



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299095

Die
Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine.

Die Wetterbeständigkeit &
der natürlichen Bausteine
und die
Wetterbeständigkeitsproben,
mit besonderer Berücksichtigung der Dachschiefer.

Von

Professor Dr. **Heinrich Seipp,**
Ingenieur, komm. Direktor der Königl. Baugewerkschule zu Hörter a. B.

Mit 8 Tabellen (außerhalb des Textes), 21 Abbildungen im Text
und 20 Tafeln.

F. Nr. 23 486



Jena,
Hermann Costenoble,
Verlagsbuchhandlung.
1900.

g 18 / 20

II 5443

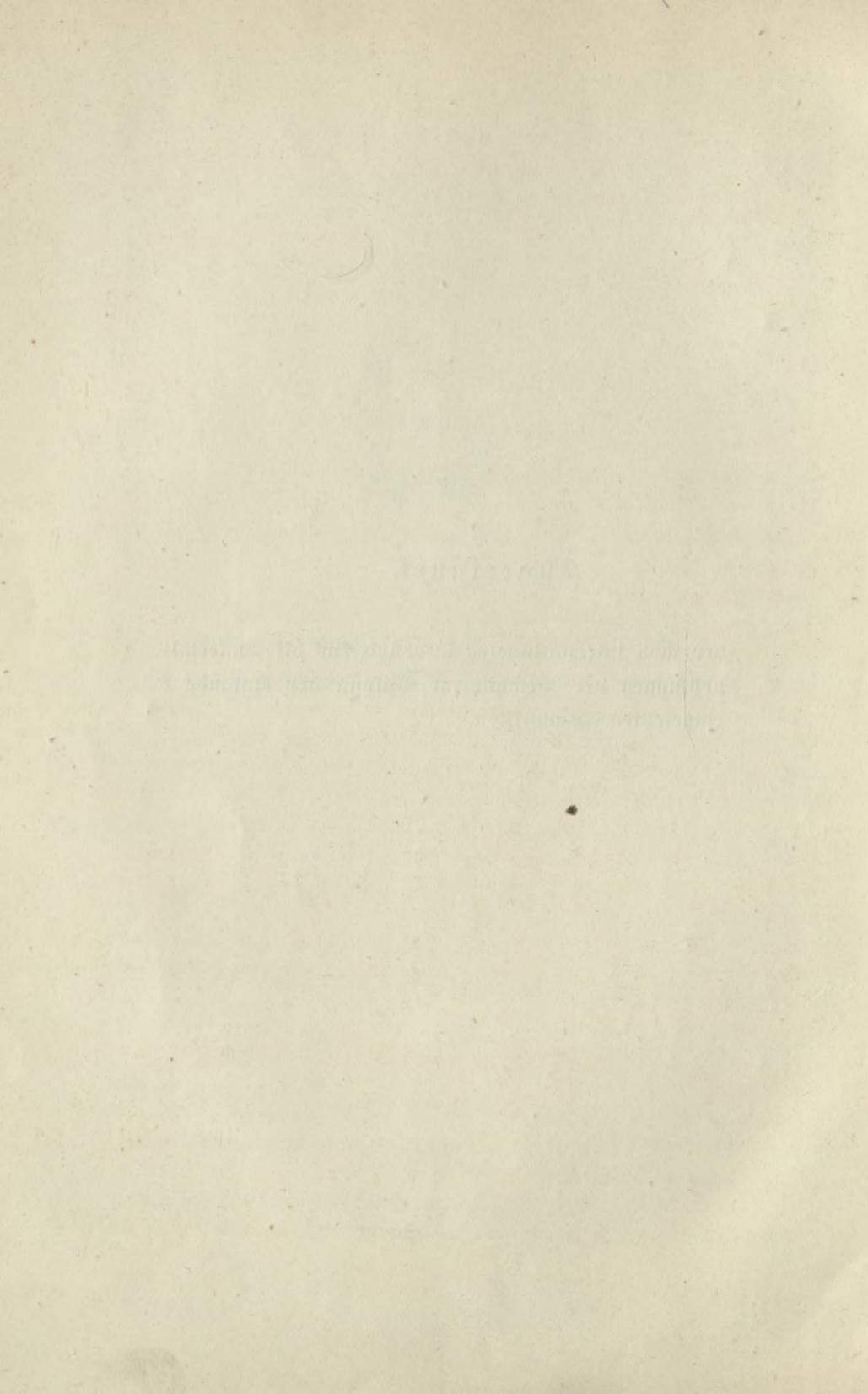


Alle Rechte nach dem Gesetz vom 11. Juni 1870,
insbesondere das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Akc. Nr. 5208/50

Zugeeignet

der vom internationalen Verband für die Materialprüfungen der Technik zur Lösung der Aufgabe & eingesetzten Kommission.



V o r r e d e .

In unserer schreibseligen Zeit, „da viele Leser auf das Büchlein ein Buch mit seltner Fertigkeit pflropfen“, da oft über denselben Gegenstand eine wahre Flut von Veröffentlichungen den Markt überschwemmt, hält es der besorgte Büchervater in der Regel und mit Recht für gut, angesichts solchen fremden Kindersegens die Existenzberechtigung seines eigenen Sprößlings nachzuweisen. Freilich: wenn der Junge nicht an sich lebenskräftig und gesund ist, kann es ihm auch trotz des väterlichen Geleits und Segens draußen in der Welt schlecht genug ergehen! Einen Existenzberechtigungsnachweis der üblichen Art für meine hiermit der Öffentlichkeit übergebene Arbeit ist mir nun zwar erspart, denn an Abhandlungen über den Gegenstand derselben herrscht kein Überfluß, sondern im Gegentheil eher Mangel. Dennoch aber bleibt mir so manches zu sagen, was in dem Werk selbst keine Stelle finden konnte oder sollte und demnach eine Art Einleitung in Gestalt der Vorrede rechtfertigt. Das Gebiet, auf dem sich die vorliegende Arbeit bewegt, ist, wie gesagt, ein bis jetzt nur wenig behautes, ungeachtet der außerordentlich praktischen Bedeutung des Gegenstandes und seines großen theoretischen Reizes, ungeachtet der mit dankenswerter Vollständigkeit und Schärfe seitens der Obmannschaft der Unterkommission Nr. 3 der IV. ständigen Kommission für die Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien gelegentlich des Züricher Kongresses 1895 erfolgten Fixierung der Einzelaufgaben, deren Gesamtheit eben das Problem der „Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine“ bildet. Freilich hat es damit eine ähnliche Bewandnis wie mit der Duvertüre eines dramatischen Musikstückes, welche, nach Schopenhauers treffendem Ausspruch, eigentlich immer erst am Schlusse des letzteren zu Gehör

gebracht werden sollte. (Ein ähnliches Verhältnis besteht übrigens auch zwischen einem Teil dieses Vorwortes und der Arbeit selbst). Indessen war in jenem weitausschauenden Aufgaben-Entwurf doch alles enthalten, was sich als wesentlich und notwendig für das der Behandlung ja noch harrende Problem voraussehen ließ. Aber die Ausführung des Programmes ist bis jetzt nur wenig von der Stelle gerückt.

Einen Beitrag hierzu soll eben die vorliegende Arbeit liefern. Daß nach gewissen Richtungen hin seitens einzelner Forscher und besonders rühriger Versuchsanstalten (z. B. der Züricher) wertvolle Leistungen auf dem fraglichen Gebiete zu verzeichnen sind, muß rühmend anerkannt und hervorgehoben werden. Ebenso ist es auch freudig zu begrüßen, daß in der Gießler'schen Zeitschrift: „Baumaterialienkunde“ seit 4 Jahren nicht nur die überhaupt einer regeren und allgemeineren Pflege sich erfreuende Festigkeitstechnik, sondern endlich auch die Wetterbeständigkeitsforschung ein geeignetes Organ gefunden und die Publikation auch auf diesem Felde, namentlich in letzterer Zeit, einen namhaften Aufschwung genommen hat. Vergl. die Aufsätze von C. Bues, Dr. Fiebelkorn, Dr. A. Leppla, Dr. D. Hermann, Professor A. Martens u. a. in den Jahrgängen II, III, IV und V der genannten Zeitschrift, denen sich noch die andernorts erfolgten Veröffentlichungen einiger anderen Forscher an die Seite stellen. Mit Genugthuung mußte es mich erfüllen, daß sich manche in einigen dieser Arbeiten, namentlich in dem Leppla'schen Aufsatz (Baumaterialienkunde, Jahrgang IV, S. 40 bis 44), ausgesprochene Ansichten und Forderungen in betreff künftiger Wetterbeständigkeitsprüfungen, zum großen Teil wenigstens, mit den von mir bereits im Ref. 1 (vergl. Abkürzungen) gegebenen und in der vorliegenden Arbeit zum Teil und nach Möglichkeit verwirklichten Anregungen decken. Es unterliegt keinem Zweifel mehr: die Erkenntnis der Wichtigkeit und Notwendigkeit der Wetterbeständigkeitsprüfungen der Steine (und demnächst auch anderer Baumaterialien) bricht sich mehr und mehr in den beteiligten Kreisen Bahn und wird mit der Zeit hoffentlich dazu führen, daß man diesen seither entschieden vernachlässigten Arbeiten staatlicherseits eine gleiche Sorgfalt und eine gleiche Bereitstellung von Mitteln zuwendet wie den Festigkeitsprüfungen. In Deutschland hat man hiermit bereits den Anfang gemacht und zwar sind auf Veranlassung der Königl. Preussischen Regierung seit einigen Jahren Arbeiten der fraglichen Art im Gange, deren Veröffentlichung bevorsteht und mit

Spannung erwartet wird. Was immer aber auch bis jetzt auf dem Gebiete der Wetterbeständigkeitsforschung der Bausteine geschehen ist, es hat sicherlich noch viel, sehr viel zu geschehen bis unser jetziges, ganz lückenhaftes Wissen auf diesem Zukunftsfelde sich zu wissenschaftlicher Exaktheit erhoben und zu einem geschlossenen System sicherer Kenntnisse und bewährter Untersuchungsmethoden ausgewachsen und verdichtet haben wird. Was zur künftigen Erreichung dieses Zieles, nach meiner Auffassung in erster Linie von nöthen ist und bis jetzt noch gefehlt hat, was unerläßlich erscheint, um die Wetterbeständigkeitsforschung z. B. der Festigkeitsprüfung sowie überhaupt jedem exakten Wissenszweige ebenbürtig zu machen: es ist die Begründung exaktzahlenmäßiger Methoden, die Gewinnung eines „Maßes“ im strengen Sinne des Worts für das, was wir Verwitterung nennen, die exakte Ermittlung der „Verwitterungsgröße“ oder ihres Korrelats: des „Wetterbeständigkeitsmaßes“. Die Feststellung der bloßen Verwitterungsthatfache, ebenso auch ihre Abschätzung nach dem bloßen Augenschein reichen zur Bewertung der Bausteine nimmermehr aus. Das Streben, jenen Grundgedanken seiner Verwirklichung näher zu bringen, hat mich nun bei der Abfassung dieser Arbeit hauptsächlich geleitet. Ich betrachte die letztere als einen ersten, hoffentlich nicht ganz nutzlos unternommenen Versuch in diesem Sinne. Eine diesem Versuch eigentümliche Schwierigkeit lag sofort darin, daß derselbe die Veränderungen der Bausteine durch die Witterungseinflüsse nicht nur dem Grad, sondern auch — und zwar sogar vor allen Dingen — der Art nach zu berücksichtigen hat, was eine, wenigstens zahlenmäßige Vergleichung zunächst auszuschließen scheint. Dies, im Verein mit verschiedenen anderen Erwägungen, führte alsbald zur Idee und zur Aufstellung der von mir vorgeschlagenen allgemeinen Qualitätsgruppen der natürlichen Bausteine hinsichtlich ihres Verhaltens gegen die Witterungseinflüsse (I. Abchn., S. 13 bis 17). Ich bin mir wohl bewußt, daß diese Klassifikation der Rektifikation und Verbesserung bedürftig sein wird, ja sein muß. Sie stellt einen ersten Entwurf dar, der aber zur Grundlage dienen kann und soll für in Angriff zu nehmende, systematisch zu betreibende Wetterbeständigkeitsproben und erst, wenn diese in hinreichender Zahl durchgeführt sind, wird an der Hand ihrer Ergebnisse die definitive Klassifikation erfolgen können. Da hier das Endziel der Forschung eigentlich ihr Ausgangspunkt sein müßte, die erstere sich also in einem unvermeidlichen Zirkel bewegt, so

ist zur Erreichung eines Vollkommenen das Ausgehen von einem anticipierten Unvollkommenen unabweisbar, selbst auf die Gefahr hin, zunächst manche Ungenauigkeiten, ja vielleicht Unrichtigkeiten, mit in den Kauf nehmen zu müssen. Auf der Grundlage jener Klassifikation erst durfte und konnte dann das von mir vorgeschlagene, ein schablonenmäßiges Vorgehen verwerfende, Prüfungsverfahren in seiner Gesamtheit sich aufbauen, welches — durch die vorhergehenden Abschnitte vorbereitet — den Schluß des Werkes bildet (VIII. Abschn.). Als das eigentliche Fundament aber aller dieser Erörterungen und Betrachtungen war naturgemäß eine systematische und eingehende Untersuchung und Darlegung des allgemeinen Wetterbeständigkeitsproblems erforderlich, welche seither in der spärlichen Litteratur vermischt wurden und im I Abschn. dargeboten werden. Wesentliche Teile dieser Darlegung finden sich übrigens bereits im Ref. 1, S. 10 u. f. Daß das Bedürfnis nach einer Klassifikation der natürlichen Bausteine, ähnlich der meinigen, auch von anderer Seite schon empfunden worden ist, beweist der Abschn. II, 2 (S. 52 bis 69) des ersten Heftes (Methoden und Resultate der Prüfung künstlicher und natürlicher Bausteine) der Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum in Zürich, 1900, von Prof. v. Tetmayer, dessen Hauptinhalt sich bereits im Ref. 1, S. 56 bis 74 findet und mit meiner Darstellung vielfache Berührungspunkte bietet. Eine Überraschung brachte mir das Schlußkapitel der obengenannten Arbeit v. Tetmayers, welche durch die Liebenswürdigkeit des Verfassers, des verehrten Präsidenten des internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, in meine Hände gelangte als die Drucklegung dieser Blätter sich ihrem Ende näherte. Denn es enthält vollends die Verwirklichung des Gedankens der eigentlichen Qualitätsgruppen der natürlichen Bausteine, wenn auch von einem andern Standpunkte wie von dem aus meine Klassifikation erfolgte. Es handelt sich nämlich dabei um die allgemeine Bewertung der natürlichen Bausteine unter Einfluß ihrer Festigkeitsverhältnisse und sonstiger technisch wichtiger Eigenschaften (Spaltbarkeit, Bearbeitbarkeit, insbesondere Politurfähigkeit etc.), also nicht ausschließlich nach Maßgabe ihrer Wetterbeständigkeit. —

Versuche ich es, den Inhalt meines Buches in wenigen Sätzen kurz zusammenzufassen, so möchte ich sagen, daß er im wesentlichen in der Behandlung der folgenden beiden Aufgaben zu erblicken ist:

1. Auffuchung der Bedingungen der Wetterbeständigkeit für die natürlichen Bausteine, insbesondere Erforschung des Zusammenhangs zwischen der Wetterbeständigkeit und der petrographisch-physikalisch-chemischen Natur der Steine und

2. Auffuchung geeigneter Methoden zur Prüfung der Steine auf ihre Wetterbeständigkeit nebst entsprechenden Vorschlägen.

Indem das Werk die Lösung dieser beiden Aufgaben anstrebt, stellt es ferner zu gleicher Zeit den diesmaligen Beitrag seines Verfassers dar zu den Arbeiten der vom „internationalen Verband für die Materialprüfungen der Technik“ eingesetzten Kommission betreffs

a) Würdigung des Zusammenhangs zwischen der chemischen Zusammensetzung der natürlichen Bausteine und deren Wetterbeständigkeit. Prüfung des Einflusses der Rauchgase, insbesondere der schwefligen Säure.

b) Methoden zur Untersuchung der Qualität, insbesondere der Wetterbeständigkeit der Dachschiefer.

Insbondere enthält es meine Beantwortung der durch Zirkular vom 21. Dezember 1898 von dem Vorsitzenden der Kommission, Herrn Baurat Professor A. Hanisch in Wien, den Mitgliedern derselben vorgelegten folgenden vier Fragen:

1. Ist es möglich, resp. zu empfehlen, ein für alle natürlichen Bausteine giltiges Verfahren zur Prüfung der Wetterbeständigkeit aufzustellen oder sind die Wetterbeständigkeitsproben der Eigenart des Materials anzupassen? Wenn, wie anzunehmen, letzterer Vorgang der richtigere sein sollte, wie sind

2. insbesondere die dichten, Wasser nur in sehr geringem Grade aufnehmenden Bausteine auf ihre Frost- und Wetterbeständigkeit zu prüfen?

3. In welcher Weise kann die Wirkung der Atmosphärrillen, speziell jene der Rauchgase, im kleinen, jedoch in beschleunigter Form, nachgebildet werden?

4. Welche Prüfungen sind bei einer Wertbestimmung von Dachschiefer unbedingt einzubeziehen?

Frage 1 findet sich im VIII. Abschn., S. 171 und unter A, III, auch IV, und zwar bejahend, beantwortet.

Über Frage 2 habe ich mich an verschiedenen Stellen meines Buches, nämlich auf S. 44 und 176 bis 179 ausgesprochen. Die von mir an 10 Dachschiefersorten durchgeführten Untersuchungen liefern ein

Beispiel zur Wetterbeständigkeitsprüfung der in Frage 2 vorausgesetzten Gruppe von Bausteinen.

Frage 3 hat im VIII Abschn. (A III) ihre eingehende Erledigung gefunden, woselbst auch — unter A IV — die Forderungen der Frage 4 einer entsprechenden Prüfung unterzogen worden sind. —

Aus dem Schooße der genannten Kommission, der anzugehören ich die Ehre habe, ist meine Arbeit hervorgegangen: der Kommission ist sie auch gewidmet, gewidmet als ein Zeichen der Hochschätzung und Verehrung, die ich ihrem Obmann und dessen Stellvertreter und allen ihren Mitgliedern zolle. Möchte die Arbeit in diesem Sinne freundlich und im Hinblick auf die Schwierigkeit des — man könnte sagen — jungfräulichen Gegenstandes, nachsichtig aufgenommen werden! Auf jeden Fall soll und wird sie, wie ich hoffe, weiteres Zeugnis ablegen von dem Interesse, welches die internationale Vereinigung den hochwichtigen Aufgaben der Materialprüfung entgegenbringt und stets entgegengebracht hat. Sie soll aber auch, wie ich ferner zu hoffen wage, weiteren Kreisen sich anregend und nützlich erweisen, nicht nur dem forschenden Theoretiker, welcher allerdings auf diesem Gebiete nicht von dem Praktiker getrennt werden darf noch kann, sondern auch allen denjenigen, welche mit dem Material der natürlichen Bausteine berufsmäßig zu thun haben: den entwerfenden und ausführenden Architekten und Ingenieuren, den Spezialisten der Steinindustrie: Steinbruchbesitzern, Steinmetzen und Bildhauern; den Baupolizei-Behörden u. s. w.

Ist es gestattet, auf einige Eigentümlichkeiten meiner Arbeit noch besonders hinzuweisen, so wäre dies: die darin ausgiebig zur Anwendung gelangte graphische (diagrammatische) Darstellung, welche ich für den künftigen Gebrauch zum Zweck der Analyse deutung hiermit empfehlen möchte und ferner die Untersuchung von Steinproben auf pyknoskopischem Wege. In Bezug auf das letztere (für den Besitzer der nötigen Vorrichtungen) so überraschend bequeme und gewiß sehr beachtenswerte Verfahren sei nur noch bemerkt, daß zu einer schnellen und generellen Beobachtung und Vergleichung von Probeplatten in betreff ihres Erzgehalts schon eine einfache Besichtigung mit Hilfe des mit einer stereoskopförmigen Pappefassung versehenen Bariumplatincyanür-Schirms (Pyknoskop) genügt. Die Mikrophotogramme Taf. XIII bis XVII dürften z. T. wenigstens, auch für den reinen Petrographen von Fach, von einigem Interesse sein. Z. T. mußten dieselben unter schwierigen Beleuchtungs-

und sonstigen Verhältnissen hergestellt werden, worauf es zurückzuführen ist, daß die Platten zu einigen Dünnschliffbildern (Nr. 4, Taf. XIII; Nr. 2, Taf. XVI, und auch wohl Nr. 4, Taf. XVII) und insofgedessen auch die betreffenden Mikrophotogramme selbst manches zu wünschen übrig lassen. Da sie trotzdem ihren Zweck hier erfüllen, so sind sie mit aufgenommen worden.

Der mikroskopische Teil der Arbeit ist in den Räumen und mit Instrumenten der Königl. Baugewerkschule und der Provinzial-Wiesenbauschule in Königsberg i. Pr. ausgeführt. Eben daselbst hatte ich auch und zwar mit Benutzung einer der Königl. Baugewerkschule gehörigen Wimschurft'schen selbsterregenden Influenz-Elektrifiziermaschine einer Suite wohlgelungener und lehrreicher Röntgen-Aufnahmen von Dachschiefern und andern Gesteinsproben hergestellt. Die Pyknoogramme der Taf. XVIII und XIX sind jedoch mit Apparaten und im Atelier der Königsberger Firma F. Gscheidel ausgeführt. Wo und unter welchen Umständen alle übrigen, zu dem Werk erforderlichen Arbeiten, nämlich die analytischen und die Verwitterungsversuche stattgefunden haben, ist an den betreffenden Stellen des Buches ausführlich angegeben.

Über die Herstellungsmanieren der graphischen Beigaben des Werkes ist folgendes zu bemerken. Die Textfiguren sind sämtlich in Zinkätzung ausgeführt, mit Ausnahme von Abb. 7a, welche als Autotypie und von Abb. 8, welche als Holzschnitt hergestellt ist. Die Tafeln I und VIII sind Photolithographien, die Tafeln II, III, IV, IX bis XIX Lichtdrucke, die Diagramm-Tafeln V, VI, VII und XX Lithographien.

Es erübrigt mir noch ein Wort des Dankes an alle diejenigen, welche mich bei der Ausführung meiner Arbeit in der einen oder anderen Weise unterstützt und dadurch diese selbst gefördert haben. Vor allem drängt es mich, des Direktors des chemischen Universitäts-Laboratoriums in Königsberg, des Herrn Geheimrat Prof. Dr. Lossen zu gedenken, welcher mir mit der größten Bereitwilligkeit und Liberalität die Benutzung dieses Instituts zu meinen Versuchen und Analysen gestattete, sodann des Herrn Prof. Dr. Blochmann in Königsberg, welcher meinen Bestrebungen gleichfalls das wärmste Interesse entgegenbrachte und sie in der lebenswürdigsten Weise fördern half. Mein Dank gilt ferner meinen verehrten früheren Chef, dem Direktor der Königl. Baugewerkschule, der Königl. Kunst- und Gewerkschule und der Provinzial-

Wiesenbauschule zu Königsberg, Herrn v. Czihak, dessen verständnisvollem Interesse an meinen Arbeiten ich gleichfalls mehrfache Förderung verdanke. Den wärmsten Dank schulde ich weiterhin dem verehrten Vorsitzenden der Kommission, der diese Blätter gewidmet sind, Herrn Baurat Hanisch in Wien, welcher mir durch sein außerordentliches Entgegenkommen und nicht zum wenigsten auch durch sein Beispiel auf dem Gebiete der Gesteinsprüfung, eine Stütze gewesen war. Für Mitteilungen, deren im Text Erwähnung geschehen ist, fühle ich mich Herrn Professor v. Tetmayer, für die freundliche Übersendung der Steiner'schen und der Radian'schen*) Dr.-Dissertation, Herrn Professor Dr. Brunner in Lausanne verpflichtet. Endlich kann ich nicht unterlassen, an dieser Stelle der Verlagsbuchhandlung zu danken, welche, ihren alten guten Ruf auch hier bewährend, keine Kosten für eine würdige Ausstattung des Buches gescheut hat. Desgl. der äußerst leistungsfähigen Kunstanstalt C. W. Baum in Chemnitz, welche allen meinen Wünschen bereitwilligst und erfolgreich entgegengekommen ist.

Bemerken will ich schließlich noch, daß die Wägung der Platten zum Verwitterungsversuch des I. Abschnitts, am Ende des dritten Expositionsjahrs, durch meine Übersiedlung nach Hörter (mitten während des Druckes dieser Blätter) in keiner Weise beeinträchtigt worden ist. Herr Dr. Koesling, erster Assistent am Universitäts-Laboratorium zu Königsberg, hatte sich in uneigennützigster und dankenswertester Weise dieser Arbeit unterzogen. Die Wäge-Ergebnisse konnten hier jedoch eine Aufnahme und Verwertung leider nicht mehr finden. Bemerkte sei bei dieser Gelegenheit nur noch, daß eine mit den Schieferproben zusammen, jedoch nachträglich, exponierte Platte aus der zu den Unterlagen verwandten Glasorte in 8 $\frac{1}{4}$ Monaten nicht die mindeste Gewichtsabnahme zeigte (sie wog getrocknet vor und nach der Exposition 46,7432 g), womit die auf S. 23 gemachte Voraussetzung bestätigt ist.

Hörter a. W., Juni 1900.

S e i p p.

*) J. Radian, Recherches sur la composition de quelques schistes ardoisiers de Suisse et de Savoie, Genève, 1889.

Inhaltsübersicht.

I. Abschnitt. Die Verwitterung der natürlichen Bausteine	1
A. Die bei normalen Ortsverhältnissen auftretenden Einflüsse chemischer und physikalischer Natur, welche auf die natürlichen Bausteine verändernd und zerstörend wirken	2
1. Die eigentlichen Atmosphärenteilchen	2
a. Der Sauerstoff der Luft oder des atmosphärischen Wassers	3
b. Wasser und Kohlensäure.	3
2. Die Temperaturschwankungen	4
3. Die Rauchgase	5
4. Atmosphärischer Staub, organisches Leben	6
B. Verhalten der natürlichen Bausteine gegen die unter A betrachteten Einflüsse auf Grund ihrer petrographisch=physikalischen und chemischen Beschaffenheit	7
Die vier Qualitätsgruppen der natürlichen Bausteine	13
II. Abschnitt. Natürliche Verwitterungsproben	18
I. Die Versuche	20
II. Die Versuchsergebnisse	28
a. Erstes Versuchsjahr	28
b. Zweites Versuchsjahr	38
III. Abschnitt. Künstliche Verwitterungsproben	42
1. Einwirkung der Atmosphärenteilchen H_2O , CO_2 und O	42
I. Gemeinsame Einwirkung von H_2O , CO_2 und O	44
II. Einwirkung von H_2O und O allein	66
A. Einwirkung von H_2O und $O=Gas$	66
B. Einwirkung von $H_2O_2=Flüssigkeit$	68
IV. Abschnitt. Künstliche Verwitterungsproben.	74
2. Einwirkung von schwefliger Säure (Rauchgaswirkung)	74

V. Abschnitt

A. Petrographische Prüfung

1. Physikalischer Teil	89
I. Porosität, spec. Gewicht	90
a. Der Porositätsversuch	93
b. Diskussion der Diagramme über die Wasseraufnahme der Platten	99
c. Die Bestimmung des spec. Gewichtes	104
d. Die Bestimmung des Porositätsmaßes p in Prozenten des Körpervolumens einschließlich Porenraum	107
e. Vergleichung der 10 Schieferarten auf Grund der Werte für p_h , p_i und p	108
II. Spaltfestigkeit z_c	111

B. Ergänzung zum II. Abschnitt

Künstliche Verwitterungsproben	122
3. Einfache Wasserwirkung	122

VI. Abschnitt. Petrographische Prüfung

2. Pyknoskopisch-mikroskopisch-chemischer Teil	124
I. Pyknoskopische Untersuchung	124
II. Mikroskopische Untersuchung	125
1. Schiefer a	125
2. Schiefer b	128
3. Schiefer c	129
4. Schiefer d	129
5. Schiefer e	130
6. Schiefer f	131
7. Schiefer g	132
8. Schiefer h	134
9. Schiefer i	135
10. Schiefer k	135
11. Weißer Marmor (Blanc clair) l	136
12. „Schwarzer Schwedischer Granit“ m	136
13. Sandstein n	137
III. Chemische Untersuchung	138
1. Gang der chemischen Untersuchung	138
2. Analysen	141
A. Analysen der 10 Schieferarten a bis k	141
a) Schiefer a	141
β) „ b	142
γ) „ c	142
δ) „ d	143
ϵ) „ e	143
ζ) „ f	144
η) „ g	144

	Seite
d) Schiefer h	145
e) " i	145
*) " k	146
B. Analyse der Versuchslösungen der $\text{CO}_2 = \text{O} = \text{Ein}$ - wirkung (Abschnitt III) auf c und e	146
a) Versuchslösung zu Schiefer c	146
β) Versuchslösung zu Schiefer e	147
C. Analyse der Versuchslösung der Fresenius'schen Probe von c (Abschnitt IV)	147
D. Schneewasseranalysen und sonstige Versuche	148
VII. Abschnitt. Vergleichung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse der Abschnitte II bis VI: Analysen- und Versuchsschaulinien	151
1. Die Schaulinie II	153
2. Die Schaulinien I_1 und I_2 sowie IV	164
3. Die Schaulinie III	167
VIII. Abschnitt. Neue Prüfungsvorschläge. Schlußbemerkungen	171
A. Vorschläge zur Prüfung natürlicher Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit	171
I. Allgemeine Regeln für solche Prüfungen	171
II. Natürliche Wetterbeständigkeitsproben	173
III. Künstliche (abgekürzte) Wetterbeständigkeits= proben	174
1. Die Frostprobe	174
2. Die obligatorische Agentienprobe	176
3. Die fakultativen Prüfungen	179
a. Die Porositätsprobe	179
b. Agentienprobe unter Ausschluß der SO_2 -Wirkung	180
c. Die Agentienprobe am gepulverten Probematerial	180
d. Die mikroskopische Untersuchung	180
e. Die chemische Analyse	180
IV. „Spezielle“ Prüfungsmethoden	181
B. Erläuternde Bemerkungen zu III und Schluß	183
Erläuterung der Tafeln XIII bis XVII	190

Abkürzungen.

Ref. 1 bedeutet: „Bericht der Unterkommission Nr. 3 der IV. ständigen Kommission für die Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien betreffs

Würdigung des Zusammenhangs zwischen der Gemischen Zusammensetzung der natürlichen Bausteine und deren Wetterbeständigkeit. Prüfung des Einflusses der Rauchgase, insbesondere der schwefeligen Säure“.

Internationale Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien. Zürich 1895.

Ref. 2 bedeutet: „Bericht der Unterkommission Nr. 4 der IV. ständigen Kommission für die Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien betreffs

Methoden zur Untersuchung der Qualität, insbesondere der Wetterbeständigkeit der Dachziegel“.

Internationale Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien. Zürich 1895.

Bemerkte Druckfehler.

Seite 16, Zeile 4 von oben,	lies: Komma vor: sonst.
" 45, " 15 " " "	" " " wie der.
" 66, " 3 " unten,	" H ₂ O statt: H ₂ O ₂ .
" 67, " 4 " " "	" Tab. III statt: Taf. III.
Tafel II, Spalte 3 (zu e),	" Platte statt: Platten.
" " " 13	" φ statt: ψ .
" " " 14	" φ' " ψ' .
" XX, lies: I ₂ statt: II ₂ .	

I. Abschnitt.

Die Verwitterung der natürlichen Bausteine.

Unter Verwitterung eines Bausteins wird der Inbegriff aller an demselben, im rohen oder bearbeiteten Zustand, auftretenden Veränderungen in Folge atmosphärischer Einflüsse verstanden. Alle natürlichen Bausteine sind der Verwitterung mehr oder weniger unterworfen. Am augenfälligsten tritt dies freilich an dem Orte ihres natürlichen Vorkommens zu Tage, weil hier die verändernden und zerstörenden Einflüsse und Kräfte häufig unter für den Stein ungünstigeren Bedingungen, stets aber weit größere Zeiträume hindurch gewirkt haben als sie bei den Bausteinen im Zustand ihrer technischen Verwendung in Frage kommen. Der letztere Fall aber ist der hier fast ausschließlich in Betracht zu ziehende.

Art und Grad der Verwitterung der Bausteine hängen naturgemäß stets von zwei Faktoren zugleich ab, nämlich:

A) von den wirksamen äußeren Einflüssen, welche im großen und ganzen wohl stets die nämlichen sind, im einzelnen jedoch nach Klima, Jahreszeit, Lage des Bauwerks u. s. w. nicht unbeträchtlich variieren, und

B) von der Beschaffenheit und Natur der Bausteine selbst, welche fast für jede Steinorte andere sind und welche eben das verschiedenartige Verhalten der verschiedenen Steinarten gegen jene Einflüsse, d. h. die so ungleiche „Witterungsbeständigkeit“ derselben, bedingen.

Nach diesen beiden Gesichtspunkten wird denn auch die Besprechung der Gesteinsverwitterung zu erfolgen haben:

A. Die bei normalen Ortsverhältnissen auftretenden Einflüsse chemischer und physikalischer Natur, welche auf die natürlichen (sowie auch künstlichen) Bausteine verändernd und zerstörend wirken.

Dieselben können in folgende Gruppen gebracht werden:

- 1) Die eigentlichen Atmosphärikilien, d. h. die normalen Luftbestandteile,
- 2) die Temperaturschwankungen,
- 3) die Rauchgase,
- 4) atmosphärischer Staub, organisches Leben,
- 5) ausblühende Salze, dem Mörtel, Erdboden zc. entstammend.

1. Die eigentlichen Atmosphärikilien.

Die Luft enthält als wesentliche, normale Bestandteile, außer Stickstoff: Sauerstoff (20,9 Vol. % im Mittel), Wasserdampf (in sehr veränderlichen Mengen, im Mittel etwa 0,84 %), Kohlensäure (im Durchschnitt: 0,03 % — Seeluft — und 0,04 % — Landluft —) und endlich noch, jedoch in sehr geringen, wechselnden Mengen: Ammoniak. Dieses ist größtenteils an Kohlensäure, Salpetersäure und salpetrige Säure gebunden. Der Ammoniakgehalt der Luft wird zu 0,04 bis 48 Gew.theilen in 1 Mill. Theilen Luft angegeben. Außerdem finden sich in der Luft noch gleichfalls sehr geringe Mengen von Kochsalz, Wasserstoffsuperoxyd, Ozon vor. Als verändernd und zerstörend auf die Bausteine wirkend, kommen in erster Linie in Betracht die Atmosphärikilien: Sauerstoff, Wasser (als Wasserdampf und in Form von Beschlag, Tau, Regen, Schnee) und Kohlensäure. Die Wirkungen des O und der CO₂ auf die Steine sind lediglich chemischer, die des Wassers theils physikalischer, theils chemischer Natur. Ausschließlich im ersteren Sinne wirkt es im Verein mit dem Frost bei der Eisbildung (siehe unter 2). Die chemische Wirkung des atmosphärischen Wassers, mit der sich jedoch die einzelnen physikalischen Veränderungen kombinieren, ist von der des O und der CO₂ nicht zu trennen, da diese beiden Gase (ebenso wie die übrigen gasförmigen Luftstoffe) sich im Wasser gelöst finden. Regenwasser enthält in 1 l etwa 25 cm³ gelöstes Gas (bei 760 mm Luftdruck und 0° C Temperatur; bei 15° C finden sich nur 18 cm³ Luftgase in 1 l Regenwasser gelöst). Diese 25 cm³ Gas enthalten 1,8 Vol. % CO₂ und 33,8 Vol. % O (daneben 0,002 % Ammoniumnitrat u. a.). Das atmosphärische Wasser ist also weit CO₂-reicher wie die Luft selbst, was für die Verwitterung der

Steine von Bedeutung ist. Alle natürlichen Bausteine werden von dem atmosphärischen O_2 und CO_2 -haltigen Wasser mehr oder weniger angegriffen und zwar findet dabei entweder

a) eine vollständige, wenn auch sehr allmähliche Lösung ihrer ganzen Substanz statt (Kalkstein, Dolomit), oder es gelangen

β) vorzugsweise nur gewisse Gemengteile des Steins und von diesen oft wieder nur bestimmte Bestandteile zur Lösung, so daß also die ersteren sowie die ganze Steinsubstanz eine Zersetzung erleiden und schließlich ein der weiteren Zerstörung widerstehender Rest bleibt.

γ) Die Verwitterung der Steine kann dadurch weitergeführt werden, daß die nach β gebildeten Lösungen wieder wechselseitig aufeinander oder auch wohl auf den ungelösten Rest einwirken.

a. Der Sauerstoff der Luft oder des atmosphärischen Wassers wirkt verändernd auf Bausteine ein, indem er

a) neue Dryde bildet oder

β) schon vorhandene Dryde höher oxydiert.

Der erstere Fall tritt ein bei Gesteinen, die feinverteilten C oder organische Substanz enthalten (Dachschiefer, manche Kalksteine u. a.) Der C wird hier ganz allmählig weiter zu flüchtiger CO_2 oxydiert. Das Bleichen mancher dunklen Steinarten ist hierauf zurückzuführen. Die zweite Art der Drydbildung findet statt bei Gesteinen, welche Verbindungen von Metallen in der niederen Drydationsstufe enthalten (Überführung des Eisenoxyduls oder seiner Verbindungen in schwerlösliches Eisenoxydhydrat. Ganz analog den FeO_2 Verbindungen verhalten sich die mit jenen oft vergesellschafteten MnO_2 Verbindungen). Die höchsten Drydationsstufen der Metalle sind natürlich gegen Drydation, nicht aber gegen sonstige Umwandlung, z. B. Hydratbildung, geschützt.

γ) Auf Drydation beruht auch die Zersetzung der Sulfide: Schwefelkies, Markasit und (jedoch weit seltener vorkommend) Magnetkies, die als accessorische Gemengteile mancher Gesteine auftreten. Es entsteht zunächst leicht lösliches und leicht weiter zersetzbares Eisenoxydulsulfat und schließlich Eisenoxydsulfat, daneben freie Schwefelsäure, die zu weiteren Umsetzungen Veranlassung giebt.

b. Wasser und Kohlenensäure. Die Wirkung des atmosphärischen Wassers vollzieht sich durch folgende hydro-chemische Prozesse:

a) Das Wasser als solches (H_2O) kann von einzelnen Gesteinsbestandteilen oder vom Gestein aufgenommen werden. In letzterer Hinsicht ist der freilich hier nicht weiter in Betracht kommende Anhydrit

zu nennen, der durch Wasseraufnahme unter Volumvergrößerung in Gips übergeht. Von Gesteinsgemengteilen zeigen sich wohl manche Silikate (Feldspäte, Glimmer Hornblende *z.*) u. a. der Hydratisierung unterworfen; doch ist dieselbe hier nur von untergeordneter Bedeutung. Beachtenswert dagegen erscheint z. B. die Umwandlung des Magnetits in Limonit (u. a. bei Dachschiefen zu beobachten) durch O_2 und H_2O_2 -Aufnahme sowie die des schon erwähnten Schwefelkieses.

β) Auf die Kalkgesteine wirkt das atmosphärische kohlenstoffhaltige Wasser in der Weise, daß es die unlöslichen sekundären Karbonate, aus denen der Stein besteht, in lösliche primäre Karbonate überführt. Bei der Einwirkung auf dolomitische Kalke geht zuerst das Kalffarbonat in Lösung.

γ) Auch die in natürlichen Steinen vorkommenden Silikate von K_2O , Na_2O , CaO , FeO , MnO vermögen sämtlich der Einwirkung des atmosphärischen Wassers auf die Dauer nicht zu widerstehen. Al_2O_3 -Silikat widersteht dauernd, da CO_2 mit Al_2O_3 sich nicht zu verbinden vermag. Doch ist auch dies nur vergleichsweise richtig, da selbst von Al_2O_3 ganz geringe Mengen in Lösung gehen. MgO -Silikat als solches wird nur wenig angegriffen. Die Silikate werden durch CO_2 -haltiges Wasser in der Weise zerlegt, daß sich lösliche Karbonate bezw. Bikarbonate von Kali, Natron, Kalk, Eisen- und Manganoxydul bilden. Dabei kann freiwerdende Kieselsäure als Hydrat in Lösung gehen. CaO und FeO werden in erster Linie fortgeführt. Als chemisch fast unangreifbarer Restbestand bleiben die wasserhaltigen Silikate von Al_2O_3 und MgO zurück. Beispiel: Kaolinisierung der Feldspäte.

δ) Aber auch jener Verwitterungsrest kann nach erfolgter Wechselsetzung mit gewissen anwesenden Verbindungen in Gestalt löslicher Salze fortgeführt werden.

2. Die Temperaturschwankungen.

Die Wirkung der Wärmezu- und Abnahme auf die Bausteine besteht zunächst

a) in der Ausdehnung und Kontraktion, d. h. in einer Entfernung und Annäherung der Moleküle der Gesteinsbestandteile. Die nächste Folge sind Formänderungen und Spannungen am und im Gestein. Die Größe derselben hängt ab von dem Grad und der Dauer

der Erwärmung oder Abkühlung sowie von der Größe und Natur der Gesteinsbestandteile, insbesondere von ihrem Wärmeabsorptions- und Emissionsvermögen, ihrer spezifischen Wärme, ihrem Ausdehnungskoeffizienten, ihrem Wärmeleitungsvermögen *z.* Zu einem besonders nachteiligen gestaltet sich aber der Einfluß von Erwärmung und Abkühlung auf die Steine durch ihren beständigen Wechsel und ihre stetige Wiederholung, welche — entsprechend dem Wöhler'schen Gesetz für Eisen- und Stahlmaterial — die zerstörende Wirkung erhöhen.

β) Eine weitere Wirkung der Erwärmung ist die Verdunstung der Gesteinsfeuchtigkeit. Abkühlung bewirkt Kondensation des atmosphärischen Wasserdampfes auf den glatten Flächen der Gesteinsbestandteile und in Spalten und Poren des Gesteins. Eine hinreichende Erniedrigung der Temperatur bedingt die Frostwirkung, durch deren häufige Wiederholung für sich allein, noch mehr aber im Verein mit den einfachen Temperaturspannungen, die Zerstörung wiederum beschleunigt wird (vgl. den Schlusssatz von *α*).

γ) Endlich befördert die Erwärmung auch die am oder im Gestein auftretenden chemischen Vorgänge.

3. Die Rauchgase.

Die den Feuerungsstätten unserer Städte entweichenden Gase bestehen — abgesehen von der beigemengten Luft — im wesentlichen aus Wasserdampf, CO_2 , CO , Ruß, schwefeliger Säure, Schwefelsäure, Salzsäure und entweder flüchtigen oder dem Ruß anhaftenden Salzen dieser Säuren, sowie Produkten der trockenen Destillation. Zu unterscheiden ist die direkte Wirkung der gasförmigen Rauchgasstoffe der Luft und die übertragene Wirkung der den mit dem Stein in Berührung kommenden Rußteilchen anhaftenden Rauchgasstoffe. Die eigentlichen Luftstoffe sind jedenfalls vorwiegend saurer Natur und als die energischer wirkenden anzusprechen. Luft und Regenwasser in den Städten reagieren sauer; sie enthalten, außer dem durch die Verbrennung erhöhten CO_2 = gehalt, dem Schwefelkies der Steinkohlen entstammende, freie schwefelige Säure und Schwefelsäure. Ruß dagegen und starkberußten, die Auslaugstoffe des Steinkohlenrußes enthaltenden Schnee habe ich gewöhnlich von neutraler Reaktion gefunden. Rußreiches Schneewasser führte, in den von mir untersuchten Fällen

meist eine zur Bindung der freien Säuren hinreichende Menge von Basen mit sich. Es reagierte sehr selten und dann kaum bemerkbar sauer. Vergleiche: Analysen und Versuche, unter III, 2D, Abschn. VI. Werden hiernach durch den Ruß den Steinen auch vorwiegend indifferente Verbindungen der Rauchgasäuren zugeführt, so spricht dies doch keineswegs etwa gegen die Schädlichkeit der Rußwirkung für die Steine. Vielmehr folgt dieselbe daraus, denn jene Verbindungen: jedenfalls neutrale Sulfate und in geringer Menge Chloride, werden zu manigfachen chemischen Umsetzungen mit den Verbindungen der Steinsubstanz selbst fortgesetzt Anlaß geben, der in dem Maße sich steigert, wie die Rußansammlung wächst. Daran ändert auch der Umstand nichts, daß andererseits die Wahrscheinlichkeit einer gewissen Schutzwirkung einer dichten Rußschicht gegen den direkten Angriff des sauren atmosphärischen Wassers (auch des etwa nur CO_2 -haltigen) auf die Steine besteht. Ja, sogar die Möglichkeit einer Art konservierenden Einflusses des die Steine oberflächlich imprägnierenden Schweröls und Anthracenöls, welches etwa dem Ruß anhaftet, zugegeben: wird doch, bei der gewöhnlichen theerölarmen, flockigen Beschaffenheit des Rußes, die nachteilige Wirkung desselben sicherlich stets überwiegen. Das Endergebnis aller Rauchgas- und Rußwirkung auf den Stein ist, da der atmosphärische O die SO_2 schnell oxydiert: Sulfatbildung (daneben, in geringem Maße, Chloridbildung).

Hinreichend bekannt ist wohl die Thatsache, daß die an Dachschiefeln (vgl. Abschn. IV und Abschn. V), an Kalksteinen und Dolomiten, an manchen Sandsteinen, aber auch selbst an Granit (vgl. Anmerk. auf S. 14) beobachtete zerstörende Wirkung seitens der Rauchgase weit schneller und energischer ein- und austrat wie in Folge der eigentlichen Atmosphärrillen. In Betreff der Karbonatgesteine braucht hier übrigens nur daran erinnert zu werden, daß Ca-Sulfat in CO_2 -haltigem H_2O etwa zwei- bis dreimal so leicht löslich ist wie Ca-Karbonat.

4. Atmosphärischer Staub, organisches Leben.

Der auf der Steinoberfläche, begünstigt durch Unebenheiten, Poren, Spalten sich ablagernde Staub kann nachteilig wirken als Überträger einer ganzen Reihe von ihm anhaftenden unorganischen Stoffen, sodann durch die Vermoderungsprodukte seiner organischen Substanz (vgl. 4 β) sowie endlich als Träger von Mikroorganismen und

pflanzlichen Keimen und Sporen. Nicht gering wird auch u. a. seine abschleifende Wirkung, infolge Luftbewegung, anzuschlagen sein*).

Nach Messungen von Tissandier (Les poussières de l'air 1877) beträgt der normale Staubgehalt der Luft von Paris: 0,007 g in 1 m³, nach längerer Trockenheit 0,023 g.

Handelt es sich

a) um Mikroorganismen, die auch aus dem Boden, durch Abwässer zc. den Steinen zugeführt werden können, so ist infolge ihrer Lebensäußerungen, bei hinreichendem Vorhandensein von Nährsubstrat (organischer Substanz), die Bildung von Stoffen zu befürchten, welche nachteilig auf den Stein einwirken (Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure, Salpeter, Kohlensäure, Huminstoffen (vgl. 4 β).

β) Pflanzenwuchs. Nicht selten bilden sich auf Bausteinen, namentlich auf der Wetter- und Nordseite von Gebäuden, in feuchten Höfen und an sonstigen feuchten Stellen, Wucherungen von Kryptogamen: grünen, einzelligen Algen (Palmellaceen), Flechten und Moosen. Dieselben bewirken vermöge ihrer Wasseraufsaugung und Kondensationsfähigkeit: Feuchthaltung der Steine und Verwitterungserscheinungen durch ihre Vermoderungsprodukte. Letztere bilden mit der Zeit auf dem Steinsubstrat eine Humusschicht, welche die dasselbe energisch angreifenden sog. Humusjäuren: Ulminsäure, Huminsäure, Geinsäure zc. oder Salze derselben, enthält. Neben dieser chemischen Einwirkung auf den Stein, äußern die Flechten und Moose auch noch eine mechanische: Es ist dies nämlich die sprengende Kraft ihrer in Haarrisse und Poren des Steins eindringenden Rhizinen oder Wurzelhaare sowie ihrer keimenden Sporen.

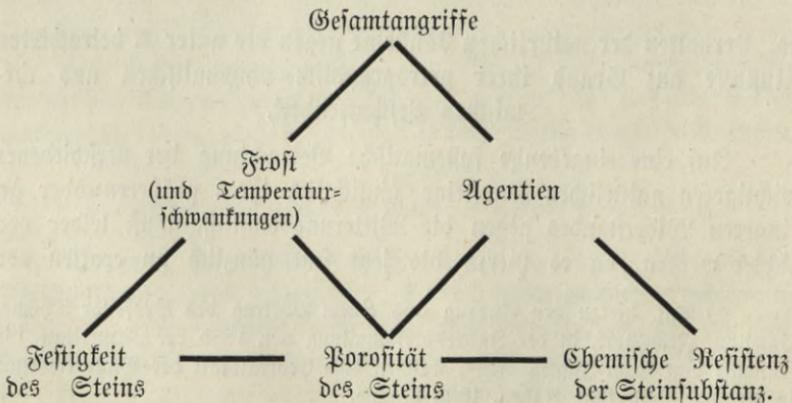
Auf 5) wird hier nicht weiter eingegangen.

B. Verhalten der natürlichen Bausteine gegen die unter A betrachteten Einflüsse auf Grund ihrer petrographisch-physikalischen und chemischen Beschaffenheit.

Auf eine eingehende systematische Betrachtung der verschiedenen wichtigeren natürlichen Bausteine hinsichtlich ihres größeren oder geringeren Widerstandes gegen die Witterungseinflüsse muß leider verzichtet werden, da es hierzu bis jetzt fast gänzlich an exakten ver-

*) Vgl. hierzu den Auszug aus einem Vortrag des Professor Thomas Eggleston, New-York, in der Jahresversammlung von 1885 der „Amerikan. Gesellschaft von Civil-Ingenieuren“, welchen das Centralblatt der Bauverwaltung in Nr. 35, Seite 362, Jahrg. 1885 brachte.

gleichenden Beobachtungen sowie nach einheitlichen Prinzipien angestellten Versuchen fehlt. Das Einzige fast, worüber unsere Kenntnis in jener Hinsicht verfügt, sind einzelne über gewisse Bausteine in Fällen besonders auffällig zu Tage getretener Verwitterung bekannt gewordene Berichte. Daneben liegen noch die Ergebnisse von allerdings in ziemlicher Menge angestellten Frostproben vor. In welcher Richtung sich die vorhin erwähnten noch fehlenden Versuche etwa zu bewegen hätten, ist Ref. 1, Abschn. 5, p. 36 in großen Zügen ausgeführt worden. Einige allgemeine, für die Beurteilung des Verhaltens der Bausteine leitende Gesichtspunkte finden sich bereits unter A im vorliegenden Abschnitt angegeben. Weiteres solcher Art (über Auflösbarkeit, Porosität und Symploktik, Kohärenz) ist Ref. 1, Abschn. 4, p. 32 ausgeführt. Wir müssen uns hier, da eben die schwebende Frage noch so weit von der Spruchreihe entfernt ist, darauf beschränken, eine ganz summarische Besprechung und Übersicht des fraglichen Verhaltens der Bausteine zu geben, weniger eingehend dabei auf ihre petrographische Einzel- und Eigenart als vielmehr das Hauptgewicht legend auf eine Gruppierung nach Maßgabe ihres schließlichen Verhaltens gegen die beiden wesentlichen Verwitterungsfaktoren: die chemische Einwirkung des mit O, CO₂ und SO₂ bezw. Schwefelsäure zc. belasteten atmosphärischen Wassers einerseits und die physikalische Wirkung desselben bei der Eisebildung andererseits. Der Einfluß der gewöhnlichen Temperaturschwankungen kann dabei mangels hinreichender Unterlagen nicht besonders berücksichtigt werden. Die einzelnen Verwitterungsfaktoren ordnen sich in nachstehendes, ihr gegenseitiges Abhängigkeits-Verhältnis beleuchtendes Schema ein, welches wohl keiner weiteren Erklärung bedarf:



Die Frostwirkung ist da, wo sie sich wirklich kräftig und auf genügende Tiefe an den Bausteinen entfalten kann, sicherlich geeignet, wohl am schnellsten die Lockerung ihres Gefüges und damit nach und nach ihren Zerfall herbeiführen zu helfen. Die hierbei auftretenden Kräfte sind bedeutend und ihre Wirkung ist dementsprechend meist tiefeingreifender wie die der chemischen Veränderungen durch die Atmosphärikien, jedenfalls dann, wenn letztere nur auf eine einfache Stoffentführung und nicht etwa auf lokale Volumvergrößerung hinauslaufen wie z. B. bei gewissen Neubildungen (Vitriolifizierung der Sulfide, Gipsbildung infolge Rauchgaseinwirkung auf Kalkcarbonat unter besonderen Umständen). Zwei Gruppen von Gesteinen nun sind infolge ihrer Textur durch die Frostwirkung im allgemeinen besonders gefährdet:

1) die porösen, luffigen, rissigen oder sonstwie (z. B. an der Grenze der Gemengteile) mit Öffnungen behafteten und

2) die schiefrigen, spaltigen, schuppigen, blättrigen, auch wohl flasrigen und schaligen oder die, leichtspaltende Bestandmineralkien führenden Steine.

Bei den Gesteinen der Gruppe 1 wird die Frostgefahr durch die schlechthin vorhandene Lückenhaftigkeit der Masse bedingt. Bei Gesteinen der Gruppe 2 treten außerdem noch bestimmte Kohärenzunterschiede, nämlich Kohäsionsminima normal zur Spaltrichtung in den Vordergrund, worauf eben ihre leichtere Spaltbarkeit beruht und worauf oft von Anfang an vorhandene oder doch leicht zustande kommende Lücken zurückzuführen sind. Die Gruppe 1 findet ihre Vertreter in der Klasse der Eruptiv- sowie auch Sedimentgesteine, zur Gruppe 2 gehören Gesteine aus der Klasse der Sedimente und kristallinen Schiefer.

Indessen wird es auch bei allen Gesteinen beider Gruppen nur dann zur Eisbildung oder doch Frostgefahr kommen können, wenn die Größe der Poren und Risse, bezw. die zwischen den Schichten, Schuppen oder Blättchen befindlichen Hohlräume sich innerhalb gewisser Grenzen hält, d. h. weder zu minimal, noch zu beträchtlich ist (Gruppe I, s. S. 13). Außerdem treten noch die Unregelmäßigkeit der Verteilung der Hohlräume und die Ungleichheit ihrer Größe als weitere Bedingungen für die Sprengwirkung bei der Eisbildung hinzu. Sind jene Hohlräume und Spalten von mikroskopischer oder doch solcher Kleinheit, daß das atmosphärische Wasser nur auf feinstkapillarem Wege in dieselben eindringen kann, so wird von einer unmittelbaren

Frostgefahr nicht wohl die Rede sein können. Denn die Eisbildung ist ein Krystallisationsvorgang, dessen treibende und sprengende Kraft für die Umgebung daraus entspringt, daß die Eiskryställchen in bestimmter regelmäßiger Lagerung zusammentreten und durch lückenhafte Gruppierung dieser „Krystallkeime“ einen größeren Raum erfüllen wie vorher das Wasser im flüssigen Zustand. Für jedes einzelne Eiskryställchen sowie für jedes dieser elementaren Krystallgebilde giebt es nun aber eine bestimmte, vorläufig nicht näher anzugebende durchschnittliche Minimalgröße. Wird dieselbe von den Abmessungen der Hohlräume und Spalten nicht entsprechend übertroffen, so muß es einfach bei der tensionslosen Ausfüllung der letzteren mit Eismasse sein Bewenden haben. Ja, ich möchte die Vermutung aussprechen, daß in diesem Falle überhaupt jede Eisbildung infolge „Überkaltung“ des Wassers unterbleiben wird, da die Adhäsion in Kapillarröhren, die doch eben hier — wenn auch in unregelmäßiger Form — vorliegen, die Bildung von „Krystallkeimen“ verhindert. Auch ist es bekannt, daß Flüssigkeiten in äußerst feiner Verteilung und Kleinheit ihrer Partikeln bei Temperaturerniedrigung flüssig bleiben und jedenfalls giebt es eine durch eine bestimmte Größe der Wasserteilchen, also auch der Hohlräume bedingte Grenze, wo diese Erscheinung nicht mehr eintritt. Die chemische Aktion des atmosphärischen Wassers aber bleibt auch bei der vorausgesetzten Feinheit der Poren und Spalten, wenn auch in schwächerem Maße bestehen, wie Beobachtungen an angewitterten Gesteinen und Mineralien (z. B. Olivin, Feldspäten u. s. w. mit vielfach sogar mikroskopischen Verwitterungsgängen zc.) beweisen. Vergleiche auch die Ergebnisse der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Versuchsreihen, in denen es sich um Steine von jedenfalls vorwiegend der gedachten Porengröße handelt. Ist nun infolge der chemischen Wasserwirkung die Vergrößerung der feinen Poren und Risse hinreichend fortgeschritten oder haben Auswaschungen zwischen den Gemengteilen, z. B. eines schiefrigen Gesteins, stattgefunden u. s. w., so kann die Wassersättigung und die Erweichung, welche durch Schwächung der Kohäsion der Frostwirkung vorarbeitet, das erforderliche Maß erlangen und die Eisbildung selbst allmählich in Kraft treten und die Gefahr des Erfrierens hat auch für solche sehr feinporige und feinspaltige Gesteine, die man gewöhnlich schlechtweg als dicht bezeichnet, begonnen (Gruppe II, S. 14). Häufig vollzieht sich dieser Vorgang in mehr lokaler, d. h. auf kleinere Steinpartien beschränkter Weise,

aber dann oft um so energischer und tiefgreifender. Es ist dies der Fall, wenn das Gestein, bei sonst gleichmäßiger, vielleicht erheblicher, ja sogar hervorragender chemischer Resistenz, einzelne chemisch leicht angreifbare Partien aufweist, wie Stiche, Adern, Nester, Mandeln kalkiger, thoniger, erdiger oder sonstwie leichter veränderlicher Art. Nach Lockerung oder teilweiser Entführung solcher natürlich vorgebildeten Spalten, Klüfte und Höhlungen kann dann die Frostwirkung in Kraft treten bezw. in gesteigertem Maße sich geltend machen. Umgekehrt sind Gleichartigkeit des Gefüges, speziell desjenigen, welches man als körnig oder als dicht bezeichnet, die durchweg gleichwertige chemische Natur und Resistenz and das Nichtauftreten erheblicher Kohärenzunterschiede Hauptbedingungen der Wetterbeständigkeit bei Gesteinen. Darum zählen auch die ganz gleichmäßigen mittelfein- oder feinkörnigen bis dichten reinen Kalk- und Dolomite, ungeachtet der großen Angreifbarkeit ihrer Substanz, zu den vergleichsweise wetterbeständigeren Bausteinen, in dem Sinne nämlich, daß sich stets und stetig nur eine dünne oberflächliche Verwitterungsschicht bildet, tiefere Eingriffe aber diesen Steinforten eine geraume Zeit fern bleiben (Gruppe IIIa, S. 17). Mit dem Auftreten von Stichen, Adern u. s. w. von physikalisch oder stofflich differenter Natur ist die Sachlage sofort eine andere. Vgl. hierzu des Verfassers Aufsatz in Nr. 95 u. 96 der Deutschen Bauzeitung, Jahrg. 1896 über Verwitterung von Bausteinen Italiens. Bei den krystallinischen gemengten Gesteinen ist wieder um die physiko-chemische Natur der Bestandminerale in hohem Grade mitbestimmend für die Wetterbeständigkeit. Herabgedrückt wird dieselbe durch ungleiches Wärmeabsorptions-, Wärmeemissions-, Wärmeleitungs- und Ausdehnungsvermögen, durch große Sprödigkeit und Spaltbarkeit, namentlich nach mehreren Richtungen zc., alles dies offenbar in umso höherem Maße hervortretend, je beträchtlicher die Abmessungen der Gemengteile sind. Sind ferner, im Gegensatz zur letzten Annahme (Gruppe II), solche oben beschriebenen feinporigen oder feinblättrigen und -spaltigen Gesteine durchweg und gleichmäßig substanzuell sehr widerstandsfähig, so bleibt die Frostwirkung aus oder wird doch auf kaum absehbare Zeit hinausgeschoben. Die Steine sind dann als relativ sehr wetterbeständig zu bezeichnen (Gruppe III). Endlich kann die Frostwirkung auch ausbleiben bei Steinen mit übergroßen Porenräumen, sofern nicht auch hier durch hydro-chemische Vorgänge die Bedingungen dafür nachträglich doch noch geschaffen werden. Denn die Größe jener Hohlräume gewährt der Eisbildung

hinreichenden Spielraum. Dieser Fall tritt ein bei zelliger, kaverneröser blasiger, schlackiger Struktur der Gesteine. Eine strenge Grenze ist dabei allerdings nicht zu ziehen, denn auch bei diesen Steinforten werden immer größere Hohlräume mit solchen der mittelgroßen und kleineren Art wechseln. Auch kann es hierbei vorkommen, daß die Wände der Zellen und Kavernen, wegen ihrer geringen Dicke und sonstigen Beschaffenheit besonders leicht den chemischen Einflüssen und Temperaturspannungen zum Opfer fallen, wie dies bei Kalktuffen, z. B. bei dem Römischen Travertin zu beobachten ist (vgl. den oben citirten Aufsatz des Verf., Deutsche Bauztg., Jahrg. 1896). Ein anderes hierher gehöriges Beispiel ist die, als Grottenstein viel verwandte, bekannte rote Nephelinbasalt-Lava von der Hannebacher Ley in der Umgebung des Saacher Sees. Betreffend die Gruppe I ist noch zu ergänzen, daß hierzu auch alle Gesteine zählen, welche mehr oder weniger thonige oder erdige Aggregate darstellen und infolge dieser Beschaffenheit sich stark wasseraufsaugend verhalten. Dabei fällt bei den dichten Varietäten unter jenen noch ins Gewicht, daß durch die hier stattfindende Kommunikation zwischen den Wasserpartikeln im Gestein und die leichtere Beweglichkeit der Gesteinsteilchen die Eisbildung begünstigt, ja manchmal vielleicht erst ermöglicht wird. In dieser Hinsicht ist ein Vergleich zwischen dem Verhalten des Traßtuffes (Ducksteins aus dem Brohl- und Nettefthal) und des Harttuffes aus der Weiberner Gegend lehrreich, von denen der erstere — der geschilderten Beschaffenheit wegen — durch Frost leicht leidet, der letztere aber, wie z. B. alte Bauausführungen im Rheinland (bis ins 9. Jahrhundert zurück) beweisen, recht frostsicher dasteht. Endlich ist hier noch mancher Gesteine mit lückenhaft umhüllten Einschlüssen, Konkretionen, Krystallfragmenten (z. B. Sanidinen in Trachyten, Leuciten in Basalten) zu gedenken.

