter des Sandsteins und der mitgeprüften Steinsorten als bekannt voraussetzend, werden wir hier nur das den einzelnen Sorten Eigentümliche mitteilen. Zu seiner Feststellung führen der Reihe nach jene Prüfungen.

A. Die physikalischen Prüfungen, einschließlich der Festigkeitserhebungen.

Was von den physikalischen Eigenschaften der insgesamt 12 von mir auf Wetterbeständigkeit geprüften Steinsorten durch die einfache Betrachtung mit dem bloßen Auge und der Lupe (vor und nach dem Versuch) zu ermitteln war, ist in die Spalten

3 und 14 der Tabelle 3 eingetragen. Das übrige ist Sache besonderer Versuche gewesen.

1. Porosität, spez. Gewicht.

Die Porositätsbestimmung konnte leider nicht in der von mir bei den Dachschieferuntersuchungen durchgeführten doppelten Weise als Erhebung der Hygroskopie und der Imbibition ausgeführt werden. Wir müssen uns daher hier mit den Ergebnissen der Wasseraufnahme- sowie Porositäts-Bestimmung in der einfachen, üblichen Weise begnügen, wie sie der Tabelle 1 zu entnehmen sind. Die Spalten 3, 4 und 5 enthalten die durch Professor Hanisch in Wien ermittelten Zahlen für das Wasseraufsaugvermögen (für die Wasseraufnahme) der Steine, gewichts- und raumprozentisch berechnet, und die Raumgewichte δ , diese als Mittel aus 3 Einzelwerten. Die Wasseraufnahmefähigkeit ist durch allmähliches Wasseraufsaugenlassen durch getrocknete und gewogene Steinwürfel und nachfolgende Wasserlagerung (insgesamt 8 Tage) sowie Zurückwiegen der Steine in bekannter Weise bestimmt worden. Die Spalten 6 und 7 enthalten die von mir ermittelten Porositätsgrößen p_g und p_v der Steine in Prozenten des Anfangstrockengewichts G_t und des Volumens der Steine bei vollständiger Porenfüllung mit Wasser im Vakuum einer Luftpumpe; in die Spalten 8 und 9 sind die zugehörigen Werte des Raumgewichts δ und des spez. Gewichts Δ eingetragen. Die Ermittlungen erfolgten auf pyknometrischem Wege. Die bei 125° C getrockneten und dann gewogenen kleinen Steinproben wurden, jede in einem besonderen Gefäße, der Wasserlagerung etwa 7 bis 10 Tage unterworfen, bis keine Gewichtszunahme mehr erfolgte; dann wurde die Wasserlagerung im Vakuum — gleichfalls bis zur Gewichtskonstanz — fortgesetzt. G_w bezeichne das Nafßgewicht. Vor der Wägung, im besonderen Wägegläschen, erfolgt jedesmal oberflächliches, vorsichtiges Abtrocknen der Steinproben. Dann wird das Gewicht des Porenwassers und gleichzeitig das Porenvolum durch $G_w - G_t$ angegeben. Es bedeuten noch: P_1 das Gewicht des Pyknometers mit Wasserfüllung, P_2 das Gewicht des Pyknometers mit

Wasserfüllung nach Einführung der wassergesättigten Steinprobe und V_w das Gewicht des hierdurch verdrängten Wassers (= dem Volum der Steinprobe, einschließlich Porenraum). Es besteht nun die Gewichtsgleichheit:

$V_w + P_2 = P_1 + G_t + \text{Gewicht (= Volum) des Porenwassers}$
und man hat demnach für das Volum V_t der Steinprobe ohne Porenraum:

$$V_t = G_t + P_1 - P_2.$$

Damit berechnen sich die Größen Δ , δ , p_v und p_g wie folgt:

$$1. \Delta = \frac{G_t}{G_t + P_1 - P_2},$$

$$2. \delta = \frac{G_t}{G_w + P_1 - P_2} \text{ [wegen } V_w = V_t + (G_w - G_t)\text{]},$$

$$3. p_v = 100 \cdot \frac{G_w - G_t}{G_w + P_1 - P_2},$$

$$4. p_g = 100 \cdot \frac{G_w - G_t}{G_t}.$$

Sind Δ und δ pyknometrisch ermittelt, so können p_v und p_g einfach nach 5 und 6 berechnet werden. Denn man hat, da andererseits $p_v = 100 \cdot \frac{V_w - V_t}{V_w}$ und $p_g = 100 \cdot \frac{V_w - V_t}{G_t}$, wegen

$$V_w = \frac{G_t}{\delta} \text{ und } V_t = \frac{G_t}{\Delta}:$$

$$5. p_v = 100 \cdot \frac{\Delta - \delta}{\Delta} \text{ oder } 100 \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\Delta}\right) \text{ und}$$

$$6. p_g = 100 \cdot \frac{\Delta - \delta}{\Delta \delta} \text{ oder } 100 \cdot \left(\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\Delta}\right).$$

Aus 5 und 6 leitet sich noch ab:

$$7. \frac{p_v}{p_g} = \delta.$$

Hiernach könnte das Raumgewicht δ auch definiert werden als Quotient aus der raum- und der gewichtsprozentigen Porositätsgröße.

Der Quotient $q = \frac{\delta}{\Delta}$ oder $= \frac{V_t}{V_w}$, von dessen Größe der Wert p_v abhängt, ist in die Spalte 10 der Tabelle 1 aufgenommen. Für $q = 1$ würde nach 5: $p_v = 0$ folgen. Der Wert q , auch wohl „Dichtigkeitsgrad“ genannt, belehrt über

das Verhältnis des Volumens der porenfreien Masse eines Steins und des von ihm samt seinen Poren erfüllten Raums. Die Zahlen der Spalten 6, 7, 8, 9 und 10 lassen an Zuverlässigkeit zu wünschen übrig. Sie können und sollen nur ein ungefähres Bild der Porositäts- und Dichtigkeitsverhältnisse der zu prüfenden Materialien liefern und ihre Neubestimmung nach einem der vollkommeneren Verfahren wird notwendig sein. Das benutzte Pykrometer war eines von der unvollkommeneren Art; die Steinproben waren entsprechend sehr klein und ganz uneben, was das richtige oberflächliche Abtrocknen vor der Wägung nach der Wassersättigung erschwerte. Die Werte für G_w werden daher meist etwas zu groß gefunden sein, was bei der Kleinheit des Probengewichts einen merklichen Fehler bedingen mußte. Schätzungsweise kann er bis zu 1% betragen haben. Es wäre danach wahrscheinlich δ etwas zu klein, p_g etwas zu groß ermittelt worden. Dazu kommen noch sonstige, dem Verfahren, trotz aller angewandten Sorgfalt anhaftende, z. T. sogar erheblichere Fehlerquellen. Auch die Zahl der Proben war zu gering (meist nur = 2). Die Porositätsgrößen für den Nörter Sandstein sind in Wirklichkeit durchschnittlich weit größer als die angegebenen und werden vermutlich denen für den Hardegser Sandstein nahekommen. Es erklärt sich dies einfach daraus, daß die Probesteinchen zufällig zum großen Teil aus einem jener kalkigen Einschlüsse des Sandsteins bestanden, die, gleichsam durch Kalksubstanz gedichtet, weit weniger porös sind als dessen Gesamtmasse. Dies lehrt auch der Vergleich der Zahlen der Spalten 6 und 7 mit denen der Spalten 3 und 4. Die Unterschiede sind für den Nörter nur gering, während sie bei den anderen Sandsteinarten als das $\frac{1}{2}$ - bis 2fache der kleineren Werte sich darstellen. Die Zahlen der Spalte 3 und die Werte p_g , die in vielen Fällen allein ermittelt und in den Handbüchern angegeben sind, erscheinen, da sie sich auf den Vergleich einer Raumgröße (Porenvolum) mit einer Gewichtsgröße (Anfangstrockengewicht) beziehen, weit weniger geeignet zur Beurteilung der Steine als die Größen p_v und vor allem wohl die der Spalte 4. Diese beiden sind noch als Ordinaten in das Diagramm der Agentien-

probe, Tafel II, Schaulinien II und III, eingetragen. Ein Blick auf die gesamte graphische Darstellung lehrt sofort folgendes. Mit den Sandsteinen zum Vergleich stehen drei andere Steinsorten: Quarzit, „Odenwald-Syenit“ und Carrara, die mit jenen auch physikalisch von ganz ungleicher Natur sind. Für sie sind die Werte p_v und jedenfalls auch die Größen der Spalte 4 (Tabelle 1) nur wenig unter sich verschieden und sehr viel kleiner als für die Sandsteine. Daher die entsprechenden tiefen Täler der Schaulinien II und III. Hiervon abgesehen, kann bei diesen beiden von einer im großen ganzen steigenden Tendenz gesprochen werden, die eine ganz grobe Unterbrechung in beiden Schaulinien nur für „Essen“, geringere Störungen außerdem noch bei II für Stadtoldendorf, bei III allerdings für Osterwald, Mehle, Wrexen und Hardeggen erleidet. Bestünde nun zwischen der ununterbrochen ansteigenden Schaulinie I und einer der beiden Schaulinien II und III, z. B. II, völlige Konformität, so wäre daraus auf ein Schritthalten der Agentienwirkung mit der Porosität der Steinsorten, hier der vollen, zu schließen, vorausgesetzt natürlich, daß die Schaulinie I der Inanspruchnahme der vollen Porosität auch wirklich entspräche. Jede Abweichung der Porositätslinie II oder III aber, nach oben oder unten, würde darauf hindeuten, daß bei der betreffenden Sandsteinsorte in höherem oder minderem Maße als bei den übrigen Sandsteinen die Entstehung der durch Schaulinie I dargestellten Agentienwirkung von der Porositätsgröße abhängig gewesen wäre, z. B. bei Osterwald in höherem Maße, soweit volle Wassersättigung, in niederem, soweit Wasseraufsaugung in Betracht käme. Beides widerspricht sich nur scheinbar. Denn es ist wohl denkbar und wahrscheinlich, daß, während die freiwillige Wasseraufsaugung Poren von gewisser Zahl und Art, soweit hierbei eben nur möglich, in Anspruch genommen hatte, bei der vollständigen, zuletzt gleichsam zwangsweisen, Porenfüllung Porengruppen ganz anderer Art und in anderer Zahl, vielleicht auch z. T. die früheren, jedoch in geändertem Maße, in Wirksamkeit getreten sind. Das Tal der Schaulinie II für Stadtoldendorf ließe, tatsächlich volle Porenfüllung mit agentien-

sattem Wasser beim Versuch vorausgesetzt, annehmen, daß die rein chemische Angreifbarkeit bei der Agentienwirkung bei jener Steinsorte spezifisch größer wäre als z. B. bei Osterwald und Obernkirchen, wo die chemische Aktion durch größere Porosität mehr unterstützt wird. Dieser Schluß würde sogar noch zutreffen bei wagerechtem und nicht ansteigendem Verlauf der Schaulinie I von Obernkirchen bis Stadtoldendorf. Zu ähnlichen Ergebnissen würde der Absturz der Schaulinie III für Wrexen und Hardeggen führen, falls jene Linie I bei einem Zustand der Steinproben, etwa entsprechend dem beim Wasser-aufsaugerversuch, gefunden worden wäre. Für Diorit und vor allem für Carrara, aber auch für Essen, gelten diese Schlüsse unter allen Umständen. Der Sandstein von Essen zeichnet sich auffallenderweise vor allen mitgeprüften Sandsteinen durch seine erheblich geringere Porosität (Spalte 7) aus. Trotzdem erreicht für diese Sorte die Schaulinie I einen noch höheren Stand als sogar für Hardeggen und wird in dieser Hinsicht unter den Sandsteinen nur noch von Nörten übertroffen. Die rein chemische Aktion muß also bei dem Sandstein von Essen notwendig eine verhältnismäßig sehr große, der Unterstützung durch die Porosität wenig bedürftige, gewesen sein. Fraglich bleibt bei den vorstehenden Betrachtungen indessen noch, ob der Zustand der Probeplatte bei der Agentienprobe mehr dem der Schaulinien II oder III entsprechenden sich genähert haben wird. Eine Entscheidung hierüber kann den vorliegenden Daten nicht entnommen werden. Nach der Art des Versuchs wäre übrigens anzunehmen, daß auch die Hygroskopie-Poren dabei eine wichtige Rolle gespielt haben müssen. Sicheres und Genäueres hierüber ist jedoch erst recht nicht festzustellen, da der Porositäts-Versuch leider nicht nach Imbibition und Hygroskopie getrennt werden konnte. Vielleicht ist wegen der mit der Schaulinie I zwar nicht durchweg konformen, aber doch immerhin im ganzen die steigende Tendenz zeigenden Gestalt der beiden Schaulinien II und III der Schluß erlaubt, daß der tatsächliche Wassersättigungszustand der Probeplatten noch ein mittlerer zwischen dem der Schaulinie II und dem der Linie III

entsprechenden gewesen ist, möglicherweise sogar noch etwas mehr nach II hin neigend. Es ist hier daran zu erinnern, daß die Schaulinie II für Nörten in Wirklichkeit sich sicherlich weit höher erhebt als es die Tafel II zeigt, möglicherweise noch über den Stand für Hardeggen hinaus und daß somit der Linienzug II mit I konformer ist als III, mit Ausnahme einer einzigen Stelle (für Stadtoldendorf). Mit unseren letzten Betrachtungen hatten wir das Gebiet der Vermutungen betreten und es wäre zwecklos, noch länger dabei zu verweilen.

Es erübrigt noch ein Wort über den Zusammenhang der Porositätsverhältnisse der geprüften Steinsorten mit deren Frostbeständigkeit, die, was hier schon ausgesprochen werden muß, durchweg als befriedigend nachgewiesen werden wird (vgl. Abschnitt III). Es scheint dies auf den ersten Blick bei den meisten Sandsteinen im Widerspruch zu stehen mit ihren ziemlich beträchtlichen Porositätszahlen, die sich mit Ausnahme von Essen dem Werte $p_v = 20$ nähern, ihn zum Teil sogar überschreiten. Denn im allgemeinen wird man bei Bausteinen überhaupt, namentlich vielleicht bei Kalksandsteinen und Kalksteinen (was hier mit der größeren Erweichungsfähigkeit zusammenhängen mag) finden, daß bei einer Porositätszahl von gegen $p_v = 20$ und mehr Prozent die Frostsicherheit meistens eine geringe ist. Es gibt aber, und zwar gerade unter den Sandsteinen, Ausnahmen genug, wozu eben die unserer vorliegenden Untersuchungen gehören. Und dies braucht nicht besonders zu überraschen. Die Frostsicherheit oder umgekehrt Frostgefahr hängt eben nicht nur ab von dem gesamten Porenvolum p_v , sondern auch von der Art der Verteilung und Gruppierung der Poren, ja jedenfalls auch von der Porengröße und endlich in letzter Linie von den Festigkeitsverhältnissen des Materials. In Betracht kommt dabei wiederum weit weniger die Druckfestigkeit (wie wohl ein vergleichender Blick auf Spalte II der Tabelle 1 und auf Tabelle 2 bestätigen wird), als, wie später noch näher zu begründen ist, die Zug- und Scherfestigkeit des Steins. Beim „Sandstein von Essen“ z. B. sind die Festigkeitsverhältnisse jedenfalls — eine Prüfung nach

dieser Richtung konnte nicht stattfinden — derart, daß eine erhebliche Frostunsicherheit resultieren mußte, ungeachtet des verhältnismäßig geringen Wertes von p_v . Ähnliche Fälle von Frostunbeständigkeit wie beim „Sandstein von Essen“, auf die erst später (im Abschnitt III) näher eingegangen werden kann, bei gleichfalls mäßiger Porosität p_v (10 ja 9 und weniger Prozent), haben übrigens bei anderen Sandsteinsorten angestellte Untersuchungen schon manchmal, obschon allerdings seltener, dargetan*). In der Regel mag ja solch niederen Porositätszahlen auch ein höherer Frostsicherheitsgrad entsprechen. Bei $p_v = 1-2\%$ ist er wohl stets oder doch fast immer vorhanden und sicher ist, daß es einen, vorerst nicht näher angebbaren, unteren Grenzwert von p_v , vor allem auch der Porengröße, geben muß, mit dem die Möglichkeit der Frostwirkung überhaupt erst beginnt.

2. Die Druckfestigkeitszahlen

(Bruchfestigkeiten) in kg/cm^2 für die 9 Sandsteinsorten 3 bis 10 sind in die Spalte 11 der Tabelle 1 aufgenommen (vgl. auch Spalte 5 der Tabelle 2). Gesetzmäßige Beziehungen zwischen der Druckfestigkeit und den meisten sonstigen Eigenschaften der Steine bestehen kaum; insbesondere läßt sich z. B. vom spez. Gewicht keineswegs auf die Druckfestigkeit schließen und umgekehrt, wie man früher glaubte und sogar heute noch mitunter behaupten hört. Der Gegenbeweis ist bekanntlich schon durch Böhme erbracht worden (vgl. auch Tabelle 1).

B. Die chemische Untersuchung.

Eine chemische Analyse der zu prüfenden Steinsorten, insbesondere der Sandsteine, hat leider nicht ausgeführt werden können, doch soll der Gang einer solchen, wie er nach unserer Ansicht künftig zweckmäßig sich etwa zu gestalten hätte, im folgenden kurz skizziert werden. Nur, was sich über die chemische Natur der Sandsteinsorten auf Grund der bloßen Be-

*) Beispiele hierzu finden sich u. a. in den im Abschnitt III, A auf Seite 54 dieses Buches zitierten Werken von Hanisch und v. Tetmajer.

sichtigung und einfacher, roher chemischer Handproben im Verein allerdings mit den Ergebnissen der mikroskopischen Prüfung, hat feststellen lassen, kann hier mitgeteilt werden. Diese Angaben findet man in diesem Abschnitt unter C.

Jede Sandsteinanalyse ist im wesentlichen eine Sandsteinbindemittel-Analyse. Denn von der Beschaffenheit des Bindemittels eines Sandsteins hängen dessen gesamtes physikalisches und chemisches Verhalten, seine Wetterbeständigkeit, seine Festigkeits- und Porositätsverhältnisse, seine Bearbeitungsfähigkeit usw. fast ausschließlich ab, werden die verschiedenen Eigenschaften der einzelnen Sorten des Gesteins bestimmt. Nur in betreff des technisch wenig wichtigen Arkose-Sandsteins liegt die Sache anders. Dementsprechend ist denn auch für den Praktiker äußerst wichtig und fast ausschließlich belangreich die Einteilung der Sandsteine nach dem Bindemittel. Sie ist ungleich wichtiger als die in den Handbüchern und wenigen existierenden spezielleren Werken über den Gegenstand meist (für den Praktiker!) unverhältnismäßig breit behandelte Besprechung der Sandsteine nach Sorten vom geologischen Standpunkte aus, nach den Formationen. Die Feststellung des Sandstein-Bindemittels, auf die, wie gesagt, die ganze Arbeit des Chemikers hinausläuft, begegnet jedoch gewissen Schwierigkeiten, und schon die bloß qualitative Ermittlung ist — wenigstens in exakterer Weise — nicht immer ohne weiteres, d. h. durch Prüfung mit dem bloßen Auge oder auch mit der Lupe, durch Ritzversuche, chemische Faustproben, Anhauchen usw., möglich. Am leichtesten gibt sich, bei rein-weißer Gesteinsfarbe, noch im Falle eines rein-kieseligen Zementes, dessen Natur als von solcher Art, oder, bei rein-roter Gesteinsfarbe, als Fe_2O_3 zu erkennen. Und doch fehlt in diesen beiden Fällen die Gewißheit, daß Täuschungen ausgeschlossen sind, falls nicht eine eingehende Prüfung Platz greift. Denn im ersten Falle gibt das Ausbleiben des Aufbrausens beim Betupfen mit HCl noch keine Gewähr, daß das Bindemittel nicht gleichzeitig z. B. teilweise auch tonhaltig ist, im zweiten Falle fehlt die Bürgschaft dafür, daß der Bindestoff nicht z. T. kieselig sei. In den baustofflichen Werken fehlt zwar

neben der geologischen Einteilung selten die nach der Natur des Zementes, eine Anleitung, zu dessen Feststellung sucht man jedoch dort vergebens und ist meines Wissens überhaupt in der gesamten einschlägigen Literatur nicht zu finden.

Die bis jetzt ausgeführten Sandsteinanalysen können ihrer Art nach füglich in 3 Gruppen gebracht werden.

Es waren

1. häufig lediglich Bauschanalysen, die also über die Bindemittelnatur gar nicht oder längst nicht ausreichend Aufschluß geben konnten, oder sie waren

2. auf die Ermittlung des in HCl Unlöslichen, was als Sandsubstanz, und des in HCl Löslichen, was als Kittsubstanz bezeichnet wurde, gerichtet. Meistens ist dann noch die weitere Zusammensetzung dieser beiden Hauptbestandmassen angegeben worden. Eine gehörige scharfe Trennung von Sand- und Kittsubstanz oder Bindemittel, im wahren Sinne, ist auch hierbei natürlich nicht erreicht, wenn schon das Verfahren dem erstrebten Ziele etwas näher brachte. Solcher Art sind z. B. die Sandsteinanalysen, die Professor L. Tetmajer in den „Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum in Zürich“, im 1. Heft (Methoden und Resultate der Prüfung künstlicher und natürlicher Bausteine), 1900, auf Seite 316/319 gibt. Ferner die an demselben Ort, S. 66, mitgeteilte Analyse des Säulenmaterials (Molassesandstein) der Grabkirche zu Königsfelden; ferner die Molassesandstein-Analysen von Professor Dr. Brunner im „Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, Juillet 1895“, usw. Endlich hat man

3. das Bindemittel durch Abschlämmen vom übrigen (im wesentlichen allerdings Sandsubstanz) gesondert und beides für sich analysiert.

Derartige Sandsteinanalysen sind zweifellos die vollkommensten bis jetzt ausgeführten und ihre Ergebnisse werden in vielen Fällen vollkommen genügen. Gleichwohl lassen auch sie noch manches zu wünschen übrig, und eine vollkommen exakte rationelle Sandsteinanalyse ist und bleibt eben keine ganz leichte Aufgabe. Dem Abschlämmen des Bindemittels muß nämlich

naturgemäß vorausgehen dessen Abtrennung von der Sandsubstanz, als welche man wohl oder übel die reinen oder allenfalls die noch mit unzersetzten Mineraltrümmern behafteten Quarzkörner anzusehen haben wird. Denn was außer diesem Material als solchem, ihm anhaftend, etwa noch zu dem ursprünglichen, später verkitteten Trümmermaterial gehört haben mag, läßt sich unmöglich nachträglich feststellen. Mithin würde es von einem gewissen Teil der Sandsteinsubstanz zweifelhaft bleiben müssen, ob er zur Sandsubstanz oder zum Bindemittel zu rechnen wäre, wenn man nicht festsetzte, daß alles, was nicht sog. „reine Sandsubstanz“, d. h. reiner Quarzsand ist, oder doch aus solchem nebst anhaftenden, d. h. damit augenscheinlich von Haus aus verwachsenen, unzersetzten Mineraltrümmern — die Erkennung und sichere Feststellung derselben als solcher muß der Lupe und dem Mikroskop überlassen bleiben — besteht, zum Bindemittel oder Zement gerechnet wird. Diese Abmachung soll hier ein für allemal getroffen und im folgenden festgehalten werden, nicht nur weil sie bequem und nach Möglichkeit sicher führend, sondern auch wirklich praktisch ist. Denn alles, was die Wetterbeständigkeit irgendwie, sei es günstig oder ungünstig, beeinflusst, hängt eben in erster Linie von alledem ab, was nicht „reine Sandsubstanz“, nämlich reiner, unter Umständen auch mit unzersetzten Mineraltrümmern verwachsener, Quarzsand ist*). Die erwähnte und unvermeidliche Abtrennung jener vorhin näher definierten sog. „reinen Sandsubstanz“ von dem Bindemittel ist nun aber gerade häufig sehr schwierig. In allen Fällen nämlich, in denen das Bindemittel ganz oder teilweise kristallinisch-kieselig ist, ganz oder teilweise aus sekundär gebildeten Kieselsäurekristallen besteht, was, wie wir sehen werden, oft genug vorkommt, versagt die Abscheidung auf chemischem Wege ebenso wie die direkte chemische Trennung von Quarz und

*) Allerdings wird die Wetterbeständigkeit eines Sandsteins auch noch durch das Vorhandensein von dem reinen Quarzsand etwa anhaftenden, wenn auch unzersetzten Mineraltrümmern etwas herabgesetzt, jedoch wahrscheinlich meist in minderem Maße, als durch das sekundäre Bindemittel, und jedenfalls würde eine Berücksichtigung dieses Umstandes unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten.

Mineraltrümmern unausführbar sein würde. Die somit angezeigte mechanische Trennung aber von dem reinen Quarzsand, eventuell nebst Mineraltrümmern, ist, da die kristallisierte Bindemittelkieselsäure jenem stets auch mehr oder weniger fest anhaftet, mit dem Übelstand verknüpft, daß dabei die Quarzsandkörner nur allzuleicht verletzt und alsdann Teile derselben unberechtigtweise zum Bindemittel gerechnet werden. Andererseits werden, wenn die mechanische Zerkleinerung des Materials vor dem Abschlämmen in der üblichen Weise ausgeführt wird, an dem reinen Quarzsand — abgesehen von etwa damit verwachsenen, unzersetzten Muttergesteinsresten — unvermeidlich leicht sonstige Stoffmengen haften bleiben, von denen man nicht weiß, ob sie ursprünglich zum Quarzsand oder zum jüngeren Bindemittel gehören, nach unserer Festsetzung und Definition des Bindemittels aber diesem zuzuzählen sind. Es wird darum vorgeschlagen, künftig von dem gewöhnlichen Abschlämmverfahren mit nachfolgender getrennter Analysierung von Schlammsubstanz und Rückstand abzusehen und den nachstehend skizzierten Gang der Analyse innezuhalten. Die auch hierbei irgend einmal unabweisbare mechanische Zerkleinerung des Materials soll mit der größten Behutsamkeit und, wenn irgend möglich, nur durch Zerreiben zwischen den Fingerspitzen erfolgen, was weit öfter als man von vornherein annehmen sollte, ausführbar sein wird. Bei den Sandsteinen von Nörten, Hardeggen, Mehle z. B. trifft dies ohne weiteres zu, bei dem Stadtoldendorfer Sandstein dagegen z. B. nicht oder nur in sehr beschränktem Maße. In jedem Falle der letzten Art wird empfohlen, bei der Zerkleinerung wenigstens nur von einem Spachtel aus weichem Holz und von einer ebensolchen Unterlage Gebrauch zu machen und Stein oder gar Metall dabei zu vermeiden. Sicherheit hat man freilich auch dann noch nicht, und überhaupt niemals beim Zerkleinern, daß die fragliche Fehlerquelle ganz ausgeschieden ist; doch ist das den Umständen nach eben Mögliche geleistet. Am besten dürfte es vielleicht sein, statt der durchweg zerkleinerten Sandsteinproben mehrere unzerkleinerte, ganz kleine Sandsteinstückchen zu verwenden und die Wirkungsdauer

der Agentien während des Analysierens entsprechend zu verlängern. Da mit Ausnahme des kieselig-kristallinen jedes Bindemittel beim nachstehenden Gang der Analyse schließlich in Lösung gebracht wird, so wäre eine mechanische Zerkleinerung wohl nur bei Sandsteinen mit kieseligem Bindemittel zum Schluß unbedingt erforderlich.

Vorschläge für den Gang der chemischen Analyse.

Diese gestaltet sich je nach dem Ergebnis einer vorausgegangenen Handprobe in folgender Weise:

A. Hat die Vorprobe (Zusatz von HCl zu einer Probe des gepulverten Gesteins im Proberöhrchen oder auch zu einem Steinstückchen) Abwesenheit von Karbonaten ergeben, so kann die Prüfung, nach erfolgter Vorbereitung und Wasserbestimmung (siehe B, a), sofort mit den unter B, c angegebenen Manipulationen beginnen.

B. Im anderen Falle hat, nach Vornahme der unter a genannten Operationen, die Prüfung unter b voranzugehen.

a) Vorbereitung der Sandsteinprobe zur Analyse: Zerkleinerung in der oben beschriebenen und möglichst in der zuerst erwähnten Weise. Bestimmung der Feuchtigkeit und des etwa fester gebundenen Wassers (nebst allenfalls vorhandenen organischen, flüchtigen Beimengungen) in bekannter Weise an einer besonderen Portion des Materials.

b) Eine zweite nach a vorbereitete, getrocknete Probe wird mit verdünnter HCl bis zur völligen Lösung der Karbonate digeriert, der Rückstand von der Flüssigkeit durch Dekantieren und Filtrieren getrennt und mit H_2O gewaschen und nach c weiter behandelt. Im Filtrat wird sich außer den gelösten Karbonaten FeO , Fe_2O_3 -Hydrat und bei hinreichend langer Behandlung auch das Fe_2O_3 , wenigstens zum großen Teil, befinden. War das Bindemittel (unserer Definition) rein kalkiger oder $MgCO_3$ -haltiger Art, was nicht gar zu häufig vorkommen dürfte und was eben auch nicht von vornherein bekannt ist, so besteht der Rückstand aus reinen Quarzsandkörnern, oder aber aus solchen, nebst anhaftenden Mineraltrümmern. Er ist dann zu

trocknen und zu wägen und im Filtrat kann die quantitative Bestimmung von CaO , MgO usw. vorgenommen werden. Der Rest von Fe_2O_3 ist aus dem Rückstand noch mit stärkerer HCl aus-zuziehen.

c) Ist das Bindemittel ein ehemals schlammiges Zersetzungsprodukt irgendwelcher gesteinsbildender Mineralien, ist es teilweise oder ganz toniger oder sonstiger, nur eben nicht rein kalkiger oder dolomitischer Natur: so ist der Rückstand von b mit konzentrierter Schwefelsäure weiter zu behandeln, nämlich in einer Platinschale 15 Stunden lang, oder auch, je nach dem Grad der Zerkleinerung der Probe, entsprechend länger, abzu-rauchen. Da die Natur des Bindemittels vor der Analyse als unbekannt anzunehmen ist und durch diese erst festgestellt werden soll, so wird man wohl niemals oder höchst selten bei exakten Arbeiten, auch nicht bei ausgesprochenem Kalkgehalt des Sandsteins, mit b die Untersuchung abschließen können, sondern zunächst stets zu c übergehen und so fortschreiten. Die konzentrierte Schwefelsäure zersetzt das Bindemittel vollständig, ausgenommen in dem Falle, daß es ganz oder teilweise kristallinisch-kieseliger Natur ist, unter Überführung sämtlicher Basen in Sulfate und Abscheidung der chemisch-gebundenen bzw. amorphen Kieselsäure. (Vgl. unten unter 3.) Abgesehen von dem einen genannten Falle, werden also die Quarzkörner (ev. nebst den damit verwachsenen unzersetzten und unzersetzbaren Muttergesteinsresten) von dem anhaftenden Bindemittel befreit und gereinigt und es bleibt somit unverändert nur eben die nunmehr isolierte „Sandsubstanz“ zurück. War aber das Bindemittel teilweise oder sogar ganz kristallinisch-kieselig, so bleibt eben auch noch die kristallinische Bindemittel-Kieselsäure, unverändert und z. T. an den Sandkörnern haftend, zurück. Es kann noch der Fall vorliegen, daß bei der Entstehung des Sandsteins in denselben mit dem Bindemittel etwa noch unzersetzte Mineral- und Gesteinsreste irgendwelcher Art, z. B. Glimmerschüppchen, Chloritteilchen, Tonschieferstückchen usw., hineingekommen oder aber daß dieselben, was häufiger der Fall sein wird, ganz ebenso wie die Quarzkörner, als Muttergesteinstrümmel selbst, ge-

meinsam und gleichzeitig mit jenen, durch den Zement verkittet worden waren. Beide Fälle werden sich kaum in ihrer Verschiedenheit nachweisen und jedenfalls nicht in der Analyse voneinander trennen lassen. Jene freien, dem Quarzsand nicht anhaftenden, unzersetzten Mineral- oder Gesteinstrümmer müssen eben, soweit sie nicht von minimaler Größe, sondern vielmehr etwa von der Durchschnittsgröße der Quarzkörner sind und von der Schwefelsäure unverändert gelassen werden, nicht zum „Bindemittel“, sondern zur „Sandsubstanz“ gerechnet werden, mit der sie gleichzeitig verkittet wurden, deren Resistenz sie natürlich aber doch mehr oder weniger herabsetzen*). Hierin liegt natürlich eine Erweiterung der obigen Definition der „Sandsubstanz“. Im übrigen ist hinsichtlich der Bindemittel-Beschaffenheit mit folgenden Möglichkeiten zu rechnen:

1. Das Bindemittel bestand nur aus Fe_2O_3 oder Fe_2O_3 -Hydrat, abgesehen von etwa vorhanden gewesenem, unter b ermitteltem Kalkgehalt. Dann hat man es jetzt ganz in Lösung.

2. Das Bindemittel war, abgesehen von etwa vorhanden gewesenem, unter b ermitteltem Kalkgehalt, rein tonig. Dann ist der Rückstand nach d weiter zu behandeln, was auch bei gemischtem Bindemittel jeder sonstigen Art, also im allgemeinen stets, zu geschehen hat.

3. Im Falle rein kieseligen und zwar nur amorphen Bindemittels — abgesehen von etwaigem, schon bestimmtem Kalkgehalt — müßte dasselbe von dem reinen Quarzsand nebst den ev. Muttergesteinsresten nach d getrennt und beides: der letztgenannte Bestandteil und das amorphe kieselige Bindemittel einfach gewogen werden. Dieser Fall wird jedoch kaum vorkommen.

d) Der gesamte Rückstand von c, der nur aus reinem Quarzsand, ev. nebst damit verwachsenen oder auch davon getrennt gewesenem unzersetzten Mineral- oder Gesteinsresten

*) Da die Schwefelsäure jene Mineralreste nicht immer völlig unverändert lassen wird, so ist in solchen Fällen eine nur näherungsweise Trennung von Bindemittel und „Sandsubstanz“ unvermeidlich.

sowie aus chemisch gebundener und amorpher sowie auch kristallisierter Bindemittel-Kieselsäure bestehen kann, wird nun mit einer Lösung von Natriumkarbonat in einer Platinschale längere Zeit gekocht. Dann wird durch ein bei 120°C getrocknetes und gewogenes Filter sehr heiß filtriert und im Filtrat die nunmehr gesonderte und gelöste, gesamte umkristallisierte Bindemittel-Kieselsäure nach bekannter Methode bestimmt. Der Filterrückstand, bei 120°C getrocknet und gewogen, gibt den Quarzsand nebst den etwa vorhandenen, jenem zuzurechnenden Mineral- und Gesteinsresten und die vorhanden gewesene kristallisierte Bindemittel-Kieselsäure, die z. T. noch an den Sandkörnern haften wird.

e) Der Quarzsand und die Mineral- oder Gesteinstrümmel gelten zusammen als „Sand“ (S in Gewichtsprozenten) im Gegensatz zum „Bindemittel“ (B in Gewichtsprozenten), das bis auf seinen etwaigen Bestandteil b (in Gewichtsprozenten) an kristallisierter Kieselsäure nunmehr ganz abgetrennt ist. Deren weitere Trennung von S aber bildet die letzte Aufgabe und verursacht nebst der Zerkleinerung des Probematerials die Hauptschwierigkeit einer Sandstein-Analyse. Die vollständige Isolierung der Bindemittel-Kieselsäure-Kristalle, die nur z.T. von den Sandkörnern bereits losgetrennt sein werden, kann auf chemischem Wege, da beide Substanzen chemisch gleichwertig sind, zunächst nicht erfolgen. Es bleibt nur übrig, den Rest dieser kristallisierten Kieselsäure mechanisch, d. h. durch andauernd reibende Bewegung des gesamten Rückstandes vollends abzutrennen, auf die Gefahr hin, auch wiederum feine Sandkörnere-Splitterchen abzusprengen, worauf die Kieselsäure-Kristalle von den Sandkörnern durch Schlämmen oder mit Hilfe eines Siebes von passender Maschenweite endlich abzusondern wären. Dabei würden allerdings ganz unvermeidlich sämtliche Quarzkörner-Splitter, die als von der gleichen Größe oder von dem gleichen Gewicht mit den Bindemittel-Kieselsäure-Kristallen, mit diesen zusammen abgeschlämmt oder durch die Maschen des Siebes gegangen sind, damit zusammenbleiben und höchstens ihrem Mengenverhältnis nach unter dem Mikroskop abgeschätzt

werden können. Indessen ist es nicht von allzugroßem Belang, wenn man auch nicht die Gewichtsmenge von S und von b einzeln genau kennt, sondern nur deren Summe $\Sigma = S + b$. Denn diese wird in letzter Linie, wenigstens für den Grad der Wetterbeständigkeit der Sandsteine, in Betracht kommen, während nicht zu verkennen ist, daß z. B. für die Festigkeitsverhältnisse die relative Menge von b und ihre Verteilung und Lagerungsweise wieder mehr zu berücksichtigen sein würden. Auch wird es nicht immer gelingen, die Quarzkörner absolut frei zu machen von den noch anhaftenden Kieselsäure-Kriställchen. Man wird sich also bis auf weiteres damit begnügen müssen, die Summe Σ genau ermittelt zu haben. Vielleicht ist es aber der Zukunft vorbehalten, doch noch eine Methode der Trennung von S und b zu finden, beruhend auf dem nach irgend einer noch unerforschten Seite hin dennoch differenten Verhalten der beiden Kieselsäuren. Wäre die Loslösung der Kieselsäure-Kriställchen von den Quarzkörnern in befriedigender Weise gelungen, so würde die Separierung beider wohl am einfachsten durch ein passendes Schlämmverfahren erfolgen. Die üblichen feinen Siebe, wie sie z. B. in der Farbenindustrie Verwendung finden, sind zur Trennung nicht fein genug. Bei den feinsten Sieben dieser Art (Seidengazesiebe sowie auch Messingdrahtgeflechte), die ich erhalten konnte*), beträgt die Weite jeder der feinen Sieböffnungen (die Maschenweite) 0,1 mm, während die feinsten Quarzsandkörner — vgl. z. B. S. 32 — einen weit kleineren Durchmesser zeigen und mithin noch durch das Sieb gehen würden. Einen ungefähren Anhalt für die Menge b der kristallisierten Bindemittel-Kieselsäure eines Sandsteins würde man übrigens, unter Benutzung von Dünnschliff-Mikrophotogrammen, durch das folgende, an die bekannte Delessesche Methode zur Bestimmung der Mengen von Gesteinskomponenten sich anlehende Verfahren, wenigstens unter besonders günstigen Umständen, voraussichtlich gewinnen können.