In allen Fällen hat man sich gegenwärtig zu halten, daß Bausteine auch der frostsicheren und sonst widerstandsfähigeren Art in Folge ihrer Bearbeitung eine Schädigung und Einbuße an Qualität erleiden können. Auf diese Thatsache ist schon längst vom k. k. Bau- rat Professor Hanisch in Wien und den Professoren von Tetmayer und Grubenmann nachdrücklich hingewiesen.*) Es muß aber immer

*) Vgl. Hanisch, Frostversuche mit Bausteinen d. österr.-ungar. Monarchie, Wien 1895, p. 6 und Ref. 1, IV, Kundgebung d. Herren Prof. Dr. Grubenmann und Prof. L. v. Tetmajer in Zürich, pag. 61, 67, 68, 69 und 74.

wieder aufs neue daran erinnert werden, da ihre Nichtbeachtung die größten Irrtümer veranlassen kann.

Den vorstehenden Betrachtungen zufolge lassen sich die natürlichen Bausteine in Bezug auf ihr Verhalten gegen die wesentlicheren atmosphärischen Einflüsse füglich in folgende drei Gruppen bringen, wobei jedoch die Unmöglichkeit einer scharfen Abgrenzung noch einmal ausdrücklich hervorgehoben werden muß. Auch soll die Aufzählung der Bausteine zu den einzelnen Gruppen keine erschöpfende sein, sondern sich vielmehr auf die wichtigsten und charakteristischsten Sorten beschränken.

Gruppe I.

Gesteine, bei denen vermöge der Größe ihrer Poren und Strukturspalten oder wegen sonstiger Beschaffenheit die Frostwirkung mehr unabhängig von der chemischen Aktion des atmosphärischen Wassers und dieser voreilend, oder auch gemeinsam mit derselben auftritt, dann aber jedenfalls dieselbe überwiegt.

Hierher gehören vor allem, wie schon aus petrogenetischen Gründen erklärlich, die meisten undichten, erdigen, oft geradezu mürben, vulkanischen Tuffe: Basalttuff, Peperin, Grünsteintuff, Trachyttuff, Phonolithtuff, Andesittuff, Traß. Diesen Gesteinen schließen sich sodann an die oft erdigen Thonporphyre, deren Zerstörung man z. B. am Pflaster und bei anderen Verwendungen in einzelnen Harzstädten studieren kann; ferner die Basaltwacken, die in Basaltgegenden wohl mitunter bauliche Verwendung finden, überhaupt Gesteine, die bei ihrem natürlichen Vorkommen bereits im Zustande vorgeschrittener Zersetzung sich befinden. Ganz besonders aber kommen hier in Betracht manche Sandsteine, überhaupt Trümmergesteine mit thonigem, mergeligem, glimmerigem, erdigem, dabei namentlich überschüssigem oder auch zu spärlichem, manchmal aber lokal angehäuften oder gleichmäßig verteiltem, aber grobporigem Bindemittel. Die Sandsteine gehören im allgemeinen zu den porösesten Gesteinen, aber auch dichtere Sorten, welche jedoch stark schiefern und leicht in Platten brechen, können infolge von Spaltungsrisen sehr der Frostgefahr unterliegen. Ich entfinne mich eines solchen, äußerst frappanten Beispiels. Es war eine Fenstersohlbank aus leichtspaltendem, roten (wahrscheinlich Speßart-) Sandstein, auf deren von durchziehendem Wasser erweichter und schlecht trocknender Unterseite während weniger Jahre rapid bis zur Bank-

mitte fortschreitende Frostabspaltungen erfolgten. Augenscheinlich waren hier, allerdings durch leicht ausbröckelnde Anhäufungen von Fe_2O_3 begünstigt, vielleicht veranlaßt, und meist von Knoten zu Knoten sich erstreckend, Spalten entstanden, in denen sich die Eisbildung mit Erfolg vollziehen konnte. Weitere Verwitterungsbeispiele liefern andere Sandsteinsorten, z. B. der Gotländer und der Cottaer Sandstein, manche Molasse-Sandsteine u. s. w. Endlich rechne ich hierher unter Umständen noch Glimmerschiefer, Phyllite, Chloritschiefer, ja möglicherweise selbst glimmerreiche, feinschichtige, undichtere Gneise und dünnflasrige Granulite. In einzelnen besonderen Fällen kann hier auch noch die Aufzählung von Trachyt und Basalt gerechtfertigt erscheinen. Endlich gehören hierher auch gewisse zwar vorwiegend äußerst großporige oder vielmehr kavernöse und zellige, dabei aber leicht bröckelnde Laven, von denen ein Beispiel oben genannt worden ist. Ebenso manche darin ihnen ähnliche Kalktuffe, sodann aber auch überhaupt poröse Kalksteine als Hauptrepräsentanten der Gruppe I. An Beispielen hierzu ist kein Mangel.

Gruppe II.

Gesteine, bei denen die Frostwirkung anfangs zurücktritt und erst durch die chemische Aktion des Wassers vorbereitet wird, letztere also anfangs überwiegt.

Ich rechne hierher:

bisweilen schon, doch nur in vereinzelt, jedenfalls seltenen Fällen: Granite, namentlich biotitreiche, z. B. gewisse Lausitzer Granitite. Als ein hierher gehöriges Beispiel erwähne ich die Granitsäulen einer alten überwölbten kreuzgangartigen Halle des alten deutsch-reformierten Friedhofs in Königsberg i. Pr., welche an der der Witterung ausgesetzten Seite charakteristische Schäden zeigten. Auch die von mir beobachteten Verwitterungserscheinungen am Blücherdenkmal in Breslau, nämlich am polierten Granitgesims des Denkmals unterhalb der festontragenden Adler (über den Bronzeplatten mit den Aufschriften) möchte ich hierher rechnen.*) Meistens wird es sich in solchen Fällen um Granite mit von vorneherein matten, womöglich recht großen Feldspäten oder nicht mehr

*) Auf ein wahrscheinlich auch hierher gehöriges Beispiel von Granitverwitterung (im Central-Park in New-York 1880 aufgestellter ägyptischer Obelisk) hat Prof. Th. Eggleston in dem oben erwähnten Vortrag aufmerksam gemacht. (Vgl. Centralbl. d. Bauverw. 1885, Nr. 35, S. 362). — Oberingenieur Gobin

intaktem Glimmer gehandelt haben. Überhaupt sind unfrische Sorten der meisten massigen krystallinischen Silikatgesteine, namentlich der feldspat- und augitführenden, hier in Betracht zu ziehen. So können z. B. als hier u. a. in Betracht kommend, erwähnt werden, die leichter angreifbaren Sanidin (bezw. Nephelin) führenden: Trachyte, Phonolithe, Liparite, sodann unter entsprechenden Umständen: Gneis, Glimmer- und Hornblendeschiefer; ferner wiederum Granulit. Bedingungslos gehört hierher wieder ein Teil der vulkanischen Tuffe und der Sandsteine, vor allem aber gilt dies von den schon oben erwähnten stichigen, aderigen, thonschicht-, kohlen-, gallenführenden zc., aber auch von den gleichartigen Sorten mit thonigem, kalkigem Bindemittel, welches allmählig entführt werden kann, so daß das „Abfanden“ der Steine die Folge sein muß.

Es würde nicht schwer halten, hierhergehörige Beispiele, namentlich in betreff des Sandsteins, in Menge aufzufinden. Weniger bekannt dürften von Veränderungen gedachter Art an Sandsteinen indessen die sein, welche auf Thonschicht und Kohlen- zurücksuführen sind. Ich habe solche an Udefanger bezw. Mehler Material im Rheinland bezw. im Hannöverschen des öfteren beobachtet. Bedingungslos gehören ferner zur Gruppe II manche Kalksteine, nämlich solche, die nicht von gleichmäßig-körnigem oder dichtem Gefüge, sondern ebenfalls von Schichten, Adern und Spalten, aus anfangs wohl dichten, aber leicht entführbarer Substanz von thoniger, erdiger oder zwar dichter, aber z. B. blätternder Beschaffenheit durchsetzt und dabei womöglich noch selbstschichtig sind. Hierher gehörige Beispiele sind jedenfalls sehr zahlreich. Ich erwähne nur drei von italienischen Kalken, weil diese (als Folge des betreffenden Klimas) die reine Argentienwirkung möglichst ungetrübt zeigen, durch welche sie in einen zweifellos frostgefährlichen Zustand versetzt wurden. Es sind der antike Cipollino (Palatin in Rom und Villa Hadriani bei Tivoli, freistehende Säule an der Strandstraße von Minori nach Atrani, nahe dem letztgenannten Ort), der konglomerat-ähnliche Veroneser Marmor oder Marmo di San Ambrogio (Römische Arena in Verona), beide Marmore in dem oben erwähnten Aufsatz,

bespricht in der Zeitschrift *La Nature* die Zerstörungen an einem 1670 errichteten Granitkreuz in Saint Pal de Mons (Haute Loire), welche er auf den Einfluß des Wechsels von Wärme und Kälte zurückführt. (Vgl. Centralblatt d. Bauverw. 1888, Nr. 17, S. 192). Ob und inwieweit etwa auch dieses Beispiel hierherzustellen wäre, entzieht sich der Beurteilung.

D. Bauztg. 1896, ausführlich besprochen, und endlich der Paonazzo. Aus dem letztgenannten Marmor besteht z. B. der Rand eines Wasserbehälters auf einem baumumstandenen Plage im Giardino di Boboli in Florenz. Die blauschwarzen Adern des weißen sonst gut erhaltenen Marmors sind stellenweise sehr tief ausgewittert. Die gleiche Erscheinung zeigt ebendasselbst der rötliche, dunkelrot geaderte Marmor der Statuen-Postamente in einer Cypressenallee des Gartens. — Endlich stelle ich von den Sedimenten in die Gruppe II noch die Thonschiefer mit ihrer hervorragenden Spaltfähigkeit, obschon bei den meisten (kalkfreien) Sorten die chemische Aktion des Wassers sich nur sehr allmählig und langsam vollzieht. Bei ausgesprochen porösen Steinen, z. B. Sandstein, ist die chemische Wirkung des Wassers tiefer eindringend und darum intensiver, bei anderen, dichten Steinen, z. B. Granit, aber meist nur ziemlich oberflächlicher Art. Bei den, ebenfalls den dichten Gesteinen zuzuzählenden, Dachschiefeln dagegen kommen als nachteilige Umstände noch in Betracht: die die vollständigere Durchweichung, Auslaugung, Durchwärmung und Durchfäلتung begünstigende Plattenform, geringe Dicke und wenig geneigte Lage des Steins in seiner Verwendung. Verwitterungsbeispiele für Dachschiefer finden sich im Rheinland, in Westfalen, Hessen-Nassau u. s. w. in Menge. Vgl. die drei in Abschnitt V besprochenen Beispiele. Ein anderes, von mir veröffentlichtes, frappantes Beispiel: die Dacheindeckung der Kirche St. Maria in Carignano zu Genua (besprochen in der D. Bauztg. 1896) betreffend, bezieht sich — wie ich jetzt festgestellt habe — auf einen sehr stark kalkhaltigen Schiefer (mit 49,2 % Ca CO_3) einen Mergelschiefer, wie er in Genua vielfach Verwendung findet.

Gruppe III.

Gesteine, die wegen minimaler chemischer Angreifbarkeit und gleichzeitiger hochgradiger Porenfeinheit oder aber umgekehrt Grobporigkeit ein Maximum allseitiger Resistenz (auch gegen Frost) zeigen.

Hierher rangieren, abgesehen von den unter die Gruppen I und II fallenden Ausnahmen, in der Regel alle übrigen dichten Eruptivgesteine, also die meisten Granite, Porphyre, Syenite, Diorite, Diabase, Gabbros, die frischen dichtberben Basalte, auch Melaphyre, die besseren Trachyte und ihre Verwandten, sowie die dichten Basalt- und Trachyt-laven; sodann die blasigen, zelligen, schlackigen, aber festen, dickporenwandigen Basalte und Basaltlaven sowie

trachytischen Laven. Hierher gehörige oder doch nahestehende Beispiele sind: die Niedermendiger Lava, zu den Leucit-Nephelintephriten gehörig, und die Vesuvlaven.

Ferner sind noch zu nennen: flasrige, dichte Gneise, Phyllite z. T., Quarzite und gleichmäßig-dichte Sandsteine und Konglomerate mit kieseligem Bindemittel.

Gruppe IIIa.

Gesteine, bei denen, trotz starker chemischer Angreifbarkeit, infolge vorzüglicher Dichtigkeit und Gleichartigkeit ihres Gefüges und ihrer Kohärenz, doch wenigstens tiefergehende Veränderungen ausgeschlossen oder weiter hinausgerückt zu sein pflegen.

Es ist dies die Reihe der gleichmäßig-fein- und mittelfeinkörnig-krySTALLINISCHEN, reinen Marmore, Kalk- und Dolomite sowie — mit Einschränkungen — auch der Serpentin. Die Steine dieser Gruppe sind denen der Gruppe III in Bezug auf allgemeine Wetterbeständigkeit natürlich keineswegs ebenbürtig und mit ihnen gleichwertig, rechtfertigen aber doch durch ihr Verhalten die Einordnung, in eine besondere, anhangsweise gebildete Gruppe. Sie nehmen eben eine Sonderstellung ein. Übrigens muß hier zum Schluß noch daran erinnert werden, daß die Wertschätzung auch eines und desselben Bausteines, hinsichtlich Wetterbeständigkeit stets eine relative ist. Die Forderungen, die an ihn gestellt werden, sind keineswegs immer die gleichen. Verlangt man z. B. in zwei bestimmten Verwendungsfällen von zwei etwa gleichwertigen Steinen, daß der eine sich in Bezug auf sein spezielles Aussehen, z. B. seine Farbenwirkung, längere Zeit intakt erhalten soll, während bei dem andern nur seine Erhaltung überhaupt oder z. B. die Erhaltung seiner Festigkeit und Tragkraft genügt, so wird der Beurteilungsmaßstab für den ersteren leicht unwillkürlich schärfer ausfallen wie für den andern und die Bewertung eine ganz ungleiche sein können. Auch die vorzüglichsten Marmore verlieren in unserm Klima ihre Politur und gehören also z. B. vom Standpunkt dieser Bearbeitungsweise aus entschieden zu den sehr wenig wetterbeständigen Bausteinen.

Als kurze und bequeme Sammelnamen für die Gesteine der Gruppen I, II, III und IIIa möchte ich die bezügl. Bezeichnungen: Rigopatholithen, Chemikopatholithen, Apatholithen und Hemipatholithen vorschlagen.

II. Abschnitt.

Natürliche Verwitterungsproben.

Von großer praktischer Bedeutung für den Bautechniker ist es, über die Witterungsbeständigkeit der für seine Zwecke in Betracht kommenden Bausteine sich ein Urtheil bilden zu können und zwar vor deren Verwendung. Nur dadurch wird er in die Lage gesetzt, die richtige Auswahl treffen und sich vor üblen Mißgriffen schützen zu können. Am nächstliegenden, einfachsten und sichersten ist es natürlich, zu diesem Zwecke die Beobachtungen über das Verhalten der betreffenden Materialien an Bauausführungen zu benutzen, bei denen sie bereits zur Verwendung gelangt sind. Liegen jedoch solche Beobachtungen nicht vor oder sind sie nicht hinreichend bekannt, was häufig genug vorkommen wird, so bleibt man auf Versuche ad hoc angewiesen, die natürlich frühzeitig genug vor Beginn des Baues oder vielmehr — wegen des Einflusses des Materials auf Farben- und Formenwirkung zc. — eigentlich schon vor Inangriffnahme der Projekte, anzustellen sein würden. Diese Versuche können sein:

- | | | |
|---------------|---|------------------------|
| 1. natürliche | } | Verwitterungsversuche. |
| oder | | |
| 2. künstliche | | |

Als natürlichen Verwitterungsversuch bezeichne ich das Verfahren, das einfach darin besteht, eine Steinprobe in geeigneter Weise längere Zeit den Witterungseinflüssen auszusetzen und alle eintretenden Veränderungen zu beobachten. Bei den künstlichen Verwitterungsver-

suchen handelt es sich dagegen um die getrennte oder auch mehr oder minder kombinierte Einwirkung eines oder mehrerer der unter 1 und 3 vorigen Abschnitts (S. 2 bis 5) erwähnten, meist künstlich hergestellten Agentien sowie auch künstlicher Wärmequellen und Kältemischungen. Es unterliegt nun gar keinem Zweifel, daß die natürlichen Verwitterungsversuche, was die Richtigkeit und unmittelbare Verwendbarkeit ihrer Ergebnisse betrifft, unbedingt den Vorzug verdienen. Denn es kommen hierbei eben alle die obengenannten Faktoren zur Geltung, welche auf Bausteine verändernd einwirken können und zwar genau unter den Bedingungen, unter denen sie thatsächlich und stets in Fällen der Praxis ihre Wirkung äußern. Allerdings gehört hierzu auch die längere Einwirkungsdauer. Jeder künstliche Verwitterungsversuch dagegen ist, da er meist nur auf einzelne Agentien und überhaupt Bedingungen Rücksicht nimmt und allen zugleich wohl niemals wird gerecht werden können, stets mehr oder weniger einseitig und führt notwendig stets zu Ergebnissen, die nicht unbedingt, sondern nur unter gewissen Einschränkungen und bestimmten Voraussetzungen Geltung beanspruchen können und verwertet werden dürfen. Hierdurch wird nun zwar der Nutzen solcher künstlichen Verwitterungsversuche für die Materialbeurteilung keineswegs hinaufällig; auffallend muß es aber doch immerhin erscheinen, daß der natürliche Verwitterungsversuch bis zur Stunde so gänzlich vernachlässigt worden ist. Ich kann nur eine teilweise Erklärung dieses Umstandes darin finden, daß die natürlichen Versuche weit mehr Zeit zur Ausführung beanspruchen wie die künstlichen, die ja eben gerade auf Abkürzung berechnet sind, wie beispielsweise die beliebte, speziell für Dachschiefer gebräuchliche Methode von Fresenius. Ich halte es für wünschenswert und zeitgemäß, daß dem natürlichen Prüfungsverfahren endlich einmal die verdiente Würdigung zu teil werde und bin daher bestrebt gewesen, eine brauchbare Basis für die praktische Ausführung und künftige weitere Ausbildung desselben zu schaffen. In diesem Sinne wollen die nachfolgenden Mitteilungen über meine bezüglichen Arbeiten aufgefaßt sein. Die Wahl des Versuchsmaterials erschien vom rein theoretischen Standpunkt zunächst gleichgiltig, ich wählte aber als Objekte zu meinen Versuchen vorwiegend Dachschieferorten und zwar aus folgenden Gründen. Einmal gestattete mir eine gebrauchsfertige Schiefertafel in bequemster Weise die Herstellung geeigneter Versuchsplatten, namentlich auch für andere, später zu besprechende „künstliche Versuchsreihen“.

Zweitens konnte ein Vergleich meiner Ergebnisse mit denen eines andern, bereits in die Praxis übergegangenen, speziell für Dachschiefer gebräuchlichen und empfohlenen Verfahrens stattfinden und drittens hegte ich den Wunsch, einmal eine zuverlässige Grundlage zu Vergleichen der Witterungsbeständigkeit verschiedener gängiger Sorten eines und desselben wichtigen Bausteins, nämlich des Dachschiefers, zu gewinnen.

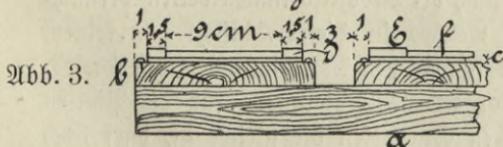
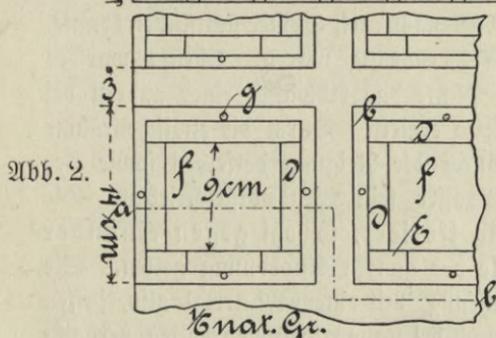
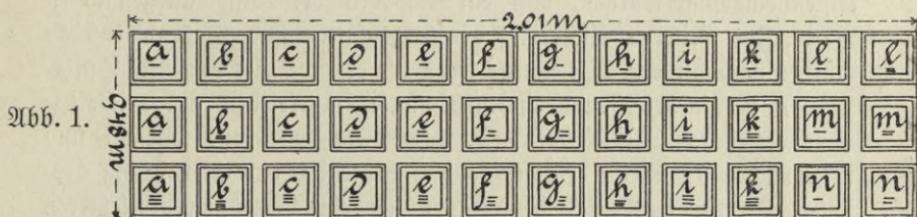
I. Die Versuche.

Die zu dem „natürlichen Verwitterungsversuch“ verwendeten Schieferproben erhielten quadratisches Format und mit Rücksicht auf die Tragkraft der zu benutzenden feinen chemischen Wage, eine Seitenlänge von annähernd 9 cm. Auch die übrigen noch mitgeprüften Steinforten erhielten das erwähnte Plattenformat. Zur Verwendung gelangten 10 Schieferforten sowie noch drei andere Bausteine, deren Eigenschaften durch lange Erfahrung hinreichend bekannt und die am Orte leicht erhältlich waren. Es wurden folgende Steine der Prüfung unterworfen:

- a. Moselschiefer, der Grube „Mosella“ in den Gemeinden Hausen und Trimbs bei Mayen an der Mosel entstammend („Vereinigte Moselschiefergruben zu Mosellaschacht b. Mayen“).
- b. Thüringer Schiefer aus Lehesten, unweit Gräfenthal, im Herzogtum Sachsen-Meiningen, Bruchbesitzer: Karl Vertel.
- c. Westfälischer Schiefer der „Schieferbau-Aktien-Gesellschaft Nuttlar“ in Nuttlar a. Ruhr in Westfalen, Grube „Kaiser-Wilhelm-Stollen“.
- d. Rheinischer Schiefer von der Schiefer-Zeche Wilhelm Erbstollen in Caub a. Rhein, Eigentümer Gebrüder Puricelli.
- e. Lahnschiefer von Diez a. d. Lahn von A. Müller in Diez.
- f. Französischer Schiefer (grün) von Rimogne, Departem. Ardennes, Lieferanten: Gebrüder Rother in Frankfurt a. M. (bezogen durch A. Honig in Königsberg i. Pr.).
- g. Französischer Schiefer (grau) von Rimogne.
desgl.
- h. Französischer Schiefer von Angers a. d. Loire, Dep. Loire, Lieferant: J. Wilfert in Köln (bezogen durch A. Honig i. R.).

- i. Englischer Schiefer von Portmadoc in Nord-Wales; Grubenbesitzer „The Oakeley slate quarries company (limited), Portmadoc, N. Wales“.
- k. Schweizer Schiefer aus dem Kanton Wallis, Bruchbesitzer: „Joseph Arletta, Exploitation des Carrières de Dalles & Ardoises, Sembrancher (Valais-Suisse)“.
- l. Weißer Marmor: Blanc clair von Carrara.
- m. „Schwarzer Granit“ von Åhus an der Südküste von Schweden.
- n. Bläulich-weißer Sandstein von der Insel Gotland in Schweden.

Sämtliche Materialien befanden sich in völlig frischem, tadellosem Zustand und waren mit der Säge zugeschnitten. Die Probestücke einer jeden Sorte für die vorliegenden sowie für die Parallelversuche (Abschn. III, IV, V und f.) waren nicht nur demselben Bruch und derselben Schicht des Bruches, sondern stets derselben frisch bezogenen Tafel entnommen. Es wurden von jeder Schieferart 3 Probe-



1/2 nat. Gr.

platten (mit a, a, a; b, b, b u. f. w. bezeichnet) verwendet, vom Marmor 2 Platten: die eine (1) geschliffen, die andere (1) poliert, vom „Granit“ ebenfalls 2: die eine (m) geschliffen, die andere (m) poliert, vom Sandstein ebenfalls 2, beide (n und n) geschliffen. Die zuletzt genannten sechs Probestücke hatte Herr Hof-Steinmetzmeister A. Pelz, hier, geliefert. Es galt nun, diese 36 Probeplatten unter

genau gleichen Bedingungen und zwar getrennt von einander — um einer Wechselwirkung von Platte zu Platte bei Regengüssen oder Schneefällen vorzubeugen — der Einwirkung der Luft auszusetzen. Zu diesem Zwecke wurden auf einer starken guttrockenen, ca. 2 m langen Bohle a aus Kieferholz 36 quadratische Platten b von gutgetrocknetem Eschenholz in Zwischenräumen von 3 cm aufgenagelt, wie dies die Abb. 1, 2, 3 darstellen. Abb. 3 stellt einen Schnitt nach a b, siehe Abb. 2, dar. Auf diese Holzklöße wurden quadratische Platten c von bestem, möglichst wetterfestem Fensterglas unter Verwendung von Glaserfitt aufgebracht und hierauf wiederum ein aus schmalen Streifen von dickem Schaufensterglas bestehender Rahmen d aufgefittet. An Stelle des unteren Rahmstückes waren jedoch zwei auf der gläsernen Unterlagsplatte festgefittete Glasleisten e an den betreffenden beiden Plattenecken angeordnet. Diese sollten den Abfluß des Wassers sowohl von der oberen Fläche der gläsernen Unterlagsplatte c als auch an den Probeplatten f erleichtern, welche letztere nur lose, jedoch so in die somit geschaffene quadratische Vertiefung zwischen den Glasrahmenleisten eingefügt wurden, daß ein Klappen bei Wind ausgeschlossen war. Zur weiteren Sicherung der Glasplatten und Glasrahmenstücke wurden noch an der Seitenmitte jeder der ersteren vier verzinkte Drahtstifte g in die betreffende Eschenholzplatte eingetrieben und mit Kitthülle versehen. Die Verwendung des Kittes war sehr sparsam und in vorsichtigster Weise erfolgt, so daß nirgends eine Berührung desselben mit den Probeplatten und auch nicht eine Benetzung der letzteren durch ablaufendes Wasser oder abgeschmolzenen Schnee stattfinden konnte, welche mit dem Kitt vorher in Berührung waren. Ebenso war es ausgeschlossen, daß irgend eine Platte das Abwasser einer andern bei Regen oder infolge Schneeschmelze erhielt. Durch die Zwischenräume zwischen den Holzklößen und durch die Neigung derselben sowie der Bohlen war dem abfließenden Wasser sein Weg vorgeschrieben. Die Platten konnten jetzt als völlig isoliert, sowohl gegen einander als auch gegen die Holzteile der ganzen Anordnung gelten. Sie waren nur mit Glas in Berührung, mit einem Material also, dessen geringe Angreifbarkeit ja auch bei Laboratoriumsarbeiten vernachlässigt zu werden pflegt, und welches in dieser Hinsicht von keinem andern praktisch hier in Frage kommenden Material übertroffen wird. Daraus, daß die immerhin vorhandene Fehlerquelle für die Platten infolge ihrer Berührung mit den Glasteilen die gleiche ist, darf noch

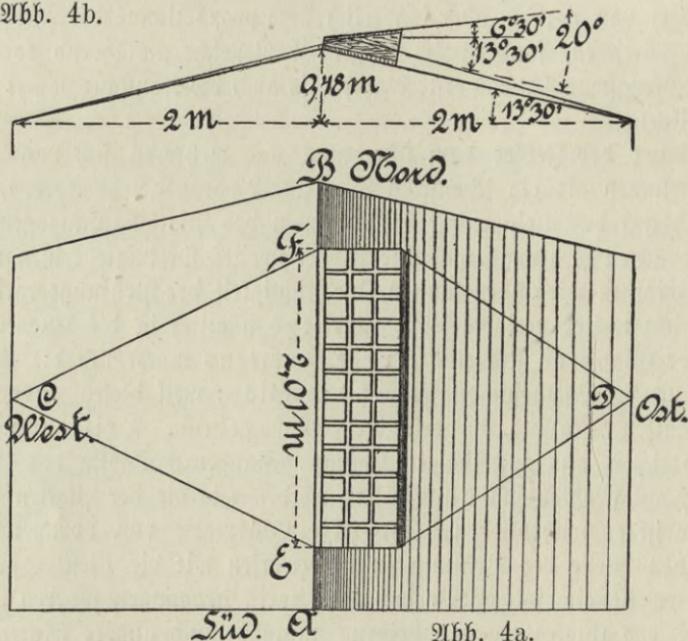
nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß nun auch sämtliche Prüfungsergebnisse dadurch im gleichen Verhältnis alteriert würden, daß sie also — um jenen Fehler zu eliminieren — etwa nur mit einem und demselben (von der Einheit wenig abweichendem) Berichtigungskoeffizienten μ zu multiplizieren wären. (Bezeichnet R irgend ein Prüfungsergebnis, d. h. den Gewichtsverlust irgend einer Platte, und r den Fehlerbetrag, so ist — den letzteren als $+$ vorausgesetzt — der berichtigte Prüfungswert $R - r$ oder $R \left(1 - \frac{r}{R}\right)$ oder $R \cdot \mu$.

Der Wert von r wird aber schwerlich stets proportional der Änderung von R variieren, sondern im Gegenteil vielleicht annähernd konstant sein. Wenigstens ist das erstere und also auch die Konstanz von μ nicht erweislich).

Aber der Fehler darf überhaupt aus mehreren sich verstärkenden Gründen als ein jedenfalls so geringer vorausgesetzt werden, daß er auch auf das kleinste der in Prozenten des Plattenanfangsgewichts ausgedrückten Prüfungsergebnisse in der zweiten Dezimale keinen merklichen Einfluß wird üben können, die Richtigkeit der Prüfungsergebnisse also nicht weiter beeinträchtigt. Erstens nämlich ist die Angreifbarkeit des Glases an sich eine geringe, zweitens macht sich die lösende Wirkung der Luftbestandstoffe auf das Glas, weil dieses unterhalb der Platten befindlich, in geringerem Maße geltend. Drittens werden die löslichen und wirklich in Lösung gegangenen Stoffe des Glases doch wohl größtenteils abgeführt werden wie die der Platten selbst. Leider ist es unterblieben, eine leere Glasplatte von vornherein in derselben Weise der Prüfung zu unterwerfen wie die Gesteinsproben. (Später ist ein solcher Versuch in Angriff genommen worden). An Stelle des Glases waren übrigens anfangs auch andere Materialien in Aussicht genommen, z. B. glasiertes Steingut (in Raffettenform) und auch die ganz freie Aufstellung der alsdann allseitig luftumgebenen Probeplatten ohne jede Unterlage, mit Unterstützung etwa nur an den Ecken. Von alledem wurde Abstand genommen wegen des Kostenpunktes oder der Schwierigkeit der Ausführung. Bei der letztgenannten Anordnung, die sonst vielleicht den Vorzug vor allen andern verdiente, ist es z. B. schwer, den Winddruck von unten her unschädlich zu machen sowie eine genügende Befestigung zu erzielen u. s. w. Die Bohle *a* war an den Enden und in der Mitte auf trapezförmig-geschnittenen Brettstücken (s. Abb. 4b.) aufgenagelt, die unten durch

eine zweite Bohle verbunden waren. Stand dieses Gestell mit der letzteren auf einer wagerechten Ebene auf, so waren die Bohle a sowie auch die Platten hierzu um 20° geneigt. Das Gestell erhielt seine Aufstellung auf dem flachen Dach eines der großen Gauben des Hauses Synagogenstraße 7 (ehemaliges Provisorium der Königlichen Baugewerkschule in Königsberg i. Pr.). Die First- und Trauflinien des fraglichen kleinen Daches haben fast ganz genau die Nord-Süd-Richtung, so daß bei der in Abb. 4a und 4b angedeuteten Lage des

Abb. 4b.



Gestelles, welches dicht an die Firstkante AB herangebracht wurde, auch die Probepplatten nach den Himmelsrichtungen orientiert und dabei in einer solchen Lage waren, daß sie ihre Neigung der Wetter (West-)seite zuehrten. Der Winkel, den die Platten dabei mit der Horizontalen bildeten, berechnet sich nach dem Gesagten und der Abb. 4b = $20^\circ - 13^\circ 30' = 6^\circ 30'$. Durch die beschriebene Art der Aufbringung des Versuchsgestells auf dem Dach des alten Baugewerkschulgebäudes wurden folgende für derartige Untersuchungen gewiß unerläßliche Bedingungen erfüllt:

1. Die Platten waren vollständig gegen einander und gegen sonstige, fremdartige Einflüsse so viel wie möglich isoliert, so daß künftige Veränderungen derselben lediglich als der Ausdruck der atmosphärischen Einwirkungen gelten durften.

2. Konnten die Witterungseinflüsse ungehindert auf die Probeobjekte einwirken.

3. Die Wirkung des Regenschlags von der Wetterseite her konnte so ausgiebig und gleichmäßig wie nur möglich auf die verschiedenen Platten und jede einzelne zur Geltung kommen und

4. war auch die Neigung der Probeplatten eine ganz angemessene. Sie war nicht zu gering, um dem Regen- und Schneewasser mit den in Lösung gegangenen Stoffen den nötigen Abfluß gewähren zu können und doch auch nicht zu groß, um diese Abführung allzusehr zu beschleunigen und dadurch die Wasserwirkung in den Versuchsergebnissen weniger deutlich hervortreten zu lassen. (Die Neigung der Platten betrug nur etwa $\frac{1}{4}$ von der der Tafeln eines flachen Schieferdaches). Durch die weit mehr der Horizontalen wie der Vertikalen sich nähernde Lage der Probeplatten wird die Wirkung der Atmosphärien für alle zu aufgehendem Mauerwerk verwandten Steinarten bei solcher Versuchsanordnung eine quantitativ weit energischere wie im Falle der wirklichen Verwendung, was hervorgehoben zu werden verdient.

Bemerkt sei noch, daß die Lage des Daches und ganzen Gebäudes hinsichtlich der Luftbeschaffenheit eine ziemlich normale war. Nur die Rauchgase der zwei Schornsteine des Gebäudes selbst und allenfalls noch die der Nachbarhäuser konnten unmittelbar an die Platten gelangen. Die Schloten des Retortenhauses der im gleichen Stadtteil befindlichen Gasfabrik waren zu entfernt und dabei auch zu niedrig, als daß ihren Rauchgasen noch ein direkter merklicher Einfluß hätte zugeschrieben werden können. Das Gestell wurde auf dem Dache durch Einbringen von Ziegelsteinen in die beiden kastenartigen Räume unter der Bohle a beschwert und seine Lage weiterhin noch durch die eisernen Spanndrähte CED und CFD von etwa 5 mm Durchmesser gesichert (s. Abb. 4b). Diese ganze Befestigung und die Lagerung der Probeplatten erwiesen sich als durchaus zuverlässig, denn im ersten Expositionsjahr war auch nicht die geringste Veränderung zu Tage getreten, obschon bereits 10 Tage nach dem Aufbringen des Gestells ein organartiger Sturm über die Stadt gegangen war, der an einer andern Stelle eine schwere Glasbox auf einem flachen Dache

fortgeschoben und damit ein Seitenlicht aus 14mm starkem Rohglas eingedrückt hatte. Auch im zweiten Versuchsjahre hat sich das Versuchsgestell ebenso vollkommen bewährt. Änderungen zeigten nur die Unterlagsplatten von Eschenholz in Form von Verkrümmungen, Rissen und beginnender Fäulnis.

Der Exposition der Platten auf dem so vorbereiteten Gestell ging ihre Trocknung voraus, welche natürlich bei einer geeigneten Temperatur bis zur Gewichtskonstanz getrieben werden mußte. Diese Arbeit wurde in chemischem Laboratorium der königlichen Albertus-Universität in Königsberg vorgenommen. Das Trocknen im Exsikkator wurde nach einigen Vorversuchen als allzu zeitraubend und aus andern Gründen verworfen. Das Trocknen in den üblichen, zur Verfügung stehenden transportablen Trockenschränken (Thermostaten) aber wäre durch die Größe und Zahl der Platten sehr erschwert, in einem einzigen solchen Schrank sogar geradezu unmöglich gewesen. Nach Lage der Dinge blieb füglich nichts übrig, als das Trocknen in den feststehenden, durch Wasserdampf geheizten Trockenschränken des chemischen Instituts vorzunehmen. Die Temperatur in denselben war, wie wiederholte Messungen ergaben, befriedigend gleichmäßig, jedenfalls in denselben Abteilungen eines Schrankes. Sie betrug, nachdem die Heizung einige Stunden im Gange war, 80° bis 85° C, konnte aber auf 95° gesteigert werden. Dies geschah immer auf längere Zeit, sobald eine Gruppe von Probeplatten der Gewichtskonstanz nahe gekommen war. Selbstverständlich erforderte es eine entsprechend längere Zeit, die Feuchtigkeit bei unter 100° C aus den Platten auszutreiben und dieselben so weit zu bringen wie durch eine Erwärmung auf 100° oder 105° C, wie sie bei den andern Versuchsreihen stattgefunden hat (s. Abschn. III, IV, und V). Aber es war wenigstens stets die gewünschte Temperaturkonstanz in dem äußerst bequemen Trockenofen vorhanden. Hier ruhten die Platten auf Gestellen aus verzinktem Eisendraht, ähnlich den im Abschn. III beschriebenen, nur von etwas größeren Abmessungen und mit mehr Stagen. Auch die Exsikkatoren, in denen sich die Platten während der Abkühlung vor den Wägungen und nach denselben bis zur Fortsetzung des Trockenprozesses befanden, waren entsprechend größer wie die bei den folgenden Versuchsreihen benutzten. Das Trocknen der Platten erforderte je nach deren Stärke und physikalischer Beschaffenheit ganz ungleiche Zeiten und fand gewöhnlich gruppenweise seinen Abschluß. Es hatte im

Februar 1896 begonnen und dauerte über einen Monat. Näheres über das Verfahren, welches von dem im Abschn. III beschriebenen sonst in nichts abweicht, findet sich dort angegeben. Von den bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Platten wurden einige wenige, nämlich die Platten b, c, k, m und n noch der Imprägnierung mit dem Steinkonservierungsmittel „Testalin“ von Hartmann und Hauers in Hannover unterworfen, um bei dieser Gelegenheit womöglich über die Wirksamkeit desselben wenigstens in einigen bestimmten Fällen ein Urtheil zu gewinnen.

Die Anfangstrockengewichte sämtlicher 36 Platten finden sich in der Tabelle I, desgl. die Trockengewichte. Die Platten waren am 12. Juni 1896, Mittags 12 Uhr, aufs Dach gebracht und am 14. Juni 1897 fast um dieselbe Zeit. (10 Uhr Vormittags) wieder entfernt worden. Die Exposition hatte hiernach 1 Jahr, genauer 368.24—2 oder 8830 Stunden gedauert. Von Zeit zu Zeit hatten Revisionen auf dem Dach stattgefunden und es mag erwähnt sein, daß ich bereits am 27. Juni 1896 an den Platten g einige äußerst feine Haarrisse zu bemerken glaubte, während die Platten f einige wenige, ganz feine rostbraune, von Limonitbildung aus Magnetit herrührende Fleckchen aufwiesen. Am 7. November schien die Politur der Marmorprobe l schon sehr merklich gelitten zu haben; die Platten h zeigten einige vereinzelt bräunliche Fleckchen, ebenso, jedoch noch schwächer, die Platten k, während diejenigen von f jetzt schon etwas deutlicher hervortraten. Einige wenige winzige rostgelbe Pünktchen waren auch auf den Platten e sichtbar geworden. Fast durchgängig erschienen gegen das Ende des Versuchsjahrs hin die in den Platten eingegrabenen Bezeichnungen mehr oder weniger schwach verwaschen und in der Farbe blasser. Die Sandsteine n und n zeigten auf der Unterseite einen offenbar durch die starke Porosität und die Feuchthalung begünstigten grasgrünen Algenanflug. Ebenso, doch weit schwächer, die Marmorplatten l und l. Aufgewehte Rußteilchen hatten sich in ganz ungleicher Menge, mitunter eine dichte Schicht bildend, auf vielen Platten festgesetzt und mußten beim Waschen derselben mit H₂O vor dem Trocknen erst entfernt werden. Die Entnahme der Platten vom Dach und das Waschen, wobei sie etwa 2 Stunden im Wasser lagen, welches mehrfach erneuert wurde, erfolgte mit größter Vorsicht. Einzelne kleine Theilchen, die bei der letzteren Manipulation (bei der eine zarte

Bürste zur Anwendung kam) trotz aller Behutsamkeit von verschiedenen Platten sich ablösten, wurden sorgfältig gesammelt, mitgetrocknet und mitgewogen. Sodann wurde ihr Gewicht dem Plattengewicht zugezählt, so daß die Zahlen in der Spalte 11 der Tabelle I die genauen, den unverkehrten Platten entsprechenden, sind. Das Gewicht der erwähnten Abgänge war minimal. Es betrug in maximo, bei c, $\frac{8}{10}$ mg. Eine Ausnahme machte nur f. Hier betrug es 0,0357 g, also 0,0377 ‰). Die Tabelle giebt auch Auskunft über die Plattenbeschaffenheit vor und nach der Exposition (nach dem Waschen und Trocknen), soweit sie mit bloßem Auge und mit der Lupe ersichtlich war. Am 24. August 1897 wurden die gewogenen Platten behufs Fortsetzung des natürlichen Verwitterungsversuchs abermals aufs Dach gebracht. Nach Ablauf des zweiten und dritten Expositionsjahres sollte je eine abermalige Wägung stattfinden, und soll so nach Möglichkeit fortgeföhren werden, um den Gang der weiteren Veränderung der Platten festzustellen und u. a. auch zu ermitteln, ob die Veränderungen etwa proportional der Expositionszeit wachsen oder nicht oder welches sonstige Gesetz dieselben befolgen, falls überhaupt ein solches erkennbar sein sollte.

II. Die Versuchsergebnisse.

a. Erstes Versuchsjahr.

Sämtliche Probeplatten hatten eine Gewichtsabnahme erfahren, die bei den Schiefem zwischen 1,28 und 17,19 Centigramm schwankte und bei einer der übrigen Platten bis auf 67,77 Centigramm stieg. Diese Gewichtsverluste g (Tabelle I, Spalte 12) wurden, um überhaupt einen Vergleich untereinander zu ermöglichen, zunächst sämtlich in Prozenten der Anfangstrockengewichte (Spalte 9 bezw. 10) der Platten ausgedrückt. Spalte 13 zeigt die betreffenden Ergebnisse, aus denen dann wieder die Mittelwerte der Spalte 14 abgeleitet wurden.

Die sonst sehr zweckmäßige und beliebte Benutzung und Auswertung der so übersichtlichen prozentualen Zahlenwerte bedarf indessen im vorliegenden Falle erst noch einer Prüfung und Rechtfertigung. Sie ist hier jedenfalls nur dann zulässig, wenn die Probeplatten hinreichend dünn sind, daß die lösende Wirkung des atmosphärischen Wassers die ganze Platte vollständig durchdrungen und nicht nur etwa eine Oberflächenschicht von gewisser Tiefe ausgelaugt hat, während der

Plattentern intakt geblieben ist. Auch auf thunlichste Gleichheit der Plattendicke wird dabei zu halten sein. Diese Bedingungen dürfen nun allerdings in betreff der Schiefer a bis k wohl sicher als hinreichend erfüllt angesehen werden. Bei den erheblich dickeren Platten l, m und n dagegen erscheint es schon fraglicher, ob die Wasserwirkung bis ins Innere durchgedrungen ist, jedenfalls aber muß hier angenommen werden — was auch vielleicht selbst bei den Platten a bis k noch nicht ganz ganz ausgeschlossen ist —, daß dies nicht gleichmäßig, sondern in nach innen hin stetig abnehmendem Maße stattgefunden habe. Immerhin werden die prozentualen Zahlen (Sp. 13) auch für die Platten l, m und n, gleiche Dicke derselben vorausgesetzt, brauchbare, unter einander vergleichbare Größen sein. Es ver schlägt dabei nichts, daß die bei der Ermittlung dieser Zahlen benutzten Anfangstrockengewichte auf eine von der Wasserwirkung zum Teil vielleicht gar nicht berührte, dazu noch ungleich schwerere Materialmenge sich beziehen und sogar eine ungleiche Einwirkungstiefe des Wassers für verschiedene Platten anzunehmen ist. Denn das Verhältnis der Gewichtszahlen der Spalte 9 bezw. 10 und der Spalte 12 ist — trotz der Ungleichheit der verschiedenen spec. Gewichte der Platten (l, m, n) — das nämliche wie das Verhältnis der Plattenvolumina zu den Substanzverlust-Volumen. Folglich sind die Gewichtsprocente der Spalte 13 zugleich Volumprocente (so ist es natürlich auch bei den Schiefen a bis k). Außerdem sind sie auf ziemlich das gleiche Plattenanfangsvolum bezogen. Ein Vergleich ist also trotz der ungleichen, vom Wasser etwa unberührten Zwischenschicht bei l, m, n sehr wohl möglich und die Zahlen der Spalte 13 bringen eben auch den verschiedenen Grad der Wasseraufnahmefähigkeit und der chemischen Resistenz auf größere oder geringere Tiefe zum Ausdruck. Mit den entsprechenden Zahlen für die dünnplattigen Schiefer a bis k dagegen dürfen jene 6 Zahlenwerte für l, m und n (Spalte 13 und 14), strenggenommen, nicht direkt verglichen werden. Sie stellen im Vergleich zu jenen wahrscheinlich etwas zu kleine Beträge dar. Bei dicken Platten von ganz ungleicher Stärke aber würden solche prozentualiter ermittelte Zahlenwerte geradezu sinnlos und falsch sein, denn es kommen bei ihrer Berechnung dem Volumen nach ganz verschieden- und willkürlich-große, vom Wasser nur wenig oder gar nicht berührte Materialmengen zur Geltung, die natürlich zu ganz unvergleichbaren Resultaten führen müssen.

Bei dicken Platten ungleicher Stärke empfiehlt es sich daher ein für allemal, die Gewichtsveränderungen auf 1 m^2 der Gesamtplattenfläche zu beziehen, also die Größe $\frac{g \cdot 1000^2}{f}$ zu ermitteln. Diese

Art der Berechnung ist nun in Spalte 15 und 16 der Vollständigkeit halber sogar für alle Platten a bis n durchgeführt. Die betreffenden Zahlenwerte sind jedoch nur für a bis k unter sich und ebenso wiederum nur für l, m und n, und zwar hier wohl in höherem Maße, unter sich vergleichungsfähig. Die ersteren 3 mal 10 Zahlenwerte für a bis k (Spalte 15) werden, mit denjenigen für l, m und n verglichen, jedenfalls zu klein sein, da das Bezugsmaß: die Plattenfläche f nach dem vorigen dort zu groß (vielleicht praeter propter um die Hälfte) im Vergleich zu hier angenommen war. Denn die Platten a bis k und die Platten l bis n nähern sich in ihrem Verhalten bei der Auslaugung zwei Extremen. Bei jenen ist es fast so, als ob wegen der geringen Plattendicke nur eine Auslaugungsschicht, jener Dicke entsprechend, vorhanden und also auch nur mit einer Fläche $a \cdot b \text{ mm}^2$ zu rechnen wäre. Die Platten l, m, n dagegen nähern sich dem Extrem der zweiseitigen Auslaugung mit unberührter Mittelschicht. Ein direkter genauer Vergleich der Platten a bis k mit den Platten l, m und n ist hiernach sowohl auf Grund der Zahlen der Spalten 13 und 14, als auch derjenigen der Spalten 15 und 16 wegen der ungleichen Plattendicke leider nicht wohl möglich. Doch kann man sagen, daß gewichtsprozentisch z. B. Steinsorte l jedenfalls mehr als den 11,9-fachen, Steinsorte n mehr als den 21,5-fachen Substanzverlust erlitten haben muß wie Schiefer b, ebenso auch, daß — pro m^2 Plattenfläche berechnet — der Substanzverlust, z. B. von a mit dem 2,7-fachen und von i mit dem 1,7-fachen des Substanzverlustes von b zu klein bemessen ist im Vergleich mit den entsprechenden und hier maßgebenden Werten für l, m und n. Die eben benutzten vier Zahlen sind den Spalten 17 und 18, welche die relativen Gewichtsverluste (φ und φ'), gewichtsprozentisch (φ) bezw. auf 1 m^2 Fläche (φ') berechnet und bezogen auf den Gewichtsverlust von b als Einheit, enthalten, entnommen. Da die in Tabelle I niedergelegten Ergebnisse den Erfolg sämtlicher atmosphärischen Einwirkungen auf die Platten im ersten Versuchsjahr zum Ausdruck bringen, so ist man berechtigt, die Zahlen φ und φ' der Spalten 17 und 18 — unter den erwähnten Einschränk-

fungen — als „Verwitterungskoeffizienten für das erste Versuchsjahr“ zu bezeichnen.

Die Zahlenwerte der Spalte 19 geben die Dicke δ einer über die ganze Plattenfläche sich erstreckenden Verwitterungsschicht in mm bzw. Mikron μ ($1 \mu = \frac{1}{1000}$ mm) an, welche den Gewichtsverlusten der Spalte 12 entsprechen würden, unter der Voraussetzung, daß ihre Dichtigkeit durchweg gleich derjenigen des entführten Plattenmaterials, also der Platte selber wäre. Da diese Voraussetzung, nach der obigen Bemerkung (p. 29 oben) über die Wasserwirkung, nach dem Platteninnern zu, anfangs niemals und erst nach sehr langjähriger Exposition und auch dann nur annähernd erfüllt sein wird*, so haben jene Zahlen für δ zunächst nur einen mehr ideellen Wert. Immerhin stellen die Werte δ eine weitere anschauliche Vergleichsgröße für die Plattenresistenzen dar. Ihre Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$\delta = \frac{g \cdot 1000}{f \cdot s} \text{ in mm oder } \delta = \frac{g \cdot 1000^2}{f \cdot s} \text{ in } \mu.$$

Dabei bedeutet s das Gewicht von 1 cm^3 Plattensubstanz. Die Anwendbarkeit der Formel ist an die hier natürlich bis auf weiteres erfüllte Bedingung geknüpft, daß δ im Vergleich zur Plattenstärke sehr klein, damit in dem Ausdruck für den Inhalt der Verwitterungsschicht:

$$\Delta = 2\delta \cdot (ab + ac + bc) - 4\delta^2 \cdot (a + b + c) + 8\delta^3$$

die Glieder mit δ^2 und δ^4 fortbleiben dürfen. Bemerkt muß noch werden, daß allen mit Benutzung der nur näherungsweise angebbaren Größe f ausgeführten Rechnungen natürlich eine geringere Genauigkeit zukommt wie den gewichtsprozentischen.

Es erübrigt noch eine Besprechung der Zahlenwerte der Tabellenspalten 13 bzw. 14 selbst. Es treten hier in den drei Versuchsergebnissen der einzelnen Schieferorten solche Verschiedenheiten zu Tage, daß es auf den ersten Blick bedenklich erscheinen könnte, daraus einen

*) Erst wenn nach jahrzehnte- bis jahrhundertelanger Lufteinwirkung auf Bausteine eine stärkere Verwitterungsschicht sich tatsächlich abge- löst hätte, würde man den weiteren Substanzverlust der übrigen Masse gegen jene vernachlässigen dürfen.

Mittelwert bilden zu wollen. Eine genauere Betrachtung der einschlägigen Verhältnisse wird jedoch dieses Bedenken entkräften. Zunächst soll das Verhalten des mit dem Hartmann & Hauerschen Konservierungsmittel imprägnierten Platten b, c, k, m, n — soweit dies auf Grund je eines einzigen Versuchs überhaupt möglich — diskutiert werden. Zu diesem Zwecke ist, der größern Übersichtlichkeit wegen, die nachstehende Tabelle entworfen. Die Zahlen der Spalte 4 derselben sind nach Maßgabe des Substanzverlustes der nicht imprägnierten Platten der Steinforten b, c, k, m und n ermittelt. So ist z. B.

Steinforte	Gewicht i d. Imprägnierungs- substanz in g	Gesamtge- wichtsver- lust g	Nutmaß- licher Sub- stanzver- lust v_0 ohne Imprägn. g	χ	Extreme Sub- stanzverluste v bei Imprägnierung.	Wetterschutz durch Im- prägnierung in % von v
<u>b</u>	0,0291	0,0690	0,0194	0 1	$v_0 = 0,0690$ $v_1 = 0,0399$	Ausgeschlossen
<u>c</u>	0,0968	0,1719	0,0553	0 1	$v_0 = 0,1719$ $v_1 = 0,0751$	Desgl.
<u>k</u>	0,0492	0,0742	0,0740	0 1	$v_0 = 0,0742$ $v_1 = 0,0250$	also Erhaltung der Imprägn. Masse ausgeschl. 66 %
<u>m</u>	0,0716	0,0380	0,0630	0 0,53	$v_0 = 0,0380$ $v_{0,53} = 0,0000$	40 % 100 %
<u>n</u>	0,3224	0,6777	0,5897	0 1	$v_0 = 0,6777$ $v_1 = 0,3553$	Erhaltung der Im- prägnier. Substanz unmöglich. 40 %
1	2	3	4	5	6	7

für b gefunden: $v_0 = 121,5367 \cdot \frac{0,016}{100} = 0,0194$. Der Ver-
lust v an Steinsubstanz nach Exponierung der Platten berechnet sich
in jedem Falle allgemein aus:

$$v = g - \chi \cdot i,$$

wobei χ ein Koeffizient, welcher rein theoretisch für b, c, k, und n die

extremen Zahlenwerte 0 und 1, für \underline{m} jedoch die Wertextreme 0 und 0,53 besitzen könnte. Bei \underline{m} ist der Gesamtgewichtsverlust der Platten (0,0380) kleiner wie das Gewicht i (0,0716) der Imprägnierungs-
 substanz und es kann hier — da v nicht negativ werden darf, höch-
 stens $z = \frac{v}{g}$ oder $z = \frac{0,0380}{0,0716} = 0,53$ sein. Der Extremwert
 $z = 0$ bezieht sich auf den idealen Fall, daß die Imprägnierungs-
 substanz am Schlusse der Exposition noch unvermindert in den Probe-
 platten vorhanden, der Wert $z = 1$ bzw. 0,53 auf den idealen
 Fall, daß sie ganz — bzw. in einem Betrag = dem Gesamtge-
 wichtsverlust — in Verlust gegangen sein würde. Bei vollständiger
 Erhaltung der Imprägnierungssubstanz in den Steinporen (Fall $z = 0$)
 müßten die Zahlen g notwendig durchaus reinen Substanz-
 verlust bedeuten ($v = g$). Dagegen würde letzterer nach der
 Rechnung um so kleiner ausfallen, je mehr von dem Imprägnie-
 rungssstoff in Verlust gegangen wäre. Mindestbetrag von v : $v =$
 $g - i$ (bei \underline{m} wäre v_{\min} sogar = 0). Denn in diesem Falle be-
 steht der Gewichtsverlust g der Platten z. T. aus Abgang von Im-
 prägnierungssstoff, z. T. von Plattensubstanz (bei \underline{m} nur aus ersterem).
 In betreff von \underline{b} und \underline{c} lehrt die Vergleichung der Größen v_0 und v_1
 mit v_0 sofort, daß hier ein Verwitterungsschutz insolge der Imprägnie-
 rung jedenfalls ausgeschlossen war. Vermutlich ist hier die Im-
 prägnierungssubstanz, da sie vorwiegend nur oberflächlich auf dem
 dichten Stein haften mochte und da die Zahlenwerte v_0 und v_1 hier
 ganz unvereinbar mit einander sein würden, ohne überhaupt merk-
 lich schützend gewirkt zu haben, größtenteils schon von vornherein
 bei der Exposition durch mechanische Wasserwirkung zc. in Verlust ge-
 raten. Daß aber die idealen Mindestwerte v_1 der möglichen Sub-
 stanzverluste noch erheblich die errechneten, mutmaßlichen Werte v_0
 übertreffen, kann vorläufig nur durch gewisse, unten noch zu besprechende
 Zufälligkeiten erklärt werden. Auch bei \underline{k} erscheint die Erhaltung der
 Imprägnierungssubstanz ausgeschlossen, da das Ausbleiben jeder
 wetterschützenden Wirkung, welches die Tabellenzahlen für diesen Fall
 doch andeuten wollen, damit unvereinbar wäre. Ebenso unwahrschein-
 lich ist hier aber auch andererseits — wegen des eingetretenen Wetter-
 schutzes (vgl. die Zahlenwerte v_0 und v_1) — ein Verlorengehen der
 Imprägnierungssubstanz gleich von vornherein, gleichsam ein Abspülen
 derselben, wie dies bei \underline{b} und \underline{c} vorauszusetzen war. Es muß hier

vielmehr während der ganzen Expositionszeit ein allmählicher und überhaupt wohl nur ganz teilweiser Abgang stattgefunden haben. Denn ein (jedenfalls in gleichem Maße abnehmender) entschiedener Verwitterungsschutz darf hier nach der Tabelle als nachgewiesen gelten. Es ist dies allerdings auffallend genug, da *k* eine nur wenig größere Wasserauffahigkeit ($p_1 = 0,42$) besitzt wie *b* und *c* ($p_1 = 0,36$ und $= 0,33$, vgl. Abschn. V). Zur Erklärung des hier somit nachgewiesenen dauernderen (teilweisen) Festhaltens des Imprägnierungsmittels seitens des Steines kann nur eine dasselbe ermöglichende, bedeutendere Porengröße von *k*, bei fast gleichem Porenvolum wie bei *b* und *c*, angesprochen werden, welche auch mit der mikroskopischen Beschaffenheit jener Schieferorte wenigstens nicht in Widerspruch steht. Beim „Granit“ *m* würden die Tabellenzahlen an und für sich, im Gegensatz zum vorigen, sogar den Schluß auf eine völlige Erhaltung der Imprägnierungsmaße rechtfertigen und jedenfalls schließen sie einen Abgang derselben von mehr wie etwa die Hälfte aus. Und doch verhielt sich gerade hier schon bei der Ausführung der Imprägnierung die eine, geschliffene und dadurch gebnete und künstlich gedichtete Fläche der Probeplatte als geradezu abweisend gegen die Imprägnierungsflüssigkeit. Die übrigen Plattenflächen, welche erheblich rauher wie eine Schieferoberfläche erschienen, zeigten ein solches Verhalten natürlich nicht. Auch hier erklärt sich das Festhalten der wetterschützenden Imprägnierungssubstanz, sicherlich noch mehr wie bei *k*, durch die bedeutendere Porengröße bei immerhin auch hier noch geringem Porenvolum (zu etwa 1,0 anzunehmen). Auch der, abgesehen von den idealen Grenzwerten der Tabelle, zahlenmäßig, nicht näher angebbare, erhebliche Wetterschutz bei *m*, kam mir unerwartet, wie der bei *k*. Vorauszusehen war, nach der gewöhnlichen Auffassung, dagegen die schützende Wirkung des Testalins bei dem schon poröseren und vor allem grobporigeren Sandstein *n*. Sein Gesamtporenraum ist nicht exakt bestimmt worden, aber zu etwa 15 Vol.-% anzunehmen. Die Wasseraufnahme, also annähernd wohl auch die Menge der aufzunehmenden Imprägnierungssubstanz darf hiernach auf wohl fast das 40-fache wie bei den Schiefen tarziert werden. Trotzdem scheint nach den Tabellenzahlen der Wetterschutz bei *n* dem Grad nach den von *k* und *m* nicht übertroffen zu haben. Im Gegenteil. — Eine größere Gesamtporenwandfläche, wie sie bei dem Sandstein vorliegt, erfordert zu ihrem Schutz eben auch eine

größere Imprägnierungsmenge, die hier nicht vorhanden war (in der That scheint die Imprägnierung zu schwach gewesen zu sein), so daß prozentisch sehr wohl das Verhältnis ungefähr das gleiche bleiben kann wie bei porenärmeren und feinporigeren Steinen. Auch wird der reichlicheren und leichteren Aufnahme der Imprägnierungsflüssigkeit bei den grobporigen Steinen vermutlich auch ein reichlicheres und schnelleres Inverlustgehen des Schutzmittels entsprechen. Erforderliche Bedingung für das Eindringen desselben und sein dauernderes Festgehaltenwerden durch den Stein ist somit nach allem Vorigen sehr wahrscheinlich ein gewisses Mindest- und Maximalporengrößenmaß und es scheinen dementsprechend gerade auch sonst als dicht zu bezeichnende Steine, z. B. Dachschiefer, unter Umständen ganz wohl, ja sogar leichter „imprägnierungsfähig“ sein zu können. Erforderlich wäre zur weiteren Prüfung bezw. Bestätigung des Gesagten freilich eine genügend große Reihe von Versuchen. Die nur geschliffene, aber imprägnierte „Granit“-platte m hat nach dem obigen einen Substanzverlust von höchstens $0,015\%$ ihres Anfangstrockengewichts (nämlich $0,0380 \cdot \frac{100}{262,3786}$),

die polierte, nicht imprägnierte „Granit“-platte (trotz der Politur) dagegen einen solchen von $0,024\%$ erlitten. (Spalte 13 der Tab. I). Der Substanzverlust der geschliffenen, nicht imprägnierten Sandsteinplatte n betrug $0,344\%$ ihres Anfangsgewichts gegen nur $0,209\%$ (nämlich $0,3553 \cdot \frac{100}{170,4286}$) der geschliffenen und imprägnierten

Platte n. Allerdings hat die letztgenannte Zahl nur im allergünstigsten Falle Giltigkeit und ist außerdem an und für sich jedenfalls — wegen der geringeren Plattenstärke von m etwas zu groß gefunden. Von den beiden gleichdicken Platten l und I zeigt die polierte l die etwa um $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$ geringere Verwitterungsgröße, wie es bei der sonst gleichen und normalen Beschaffenheit beider Platten auch sein mußte.

Bei der Bildung der Mittel (Sp. 14) aus den Zahlen der Sp. 13 sind die imprägnierten Stücke, da die Menge der in Verlust gegangenen Imprägnierungssubstanz sich der Kenntnis entzieht, unberücksichtigt geblieben. Die übrigen stark hervortretenden Unterschiede der Versuchszahlen der verschiedenen Proben einer und derselben Schieferforte glaube ich auf dreierlei Ursachen zurückführen zu müssen. Bei den Sorten f, g und h stimmen je zwei Zahlen, nämlich die für

f und f, g und g, h und h genau oder fast genau überein. Auch die Zahlen von i und i. Die dritte Zahl ist — mit Ausnahme von i, was mit i und i nahezu gleich steht — regelmäßig sehr erheblich (um 30 bis 70^{0/0}) größer. 1) Bei f und g muß die Ursache hiervon in Abgängen infolge Frostwirkung, deren Anfänge sich demnach hier ausnahmsweise schon im ersten Versuchsjahr, also jedenfalls vor Eintritt tieferer chemischer Veränderungen, zeigen, gesucht werden. Denn gerade diese beiden Schiefer sind es, die zur Schülferung und Schuppung am entschiedensten unter allen 10 Sorten neigen. Sie sind es auch, die unter allen am stärksten Wasser (in tropfbarflüssiger Form) aufsaugend sich verhalten. Die, übrigens absolut sehr geringe, und nur im Vergleich mit den anderen Schieferforten nennenswerte Wasseraufsaugung dürfte hier z. T. als Folge beginnender, jedoch nur ganz vereinzelter, feiner Spaltungen auftreten (vgl. auch Abschn. VI, sub. II 6 und 7) und wird so wiederum durch Frostwirkung, als Ursache jener, in gesteigertem Maße sich erweisen können. 2) Bei h konnten leicht zufällig zu Tage liegende größere Erzteilchen die größere Gewichtsabnahme mitbedingen (vgl. Sp. 8 und die Bemerkungen auf S. 27). Dieser Umstand könnte möglicherweise auch die Gewichtsverlustdifferenzen der übrigen Platten gleicher Art, z. B. von a, d und k mit veranlaßt haben (vgl. Abschn. VI, sub. II 1,4 und 10). In höherem Maße aber ist es, abgesehen von f und g, bei den meisten Probeplatten jedenfalls 3) die Ungleichheit der Verußung, die freilich nicht weiter festgestellt wurde, gewesen, namentlich auch die lokale Anhäufung von Ruß, welche nach der früher dargelegten Auffassung bis zu einem gewissen Grade eine Art Schutz gegen energischere An- und Eingriffe chemischer Art durch die freien Luftsäuren geboten haben mochte (vgl. S. 6). Auf alle Fälle ist durch die Ungleichmäßigkeit der Verußung auch eine Ungleichheit in den atmosphärischen Angriffen auf die Schieferflächen bedingt gewesen. Es ist dies eine Erscheinung, mit der bei jedem natürlichen Verwitterungsversuch naturgemäß gerechnet werden muß und die bei den künstlichen Versuchen (vgl. Abschn. III und IV) ganz wegfällt. Die beträchtlichen Ungleichheiten der Versuchszahlen für die verschiedenen Platten einer und derselben Schieferforte können bei den natürlichen Proben hiernach nicht wundernehmen; sie werden vielmehr mit Notwendigkeit stets eintreten und ihr nachteiliger Einfluß auf die Mittelbildung kann nur dadurch paralytisch werden, daß immer eine möglichst

große Zahl von Versuchsplatten derselben Sorte exponiert wird. Die Mittelwerte der Sp. 14 der Tab. I sind also korrekt, soweit es auf Grund der Zahlen für nur drei Versuchsplatten immer möglich ist. Eine besondere Stellung unter den Versuchsergebnissen nehmen die Zahlen der Sp. 13 und also auch 14 für die Platten c und e ein und zwar infolge des großen Kalkgehaltes der letzteren. Es sind nämlich hier zwei verschiedene, entgegengesetzte gleichzeitige Parallelwirkungen der Rauchgasstoffe denkbar. Wie den Ergebnissen des Abschn. IV. (S. 83 bis 86) zu entnehmen, ist die extreme Wirkung der Rauchgase, bei mangelndem sauren Lösungswasser für gebildete neutrale Sulfite, auf eine Gewichtszunahme infolge Gipsbildung, und nicht auf einen Gewichtsverlust gerichtet. Unter entgegengesetzten Umständen tritt gerade das Gegenteil ein, und es ist mithin für dieselbe Probeplatte zu verschiedenen Zeiten oder auch sogar zur selben Zeit, aber an verschiedenen Stellen der Platte, eine ganz verschiedene Endwirkung der Rauchgase denkbar. Bei der geringen Konzentration der SO_2 bzw. SO_3 und der zur Lösung der Neubildungen dabei meist hinreichend, ja reichlich vorhandenen Menge sauren Wassers, wie sie bei den natürlichen Versuchen in Frage kommen, wird nun aber jener auf Gewichtszunahme gerichtete Einfluß der Rauchgase entweder gar nicht erst in die Erscheinung treten können — zufolge Abschn. IV., S. 87 das Wahrscheinlichere — oder, wo dies lokal an den Platten ja der Fall sein sollte, doch von der lösenden, eine Gewichtsabnahme bedingenden Wirkung der Rauchgase auf die übrigen Steinbestandteile (neben dem Kalk) übertriffen werden müssen. Die Tabellenzahlen beweisen dies. Eine wichtige Rolle spielt aber auch gerade hier sicherlich wieder die Verwitterung. Da das atmosphärische Wasser als Ueberträger der freien Säuren (SO_2 und SO_3) auftritt, der Ruß aber — nach unserer Auffassung — vorzugsweise nur mehr der Träger und Ueberträger von Sulfaten ist und überdies die direkte, lösende Wasserwirkung jedenfalls abschwächt, also vermutlich auch einer eventuellen Gipsbildung und somit einer Beschränkung der Gewichtsabnahme Vorschub leistet, wo er sich an kalkhaltigen Stellen festgesetzt hat: so ist klar, daß eine ungleiche Verwitterung schließlich erhebliche Unterschiede in der Gesamtgewichtsänderung der verschiedenen Platten c und e zur Folge haben wird. So präponderiert z. B. bei Platte e die Gewichtsabnahme, während dieselbe bei c und e, vermutlich infolge von Rußanhäufung, erheblich abgeschwächt erscheint. In ähnlicher

Weise scheinen die Zahlen für die Platten c und c auf eine stärkere Rußwirkung hinzudeuten, während bei c durch, wenn auch nur oberflächliche Imprägnierung, wenigstens anfangs, dashaften der Rußteilchen auf der Platte erschwert worden sein mochte. Ähnliche Verhältnisse mögen, jedoch in weit geringerem Maße, auch bei andern nicht kalkfreien Platten, namentlich bei k und a, mit vorgelegen haben. Bei den Marmorplatten l und l konnte die von uns angenommene Wirkung des doch mehr sporadisch auftretenden Rußansatzes im Vergleich zu der weit überwiegenden lösenden Wirkung der CO_2 sowie der wässerigen SO_2 und Schwefelsäure, welche letztere hier überall nur Kalkcarbonat vorfinden, natürlich gar nicht in Betracht kommen.

Da die Zahlen φ der Sp. 17 der Tab. I den Grad der Wetterbeständigkeit der geprüften Schieferforten im ersten Jahr wiedergeben, so rangieren die letzteren vorläufig nach der Ordnung:

b, i, h, a, d, c, k, e, f, g.

Weiteres hierzu in den folgenden Abschnitten.

b. Zweites Versuchsjahr.

Am 27. August 1898, vormittags nach 11 Uhr wurden die Platten abermals vom Dach entfernt, nachdem sie somit ein zweites Jahr, genauer 8830 Stunden, der Atmosphärenwirkung ausgesetzt gewesen waren. Sie wurden nun wieder, ganz wie das erste Mal, gereinigt, getrocknet und gewogen. Ueber ihre Beschaffenheit am Ende des zweiten Jahrs (nach erfolgter Reinigung) giebt die Sp. 20 der Tab. I Auskunft. Trockengewicht, Gewichtsabnahme in g sowie in % des Anfangstrockengewichts enthalten die Spalten 21, 22 und 23. Auch diesmal wurden die wenigen und sehr geringfügigen, beim Reinigen der Platten sich ergebenden Abgänge gewogen und bei der Schlußwägung berücksichtigt, sodaß die Tabellenzahlen genau die richtigen Versuchsergebnisse darstellen. Nur der Abgang der Platte f war von nennenswerter, ja erheblicher Größe ($\frac{9}{4}$ mm bei Papierdicke). Er wog trocken 0,0203 g. Leider sind im zweiten Jahr, bei Gelegenheit von Dachreparaturen, durch Unvorsichtigkeit der Klempner, vier Platten zertrümmert oder doch beschädigt worden, so daß sie ausrangiert werden mußten. Es waren dies: c, d, f und n. Glücklicherweise aber ist der bedauerliche Unfall nur von geringem Belang für die Fortsetzung der Untersuchung gewesen. Die Platten wurden am 18. März 1899,

vormittags 11 Uhr, zum drittenmal aufs Dach gebracht, nachdem vorher die durch den Unfall mitbeschädigten und noch einige andere, durch die Wetterwirkung derangierte Glas- und Holzunterlagen wieder gehörig in stand gesetzt worden waren. An die Zahlen der Tabellenspalten 22, 23 und 24 knüpfen sich natürlich ganz ähnliche Betrachtungen, wie sie auf Grund der Spaltenwerte 12, 13 und 14 für das erste Versuchsjahr angestellt worden waren. Hervorzuheben ist jedoch, was sofort auffällt und durch die Abb. 5. noch verdeutlicht wird, daß die Substanzverluste der Platten im zweiten Jahr entschieden geringere waren wie im ersten.

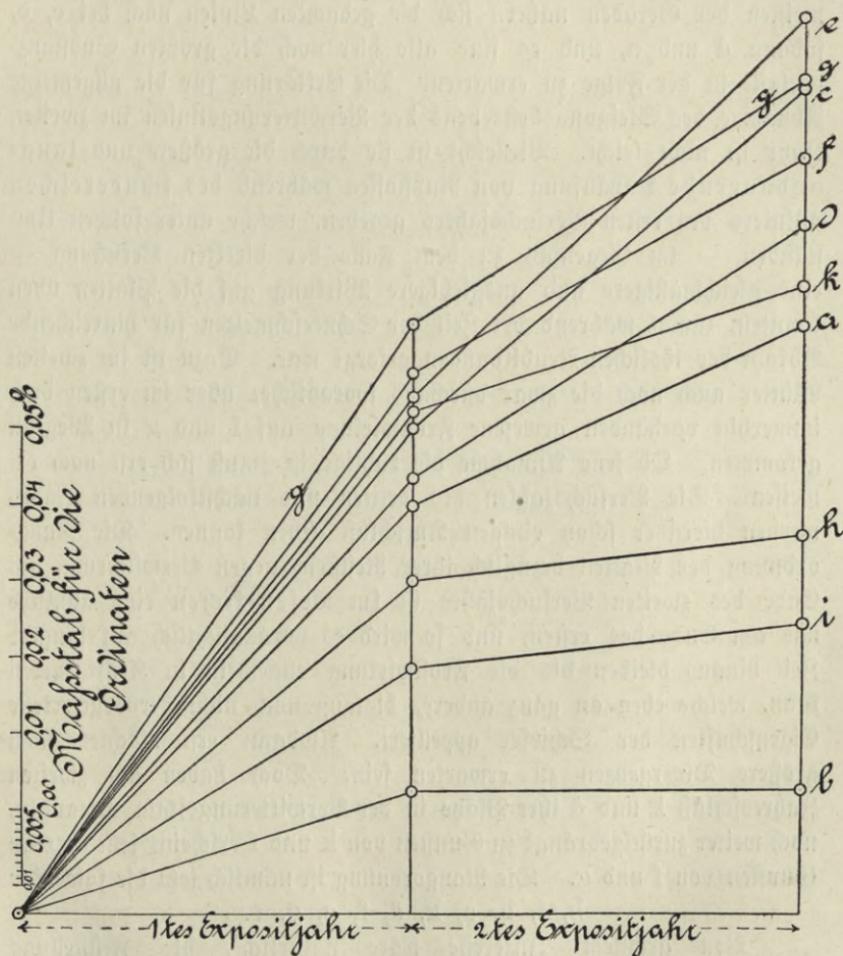


Abb. 5.

Die Abb. zeigt die Linien des Verwitterungsfortschritts an den 10 Schieferplatten für die beiden ersten Versuchsjahre, mit gemeinsamem Ursprung (Versuchsanfang). Als Ordinaten sind die prozentualen Substanzverluste am Ende des ersten und zweiten Jahres (bezogen auf das erste Anfangstrockengewicht) aufgetragen. Die Linie des Verwitterungsfortschritts ist nirgends eine Gerade: die Steigungstendenz sinkt durchweg während des zweiten Jahres, am meisten bei b, i und h (der Verlauf der b-Linie ist hier fast ein wagrechter). Stark tritt dies auch noch hervor bei k, g und f. Am meisten der Geraden nähern sich die gedachten Linien noch bei c, e, sodann d und a, und es sind also hier noch die größten Substanzverluste in der Folge zu erwarten. Die Erklärung für die allgemeine Abnahme des Steigungsbestrebens der Verwitterungslinien im zweiten Jahr ist nicht leicht. Vielleicht ist sie durch die größere und langandauernde Anhäufung von Rußstoffen während des schneereichen Winters des ersten Versuchsjahres gegeben, welche unter solchen Umständen — im Gegensatz zu dem Falle der direkten Verwitterung — eine gleichmäßigere und ausgiebigere Wirkung auf die Platten üben konnten, zumal während der Zeit der Schneeschmelzen für hinreichende Abfuhr der löslichen Neubildungen gesorgt war. Dazu ist im zweiten Winter auch noch die zwar durchaus sporadische, aber im ersten doch immerhin vorhanden gewesene Frostwirkung auf f und g in Wegfall gekommen. Ob jene Annahme die richtige ist, muß sich erst noch erweisen. Die Versuchszahlen des dritten und nächstfolgenden Jahrs werden hierüber schon einigen Aufschluß geben können. Die Rangordnung der Platten bezüglich ihrer Resistenz gegen Verwitterung am Ende des zweiten Versuchsjahrs ist im wesentlichen eine ähnliche wie am Ende des ersten, und so wird es voraussichtlich auf längere Zeit hinaus bleiben bis die Frostwirkung allgemein in Kraft treten kann, welche eben an ganz andere, bislang noch nicht hervorgetretene Eigenschaften der Schiefer appelliert. Alsdann erst möchten noch größere Divergenzen zu erwarten sein. Doch haben am zweiten Jahreschluß k und d ihre Plätze in der Verwitterungsskala vertauscht, noch weiter zurückgedrängt zu Gunsten von k und f erscheint jetzt c, e zu Gunsten von f und g. Die Rangordnung ist nämlich jetzt die folgende:

b, i, h, a, k, d, f, c, g, e.

Von größtem Interesse wäre natürlich, die Feststellung der Verwitterungskoeffizienten φ und φ' für einen viel

späteren Zeitpunkt, nachdem bereits die Frostwirkung zur Herrschaft gelangt ist.

In betreff der imprägnierten Platte b hat es den Anschein, daß ein Rest der Imprägnierungsmasse erst während des zweiten Jahres in Verlust gegangen ist. Ähnliches gilt vielleicht auch für k. Taf. I giebt eine graphische Übersichtsdarstellung der Ergebnisse des natürlichen Verwitterungsversuchs für sämtliche Probeplatten a bis n nach Ablauf des ersten Versuchsjahrs.

III. Abschnitt.

Künstliche Verwitterungsproben.

1. Einwirkung der Atmosphären: Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff.

Gleichzeitig mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen natürlichen Verwitterungsproben wurden „künstliche“ Versuche angestellt, welche bezweckten, bei thunlichster Beschränkung der Prüfungszeit, einzeln oder durch vergleichende Nebeneinanderhaltung und Kombinierung ihrer Ergebnisse, ein dem natürlichen Verwitterungsergebnis möglichst entsprechendes Urtheil über das Verhalten der betreffenden Steinproben und schließlich auch einen Anhalt für die passende Wahl eines einwandfreien Prüfungsverfahrens zu gewinnen. Die zu diesen Versuchen erforderlichen Arbeiten durften sich nicht allzusehr in die Länge ziehen, zumal es dem Verfasser dabei an jeglicher Assistenz mangelte und er alles, auch das Kleinste, in Person verrichten mußte.

Auch die gleichzeitige Benutzung einer größeren Anzahl von Versuchsflaschen, Exsikkatoren, Thermostaten u. s. w. verursachte Schwierigkeiten oder doch Unkosten. Umso mehr mußte auf eine angemessene Beschränkung der Versuche, soweit es unbeschadet ihres Nutzens geschehen konnte, Bedacht genommen werden. Zunächst sollen hier einige allgemeine, leitende Gesichtspunkte für solche „künstlichen Verwitterungsversuche“ aufgestellt werden. Die Wirkung der Rauchtgas- und der Rußbestandteile ist auf alle Bausteine ohne Aus-

nahme eine meist erhebliche, jedenfalls stets merkliche und nach meiner Ansicht dürften darauf gerichtete Prüfungen niemals oder nur in seltenen, ganz besonderen Fällen, nämlich nur dann unterbleiben, wenn günstige örtliche Verhältnisse dies rechtfertigen, wie allenfalls dann, wenn es sich z. B. um vereinzelte Lage eines Gebäudes auf dem Lande oder auf Bergen oder gar um Eindeckung von Kirchturmdächern handelt u. s. f. — Temperaturspannungen infolge starker Erwärmung und Abkühlung spielen jedenfalls, am meisten wohl bei den schiefriegen, leichtspaltigen Steinen, z. B. bei stark schuppenden, schülfernden Dachschiefeln, eine nicht zu unterschätzende Rolle (Prüfungsvorschläge nach dieser Richtung s. Ref. 1 p. 50, b, α und β)*. Wird aber von Prüfungen in letzterer Hinsicht sowie von solchen auf die Rauchgaswirkung abgesehen, soll also lediglich der Einfluß einer rauchfreien Luft auf Steine erforscht werden, wie dies durch die Versuche dieses Abschnittes gesehen ist, so kann allgemein folgendes festgestellt werden:

Gehören Bausteine der Gruppe I (s. Abschn. I, S. 13) an, so wird in den meisten Fällen die Frostprobe allein hinreichen (zumal, wenn damit intensive Wärmewirkungen verbunden würden), ein ziemlich richtiges Bild des Verhaltens der Steine in reiner Luft abzugeben. Denn, wenn die Frostwirkung überhaupt schon an dem noch frischen Material mit Erfolg sich äußern kann, so tritt hiergegen die zwar bei jedem Steine sich bethätigende, aber weit langsamer sich vollziehende und erst allmählich und spät äußerlich bemerkbare Agentienwirkung jedenfalls ganz in den Hintergrund. Sie kann in Wirklichkeit höchstens Vergrößerung der Defekte bedingen, aber die Ursache derselben war die geringe Frostbeständigkeit des Steines. Es kann dann u. a. ein strenger Winter hinreichen, den Stein ersichtlich zu schädigen, während die chemische Agentienwirkung immer längere Zeit braucht, um wirklich greifbare Schäden zu Tage zu fördern. Aus diesem Grunde eben werden leicht zerfrierbare Steine,

*) Ein hierher gehöriges Beispiel ist die, bereits S. 15 erwähnte, vom Obergeringieur Gobin in Lyon mitgeteilte und auf Wärmeausdehnung, allerdings im Wechsel mit Frost, zurückgeführte Zerstörung jenes Granitkreuzes in Saint Pal de Mons. — Die Richtigkeit der betreffenden Ausführungen bleibt auch dann noch bestehen, wenn, was nicht unmöglich scheint, die letzte Zerstörungursache auf die Materialbearbeitung oder auch auf die Anfangsbeschaffenheit des Materials zurückgeführt werden müßte.

auch wenn sie daneben große chemische Angreifbarkeit zeigen, praktisch doch sicherlich unter die Gruppe I rangieren.

Bei Gesteinen der Gruppe II, in intaktem Zustande, hätte die Frostprobe, wenigstens für sich allein vorgenommen, keinen Sinn. Sie ist eben verfrüht und es wird hier vielmehr vor allem die Prüfung auf CO_2 - und O -Wirkung am Platze sein. Hierdurch läßt sich ein Urteil — versteht sich immer: vergleichsweise gegen andere mitzuprüfende Steine — über das Verhalten eines solchen Bausteins auf längere Zeit seiner Verwendung hinaus gewinnen und ermessen, bei welcher Steinart die Frostwirkung früher oder später in Kraft treten wird. Frostproben selbst, die über das weitere Verhalten der Steine Auskunft geben könnten, würden erst nach hinreichend langer und kräftiger Einwirkung der Agentien Zweck haben, welche hier nur durch vielleicht jahrelanges Lagern der Steinproben in mit CO_2 und O gesättigtem Wasser zu erreichen wäre. Und selbst dann würde es wohl oft genug an einem zuverlässigen äußeren Merkmal der „Reife der Steinprobe für den Frostversuch“ fehlen.

Gesteine der Gruppe III erweisen sich gegen Prüfungen beiderlei Art gleich widerstandsfähig.

I. Gemeinsame Einwirkung von H_2O , CO_2 und O .

Von den 13, der natürlichen Verwitterungsprobe unterworfenen Steinarten a, b, c . . . k und l, m, n gehört höchstens der Sandstein n der Gruppe I an, während ich l und m zur Gruppe IIIa bezw. III stelle und die 10 Schiefersorten a bis k voraussichtlich, wenigstens zum größten Teil, der Gruppe II zuzuweisen waren (vgl. Abschn. I, S. 13 bis 17). In Übereinstimmung hiermit sollten die letzteren zunächst nur künstlichen Verwitterungsversuchen unter Ausschluß der Frostprobe unterzogen werden, nämlich der Einwirkung der eigentlichen Luftstoffe H_2O , CO_2 und O — im vorliegenden Abschnitt besprochen — und sodann noch der SO_2 -Wirkung (s. Abschn. IV). Bei diesen Versuchen wurde von dem zwar nie fehlenden, aber doch minimalen Ammoniak-Gehalt der Luft (cfr. p. 2) sowie deren sonstigen, ganz geringfügigen Beimengungen abgesehen. Weitere Versuche würden jedoch wohl auch hierauf Rücksicht zu nehmen haben.

Alle bis dahin angestellten Untersuchungen, welche die Einwirkung der CO_2 auf Gesteine (oder auch Mineralien) zum Zweck hatten, litten, vom Standpunkt der in Wirklichkeit maßgebenden Verhältnisse aus betrachtet, mit — wie es scheint — nur einer einzigen Ausnahme*), an zwei Fehlern:

1. wurde die der CO_2 -Einwirkung unterworfenen Substanz stets im pulverisierten Zustand verwendet und

2. fand die CO_2 -Einwirkung in der Regel unter höherem als dem gewöhnlichen Atmosphärendruck oder unter sonstwie willkürlichen Bedingungen statt.

Beide Versuchsanordnungen sind insonderheit zu verwerfen, wenn es sich um Prüfung von Bausteinen handelt, denn sie entsprechen in keiner Weise den normalen Verhältnissen und liefern ein zwar vergrößertes, aber stets zugleich auch verzerrtes, also falsches Bild der Wirklichkeit wie der Hohlspiegel**). Die Wirkung der Agentien auf das Gestein in Pulverform ist nicht nur eine im allgemeinen viel energischere, was eben gerade beabsichtigt war, sondern offenbar auch eine ganz andersartige wie die auf das unzerkleinerte Material. Denn im ersteren Falle kommt die petrographisch-physikalische Natur der einzelnen Gesteine, ihr Gefüge, ihre Porosität zc., die doch in Wirklichkeit eine so große Rolle spielen, gar nicht zur Geltung;

*) Eine Ausnahme macht eine Untersuchung von A. Johnstone, worin die Einwirkung von reinem CO_2 -haltigen H_2O auf 2 Glimmer untersucht wird, s. Quat. Jour. geol. soc. XLV, 1889. — In der obenerwähnten Weise dagegen operierten: Struve; Gebr. Rogers, Americ. Jour. of Sciences a. Arts, May 1848; Dittrich, Jour. f. prakt. Chem., Bd. 74, p. 129 ff.; Haushofer, Journ. f. prakt. Chem., Bd. 103, p. 131 ff.; M. Daubrée, Jahresber. über die Fortschritte auf d. Gesamtgebiete d. Agrikulturchemie, 1867, p. 10; Alfons du Cosse, Recherche di Chim. miner., Udine 1868 und Journ. f. prakt. Chem., Bd. 103, p. 125 und Bd. 106, p. 381; H. Ludwig, Archiv d. Pharmacie, Bd. 91, p. 147; F. Hoppe-Seyler, Zeitschr. d. deutsch. geolog. Gesellsch., 1875, p. 515; H. Müller, Tschermak, Mineral. Mitteil., 1877, Heft I, S. 25; E. W. Hoffmann, Untersuch. über den Einfl. v. gewöhnl. Wasser auf Silicate, 1882.

**) Ein hierher gehöriges, bekanntes Beispiel einer Gesteinsprüfung, mittels CO_2 -haltigem Wasser, wobei die Pulverform und der erhöhte Gasdruck ($4\frac{1}{2}$ Atm.) zur Anwendung kamen, bildet die Arbeit von A. Tschirch und D. Osterle „Über Sandsteinanalysen“ in d. schweizer. Wochenchr. f. Pharmacie, 1891, Nr. 40.

sie sind hierbei gleichsam eliminiert und folglich kann durch so angestellte Versuche lediglich über das rein-chemische Verhalten der Gesteine, welches eben doch nur eine Seite ihres gesamten wirklichen Verhaltens bildet, etwas festgestellt werden. In diesem Sinne, aber auch nur in diesem, und nie für sich allein verwertbar, empfehle ich denn auch selbst das Verfahren zur Anwendung (vgl. Abschn. VIII). Unter solcher Beschränkung ist es völlig korrekt, denn die verschiedenen Gesteinsproben befinden sich den Agentien gegenüber eben in dem thunlichst gleichen physikalischen Zustand. Auch selbst die Anwendung höheren Druckes bei dem CO_2 -Versuche wird dabei vermutlich nur eine dem Grad nach gesteigerte, nicht aber der Art nach geänderte chemische Einwirkung bedingen. Am unzerkleinerten Material dagegen ist dies anders. Der erhöhte Gasdruck wird hier gewisse mechanische Beanspruchungen der Gesteinsprobe, Reibungs- und Sprengwirkungen an derselben, zur Folge haben, welche der gewöhnlichen Wirklichkeit völlig fremd sind. Allerdings kommt dabei das verschiedene Verhalten der Steine gegen jene Beanspruchungen infolge ihrer petrographisch-physikalischen Beschaffenheit voll zur Geltung, so daß die Prüfung unter erhöhtem Gasdruck hier wenigstens in diesem Sinne einwandfrei ist. Aber die äußeren Versuchsbedingungen entsprechen, wie gesagt, nicht der Wirklichkeit. Einfach Erwägungen solcher Art sind es gewesen, die mich zur Anwendung des geforderten Prüfungsverfahrens in der nachstehend beschriebenen Gestalt geführt haben. Drei aus dem vorigen sich ergebende Grundsätze sind dabei leitend gewesen und werden für derartige Prüfungen an Bausteinen immerdar maßgebend bleiben:

1. Die Materialproben sind genau in dem Zustand, in dem die Bausteine ihre praktische Verwendung finden, der Prüfung zu unterziehen.

2. Die Probeagentien müssen ihrer chemischen Natur nach genau mit denen der Wirklichkeit übereinstimmen und sollen auch thunlichst unter den gleichen Bedingungen wie hier zur Einwirkung gelangen. Dabei ist es

3. nur auf dem Wege zulässig, eine gesteigerte Wirkung derselben auf das Probematerial und somit eine entsprechende Abkürzung der Prüfung zu erzielen, daß die Probe-Agentien eine quantitative Verstärkung erfahren, also in größerer Konzentration oder gesteigerter Kontinuität oder Menge zc. zur Anwendung gelangen wie sie der

Wirklichkeit entsprechen würden. Gänzlich auszuschließen ist der Gebrauch qualitativ stärkerer, also andersartig wirkender oder auch sonst wohl zulässiger Probestoffe, jedoch unter die Wirkung steigernden, aber willkürlichen und falschen Bedingungen, wie erhöhter Druck, abnorme Temperatur etc.

Am leichtesten war es, dem Grundsatz 1 gerecht zu werden. Die zweite Bedingung, welche sich bei künstlichen Verwitterungsproben naturgemäß überhaupt nur annähernd erfüllen läßt, führte im Verein mit der Forderung 3 alsbald dazu, bei den Versuchen die Wirkung des O, als des zweiten aktiven Luftbestandstoffes, sowie auch die des H₂O, in wechselnd dampfförmigem und tropfbarflüssigem Zustand, wobei allerdings schließlich der dampfförmige bei weitem überwog, mit der der CO₂ zu kombinieren. Und hierin eben ist eine weitere Abweichung der vorliegenden Prüfungsmethode von den bislang üblichen begründet.

Ein die gesamte atmosphärische Einwirkung (ausschließlich Temperaturschwankungen und Eisbildung) möglichst getreu nachzubilden-der Versuch hätte hierneben nur noch die wirksamen Bestandteile der Rauchgase (schwefelige Säure bezw. Schwefelsäure), zu berücksichtigen brauchen. Es war dies auch anfangs beabsichtigt, ist jedoch aus folgenden Gründen unterblieben:

1) wurde dieser Forderung durch den nebenhergehenden natürlichen Verwitterungsversuch von selbst in der denkbar einfachsten und zutreffendsten Weise Rechnung getragen und

2) erschien es doch wieder wünschenswert, zunächst die Wirkung der Rauchgase oder wenigstens der SO₂, deren Bestandmenge in der Luft ja bis zum gänzlichen Fehlen mannigfach wechselt und der Wirkung der reinen normalen Luftagentien getrennt nachzuforschen, um so womöglich einen klaren Einblick in den zusammengesetzten Vorgang der atmosphärischen Gesamt-Wirkung zu gewinnen.

Nachdem feststand, daß die Probepplatten in ihrer natürlichen Gestalt unter gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Druck der CO₂- und O-Einwirkung auszusetzen waren, erhob sich die weitere Frage, ob dies 1) gleichzeitig geschehen müsse oder 2) nach einander geschehen dürfe.

Im letzteren Falle boten sich wieder zwei mögliche Wege dar:

a) Entweder man führte den Platten erst die CO_2 ununterbrochen während eines Teils der Versuchszeit zu und hierauf der Rest der Zeit den O oder umgekehrt, oder:

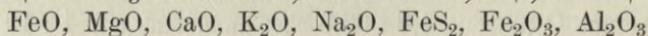
b) Man ließ beide Gase alternierend kurze Zeiten auf die Platten einwirken. Ich entschied mich für den Weg 2b, welcher zwischen 1 und 2a gleichsam die Mitte hält. Als das Vollkommenste, weil der Wirklichkeit eben genau Entsprechende, erschien freilich die gleichzeitige Einwirkung von CO_2 und O, mit anderen Worten: das Arbeiten mit einem konstanten Gasgemische von CO_2 und O. Allein die Herstellung und stete Erhaltung desselben während der ganzen Dauer der Versuche hätten nicht unerhebliche Schwierigkeiten und Umstände verursacht, sowohl was die technische Herstellung des Apparats als auch die erforderliche Zahl zeitraubender Kontrollanalysen betrifft.

Es kann nicht a priori bewiesen werden, daß die gleichzeitig und die nacheinander erfolgende Wirkung von CO_2 und O, gleiche Gasmengen und gleiche Wirkungszeiten vorausgesetzt, den gleichen Erfolg haben müsse. Hierüber entscheiden könnten wieder nur Versuche. Vielmehr ist es eine bloße Hypothese, analog dem in der Mechanik geltenden Prinzip der Superposition von Bewegungsgrößen, Kraftwerten, zc., wenn wir hier annehmen, daß das alternierende Zufließen von CO_2 und O, was leicht zu bewerkstelligen ist, hinreichend lange fortgesetzt, doch schließlich im großen Ganzen dieselbe Endwirkung zustande bringe, wie das konstante Gasgemisch, das Schwierigkeiten bereiten würde. Jedenfalls war das Alternieren, da nun doch einmal auf das konstante Gasgemisch verzichtet werden sollte, dem Verfahren 2a vorzuziehen. Eine weitere, wichtige und zugleich ziemlich schwierige Frage betraf die richtige Zusammensetzung des Gasgemisches bezw. die Mengen von CO_2 und O, die abwechselnd insgesamt zur Wirkung zu gelangen hätten. Zunächst liegt der Gedanke nahe, die Gasmengen einfach genau nach dem Verhältnis zu bemessen, in dem sie thatsächlich in der Luft vorhanden sind, weil dies allein unserm erstem Grundsatz zu entsprechen scheint. Da nun die Luft — bei wechselndem Wasserdampf- und Wassergehalt — in 10000 Raumteilen 3 bis 4 Raumteile CO_2 und 2060 Raumteile O enthält, so würde folgen, daß die zur Wirkung gelangenden Raummengen von CO_2 - und O_2 -Gas sich wie 1 : rd 700 bis 520 zu verhalten hätten oder mit anderen Worten: gleichen Gasdruck und gleiche Temperatur vorausgesetzt, müßte bei alternierender Einwirkung auf jede Stunde

Wirkungsdauer des CO_2 -Gases beinahe 1 Monat Einwirkungszeit des O -Gases gerechnet werden. Unter dieser Voraussetzung freilich wäre, da von einer einstündigen CO_2 -Einwirkung jedenfalls keine bemerkbare Veränderung der Probeplatten zu erwarten ist, das Verfahren, der erforderlichen großen Versuchsdauer wegen, praktisch nicht ausführbar. Ein anderer Ausgangspunkt für die Zusammenfügung des Gasgemisches wäre die Annahme des Verhältnisses von $\text{CO}_2 : \text{O}$., in dem sich diese Gase in atmosphärischen H_2O gelöst finden. Nach der Angabe auf Seite 2 würde dann das Verhältnis der zu verwendenden Mengen von CO_2 und O sich wie 1,8 : 33,8 oder annähernd wie 1 : 19 stellen. Da nun aber in Wirklichkeit, wie auch bei dem zu beschreibenden Versuch, weder die Atmosphärogase in rein gasförmigem, trockenem Zustande zur Wirkung kommen noch auch die Wirkung vollkommen tropfbarflüssigen Wassers mit den darin gelösten Luftgasen vorliegt, so kann schon aus diesem Grunde, weder die eine noch die andere der beiden Annahmen zutreffend sein. Als das Richtige erschiene hiernach vielmehr ein gewisser Mittelwert für das Verhältnis von $\text{CO}_2 : \text{O}$. Eine genauere Prüfung lehrt jedoch, daß das Verhältnis der beiden Gasmengen bezw. Einwirkungszeiten am passendsten überhaupt ein ganz anderes und auf ganz anderem Weg zu finden- des sein muß. —

Das Ergebnis der chemischen Einwirkung der beiden Gase, welches hier allein in Frage kommt, ist gleichbedeutend mit Zahl, Art und Menge der während des Versuchs zustande kommenden neuen Verbindungen. Denken wir uns nun die Bildung derselben bis zu irgend einem bestimmten Stadium, z. B. gleich soweit vorgeschritten, daß keine weiteren chemischen Veränderungen am Probeobjekt mehr eintreten können, so ist klar, daß hierzu auch eine ganz bestimmte Raummenge CO_2 -Gas und ebenso O -Gas erforderlich gewesen und verbraucht worden ist. Es muß also in jedem Falle, insbesondere auch für das Endstadium der Einwirkung, ein ganz bestimmtes Verhältnis der wirksamen Gasmengen bestehen, welches durchaus von der chemischen Zusammensetzung und dem chemischen Verhalten des jeweiligen Probeobjekts abhängig ist. Ein Überschuß an dem einen oder andern der beiden Gase spielt dabei keine weitere chemisch-aktive Rolle mehr und ist deshalb unnützer Ballast. Ebenso wird der Gang des gesamten chemischen Umwandlungsprozesses bis zur Lösung und Entfernung der einzelnen chemischen Neubildungen eine ganz be-

stimmte Mindest-Wassermenge erfordern, welche zur Verfügung stehen muß und welche ihrerseits gleichfalls von der chemischen Beschaffenheit des Probeobjekts abhängig ist. Nach dieser letzteren also wird in jedem einzelnen Falle füglich das passende Mengenverhältnis der drei Probe-agentien CO_2 , O und H_2O festzusetzen sein, um Versuchsbedingungen zu gewinnen, welche einen der Wirklichkeit thunlichst entsprechenden Anhalt gewähren. Dies soll im folgenden speziell für die Dachschiefer a bis k versucht werden, und zwar wird es angemessen sein, dabei für die angreifbaren, also vorwiegend in Betracht kommenden chemischen Komponenten:



die ungefähren Größtwerte:

12^o/_o; 2^o/_o; 8^o/_o; 6^o/_o; 5^o/_o; 1,5^o/_o; (15^o/_o); 28^o/_o

in Rechnung zu ziehen, welche den Analysen der 10 Schiefersorten zu entnehmen sind (vgl. Abchn. VI).

Allgemein sollen die prozentischen Mengen jener Komponenten bezüglich mit $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \mu, \vartheta$, das absolute Gewicht der Probeplatten im Durchschnitt mit g bezeichnet werden.

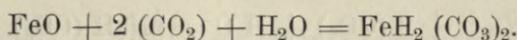
Ungefähre Berechnung der wirksamen Volumina von CO_2 , O und H_2O unter der Voraussetzung, daß die ganze Menge der in den Probeplatten enthaltenen angreifbaren Stoffe oder proportionale Teile derselben in Lösung gehen oder fortgespült werden.

Die chemischen Vorgänge bei der gleichzeitigen Einwirkung von CO_2 , O und H_2O werden in Wirklichkeit wohl fast unübersehbar kompliziert, z. T. auch unberechenbar sein. Wir beschränken uns darum und weil die folgende Rechnung doch nur beanspruchen kann, einen ganz rohen Anhalt für den Versuch zu liefern, auf das Wesentlichste jener Vorgänge. Zunächst wird einfach angenommen, daß einmal nur CO_2 allein nebst H_2O auf die Probeplatten einwirke, und das andermal, statt dessen nur O allein nebst H_2O .

I. CO_2 allein nebst H_2O .

A. Zur Bildung der primären Karbonate von FeO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O erforderliche Mengen von CO_2 und $\text{H}_2\text{O} = u$.

1. $\text{FeO} = \frac{g \cdot \alpha}{100}$ g liefert primäres Ferrokarbonat nach der Gleichung:

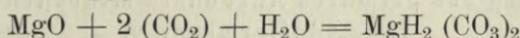


Zur Bildung desselben wären mithin erforderlich:

$$\text{a) } \text{CO}_2 = \frac{g \cdot \alpha}{100} \cdot \frac{88}{72} = 0,01222 \cdot \alpha \cdot g \text{ g.}$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{g \cdot \alpha}{100} \cdot \frac{18}{72} = 0,00250 \cdot \alpha \cdot g \text{ g.}$$

2. $\text{MgO} = \frac{g \cdot \beta}{100} g$. Es werde von der idealen Gleichung:



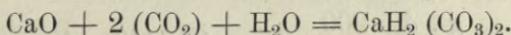
ausgegangen unter der allerdings hypothetischen Voraussetzung, daß die Löslichkeit sich etwa bildender basischer Carbonate des Magnesiums in CO_2 -haltigem Wasser auf der Bildung primären Magnesiumcarbonats beruht. *)

Zur Bildung des $\text{MgH}_2 (\text{CO}_3)_2$ wären erforderlich:

$$\text{a) } \text{CO}_2 = \frac{g \cdot \beta}{100} \cdot \frac{88}{40} = 0,02200 \cdot \beta \cdot g \text{ g.}$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{g \cdot \beta}{100} \cdot \frac{18}{40} = 0,00450 \cdot \beta \cdot g \text{ g.}$$

3. $\text{CaO} = \frac{g \cdot \gamma}{100} g$. Ausgangspunkt bildet die Gleichung:

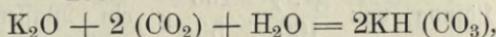


Zur Bildung des primären Ca-Carbonats erforderlich:

$$\text{a) } \text{CO}_2 = \frac{g \cdot \gamma}{100} \cdot \frac{88}{56} = 0,01571 \cdot \gamma \cdot g \text{ g.}$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{g \cdot \gamma}{100} \cdot \frac{18}{56} = 0,00321 \cdot \gamma \cdot g \text{ g.}$$

4. $\text{K}_2\text{O} = \frac{g \cdot \delta}{100} g$. Nach der Gleichung:



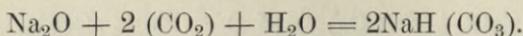
sind zur Bildung des primären Carbonats erforderlich:

$$\text{a) } \text{CO}_2 = \frac{g \cdot \delta}{100} \cdot \frac{88}{94} = 0,00936 \cdot \delta \cdot g \text{ g.}$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{g \cdot \delta}{100} \cdot \frac{18}{94} = 0,00191 \cdot \delta \cdot g \text{ g.}$$

5. $\text{Na}_2\text{O} = \frac{g \cdot \varepsilon}{100} g$.

*) So kann man sich vorstellen, daß bei der Lösung der Magnesia alba in CO_2 -haltigem Wasser das primäre Carbonat entstehe nach der Gleichung:
 $\text{Mg} (\text{HO})_2, 3 (\text{MgCO}_3) + 5\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 4 [\text{MgH}_2 (\text{CO}_3)_2].$



Erforderlich:

$$\text{a) } \text{CO}_2 = \frac{\text{g} \cdot \varepsilon}{100} \cdot \frac{88}{62} = 0,01419 \cdot \varepsilon \cdot \text{g g},$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \varepsilon}{100} \cdot \frac{18}{62} = 0,00290 \cdot \varepsilon \cdot \text{g g}.$$

B. Zur Lösung der primären Carbonate mindestens erforderliche Wassermenge v.

Die hier benutzten Löslichkeitsangaben beziehen sich auf normalen Luftdruck und etwa 15° C Temperatur (als niedrig gegriffene Mittelwerte während des Versuchs).

1. NaHCO_3 . Ein Gewichtsteil bedarf ca. 11 Gewichtsteile H_2O zur Lösung*); also erforderliches

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \varepsilon}{100} \cdot \frac{168}{62} \cdot 11 = 0,29807 \cdot \varepsilon \cdot \text{g cm}^3.$$

2. KHCO_3 . Ein Gewichtsteil bedarf ca. 3,5 Gewichtsteile H_2O zur Lösung; also erforderliches

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \delta}{100} \cdot \frac{200}{94} \cdot 3,5 = 0,07447 \cdot \delta \cdot \text{g cm}^3.$$

3. $\text{CaH}_2 (\text{CO}_3)_2$. Den vorhandenen Löslichkeitsangaben gemäß [— direkte für $\text{CaH}_2 (\text{CO}_3)_2$ fehlen —] löst ein l mit CO_2 gesättigtes H_2O bei 10° C 0,88 g CaCO_3 . Demnach wäre zur Lösung

einer den vorhandenen $\frac{\text{g} \cdot \gamma}{100}$ g CaO entsprechenden CaCO_3 -Menge,

nämlich zur Lösung von $\frac{\text{g} \cdot \gamma}{100} \cdot \frac{100}{56}$ g ein Wasserquantum erforderlich von

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \gamma}{100} \cdot \frac{100}{56} \cdot \frac{1}{0,88} \text{ dcm}^3 = 20,29 \cdot \gamma \cdot \text{g cm}^3.$$

4. $\text{MgH}_2 (\text{CO}_3)_2$ und $\text{FeH}_2 (\text{CO}_3)_2$.

Löslichkeitsangaben fehlen gänzlich.

Nimmt man, um sicher zu gehen, an: es wäre zur Lösung des gesamten MgO und FeO zusammen etwa die 4-fache H_2O -Menge nötig

*) Bezüglich der Löslichkeitsangaben vgl. u. a.: „Physikalisch-chemische Tabellen von Laubolt und Börnstein, Julius Springer, Berlin 1894“.

wie zur Lösung des in den Probeplatten enthaltenen CaO, so würde ein Bedarf an

$$\text{H}_2\text{O} = 4 \cdot 20,29 \cdot \gamma \cdot \text{g cm}^3$$

in Rechnung zu setzen sein.

C. **Gesamte** erforderliche CO_2 - und H_2O -Menge x bezw. y .

1. **Gesamte**, zur Bildung der primären Karbonate erforderliche CO_2 -Menge, da 1 l CO_2 etwa 1,98 g wiegt:

$$x = [0,01222 \cdot \alpha + 0,02200 \cdot \beta + 0,01571 \cdot \gamma + 0,00936 \cdot \delta + 0,01419 \cdot \varepsilon] \cdot \text{g} \cdot \frac{1}{1,98} \text{ l.}$$

Nach Einsetzung der Werte $\alpha = 12$, $\beta = 2$ u. s. w. hat man die erforderliche CO_2 -Menge:

$$x = 0,224 \cdot \text{g l.}$$

2. **Gesamte** zur Bildung und Lösung der primären Karbonate erforderliche H_2O -Menge $y = u + v$.

Es ist:

$$u = (0,00250 \cdot \alpha + 0,00450 \cdot \beta + 0,00321 \cdot \gamma + 0,00191 \cdot \delta + 0,00290 \cdot \varepsilon) \cdot \text{g cm}^3 \text{ und}$$

$$v = (0,29807 \cdot \varepsilon + 0,07447 \cdot \delta + 5 \cdot 20,29 \cdot \gamma) \cdot \text{g cm}^3,$$

folglich die erforderliche H_2O -Menge:

$$y = (0,00250 \cdot \alpha + 0,00450 \cdot \beta + 101,45321 \cdot \gamma + 0,07638 \cdot \delta + 0,30097 \cdot \varepsilon) \cdot \text{g cm}^3$$

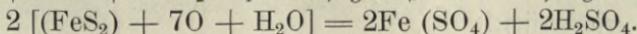
oder mit den obigen Zahlenwerten:

$$y = 813,628 \cdot \text{g cm}^3 \text{ oder } y = 0,814 \cdot \text{g l.}$$

II. O allein nebst H_2O .

Als der Oxydation und Hydratisierung unterworfen, könnten in Betracht kommen: FeS_2 , FeO und Fe_3O_4 . Von Fe_3O_4 (Magnetit) darf, weil in nur einer der Schieferforten (f) und in geringerer Menge vorkommend, in der folgenden Rechnung Abstand genommen werden (s. die Analysen, Abschn. VI). Das Verhalten des Fe_2O_3 mag dahin gestellt bleiben.

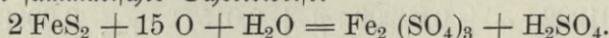
1. FeS_2 , Pyrit (Markasit = FeS_2 ist in den 10 Schieferforten nicht gefunden, Magnetkies ganz ausgeschlossen). Die Zersetzung des Pyrits betreffend, darf angenommen werden, daß sich zunächst Ferrosulfat und freie H_2SO_4 bildet, gemäß der Gleichung:



Von basischen, unlöslichen Sulfaten des Fe, die sich weiterhin bilden könnten, von denen aber an den Platten niemals eine Spur beobachtet wurde, soll abgesehen werden. Dagegen ist anzunehmen, daß die gebildete H_2SO_4 mit dem O zusammen sogleich auf das Ferrosulfat einwirke:

$2 \text{FeSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O} = \text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$,
 sodaß schließlich Ferrisulfat und freie Schwefelsäure resultieren.

In summarischer Schreibweise:



Hiernach wären zur Zersetzung des FeS_2 erforderlich:

$$\text{a) } \text{O} = \frac{\text{g} \cdot \zeta}{100} \cdot \frac{240}{2 \cdot 120} = 0,01000 \cdot \zeta \cdot \text{g g},$$

$$\text{b) } \text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \zeta}{100} \cdot \frac{18}{2 \cdot 120} = 0,00075 \cdot \zeta \text{ g g},$$

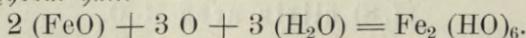
und es entstehen folgende Mengen Sulfat und freie Schwefelsäure:

$$\text{c) } \text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 = \frac{\text{g} \cdot \zeta}{100} \cdot \frac{400}{2 \cdot 120} = 0,01667 \cdot \zeta \cdot \text{g g} \\ = 0,02501 \cdot \text{g g},$$

$$\text{d) } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{g} \cdot \zeta}{110} \cdot \frac{98}{2 \cdot 120} = 0,00408 \cdot \zeta \cdot \text{g g}.$$

Die zur Entführung des schwerlöslichen $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$ erforderliche Wassermenge ist wegen Mangels an Angaben zunächst nicht festzustellen. Zum Schluß soll darauf zurückgekommen werden.

2. FeO . Die Bildungsgleichung für das Ferrihydroxyd lautet, wenn man mangels anderweiter sicherer Anhaltspunkte sich an das normale Hydrat hält:



Erforderlich sind also, wenn die volle Menge des vorhandenen FeO in Rechnung gestellt wird, obgleich dies schon einmal unter IA 1, S. 51, gesehen war:

$$\text{e) } \text{O} = \frac{\text{g} \cdot \alpha}{100} \cdot \frac{48}{144} = 0,00333 \cdot \alpha \cdot \text{g g},$$

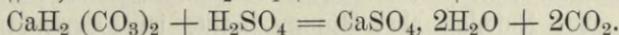
$$\text{f) } \text{H}_2\text{O} = \frac{\text{g} \cdot \alpha}{100} \cdot \frac{54}{144} = 0,00375 \cdot \alpha \cdot \text{g g}.$$

Die zur Fortspülung des unlöslichen $\text{Fe}_2 (\text{HO})_6$ erforderliche H_2O -Menge ist natürlich eine unbestimmte. Nach dem Vorstehenden sind zur Oxydation und Hydratisierung des FeS_2 und FeO insgesamt erforderlich:

1. $O = 0,01000 \cdot \zeta \cdot g + 0,00333 \cdot a \cdot g = 0,05496 \cdot g$ oder,
 da 1 l O etwa 1,43 g wiegt, $= \frac{0,05496}{1,43} g$ l oder $O = 0,038 g$ l.
2. $H_2O = 0,00075 \cdot \zeta \cdot g + 0,00376 \cdot a \cdot g = 0,04625 g$ oder
 $H_2O = 0,000046 g$ l.

III. CO_2 und O zusammen nebst H_2O .

Die nach II 1, S. 54 gebildete freie H_2SO_4 wird sich, wenn die unter I und II betrachteten Vorgänge kombiniert auftreten, mit den gelösten primären Karbonaten in der Weise umsetzen, daß unter CO_2 -Abscheidung die neutralen Sulfate der Metalle entstehen und zwar entsprechen 1 Mol. H_2SO_4 stets 2 Mol. freierwerdende CO_2 z. B.



Da nun nach I A 3:

$$\frac{g \cdot \gamma}{100} \cdot \frac{162}{56} = 0,23143 g g CaH_2(CO_3)_2$$

vorhanden sind, zu deren Umsetzung aber nach dem vorigen nur $0,00408 \cdot \zeta \cdot g = 0,00612 g g H_2SO_4$ anstatt $0,140 g g$ zur Verfügung stehen, so ist ersichtlich, daß die gesamte Sulfatbildung nur eine sehr geringe sein kann. So könnte z. B., wenn es zur Gipsbildung allein käme, nicht mehr als:

$$0,00612 \cdot g \cdot \frac{172}{98} = 0,01074 \cdot g g \text{ Gips}$$

entstehen und gleichzeitig nicht mehr als

$$0,00612 \cdot g \cdot \frac{88}{98} = 0,00550 \cdot g g CO_2$$

$$\text{oder } \frac{0,00550}{1,98} g = 0,00278 g l CO_2$$

frei werden. Die zur Lösung von $0,01074 g g$ Calciumsulfat erforderliche H_2O -Menge berechnet sich:

$$0,01074 \cdot g \cdot 380 = 4,08 g cm^3 = 0,00408 \cdot g l,$$

da 1 g Substanz ca. 380 g Lösungswasser erfordert. Diese H_2O -Menge ist jedenfalls sehr hoch gegriffen, da Gips das schwerlöslichste aller hier in Betracht kommenden Sulfate ist und, falls sich außer demselben noch andere Sulfate, z. B. von Kali, Natron u. bilden, die Löslichkeit dieser Neubildungen sogleich erheblich wächst. Trotzdem spielt diese Wassermenge von $0,004 \cdot g l$ im Vergleich zu der

oben sub. I. C gefundenen : $y = 0,814$ g l keine nennenswerte Rolle, und selbst, wenn man für den H_2O -Bedarf noch die Krystallwassermenge der verschiedenen Sulfate mit in Rechnung ziehen wollte, so würde dies — wie eine schätzungsweise Rechnung lehrt — doch immer noch keine wesentliche Steigerung des H_2O -Bedarfs bedingen. Auch die wahrscheinlich sich bildenden alaunartigen Doppelsalze und das Zusammenwirken der freien H_2SO_4 mit dem gebildeten $Fe_2(HO)_6$ und vielleicht sogar mit dem Schiefermaterial selbst, erfordern keine Rücksichtnahme, da ihr Einfluß auf die Rechnung nur ein ganz minimaler sein könnte. Die freiwerdende CO_2 -Menge $0,00278$ g l andererseits ist so gering, daß sie keine wesentliche Ermäßigung des unter I C 1 ermittelten Bedarfs an CO_2 von rd $0,22$ g l bedeutet. Es kann also, auch im Fall des Zusammenwirkens von CO_2 , und O bei obigen Zahlen, ohne Zuschlag oder Abzug, füglich sein Bewenden haben. Nur wäre der H_2O -Bedarf noch um den Betrag für die Lösung des $Fe_2(SO_4)_3$ zu erhöhen. Nimmt man, um sicher zu gehen, an, daß 1 g Substanz 1000 cm^3 H_2O zur Lösung erfordern, so macht dies für $0,02501$ g doch erst ca. $0,025$ g l H_2O , und kommt also erst in der zweiten Dezimale der Gesamtsumme zum Ausdruck. Man findet insgesamt erforderliches $H_2O = 0,84$ g l. Alles in allem genommen, würde sich nun zur völligen Entföhrung der angreifbaren Plattenbestandteile eine erforderliche Gesamtmenge berechnen:

$$\begin{aligned} \text{an } CO_2 &= 0,22 \cdot \text{g l}, \\ \text{,, O} &= 0,04 \cdot \text{g l}, \\ \text{,, } H_2O &= 0,84 \cdot \text{g l}. \end{aligned}$$

Die erforderlichen Mengen der drei Stoffe verhalten sich demnach annähernd wie:

$$6 : 1 : 21 (CO_2 : O : H_2O).$$

Die Gewichte der 10 Probepplatten betragen zusammen: ca. 236 g, also ist das Durchschnittsgewicht einer Platte ca. 24 g. Damit berechnet sich schließlich die pro Platte im Durchschnitt erforderliche Menge:

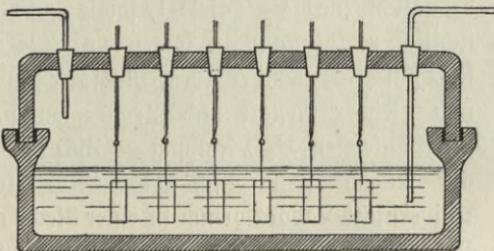
$$\begin{aligned} \text{an } CO_2 &= 0,22 \cdot 24 = \infty 5,31, \\ \text{,, O} &= 0,04 \cdot 24 = \infty 11, \\ \text{,, } H_2O &= 0,84 \cdot 24 = \infty 20,21. \end{aligned}$$

Die obigen Verhältniszahlen werden, mag ihre Ableitung auch auf teilweise etwas unsicheren Grundlagen beruhen, immerhin weit mehr der Wirklichkeit entsprechen und daher rationeller sein wie irgend ein beliebig gewähltes oder auch ein der Luftzusammensetzung bezw.

dem Gehalt des atmosphärischen Wassers an CO_2 und O entsprechenden Verhältnis der drei Agentien. Wie man sieht, ist die erforderliche Wassermenge wesentlich durch die Bildung und Lösung der Bikarbonate bedingt, denen gegenüber die Vorgänge sub. II in dieser Hinsicht keine Rolle spielen.

Nach Erledigung der bis dahin aufgeworfenen Vorfragen war nun zunächst über die Art und Weise zu beschließen, wie die Einwirkung des CO_2 - und O-Gases, sowie die des H_2O auf die Probeplatten am besten ins Werk zu setzen wäre. Die Gase standen im chem. Univ. Laboratorium in hinreichendem Vorrat im komprimierten Zustande zur Verfügung. Die verdichtete CO_2 war von der Firma Lingen & Baumgart, Mitinhaber der Ostpreussischen Kohlenäure-Industrie Reglaff & Co. in Königsberg i. Pr. geliefert, der verdichtete O von Dr. Th. Elkan in Berlin N bezogen. Über die Art des Zutritts der beiden Gase und des Wassers zu den Platten wurde eine Anzahl möglicher verschiedenartiger Versuchsanordnungen in Erwägung gezogen und es dürfte vielleicht interessieren, den Werdegang der endgültigen Anordnung hier kurz zu skizzieren. Die erste Möglichkeit bestand wohl darin, daß die Platten gemeinsam in einen kastenartigen Behälter mit H_2O am Deckel desselben aufgehängt und in das H_2O eingesenkt werden sollten. Durch eine Öffnung im Kastendeckel sollte das gläserne Gaszuleitungsrohr in das Wasser tauchen, durch eine zweite Öff-

Abb. 6.



nung im Kastendeckel sollten dann die Gase wieder austreten. Der Behälter war als aus zwei Holzkästen bestehend gedacht, deren einer

in den andern mit oben bündigen Rändern hineingesetzt und deren Zwischenraum behufs Wasserdichtung mit Pech-Terpentinkitt bis fast an den Rand ausgegossen werden sollte. Die oben somit verbleibende Nut war für die Einpassung des Deckels bestimmt. An Stelle des hölzernen Doppelkastens, dessen Material schon nicht einwandsfrei erschien, trat alsbald — jedoch nur in der Idee — ein glasierter Trog

aus Steingut, etwa wie ihn Abb. 6 darstellt. Derselbe sollte mit gasdichtem Wasserverschluß für den Deckel versehen sein und der letztere sollte Löcher zur Aufnahme durchbohrter, luftdicht passender Kautschuk-Stöpsel erhalten, durch deren Öffnungen Glasstäbe für die daran aufzuhängenden Probestücke gleichfalls luftdicht einzupassen gewesen wären. Um nämlich die Art der Wasserwirkung möglichst der in Wirklichkeit mit ihren wechselnden Durchfeuchtungsgraden stattfindenden konform zu machen, sollten die Platten abwechselnd nur dem Wasserdampf und dem flüssigen H_2O ausgesetzt werden, was durch die erwähnte Tauch-Anordnung leicht erreichbar. Aber auch der Versuchstrog wurde bald verworfen, teils des Kostenpunkts wegen, teils weil eine gesonderte Aufhängung der Platten in einzelnen Behältern doch wünschenswert, ja eigentlich unerläßlich schien. Denn beim Tauchen

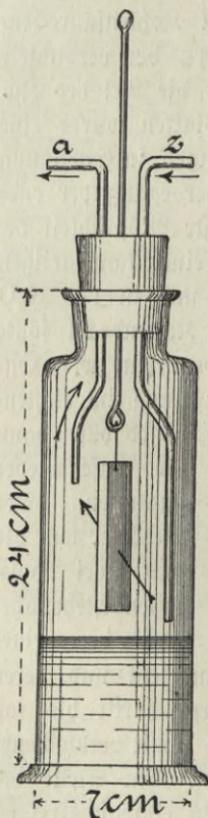


Abb. 7.

der Platten war eine wechselseitige Einwirkung der in Lösung gegangenen Stoffe von Platte zu Platte, also eine Trübung der Versuchsergebnisse zu befürchten. Verworfen wurde dementsprechend auch der vorübergehend aufgetauchte Gedanke, einzelne Versuchsfaschen mit abgepresstgen Böden zu verwenden, welche durch Glasröhren zur Durchleitung der Gase untereinander verbunden waren und je eine Probeplatte aufzunehmen hatten, die also in einen gemeinsamen Wasserbehälter tauchten. Die endgiltige Anordnung nun ist aus dem Lichtdruckblatt Tafel II, sowie aus Abb. 7a ersichtlich und bestand in folgendem: Die zehn Versuchsfaschen, aus derselben Glasorte und von genau gleicher Gestalt und Größe, waren, mit der genau gleichen H_2O -Füllung = 295 cm^3 versehen, auf einem Fenstertisch des Arbeitskellers im Universitäts-Laboratorium in einer Reihe aufgestellt. Jede derselben erhielt einen dreifachdurchbohrten Kautschukstöpsel. Durch die mittlere Öffnung desselben wurde der am oberen Ende mit Handhabe versehene Glasstab eingebracht, dessen unteres Ende mittelst einer durch Ausziehen und Umbiegen gebildeten Öse die Probeplatte an einem ausgeglühten dünnen Platindraht trug. Durch die

beiden seitlichen Öffnungen eines jeden Flaschenstöpfels wurden 5 mm Dicke, weiter oberhalb rechtwinklig umgebogene Glasröhren eingeführt, welche unterhalb des Stöpfels, um der Platte hinreichend Raum zu lassen, etwas nach außen aufgebogen waren, dann aber wieder lotrecht nach unten verliefen. Die eine dieser Röhren: die Gaszuleitungsröhre z (s. Abb. 7 und 7a), reichte bis dicht über das Flüssigkeitsniveau

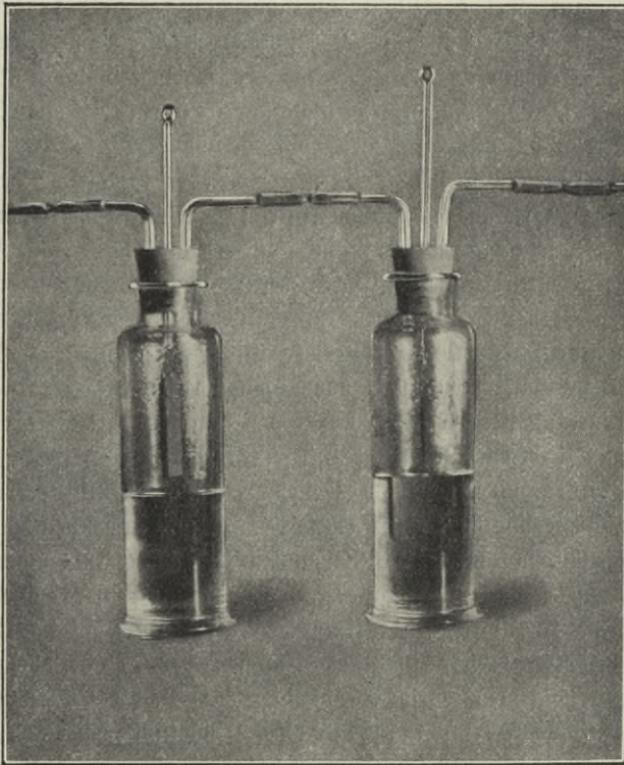


Abb. 7a.

hinab, die andere: die Gasableitungsröhre a, endigte einige cm unterhalb des Stöpfelendes. Die Zuleitungsröhre einer jeden Flasche war dem Anfang der ganzen Flaschenbatterie, wo die CO_2 -Bombe lagerte, zugewendet. Von hier bis zum Ende der Flaschenreihe folgten die Platten in den Flaschen nach der Ordnung: a, b, c, d, e, f, g, h, i, k. Das Gaszuleitungsrohr z einer jeden Flasche war mit dem Ableitungs-

rohre a der vorhergehenden durch ein Stück Kautschukschlauch gasdicht verbunden. Ebenso das Zuleitungsrohr der ersten Flasche a mit einer rechtwinklig umgebogenen Glasröhre, die — durch die Öffnung des Kautschukstöpfels eingeführt — in eine vorgelegte, dreifach tubulierte Woulff'sche Flasche einige cm unterhalb des Tubus endigte. Der Stöpsel des mittleren Tubus trug eine ca. 1 m lange Sicherheitsröhre und der Stöpsel der dritten Flaschenöffnung nahm eine rechtwinklig umgebogene Glasröhre auf, welche mittelst Kautschukschlauches mit dem Ausflußmundstück der CO_2 -Bombe in Verbindung gesetzt war. Jene Glasröhre tauchte ebenso wie die Sicherheitsröhre etwa 1 cm in das H_2O ein, welches die Woulff'sche Flasche ungefähr zu einem Drittel füllte. Eine ebensolche Flasche mit Sicherheitsrohr befand sich am Batterieende; ihre tiefergeführte Glasröhre, durch welche der Gasstrom beim Verlassen der Batterie in die Flasche eintrat, war mit dem Gasaustrittsrohr a der Flasche k durch Gummischlauch verbunden. Beim Öffnen der CO_2 -Bombe durch Umdrehen des Ventil-Rädchen, nahm das Gas, nachdem es in der Woulff'schen Flasche gewaschen (von Fettspuren zc. befreit) worden, seinen Weg durch sämtliche Flaschen, jede Platte in gleicher Weise umströmend und das Lösungswasser in jeder in gleichem Maße sättigend. Beim Schließen der Ausströmungsröhre der Woulff'schen Flasche am Batterieende mit dem Daumen stieg deren Flüssigkeit im Sicherheitsrohr sofort hoch empor, zum Zeichen eines guten Schlusses der Stöpsel und Schlauchverbindungen der Batterie. Durch die beschriebene, durchweg gleiche Einrichtung der 10 Versuchsflaschen wurde folgendes erreicht:

1. wurde das Prüfungsverfahren vollständig unabhängig gemacht vom Gasdruck, (Nichteintauchen der Röhren in das Lösungswasser). Derselbe war in allen Flaschen der gleiche, dem gerade herrschenden Luftdruck entsprechend, abgesehen von einer geringen Erhöhung infolge des Eintauchens des Zuleitungsrohrs der beiden Woulff'schen Flaschen (gemessen also durch eine etwa 2 cm hohe Wasser säule).