*) Die Siebfabrik von Thörner in Elberfeld liefert derartige Siebe in der verschiedensten Art für die Farbenfabriken des Wuppertales.

Als solche wären anzusehen die größtmögliche Schärfe und Klarheit der bei hinreichender Vergrößerung (nicht unter 140facher) aufgenommenen Mikrophotogrammen, die Lückenlosigkeit derselben (das Fehlen von Löchern im Dünnschliff) und die Abwesenheit von über Kittfuge und über Teile der Quarzkörner sich lagernden Stoffen (Kohleteilchen, Schieferreste und dergl.) im Mikrophotogramm. Man stelle (nach Delesse) durch möglichst genaues Übertragen der Konturen der einzelnen Quarzkörner auf ebensoviel Stanniolblätter, Ausschneiden und Wägen der so begrenzten Teile der Stanniolblättchen die Querschnittsflächen $f_1, f_2, f_3 \dots$ der einzelnen Sandkörner des Mikrophotogrammes fest oder vielmehr das Verhältnis ihrer Summe Σf zur Gesamtfläche F des Mikrophotogramms (welche ebenfalls auf Stanniol übertragen worden war). Die Größe Σf wird dabei als Mittel aus dem auf Grund möglichst zahlreicher Mikrophotogramme gewonnenen Ergebnisse vorausgesetzt. Bezeichnet noch β die aus dem Filtrat von c und d ermittelte gewichtsprozentische Menge des Sandstein-Bindemittels, abgesehen von b , ferner s das spez. Gewicht (2,5—2,8) der Quarzkörner und, wie früher, δ das Raumgewicht des Sandsteins, so berechnet sich die gewichtsprozentische Menge des „Sandes“ $S = \frac{s}{\delta} \cdot \frac{\Sigma f}{F} \cdot 100$ und die gewichtsprozentische Menge der kristallinen Bindemittel-Kieselsäure: $b = 100 - \frac{s}{\delta} \cdot \frac{\Sigma f}{F} \cdot 100 - \beta$ oder

$$b = 100 \cdot \left(1 - \frac{s}{\delta} \cdot \frac{\Sigma f}{F} \right) - \beta.$$

Das Vorhandensein irgendwelcher erheblicher, dem „Sand“ oder der „Sandsubstanz“ zuzurechnenden Mengen von Mineral- oder Gesteinsresten irgendwelcher Art, z. B. Glimmer, Chlorit, auch Kohle etc., beeinträchtigt natürlich die Richtigkeit dieser Rechnung entsprechend. Aber auch abgesehen davon wird die praktische Ausführung des Verfahrens, das auch aus theoretischen Gründen nur roh approximativ ist, wie schon angedeutet, sich nicht immer leicht und glatt bewerkstelligen lassen. Die naheliegende Anwendung des Planimeters zwecks Vereinfachung

der Bestimmung von $f_1, f_2, f_3 \dots$ wird sich wegen der Kleinheit der Flächen hier wohl von selbst verbieten.

Eine nach dem vorgeschlagenen Gang ausgeführte Sandsteinanalyse würde nun im allgemeinen dem folgenden Schema entsprechen:

1. Sand (S), d. h. Quarzkörner	{ <div style="padding: 2px 5px;"> nebst etw. unzersetz- ten Mineral- oder Ge- steinsresten </div> (S + b)
	{ <div style="padding: 2px 5px;"> + kristallisierte Bindemittel- Kieselsäure. </div>	
	{ <div style="padding: 2px 5px;"> Amorphe und gebunden gewesene Bindemittel- Kieselsäure, insgesamt: </div>	
2. „Bindemittel“ (B), je nach Ausfall der Analyse kalkig, eisen- oxydisch, tonig, kieselig oder gemischt.	{ <div style="padding: 2px 5px;"> SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 FeO MnO MgO CaO K_2O Na_2O H_2O CO_2 Organische Substanz </div>	

100

C. Die mikroskopische Untersuchung.

1. Carrara-Marmor (Blanc-clair),

triassisch, anscheinend ganz reines, weißes CaCO_3 von feinkörnig-kristallinischem Gefüge, unter dem Mikroskop sehr schön die bekannte polysynthetische Zwillingstreifung der Calcitindividuen zeigend. Quermaß der letzteren 75μ bis $30,0 \mu$ und mehr ($1 \mu = 0,001 \text{ mm}$). Vergl. das Mikrophotogramm Nr. 1 auf Tafel III.

2. Quarzit von Weißenstein bei Regen in Bayern,

im Stück rein weißes, äußerst dichtes und hartes, milchglasähnliches Material. Im Dünnschliff unter dem Mikroskop erweist es sich als vollständig farblos und wasserklar, jedoch — bei geringerer Vergrößerung (etwa 80fach und darunter) — scheinbar von zahlreichen feinen Sprüngen durchzogen. Makro-

skopisch sind solche Risse in mäßiger Zahl tatsächlich vorhanden. Hier aber handelt es sich, wie bei stärkerer Vergrößerung (etwa 500fach) ersichtlich, um feine, lange, mehr oder weniger geradlinige, parallel oder divergent verlaufende, sich verzweigende oder gekrümmte Schnüre von winzigen, meist ganz unregelmäßig geformten, seltener an Kristallgebilde erinnernden farblosen Quarzkörperchen, die von der übrigen gesamten völlig homogenen Quarzmasse umschlossen werden. Außer jenen Schnüren sind jedoch in der letzteren auch noch zahllose isolierte Quarzkörperchen unregelmäßig verstreut. Der ganze Dünnschliff zeigt zwischen Nikols schwache, aber hübsche chromatische Polarisation. Winzige Hohlräumchen oder vielleicht auch Einschlüsse scheinen vorhanden zu sein. Vgl. Mikrophotogramme Nr. 2 und Nr. 3 auf Taf. III.

3. Obernkircher Sandstein.

(Mikrophotogramm, Abb. 1 und 2, Taf. IV.)

α) Die klastischen Quarzsandkörner, unter dem Mikroskop durchweg farblos erscheinend, sind meist mehr länglich als kreisrund, unregelmäßig begrenzt, lebhaft chromatisch polarisierend mit andersfarbigen Rändern.

Quermaß im Durchschnitt etwa	$\frac{50 \mu}{40 \mu}$
Größtquermaß etwa	$\frac{128 \mu}{40 \mu}$
Kleinstquermaß	$\frac{24 \mu}{24 \mu}$

Groß ist in der Regel der Reichtum an mikroskopischen Flüssigkeits- und anderen Einschlüssen, die meist in unregelmäßiger Verteilung, öfters aber auch in mehr oder weniger geradlinigen Schnüren , die Quarzkörner durchsetzen.

β) Das farblose Bindemittel

ist rein kieselig und erscheint im Dünnschliff unter dem Mikroskop sowohl als teilweiser Überzug der älteren Quarzkörner als auch

zwischen denselben als Füllmittel der Kittfuge. Dazu treten nur ganz vereinzelt und unwesentlich sehr geringe Mengen von Eisenoxyd, noch seltener von Eisenoxydhydrat, die Kittfuge mit ausfüllend und gleichsam darüber hinwegquellend. Von der nach v. Lasaulx hin und wieder auftretenden radialfaserigen, sphärolithisch struierten chaledonartigen Substanz habe ich nichts bemerken können. Die kristallisierte Bindemittel-Kieselsäure bildet ein Gewirre entweder a) von mehr oder weniger deutlich ausgebildeten unregelmäßig 6eckigen, jedoch meist abgerundeten, Kristallstängelchen (Abb. 1) oder b) von winzigen, nicht weiter bestimmbareren Kristallkörperchen von höchstens 3μ Quermaß, wie kleinste Bruchstücke und Splitter von Kristallen erscheinend. Die Kristallstängelchen zeigen zuweilen die für die Rutilmikrolithen charakteristischen knieförmigen Zwillingbildungen; die größeren polarisieren zwischen Nikols deutlich. Die Entscheidung, ob und in welchem Maße bei dem Sandstein-Zement es sich um Quarz- oder Rutilmikrolithen handelt, würde auf chemischem Wege (Unlöslichkeit der Rutil in Flußsäure) zu treffen sein. Wenn daher hier in der Folge von kieseligem Bindemittel die Rede ist, soll dies immer unter Vorbehalt etwaigen Rutilgehalts zu verstehen sein.



Abb. 1.

Die Abmessungen der Kristallstängelchen betragen häufig nur etwa $\frac{0,4 \mu}{6,5 \mu}$, öfters auch $\frac{1 \mu}{8 \mu}$, seltener etwa $\frac{20 \mu}{1,5 \mu}$ und mehr. Die beschriebenen Kristallgebilde der Bindemittel-Kieselsäure lassen sich, an isolierten Sandkörnern haftend, auch ohne Dünnschliff sehr wohl wahrnehmen, wenn man jene unterm Mikroskop betrachtet (vgl. auch Sandkörner der kalkigen Einschlüsse des Nörter Sandsteins, s. S. 40 dieses Buches). Interessant ist der Vergleich mit Teilchen von Johnsdorfer Mühlensandstein.

Die natürlich sehr wechselnde und nur praeter propter zu bestimmende Stärke der Kittfuge (durchschnittlicher Zwischenraum zwischen den Quarzkörnern) beträgt etwa $1,5 \mu$, seltener mehr, bis 3μ .

γ) An mineralischen Beimengungen

(die der Sandsubstanz zuzuzählen wären), ist der Obernkircher Sandstein äußerst arm. Tonschiefertrümmer sind in mäßiger Menge vorhanden. Höchst selten nur beobachtet man unter dem Mikroskop ein Glimmerblattrestchen oder ein opakes Erzteilchen. Erwähnenswert sind die gleichfalls höchst vereinzelt beobachteten winzigen Aggregate (1 μ bis zu 3 μ Quermaß) eines schön lasurblauen Minerals, wahrscheinlich von Korund. (Hauyn erscheint seiner leichten Zersetzbarkeit wegen ausgeschlossen, Glaukophan u. a. unwahrscheinlich.) Kristallform wegen der Kleinheit der Gebilde kaum angebbar. Die mikrochemische Prüfung müßte hier entscheiden. Die gleiche Beobachtung war von mir schon bei der Untersuchung einzelner Dachschiefer früher gemacht worden. Nicht selten, wie schon angedeutet, jedoch meist nur in geringeren Mengen, zeigen sich Tonschieferreste, den Sandkörnern anhaftend.

4. Wrexer Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 3 und 4, Taf. IV.)

α) Die klastischen Quarzsandkörner

sind auch hier an und für sich durchweg farblos, jedoch häufiger mit dichten Mikrolithen-Überzügen, Anhäufungen von braungelbem Eisenoxydhydrat behaftet. Sie erscheinen größer und langgestreckter als beim Obernkircher Sandstein und noch reicher an Einschlüssen wie dort. Sie polarisieren in besonders lebhaften Farben.

Quermaß im Durchschnitt 150 μ bis 200 μ ,

Größtquermaß $\frac{300 \mu}{200 \mu}$ oder $\frac{400 \mu}{150 \mu}$,

Kleinstquermaß 150 μ bis 200 μ .

β) Das Bindemittel

ist farblos oder doch nur ganz schwach durch Eisenoxydhydrat pigmentiert. Es kann als vorwiegend kieselig und schwach oxydhydratisch bezeichnet werden. Die Bindemittel-Kieselsäure

tritt auch hier in den unter 3β , a und b genannten Ausbildungsformen auf.

Die Kristallstängelchen sind aber viel weniger zahlreich wie beim Obernkircher Sandstein; ihre Abmessungen betragen meist etwa $15\ \mu$ bis $25\ \mu$ auf $3\ \mu$ bis $5\ \mu$, selten mehr, bis $\frac{40\ \mu}{16\ \mu}$.

Breite der Kittfuge etwa $2\ \mu$ oder $2,5\ \mu$ bis $4,5\ \mu$.

γ) An mineralischen Beimengungen ist der Wrexer Sandstein nicht arm.

Außer den schon erwähnten Anhäufungen von gelblichen Eisenoxydhydratmassen finden sich ziemlich zahlreich Tonschiefertrümmer von etwa gleicher Größe zwischen die Sandkörner eingestreut. Sie sind zuweilen im reflektierten Lichte sofort als solche erkennbar. Weit spärlicher treten lappig-zerrissene Glimmerblättchen auf (Muskovit, wie fast ausschließlich bei allen hier geprüften Sandsteinsorten. Biotit ist nur — und in höchst geringer Menge — bei dem Sandstein von Staudernheim gefunden worden). Nur ganz selten zeigt sich ein Feldspattrümmerstückchen, durch die Zwillingsbildung im polarisierten Licht gekennzeichnet. Beide Mineralien-Reste unter Sandkorngröße.

Auch schwarze, opake, kugelige und ellipsoidische Erzkörner von $5\ \mu$ bis $25\ \mu$ Quermaß, einmal sogar von $40\ \mu$, kommen nur vereinzelt vor. Die blauen Kriställchen (Korund?) wurden auch hier beobachtet.

5. Mehler Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 5 und 6, Taf. IV.)

α) Die, an sich völlig farblosen, klastischen

Quarzsandkörner

sind reich an Flüssigkeitseinflüssen und oft mit Mikrolithen und Eisenoxyd sowie Eisenoxydhydrat, mehr noch aber mit braunschwarzer kohligter oder humöser Substanz behaftet. Dieser verdankt das weiße Material auch vermutlich seinen schwach, aber charakteristisch ins Gräuliche gehenden Farbenton, im Gegensatz zu dem reiner weißen, eher schwach gelblich angehauchten Obernkircher Sandstein.

Die Quarzkörner, ziemlich lebhaft polarisierend, sind von länglicher, besonders unregelmäßiger, oft zerrissener Form und ungleicher Größe, durchschnittlich größer als die Sandkörner des Obernkircher, aber etwas kleiner als die des Wrexer Sandsteins.

Quermaß im Durchschnitt	$\frac{112 \mu \text{ bis } 150 \mu}{75 \mu \text{ bis } 100 \mu}$
Größtquermaß	$\frac{225 \mu \text{ bis } 250 \mu}{150 \mu \text{ bis } 225 \mu}$
Kleinstquermaß etwa	$\frac{50 \mu}{50 \mu}$

β) Das Bindemittel

ist vorwiegend kieselig. Die Kristallgebilde der Bindemittel-Kieselsäure treten ähnlich wie beim Obernkircher Sandstein, wenn auch nicht in gleicher Menge und Mannigfaltigkeit, in beiden unterschiedenen Ausbildungsformen auf. Die nicht sehr häufigen größeren Stängelchen zeigen Abmessungen von $\frac{10 \mu}{1\frac{1}{4} \mu}$ bis $\frac{50 \mu}{6 \mu}$, im Durchschnitt etwa $\frac{20 \mu}{2,5 \mu}$. Reichlicher treten die der allerfeinsten Art auf.

Breite der Kittfuge etwa $1,5 \mu$ bis 3μ und mehr.

γ) Mineralische Beimengungen.

Außer den erwähnten, auf den Sandkörnern aufsitzenden Eisenverbindungen und namentlich kohligen Massen (s. Abb. 2), Größtquer-

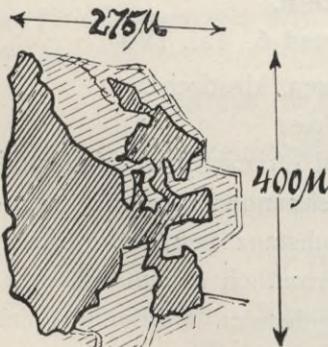


Abb. 2.

maß bis $\frac{350 \mu}{200 \mu}$, ja $\frac{500 \mu}{250 \mu}$, sowie der sehr zahlreichen, zerrissenen Ton-schiefertrümmer (oft unter Sandkorngröße) ist von Beimengungen nichts zu bemerken. Nur ein einziges blaues Kristallaggregat (5μ) von Korund (?) und ein vereinzelt kleines Glimmerläppchen wurde im Dünnschliff aufgefunden. Bemerkt sei

jedoch, daß der Mehler Sandstein sonst auch sogar makroskopischen Muskovit enthält.

6. Osterwalder Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 1 und 2, Taf. V.)

a) Die klastischen Quarzsandkörner, farblos, mäßig farbig polarisierend, enthalten ziemlich reichlich Einschlüsse und sind mehr rundlich wie länglich; Korngröße ähnlich der des Mehler Sandsteins, sie häufig um etwas übertreffend.

Quermaß im Durchschnitt	$\frac{100 \mu}{100 \mu}$
Größtquermaß etwa . . .	$\frac{250 \mu}{175 \mu}$
Kleinstquermaß	$\frac{50 \mu}{50 \mu}$

β) Das Bindemittel

ist vorwiegend kieselig, derart, daß der Osterwalder Sandstein in dieser Hinsicht (abgesehen vorläufig von dem Stadtoldendorfer dem Obernkircher wohl am nächsten steht. Beigemischt sind, ähnlich wie beim Obernkircher Sandstein, kleinere Mengen von Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat, doch etwas reichlicher, namentlich von letzterem. Die Bindemittel-Kieselsäure ist hier vorwiegend in der unter 3β b erwähnten Ausbildungsform vertreten, obwohl auch die der Kristallstängelchen nicht fehlt. Ihr Quermaß be-

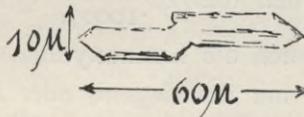


Abb. 3.

trägt $\frac{20 \mu}{25 \mu}$ bis $\frac{25 \mu}{8 \mu}$, ausnahmsweise $\frac{60 \mu}{10 \mu}$ (s. Abb. 3).

γ) Mineralische Beimengungen.

Tonschieferreste sind in meist nur ganz kleinen zerrissenen Partien, aber ziemlich gleichmäßig, im Stein verbreitet.

Häufig sind hier ferner hellgraue bis hellgelbliche opake Massen von etwa $\frac{100 \mu \text{ bis } 200 \mu}{100 \mu}$ Quermaß, dem Anschein nach von amorph kieseliger Natur. Sonst sind, abgesehen von einigen winzigen blauen Kristallaggregaten von 7μ Quermaß (Korund?), beigemengte Mineralien nicht vorhanden. Glimmer, Feldspäte usw. sind ganz oder so gut wie ausgeschlossen.

7. Hardegser Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 3 und 4, Taf. V.)

a) Die klastischen Quarzsandkörner, sehr lebhaft polarisierend, sind von sehr ungleicher Größe, höchst unregelmäßiger, vielfach länglicher Form und zeigen ein

Durchschnittsquermaß von $\frac{125 \mu \text{ bis } 150 \mu}{125 \mu \text{ bis } 150 \mu}$,

ein Größtquermaß von etwa $\frac{350 \mu}{150 \mu}$ und

ein Kleinstquermaß von $\frac{50 \mu}{50 \mu}$.

Sie enthalten reichlich Einschlüsse.

β) Das Bindemittel

ist (soweit durch das Mikroskop erkennbar) vorwiegend eisenoxydisch mit kieseliger Beimengung. Auch kohlige Beimengungen fehlen nicht. Sie gehören teils zu den Schieferresten, teils treten

sie in größeren Partien (bis zu $\frac{1000 \mu}{1000 \mu}$ Quermaß) auf und be-

decken dann gewöhnlich die Eisenoxydmassen. Diese sind, wie bei allen Sandsteinen mit vorwiegend oder rein-eisenoxydischem Bindemittel, im Dünnschliff durch bräunlich-weinrote Farbe gekennzeichnet und lassen die Kittfugen, die sie, allenthalben darüber hinausragend, erfüllen, besonders deutlich hervortreten. Ebenso heben sie sich von der Schnittfläche der Quarzsandkörner scharf ab. Abmessungen der Bindemittel-Kristallstängel-

chen $\frac{25 \mu}{4 \mu}$ bis $\frac{40 \mu}{5 \mu}$, in maximo $\frac{60 \mu}{6 \mu}$.

Die Kittfugenbreite kann zu $2,5 \mu$ und mehr taxiert werden.

γ) Mineralische Beimengungen

treten bei dem Hardegser Sandstein in solcher Menge auf, daß er in dieser Hinsicht nur noch vom „Sandstein von Essen“, vom Hilssandstein und vom Nörter Sandstein übertroffen wird. Mitverkittete Tonschiefertrümmer sind massenhaft, obschon oft unter Sandkorngröße, vorhanden. Sehr häufig sind Plagioklasreste von $\frac{150\mu}{150\mu}$, $\frac{200\mu}{100\mu}$ usw., durch prächtige Zwillingstreifung im polarisierten Lichte ausgezeichnet; auch Orthoklasstrümmer, kaum Sandkorngröße erreichend, finden sich vor. Lamellare, geknickte Glimmerblättchen ($\frac{300\mu}{50\mu}$) mit zerlappten Umrissen zeigen sich vereinzelt unter dem Mikroskop; makroskopischer Glimmer (Muskovit) ist gleichfalls nicht sehr reichlich vertreten. Der Kohleanhäufungen ist schon Erwähnung geschehen. Impelluzide Erzkörnchen von etwa 20μ Quermaß vereinzelt. Feine Aggregate (von 10μ Quermaß) eines schön blauen Minerals (Korund?) auch hier vereinzelt bemerkbar.

8. Nörter Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 5 und 6, Taf. V.)

α) Die klastischen Quarzsandkörner

sind farblos, lebhaft chromatisch polarisierend, sehr ungleichmäßig in Größe und Form, — es fallen die zahlreichen, sehr großen und die häufigen sehr kleinen Sandkörner auf —, reich an Einschlüssen und zeigen ein Durchschnittsquermaß von etwa 200μ , oft aber weniger, etwa 150μ ,

ein Größtquermaß von etwa $\frac{550\mu}{400\mu}$ und

ein Kleinstquermaß von etwa $\frac{100\mu}{400\mu}$.

β) Das Bindemittel

ist gemischt eisenoxydisch-kieselig-kalkig. Der Kalkgehalt ist jedoch nicht als völlig gleichmäßig verteilt im Zement, sondern partienweise verteilt zu denken, wie durch Be-

handlung der Steinoberfläche mit HCl festgestellt wird und das Mikroskop bestätigt (vgl. Abb. 4). Außerdem finden sich größere Kalkanhäufungen noch vor in Form von besonderen, spärlicher verteilten hellfarbigen Einschlüssen, aus Sandkörnern und eben Kalksubstanz bestehend (Abb. 5). Diese Einschlüsse werden

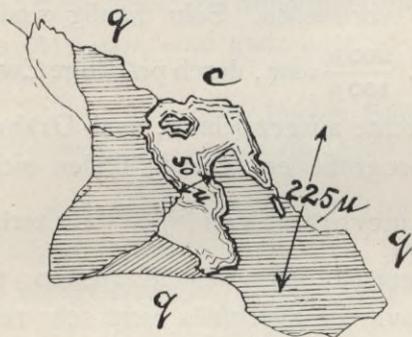


Abb. 4.

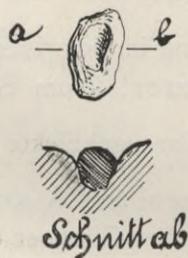


Abb. 5.

von den Steinmetzen „Dolomiten“ genannt. Inwiefern diese Bezeichnung wegen eines etwaigen Gehalts an $MgCO_3$ teilweise oder nicht berechtigt ist, kann, da eine chemische Analyse unterbleiben mußte, nicht entschieden werden. Bei wochenlangem Ausziehen dieser Einschlüsse mit HCl bleibt loser, reiner Quarzsand von etwa $\frac{200 \mu \text{ bis } 400 \mu}{200 \mu \text{ bis } 300 \mu}$ Korngröße zurück. Den Sandkörnern haftet, z. T. deutlich erkennbar, Bindemittel-Kieselsäure an.

Der Calcit stellt sich unter dem Mikroskop in Form zusammenhängender, nach den Rändern hin deutlich irisierender Kristallgebilde von 25μ bis $\frac{175 \mu}{100 \mu}$ Quermaß dar, denen als Elementarform die Raute zugrunde liegt. Ein einzelner derartiger Kristallschnitt mit deutlich rhomboedrischen Spaltflächen hatte 200μ Seitenlänge. Das Mikroskop zeigt deutlich, wie die Calcitmasse beim Auskristallisieren zwischen den Quarzsandkörnern, die Kittfuge füllend, der Form jener sich angepaßt hat (s. Abb. 4). Die Kristallstängelchen des kieseligen Bindemittel-Gemengteils treten jedenfalls zurück gegen den eisenoxydischen. Die Kristallstängelchen haben höchstens $\frac{12 \mu \text{ bis } 18 \mu}{1,5 \mu \text{ bis } 25 \mu}$

Quermaß, gewöhnlich aber viel weniger. Die Breite der Kittfuge wird auf etwa $2,5 \mu$ und mehr zu schätzen sein.

γ) An mineralischen Beimengungen

ist der Nörter Sandstein reich, zumal wenn man die Anhäufungen von Calcit dazu zählt (vgl. unter β). Es wurden Orthoklasreste von $\frac{250 \mu}{200 \mu}$ Quermaß beobachtet; häufiger sind Plagioklastrümmer von etwa Sandkorngröße, z. B. $\frac{150 \mu}{150 \mu}$. Mikroskopischen Glimmer zeigte der Dünnschliff kaum; makroskopisch macht er sich deutlich bemerkbar. Massenhaft vertreten sind: Tonschieferreste, in Verkittung mit den Sandkörnern, in verschiedensten, oft sehr minimalen, meist wild zerrissenen Partien. Die Eisenoxydmassen sind häufig von dunkelbrauner Substanz überzogen oder davon durchsetzt, die als Eisenhydroxyd zu deuten sein wird, dabei aber an humöses Material erinnert.

9. Stadtoldendorfer Sandstein.

(Mikrophotogramme, Abb. 1 und 2, Taf. VI.)

α) Die klastischen Quarzsandkörner

enthalten zahlreiche Einschlüsse und zeigen

ein Durchschnittsquermaß von 60μ bis 90μ und mehr,

ein Größtquermaß von etwa $\frac{580 \mu}{200 \mu}$ und

ein Kleinstquermaß von . . 30μ bis 40μ .

β) Das Bindemittel

ist eisenoxydisch-kieselig und zeigt die charakteristisch bräunlich-weinrote Farbe, deren Intensität hier weit schärfer und deutlicher wie bei irgend einer der übrigen untersuchten Sandsteinsorten die Abgrenzung der Sandkornumrisse zeigt. Das dunkelbraunrote Bindemittel erscheint hier ganz besonders reichlich, nicht nur die Kittfuge ausfüllend, sondern auch, gleichsam wie überquellend, deren Ränder und auch oft die Sandkornfläche z. T. bedeckend. Die hier besonders reichlichen Eisenoxydmassen bedecken gewöhnlich ein außerordentlich dichtes Gewirre

zahlloser feiner Kristallstängelchen von bis höchstens $\frac{12\ \mu}{1,5\ \mu}$ Abmessungen. Dieselben mögen z. T. den auftretenden Tonschieferesten angehören, sind aber jedenfalls auch im isolierten Zustande in solcher Unmenge vorhanden, daß die obige Bezeichnung des Bindemittels gerechtfertigt ist. Das Eisenoxyd umhüllt oft deutlich die einzelnen Kriställchen. Die unter 3β b erwähnte Form der Bindemittel-Kieselsäure fehlt auch hier nicht.

Kittfugenbreite etwa $2,5\ \mu$ und mehr. Bei keinem der untersuchten Sandsteinsorten ist das Bindemittel entfernt so reich an reinem Eisenoxyd wie hier.

γ) Mineralische Beimengungen

sind in nur beschränktem Maße vorhanden; so Tonschiefereste von Sandkorngröße und kleiner; von Glimmer (Muskovit), der im Stadtoldendorfer Sandstein, namentlich in schichtigen Sorten, häufig in erheblicher Menge makroskopisch vorkommt, wurde im Dünnschliff wenig, z. B. ein zerlapptes Bruchstück von $\frac{250\ \mu}{175\ \mu}$ Quermaß, beobachtet. Plagioklas sehr selten; von $\frac{60\ \mu}{100\ \mu}$ bis $\frac{80\ \mu}{120\ \mu}$.

10. Hilssandstein.

(Mikrophotogramm Abb. 3 und 4, Taf. VI.)

α) Die klastischen Quarzsandkörner

sind von meist länglicher, jedoch ziemlich abgerundeter Gestalt, zeigen mäßig viele Einschlüsse und

ein Durchschnittsquermaß von $\frac{90\ \mu \text{ bis } 120\ \mu}{90\ \mu \text{ bis } 120\ \mu}$

ein Größtquermaß von etwa $\frac{180\ \mu}{90\ \mu}$ und

ein Kleinstquermaß von etwa $\frac{45\ \mu}{45\ \mu}$.

β) Das Bindemittel

ist dem Anschein nach kieselig-schwacheisenoxydhydratisch. Die Kristallstängelchen bis zu $\frac{15\ \mu}{3\ \mu}$, einmal $\frac{30\ \mu}{3\ \mu}$; Stärke der Kittfuge etwa $1,5\ \mu$ oder $2\ \mu$ und mehr.

γ) Die mineralischen Beimengungen

spielen bei dem Hilssandstein eine besondere Rolle, namentlich ist es der Chlorit, der in prächtig grünen, abgerundeten Blättchen und Schuppen von etwas unter Sandkorngröße bis zu den Abmessungen $\frac{210\mu}{150\mu}$ in ziemlich gleichmäßiger Verteilung, geradezu dominiert. Es wurde sogar ein Chloritaggregat von etwa $\frac{1}{2}$ mm Quermaß beobachtet. Auch an Tonschieferresten ist kein Mangel. Seltener ist Glimmer (Muskovit) bis zu $\frac{210\mu}{30\mu}$ vertreten. Ganz vereinzelt, aber in größeren Aggregaten von etwa 200μ Quermaß kommen schön dunkel honiggelbe bis nelkenbraune, halbdurchsichtige, unregelmäßig, z. T. krummflächig begrenzte Schuppen vor, die ich für Eisenoxyd oder Eisenoxydhydrat zu halten geneigt bin. Die einzelnen Individuen haben etwa 25μ Quermaß. An einer Stelle des Dünnschliffes befand sich ein Aggregat von $\frac{750\mu}{300\mu}$.

II. Sandstein von Essen im frischen Zustande.

(Mikrophotogramm Abb. 1 und 2, Taf. VII.)

Die im Abschnitt III, A zu besprechende Gefrierprobe mit den vorliegenden Sandsteinen war bereits dem Abschluß nahe oder auch schon beendet und die Vorbereitungen für den im Abschnitt III, B zu schildernden Wetterbeständigkeitsversuch hatten begonnen, als Proben eines Sandsteins in meine Hände gelangten, der wegen an ihm beobachteter Verwitterungserscheinungen mein besonderes Interesse erregte. Sofort entschloß ich mich, ihn der begonnenen Prüfung mit zu unterwerfen, was sich günstigerweise noch eben ermöglichen ließ. Dieses mir so à propos gekommene Material gehört allerdings nicht zu den Wesersandsteinen. Seine Provenienz ist noch nicht mit voller Sicherheit festgestellt. Die anfangs mir gemachte Angabe, daß es Ruhrsandstein sei, ist unbedingt falsch. Dann wurde es als Sandstein von Staudernheim an der Nahe angesprochen. Der Vergleich eines Dünnschliffes aus dem fraglichen Material mit einem solchen aus echtem

Staudernheimer Sandstein ergab die wahrscheinliche Richtigkeit dieser zweiten Bezeichnung. Der Stein ist bei der Münsterkirche in Essen a. d. Ruhr verwandt worden. Diese, in ihren ältesten Teilen aus der romanischen Zeit stammend, hatte später einen gotischen Erweiterungsbau erhalten, der 1848 mit scharrierten Quadern verblendet wurde. Die Verblendung ist aus dem fraglichen, darum hier als „Sandstein von Essen“ bezeichneten, Material hergestellt und zeigte (vor der nunmehr erfolgten teilweisen Restaurierung) namentlich an der Ost-, Süd- und Westseite sehr auffallende und weitgehende Verwitterungen. Das äußere Ansehen des Sandsteins ganz im Innern eines Probestückes ist in Tabelle 3 beschrieben. Der mikroskopische Befund nach einem Dünnschliff aus gleichfalls unversehrtem Material ist im folgenden wiedergegeben, wozu die Mikrophotogramme Abb. 1 und 2, Tafel VII, zu vergleichen sind.

a) Die klastischen Quarzsandkörner,
von der gewöhnlichen Beschaffenheit, zeigen

ein Durchschnittsquermaß von $\frac{200 \mu \text{ bis } 300 \mu}{100 \mu \text{ bis } 200 \mu}$

ein Größtquermaß von etwa $\frac{600 \mu}{300 \mu}$ und

ein Kleinstquermaß von etwa $\frac{100 \mu}{100 \mu}$.

β) Das Bindemittel

ist gemischt schwach kalkig-eisenhydroxydisch-minimal kieselig, ob auch z. T. tonig, wäre durch die Analyse festzustellen.

Die Bindemittelkieselsäure ist jedenfalls höchst spärlich, Kristallstängelchen wurden kaum beobachtet. Irisierende Calcit-Aggregate von etwa 15μ Quermaß machen sich bemerklich. HCl bewirkt unter der Lupe sichtbares, ganz schwaches Aufbrausen an einzelnen winzigen, jedoch ziemlich gleichmäßig verteilten Stellen der Steinfläche. Kittfuge ungemein dicht. Ihre Breite ist schwer schätzbar und mag höchstens 1μ betragen.

γ) An mineralischen Beimengungen

ist der „Sandstein von Essen“ ganz besonders reich.

Tonschieferreste finden sich in weit größerer Menge als bei sämtlichen übrigen untersuchten Sandsteinsorten; sie sind häufig mit massenhaften Kohleeinschlüssen behaftet. Die Schiefertrümmer erreichen oft weit mehr als Sandkorngröße und machen den Quarzkörnern der Quantität nach z. T. den Rang streitig. Glimmer (Muskovit) ist ganz besonders reichlich in sehr stark zerlappten und zerrissenen, oft stark gehäuften Partien, bis zu $\frac{250\mu}{100\mu}$, ja $\frac{350\mu}{50\mu}$ Quermaß vertreten. Grüner Chlorit kommt gleichfalls vor, auch wurmförmig in Quarz eingewachsen. Plagioklas nicht selten, bis zu $\frac{150\mu \text{ bis } 175\mu}{150\mu}$ Quermaß.

Braune opake Massen von Eisenoxydhydrat sind häufig. Diese, nebst den Schieferresten und auch den Chlorit-aggregaten, machen sich schon unter der Lupe als dunkle Flecken bemerklich. Dies trifft auch bei einigen anderen Wesersandsteinen zu:

Außerdem kommen vor vereinzelt oder in geringeren Mengen:

Zirkon in kleineren Kristallen, Anatas, gelblich-braune Pyramiden bis zum Quermaß von $\frac{6\mu}{6\mu}$ bildend, meistens jedoch weit kleiner (größtes Aggregat von $\frac{690\mu}{150\mu}$ Quermaß); Rutil in gelben Säulchen, Apatitnadelchen und blauer Korund (?).

12. „Sandstein von Essen“, verwittert.

Der Dünnschliff wurde der sehr starken Verwitterungskruste des in Abb. 7 dargestellten Gesimsstückes entnommen. Das Bild ist ganz ähnlich dem unter 11 beschriebenen. Quarz und Glimmer erscheinen, z. B. völlig unverändert; dagegen fällt sofort ins Auge, daß die früher dunkelbraunen Eisenoxydhydratmassen jetzt fast durchgängig weit hellfarbiger, gelblich und an den Rändern deutlich verwaschen und ausgelaufen erscheinen. Das Pigment hat sich ersichtlich auf größere Flächen verbreitet. Auch sonst

sind einzelne Zeichen der Verwitterung nicht zu verkennen. Z. B. erscheinen die Feldspäte jetzt weniger frisch, was allerdings das Mikrophotogramm, Abb. 3 und 4, Tafel VII, nicht verrät.