2. wurde ein vollständiges und gleichmäßiges Umspülen der ganzen Platten durch den Gasstrom in mehr lotrechttem Sinne bewirkt. Bei gleicher Länge der beiden Flaschenröhren wäre nur mehr eine wagrechte Strömung gegen einen beschränkten Plattenteil zu erwarten gewesen.

3. Die Tauchvorrichtung ermöglicht (wie schon erwähnt) einen Wechsel im Grad der Durchfeuchtung der Platten innerhalb der beiden

Grenzen: Sättigung mit Wasserdampf bei gehobenen Platten und Sättigung mit tropfbar flüssigem Wasser nach längerem Eintauchen der Platten.

4. Durch die Separierung der einzelnen Platten und ihrer Lösungsflüssigkeit ist jede fremdartige Beeinflussung des Versuches ausgeschlossen, ausgenommen höchstens die, welche auf Rechnung der Angreifbarkeit der Flaschenwand selbst und der übrigen Glasteile zu setzen wäre. (Im vorliegenden Falle gab das Wasser der Woulff'schen Flaschen, nach Beendigung der Versuche, beim Eindampfen einen kaum sichtbaren und völlig unwägbaren Rückstand, so daß also eine Einwirkung des CO_2 - und O_2 -haltigen H_2O auf das Glas gar nicht in Betracht kam. Ebenjowenig war sicherlich ein nachteiliger Einfluß auf die Probeplatten aus einer etwaigen Wechselwirkung zwischen der gelösten Plattensubstanz und den Glasbestandstoffen zu befürchten).

5. Das Lösungswasser für jede einzelne Flasche kann nach beendigtem Versuch in der betreffenden Flasche selbst zur etwaigen Analyse bequem aufbewahrt werden.

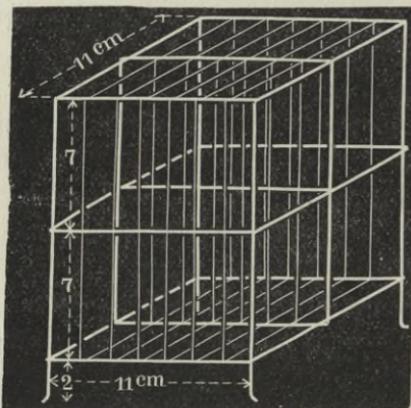
6. Die ganze Vorrichtung ist beliebig erweiterungsfähig, nimmt auseinandergenommen, wenig Platz ein und verursacht verhältnismäßig geringe Kosten.

Nachdem somit ein allen nicht übertriebenen Forderungen gerecht werdender Apparat für den künstlichen Verwitterungsversuch dieses Abschnitts hergestellt war, erfolgte die Trocknung und Wägung und dann die Exposition der Platten. Es wurde das s. Z. von Fresenius*) gewählte Plattenformat $\frac{7}{3}$ cm benutzt, welches sich auch für die weiteren Versuche als ganz zweckmäßig erwies. Die Probestücke waren aus der Schieferplatte vorsichtig herausgefägt. Die Öffnung für den Platindraht war mit einem Drillbohrer gebohrt und mit Hilfe eines Buchsbaumstäbchens glatt ausgerieben, um nachträgliches Loslösen feiner Schiefertheilchen durch den Draht zu vermeiden. Hierauf wurden die Platten behutsam mit trockenem Hirschleder abgerieben und nach vorhergegangener kurzer Erwärmung in einem der großen Dampftrockenschränke des chemischen Instituts, in einen passenden, außen mit Asbestpappe bekleideten Thermostaten der größeren Art gebracht. Hierin erfolgte das Trocknen bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C . Die Anwendung höherer Temperatur, wodurch allerdings die Trockenarbeit

*) Zeitschrift für analyt. Chemie, 1868, p. 75.

sehr beschleunigt hätte werden können, erschien wegen möglicherweise auftretender Sprengriffe und Beschädigungen der Platten infolge allzuheftiger Verdampfung der Feuchtigkeit im Platteninnern bedenklich und unterblieb deshalb. Die Regulierung der Temperatur im Thermostaten geschah anfangs mittelst besonderen Regulators, später ebenso sicher als einfach mittelst eines gewöhnlichen Quetschhahns am Gummischlauch für die Gaszuführung zum Brenner. Die Platten ruhten im Thermostaten auf und zwischen den sehr dünnen verzinnnten Eisendrähten eines eigens hierzu angefertigten Gestelles, welches Abb. 8 wiedergiebt. Hier-

Abb. 8.



durch wurde erreicht 1. daß sämtliche Platten allseitig von demselben erwärmten Luftstrom umspült waren, 2. daß keine die andern berührte und 3. daß das Herausnehmen derselben aus dem Thermostaten und das Wiedezurückbringen in denselben so schnell wie nur irgend möglich erfolgen konnte.

Nach einer mindestens 5-stündigen, in der Regel aber 8- und manchmal 10-stündigen, ununterbrochenen Erwärmung wurden die Platten in ihrem Gestell aus dem Thermostaten in einen geräumigen Exsikkator mit konzentrierter H_2SO_4 gebracht und nach erfolgter vollkommener Abkühlung (nach ca. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ St.) gewogen. Die Wägungen gingen, nachdem das ungefähre Gewicht (durch die erste Wägung) einmal bekannt war, sehr schnell von statten und erforderten 3 bis 4 Minuten Zeit für jede Platte. Anfangs erfolgten sie auf der offenen Wagschale, gegen das Ende hin, als die Gewichtsabnahme nicht mehr bedeutend war, in besonderen luftdicht verschließbaren Wägegefäßen aus Glas. Diese Vorsicht hätte übrigens, wie vergleichende Wägungen zeigten, für die Mehrzahl der Platten ebensogut unterbleiben können, da die Gewichtszunahme während der offen vorgenommenen Wägung bei der kurzen Dauer derselben nur eine ganz minimale, zumeist nicht meßbare war. Die Gewichtskonstanz trat bei den einzelnen Platten, wie durch ihre verschiedene Stärke und physikalische Natur erklärlich, im allgemeinen zu verschiedenen Zeitpunkten und dann gruppenweise ein. Die Trocken-

dauer war demnach eine ungleiche; im Durchschnitt betrug sie etwa 50 Stunden. Die Platten wurden stets nur mittelst einer mit Wildleder bewickelten Zange angefaßt. Das luftdichte Aufsitzen der Exsikkator-Glocken auf deren gläserner Fußplatte wurde durch sorgfältige Talgung gesichert. Talgflecken, die auf einer Platte entstanden waren, wurden augenblicklich mittelst Aether entfernt; ein von einer Platte abgegangenes Splitterchen wurde sorgfältigst bis ans Ende immer mitgewogen.

Auf einige mögliche Fehlerquellen bei der beschriebenen Arbeit muß hingewiesen werden:

1. scheint die Möglichkeit eines gegenseitigen Austausches der noch vorhandenen Feuchtigkeit der Platten im Exsikkator, während sie also, in demselben Raum befindlich, dem gleichmäßig trocknenden Luftstrom nun entzogen waren, nicht ausgeschlossen. Vielmehr wurde dies durch manchmal beobachtete, unerwartete, jedoch verhältnismäßig geringe Gewichtszunahmen einzelner Platten, vermutlich auf Kosten anderer, wahrscheinlich gemacht. Gegen das Ende der Trocknung der Plattenmehrzahl trat diese Erscheinung jedoch niemals mehr ein und es ist ja auch an sich klar, daß, sobald einmal die Feuchtigkeitsabgabe bei 105° C. nahezu beendet ist, bei der niedrigeren Temperatur im Exsikkator eine solche nicht mehr von Platte zu Platte erfolgen kann. Diese Fehlerquelle eliminiert sich also am Ende von selbst.

2. ist es unvermeidlich, daß bei der successiven Entnahme der Platten aus dem Exsikkator immer etwas Luft und damit auch Feuchtigkeit in den letzteren eindringt und die Wägungszahlen etwas zu groß ausfallen macht. Merklich war dieser Fehler, wie leicht festgestellt werden konnte, infolge der Schnelligkeit der Manipulationen, erst, nachdem etwa die Hälfte der (10 oder 14) Platten bereits gewogen war und nennenswert überhaupt erst bei den letzten Platten. Diese unvermeidliche Fehlerquelle wurde, so weit wie möglich, einfach dadurch paralytisch, daß diejenigen Platten, welche sich ersichtlich bereits der Gewichtskonstanz näherten, stets zuerst gewogen wurden bis die Zahl der noch zu wägenden Platten so gering geworden war, daß der Fehler von selbst als unmerklich fortfiel.

3. Ein dritter, ebenfalls ganz unvermeidlicher, übrigens zu vernachlässigender Fehler ist schon durch den Transport der Platten vom Exsikkator zur Wage zc. bedingt.

Nach Beendigung der Wägung wurden die Platten in der beschriebenen Weise an den Tauchstäben befestigt und alle zehn zunächst auf 40 Stunden völlig unter das Wasser getaucht. Am 20. Juli 1896, um 9 Uhr vormittags, begann, nachdem vorher sämtliche Platten wieder gehoben waren, die Einleitung, zunächst des CO_2 -Gases. Beim Heben der Platten stieg das Wasser in dem Sicherheitsrohr der Woulff'schen Flasche (hinter k) plötzlich um 2—3 cm, zum abermaligen Zeichen eines guten Schlußes aller Verbindungen. Nun wurde in thunlichst regelmäßigem Wechsel O_2 und CO_2 -Gas durch den Apparat streichen gelassen. Jedesmal, sobald eine solche Durchleitung beendet war, aber auch in der Zwischenzeit, in Intervallen von anfangs 5 bis 7, später 3 Tagen, wurden die Platten sämtlich getaucht, um die unter dem Einfluß der Gase entstandenen Neubildungen aufzulösen bezw. fortzuspülen und die Wassertränkung zu bewirken. Die Konstanz des Gasstromes wurde schätzungsweise durch Zählen der Gasblasen kontrolliert, die pro Minute aus einer Schale mit Wasser austraten, in welches eine an die Woulff'sche Flasche bei k angelegte Glasröhre eintauchte. Genauer erfolgte diese Kontrolle ab und zu dadurch, daß das Gas aus dieser Röhre in einen graduierten, in einer Schale mit Wasser umgestülpten, mit Wasser gefüllten Glaszylinder eintrat. Am 21. November 1896, früh 8 Uhr, war die letzte O_2 -Einleitung, welche den Schluß des ganzen Versuchs bildete, beendet. Die Gesamteinleitungsdauer hatte 2941 Stunden = 4 Monate $2\frac{1}{2}$ Tage betragen. Die leere O_2 -Bombe wurde entfernt, und die Flaschen wurden, nachdem vorher die Platten vorsichtig herausgenommen waren, zu weiteren Prüfungen aufbewahrt, zu welchem Ende ihre Gummischlauchstücke Glasstöpselverschlüsse erhielten. Die zehn Probepplatten wurden jede in eine besondere Krystallisationschale mit H_2O gebracht, wo sie einige Stunden unter mehrmaligem Wasserwechsel verblieben, um schließlich noch vorsichtig abgewaschen zu werden. Das Waschwasser einer jeden Platte kam in die betreffende Versuchsflasche zurück. Dann wurden die Platten zwischen Filtrierpapier vorsichtig abgetrocknet und zuerst einige Stunden in den Dampftrockenofen gebracht, worauf erst das eigentliche Trocknen in demselben Thermostaten bei 105°C . erfolgte, in dem die Platten vor dem Versuch gewesen waren. Tabelle II enthält die Anfangs- und Endtrockengewichte (Sp. 8 und 9), sowie die Gewichtsverluste, absolut und prozentisch (Sp. 10 und 11), und

giebt auch über die äußerlich sichtbaren, naturgemäß sehr geringfügigen Veränderungen (Farbenwechsel) der Platten Auskunft (Sp. 3). Während der ganzen Versuchszeit waren, bei nahezu gleicher Stärke des Gasstromes, durch den Apparat hindurchgegangen: 6810 l CO₂ (teilweise Inhalt zweier Flaschen) und 500 l O (Inhalt einer Flasche). Das Verhältnis der zur Verwendung gelangten CO₂-Menge zu der verwandten O-Menge oder auch — was dasselbe — das Verhältnis der gesamten Durchleitungszeiten beider Gase stellt sich hiernach wie 13,6 : 1.

Es ist also, im Verhältnis zum O, mehr als doppelt so viel CO₂ durch die Flaschen gegangen, wie es die Rechnung verlangte. Berücksichtigt man jedoch, daß der letzteren die Maximalwerte für α und ζ (FeO und FeS₂) zu Grunde gelegt waren, während die Durchschnittswerte für die 10 Schieferforten nur etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ hiervon betragen, so erscheint das tatsächliche Gasmenigenverhältnis 13,6 : 1 entschieden noch angemessener als das errechnete 6 : 1. Nach Tab. II sind von jeder Probeplatte statt des in Rechnung gesetzten Durchschnittsgewichts von 24 g nur 0,01 g durchschnittlich in Lösung gegangen, also ungefähr nur $\frac{1}{2400}$. Es hat somit ein nur ganz minimaler tatsächlicher Verbrauch an durchgeleiteten Gasen stattgefunden, nämlich von nur vielleicht etwa 24 cm³ CO₂ und von jedenfalls unter 4 cm³ O insgesamt oder etwa $\frac{1}{10}$ hiervon für jede Flasche. Zugleich ist dargethan, daß die in jeder Flasche befindliche Wassermenge von 295 cm³ auf alle Fälle auch zur Lösung und Entführung einer weit größeren Menge chemischer Neubildungen ausreichend war, wie sie tatsächlich stattgefunden haben werden. Denn nach obiger Rechnung wären nur $\frac{20200}{2400} = 8$ bis 9 cm³ Lösungswasser pro Flasche erforderlich gewesen.

Spalte 12 der Tab. II enthält die Gewichtsabnahme der Platten auf 1 m² Gesamtfläche berechnet, wobei jedoch wiederum die Bemerkungen auf S. 30 zu beachten sind. Die Zahlen der Spalten 13 und 14 sowie 15 entsprechen denen der Spalten 17 und 18 bezw. 28 und 29 sowie 19 und 30 der Tab. I. Die Werte φ haben hier jedoch selbstverständlich eine beschränktere Bedeutung und Verwertbarkeit, nämlich die von „Verwitterungskoeffizienten bei längerer (jedenfalls mehr als 1 Jahr dauernder) Einwirkung reiner, d. h.

rauchgasfreier Luft, mit Ausschluß von Temperaturschwankungen und Eisbildung, bei minimaler Wasserwirkung“. — Daß diese Zahlen (sowie die der Sp. 11) als maßgebend für eine längere, jedenfalls mehr als einjährige, atmosphärische Einwirkung anzusehen sind, darf daraus gefolgert werden, daß die Zahlen der Spalte 11 denen der Spalte 14 in Tab. I trotz des Fortfalls der Rauchgas- und Frostwirkung zc. ungefähr gleichwertig sind, die letzteren aber einer dreimal so langen Einwirkungsdauer entsprechen, wobei noch außerdem ins Gewicht fällt, daß der vorliegende Versuch wegen der vorherrschenden Dampfform des Wassers nur eine Minimal-Wirkung der Luftgase nachzubilden geeignet ist. Zugleich ergibt sich hieraus annähernd, in welchem Maße der hier beschriebene „künstliche“ Verwitterungsversuch die zur entsprechenden natürlichen Einwirkung erforderliche Versuchszeit abzukürzen geeignet ist. Man hat hiernach also zur Erzielung wägbarer und vergleichbarer Versuchsgrößen nicht nötig, zu der seither üblichen, aber verwerflichen Pulverisierung des Probenmaterials seine Zuflucht zu nehmen oder von Versuchen, wie der hier geschilderte, ganz abzugehen, etwa in der irrigen Voraussetzung, daß sie nicht zu wahrnehmbaren Ergebnissen führen möchten.

Nach ihrer Resistenz in rauchgasfreier Luft — unter Ausschluß von Frost- und Temperaturschwankungen — rangieren die 10 Schieferarten nach Spalte 13 der Tab. II (\varnothing) in der Ordnung:

b, i, h, a, g, k, f, d, e, c.

Weiteres hierzu bei den vergleichenden Betrachtungen im Abschn. VII.

II. Einwirkung von H_2O und O allein.

Die Einwirkung von H_2O und O allein auf alle zehn Schieferarten hätte Ergebnisse erwarten lassen, welche mit denen der Tab. II zusammengehalten, wertvolle Aufschlüsse, namentlich über das richtige Mengenverhältnis der Versuchsgase CO_2 und O , gewähren konnten. Leider aber mußte die entsprechende Versuchsreihe der zeitraubenden Wägungen halber und noch aus anderen Gründen unterbleiben. Indessen wurde doch wenigstens in einigen wenigen extremen Fällen eine Prüfung auf O - und H_2O -Einwirkung allein vorgenommen.

A. Einwirkung von H_2O und O -Gas.

Drei Schieferarten wurden derselben unterworfen und zwar waren dazu erwählt:

1. Eine auffallend knotige erzreiche Probe des sonst sehr geschätzten Hörre-Raumländer Dachschiefers (mit I bezeichnet),
2. eine stark knotige Probe von Ungers-Schiefer (mit II bezeichnet), im übrigen genau von der Sorte h,
3. eine Probe des vollständig FeS_2 -freien, jedoch Magnetit führenden Rimogne-Schiefers f (mit III bezeichnet).

Das Format der Probeplatten war auch hier $\frac{7}{8}$ cm. Dieselben wurden in Flaschen von ganz ähnlicher Einrichtung wie die der CO_2 -O-Versuchsreihe an Tauchstäben aufgehängt. Doch erfolgte hier die Einführung des Gases nicht durch das längere Knierohr z, sondern durch das kürzere a (s. Abb. 7), mit Rücksicht auf das geringe spec. Gewicht des O (im Gegensatz zu CO_2). Die drei Flaschen (s. Taf. III), unter sich durch Gummischlauchstücke verbunden, konnten an eine 10-Flaschen-Batterie angeschlossen werden, wie dies Taf. II zeigt. Es geschah dies jedesmal, so oft durch die letztere O hindurchgeleitet wurde, jedoch erst dann, nachdem hier die letzte Spur von CO_2 durch den O ausgetrieben war. Auch hier wurden die Platten von Zeit zu Zeit unter das in der Flasche befindliche H_2O getaucht. Nach Beendigung jeder O-Einleitung wurden die Röhren der Flaschen mittelst Gummischlauchstücken und Glasstöpseln gasdicht abgeschlossen bis zur nächsten O-Einleitung. Nach Abschluß der ganzen Prozedur, welche also stets ebenso lang wie die O-Einleitung bei der CO_2 -O-Versuchsreihe währte, wurden die Platten in der früher beschriebenen Weise sorgfältig gewaschen und bei 105° C. getrocknet; die entsprechenden Gewichtszahlen sowie die Anfangstrockengewichte, desgl. die Gewichtsabnahmen u. a. finden sich in Tab. III. Den Versuchsflaschen aber wurde je eine Probe der Tauchflüssigkeit nebst dem zurückgegebenen Waschwasser von 150 cm^3 entnommen und darin die aus dem FeS_2 der Platten gebildete und in Lösung gegangene SO_3 als Bariumsulfat bestimmt. Es ergaben sich für I, II III bezügl. die SO_3 -Mengen: 0,0020, 0,0018 und 0,0000 g; mithin waren in der ganzen Flaschenfüllung nebst dem zugehörigen Waschwasser, welche zusammen $310,275$ und 310 cm^3 betrug, die in der Spalte 6 der Taf. III angegebenen SO_3 -Mengen vorhanden. Daraus wurden weiter die entsprechenden zeretzten FeS_2 -Mengen der Platten (Sp. 8 der Tab. III) ermittelt, z. B. für I: $= 0,012 \cdot \frac{120}{2 \cdot 80} = 0,009 \%$, und endlich auch noch die zur Drydation des gelösten S

verbrauchten O-Mengen in cm^3 (Sp. 9), z. B. für I: = 0,0041 .
 $\frac{48}{80} \cdot \frac{1000}{1,43} = 1,72 \text{ cm}^3$. Im ganzen waren (wegen des Verbrauchs
in der Zehnflaschen-Batterie) etwas weniger wie 500 l O-Gas durch
den Apparat gegangen. Hiervon waren noch Spalte 9 zur Zersetzung
des FeS_2 , dessen S als SO_2 in Lösung ging, für die Platten I und
II zusammen nur $3,11 \text{ cm}^3$ verbraucht. Dazu kommt aber noch
die gleichzeitig, zur Oxydation des Fe, erforderlich gewesene O-Menge
und möglicherweise ebenso diejenige zur Zersetzung etwaiger weiterer
 FeS_2 -Mengen, welche in ungelöste basische Sulfate übergeführt worden
sein könnten. Doch ist von solchen Bildungen hier nichts bemerkt
worden. Außerdem ist natürlich ein weiteres O-Quantum für die
Platte III, entsprechend deren Gewichtsverluste 0,016, verbraucht
worden. Immerhin handelt es sich nur um einen Gesamtverbrauch
an O von jedenfalls unter 10 cm^3 . — Das äußere Ansehen der
Platten I und II hatte sich während des Versuchs so gut wie gar-
nicht geändert, das der Platte III in kaum bemerkbarer Weise; doch
fiel hier die ganz schwache Rötung der zu Tage liegenden Magnetite auf.

B. Einwirkung von H_2O_2 -Flüssigkeit.

Ich war auf den Gedanken gekommen, anstatt des O-Gases im
gewöhnlichen bzw. wassergelösten Zustande, wie unter A, einmal
nascierendes O zu verwenden, indem ich die Schieferproben I, II und
III der Einwirkung von Wasserstoffhyperoxyd aussetzte. Es wurde
demgemäß je eine Platte ($\frac{7}{3} \text{ cm}$) der vorgeprüften drei Sorten nach
vorheriger Trocknung und Wägung mittelst Platindrähten an den
Verschluß-Korken kurzer Standcylinder (vgl. Taf. III) aufgehängt,
in welchen sich je 200 cm^3 schwefelsäurefreie und auch sonst reine
drei(vol-)prozentige H_2O_2 -Flüssigkeit (von E. Merck in Darmstadt)
befand. Bei diesem Parallelversuch zu A erscheint — unter Aus-
schluß jeglicher fremdartiger Reaktionen — es kommen schließlich nur
O und H_2O in Betracht — lediglich die O-Wirkung auf die Platten
potenziert, nicht qualitativ geändert, so daß also hier die eingangs
dieses Abschnitts aufgestellten allgemeinen Versuchsbedingungen erfüllt
sind (und zwar liegt der extreme Fall gänzlicher Materialdurch-
feuchtung vor). Der Versuch begann am 12. April 1897. Am
6. November 1897, also nach ca. 7-monatlicher, genauer 208-tägiger
oder 4992-stündiger Versuchsdauer, wurden die Platten aus den

Cylindern entfernt, sorgfältig von den anhaftenden ungelösten Neubildungen befreit, gewaschen, getrocknet und gewogen. Die Versuchslüssigkeiten nebst den Waschwässern (zusammen 605, 600 und 600 cm³) wurden in wohlverschlossenen Kochflaschen zu weiterer Prüfung aufbewahrt. Über die während des Versuchs sichtbar gewordenen Veränderungen der Platten giebt die Tab. V, über Anfangs- und Endtrockengewichte und Gewichtsabnahme der Platten *z.* die Tab. IV Auskunft. Auch finden sich hier, ähnlich wie in Tab. III der Gehalt der Versuchslüssigkeiten an SO₃, die entsprechenden FeS₂-Mengen und endlich die zu deren Zersetzung erforderlichen Quanta von Versuchslüssigkeit. Jede der Versuchslaschen enthielt — hinreichend genau — $200 \cdot 0,03 = 6 \text{ g H}_2\text{O}_2$, mithin $6 \cdot \frac{16}{34} = 2,82 \text{ g}$ zur Drydation verfügbaren O. Hiervon und also auch von dem H₂O₂ wurde, wie die Zahlen der Spalten 5 und 9 der Tab. IV beweisen, nur ein kleiner Teil zur Drydation verbraucht, ein anderer Teil fand sich unverändert im Flascheninhalt vor, wie durch Prüfung mit Kaliumpermanganat dargethan wurde (eine Prüfung, die — weil das H₂O₂ die Anwesenheit von FeO ausschließt — zulässig). Keineswegs ist dies aber der ganze Rest des H₂O₂. Vielmehr ist der größte Teil desselben der Zersetzung, unter der Wirkung der Zimmerwärme und des Lichtes, denen die Flaschen etwa 7 Monate ausgefetzt waren, anheimgefallen, wobei der O durch die nicht ganz dichtschließenden, einigemal auch emporgetriebenen Korfen entwichen. Der weiße Beschlag der Platten I und II und der Bodenschlamm ist jedenfalls auf unlösliche basische Sulfate, der rostbraune Beschlag und die gleichfarbigen Protuberanzen sind auf Eisenorydhydratbildung zurückzuführen. Die Platten I, II und III sind — im gewaschenen und getrockneten Zustande nach dem Versuch — durch die Abb. 1, 2, 3 auf Taf. IV (etwas vergrößert) dargestellt. Die mächtigen Erzknotten der Platten I und II zeigen aufs deutlichste die Röntgen-Bilder, Abb. 3 und 4, Taf. XIX (in umgekehrter Lage wie auf Taf. IV). Der Magnetitgehalt von III ist sogar bis zur Erkennung der Krystallform aus dem Pyknogramm, Abb. 5, Taf. XIX, deutlichst ersichtlich.

Den Zahlen der Spalten 5 und 7 der Tab. IV zufolge, kommt weitaus der größte Teil des Gesamtgewichtsverlustes der

Platten I und II nicht auf Kosten des zersetzten FeS_2 , sondern der Oxydation anderer Schieferbestandteile, in erster Linie wohl des Kohlenstoffs. Darauf deutet auch schon die starke Gasentwicklung (s. Tab. V), welche zum großen Teil jedenfalls auf gebildete und entweichende CO_2 , wie auch der am Schluß dieses Abschnitt besprochene Versuch direkt beweist, zum anderen Teil allerdings wohl auf den entweichenden O des zersetzten H_2O_2 zurückzuführen ist. Die Flasche mit der C-freien Schieferforte III (oder f) zeigte nur eine sehr schwache Gasentwicklung. Die Oxydation des C der Schiefer I und II konnte durch den gewöhnlichen O in der kurzen Versuchszeit nicht bemerkbar werden, wohl aber infolge der längeren und energischeren Wirkung des O der H_2O_2 -Flüssigkeit. Viel leichter schon konnte durch das zugeleitete O-Gas die Oxydation des Magnetits (Fe_3O_4), durch den Farbenwechsel der betreffenden Stellen der Probeplatte angezeigt, und vielleicht einer gewissen Menge FeO der Schieferforte III zustande kommen. Es dürfte dies aus dem verhältnismäßig hohen, auf Rechnung jener Vorgänge zu setzenden Gewichtsverlust von 0,016 für Sorte III (s. Tab. III) hervorgehen, während derselbe für Sorte III bei der H_2O_2 -Versuchsreihe im Vergleich zu den Gewichtsverlusten von I und II (auch nach Abrechnung der zersetzten FeS_2 -Menge) verhältnismäßig gering (0,13) ist.

Das Hauptvergleichsergebnis der beiden Versuchsreihen A und B ist folgendes:

1. Die oxydierende Wirkung des O des H_2O_2 auf die Schiefer (und natürlich auch auf andere Gesteine) ist eine ungleich energichere wie die des gewöhnlichen O-Gases. Es stand dies allerdings zu erwarten, soll aber sogleich noch näher begründet werden. Die angewandte, stark verdünnte H_2O_2 -Flüssigkeit hat während der Versuchszeit auf die FeS_2 - und C-haltigen Schieferforten (I und II) eine etwa 25-mal, auf die FeS_2 - und C-freie Sorte (III) eine nur etwa 8-mal so starke Wirkung geäußert wie das gewöhnliche O-Gas. Da nun aber die Einwirkungsdauer der Flüssigkeit eine etwa 25-mal so lange war wie die des O-Gases (nämlich 4992 Stunden gegen $\frac{500}{7310} \cdot 2941$ oder 201 Stunden), so müssen, um Vergleiche ziehen zu können, jene Zahlen zunächst durch 25 geteilt werden. Da ferner die Versuchsflüssigkeit nur $\frac{3}{100} \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$ in jedem cm^3 enthielt, so

ist die Wirkung des O des unverdünnten H_2O_2 demnach auf das $\frac{25}{25} \cdot \frac{100}{3}$ oder $33\frac{1}{3}$ fache bzw. auf das $\frac{8}{25} \cdot \frac{100}{3}$ oder 10fache von der des gewöhnlichen O-Gases zu veranschlagen. Durch Wahl einer entsprechenden Konzentration der H_2O_2 -Flüssigkeit kann die Versuchsdauer beliebig abgekürzt werden. Die Zahlen der Spalte 9 der Tab. IV betreffend, berechnet sich beispielsweise diejenige für I (0,30), von dem SO_3 -Gehalt 0,007 der Versuchsflüssigkeit ausgehend, wie folgt: Zur Oxydation des FeS_2

$$\text{erforderliches O} = 0,007 \cdot \frac{48}{80} \text{ g,}$$

die demselben entsprechende Menge von

$$\text{unverdünntem } H_2O_2 = 0,007 \cdot \frac{48}{80} \cdot \frac{34}{16} = 0,0089 \text{ g.}$$

Von der Versuchsflüssigkeit (3%) sind daher annähernd $0,0089 \cdot \frac{100}{3}$ oder $0,30 \text{ cm}^3$ erforderlich gewesen. Da übrigens die Gasentwicklung bei I und II bald nach Beginn des Versuchs fast mit voller Stärke einsetzte und nur während eines kurzen Teils seiner Dauer anhielt, so ist die Zeit der eigentlichen Wirkung der H_2O_2 -Flüssigkeit wahrscheinlich viel kürzer, also die oxydierende Kraft des wasserstoffhyperoxydischen O noch viel bedeutender zu bemessen wie vorher gesehen.

2. Die oxydierende Wirkung der H_2O_2 -Flüssigkeit auf den FeS_2 ist bei I nur etwa 1,5-mal so stark gewesen wie die oxydierende Wirkung des O-Gases. Die durch O-Gas oxydierten FeS_2 -Mengen von I und II sind ungefähr gleich groß; die durch H_2O_2 oxydierten FeS_2 -Mengen von I und II verhalten sich dagegen wie 1:4. Der Widerspruch dieser Zahlen erklärt sich einfach durch die abnorme Heterogenität des Materials gleicher Sorte I und II in Bezug auf den FeS_2 -Gehalt, für beide Versuchsreihen. Es war unmöglich, in dieser Hinsicht auch nur annähernd gleichwertige Platten aus derselben großen Schiefertafel zu schneiden. Immerhin lehrt der Vergleich der Zahlenwerte 0,009 und 0,015 oder auch 0,011 und 0,060, daß die Zersetzung des FeS_2 nur langsam erfolgt. Die Vergleichung der Spalten 5 und 8 der Tabellen III und IV scheint weiter die Vermutung zu rechtfertigen, daß bei der natürlichen O-Einwirkung anfangs die Veränderung des FeS_2 und wahrschein-

lich auch die des sonst für resistenter geltenden Magnetits vorherrschen, später aber sonstige, z. T. vielleicht erst durch die Sulfatbildung eingeleitete Vorgänge entschieden die Oberhand gewinnen werden.

3. Im ganzen dürften die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen A und B, so gering ihre Kompetenz auch sein mag, doch wenigstens zu dem Schluß berechtigen, daß H_2O_2 als Versuchsflüssigkeit für FeS_2 - und sonstige, oxydable Bestandteile führende Schiefer, überhaupt Gesteine, sich ganz wohl eignet, namentlich, wenn die H_2O_2 -Flüssigkeit konzentrierter genommen wird, wie hier geschehen. Der Versuch erfordert allerdings längere Zeit wie eine einfache gewöhnliche FeS_2 -Bestimmung und giebt auch natürlich niemals den Gesamt- FeS_2 -Gehalt des Gesteins, dagegen liefert er ein, nicht nur auf die Zersetzung des FeS_2 beschränktes, sondern ein Bild des Erfolges der gesamten O-Einwirkung.

Die Versuchsflaschen sollten an einem dunkeln und kühlen Orte aufbewahrt werden. Der Vergleich der Gewichtsabnahme (0,016) von III nach Tab. III mit der von f (0,059) nach Tab. II endlich lehrt, daß die O-Einwirkung bei der Rimoguer Schieferforte f eine wichtige Rolle spielt; ihr Effekt ist etwa halb so groß wie der der CO_2 -Wirkung (= 0,059 - 0,016 oder 0,039).

Der oben (S. 70) erwähnte Versuch bestand in folgendem (s. Abb. 9).

Eine Probe des C-haltigen Schiefers wurde in einem Standcylinder a, ganz wie beim Versuche B, in der H_2O_2 -Flüssigkeit aufgehängt und das entweichende Gas durch eine leere tubulierte Erlenmeyer'sche Flasche b und hierauf in ein Kölbchen c mit $Ba(HO)_2$ -

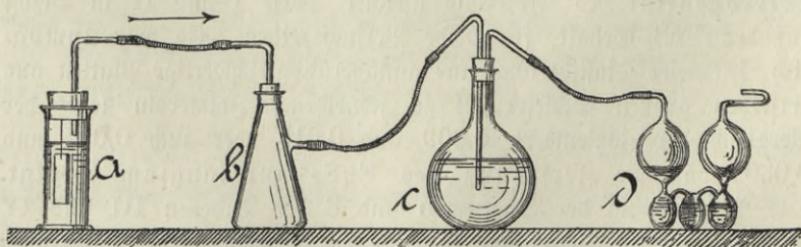


Abb. 9.

Füllung geleitet. Das etwa in der Flasche c nicht absorbierte überschüssige Gas konnte durch einen zur Abhaltung der äußeren Luft vorgelegten Kaliapparat d austreten. Nach einigen Tagen schon hatte sich in der Flasche b so viel CO_2 angesammelt, daß beim Eingießen von $\text{Ba}(\text{HO})_2$ ein starker, in HCl unter starkem Aufbrausen löslicher Niederschlag entstand. Auch in c hat die Flüssigkeit sich deutlich zu trüben begonnen. Der Beweis, daß die Gasentwicklung im Standcylinder, welche von der Schieferplatte ausging, wenigstens zum großen Teil von CO_2 herrühre, war hiermit erbracht.

IV. Abschnitt.

Künstliche Verwitterungsproben.

2. Einwirkung von Schwefliger Säure {Rauchgaswirkung}.

Die Fresenius'sche Schieferprobe in ihrer seitherigen Verwendungform sollte einer schärferen Prüfung auf ihre Kompetenz unterzogen werden, die sich außerdem vielleicht noch durch das Ergebnis der natürlichen Verwitterungsproben kontrollieren ließ. Gleichzeitig aber sollte sie, falls sich erweisen würde, daß sie ein zutreffendes Prüfungsverfahren auf Resistenz bei direktem Angriff von SO_2 allein darstellt, als ein Teil des gesamten, von mir zur Anwendung gebrachten künstlichen Prüfungsverfahrens gelten. Aus diesen Gründen und weil mir von jeher die Fresenius'sche Probe eines exakteren Vergleichsmaßstabs für ihre Prüfungsergebnisse unter sich sowohl als auch gegenüber anderen Proben zu ermangeln schien, wurden die 10 Probepplatten a, b, c . . . k der früheren Versuchsreihen hier nicht — wie bisher üblich — sofort in die Versuchsgläser gebracht, sondern vorher bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C . im Thermostaten getrocknet und hierauf genau gewogen, ganz wie bei den früheren Versuchsreihen. Die zehn Versuchsgläser (vgl. Taf. III) waren gleichgroße, glatte, 278 cm^3 fassende, gläserne Standcylinder von $25,5 \text{ cm}$ Höhe und 5 cm Durchmesser. Sie wurden mit je 100 cm^3 , mit SO_2 gesättigtem H_2O gefüllt und hierauf mit

gutdichtenden Korken verschlossen, in deren Mitte an einem ausgeglühten Platindraht die Probeplatten, genau in der im Abschn. III beschriebenen Weise, hingen. Dieselben befanden sich etwa in der Mitte zwischen Kork und Wasserniveau, waren also ringsum gleichmäßig von einem Gemische von SO_2 -Gas und Wasserdampf umgeben. Die Korken wurden durch Einlegen in Paraffin gedichtet. Zur Gewinnung des zu dem Versuche verwandten, mit SO_2 gesättigten H_2O wurde der Inhalt zweier zugeschmolzener Glasröhren mit flüssiger SO_2 benutzt (zusammen reichlich über 110 g). Die Röhre wurde an einem Ende geöffnet, in eine Kältemischung (Biehsalz und Schnee) gebracht und das langsam entweichende SO_2 -Gas mittelst Gummischlauch und Glasröhre in eine tiefe Flasche mit $1000 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ eintreten lassen. Das Einleitungsrohr reichte bis fast auf den Boden der Flasche. Die überschüssige SO_2 konnte durch eine zweite Durchbohrung des Flaschenkorkes entweichen. Es wären zur vollkommenen Sättigung des H_2O (1 l) gerade etwa 113 g SO_2 nötig gewesen, nämlich $2,862 \cdot 39,374$, da 1 l SO_2 -Gas 2,862 g wiegt und 1 l H_2O (bei 20° C.) 39,374 l SO_2 absorbiert. Die Füllung der Flaschen fand am 24. Juli 1896 statt und war um 9 Uhr vormittags beendet. Nach Verlauf einer Stunde zeigten sich die Platten mehr oder weniger stark mit Feuchtigkeit beschlagen. Die Versuchscylinder waren neben der Flaschenbatterie der CO_2 - O - H_2O -Versuchsreihe im Laboratoriums-Keller aufgestellt und wurden sehr häufig einer genauen Besichtigung unterzogen. Die Cylinder blieben jedoch fest verschlossen bis zum Abbrechen der ganzen Versuchsreihe. Die Ergebnisse der Besichtigung sind in der Tabelle VI zusammengestellt, wobei — ebenso wie bei Tabelle V zur H_2O_2 -Versuchsreihe — das Bestreben maßgebend gewesen ist, ein möglichst getreues und vollständiges Bild des Beobachteten zu bieten, soweit es in solcher Form und durch das bloße beschreibende Wort überhaupt möglich ist. Die Schwierigkeit, auf diesem Wege die Resultate der Beobachtung zu fixieren und für die Mitteilung an andere hinreichend klar und überhaupt Vergleiche ermöglichend darzustellen, zeigte sich hier in ihrem vollen Umfange. Und schließlich ist es doch nur der Beobachter selbst, der — nicht ohne unwillkürliche Benützung seines allmählich mehr und mehr erblaffenden Erinnerungsbildes — wirklich Vergleiche anzustellen wagen darf. Denn nicht alles läßt sich sagen, was er gesehen hat und selbst, wenn er alles dies sagen könnte, so vermöchte

es doch nicht den vollen Eindruck des wirklich Gesehenen zu ersetzen. Als willkommener Nothelfer tritt hier die bildliche Darstellung ein (vgl. Taf. IV). Die vollkommenste Beschreibung reicht in dieser Hinsicht nicht im entferntesten an die Klarheit, Schlagkraft und Brauchbarkeit heran, welche einfache nackte Zahlen bieten, die mit der Waage ermittelt werden konnten. Andererseits ist jedoch hervorzuheben, daß die letzteren eben nur für einen einzigen, nämlich den letzten Beobachtungsmoment gelten, während die Rubriken der einfachen Beobachtungstabellen die Fortschritte der Veränderungen an den Steinproben zu verfolgen und überhaupt die sichtbaren Unterschiede und den äußeren Charakter dieser Veränderungen, namentlich auch die verschiedenen Zeiten ihres Eintritts, zu erkennen gestatten. Freilich scheint dabei erforderlich, daß diese Veränderungen während des Versuchs auch denen in der Wirklichkeit völlig entsprechen. Am 27. November 1896, also nach ca. 4 Monaten, genauer 126 Tagen oder 3024 Stunden, wurden die Korke mit den daran aufgehängten Platten vorsichtig aus den Cylindern gelöst und entfernt. Die Platten wurden, jede in einer besonderen Krystallisationschale, äußerlich sorgfältig mit H_2O abgewaschen (ganz so wie bei den früheren Versuchsreihen geschehen) und hierauf wieder an den Korke in die, inzwischen der Versuchsflüssigkeit und des Schwefligsäuregases entledigten Cylinder zurückgebracht. Letztere wurden wieder sorgfältig verschlossen. Der Inhalt der Cylinder nebst dem Waschwasser der zugehörigen Platte sowie den bei der Entnahme und dem Waschen der Platten abgegangenen Theilchen derselben wurden in 10 Stehkölbchen von 350 cm^3 Inhalt untergebracht und die letzteren hierauf mit gutpassenden Korke sorgfältig verschlossen. Beim Umfüllen der Versuchsflüssigkeit in die Kolben fiel die ungleiche Intensität des Geruches nach SO_2 bei den einzelnen Flaschen auf, was mit dem ungleichen Verbrauch des Gases seitens der verschiedenen Platten zusammenzuhängen scheint, wenigstens stimmt es mit den übrigen Versuchs-Ergebnissen ziemlich überein. Sehr stark trat der SO_2 -Geruch z. B. auf bei b, i, h u. j. w., am stärksten wohl bei f, schwach bei e, etwas stärker bei k. Außerdem war beim Öffnen einiger der Probenflaschen mit sehr schwachem SO_2 -Geruch beim Umfüllen ganz deutlich ein Überdruck der äußeren Luft auf die Korke wahrzunehmen.

Auf Grund des Beobachtungsbefundes (s. Tab. VI sowie Taf. IV) lassen sich die geprüften Schieferarten hinsichtlich ihrer

Angreifbarkeit oder Widerstandsfähigkeit gegen SO_2 in drei Gruppen ordnen:

1. Zur Gruppe I, der am wenigsten resistenten, gehören die drei Sorten:

e, c und k;

2. zur Gruppe II die vier Sorten:

a, d, f und g;

3. zur Gruppe III die drei Sorten:

h, i und b.

Dabei entspricht auch innerhalb der einzelnen Gruppen die Aufzählung dem zunehmenden Grade der Resistenz oder dem abnehmenden der Zerstörbarkeit. Außerdem ist noch folgendes zu bemerken: Gruppe I ist vor den übrigen Gruppen scharf charakterisiert und ausgezeichnet durch die wirkliche und weitgehende Zerstörung des Zusammenhalts und der Form der Platten, die sich in völliger Spaltung, Verkrümmung und in entschiedenem Mürbewerden äußert, Erscheinungen, die bei Platte k nur später eintraten wie bei e und c. Bei der Gruppe II tragen die Veränderungen weit weniger den Charakter einer eigentlichen Zerstörung, mit Ausnahme allenfalls von Platte a, wo sich wenigstens der Beginn einer schwachen Spaltung zeigte, während die Ausblühungen hier am intensivsten und gleichmäßigsten über die Platte verbreitet, auch am lebhaftesten in der Färbung, auftraten. In zweiter Linie kommt in dieser letzteren Hinsicht Platte d und es könnten hiernach, wenn man in der Klassifizierung nach dem Augenschein noch weiter gehen wollte, a und d als Untergruppe allenfalls noch von f und g getrennt werden. Bei f beschränkten sich die Ausblühungen auf einige vereinzelt, kleine Stellen, während jedoch außerdem die Materialfarbe noch eine Bleichung erlitten hatte. Bei g war auch von solchen schon ziemlich unbedeutlichen Veränderungen nichts zu bemerken, dafür zeigte sich hier ein kleiner, jedoch die Neigung dieser Schieferorte zum Abschülfern deutlich kennzeichnender Defekt, verursacht durch ein in Ablösung begriffenes, aber vorsichtig davor bewahrtes Schüppchen von etwa $5/2$ mm Abmessungen. Dieses schon erwähnte Verhalten der betr. Angers-Schieferorte ist auch den Schieferdeckern wohl bekannt. Abgesehen hiervon, also lediglich nach seiner chemischen Resistenz gegen SO_2 , würde Sorte g augenscheinlich in die Gruppe III eingereiht und neben die Sorten h und i gestellt werden dürfen, welche letztere

nur noch von der Sorte b an Frische des Aussehens und allseitiger Intaktheit übertroffen werden. Aber auch die Platte b, welche hier nach fast noch eine Trennung von h und i beanspruchen könnte, zeigte, wie sämtliche Platten, wenn auch in minderm Maße, in der Umgebung der unteren Schmalseite, als dem dauernden Sitz des sauren Tropfwassers, eine merkliche Rauigkeit und Mattheit des Ansehens. Während der Aufhängung in den Probecylindern hatten die zehn Platten keinerlei oder doch nur solche feste Substanzverluste erlitten, die sich später als unwägbar erwiesen. Eine Ausnahme machte nur die Platte c, welche bei ihrer Neigung, im verwitterten, mürben Zustande zu pulvern, durch unvorsichtiges Anpendeln an die Cylinderwand sich unten etwas umgestülpt und ein wenig Substanz verloren hatte. Der Inhalt der oben erwähnten Stehkölbchen, bestehend aus Versuchslüssigkeit, Waschwasser der Platten und den Abgängen derselben, wurde filtriert und der jeweilige Rückstand auf einem, vorher bei 105° C. getrockneten und gewogenen Filter ebenfalls bis zur Gewichtskonstanz bei 105° C. im Thermostaten getrocknet. Die Trockengewichte der Rückstände zu c, e und k finden sich in Spalte Nr. 3 der Tab. VII, die übrigen erwiesen sich als unwägbar. Die Filtrate wurden in neue Kölbchen, ganz den früheren gleich, übergefüllt und darin vorläufig, mit guten Korken sorgfältig abgeschlossen, aufbewahrt. Sie waren vollkommen klar und rochen nur noch schwach nach SO_2 . Inzwischen waren die nach dem Waschen zunächst in den Versuchscylindern wiederaufgehängten Probeplatten zuerst langsam im Dampftrockenschrank (um Sprengungen u. s. w. vorzubeugen) und hierauf im Thermostaten bei 105° C. bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann gewogen worden. Die ursprünglichen und die neuen Trockengewichte der Platten sowie die Gewichtsverluste bezw. -zunahmen, absolut und in Prozenten der Anfangstrockengewichte, sind unter Berücksichtigung der erwähnten Plattenabgänge (bei c, e und k) in den Spalten 1, 2, 4 und 5 der Tab. VII angegeben. Vergleicht man nun die Ergebnisse der Wägung und Wiedewägung der Platten nach der etwas über $\frac{1}{4}$ jährigen Einwirkung der SO_2 , Spalte 5, mit dem Inhalt der Tab. VI, so ist zunächst ersichtlich, daß beide — wie natürlich — im großen und ganzen übereinstimmen. Im einzelnen zeigen sich einige, zwar nicht sehr erhebliche, aber nichtsdestoweniger bemerkenswerte Abweichungen und Unterschiede. Nach dem Grade ihrer Gewichtsveränderungen ordnen

sich die Probeplatten auf Grund der Tab. VII wie die nachstehende Übersicht zeigt:

c	e	k	a	d	i	h	f	g	b
+ 4,554	+ 2,002	- 4,796	- 3,453	- 2,858	- 1,946	- 1,173	- 1,076	- 0,762	- 0,669
fast 5% — und +			2 bis 5% —		1 bis 2% —		0 bis 1% —		

Ein besonderes Interesse nimmt dabei die Thatsache in Anspruch, daß die Platten c und e nicht wie alle übrigen Platten, eine Abnahme, sondern eine Zunahme ihres Gewichtes erlitten hatten. Es soll hierauf später zurückgekommen werden. c und e sind an die Spitze der Aufzählung, also auch über k, gestellt, weil die Gewichtszunahme, wenigstens bei dem vorliegenden Betrag, mit einer viel weitgehenderen Zerstörung verbunden war wie der Gewichtsverlust bei den betreffenden Platten. Dies trifft auch noch im Vergleich mit k zu, obgleich hier die Gewichtsabnahme numerisch die Gewichtszunahme von c und e um ein Erhebliches übertrifft. Denn der Defekt der Platte k ist entschieden geringer und die Spaltung trat, was hervorgehoben zu werden verdient, erst in der fünften Expositionswoche ein, während sie bei den beiden andern Platten bereits mit Beginn der zweiten Woche beobachtet wurde. Dies ist zwar auch in betreff der Platte a der Fall, doch kam die Spaltung hier bis zum Schluß überhaupt nicht erheblich über die ersten Anfänge hinaus und ist eigentlich kaum als eine solche zu bezeichnen. Im übrigen können auch hier mehrere Gruppen, mit allerdings mehr oder minder willkürlichen Grenzen, gebildet werden, etwa wie die oben angedeutete Zusammenstellung zeigt, Gruppe I umfaßt c, e, k und stimmt mit der früheren Gruppe I überein. Gruppe II umfaßt a und d und deckt sich vollständig mit der ersten Unterabteilung der früheren Gruppe II.

Die beiden andern Glieder der letzteren, nämlich f und g, erscheinen dagegen jetzt von a und d (durch i und h) getrennt und verteilen sich auf die beiden neuen Gruppen. Gruppe III umfaßt nämlich: i, h und f und Gruppe IV umfaßt: g und b. Außerdem haben h und i jetzt die Plätze vertauscht. Auch nach der letzten Zusammenstellung von oben behauptet der Thüringer Schiefer: Platte b, in Bezug auf Resistenz gegen die SO₂ unter den vorliegenden Versuchsbedingungen den ersten Rang unter allen Platten. Demnächst reihen sich die französischen Sorten (Rimogne und Angers) an; dann folgen: der

englische Schiefer i, der rheinische Schiefer d und der Moselschiefer a u. s. f.

Die im ganzen allerdings nicht großen Abweichungen zwischen den Ergebnissen des Augenscheins und der Prüfung mittelst der Wage lassen immerhin erkennen, daß eine zutreffende und präzise Wertbestimmung der Steinproben in der hier in Betracht stehenden Hinsicht eben doch nur durch das letztere Hilfsmittel möglich ist. Handelt es sich nicht gerade um weitgehende Zerstörungen wie bei den Platten c, e und k und allenfalls auch noch a, so sind bei der Beurteilung der Proben nach dem bloßen Augenschein Täuschungen möglich. So haben die Platten f und g, obwohl sie nach der Exponierung weniger frisch aussahen wie i und h, dennoch etwas geringere Gewichtsverluste aufzuweisen wie jene, ja derjenige der Platte i z. B. beträgt mehr als das $2\frac{1}{2}$ -fache von dem der Platte g. Ferner geht mit der Farbenveränderung von g, welche die der übrigen Platten, natürlich mit Ausnahme von c, e, k, a und d, merklich übertrifft, keineswegs eine entsprechend große Gewichtsabnahme Hand in Hand. Das maßgebende, weil entscheidende Prüfungsverfahren für Steinsorten von nicht gerade extremem Verhalten ist also, sobald genauere vergleichsweise Wertbestimmung gewünscht wird, nach dem Vorstehenden jedenfalls die Gewichtsprobe. Zum Vergleich ganz guter mit ganz leicht angreifbaren und zerstörbaren Sorten wird dagegen die Prüfung nach dem Augenschein meist hinreichenden Anhalt gewähren. Doch wird sich oft genug eben nicht im voraus bestimmen lassen, ob dieser Fall vorliegt oder nicht, und um sicher zu gehen, die Gewichtsprobe empfehlen. Dieselbe erfordert allerdings einen größeren Aufwand an Arbeit und Zeit für Trocknen und Wägen wie die andere Prüfung. Die Expositionszeit wäre dagegen dieselbe, ja sie könnte und müßte vielleicht sogar hier noch etwas kürzer angenommen werden, um Prüfungsergebnisse von gleichwertiger Deutlichkeit und Brauchbarkeit zu liefern. Die Gewichtsprobe liefert aber vor allen einen zuverlässigen Vergleichsmaßstab für die Prüfung, ohne dessen Anwendung die Angaben über das Verhalten der Steine doch immer mehr oder weniger in der Luft schweben und eine wirkliche exaktere, zahlenmäßige Vergleichung verschiedener Sorten doch niemals gestatten werden. Selbstverständlich müßten die von den verschiedenen Beobachtern inne zu haltenden Versuchsbedingungen jederzeit genau die gleichen sein, wie dies bei anderen Prüfungsmethoden, z. B. bei Cementprüfungen längst der Fall ist.

Es wäre also erforderlich, die Konzentration der SO_2 , die Expositionszeit der Platten, die Trockentemperatur u. s. w. überall und jederzeit genau übereinstimmend zu wählen. Auch über Format der Platten, Größe der Versuchsfラスchen und Füllung derselben zc. müßten einheitliche Bestimmungen getroffen werden. Endlich würde bei derartigen Prüfungen von Schiefen, um zunächst speziell von diesen Bausteinen zu reden, stets eine und dieselbe anerkannt widerstandsfähige Sorte, d. h. hier, eine Sorte von minimaler Gewichtsabnahme bei der Einwirkung der SO_2 , behufs Gewinnung einer Vergleichseinheit, zu Grunde zu legen und in einem Probestück stets wieder mit zu exponieren sein. Nehmen wir, in unserm Falle, als Vergleichsmaßeinheit den prozentischen Gewichtsverlust der Schieferprobe b, so ist die Resistenz der übrigen Sorten (mit Ausnahme von c und e) gegen SO_2 durch folgende Zahlen ausgedrückt:

Schieferorte	b	g	f	h	i	d	a	k	e	c
Angreifbarkeits- Koeffizient φ	1,0	1,1	1,6	1,8	2,9	4,3	5,2	7,2	—	—
Resistenz- Koeffizient ρ	1,0	0,91	0,63	0,56	0,34	0,23	0,19	0,14	—	—

S. auch Spalte 6 der Tab. VII. Somit wäre denn gezeigt, daß das Fresenius'sche Verfahren, in der hier geübten Weise, vergleichszahlenmäßiger Exactheit fähig ist. Vorausgesetzt war dabei bis jetzt stillschweigend, daß es an sich einwandfrei sei. Zum Abschluß und als eine mir wichtig genug erscheinende Ergänzung dieser Betrachtungen kann ich hier jedoch nicht unterlassen, eine Ansicht auszusprechen, die sich mir bei der Anstellung der Fresenius'schen Schieferprobe, ungeachtet des Rufes, den sie genießt und der Bequemlichkeit, die sie gewährt, stets aufgedrängt hat. Es wohnt derselben nach meiner Meinung etwas Fremdartiges inne, was der Wirklichkeit nicht ganz entspricht. Nicht nur, daß dem Grad nach die Veränderung der Schiefer beim Versuch die in der Wirklichkeit ungemein übertrifft — dies wäre unbedenklich und würde nur auf die erwünschte kürzere Versuchsdauer und erhöhte Deutlichkeit hinausführen — auch die Art der Veränderung ist, wie ich nicht zu behaupten anstehe, eine andere. Und dies ist eigentlich auch ganz natürlich. In der freien Luft kann sich das, überdies sehr verdünnte, SO_2 -Gas nach allen Seiten hin beliebig ausdehnen und ausbreiten, im luftdicht abgeschlossenen Versuchscylinder wirkt das konzentriertere Gas auf die

Platten unter einem, durch seine Absperrung bedingten, bedeutend erhöhten Druck ein, der mit zunehmender Temperatur sich steigert. Es tritt demnach hier zu der chemischen noch eine Sprengwirkung für die Platten hinzu und der Vorwurf, welcher gegen die CO_2 -Einwirkung unter erhöhtem Druck mit Recht erhoben wurde, bleibt auch der Fresenius'schen Probe nicht erspart. Jene Sprengwirkung, mit welcher sich allerdings die chemischen Veränderungen (s. unten) und wohl auch die sprengende Kraft der durch die SO_2 (bei den karbonatreichen Schiefen c und e) verdrängten CO_2 vereinigen, bekundet sich deutlich durch die energische Zerspaltung der Platten c, e, k (in geringem Grade auch von a) sowie überhaupt durch die ganze weitgehende Zerstörung und den Gewichtsverlust bzw. -zuwachs der Platten, die wiederum ohne die Spaltungen jedenfalls doch viel geringfügiger gewesen wären. Andererseits bringen die Spaltungsercheinungen am erweichten und durch die SO_2 mürbe gewordenen Schiefer natürlich auch den verschiedenen Grad der Spaltbarkeit der einzelnen Platten, natürlich nur der davon betroffenen, zum vergleichbaren Ausdruck (allerdings nicht der Spaltbarkeit des frischen, sondern des bereits korrumpierten Materials). Aber in Wirklichkeit wird eben bei dem fehlenden Gasdruck diese Spaltbarkeit niemals herausgefordert und die Fresenius'sche Probe zeigt etwas, was an dem, rauchgas-haltiger Luft ausgesetzten Schiefer niemals — durch diese allein — zustande kommt, und dementsprechend können auch die obigen, auf solchem Wege gewonnenen Vergleichszahlen, obwohl relativ richtig und zutreffend, nicht als ungetrübter Ausdruck der reinen SO_2 -Wirkung gelten. Überdies ist es doch auch noch zweifelhaft, ob das Zustandekommen chemischer Neubildungen bei dem Fresenius'schen Versuch demjenigen in der Wirklichkeit durchaus entspricht (vgl. weiter unten).

Eine andere Frage ist aber die, ob man die Fresenius'sche Probe vielleicht als eine hinreichend zutreffende Nachbildung der SO_2 -Wirkung, kombiniert mit der Frostwirkung, gelten lassen dürfte, welche letztere allerdings in ähnlicher Weise auf Sprengungen und Spaltungen des Materials hinarbeitet wie der erhöhte Gasdruck. Sichere Anhalte zur bestimmten Bejahung oder Verneinung dieser Frage stehen mir allerdings nicht zu Gebote, obwohl ich sagen muß, daß man auf Frostwirkung am sichersten und richtigsten immer mittelst wirklicher Eisbildung prüft. Auch scheint das Aussehen mancher, auch kalkhaltigen,

Schiefer mit ihrer feinklücherigen oder pulvernden Oberflächenbeschaffenheit und den kurzen dünnen Abblätterungen doch auf einen etwas andersartigen, vielleicht mehr von einzelnen Centren aus erfolgenden Eingriff hinzudeuten wie beim Gasdruck, der, gleichmäßiger, stärker und stetiger wirkend, wohl mehr durchgehende Spaltflächen schaffen kann. Indessen bin ich geneigt, dem Fresenius'schen Versuch in der gedachten doppelten Hinsicht in seiner ursprünglichen Gestalt — also ohne Wägung — seinen Wert als Faustprobe zuzuerkennen. Zur genaueren Prüfung halte ich jedoch nach dem Vorstehenden eine völlige Abänderung des Versuchs für unbedingt erforderlich, derart, daß das SO_2 -Gas durch eine Batterie von mit der Außenluft kommunizierenden Flaschen, mit Tauchvorrichtung für die Platten, ganz wie sie bei der CO_2 -Versuchsreihe (s. Abschn. III) zur Verwendung gelangte, hindurchstreicht und daß auch sonst genau so wie dort das Trocknen und Wägen der Platten vorgenommen wird. Oder aber: die gewogenen Probeplatten werden in getrennten offenen Flaschen der Einwirkung einer nicht allzu starken Lösung von SO_2 in H_2O längere Zeit ausgesetzt, getrocknet und wieder gewogen. Die Wirkung wird im letzteren Falle eine entschieden kräftigere sein, so daß die Versuchsdauer entsprechend abgekürzt werden kann. Unter Umständen, wenn nämlich die Veränderungen an den nur mehr mit der reinen SO_2 -Wirkung behafteten Platten nicht zu geringfügig erscheinen, kann dem Versuch — versteht sich immer nur nach längerer Wasserlagerung — der ordnungsmäßige Frostversuch auf dem Fuße folgen, um die Zugehörigkeit der Steine zur Gruppe II zu erhärten oder dieselben innerhalb dieser Gruppe genauer zu bewerten. Dieses Vorgehen wird jedoch nur dann als korrekt gelten können, wenn die Rauchgaswirkung auf die zur Prüfung stehenden Steine bei deren künftiger Verwendung (z. B. bei Feuerungsanlagen) die Wirkung der reinen Luftgase entschieden überwiegt. Es wird angezeigt sein, bei der vorbeschriebenen ersten Versuchsanordnung ab und zu einen schwachen O -Strom durch den Flaschen-Apparat streichen zu lassen und — behufs größerer Anpassung an die Rauchgaswirkung — bei beiden Anordnungen eine ganz geringe Menge HCl , dort in gasförmigem, hier in wässrigem Zustande, der SO_2 zuzusetzen.