13. „Odenwald-Syenit“.

Dieses in der Steinbruch-Industrie so bezeichnete Material ist petrographisch kein Syenit, sondern ein, etwas Quarz führender, **Diorit**.

Die untersuchte Probe (von Peter Bachem, Witwe u. Cie. in Königswinter geliefert) entstammt sehr wahrscheinlich den Brüchen der Firma Kreuzer & Böhringer in Lindenfels i. Odenwald.

In dem Mikrophotogramm, Abb. 5, Tafel VII (Vergr. 45 fach), zeigt sich zur Linken und rechts unterhalb des $\frac{250\mu}{150\mu}$ -großen speisgelben Schwefelkieses, im obersten Teil des Bildes, etwas eckiger Quarz. Das zweite, viel kleinere Schwefelkieskorn, rechts unten von dem ersten, wird von einem Quarzkorn (rechts) und einem undeutlichen Plagioklas (links) eingeschlossen. Nach links und unten hin folgen dann größere Massen, im Dünnschliff von gewöhnlich licht hellgrüner Hornblende, von den charakteristischen Sprüngen massenhaft durchsetzt. Rechts unten schließen sich sodann größere Plagioklase an, während links unten wieder Hornblende, von etwas Quarz unterbrochen, vorherrscht. Die größten beobachteten Quarzkörner maßen 200μ bis 300μ .

Apatitnadeln kommen bis zu $\frac{400\mu}{20\mu}$ bis 50μ Quermaß vor. Kleine Mengen von Magnesia-Glimmer sind vorhanden.

Das zweite Mikrophotogramm, Abb. 6, Tafel VII, (Vergr. 140 fach) zeigt einige Quarzkörner des Dünnschliffs, von Feldspat und Hornblende umlagert. Links unten ein Schwefelkies.

Anhang.

Der früher erwähnte Dünnschliff von Staudernheimer Sandstein (von dem ein Mikrophotogramm nicht vorliegt) ergab folgenden Befund:

a) Farblose wasserklare Quarzsandkörner,
z. T. mit vielen Einschlüssen.

Durchschnittsmaß . . $\frac{200\mu}{200\mu}$

Größtquersmaß etwa . $\frac{425\mu}{325\mu}$

Kleinstquersmaß etwa $\frac{125\mu}{125\mu}$

β) Bindemittel

ganz ähnlich wie bei 11.

γ) Mineralische Beimengungen.

Orthoklas und Plagioklas, Tonschieferreste, braune opake Massen von Eisenoxydhydrat, Muskovit, selten Biotit; vereinzelt auch grüner Chlorit. Ziemlich reichlich farbloser Zirkon in z. T. größeren Kristallen; Rutil in orangeroten Körnern; brauner und bläulicher Turmalin; hexagonale Apatit-säulchen, vereinzelt.

Abschnitt III.

Künstliche Verwitterungsproben.

Auf die Ausführung des „natürlichen Verwitterungsversuches“ mußte ich zu meinem Bedauern, der Umstände wegen, Verzicht leisten. Außerdem aber lag es in meiner besonderen Absicht, den „künstlichen“ Verwitterungsversuch nach meinen eigenen, von mir selbst bis dahin noch niemals realisierten Vorschlägen, in, wenn nötig, verbesserter Form, einmal zur Ausführung zu bringen und die ausgewählten Wesersandsteinsorten boten hierzu ein besonders geeignetes Objekt dar. Nach den Ausführungen auf den Seiten 9/17, 43/44 und 174/177 meines Werkes: „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine usw.“, von denen ich hier ausgehe, erfordert das in Rede stehende Prüfungsverfahren im wesentlichen zwei Einzelprüfungen:

1. Den Frostversuch oder die Gefrierprobe und
2. die obligatorische Agentienprobe.

A. Der Frostversuch.

Die Ausführung des Frostversuchs mit den Sandsteinsorten selbst vorzunehmen, wäre mir wegen gänzlichen Mangels der dazu erforderlichen Einrichtungen leider ganz unmöglich gewesen. Und doch konnte und durfte dieser wichtige Teil der Wetterbeständigkeitsprüfung nicht entbehrt werden. Ich begrüßte es darum mit der größten Freude und dem lebhaftesten Danke, als der verdiente und hochverehrte Obmann der

Kommission des „Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“, Herr Professor A. Hanisch, K. K. Bau-
rat in Wien, auf meine Bitte sich in uneigennützigster und liebens-
würdigster Weise bereit erklärte, den Frostversuch für mich
auszuführen. Es geschah dies in der Herrn Baurat Hanisch
unterstellten behördlich autorisierten Prüfungsanstalt für natür-
liche und künstliche Steine in Wien I, nach dem dort üblichen,
den Beschlüssen der internationalen Konferenzen entsprechenden
und im wesentlichen jetzt auch sonst überall gebräuchlichen Ver-
fahren. Dasselbe verdient, wie aus dem folgenden ersichtlich,
ohne Zweifel durchaus die Bezeichnung als einer „strengen
Frostprobe“. Zunächst wurden aus jeder der 8 Sandsteinsorten
1 bis 8 (Seite 6 u. f. d. B.), nämlich:

1. Obernkircher Sandstein,
2. Wrexer „
3. Mehler „
4. Osterwalder „
5. Hardegser „
6. Nörter „
7. Stadtoldendorfer „
8. Hilssandstein,

je 3 genau gleichbeschaffene Würfel von 6 cm Kantenlänge durch
Aussägen aus dem Block hergestellt, dazu noch 3 weitere Würfel
aus einer zweiten, etwas schwach rötlichen, mit dunkleren Streifen
behafteten Sorte des Wrexer Sandsteins, in Tabelle 2 mit 2a
bezeichnet. Die Ausführung dieser Arbeit besorgte die be-
kannte Firma „Peter Bachem, Wwe. & Komp., Steinbrüche,
Steinhauerei und Dampfsteinsägerei, Königswinter a. Rh.“

Von je 3 Würfeln der 8 bzw. 9 Sandsteinsorten wurde nun
immer je einer im trockenen Zustand der Druckfestigkeits-
probe unterworfen. Die Ausführung erfolgte mittelst Presse nach
der zuverlässigen und bewährten Amslerschen Konstruktion, 1
zum Lager. Die Druckfestigkeitsangaben der Tabellen 1 und 2 be-
ziehen sich durchweg auf den völligen Bruch. Die beiden

anderen Würfel jeder der 8 bzw. 9 Sandsteinsorten wurden zum Frostversuch selbst benutzt. Zunächst wurden dieselben trocken gewogen und hierauf mit Wasser getränkt und zwar erfolgte die Wassersättigung durch allmähliches Zugießen von Wasser in ein Glas, in dem der Würfel sich befand. Nach 8 Tagen Wasserlagerung fand Wiederwägung statt, zum Zweck der Wasseraufnahme-Bestimmung. Die wassergesättigten Sandsteinwürfel wurden nun in einem Drahtgehänge in den Gefrierraum des Eiskastens gebracht und hier mindestens 4 Stunden einem Frost bis zu -17°C ausgesetzt, hierauf in Auftauwasser von Zimmertemperatur gebracht, woselbst sie wieder mindestens 4 Stunden verblieben. Dieses Verfahren wurde 25 mal wiederholt, wodurch den Vorgängen der Wirklichkeit tunlichst Rechnung getragen ist, während andererseits die Bedingungen des Versuchs bedeutend schärferer Art waren, wie sie dort vorzuliegen pflegen. Denn wohl niemals wird es sich in Wirklichkeit um stete, gleich häufige Wiederholung einer solch niedrigen, allseitig und bis ins Innere wirkenden Temperatur handeln wie im Versuch, während gleichzeitig der hohe Grad der Wassersättigung beim letzteren von der Wirklichkeit niemals erreicht werden wird. Das Ergebnis der beschriebenen Frostprobe für die Sandsteinsorten war ein durchgehend günstiges. Zunächst wurde keiner der Würfel derart beschädigt, daß eine nachfolgende Druckprobe unmöglich geworden wäre. Das genauere Verhalten der einzelnen Steinsorten beim Frostversuch ist aus Tabelle 2 zu ersehen, die deren ungleichen, äußerlich sichtbaren, nirgends aber erheblichen Veränderungen und ihre ungleichen, aber **ziemlich** unbedeutenden Gewichtsverluste im Frostversuch erkennen läßt (Spalten 8 und 7). Danach ist das Verhalten der 8 Sorten als ein im großen ganzen ziemlich gleichmäßig günstiges gekennzeichnet und auch der Hilssandstein, der auf den ersten Blick weniger vertrauenerweckend erscheinen könnte, ist davon nicht auszuschließen. Sämtliche 8 Sorten können im Hinblick auf die unzweifelhafte Strenge der beschriebenen Probe als im gewöhnlichen Sinne frostbeständig bezeichnet werden. Die

Rangordnung der Sorten nach den Ergebnissen der verschiedenen Spalten (5, 7 und 8) ist etwa die folgende:

Lauf. Nr.	1		2		3	
	Gemäß Sp. 5 der Tabelle 2		Gemäß Sp. 7 der Tab. 2		Gemäß Sp. 8 der Tab. 2	
1	Osterwalder Sandstein	—	Osterwalder Sandstein		Osterwalder Sandstein	
2	Obernkircher Sandstein	—	Obernkircher Sandstein		Obernkircher Sandst.	
3	Mehler Sandstein	—	Mehler Sandstein		Mehler Sandstein	
4	Wrexer Sandst. (Sorte 2a)	—	Wrexer Sandstein (S. 2)		Hardegser Sandstein	
5	Hardegser Sandstein	4	Hardegser Sandstein		Stadtoldendorfer Sandst.	
6	Stadtoldendorfer Sandstein	5	Wrexer Sandst. (S. 2a)		Wrexer Sandst. (S. 2)	
7	Wrexer Sandst. (Sorte 2)	10	Nörter Sandstein		Nörter Sandstein	
8	Nörter Sandstein	15	Hilssandstein		Wrexer Sandst. (S. 2a)	
9	Hilssandstein	21	Stadtoldendorfer Sandst.		Hilssandstein	

Bemerkung: Die Zahlen der Spalte 1 bedeuten: Druckfestigkeitsabnahmen beim Frostversuch in % des Anfangstrockengewichts.

Zu dieser Zusammenstellung ist zu bemerken, daß die Inhalte ihrer 3 Rubriken sich teils nur scheinbar, teils tatsächlich widersprechen und daher zu unbedingt sicheren Vergleichen und daraus abgeleiteten vollständig bindenden Schlüssen nicht wohl berechtigen können. Und dies ist auch ganz natürlich. Erstlich enthalten die Spalten 1, 2, 3 bei genauerem Zusehen an und für sich keineswegs Antworten auf die gleichen Fragen. Denn während Spalte 1 (oder Spalte 5 der Tabelle 2) gleichsam ein Bild des Gesamtkohärenzverlustes der Sandsteinwürfel als Ganzes als Folge der Frostprobe gegenüber der Wirkung zweier gleichen gegensinnigen Kräfte (Druckbeanspruchung der Würfel) darbietet, stellt Spalte 3 (oder Spalte 8, Tab. 2) den Ausdruck des entsprechenden Verhaltens der Kohärenzgröße einer kleineren Materialpartie und dazu noch unter dem Einfluß einer einseitig nach außen gerichteten Kraftwirkung: des Eisüberdruckes dar, wobei überdies noch ein Unterschied zwischen dem Verhalten der Würfelkanten und Würfecken besteht und ausschließlich Zug- und allenfalls noch Scherspannungen in Frage kommen, jedenfalls aber gerade reine Druckbeanspruchung ausgeschlossen erscheint.

Ferner sind die Angaben der Spalte 3 bzw. 8 der Tabelle 2 nur ganz grobe, dem bloßen Augenschein entstammende, die der Spalte 5, Tab. 2, aber exakt zahlenmäßige, ein Unterschied, der auch hinsichtlich der Spalten 7 und 8 besteht. Sodann sind auch wiederum diese letzteren doch nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar, denn Spalte 2, S. 51 d. B., oder vielmehr Spalte 7, Tab. 2, gibt nicht ausschließlich das gewichtsprozentische Maß für die infolge der Frostwirkung entstandenen Materialverluste, sondern durch die betreffenden Zahlengrößen kommt außerdem noch die, wenn auch noch so geringe, chemische Wirkung des immerhin längere Zeit wirksam gewesenen CO_2 - und O-haltigen Aufsaugewassers in den Gläsern vor dem Frostversuch mit zum Ausdruck. Ein kleiner Teil des in Verlust gegangenen Materials ist eben im Aufsaugewasser gelöst zurückgeblieben. Übrigens müßte von den Angaben der Spalte 5 der Tab. 2, strenggenommen, über die Hälfte, nämlich die Angabe für den Hardegser, Osterwalder, Mehler, Wrexer (Sorten 2 und 2a) und Obernkircher Sandstein, ausscheiden, soweit sie sich auf die Frostprobe beziehen. Denn die nach Beendigung derselben bestimmten Druckfestigkeiten hatten sich zum Teil größer ergeben als die Anfangsfestigkeiten. Es wird dies — da natürlich stets das umgekehrte Verhältnis gefunden werden muß — wohl darauf zurückzuführen sein, daß zur Bestimmung der Anfangstrockenfestigkeit nur je ein Würfel benutzt worden ist, der im vorliegenden Falle der Sorten 1, 2, 3, 4 und 5 zufälligerweise je eine etwas geringere Druckfestigkeit ergab als die beiden anderen Würfel der gleichen Sorte oder einer derselben, selbst nach der Frostwirkung. Nicht selten kommen nämlich Schwankungen bis zu 15% in den Festigkeitsergebnissen für verschiedene Würfel desselben Materials vor, zurückzuführen teils auf Ungleichmäßigkeiten des letzteren als solchem, teils aber auf Unebenheiten der Druckflächen zum Versuch und überhaupt auf Bearbeitungsungleichheiten der verschiedenen Probewürfel. Bei Obernkircher und Wrexer Sandstein (Sorten 2 und 2a), Mehler und Hardegser übertrifft die Anfangstrockenfestigkeit wenigstens die Frostfestigkeit des einen der beiden Probewürfel b und c. Sind nun auch gerade bei den Sorten: Obernkircher, Mehler und Osterwalder Sandstein,

sowie auch beim Wrexer (Sorte 2a) die Vorbedingungen für ein zuverlässiges Versuchsergebnis (Spalte 5, Tabelle 2) bei der geringen Anzahl von Probewürfeln, wie es scheint, nicht erfüllt, so ist andererseits doch sehr wahrscheinlich, daß die Frostfestigkeit bei jenen 4 Sorten in Wirklichkeit wenigstens nicht sehr viel kleiner sein wird als die Anfangsfestigkeit, eine Annahme, die auch die verschiedenen Rangordnungen nach den Spalten 1, 2 und 3 der obigen Zusammenstellung in eine gewisse annähernde Übereinstimmung versetzt. Läßt man übrigens z. B. beim Mehler und beim Wrexer Sandstein (Sorte 2a) den Probewürfel b ganz außer acht, so ergibt sich hier tatsächlich nur eine Festigkeitsabnahme von 4,9 bezw. 1,8% beim Frostversuch. Hiernach darf wohl angenommen werden, daß auch die Rangordnung der Rubrik 1 annähernd der Wirklichkeit entspricht und daß also nach dem Frostversuch die 3 Sorten: Osterwald, Obernkirchen und Mehle in jeder Hinsicht an der Spitze rangieren. Ich stehe übrigens nicht an, für die Beurteilung der Frostsicherheit eines Bausteins die Spalten 8 und 7 der Tabelle 2 für charakteristischer und wichtiger zu erklären als die Spalte 5. Denn jene belehren über Veränderungen, welche in Wirklichkeit ganz so, in Gestalt von Absprengungen und Absandungen an Kanten und Ecken, von Abblätterungen usw., wenn auch viel schwächer und allmählicher wie beim Versuch, an den Steinen infolge des Frostes auftreten können und auftreten. Diese aber, Spalte 5 nämlich, enthält nur Angaben über den Kohärenzverlust des Steins als Ganzes, dazu noch unter der Voraussetzung völliger Durchfrierung, wie sie beim Frostversuch tatsächlich erreicht wird, in Wirklichkeit aber wohl niemals eintreten kann, da der natürliche Frost nur bis zu einer verhältnismäßig geringen Tiefe eindringt. Es trifft eben bei der Gewinnung jener Versuchszahlen stets ein Maximum der Druckbeanspruchung (beim Bruch) mit einem Maximum der Frostwirkung zusammen, während in Wirklichkeit im schlimmsten Falle höchstens das letztere, jedoch auch nur äußerlich, vorhanden, die Druckbeanspruchung aber immer eine sehr mäßige, meist annähernd gleiche ist (praktisch zulässige Beanspruchung des Materials).

Nach alledem dürfte jene Art des Kohärenzverlustes ein zwar sehr wertvolles und strenges, aber doch mehr indirektes Kriterium zur Beurteilung der Frostsicherheit der Steine liefern. Die Angaben der Spalte 8, Tabelle 2 sind jedenfalls noch dadurch besonders wertvoll, daß sie über das individuelle Verhalten der verschiedenen Steine im Frost Licht verbreiten. In den ganz extremen Fällen höchster und minimalster Frostsicherheit würden die Angaben und Werte aller 3 Spalten 5, 7 und 8 der Tabelle 2 wohl allgemeine Übereinstimmung zeigen. Bei mittlerer Frostbeständigkeit braucht dies hinsichtlich der Spalte 5 und der beiden übrigen Spalten keineswegs immer der Fall zu sein, wie z. B. der dichte Kalkstein von Anzenstein in Tirol und der Sandstein von Gablitz in N.-Österreich (vergl. das hier unten citierte Werk von A. Hanisch, Seite 9 bzw. 17) beweisen. Auch hat man zu bedenken, daß sogar ein handgreiflicher Widerspruch zwischen den Resultaten der Spalten 7 und 8 u. U. nur scheinbar sein kann. Denn es ist sehr wohl denkbar, daß bei ziemlich erheblichem Materialverlust im Frostversuch, sogar in kompakter, jedoch feinteiliger Form, dieser Schaden nicht ohne weiteres sichtbar zutage tritt. Verbesserungsvorschläge für diejenigen Versuche, die zu den Werten der Spalten 5 und 7, Tabelle 2, geführt hatten, finden sich im IV. Abschnitt.

Es ist noch der Nachweis zu erbringen, daß die äußerlichen und innerlichen Veränderungen, welche die frostgeprüften 9 Sandsteinsorten beim Versuch erlitten hatten, wie behauptet, tatsächlich unbedenklicher und unerheblicher Art gewesen sind. Dies kann in dreifacher, sich verstärkender Weise geschehen, indem man einfach die in den Spalten 8, 7 und 5 der Tabelle 2 niedergelegten Frostversuchsergebnisse vergleicht mit den entsprechenden Resultaten, die man für anerkannt frostsichere und auch frostgefährdete Bausteine gefunden hat. Hierher gehöriges, z. T. reichliches Material liefern die bekannten vorzüglichen Arbeiten von A. Hanisch und Tetmajer, nämlich die „Frostversuche mit Bausteinen der österreichisch-ungarischen Monarchie, C. Graeser, Wien, 1895“ des ersteren und des letzteren: „Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt

am schweiz. Polytechnikum in Zürich, I. Heft, Methoden und Resultate etc., Zürich, 1900“, ferner die Mitteilungen der Königlich Technischen Versuchsanstalten zu Charlottenburg und anderer Prüfungsanstalten, das Werk von O. Herrmann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie usw.

1. Hinsichtlich der durch den bloßen Okularbefund festzustellenden Veränderungen der Steine, d. h. der eigentlich als „Frostschäden“ zu bezeichnenden, ist zunächst zu bemerken, daß solche bei den fünf Sorten: Osterwalder, Oberkircher, Mehler, Hardegser und Stadtoldendorfer Sandstein überhaupt nicht vorhanden waren. Die Schäden am Wrexer Sandstein (1. Sorte) und am Nörter sind etwa gleichwertig: es handelt sich nur um geringe Abrundungen der Kanten, also unbedeutende Absandungserscheinungen. Beim Wrexer Sandstein (2. Sorte) erstreckten sich dieselben, jedoch gleichfalls in geringem Maße, auch auf die Ecken. Der Hilssandstein nimmt hinsichtlich seiner sichtbaren Veränderungen beim Frostversuch eine besondere Stelle ein, indem außer Formänderungen an den Ecken auch noch Rißchen sich bemerklich machten. Erstere traten jedoch erst am Schluß des Versuches ein und sind als ganz geringfügig zu bezeichnen. Dasselbe gilt von den Rißchen, welche gleichfalls erst nach längerer Dauer des strengen Versuchs (nach Verlauf der halben Versuchszeit) sich zeigten und augenscheinlich ebenfalls belanglos waren. In allen vier zuletzt genannten Fällen zeigten die Frostschäden keine stärkere Entwicklung als, nach den angegebenen Quellen, solche bei sonst ganz frostbeständigen Bausteinen, z. B. gewissen Graniten und dichten, besseren Kalksteinen, im Frostversuch beobachtet worden sind.

Bei ausgesprochen frostunsicheren und -gefährlichen Steinen: gewissen Sandsteinen, Kalksandsteinen, Kalksteinen usw., treten die Formänderungen im Frostversuch meist nach kurzem Verlauf, oft gleich nach Beginn desselben, auf und sind erheblicherer Art. So geht das Absanden von Ecken und Kanten nicht selten so weit, dass der Probewürfel eine mehr oder weniger kugelige Gestalt annimmt, oder es zeigen sich auf größere Tiefe des Steins Abbröckelungen und Absprengungen von Ecken und

Kanten, stärkere, schließlich zum Zerfall des Steins führende Risse und dergl. und die Druckprobe nach dem Gefrierversuch kann aus dem einen oder anderen Grunde unausführbar werden (vgl. A. Hanisch l. c. S. 6/7).

2. In betreff der Gewichtsverluste beim Frostversuch ist von vornherein noch einmal zu betonen, daß bei den daraus abzuleitenden Schlüssen auf den Grad der Frostsicherheit der Steine, genau genommen, stets auch dessen jeweilige chemische Angreifbarkeit mitzuberücksichtigen wäre. Im allgemeinen aber trifft, bei der Geringfügigkeit dieses Einflusses, ein größerer Betrag jener Zahlenwerte stets auch mit einem höheren Grad der Frostunsicherheit zusammen und umgekehrt ein kleiner Betrag der Zahlen mit größerer Frostsicherheit. Als noch unbedenklich scheint nach den zahlreichen vorliegenden Versuchsergebnissen (vgl. Hanisch l. c.) ein Gewichtsverlust von etwa 0,4⁰/₀, wohl auch noch von 0,5⁰/₀ des Anfangstrockengewichts (l. c., S. 27, betr. Basalt von Muglinau bei Polnisch-Ostrau in Schlesien mit 0,503⁰/₀ Gewichtsverlust) gelten zu dürfen. Steine mit 1⁰/₀ oder darüber haben jedenfalls schon als sehr verdächtig und bedenklich zu gelten. Jener Grenzwert des Gewichtsverlustes von 0,4⁰/₀ wird nun im Falle der vorliegenden Versuchreihe bei keiner einzigen der geprüften Sorten, auch nicht der in fraglicher Hinsicht ungünstigsten, erreicht. Denn der Stadtoldendorfer und der Hilssandstein haben nur 0,349 und 0,345⁰/₀ Gewichtsverlust im Durchschnitt aufzuweisen, Zahlenwerte, die nur unbedeutend größer sind als beispielsweise der betreffende Betrag für den als frostsicher doch wohl zu taxierenden Baveno-Granit (mit 0,209⁰/₀ Gewichtsabnahme) oder für noch manche andere frostwiderstandskräftige Granitsorten. Für den Nörter Sandstein ist eine Gewichtsabnahme von nur 0,244⁰/₀ festgestellt. Hinsichtlich des Stadtoldendorfer Sandsteins ist überdies noch zu bemerken, daß die für ihn gefundene Gewichtsabnahme sehr wahrscheinlich erheblich zu groß angegeben ist. Dieselbe war als Mittel aus nur zwei sehr ungleichen Einzel-Gewichtsverlusten, nämlich: 0,645 und 0,054⁰/₀ festgestellt worden. Bei solchen Unterschieden in den Einzel-Zahlenwerten — der

größere beläuft sich auf mehr als das Zehnfache des kleineren — ist jedenfalls bei der Mittelbildung Vorsicht geboten und es scheint mir der kleinere weit mehr Vertrauen zu verdienen als der größere.

Ein ähnliches Verhältnis waltet übrigens auch in betreff des Mehler Materials ob. Ich bin entschieden geneigt, den einen, offenbar zu großen Zahlenwert auf schon vor dem Versuch vorhanden gewesene, verborgene, dem Material als solchem fremde, ihm aber dennoch anhaftende Fehler zurückzuführen, nämlich auf kleinere örtliche Kohäsionsdefekte irgendwelcher Art, herrührend vielleicht vom Transport oder von der Bearbeitung, die immerhin groß genug waren, um den Gewichtsverlust beim Frostversuch entsprechend zu steigern. Ein nachteiliger Einfluß auf das Verhalten des Würfels als Ganzes in der Druckprobe brauchte durch sie noch nicht bedingt zu sein. Die Gewichtsverluste der übrigen frostgeprüften Steinsorten: Obernkircher, Wrexer (1. Sorte), Mehler, Osterwalder und Hardegser Sandstein sind ganz ausgesprochen geringwertig, was auch noch von der 2. Sorte (2a) des Wrexer Steines behauptet werden darf.

3. Auch hinsichtlich der Druckfestigkeitsabnahme beim Frostversuch, die wir allerdings nicht als in erster Linie oder wenigstens nicht allein entscheidend für die Beurteilung der Frostsicherheit von Steinen anerkennen konnten, sind die Ergebnisse für unsere Sandsteinsorten teils bedingungslos günstig, nämlich für den Hardegser und Stadtoldendorfer Sandstein, teils, wie auf S. 53 d. B. gezeigt, aller Wahrscheinlichkeit nach befriedigend, nämlich beim Osterwalder, Obernkircher, Mehler und Wrexer Sandstein (Sorte 2a). Allenfalls wäre noch zu erweisen, daß auch den für Wrexer Sandstein (Sorte 2), Nörter Sandstein und Hilssandstein gefundenen Zahlen keine ungünstige Bedeutung im Sinne der Frostbeständigkeit beizumessen ist. Dies könnte, wenn nicht die Darlegungen und Betrachtungen unter 1 und 2 diesen Nachweis entbehrlich machten, etwa wie folgt geschehen. Es ist schon allgemein angedeutet worden, daß überhaupt größere — jedoch nicht zu große

— Beträge der Druckfestigkeitsabnahme im Frostversuch mit befriedigender Frostsicherheit u. U. verträglich sein können, sowie auch umgekehrt kleinere — jedoch nicht zu kleine — Beträge mit mäßiger Frostsicherheit, und wir würden uns hier füglich auf den Seite 54 d. B. gegebenen Hinweis auf Tatsachen berufen können. Es gibt aber noch eine 2. Art der Begründung, die zu einer präziseren Fassung der Behauptung führen wird, allerdings aber eine etwas weiter ausholende, zunächst allgemeine Betrachtung nötig macht.

Bezeichnet:

β_t in t/cm^2 (oder auch in kg/cm^2) die spezifische Trockenfestigkeit des Materials,

β_n in t/cm^2 (oder auch in kg/cm^2) die spezifische Naßfestigkeit des Materials nach 28-tägiger Wasserlagerung,

β_n^* in t/cm^2 (oder auch in kg/cm^2) desgleichen, jedoch nach 24-maliger Frostwirkung, so wird nach Tetmajer der Grad der Erweichung des Materials im Wasser durch den sog. Erweichungskoeffizienten: $\chi = \frac{\beta_t}{\beta_n}$, der Grad des Kohäsionsverlustes durch die kombinierte Wasser-Frostwirkung, durch den sog. Beständigkeitskoeffizienten: $\chi^* = \frac{\beta_n^*}{\beta_t}$ ausgedrückt.

Diese Koeffizienten sind mit den Druckfestigkeitsabnahmen k und k^* in Prozenten des Anfangstrockengewichtes infolge der Wasserlagerung und infolge des Gefrierens verknüpft durch die Beziehungen:

$$k = 100 \left(1 - \frac{1}{\chi} \right) \text{ und}$$

$$k^* = 100 (1 - \chi^*),$$

$$\text{denn es ist } k = 100 \left(1 - \frac{\beta_n}{\beta_t} \right) \text{ und}$$

$$k^* = 100 \left(1 - \frac{\beta_n^*}{\beta_t} \right).$$

Die beiden Koeffizienten χ und χ^* gestatten nach Tetmajer gewisse Schlüsse auf das mutmaßliche Verhalten eines stein-

artigen Materials im Frost (vgl. Tetmajer, l. c, S. 81/82). Tetmajer hat festgestellt, daß von einer Reihe von geprüften Schweizer Sandsteinen diejenigen mit anerkannt frost- und wetterbeständigem Charakter in der Probe durch ein geringes Maß von Erweichungsfähigkeit gekennzeichnet sind. (Erweichungskoeffizient: $\chi = 1,05$ bis $1,28$) — l. c. S. 321 —. Er gibt an, daß wassersaugende Kalk- und Sandsteine mit einer Trockenfestigkeit unter 400 kg/cm^2 und einem Erweichungskoeffizienten $\chi \geq 1,3$ hinsichtlich ihrer Frostbeständigkeit mindestens zweifelhaft seien. — Wir werden uns vorzugsweise an den, direkt dem eigentlichen Frostversuch entstammenden Beständigkeitskoeffizienten χ^* halten, dabei aber in den folgenden Betrachtungen zunächst von jenem Grenzwert $\chi \geq 1,3$ oder sicherer gleich von $1,5$ für minderwertigere Steine ausgehen. Zwischen den beiden Koeffizienten χ und χ^* besteht allgemein die Beziehung:

$$\chi \cdot \chi^* = \frac{\beta_n^*}{\beta_n} \text{ oder } = z,$$

woraus:

$$\chi^* = z \cdot \frac{1}{\chi} \text{ folgt.}$$

Der Quotient $z = \frac{\beta_n^*}{\beta_n}$, den man „Schwächungskoeffizient“ nennen könnte, läßt erkennen, in welchem Maße das Ausfrieren die Schwächung der Druckfestigkeit durch das Erweichen noch steigert. Er ist für verschiedene Steine verschieden groß (mit größeren Ungleichheiten wiederum zwischen verschiedenen Gesteinsarten), würde aber unter normalen Verhältnissen stets als echter Bruch gefunden werden müssen, dessen Wert sich der Einheit im allgemeinen um so mehr zu nähern scheint, je dichter und fester das Gestein ist. Für frostunfeste Sandsteine bewegt sich der Wert von z zwischen $0,6$ und $0,7$. Für solcherlei Material hat man nun nach dem vorigen (mit $\chi \geq 1,5$) die Bedingung:

$$\chi^* = z \cdot \frac{1}{\geq 1,5} \text{ oder } \leq z \cdot 0,67.$$

oder endlich, wenn sicherheitshalber $\chi = 0,6$ genommen wird:

$$\chi^* \leq 0,4,$$

was einem Betrag des Kohäsionsverlustes bei der Frostdruckprobe von $k^* \geq 60\%$ entspricht. Dieses Ergebnis stimmt in der Tat mit den Resultaten der Tetmajerschen Versuche und auch der Hanischschen, hier unter Ausdehnung auch auf andere Bausteinsorten, recht gut überein. Vgl. bei Tetmajer, l. c., S. 240/241: Molasse-Sandstein von Bonnefontaine, Kanton Freiburg, mit $\chi^* = 0,34$ (bei $\chi = 2,3$) und S. 242/243: Marine-Molasse von Immensee mit $\chi^* = 0,32$ (bei $\chi = 1,9$), beides Sandsteine, die im Frostversuche „erhebliche Ablösungen“ zeigten. In betreff der Hanischschen Frostversuchsergebnisse ist vorweg zu bemerken, daß die Angaben der Frostfestigkeit hier stets Trockenfestigkeitsgrößen β_t^* , nicht Naßfestigkeitszahlen β_n^* bedeuten und daß mithin die wahren Größenwerte von $\chi^* <$ als die mit jenen Zahlen zu errechnenden $\left(\frac{\beta_t^*}{\beta_t}\right)$ ausfallen. Die Bestätigung unseres

Ergebnisses entnimmt man nun folgenden Beispielen frostunbeständiger Bausteine bei Hanisch, l. c.: 1) S. 26, Sandstein von Alt-Molettein, Mähren (Tempelbruch) mit einer Druckfestigkeitsabnahme beim Frostversuch von 79% , also mit $\chi^* < \frac{263 \left(1 - \frac{79}{100}\right)}{263}$. [Die Trockenfestigkeit (263) ist aus „Hanisch,

Resultate der Untersuchungen mit Bausteinen der österr.-ungar. Monarchie“, S. 13, zu entnehmen]. Oder $\chi^* < 0,21$ (während $\chi = 1,8$, mit den Minimalwerten errechnet). 2) Kalksandstein von Repužinetz, Bukowina, l. c., S. 31, wofür der Druckfestigkeitsverlust im Frost = 57% , mithin $\chi^* < \left(1 - \frac{57}{100}\right)$ oder $< 0,43$, also wahrscheinlich auch noch $< 0,4$. 3) Kalksandstein von Winden, Ungarn, l. c., S. 39, wofür, bei den durch den Frost nicht zerstörten Steinen, der Druckfestigkeitsverlust = 49% , also $\chi^* < 0,51$, während bei den zerfrorenen Probestücken diesen Größen ein entsprechend viel beträchtlicherer bzw. noch viel geringerer, allerdings nicht bestimmbarer, nur ideeller, Wert zuerkannt werden mußte. Zu

ganz ähnlichen Schlüssen ist man auch bei noch vielen anderen Steinsorten der Hanischschen Versuche berechtigt, nämlich bei allen, bei denen die Druckprobe nach dem Ausfrieren wegen zu weitgehender Deformation nicht mehr möglich gewesen ist, also etwa noch bei etwa 26 Sorten, die dabei durchweg durch starke Gewichtsverluste im Frostversuch charakterisiert sind. Eine aufmerksame vergleichende Betrachtung der Hanischschen Versuchsergebnisse läßt ferner erkennen, daß ein hoher Wert von χ^* keineswegs immer die volle Frostfestigkeit verbürgt. Als Beispiel gehört dahin schon der Sandstein von Hochbuch b. Gablitz, N.-Österreich, l. c., S. 19, wofür $\chi^* = 0,7\dots$ und $\chi = 1,33$, während die Frostprobe einen Gewichtsverlust von 0,983 % erzielte und schon nach dem 2. Gefrieren das Absanden begann, das zur Abrundung oder Beschädigung der Ecken führte. Ein noch entschiedeneres Beispiel liefert der Sandstein von Rekawinkel, N.-Österreich, l. c., S. 31. Hier hatte sich ein Gewichtsverlust von 1,583 % ergeben, während χ^* sogar den Maximalbetrag von etwa 1 erreicht (bei $\chi = 1,07$). Für den Sandstein von Cetechovic, Mähren, betrug der Gewichtsverlust 0,684 und es ist $\chi^* = 0,9\dots$ ($\chi = 1,5\dots$); Ecken und Kanten ziemlich stark beschädigt oder doch abgerundet. Für den dichten Kalkstein von Gr. Czernosek, Böhmen, stellt sich der Gewichtsverlust auf 2,186, $\chi^* = 0,9\dots$ (und $\chi = 1,1$), während hier starke, bei einer Probe sogar zur Unmöglichkeit des Druckversuchs führende Frostschäden auftraten. In zweien dieser Beispiele ist die Kleinheit der Erweichungskoeffizienten χ auffallend. Umgekehrt wird in manchen anderen Fällen dieser Koeffizient wieder erheblich groß gefunden, z. B. bei dem Sandstein von Hütteldorf, N.-Österreich: $\chi = 1,73$ (bei $\chi^* < 1$), während der Stein die Frostprobe gut bestand, oder beim bekannten dichten Kalkstein von S. Ambrogio b. Verona ($\chi = 1,75$, $\chi^* < 0,8\dots$). Ja in einem Falle erweist sich sogar ein Wert von $\chi > 2$ verträglich mit einem noch befriedigenden Grad von Frostsicherheit, womit natürlich nicht die Vermutung widerlegt wird, daß noch weiter wachsende Werte von χ mehr und mehr auf frostunsicheres Material hinweisen werden.