Es erübrigt noch, auf die frühzeitige und ausgiebige Spaltung sowie auf die erwähnte bedeutende Gewichtszunahme der Platten

c und e näher einzugehen. Diese Erscheinungen möchten wie folgt zu erklären sein. Die beiden Schieferforten c und e zeichnen sich, wie die Analysen, s. Abchn. VI, III 2 A, lehren, vor den übrigen acht durch ihren bedeutenden Kalkgehalt aus. Bei der Einwirkung der SO_2 auf die Platten bildet sich daher neben den andern Sulfiten zunächst auch Calcium-Sulfit in nicht unbeträchtlicher Menge. Am Anfang der Einwirkung und auch später überall da, wo die SO_2 noch auf unberührte kalkhaltige Partien trifft, also das CaO noch vorherrscht, namentlich im Platteninnern, wird zunächst das neutrale oder sekundäre Salz oder CaSO_3 zu stande kommen, welches in H_2O schwerlöslich (1 T. Salz in 800 T. H_2O), in wässriger SO_2 aber leicht löslich ist. Bei fortgesetzter Einwirkung der SO_2 auf das neutrale Sulfit bildet sich nämlich das in H_2O leicht lösliche primäre Salz $\text{CaH}_2(\text{SO}_3)_2$. Da die Platten von der zur Lösung des gebildeten neutralen Salzes erforderlichen wässrigen SO_2 nicht direkt bespült wurden, sondern im wesentlichen nur den SO_2 - und H_2O -Dämpfen ausgesetzt waren, zeitweise auch sogar während des Versuchs ziemlich trocken erschienen, so hat sich jedenfalls vorwiegend das schwerlösliche sekundäre Kalksalz gebildet und nur eben das Tropfwasser konnte primäres, leicht lösliches Calciumsulfit abführen. Später beim Trocknen der Platten trat außerdem Zerfall des noch nicht entführten primären Sulfits zu neutralem und SO_2 ein. Mit der Bildung des sekundären Sulfits aber war notwendig eine Gewichtszunahme der betreffenden kalkcarbonathaltigen Platten verbunden, welche sich mit der Entnahme der Platten aus den Flaschen und während des nun folgenden Trockenprozesses infolge O -Aufnahme durch Umwandlung des Calciumsulfits in Calciumsulfat oder Gips noch erheblich steigerte. Denn die Molekulargewichte von CaCO_3 , CaSO_3 und CaSO_4 verhalten sich wie 100 : 120 : 136. Da jedoch zweifellos eine normale Gipsbildung, also die chemische Bindung von 2 Wassermolekülen stattgefunden hat — für die Platte c ist dies direkt erweisbar — so ist sogar mit 172 statt 136 zu rechnen. Von den (bezüglich der Eisenoxyde inkorrekten) Zahlenwerten der im Abchn. VI unter III 2 C gegebenen Analyse der Versuchslüssigkeit zu c ausgehend, läßt sich folgende, die Gipsbildung bei c immerhin noch näher beleuchtende Berechnung anstellen. Die schließliche Gewichtszunahme ist eine Folge der Aufnahme von SO_3 und H_2O bei der Gipsbildung gewesen. Bezeichnet man die noch unbekannte CaO -Menge des Schiefers,

welche in ungelösten Gips übergeführt wurde, mit x, so berechnet sich die aufgenommene SO_3 - sowie H_2O -Menge:

$$x \cdot \frac{80}{56} + x \cdot \frac{36}{56}$$

Durch diese ist nun zunächst der Gewichtsverlust der Platten seitens der in Lösung gegangenen Basen = 0,3468, sowie auch der von dem Entweichen der CO_2 bei der Bildung des gelösten wie des ungelösten CaO -Sulfats herrührende Gewichtsverlust ausgeglichen und endlich noch die schließliche Netto-Gewichtszunahme 1,1813 der Platte bewirkt worden. Die durch die SO_3 verdrängte gesamte CO_2 -Menge berechnet sich:

$$(x + 0,0804) \cdot \frac{44}{56}$$

und es besteht also die Gleichung:

$$\frac{x}{56} (80 + 36) = 1,1813 + 0,3468 + (x + 0,0804) \frac{44}{56}$$

woraus $x = \frac{56}{72} \cdot 1,5913 = 1,2377$ folgt.

Nach Vorstehendem betrug die Menge

1. des in Lösung gegangenen	CaO = 0,0804 = 4,0%	}	Gesamt-CaO ² der Menge der Platte
2. des zur Gipsbildung verwandten	" = 1,2377 = 62,0 "		
mithin 3. des überhaupt in chemische Aktion getretenen CaO = 1,3181 = 66,0%			

Endlich berechnet sich:

$$4. \text{ die Menge des chemisch unberührt gebliebenen } \text{CaO} = 1,9972 - 1,3181 = \frac{0,6791}{100} = 34,0\% \text{ desgl.}$$

Hiernach ist das 8,5-fache der Gewichtsmenge des gelösten CaO noch unberührt geblieben, mehr als das 15-fache davon aber zur Gipsbildung verwandt worden. Die Platte hat

$$1,2377 \cdot \frac{80}{56} = 1,7681 \text{ g } \text{SO}_3$$

$$\text{und } 1,2377 \cdot \frac{36}{56} = 0,7957 \text{ „ chemisch gebundenes } \text{H}_2\text{O}$$

aufgenommen. Die Menge des gebildeten Gipses betrug $1,2377 + 1,7681 + 0,7957 = 3,8015 \text{ g}$. Zu vollständiger Lösung derselben

wären etwa $1\frac{1}{2}$ Liter H_2O erforderlich gewesen. Alle diese Zahlen, welche deutlich genug sprechen, hat man bei der Erklärung der Sprengwirkung auf die Platte in Betracht zu ziehen.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse in betreff der Platte e.

Der Anteil der Neubildungen an der Sprengwirkung auf die Platten c und e und an deren Spaltung ist für den Anfang jedenfalls schon auf eine Volumvermehrung der Kalkpartien infolge der Umwandlung in Calciumsulfid zurückzuführen. Denn bei dem Mehrgewicht des letzteren würde, selbst bei gleichem spec. Gewicht desselben mit dem ursprünglichen Kalkcarbonat, eine Volumvergrößerung eingetreten sein. Das spec. Gewicht der Neubildung ist aber sicherlich ein weit geringeres gewesen wie das des Kalkcarbonats, welches, der mikroskopischen Untersuchung (Abschn. VI) zufolge, im krystallinischen Zustand in den Platten anwesend war. Später kam hierzu vollends noch die Gipsbildung. So trat denn eine durch das plötzliche Entweichen der CO_2 vielleicht schon vorbereitete Lockerung des Gefüges, und, bei der nicht großen Spaltfestigkeit (s. Abschn. V, A 1 II) der Platten c und e und dem erhöhten Gasdruck die schließliche Spaltung und völlige Zerstörung der letzteren ein (Abb. 7 u. 6, Taf. IV). Die eigentümlich kohlige Beschaffenheit der Platte k kam dadurch zustande, daß zwischen den äußerst reichlichen Kohlepartikelchen derselben die löslichen Sulfate, deren Gewicht das des unlöslichen Sulfids hier weit übertraf, ausgewaschen wurden. Bei c und e war jenes Verhältnis gerade das umgekehrte, aber bei k mochte, angesichts der noch geringeren Spaltfestigkeit (vgl. Abschn. V, A 1 II) dieser Schiefersteine, nachdem einmal erst größere Substanzverluste stattgefunden hatten, der Gasdruck zur Spaltung fast allein ausreichen. Hinsichtlich der bei dem Fresenius'schen Versuch sehr stark zu Tage getretenen Efflorescenzen und lebhaften Verfärbungen, namentlich auf Verbindungen des Fe zurückzuführen, sei auf die Tab. VI verwiesen (Bei a herrschte die Orangefarbe vor, bei d dieselbe, wechselnd mit zeisiggrün, k färbte sich dunkelrostbraun, ähnlich so, doch heller, e). Die Platte c zeigte sich nach dem Trocknen über und über mit sehr kleinen, weißlichen Pünktchen übersät, die sich unter dem Mikroskop und zwischen Nikols ganz deutlich als monokline Gipskryställchen zu erkennen gaben und auch die entsprechenden Reaktionen zeigten. Die Abb. 7, Taf. IV bringt diese Kryställchen, soweit sie der größeren Sorte angehören, deutlich zur Anschauung. Die kleineren und kleinsten

sind nur mit Lupe oder Mikroskop erkennbar. Bei e war von Krystallisation des Gipses mit bloßem Auge keine Spur zu entdecken, unter dem Mikroskop dagegen erwies sich die Schiefermasse als durch und durch mit Gips imprägniert, dessen Kryställchen jedoch nur sehr unvollkommen entwickelt und nur bei starker Vergrößerung überhaupt zu erkennen waren. Kleine Gipskryställchen in sehr geringer Menge sind übrigens auch bei k vorübergehend konstatiert worden.

Es ist im Abschn. II bereits vorgehend darauf hingewiesen, daß die festgestellten Gewichtsverluste der kalkhaltigen Schieferplatten sowie auch des Marmors bei der natürlichen Verwitterung auf eine vorwiegende bis ausschließliche Bildung primärer Sulfite und geringer, aber stetig entstehender und alsbald bei der Bildung sofort in Lösung gehender Sulfatmengen zurückzuführen sind. Als Bedingung hierfür, welche in Wirklichkeit aber eben meist erfüllt sein wird, war das Vorhandensein von genügenden Mengen tropfbarflüssigen Wassers — im Vergleich zur wirksamen Säuremenge — angegeben, wodurch das Zustandekommen oder doch Vorherrschende ungelöst bleibenden Gipses verhindert wird. Die hinreichende Begründung für alles dieses dürfte nun im vorliegenden Abschnitt erbracht sein. Zu erwarten wäre eine solche Gipsbildung nur bei Steinen mit größerer Anhäufung von Karbonaten und nur bei hinreichend trockener, konzentrierter Rauchgaswirkung, vielleicht auch bei mächtiger Verfugung. Natürliche Beispiele dieser Art bieten die Solfataren dar (z. B. die Solfatara von Pozzuoli bei Neapel). In solchen Fällen kann es denn auch leicht zu Sprengwirkungen am Gestein kommen, ganz ähnlich den bei dem Fresenius'schen Versuch an den Sorten c und e beobachteten. In den Fällen der gewöhnlichen haulichen Verwendung kalkhaltiger Steinforten, namentlich kalkhaltiger Schiefer, wird jedoch, nach allem Vorhergehenden, die Gipsbildung als zwar unter Umständen (größere Konzentration der Rauchgase bei verhältnismäßig geringer Wasserwirkung, starke Wasseraufsaugung seitens der Steine, namentlich im Stadium vorgeschrittener Verwitterung!) möglich, aber doch kaum der Regel gemäß anzusehen sein. Demnach erscheint es, wie bereits oben bemerkt, auch von diesem Standpunkt aus, einigermaßen fraglich, ob der Fresenius'sche Versuch in seiner üblichen Form als eine getreue Nachbildung der wirklichen Verhältnisse allgemein betrachtet werden darf.

Die Bestätigung der hier dargelegten Auffassung glaube ich

aus Beobachtungen an verwittertem, kalkhaltigen Schiefermaterial herleiten zu können. Hier nur ein Beispiel! Es betrifft das Verhalten eines Schiefers, welcher auf dem Dach eines Gebäudes in Marburg a. L. lange Jahre einer den Umständen zufolge jedenfalls stärkeren Rauchgaswirkung ausgesetzt gewesen war, wie sie für Wohnhauздächer gewöhnlich in Betracht kommt. Wer im vorliegenden Falle an dem Vorhandensein der Rauchgaswirkung zweifeln wollte, müßte sie wohl überhaupt bestreiten. Der Schiefer zeigt sich stark zerblättert und mächtig aufgespalten und zersprengt (s. Tafeln IX und X) und es könnte als Ursache hiervon Gipsbildung vermutet werden, da der Schiefer im frischen Zustande 7% CaCO_3 enthält. Allein es zeigte sich, weder auf der Oberfläche der Platten noch unter und zwischen den Spaltflächen, wo doch der Herd der sprengenden Gipsbildung zu suchen gewesen wäre, die geringste Spur von Gips, weder unter dem Mikroskop noch bei der chemischen Untersuchung. Und doch hatte der Schiefer im Laufe der Zeit $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ seines CO_2 -Gehalts eingebüßt, denn er enthält jetzt nur noch 2,4% gegen 3,1% früher, entsprechend nur noch 5,5% CaCO_3 jetzt, so daß also 1,5% CaCO_3 , oder 21%, teils als Bikarbonat, teils als im kleinen gebildetes und darum vollständig gelöstes Sulfat in Lösung gegangen und vollständig entführt worden sein müssen. Die starke Aufspaltung des Schiefers ist also trotz der reichlicheren Rauchgasmengen nicht durch Bildung ungelösten Gipses, sondern auf andere Weise zu erklären (s. Abschn. V, S. 119).

Übrigens hat man sich gegenwärtig zu halten, daß die SO_2 -Probe, in jeder Gestalt, niemals der gesamten Rauchgaswirkung, sondern nur einem Teil derselben, allerdings dem wesentlicheren und schwerwiegenderen, gerecht zu werden vermag. Die Rußwirkung bleibt unberücksichtigt und nur die direkte Rauchgasprobe oder der natürliche Verwitterungsversuch kann diesem Mangel abhelfen.

V. Abschnitt.

A. Petrographische Prüfung.

1. Physikalischer Teil.

Zur Erforschung des Zusammenhanges zwischen Wetterbeständigkeit und chemischer Zusammensetzung der Bausteine ist die gewichtsmäßige Feststellung ihrer Angreifbarkeit durch die Atmosphärien und der Vergleich dieser Zahlen mit der Steinsanalyse und dem petrographischen Befund unerlässlich. Soll daneben auch noch der (von den chemischen Veränderungen in Wirklichkeit untrennbare) Einfluß festgestellt werden, den die physikalische Beschaffenheit der Steine auf ihre Wetterfestigkeit ausübt, so bedarf es ebenso noch der Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der Steine, z. B. der Porosität, der Kohäsionsverhältnisse u. s. w. Gleichzeitig mit den in den vorigen Abschnitten geschilderten Prüfungen wurden daher noch die nachstehend beschriebenen Untersuchungen mit den 10 Schieferarten a bis k vorgenommen. Dieselben sollten z. T. außerdem bezwecken, das in meinem Kongreß-Referat (Ref. 1) auf S. 49 unter 2 a bis γ vorgeschlagene Prüfungsverfahren in einem bestimmten praktisch-wichtigen Falle einmal anzuwenden und festzustellen, ob dasselbe nicht vielleicht dazu dienen könne, charakteristische Unterschiede von Gesteinen, die bei der üblichen Porositätsprüfung verborgen bleiben, aufzudecken.

I. Porosität, spec. Gewicht.

Die Wasseraufnahme seitens der Bausteine vollzieht sich in dreifacher Weise:

1. Das tropfbar-flüssige Wasser wird durch die größeren Poren des Gesteins aufgenommen. Unter Poren werden Hohlräume, Spalten, kurz Unstetigkeiten der Gesteinsmasse irgend welcher Art infolge ihres Gefüges oder der Beschaffenheit ihrer Gemengteile verstanden.

2. Der Wasserdampf der Luft tritt durch die feineren Porenwege des Gesteins, welche den winzigen Dampfbläschen wegen ihrer Kleinheit und größeren Beweglichkeit noch den Durchgang gestatten, in das erstere ein und verdichtet sich hier vollends. Der Wasserdampf erfüllt aber auch die größeren Poren der Gesteine und kondensiert sich an deren Wandungen infolge molekularer Anziehung und nach Maßgabe der mehr oder weniger geringen spec. Wärme und des mehr oder weniger erheblichen Wärmeleitungsvermögens des Materials, ebenso auch an den dichten und glatten Stellen der Gesteinsoberfläche. Bei weitgehender Feinheit oder auch Spärlichkeit der engen Porengänge kann dann häufig die Aufsaugung des oberflächlich kondensierten Wassers nicht sogleich erfolgen. Am Gestein erscheint in diesem Falle der bekannte äußere Beschlag. — Von der physikalischen Hygroskopie zu unterscheiden ist die chemische, hier jedoch schwerlich in Betracht kommende.

3. In das Innere der Gesteinsmasse zwischen den größeren und feineren Poren dringt das auf die eine oder andere Weise aufgenommene Wasser weiter vor durch die Kapillarität der feinsten Öffnungen und Spältchen, deren Feinheit also dieses Vordringen begünstigt, sowie höchst wahrscheinlich auch auf rein intermolekularem Wege*).

Der unter 1 erwähnte Vorgang soll als Imbibition, die unter 2 vorausgesetzte Eigenschaft eines Gesteins als Hygroskopie bezeichnet werden, während die Gesamtwasseraufnahme (1 und 2) ein Maß für dasjenige abgibt, was als Wasserkapazität oder

*) Vgl. hierzu die interessanten Untersuchungen von Hoffmann „Über Wasseraufnahme von Gesteinen“ im Programm d. Gymnas. zu Würzen. 1890

Porosität im weitesten Sinne zu gelten hat. Hiernach wäre also zunächst 1. hygroskopisch- und 2. imbibitorisch-aufgenommenes Wasser zu unterscheiden und dieser Unterschied auch bei der Erforschung der Wasseraufnahmefähigkeit von Gesteinen zu berücksichtigen. Dem wird nun durch das von mir vorgeschlagene Verfahren Rechnung getragen, welches zur üblichen Bestimmung ad 2 noch die Bestimmung ad 1 hinzufügt und welches im folgenden beschrieben werden soll. Darnach wird zunächst

1. die Hygroskopie einer getrockneten Probe des Gesteins, also seine Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf aus der Luft bestimmt, wobei es mit ursprünglich tropfbar-flüssigem Wasser nicht in Berührung kommen darf. Erst nach eingetretener Wasserdampfsättigung beginnt

2. die Wasserlagerung und Imbibition, durch welche — abweichend von der üblichen Porositätsbestimmung — die Menge des tropfbar-flüssigen Wassers ermittelt wird, das außer dem hygroskopischen Wasser noch in das Gestein einzudringen und neben ihm im Gestein noch Platz zu finden vermag. Diese Wassermenge deckt sich keineswegs ganz mit der durch direkte Wasserlagerung des getrockneten Gesteins (also ohne vorherige Wasserdampfsättigung) festgestellten. Denn bei grobporigen Gesteinen werden die nach 2 zu ermittelnden Imbibitionszahlen — wegen des bereits vor der Wasserlagerung an den Porenwänden kondensierten Luftwasserdampfes — entsprechend kleiner ausfallen wie die durch den Imbibitionsversuch am getrockneten Gestein erhaltenen. Von den ganz feinen Porengängen darf angenommen werden, daß sie, von einer bestimmten Weite an abwärts, für das in den Stein aufzunehmende Imbibitionswasser bei beiden Modifikationen des Versuchs überhaupt gar nicht in Betracht kommen. Vgl. hierzu die schematische Abb. 10. Ich



Abb. 10.

erachte die hier durchgeführte Bestimmung der Wasseraufsaugung für eine der Wirklichkeit entsprechendere. Denn bei Bausteinen im Zustand der Verwendung kommt ein Aufsaugen von tropfbar-flüssigem Wasser (bei Regen oder bei Schneeschmelze) nach vorhergegangener völliger Trocknung wohl niemals vor. Nach der intensivsten, langandauernden Besonnung von Steinen wird, bevor der Regen eintritt, doch immer eine gewisse Durchfeuchtung der Luft stattfinden, die sich hygroskopischen Steinen leicht mitteilt. Immer besitzen die Steine also vor der natürlichen Imbibition ein gewisses, meist sogar sehr erhebliches Maß von Wasserdampfsättigung, wenn dasselbe auch selten gerade dem hier ermittelten Maximalbetrag entsprechen wird. Letzterer ist als Versuchsziel aber unvermeidlich, wenn der Versuch nicht willkürlich enden soll. Die durch 2 definierte Imbibition werde schärfer als (durch die Maximal-Wasserdampfaufnahme) „bedingte Imbibition“, die entsprechende Hygroskopie als „unbedingte“ bezeichnet. Das Gegenstück hierzu wäre: „unbedingte Imbibition“ (des getrockneten Probestücks) und durch sie „bedingte Hygroskopie“. Ein praktisches Beispiel hierzu würden jedoch höchstens einige ausnehmend bergnahe Steine unmittelbar nach der Lösung liefern können. Die Summe der gemäß 1 und 2 gewonnenen Zahlen für Hygroskopie und Imbibitionsfähigkeit, giebt das Maß der Gesamtwasseraufnahme, also auch der Porosität im umfassendsten Sinne, wiederum thunlichst entsprechend den Verhältnissen der Wirklichkeit: bei unbedingter (freilich maximaler) Wasserdampfsättigung. Da, wie schon bemerkt, in praxi die vollständige Wasserdampfsättigung von Steinen selten, richtiger gesagt: vielleicht niemals zu erwarten ist, so werden — wennschon andererseits auch die Imbibition niemals das im Versuch (unter der Luftpumpe) erzielte Maximum erreicht — die nach 1 gewonnenen Zahlen stets etwas zu groß, also die nach 2 erhaltenen etwas zu klein ausfallen. Wieviel im Durchschnitt oder in der Regel, das entzieht sich der Kenntnis und dürfte auch kaum durch Versuche eruierbar sein, könnte aber der Beurteilung doch vielleicht dadurch näher gebracht werden, daß man außer den Bestimmungen 1 und 2 noch die unbedingte maximale Imbibitionsgröße (am getrockneten Gestein) und die entsprechende bedingte Hygroskopie bestimmte und eine Art von Mittelwert aus beiden Grenzwerten bildete. Dieser zweite extreme Versuch, dessen Ausführung übrigens möglicherweise auf Schwierigkeiten stoßen könnte, ist im vorliegenden Falle unterblieben. Indessen sind

die nach 1 und 2 gewonnenen Versuchsgrößen und ihre Verhältniszahlen zur vergleichsweisen Beurteilung verschiedener, durch sie gekennzeichnete Gesteine fast genau ebenso brauchbar, wie sie es wären bei einer beliebig geringeren, von der maximalen nur nicht allzuweit entfernten Wasserdampfättigung der Platten. Es lehrt dies nämlich ein Blick auf die später zu besprechenden Schaulinien, Tafeln V, VI, VII. Hiernach nehmen die Platten, nachdem einmal ein gewisser Grad von Wasserdampfättigung erreicht ist, nur noch verhältnismäßig wenig und ganz allmählich weiter H_2O -Dampf auf. Ein mittlerer Durchfeuchtungsgrad steht also der Maximaldurchfeuchtung viel näher wie der Trocknung oder erst beginnenden Durchfeuchtung. — Der oben unter 3 erwähnten weiteren Fortbewegung des vom Gesteine einmal aufgenommenen Wassers brauchte im Versuch nicht besonders Rechnung getragen zu werden (was jedenfalls auch seine großen Schwierigkeiten haben würde), denn dieselbe kommt in den Zahlen für Hygroskopie sowohl wie für Imbibition in gleicher Weise, wenn auch allerdings implicite und nicht weiter ersichtlich, notwendig mit zum Ausdruck.

a. Der Porositätsversuch.

Die Einzelheiten der Versuche 1 und 2 waren die folgenden:

1. Es wurden wiederum 10 Platten der zu den Versuchsreihen der Abschn. II, III und IV verwendeten Schieferarten a, b . . . bis k vom Format $\frac{7}{3}$ cm bei 105° C. bis zur Gewichtskonstanz im Thermostaten getrocknet und zur Bestimmung der Hygroskopie unter eine geräumige Gysfikator-Glocke (Abb. 11) von 20 cm Durchmesser und 30 cm Höhe gebracht, auf deren Boden eine flache Porzellanschale mit H_2O aufgestellt war. Die Platten ruhten auf einem eigens zu diesem Versuche angefertigten zweietagigen Gestell (Abb. 12), von den Abmessungen 20/14/14 cm, welches selbst aus möglichst wenig hygroskopischem Stoffe hergestellt war. Es bestand aus verzinkten und außerdem noch mit schwarzem Glaslack angestrichenen, hinreichend starken Eisendrähten. Auf die wagerechten Stagendrähte des Gestells waren je vier Glasstäbe g mittelst sehr feiner Bindfäden zur queren Auflagerung der Probeplatten p befestigt. (Ein Gestell ganz und gar aus dünnen Glasstäben wäre vorzuziehen gewesen.) Der Rand der Glocke saß — ganz wie bei den früher verwandten Gysfiktoren — auf einer mattgeschliffenen Glasplatte luftdicht auf. Die Fuge wurde

sorgfältigst vertalgt. An den Seiten des Gestells waren Stücke Filtrierpapier aufgehängt, welche in stets wassergetränktem Zustande erhalten wurden.

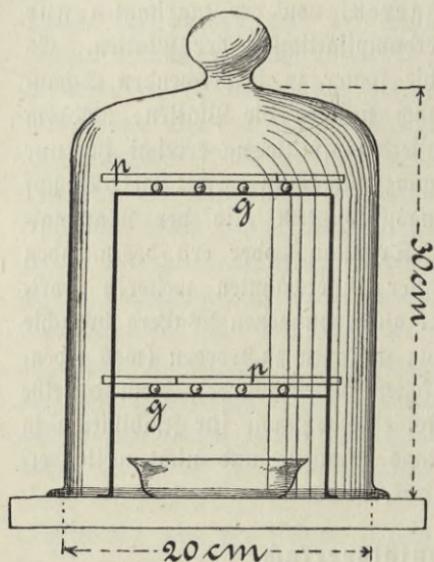


Abb. 11.

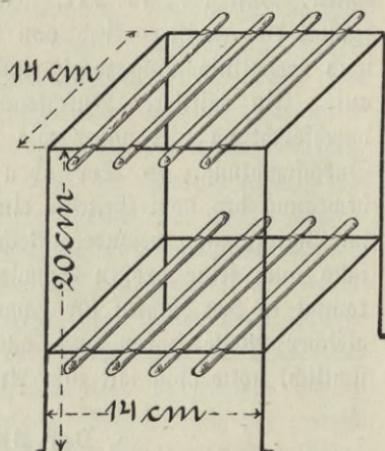
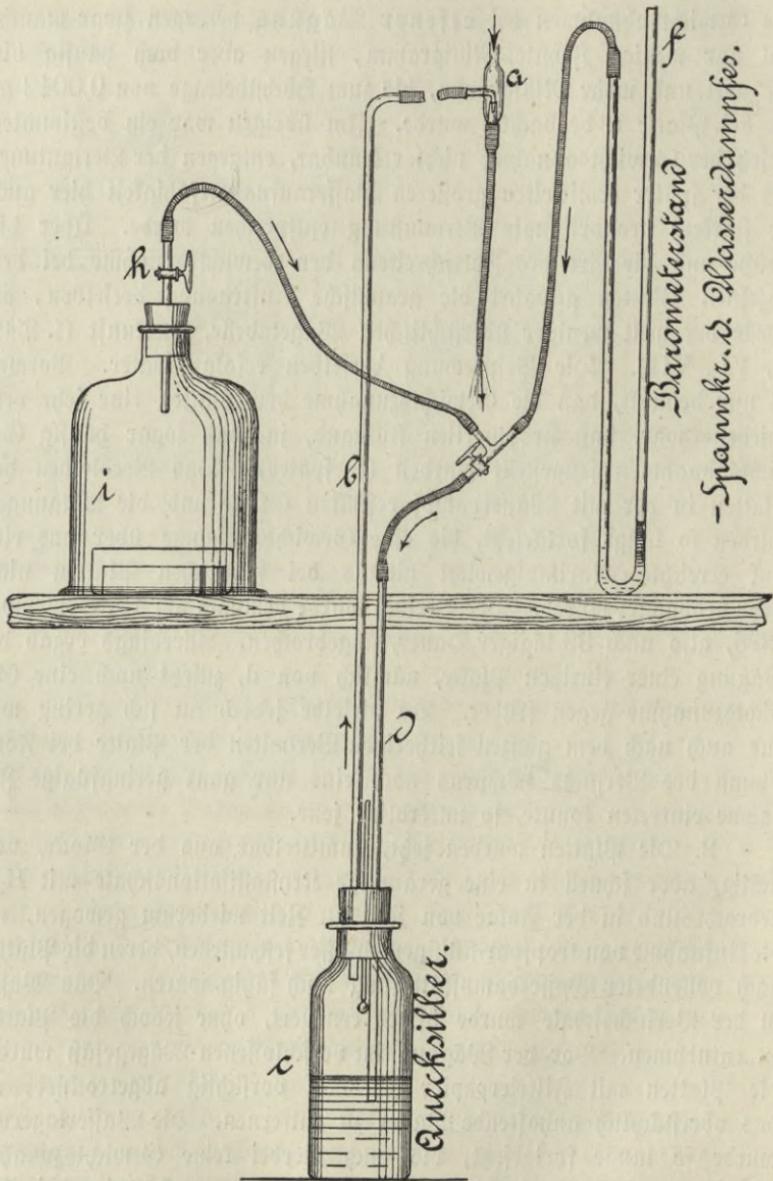


Abb. 12.

Am 4. August 1896, 10 Uhr vormittags, wurden die 10 Probeplatten auf das Gestell unter die Versuchsglocke gebracht. $1\frac{1}{2}$ Stunden später verriet die dunkler gewordene Färbung der Platten b und d bereits ihre beginnende Durchfeuchtung — warum bei b und d zuerst, vermochte ich nicht aus ihrem sonstigen Verhalten zu erklären —, auch bei den übrigen Platten war ein gleiches um 4 Uhr nachmittags zu bemerken. Interessant war das weitere verschiedene Verhalten der Platten während der Exposition unter der Glocke. Es zeigte sich nämlich schon vom 7. August 1896 an bei Platte i und kurze Zeit darauf auch bei den Platten f und h, sehr häufig, seltener bei g ein dichter Beschlag von feinen Wassertröpfchen, sodas diese Platten in solchem Falle vor dem Wägen stets erst mit Filtrierpapier vorsichtig abgetrocknet werden mußten. Auf diese Erscheinung wird später zurückzukommen sein. Die Wägungen wurden möglichst jeden Tag vorgenommen, wobei die Platten in einem flachen, luftdichtverschlossenen, vorher leer tarierten Wägegefäß auf die Wagschale gebracht wurden. Es hatte sich dies sehr bald als notwendig erwiesen, da die Wasser-

abdstung von den Platten ziemlich schnell und kräftig erfolgte. Die Gewichtsabnahmen bei offener Wägung betrug zwar manchmal nur wenige Zehntel-Milligramm, stiegen aber doch häufig bis auf zwei und mehr Milligramm, bis zum Höchstbetrage von 0,0042 g, der bei Platte a beobachtet wurde. Im übrigen war ein bestimmtes Gesetz der Gewichtsabnahme nicht erkennbar, entgegen der Vermutung, daß der später ermittelten größeren Wasseraufnahmefähigkeit hier auch die stärkere proportionale Verdunstung entsprechen werde. Über die Größe und die Art des Fortschreitens der Gewichtszunahme bei den einzelnen Platten gewährt die graphische Auftragung derselben, an Stelle der weit weniger übersichtlichen Wägetabelle, Auskunft (s. Taf. V, VI, VII). Die Besprechung derselben erfolgt später. Vorweg sei nur bemerkt, daß die Gewichtszunahme der Platten eine sehr verschiedene war, daß sie zuweilen stillstand, ja, daß sogar häufig Gewichtsabnahmen festgestellt wurden (s. später). Das Verbleiben der Platten in der mit Wasserdampf erfüllten Glocke und die Wägungen wurden so lange fortgesetzt, bis eine Gewichtszunahme über das einmal erreichte Maximalgewicht hinaus bei sämtlichen Platten nicht mehr beobachtet wurde. Der Versuch wurde demnach am 15. September 1896, also nach 39-tägiger Dauer, abgebrochen. Allerdings ergab die Wägung einer einzigen Platte, nämlich von d, zuletzt noch eine Gewichtszunahme gegen früher. Da dieselbe jedoch an sich gering war und auch nach dem ganzen seitherigen Verhalten der Platte bei Fortsetzung des Versuchs höchstens noch eine nur ganz geringfügige Zunahme eintreten konnte, so unterblieb jene.

2. Die Platten wurden jetzt, unmittelbar aus der Glocke, vorsichtig, aber schnell in eine geräumige Krystallisationschale mit H_2O gebracht und in der Folge von Zeit zu Zeit wiederum gewogen, um die Aufnahme von tropfbar-flüssigem Wasser festzustellen, deren die Platten nach vollendeter Wasserdampfsättigung noch fähig waren. Das Wasser in der Versuchschale wurde öfters erneuert, ohne jedoch die Platten zu entnehmen. Vor der Wägung im verschlossenen Wäagegefäß wurden die Platten mit Filtrierpapier jedesmal vorsichtig abgetrocknet, um das oberflächlich anhaftende Wasser zu entfernen. Die Wasserlagerung wurde so lange fortgesetzt, bis auch hierbei keine Gewichtszunahme der Platten mehr beobachtet werden konnte, was verhältnismäßig sehr bald eintrat. Der Versuch 2 wurde am 25. September 1896, also nach 10-tägiger Dauer, abgebrochen und es begann nun



Barometerstand
-Spannkr. d. Wasserdampfes.

Abb. 13.

2a. der letzte Teil der ganzen Arbeit: die Wasserlagerung der Platten in derselben Schale, jetzt aber unter einer evakuierten Glasglocke (s. Abb. 13). Die Entlüftung erfolgte mittelst einer gut funktionierenden Wasserstrahl-Luftpumpe a und zwar anfangs in der in Abb. 13 dargestellten Versuchsanordnung. Zwischen Pumpe a und Versuchsglocke i war ein Gefäß c mit etwas Quecksilber eingeschaltet, in welches das zur Glocke führende Glasrohr d eintauchte, während das zur Pumpe führende Saugrohr b oberhalb des Quecksilbers mündete. Das Gefäß c bezweckte, beim Abstellen der Pumpe etwa in den luftverdünnten Raum einstürzendes Wasser von der Glocke fernzuhalten. Vom 25. September bis zum 28. September 1896 waren die Platten unberührt in der Schale mit H_2O geblieben. Am 28. September begann das Evakuieren und nachdem die Wasserstrahl-Luftpumpe mehrere Stunden im Gange gewesen und der Hahn h geschlossen worden war, erfolgte die erste Wägung der Platten nach vorheriger Luftzulassung durch den Hahn h behufs Lösen der Glocke. Eine volle Stunde später, während welcher jene einfach, ohne Wiederholung der Evakuierung, im Wasser verblieben, fand eine Neuwägung statt. Dieselbe ergab genau dieselben Gewichtszahlen wie vorher, was selbstverständlich erscheinen könnte, wenn man es nicht für fraglich hält, ob nicht ein Teil des während der Evakuierung in die Porenräume der Platten noch eingetretenen Wassers infolge des das Wasser treffenden und bewegenden kräftigen Luftstroms beim unvermeidlichen Öffnen des Hahns h, vor Entnahme der Platten, wieder entwichen sein möchte. Indessen erscheint dies bei der nur momentanen Wirkung jenes Luftstroms, dessen Kraft noch überdies durch das Wasser gebrochen wird, sehr unwahrscheinlich und es könnte doch wohl nur für die Außenporen ein Losreißen von Wasserteilchen in Frage kommen, die aber sogleich durch neue ersetzt werden dürften. Jedenfalls bedingt die Dauer der Wägung für die bei luftgefüllter Glocke im Wasser lagernden Platten keine Fehlerquelle. Das Öffnen des Hahns behufs Entnahme der Platten aber ist nun einmal unvermeidlich. Das angeschlossene Quecksilbermanometer f zeigte bei längerer Thätigkeit der Wasserstrahl-Luftpumpe ziemlich genau den jeweiligen Barometerstand, vermindert um die Millimeterzahl, welche der Spannkraft des Wasserdampfes bei der in i und c herrschenden Temperatur entsprach. So zeigte z. B. am 28. September 1896 das Manometer 742 mm, das Barometer

759 mm, das Thermometer in i: 15,5° C. Die entsprechende Wasserdampfspannung betrug 13,1 mm. Also fehlten noch $759 - (742 + 13,1) = 3,9$ mm am Vakuum. Nach jeder Wägung wurde sofort wieder neu evakuiert und dann, nach Schließen des Hahns h, die Pumpe bis zur nächsten Wägung, vor der gleichfalls stets wieder evakuiert wurde, abgestellt. Im Verlaufe der Arbeit fand ein Ersatz

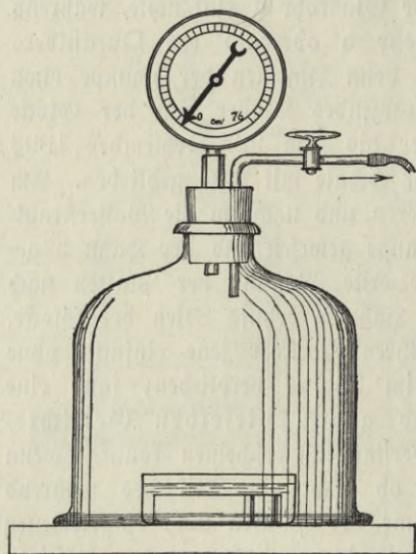


Abb. 14.

des Quecksilbermanometers durch ein handlicheres Blattfeder-Metallvakuummeter (von Schäffer & Budenberg in Magdeburg-Buckau) statt. Die Versuchsanordnung war jetzt einfach die durch Abb. 14 dargestellte, der Erfolg natürlich genau derselbe, nur daß infolge des Fortfalls von Undichtigkeiten nun die Evakuierung weit schneller und auch noch etwas vollkommener erfolgte. Am 5. Oktober 1896, also nach 7-tägiger Dauer, wurde der Versuch abgebrochen, da eine Steigerung des Wassergewichts nicht weiter zu erzielen war. Der Gesamtversuch hatte 58 Tage gedauert. Ich kann nicht unterlassen, einer Fehlerquelle zu gedenken, welche den Wägungen zu 2 und 2a eigentümlich ist. Ich meine das oberflächliche Abtrocknen der Platten mit Löschpapier nach der Entnahme aus dem Wasser vor der jedesmaligen Wägung. Aller Sorgfalt und Bemühungen ungeachtet, ergeben sich dabei notwendig Ungleichmäßigkeiten für die Wägeregebnisse. Indessen sind dieselben, bei flotter Ausführung der Manipulation, doch weit geringer, wie es den Anschein haben könnte und für die verschiedenen Platten von ziemlich gleichem Betrage. Ganz vermeiden werden sich diese kleinen Ungleichmäßigkeiten bei der fraglichen Methode niemals lassen, wohl aber können sie bei richtigem, schnellem Arbeiten auf ein vom praktischen Standpunkte zulässiges Minimum beschränkt werden. Ganz unabhängig davon ist man jedoch bei der Anwendung des, namentlich auch von Prof. Dr. Brunner in Lausanne zur Bestimmung des

des Quecksilbermanometers durch ein handlicheres Blattfeder-Metallvakuummeter (von Schäffer & Budenberg in Magdeburg-Buckau) statt. Die Versuchsanordnung war jetzt einfach die durch Abb. 14 dargestellte, der Erfolg natürlich genau derselbe, nur daß infolge des Fortfalls von Undichtigkeiten nun die Evakuierung weit schneller und auch noch etwas vollkommener erfolgte. Am 5. Oktober 1896, also nach 7-tägiger Dauer, wurde der Versuch abgebrochen, da eine Steigerung des Wassergewichts nicht weiter zu erzielen war. Der Gesamtversuch hatte

Zur H₂O-Säufpumpe.

Imbibitionsvermögens kultivierten Verfahrens. Durch dasselbe wird das Imbibitionsmaß jedoch bekanntlich nicht gewichtsmäßig, sondern durch die Höhe des Aufsteigens der Flüssigkeit in den mit den unteren Enden in Wasser tauchenden Schieferplatten festgestellt. Die Hygroskopie wird dabei natürlich nicht gemessen, obgleich sie auch hier eine gewisse Rolle spielt, da die Platten während der Imbibition immer etwas Wasserdampf aufnehmen werden. Das gedachte Verfahren ist höchst bequem und praktisch da, wo Prüfungen kurzer Hand in Frage stehen. Sogar gewisse Schlüsse auf das Gefüge der Schiefer läßt es bei Beachtung der Imbibitionskurven (Grenzlinien der Durchfeuchtungszone), auf welche Dr. E. Steiner, ein Schüler Brunners, hingewiesen hat, zu*).

b. Diskussion der Diagramme über die Wasseraufnahme der Platten.

Auf der Taf. V sind die Gewichtszunahmen der Platten, gegen das Anfangsgewicht am 5. August 1896, durch hygroskopisches und imbibitorisches Wasser, absolut dargestellt und zwar als Ordinaten (Maßstab: 3 mm \equiv 1 m g) aufgetragen, während die Abscissen die bis zum jeweiligen Beobachtungstermin verfloßene Zeit, vom 5. August an gerechnet, bedeuten (Maßstab: 3 mm \equiv 24 St., also 1 mm \equiv 8 St.). Dabei sind die Schaulinien für sämtliche Probenplatten so zusammengerückt, daß sie gemeinsamen Koordinatenanfangspunkt haben (5. August). Diese Darstellung gestattet z. B. ein Urteil über die verschieden große Gewichtszunahme eines Daches bei feuchter Luft und Regen, je nachdem mit der einen oder mit der anderen der zehn verschiedenen Sorten eingedeckt wurde (die hier vorliegende Plattenstärke dabei vorausgesetzt). Nach dem Schaulinienbilde Taf. V ordnen sich die 10 Schiefer in der genannten Hinsicht im wesentlichen in zwei Gruppen, deren erste die absolut mehr Wasser aufnehmenden Sorten a, e b und k umfaßt, während zur zweiten Gruppe die absolut weniger Wasser aufnehmenden Sorten d, h, g, f, c und i gehören. Auf Taf. VI stellen die Ordinaten der Schaulinien die Gewichtszunahmen der Platten gegen ihr Anfangsgewicht am 5. August 1896 oder auch, hier genau genug, die betreffende Wasseraufnahme

*) Ernst Steiner, Über die Analyse und Wertbestimmung der Dach-schiefer 2c., Inaug.-Dissertation 1896.

der Platten in cm^3 dar und zwar in Prozenten des Platten-
volumens*) und der Ordinatenmaßstab ist hier: $1 \text{ mm} \equiv 0,004 \%$
oder $1 \text{ cm} \equiv 0,04 \%$ oder $1 \text{ dm} \equiv 0,4 \%$, der Abscissenmaßstab
wiederum: $1 \text{ mm} \equiv 8 \text{ St.}$ Die Schaulinien sind hiernach für
sämtliche Platten so zusammengedrückt, daß sie gemeinsamen Koordinaten-
anfangspunkt, entsprechend der Wasseraufnahme am 5. August, haben
oder „conoriginal“ sind. Taf. VII endlich zeigt die Schaulinien
der vorigen Tafel, jedoch in unverrückter Lage, d. h. die Ordinaten
geben, im Maßstab $14 \text{ mm} \equiv 0,1 \%$ oder $14 \text{ cm} \equiv 1 \%$, die
Gewichtszunahmen der Platten gegen das Anfangstrockengewicht
oder auch, hier genau genug, die gesamte Wasseraufnahme der
Platten, wiederum in Volumprozent, an*). Abscissenmaßstab
wie auf Taf. V und VI.

Die Gestalt der Schaulinien betreffend, fällt sofort zweierlei
in die Augen. Zunächst zeigt jede einzelne derselben

1. im großen und ganzen einen ihr eigentümlichen und — im
Vergleich mit den anderen — die betreffende Schieferforte charakteri-
sierenden Verlauf. Nur das Ansteigen mit wachsenden Abscissen —
bis zu einer gewissen Grenze — ist allen zehn Schaulinien dabei
gemeinsam; Art und Grad des Ansteigens aber zu Anfang und
auch fernerhin sind ungemein verschieden, worin eben die Eigenart
der einzelnen Linien sich ausspricht. In letzterer Hinsicht gestattet
Taf. VI am leichtesten Vergleiche anzustellen. Voraussetzung dabei
ist allerdings ein ganz bestimmter Anfangs-Durchfeuchtungszustand
der Platten, nämlich der vom 5. August. Die Linien a, e, b und k
beispielsweise zeigen anfangs die gleiche, von den anderen Linien nicht
erreichte, Tendenz des Ansteigens, scheiden sich aber bald (etwa am
11. August) paarweise in zwei Gruppen: a, e und b, k. Beide
Linienpaare verlaufen — jedes für sich — ziemlich konform (abgesehen

*) Die Gleichsetzung von Gewichts- und Volumzahlen der Wasserauf-
nahmen der Platten ist natürlich nur annähernd richtig, weil die Temperatur
der hygroskopisch- und der imbibitorisch-aufgenommenen Wasserteilchen bei dem
Versuche mehr als $+ 4^\circ \text{C.}$ betrug und beständig wechselte, während das Platten-
volumen (s. Spalte 14, Tab. VIII) wiederum für eine andere bestimmte Temperatur,
am Schluß der Wasserlagerung, ein für allemal bestimmt wurde. Vgl. die Ab-
leitung des Porositätsmaßes unter d (S. 107). Die einzelnen Ordinaten der
Schaulinien auf Taf. VII sind die entsprechenden Maßgrößen für die betreffenden
Versuchsmomente.

von einzelnen stärkeren Erhebungen von a), bis etwa am 15. September abermalige Gabelung infolge ungleicher Elevation eintritt. Diejenige von a übertrifft schließlich die aller anderen Linien weit; d nimmt eine Mittelstellung unter den Schaulinien ein. Unter sich ähnliches, aber minderes Steigungsbestreben wie d zeigen die Linien f, h und g und endlich das geringste, unter sich ziemlich übereinstimmend, die Linien i und c.

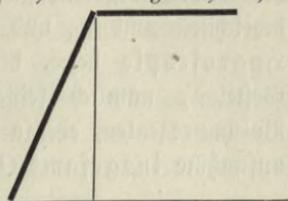
2. Neben jener allgemeinen und gemeinsamen Tendenz des Steigens treten bei allen Schaulinien gewisse Abweichungen von derselben, unregelmäßige Senkungen und Hebungen des Linienzuges auf, welche im Vergleich zu den unter 1. genannten Merkmalen als sekundär und nicht wesentlich sich darstellen. Dieselben zeigen nämlich bei aller Unregelmäßigkeit eine augenfällige Übereinstimmung. Die so ungleichen Hebungen oder Berge ebensowohl wie die Senkungen oder Thäler gehören bei allen Schaulinien, vom 5. August bis 15. September, doch fast durchweg denselben Ordinaten, also denselben Beobachtungszeiten an und sind folglich auf die gleichen äußeren, von der Beschaffenheit der Schieferarten unabhängigen Ursachen zurückzuführen. Fragt man weiter, welches diese Ursachen sein mögen, so sieht man sich in erster Linie jedenfalls auf die Temperaturschwankungen hingewiesen, welche eine wechselnde Größe der Verdunstung des Wassers unter der Versuchsglocke, insbesondere auch von seiten des benetzten Papiere bedingen mußten, vor allem aber, wie es scheint, auf folgendem Umstand. Bei jedem erheblicheren Niedergang der Zimmerlufttemperatur wird eine entsprechend stärkere Abkühlung der Wandung der Glasglocke und an derselben eine Verdichtung des in derselben eingeschlossenen Wasserdampfes stattgefunden haben. Die Folge davon wird eine Wasserabgabe der Platten nach der abgefühlten Glockenwand hin gewesen sein, der im Schaulinien-Bild wiederum ein Thal entsprochen haben mußte. Das innerliche Beschlagen der Glocke wurde denn auch öfters beobachtet, leider aber ist es unterblieben, hierüber, sowie über den Temperaturgang im Versuchszimmer (Wägeraum des chem. Instituts) Aufzeichnungen zu machen. Doch wird in letzterer Hinsicht auch schon die Kenntnis des Außenluft-Temperaturganges einigen Anhalt bieten. Auf der Taf. VI sind deshalb die Linien V und N der Tagesminima sowie maxima (am oberen Ende) aufgetragen. Ist die obige Erklärung richtig, so muß der Verlauf jener Linien mit den sekundären Hebungen

und Senkungen unserer Schaulinien übereinstimmen. Und in der That ist eine Konformität beider ganz unverkennbar, zumal wenn man berücksichtigt, daß für die Beobachtungen am Vormittag (meistens 9—10 Uhr) die Minima, für die am Nachmittag (meistens 4—5 Uhr) die Maximalinie maßgebend sein muß. Am 5, 8, 11, 15 und 28 August und am 10, 12. und 14. September hatten die Beobachtungen des Nachmittags, im übrigen des Vormittags stattgefunden. Ein unaufgeklärter Widerspruch zeigt sich eigentlich nur am 7. September, wo nach dem niederen Stand der Minima- und mehr noch nach der tiefen Senkung der Maximalcurve ein Schaulinienthal zu erwarten gewesen wäre. Nach dem Gesagten sind also die sekundären Teile der Figuration der Schaulinien eine Folge der Unvollkommenheit unserer Versuchsanordnung, und es müßte das Gesetz der Wasserdampfaufnahme durch die Platten jedenfalls ungetrübt und vollkommener zum Ausdruck kommen, wenn die Erhaltung einer vollkommenen Temperaturkonstanz während der Versuchsdauer gelingen würde. Dies ließe sich durch eine geeignete Umhüllung (Filtz, Asbestpappe, Infusorit, Korkplatten, Luftschicht etc.) wohl erreichen. Auch Unregelmäßigkeiten in der Benetzung des befeuchteten Papiere am Plattengestell u. a. mögen einen Einfluß in dem fraglichen Sinne geäußert haben.

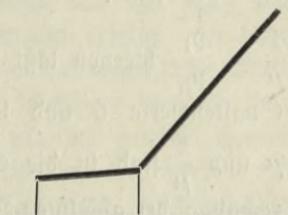
Was nun den wesentlichen Verlauf der Schaulinien betrifft, so würde derselbe in Bezug auf Wasseraufnahmefähigkeit vorläufig folgende Rangordnung der 10 Schieferforten ergeben. Es wird sich aber alsbald herausstellen, daß dieselbe einer wesentlichen Berichtigung bedarf. Obenan steht, alle anderen Sorten weit überragend, a. Dann würden, ungefähr gleichlaufend, b und e folgen. Hieran schlossen sich, durch etwa gleiche Abstände getrennt, k, d, c und h an. Zuletzt würden, einander wieder näher stehend, f, g und i folgen. Nach dem (unkorrigierten) Schaulinienbild sind a und i als Extreme gekennzeichnet, während d eine Mittelstellung einnimmt. Es werde nun noch die Beschaffenheit der Schaulinienteile vom 5. August bis 15. September und vom 15. September bis 5. Oktober mit einander verglichen. Da sich nach Beendigung der Exposition unter der Versuchsglocke, also in Folge der eingeleiteten Wasserlagerung, die Schaulinien für die meisten Platten auch noch fernerhin erheben, so müssen die betreffenden Schieferforten außer den feinen Porenräumen, durch die der Wasserdampf Eingang gefunden hatte, auch

noch Poren besitzen, deren Größe zur Aufnahme des gewöhnlichen tropfbarflüssigen Wassers hinreicht. Bei gänzlichem Fehlen solcher Poren, müßte die Schaulinie während der Wasserlagerung einen stationären (wagerechten) Verlauf zeigen: s. beistehendes Schema.

Bei gänzlichem Fehlen der Hygroskopie-Poren dagegen, müßte der anfangs matten Erhebung der Schaulinie, am 15. September ein scharfer Aufstieg folgen: s. Schema.



Die Schaulinien geben also ein anschauliches Bild von dem Grad der (unbedingten) Hygroskopie und der (bedingten) Imbibitionsfähigkeit des Gesteins und es wird also auch thatsächlich möglich sein, die relative Größe beider zahlenmäßig anzugeben.



Nach Taf. VII müßten die Schieferforthen i und g als rein hygroscopische bezeichnet werden, da das Ordinatenmaximum der betreffenden Schaulinien durch die Wasserlagerung keine Steigerung erfahren hat, ja die Schaulinien nach dem 15. September sogar einen erheblichen Niedergang zeigen. Dies ist aber nur scheinbar; denn während der Wasserlagerung haben die Platten sehr erhebliche Substanzverluste erlitten, deren Zahlenwerte aus der Tabelle VIII, Spalte 12 und 13 zu entnehmen und den während der Wasserlagerungsperiode erhaltenen Wägezahlen als Korrektive zuzulegen sind. Wie aber der Gesamtgewichtsverlust, z. B. für $a = 0,0137$, auf die einzelnen Wägungen zwischen dem 15. September und den 5. Oktober 96 zu verteilen wäre, entzieht sich freilich unserer Kenntnis. Aus diesem Grunde ist die Anbringung der Korrektive an den Schaulinien selbst auch unterblieben. Taf. VII zeigt dieselbe in der unverbesserten oder scheinbaren, also nur etwa bis zum 15. September richtigen Gestalt. Es ist aber klar, daß sämtliche Schaulinien vom 15. September an in Wirklichkeit ein stärkeres Aufsteigen zeigen müssen wie in der Darstellung auf Taf. VII. Auch die Linien für g und i erreichen nach dem 15. September einen höheren Stand wie der maximale in der Zeit vom 5. August bis 15. September. Die erwähnten Substanzverluste der Platten wurden durch Trocknen derselben bei 105° C nach beendigter Wasserlagerung, Wägung und Berechnung

der Gewichts-differenz gegen das Anfangs-Trockengewicht ermittelt. Es bezeichnen nun p_h und p_i das Maß der unbedingten (maximalen) Hygroskopie bezw. der bedingten Imbibitionsfähigkeit eines Gesteins, nämlich seine Wasserdampf- bezw. Wasseraufnahme in Volumprozenten, ebenso p das Porositätsmaß, d. h. die Wasseraufnahme insgesamt (H_2O -Dampf + tropfbarflüssiges H_2O), also

$p = p_h + p_i$. Das Verhältnis $\frac{p_h}{p_i} = \mu$ oder der reciproke Wert

$\frac{1}{\mu} = \frac{p_i}{p_h}$ hiervon läßt sich für unsere Schieferarten auf Grund der

Spaltenwerte 5 und 9 leicht unmittelbar feststellen. Die Werte

μ und $\frac{1}{\mu}$ sind in die Spalten 19 und 20 eingetragen. Die Be-

rechnung der absoluten Zahlenwerte von p_h und p_i erfolgt selbständig ganz ebenso wie die von p (s. weiter unten) oder aus p und μ , nämlich:

$$p_h = \frac{\mu}{\mu + 1} \cdot p \text{ und}$$

$$p_i = \frac{1}{\mu + 1} \cdot p.$$

Dieselben finden sich in den Spalten 17 und 18, die Werte von p in Spalte 16 der Tabelle VIII. Der Berechnung von p vorauszugehen hat:

e. Die Bestimmung des spec. Gewichtes

der Platten, weil dasselbe zu einer Korrektur bei jener Berechnung erforderlich ist, weniger um seiner selbst willen. Seine Bedeutung für die Untersuchung und Wertschätzung von Dachschiefeln und andern Gesteinen scheint mir überschätzt worden zu sein, ebenso wie, beiläufig bemerkt, die der Härte. Auch die Härte dürfte, ganz abgesehen von der geringen Zuverlässigkeit ihrer Bestimmung, an und für sich von nicht allzugroßer Wichtigkeit für die Schiefer sein. Vielleicht gestattet sie übrigens noch eine indirekte Verwertung als Indikator bei Bestimmung des Erweichungsgrades von Dachschiefeln. Kennzeichen, die innerhalb so enger Grenzen variabel sind, wie die Härte- und spec. Gewichtszahlen für Schiefer, können schon ihrer Natur nach nicht besonders charakteristisch und entscheidend für die Qualität der verschiedenen Sorten sein. Zudem giebt es gute und schlechte Schiefer von gleichem und ebensowohl gute und schlechte von gleichniedrigem spec. Gewicht. Endlich wird die Härte gerade beim

Schiefer in der Regel weniger in Anspruch genommen wie bei andern Steinen, in (unverputztem) aufgehendem Mauerwerk, nämlich wegen des hier energischeren Staubanschlags und sonstiger Angriffe z. B. bei Sockelsteinen, Gesims- und Gewändestücken, Säulen oder gar Treppenstufen u. s. w. Jedenfalls ist die Angabe des spec. Gewichts auf vier Dezimalen, die man oft findet, hier als praktisch ganz zwecklos zu entbehren und als theoretisch in vielen Fällen unsicher, auch nicht einmal erwünscht. Wir beschränken uns auf zwei, allerdings verbürgte Dezimalen. Die Bestimmung erfolgte auf hydrostatischem Wege an den vom Porositätsversuch her wassergesättigten Platten im unmittelbaren Anschluß an jenen. Der scheinbare Gewichtsverlust w der Schieferplatten im Wasser mußte, um die genaue chemische Wage benutzen zu können, in folgender Weise ermittelt werden. Die Platten hingen an feinem, ausgeglühtem Platindrath an einem hinter der Wagschale befindlichen Gestell mit verstellbarem Arm und wurden so in ein auf der Wagschale stehendes Gefäß mit Wasser eingesenkt. Die Gewichtszunahme beim Untertauchen wurde bestimmt und ergab nach Anbringung der Korrektur wegen des Auftriebs des mit eingetauchten Drahttheiles, die gesuchte Größe w . (Die Wasserverdunstung im offenen Gefäße konnte bei der Schnelligkeit der Wägung unberücksichtigt bleiben). Die Temperaturen der Luft während der Wägung der trocknen Platte und die des Wassers, in das die Platte während der Wasserwägung eintauchte, konnten als konstant und unter einander gleich (nämlich $t = 15^{\circ}$) angenommen werden. Ebenso war der Barometerstand b konstant = 767 mm anzunehmen. Zur Berechnung des spec. Gewichts Δ für 0° C wurde dementsprechend die in diesem Fall genaue Kohlrausch'sche Formel*):

$$\Delta = \left[\frac{m}{w} (Q - \lambda) + \lambda \right] \cdot (1 + 3 \alpha \cdot t)$$

benutzt, worin

m das scheinbare Plattentrockengewicht, w den Auftrieb der Platte (abzügl. Porenraum), Q die Dichtigkeit des benutzten H_2O , λ die Dichtigkeit der Luft während der Wägung	}	bei t° C
--	---	-------------------

*) R. Kohlrausch, „Praktische Regeln zur genauen Bestimmung des spec. Gewichtes“ in „Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg“ Bd. 8, 1857.

und α den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Schiefers bedeuten. Genaue Werte von α für die 10 Schieferforten waren nicht bekannt. Nach Einführung eines ungefähren Durchschnittswertes $\alpha = 0,0000104$ (s. Rankine, Handbuch der Bauingenieurkunst) ergab sich, daß der Faktor $(1 + 3 \alpha t)$ auf das Endergebnis bei nur zwei Dezimalen einen nur unmerklichen Einfluß übt und folglich vernachlässigt werden kann. Wir rechnen daher mit der Formel:

$$\Delta = \frac{m}{w} (Q - \lambda) + \lambda.$$

Die um den jeweiligen Auftrieb des eingetauchten Platindrahtteils bereits verminderten und wegen der Substanzverluste bereits rektifizierten Auftriebe, also die Volumina der Platten (jedoch einschl. Porenraum) sind in der Tab. VIII, Sp. 14 enthalten. Beispielsweise berechnete sich für Platte a die Größe:

$$w = 8,3943 - \frac{13 \cdot 0,57}{218 \cdot 21,5} + \frac{0,0137}{2,79} - 0,2649.$$

Glied 1 dieses Ausdrucks ist das noch nicht rektifizierte Volum der Platte; Glied 2 giebt den Auftrieb oder das Volum des eingetauchten Drahtstückes an (13 mm Tauchtiefe, 0,57 g Gewicht des ganzen Drahtes von 218 mm Länge, und 21,5 spec. Gewicht des Pt); Glied 3 stellt die infolge des Substanzverlustes der Platte (= 0,0137) erforderliche Korrektur dar. 2,79 ist das vorher provisorisch berechnete spec. Gewicht des Schiefers a. Das Schlußglied endlich ist der wirkliche Porenraum (aus Tab. VIII, Sp. 10), welcher bei der Angabe des Auftriebs der wassergesättigten Platten zuviel gerechnet war. Man hat also:

$$w = 8,398 - 0,2649 \text{ oder}$$

$$w = 8,1331$$

Da nun für $t = 15^{\circ} \text{C}$ und $b = 767 \text{ mm}$: $Q = 0,99915$ und

$$\lambda = 0,001237, \text{ also } Q - \lambda = 0,997913, \text{ ferner}$$

$$m = 22,7125, \text{ so folgt:}$$

$$\Delta = \frac{22,7125}{8,1331} \cdot 0,997913 + 0,001237 \text{ oder } \Delta = 2,79.$$

Die so ermittelten spec. Gewichte der 10 Schieferforten sind gleichfalls in die Tab. VIII, Sp. 15, eingetragen. Dieselben waren übrigens größtenteils auch auf pyknometrischem Wege bestimmt worden und zwar mit im ganzen befriedigender Übereinstimmung. Nach meinem Dafürhalten ist die hydrostatische Methode, zwar weit zeitraubender und mühsamer wie die andere, aber aus verschiedenen Gründen doch auch zuverlässiger.

d. Die Bestimmung des Porositätsmaßes p in Prozenten des Körpervolums einschließlich Porenraum.