In den meisten Fällen allerdings, namentlich bei Graniten und Prophyren, sodann aber auch bei dichten Kalksteinen, trifft ein befriedigender bis hoher Grad von Frostfestigkeit mit günstigen (der Einheit nahe stehenden) Beträgen von χ^* und χ zusammen. — Aus dem Vorstehenden scheint nur das eine mit Sicherheit hervorzugehen, daß ein ganz geringer Wert des Beständigkeitskoeffizienten χ^* (etwa $< 0,4$) allerdings Frostunsicherheit bis Frostgefahr bedingt, und daß letzterer eben nur bei dieser Beschränkung ein zuverlässiges, freilich nur negatives Urteil gestattet, während dies bei höheren Beträgen desselben nicht immer der Fall zu sein braucht. Es erscheint dies auch ziemlich erklärlich, da selbst bei erheblicherer Druckfestigkeit D auch nach dem Gefrieren, die an sich ja weit geringere Zugfestigkeit Z (Z etwa $\frac{1}{10} D$) und die Scherfestigkeit S eines Materials, welche beide gleichfalls durch das Ausfrieren geschwächt werden, zumal bei ungünstigen Kombinationen beider, sehr wohl nicht ausreichend sein können, um sichtbare Frostschäden an Kanten und Ecken zu verhindern. Wir sind hiermit also zu einer Bestätigung unserer früheren Auffassung (vgl. S. 51 d. B.) gelangt.

Kehren wir nun endlich behufs Nutzenanwendung unserer Ergebnisse zu den in Rede stehenden Wesersandsteinen: Osterwalder, Obernkircher usw. zurück, so erscheint, von den Druckfestigkeitsergebnissen der Frostprobe ausgehend, lediglich die eine, rein negative Aussage statthaft, daß sie zuverlässig nicht zu jenen Bausteinen gehören, die durch ihren Beständigkeitskoeffizienten χ^* von vornherein als frostunsicher oder frostunbeständig charakterisiert sind, daß ihnen vielmehr durch den höheren Wert ihres Beständigkeitskoeffizienten von vornherein zunächst wenigstens die Möglichkeit der Frostbeständigkeit gesichert erscheint. Die Entscheidung liegt also, in Übereinstimmung wieder mit früher Gesagtem, bei den Zahlenwerten und Aussagen der Spalten 7 und 8 der Tabelle 2. Die Beträge für den Koeffizienten χ^* für unsere 8 Sandsteinsorten sind annähernd der folgenden Tabelle zu entnehmen, indem man sie nämlich

durchweg sich etwas kleiner zu denken hat als die Zahlen der Spalte 4. Diese stellen ohne weiteres einen nur mit Trockenfestigkeit rechnenden Beständigkeitskoeffizienten: (χ^*) dar.

1	2	3	4	5
Laufende Nr.	Sandsteinsorte	Druckfestigkeitsverlust im Frost 0/0	(χ^*)	Bemerkungen
1	Hilssandstein	21	0,79	In betreff der Nrn. 5, 6, 8 und 9 gilt für Spalte 3 und die Folgerungen (Spalte 4) früher Gesagtes.
2	Stadtoldendorfer Sandstein . .	5	0,95	
3	Nörter Sandstein	15	0,85	
4	Hardegser Sandstein	4	0,96	
5	Osterwalder Sandstein	—	1 } wahrscheinlicher ungefährer Wert	
6	Mehler Sandstein	—		
7	Wrexer Sandstein (Sorte 2) . .	10	0,9	
8	Wrexer Sandstein (Sorte 2 a) .	—	1 } wahrscheinlicher ungefährer Wert	
9	Obernkircher Sandstein	—		

Es unterliegt nunmehr sicherlich keinem Zweifel, daß sämtliche 8 Sandsteinsorten verdienen, in die 3. Vertikalkolumne meines Prüfungsschemas (vergl. „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine etc.“, Seite 179), eingeordnet zu werden. Denn hier sind alle diejenigen Bausteine unterzubringen, bei denen die Frostwirkung jedenfalls so vollständig zurücktritt, daß bei der Beurteilung ihrer Wetterbeständigkeit nur noch das Verhalten jener Steine den Agentien gegenüber den Ausschlag geben kann. Bei allen in die 2. Vertikalspalte des Prüfungsschemas einzuführenden Steinen dagegen sind umgekehrt sehr frühe Frostschäden zu erwarten, jedenfalls noch bevor die langsamer fortschreitende Agentienwirkung sich bemerklich machen kann. Die 3. Vertikalspalte ist in der die Gesamtprüfungsergebnisse für unsere Sandsteine enthaltenden Tabelle 4 mit b, die 2. ist mit a bezeichnet. Es könnten nun bei wörtlicher Auffassung der früheren Aufschrift der Spalte b: „erzielt keinerlei Veränderungen“ leicht solche Materialien nach a verwiesen

werden, die allerdings nicht absolut unverändert aus der Frostprobe hervorgehen, aber bei dem minimalen Charakter der Veränderungen unmöglich nach a gehören, sondern vielmehr zum Appell an die Agentienprobe auffordern. Darum erscheint es angemessen, künftig und in unserem Falle die früher etwas zu scharfe Fassung der Aufschrift von Spalte b abzuändern in: „erzielt keinerlei oder nur geringfügige Veränderungen“.

Die Rangordnung, nach welcher die 8 Sandsteinsorten in der oberen Hälfte der Rubrik b der Tabelle 4 aufgeführt sind, sucht nach Möglichkeit nach allen im vorigen erörterten Seiten hin den Ergebnissen der Frostprüfung gerecht zu werden. Beim Stadtoldendorfer Stein ist von der offenbar zu großen Gewichtsverlustgröße 0,645, also auch von dem Mittelwert 0,349, ganz Abstand genommen und nur nach dem kleinen Wert 0,054 (bei gleichzeitig völlig unverändertem Aussehen der Probewürfel nach dem Ausfrieren) rangiert worden. Die Wrexer Sandsteinsorte 2a tritt in der Tabelle 5 gar nicht mehr auf, da sie nur dem Frostversuch, nicht aber den übrigen Proben unterworfen worden war.

Die in der Tabelle 4 mitaufgeführten weiteren drei Steinsorten: Quarzit, Carrara-Marmor und „Odenwald-Syenit“, von denen bei den späteren Untersuchungen noch näher die Rede sein wird, sind der Gefrierprobe nicht unterworfen worden. Diese nach ihren physikalischen und technischen Eigenschaften hinreichend bekannten Materialien durften als vollkommen frostsicher ohne weiteres hier vorausgesetzt werden und zwar etwa nach Maßgabe der angegebenen Rangordnung.

Mit dem als „Sandstein von Essen“ bezeichneten Material hatte leider die Frostprobe nicht vorgenommen werden können und es wird daher natürlich schwierig sein, demselben seine Stelle im Prüfungsschema zuzuweisen. Die Frostprobe mußte unterbleiben, namentlich deshalb, weil das verfügbare Material zu geringfügig war, um aus dem unversehrten Innern desselben heraus auch nur einen einzigen Probewürfel sägen zu können. Das bloße Aussehen der vorliegenden Verwitterungsprobe ließ jedoch mit einiger Wahrscheinlichkeit darauf schließen, daß bei

der gewaltigen Zerstörung des Steins die Frostwirkung eine hervorragende, vorherrschende Rolle gespielt haben mußte. Wenigstens sind ohne sie, auch selbst bei 55jähriger Einwirkung der Atmosphärien und Rauchgasstoffe, mit denen im vorliegenden Falle zu rechnen ist, die mächtigen Zerklüftungen und sonstigen Zerstörungserscheinungen bei der Homogenität des Materials, ohne großen Kalkgehalt und anderweitige, besonders ungünstige chemische Beschaffenheit desselben, kaum zu erklären. Jedenfalls aber erschien es gerade bei der immerhin obwaltenden Unsicherheit in betreff seines Verhaltens im Frost wünschenswert, den „Sandstein von Essen“ der Agentienprobe mitzuunterwerfen, was denn auch genau so wie mit den ausgesprochen nach b gehörigen Sandsteinen geschehen ist.

B. Der künstliche oder abgekürzte Wetterbeständigkeitsversuch oder die obligatorische Agentienprobe.

Die künstliche oder abgekürzte Wetterbeständigkeitsprobe wurde unter Voraussetzung rauchgashaltiger Luft, nach den in meinem Werke: „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine usw.“ dargelegten Grundsätzen und im großen ganzen entsprechend der dort beschriebenen Anordnung des Versuchs ausgeführt. Im einzelnen zeigte sie gegen den damaligen Versuch allerdings einige und zwar nicht unerhebliche Abweichungen und es ist nächst der Gewinnung der Versuchsergebnisse selbst gerade die Hauptaufgabe dieses Abschnitts, jene Abweichungen zu begründen und Vorschläge zu einer „verbesserten künstlichen oder abgekürzten Wetterbeständigkeitsprobe“ vorzubereiten, die das natürliche Endziel dieser ganzen Arbeit bilden müssen.

I. Der Versuchsapparat.

Was zunächst den Apparat für den Versuch betrifft, so bestand derselbe in folgendem (vergl. dazu die Tafel 1). Genau, wie auf Seite 58—61 meines früheren Werkes angegeben, waren auch diesmal 24 cm hohe und 7 cm weite Versuchsflaschen von wider-

standsfähigem, weißem Glase verwendet worden, die zu etwa $\frac{1}{3}$ ihrer Höhe mit (295 cm³) chemisch reinem Wasser gefüllt waren. Durch 3fach durchbohrte Kautschukstopfen waren das Gaszuleitungsrohr bis nahe über den Wasserspiegel und das Gasableitungsrohr bis auf einige cm unterhalb des Stöpselendes in die Flasche eingeführt. Beide Röhren waren, um mehr Raum für die Probepplatten zu schaffen, im Flascheninnern etwas nach außen auseinander gebogen. Die dritte, mittlere Durchbohrung des Kautschukstöpsels nahm den gläsernen Tauchstab mit der Öse für den Platindraht zur Befestigung der Probepplatten auf. Die Gasleitungsrohre waren 5 mm stark, oberhalb des Stöpselendes rechtwinklig umgebogen und durch Kautschuk-schlauchstücke miteinander verbunden. Solcher Flaschen waren es 10: a, b, c, d, e, f, g, h, i, k. Zwei weitere Versuchsflaschen: α und β , waren gewöhnliche, glattcylindrische, mit Korkstöpseln verschlossene Gasentbindungscylinder. Die eingeführten Glasröhren waren hier nicht auseinandergebogen. Im übrigen wich auch hier die Anordnung in nichts von der vorher beschriebenen und natürlich ebensowenig in ihrer Wirkung ab. Auch diesmal war je eine 3fach tubulierte Woulffsche Flasche mit etwa 1 m langer Sicherheitsröhre der Flaschenbatterie an beiden Enden vorgelegt. An die Woulffsche Flasche des einen wurden die Gaserzeugungsapparate mittelst Kautschukschlauchstücken und Glasröhren vollständig gasdicht angeschlossen. Von der 2. Woulffschen Flasche am Batterieende führte eine Glasröhre, behufs Ableitung der verbrauchten Versuchsgase ins Freie. Der ganze Apparat war in einem Kellerraum (Modellerraum) der Königl. Baugewerkschule zu Barmen-Elberfeld in Barmen-U. auf einem Tische aufgestellt. Die Reihenfolge der 12 Versuchsflaschen war — von den Gaserzeugern nach dem Batterieende fortschreitend — folgende:

1. Carrara-Marmor	Flasche k;
2. Quarzit von Weißenstein	„ i;
3. Obernkircher Sandstein	„ h;
4. Wrexer Sandstein (1. Sorte)	„ g;
5. Mehler „	„ f;

6. Osterwalder Sandstein	Flasche e;
7. Hardegser „	„ d;
8. Nörter „	„ c;
9. Stadtoldendorfer „	„ b;
10. Hilssandstein	„ a;
11. „Sandstein von Essen“	„ β ;
12. „Odenwald-Syenit“	„ α .

Die zur Verwendung gelangenden Gase wurden in verdichtetem Zustande von renommierten Fabriken fertig bezogen und zwar:

1. Die Kohlensäure von der Firma „Wesefeld, Dicke & Cie., chemische Fabrik, rheinisch-westfälisches Kohlensäurewerk in Barmen-Rittershausen.“

2. Der Sauerstoff von der Firma „Max Kaehler & Martini, Fabrik chemischer und bakteriologischer Apparate etc., in Berlin W.“

3. Die schwefelige Säure stammte von der „Gesellschaft für flüssige Gase von Raoul Pictet & Co. in Berlin.“ Die flüssige SO_2 befand sich in einer gewöhnlichen, mit Rädchenventil verschließbaren, etwa 1 l Flüssigkeit fassenden, Champagnerflasche. Die beiden anderen Gase waren in verdichtetem Zustand in Stahlbomben der üblichen Art eingeschlossen.

Die Durchleitungsdauer der Versuchsgase während des Versuchs wird später eingehender zu besprechen sein.

Die Probeplatten für den Versuch aus den unter 1—12 genannten natürlichen Steinsorten hatten das von mir auf Seite 177 meines Werkes vorgeschlagene „Normalformat“, abgesehen von der Dicke. Diese war, namentlich mit Rücksicht auf den mitexponierten Carrara-Marmor, der von vornherein sehr weitgehende Veränderungen beim Versuch voraussehen ließ, mit 8,5 mm bemessen worden, statt 5 mm, wie a. a. Ort angegeben und für Schieferproben auch stets am Platze sein wird. Die Stärke von 8,5 mm hat sich als durchaus zweckmäßig erwiesen. Die Probeplatten waren aus dem vollständig frischen Steinblock durch die bekannte rheinische Steinindustrie-Firma „Peter Bachem Wwe. & Comp., Steinbrüche, Steinhauerei, Dampfsägerei, Schleiferei und Dreherei, in Königswinter a. Rh.“ mit

Hilfe der Säge hergestellt worden. Das Material war der Firma durchweg von mir geliefert worden mit Ausnahme der Proben von „Odenwald-Syenit“ und Carrara-Marmor. Diese hatte die Firma selbst gestellt. Der Quarzit von Weißenstein war durch mich von dem bekannten Mineralien-Kontor des Herrn Dr. Krantz in Bonn a. Rh. bezogen worden; die Sandsteine 3—10 hatten mir die auf Seiten 6/11 d. B. genannten Steinbruchinhaber usw. bereitwilligst zur Verfügung gestellt. Das Probeplättchen aus „Odenwald-Syenit“ war auf einer der beiden Breitseiten (70/30 mm) poliert, im übrigen fein abgeschliffen. Das Carrara-Plättchen war auf sämtlichen Flächen fein abgeschliffen. Behufs Aufhängung an den Platindrähten der Tauchstäbe waren sämtliche Plättchen etwa 1 cm vom oberen Rand durchbohrt mit Ausnahme des sehr harten und spröden Quarzitplättchens, welches in einer kreuzförmigen Schlinge aus Platindraht aufgehängt war.

Auch das Trocknen der Platten vor und nach dem Versuch erfolgte im wesentlichen in der früher von mir geübten Weise (vergl. die Seiten 61/63). Genau wie früher beschaffen war das Trockengestell zur gleichzeitigen Aufnahme sämtlicher zwölf Platten während des Trocknens im Thermostaten und während ihrer Aufbewahrung über Nacht im großen Exsikkator. Schon gleich die ersten Wägungen hatten die Unmöglichkeit ergeben, wie früher bei den Dachschiefer-Untersuchungen, vor jeder Wägung alle 12 Platten in dem Gestell aus dem Trockenschrank zu entfernen und im Exsikkator abkühlen zu lassen, um sie dann einzeln demselben wieder zu entnehmen und auf die Wage zu bringen. Denn

1. fanden bei diesem Vorgehen infolge der bedeutenden Hygroskopizität der Sandsteine sehr erhebliche Gewichtszunahmen der jedesmal zuletzt zu wiegenden Platten dieser Gesteinsart statt. Bei der 12mal wiederholten Abnahme der Exsikkatorglocke nahmen die hygroskopischen Sandsteine nach und nach sehr nennenswerte Mengen Wasserdampf aus der Luft auf.

2. Veränderten die Sandsteinplatten vor allem auch schon allein bei längerer gemeinsamer Aufbewahrung im Exsikkator ihr Gewicht bald derart, daß häufig Gewichtszunahmen da eintraten,

wo nach der Trocknung entschiedene Gewichtsabnahmen zu erwarten waren, und umgekehrt Gewichtsverluste beobachtet wurden, größer als sie in Wirklichkeit nach der Trocknung stattgefunden haben konnten. Es war dieser Umstand offenbar eine Folge des gegenseitigen Feuchtigkeitsaustausches der Platten.

Die genannten Übelstände wurden gleichzeitig einfach dadurch vermieden, daß die Platten nach Ablauf jeder Trockenschicht einzeln aus dem Trockenschrank in besondere, kleine, handliche Exsikkatoren übergeführt und hier abgekühlt wurden. In der Regel ist so mit 2, zuweilen auch mit 3, dieser kleinen Exsikkatoren nebeneinander gearbeitet worden. Diese Maßregel wird stets da notwendig sich erweisen, wo es sich um Prüfung von Sandsteinen oder ähnlich hygroskopischem Material handelt. Bei dem mitgeprüften „Odenwald-Syenit“, Carrara-Marmor und Quarzit wäre sie entbehrlich gewesen. Der benutzte Thermostat war ein solcher mit Doppelwänden von Eisenblech. Verbunden war mit demselben ein Reichertscher Thermoregulator, der befriedigend funktionierte.

Die Wägungen der Probplatten wurden selbstverständlich unter Benutzung eines luftdicht verschließbaren Wägegläschens ausgeführt. Die Gewichtskonstanz trat mehr oder weniger gruppenweise, bei der Mehrzahl der Sandsteine jedoch ziemlich gleichzeitig ein. Im Durchschnitt betrug für diese die Trockendauer etwa 230 Stunden, also etwa das 4- bis 5fache wie für Dachschiefer. Auch hinsichtlich der Trockentemperatur hatte sich sehr bald eine bemerkenswerte Abweichung gegen meinen früheren Gebrauch als notwendig erwiesen. Bei der großen Zähigkeit, mit der die Sandsteine die einmal aufgenommene Feuchtigkeit festhielten, würde das Trocknen bei 105° C, wie es z. B. bei den Dachschiefern ausreichte, sich endlos in die Länge gezogen haben. Es wurde daher sehr bald zur Temperatur von 125° C übergegangen, die für Sandsteine als ganz passend sich erwies. Die geeignete Trockentemperatur ist von Fall zu Fall für jede Gesteinssorte oder wenigstens Gruppe von Gesteinsorten auszuprobieren. Auf jeden Fall muß man sich hüten, damit höher zu gehen, als es das betreffende Material vertragen

kann, d. h. man muß sicher sein, daß infolge des zu plötzlichen oder zu energischen Entweichens von Wasserdampf keine inneren Schäden (Sprengrisse) entstehen. Besser ist es immerhin, lieber einer etwas niedrigeren Temperatur sich zu bedienen und entsprechend länger zu operieren, als die verborgene Gefahr einer zu hohen Temperatur zu riskieren. Wegen der bedeutenden Hygroskopie der Sandsteine mußte auch die Dichtung zwischen der Exsikkatoren-glocke und der gläsernen Fußplatte derselben eine besonders sorgfältige sein und es sei bemerkt, daß sich hierfür besser als die übliche Talgung, die Verwendung eingedickten Leinöls erwiesen hatte, wobei die Fußplatte nicht mattgeschliffen, sondern durchaus glatt, dabei aber vollkommen eben war. Daß der Transport der Probepplatten aus dem Thermostaten nach dem Exsikkator und von diesem zur Wage und zurück zur möglichsten Vermeidung von Gewichtszunahmen stets mit tunlichster Schnelligkeit bewerkstelligt worden war, bedarf kaum der Erwähnung.

2. Die Ausführung des Versuchs.

Bevor auf dieselbe eingegangen wird, sei eine ungefähre Berechnung der wirksamen Volumina CO_2 , O und SO_2 unter der Voraussetzung, daß die ganze Menge der in den Probepplatten enthaltenen angreifbaren Stoffe oder proportionaler Teile derselben in Lösung gehen oder fortgespült werde, versucht. Wir folgen dabei dem Gedankengang der entsprechenden Betrachtung auf S. 50 u. f.

Allgemein sollen, wie dort, das absolute Probepplattengewicht mit g und die prozentischen Mengen der angreifbaren Bestandstoffe:

FeO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , Al_2O_3
der Probepplatten mit

α , β , γ , δ , ε , μ , ϑ

bezeichnet werden, wobei für den Carrara-Marmor $\gamma = 56$ gesetzt werden kann.

Für den „Odenwald-Syenit“ mögen, da eine spezielle Analyse leider nicht vorliegt, die Durchschnittszahlen (nach Credner):

$\alpha = 11,0$; $\beta = 6,0$; $\gamma = 7,5$; $\delta = 2,5$; $\varepsilon = 3,0$; $\mu = 0$; $\vartheta = 18,5$
benutzt werden.

In betreff der 9 Sandsteinsorten, für die es gleichfalls an jeglichem Analysenmaterial gebrach, ist zu bedenken, daß es wegen ihrer außerordentlich wechselnden Zusammensetzung beim Fehlen jeder gesetzmäßigen Assoziation ihrer Gesteins-elemente, keinen rechten Sinn hat, einen Analysendurchschnitt für diese klastischen Gesteine zu bilden und zu benutzen. Angemessener erscheint es hier, ungefähr abgeschätzter Maximalbeträge für α , β , γ usw. sich zu bedienen, entsprechend einigermaßen der Natur der einzelnen 9 Sorten. Es mögen dies etwa die Zahlenwerte:

$\alpha = 2,0$; $\beta = 2,0$; $\gamma = 3,0$; $\delta = 3,0$; $\varepsilon = 1,0$; $\mu = 7,0$; $\vartheta = 17,0$
sein. Die diesem Verfahren anhaftende, hier aber leider unvermeidliche Willkür hat man sich bei Verwertung der Endergebnisse dieser Betrachtungen gegenwärtig zu halten. Unter Hinweis auf die Bemerkung auf S. 50 werde nur die Einwirkung jedes der einzelnen Agentien CO_2 , O und SO_2 für sich, zusammen mit H_2O , auf das Material, in Betracht gezogen, dabei aber von der Berechnung der zur Bildung und Lösung der Neubildungen erforderlichen Wassermengen ganz abgesehen, da dieselben ohne weiteres als in den Versuchsflaschen vorhanden anzusehen sind.

1. CO_2 allein nebst H_2O .

Zur Bildung der primären Karbonate sind nach S. 53 allgemein erforderlich:

$$(0,01222 \cdot \alpha + 0,02200 \cdot \beta + 0,01571 \cdot \gamma + 0,00936 \cdot \delta \\ + 0,01419 \cdot \varepsilon) \cdot g \cdot \frac{1}{1,98} \text{ l CO}_2,$$

für den Carrara-Marmor im besonderen also, da

$$\alpha = \beta = \delta = \varepsilon = 0:$$

$$0,01571 \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{1}{1,98} \text{ oder, wegen } \gamma = 56, g = \infty 49 \text{ g:}$$

$$0,01571 \cdot 56 \cdot 49 \cdot \frac{1}{1,98} = 21,81 \text{ CO}_2.$$

Für den „Odenwald-Syenit“ ergeben sich mit den obigen Werten für α , β , γ . . . und da hier $g = \infty 54$ g:

$$(0,01222 \cdot 11,0 + 0,02200 \cdot 6,0 + 0,01571 \cdot 7,5 + 0,00936 \cdot 2,5 \\ + 0,01419 \cdot 3,0) \cdot 54 \cdot \frac{1}{1,98}$$

oder $(0,134420 + 0,132000 + 0,117825 + 0,023400 \\ + 0,042570) \cdot \frac{54}{1,98} = 12,31 \text{ CO}_2$

als erforderlich.

Für die 9 Sandsteinsorten mit einem ungefähren Durchschnittsgewicht von 40 g sind insgesamt erforderlich:

$$9 \cdot (0,01222 \cdot 2,0 + 0,02200 \cdot 2,0 + 0,01571 \cdot 3,0 + 0,00936 \cdot 3,0 \\ + 0,01419 \cdot 1,0) \cdot 40 \cdot \frac{1}{1,98} = 28,61 \text{ CO}_2.$$

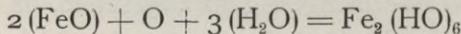
Für sämtliche Materialien zusammen werden mithin gebraucht:

$$21,8 + 12,3 + 28,6 = 62,71 \text{ CO}_2.$$

Der Quarzit kann wegen seiner annähernden Unangreifbarkeit durch Säuren hier (und auch später unter 2 und 3) ganz unberücksichtigt bleiben.

2. O allein nebst H₂O.

Es kommt lediglich die chemische Bildungsgleichung:



(s. S. 54) in Betracht; doch ist die volle Menge des vorhandenen FeO unter 1 schon einmal berücksichtigt. Erforderlich sind also für den „Odenwald-Syenit“, wegen $\alpha = 11,0$ und $g = 54$:

$$\frac{54 \cdot 11,0}{100} \cdot \frac{16}{144} \text{ oder } 0,7 \text{ g O,}$$

für die 9 Sandsteine, da hier $\alpha = 2,0$ und im Durchschnitt $g = 40$:

$$9 \cdot \frac{40 \cdot 2,0}{100} \cdot \frac{16}{144} \text{ oder } 0,8 \text{ g O,}$$

insgesamt also $0,7 + 0,8 = 1,5 \text{ g O}$

oder, da $11 \text{ O} \infty 1,43 \text{ g}$ wiegt:

$$\frac{1,5}{1,43} \text{ oder } 1,1 \text{ O.}$$

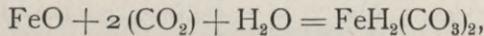
Auch hier kommen der Carrara-Marmor und Quarzit selbstverständlich gar nicht in Betracht.

3. SO_2 und O nebst H_2O wirken zusammen mit den unter 1 und 2 erhaltenen Neubildungen [primären Karbonaten und $\text{Fe}_2(\text{HO})_6$], sowie auf die als noch unberührt anzunehmenden Sesquioxyde Al_2O_3 und Fe_2O_3 .

Das Endergebnis dieses Zusammenwirkens, das bei dem künstlichen Wetterbeständigkeitsversuch tatsächlich periodisch stattfinden wird, ist die Umbildung sämtlicher primären Karbonate sowie die des Fe- und Al-oxyds in Sulfate und es sollen nun die dazu erforderlichen Mengen an SO_2 und O (an H_2O auch hier nicht) ermittelt werden.

I. Umbildung von $\text{FeH}_2(\text{CO}_3)_2$.

Aufgrund der Bildungsgleichung dieses primären Karbonats, nämlich:



waren aus dem „Odenwald-Syenit“:

$$\frac{178}{72} \cdot \frac{54 \cdot 11}{100} = 14,7 \text{ g FeH}_2(\text{CO}_3)_2$$

gebildet worden.

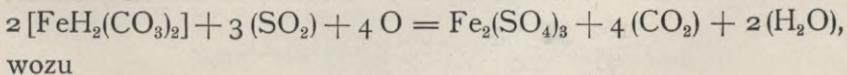
Die 9 Sandsteine hatten zur Bildung von

$$9 \cdot \frac{178}{72} \cdot \frac{40 \cdot 2}{100} = 17,8 \text{ g FeH}_2(\text{CO}_3)_2$$

Veranlassung gegeben. Mithin waren, da hierbei Carrara-Marmor und Quarzit wiederum nicht in Betracht kommen, im ganzen

$$14,7 + 17,8 = 32,5 \text{ g FeH}_2(\text{CO}_3)_2$$

entstanden. Dieselben werden umgewandelt in Sulfat nach der Gleichung:



$$32,5 \cdot \frac{3 \cdot 64}{2 \cdot 178} \text{ oder } 17,6 \text{ g SO}_2,$$

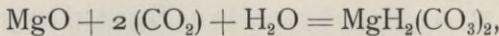
d. h. — da 1 l SO_2 -Gas 2,862 g wiegt —

$$\frac{17,6}{2,862} \text{ oder } 6,21 \text{ SO}_2$$

erforderlich sind.

II. Umbildung von $\text{MgH}_2(\text{CO}_3)_2$.

Gemäß der Gleichung:



waren aus „Odenwald-Syenit“:

$$\frac{146}{40} \cdot \frac{54 \cdot 6}{100} = 11,8 \text{ g MgH}_2(\text{CO}_3)_2$$

gebildet worden.

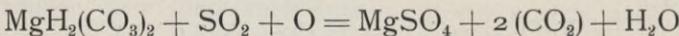
Die 9 Sandsteine hatten die Bildung von

$$9 \cdot \frac{146}{40} \cdot \frac{40 \cdot 2,0}{100} = 26,3 \text{ g MgH}_2(\text{CO}_3)_2$$

veranlaßt. Mithin kamen im ganzen zustande:

$$11,8 + 26,3 = 38,1 \text{ g MgH}_2(\text{CO}_3)_2.$$

Die Umwandlung derselben in Sulfat ist vorauszusetzen nach der Gleichung:



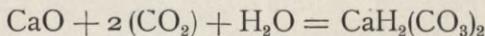
und es waren demnach hierzu erforderlich:

$$38,1 \cdot \frac{64}{146} \text{ oder } 16,7 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{16,7}{2,862} = \dots \dots \dots 5,81 \text{ SO}_2.$$

III. Umbildung von $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$.

Gemäß der Gleichung:



waren aus dem Carrara-Marmor entstanden:

$$\frac{162}{56} \cdot \frac{49 \cdot 56}{100} = 79,4 \text{ g CaH}_2(\text{CO}_3)_2.$$

Aus dem „Odenwald-Syenit“ hatten sich ebenso gebildet:

$$\frac{162}{56} \cdot \frac{54 \cdot 7,5}{100} = 11,7 \text{ g CaH}_2(\text{CO}_3)_2.$$

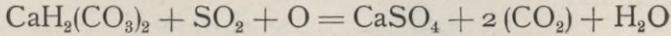
Die 9 Sandsteine hatten entstehen lassen:

$$9 \cdot \frac{162}{56} \cdot \frac{40 \cdot 3,0}{100} = 31,2 \text{ g CaH}_2(\text{CO}_3)_2.$$

Im ganzen waren also zu stande gekommen:

$$122,3 \text{ g CaH}_2(\text{CO}_3)_2.$$

Die Umwandlung derselben nach der Gleichung:



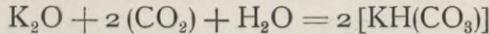
erforderte:

$$122,3 \cdot \frac{64}{162} \text{ oder } 48,3 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{48,3}{2,862} = \dots \dots \dots 16,51 \text{ SO}_2.$$

IV. Umbildung von $\text{KH}(\text{CO}_3)$.

Gemäß der Gleichung:



waren aus dem „Odenwald-Syenit“ entstanden:

$$\frac{2 \cdot 100}{94} \cdot \frac{54 \cdot 2,5}{100} = 2,9 \text{ g KH}(\text{CO}_3);$$

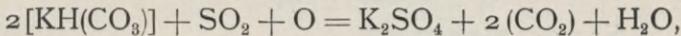
aus den 9 Sandsteinen:

$$9 \cdot \frac{2 \cdot 100}{94} \cdot \frac{40 \cdot 3,0}{100} = 23,0 \text{ g KH}(\text{CO}_3),$$

zusammen also:

$$2,9 + 23,0 = 25,9 \text{ g KH}(\text{CO}_3).$$

Deren Umwandlung, gemäß der Gleichung:



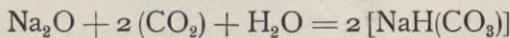
erforderte

$$25,9 \cdot \frac{64}{2 \cdot 100} \text{ oder } 8,3 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{8,3}{2,862} = \dots \dots \dots 2,91 \text{ SO}_2.$$

V. Umwandlung von $\text{NaH}(\text{CO}_3)$.

Gemäß der Gleichung:



liefert der „Odenwald-Syenit“:

$$\frac{2 \cdot 84}{62} \cdot \frac{54 \cdot 3,0}{100} = 4,4 \text{ g NaH}(\text{CO}_3).$$

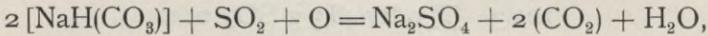
Aus den 9 Sandsteinen sind entstanden:

$$9 \cdot \frac{2 \cdot 84}{62} \cdot \frac{40 \cdot 1,0}{100} = 9,8 \text{ g NaH(CO}_3\text{)},$$

zusammen also:

$$4,4 + 9,8 = 14,2 \text{ g NaH(CO}_3\text{)}.$$

Zur Umwandlung derselben waren, gemäß der Gleichung:



erforderlich:

$$14,2 \cdot \frac{64}{2 \cdot 84} = 5,4 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{5,4}{2,862} = \dots \dots \dots 1,91 \text{ SO}_2.$$

VI. Umwandlung des aus dem im „Odenwald-Syenit“ und den Sandsteinen vorhandenen FeO bereits gebildeten Fe₂O₃, sowie auch des ursprünglich vorhandenen.

In Wirklichkeit entsteht das Hydrat Fe₂(HO)₆. Es ist jedoch für die Ermittlung der verbrauchten SO₂-Menge gleichgültig, ob mit dem Hydrat oder mit Fe₂O₃ gerechnet wird.

Die Menge des letzteren betrug beim „Odenwald-Syenit“:

$$\frac{54 \cdot 11}{100} \cdot \frac{160}{144},$$

bei den 9 Sandsteinen:

$$9 \cdot \frac{40 \cdot 2,0}{100} \cdot \frac{160}{144},$$

zusammen also:

$$\frac{160}{144 \cdot 100} (54 \cdot 11 + 9 \cdot 40 \cdot 2) = 14,6 \text{ g Fe}_2\text{O}_3.$$

Die in den Sandsteinen von Haus aus enthaltenen Mengen von Fe₂O₃ berechnen sich:

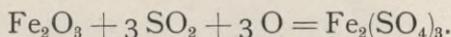
$$9 \cdot \frac{7}{100} \cdot 40 = 25,2 \text{ g}$$

(für den „Odenwald-Syenit“ war $\mu = 0$).

Zur Umwandlung in Fe₂(SO₄)₃ gelangen also insgesamt

$$14,6 + 25,2 \text{ oder } 39,8 \text{ g Fe}_2\text{O}_3,$$

nach der Gleichung:



Mithin sind dazu erforderlich:

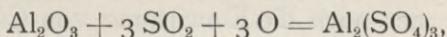
$$39,8 \cdot \frac{3 \cdot 64}{160} \text{ oder } 47,8 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{47,8}{2,864} = \dots \dots \dots 16,71 \text{ SO}_2.$$

VII. Die im „Odenwald-Syenit“ und in den Sandsteinen enthaltenen Al_2O_3 -Mengen berechnen sich:

$$54 \cdot \frac{18,5}{100} + 9 \cdot \frac{40 \cdot 17}{100} = 71,2 \text{ g.}$$

Ihre Umwandlung in Sulfat, nach der Gleichung:



erfordert:

$$71,2 \cdot \frac{3 \cdot 64}{102,8} = 133,0 \text{ g SO}_2 \text{ oder}$$

$$\frac{133,0}{2,864} = \dots \dots \dots 46,41 \text{ SO}_2.$$

Alles in allem wurden also zur Sulfatbildung verbraucht:

$$6,2 + 5,8 + 16,5 + 2,9 + 1,9 + 16,7 + 46,4 = 96,41 \text{ SO}_2.$$

Der zur Sulfatisierung erforderliche Bedarf an O beträgt im Falle I: $\frac{1}{3}$, in allen übrigen 6 Fällen II bis VII: je $\frac{1}{4}$ der Gewichtsmenge der verbrauchten SO_2 , also zusammen:

$$\frac{1}{3} \cdot 17,6 + \frac{1}{4} \cdot (16,7 + 48,3 + 8,3 + 5,4 + 47,8 + 133,0) \text{ g O}$$

$$= 70,8 \text{ g O oder endlich } \frac{70,8}{1,43} = 49,51 \text{ O.}$$

Der Gesamtverbrauch an O beträgt demnach:

$$1,1 + 49,5 = 50,61.$$

Unter der stillschweigenden, in Wirklichkeit natürlich nicht entfernt erfüllten Voraussetzung, daß die Versuchsgase auf die ganze Masse der Probenplatten zur Wirkung gelangten und dabei bis auf das letzte Molekül ausgenützt und aufgebraucht würden, wären nach der vorstehenden Berechnung zur völligen

Entführung der löslichen Stoffe der Probeplatten insgesamt erforderlich:

62,7 l CO₂-Gas,

50,6 l O-Gas,

96,4 l SO₂-Gas.

In Wirklichkeit gelangt natürlich weitaus der größte Teil der Gase gar nicht zur Wirkung, sondern geht ungenützt verloren; nur geringe, ungefähr proportionale Mengen der Versuchsgase beteiligen sich an den unserer Rechnung zugrunde gelegten Reaktionen. Das Raumverhältnis der drei gasförmigen Versuchsagentien stellt sich unter der erwähnten idealen Voraussetzung annähernd wie:

6 : 5 : 10 (CO₂ : O : SO₂).