Es bezeichne g_t den Auftrieb des porösen Körpers oder das Gewicht eines gleichgroßen Wasservolums (abzüglich des Porenwasservolums) bei der beliebigen Beobachtungstemperatur $t^{\circ}C$, g'_t das Gewicht des gesamten Porenwassers des Körpers bei $t^{\circ}C$. Dann hat man

$$p = 100 \cdot \frac{g'_t}{g_t + g'_t}.$$

Beweis. Es bezeichne zunächst p_0 die Porositätszahl wie oben, vorerst jedoch nur auf die Temperatur $t^{\circ}C$ bezogen gedacht, ferner l das Gewicht einer dem Körpervolumen bei $t^{\circ}C$ und l' das der dem Porenraum bei $t^{\circ}C$ gleichen Luftmenge, endlich Q die Dichtigkeit des Wassers bei $t^{\circ}C$. Dann wäre das wirkliche, d. h. im leeren Raum ermittelte Gewicht der dem Körper gleichen Wassermenge nicht g_t , sondern $g_t + l$ und das des Porenwassers nicht g'_t , sondern $g'_t + l'$, beides noch bei $t^{\circ}C$ gedacht. Für Wasser bei $4^{\circ}C$ stellen diese Gewichtszahlen zugleich die Raumzahlen dar. Für Wasser von $t^{\circ}C$ sind die jenen Gewichten entsprechenden Volumina: $\frac{g_t + l}{Q}$ und $\frac{g'_t + l'}{Q}$. Bei 0° statt t° Wasser- und Körpertemperatur würden diese Volumina ferner auch nur

$$w_0 = \frac{g_t + l}{Q} (1 - 3\alpha t) \text{ und}$$

$$w'_0 = \frac{g'_t + l'}{Q} (1 - 3\alpha t)$$

betragen, wobei α wieder den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Körpers bezeichnet. Ein poröser Körper verändert nämlich bei der Abkühlung sein Volumen derart, daß seine Porenwände dünner und zugleich seine Poren kleiner werden und folglich der gesamte Rauminhalt des Körpers abnimmt. Denn bezüglich der Poren wird der bekannte Satz von der Formänderung eines Hohlraums bei Temperaturwechsel zur Anwendung kommen: derselbe verhält sich dabei so, als wenn er mit dem Stoffe der ihn umschließenden Wandung erfüllt wäre. Bei der Berechnung einer Volumänderung des Gesamtporenraums des Körpers würde also mit α (hier für Schiefer) zu rechnen sein. Nun ist die fragliche Porositätsgröße, auf 0° bezogen:

$$p_0 = 100 \cdot \frac{w'_0}{w_0 + w'_0}$$

und es ergibt sich also, da $1 - 3\alpha t$ aus der Rechnung herausfällt, zunächst:

$$p_0 = 100 \cdot \frac{\frac{g'_t + l'}{Q}}{\frac{g_t + l}{Q} + \frac{g'_t + l'}{Q}}$$

Es stellen aber die Ausdrücke $\frac{g_t + l}{Q}$ und $\frac{g'_t + l'}{Q}$ auch zugleich die betreffenden

verdrängten Luftvolumina dar, also ist — wenn noch λ die Dichtigkeit der Luft bei t° C und dem herrschenden Barometerstand bezeichnet — $\frac{g_t + 1}{Q} \cdot \lambda = 1$ und $\frac{g'_t + 1'}{Q} \cdot \lambda = 1'$, also auch $1 = \frac{g_t}{Q - \lambda} \cdot \lambda$ und $1' = \frac{g'_t}{Q - \lambda} \cdot \lambda$. Nach Substitution dieser Werte für 1 und 1' in die obige Formel für p_0 vereinfacht sich dieselbe zu:

$$p_0 \text{ oder ganz allgemein } p = 100 \cdot \frac{g'_t}{g_t + g'_t}.$$

Denn diese Ableitung zeigt, daß es sich gleich bleibt, bei welcher Temperatur und welchem Barometerstand die Porositätsbestimmung vorgenommen wird, im Gegensatz zur Bestimmung des spec. Gewichtes.

Auf unser Versuchsmaterial angewandt, stellt sich beispielsweise für die Schiefersorte a die Rechnung wie folgt:

$$p = 100 \cdot \frac{0,2649}{8,398} \text{ oder}$$

$$p = 3,15 \text{ } \%.$$

Die so für sämtliche 10 Schiefersorten ermittelten Porositätsgrößen sind, wie schon bemerkt, in Sp. 16 der Tab. VIII zusammengestellt.

Die Ermittlung der Größen p_h und p_i ist bereits unter b besprochen. Als Beispiel soll dieselbe für Schiefersorte a hier Platz finden:

Es ist hier $p = 3,15 \text{ } \%$, $\mu = 3,5$ (Sp. 19), also $\mu + 1 = 4,5$ und

$$p_h = \frac{3,5}{4,5} \cdot 3,15 = 2,45 \text{ } \%$$

$$p_i = \frac{1}{4,5} \cdot 3,15 = 0,70 \text{ } \%$$

e. Vergleichung der 10 Schiefersorten auf Grund der Werte für p_h , p_i und p .

Zuvörderst soll hier noch eine auf die Schaulinie der Taf. VII bezugnehmende Bemerkung Platz finden. Vor den übrigen Schaulinien zeichnen sich die von c und d durch die Flachheit ihrer Berge und Thäler aus; namentlich zeigt die Linie c (vom 5. August bis 15. September) einen auffallend ebenmäßigen Verlauf, viel weniger regelmäßiger ist derselbe schon bei b, h und k, am ausgesprochensten aber erscheint die Berg- und Thalbildung bei a, sodann auch bei f, g, i. Die Erklärung für dieses ungleiche Verhalten der betreffen-

den Platten ist nicht leicht. Durch die Beschaffenheit der Größen p_h , p_i und p kann es nicht bedingt sein, wie z. B. ein Vergleich dieser Zahlen für a und i zeigt. Es ist also unabhängig von der Größe des gesamten Porenraums (der feineren sowie auch der größeren Poren). Folglich dürfte, da das fragliche verschiedene Verhalten der einzelnen Steinforten doch natürlich in ihrem Gefüge und in der Art ihres materiellen Aufbaues begründet ist, nur noch die Annahme übrig bleiben, daß seine Ursache in dem ungleichen gegenseitigen Verhältnis von Zahl und Größe der Poren selbst für die einzelne Platte, sowie auch vielleicht in deren Gestaltunterschieden zu suchen sei. Die Schiefer c und d nehmen augenscheinlich den Wasserdampf schwerer und langsamer (obwohl in teils größerer, teils geringerer Gesamtmenge) auf wie die anderen Sorten und geben ihn entsprechend auch wieder schwerer und langsamer ab, halten ihn zäher fest. Ihre hygroskopischen Porengänge sind vermutlich weit feiner und enger, aber dafür auch weit zahlreicher, so daß schließlich doch der vorhandene, recht erhebliche Gesamtporenraum zustande kommt, wie bei den andern Platten. Bei a sind im Gegenteil vermutlich auch die feineren Porengänge geräumiger und daher wasserdampfaufnahmefähiger, dafür aber entsprechend weniger zahlreich.

Nach den Zahlenwerten der Größen p_h und p_i und p sowie von μ oder $\frac{1}{\mu}$ ergibt sich zunächst, daß sämtliche 10 Schieferarten vorwiegend hygroskopischen Charakter besitzen. Am entschiedensten tritt dies bei h , b und d zu Tage, auch bei k und a erheblich. Bei f ist das Überwiegen des hygroskopischen Charakters nur noch ein minimales, hier halten sich Hygroskopie und Imbibitionsfähigkeit fast das Gleichgewicht. Das Hervortreten des imbibitorischen Elementes sogar bei g ist hier wahrscheinlich, bei f sicher, auf die schülfrige, schuppende Natur dieser zwei Schiefer zurückzuführen. Vermutlich sind hierfür ausschlaggebend die flachen Öffnungen unter und zwischen einzelnen mehr oder weniger vorgebildeten Schuppen, bereits weit genug, um Teilchen des tropfbar-flüssigen Wassers aufzunehmen. Übrigens sind die beiden Sorten f und g neben i auch absolut die am wenigsten hygroskopischen und nach i überhaupt die dichtesten von allen. Denn, absolut genommen, ist die Imbibitionsfähigkeit von f doch nur eine kaum mittlere (0,35 % gegen 0,70 in maximo bei a und 0,08 in minimo bei h) und die von g noch geringer. Die

absolut geringste Imbibitionskraft besitzen h und i, dann folgen der Reihe nach g, d, c, f, b, k, e, a. Die Imbibition von a (0,70 %) übertrifft die der meisten Sorten weitaus, nur die von e kommt ihr einigermaßen nahe, die von k stellt den Mittelwert dar. Die absolut stärkste Hygroskopie weist auf a, alle anderen Sorten weit überragend (es ist p_h für a z. B. gleich dem 5—6-fachen des Wertes für f), dann folgen e und b mit ungefähr gleichem Betrage, daran reihen sich k, d, c, h, g, f, i. Die absolut geringe Hygroskopie von f, g, h und i gab sich am Anfang der Versuchszeit vom 5. August bis 15. September deutlich durch das schon erwähnte starke Beschlagen und Schwitzen der Platten zu erkennen (vgl. S. 94). Die feinen Porenräume und -gänge konnten den aufzunehmenden Wasserdampf nicht mehr bewältigen, was die Kondensation desselben schon auf den Steinoberflächen zur Folge hatte. Nach der Gesamtporosität endlich rangieren die Schiefer in der Ordnung:

a, e, b, k, d, c, h, f, g, i.

Aus dem Vorstehenden wird zu entnehmen sein und in Abschn. VII wird es sich bestätigen, daß das geschilderte Prüfungsverfahren doch noch zu gewissen etwas weitergehenden Schlüssen über die physikalische Natur und Eigenart von Bausteinen zu führen geeignet ist wie sie die übliche einfache Porositätsbestimmung und auch die Untersuchung mittelst Lupe und Mikroskop gestatten. Die Aufschlüsse über das Steingefüge an sich, welche die Methode gewährt, mögen allerdings an sich vorerst noch ziemlich gering erscheinen; sie werden sich aber — zumal bei entsprechender Verbesserung der Methode — im Verein mit anderweitigen Forschungsergebnissen sicherlich als von nicht zu unterschätzendem Nutzen und Wert erweisen (vgl. die Verwertung der Größe p_h , p_i und p im Abschn. VII). Für die Erweichungsfähigkeit und die Frostgefährlichkeit der Steine, insbesondere der Schiefer, erscheint allerdings zunächst nur das eigentliche Imbibitionsvermögen derselben maßgebend und darum dessen einfache übliche Bestimmung hinreichend zu sein. Indessen werden die Hygroskopie-Poren durch Erweiterung infolge Auslaugung und Verwitterung mit der Zeit zu Imbibitionsporen. Zum Zweck einer richtigen Beurteilung des Zusammenhangs zwischen Frostgefahr und den Porositätsverhältnissen von Gesteinen müßte vor allem über zwei Punkte Klarheit herrschen:

1. müßte die Minimalporengröße bekannt sein, bei der im Gesteine noch Eisbildung erfolgen kann,

2. müßte man über ein Verfahren verfügen, die Porengröße bei Gesteinen zu bestimmen.

Es sind somit der Forschung zwei sich ergänzende Aufgaben zur künftigen Inangriffnahme gestellt, welche sicher zu den wichtigsten und dringlichsten gehören, die es für die Kenntnis und Beurteilung der Bausteine und ihrer Güte geben mag. Vielleicht enthalten die Unterscheidung von Hygroskopie- und Imbibitions sporen und der entsprechende Doppelversuch bereits die Keime zu einer näherungsweise Lösung des Problems Nr. 1, indem sie gleichzeitig genaueres Eingehen auf Nr. 2 entbehrlich machen. Denn es ist mehr wie wahrscheinlich, daß in dem Maße als die Hygroskopie über die Imbibitionsfähigkeit vorherrscht, auch die Eisbildung zurücktritt, bis sie zuletzt ganz ausgeschlossen erscheint. Die Größe μ kann also zu negativen Aufschlüssen verhelfen. Aber nicht Imbibitions sporen jeder Weite werden die Eisbildung zulassen. Wo ist hier die Grenze?! Nach dieser Richtung hin sind weitere Forschungen vonnöten.

II. Spaltfestigkeit etc.

Eine Art von Festigkeitsprüfung scheint mir bei dem Dachschiefer bis jetzt ganz vernachlässigt zu sein; wenigstens habe ich keine dahingehörigen Angaben gefunden. Es ist dies die Prüfung auf „Spaltfestigkeit“. Ich verstehe darunter den größten Widerstand in kg/cm^2 , welcher auf der Trennungsfläche einer (nicht zu dünnen) Schieferplattenprobe bei der Spaltung mit Hilfe eines Keiles überwunden wurde. Selbstverständlich ist, aus Gründen der Gleichmäßigkeit und Einfachheit, bei allen vergleichenden Spaltfestigkeitsprüfungen derselben Versuchsreihe derselbe Keil, d. h. ein Keil von gleichem Anlauf oder Winkel zu benutzen und ebenso sollen dabei die Probenplatten genau gleiche Höhe, Breite und Dicke besitzen. Bei den von mir an Schiefeln angestellten Spaltversuchen wurde das Format $\frac{7}{8}$ cm beibehalten. Die Platten erhielten die Stärke 3,7 mm (im Durchschnitt). Eine absolute Übereinstimmung in dieser Hinsicht zu erzielen war unmöglich, da die Bearbeitung der sehr ungleich starken Handelsorten der Schiefer von Hand (durch Feilen und auch Schleifen) erfolgen mußte. Eine Schleifmaschine stand leider nicht zur Verfügung. Die Plattendicken schwankten zwischen den Extremen 3,4 und 4,0 mm, also um 0,3 mm, ein Unterschied, der, wie zahlreiche

Versuche bewiesen, noch keinen bemerkbaren Einfluß auf das Ergebnis der Spaltversuche zu üben vermag. Die Versuche wurden mit Hilfe eines Hebelwerks einfachster Art, das in den Abbildungen 1 bis 5 der Taf. VIII, im Maßstab von etwa $1:2\frac{1}{2}$, wiedergegeben ist, an- gestellt. Als Hebel diente ein Eisenstab von T-förmigem Querschnitt. Bei d war auf dessen Flantsch eine nach oben gerichtete Stahlschneide befestigt, die, in einem Stahllager gehend, eine Drehung des Hebels mit einem Minimum von Reibung gestattete. Im Abstand 6,5 cm von der Drehachse d, bei k, war in einer Ausklinkung des Hebels das Spaltmesser festgekeilt. Als solches diente eine Stahlschneide von 1,8 cm Höhe und 7,5 cm Länge, deren Winkel $\alpha = 12^{\circ} 55' 26''$ bestimmt wurde. Die Keilschneide war mit einer Facette versehen, um einem Auspringen des Stahls vorzubeugen. Die Länge derselben war, der geringen Eindringtiefe des Keils in die Schieferplatte von ca. 1 mm entsprechend, so gering gemessen, daß für die Spaltung der Keilwinkel selbst und nicht der Facettenwinkel in Betracht kam. Die zu spaltende Probeplatte i wurde nun — so genau wie möglich — mit der Mitte ihrer längeren Schmalseite unter die Keilschneide und unmittelbar auf die Preßkolbenplatte h einer kleinen hydraulischen Presse lotrecht aufgesetzt. Die Widerlagsplatte derselben war abgenommen und zwischen deren zwei Stützenpaaren g, die auch der Kolbenplatte zur Führung dienten, bewegte sich nun der Hebel. Derselbe wurde in wagerechter Stellung und in Coincidenz mit einer seinem Ende n gegenüber befindlichen Marke m gebracht. Die Spaltung der Schieferplatten wurde durch das mittelst Öse am Hebel leicht verschiebliche Laufgewicht G bewirkt. Um ein übermäßiges Herabschlagen des Hebels zu verhindern, wurde derselbe durch eine bei s angebrachte (nicht mit dargestellte), hinreichend weite Schlinge abgefangen. Nach Eintritt der Spaltung wurde der Hebelarm $dp = x$ des Laufgewichts durch Messung des Abstandes $pn = y$ und Abzug desselben von der Länge $dn = 40,5$ cm festgestellt. (Zur direkten Ableitung hätte auch eine von d aus zählende Teilung am Hebel — aus aufgeklebtem Millimeter-Papier hergestellt — dienen können.) Um den Schwerpunkt des Hebels mit dem daran befindlichen Keil zu ermitteln, war dieser vor dem Versuch auf einer Schneide im indifferenten Gleichgewicht genau ausbalanciert worden. Der Schwerpunktsabstand von d ergab sich zu 12,8 cm. Der Hebel wog mit dem Keil zusammen 0,9 kg. Das statische Moment seines Eigen-

gewichts in Bezug auf d ist also $0,9 \cdot 12,8 = 11,52$ cmkg und die zur Spaltung der Schieferplatten erforderliche Kraft P berechnet sich nunmehr:

$$P = \frac{G \cdot x + 11,52}{6,5} \text{ oder } \frac{G \cdot x}{6,5} + 1,8 \text{ kg.}$$

Beispielsweise trat die vollkommene Spaltung bei einer der Probeplatten g von genau überall gleicher Dicke 3,7 mm durch die Last $G = 7,5$ kg am Hebelarm $x = 33,3$ cm ein. Es war also die spaltende Kraft:

$$P = \frac{7,5 \cdot 33,3}{6,5} + 1,8 = 38,4 \text{ kg.}$$

Aus den so bestimmten Versuchswerten wurden die in der Tab. IX, Sp. 2, enthaltenen Mittelwerte gebildet. Die Zahl der

Tabelle IX. Spaltfestigkeit.

Bezeichnung der Schiefer	Spaltbelastung P in kg	Spaltfestigkeit σ kg/cm ²	Relative Spaltfestigkeit, bez. auf $\sigma = 1$ für d	desgl. bezogen auf $\sigma = 1$ für Marienglas
a	39	25	1,4	3,1
b	52	33	1,8	4,1
c	40	25	1,4	3,1
d	29	18	1,0	2,3
e	39	25	1,4	3,1
f	58	37	2,0	4,6
g	39	25	1,4	3,1
h	41	29	1,5	3,6
i	54	34	1,9	4,3
k	35	22	1,2	2,8
Marienglas	13	8	0,4	1
Kiefernholz	75	47	2,6	5,9
1	2	3	4	5

angestellten Versuche betrug für jede Sorte mindestens fünf, meist aber viel mehr, unter Ausscheidung derjenigen, wobei nur teilweise Spaltung erfolgte, wie sehr oft bei f , nicht selten auch bei i

und wohl auch bei e. Bei normaler Beschaffenheit der Probe trat die Spaltung im allgemeinen stets durch die ganze Platte hindurch und äußerst prompt ein. Zum Vergleich mit den Versuchszahlen für die Schiefer sind in die Tabelle noch die Ergebnisse von Versuchen aufgenommen, welche — in Ermangelung von 3,7 mm dicken Glimmerplatten — an Marienglas von Weezen in der Provinz Hannover und an ostpreussischem Kiefernholz angestellt worden waren. Letzteres war parallel der Faserrichtung und zwar längs einem Radialschnitt gearbeitet und in derselben Weise erfolgte beim Versuche auch die Spaltung. Dieselbe war jedoch keineswegs eine vollkommene wie bei den Schiefen und dem Marienglas, sondern der Keil erzeugte lediglich einen klaffenden Spalt in der Holzplatte. Zur näherungsweise Berechnung der oben definierten Spaltfestigkeit

Abb. 15.

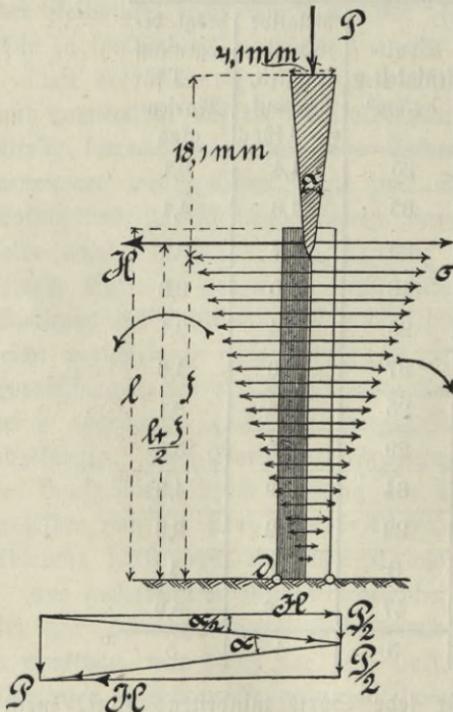


Abb. 15a.

selbst übergehend, ergibt sich zunächst mit Rücksicht auf die Abb. 15 und 15a, die beiderseitige, sprengende Keilwirkung, angreifend etwa in der Mitte zwischen Keilschneide und dem Plattenende und normal zur jeweiligen Keilfläche wirkend,

$$= \frac{P}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Die zur Richtung

der Kraft P normalen, also wagerechten Komponenten H

$$\text{berechnen sich } = \frac{P}{2} \cotang \frac{\alpha}{2},$$

vgl. Abb. 15a. Die andere, lotrechte Komponente führt während der Spaltung den Keil nur weiter nach unten vor, von Reibungs- und sonstigen Widerständen hier abgesehen. Denkt man sich die Spaltung bereits erfolgt und vollständig, so würde jede der beiden Kräfte H — im Verein

mit der die Plattenhälften auf die Unterlage pressenden lotrechten Seitenkraft — jedenfalls eine Drehung der ersteren um die Kante d als Drehachse im Sinne der Abbildung anstreben und herbeiführen, mit einem Momente $= \frac{P}{2} \cotang \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1 + \zeta}{2}$ cmkg. Bei der ungespaltenen Platte widerfesten sich dem, längs der ganzen Spaltfläche ζb cm², die Spaltwiderstände des Materials, deren Verteilungsgesetz zunächst unbekannt ist, welche jedoch — etwa in Analogie mit den Spannungen beim excentrischen Druck — als von der Keilschneide an bis zur Drehkante d nach linearem Gesetz abnehmend vorausgesetzt werden mögen, annähernd auch wohl dürfen. Der größeren Entfernung der Plattenpartikeln von einander während des Spaltungsprozesses bei größerem Abstand derselben von der Drehkante d entspricht auch eine, irgend einem unbekanntem Gesetz gehorchende, aber doch wohl jedenfalls stärkere Herausforderung der Kohäsionskräfte. Das Weitere ist allerdings Hypothese. Bezeichnet σ den größten dieser Spaltwiderstände pro cm², so berechnet sich das Moment derselben nach jener Näherungshypothese $= \frac{\sigma \zeta b}{2} \cdot \frac{2\zeta}{3}$ und es besteht demnach die Gleichung:

$$\frac{\sigma b \zeta^2}{3} = \frac{P}{4} \cotang \frac{\alpha}{2} \cdot (1 + \zeta),$$

woraus

$$\sigma = \frac{3}{4} \cdot P \cdot \cotang \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1 + \zeta}{b \zeta^2} \text{ kg/cm}^2$$

folgt. Wegen der grob-näherungsweise Art einer solchen Berechnung, ist es erlaubt, bei der sehr geringen, für die einzelnen Platten übrigens ungleichen Eintreibtiefe $l - \zeta = 0,5$ bis $1,0$ mm des Keils (im Augenblick der Spaltung) zu setzen: $\zeta = l$. Dann hat man, wenn noch f für $b l$ eingeführt wird, einfacher:

$$\sigma = 1,5 \cdot \frac{P}{f} \cotang \frac{\alpha}{2} \text{ kg/cm}^2$$

oder

$$\sigma = 0,6307 \cdot P \text{ kg/cm}^2.$$

Auf Grund dieser Formel sind die Zahlenwerte der Spalte 3 in der Tab. IX berechnet. Dieselben stellen also näherungsweise die „Spaltfestigkeit“ der Platten bei einer Durchschnittsdicke von $3,7$ mm und einer Plattenhöhe von 3 cm dar. Ist der Keilwinkel α größer, so

wird zwar auch die eigentliche Spaltkomponente von P in der Formel (im Verhältnis der $\cotang \frac{\alpha}{2}$) kleiner, es ergibt alsdann aber auch P für die Spaltung sich entsprechend größer, so daß der Wert von σ dadurch nicht beeinflusst wird. Die Plattenhöhe l (hier = 3 cm) darf ein gewisses Maß, bei der gewählten Plattendicke, nicht überschreiten, weil andernfalls die Knickfestigkeit der Platten mit in Frage kommen würde. Im übrigen ist natürlich die Größe von l und auch b , ebenso wie von α , gleichgültig für das Versuchsergebnis. Hat l und b , also auch f , einen anderen z. B. größeren Wert, so ist auch ein größeres P zur Spaltung erforderlich und der Wert σ bleibt derselbe. Überhaupt ist die obige Formel für σ genau so gebaut wie die Formeln für die Normal- oder Schubfestigkeit, bis auf die Faktoren 1,5 und $\cotang \frac{\alpha}{2}$.

Im Vorigen sind die Biegungswiderstände nicht berücksichtigt, welche bei einer während des Eindringens des Keils etwa erfolgenden Krümmung der Plattenhälften auftreten könnten. Dieselben würden allerdings bei einer wesentlich geringeren Plattendicke wie die gewählte, nicht vernachlässigt werden dürfen.

Bei der hier angenommenen kommen sie aller Wahrscheinlichkeit nach überhaupt gar nicht erst in Betracht. Es ergibt sich dies auf Grund der Berechnung jener Einzelkraft X , welche am Ende einer Plattenhälfte wirkend, hier eine einseitige Ausbiegung δ derselben gleich der ungefähr der größten Eindringtiefe des Keils von 1 mm entsprechenden halben Keildicke = $1 \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = 0,11$ mm hervorbringen würde (s.

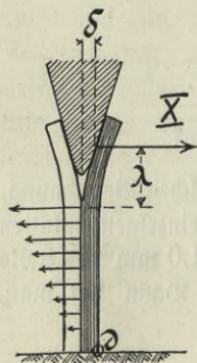


Abb. 16.

Abb. 16). Dabei muß angenommen werden, daß die Krümmung und also auch die freie Länge λ vom Beginn der Spaltung an zu rechnen ist, von da ab aber bis zum Fußende der Platte eine Art von Einspannung durch die Spaltfestigkeit des Materials bewirkt werde. Nun würde am Anfange des Versuchs die freie Plattenlänge λ jedenfalls sehr klein ausfallen und infolgedessen die Kraft X so ungewein groß sein müssen, daß eine Krümmung der Plattenhälften überhaupt gar nicht wird erfolgen können. Es berechnet

sich nämlich nach der obigen Bedingung: $0,11 = \frac{X \cdot \lambda^3}{3 E J}$, jene unbekannte Kraft $X = \frac{3 \cdot 0,11 \cdot E \cdot J}{\lambda^3}$ kg, wobei man die Reciproke E des Dehnungskoeffizienten — in Ermangelung von Einzelangaben für die 10 Schieferforten — nach Rankine (l. c.) etwa = 9139 bis 11248 und $J = \frac{70 \cdot 3,7^3}{12} = 297,6 \text{ mm}^4$ zu setzen hat. Nimmt man z. B. $\lambda = 10 \text{ mm}$, also absichtlich jedenfalls viel zu groß für den Anfang des Versuchs, so würde sich doch immer noch $X = 898$ bis 1105 kg als erforderlich für die fragliche Ausbiegung und Krümmung ergeben*). Zur Verfügung stehen aber gemäß Sp. 2 der Tab. IX höchstens nur $\frac{58}{2} \cdot \cotang 12^\circ 55' 26''$ oder 256 kg, wovon noch außerdem die Überwindung der Spaltwiderstände bestritten werden müßte. Hieraus würde also ein seitlicher elastischer Gegendruck gegen den Keil resultieren, gleich zu Anfang so groß, daß eine Sprengung überhaupt ausgeschlossen wäre, wenn nicht die Keilschneide vorerst einfach, ohne Biegung zu bewirken, in die immerhin doch etwas nachgiebige Schiefermasse sich ein wenig hineinpreßte. Inzwischen wächst aber auch, infolge der Verschiebung des Laufgewichts G, die Last P, bis ihre Komponente H eben groß genug ist, um die Spaltwiderstände zu überwinden und es erfolgt in diesem Augenblicke die Spaltung der Platte auf deren ganze Länge, ohne Krümmung und dementsprechend plötzlich, wie der Versuch meistens deutlich erkennen ließ.

Die Tabellenspalte Nr. 4 zeigt die relative Spaltfestigkeit der 10 Schieferforten, bezogen auf die der Sorte d, Spalte 5, die relative Spaltfestigkeit, bezogen auf die des Marienglases = 1. Beide ergeben sich direkt aus den Werten für die Spaltbelastung P, Spalte 2, auch dann noch, wenn statt 1,5 in obiger Formel für σ etwa irgend ein anderer Koeffizient n zu setzen sein würde (α und f sind konstante Größen).

*) Daran ändert sich auch dann nichts wesentlich, wenn die Eintreibtiefe vorerst noch $< 1 \text{ mm}$, also $\delta < 0,11 \text{ mm}$ angenommen wird. Denn alsdann ist auch λ entsprechend kleiner.

Nach ihrer Spaltfestigkeit ordnen sich die 10 Schiefer in aufsteigender Folge:

Marienglas: — d, k, a, e, g, c, h, b, i, f — Kiefernholz || Faserrichtung.

Erwähnt ist schon im Abschn. IV, S. 86, die Rolle, welche die Spaltfestigkeit beim Fresenius'schen Versuch spielt. Vergleiche die Werte der Tabellenspalten für c, e, a, k. Übrigens könnte die Abspaltung von Plattenschichten am Versuchsprobestück und auch bei der natürlichen Verwitterung von Dachschiefen (infolge Frostwirkung) auch in anderer, doch ganz ähnlicher Weise erfolgen. Es kann die sprengende Kraft an verschiedenen Stellen der Platten (nicht nur an einem Ende) ansetzen und — im Gegensatz zur Keilwirkung — eine mehr gleichmäßige Abhebung längs der ganzen Spaltfläche anstreben und herbeiführen. Für Versuche dieser Art würde ein Zugfestigkeitsapparat zu benutzen sein.

Man kann die Frage aufwerfen, ob die „Leichtspaltigkeit“ eines Schiefers, d. h. seine geringe Spaltfestigkeit einem anderen gegenüber, zusammentreffe mit der Fähigkeit, in dünnere Schichten (von gleicher Größe) zu spalten wie ein anderer Schiefer, also mit seiner größeren „Dünnspaltigkeit“, wie dies kurz heißen mag. Auf den ersten Blick scheint die Bejahung dieser Frage fast selbstverständlich; weniger dürfte dies jedoch bei genauerer Betrachtung der Fall sein. Ein geringerer Grad von Dünnspaltigkeit eines Schiefers hängt ab von der größeren Menge und Dicke der Lagen und linsenförmigen Anhäufungen seiner Bestandminerale: Glimmer und Quarz, die bei immer weitergetriebener Spaltung schließlich ihren Zusammenhang behalten und es erscheint fraglich, ob die Trennung der so vorgebildeten größeren Spaltschichten auch notwendig stets eine entsprechend größere Kraft erfordere. Bei den meisten unserer 10 Schieferarten konnte die Spaltung in gleicher Weise, trotz ihrer ganz ungleichen Spaltfestigkeit, von der gewöhnlichen Stärke der Handelsplatten ausgehend, bis zu Teilplatten von $\frac{1}{2}$ mm Dicke getrieben werden, vorausgesetzt, daß keine Wuchsunregelmäßigkeiten in den $\frac{7}{3}$ cm großen Probestücken auftraten, was freilich manchmal bei e, a, c, auch zuweilen selbst bei i u. a., sich ereignete. Eine weitere Fortsetzung der Spaltung ist allerdings nicht versucht worden. Bei f mißglückte oft schon die erstmalige, durchgehende Spaltung der ursprünglichen 3,7 mm dicken Probeplatte und es spaltete nur ein Teil derselben

ab, obgleich der zur vollkommenen Spaltung erforderliche Kraftaufwand P (laut Tab. IX, Sp. Nr. 2) sich als nicht viel höher erwies wie im Falle der Sorten i und b. Ob nun Leichtspaltigkeit und Dünnspaltigkeit sich immer und unbedingt entsprechen oder nicht: jedenfalls spielen diese beiden, die Dachschiefer vor anderen Steinen charakterisierenden Eigenschaften bei der Verwitterung der Schiefer zu deren Ungunsten, im Vergleich zu anderen Steinen, eine wichtige Rolle, indem sie den Zerfall des Materials ungemein begünstigen und beschleunigen. Ein eklatantes (schon im Abschn. IV, S. 88, erwähntes) Beispiel hierzu bieten, in meinem Besitz befindliche, Schiefertafeln vom Dache eines niedrigen Nebengebäudes der Bahnstation Marburg a. L., woselbst sie 34 Jahre lang gelegen hatten und einer tiefgreifenden Verwitterung anheim gefallen waren. Dieselbe ist, abgesehen von der Frostwirkung etc., zum großen Teil auf den Einfluß der Rauchgase zurückzuführen, an welchen die dortige Luft bei der Nähe der Schornsteine der Station, der zahlreichen passierenden Lokomotiven und der Maschinenwerkstätte, besonders reich sein muß. Das Material ist Schiefer von Gladenbach, Provinz Hessen-Nassau, von grauer Farbe, mit 7,0 % CaCO_3 im frischen Zustande. An den Verwitterungsproben fallen, außer der Bleichung, die der Schiefer erlitten hat,

1. zunächst grobe, fast durch die ganze Schiefertafel hindurchgehende Spaltungen ins Auge, welche die Taf. IX (Abb. 2) und X, von der Seite und von vorn gesehen, wiedergeben und an deren Zustandekommen: Temperaturspannungen, ungleiches Maß und Wechsel von Nässe und Trockenheit mit ihrer krümmenden und zuletzt sprengenden Wirkung und endlich die Frostwirkung den hervorragendsten Anteil hatten. Solche Spaltungen zeigen sich auch auf der Oberfläche der Platten, nur in ganz kleinem Maßstabe, als Abblätterungen auftretend, wie aus Abb. 1, Taf. XI, im verkleinerten Maßstabe und aus Taf. X ersichtlich (Taf. XI stellt die vordere, Taf. X die hintere Plattenseite dar).

2. Unter jenen Abblätterungen, vor allem aber in dem großen Spalt, hat eine Loslösung und Abtrennung papierdünnere, ziemlich ausgedehnter Schichten stattgefunden, derart, daß man dieselben bei der nötigen Vorsicht mit Leichtigkeit herausziehen kann. Ihre natürlich nur sehr allmählich sich vorbereitende Lostrennung war eine einfache Folge des Kohärenzverlustes an den Grenzen jener dünnen, bei den Schiefem vorgebildeten Spaltschichten infolge der Auslaugung

durch das CO_2 , SO_2 und SO_3 -haltige atmosphärische Wasser und die steten, beträchtlichen Substanzverluste, im Verein mit den auf Spaltung wirkenden Kräften. Die, dank der „Leicht- und Dünnsplattigkeit“ des Schiefers, überhaupt und in solcher Dünne zustande gekommenen Spaltblättchen und -schichten sind infolge der steten Auslaugung vollständig durchlöchert und zerfressen und so mürbe, daß sie, ohne zu zerbrechen, nur mit großer Vorsicht angefaßt werden können. Außerdem sind jene Spaltschichten mit einer dichten, matten, leicht entfernbaren Staubschicht bedeckt. Abb. 2 auf Taf. XI stellt eine solche Spaltschicht dar. Die Auslaugung läßt sich auch am Dünnschliff genau verfolgen. Die Mikrophotogramme 2, 3, 4 sowie 5 der Taf. XVII rühren von einem Dünnschliff des frischen und von einem des verwitterten Gladenbacher Schiefers her. Der erstere zeigt in ziemlicher Menge die kleinen noch scharfumrissenen Calcitpartien, während sie bei dem anderen Dünnschliff ganz zurücktreten, weit kleiner sind und abgerundete, zerfressene, verwaschene Konturen zeigen. Dafür treten aber hier die Glimmerblättchen und vor allem die lebhaft farbipolarisierenden Quarzteilchen in den Vordergrund. Es macht den Eindruck, als ob die letzteren jetzt von der umgrenzenden und überdeckenden sonstigen Schiefermasse wie durch ein Lösungsmittel befreit und gereinigt wären, wodurch das Gesamtbild des Dünnschliffs vom verwitterten Material einen eigentümlich trümmerhaften Charakter erhält (5). Endlich sind

3. noch kleinere, aus Taf. X ersichtliche, die ganze Plattenoberfläche bedeckende Korrosionen zu erwähnen.

Eine andere vorliegende Verwitterungsprobe desselben Schiefers, aber von einem anderen Orte, nämlich vom Dach der Frauenklinik in Marburg a. L., zeigt ähnliche, jedoch weit geringere Veränderungen wie die zuvor besprochene Probe, obschon die Platten in diesem Falle 33 Jahre gelegen hatten (vgl. die Taf. XII). Der Grund ist jedenfalls in der durch die Lage des Gebäudes bedingten geringeren Rauchgaswirkung zu suchen. Indessen ist die Verwitterung doch soweit vorgeschritten, daß sich Spaltblättchen von 1 bis 1,5 cm Quermaß leicht ablösen.

Bei dieser Gelegenheit möge eine dritte Verwitterungsprobe, nämlich die eines englischen Schiefers (Port-Madoc), Erwähnung finden, entstammt dem Dache der ehemaligen Reekent'schen Badeanstalt in Hinter-Tragheim in Königsberg i. Pr., wo derselbe 28 Jahre gelegen hatte. Auch hier hat, neben der Wirkung der gewöhnlichen

Luftagentien, jedenfalls die der Rauchgase eine Rolle gespielt, wenn auch der Erfolg ein weit schwächerer war wie bei den beiden Marburger Proben. Die Höhe des großen Schornsteins der Badeanstalt betrug, beiläufig bemerkt, etwa 5 m über Dach. Die Verwitterungserscheinungen traten hier in jener Gestalt auf, die häufig an kalkfreien Schiefeln beobachtet werden kann. Es hat sich eine rauhere, weichere, hie und da etwas löcherige und zu unbedeutender, ganz kurzer Blätterung neigende Oberflächenschicht gebildet, welche sich als mit dem Fingernagel leicht ritzbar und abkratgbar erweist. (In anderen Fällen zeigt die Oberfläche der Schiefer eine feinpulverige Beschaffenheit.) Offenbar haben sich infolge der Auslaugung nicht bedeutende, flache Hohlräume gebildet, welche indessen ausreichen, um beim Druck des Fingernagels den Zusammenbruch der Oberflächenschicht nach sich zu ziehen. Das Verwitterungsbild zeigt, so weit es auf diesem Wege möglich, die Abb. 1, Taf. IX (oberhalb des Querstriches!). Dünnschliffe, dem Platteninnern und der Oberflächenpartie (Mikrophotogramm 6, Taf. XVII) entnommen, lassen keine wesentlichen Unterschiede erkennen. Hie und da zeigt die Plattenoberfläche geringfügige Limonitbildung.

Eine schon früher erwähnte, mit der „Dünnspaltigkeit“ irgendwie zusammenhängende, wohl allen Dachschiefern in höherem oder geringerem Grade zukommende Eigenschaft ist die „Schülfrigkeit“. Ich bezeichne damit die Neigung zur Ablösung kleiner, dünner Blättchen, welche namentlich auf frischen Spaltflächen deutlich hervortritt. Dieselben zeigen sich nämlich stets mit äußerst dünnen, leicht abwischbaren Schüppchen bedeckt, die auch bei der praktischen Verwendung der Schiefer bald verschwinden, ohne daß dieselben dadurch irgendwelchen Schaden litten. Die Schieferdecker pflegen ihnen denn auch keinerlei Beachtung zu schenken. Der Schiefer f von Nimogne zeigt die eigentliche feine Schülferung im obigen Sinne nicht; dafür neigt er aber zur unerwünschten Ablösung gröberer und gröberer Spaltblättchen. Der Schiefer g schülfert im obigen Sinne, doch sind die Schüppchen hier nicht selten von bedenklicherer Größe. Durch dieses Verhalten der Schieferarten f und g können, wenn für dieselben auch eine eigentliche Frostgefahr kaum vorliegen dürfte, u. U. doch nicht unerhebliche Substanzverluste bedingt sein.

B. Ergänzung zum II. Abschnitt:

Künstliche Verwitterungsproben.

3. Einfache Wasserwirkung.

Nach Beendigung des unter AIIa beschriebenen Porositätsversuchs (Bestimmung von Hygrokopie und Imbibitionsvermögen) am 5. Oktober 1896 und der im Anschluß hieran ausgeführten Bestimmung des spec. Gewichtes (Ic) und des Porositätsmaßes (Id) der 10 Schieferarten wurden die Platten wieder bis zur Gewichtskonstanz bei 105° C. getrocknet und abermals gewogen. Es ergaben sich, wie schon auf S. 103 erwähnt, sehr erhebliche Gewichtsabnahmen (s. Tab. VIII Sp. Nr. 12), welche die Wirkung des mit O und CO_2 aus der Luft beladenen H_2O darstellen. Diese Gewichtsverluste sind, als Prozente des Anfangstrockengewichts berechnet, in Sp. Nr. 13 der Tab. VIII angegeben. Eine Vergleichung derselben mit den Zahlen der Sp. Nr. 11 der Tab. II zu Abschn. III zeigt, wie sehr viel energischer die Wirkung der Luftagentien auf Steine ist, wenn diese im Zustande der Wassersättigung, in beständiger Berührung mit dem tropfbarflüssigen Wasser, welches jene Agentien in Lösung enthält, sich befinden. Denn die Zahlenwerte der einfachen Wasserwirkung sind etwa doppelt so groß wie die der CO_2 -Versuchsreihe, obgleich hier die Versuchsdauer mehr wie doppelt so groß war wie dort. Es hat dies seinen Grund zum großen Teil schon darin, daß das H_2O die wirksamen Luftgase CO_2 und O in weit größerer Menge enthält wie die Luft selbst (vgl. S. 2). Aus alledem ergibt sich, daß zur Prüfung von Bausteinen auf ihre Resistenz gegen die Wirkung der reinen Luftagentien CO_2 , O und H_2O die einfache Wasserlagerung ohne besondere Anwendung gasförmiger CO_2 und gasförmigen O's nicht nur genügt, sondern, als schneller zum Ziele führend, sogar den Vorzug verdient vor dem Versuch in der im Abschn. III beschriebenen Anordnung. Auch entspricht sie doch weit mehr der Wirklichkeit wie jener mit seiner allzu einseitigen Gaswirkung, worauf im Abschn. VII noch zurückgekommen werden soll. Es erübrigt noch eine Bemerkung in betreff der von mir gewonnenen Versuchsergebnisse, Tab. VIII, Sp. 12 und 13, die ja doch nur mehr nebenbei ermittelt wurden, während das eigentliche Ziel des Versuchs ursprünglich allein die

Porositätsbestimmung bildete. Die gewonnenen Zahlen sind nicht ganz einwandfrei; sie bringen nämlich die Agentienwirkung auf die 10 Schieferarten nicht zum ungetrübten genauen Ausdruck, da die Platten während des ganzen Versuchs in demselben Gefäße sich befanden, also eine Wechselwirkung der Auslaugestoffe der verschiedenen Platten mit diesen nicht ausgeschlossen war. Immerhin werden diese Zahlen bei ihrer charakteristischen Verschiedenheit und ihrer auffälligen Übereinstimmung mit den Zahlen des natürlichen Verwitterungsversuches einen ungefähren Anhalt in der fraglichen Richtung wohl gewähren und sie sind auch in diesem Sinne im Abchn. VII verwertet worden. Bei einer regelrechten, einwandfreien Prüfung von Steinen auf die Wirkung der reinen Luftagentien CO_2 und O müßte für jede Probeplatte ein besonderes Gefäß zur Verwendung kommen. Nach den Zahlen der Tab. VIII rangieren die 10 Schiefer in Bezug auf Resistenz gegen CO_2 , O und H_2O in der Ordnung:

b, h, a, d, i, g und k, f, c, e.

VI. Abschnitt.

Petrographische Prüfung.

2. Pyknoskopisch=mikroskopisch=chemischer Teil.

Die allgemeinen textuellen und strukturellen Verhältnisse der Dachschiefer sowie deren mineralogische Beschaffenheit im großen und ganzen als bekannt voraussetzend, soll im vorliegenden Abschnitt (unter II) lediglich das Unterscheidende und Eigentümliche der einzelnen in Betracht kommenden Sorten der Hauptsache nach festgestellt werden. Es ist dabei die Absicht leitend, womöglich über den Zusammenhang zwischen Menge, Größe, Form und Anordnung der mineralogischen Gesteinskomponenten und der Wetterbeständigkeit Aufschlüsse zu erlangen. Um die Abhängigkeit der letzteren von der chemischen Zusammensetzung der Schiefer studieren zu können, sind Analysen derselben nötig, mit denen sich der vorliegende Abschnitt (unter III) gleichfalls beschäftigen wird.

Von Nutzen wird manchmal auch — mit der mikroskopischen und chemischen Prüfung der Steine Hand in Hand gehend — sein:

I. Die Untersuchung derselben mit „Röntgenstrahlen“ (Radioskopie, Pyknoskopie*).

Dieses Verfahren ist meines Wissens bis jetzt noch nicht auf Bausteine, insbesondere Dachschiefer, angewandt worden. Es liefert ohne zeitraubende Vorbereitung (Herstellung von Dünnschliffen zur

*) Vgl. D. Büttner und K. Müller, Technik und Verwertung der Röntgen'schen Strahlen zc. in der „Encyclopädie der Photographie, Heft 28“.

mikroskopischen Prüfung) oder langwierige Operationen (chemische Analyse) in bequemer Weise ein auf der photographischen Platte leicht fixierbares Bild von dem Erzgehalt eines Steines, speziell des Dachschiefers. Es ist nur für eine nicht zu große und möglichst gleiche Dicke der zu untersuchenden und zu vergleichenden Probeplatten zu sorgen. Dieses Bild (Pyknogramm) wird allerdings häufig kein Urteil über die Art des Erzes, dafür aber meist ein um so besseres und greifbareres über dessen Menge und Verteilungsweise im Stein gestatten. Man ist hier nicht, wie bei der Dünnschliffbetrachtung und der Analyse, auf eine nur kleine Partie und Menge des Probestaterials beschränkt; denn die „Röntgen-Aufnahme“ liefert ein mit einem Blicke überschaubares Bild des ganzen Objekts. Bei der Herstellung der „Röntgen-Bilder“, welche die Taf. XVIII und XIX zeigen, sind ein Rühmkorff'sches Induktorium von 40 cm Funkenlänge mit einem Quecksilber-Turbinen-Unterbrecher und eine A.C.G.-Vakuumröhre zur Anwendung gekommen. Den Primärstrom lieferte die Königsberger elektrische Centrale. Da die Durchlässigkeit der Körper für die X-Strahlen sowohl von der Dichte (Δ) der ersteren als auch von ihrer Dicke (δ) abhängt (sie nimmt bekanntlich in stärkerem Maße zu wie das Produkt $\Delta \cdot \delta$), die 10 Schieferplatten a, b . . . k aber nur geringe Dichteunterschiede aufweisen, so bringen die Plattenbilder der beiden Tafeln vorwiegend die erheblicheren Unterschiede in der Plattenstärke δ zum Ausdruck, wie dies namentlich deutlich z. B. die Pyknogramme für die dickeren Platten b, e, h und k und die für die dünneren d, f, g und i zeigen. Die Erzpartien der verschiedenen Schieferforten geben wegen ihrer größeren Dichte und darum stärkeren Absorption wie die übrige Schiefersubstanz ein dunkleres, vom helleren Grunde sich abhebendes Schattenbild. Einzelangaben für die verschiedenen Schieferforten finden sich, des besseren Zusammenhangs wegen, bei deren Besprechung unter II.

II. Mikroskopische Untersuchung.

1. Schiefer a,

der Grube Mosella bei Mayen a. d. Mosel entstammend. Er gehört, wie die meisten rheinischen Schiefer und Moselschiefer, dem Unterdevon an, ist hell-schwarzgrau, fettglänzend und unregelmäßig-schwach-gewellt.

Ergebnis der mikroskopischen Prüfung (vgl. das Mikrophotogramm Nr. 1, Taf. XIII).

α) Glimmer (Muskovit) tritt, wie in allen Thonschiefern, in Bruchstückform, in dünnen, fast farblosen, deformierten Blättchen von gewöhnlich lamellarer Zusammensetzung mit zerlappten Umriffen auf, zwischen gekreuzten Nikols in schwachen Farben polarisierend. Die Blättchen liegen mit ihrer Basis meist in der Spaltungsebene des Gesteins. Zuweilen zeigt der Dünnschliff parallel zur letzteren, auch schmale, leistenförmige Glimmerschnitte. Im Querbruch sind sie besonders deutlich. Dichroismus, selbst bei der großen Dünne der Glimmerblättchen, häufig deutlich bemerkbar. Größte beobachtete Abmessungen $140 \mu/50 \mu$.

β) Chlorit, wie bei den Thonschiefern überhaupt, in nicht erheblicher Menge auftretend und hellgrüne, mehr oder weniger deutlich hexagonale Blättchen bildend, die mit der Basis dem Hauptbruch angehören. Größtes beobachtetes Quermaß hier ca. 16μ .

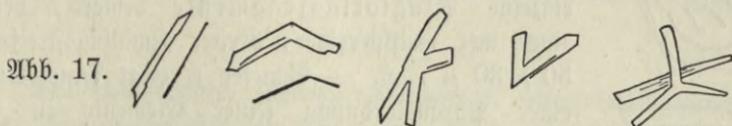
γ) Quarz, wie bei allen Thonschiefern, in unregelmäßig begrenzten, oft länglichen Körnern und keilartigen Splintern, lebhaft chromatisch polarisierend. Größte Abmessungen ca. 50μ . — Häufig ist in den Thonschiefern eine amorphe (einfach lichtbrechende), als Cement fungierende, jedenfalls quarzige Masse (nach einigen: Opal oder Calcedon) deutlich daran erkennbar, daß dieselbe zwischen gekreuzten Nikols bei einer vollen Drehung, im parallelen und konvergenten Licht, unverändert dunkel bleibt.

δ) Rutilnädelfchen*), wie in allen Thonschiefern, in charakteristischem Gewirre auftretend, parallel der Schieferungsebene (sonst aber fast immer regellos, im Gegensatz zu Quarz und Glimmer) gelagert,

*) In betreff der Rutilnädelfchen siehe namentlich:

Zirkel, Über die mikroskop. Zusammensetzung von Thonschiefern und Dachschiefen, Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geol. u. Paläontol., 1872, p. 321 bis 322. Kalkowsky, Über die Thonschieferinädelchen, Neues Jahrb. 1879, p. 383—387. E. Geinik, Der Phyllit von Nimogne in den Ardennen, Neues Jahrb., p. 67, Bd. II, 1882. A. Renard, Recherches sur la composition et la structure des phyllades ardennais (Bulletin du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique 1882, I, 1—54; 1883 II, 127—149 pl. VI und N. Jahrb., Bd. II 1884, p. 219—221. A. Cathrein, Ein Beitrag zur Kenntnis der Wildschönauer Schiefer und der Thonschieferinädelchen, Neues Jahrb., 1881, p. 170, Bd. I.

farblos, nur die größeren zwischen gekreuzten Nikols hellaufleuchtend, zuweilen deutlich chromatische Polarisation zeigend. Bei 625-facher Vergrößerung erscheinen sie als feine Strichelchen (Haarabfällen ver-



gleichbar, nach Zirkels Ausdruck) oder als deutlich erkennbare Kryställchen (vgl. Abb. 17). Beobachtete Minimalabmessungen: 13 bis 18 μ lang und 1 bis 2,5 μ breit.

ε) Kohlenstoff, wie bei allen hier betrachteten Schiefen, amorph und glanzlos, bei a in lichtflockigen Massen ziemlich gleichmäßig über das Gesichtsfeld verbreitet, außerdem aber noch vereinzelt in größeren kompakten, eckigen Partien von verschiedenster Größe, welche öfters ursprünglich ein bandartiges (wohl von Pflanzenresten herstammendes), später zertrümmertes und zerstückeltes Ganze gebildet hatten. Größte beobachtete Länge eines solchen Bandes aus verkohlter Substanz 375 μ , bei 30 μ Breite (s. auch Abb. 18).

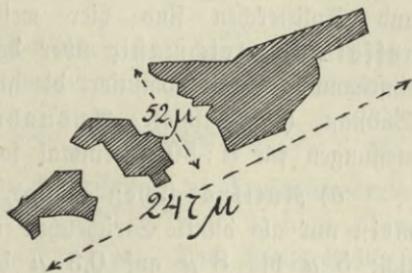


Abb. 18.

ζ) Impellucides Erz, in den Thonschiefern fast nie fehlend, bei a gewöhnlich mit der Kohle vergesellschaftet (was hier auf seine Entstehung durch Reduktion aus Eisensulfat zu deuten scheint), Gruppen oder kugelige Aggregate bildend, die sich im reflektierten Licht deutlich als Pyrit durch den regulären Krystallhabitus zu erkennen geben (einzelne ∞ O-Flächen bemerkbar). Die größte Gruppe maß 830 μ /45 μ . Durchmesser der einzelnen Kugeln etwa 1½ μ bis 21 μ ; derjenige der — wie es scheint — sie zusammensetzenden Würfelchen dürfte auf etwa 1 μ bis 1½ μ zu schätzen sein. Vgl. die Erzpartie im Röntgen-Bild, Abb. 1 (Mitte, rechts), Taf. XVIII.

η) Calcit tritt bei Sorte a in recht erheblicher Menge (1,3 % CaO, vgl. Analyse) auf. Er fällt zwischen gekreuzten Nikols sofort durch seine hellleuchtenden, oft in brillanten Perlmutterfarben schillernden,

rissigen, rhombischen oder aus Rauten aggregierten Schnittflächen auf. Seitenlänge dieser Rauten etwa 18μ (s. Abb. 19).

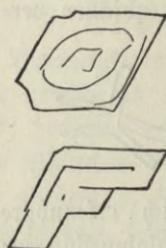


Abb. 19.

9) Von sonstigen Bestandteilen wurden einzelne Plagioklasfragmente bemerkt, deren eines mit weitsperriger, breiter Zwillingstreifung $50 \mu/30 \mu$ maß. — Schiefer a zeigt keine Spur einer Parallelordnung seiner Elemente in der Spaltungsebene.

2. Schiefer b.

Ziemlich dunkelschwarzgrauer, schwachfettglänzender, unregelmäßig-gewellter Kulmschiefer von Lehesten in Thüringen, s. Mikrophotogr. Nr. 2, 3 und 4, Taf. XIII.

a) Glimmer, β) Chlorit und γ) Quarz. Die Blättchen und Splitterchen sind hier weit kleiner, auch spärlicher und auffallend gleichmäßig über das Gesichtsfeld verteilt. In Übereinstimmung damit dominiert die amorphe, jedenfalls sehr SiO_2 -reiche Substanz (s. Analyse). Ausnahmsweise beobachtete größte Abmessungen für α : 50μ , einmal sogar $109 \mu/52 \mu$, für γ : 40μ .

δ) Rutilnädelfchen zahllos, aber winzigfein (bei 625 Vergr. meist nur als dunkle Strichelchen erscheinend). Abmessungen gewöhnlich: 5μ bis 8μ auf $0,3 \mu$ bis $0,5 \mu$, ausnahmsweise bis $27 \mu/5 \mu$.

ϵ) Kohlenstoff. Das Hauswerk der feinen Kohlenstoffteilchen ($0,1 \mu$ bis $0,3 \mu$ lang) weit dichter wie bei a; zusammenhängende Schwärme größerer Massen kommen nur ganz vereinzelt vor. Maximalausdehnung eines solchen $13 \mu/50 \mu$, mittlere Ausdehnung: 2μ bis 5μ .

ζ) Erz wurde nicht beobachtet, im Widerspruch mit der Analyse. Es erklärt sich dies dadurch, daß zur letzteren zufällig ein Schieferstückchen mit einer ausnahmsweisen FeS_2 -Anhäufung Verwendung gefunden haben muß, denn der Schiefer ist tatsächlich gerade FeS_2 -arm. Wiederholte Pyritbestimmungen sind zwar unterblieben, doch wurden von den verschiedensten Stellen eine große Schieferplatte weitere Dünnschliffe angefertigt und untersucht, die sich als vollkommen pyritfrei erwiesen. Diejenige Probeplatte, von der das Röntgenbild, Abb. 2, Taf. XVIII genommen ist, läßt dagegen wieder vereinzelt feinere Erzpartien erkennen.

η) Calcit konnte (im Gegenfaze zur Analyse) nicht festgestellt werden.

δ) Vereinzelt: Plagioklasfragmente (in maximo: $104 \mu/95 \mu$).

3. Schiefer c.

Hellschwarzgrauer, schwachfettglänzender, unregelmäßig-gewellter Ober-Devon-Schiefer von Nuttlar a. Ruhr (bei Brilon) in Westfalen (etwas dunkler wie a). S. Mikrophotogr. Nr. 5. und 6, Taf. XIII sowie Nr. 1, Taf. XIV.

α) Glimmer, β) Chlorit und γ) Quarz von ähnlicher Durchschnittsgröße wie bei a.

δ) Rutilnadelchen ähnlich wie bei b, doch eher etwas weniger fein.

ε) Kohlenstoff etwas reichlicher wie bei a und gleichmäßig dichte Schwärme größerer Masse seltener.

ζ) Erz. Hier und da in Schwärmen, aus losen Körnern bestehend, die im auffallenden Lichte durch die Krystallform als Pyrit sich erwiesen: O herrscht vor, u. a. auch die Kombination: $O \cdot \frac{\infty O_2}{2}$

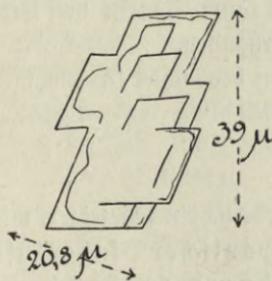


Abb. 20.

erkennbar. Abmessungen der Krystallschwärme $21 \mu/29 \mu$, $570 \mu/75 \mu$ u. s. w., der Einzelkrystalle 5μ . Das Röntgen-Bild, Abb. 3, Taf. XVIII zeigt nur minimale Erzteilchen.

η) Calcit tritt hier, neben der Sorte e, am reichlichsten unter allen 10 Sorten auf, so daß er bei gekreuzten Nikols das Dünnschliffbild ebenso wie dort vollständig beherrscht. Vgl. das Mikrophotogramm Nr. 1, Taf. XIV. Größte Abmessung s. Abb. 20. Der Schiefer zeigt ebenso wenig wie a und b Parallellagerung seiner Komponenten.

4. Schiefer d.

Schwach bläulich grauer, nur sehr schwach fettglänzender Unter-Devon-Schiefer, „Hundsrückschiefer“, von Caub a. Rhein (b. Bingen), von etwas regelmäßigerer, undeutlicher Parallelfältelung oder-streifung wie bei a, b und c; heller wie a und c. S. Mikrophotogr. Nr. 2, Taf. XIV.

α) Glimmer-, β) Chlorit- und γ) Quarzteilchen wohl zahlreicher, aber auch weit kleiner wie bei den anderen Sorten und dabei weit weniger länglich und ein weit gleichmäßigeres Gemenge von kurzen, fast runden ziemlich gleichgroßen Teilchen darstellend. Durchschnittsmaß der Quarz- und Glimmerteilchen $2\ \mu$ bis $10\ \mu$, Maximalquersmaß $15\ \mu$. Die amorphe kieselige Substanz scheint hier wohl unter allen Sorten nächst k am spärlichsten vertreten.

δ) Rutilnadelchen, hier wohl am kleinsten von allen 10 Schieferarten, vor allem aber, wie die übrigen Bestandminerale der Sorte d, durch geringe Längenausdehnung ausgezeichnet. Die größten Rutilmikrolithen dürften $5\ \mu$, höchstens $8\ \mu$ lang und $1/4\ \mu$ bis $1\ \mu$ breit sein, meistens aber sind sie weit feiner.

ϵ) Kohlenstoff, lichtlockige, ziemlich gleichmäßig verteilte Massen, der Menge nach ähnlich wie bei a. In annähernd paralleler Richtung und zwar findet in Abständen von etwa $150\ \mu$ bis $300\ \mu$ eine etwas größere Anhäufung der C-teilchen statt, übereinstimmend mit der undeutlichen Parallelfältelung.

ζ) Erz in ganz kleinen Gruppen auftretend, verrät sich durch die Kristallform als Pyrit (O in Einzelkristallen und Gruppen). Das Röntgen-Bild, Abb. 4, Taf. XVIII zeigt kaum Spuren von Erz.

η) Calcit in sehr kleinen Partikeln vorhanden.

θ) Auch Plagioklasfragmente wurden beobachtet (ausnahmsweise einmal $50\ \mu/40\ \mu$).

5. Schiefer e

ist kein Thonschiefer, sondern ein Schalstein, d. h. ein schiefriger, mit kohlensaurem Kalk und Chlorit imprägnierter, devonischer Diabastuff aus Diez a. d. Lahn, von hellolivgrauer Farbe und etwas unebener, aber kräftig fettglänzender Oberfläche. S. Mikrophotogr. Nr. 3, 4 und 5, Taf. XIV.

α) Glimmer etwas größer wie bei d. Durchschnittsmaß der kleinen und kurzen Blättchen etwa $5\ \mu$ bis $15\ \mu$, beobachtete Maximalabmessung der ziemlich häufigen, größeren lamellaren Aggregate $120\ \mu/65\ \mu$. β) Zahlreiche blaßgrüne Chloritblättchen von der Durchschnittsgröße des kleinen Glimmers, in maximo $10\ \mu/30\ \mu$, vielfach übereinandergelagert, mitunter scharf hexagonal, die Schieferfarbe wesentlich mitbedingend.

γ) Quarz von der Durchschnittsgröße der kleinen Glimmerblättchen.