Dabei ist ferner noch die Einwirkung von CO₂, O und SO₂ auf die Steinproben als eine successive vorausgesetzt, während in Wirklichkeit, d. h. in der Luft in der Nähe menschlicher Feuerungsstätten, ganz besonders aber in Industriestädten und dergl., ein sehr wechselndes Gemisch der drei Gase in Betracht kommt, dessen Einwirkung im Gegensatz zu den hier zugrunde gelegten einfachen Verbindungen und Reaktionen doch Komplikationen bedingen kann, die sich der Rechnung entziehen. Es kann also das obige Ergebnis nur beanspruchen, einen rohen, ungefähren Anhalt für die Ausführung des Versuchs zu bieten. Jedenfalls aber ist es rationeller als die Zugrundelegung etwa der durchschnittlichen tatsächlichen Zusammensetzung des Luftgasgemisches (für einen bestimmten Ort) oder gar eines ganz willkürlich gewählten Verhältnisses der drei Agentien. Denn maßgebend sind eben nicht die Mengen, in denen die einzelnen Agentien vorhanden sind, sondern diejenigen, in denen sie auf das Steinmaterial, entsprechend seiner Natur, einwirken oder doch einwirken könnten. Da übrigens bei dem vorliegenden künstlichen Verwitterungsversuch schließlich doch alles auf Sulfatbildung hinausläuft, so wird auf die Zumessung der genau erforderlichen CO₂-Menge bei dem Versuch kein so gar großes Gewicht zu legen sein, vorausgesetzt, daß diese Menge nicht eine ganz unverhältnismäßige,

allzugroße ist. Viel wichtiger erscheint es, daß das erforderliche richtige Verhältnis zwischen dem SO_2 - und O-Quantum gewahrt werde. Das CO_2 -Gas hat mehr wie ein die Endwirkung etwas verzögerndes, gleichsam verdünnendes Agens, gewirkt. Der Gleichzeitigkeit der Wirkung der 3 Gase ist im Versuche durch reichlichen Wechsel in deren Einzeleinwirkungen so viel wie möglich Rechnung getragen.

Nachdem die 12 Probeplatten bei 125°C in der geschilderten Weise bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und hierauf gewogen waren, wurden sie mittelst Platindrähten an den Tauchstäben der Versuchsflaschen befestigt und zunächst sämtlich in das chemisch reine H_2O der Versuchsflaschen untergetaucht. Nach Verlauf von 1 Stunde, bei hinreichender Wassersättigung der Platten, begann dann um 7²⁰ Uhr abends am 19. August 1903 die Einleitung des CO_2 -Gases (bei anfangs noch getauchten Platten). Nachdem dieselbe, abwechselnd mit Einleitung von O-Gas (letztere täglich 1–2 Stunden lang), Tag und Nacht weitergehend, bis zum 23. August gewährt hatte, wurde an diesem Tage mit der SO_2 -Einleitung begonnen und von da ab, täglich abwechselnd, CO_2 -, O- und SO_2 -Gas durch die Flaschenbatterie geleitet bis zum 30. August. Die CO_2 -Einleitung ging des Nachts weiter, die SO_2 - und O-Einleitungen fanden nur bei Tage statt. Vom 30. August ab bis zum Schluß des ganzen Versuchs, am 2. September, nachmittags 5 Uhr, gingen nur noch SO_2 - und O-Gas zeitweise und abwechselnd, und zwar höchstens je 1 Stunde täglich, durch den Apparat. Die Gesamtdauer des Versuches hatte sich somit etwas über 13 Tage erstreckt, während welcher die Einleitungsdauer der 3 Gase betragen hatte:

1. für CO_2 : 179 Stunden 56 Minuten,
2. „ O: 17 „ 24 „ ,
3. „ SO_2 : 11 „ 45 „ .

Die gesamte Gasdurchleitung, also der eigentliche Versuch, hatte demnach nur 209 Stunden 5 Minuten gedauert, in Wirklichkeit sich also über die Zeit von nur $8\frac{3}{4}$ Tagen erstreckt. Die scheinbar längere Ausdehnung rührte lediglich von den

zeitweisen Unterbrechungen der Einleitung in der letzteren Zeit des Versuchs her.

Die während der genannten Zeiten durch den Apparat gegangenen Mengen der 3 Gase betragen:

1. für CO_2 : 1350 l,
2. „ O: 125 l,
3. „ SO_2 : 205 l.

Die Durchschnittsmengen pro Stunde betragen:

1. für CO_2 : $7\frac{1}{2}$ l,
2. „ O: $7\frac{1}{8}$ l,
3. „ SO_2 : $17\frac{2}{5}$ l.

Der Gasstrom war häufig auf seine Stärke geprüft und reguliert worden und sollte möglichst gleichmäßig erhalten werden, was auch für CO_2 und O vollständig erreicht worden war. Für SO_2 ist es wegen des mangelhaften Verschlusses der Entwicklungsflasche nicht gelungen; die Durchleitungsgeschwindigkeit belief sich hier auf das $2\frac{1}{3}$ fache von der der beiden anderen Gase. Die die CO_2 -Einleitung unterbrechenden Einleitungen von O und SO_2 fanden, wie schon bemerkt, in regelmäßigen Zwischenräumen täglich statt und zwar so, daß jeder CO_2 - und jeder SO_2 -Einleitung jedesmal eine O-Einleitung folgte. Jede der verschiedenen Gaseinleitungen geschah teils bei getauchten, teils bei gehobenen Probeplatten. Vor Beginn der SO_2 -Einleitung waren bei der CO_2 -Einleitung die Platten auf etwa $\frac{1}{3}$ der gesamten Durchleitungszeit gehoben, auf $\frac{2}{3}$ derselben getaucht, bei der O-Einleitung auf $\frac{1}{2}$ der Zeit gehoben, auf $\frac{1}{2}$ getaucht. Nach der ersten SO_2 -Durchleitung konnte, wegen der mächtigen Einwirkung der nunmehr mit SO_2 -gesättigten Tauchflüssigkeit auf den Carrara-Marmor, die Tauchzeit für die Platten stets nur noch eine ganz kurze sein. Sie betrug meist 2–3 Minuten, einigemal auch 6 und einmal 10 Minuten. Da das Verhältnis der Gasmengen, die den Apparat tatsächlich passiert hatten, sich zu

$$10,8 : 1 : 1,64 \quad (\text{CO}_2 : \text{O} : \text{SO}_2)$$

ergeben hatte, gegen das errechnete Verhältnis:

$$1,2 : 1 : 2,$$

so ist ersichtlich, daß zwar das Raummengen-Verhältnis zwischen O- und SO₂-Gas im Versuch jedenfalls ziemlich gut getroffen war, daß aber an CO₂-Gas ein bedeutender Überschuß herrschte. Dieser wird jedoch keine nachteilige, sondern nur eine abschwächende Wirkung haben äußern können. $\frac{1}{9}$ der verbrauchten CO₂-Gasmenge würde zum Versuch ausgereicht haben.

Nach Beendigung desselben wurde die Flaschenbatterie auseinandergenommen und jede der Probestplatten in einer besonderen Kristallisationsschale in chem.-reinem H₂O gewaschen und zuletzt noch über Nacht in H₂O stehen gelassen, um die letzte Spur der den Platten noch anhaftenden Neubildungen und der Versuchsflüssigkeit sicher zu entfernen. Die beim Waschen von der Carrara-Marmor-Probe sich ablösenden, vorgebildeten, papierdünnen, durchscheinenden Blättchen wurden gleichfalls dem Waschprozeß unterworfen und später besonders getrocknet und gewogen. Die Probestplatte aus Nörter Sandstein ließ sich, trotz ihres starken Beschädigtseins, mit der nötigen Vorsicht noch sehr wohl waschen und auch während der ersten Zeit, lose im Drahtgestell ruhend, trocknen. Später mußte sie, während der Fortsetzung des Trockenprozesses, wegen ihres starken Absandens usw., auf einem großen Uhrglas im Thermostaten und Exsikkator Platz finden.

3. Die Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse des unter 1 und 2 beschriebenen, in der Zeit vom 19. August bis 2. September 1903 angestellten künstlichen Verwitterungsversuchs, entsprechend einer rauchgashaltigen oder vielmehr rauchgasreichen Atmosphäre sind aus den Tabellen 3 und 5 ersichtlich. Erstere gibt ein Bild der äußerlich sichtbaren Veränderungen der Probestplatten in ihrem Fortschreiten während des Versuchs, einschließlich der sichtbaren Veränderungen der Versuchsflüssigkeiten in den Flaschen. Tabelle 5 enthält die gewichts- absoluten und gewichts- prozentigen Veränderungen der Probestplatten und weitere, daraus abgeleitete Zahlen. Tafel II endlich bietet, der besseren Übersichtlichkeit halber, eine graphische Darstellung unserer Versuchsgrößen.

Bezüglich der in Tabelle 5 niedergelegten Ergebnisse (Spalte 6) ist folgendes hervorzuheben.

Ein Bodensatz in der Versuchsflasche zeigte sich gar nicht beim Quarzit und „Odenwald-Syenit“ und auch beim Oberkircher Sandstein war er kaum bemerkbar. Er war ferner gering und unwägbare bei allen übrigen Probesteinen, mit Ausnahme von Carrara-Marmor und Nörter Sandstein. Beim ersteren zeigte sich der Bodensatz weitaus am stärksten. Er war hier sehr beträchtlich und bestand aus den Trümmern der abgelösten, papierdünnen Marmorschichten, die von der Versuchsflüssigkeit teils noch nicht aufgelöst waren, teils von der mit Calciumsulfat ziemlich gesättigten Lösung nicht mehr aufgelöst werden konnten. Auch der Bodensatz vom Nörter Sandstein war recht erheblich; er bestand zum Teil aus unlöslichen, mit in Abgang gelangten feinen Sandkörnern.

Die Versuchsflüssigkeit war in sämtlichen Versuchsflaschen klar geblieben, jedoch meist mehr oder weniger stark hellgelbgrünlich gefärbt. Legt man zur übersichtlicheren Bezeichnung der Intensität dieser Färbung die Skala:

- 3 = stark,
- 2 = mittel,
- 1 = schwach und
- 0 = farblos

zugrunde, so ergeben sich für die einzelnen Steinsorten die in Tabelle 3, Spalte 13, beigedruckten Zahlen und die Steine rangieren hiernach etwa wie folgt:

Quarzit, „Odenwald-Syenit“, Carrara-Marmor, Obernkircher Sandstein, Stadtoldendorfer, Mehler, Osterwalder, Nörter, Wrexer, Hardegser Sandstein, „Sandstein von Essen“, Hilsandstein.

Die äußerlich sichtbare Veränderung, die die Probestplatten nach dem Waschen und Trocknen am Schluß des Versuchs gegen ihre Anfangsbeschaffenheit zeigten, war, wieder mit Ausnahme von Carrara-Marmor und Nörter Sandstein, durchweg recht unbedeutend. Näheres besagt die letzte Tabellenspalte.

Der Carrara-Marmor zeigte bereits bald nach Beginn der SO_2 -Einleitung, mit der sogleich das schichtenweise Ablösen begann, nämlich schon 1 Tag nach dieser Einleitung (24. August), vereinzelte Inkrustationen und bald darauf fortschreitende Korrosion der Steinflächen. Ausgesprochenes Abbröckeln trat naturgemäß zuerst unten an der Tropfkante auf (30. August). Besonders lehrreich und interessant ist das Verhalten des Nörter Sandsteins beim Versuch. Zuerst fiel hier die Bleichung der hellen kalkigen Einschlüsse des Materials auf. Sodann trat eine, bereits am 31. August deutlich erkennbare Krümmung der Probepatte ein, die zu zwei sich mehr und mehr erweiternden Querrissen an der einen, konvex gekrümmten, dem SO_2 -Gasstrom zunächst ausgesetzten Längsseite führte, Abb. 6. Hand in Hand damit ging das zunehmende Absanden des Steins. Alle diese Erscheinungen sind einfach darauf zurückzuführen, daß das etwas kalkige Bindemittel mehr und mehr in Lösung ging, wodurch die allmähliche Isolierung und das Haltloswerden der Quarzkörner herbeigeführt wurde.



Abb. 6.
(Natürliche Größe.)

Im Zustande der Durchfeuchtung behielt die Probepatte noch einigermaßen ihre Gestalt, beim darauffolgenden Trocknen dagegen machte der Zerfall schnell wachsende Fortschritte, bis das Täfelchen an der Stelle des unteren, größeren Querrisses in 2 Teile zerbrach. Sehr viel anders würde das Ergebnis bei Anstellung des Versuchs in der alten Fresenius'schen Form ausgefallen sein. In diesem Falle würde zwar wohl auch die Lösung eines Teils des kalkigen Bindemittels stattgefunden haben, der größere Teil desselben hätte jedoch sicherlich als ungelöster Gips, dessen Bildung und Anhäufung jetzt, des hinreichenden Lösungswassers wegen, ausgeschlossen war, Sprengwirkungen herbeigeführt, wie sie in dieser Art der Wirklichkeit ganz fern liegen. Es muß indessen bemerkt werden, daß selbst bei unserer Versuchsausführung die Bil-

dung ungelösten Gipses, jedoch in minimaler Menge, noch möglich gewesen ist. Die Probeplatte zeigte in der Nähe der Tropfkante einen ganz oberflächlichen, dünnen, weißen Beschlag, der sich unter dem Mikroskop in Haufwerke winziger monokliner Gipskriställchen von etwa 0,0015 bis 0,0025 mm Quermaß und der gleichen bis 3fachen Länge auflöste. Auf das Endtrockengewicht der Platte wird der Beschlag keinen nennenswerten Einfluß gehabt haben. Die ziemlich weitgehende Entführung des Bindemittels und der Isolierung der Sandkörner bei der vorliegenden Versuchsausführung konnte auch ohne Lupe sehr handgreiflich daran erkannt werden, daß das Material bei unvorsichtigem Anfassen sofort buchstäblich zu „Sand“ zerfiel. Die Bildung der beiden Querrisse scheint durch die Nähe kalkiger Einschlüsse veranlaßt oder begünstigt worden zu sein, als Folge teils erhöhten Materialverlustes, teils energischerer und reichlicherer CO₂-Entweichung. In dem Maße, als die letztere in der Wirklichkeit, d. h. in rauchgashaltiger Atmosphäre, ganz allmählich und weit spärlicher als hier erfolgt, würde dort auch der Schaden an der Platte ein weit geringerer und sehr viel später eintretender sein. Auf der Bruchfläche des größeren Querrisses fällt ein stark ausgelaugter kalkiger Einschuß auf, der, umgeben von einer kreisringförmigen Höhlung, nur noch lose haftet. Abb. 5.

In Tabelle 5 geben die Zahlen der Spalte 7 die Gewichte der in Lösung gegangenen Plattensubstanz, also, da — abgesehen von Nr. 8: Nörter Sandstein und Nr. 1: Carrara-Marmor —, Bodensatz in der Versuchsflasche nur unwägbar oder gar nicht vorhanden war, die Gesamtgewichtsverluste der Platten an (s. Spalte 8). Beim Nörter Stein hatte sich ein Bodensatz von 0,3052 g ergeben, während 0,8610 g in Lösung gegangen waren. Der Gesamtgewichtsverlust der Platte betrug demnach 1,1662 g. Das Endtrockengewicht der letzteren nach dem Versuch setzte sich hier zusammen aus dem Trockengewicht der kompakten Platte = 36,3737, die jedoch bei der Entnahme aus der Flasche und den Manipulationen des Trocknens und Wägens bereits 0,9833 g in Form von losem Sand verloren hatte, sowie dem Trockengewicht = 0,9833 g dieses Sandes selbst (vgl. Spalte 5).

Beim Carrara-Marmor betrug der Bodensatz 0,6001 g, die gelöste Substanz 6,0905 g, der Gesamtgewichtsverlust mithin 6,6906 g (Spalte 8). Das Endtrockengewicht setzte sich hier zusammen aus dem Trockengewicht der restierenden kompakten Platte = 40,7651 und dem Trockengewicht des beim Entnehmen aus den Flaschen, dem Trocknen und Wägen sich ergebenden dünn-schichtigen Abgangs = 1,7105 g. Der Gesamtgewichtsverlust betrug demnach 6,6906 g. Aus den Zahlen der Spalte 8 sind die Gewichtsverluste der Platten in Prozenten der Anfangstrockengewichte in Spalte 9 berechnet worden, die wir kurz als „Verwitterungsgrößen“ der Steinsorten' beim „künstlichen Verwitterungsversuch“ bezeichnen wollen. Aus diesen wiederum sind die Werte φ und φ' der Spalten 10 und 11 abgeleitet, ersterer, indem die „Verwitterungsgröße“ der am wenigsten angreifbaren Steinsorte, des Quarzits, letzterer, indem die „Verwitterungsgröße“ der am meisten angreifbaren, des Carrara-Marmors, als Einheit zugrunde gelegt wurde. Die so erhaltenen Zahlenwerte φ und φ' sollen kurz: die „relativen Verwitterungsgrößen“ oder noch kürzer: die „**Verwitterungskoeffizienten** beim künstlichen Verwitterungsversuch“ der Steinsorten genannt werden. Es sind, wie die Werte der Spalte 9, reine, vom Gewicht der Versuchsplatten unabhängige Verhältniszahlen. Es ist an sich gleichgültig, wessen der beiden Werte φ und φ' man sich bedienen will. Im allgemeinen wird φ den Vorzug verdienen.

Nach den Versuchszahlenwerten der Spalten 9 oder 10 rangieren die geprüften 12 Steinsorten, hinsichtlich ihrer Resistenz in der obligatorischen Agentienprobe und entsprechend also in rauchgashaltiger Luft, abgesehen vorerst von der Frostwirkung, wie folgt:

1. Quarzit,
2. Obernkircher Sandstein,
3. Osterwalder „ ,
4. Stadtoldendorfer „ ,
5. „Odenwald-Syenit“,
6. Mehler Sandstein,

7. Hilssandstein,
8. Wrexer Sandstein,
9. Hardegser „ „ ,
10. „Sandstein von Essen“,
11. Nörter Sandstein,
12. Carrara-Marmor.

Nach dieser Ordnung sind auch auf Tafel II, mit Quarzit beginnend, die Zahlenwerte φ als Ordinaten in den gleich weit entfernten Teilpunkten der Abszissenachse aufgetragen. Die so erhaltene „Linie der Verwitterungskoeffizienten“ oder die „ φ -Linie“ zeigt bis zur 7. Ordinate (Hilssandstein) einen verhältnismäßig wenig und sehr sanft ansteigenden Verlauf. Es handelt sich eben hier um Steine von bedeutender Resistenz im Versuche. Im nächsten Teil ihres Verlaufs (Wrexer und Hardegser Sandstein) erhebt sich die φ -Linie, nunmehr etwas stärker ansteigend, zu Punkten von immer noch mittlerer Höhe, während sie von da ab ziemlich steil sich emporbewegt („Sandstein von Essen“ und Nörter Sandstein), um in ihrem allerletzten Teile eine Gerade von äußerster Steilheit darzustellen.

C. Verbindung der Ergebnisse des Frostversuches und der obligatorischen Agentienprobe sowie der petrographischen Untersuchung. Endbewertung der Steinsorten.

Die Ergebnisse der Frostprobe, die stets die eine, erste Hälfte aller künstlichen Wetterbeständigkeitsversuche bildet, waren für die geprüften 8 Sandsteinsorten, 3–10, Seite 66/67 d. B., durchweg recht günstig ausgefallen, so daß die Einreihung derselben in die Frostversuchsklasse b keinem Bedenken unterliegen konnte. Es ist dies gleichbedeutend mit der sicheren Erwartung, daß jene Steine unter dem Einfluß des natürlichen Frostes ohne Hinzutritt der Atmosphäriken- und Rauchgaswirkung eben **keinerlei Veränderungen** erleiden würden. Ein etwas höheres oder geringeres Maaß von Widerstandsfähigkeit bei diesem günstigen Verhalten der 8 Steinsorten ist daher

für deren weitere Bewertung ziemlich gleichgültig und die letztere wird in Übereinstimmung mit den Ausführungen auf den Seiten 9/17 und 175/179, lediglich nach ihrem Verhalten in der obligatorischen Agentienprobe weiter zu bewerten sein. Diese Weiterbewertung hat demnach zunächst innerhalb der Frostklasse b genau der im Abschnitt III, B, S. 85/86, gefundenen Rangordnung der Steine zu folgen. Dieselbe wird, nach Ausscheiden des „Sandsteins von Essen“ und des Carrara-Marmors, ebensowohl für die spezifische Widerstandsfähigkeit der Steine gegen Atmosphärien- und Rauchgaswirkung allein als auch allgemein gegen die Witte-rungseinflüsse, einschließlich der Frostwirkung, gelten. (Nur auf die sonstigen Temperaturschwankungen ist dabei keine Rücksicht genommen.) Somit erübrigte nur noch die Verteilung jener 8 Sandsteinsorten, 3—10, auf die Qualitätsgruppen III und II des Prüfungsschemas, Seite 179.

Der Carrara-Marmor wird, wie ich bereits früher vorgeschlagen habe (vergl. Seite 17), am besten einer besonderen Qualitätsgruppe IIIa zugeteilt. Er gehört in die Gruppe der von mir als Hemipatholithen bezeichneten Bausteine. In betreff des „Sandsteins von Essen“ war die Frage, welcher Qualitätsgruppe er zuzuweisen sei, bis dahin noch offen gelassen worden und auch jetzt kann sie nicht mit der gewünschten Sicherheit beantwortet werden. Allerdings hat die Agentienprobe einen ziemlich erheblichen Betrag der Verwitterungsgröße ergeben, wonach das Material, wenn zur Frostklasse b gehörig, zwischen Hardegser und Nörter Sandstein, dem ersteren jedoch weit näher stehend, rangieren würde. Die Verwitterungsgröße des „Sandsteins von Essen“ ist z. T. eine Folge seines, durch die mikroskopische Prüfung und auch durch Betupfen mit HCl festgestellten, schwachen Kalkgehalts. Andererseits aber ist, wie bereits angeführt, die Annahme einer gewissen, erheblichen Frostgefährlichkeit des Steins gar nicht abzuweisen. Zur Erklärung der Verwitterungserscheinungen an den Gesimsen sowie an den Leibungen und dem Maßwerke der Fenster des gothischen Erweiterungsbaues der Essener Münsterkirche mag das Ergebnis der Agentienprobe ($\varphi = 598$) ausreichen. Die gewaltigen Zer-

störungen der aus dem Jahre 1848 stammenden, scharrierten Quader-Verblendung, meist als Ablösung senkrechter Platten von

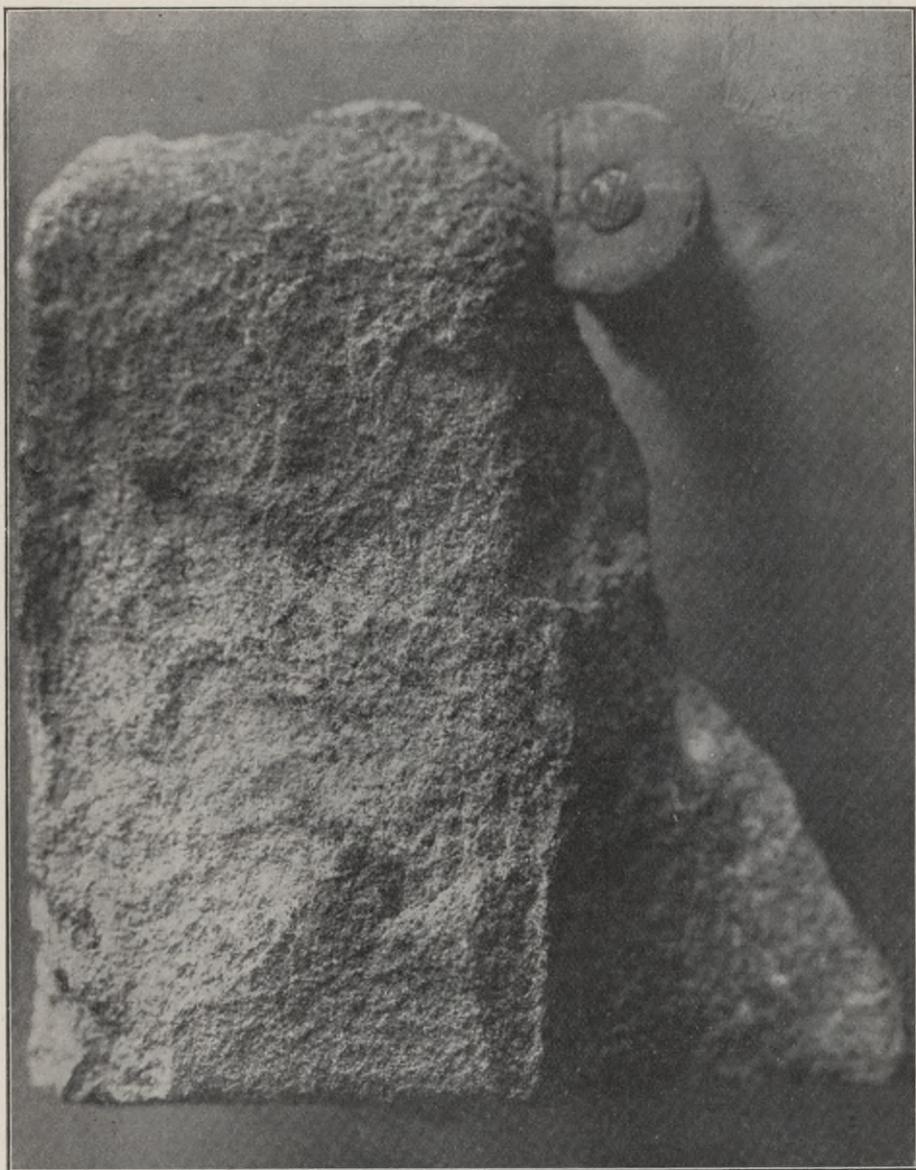


Abb. 7. (Natürliche Größe.)

2—10 mm Dicke auftretend und zwar gleichgültig, ob der Stein auf Lager oder auf Spalt versetzt ist, können dagegen nur durch Frost, z. T. auch unter Hinzutritt der analogen Wirkung von Salz-

effloreszenzen zustande gekommen sein. In diesem Falle tritt die Agentienwirkung entschieden zurück, während sie in dem ersteren Beispiele vorwiegt oder doch mindestens eine sehr wichtige Rolle spielt. Unter diesen Umständen, die beim Fehlen des Frostversuchs nicht mit Sicherheit zu entscheiden gestatten, ob hier ein ausgesprochener Rigopatholith oder (was allerdings sehr wenig wahrscheinlich) noch ein Chemikopatholith vorliegt, möge der „Sandstein von Essen“ einer Zwischenqualitätsgruppe I/II zugewiesen werden.

Von den plattenförmigen Ablösungen gibt Abb. 8 eine Darstellung; von der anderen Art von Verwitterung zeigt Abb. 7 ein Beispiel. Es rührt von einem gotischen Gurtgesims der Südseite der Kirche her, dessen schräge (obere) und dessen lotrechte Fläche (vorn), letztere bis auf einen

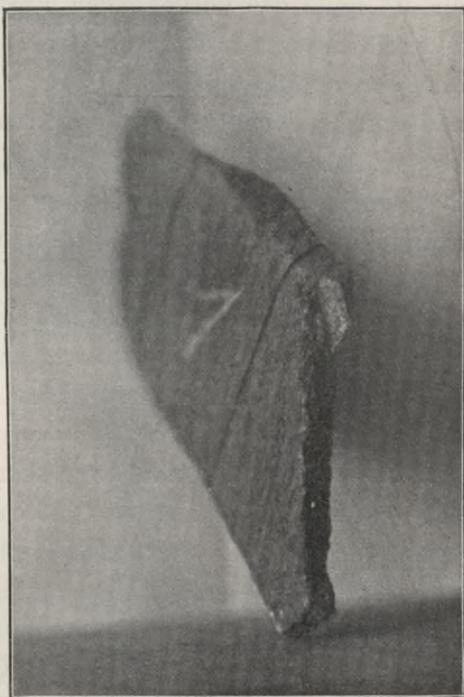


Abb. 8. (Natürliche Größe.)

Rest ganz links, stark zerstört sind. (Die Kehle befindet sich unten.)

Die vorstehende Beurteilungsweise des „Sandsteins von Essen“ würde m. E. auch dann eine wesentliche Änderung nicht erfahren können, wenn die von mehreren Seiten gehegte Vermutung zutrifft, daß die Steinmetzen die Verblendquader mit Urin behandelt hatten. Es ist dies ein, in dem törichten Glauben, die Steinfarbe so konservieren zu können, in früherer Zeit tatsächlich nicht selten geübter Mißbrauch gewesen. Weiße Salzausblühungen sind an dem schadhaf gewordenen Stein beobachtet worden. Kehren wir nunmehr wieder zu den Sandsteinen zurück, so steht von vornherein fest, daß die Sorten: Obernkircher,

Osterwalder und Stadtoldendorfer mit ihren geringen Verwitterungsgrößen, die noch nicht einmal diejenige des „Odenwald-Syenits“ erreichen, in die Qualitätsgruppe III gehören und in der genannten Rangfolge dem Quarzit nachzuordnen sind. Dieser steht an der Spitze der ganzen Gruppe — nicht nur im Falle des vorliegenden Versuchs, sondern überhaupt! — Seine Verwitterungsgröße = 0,002 bildet (bei der Dauer und den sonstigen Bedingungen unseres Versuches und annähernd jedenfalls überhaupt) den oberen Grenzwert der Verwitterungsgrößen der Steine der Qualitätsgruppe III. Aus diesem Grunde auch ist er mit dem extremes Verhalten zeigenden Carrara-Marmor zusammen der Agentienprobe der Sandsteine mitunterworfen worden. Aus einem ähnlichen Grunde (vergl. Seite 91 d. B.) war dies mit dem „Odenwald-Syenit“ erfolgt. Jenem oberen Grenzwert 0,002 entspricht als Kleinstwert des Verwitterungskoeffizienten φ die Einheit.

Ebenso klar ist es von vornherein, dass der Nörter Sandstein nach dem Betrag seiner Verwitterungsgröße oder seines Verwitterungskoeffizienten der Qualitätsgruppe II zuzuweisen ist. Die Klassifizierung der übrigen Sandsteinsorten wird natürlich abhängig sein von dem unteren Grenzwert der Verwitterungsgröße oder des Verwitterungskoeffizienten der Qualitätsgruppe III oder aber — was dasselbe bedeutet — von dem entsprechenden oberen Grenzwert der Qualitätsgruppe II. Zur passenden und richtigen Wahl dieser Grenzwerte können aber naturgemäß nicht theoretische Erörterungen, sondern nur praktische Erwägungen und Bedürfnisse führen. Als unterer Grenzwert der Verwitterungsgröße der Qualitätsgruppe III (oder als oberer der Qualitätsgruppe II) wird diejenige eines womöglich häufig verwandten, stets leicht zugänglichen Bausteins anzusprechen und festzusetzen sein, dessen natürliches Verwitterungsmaß die Praktiker übereinstimmend noch eben als geringfügig zu erklären vermögen.

Daß hier ein internationales Übereinkommen Platz greifen und herbeigeführt werden muß, ist klar. Ohne dasselbe

würde die Abgrenzung der Qualitätsgruppen III und II und damit auch mehr oder weniger die Einordnung der Bausteine in dieselben völlig willkürlich bleiben. Auch die internationale Einigung auf ein ganz bestimmtes Material zur Scheidung der Gruppen wird zwar nicht ganz leicht herbeizuführen, sie wird aber sicherlich möglich sein, sobald erst in hinreichender Zahl künstliche Verwitterungsversuche nach den hier befolgten Grundsätzen für solche natürliche Bausteine vorliegen, deren Verhalten gegenüber den Witterungseinflüssen und Rauchgasstoffen durch langjährige Beobachtungen an alten Bauausführungen andererseits praktisch unzweifelhaft festgestellt ist. Versuch und Praxis müssen hier, wie überall auf dem Gebiete der Wetterbeständigkeitsforschung, zusammenwirken und sich gegenseitig ergänzen. Überblickt man die wichtigeren Bausteine, die zur engeren und definitiven Auswahl zu dem fraglichen Zwecke voraussichtlich vorzugsweise in Betracht kommen könnten, so würde man wohl an Granite mittlerer Resistenzfähigkeit gegen Atmosphärien und Rauchgasstoffe in erster Linie zu denken haben. Als ziemlich ähnlich und nahestehend in seinem Verhalten solchen zu bevorzugenden Sorten dürfte der „Odenwald-Syenit“ zu gelten haben. Seine Verwitterungsgröße = 0,197 (rund 0,2) ist daher von mir im Falle unseres Versuches, mangels einer anderen Wahl, als ungefährender unterer Grenzwert für die Verwitterungsmaße der Gruppe III zugrunde gelegt worden. Damit sind denn sogleich — außer dem Nörter Sandstein — noch die Sorten: Mehler Sandstein, Hilssandstein, Wrexer und Hardegser Sandstein, in dieser Rangfolge und über dem ersteren rangierend, der Qualitätsgruppe II zugewiesen. Mehle steht hart an der Gruppengrenze III/II und es ist bei dem hier eigentlich noch provisorischen Charakter der Grenzbestimmung nicht zu sagen, ob jener Sandstein nicht vielleicht besser doch noch der Gruppe III zuzuzählen wäre. Auch in bezug auf den Hilssandstein könnte diese Frage allenfalls noch aufgeworfen werden. Weiterhin jedoch entschieden nicht mehr. Überhaupt wird bei Objekten mit wenig unterschiedenen Versuchs-

werten eine scharfe Abgrenzung nur auf dem Papier, nicht aber in Wirklichkeit durchführbar sein. Es ist dies ein natürlicher Übelstand aller derartigen Klassifikationen*), der darum jedoch noch keineswegs gegen die praktische Berechtigung der letzteren zu sprechen braucht. Vielmehr deutet er auf eine Unvollständigkeit der Gruppenteilung hin. Für Objekte mit ausgesprochen größeren oder kleineren Versuchsgrößen gibt es solche Schwierigkeiten überhaupt nicht. Wahrscheinlich wird sich, wenn erst einmal reichlicheres Material vorliegt, das Bedürfnis nach einer Zwischengruppe zwischen III und II, die den fraglichen Mangel genügend ausgleicht, geltend machen.

Daß der Carrara-Marmor einer besonderen Gruppe IIIa zugewiesen worden ist, hindert natürlich nicht, seine Widerstandsfähigkeit gegen rauchgashaltige Luft mit derjenigen der Sandsteine, des Quarzits und des „Odenwald-Syenits“ zu vergleichen. Er schneidet dabei schlecht genug ab. Das Ergebnis: $\varphi = 6480$ ist gewiß sehr interessant und überraschend. Es hat eben bis dahin noch niemals eine exakte Bestimmung der Verwitterungsgröße für dieses kostbare Material stattgefunden, so wenig wie für die übrigen natürlichen Bausteine, mit Ausnahme der von mir eingehend geprüften Dachschiefer. Die schlimmen Erfahrungen, die man mit Carrara als Statuenmaterial bei Verwendung im Freien in unseren Klimaten, namentlich im Rauchgasbereich unserer Städte, gemacht hat, und die trotzdem die Wiederverwendung in größerem Maßstabe, selbst ohne schützende Behandlung, nicht verhindert haben, ermöglichten doch nur ein unklares und unzureichendes Urteil über die Größe der diesem Stein drohenden Gefahren. Die langsam, aber stetig und unerbittlich wirkende Zeit wird bestätigen, was der Versuch mit einem Mal in erschreckender Deutlichkeit vor Augen geführt hat. Überraschend war mir auch, ich gestehe es, das Versuchs-

*) Dahin gehörige Beispiele liefern die Gruppierung der Eruptivgesteine nach ihrem SiO_2 -Gehalt in saure, neutrale und basische, die Einteilung von Stoffen, beispielsweise Metallen oder Legierungen, nach dem spez. Gewicht oder nach der Korngröße, wie z. B. die Tonbestandteile bei der Schlämmanalyse, die Klassifikation von Bausteinen nach ihrer Druckfestigkeit, Abnutzbarkeit usw. usw.

ergebnis für den „Odenwald-Syenit“. Ich hätte eine geringere Verwitterungsgröße im Vergleich zu der für die ihm überlegenen drei Sandsteinsorten oder vielmehr für diese eine höhere erwartet. Es handelt sich eben hier um Sandsteine von besonderer Güte. Insbesondere ist der an Resistenz dem Quarzit am nächsten kommende Obernkircher Sandstein ein von alters her geschätztes Material, dessen Güte man an zahlreichen Bauausführungen älterer Zeit studieren kann.

Auch in betreff der übrigen Sandsteine drängen sich mir einige durch Beobachtung und Erfahrung nahegelegte, nachstehend noch mitgeteilte Bemerkungen auf, die die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen ergänzen mögen. Die mit den Qualitätsgruppen abschließende Zusammenstellung dieser Ergebnisse an sich, d. h. also die **Endbewertung** sämtlicher geprüfter Steinsorten 1–12, zeigt die Tabelle 4, wobei noch auf die Verschiebung hingewiesen sei, die die Rangordnung der Steine nach dem Frostversuch in der Endbewertung erfahren hat.