Beobachtete Maximalabmessung $30 \mu/30 \mu$. In Bezug auf Gleichmäßigkeit der Verteilung von α und γ gewährt e ein ähnliches Bild wie d.

d) Rutilnadelchen fehlen auch hier nicht, sind jedoch von äußerster Kleinheit, fast wie bei d und etwa ebenso reichlich vorhanden wie dort.

e) Kohlenstoff tritt nur höchst vereinzelt in ganz verschwindenden Partien auf.

f) Erz wurde nur ganz vereinzelt, bei einem vorliegenden Dünnschliff in zwei kleinen Partien, beobachtet, deren Kleinheit nicht zu entscheiden gestattete, ob Pyrit oder Markasit vorlag.

g) Calcit in ähnlicher Größe und Menge wie bei c, jedoch gleichmäßiger über die Masse verteilt. S. die Mikrophotogr. Nr. 4 und 5, Taf. XIV, bei parallelen und gekreuzten Nikols. Größe der Einzelpartien = $4,5 \mu$ bis 40μ , beobachtete Maximalgröße eines Aggregats = 65μ .

h) Von sonstigen Beimengungen seien erwähnt: Plagioklasse und ganz vereinzelt Überreste von stark korrodierten, meist in Chlorit umgewandelten Augiten. Der Schiefer e zeigt keine Spur von Parallelordnung seiner Elemente in der Spaltungsebene.

6. Schiefer f

ist kein Thonschiefer, sondern ein olivengrauer, ausgesprochen seidenglänzender, feingefalteter, mit parallelen kleinen Furchen und Erhöhungen versehener Phyllit von Rimogne in den Ardennen, französ. dep. Ardenne. S. Mikrophotogr. Nr. 6, Taf. XIV und Nr. 1, Taf. XV.

α) Glimmer, β) Chlorit und γ) Quarz. Die Hauptmasse des grünlichen Glimmers, welcher jedenfalls als Sericit zu deuten ist und den Seidenglanz des Schiefers mit bedingt, zeigt sich in ziemlich gleichmäßiger Mischung mit dem Quarz über den Dünnschliff verteilt, doch herrscht der Glimmer bei weitem vor. Die meist sehr langgestreckten Sericiteilschen sind etwa 10μ bis 50μ lang und etwa halb so breit. Die Quarzkörner- und splitter zeigen ähnliche Größe. Bemerkenswert ist die aus den Mikrophotogrammen deutlich ersichtliche scharfe Parallellagerung der Sericit- und vielfach auch der Quarzteilschen (Richtung des Longgrain). Der Abstand der parallelen Sericitblättchen beträgt 25μ bis 50μ . Ganz besonders charakteristisch aber wird das Bild erst durch das Auftreten von Knoten oder Linsen, die genau die Lagerungsrichtung des Sericits (also die Richtung des Longgrain) besitzen, mithin unter sich parallel sind und eben die ein-

gangs erwähnte, eigenartige Parallelfältelung und Riefelung des Rimogne Phyllits zur Folge haben (vgl. Mikrophotogr. Nr. 6, Taf. XIV.) Diese Knoten besitzen eine Gesamtlänge von etwa 0,5 mm (500 μ) bis fast 2 mm (2000 μ) und eine Breite von 0,075 mm (75 μ) bis 0,3 mm (300 μ). Sie bestehen aus zwei etwa gleichlangen, durch ζ) ein Magnetitofktaeder getrennte, nach den Enden hin sich etwas verzüngende Glimmerblättchen, jedenfalls Chlorit*). Zwischen den Magnetit und die beiderseitigen Chloritblättchen ist häufig etwas Quarz interponiert. Die Seitenlänge der Magnetitofktaeder-Schnitte beträgt etwa 0,045 mm (45 μ) bis 0,3 mm (300 μ). Die Abstände der parallelen Knötchen sind 0,15 mm (150 μ) und weniger (zuweilen berühren sie sich geradezu) bis etwa 2,5 mm (2500 μ), durchschnittlich 0,3 mm (300 μ) bis 0,8 mm (800 μ). Jene Erzknötchen sind auch, ebenso wie die, bei aller Festigkeit, gelegentlich hervortretende Neigung des Phyllits, zu schülfern, Mitursache seines fast ebenso sehr imbibitorischen wie hygroskopischen Charakters — unbeschadet seiner geringen Gesamtporosität — oder Ursache der Kleinheit des Quotienten $\frac{Ph}{P_i}$ (= 1,29); denn während die Magnetite für sich wegen ihrer großen Oberflächendichtigkeit die Hygroskopie nicht erhöhen, werden sie durch die Lückenhaftigkeit des Anschlusses der Umgebung die Imbibitionsfähigkeit des Schiefers steigern. Das Röntgen-Bild, Abb. 6, Taf. XVIII zeigt die gleichmäßig durch die Platten verteilten Magnetite in vorzüglicher Weise. Etwas unter der Mitte eine etwas größere Erz-Anhäufung.

δ) Die Rutilnadelchen sind hier unter allen 10 Sorten entschieden am größten. Durchschnittsabmessungen etwa 5 μ bis 25 μ auf 1 μ bis 4 μ . Häufig sind Nadeln von 6 μ bis 30 μ und ausnahmsweise kommen solche von 50 μ /8 μ vor.

ϵ) Kohlenstoff und η) Calcit wurden nicht vorgefunden, ζ) Erz außer dem Magnetit nicht beobachtet.

7. Schiefer g

ist ebenfalls kein Thonschiefer, sondern ein rein-lichtgrauer, seidens- bis schwach metallisch-glänzender, parallel- und zartgefältelter

*) G. Geinig in Mineral. Mitteil. v. Tschermak, 1880, III, p. 533–540, erklärt dieses Mineral für grünen Biotit, G. Cohen im N. Jahrb. f. Miner. zc. 1882, Bd. 2, p. 67, für Chlorit.

Phyllit von Rimogne in den Ardennen. S. Mikrophotogr. Nr. 2, Taf. XV.

a) Grüner langgestreckter Glimmer (vermutlich Sericit) und
 ß) grüner Chlorit, namentlich ersterer in gleichmäßiger Mengung und Verteilung mit γ) dem etwa gleichgroßen, etwas spärlicheren Quarz. Abmessungen des Glimmers im Durchschnitt: 15μ bis 70μ lang und 2μ bis 15μ breit. Beobachtetes Größtmaß $470 \mu/70 \mu$.

δ) Die Rutilmikrolithen sind größer wie bei den Thonschiefern, aber im ganzen etwas kleiner und weit spärlicher wie bei f. Durchschnittsabmessungen etwa 5μ bis 25μ auf $1,5 \mu$ bis 5μ . Einmal wurde jedoch eine Länge von 75μ beobachtet.

e) Kohlenstoff wurde nicht wahrgenommen.

ζ) Erz spielt hier ebenso wie bei f, jedoch wieder in anderer Weise, eine führende Rolle unter den Gesteinselementen und zwar ist es hier Titaneisen (Ilmenit). Dasselbe ist im auffallenden Licht eisenschwarz bis stahlfarben und metallglänzend; es bildet unregelmäßige, kantige, hie und da Krystallflächen (R, OR u. s. w.) zeigende Körner, Leisten und kolbige Splitter, welche öfters mit Rutilnadeln verwachsen erscheinen, an ganz dünnen Stellen mit nekkenbrauner Farbe durchscheinend werden, ohne bemerkbare Doppelbrechung und Pleochroismus. Diese Titaneisenleisten sind unter sich sowie mit dem Glimmer aufs strengste genau parallel orientiert, wie aus der Abb. 2, Taf. XV deutlich erkennbar. Größe der parallelen Leisten, Kolben und Körner von 2μ an bis zu den Abmessungen $90 \mu/18 \mu$, im Durchschnitt wohl meist 40μ bis 75μ lang und 10μ bis 20μ breit. Die Dicke entspricht der Breite. Ihr Abstand beträgt etwa 10μ bis 25μ . Gleiche Abstände zeigen die gleichgelagerten und nahezu gleichgroßen Glimmerblättchen. Die erwähnte strenge Parallellagerung der Gemengteile — sogar die Rutilnadelchen scheinen sich mitunter daran zu beteiligen — entspricht genau der Fältelung des Schiefers. Das Titaneisen bedingt den schwachen metallischen Schiller der Spaltflächen des Phyllits. Dagegen können die Erzkörperchen hier, wegen ihrer Kleinheit (vgl. Mikrophotogr. Nr. 2, Taf. XV) wohl nicht ganz in dem Sinne wie die Magnetite des Phyllits f, zur Erklärung der ver-

hältnismäßig erheblichen Imbibitionsfähigkeit des Phyllits $g \left(\frac{P_h}{P_i} = 2,72 \right)$ herangezogen werden. Indessen steht doch zu vermuten, daß

jene gewisse Neigung dieses Schiefers zur Schülferung, auf welche die vergleichsweise Größe seiner Imbibitionsfähigkeit größtenteils zurückzuführen sein wird, durch eine geringere Haftung zwischen Erz und sonstigen Schiefermaterial veranlaßt ist. Daß in dem Röntgen-Bild, Abb. 7, Taf. XVIII die Titaneisen-Körperchen, trotz ihrer Menge nicht bemerkbar sind, erklärt sich, bei ihrer gleichmäßigen Verteilung, jedenfalls durch ihre Kleinheit und geringe Dicke.

η) Calcit nicht beobachtet.

8. Schiefer h.

Französischer, schwarzgrauer Schiefer (Silur) von Angers an der Loire, fettglänzend (etwa wie a und d, in der Färbung am meisten mit a übereinstimmend), von deutlicher, aber unvollkommenerer Parallelfältelung wie bei f, g und i. S. Mikrophotogr. Nr. 3 und 4, Taf. XV.

α) Glimmer fast so lang wie bei f, durchschnittlich etwa 10 μ bis 50 μ auf 5 μ bis 15 μ , sehr oft auch kleiner und weniger gleichmäßig langgestreckt wie dort. β) Chlorit hier sehr deutlich erkennbar. Das größte Blättchen, einer größeren Gruppe von Chloritkristallen angehörig, maß 39 μ /13 μ .

γ) Quarz von etwas kleineren Abmessungen wie α und β. Glimmer und Quarz, ebenso einigermaßen auch die Kohlenstoffaufwerke, sind parallel gerichtet, jedoch bei weitem nicht mit der Konsequenz wie bei f und g (und auch i). Doch selbst δ) die Rutile scheinen sich zuweilen dem Gesetz der Parallellagerung unterzuordnen. Dieselben sind zahlreich und ziemlich groß, größer wie bei a und c, kleiner wie bei f und g. Durchschnittsmaß 8 μ bis 13 μ auf 0,5 μ bis 1,5 μ .

ε) Kohlenstoff reichlich und dichtfloßig.

ζ) Erz und zwar Pyrit. Beobachtet wurde namentlich eine große Gruppe zusammenhängender Pyrite von den Abmessungen 600 μ /450 μ (s. Mikrophotogr. Nr. 4), welche im auffallenden Licht äußerst lebhaft speisgelb metallglänzend erschien und deren Kontur deutlich die ∞ O ∞ -Form erkennen ließ. Desgl. genau kugelförmige Pyritaggregate — Durchmesser ca. 45 μ . Im Röntgen-Bild, Abb. 8, Taf. XVIII, macht sich in der Mitte links eine größere Erzpartie bemerklich.

η) Calcit wurde nicht gefunden.

9. Schiefer i.

Licht-bläulich-grauer, matter, sehr schön fein-parallelgefalteter englischer Schiefer von Port-Madoc in Nord-Wales, dem Silur angehörend, in der Färbung am meisten mit d übereinstimmend. S. Mikrophotogr. Nr. 5 und 6, Taf. XV.

a) Die Glimmerblättchen treten in ziemlich gleichmäßiger Verteilung und Größe, etwa $25 \mu/5 \mu$, also langgestreckt wie bei f, g und h, aber doch kürzer, in geringen Abständen genau parallel orientiert auf. Daneben sind jedoch auch Aggregate und Anhäufungen von $75 \mu/50 \mu$ nicht selten. Maximal-Abmessungen derselben $675 \mu/90 \mu$. Auffallend viel Glimmer tritt mit der Basis nicht in der Spaltebene liegend auf, sondern wird als schmale Leisten sichtbar.

β) Chlorit. Scharf umrissene Chlorit hexagone selten. Ein größeres Chloritblättchen maß $20,5 \mu/13 \mu$.

γ) Quarz und δ) Rutilnadelchen. Letztere etwa von der Länge wie bei h, doch durchweg feiner und viel zahlreicher, ein ganz dichtes Gewirre bildend, wohl am zahlreichsten unter den 10 Sorten.

e) Kohlenstoff in lichten, ganz gleichmäßig verteilten Flöckchen, wodurch die mit dem großen Fe_2O_3 -gehalt scheinbar im Gegensatz stehende Färbung des Schiefers erklärlich.

ζ) Erz. Der Dünnschliff ist mit ganz kleinen Magnetiten: in Körnerform und Kriställchen (zuweilen mit Quarz verwachsen) in großen Abständen, jedoch ziemlich gleichmäßig überfät. Beobachtet wurde ein Oktaeder von etwa 6μ Kantenlänge. Die Körnerform herrscht vor. Das Pyknogr., Abb. 1, Taf. XIX zeigt mehrfach sehr bedeutende Erzanhäufungen (wahrscheinlich auch noch anderer Art).

η) Calcit nicht beobachtet (die Analyse weist dagegen $1,0\%$ CaO auf).

10. Schiefer k.

Dunkelschwarzgrauer, etwas fettglänzender, glimmeriger, ganz unregelmäßig-schwach-gewellter Schiefer von Sembrancher im Kanton Wallis, Schweiz. Dieser Schiefer ist den 10 andern gegenüber, wie ein Blick auf das Mikrophotogr. Nr. 1, Taf. XVI zeigt, durch die Größe seiner Gemengteile ausgezeichnet.

a) Glimmer- und γ) Quarzpartien von 25μ bis 100μ bis 150μ Quermaß sind häufig. Die Teilchen erscheinen ohne jede Parallelordnung gelagert, ähnlich wie bei a und c. Der Glimmer ist

ohne jedes Vorherrschen nach irgend einer Ausdehnungsrichtung, ganz wie bei a und c. Ganz regellos sind auch δ) die zahlreichen feinen Rutilnadelchen verteilt. Der Schiefer k ist am reichsten an ε) Kohlenstoff von den 10 Sorten. Derselbe ist ziemlich gleichmäßig dicht- und dickflockig, außerdem aber noch in einzelnen kompakten Stücken verbreitet.

ζ) Erz, jedenfalls Pyrit, sehr reichlich, gewöhnlich in der Nähe von Kohlenstoffmassen, manchmal als Überzug derselben, außerdem in Gruppen von kugeligen oder traubigen Aggregaten, in maximo etwa 150 μ messend. Mitunter erstreckten sich die Körner einer solchen Gruppe übers ganze Gesichtsfeld. Einige größere Erzpartien sind im Röntgen-Bild, Abb. 2, Taf. XIX bemerkbar.

η) Calcit in ziemlich großen Mengen und von dem dunkeln, kohlenstoffreichen Grund doppelt wirkungsvoll sich abhebend.

11. Weißer Marmor (Blanc clair) l,

aus Carrara stammend, also triassisch, anscheinend ganz reines CaCO_3 bis auf einen sehr geringen C-gehalt, der sich am Stück durch höchst vereinzelte schwärzliche Flecken und Streifen kund giebt, sonst reinweiß. Unter dem Mikroskop (s. Abb. 3 und 4, Taf. XVI), zeigt der Marmor sehr schön die bekannte polysynthetische Zwillingstreifung der Calcitindividuen. Quermaß der letzteren 75 μ bis 300 μ , doch wurden auch solche von 900 μ beobachtet. Von Beimengungen sind nur ganz vereinzelte Quarzkörner und eben das schwarz-graue C-pigment mancher Calcitkörner zu bemerken.

12. „Schwarzer Schwedischer Granit“ m,

aus Åhus in Schweden (Bruchbesitzer: Hugo Gerlach in Warberg in Schweden) ist, nur in der Stein-Industrie diesen Namen führend, gar kein Granit, sondern als ein, dem Augitdiorit (von Snarum) nahestehender Gabbro zu bezeichnen. Makroskopisch — auf der Bruch- bzw. Politurfläche — sind deutlich der dunkle Feldspat und der schwärzliche Diablag sowie reichliche Erzmengen (Magnet- und Titaneisen) zu erkennen. Der Dünnschliff zeigt den durch seine Zwillingstreifung auf den Spaltflächen ausgezeichneten Plagioklas, der durch winzige staubartige Einschüsse braungefärbt ist (bis 450 μ /1500 μ), den ziemlich stark pleochroitischen Diablag von ähnlicher Größe und die üblichen accessorischen Gabbrogemengteile. Die

unregelmäßig-zackig begrenzten opaken Erzpartien erreichen eine Größe von 1000 μ /1500 μ . Abb. 5 und 6, Taf. XVI.

13. Sandstein n,

von der schwedischen Insel Gotland, dem Silur angehörig, ein feinkörniges, in früherer Zeit in den Ostseestädten vielverwandtes Material von weißer Farbe (mit schwachem Stich ins Bläuliche). Die Quarzkörnchen haben sehr annähernd gleiche Größe und besitzen, wie der Dünnschliff zeigt (s. Mikrophotogr. Nr. 1, Taf. XVII), das Durchschnittsquersmaß von 75 μ . Der Abstand derselben ist ziemlich bedeutend und im Mikrophotogramm nach dem Durchschnittsquersmaß der Quarzkörner leicht abzuschätzen. Das jedenfalls ziemlich lückenhafte und poröse Bindemittel ist z. T. thoniger Natur, wie schon der deutliche Thongeruch beim Anhauchen des Steins verrät, z. T. von amorph-kieseliger Beschaffenheit. Sein CaCO_3 -Gehalt ist verschwindend (0,44 % CO_2). Ebenso groß wie die Sandkörner sind die sehr selten vorkommenden Glimmerblättchen. Gleichvereinzelt treten auch, z. T. in Chlorit übergegangene, Hornblendetrümmer auf.

Außer den unter 1 bis 10 bei den einzelnen Schieferarten bereits gemachten speziellen Andeutungen über Zusammenhang zwischen Art, Menge und Anordnung ihrer mineralischen Bestandteile einerseits und gewissen physikalischen Eigenschaften der Schiefer, wie Farbe, Glanz, Porosität andererseits dürfte sich aus dem Vorstehenden noch folgende allgemeinere, interessante und nicht unwichtige Bemerkung ergeben. Es scheint, daß die Parallellagerung und gleichzeitige langgestreckte Form der Bestandminerale bei den Schiefen den geringeren Grad ihrer Gesamtporosität bedingt (i, g, f, h), während umgekehrt die regellose Form und Lagerung jener im allgemeinen den gegenteiligen Einfluß ausübt (a, e, b, k, d, c). Besonders deutlich tritt dies im Vergleich mit den anderen Schiefen bei der Sorte i hervor, deren Bestandteile gleichsam ein langfaseriges, inniges Geflecht bilden. Vermutlich ist es die bei den Sorten der erstgenannten Art (i, g, f, h) stattfindende gleichmäßigere und innige Aneinanderlagerung der langgestreckten Bestandteile, vielleicht aber noch mehr ihre schuppenartige, mehrfache übereinanderlagerung (ähnlich den Ziegeln oder Schieferplatten

einer Dacheindeckung), welche die größere Dichtigkeit veranlaßt. Bei d hingegen ist zwar eine auffallende Gleichmäßigkeit in Bezug auf Größe und Mengung der Bestandminerale vorhanden, trotzdem kommt dieser Schieferforte, da jene nur nebeneinander gelagert sind und des innigeren Anschlusses und des Übergreifens ermangeln, nur eine geringe Dichtigkeit zu. Bei dem „Schwedischen Granit“ m handelt es sich gleichfalls nur mehr um eine Nebeneinanderlagerung der Bestandminerale, wenn auch unter innigem Anschluß derselben (vgl. S. 34). Beim Sandstein n endlich sind die Bedingungen für seine größere Porosität bereits genügend angedeutet. Erörterungen über Beziehungen zwischen Porosität und Wetterbeständigkeit im Abschn. VII.

III. Chemische Untersuchung.

Soweit nicht Analysen der Schiefer vorlagen, wurden dieselben von mir selbst vorgenommen nach folgendem

I. Gang der chemischen Untersuchung.

a) 1. Portion. Bestimmung des Gehalts an hygroskopischem Wasser.

Trocknen der feingepulverten Substanz bei 105° C. bis zur Gewichtskonstanz.

b) 2. Portion. Bestimmung des Glühverlustes.

(Gesamtmenge an H_2O , C bzw. organischer Substanz CO_2 , SO_2). Glühen der feingepulverten Substanz im Platintiegel (zuletzt über dem Gasgebläse) bis zur Gewichtskonstanz. Das Ergebnis bedarf einer Korrektur wegen des FeO-Gehaltes der Schiefer und liefert nach Abzug des H_2O aus a, der unter m bestimmten CO_2 und der auf Grund der FeS_2 -Bestimmung (vgl. k) berechneten SO_2 den Gehalt des Gesteins an chemisch-gebundenem H_2O und an C bzw. organischer Substanz.

c) 3. Portion. Bestimmung der SiO_2 und aller Basen außer den Alkalien.

Ausschließung einer Menge der feingepulverten und gebeutelten Substanz mittels Soda im Platintiegel über dem Gasgebläse, Lösen der Schmelze in H_2O und HCl, Abdampfen in einer Platinschale und Erhitzen auf 120° C. zur Abscheidung und Unlöslichmachung der

SiO₂. Dieselbe ist außer auf etwa beigemengte Basen noch auf TiO₂ zu untersuchen.

NB. In einem Falle wurde auch mit konzentrierter Schwefelsäure aufgeschlossen.

d) 1. Ein bestimmtes Quantum, des Filtrats der SiO₂-Bestimmung wird durch Abdampfen von der HCl befreit, worauf mit H₂SO₄ und Zn im Kolben mit Bunsen-Ventil die Reduktion des Fe₂O₃ erfolgt. Bestimmung des FeO durch Titration mit Chamäleonlösung und Berechnung der entsprechenden Fe₂O₃-Menge.

2. Der übrige (größere) Teil des Filtrats von c wird im Becherglas mit einigen Tropfen konzentrierter HNO₃ oxydiert und — bei Abwesenheit von Mn — mit NH₃ gefällt. Mn-Gehalt giebt sich schon durch Grünfärbung der Sodaschmelze zu erkennen (wie z. B. bei Schiefer e) und ist durch weitere Prüfung (Zusatz von konzentrierter HNO₃ und Bleisuperoxyd) zu bestätigen. Der NH₃-Niederschlag giebt die Gesamtmenge der 3. Portion an Al₂O₃ und Fe₂O₃. Nach Abzug des sub. 1 gefundenen Fe₂O₃ erhält man den Gehalt an Al₂O₃ allein. In betreff des ursprünglichen Fe₂O₃-Gehalts der Substanz siehe g und k. Bei Gegenwart erheblicherer Mn-Mengen wird das Filtrat von c anstatt mit NH₃, nach vorherigem Abdampfen der HCl und Neutralisation mittelst Natriumcarbonat, mit Natriumacetat kochend gefällt und im Filtrat des Niederschlags mit Bromwasser das Mn als Hyperoxydhydrat abgetrennt.

e) Der Kalk wird aus dem Filtrat des Al₂O₃- und Fe₂O₃-Niederschlags als oxalsaurer Kalk gefällt und als CaO gewogen.

f) Abcheidung des MgO aus dem Filtrat von e mittelst Natriumphosphat (bei Gegenwart von NH₄Cl und NH₃) als krystallinische phosphorsaure Ammon-Magnesia, Glähen des Niederschlags und Wägen als Magnesiumpyrophosphat.

g) 4. Portion. Eine Menge des Substanzpulvers wird nach dem Verfahren von Petersen*) durch Erwärmen mit konzentrierter HF1 und H₂SO₄ in einem Kolben von eisenfreiem Glas zerlegt, nachdem durch etwas CaCO₃ und H₂SO₄ eine CO₂-Atmosphäre im Kolben hergestellt worden war. Dann wird mit H₂O verdünnt und

*) S. Neues Jahrb. f. Mineral. 1869, p. 32 und 1872, p. 596 sowie Journ. f. prakt. Chem. 1872, p. 222.

das in der Substanzmenge enthaltene FeO maßanalytisch bestimmt. Hierauf Berechnung der dem erhaltenen FeO entsprechenden Fe_2O_3 -Menge, die von dem unter d, 1 gefundenen Fe_2O_3 -Quantum abzuziehen ist, um das neben dem FeO in Drydform im Schiefer enthaltene Fe zu erhalten (vgl. aber hierzu noch k).

h) 5. Portion. Alkalienbestimmung.

Auffschließen mit HFl und H_2SO_4 in einer Platinschale, Drydation mit etwas HNO_3 , Abdampfen der Flußsäure und Lösen in HCl. In der Lösung werden durch Zufügen von Barytwasser die Schwefelsäure und die in H_2O unlöslichen Dryde: Fe_2O_3 , Al_2O_3 und MgO gefällt. In Lösung bleiben außer den Alkalien: BaO und z. T. CaO. Nachdem die letzteren beiden Dryde durch Einleiten von CO_2 und Erwärmen abgetrennt sind, werden die Alkalien in Chloralkalien übergeführt und als Chlorplatinat bestimmt. Oder: man fällt aus der ursprünglichen Lösung mittelst Ammoniak, kohlensaurem Ammon und oxalsaurem Ammon mit einem Male Eisen, Aluminium und Calcium, dampft das Filtrat ein, entfernt die Ammonsalze durch vorsichtiges Glühen, löst in H_2O , fällt mittelst Barytwasser die Magnesia als Hydrat, hierauf den Baryt durch verdünnte H_2SO_4 aus und bestimmt nun weiter die Alkalien als Sulfate.

i) 6. Portion. Schwefelsäurebestimmung.

Auslaugen einer Menge Substanzpulver mit verdünnter HCl und Bestimmung der SO_3 als BaSO_4 .

k) 7. Portion. Pyrit- bzw. Markasitbestimmung.

Nachdem das Schieferpulver mit rauchender HCl und rauchender HNO_3 oder mit konzentrierter HCl und unter Zusatz von chlorsaurem Kali digeriert worden ist, wird abgedampft, mit H_2O verdünnt, BaCl_2 zugefügt und die durch die Drydation des S gebildete SO_3 als BaSO_4 bestimmt. Hiernach berechnet man die entsprechende Menge von FeS_2 sowie auch von Fe_2O_3 ; letztere ist von dem unter g gefundenen Fe_2O_3 noch abzuziehen. Der Rest stellt den wahren Gehalt des Schiefers an Fe_2O_3 dar.

l) Etwa vorhandene Phosphorsäure (die jedoch seltener und dann nur in geringen Mengen auftritt) ist aus dem Filtrat von k — nach vorheriger Abscheidung des Baryts und Beseitigung der HCl — mit molybdänsaurem Ammon (Molybdänflüssigkeit) zu fällen.

Das phosphormolybdänsaure Ammon wird hierauf in NH_3 gelöst und schließlich die Phosphorsäure als Magnesiumpyrophosphat bestimmt.

m) 8. Portion. Der Gehalt an etwa vorhandener CO_2 wird in einem verbesserten Bunsen'schen Apparat aus dem Gewichtsverlust nach dem Austreiben mittelst HCl bestimmt. Der Fehler, der aus dem meist geringen Gehalt an FeS_2 hierbei erwächst (Bildung von H_2S), ist bei allen 10 Schieferorten, mit Ausnahme etwa von b, belanglos. Hier aber (FeS_2 -Gehalt = 1 % oder mehr) muß Rücksicht darauf genommen werden.

n) 9. Portion. Der Gehalt an C bezw. organischer Substanz und gleichzeitig an H_2O wird durch Glühen einer Substanzmenge im O_2 -Strom in einer Verbrennungsröhre mit vorgelegtem Chlorcalcium- und Kaliapparat gefunden. Von der sich ergebenden CO_2 -Menge ist natürlich die unter m erhaltene abzutziehen.

Bemerkung. Die Substanz (Durchschnittsprobe) ist stets, auch wo es nicht ausdrücklich angegeben, in feingepulvertem und sorgfältig gebeuteltem Zustande zur Verwendung gelangt.

2. Analysen.

A. Analysen der 10 Schieferorten a bis k.

Die erste Zahlenpalte der Tabellen enthält den Prozentgehalt des Schiefers an seinen einzelnen Bestandstoffen, die zweite Zahlenpalte den O-Gehalt der letzteren, welcher im Abschn. VII verwertet wird.

a) Schiefer a.

SiO_2 (+ TiO_2)	56,6	30,19
Al_2O_3	24,3	11,33
Fe_2O_3	6,4	1,92
FeO	1,6	0,36
MnO	Spuren	
CaO	1,3	
MgO	1,4	0,56
K_2O	2,6	0,44
Na_2O	2,2	0,57
FeS_2	Spuren	
H_2O	2,7	2,40
C	0,5	
CO_2	1,8	

β) Schiefer b.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	62,4	33,28	
Al ₂ O ₃	16,4	7,72	
Fe ₂ O ₃	2,5	0,75	
FeO	3,3	0,73	
CaO	0,9		
MgO	1,4	0,56	
K ₂ O	3,4	0,31	
Na ₂ O	1,8	0,88	
FeS ₂	1,5		
Gieß- verlust	(H ₂ O + C)	4,3	2,67
	CO ₂	0,8	in 3 % an- gen. H ₂ O
Zus. 98,7			

γ) Schiefer c.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	48,2	25,71	
Al ₂ O ₃	9,0	4,23	
Fe ₂ O ₃	2,5	0,75	
FeO	11,6	2,58	
CaO	7,7		(entspr. 13,8 % CaCO ₃).
MgO	0,6	0,24	
K ₂ O	3,5	0,59	
Na ₂ O	4,7	1,21	
FeS ₂	0,4		
SO ₃	0,1		
Gieß- verlust	Hygroff. H ₂ O	0,3	
	chem. geb. H ₂ O + C	5,8	3,56
	CO ₂	5,8	in 4 % an- gen. H ₂ O
Zus. 100,2			

δ) Schiefer d.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	51,6	27,52
Al ₂ O ₃	27,9	13,13
Fe ₂ O ₃	2,1	0,63
FeO	5,0	1,11
CaO	0,4	
MgO	0,4	0,16
K ₂ O	6,0	1,03
Na ₂ O	1,1	0,29
FeS ₂	0,2	
P ₂ O ₅	0,1	
Glüh- verlust	(H ₂ O + C)	2,67
	CO ₂	in 3 % an= gen. H ₂ O
Zuf. 100,0		

ε) Schiefer e.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	53,2	28,37	
Al ₂ O ₃	18,2	8,56	
Fe ₂ O ₃	1,2	0,36	
FeO	4,3	0,96	
MnO	0,1	0,02	
CaO	7,6		(entpr. 13,6 % CaCO ₃).
MgO	2,0	0,80	
K ₂ O	2,2	0,38	
Na ₂ O	1,7	0,44	
FeS ₂	0,2		
Glüh- verlust	Syngroff. H ₂ O	0,3	
	chem. geb. H ₂ O + C	2,5	2,23
	CO ₂	7,3	in 2,5 % an= gen. H ₂ O
Zuf. 100,8			

5) Schiefer f.

	SiO ₂ (+ TiO ₂)	57,4	30,61
	Al ₂ O ₃	17,7	8,25
	Fe ₂ O ₃	4,3	1,29
	FeO	12,0	2,67
	CaO	0,2	
	MgO	1,5	0,60
	K ₂ O	2,3	0,39
	Na ₂ O	1,5	0,39
	FeS ₂	—	
Glüh= verlust	$\left. \begin{array}{l} \text{Hingroisfop. H}_2\text{O} \\ + \text{chem. geb. H}_2\text{O} \\ + \text{C} \end{array} \right\}$	5,0	3,56
			in 4% an=
			gen. H ₂ O
Zusf. 101,9			

7) Schiefer g.

	SiO ₂ (+ TiO ₂)	57,5	30,67
	Al ₂ O ₃	20,7	9,70
	Fe ₂ O ₃	6,6	1,98
	FeO	1,5	0,33
	CaO	0,3	
	MgO	1,8	0,72
	K ₂ O	5,9	1,00
	Na ₂ O	0,9	0,23
	CaO	Spuren	
	P ₂ O ₅	0,1	
Glüh= verlust	$\left. \begin{array}{l} \text{H}_2\text{O} + \text{C} \\ \text{CO}_2 \end{array} \right\}$	4,6	2,67
			in 3% an=
		0,1	gen. H ₂ O
Zusf. 100,0			

d) Schiefer h.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	51,3	27,36	
Al ₂ O ₃	23,5	11,06	
Fe ₂ O ₃	15,0	4,50	
FeO	1,0	0,22	
MgO	1,6	0,64	
Alkalien	4,7	Zm Durchschn. etwa 0,80	(wegen des größeren K ₂ O= Gehalts)
		1,78	
		in 2 % an= gen. H ₂ O	

e) Schiefer i.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	55,3	29,49	
Al ₂ O ₃	24,6	11,58	
Fe ₂ O ₃	10,4	3,12	
CaO	1,0		
MgO	2,1	0,84	
Alkalien	2,0	Zm Durchschn. 0,35	
		1,78	
Glühverlust	4,6	in angen. 2 % H ₂ O	
Zusf. 100,0			

*) Schiefer k.

SiO ₂ (+ TiO ₂)	58,9	31,41
Al ₂ O ₃	21,5	10,13
Fe ₂ O ₃	3,6	1,09
FeO	4,6	1,02
CaO	1,0	
MgO	0,9	0,38
K ₂ O	3,1	0,52
Na ₂ O	1,5	0,39
FeS ₂	0,5	
Glühverlust { H ₂ O + C + CO ₂ }	4,8	2,40
(C = 1,3)		in 2,7 % angen. H ₂ O

Zuf. 100,4

B. Analysen der Versuchslüssigkeiten
der CO₂=O-Einwirkung (Abschn. III) auf c und e.

a) Versuchslüssigkeit zu Schiefer c.

Das Trockengewicht der Probepatte betrug 24,7038 g, ihr Gewichtsverlust in der Versuchsfiasche 0,0216 g.

Platten- stoffe	Die Probe- platte enthielt g	In Lösung gegangen		Es wurden gelöst in % der Platten- Stoffmengen
		in g	in % des Glüh- rückstandes der Lösung	
SiO ₂	11,9072	0,0005	3,15	0,004
FeO	2,9256	0,0053	33,33	0,18
CaO	1,9022	0,0075	47,09	0,39
MgO + Alkalien	2,1739	0,0026 (als Differ. berechn.)	16,35	0,12
		0,0159	99,9	
		= Glührückstand der Versuchslüssigkeit		

Beim Abdampfen der Versuchslüssigkeit entwich sichtlich ein Teil der CO_2 der gelösten primären Karbonate, der Rest beim Glühen des Rückstandes. Das Gewicht des Glührückstandes 0,0159 stimmt überein mit dem Plattengewichtsverlust 0,0216, vermindert um die dem gelösten CaO entsprechende CO_2 -Menge.

β) Versuchslüssigkeit zu Schiefer e.

Das Trockengewicht der Probeplatte betrug 31,4410 g, ihr Gewichtsverlust 0,0261 g.

Plattenstoffe	Die Probeplatte enthielt g	In Lösung gegangen in g	Es wurden gelöst in % der Plattenstoffmengen
SiO_2	17,6266	Spur	Spur
FeO	1,3520	0,0041	0,30
CaO	2,3895	0,0085	0,36
MgO + Alkalien	1,8550	Rest	Rest

Der Trockenrückstand der Versuchslüssigkeit ist hier nicht bestimmt worden. Auch hier war die entweichende CO_2 deutlich wahrnehmbar. Der Fe-Gehalt gab sich bei β und α schon während der SiO_2 -Bestimmung bei dem Eindampfen mit HCl (nach vorheriger Oxydation) durch die dunkelgelbe Farbe des Schaleninhalts zu erkennen. Die vorstehenden Analysenzahlen sollen bei der Kleinheit der gelösten Substanzmengen nicht verbürgt werden. Auffallend ist die im Vergleich zum CaO geringe gelöste FeO -Menge gerade bei dem FeO -reicheren der beiden Schiefer: bei e.

C. Analyse der Versuchslüssigkeit

der Fresenius'schen Probe von e (Abchn. IV).

$$\begin{aligned} \text{Trockengewicht der Probeplatte} &= 25,9382 \text{ g.} & \text{Gewichtszunahme derselben} &= 1,0348 + 0,1465 = 1,1813 \text{ g} \\ & & \text{Gewichtszunahme der Platte selbst} & & \text{Gewicht des Abgangs} & \end{aligned}$$

(4,554 %). Also Endgewicht der (unbeschädigt gedachten) Platte 27,1195 g.

Platten- stoffe	Die Probe- platte enthielt g	In Lösung- gegangen g	Es wurden gelöst in % der Platten- Stoffmengen
SiO ₂	12,5022	0,0175	0,14
Al ₂ O ₃	2,3344	0,0674	2,89
Fe ₂ O ₃	0,6485	0,0370 (?)	5,71 (?)
FeO	3,0088	0,0624 (?)	2,09 (?)
CaO	1,9972	0,0804	4,03
MgO	0,1556	0,0034	2,19
K ₂ O	0,9078	} 0,0787	3,70
Na ₂ O	1,2191		
Zusf. 22,7736		0,3468	

Die Basen befanden sich in der Versuchslösung sämtlich als Sulfate in Lösung. Von SO₂ war keine Spur mehr vorhanden. Unrichtig wird das gegenseitige Verhältnis der gelösten Eisenoxyde, nämlich des FeO und des Fe₂O₃ (letzteres als Differenz des dem gelösten Fe entsprechenden Fe₂O₃ und des dem gefundenen FeO entsprechenden Fe₂O₃ bestimmt) ausgefallen sein. Denn jedenfalls hat während den Manipulationen mit der Versuchslösung und bei dem langen Stehen derselben (wenn auch im verschlossenen Kölbchen) bis zum Beginn der Analyse, eine teilweise Oxydation des FeO stattgefunden. Dem entspricht auch die unwahrscheinliche Kleinheit der gefundenen FeO-Menge (2,09 %). Auch kommt ein kleiner Teil der gelösten Eisenoxyde auf Rechnung der im Schiefer enthaltenen 0,4 % FeS₂.

D. Schneewasseranalysen und sonstige Versuche.

Vollständige Schneewasseranalysen sind nicht durchgeführt worden. Es wurden nur mehrfach Schneeproben von dem Dach, auf dem die 36 Platten der Versuchsreihe I (s. Abschn. II) sich befanden, im Dezember 1896 sowie Januar und Februar 1897 entnommen, eingeschmolzen und auf den Gehalt an Ruß, SO₃ und HCl geprüft.

Der Befund nur einiger weniger dieser Prüfungen sei in folgender Tabelle mitgeteilt:

Probe Nr.	1000 cm ³ Schneewasser enthielten:		
	Ruß g	SO ₃ g	HCl g
1	0,028	0,036	0,004
2	0,040	0,059	0,005
3	0,174	0,052	0,010
4	0,312	0,146	0,075

SO₂ fand sich in dem Schneewasser niemals vor, was durch die leichte Drydabilität der SO₂ leicht erklärlich. Bemerkte sei, daß es sich meist nicht um frischgefallenen Schnee, sondern um solchen handelte, der schon etwas gelegen hatte und darum eine größere Rußansammlung zeigte. Um etwaigen Säureverlusten beim Arbeiten vorzubeugen, wurde das Schneewasser mit chemisch reinem Na(HO)₂ eingedampft; der Ruß wurde auf einem Papierfilter von bekanntem Gewicht gesammelt, getrocknet, gewogen und das Filtrat weiter untersucht. Das Schneewasser hatte fast stets neutral reagiert, auch wurde mehrfach festgestellt, daß dasselbe die zur Bindung der vorhandenen Säuremengen hinreichende Mengen an Basen enthielt. Aus der Tabelle und überhaupt allen vorgenommenen Prüfungen ist zu entnehmen, daß mit dem Rußgehalt des Schneewassers auch die Menge an SO₃ und HCl wächst, und daß die letztere Verbindung oder vielmehr deren Salze in weit geringerer Menge auftreten wie die erstere oder deren Salze, jedoch keineswegs in zu vernachlässigender Weise. Daß der Cl-Gehalt möglicherweise, jedoch sicherlich zum allergeringsten Teile der ein wenig Kochsalz führenden Luft entstamme, soll nicht verneint werden; der größte Teil ist natürlich, ebenso wie der SO₃-Gehalt des Schnees, durch den Ruß übertragen. Luftanalysen sind nicht vorgenommen worden; es mußte die häufige Konstatierung von freier SO₂ und SO₃ in der Luft und im Regenwasser (in welcher Hinsicht auf die betreffende Litteratur zu verweisen ist) genügen. Zum Nachweis dieser Stoffe sind natürlich vollständige und genaue quantitative Analysen erforderlich. Das Rotwerden befeuchteten blauen Lackmuspapieres an der Luft beweist z. B. nichts und kann natürlich auch

von deren CO_2 -Gehalt allein herrühren. Es erfolgt überall, auf dem freien Land, wie in der Stadtluft; es tritt schneller ein, wenn das befeuchtete Lackmuspapier auf feste Gegenstände, wie Ziegelsteine, Fensterrahmen zc., aufgepreßt worden war*), am schnellsten, nämlich augenblicklich, wenn es in die ausströmenden Rauchgase — von Steinkohlen- oder auch Holzfeuerungen — gehalten wird. Der Gehalt der Rauchgase an freier SO_2 ist leicht durch Hindurchleiten oder Hindurchsaugen der ersteren durch Jodlösung, welche hierbei entfärbt wird, nachzuweisen und festzustellen. Ich habe bei solchen Versuchen (qualitativer Art) die Versuchsflasche, durch welche die Gase hindurchgehen sollten und mit ihr zusammen eine zweite, die gleiche Menge derselben Jodlösung enthaltende Vergleichsflasche in unmittelbarer Nähe des Schornsteins auf dem Dache aufgestellt und beide Flaschen mit einer dicken Sandumhüllung versehen. Dadurch wurde der bei längerer Exposition der Jodlösung an der Luft eintretenden Bleichung derselben und damit Täuschungen vorgebeugt. Einfacher gestaltet sich das Verfahren allerdings bei Zusatz von Stärkekleister zur Jodlösung.

*) Es ist dies zweifellos eine Folge der größeren Konzentration der CO_2 auf den dichten, mit einer feinen Kondensationschicht von Wasserdampf stets mehr oder weniger bedeckten Oberflächen solcher Körper (vergl. die Bunsen'schen Untersuchungen über das entsprechende Verhalten des Glases).

VII. Abschnitt.

Vergleichung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse der Abschnitte II bis VI: Analysen- und Versuchsschaulinien.

Das Ziel einer Analysendeutung vom Standpunkt der Wetterbeständigkeit besteht darin, nachzuweisen, in welcher Weise und in welchem Maße das Verhalten des Gesteins gegen die Luftagentien durch seine chemischen Bestandstoffe bedingt ist, während es im übrigen von seiner physikalischen Beschaffenheit abhängt. Die ideale Lösung dieser Aufgabe, wenn sie je vollkommen gelingen könnte, was zu bezweifeln steht, würde demnach zugleich die „Wetterbeständigkeitsprognose“, d. h. die Voraussage des Verhaltens der Steine gegen die Witterungseinflüsse, lediglich auf Grund der Analyse sein, versteht sich, auch unter Berücksichtigung der petrographisch-physikalischen Gesteinsbeschaffenheit. Die Unentbehrlichkeit der letztgenannten Unterlage für die Prognose und auch schon für die bloße Beurteilung a posteriori wird aus dem folgenden an konkreten Beispielen recht greifbar sich ergeben. Um Vergleiche zwischen den Analysenergebnissen und den Ergebnissen der verschiedenen, auf die Erforschung der Wetterbeständigkeit gerichteten Versuchsreihen thunlichst zu erleichtern, sind auf Taf. XX die Zahlenwerte der letzteren nach den Tabellen I, II, VII und VIII schaulinienmäßig aufgetragen und denselben die

Analysendiagramme gegenübergestellt. Die Ordinaten dieser Linienzüge sind die gewichts-prozentualen Substanzverluste bezw. Bestandsstoffmengen der 10 Schieferforten. Es bezieht sich: I₁ auf den natürlichen Verwitterungsversuch, 1. Jahr, I₂ desgl., 2. Jahr*); II auf die CO₂, O₂ und H₂O-Einwirkung; III auf den Fresenius'schen Versuch; IV auf die einfache H₂O-Einwirkung (Abschn. V). Maßstäbe aus der Zeichnung ersichtlich. Das Maß der Wetterbeständigkeit eines Gesteins ist eine so ungemein verwickelte Funktion seiner chemischen Zusammensetzung und seiner petrographisch-physikalischen Beschaffenheit, und alle die verschiedenen Versuchsergebnisse sowie namentlich auch sämtliche Einzelresultate einer und derselben Analyse sind in so hohem Grade sich gegenseitig bedingende Faktoren, daß es oft sehr schwierig und immer wohl nur innerhalb gewisser Grenzen möglich ist, allgemeingiltige Gesetzmäßigkeiten herauszufinden und zu formulieren. Erleichtert, ja zum großen Teil eigentlich erst ermöglicht, wird dies durch die Vergleichung der Schaulinien der Analysen und der Versuchsergebnisse. Da wo bei den beiden Arten von Linienzügen der Hebung eine Hebung und eine Senkung der Senkung entspricht, werden — so weit nicht eine anderweitige Paralytisierung des Ergebnisses eintritt — sich Schlüsse auf den Einfluß der verschiedenen Steinbestandstoffe auf die größere oder geringere Resistenz des betreffenden Materials ziehen lassen. Konformitäten oder Diskonformitäten im Verlauf der Versuchsschaulinien unter sich deuten ebenso auf gewisse Übereinstimmungen oder Gegensätze in den bei den verschiedenen Versuchsreihen obwaltenden Einflüssen. Auf unserer Tafel nun ist vor allem der übereinstimmende Verlauf der beiden Jahreschaulinien der Versuchsreihe I (natürlicher Verwitterungsversuch), d. h. der Schaulinien I₁ und I₂ zu konstatieren. Jeder Hebung der einen dieser Linien entspricht eine Hebung der anderen, jeder Senkung eine Senkung. Eine Abweichung beider Linien von einander besteht nur in dem nicht ganz gleichen Maß der Ordinatenzuwächse bezw. -abnahmen, entsprechend den ungleichen Gewichtsabnahmen der Probenplatten im zweiten und ersten Versuchsjahr, sowie schon überhaupt darin, daß diese Gewichtsabnahmen für das zweite Jahr fast durchweg kleiner wie für das erste ausfielen; am kleinsten für b, denn es ergab sich hierfür fast genau das gleiche Plattengewicht wie am Schluß des

*) (In der Zeichenerklärung zu Taf. XX soll es I₂ statt II₂ heißen.)

ersten Jahres. Das Nötige hierüber ist am Schluß des II. Abschnitts bereits gesagt. Weiter springt auf der Tafel die auffallende Konformität der Schaulinien I₁, I₂ und IV in die Augen, während die Schaulinie II einen anderen, mehr stetischen Charakter zeigt und nur darin mit I und IV übereinstimmt, daß alle Schaulinien eine ausgesprochene Aufsteigetendenz von b bis c oder wenigstens bis e hin besitzen, bei I₁ und I₂, sowie IV jedoch stellenweise mit stark retrograder Neigung.

Die Schaulinie III zeigt, abgesehen von dem allgemeinen Ansteigen von b nach d hin, im einzelnen durchweg große Abweichungen von I und IV, ja sie stellt sich in dieser Hinsicht fast als das vollendete Gegenstück hierzu dar. Denn, wo dort eine Hebung, zeigt sich hier eine Senkung und v. v.; eine Ausnahme findet nur bei b, i und h statt. Auf alles dies wird demnächst zurückgekommen werden. Zum genaueren vergleichenden Studium der verschiedenen Versuchsschaulinien: I, II, III und IV und der Analysendiagramme übergehend, werden wir uns zunächst an

1. die Schaulinie II

zu halten haben, deren Ordinaten die gewichtsprozentischen Verwitterungsgrößen bei der ausschließlichen Einwirkung von CO₂, O und H₂O, in vorwiegend dampfförmiger Gestalt, und zwar in aufsteigender Ordnung nach der Größe dieser Beträge darstellen. Die fragliche Schaulinie giebt demnach ein Bild der vergleichswisehen Resistenz der 10 Schieferforten in dem der Wirklichkeit zwar entsprechenden, aber extremen Fall einer minimalen eigentlichen Wassereinwirkung, und wird daher vorwiegend mehr das chemische Verhalten der 10 Schieferforten angesichts besonderer, beschränkender physikalischer Bedingungen (überwiegender Einfluß der Hygrokopie) zum Ausdruck bringen. Von Wichtigkeit wird hierneben natürlich die Beurteilung des rein-chemischen Verhaltens, also unter thunlichst gleichen physikalischen Bedingungen, sein. Vergleiche in dieser Hinsicht die Prüfungsvorschläge in Abschn. VIII. Die Vergleichung der Schaulinien IV und II sowie auch I und II mit ihren Kon- und Diskordanzen wird, da bei den Versuchsreihen IV und I die — wie bereits am Schluß des Abschn. V erkannt — sehr schwerwiegende, eigentliche Wasserwirkung allein eine Rolle bzw. jedenfalls eine sehr wichtige Rolle spielt, voraussichtlich weiterhin über den Ein-

fluß der physikalischen Gesteinsbeschaffenheit nähere Aufschlüsse geben. Die Lösung der Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Wetterbeständigkeit der Steine und der chemischen Zusammensetzung würde jedenfalls vereinfacht durch die Kenntnis der Gewichtsmengen der Mineralien, welche zu dem Stein zusammengetreten sind, namentlich dann, wenn das Verhalten jener Gesteinskomponenten gegen die Witterungseinflüsse selbst hinreichend bekannt wäre. Dies ist jedoch keineswegs der Fall und die Erforschung desselben muß vielmehr — in Bezug auf die wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien — als eine der nächsten hierher gehörigen Aufgaben und Vorarbeiten betrachtet werden. Selbstverständlich sind aber für das Verhalten der Gesteine nicht nur die Gewichtsmengen ihrer Bestandminerale, sondern auch noch die besondere, vielfach wechselnde physikalische und chemische Beschaffenheit derselben und die jeweilige Art ihrer Vereinigung zum Gestein maßgebend. Angesichts aller dieser komplizierenden Umstände ist hier von der gewichtsmäßigen Berechnung der Gesteinskomponenten auf Grund der Analyse und des mikroskopischen Befundes ganz abgesehen, eine Berechnung, die überdies umständlich und bei der elastischen Natur der Schiefer in manchen Fällen schwierig ausfallen würde. Vielmehr ist hier der Gehalt des Steins an seinen einzelnen chemischen Komponenten statt der mineralogischen, also die Analyse selbst oder ihr Diagramm, neben den Versuchsschaulinien (zunächst von II), zur Grundlage der Untersuchung gemacht. Als Hauptregel muß dann freilich gelten, niemals einen der chemischen Bestandstoffe für sich allein ins Auge zu fassen, eben weil dieselben zu Verbindungen (den Bestandminerale oder deren Molekülgruppen) zusammengetreten sind und ihr Einfluß auf das chemische Gesamtverhalten des Steins sich gegenseitig auf das mannigfaltigste beeinflusst. So kann z. B. der Gehalt an SiO_2 schlechthin und für sich allein in den 10 Schieferarten keineswegs für den Grad ihrer Witterungsbeständigkeit maßgebend sein. Eine schon entscheidendere Bedeutung für den Stein wäre vielleicht von seinem Gehalt an Quarz zu erwarten. Demnächst käme jedenfalls der Gehalt an schwer angreifbaren Verbindungen der SiO_2 in Betracht. Ein ganz ungefähres, rohes Bild des Quarzgehalts gewährt der Vergleich der SiO_2 - und der Al_2O_3 -Schaulinie, da letztere im großen und ganzen der Hauptmenge der Silikate in den Schiefen proportional sein wird. Die Al_2O_3 -Linie zeigt von i bis f ein fast ungestörtes

Abfallen und geht bei d plötzlich wieder mächtig empor. Um sich jedoch ein besseres Urteil über den Quarzgehalt der Schiefer bilden zu können, ist der O-Gehalt ihrer sämtlichen Basen, mit Ausnahme des größtenteils als CaCO_3 und nur zum minimalen Teile in Silikatform vorausgesetzten CaO , berechnet (s. Sp. 3 der Analysetabellen A) und hierauf für alle Sorten der O-Quotient ψ , d. h. das Verhältnis der Gesamt-O-Menge aller basischen Oxide sowie des chemisch gebundenen Wassers zu dem O-Gehalt der jeweils vorhandenen SiO_2 festgestellt worden. Es ergibt sich z. B. für a:

$$\psi = \frac{17,58}{30,19} = 0,58.$$

MgO , das möglicherweise hier oder dort zum kleineren Teile mit CO_2 verbunden auftreten wird, ist durchweg ganz zu den Silikaten gerechnet. Leider ist bei den meisten vorliegenden Analysen die Menge des chemisch gebundenen H_2O nicht gesondert angegeben. Es blieb daher nichts anderes übrig, als hierfür auf Grund des bekannten Glühverlustes und meist bekannten hygroskopischem H_2O , der etwa vorhandenen CO_2 und des mitunter bekannten C einen Schätzungswert anzunehmen, der indessen in jedem Fall nur wenig von dem wirklichen Wert verschieden sein konnte. Jeder zu viel oder zu wenig geschätzten Prozenteinheit des H_2O entsprechen 0,89 % O, was für den Quotienten ψ einen Fehler von höchstens $\frac{0,89}{25,71} = 0,035$ und bei einem Fehler von z. B. ± 2 % H_2O für ψ einen Fehlerbetrag von $\pm 0,07$ in maximo bedingt. Die O-Quotienten für die 10 Schiefer (Ordnung der Schaulinientafel) giebt das folgende Täfelchen wieder:

Schieferorte	b	i	h	a	g	k	f	d	e	c
O-Quotient ψ	0,41	0,60	0,69	0,58	0,54	0,50	0,56	0,69	0,49	0,51
ξ	1,9	8,5	5,3	3,9	2,7	2,5	1,3	2,4	1,9	0,6

Der erhebliche Quarzgehalt der 10 Schiefer findet in diesen Zahlen für ψ dadurch seinen Ausdruck, daß ihr Wert weit hinter dem der O-Quotienten der Bestandminerale dieser Gesteine wie Muskovit (Sericit), Chlorit, ev. Parragonit, in kleinen Mengen auch Plagioklas u. s. w. zurückbleibt. Der O-Quotient des Muskovits $(\text{H}_2\text{O})_2$, K_2O , $(\text{Al}_2\text{O}_3)_3$ $(\text{SiO}_2)_6$ ist nämlich: $\psi = 1$, der

des Chlorits $(\text{H}_2\text{O})_4 [\text{Mg}(\text{Fe})\text{O}]_5, \text{Al}_2(\text{Fe}_2)\text{O}_3, (\text{SiO}_2)_3$ ist $\psi = 2$, der des Quarzes SiO_2 aber ist $\psi = 0$. Ferner wird mit abnehmenden Werte von ψ der Gehalt an freier SiO_2 oder Quarz wachsen, oder der Gehalt an Muskovit, Chlorit zc. entsprechend abnehmen müssen. Der Vergleich der Werte von ψ mit dem Verlauf der Schaulinie II zeigt nun, daß ein ausnehmend hoher oder niedriger Quarzgehalt auf die Resistenz der Schiefer jedenfalls vom entscheidendsten Einfluß im günstigen oder ungünstigen Sinne sein kann. Denn den Schiefen b und d ist doch wohl in erster Linie durch die Größe bzw. Kleinheit des Quotienten ψ ihre extreme Stellung an der Spitze und am Ende der Schaulinie II zugewiesen; bei b ist dies ganz außer Zweifel. Ganz abgesehen ist bei diesen Vergleichen zunächst noch von e und c. Denn bei diesen beiden, hinter d rangierenden Sorten kann selbst der recht hohe Quarzgehalt von vorn herein nur wenig in Betracht kommen gegenüber dem hier verhältnismäßig sehr hohen Gehalt an CaCO_3 (13,6 und 13,8 %), dessen ungünstiger Einfluß hinreichend bekannt und bereits besprochen ist. Weiterhin ist ersichtlich, daß außer für b und d und allenfalls noch g, im übrigen die Größe des Quarzgehalts und die Rangordnung der Schiefer nach der Versuchsreihe II sich keineswegs entsprechen. (Bei Steinen mit makroskopischem Quarz dürfte ein derartig negatives Ergebnis allerdings schwerlich zu erwarten stehen.) Es fragt sich nun, wie es kommt, daß Schiefer mit vergleichsweise so geringem Quarzgehalt wie h und i, wonach allein zu urteilen, sie unmittelbar vor d sich einordnen müßten, eine so bevorzugte Stellung, nämlich dicht hinter b, einnehmen, während wiederum die Sorte k, obwohl quarzreicher wie a, erst hinter a, sogar noch durch g getrennt, Platz findet. Der Grund könnte, wenn vorerst noch ganz von physikalischen Differenzen abgesehen wird, nur im Mengenverhältnis der mit der nicht freien SiO_2 verbundenen Basen liegen und die Diagramme werden die ausführlichere Antwort auf solche Fragen nicht schuldig bleiben, wenn es sie richtig zu deuten gelingt. Vor allem springt das bedeutende und von i nach d und e hin, abgesehen von f, ganz allmählich abnehmende Vorherrschen der Sesquioxyde (R_2O_3) über die Monoxyde (RO und R_2O) in die Augen oder umgekehrt die wachsende Zunahme der Herrschaft der Monoxyde, die in f ihren Höhepunkt erreicht hat (vgl. Täfelchen, S. 155). Um genauere Vergleiche anstellen zu können, sind nämlich die Quotienten ξ der Summen

ΣR_2O_3 und $\Sigma R_2O + \Sigma RO$ (unter Ausschluß von CaO und H_2O) gebildet und in das obige Täfelchen eingetragen. Die Beschaffenheit derselben berechtigt zu dem Schluß, daß die Größe des Quotienten ζ bis zu einem gewissen Grade ein gewisses Gegengewicht bildet zu dem Mangel an freier SiO_2 . Für i ergibt sich bei weitem der Größtwert von ζ (8,5). Für h aber wäre dann allerdings im Hinblick auf die Größe des Quotienten $\psi = 0,69$ wohl ein noch etwas größerer Wert von ζ zu erwarten gewesen. Es findet jedoch, wie sich gleich zeigen wird, in anderer Weise ein Ausgleich statt, so daß die Stellung von h dicht hinter i und mit diesem vor a, g u. f. w. sehr erklärlich erscheint. Wirkt nämlich nach dem Vorigen ein größeres Vorherrschen der Sesquioxyde über die Monoxyde auch im allgemeinen schon günstig auf die Wetterbeständigkeit der Schiefer (und jedenfalls der Bausteine überhaupt), so erscheint doch von noch einschneidenderer Bedeutung hierfür die Art der Oxyde vom Typus R_2O_3 und ebenso wohl auch die Art derjenigen vom Typus RO und R_2O , welche in diesen beiden Sondergruppen von Basen wiederum vorherrschend sind, sowie auch die Gewichtsmenge, durch die sie dominieren. Ein Blick auf die Schaulinientafel zeigt da vor allem ein ziemlich regelmäßiges Abfallen der Fe_2O_3 -Linie von i bis d und e (abgesehen von dem mächtigen Aufstieg bei h), dem ein ähnliches Ansteigen der FeO -Linie bis l , offenbar unterstützend, zur Seite steht. Die beiden Oxyde des Fe haben also in betreff der Resistenz der Steine einen, wie es scheint, in hohem Maße präponderierenden und zwar den entgegengesetzten Einfluß, Fe_2O_3 einen günstigen, konservativen, FeO einen ungünstigen, destruktiven. Dem ersteren zufolge hält z. B. der gewaltige Schaulinienberg bei h der Größe des Quotienten ψ (also der Kleinheit des Quarzgehalts) offenbar reichlich die Wage und läßt trotz derselben die Sorte h ihren Platz vor a, g u. f. w. behaupten. Ebenso ist der sehr hohe Stand der Fe_2O_3 -Linie im Verein mit dem Tiefstand der FeO -Linie entscheidend für die bevorzugte Rangstelle von i . Der ungünstige Einfluß von FeO spricht sich namentlich auch in dem fast plötzlichen Ansteigen der FeO -Linie von g über k bis f aus, dem das bei g plötzlich gewechselte, und von da an vergrößerte Steigungsverhältnis der Versuchsschaulinie II genau entspricht. Auch bei d zeigt die FeO -Linie noch eine respektable Höhe, was im Verein mit dem Abfall der Fe_2O_3 -Linie und dem auch nur mäßigen

Wert von ζ den ungünstigen Einfluß des geringen Quarzgehalts ($\psi = 0,69$) nur noch zu verstärken geeignet ist. Daher die Stellung von d am äußersten rechten Flügel unmittelbar vor e und c. Es darf aber hier vorweg bemerkt werden, daß der Gauber Schiefer d, dank seiner physikalisch-petrographischen Eigenart in praxi sich doch entschieden günstiger stellt wie nach dem Gesagten und dem Versuch II zu erwarten ist. Und in der That nimmt er auch den Schaulinien I und IV zufolge eine höhere Rangstellung ein wie die Sorten g und f. Der FeO -Gehalt von b ist ebenfalls ziemlich hoch, jedoch niedriger wie der von d und k (höher wie bei i, h, a, g); der Fe_2O_3 -Gehalt von b stellt sich nicht wesentlich höher wie der von d und bleibt hinter dem von a und g sogar bedeutend, hinter dem von k und f aber nur wenig zurück, während h und i dagegen den 6- bzw. 4-fachen Ferrioryd-Gehalt aufweisen. Wenn nun trotz alledem der Schiefer b nach der Versuchsreihe II (sowie auch nach allen übrigen Versuchen) entschieden den ersten Rang unter allen 10 Sorten behauptet, so ist dies jedenfalls in allererster Linie auf den ihm eigenen größten Gehalt an freier SiO_2 bzw. Quarz ($\psi = 0,41$) und die günstige Art ihrer Verteilung zurückzuführen. Die mikroskopische Untersuchung hatte gezeigt, daß die freie SiO_2 als Quarz in nicht gar sehr großer Menge und meist ganz kleinen Partikeln, in ungemein gleichmäßiger Verteilung zwischen den übrigen Bestandmineralien, andererseits aber auch, als hier besonders reichlich vorhanden, die homogene, alles erfüllende Zwischenmasse auftritt, wie dies eben dem großen Überschuß an freier SiO_2 entspricht. In ähnlichem Sinne von günstigem Einfluß sind wohl auch die als sehr widerstandsfähig geltenden Rutilnadelchen, welche hier in minimalsten Abmessungen, wie winzige Haarabfälle, in gleichmäßigster Weise die ganze Schiefermasse durchdringen. Bestimmtes kann über den Einfluß des TiO_2 -Gehalts, der ja in den Schiefeln höchstens 1 bis 1,5 % beträgt, nicht ausgesagt werden, da eine Bestimmung desselben bei keiner der 10 Sorten erfolgt ist. (Die TiO_2 ist in den Prozentzahlen für SiO_2 mit inbegriffen.) Endlich mag hier noch die Vermutung eine Stelle finden, daß der C-Gehalt, wenn er nur nicht allzu hoch ist und die C-Teilchen in entsprechender Feinheit und gleichmäßiger Verteilung auftreten, wie eben gerade in hervorragendem Maße bei b, einen konservierenden Einfluß auf die davon umhüllten Detritus-Teilchen des Schiefers ausüben dürfte.