Es ist hier der Ort, zu bemerken, dass in manchen Fällen bei für zwei Steinsorten a und b durch den Versuch gleichgroß gefundenem Verwitterungskoeffizienten φ dennoch die eine Sorte a entschieden tiefer rangieren kann als die andere b, dann nämlich, wenn Sorte a aus sehr inhomogenem Material besteht, genauer: wenn sie — namentlich gröbere — Gemengteile von sehr ungleicher Angreifbarkeit aufweist. Der Materialverlust im Versuch wird sich dann bei a auf bestimmte Stellen konzentrieren, was im Falle der wirklichen natürlichen Verwitterung zu schwerwiegenden Veränderungen führen kann als ein gleichgroßer, jedoch gleichmäßiger Materialverlust. Es bleibt in solchen Fällen nichts anderes übrig als die betreffende Steinsorte nach bestem Ermessen in der Rangordnung entsprechend tiefer zu setzen. Wir stehen hier vor einer natürlichen, leider wohl nie ganz zu überwindenden, Schranke unseres exakten Prüfungsverfahrens. Vergl. hierzu S. 121, aber auch S. 111/112 d. B.

Den nun folgenden Bemerkungen vorauszuschicken iis die Mahnung, die Ergebnisse unserer und überhaupt aller Wetter-

beständigkeitsversuche mit gebührender Vorsicht zu verwerten, und die Warnung, nicht in den Fehler einer zu weitgehenden Verallgemeinerung zu verfallen. Man kann hier leicht, von solidester Grundlage ausgehend, dennoch zu Resultaten gelangen, die die Praxis Lügen straft. Solche sind aber in unserem Falle nicht etwa infolge des Umstandes zu befürchten, daß von jeder geprüften Steinsorte nur ein einziges Probestück dem Versuch (Agentienprobe) unterworfen worden war, obwohl auch ein solches Bedenken sonst stets im Auge zu behalten sein wird. Vielmehr erscheint mir bei einem solch beträchtlichen Grad von Homogenität, wie ihn die geprüften Materialien fast durchweg zeigten und angesichts der peinlich-exakten Versuchsausführung die, übrigens durch die Verhältnisse hier gebotene, Beschränkung auf je ein Versuchsobjekt als ausreichend, ebenso wie s. Z. bei den von mir ausgeführten Dachschiefer-Prüfungen. Erstrebenswert wird es natürlich immer bleiben, mit mehreren Probestücken zu arbeiten. Was aber zu besonderer Vorsicht bei der Verwertung der Versuchsergebnisse auffordert, ist die bekannte Tatsache, daß das Material einer bestimmten Lokalität, aber aus verschiedenen Brüchen derselben, ja aus verschiedenen Schichten desselben Bruches stammend, oft genug große Verschiedenheiten aufweist. Dergleichen Erwägungen dürften z. B. hinsichtlich unserer für den Hardegser und für den Nörter Sandstein gewonnenen Versuchsergebnisse, für die wir andererseits an und für sich volle bindende Kraft in Anspruch nehmen müssen, Platz zu greifen haben. Von beiden Sorten sind mir Bauausführungen bekannt, bei denen sie sich bis jetzt recht gut bewährt haben. Einem Verwendungsbeispiel des Nörter Sandsteins (vom Kapital der Treppenhaus-Fenster-säule in der Dienstwohnung des Baugewerkschuldirektors in Höxter a. Weser) ist die Abbildung der Tafel VIII entnommen. Sie zeigt deutlich die erwähnten hellfarbigen, kalkigen Einschlüsse des Steins, der sich in diesem Falle durch seine Härte und sein sauberes, frisches Aussehen auszeichnet. Die Abbildungen 1 und 2, Tafel IX, bringen Hardegser Material vom Gewände des Baugewerkschul-Portals in Höxter a. Weser zur Anschauung. Abb. 1 bezieht sich auf den unversehrten Stein, Abb. 2 auf

letzteren, nach Entfernung des fast bindemittelfreien Sandes aus den Sandlöchern. Von der im allgemeinen vorhandenen Unschädlichkeit der letzteren wird beim Stadtoldendorfer Sandstein weiter unten noch näher die Rede sein. Auch die Säulen, die Archivolte, überhaupt das ganze Schulportal bestehen aus dem gleichen, durch besonders schöne helle und dunklere Streifung ausgezeichneten, vollkommen frisch-rot erscheinenden Hardegser Sandstein. Allerdings ist in beiden Verwendungsbeispielen das Alter des Steins ein noch geringes (15—16 Jahre) und die weitere Bewährung muß erst abgewartet werden. Auch an dem gleichfalls noch nicht alten Postgebäude in Höxter a. W. ist meines Wissens Hardegser Sandstein verwandt. An dem dem Spritzwasser stark ausgesetzten Sockelmauerwerk zeigt derselbe an einer Stelle, meines Erinnerns, beginnende Verwitterung. Dieselbe ist jedoch in diesem Falle in erster Linie der mißbräuchlichen Verwendung zur Last zu legen. Das Material ist im Gegensatz zu seiner sonstigen Beschaffenheit hier ungünstigerweise ausgesprochen blättrig, und, \perp zum Lager versetzt, zeigt es bereits beginnende Ablösungen dünner Schichtchen.

Die letzten Beispiele bestätigen wieder die manchmal ungleiche Bewährung eines Materials derselben Lokalität und zeigen den Einfluß des Steingefüges hierbei. Ich gestehe, daß mir die hohe Versuchsgröße für den Nörter Stein im Hinblick auf meine Beobachtungen unerwartet hoch erschienen war, wenschon sie durch die kalkigen Einschlüsse und den Kalkgehalt des Bindemittels hinreichend erklärt wird. Man hat übrigens dabei noch zu bedenken, daß der Versuch eben ein „sehr scharfer“ gewesen ist, ähnlich der Frostprobe, und daß ein in diesem strengen Versuch sehr leidendes Material doch in rauchgasarmer oder gar rauchgasfreier Luft sich befriedigend lange unversehrt wird halten können.

Die relative Bewertung der geprüften Materialien auf ihre Resistenz gegen starkrauchgashaltige Luft gemäß unseren Versuchszahlen kann durch diese Erwägung allerdings nicht beeinflusst werden.

Der Stadtoldendorfer Sandstein und in gleichem oder ähnlichem Maße die Sandsteine der benachbarten Bruchgebiete von Negenborn und Eschershausen — auch der Pipping-Sandstein und andere eigentliche Solling-Sandsteine dürfen im gleichen Sinn hier zum großen Teil genannt werden — sind von alters her geschätzte und beliebte Bausteine, deren Ruf zahlreiche Bauausführungen mannigfaltiger Art aus alter und neuerer Zeit im ganzen Wesergebiet und weit darüber hinaus vollauf bewährt haben. Bekannt und beliebt ist das Sollinger, speziell Stadtoldendorfer Treppenstufenmaterial (neues Realgymnasium in Barmen!), gesucht und bewährt sind die säurefesten Beläge und Behälter für chemische Fabriken aus diesem Material. Berühmtheit und weite Verbreitung genossen früher die mehr und mehr durch Ziegel, Schiefer, Zementsteine, sowie gebrannte Tonfliesen verdrängten „Sollinger Platten“ in ihrer Verwendung als Dach-, Wand- und Fußbodenbelag (in zahlreichen Kirchen, in Krankenhäusern, Schlachthäusern usw.). Aber auch zu Wasser- und Futtertrögen, Grab-einfassungen, Abdeckplatten und nicht zum wenigsten zu Bildhauerarbeiten und als Fassadenmaterial der verschiedensten Art hat der Solling ungemaine Verwendung gefunden und als einer der widerstandsfähigsten Sandsteine sich bewährt. Von Bauten aus ganz alter Zeit, die dies bestätigen, seien statt vieler nur 3 erwähnt: Die Klosterkirche von Corvey b. Höxter, die St. Kilianskirche in Höxter aus dem Jahr 1024 und Kirche und Cistercienser-Kloster zu Amelunxborn b. Negenborn, unweit Stadtoldendorf. Das hohe Alter dieser Bauten ist hervorzuheben, während selbst die ältesten mir bekannten Bauausführungen aus Obernkircher Sandstein nicht über 400 Jahre zählen. Von einem der oberen Fenster des südlichen Turmes der Höxterschen St. Kilianskirche stammt die Aufnahme zur Abbildung 1 und zur Abbildung 2, Tafel X. Sie stellen einen kleinen Ausschnitt des Schaftes zweier romanischer Fenstersäulen dar. Die eine Säule ist aus rotem, die andere aus weißem Solling-Sandstein. Die Aufnahme war mit Schwierigkeiten verbunden und ist dementsprechend etwas mangelhaft ausgefallen. Geeignete Aufstellung des photo-

graphischen Apparats und passende Beleuchtung sind kaum zu gewinnen gewesen. Immerhin aber ist ein ungefähres Bild der Verwitterungserscheinungen an den Säulen erhalten worden. Die Verwitterung ist, in Anbetracht des hohen Alters der Säulen und ihrer äußerst exponierten Lage auf der Wetterseite, als verhältnismäßig nicht sehr bedeutend zu bezeichnen. Sie stellt sich gleichsam nur als eine mächtige Aufrauhung dar und der Stein zeigt sich an der Verwitterungsstelle vollkommen ebenso hart und fest wie in seinen unversehrten Teilen (nach dem Turminnern zu). Man glaubt, dem Material den kraftvollen Widerstand ansehen zu können, den es der jahrhundertelangen Wetterwirkung entgegengesetzte. Die übrigen Säulen sind gut erhalten. Das Bruchsteinmaterial der Türme ist noch heute in tadellosem Zustande. Prächtig ist hier, wie in vielen anderen Verwendungsbeispielen unseres Materials, und sei es an der schlichtesten und rohesten Bruchstein-Gartenmauer, für ein farbenempfindsames Auge die Wirkung des ins Bläuliche spielenden, schwachen, duftigen Anhauchs des roten Steins.

In manchen Schichten der Solling-, insonderheit der Stadtoldendorfer Steinbrüche ist das Material mit „Sandlöchern“ behaftet, ja ich möchte sie in dieser Häufigkeit des Auftretens als eine besondere Eigentümlichkeit des Solling- und Stadtoldendorfer Sandsteins bezeichnen. Es sind dieses stecknadelknopf- bis selbst haselnußgroße, nahezu kugelige Hohlräume im Stein, die mit Sandkörnern ohne oder doch nahezu ohne verkittendes Bindemittel, also mit „Sand“, ausgefüllt sind. Da derselbe mit Leichtigkeit sich mechanisch entfernen läßt, so wird er schon in kurzer Zeit nach der Verwendung des Steins durch die Einwirkung von Regenwasser und Wind in Verlust geraten und der Stein an seiner zutagetretenden Fläche jene Hohlräume aufweisen. Auf die sonstige Beschaffenheit des Steins hat dieses Inverlustgehen des Sandlöcherinhaltes nicht den mindesten Einfluß, da die Wandungen der Hohlräume aus vollständig gesundem und unversehrtem Material bestehen wie der übrige Stein. Allerdings würde man ja von 2 Materialien, bei sonst absolut gleicher Beschaffenheit derselben, dem-

jenigen den Vorzug geben, welches daneben nicht noch mit Sandlöchern behaftet ist. Denn diese werden immerhin Anlaß zur Ansammlung von Wasser, Staub, u. U. auch Algen geben können. Allein die Erfahrung an zahlreichen Verwendungsbeispielen des sandlöcherigen Sollingsteines lehrt doch, daß derselbe dem sandlöcherfreien in bezug auf Wetterbeständigkeit und sonstige Qualität gleichzuschätzen ist. Die Sandlöcher sind mehr nur als Schönheitsfehler, namentlich an nicht scharierten, sondern geschliffenen Stücken, lästig und zu vermeiden. Meines Wissens treten sie mehr an den feinkörnigen Sorten auf. Abb. 1, Tafel XI, bringt das tadellos erhaltene Material von einem Torbogen der Umwehrungsmauer des alten Klostergrundstücks bei der Minoritenkirche, (Eckgrundstück, Brüderstrasse, Nr. 5) in Höxter a. W. zur Anschauung. Jene Mauer mit dem Torbogen stammt wahrscheinlich, ebenso wie die gotische Minoritenkirche, aus dem 13. Jahrhundert. Die Mauer- und Bogensteine sind roter Solling mit meist recht großen Sandlöchern (bis zu 1 cm Durchmesser). Solche Beispiele, wo nicht der mindeste nachteilige Einfluß der Sandlöcher wahrzunehmen ist, könnten, wie bemerkt, in großer Menge aufgeführt werden. Erwähnt seien nur noch die Sandsteinfiguren am monumentalen Gartentor des Schlosses Corvey, sowie die 2 Sandstein-Schilderhäuser daselbst. Daß die Sandlöcher bei altem Material im Stadium beginnender oder fortgeschrittener Verwitterung, die beim guten Solling, wenn überhaupt, sehr spät einsetzt und nur mäßig auftritt, ungünstig wirken können, soll nicht geradezu geleugnet werden. Die durch sie erhöhte Wasseraufnahme schadet dem frischen Stein bei dessen Frostsicherheit und der hohen Resistenz seines eisenoxydisch-kieseligen Bindemittels aber jedenfalls nicht. Die Abbildungen 1 und 2, Tafel XII, stellen Verwitterungsproben von mit Sandlöchern behaftetem Solling dar, 1 von rotem, 2 von weißem. Sie entstammen dem Sockelgesims der prächtigen gotischen Minoritenkirche in Höxter a. W. und zwar der Westseite dieses Bauwerks. Der größere Teil einer jeden Abbildung, unterhalb der Mörtelfuge, bei der die lotrechte Mauerfläche beginnt, gibt die Schräge des Sockelgesimses wieder. (Die photographische

Platte befand sich während der Aufnahme in paralleler Lage zu dieser schrägen Fläche.) Natürlich war die geneigte Gesimsfläche der Einwirkung der Atmosphärien weit stärker ausgesetzt als die völlig intakten Steine der Mauer selbst. In Anbetracht dessen und des hohen Alters der Steine ist der Grad der Verwitterung ein noch mäßiger zu nennen. Das Material zeigt sich an der Verwitterungsstelle trotz des beträchtlichen Abgangs als ganz widerstandsfähig und erinnert in dieser Hinsicht etwas an das Beispiel von der St. Kilianskirche. Übrigens zeigen nur einzelne Steine des Sockelgesimses Verwitterungserscheinungen. Warum solche gerade nur an den betrachteten Steinen aufgetreten sind, entzieht sich der Beurteilung. Jedenfalls ergibt sich aus dem Gesagten, daß die Ursache nicht in den Sandlöchern zu suchen sein wird.

Nicht leicht dürfte es sein, eine befriedigende Erklärung für die Entstehung der Sandlöcher zu finden. Die gewöhnliche, am nächsten liegende Erklärung solcher Phänomene im großen, nämlich der Lochhorizonte (vgl. z. B. Abb. 1, Tafel I, und Seite 323 in „O. Herrmann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie“), nämlich durch Inlösengehen kalkigen, in rundlichen Partien angehäuften Bindemittels, kann hier nicht in Betracht kommen. Denn das Bindemittel des Solling-, insbesondere Stadtoldendorfer Sandsteins ist ausgesprochen eisenoxydisch-kieselig und enthält, wenigstens in den von mir geprüften Fällen, keine Spur von Kalk, die sich doch anderenfalls im Stein noch vorfinden müßte. Auffallend und bei der Entstehungserklärung wahrscheinlich in Betracht zu ziehen ist, daß die Sandlöcher in den Schichten namentlich in der Nähe der Spalten auftreten. Wir halten folgende Entstehungserklärung der Sandlöcher für nicht unwahrscheinlich, indem wir uns in betreff der Bildung des eisenoxydischen Bindemittels teilweise den Anschauungen W. Springs*) anschließen. Bei der Genesis der Sandsteine handelt

*) Neues Jahrb. f. Mineral., Geol. u. Paläontol., Jahrg. 1899, S. 47 u. f., W. Spring, Über die eisenhaltigen Farbstoffe sedimentärer Erdboden und über den wahrscheinlichen chemischen Ursprung der roten Felsen.

Vgl. auch: Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (3) 34, p. 578—600, 1897, W. Spring, Sur le rôle des composées ferriques et des matières humiques

es sich um die Übereinanderlagerung und Durchdringung zweier von einander chemisch unabhängiger Sedimente: 1. Der Quarzsandkörner, event. auch Tonteile und sonstiger Gesteinsreste und -trümmer, die sich auf rein mechanischem Wege auf dem Grund der Seen und Flußmündungen ablagerten, und 2. des Bindemittels, das durch chemische Vorgänge zustande gekommen ist. Die über das erste Sediment sich ergießenden Wässer führten sowohl Eisenverbindungen als auch Humusstoffe (auf die der mikroskopische Befund hie und da noch hinzuweisen scheint) mit sich. Durch Wechselwirkung beider ist dann zunächst humussaures Eisenoxydul entstanden oder aber es haben die Wässer Ferrobikarbonate in Lösung mit sich geführt. In beiden Fällen mußte unter der Einwirkung des Lichtes und des O der Luft und unter Ausscheidung von H_2O und CO_2 allmählich Fe_2O_3 oder zunächst Eisenoxydhydrat entstehen, das, die Zwischenräume des ersten losen Sedimentes ausfüllend und dessen Bestandteile, nach Maßgabe seiner Verfestigung, verkittend, den Sandstein bildete. Während nun immer neue Ablagerungen zu den alten hinzutraten, mochte, durch den geringeren Druck in der Nähe der Spalten veranlaßt, die CO_2 (und auch das H_2O) nach dieser Richtung zu entweichen versuchen und es entstanden, nach Maßgabe örtlicher Bedingungen, sporadische Gasansammlungen, die zu annähernder Kugelform die Sandkörner usw. umgebend, die umhüllenden und verkittenden Stoffe und damit eine normale Zementbildung von diesen fern hielten. Von diesen Stellen aus entwich dann die gasförmige CO_2 allmählich durch die nur langsam sich verfestigenden umgebenden Massen. Unabhängig von diesen Vorgängen und neben ihnen hergehend, wird die etwaige Bildung der kristallisierten Bindemittel-Kieselsäure zu denken sein.

Feine Glimmerteilchen (bei den Sandsteinen meist Muskovit) bedingen, wenn sie in größerer Menge interponiert sind, wie bei allen Bausteinen, in denen sie vorkommen, Erhöhung der Spaltigkeit. Spaltige Steine erleiden an ihrer, der Spaltebene parallelen

dans le phénomène de la coloration des eaux et sur l'élimination de ces substances sous l'influence de la lumière solaire.

Ansichtsfläche unter dem Einfluß der Witterung sehr leicht Abblätterungen und sind mit entsprechender Vorsicht zu verwenden. Der Verwitterungsvorgang zeigt einen besonders schnellen Fortgang und ein scharf charakterisiertes Bild, stets sehr verschieden von dem bei nichtspaltigen Steinsorten. Ein derartiges Beispiel für Sollingssandstein ist in Abb. 2, Tafel XI, wiedergegeben. Es entstammt einem Gartentorpfiler in der Heiliggeiststraße in Höxter a. W., dessen scharrierte Fläche nach O.S.O gekehrt ist, und führt die erwähnten Abblätterungen sehr deutlich vor. Alter vermutlich etwa 160 Jahre.

In betreff des Ortes der steinbruchmäßigen Gewinnung des erwähnten, jedenfalls selteneren weißen Solling-Sandsteins sind meine Nachforschungen ohne Erfolg geblieben. Als Findling soll er auf der „Lüchtringer Heide“ bei Dorf Lüchtringen am rechten Weserufer nahe Corvey vorkommen. Größere Verwendung zu ganzen Bauausführungen scheint dieses Material übrigens auch nicht gefunden zu haben. Ob die Verblendung des alten Eisenbahn-Stationsgebäudes in Holzminden a. d. Weser daraus hergestellt ist, wie es den Anschein hat, konnte ich nicht feststellen. Von vorstehend oder auf S. 11, Abschnitt I, noch nicht erwähnten Bauausführungen aus Solling- und Stadtoldendorfer Sandstein finden sich in „Koch, Die natürlichen Bausteine Deutschlands, Berlin 1892“, noch folgende aufgeführt:

Schloß in Bevern (b. Holzminden); Stationsgebäude in Stadtoldendorf, Holzminden (altes), Uelzen, Kreiensen; Post in Aschersleben und Holzminden; Amtsgerichtsgebäude in Krefeld und M. Gladbach, Schule in Cöln; Brücke b. Nörten; Wallbrücke in Bremen, Wallgrabenbrücke in Erfurt; Staatsarchiv, Aurich; Sockel am Museum, Braunschweig; Sockel des Präsidialgebäudes, Schleswig; Bankgebäude, Husum; Bibliothek und Gefängnis, Wolfenbüttel; Rathaus, Barmen; Brücken bei Lauenburg bei Wehrden, der Venlo-Hamburger Bahn von Venlo bis Münster usw.

Bauten älteren Datums aus Osterwalder und Mehler Sandstein sind mir nicht bekannt. Die Osterwalder, früher fiskalischen Brüche, scheinen noch nicht sehr lange im Betrieb zu sein, ebenso die Mehler. Um so reichlicher sind die

neueren Verwendungsbeispiele in Hannover und der weiteren Umgebung. Die Verwendung beider Materialien an den, Bruchstellen oft sehr fernen Orten scheint für das in dieselben gesetzte Vertrauen zu sprechen, das sich auch vollauf bewährt hat.

Leider unterliegen in Hannover die prachtvoll weißen, gegen Schmutz und Ruß naturgemäß sehr empfindlichen Fassaden aus Osterwalder Sandstein, sofern sie nicht durch künstliche Mittel (Testalin von Hartmann & Hauers in Hannover, Kefßlersche Fluat) geschützt sind, unter der Einwirkung der Rauchgase der stark rußenden Deisterkohle, sehr bald, oft schon nach einer Heizperiode, einer fatalen Schwärzung. — Auf der Terrasse des „Fichtenwirtes“ Herrn Hermann Brand in Osterwald liegt seit 1893 eine Orientierungstafel aus Osterwalder Sandstein. Trotz ihrer horizontalen Lage, also der gesteigerten Wasserwirkung und des Tropfwassers des benachbarten Baumes, zeigt sie keine Spur von Veränderung. Die Stufen einer Freitreppe der Brandschen Wirtschaft aus dem Osterwalder Bruch liegen seit 1853 und erscheinen heute noch wie vollkommen neu.

Einige Bänke des Osterwalder Sandsteins zeigen Kohleschicht, die in meist papierdünnen, manchmal auch mehrere mm dicken, parallelen, ebenen oder gewellten Lagen auftritt. Dieselbe macht, ebenso wie in anderen Fällen „Stiche“ und „Tonschicht“ es tun, den Stein zum Reißen disponiert und entwertet ihn, wo sie vorkommt. Auch die Gesteinsmasse zwischen den dünnen Kohlelagen ist von Kohlenstoff in fein verteiltem Zustande durchsetzt, so daß das Material hier graulich erscheint. Mitunter kommt es vor, daß eine an sich geringe Kohleanhäufung dadurch unangenehm wird, daß sie sich im Innern eines rohen Blockes verbirgt und erst während oder nach der alsdann unnütz aufgewandten Bearbeitung durch Reißen des Werkstückes sich verrät. Natürlich kommen solche Fälle nur ausnahmsweise vor, sowie ich mich als Seltenheit auch eines mächtigen Blockes aus Mehler Sandstein entsinne, dessen Inneres eine kegelförmige Absonderung des Materials verbarg, die schließlich zum Bruch des Quaders führte. Die Probe befindet sich als ein Geschenk der ehem. Steinmetzfirma Bleckert, Hannover, m. W., in der Bau-

stoffsammlung der Königl. Baugewerkschule zu Nienburg a. W. Von bekannten Bauausführungen aus Osterwalder und Mehler Sandstein, die im Abschnitt I, S. 9, sich nicht genannt finden, gibt H. Koch in „Die natürlichen Bausteine Deutschlands, Berlin 1892“, noch folgende an:

Aus Osterwalder: Ihmebrücke, Hannover; Lange Brücke, Potsdam; Allerbrücke, b. Verden; Seewarte und Nikolaikirche, Hamburg; Finanzdirektionsgebäude, Hannover; Post, Cassel und Flensburg. — Auch am Theater in Hannover ist der Stein verwandt.

Aus Mehler: Post und Bahnhof, Hannover; Bahnhöfe, Hildesheim und Nordheim; Sockel der Post, Cassel und der Nikolaikirche, Hamburg; Eisenbahnbrücke, Hildesheim; Westbahnhof, Cöln; Hafenanbau, Bremerhafen; Turm der Marienkirche, Friedland usw.

Wohl bewährt haben sich auch der Hilssandstein und der Wrexer Sandstein. Außer den auf S. 7/II, Abschnitt I, angeführten Verwendungsbeispielen finden sich bei Koch noch folgende, z. T. ältere Bauausführungen aufgezählt. Von Hils-sandstein: Kirchen in Ammensen, Delligsen und Stroit; von Wrexer (von der Wrexer Sandstein-Kompagnie gepachtete Brüche des Fürstl. Waldeck'schen Dominiums): Kirchen in Paderborn, Daseberg, Allagen, Gütersloh, Helmern, Witten, Castrop, Hamburg, Wildungen, Düsseldorf, Essen usw.; Postgebäude in Lemgo, Hofgeismar usw.

Es erübrigt noch, auf die Beziehungen zwischen den Ergebnissen der obligatorischen Agentienprobe und dem petrographischen Befund näher einzugehen und damit dessen Einfluß auf die Endbewertung der geprüften Steinsorten festzustellen, also den ursächlichen Zusammenhang zwischen der petrographischen Eigenart der Steine und ihrer Rangordnung nach dem künstlichen Verwitterungsversuch (Agentienprobe) nach Möglichkeit aufzudecken. Bezüglich der Wasseraufsaugung und des Porositätsgrades der Steine ist dies bereits, soweit möglich, im Abschnitt II unter A 1 geschehen. Den übrigen Teil dieser Betrachtungen anlangend, muß es — bei dem gänzlichen Mangel

an chemischen Analysen der geprüften Steinsorten — genügen, folgende Hauptpunkte festzustellen:

1. In erster Linie ist es der Kalkgehalt bei den Sandsteinen, sowohl und vornehmlich der des Bindemittels als auch der sporadisch auftretende, der den betreffenden Steinsorten: Carrara-Marmor, Nörter-Sandstein, „Sandstein von Essen“ ihre niedrigere Rangstellung bei der Agentienprobe, also auch bei der Einwirkung der Atmosphärien und Rauchgasstoffe, anweist.

2. Sodann muß ausgesprochen werden, daß im übrigen in erster Linie die kieselige Natur des Bindemittels die höhere Widerstandsfähigkeit bei der Agentienwirkung bedingt (Obernkirchen, Osterwald, Mehle), sowie, daß demselben in dieser Hinsicht als nahestehend, ja gleichwertig anzusehen ist

3. das rein eisenoxydische Bindemittel, falls es in solcher Reinheit und Fülle auftritt wie bei dem Stadtoldendorfer Sandstein. Die Kittkraft des reinen, dichten Eisenoxydes ist augenscheinlich eine ganz ungewöhliche und seine Angreifbarkeit durch die sauren Luftbestandteile bei deren Verdünnung und der niederen Temperatur eine sehr mäßige.

4. Ausgesprochen ungünstig wirkt dagegen ein Gehalt des Bindemittels an Eisenoxydhydrat. Ob den besonderen Ausbildungsformen der Bindemittelkieselsäure ein wesentlich verschiedener Einfluß auf die Resistenz der Sandsteine zuzuschreiben ist und welcher, läßt sich ohne weiteres nicht angeben.

5. Ferner darf ausgesprochen werden, daß im allgemeinen (auf Tonschieferreste und manche Mineralien, wie Rutil, wird sich dies weniger oder nicht beziehen) mit der Menge der mineralischen Gesteinstrümmer-Beimengungen die Angreifbarkeit des Steins zu wachsen scheint. Vielleicht ist dabei auch noch der höhere oder geringere Grad der Trümmerhaftigkeit und Zerrissenheit derselben von Einfluß und Bedeutung. Kohlige Beimengungen scheinen nicht ungünstig zu wirken. Auffallend und nicht klar gestellt erscheint es, daß der Hilssandstein trotz seiner vielen Beimengungen und namentlich der großen Menge von Chlorit mit seinem beträchtlichen Eisenoxydulgehalt (allerdings in Silikat-

form) noch unmittelbar hinter Mehle rangiert. Die ziemlich leichte Entführbarkeit des grünen Pigmentes zeigt sich schon beim Betupfen mit HCl.

6. In Betracht zu ziehen ist bei der Beurteilung und Begründung der Resistenz der Steine auch gegen die Agentien die größere oder geringere, allerdings doch wieder auf die chemische Natur des Bindemittels zurückzuführende, Verbandsfestigkeit, die, hier wenigstens, ungefähr mit der Druckfestigkeit in Einklang steht (bei Oberkirchen trifft dies allerdings nicht recht zu). Sie ist bei Nörten, Wrexen und Hardeggen nicht sehr groß.

7. Aussagen über den Einfluß des etwaigen Tongehaltes des Bindemittels auf die Resistenz der Sandsteine gegen die Agentienwirkung müssen hier unterbleiben, da jener dem mikroskopischen Befund nicht zu entnehmen ist und chemische Analysen, die darüber wohl aufklären könnten, fehlen. Die Angaben über die Beschaffenheit des Bindemittels bei sämtlichen Nummern 3 bis 11 des Abschnittes II, C sind darum vorbehaltlich eines etwa vorhandenen, unbekanntem Tongehaltes zu verstehen.

8. Die verhältnismäßig sehr bedeutende Angreifbarkeit des „Sandsteins von Essen“ erscheint (ebenso wie seine wahrscheinlich sehr geringe Frostbeständigkeit) auffallend, wenn er tatsächlich der Gegend von Staudernheim entstammt und sie scheint auf recht ungleichartiges Material der dortigen Brüche hinzuweisen. Denn der Sandstein von Staudernheim gilt im allgemeinen als guter Baustein. Bemerkt sei jedoch, daß in einer Probe eines echten Staudernheimer Sandsteins ein zwar geringer, immerhin aber vorhandener, Kalkgehalt nachgewiesen wurde.

Abschnitt IV.

Vorschläge zu einer künftigen verbesserten künstlichen (abgekürzten) Wetterbeständigkeitsprobe der natürlichen Bausteine.

Ausgehend von dem künstlichen Verwitterungsversuch in der vorliegenden, im vorigen Abschnitt beschriebenen Ausführungsform, soll nunmehr noch als Nutzenanwendung des letzteren eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen für jede künftige, natürlich nicht auf Sandsteine beschränkte Anstellung des Versuches mitgeteilt werden. Bei gewissenhafter Befolgung derselben, die natürlich weitere Vervollkommnung nicht ausschließen soll, hoffe ich, die abgekürzte Wetterbeständigkeitsprobe auf eine solide und für die Bedürfnisse der Praxis hinreichend zuverlässige und exakte Basis gestellt zu sehen.

Es ist möglich, daß, wenn, was höchst wünschenswert wäre, nach den darzulegenden Grundsätzen neue Arbeiten vorgenommen werden, auch wiederum neue Bedürfnisse zutage treten und neue Direktiven sich ergeben. Auf jeden Fall aber ist für die Inangriffnahme und Entstehung solcher Arbeiten hiermit eine berichtigte Grundlage gegeben und wenn dieselbe auch nur einen einzigen kleinen, aber sicheren Schritt vorwärts zu tun gestatten würde, so wäre dies meines Erachtens schon, ein nicht zu unterschätzender Gewinn. Ist doch bei der Schwierigkeit und Eigenart der Wetterbeständigkeitsforschung eine sprungweise Annäherung an das erstrebenswerte Ziel oder gar ein Erreichen des-

selben mit einem Sprunge gänzlich ausgeschlossen. Unsere Vorschläge werden sich zunächst nach den beiden wesentlichen und stets unerläßlichen Einzeluntersuchungen: der Frostprobe und der obligatorischen Agentienprobe zu gliedern und sodann über die Hauptpunkte beider im einzelnen zu verbreiten haben.

I. Die Frostprobe.

a) Alle Probenkörper sollen, im Interesse einer völlig gleichmäßigen und genau vorschriftsmäßigen Beschaffenheit, in den Prüfungsanstalten selbst, streng nach den maßgebenden Bestimmungen über Gewinnung (mit der Säge), Zahl und Größe (vgl. die Vorschriften über die Benutzung der Königl. Technischen Versuchsanstalten zu Charlottenburg — jetzt Groß-Lichterfelde West), hergestellt werden.

b) Die Zahl der Probewürfel für die Druckfestigkeitsprobe vor und nach dem Frostversuch betrage nicht unter 10. Sie seien aus demselben frischen Block genau vorschriftsmäßig geschnitten. Der Frostversuch werde jedoch, zur Vermeidung von Täuschungen, mit Material aus hinreichend vielen, passend gewählten Schichten desselben Bruches und, wo nötig, der verschiedenen Brüche derselben Lokalität, wiederholt. Eine größere Zahl von Probewürfeln für jede einzelne Frostprobe ist notwendig zur Ausgleichung der Wirkung von Ungleichmäßigkeiten in der Würfelbearbeitung auf das Ergebnis, insbesondere auch, um den Einfluß etwaiger Unvollkommenheiten in der Beschaffenheit der Druckflächen (nicht genau parallel, nicht genau eben) auf die Versuchszahlen möglichst zu paralysieren. Endlich soll dadurch auch etwaigen, selbst bei Würfeln desselben Blockes, immerhin möglichen Ungleichmäßigkeiten des Materials Rechnung getragen werden. Um den Tetmayerschen „Beständigkeitskoeffizienten“ χ^* ermitteln und verwerten zu können, wird man außer der Anfangstrockenfestigkeit die Naßfestigkeit der Steine nach der Frostwirkung zu bestimmen haben.

Die so erhaltenen Versuchszahlen beziehen sich allerdings auf das Maximum der Kohäsionsabminderung. Andererseits wird man es aber vielleicht als zutreffender bezeichnen können, den Versuch in dem gleichen Zustand des Materials zu beenden, in dem er begonnen worden war, also die Trockenfestigkeit ebenso nach wie vor der Frostwirkung zu ermitteln, wie dies durch Hanisch geschehen ist. An die Stelle von χ^* tritt dann der Koeffizient (χ^*), vgl. S. 63 d. B. Auch muß ja zwecks Feststellung des Gewichtsverlustes beim Versuch ohnehin mit dem Trockengewicht abgeschlossen werden.

c) Da es sich beim Zustandekommen der Frostschäden an Bausteinen, wie schon erörtert, weit mehr um Abminderung oder Aufhebung der Zug- und Scherfestigkeit des Materials (richtiger meist um Kohäsionsverluste bei zusammengesetzter Beanspruchung) handelt als um Schwächung seiner Druckfestigkeit, so empfehle ich, **künftig darauf** gerichtete Prüfungen vorzunehmen, also Zug- und Scherfestigkeit der Steine vor und nach der Frostwirkung zu ermitteln. Man wird auf diesem Wege zu weiteren, dem Beständigkeitskoeffizienten χ^* oder (χ^*) analogen Verhältniszahlen gelangen, die entschieden direktere Schlüsse als jene auf das mutmaßliche Verhalten der Steine im natürlichen Frost gestatten. Durch sie werden die unscharfen, leicht dehnbaren, verschieden deutbaren Ergebnisse des äußerlichen Versuchsbefundes gewissermaßen ins Exakt-Zahlenmäßige übersetzt. Übrigens erscheint es wünschenswert, die allzu mittelbare Wiedergabe der letzteren nur durch das beschreibende, eigentlich umschreibende Wort durch die bildliche Darstellung zu unterstützen und zu ergänzen. Es sollten in diesem Sinne vor Beginn der zweiten Druckfestigkeitsprobe beim Gefrierversuch nach Beendigung der Frostwirkung stets photographische Aufnahmen aller Probewürfel erfolgen. Endlich ist zur Beurteilung der Versuchsfrostschäden und damit des Grades der Frostsicherheit der Steine

d) von besonderer Wichtigkeit die tunlichst exakte Bestimmung der Gewichtsverluste beim Frostversuch. Es sollte künftig außer dem Gesamtgewichtsverlust G bei

der Frostprobe auch noch in jedem Falle daneben ermittelt werden der Gewichtsverlust des geprüften Materials bei der einfachen Wasserwirkung während einer Zeit gleich der Dauer der Wasserlagerung vor dem Gefrierenlassen der Steine. Der zuletzt genannte Gewichtsverlust ist zunächst in Prozenten des Anfangstrockengewichts an einer beliebigen Probe des Materials durch Wägen vor und nach der Wasserlagerung (unter Anwendung gleicher Trockentemperaturen) festzustellen; er sei mit γ bezeichnet. Der Gesamtgewichtsverlust G bestimmt sich direkt an den Frostprobewürfeln. Wird noch das Anfangstrockengewicht des betreffenden Probewürfels g genannt, so berechnet sich der auf die Frostwirkung allein zurückzuführende Gewichtsverlust:

$$v = G - \gamma \cdot \frac{g}{100}.$$

Nicht die Werte G , sondern die Werte v sind für die Beurteilung der Steine auf Frostsicherheit zulässig und maßgebend. Von dem vorgeschlagenen Verfahren könnte allenfalls nur dann Abstand genommen werden, wenn die dem Frostversuch vorangehende Wassersättigung unter strengem Luftabschluß (mit O- und CO₂-freiem Wasser) vorgenommen würde.

2. Die obligatorische Agentienwirkung.

a) Die Agentienprobe

werden nicht gerade immer Prüfungsstationen ausführen. Sie kann von Chemikern, in kleinerem Umfang unter Umständen von Interessenten selbst, vorgenommen werden. Die Herstellung der Probeplatten durch Schneiden aus dem frischen Stück kann man jedem mit der Steinbearbeitung Vertrauten, der über die nötige Einrichtung verfügt, überlassen. Doch ist auf gewissenhafte Innehaltung des vorgeschriebenen Formats streng zu halten.

b) Format der Probeplatten.

Es ist durchaus notwendig, auf dem Wege internationaler Vereinbarung ein einheitliches Format für die Probeplatten zur

Agentienprüfung festzusetzen. Von besonderer Wichtigkeit aber ist es, über die Dicke der Platten eine einheitliche Bestimmung zu treffen. Das Nächstliegende und Richtigeste wäre es wohl, die Dicke so zu bemessen, daß die lösende Wirkung des atmosphärischen Wassers sämtliche Platten in gleicher Weise und vollständig durchdringen kann, d. h. die Plattendicken sämtlich gleich und ganz gering zu wählen. Praktisch ergibt sich jedoch sofort ein gewisses Grenzmaß, bedingt durch die hohe Angreifbarkeit des Carrara-Marmors, der stets mitexponiert werden sollte, oft aber auch schon durch die geringe Widerstandsfähigkeit der Steinsorten selbst, um deren Prüfung es sich eigentlich handelt. Ich schlage vor, für die Plattendicke künftig das Maß 8,5 mm zu wählen und glaube, daß es allen Forderungen entsprechen und sich bewähren wird. Von der bisher stets von mir benutzten Längen- und Breitenabmessung 70/30 mm abzugehen, liegt kein Grund vor. Als „Normalformat“ der Platten empfehle ich also bis auf weiteres: 70/30/8,5 mm. Bei Dachschiefeln könnte es füglich bei den Dicken der Handelssorten sein Bewenden haben; sicherer ist es auch hier, an einer gleichen (noch näher festzusetzenden) Plattenstärke festzuhalten, die erforderlichenfalls durch Schleifen zu erzielen wäre.

c) Die Zahl der Probeplatten

wird sich nach der Natur und Beschaffenheit der Steinsorten zu richten haben. Je homogener das Material, um so geringer kann sie sein. Erstrebenswert ist es, auch in günstigen Fällen, stets einige, etwa drei Probeplatten, dem Versuch zu unterwerfen. Diese Zahl wird genügen z. B. bei Quarziten, Basalten, Dachschiefeln, Sandsteinen, ganz gleichartigen Kalksteinen, den feinkörnig-dichten Graniten, Syeniten usw. Bei Materialien von inhomogener Beschaffenheit, erheblicher und ungleicher Größe der Bestandmineralien, wie z. B. bei grobkörnigen Graniten, Syeniten, bei vielen Porphyren usw., bei stark- und ungleichporigen Gesteinen, ferner auch bei solchen, deren Beschaffenheit in derselben Schicht oder gar am gleichen Block leicht wechselt, ist eine

entsprechend größere Zahl von Probepplatten erforderlich, deren Bestimmung vom einzelnen Fall abhängt. Auch gilt hier die gleiche Bemerkung wie hinsichtlich der Wiederholung des Frostversuches für die verschiedenen Schichten, ja Brüche derselben Lokalität, vgl. 1 b.

d) Das Trocknen der Probepplatten vor und nach der Agentienwirkung

ist eine recht zeitraubende, aber unvermeidliche, die größte Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit erfordernde Prozedur, die in den üblichen Thermostaten bei wenigstens 105° C vorzunehmen sein wird. Um sie nach Möglichkeit abzukürzen, muß man sich bei den hygroskopischeren Steinsorten entsprechend höherer Trockentemperaturen bedienen, ohne jedoch darin zu weit zu gehen. Vorversuche sind anzuraten. Für Sandsteine und Materialien von gleicher oder ähnlicher Hygroskopizität werden 125° C vorgeschlagen. Für Dachschiefer, Granit, Syenit, Diorit usw., Marmor und andere Kalksteine, überhaupt Steinsorten von ähnlicher Dichtigkeit, genügen 105° C. Daraus, daß bei einer Agentienprobe eine niedere, bei einer anderen eine höhere Trockentemperatur zur Anwendung gekommen ist, kann kein nachteiliger Einfluß auf die Vergleichbarkeit der verschiedenen Versuchsergebnisse erwachsen, wenn nur die Endtrockentemperatur (nach dem Versuch) und die Anfangstrockentemperatur (vor dem Versuch) die gleichen gewesen sind und auf das gewissenhafteste bis zur Gewichtskonstanz getrocknet worden ist. Dennoch empfiehlt es sich vielleicht — im Interesse der Beschleunigung des Trockenvorganges — stets der gleichen, höheren Trockentemperatur sich zu bedienen, abgesehen etwa von Fällen besonderer Hygroskopie der Steine, in denen die höchste zulässige Temperatur zur Anwendung kommen könnte.

e) Das Abkühlen der Probepplatten.

Nur bei den ganz dichten Steinsorten kann das Abkühlen vor dem Wägen nach jeder Trockenschicht in einem gemein-

samen großen Exsikkator erfolgen. Hygroskopischere Steinproben müssen aus dem Trockenschrank einzeln in kleinere Exsikkatoren übergeführt und dort abgekühlt werden. Bestimmte Regeln für die einzelnen Steinsorten lassen sich nicht geben. Das Richtige läßt sich in jedem Falle leicht ausprobieren.

f) Vergleichsmaterialien.

Jeder Agentienprobe von Bausteinen sind drei solcher Vergleichsmaterialien mitzuunterwerfen, nämlich 1. eines, dessen Verwitterungsgröße der oberen Grenze der Qualitätsgruppe III 2. eines, dessen Verwitterungsgröße der unteren Grenze der Qualitätsgruppe II und endlich 3. eines, dessen Verwitterungsgröße der Qualitäts-Gruppengrenze III/II entspricht. Zu 1 wird vorgeschlagen: reiner Quarzit (möglichst chemisch reine SiO_2), zu II: Carrara-Marmor (zugleich typisches Material der Gruppe IIIa — eigentlich besser als IIa zu bezeichnen —). Das Vergleichsmaterial zu 3, dessen Verwitterungsgröße also der unteren Grenze der Qualitätsgruppe III oder der oberen von II entsprechen soll, bleibt künftigen Erwägungen und Festsetzungen vorbehalten (vgl. S. 90/91 d. B.). Wird später zwischen den 2 Qualitätsgruppen III und II noch eine dritte Gruppe eingeschaltet, was ich für wahrscheinlich und wünschenswert halte, so treten zu den zwei Vergleichsmaterialien (Quarzit und Carrara-Marmor) mit dem Kleinst- und Größt- wert der Verwitterungsgröße statt jenes dritten, noch näher festzusetzenden Vergleichsmaterials (in unserem Versuche: „Odenwald-Syenit“) zwei solcher Vergleichsmaterialien hinzu, entsprechend den Grenzen der Zwischengruppe. Nähere Festsetzung bleibt gleichfalls vorbehalten.

g) Wirkungsweise der Versuchsgase.

Die drei Versuchsgase sollen an jedem Versuchstage in genau gleicher Weise, regelmäßig alternierend, und zwar — um ihrem Zusammenwirken in der Wirklichkeit wenigstens nach Möglichkeit Rechnung zu tragen — mit möglichst geringen Zwischenzeiten auf die Probeplatte einwirken. Diese Einwirkung hat tagsüber in der Ordnung: CO_2 , O;

SO₂, O; CO₂, O; SO₂, O u. s. f. zu geschehen, während nachts nur die CO₂-Einleitung im Gange bleibt. Die O-Einleitung soll jedesmal nicht weniger als eine Stunde dauern. Die Durchleitungsgeschwindigkeit sei für die drei Gase die gleiche und werde ebenso auch für die verschiedenen Versuche gewählt. Es wird dafür vorgeschlagen: 7^{1/2} l pro Stunde, also etwas über 2 cm³/Sek.

h) Wirkungsmengen der Versuchsgase.

Um die Ergebnisse verschiedener, d. h. von verschiedenen Forschern oder von derselben Person zu verschiedenen Zeiten angestellter Versuche miteinander vergleichen zu können, ist es unerlässlich, daß bei allen diesen Versuchen zunächst eines der drei Gase, am geeignetsten SO₂-Gas, genau in der gleichen Menge und unter sonst gleichen Verhältnissen auf die Probenplatten eingewirkt habe. Zu den gleichen Verhältnissen (gleiches Plattenformat, gleiche Behandlung der Platten usw.) rechne ich auch die gleiche Durchleitungsgeschwindigkeit der Gase. Die passenden Wirkungsmengen der beiden andern Gase: CO₂ und O und somit das zweckmäßige Verhältnis der Wirkungsmengen aller drei Gase werden im allgemeinen je nach der chemischen Natur der Versuchsobjekte variieren und sind streng genommen und zweckmäßig schätzungsweise (wie im Abschnitt III, B 2, gesehen) in jedem einzelnen Falle zu ermitteln. Die endgültige Festsetzung der bei allen künftigen Versuchen zur Verwendung zu bringenden Wirkungsgröße an SO₂-Gas bleibt internationalen Vereinbarungen vorbehalten. Ich schlage dafür das Quantum 200 l vor. Es ist dies nahezu die im vorliegenden Versuch zur Wirkung gelangte Menge und es ist aus dessen Ergebnissen zu entnehmen, daß sie durchaus passend getroffen war. Die äußerlichen Veränderungen werden bei dieser Annahme, soweit sie überhaupt in Frage kommen, hinreichend deutlich erkennbar ausfallen, vor allem aber werden durchgängig hinreichend bis reichlich große Gewichtsabnahmen beim Versuche als deutlicher Ausdruck der Verwitterungsgrade sich ergeben. Für Marmor, kalkhaltige

• Sandsteine und dgl. würde schon eine erheblich geringere Wirkungsmenge an SO_2 -Gas zur Erzielung deutlicher Gewichtsverluste hinreichen, ja sogar bequemer sein als die vorgeschlagene. Diese ist jedoch auch hier keineswegs eine übermäßige, d. h. sie wird nicht zu solchen Veränderungen der Probeplatten führen, die die Trocknung und Schluß-Wägung unmöglich machen. (Sollte dies ja einmal zu befürchten sein, so müßte der Versuch eben rechtzeitig abgebrochen werden.) Andererseits ist die vorgeschlagene Wirkungsmenge an SO_2 für alle nicht kalkhaltigen Steine sehr wünschenswert und im Hinblick auf die jetzt schon minimale Gewichtsabnahme und Verwitterungsgröße des stets mitzuexponierenden Vergleichsmaterials Quarzit sogar notwendig. Eine Beschränkung der SO_2 -Wirkung würde für Quarzit schon zu Zahlen führen, die sich unterhalb der Grenze der Beobachtungsfehler halten. Die vorgeschlagene Wirkungsmenge an SO_2 -Gas von 200 l gewährleistet ein Mindestmaß der Versuchszeit, weil sie das für die ungestörte Durchführung des Versuches noch zulässige Größtmaß der Wirkung auf die Platten bedingt. Eine einheitliche Festsetzung für alle künftigen Versuche ist jedoch als eine notwendige Ergänzung des Vorstehenden noch zu machen. Sie betrifft Zahl und Dauer der Tauchungen der Probeplatten in die Versuchsflüssigkeit. Denn von beidem wird die Menge der in Lösung gehenden Stoffe wesentlich abhängen. Ich schlage vor:

täglich drei Tauchungen der Probeplatten von je
zwei Minuten Dauer

in gleichen Zwischenzeiten.

i) Vergleichung der Versuche.

Wird die Agentienprobe künftig stets unter genauer Befolgung aller hier gemachten Vorschläge und Regeln ausgeführt, kommen also insbesondere jedesmal 200 l SO_2 -Gas und in den entsprechenden Mengen die beiden anderen Gase zur Verwendung, alle drei bei einer Durchleitungsgeschwindigkeit von 75 l/Stunde und finden endlich stets täglich drei Tauchungen

der Platten von je zwei Minuten Dauer statt: so sind die Ergebnisse aller Versuche ohne weiteres miteinander vergleichbar. Denn es werden sich für die Vergleichsmaterialien Quarzit, Carrara-Marmor usw. jedesmal dieselben oder doch nahezu dieselben Gewichtsabnahmen und damit Verwitterungsgrößen ergeben. Finden Abweichungen in dieser Hinsicht statt, die jedoch bei strenger Befolgung aller Regeln und selbstverständlich bei genauer Übereinstimmung der Vergleichsmaterialien nicht erheblich sein können, so kann dennoch von je zwei Versuchsreihen, die eine an die andere angeschlossen werden. Es ist dann eine Reduktion der Versuchswerte der zweiten Reihe im Verhältnis der Gewichtsabnahmen bzw. Verwitterungsgrößen ihrer Vergleichsmaterialien zu denen der Vergleichsmaterialien der ersten Reihe vorzunehmen. Auf diese Weise könnten beliebig viele Versuchsreihen miteinander verglichen werden. Stillschweigende Voraussetzung ist hierbei jedoch die Konstanz der Größe φ , nicht nur für Carrara-Marmor/Quarzit, sondern auch für alle übrigen Materialien, durch alle Versuchsreihen. Diese Konstanz wird bei Carrara-Marmor und Quarzit, auch bei Dachschiefer und anderen homogenen oder nur wenig inhomogenen Gesteinen — vollständige Identität der Materialien immer vorausgesetzt! — theoretisch wohl ohne weiteres angenommen werden können. Bei den anderen Gesteinen glaube ich sie wenigstens insoweit voraussetzen zu dürfen als sie für deren praktische Wertschätzung ausreichend und erforderlich ist. Von besonderer Bedeutung ist hier eine entsprechend große Zahl von Probestplatten derselben Steinsorte und die Bildung eines möglichst zuverlässigen Versuchsmittels.

Abschnitt V.

Schlußwort.

Am Schluß der vorliegenden Arbeit stehe ich mit Gefühlen eines Wanderers, der nach einem ersehnten, fernen Ziel den Weg durch unbebautes, ja unbetretenes Gelände bergan sich selbst zu bahnen versuchen mußte.

Ob es gelungen? Nein und ja! Nein! Denn der Gipfel ist noch nicht völlig erklommen und wird auch von anderen, gewandteren Bergsteigern nicht so bald und so leicht erklommen werden. Ja! Denn der Gipfel scheint greifbar näher gerückt. Eine neue Staffel mindestens ist erklommen. Der Weg muß nun fortgeführt und ausgebaut werden. Nicht groß ist die Zahl der Pioniere seither gewesen, die Hand an das Werk der exakten Wetterbeständigkeitsforschung gelegt haben. Die Arbeit ist mühsam und im Urwald kann man nur langsam, schrittweise vorwärts gelangen. Um so wichtiger ist hier jeder Schritt vorwärts und so ist gewiß alles, auch das Kleinste, mit Freuden zu begrüßen, was nur irgend patholithologischen Interessen zu dienen sich eignet. Als das weitaus Bedeutendste in dieser Hinsicht, was in den letzten Jahren bekannt geworden ist, hat man, meines Erachtens, Teile des ersten Heftes („Methoden und Resultate der Prüfung künstlicher und natürlicher Bausteine“) der „Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweizerischen Polytechnikum in Zürich“ von Prof. L. Tetmajer anzusehen. Es sind dies vor allem die Abschnitte VIII: „Resultate der Untersuchung der natürlichen Bausteine“ und X: „Zur Frage der Kon-

servierung natürlicher Bausteine“, aber auch noch andere Teile des Buches. Mein besonderes persönliches Interesse mußten naturgemäß alle die Äußerungen und Bestrebungen in Anspruch nehmen, die von meinem, 1900 erschienenen Werk: „Die Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine und die Wetterbeständigkeitsproben etc., Costenoble, Jena“ ausgegangen waren. Auf Besprechungen des Buches in Fachzeitschriften und die zahlreichen, aus dem Kreise von Fachmännern und Praktikern mir zugegangenen Zuschriften kann ich hier allerdings nicht eingehen; dagegen möchte ich kurz folgendes Dahingehörige zu erwähnen nicht unterlassen. Herr Professor Hannover, Direktor der Dänischen Staatsprüfungsanstalt in Kopenhagen hat in den Mitteilungen dieser Anstalt: „Meddelelser fra Statsprøveanstalten V (1902), (Undersøgelser vedrørende Restaureringen af Børsen i København“), deutsch im Auszuge im 14. Heft, Jahrg. VII der „Baumaterialienkunde“, S. 218/222, Prüfungen auf Wetterbeständigkeit veröffentlicht, die, vor der Wiederherstellung der Börse in Kopenhagen, an Gothländer Sandstein und an Bremer Sandstein (Obernkircher Sandstein) im fluatierten und unfluatierten Zustande nach meiner Methode vorgenommen worden waren. Es handelte sich nämlich auch darum, die wetterschützende Wirkung des Fluatierens durch die „künstliche Wetterbeständigkeitsprobe“ zahlenmäßig festzustellen.

Auf die interessanten Hannoverschen Versuche näher einzugehen, liegt nicht in meiner Absicht. Ich verweise auf die Originalpublikation. Erwähnen möchte ich nur, daß diese Arbeit für mich eine der Anlässe bot, mein Prüfungs-Verfahren (S. S. 174/179 meines Werkes) nachzuprüfen und zu verbessern. Denn dieses hatte bei der Anwendung auf ein Probestück des kalkhaltigen Gothländer Sandsteines einen Mißstand ergeben: Es hatte zu einer derartigen Zerstörung des Probekörpers geführt, daß die Untersuchung nicht bis zum Schluß (Wägung nach dem Versuch) durchgeführt werden konnte. Die Folge für mich war die Forderung, bei solchen Prüfungen die Einwirkungsdauer der Versuchsgase oder vielmehr des SO_2 -Gases künftig entsprechend abzukürzen. Zu dem gleichen Schluß nötigten die Ergebnisse

von Versuchen, die im Chemisch-technischen Laboratorium des kürzlich verstorbenen Herrn Fritz Hauenschild in Berlin, Sohnes des bekannten Professors Hans Hauenschild, nach meinem Muster mit verschiedenen Marmorsorten angestellt worden waren. Auch hier ist die Wirkung der SO_2 , wie ich mich selbst durch den Augenschein überzeugen konnte, eine übergroße gewesen.

Sehr beachtenswert und von größtem Interesse sind die „natürlichen Verwitterungsversuche“, die nach meinem Vorgang und im wesentlichen meinen früheren Vorschlägen entsprechend, Herr Professor Dr. Rathgen, Chemiker der Königlichen Museen in Berlin, seit 1902 im Auftrag der Generalverwaltung der Königlichen Museen und in dem der Ministerial-Baukommission unternommen hat. Es handelte sich hierbei darum, für Zwecke der Steinkonservierung und Denkmalspflege zu beobachten und festzustellen, welche Veränderungen durch längere Luft- und Wettereinwirkung Marmorproben in geschliffenem und poliertem Zustande, glatt und verschieden profiliert, ungeschützt und mit verschiedenen Schutzmitteln (Fluat, Testalin, Wachs) behandelt, erleiden. Der Marmor der Proben war der gleiche wie er zu den Denkmälern in der Siegesallee in Berlin größtenteils verwandt worden ist. Die Aufstellung der Probeplatten erfolgte an 3 verschiedenen Lokalitäten derart, daß sie den Einfluß verschiedener Bedingungen der Wetterwirkung zu studieren gestattet.

Es sind je 20 Platten exponiert: 1. auf dem Dach des Ethnographischen Museums in der Königgrätzer Straße, 2. auf dem Dach des Pergamon-Museums (Rauchgaswirkung — Nähe der Stadtbahn) und 3. auf einem Gestell in der Nähe eines Wirtschaftsgebäudes auf einem fiskalischen Grundstück im Tiergarten an der großen Querallee (Erhöhte Feuchtigkeit und Algenwucherung, Nähe von Baumgruppen). Mit Spannung darf man den Ergebnissen dieser in größerem Umfang angelegten exakten „natürlichen Wetterbeständigkeitsproben“ entgegensehen.

Gelegentlich des Budapester Internationalen Kongresses der Festigkeitstechniker im September 1901 hatte mir der

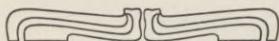
Direktor des Königlichen Material-Prüfungsamtes der Technischen Hochschule Berlin in Groß-Lichterfelde West, Herr Geh. Reg. Rat Professor Martens, mitgeteilt, daß seitens der Versuchsanstalt nach Vollendung des Neubaus derselben in Groß-Lichterfelde meine Prüfungsvorschläge insofern Berücksichtigung finden sollten, als der von mir befürwortete „natürliche Verwitterungsversuch“ dort künftig zur Ausführung gelangen würde. Nach Schluß einer Sitzung der Kommission 1b des „Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“, die am 17. Juni 1903 in einem Raum des Neubaus der Mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Groß-Lichterfelde West abgehalten worden war, fand unter Führung des Herrn Geheimrat Martens eine Besichtigung der Anstalt seitens der Kommissionsmitglieder statt. Bei dieser Gelegenheit sah ich mit Genugtuung und Freude das umfängliche Versuchsfeld, auf dem Probeplatten aus den verschiedensten Gesteinssorten dem „natürlichen Verwitterungsversuch“ unterworfen werden sollen. Mit Freude und Dank ist der wichtige Schritt zu begrüßen, den die Prüfungsanstalt somit auf dem Gebiete der Wetterbeständigkeitsprüfung vorwärts und meines Wissens allen anderen Prüfungsinstituten voran getan hat. Möchten diese dem Beispiel jener bald folgen, zugleich im Sinne eines internationalen Zusammenschlusses der Einzelarbeiten, der allein auch zu der wissenschaftlichen genaueren Kenntnis des Einflusses der verschiedenen klimatischen Verhältnisse führen könnte! Auch der Einfluß der verschiedenen Lage nach den Himmelsrichtungen und anderer lokaler Verhältnisse wäre (wie bei den Berliner Museumsproben) mitzubeobachten. Ich kann hier nur die Forderung wiederholen, die ich schon 1895 in meinem Züricher Kongressreferat auf S. 48 ausgesprochen hatte:

„Es müßten nach Art der meteorologischen Versuchsstationen an geeigneten Orten möglichst zahlreiche **Stationen für natürliche Verwitterungsversuche** vorhanden sein, die nach vereinbarten einheitlichen Bestimmungen über Größe und Aufstellungsart der zu exponierenden Probestücke usw. zu arbeiten hätten“.

Aber nicht nur die „natürliche Wetterbeständigkeitsprobe“ harrt der allgemeinen Anwendung und planmäßigen Verwertung: auch dem exakten „abgekürzten oder künstlichen Verwitterungsversuch“ sollten die Prüfungsanstalten endlich allgemein näher treten und ihn energisch in ihre Pflege nehmen. Nur dann, wenn dies geschieht, wird das wünschenswerte schnellere Tempo im Gang der Wetterbeständigkeitsforschung überhaupt und die möglichste Ausgestaltung und Festigung des Verfahrens, damit aber die Ausfüllung einer schreienden und empfindlichen Lücke unseres Prüfungswesens, zu erhoffen sein.

Am Schluß dieser Betrachtungen angelangt, drängt sich mir unwillkürlich noch die Frage auf, nach welcher Richtung hin wohl die Wetterbeständigkeitsforschung in Zukunft sich weiter entwickeln und ausbauen könnte. Wie jedes Ding von verschiedenen Seiten sich betrachten läßt und wie für jedes wissenschaftliche Problem, je nach dem Standpunkt und der Individualität der Forscher und den besonderen Hilfsmitteln, über die sie verfügen, verschiedene Lösungen oder wenigstens verschiedene Wege zu seiner Lösung sich darbieten, so werden auch auf unserem Gebiete möglicherweise mit der Zeit neue Bahnen sich öffnen und neue Wege gangbar gemacht werden. Vielleicht wird man dazu übergehen, die Ergebnisse der interessanten Arbeiten von A. Rosiwal (K. K. geol. Reichsanst. 1896, 1898 und 1899), also die von ihm definierten und vorgeschlagenen Maßgrößen „Frische“ (F) und „Verwitterungsgrad“ (V) zu verwerten. Sicher ist aber jetzt schon, daß diese Verwertung, da es sich bei der Wetterbeständigkeitsprüfung schließlich stets um die Gewinnung relativer, unter genau gleichen Bedingungen zu ermittelnder Zahlenwerte handelt, doch wieder entweder den natürlichen oder den künstlichen (abgekürzten) Wetterbeständigkeitsversuch voraussetzen muß. Die Erhebung der Rosiwalschen Größen würde dementsprechend also wohl vielleicht ein zweites, jedenfalls zur Kontrolle schätzbares Hilfsmittel zur Feststellung des Verwitterungsmaßes, neben dem Gebrauch der Wage, abgeben können, wobei allerdings nicht außer acht zu lassen sein dürfte,

daß dort doch immerhin eine Beschränkung auf die Oberflächenveränderungen infolge des Verwitterungsvorganges vorliegt. Übrigens wird die fragliche Probe in den niedersten Rangstufen der Rosiwalschen Gesteinseinteilung (Stufen größter Verwitterungsmaße), woselbst sich viele geringere Sorten zusammendrängen werden, die scharfe Trennung derselben wohl kaum leisten können. Welches aber auch immer die Hilfsmittel zur Fixierung und Vergleichung der Verwitterungsergebnisse in Zukunft sein mögen, die Bedeutung des natürlichen sowohl wie des abgekürzten Wetterbeständigkeitsversuches wird bestehen bleiben. Verwitterung — ihrer chemischen Seite nach — ist gleichbedeutend mit Materialumwandlung und Materialverlust, die durch den Okularbefund festgestellt und durch die Wage gemessen werden, und durch die weiterhin erst die Abnahme der Festigkeitseigenschaften, zu denen ja auch die Härte gehört, bedingt wird. Den Rosiwalschen Erhebungen würde darum bei der Wetterbeständigkeitsprobe — wenigstens bei den Chemikopatholithen — zunächst nur ein indikatorischer Charakter beizumessen sein. — Vielleicht werden sie sich aber gerade in diesem Sinne zu einer exakteren Korrektur der Rangordnung von Steinen als sie der bloße Okularbefund gestattet, in den auf S. 93 d. B. erwähnten Fällen nützlich verwerten lassen. Es würden nämlich dort für die sehr ungleichwertigen Gemengteile der Steinsorte a noch die sehr ungleichen Härteverluste: $H-h$ (wobei H die Härte vor und h die Härte nach dem Versuch) und damit die sehr ungleichen Verwitterungsgrade: $V = \frac{H-h}{H}$ oder $= 1 - \frac{h}{H}$ [prozentisch: $100 \cdot \frac{H-h}{H}$ oder $100 \left(1 - \frac{h}{H}\right)$] nach Rosiwal zu ermitteln sein. Auf eine ähnliche Verwertung des Härtemaßes habe ich übrigens schon vor 5 Jahren, ohne die Rosiwalschen Arbeiten damals gekannt zu haben, hingewiesen (vgl. S. 104).



Tabellen 1 bis 5.

Tabelle I.

1	2	3		4		5	6		7	8	9	10	11	12
		Wasseraufnahme		Raumgewicht			Porosität in							
Laufende Nr.	Bezeichnung der Steinsorte	Gewichts-%	Raum-%	Raumgewicht δ	Gewichts-% P_g	Raum-% P_v	Raumgewicht δ	Spez. Gewicht Δ	$q = \frac{\delta}{\Delta}$	Druckfestigkeit kg/cm^2	Bemerkungen			
1	Carrara-Marmor	—	—	—	0,69	1,88	2,73	2,78	0,982	—				
2	Quarzit	—	—	—	0,85	2,12	2,49	2,54	0,980	—				
3	Obernkircher Sandstein	5,17	11,27	2,13	10,7	19,0	1,83	2,3	0,796	573				
4	Wrexer Sandstein	7,36	14,90	2,01	10,95	22,2	2,0	2,6	0,769	507				
4a	Desgl.	7,03	14,17	2,00	—	—	—	—	—	446				
5	Mehler Sandstein	3,24	7,03	2,16	10,1	21,9	2,1	2,7	0,779	1015				
6	Osterwalder Sandstein	4,09	8,84	2,16	10	21,5	2,2	2,8	0,786	898				
7	Hardegger Sandstein	6,13	12,51	2,04	12,2	24,1	2,0	2,6	0,786	560				
8	Nörter Sandstein	9,02	17,63	1,97	8,0	17,1	2,2	2,6	0,769	402				
9	Stadtdendorfer Sandstein	5,51	12,76	2,14	7,0	17,8	2,2	2,8	0,786	653				
10	Hilssandstein	8,44	16,70	1,98	11,8	22,1	1,8	2,4	0,750	613				
11	„Sandstein von Essen“	—	—	—	3,67	8,81	2,40	2,63	0,913	—				
12	„Odenwald-Syenit“	—	—	—	1,0	2,02	2,89	2,96	0,976	—				

Da die Spaltenwerte $P_g, P_v, \delta, \Delta, \frac{\delta}{\Delta}$ nicht auf eine hinreichende Stellenzahl berechnet, sondern abgerundet sind, so kann eine genaue Übereinstimmung untereinander, gemäß den Formeln 5 und 6, Abschn. II, A, 1, nicht erwartet werden.

1 Laufende Nr.	2 Steinsorte	3 Be- zeich- nung des Probe- stücks	4 Gewicht von 10 cm ³ in kg		5 Trockenfestigkeit kg/cm ³		
			Mittel	Mittel	Lager		
					1		
1	Oberkircher Sandstein . . .	1 a	2,05	2,13	573	698	anfangs nach dem Frostversuch
		1 b	2,19		899		
		1 c	2,17		497		
2	Wrexer Sandstein	2 a	1,98	2,01	507	454	anfangs nach dem Frostversuch
		2 b	2,07		523		
		2 c	1,98		384		
2a	Wrexer Sandstein	2 a a	1,99	2,00	446	465	anfangs nach dem Frostversuch
		2 a b	2,01		492		
		2 a c	2,02		438		
3	Mehler Sandstein	3 a	2,15	2,16	1015	1035	anfangs nach dem Frostversuch
		3 b	2,17		1105		
		3 c	2,17		965		
4	Osterwalder Sandstein	4 a	2,16	2,16	898	1050	anfangs nach dem Frostversuch
		4 b	2,16		1024		
		4 c	2,16		1075		
5	Hardegser Sandstein	5 a	2,04	2,04	560	538	anfangs nach dem Frostversuch
		5 b	2,04		509		
		5 c	2,05		567		
6	Nörter Sandstein	6 a	1,99	1,97	402	342	anfangs nach dem Frostversuch
		6 b	1,95		365		
		6 c	1,96		321		
7	Stadtdendorfer Sandstein	7 a	2,15	2,14	653	618	anfangs nach dem Frostversuch
		7 b	2,16		622		
		7 c	2,11		614		
8	Hilssandstein	8 a	1,99	1,98	613	482	anfangs nach dem Frostversuch
		8 b	1,97		495		
		8 c	1,99		468		

6 Wasseraufnahme				7 Gewichts- verluste durch den Frostversuch in Anfangs- trocken- gewichts- ^o / _o		8 Verhalten und Aussehen während und nach dem 25 maligen Gefrieren	9 Bemer- kungen
in Gewichts- ^o / _o		in Raum- ^o / _o		Mittel			
Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel		
5,20	5,17	11,39	11,27	0,060	0,055	Unverändert durch den Frost. Desgl.	
5,14		11,15		0,050			
7,15	7,36	14,80	14,90	0,076	0,087	Durch den Frost sämtliche Kanten etwas abgerundet. Desgl.	
7,57		14,99		0,098			
7,16	7,03	14,30	14,17	0,156	0,166	Durch den Frost Ecken und Kan- ten etwas abgerundet. Desgl.	
6,90		13,94		0,176			
3,32	3,24	7,20	7,03	0,020	0,071	Unverändert durch den Frost. Desgl.	
3,16		6,86		0,122			
4,08	4,09	8,81	8,84	0,041	0,036	Unverändert durch den Frost. Desgl.	
4,10		8,86		0,031			
6,13	6,13	12,51	12,51	0,099	0,099	Unverändert durch den Frost. Desgl.	
6,10		12,51		0,100			
8,91	9,02	17,34	17,63	0,278	0,244	Durch den Frost sämtliche Kanten etwas abgerundet. Desgl.	
9,13		17,89		0,210			
5,04	5,51	12,89	12,76	0,645	0,349	Unverändert durch den Frost. Desgl.	
5,98		12,62		0,054			
8,60	8,44	16,94	16,70	0,266	0,345	Nach dem 16. Gefrieren bildet sich ein kleines Rißchen längs der Kante einer Lagerfläche, das sich jedoch nicht weiter entwickelt. Am Schlusse 2 Ecken etwas ab- gerundet. Nach dem 14. Gefrieren kleines Rißchen an einer Ecke sichtbar. Nach dem 25 maligen Gefrieren beide Ecken ein klein wenig be- schädigt.	
8,27		16,46		0,345			

Kein einziger Probewürfel wurde durch den Frost derart beschädigt, daß eine Druckprobe unmöglich geworden wäre.

Tabelle 3.

1	2	3	4	5	6	7
Laufende Nr.	Bezeichnung der Platten	Beschaffenheit der Platten vor dem Versuche	23. August 1903	(4 ^h nachmittags) 24. August (Tag nach SO ₂ -Einleitung)	25. August	26. August
1	Carrara-Marmor (k)	Rein weiß, von feinkörnig-kristallinischem Gefüge. Auf allen Flächen fein abgeschliffen. Scharfkantig und scharfeckig.	20 Minuten nach der 1. SO ₂ -Einleitung (ca. 6 ⁵⁵ h am 23. VIII. beginnend) löst sich, deutlich sichtbar, eine Schicht von der Platte ab und sinkt in die Flüssigkeit hinab, in derselben sich auflösend. Beim Tauchen der Platte starke CO ₂ -Entwicklung an derselben und Ablösungen.	Die Platte zeigt in ihrem oberen Viertel deutliche Inkrustationen oder Effloreszenzen, die beim Tauchen verschwinden (sich lösen).	Alles unverändert.	Große, farblose Tropfen hängen an der Tropfkante der Platte. Die Politur des Marmors erscheint, abgesehen von den Effloreszenzen, sonst fast intakt. Flüssigkeit ist und bleibt farblos.
2	Quarzit (i)	Blendend weiße, vollständig scharfkantige und scharfeckige Platte, von vereinzelt gelblichen Adern durchzogen, kantendurchscheinend; Flächen gesägt und glänzend. Milchglasartig.	Bis zum Beginn der 1. SO ₂ -Einleitung scheinbar unverändert, nur infolge der Wasserdurchtränkung dunkler erscheinend.	Tropft fast gar nicht. Tropfwasser gänzlich farblos.	Desgl.	Wie am 24. VIII. Flüssigkeit farblos.
3	Obernkircher Sandstein (h)	Fast rein weiß, hierin nur etwa vom Osterwalder Sandstein übertroffen, etwas ins Hellgraulich-Gelbliche fallend, entschieden weißer als Mehler Sandstein; feinkörnig und zwar mehr noch als dieser. Glimmer minimal.	Desgl.	Tropfwasser gänzlich farblos.	Desgl.	Wie am 24. VIII. Tropft fast gar nicht. Flüssigkeit farblos.

Tabelle 3.

8	9	10	11	12	13	14
27. August	29. August	30. August	31. August	1. September	2. September (letzter Tag des Versuchs)	Beschaffenheit der Platten nach dem Versuche (nach dem Trocknen bei 125° C)
Tropft stark, farblos. Platte erscheint am Abend des 27. VIII. auf den Breitseiten (7/3 cm) zerfressen. Am Abend sank ein größeres Stück, das sich von der Platte abgelöst hatte, zu Boden. Es war dünn-scheibig.	Platte an der Tropfkante stark zerfressen und mürbe erscheinend. Starkes Tropfen farblos.	Es hat sich jetzt ein ziemlich kräftiger, weißer Bodensatz in der Flasche angesammelt. Die Platte bröckelt an der Tropfkante mehr und mehr ab.	Bodensatz hat zugenommen.	Bodensatz hat weitere Vermehrung erfahren.	Platte durchaus rau und uneben geworden und von stumpfem Aussehen, nicht mehr kantendurchscheinend, sondern völlig opak. Flüssigkeit farblos und klar (o). Sehr starker Bodensatz aus Resten abgelöster Schichten bestehend, die ungelöst geblieben sind (Gips).	Beschaffenheit der Platte wie zuletzt.
Tropft nicht.	Schwach tropfend. Tropfwasser farblos.	Geringes Tropfen. Die Platte erscheint völlig wie frisch, mit glänzenden Schnittflächen.	Unverändert.	Unverändert. Die einzige Veränderung während des ganzen Versuches (bis zum Schluß desselben) ist ein Dunklerwerden der geringfügigen Adern des Quarzits.	Platte erscheint vollständig unverändert; Glanz der noch kantendurchscheinenden Schnittflächen intakt; nur die spärlichen Adern sind etwas dunkler geworden. Flüssigkeit vollständig farblos und klar (o). Kein Bodensatz.	Beschaffenheit der Platte genau wie zuletzt und, abgesehen von den feinen Äderchen, wie vor dem Versuch.
Kein Tropfen.	Tropfwasser farblos.	Mäßiges Tropfen.	Starkes Tropfen, farblos.	Starkes Tropfen, farblos. Die Kanten der Platte erscheinen etwas heller als das übrige der Platte.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit fast ganz farblos (o,1) und klar. Fast unmerklicher, unwägbarer Bodensatz.	Farbe der Platte ein wenig dunkler geworden, sonst keinerlei Veränderung sichtbar.

1	2	3	4	5	6	7
Laufende Nr.	Bezeichnung der Platten	Beschaffenheit der Platten vor dem Versuche	23. August 1903	(4 ^h nachmittags) 24. August (Tag nach SO ₂ -Einleitung)	25. August	26. August
4	Wrexer Sandstein (g)	Hellgelb mit schwach rötlichem Anhauch, Korngröße ähnlich wie beim Hardegser Sandstein (etwas beträchtlicher). Glimmer spärlich. Zum Sanden neigend.	Bis zum Beginne der 1. SO ₂ -Einleitung scheinbar unverändert, nur infolge der Wasserdurchtränkung dunkler erscheinend.	Tropfwasser fast farblos.	Alles unverändert.	Wie am 24. VIII, kaum tropfend. Flüssigkeit zeigt kaum eine Färbung.
5	Mehler Sandstein (f)	Graulich weiß, feinkörnig wie Osterwalder Sandstein. Glimmer kaum bemerkbar. Korngröße übertrifft die von Hils- und Obernkircher Sandstein. Hartes Material.	Desgl.	Sehr starkes Tropfen. Tropfwasser fast farblos.	Desgl.	Kaum tropfend. Flüssigkeit fast farblos.
6	Osterwalder Sandstein (e)	Rein weiß, schwach gelblich angehaucht. Glimmer fast nicht sichtbar. Korngröße ähnlich der beim Hardegser Sandstein (etwas geringer). Ziemlich hartes Material.	Desgl.	Schwaches Tropfen. Tropfwasser farblos.	Desgl.	Tropfwasser nicht mehr ganz farblos. An der Flüssigkeit ist eine Färbung kaum bemerkbar.
7	Hardegser Sandstein (d)	Hübsch rot, doch etwas weniger frisch rot wie der Stadtoldendorfer Sandstein, etwa ebenso wie Nörter Sandstein (jedoch ohne weiße Flecken). Korngröße etwas geringer als dort, und im Durchschnitt wohl etwas erheblicher als beim Stadtoldendorfer Sandstein. Glimmergehalt mäßig.	Desgl.	Tropfwasser schwach rötlich.	Desgl.	Platte wie am 24. VIII. Flüssigkeit hat sich sehr schwach gelblich gefärbt.

8	9	10	11	12	13	14
27. August	29. August	30. August	31. August	1. September	2. September (letzter Tag des Versuchs)	Beschaffenheit der Platten nach dem Versuch (nach dem Trocknen bei 125° C)
Die Platte, die bis dahin ein wenig gelblicher wie im frischen Zustande erschienen war, zeigt jetzt blaß rötliche Kanten und Ecken. Kein Tropfen.	Tropfwasser gelblich.	Starkes Tropfen.	Starkes Tropfen.	Unverändert, doch erscheinen Kanten und Ecken der Platte noch deutlich hellrötlich wie vorher (seit dem 27. August).	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit nicht unbeträchtlich gelb-grünlich gefärbt (2) und klar. Geringer, nicht wägbarer Bodensatz.	Farbe der Platte etwas dunkler geworden, in stärkerem Maße als beim Mehler und Osterwalder Sandstein; der gelbliche Anhauch ganz verschwunden. Platte erscheint etwas ausgelaut; Glimmerblättchen treten jetzt deutlicher zutage.
Tropft nicht.	Tropft fast farblos.	Unverändert.	Schwaches Tropfen.	Kein Tropfen.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit ganz schwach hellgelb-grünlich gefärbt (0,5) und klar. Geringer, unwägbarer Bodensatz.	Platte kaum merklich verändert. Farbe ein klein wenig dunkler geworden.
Tropfen, dunkelfarbig.	Tropft dunkelfarbig.	Unverändert.	Starkes Tropfen.	Schwaches Tropfen. Die Kanten und Ecken der Platte erscheinen jetzt deutlich heller als die übrige Masse der Platten.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit schwach (1,0) gelb-grünlich gefärbt, aber klar. Ganz geringer, unwägbarer Bodensatz.	Farbe hat kaum eine sichtbare Veränderung erlitten, ist nur ein klein wenig dunkler geworden.
Tropft schwach hellgrünlich.	Unverändert.	Unverändert.	Schwaches Tropfen.	Unverändert.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit deutlich und nicht unbeträchtlich gelb-grünlich gefärbt (2), aber klar. Geringer, nicht wägbarer Bodensatz.	Farbe der Platte sehr getrübt, ins Grünliche spielend und etwas dunkler geworden. Die ursprüngliche Frische ist verloren gegangen. Sonst keine sichtbaren Veränderungen. An einer Längsseite (70/3,5) ist ein wenig weißer, ganz schwacher Beschlag, sowie eine schwache Furchung entstanden, entsprechend der Schichtung.

1	2	3	4	5	6	7
Laufende Nr.	Bezeichnung der Platten	Beschaffenheit der Platten vor dem Versuche	23. August 1903	(4 ^h nachmittags) 24. August (Tag nach SO ₂ -Einleitung)	25. August	26. August
8	Nörter Sandstein (c)	Hübsch rot, doch etwas weniger frisch rot als Stadtoldendorfer Sandstein, mit grünlich-weißen Flecken von 2 bis 5 mm Quermaß, in Abständen von 1 bis 10 cm; ziemlich glimmerig, Korn im Durchschnitt entschieden gröber als beim Stadtoldendorfer Sandstein. Zum Sanden neigend.	Die hellen Flecken des Sandsteins erscheinen schon bald nach Beginn der 1. SO ₂ -Einleitung noch heller.	Tropfwasser rötlich. Helle Flecken jetzt leuchtend weiß.	Alles unverändert.	Platte wie am 24. VIII. Flüssigkeit hat sich hell gelblich-grünlich gefärbt.
9	Stadtoldendorfer Sandstein (b)	Schön und frisch sattrot, mit äußerst schwacher, doch charakteristischer Hinneigung zum Bläulichen (darum dunkler wie die übrigen Sandsteine erscheinend), im Block etwas schichtig, mit ziemlich häufigen, glänzenden Glimmerblättchen, ziemlich ungleichkörnig, z. T. ähnlich feinkörnig wie Hilsandstein, z. T. ähnlich grobkörnig wie Nörter. Sehr gleichmäßiges, hartes Material.	Bis zum Beginne der 1. SO ₂ -Einleitung scheinbar unverändert, nur infolge der Wasserdurchtränkung dunkler erscheinend.	Tropfwasser von schwach rötlichem Schimmer.	Desgl.	Tropfwasser fast farblos. Flüssigkeit fast farblos, nur von ganz schwach rötlichem Schimmer.

8	9	10	11	12	13	14
27. August	29. August	30. August	31. August	1. September	2. September (letzter Tag des Versuchs)	Beschaffenheit der Platten nach dem Versuch (nach dem Trocknen bei 125° C)
Tropft schwach, dunkelfarbig. Auf dem Flaschenboden sind jetzt abgelöste Steinchen sichtbar.	Tropft schwach.	Schwaches Tropfen. Die hellen Flecken wie am 24. VIII.	Tropft nicht. Die Platte ist jetzt schwach, aber deutlich sichtbar gekrümmt. Bodensatz stärker geworden.	Tropft nicht. Die Platte ist deutlich gekrümmt, es erscheinen Querrisse an derselben. Bodensatz stärker geworden.	Infolge der Krümmung der Platte in ihrer Längsrichtung haben sich 2 große Querrisse gebildet, auf $\frac{1}{4}$ Plattenbreite sich erstreckend. Platte neigt jetzt ganz außerordentlich zum Sanden und bröckelt bei Entnahme aus der Flasche stark. Flüssigkeit deutlich, aber ziemlich schwach (1,75), gelblichgrün gefärbt und klar. Bodensatz ziemlich bedeutend.	Farbe kaum verändert, eher etwas heller geworden. Platte jetzt mürbe und bröckelnd. Die Sandkörner hängen meistens nur noch lose an einander. Das Bindemittel ist fortgelöst. Ein Teil des Steines vollständig zu Grus zerfallen. Das übrige liefert bei unvorsichtigem Anfassen nur lose Sandkörner und Glimmerblättchen. Am unteren Ende schwache, weiße Ausblühungen.
Tropft ziemlich stark und ziemlich dunkelfarbig.	Mäßiges Tropfen. Flüssigkeit farblos.	Tropft nicht.	Schwaches Tropfen.	Schwaches Tropfen.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit fast farblos (0,25) und klar (schwacher, hellgrünlicher Schimmer). Ganz geringer, unwägbarer Bodensatz.	Farbe nur sehr wenig verändert, mehr braunrot geworden, ohne viel von der Frische des Aussehens verloren zu haben.

1	2	3	4	5	6	7
Laufende Nr.	Bezeichnung der Platten	Beschaffenheit der Platten vor dem Versuche	23. August 1903	(4 ^h nachmittags) 24. August (Tag nach SO ₂ -Einleitung)	25. August	26. August
10	Hils-Sandstein (a)	Schmutzig hellgrau, mit hellgelblichen Streifen und Flecken, sehr feinkörnig, neben Obernkircher die feinkörnigste der Sorten 3—11. Unter der Lupe zahlreiche schwarze Punkte sichtbar.	Bis zum Beginne der 1. SO ₂ -Einleitung scheinbar unverändert, nur infolge der Wasserdurchtränkung dunkler erscheinend.	Tropfwasser rauchgrau bis grünlich.	Alles unverändert.	Tropfwasser dunkler geworden. Flüssigkeit hat sich ziemlich lebhaft gelblich gefärbt (am stärksten von allen Flascheninhalten).
11	„Sandstein von Essen“ (β)	Hellgrau mit zahllosen, selbst ohne Lupe noch sichtbaren dunklen Pünktchen, wodurch Ansehen fein gesprenkelt, wohl die grobkörnigste der Sorten 3—11, jedoch sehr dicht erscheinend. Ziemlich hartes Material.	Desgl.	Tropfwasser hellgrünlich.	Desgl.	Tropfwasser dunkler grünlich geworden. Flüssigkeit in der Flasche färbt sich ganz hell gelblich.
12	„Odenwald-Syenit“ (Diorit) (α)	Feinkörnig, dunkel-schwarz, grün (fast schwarz) und weiß gesprenkelt. Dichtes, festes und hartes Material, scharfkantig und scharfeckig, von ziemlich feinkörnigem kristallinischem Gefüge. Eine Breitseite poliert, die übrigen fein abgeschliffen.	Desgl.	Tropfwasser farblos. Platte scheinbar unverändert.	Desgl.	Platte unverändert. Flüssiger Flascheninhalt farblos.

8	9	10	11	12	13	14
27. August	29. August	30. August	31. August	1. September	2. September (letzter Tag des Versuchs)	Beschaffenheit der Platten nach dem Versuch (nach dem Trocknen bei 125° C)
Tropft nicht. Flüssigkeit am lebhaftesten gelblich gefärbt von allen Flascheninhalten.	Mäßiges Tropfen. Flüssigkeit gelbgrün.	Tropft nicht.	Schwaches Tropfen.	Schwaches Tropfen.	Platte wie zuletzt. Flüssigkeit lebhaft gelbgrünlich gefärbt (3), am lebhaftesten von allen Flüssigkeiten, aber klar. Ganz geringer, unwägbarer Bodensatz.	Platte entschieden viel dunkler geworden, fast bräunlich und jetzt stärker dunkel gefleckt erscheinend. Ansehen unter der Lupe stark ausgelaut.
Tropft ziemlich stark. Flüssigkeit ganz hell gelblich gefärbt.	Tropft schwach. Flüssigkeit hellgelb.	Stärkeres Tropfen.	Schwaches Tropfen.	Schwaches Tropfen. Flüssigkeit erscheint jetzt dunkler gelblich gefärbt.	Platte hat in der Mitte einer Breitseite einen schwachen, gelblich-grünen Fleck erhalten. Flüssigkeit ziemlich stark (2,75), gelbgrünlich gefärbt, aber klar. Geringer, unwägbarer Bodensatz.	Ganze Platte viel dunkler und gleichfarbiger, fast bräunlich-grau geworden. In der Mitte einer ihrer Breitseiten ein 35/15 mm großer, gelber Fleck; stark geraut, macht den Eindruck des Ausgelautseins, wenigstens unter der Lupe.
Tropft sehr stark, aber farblos, wie bisher.	Unverändert.	Unverändert.	Starkes Tropfen. Flüssigkeit farblos.	Unverändert.	Kanten und Ecken der Platte unverändert scharf. Flüssigkeit vollständig klar und farblos geblieben (α), zeigt keinen Bodensatz.	Aussehen bis auf die Farbe vollständig unverändert, Glanz der Politurfläche durchaus intakt, doch erscheinen die Schnittflächen ein wenig rauher als vor dem Versuch. Farbe nicht unbedeutlich verändert: die vorher grau-weißen Stellen (Plagioklase) jetzt leuchtend weiß, z. T. mit etwas rötlichem Anhauch. Kanten und Ecken tadellos scharf wie zuvor.

Tabelle 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Laufende Nr.	Bezeichnung der Probeplatten	Anfangstrockengewicht bei 125° C.	Endrockengewicht nach dem Versuch, bei 125° C.	Abgang bei der Entnahme aus den Flaschen oderspäter	Bodensatz in der Flasche	In Lösung gegangen	Gesamtgewichtsverlust	Gesamtgewichtsverlust in Anf.Gew.	φ	φ'
		g	g	g	g	g	g	g		
1	Carrara-Marmor	49,1662	42,4756	1,7105	0,6001	6,0905	6,6906	13,608	6,480	1
2	Quarzit von Weissenstein	51,2650	51,2639	—	—	0,0011	0,0011	0,0021	1	$\frac{1}{6480}$
3	Obernkircher Sandstein	36,4510	36,4218	—	—	0,0292	0,0292	0,080	38	$\frac{1}{170}$
4	Wrexer Sandstein	36,5145	36,3741	—	—	0,1404	0,1404	0,385	183	$\frac{1}{35}$
5	Mehler Sandstein	41,0483	40,9640	—	—	0,0843	0,0843	0,205	98	$\frac{1}{66}$
6	Osterwalder Sandstein	41,2119	41,1625	—	—	0,0494	0,0494	0,120	57	$\frac{1}{113}$
7	Hardegser Sandstein	35,3930	35,2148	—	unwägbar	0,1782	0,1782	0,503	211	$\frac{1}{37}$
8	Nörter Sandstein	38,5232	37,3570	0,9833	0,3052	0,8610	1,1662	3,027	1441	$\frac{1}{4,15}$
9	Stadtdendorfer Sandstein	43,1047	43,0420	—	unwägbar	0,0627	0,0627	0,145	69	$\frac{1}{94}$
10	Hilssandstein	38,8460	38,7582	—	unwägbar	0,0878	0,0878	0,226	108	$\frac{1}{60}$
11	„Sandstein von Essen“	47,6424	47,0441	—	unwägbar	0,5983	0,5983	1,256	598	$\frac{1}{11}$
12	„Odenwald-Syenit“	54,4348	54,3274	—	—	0,1074	0,1074	0,197	94	$\frac{1}{69}$



Erklärendes Verzeichnis der Tafeln.

Tafel I. Laboratoriumsansicht.

„ II. Schaulinien.

Tafel III, Abb. 1: Carrara-Marmor. Vergr. 105:1.

„ 2: Quarzit von Weißenstein. Vergr. 45:1.

„ 3: Quarzit von Weißenstein. Vergr. 140:1.

„ IV, „ 1: Obernkircher Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 2: Obernkircher Sandstein. Vergr. 140:1.

„ 3: Wrexer Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 4: Wrexer Sandstein. Vergr. 140:1.

„ 5: Mehler Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 6: Mehler Sandstein. Vergr. 140:1.

„ V, „ 1: Osterwalder Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 2: Osterwalder Sandstein. Vergr. 140:1.

„ 3: Hardegser Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 4: Hardegser Sandstein. Vergr. 140:1.

„ 5: Nörter Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 6: Nörter Sandstein. Vergr. 140:1.

„ VI, „ 1: Stadtoldendorfer Sandstein. Vergr. 45:1.

„ 2: Stadtoldendorfer Sandstein. Vergr. 140:1.

„ 3: Hilssandstein. Vergr. 45:1.

„ 4: Hilssandstein. Vergr. 140:1.

„ VII, „ 1: „Sandstein von Essen“, frisch. Vergr. 45:1.

„ 2: „Sandstein von Essen“, frisch. Vergr. 140:1.

„ 3: „Sandstein von Essen“, verwittert. Vergr. 45:1.

„ 4: „Sandstein von Essen“, verwittert. Vergr. 140:1.

„ 5: „Odenwald-Syenit“. Vergr. 45:1.

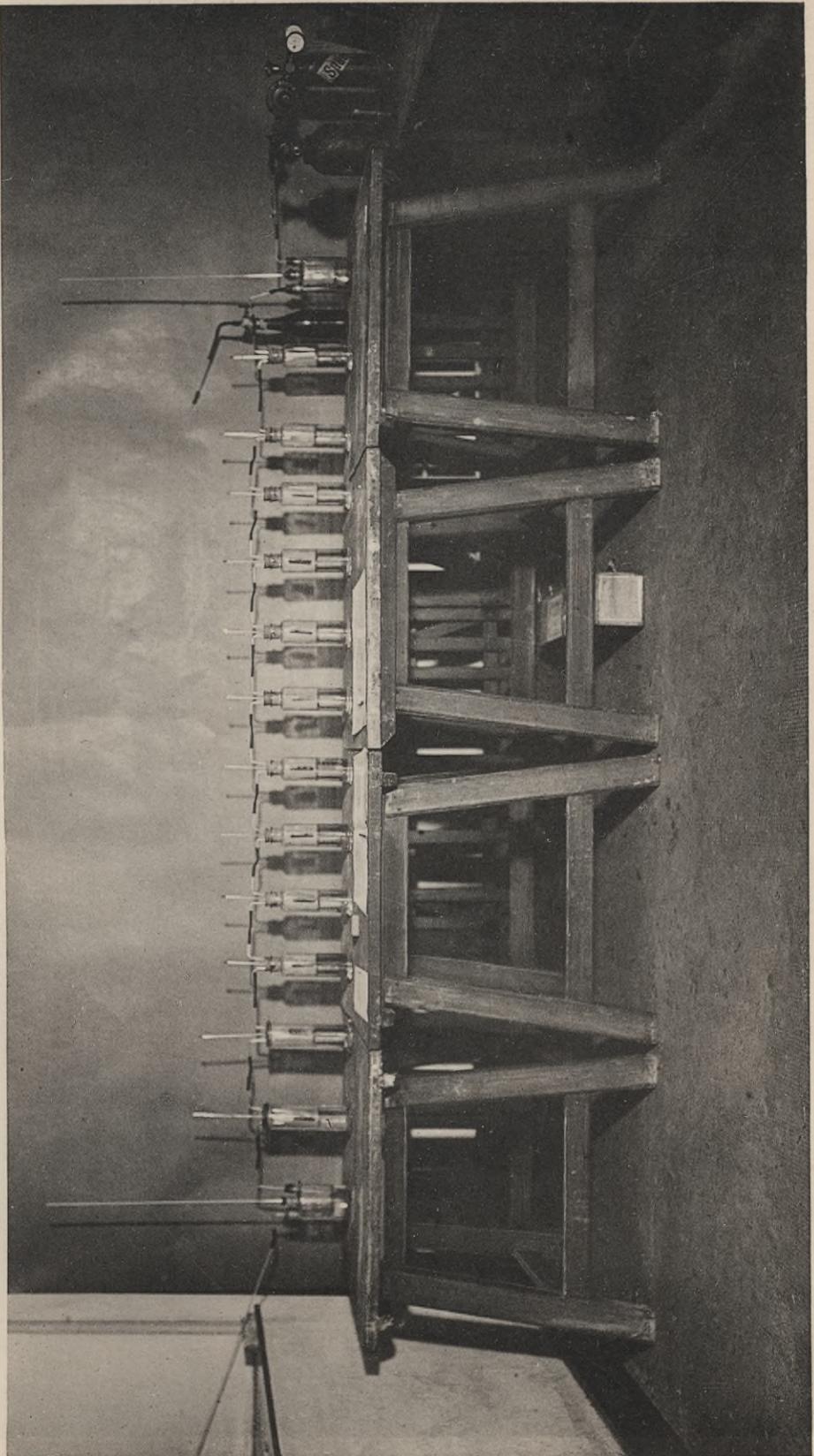
„ 6: „Odenwald-Syenit“. Vergr. 140:1.

Tafel VIII: Nörter Sandstein. Vom Kapitäl der Treppenhaus-Fenstersäule der Baugewerkschul-Direktordienstwohnung in Höxter a. W. Natürl. Größe.

Tafel IX, Abb. 1: Hardegser Sandstein, unversehrtes Material. Vom Baugewerkschul-Portal in Höxter a. W. Natürl. Größe.

„ IX, Abb. 2: Hardegser Sandstein, Sandlöcher ausgebohrt. Vom Baugewerkschul-Portal in Höxter a. W. Natürl. Größe.

- Tafel X, Abb. 1 (Verwitterungsbild): Sollingsandstein, rot. Von einer Turm-Fenstersäule der St. Kilianskirche in Höxter a. W. Natürl. Größe.
- „ X, Abb. 2 (Verwitterungsbild): Sollingsandstein, weiß. Von einer Turm-Fenstersäule der St. Kilianskirche in Höxter a. W. Natürl. Größe.
- Tafel XI, Abb. 1: Sollingsandstein, rot, mit Sandlöchern. Von einem Torbogen in Höxter a. W. Natürl. Größe.
- „ XI, Abb. 2 (Verwitterungsbild): Sollingsandstein, rot, schichtig, verwittert. Von einem Torpfosten in Höxter a. W. Natürl. Größe.
- Tafel XII, Abb. 1 (Verwitterungsbild): Sollingsandstein, rot, mit Sandlöchern, angewittert. Vom Sockelgesims der Minoritenkirche in Höxter a. W. Natürl. Größe.
- „ XII, Abb. 2 (Verwitterungsbild): Sollingsandstein, weiß, mit Sandlöchern, angewittert. Vom Sockelgesims der Minoritenkirche in Höxter a. W. Natürl. Größe.



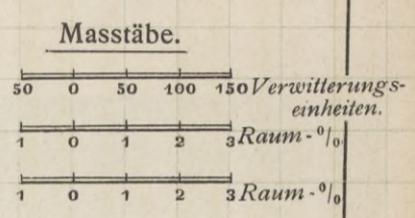
Laboratoriums-Ansicht.

Leitender der Hofmann-Analyse von Martin Kimmel & Co., Stuttgart.

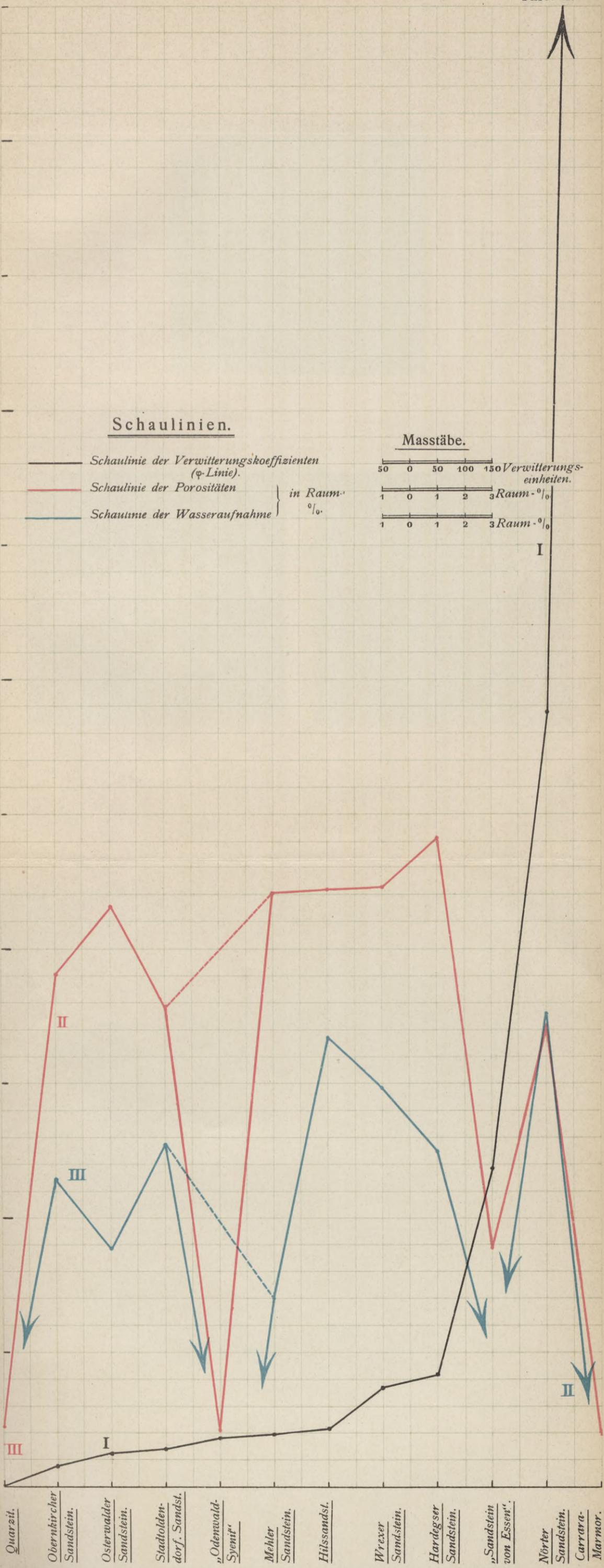


Schaulinien.

— Schaulinie der Verwitterungskoeffizienten (φ -Linie).
 — Schaulinie der Porositäten } in Raum-%
 — Schaulinie der Wasseraufnahme } %



I

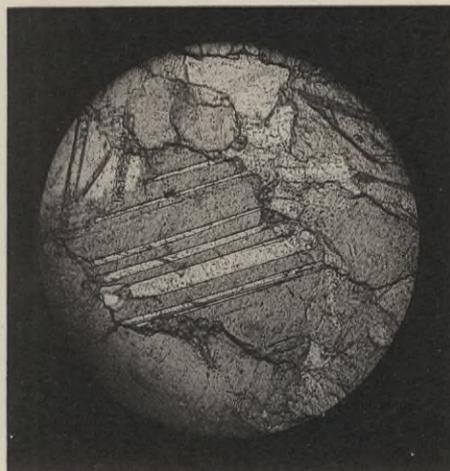


II

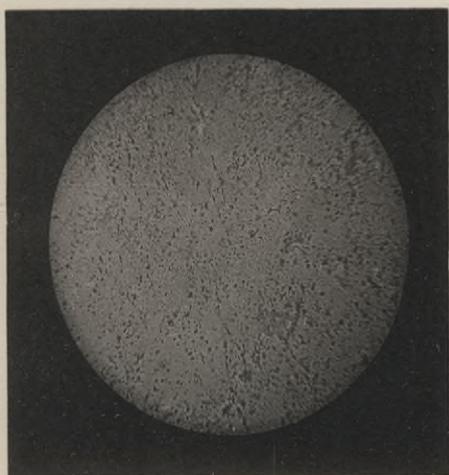
III

I

Quarzit.
 Oberkircher Sandstein.
 Osterwalder Sandstein.
 Stadoldendorf. Sandst.
 'Odenwald-Syenit'
 Mehler Sandstein.
 Hilsandst.
 Wrexer Sandstein.
 Hardegger Sandstein.
 'Sandstein von Essen'.
 Nörter Sandstein.
 Carrara-Marmor.



1.



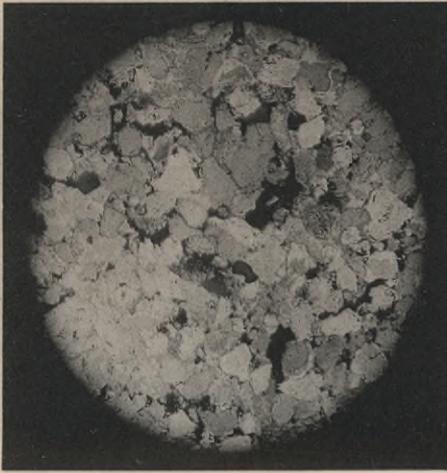
2.



3.

Mikrophotogramme.





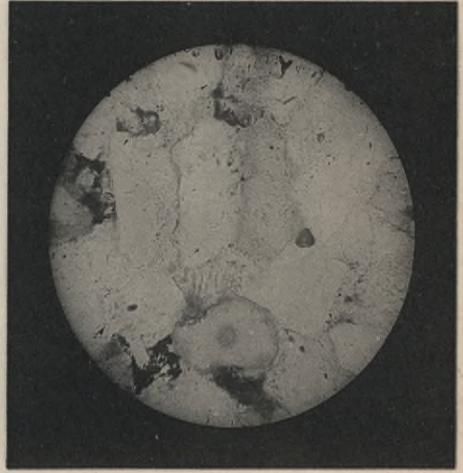
1.



2.



3.



4.

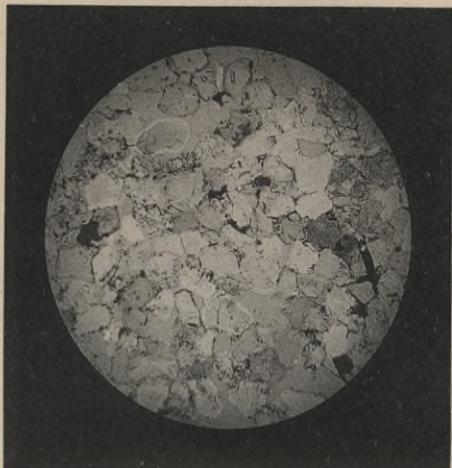


5.

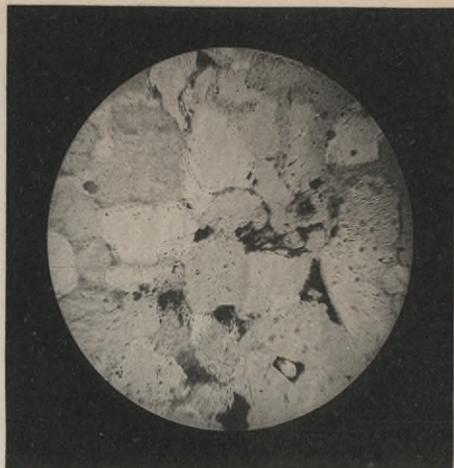


6.





1.



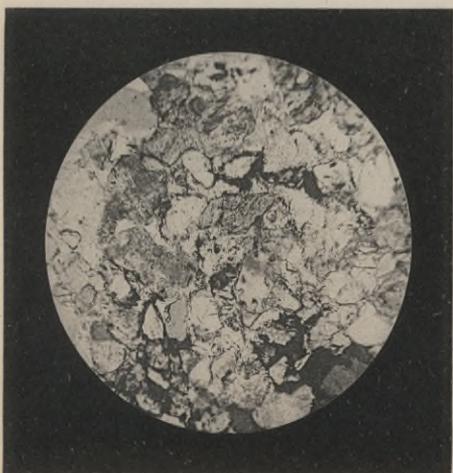
2.



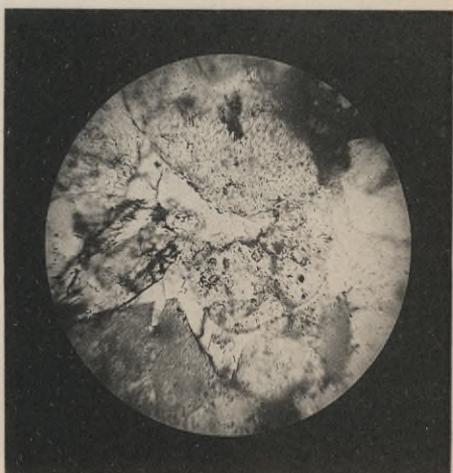
3.



4.



5.



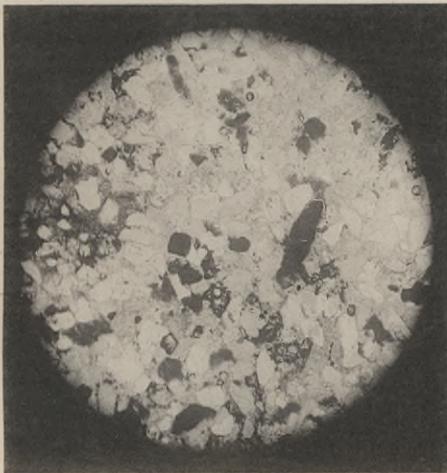
6.



1.



2.



3.



4.

Mikrophotogramme.

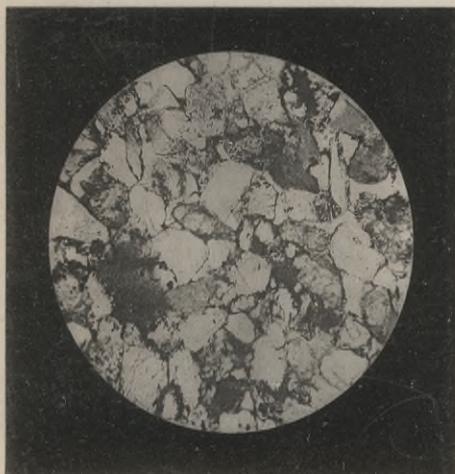




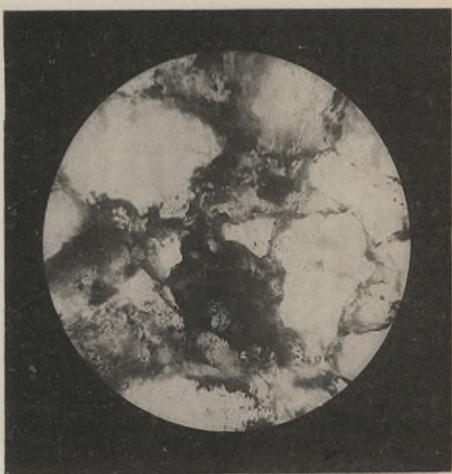
1.



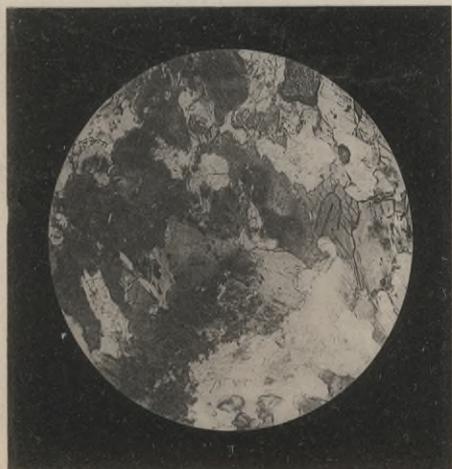
2.



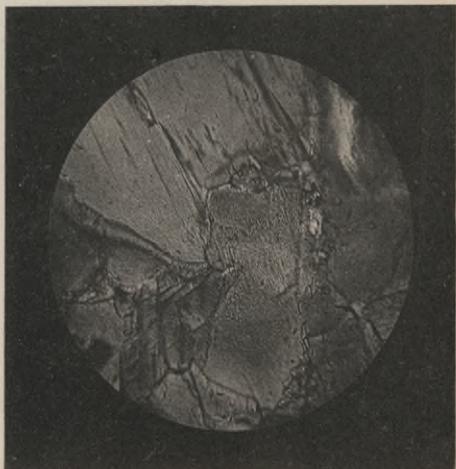
3.



4.



5.



6.





Nörter Sandstein.

Vom Kapitäl der Treppenhaus-Fenstersäule der Baugewerkschul-Direktordienstwohnung in Höxter a. W.
Natur! Grösse





1.

Hardeger Sandstein.
Unverschirtes Material vom Baugewerkschnl-Portal in Höxter a. W.



2.

Hardeger Sandstein.
Sandlöcher ausgebohrt. Vom Baugewerkschnl-Portal in Höxter a. W.



Verwitterungsbild.



2.
Sollingsandstein, weiss.

Verwitterungsbild.



1.
Sollingsandstein, rot.



Verwitterungsbild.



Verwitterungsbild.



2.
Sollingsandstein, rot, schichtig, verwittert.
Von einem Torbogen in Höxter. W.

1.
Sollingsandstein, rot, mit Sandlöchern
Von einem Torbogen in Höxter. W.



Verwitterungsbild.



2.

Solling, weiss, mit Sandlöchern, angewittert.
Vom Sockelgesims der Minoritenkirche in Höxter a. W.

Verwitterungsbild.



1.

Solling, rot, mit Sandlöchern, angewittert.
Vom Sockelgesims der Minoritenkirche in Höxter a. W.



S-96

S. 61

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000298993