Was die Alkalien betrifft, so ist hier, — in noch weit höherem Grade aber gilt dies in Betreff der MgO — ein gesetzmäßiger Einfluß auf die Wetterbeständigkeit, soweit überhaupt vorhanden, aus den Diagrammen viel schwieriger zu erkennen wie bei den Fe-Dryden, weil K_2O und Na_2O , ebenso wie MgO, an sich schon nur in geringeren Mengen in den Schiefeln auftreten und ihre Schaulinien weniger scharfe Gegensätze aufweisen wie sie dort vorkommen. Abweichend von dem seitherigen Vorgehen, sind die beiden Alkalien-Schaulinien nicht gesondert, beide von der Abscissenachse ausgehend, verzeichnet, sondern es sind als Ordinaten zuerst die K_2O - und hierauf additiv anschließend, die Na_2O -Mengen aufgetragen. Zunächst ist ersichtlich, daß die Schaulinie der vereinigten Alkalien von i bis d und e im großen und ganzen schwach ansteigt. Sie harmoniert also einigermaßen mit der Schaulinie II, was wiederum in Einklang stände mit der durch das Verhalten sonstiger alkalireicher (namentlich verschiedene Basen führender) Silikate bestätigten Annahme, daß ein größerer Gehalt an Alkalien ungünstig auf die Wetterbeständigkeit wirkt. Indessen erleidet das Ansteigen der Alkali-Linie drei verschiedene Unterbrechungen: einmal ganz schwach bei a, sodann bei k und f sowie bei e. Doch wird dem Schaulinienthal bei a schon darum kein sonderlich günstiger Einfluß für diese Schiefersorte beizumessen sein, weil hier, abgesehen von b, c, i und h, die Na_2O -Linie kulminiert und dem Na_2O -Silikat nach mancherlei Beobachtungen über natürliche Gesteinsverwitterung eine viel geringere Resistenz zuzuerkennen ist wie dem K_2O -Silikat. Immerhin aber bleibt, unter sonst ziemlich gleichwertigen Umständen, auch von Seiten der Alkali-Linie der Sorte g doch noch ihr Platz hinter a gewahrt. Die Analyse von i und h läßt das Mengenverhältnis zwischen K_2O und Na_2O nicht erkennen. In der Regel überwiegt bei den Thonschiefeln der K_2O -gehalt (e macht eine Ausnahme). Der Niedergang der Alkalien-Linie bei k und f vermochte angesichts des energischen Aufstiegs der doch den Ausschlag gebenden FeO-Linie, das Emporstreben der Schaulinien II, dem er allerdings entgegenwirkt, nicht merklich zu beeinflussen, zumal hier ähnlich wie bei a, der Na_2O -gehalt nicht unerheblich hervortritt. Die MgO-Linie fällt von i bis d schwach — abgesehen nämlich von den beiden mäßigen Bergen bei g und f — und im großen und ganzen ziemlich gleichmäßig ab und läßt demnach eine gewisse entfernte Gleichartigkeit mit der Fe_2O_3 -Linie und der Al_2O_3 -Linie (von i bis f) nicht

verkennen. Da es im Hinblick auf die erhebliche Widerstandsfähigkeit des reinen Magnesia-Silikats als solchen bei der natürlichen Verwitterung gerechtfertigt erscheint, dem MgO einen der Resistenz der Schiefer eher förderlichen Einfluß zuzuschreiben, so würde daraus augenscheinlich ein annäherndes Zusammenstimmen der MgO-Linie mit der Versuchsschaulinie II von i bis d folgen, wozu noch einmal bemerkt wird, daß hier die MgO zum größten Teil an SiO₂ gebunden vorausgesetzt wurde. Indessen ist der Verlauf der MgO-Linie ein so wenig charakteristischer und der MgO-Gehalt der Schiefer durchweg ein so unbeträchtlicher, daß jene zu sicheren Schlüssen im einzelnen oder doch zu solchen, die für die Resistenz der einzelnen Schieferarten von größerem Belang wären, schwerlich berechtigen. Die gleiche Bemerkung gilt keineswegs auch für die Linie der Alkalien. Die hier in betreff des Alkali- und des MgO-Silikats gemachte Voraussetzung stützt sich auf die natürlichen Verwitterungsvorgänge an den entsprechenden Mineralien, mit ihren Zwischen- und Endprodukten, wonach in erster Linie (abgesehen von CaO und FeO) die Alkalien als Karbonate in Lösung gehen, die MgO aber zunächst in Gestalt schwerangreifbarer wasserhaltiger Silikate zurückbleibt, die erst späterhin der Karbonatbildung anheimfallen können, wenn jenes auch bei weitem nicht in dem Umfange der Fall ist wie bei der Al₂O₃, der die größte Konstanz unter den Basen zukommt. Es steht das alles keineswegs im Widerspruch damit, daß z. B. ein Kalisilikat: der Muskovit (unserer Schiefer) als fast unangreifbares Mineral gilt, noch damit, daß es andererseits leichter angreifbare Magnesia-Silikate gibt, z. B. Biotit und (in den Schiefen) Chlorit. Denn es sind nicht das K₂O oder die MgO an sich, welche dort die geringe, hier die größere Angreifbarkeit bedingen, sondern ihr Mengen-Verhältnis zu den übrigen Bestandstoffen des Minerals und die Natur derselben, dort: Al₂O₃ und SiO₂, hier vor allem: FeO 2c., in andern Fällen (z. B. bei gewissen Feldspäten und Pyrogenen) auch namentlich CaO. Diese Bestandstoffe sind aber nach Art und Menge beim bisherigen Gang der Analysendeutung bereits berücksichtigt und wenn die letztere, wie hier, nicht nach Bestandmineralien, sondern nach chemischen Komponenten erfolgt, so erscheint demnach auch das vorliegende Verfahren in betreff der Alkalien und MgO gerechtfertigt. Widersprüche im einzelnen, die sich dabei allenfalls ergeben würden, könnten nur auf Mängel der Analyse zurückzuführen sein. Und allerdings müßten sie im vorliegenden Falle bei

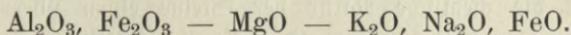
den an sich geringen Differenzen des Alkali- und mehr noch des MgO-Gehalts besonders störend hervortreten, wie es in der That an einigen Stellen sich zu verhalten scheint. Die Sorte b fügt sich dem allgemeinen Verlauf auch der Alkalien- und der MgO-Linie nicht recht ein, ebenso wenig wie dem der Fe_2O_3 - und der FeO-Linie. Der Stand dieser Linien ist durchweg nicht zu Gunsten von b, wenn auch z. B. der der Alkalien-Linie durch das Überwiegen des K_2O über das Na_2O gemildert erscheint. Alles dies aber überwindet siegreich offenbar der hohe Gehalt an freier SiO_2 und es scheint fast, daß schon ein verhältnismäßig geringer Überschuß derselben über ein gewisses Grenzmaß hinaus, zumal bei der günstigen Erscheinungsform der SiO_2 in b, von bedeutendem Einfluß auf die chemische Stabilität eines Schiefers sein kann. Die beiden Sorten e und c, welche vermöge ihres großen Gehalts an Karbonaten schon von vorn herein einen besonders schweren, geradezu ausnahmsweisen Stand unter den 10 Schiefern einnehmen, sind auch sonst z. T. ungünstig gestellt, wennschon ihr Gehalt an freier SiO_2 beträchtlich ist. Besonders gilt dies von c (mächtiger Aufstieg der FeO- und Alkalien-Linie, Mindestgröße des Quotienten ζ !) Bei e würde das indessen — ohne den hohen CaO-Gehalt — nicht ausreichend sein, die extreme Stellung am rechten Flügel der Diagramme zu erklären. Abgesehen von diesem mächtigen Anstieg der CaO-Linie (— . . . — . . . —) bei e und c ist der sonstige, ziemlich regellose Verlauf derselben anscheinend ohne Einfluß auf die Figuration der Versuchsschaulinie II. Höchstens könnte man annehmen, daß durch den Berg bei a dieser Sorte nur noch um so entschiedener ihr Platz hinter h zugewiesen wurde. Diese Indifferenz der CaO-Linie, ungeachtet der hervorragenden Angreifbarkeit des CaO-Silikats und natürlich noch weit mehr des CaO-Karbonats, hat eben ihren Grund in ihrem äußerst flachen Verlauf oder in der Kleinheit des CaO-Gehalts aller Schiefer mit Ausnahme von e und c. Anders liegt die Sache, wenn es sich um die Diskussion der Versuchsschaulinie III und auch I handelt (siehe unten). Jedenfalls darf man mit Sicherheit annehmen, daß ein Karbonatgehalt von bis 2,0%, entsprechend einem CaO-Gehalt oder auch MgO-Gehalt oder auch Gehalt an beiden zusammen, von etwa bis 1%, in der Regel keinen nachteiligen Einfluß auf Schiefer auszuüben vermag. Ein Karbonatgehalt von über 3% ist schon etwas bedenklich, doch kann auch hier noch vieles von der sonstigen Beschaffenheit des Schiefers abhängen. Je höher der Karbonatgehalt

steigt, desto mehr tritt die sonstige Zusammensetzung und Natur des Schiefers gegen ihn in den Hintergrund, bis, bei hoch-karbonatreichen Schiefern (etwa 20 und mehr prozentisch) die Kenntnis des Karbonatgehalts zu ihrer Bewertung füglich meistens allein ausreichen wird. Ganz ohne sichtlichen Einfluß auf das Verhalten unserer 10 Schieferarten ist der — hier geringe — FeS_2 -Gehalt, der bekanntlich u. U. arge Verwüstungen anrichten kann. Die Pyrit-Linie (nicht verzeichnet) fällt ganz mit der Abscissenachse zusammen.

Eine wesentlich andere Gestalt würde die Schaulinie II gezeigt haben, wenn der Versuch nicht am unveränderten, sondern am zerkleinerten Schiefermaterial angestellt worden wäre und es läßt sich sogar unter Hinzuziehung des am oberen Tafelende aufgetragenen Diagrammes der Gesamtporosität p (dessen Ordinaten also die Werte p wiedergeben) feststellen, nach welcher Richtung hin Abweichungen von der jetzigen Form stattgefunden haben müßten. Die Schaulinie II trägt nämlich nicht nur der chemischen Natur der Schiefer Rechnung, sondern sie spiegelt auch den Einfluß ihrer verschiedenen Gesamtwasser- aufnahmefähigkeit, jedoch unter Vorwalten der Hygroskopie, beim Versuche wieder. Überall da, wo nun die p -Linie (richtiger wohl die p_1 -Linie, die aber zum gleichen Ergebnis führen würde) einen Berg zeigt (bei b , a , k , d und e), wird wegen der größeren Gesamtporenwandfläche und wirksamen Wasserdampf- bzw. Wassermenge auch eine intensivere chemische Wirkung stattgefunden haben wie bei den Schiefern (i , h , g , f), welchen ein Thal der p -Linie entspricht. Folglich muß in jedem der zuerstgedachten Fälle: bei b , a , k , d und e , die Versuchsschaulinie II ein stärkeres Emporgehen im Vergleich zu den übrigen Schieferarten zeigen, wie es sich durch den Versuch am gepulverten Material ergeben haben würde, für den die physikalischen Bedingungen bei allen 10 Sorten genau die gleichen gewesen wären. Für diesen zuletzt gedachten Fall also hätte man sich die Lage der Versuchsschaulinienpunkte für b , a , k , d , e und c sämtlich entsprechend tiefer zu denken (bei ziemlich unveränderter Lage der übrigen Punkte). Man sieht somit, daß k , b , e und — am meisten — a — rein-chemisch, günstiger, i , h , g und f ungünstiger zu taxieren sind, wie im Vorigen geschehen. a tritt hier in noch weit schärfere Konkurrenz mit h wie seither und wird möglicherweise mit ihm den Platz tauschen. Kurz es ist

klar, daß der Versuch mit dem Materialpulver einen doch noch etwas anderen Schaulinienverlauf wie der Versuch im Abschn. III geliefert haben würde. Das jenem entsprechende ideale Schaulinienbild ist es aber gerade, das an Stelle von II als das Ergebnis der vorstehenden Analysendiskussion eigentlich hätte erkannt werden müssen, daher auch einzelne kleinere Abweichungen zwischen den Analysendiagrammen und der Schaulinie II durch alles Frühere immerhin noch nicht vollständig ausgeglichen erscheinen mochten. Sie kommen auf Rechnung der physikalischen Natur der Steine.

Die an die SiO_2 gebundenen Basen der Schiefer bewerten wir hinsichtlich ihres Resistenzwertes, zunächst für das Verhalten in rauchfreier Luft, in fallender, durch die bisherigen Untersuchungen dieses Abschnitts teils geforderter, teils bestätigter Ordnung, zum Schluß wie folgt:



Ganz hintenan, in Sonderstellung, reiht sich dann noch das an CO_2 gebundene CaO . Die Eisenoxyde nehmen hiernach eine nahezu polare Stellung ein.

Ich kann nicht unterlassen, an dieser Stelle die schon erwähnte interessante Steiner'sche Arbeit noch einmal zu citieren, weil dieselbe auf manches hier Behandelte eingeht. Dr. Steiner vermochte einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen dem Gehalt der von ihm untersuchten Schiefer an SiO_2 und den verschiedenen Basen und der Wetterbeständigkeit der Steine nicht zu erkennen. Der Grund ist ein sehr einfacher. Steiner war gar nicht in der Lage, die Wetterbeständigkeit seiner Schiefer unter sich und mit den Analysenergebnissen genau zu vergleichen, da er keine exakten Wetterbeständigkeitsprüfungen im Sinne der vorliegenden Arbeit angestellt, sondern sich lediglich an die gewöhnlichen, viel zu allgemeinen Wetterbeständigkeitsregeln (z. B. nach 8 Wochen unverändert, nach 12 Tagen verwittert, bei der Fresenius'schen Probe) gehalten hat. Bemerkte sei auch noch, daß bezüglich der Eisenoxyde, da sich ihre große Tragweite für die Resistenz der Schiefer herausstellte, für die besonders in Betracht kommenden Sorten Kontrollanalysen angestellt worden sind, was übrigens auch in betreff einzelner anderer Basen gilt.

2. Die Schaulinien I₁ und I₂ sowie IV

zeigen, wie schon bemerkt, unter sich, weiterhin aber auch mit der auf dem oberen Teil der Tafel aufgetragenen Linie der Quotienten $\frac{P_i}{P_h + P_i}$ oder $\frac{1}{\mu + 1}$ (deren Ordinaten eben jene Bruchgrößen darstellen) die auffallendste Konformität. Da bei den entsprechenden Versuchen die Wirkung des tropfbar-flüssigen, mit den wirksamen Luftagentien beladenen Wassers eine teils zweifellos vorherrschende Rolle (bei andauernden Regen und zur Zeit der Schneeschmelze), teils eine ausschließliche Rolle (bei IV) gespielt hat, so werden sich hier ganz erhebliche, durch das Gefüge der Schiefer, nach Maßgabe des Vorherrschens der Imbibitionsfähigkeit innerhalb des Gesamtporenraums, bedingte Abweichungen von der Schaulinie II bemerkbar machen müssen. Denn dieser war es ja, der wie schon ausgeführt, beim Versuch II unter vorwiegender Wasserdampfwirkung zur Geltung kam, wobei freilich wohl die chemische Natur der Steine einen überwiegenden Ausdruck gefunden haben wird. Die chemische Aktion erfolgte hier längs der Wandungen der gesamten (hygrokopischen und imbibitorischen) Porenräume, aber die Wirkung war eine relativ schwache. Ungleich intensiver ist sie, wenn an Stelle der vorwiegenden Dampf- form des an die Steine herantretenden H₂O in erster Linie — wie bei den natürlichen Versuchen I₁ und I₂ — oder ausschließlich — wie bei der reinen Wasserlagerung — die tropfbar-flüssige Form des Wassers tritt. Dahingegen findet die chemische Aktion jetzt, wegen des größeren Zusammenhangs und der beträchtlicheren Größe der nun minder frei beweglichen Wasserteilchen, vorzugsweise nur längs der Wandungen der größeren Imbibitions-porenräume statt. Die hygrokopischen Poren liegen also bei dieser Versuchsanordnung (I₁ und I₂ sowie IV) für die Angreifbarkeitsprobe mehr oder weniger brach. Trotz der somit verringerten Angriffsfläche für das mit CO₂ und O beladene H₂O ist die Wirkung jetzt durchweg eine intensivere wie früher bei II, denn es findet jetzt eine Zirkulation des H₂O im Stein, d. h. eine stets erneute Zufuhr seiner CO₂- und H₂O= zc. schwangeren Teilchen nach den Porenwänden und eine vollkommenerer Abfuhr der Neubildungen statt. Folglich werden die hygrokopischen unter den Schiefen gegenüber denjenigen mit mehr imbibitorischem Charakter in Bezug auf Gewichtsverlust beim Versuch

im Vorteil, die letzteren im Nachtheil sein. Folglich wird für die Schaulinie IV und in ähnlicher Weise auch für die Schaulinien I_1 und I_2 der größere Wert $\frac{1}{\mu + 1}$ irgend einer Schieferforte, z. B. von f, ein Emporgehen, der kleinere Wert $\frac{1}{\mu + 1}$ einer anderen Sorte, z. B. von k und d, eine Senkung gegenüber dem Verlauf von II nach sich ziehen müssen, d. h. es wird jedem Berg der $\frac{1}{\mu + 1}$ -Linie ein Berg und jedem Thal derselben ein Thal der Versuchsschaulinien IV sowie auch I_1 und I_2 entsprechen müssen, womit die eingangs erwähnte Konformität jener Linien genügend erklärt ist. Infolge davon erhalten jetzt die Versuchsschaulinien, während die Linie II ziemlich stetig verlief, Berge für i, g, f, Thäler für h, k und d. Die nun allerdings der normalen Wirklichkeit mehr entsprechende Rangordnung der Schieferorten erscheint, ohne daß dadurch die ansteigende Tendenz gänzlich verwischt wäre, nicht unwesentlich geändert, namentlich sehr zu Gunsten von d, dessen Schaulinien-Ordinate die von a jetzt nur noch um sehr wenig übertrifft, von den Ordinaten der französischen Sorten f und g aber um so entschiedener übertroffen wird, bei IV zum Nachtheil von i. Am Ende des zweiten Expositionsjahrs erscheint die Ordinate von d allerdings wieder etwas gewachsen. Auch von d bis c wird der Schaulinienverlauf ganz konfordant dem Diagramm der $\frac{1}{\mu + 1}$ -Werte. Die Schaulinien I_1 und I_2 zeigen die von IV rein zum Ausdruck gebrachte Wasserwirkung natürlich in minder ungetrübt und in mehrfach modificirter Weise, da hier ja noch andere Umstände mitspielen, z. B. die allerdings in den beiden ersten Versuchsjahren und überhaupt auf sehr lange Jahre hinaus noch nicht allgemein hervortretende Frostwirkung (die nur bei f und g schon bemerkbar ist) und vor allem die Wirkung der Rauchgase. Die kleinen Frostschäden von g und f im ersten Winter erklären mit dem starken Emporgehen der $\frac{1}{\mu + 1}$ -Linie bei g und f zusammen hinreichend, daß die Schaulinie I_1 , trotz des hohen Kalkgehalts von e und c, doch hier einen niedrigeren Stand zeigt wie dort. Im zweiten Versuchsjahr ist dieser Einfluß des Frostes durch die immer mehr hervortretende Wirkung des Kalkgehalts von e und c bereits siegreich überwunden

und für die folgenden Jahre wird — wie schon einmal angedeutet — sicherlich ein noch bedeutenderes Ansteigen der Linie I bei e und c zu erwarten sein. Im Schaulinienbild IV der einfachen Wasserlagerung konnte — im Gegensatz eben zu I_1 und I_2 — der Einfluß des großen Kalkgehalts von e und c, durch nichts gestört, zum ungetrübtem Ausdruck gelangen, was das mächtige Emporschnellen der Schaulinie IV bei e und den gleichfalls noch sehr bedeutenden Hochstand bei c veranlaßt hat. Bei der einfachen Wasserlagerung dominiert jener Einfluß eben thatsächlich, während bei dem natürlichen Versuch mit seiner Rauchgaswirkung noch weitere Einflüsse erfolgreicher damit konkurrieren. Denn hier sind auch die Angriffe auf die übrigen Steinstoffe (neben CaO) infolge Sulfatbildung energischer. Aus der verschiedenen Stärke dieser Angriffe im Verein mit der $\frac{1}{\mu + 1}$ -Linie erklärt sich die von II so gänzlich abweichende Figuration der Linien I_1 und I_2 . Auf die Rauchgaswirkung oder vielmehr auf ihr ungleiches Maß im ersten und zweiten Versuchsjahr ist auch das kräftige Emporgehen der Linie I für e und c im zweiten gegen das erste Jahr zurückzuführen. Denn der Winter des letzteren war schnee- und frostreich, sodaß hier, infolge der sehr lange vorhaltenden starken Schneedecke, mehr die Rußwirkung und weniger die der freien Säuren zur Geltung gekommen sein wird. Im zweiten schneearmen, regenreichen Winter muß es gerade umgekehrt gewesen sein, sodaß hier die Wirkung der freien Rauchgas-Säuren und auch namentlich der CO_2 auf die Karbonate deutlich hervortreten konnte. Überhaupt war die Wasserwirkung im zweiten Jahr eine entschieden stetigere, denn sein Sommer übertraf an Regenmenge den des Vorjahrs, sodaß die Verhältnisse eher denen des Versuchs der reinen Wasserwirkung, Abschn. V entsprachen (vgl. hierzu die Betrachtungen auf S. 40 im Abschn. I).

Da der chemische Anteil der von den Schaulinien IV sowie I_1 und I_2 wiederspiegelten intensiveren Wasserwirkung dort von der CO_2 und dem O der Luft allein, hier von der SO_2 der Rauchgase neben CO_2 und O herrührt, so müßten die Schaulinien I_1 und I_2 folgerichtig eine gewisse Übereinstimmung gleichzeitig sowohl mit der Schaulinie IV als auch mit der Schaulinie III zeigen, vorausgesetzt, daß letztere der Wirklichkeit vollkommen entsprechend wäre und gleichsam nur ein vergrößertes Bild derselben darböte. Dies trifft aber nicht zu, denn es besteht zwischen den Schaulinien I_1 und I_2 sowie III

keinerlei Übereinstimmung, sondern — wie schon bemerkt — vielmehr geradezu eine ausgesprochene Gegensätzlichkeit, die sich auch bei noch so langer Dauer des natürlichen Verwitterungsversuches niemals würde ausgleichen können. Die im Abschn. IV bereits in betreff des Fresenius'schen Versuches ausgesprochene Behauptung bestätigt sich also hier — und zwar sogar versuchsmäßig — aufs neue.

5. Die Schaulinie III.

Die Diskordanz der Schaulinie III mit den Diagrammen I₁ I₂ und IV einerseits und die Übereinstimmung der ersteren (III) mit der am oberen Tafelende aufgetragenen p-Linie, ist eine so auffällig-gesetzmäßige, daß jede bloß zufällige Gegensätzlichkeit oder Übereinstimmung ausgeschlossen erscheint. Jedes Thal bei I₁ I₂ und IV entspricht einem Berg bei III und bei dem Porositätsdiagramm. Eine allerdings scheinbar schon schwerer zu erklärende Ausnahme findet nur bei b i h statt. Zunächst ist aus dem Gesagten ersichtlich, daß die Gestalt der Schaulinie für den Fresenius'schen Versuch im allgemeinen auf das wesentlichste durch das Gesamtporenvolum der Platten mitbestimmt wurde und zwar bis zu ihrer Anpassung an die Form der p oder auch p_h-Linie. Es erklärt sich dies dadurch, daß unter dem erhöhten Gasdruck in den Versuchsflaschen das SO₂-Gas weit vollkommener und inniger die Probeplatten durchdringt und hier unter größtmöglicher Ausnutzung gerade auch der doch bei den meisten Sorten vorherrschenden hygroskopischen Unstetigkeiten seine chemische Wirksamkeit entfalten kann. Bei der Versuchsreihe II kam zwar auch der gesamte, vorherrschend hygroskopische, Porenraum der Schiefer in Betracht, doch konnten bei dem gewöhnlichen Gasdruck die Unterschiede und Gegensätze der einzelnen Sorten in dieser Hinsicht nicht so scharf zur Geltung gelangen, vielmehr werden hier noch wohl vorwiegend die chemischen Differenzen ihren Ausdruck gefunden haben. Ausschließlich würde dies letztere eben nur beim Versuche am Gesteinspulver der Fall gewesen sein. Die oben erwähnte Ausnahme für b i h kann nur auf vorwiegend rein-chemische Unterschiede der betreffenden Schiefer zurückgeführt werden. Es läßt sich nämlich nicht verkennen, daß die Schaulinie III auch mit dem Al₂O₃-Diagramm in einem Maße harmoniert, daß ein kausaler Zusammenhang vorliegen muß. Dies erscheint auch erklärlich, wenn man bedenkt, daß auch die widerstandsfähigeren Sesquioxide von der SO₂ und SO₃ weit

energischer angegriffen werden wie von der CO_2 und daß dieselben den weit überwiegenden Teil der Basen bilden. Es ist somit auch klar, daß bei Sorten, deren Al_2O_3 -Gehalt ein geringerer ist, wie bei g (mit 20,7 %) und bei f (mit 17,7 %), angesichts der gleichzeitigen Niedergänge der p-Linie, auch die Linie III selbst solche zeigen muß. Ebenso erklärlich ist der Schaulinienberg bei a und d mit 24,3% bzw. 27,9 % Al_2O_3 bei gleichzeitig hohem Stand der p-Linie. d besitzt den weitaus größten überhaupt vorkommenden Thonerde-Gehalt, aber zu a gehört die höchste Erhebung der p-Linie. Bei b behält die Schaulinie III trotz des Hochgangs der p-Linie den tiefsten Stand, was hier durch den vergleichsweise minimalen Gehalt an Al_2O_3 (16,4 %) und Basen überhaupt (29,7%) leicht erklärlich. Daß der Al_2O_3 -Gehalt bei c sogar noch wesentlich geringer — er erreicht hier sein Minimum 9,0 % — verschlägt nichts, da hier der leichtangreifbarste aller Bestandstoffe CaCO_3 in solcher Menge (13,8 %) vorhanden. Was nun den mit der entsprechenden Senkung der p-Linie in Widerspruch stehenden Umstand betrifft, daß die Schaulinie III, von b über h nach a ansteigend, bei i sich zu einer mäßigen Erhebung aufschwingt, so wird derselbe größtenteils durch die Größe des Verhältnisses der Mengen leichter angreifbarer Stoffe beim Versuch III zu der beim Versuch II verständlich. Dieser Quotient
$$\frac{\Sigma \text{Basen}}{\text{FeO} + \text{CaO} + \text{Alkal.}}$$
 stellt sich nämlich für i ganz erheblich größer wie für h. Er ergibt sich für i zu $\frac{40,1}{3,0}$ oder 13,4, für h zu $\frac{45,8}{5,7}$ oder nur 8,0. Denn die früher zu den konservativen Bestandstoffen gezählten Basen Al_2O_3 , Fe_2O_3 und wohl auch MgO sind jetzt mit in die Reihe der angreifbareren eingerückt. Die sonstigen Angreifbarkeits-Chancen der beiden Schiefer haben sich dabei nicht geändert. Es kommt noch hinzu, daß i einen Kalkgehalt von 1% besitzt, wenn derselbe auch — im Hinblick auf die mikroskopische Untersuchung (siehe diese) — als Silikat gedacht werden muß; h dagegen ist nach der Analyse kalkfrei. Der Kalkgehalt spielt bei dem Fresenius'schen Versuch jedenfalls eine noch weit einschneidendere Rolle wie bei den andern Versuchen, so daß hier 1 % schon eine achtunggebietende Menge darstellt. In der That scheint die CaO-Linie, so absolut gering ihre Erhebungen und Senkungen immer sind, hier ebenfalls wie die Al_2O_3 - und die p-Linie, auf die Form der Schaulinie III entschieden mitbestimmend zu wirken. Die

CaO-Linie besitzt nämlich Berge bei i, a und k (der Aufstieg von f nach d ist geringer), sie kulminiert bei a, sie hat Täler bei h, g und f. Die Ordinate für g ist die drittkleinste von allen. Das Zusammentreffen derselben mit dem Tiefstand der p-Linie bei g und mit dem weit geringeren Gehalt an Sesquioxiden und MgO (29,1 %) gegen h (40,1 %) bewirkte das Tieferhinabsinken der Schaulinie III bei g gegen h, während bei f eine geringere Senke wie bei g eintrat, trotzdem, daß der Zuwachs an angreifbaren Stoffen für den Versuch III dort geringer zu veranschlagen ist wie hier. Der oben benutzte Quotient ergibt sich zu $\frac{39,5}{16,0}$ oder 2,5 und $\frac{37,7}{8,6}$ oder 4,4.) Allein der Verlauf der FeO- und allenfalls auch der p-Linie ($p = 0,80$ und $0,69$) mochten wohl die Schaulinie III in ihrer an dieser Stelle (in Übereinstimmung mit II) aufs Steigen gerichteten Tendenz bestärkt haben. Daß die Entführung des FeO bei der SO₂-Einwirkung auf die Platte f eine erhebliche Rolle gespielt hat, beweist die starke Bleichung derselben (dunkeloliv ist fast dem Weiß gewichen). Das mächtige Ansteigen der Schaulinie III bei k endlich ist durch das Zusammentreffen des Berges der p- und der CaO-Linie leicht zu begründen. Wie aber erklärt es sich, daß für k die Schaulinie III in so überwältigender Weise kulminiert, während sowohl CaO-Gehalt wie Gesamtporenvolum dieses wohl eher für a hätten erwarten lassen? Die Ursachen hierfür müssen notwendig ganz außerhalb des Kreises unserer seitherigen Betrachtungen liegen. Es sind als solche anzusehen die ziemlich geringe Spaltfestigkeit der Schieferorte k ($\sigma = 22$ gegen $\sigma = 25$ kg/cm² bei a) und wahrscheinlich ihr, alle übrigen 9 Sorten, also auch a, an Größe der Gemengteile, namentlich der C-, CaO- und Glimmerpartien, überragendes Gefüge. Die Glimmerteilchen verraten sich schon dem unbewaffneten Auge. Nachdem die Spaltung der Probeplatte, infolge des aus ungleicher Befeuchtung resultierenden Krümmungsbestrebens sowie des höheren Gasdrucks, im Verein mit der wohl nicht bedeutenden, aber immerhin konstatierten Gipsbildung einmal eingetreten, mußte sich die Wirkung der SO₂ sofort noch erheblich steigern. Die Spaltung wuchs und begünstigte aufs neue die Gaswirkung u. s. w. Vereinbar mit dem Verlauf der Schaulinie III ist der, wenn auch ziemlich hohe, CaO-Gehalt von b. Seine Wirkung zeigt sich darin, daß er im Verein mit dem Berg der p-Linie jene auf eine gewisse, ihrem Stand bei g sich fast nähernde Höhe gehoben hat. Bei

der ganzen vorstehenden, um den CaO -Gehalt sich drehenden Betrachtung ist stillschweigend vorausgesetzt, daß er bei den Sorten a, b, d, f, g, h, i und auch k während des Fresenius'schen Versuchs schließlich einen Gewichtsverlust zur Folge hatte, was auch mit den Ergebnissen dieses Versuchs übereinstimmt, obgleich die Platten e und c Gewichtszunahmen erlitten haben. Hiernach muß angenommen werden, daß bei den zuerst genannten Sorten mit dem geringen Kalkgehalt (bis zu 1,3, bei a) die Wasservirkung noch hinreichte, um die Bildung unlöslichen Gipses zu verhindern oder daß wenigstens — wenn sie stattgefunden haben sollte — die Abfuhr des löslichen Sulfites überwog. Die durch den hohen Kalkgehalt veranlaßte und durch das Emporgehen der p-Linie sowie die einmal eingetretene Spaltung wachsend begünstigte Gewichtszunahme der Platten e und c konnte in dem Schaulinienbild III nicht eigentlich dargestellt, sondern nur eben angedeutet werden.

VIII. Abschnitt.

Neue Prüfungsvorschläge. Schlußbemerkungen.

Die Untersuchungen vorliegender Arbeit, betreffend Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine, sind fast nur an Repräsentanten einer besonderen Gruppe durchgeführt worden. Es steht jedoch nichts im Wege, diese Methoden auf andere Bausteine jeder Art auszudehnen. Nur sollte dabei der besonderen Natur der Steine gebührend Rechnung getragen werden, also eine Anpassung des Prüfungsverfahrens an jene Platz greifen. Diese Anpassung kann jedoch naturgemäß nur mehr in der Wahl, Reihenfolge und etwa in der Kombinationsweise der nötigen Einzelprüfungen, eben nach Maßgabe des Gesteinscharakters, sich äußern. Die Idee und die Ausführung der Einzelprüfungen bleiben für alle Bausteine doch wohl ziemlich dieselben. Dies im Auge behaltend, ergeben sich auf Grund der im Abschn. I gewonnenen Gruppierung der natürlichen Bausteine nach ihrem Verhalten gegen die atmosphärischen Einflüsse sowie der in den Abschn. II bis V niedergelegten Versuchsergebnisse und Betrachtungen die folgenden zumeist als Verbesserungen der von mir bereits angewandten Methoden sich darstellenden:

A. Vorschläge zur Prüfung natürlicher Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit.

I. Allgemeine Regeln für solche Prüfungen.

1. Es sollten alle Prüfungen, wenn nur irgend thunlich, nur an wirklich bis zur Gewichtskonstanz getrockneten, gewogenen und später wieder zu wägenden Probestücken vorgenommen werden. Der (namentlich bei Agentienproben) oft trügerische Befund der bloß äußer-

lichen Befichtigung allein sollte nicht zur Grundlage der Beurteilung von Steinen dienen. Zum Trocknen der Platten werden große, eigens hierzu gebaute Thermostaten aus Kupferblech mit Doppelwandungen zur Aufnahme von Wasser, besser Kochsalzlösung, empfohlen. Dieselben sind in der oberen Bodenwand, außer der Öffnung für das Abströmen der erhitzten Luft und für das Thermometer, mit einer langen Rückfluß-Glasröhre versehen, durch welche die Dämpfe der erhitzten Flüssigkeit entweichen und in der sie sich kondensieren können. Diese Thermostaten sind auf die Aufnahme von Gruppengestellten für die Probestücke berechnet, damit eine beliebige Anzahl derselben bequem und schnell entnommen und mit einemmal in die Exsikkatoren übergeführt werden kann. Der mit Temperatur-Regulator versehene Thermostat kann die Nacht hindurch im Gange bleiben, wodurch die Trockenzeit bedeutend abgekürzt wird.

2. Einer jeden auszuführenden Prüfung sollten wenigstens zwei Probekörper von bekanntem Material und extremem Verhalten mitunterworfen werden, um einen zuverlässigen und einheitlichen Vergleichungsmaßstab für derlei Arbeiten zu besitzen. Als Vergleichsmaterial wird empfohlen für Frostversuche: ein vollkommen frostsicherer Granit und ein leichtzerfrierbarer Sandstein oder poröser Kalkstein *cc.*, für Agentienprüfungen: Quarzit und reinsten Carrara-Marmor. Bei den Versuchen zu Abschn. II waren als Vergleichsmaterialien der „Schwedische schwarze Granit“ und Carrara-Marmor benutzt worden. Ist das Verhalten der Vergleichsmaterialien ein für allemal sicher festgestellt, so genügt, wenn stets unter genau gleichen Versuchsbedingungen gearbeitet wird, die bloße Miteyponierung ohne Mitrocknen und Mitwägung. Erforderlich wäre eine internationale Einigung in betreff der Wahl dieser Vergleichs-Probematerialien. Ebenso

3. in betreff des Formats der Probekörper. Die, für den Frostversuch und die zugehörigen Druckversuche bestimmten anlangend, ist diese Frage und alles Weitere durch die Beschlüsse der ständigen internationalen Kommission zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden geregelt*). In betreff der Probekörper für Agentien-

*) Cfr. „Bauschinger, Beschlüsse der Konferenzen zu München, Dresden, Berlin und Wien über einheitliche Untersuchungsmethoden bei der Prüfung von Bau- und Konstruktionsmaterialien auf ihre mechanischen Eigenschaften. München 1893. Th. Ackermann.“

proben (in Flaschen) schlage ich als „Normalformat“ 7 cm/3 cm bei 0,5 cm Dicke vor. Für natürliche Verwitterungsproben empfehle ich das Format 9 cm/9 cm bei 0,5 cm Dicke. Proben an Dachschiefeln, die in der Regel nur unter sich verglichen werden, können aus den gewöhnlichen Handelsplatten geschnitten werden. (Die dabei auftretenden Dicken-Abweichungen spielen keine Rolle).

4. Die Dauer für alle in Vergleich zu stellenden Versuche sei die gleiche, ebenso wie alle sonstigen Versuchsbedingungen die nämlichen sein müßten.

5. Alle Probekörper sollten aus dem Blocke thunlichst unter Anwendung der Säge gewonnen werden. Durch Transport und Bearbeitung schadhast gewordene Stücke sind streng auszuschneiden.

II. Natürliche Wetterbeständigkeitsproben.

Wo nur irgend angängig, zumal wenn es sich um die Ausführung großer öffentlicher, auf lange Dauer berechneter Bauten handelt, sollten die natürlichen Wetterbeständigkeitsproben zur Anwendung kommen. Dieselben sind auf alle Bausteine und ohne Modifikation des Verfahrens anwendbar. Da jedoch die Dauer solcher Versuche stets Jahre in Anspruch nimmt, diese Zeit aber in seltenen Fällen zur Verfügung steht, so wird wenigstens vorgeschlagen, seitens der staatlichen Materialprüfungs-Anstalten in systematischer und umfassender Weise nach und nach solche Prüfungen an allen gängigen und zu den gedachten Zwecken sich eignenden Materialien ein für allemal vorzunehmen. (Vgl. hierzu Prof. S. Höfer's Aufsatz, „Zur Beurteilung der Wetterbeständigkeit der Bausteine“ im D. Baugewerks-Blatt 1898, Nr. 9, p. 137.) Hierdurch würde, wenn schon bekanntermaßen jeder Baustein eines bestimmten Fundorts örtlich (auch in demselben Bruch) und zeitlich gewissen Qualitätsänderungen unterliegt, doch eine weit bessere Wertschätzung der natürlichen Bausteine herbeigeführt wie sie jetzt vorhanden ist und sicherlich manchem groben Mißgriff in der Wahl des Materials vorgebeugt werden. Von besonderem Wert wären solche Prüfungsarbeiten jedenfalls auch für die Einordnung der wichtigsten Bausteine in die von mir vorgeschlagenen Qualitäts-Gruppen. Die natürliche Prüfung könnte, bis auf weiteres, in der im Abschn. II geschilderten, natürlich noch verbesserungsfähigen

Weise erfolgen. Zu den auf jeden Fall allgemein innezuhaltenenden genau gleichen Versuchsbedingungen gehört u. a. auch die Neigung der Probeplatten und ihre Verlegung nach der gleichen Himmelsrichtung (Wetterseite). Für den Neigungswinkel empfehle ich etwa 15° . Zur Benutzung gelange dabei dieselbe bestimmte Glasorte, von der eine besondere Probeplatte mitzuerponieren wäre. Endlich wird die Einrichtung ständiger, auf der Grundlage internationaler Vereinbarung arbeitender Versuchsstellen für natürliche Wetterbeständigkeitsproben empfohlen. Dieselben würden u. a. auch die Erforschung der verschiedenen klimatischen Einflüsse auf Bausteine ermöglichen.

III. Künstliche (abgekürzte) Wetterbeständigkeitsproben.

In den Fällen, wo der natürliche Verwitterungsversuch nicht zur Anwendung kommen kann oder soll — und dies werden in praxi weitaus die meisten sein — wird das folgende, eine kürzere Zeit beanspruchende „künstliche“ Prüfungsverfahren empfohlen.

1. Die Frostprobe wird nach den Beschlüssen der internationalen Konferenzen mit 6 Probe-Würfeln von 10 cm Kantenlänge (5 cm bei den Versuchen von Hanisch, 7 cm nach v. Tetmayer) ange stellt. Dieselben sind vorher zu trocknen, zu wiegen und dann der Wasserlagerung (chem. reines H_2O) zu unterwerfen und zwar in getrennten und am besten geschlossenen Gefäßen. Denn unser Versuchsziel ist zunächst die Ermittlung der „reinen Frostwirkung“ unter thunlichster Fernhaltung jeder Agentienwirkung. Den ungefähren Zeitpunkt der beendigten Wassersättigung giebt für die verschiedenen Steinsorten die Erfahrung, den genauen die Gewichtskonstanz bei zeitweiligem Wägen. Die wassersatten und durch die lange Wasserlagerung — ca. 1 Monat — hinreichend erweichten Steinproben*) werden nun der Frostprobe unterworfen, d. h. einer Frostwirkung von — 15 bis — $20^\circ C$ ausgesetzt und hierauf in reinem H_2O von + 15 bis + $20^\circ C$ vollkommen aufgetaut. Das Gefrierenlassen und Auftauen wird 25 mal wiederholt. Nach Beendigung dieser unter möglichster Luftabhaltung ausgeführten Manipulationen werden die Steine oberflächlich abgetrocknet und gewogen, worauf der Gewichtsverlust in % des Anfangstrockengewichts bestimmt wird. Die bei dem beschriebenen

*) Die Notwendigkeit der Erweichung für den Frostversuch haben die Herrn Professoren Grubenmann und v. Tetmayer mit Recht hervorgehoben.

Prüfungsgänge immerhin doch unvermeidliche Einwirkung der Luftagentien spielt gegenüber der Frostwirkung, wenn dieselbe mit thatsächlichem Erfolg eingetreten ist, übrigens keine nennenswerte Rolle und darf unberücksichtigt bleiben. An den so frostgeprüften Steinen wird hierauf, wenn noch möglich, die Bestimmung ihrer nunmehrigen Trockenfestigkeit vorgenommen. Die gleiche Bestimmung hat an Würfeln des ursprünglichen Materials stattgefunden. Die äußerlichen Veränderungen der Probewürfel während des Frostversuchs, ihr Gewichtsverlust und ihre Festigkeitsabnahme zusammen geben das Maß der Frostwirkung.

Bei Bausteinen von im voraus unbezweifelbarer Zersrierbarkeit oder aber auch Frostsicherheit hätte die Frostprobe natürlich keinen Zweck oder doch — bei Steinen der ersteren Art — vielmehr wenigstens nur den, den Grad ihrer Frostgefährlichkeit festzustellen. Da man aber niemals mit voller Sicherheit eine derartige Frostprognose zu stellen vermag, so wird die Frostprobe bei strengeren Prüfungen in den meisten Fällen wohl nicht zu entbehren sein. Allenfalls könnte bei sehr ausgesprochener Beschaffenheit des Materials oder bei generellen Proben eine Vereinfachung eintreten, dadurch, daß das wiederholte Trocknen und Wägen der Proben sowie die Druckprobe unterbleibt und durch den Versuch lediglich die Thatsache des Zersrierens oder des Nichtverändertwerdens festgestellt wird. Oder es könnte wenigstens in diesen Fällen wohl eine vereinfachte Bestimmung des Gewichtsverlustes beim Frostversuch erfolgen, indem man nur die wasserfatten Steine, vor dem Frostversuch, und dieselben unmittelbar nachher (ungetrocknet) wieder wiegt und die Gewichtsdivergenz in % des Wasserfüllungsgewichts berechnet. Indessen empfiehlt sich, wenn schon einmal Gewichtsbestimmungen vorgenommen werden, die zuerst beschriebene exaktere „Normalfrostprobe“. Gänzlich unterbleiben könnte die Frostprobe übrigens doch wohl nur bei absolut gleichartigen, ihrer physikalischen Beschaffenheit nach ganz genau bekannten Steinen, wie z. B. Carrara-Marmor, Dolomit eines bestimmten Vorkommens (Gruppe IIIa) oder bei Steinen, deren rein oder doch in hohem Grade überwiegend hygroskopischer Charakter durch die — alsdann aber unerläßliche Porositätsprobe des Abschn. V (A, 1, I, a und d) vorher nachgewiesen wäre, wie z. B. bei den Dachschiefeln (vgl. hierzu die betreffenden Bemerkungen auf Seite 111 und 184). Immer aber wird der Kreis solcher Beispiele ein ziemlich beschränkter sein.

Ist die „Frostprobe“ nun von solchem Erfolg begleitet gewesen, daß sich am Probestein sehr bedeutende, namentlich frühzeitig auftretende Veränderungen zeigen oder gar ein vollständiger Zerfall desselben eintritt, so gehört er jedenfalls der Dualitäts-Gruppe I (vgl. Abschn. I), und zwar als einer ihrer minderwertigeren Vertreter, an. Weitere Prüfungen erscheinen hier völlig entbehrlich, denn noch bevor die Luftagentien eine bemerkliche Wirkung geübt haben können, werden — wie S. 43 und 44, Abschn. III schon ausgeführt ist — solche Steine bereits Frostschäden zeigen. Zur Gruppe I zählen auch noch Steine, welche Veränderungen mittleren Grades oder sogar nur geringerer Art, jedoch schon nach wenigen Gefrierenlassen erleiden. Weitere Prüfungen können hier unterbleiben. Nach Maßgabe der äußerlichen Veränderungen, des Gewichts- und Kohäsionsverlustes infolge der Frostprobe wird nun bei den verschiedenen Steinarten deren Frostsicherheit bemessen und das Material lediglich hiernach bewertet werden dürfen. Je geringer die Beschädigungen der Probekörper ausfallen und je später sie beim Versuch eintreten, um so mehr wird bei dem betreffenden Stein in Wirklichkeit der Frost der Agentienwirkung Zeit und Spielraum lassen, das ihre zu thun, und bei ganz minimalen Veränderungen, wie z. B. leichtem Absanden einer einzelnen Kante oder Ecke, würde es — angesichts des Umstands, daß die Frostprobe eine ziemlich strenge ist — zweifelhaft sein können, ob man es mit einem Stein der I. oder II. Dualitäts-Gruppe zu thun hat. In solchen Fällen mag man je nach dem Befund und den Umständen der Steinverwendung die Fortsetzung des Prüfungsverfahrens nach Nr. 2 (s. unten) zur weiteren Erforschung der Steinqualität noch als zulässig vornehmen. Sicherer ist es natürlich, wenn sie unterbleibt. Bleiben die Probewürfel während des 25 maligen Gefrierenlassens und Auftauens völlig intakt, so gehören die Steine bestimmt der Gruppe II oder III bzw. IIIa an und es hat auf sie sofort

2. die obligatorische Agentienprobe zur Anwendung zu kommen.

Derselben werden in besonderen Fällen auch nicht vorher frostgeprüfte (weil ausgemacht zu den ganz frostsichereren Sorten gehörige) Bausteine zu unterwerfen sein. Für solche dichten, d. h. in sehr geringem Grade H_2O aufnehmenden — weil höchst schwach — imbibitorische und durch minimale Weite der Imbibitions-poren ausgezeichnete

Steine bildet die obligatorische Agentienprobe die einzig erforderliche und hinreichende Prüfung auf Wetterfestigkeit. Beispiele: Dachschiefer. Die Prüfung besteht in folgendem:

Die Probeplatten der Steine, „Normalformat“ $7\frac{2}{3}/0,5$ cm, werden getrocknet, gewogen und hierauf einzeln mittelst Platindraht an den Tauchstäben von Versuchsflaschen (wie im Abschn. III beschrieben) aufgehängt. Die Flaschen sind über die Hälfte mit H_2O gefüllt, in welches die Platten dauernd eintauchen und welches vermittelt wechselseitiger Durchleitung von CO_2 und O (im ungefähren Volumverhältnis von 10 : 1) mit diesen beiden Gasen gesättigt erhalten wird. Die Einrichtung der Versuchsflaschen könnte sich von der im Abschn. III beschriebenen höchstens dadurch unterscheiden, daß das Gaszuleitungsrohr einer jeden jetzt in die Flüssigkeit eintauchte. Dies hätte allerdings einen erhöhten Gasdruck zur Folge, der aber bei 10 Flaschen immerhin doch nur höchstens etwa $\frac{1}{10}$ Atm. betragen würde. Vermieden wird derselbe, wenn man die Sätturierung bei hochgehobenen Gaszuleitungsrohren vornimmt. Nach mindestens achttägiger Dauer des Versuchs, während welcher Zeit die Platten mittelst der Tauchstäbe häufig bewegt wurden, werden die ersteren an den Stäben und mit den Kautschukstöpfeln der Flaschen aus diesen entfernt und jede in eine andere, bereit stehende, ganz gleiche Versuchsflasche von mindestens gleicher Wasserfüllung übergeführt. Dieses H_2O war vorher mit SO_2 gesättigt worden oder die Sättigung erfolgt auch jetzt erst durch Durchleitung des Gases, nachdem vorher die Kautschukstöpfe in den Hälften der neuen Flaschen befestigt worden sind. Nach Bedarf läßt man, um die verloren gegangene Sättigung wieder herzustellen, einen erneuten Strom SO_2 -Gas durch die Versuchsflaschen streichen. Es dürfte sich vielleicht empfehlen, die SO_2 durch Einwirkung von HCl auf billigen schwefligsauren Kalk zu gewinnen. Geringe Mengen von mitgerissener HCl würden dabei im Hinblick auf den geringen Salzsäure-Gehalt der Rauchgase sogar am Platze sein. Vielleicht ist überhaupt ein HCl -Zusatz, der jedoch nur ganz geringfügig sein dürfte, zur SO_2 -Flüssigkeit zweckentsprechend. Die Probeplatten tauchen dauernd in die Versuchsflüssigkeit und werden nur ab und zu auf 1 oder 2 Stunden emporgezogen. Während des Versuchs geht zeitweise ein schwacher O -Strom über die Flüssigkeit in den Flaschen hinweg. Nachdem die Platten höchstens etwa 4 Tage in den neuen Flaschen sich befunden haben, kommen sie wieder in die erste

Flaschenbatterie zurück, wo sie weitere 8 Tage exponiert werden, um dann wieder auf 4 Tage in die zweite Flaschenreihe übergeführt zu werden. Damit wird umschichtig fortgefahren solange wie der Versuch dauern soll. Als Mindestdauer dürften $3 \cdot 8 + 3 \cdot 4 = 36$ Tage anzusehen sein. Die Feststellung der zutreffendsten Versuchszeiten, welche von dem — übrigens sehr wechselnden — Verhältnis der Gase in der Luft abhängen, bleibt weiteren Versuchen und Erwägungen, ähnlich den im Abschn. III angestellten, vorbehalten. Der Versuch kann auch unter Anwendung von nur einer Flaschenbatterie, durch welche dann der Reihe nach die drei Gase CO_2 , O und SO_2 hindurchzuleiten sind, angestellt werden. Nach Schluß des Gesamtversuchs werden die Platten in H_2O (zwei Stunden) gewaschen, getrocknet und gewogen, worauf die Berechnung der Substanzverluste in Prozenten der Anfangstrockengewichte erfolgt. Nach dem Ausfall dieser Prüfung werden nun die Steine, welche zuvor die Frostprobe bestanden hatten, weiter bewertet, was hier also sogar in zahlenmäßiger Weise geschehen kann. Erweist sich ihr Gewichtsverlust bei dieser kombinierten Luftagentien- und SO_2 -Probe als ein sehr geringer, was aus dem Vergleich mit der Gewichtsabnahme einer gleichzeitig mitexponierten Granitprobe von bewährter Güte sich ergibt, so gehören die Steine ausgesprochen der Qualitäts-Gruppe III an. Ist ihr Gewichtsverlust sehr bedeutend, so liegt ein Baustein der Gruppe II oder auch, wenn es sich um einen durchaus gleichartigen dichten Kalkstein oder Dolomit handelt, der Gruppe IIIa vor. Steine mit Gewichtsverlusten mittleren Betrages werden als bessere Sorten der Gruppe II bewertet, welche füglich, mit abnehmender Gewichtsverlustgröße, unmerklich den Übergang zur Gruppe III bilden. Innerhalb der Gruppe II werden die Steine dann nach dem Grad der gewichtsprozentisch festgestellten Agentienwirkung oder Angreifbarkeit weiter bewertet werden dürfen, da diese den Maßstab für den früheren oder späteren Eintritt der jedenfalls hier sehr weit hinausgerückten Frostwirkung abgibt. In allen Fällen, wo dem mißtraut werden sollte oder die nötige Zeit vorhanden ist, empfehle ich, die Agentienprobe so lange fortzusetzen, bis die Proben reif für den Zerfrierversuch erscheinen und schließlich diesen dann thatsächlich an jenen vorzunehmen. Gänzlich unterbleiben dürfen wird die Agentienprobe nur bei Steinen der im Abschn. I auf Seite 11 und 17 beschriebenen Art wie z. B. Carrara-Marmor.

Die vorstehenden Vorschläge für ein abgekürztes Prüfungsverfahren liefern, kurz zusammengefaßt, folgendes

Prüfungsschema:

1. Frostprobe	erzielt sehr bedeutende oder auch mäßige Veränderungen	erzielt keinerlei Veränderungen.	
2. Die obligator. Agentienprobe	unterbleibt. Bewertung lediglich nach 1.	erzielt erhebliche oder sehr bedeutende Veränderungen.	erzielt nur ganz geringe Veränderungen.
		Einzelbewertung nach 2:	
Qualitäts-Gruppe der Bausteine.	I	II bezw. IIIa	III
		event.: Fortsetzung der Agentienprobe und Wiederholung des Frostversuchs an demselben Probestück.	

3. Die fakultativen Prüfungen. Neben den unter III, 1 und 2 betrachteten, für Objekte von irgend welchem Belang obligatorischen Prüfungen sind noch die nachstehend angegebenen fakultativen Proben wünschenswert; in einzelnen Fällen möchten sie sogar für notwendig zu erachten sein.

a. Die Porositätsprobe,

entweder durch Wasserlagerung allein ausführbar oder — bei eingehenderen Untersuchungen — in zweifacher Weise

1. behufs Ermittlung der Hygroskopie und

2. " " " " Imbibitionsfähigkeit

vorzunehmen. Betreffs der Ausführung des Versuchs kann auf Abschn. V verwiesen werden. Notwendige Abweichungen dürften sich wohl bei 1 auf die Anwendung von mit Wärmeschutzhülle versehenen Versuchsglocken und vielleicht einer besonderen Luftdurchfeuchtungsvorrichtung, etwa eines kontinuierlich wirkenden Wasserzerstäubungsapparats, bei 2 auf die Vornahme der Wasserlagerung in getrennten und am besten geschlossenen Gefäßen beschränken. Wird der

Zmbibitonsversuch in offenen Gefäßen ausgeführt, so kann er gleichzeitig in völlig ausreichender Weise als

b. Agentienprobe unter Ausschluß der SO_2 -Wirkung dienen. Dieselbe läßt sich in derselben Weise am Gesteinspulver vornehmen.

c. Die Agentienprobe am **gepulverten** Probematerial.

Die Ausführung geschieht wie sub. III, 2 beschrieben, wobei natürlich nur eine einzige Batterie von Versuchsflaschen (ohne Tauchstäbe) zur Aufnahme der Gesteinspulver zur Anwendung kommt, durch welche **alle drei** Gase CO_2 , O und SO_2 der Reihe nach hindurchgeleitet werden. Ist keine Analyse der in Lösung gegangenen Substanz beabsichtigt, so werden nach beendigtem Versuch die ausgelaugten Gesteinspulver auf Filter von bekanntem Trockengewicht gebracht, gewaschen, bei 105°C getrocknet und gewogen. Die Prüfungen 3a und 3c gewähren am sichersten Aufschlüsse über den Anteil, der der physikalischen Beschaffenheit der Steine einerseits und ihrer chemischen Zusammensetzung andererseits an der durch Versuch III, 2 ermittelten Wirkung der Luftagentien auf den Stein zukommt. Hier und nur hier ist das alte Prüfungsverfahren 3c ganz an seinem Platze, wie andererseits in diesem Zusammenhange die Wichtigkeit der zweifachen Porositätsprobe klar erhellt. Als höchst wertvolle Ergänzungen, mitunter sogar als teilweiser Ersatz für III, 2, stellt sich diesen Prüfungen noch zur Seite die genaue petrographische Untersuchung des Materials, nämlich:

d. die mikroskopische Untersuchung

am Gesteinsdünnschliff (— die sorgfältigste mikroskopische Prüfung mit der Lupe ist stets selbstverständlich —) und

e. die chemische Analyse

des Probematerials oder wenigstens entscheidender Bestandpartien und Teile desselben, z. B. der Kittsubstanz bei Trümmergesteinen*) oder der Spaltenfüll- und Stichtsubstanz mancher Steine u. s. w. Es sind

*) Vgl. Grubenmann und v. Tetmayer im Ref. 1, p. 73.

dieses allerdings Prüfungen, welche, neben III, 1 und III, 2 ausgeführt, sehr erheblichen Mehraufwand an Zeit und Arbeit erfordern und darum auch nur in selteneren Fällen mit jenen zusammen zur Anwendung gelangen werden. Ihre Aufführung durfte indessen hier nicht unterbleiben.

Endlich können noch für manche Materialien, namentlich wegen der besonderen Art ihrer Verwendung, aber auch ihrer eigenartigen Beschaffenheit, gewisse

IV. „Spezielle“ Prüfungsmethoden,

teils obligatorische, teils fakultative, erforderlich erscheinen. Ein vorzügliches Beispiel dieser Art ist der Dachschiefer. Hinsichtlich der für dieses Material notwendigen bezw. wünschenswerten Proben schließe ich mich im wesentlichen den von Professor Hans Hauenschild und Professor L. v. Tetmayer 1895 aufgestellten Forderungen an. Vgl. Ref. 2. S. 4, 5 und 9 bis 12. Über einige derselben, die mir von untergeordneterem Wert scheinen, nämlich in betreff der Härte und des spec. Gewichts (Ref. 2 S. 9/10, Nr. 3 und Nr. 6, v. Tetmayer), habe ich mich bereits früher, S. 104, geäußert. Bezüglich der Porositätsbestimmung (Ref. 2. S. 10, Nr. 5 und Nr. 7, v. Tetmayer) möchte es vielleicht genügen, dieselbe von Zeit zu Zeit für die wichtigsten Schiefervorkommen, dann aber in eingehender Weise, nach der von mir angegebenen Methode (Doppelbestimmung von Hygroskopie und Imbibitionsfähigkeit) vorzunehmen und sich dann ein für allemal an Mittelwerte von zahlreicheren Erhebungen solcher Art zu halten. Doch kann man auch in jedem Einzelfalle die Bestimmung vornehmen, als welche dann meist der einfache Aufsteigeversuch (vgl. Abschn. V und Ref. 2 p. 10, Nr. 7, v. Tetmayer) hinreichen wird und muß. Für die Bestimmung der Frost- und Wetterbeständigkeitsverhältnisse (s. Ref. 2, p. 10, Nr. 8, v. Tetmayer) empfehle ich die Proben III, 1 und 2 dieses Abschnittes. Ich bin also dafür, die Fresenius'sche Probe durch die regelrechte Agentienprobe zu ersetzen, die allerdings weniger bequem ist, aber dafür auch eine weit exaktere und richtigere Bewertung der Schiefer liefern wird. Chemische Prüfungen (s. Ref. 2, S. 11, Nr. 9 und 11, v. Tetmayer) sind in bekannter Weise vorzunehmen. Doch möchte ich nicht nur die Bestimmung des Pyrit- (bezw. Markasit-) sondern auch die des Karbonat-Gehalts zu den obligaten Prüfungen stellen. Ebenso die Prüfung des Verhaltens der

Schiefer im Temperaturwechsel (Frostwirkung ausgeschlossen). Dasselbe ist für die richtige Wertbestimmung jedenfalls von großem Belang, denn die Dachschiefer sind weit mehr wie andere Bausteine der strahlenden Sonnenwärme ausgesetzt und leiden auch mit der Zeit thatsächlich darunter. Bei den Schieferdeckern gilt die Sonnenseite als die gefährlichste Dachseite, was mit meinen Ausführungen in Ref. 1, S. 28 vollständig übereinstimmt und wozu zu bemerken ist, daß auch hier nicht die Isolation für sich allein, sondern wiederum im Wechsel mit der Abkühlung besonders nachteilig wirkt. Mit dem Erweichungsversuch (Ref. 2, S. 11, Nr. 10, v. Tetmayer) kombinieren ließe sich die von mir versuchte Bestimmung der Spaltfestigkeit, die doch für die Beurteilung der Frostgefahr einen gewissen Anhalt liefert und leicht und schnell auszuführen ist. „Spaltfestigkeit“ und „Feinspaltigkeit“ spielen jedenfalls hierbei, ebenso wie auch bei der Beurteilung des Widerstands gegen Bestrahlung im Wechsel mit Abkühlung, eine wichtige Rolle. Als ein erster, noch ganz roher und unvollständiger Versuch, den Erwärmungsgrad verschiedener Schieferforten durch Isolation festzustellen, möge folgendes hier erwähnt sein. Im Sommer (Juli/August) 1896 wurden auf dem Dach des Hauses, Synagogenstraße 7 in Königsberg, auf dem sich das Versuchsgestell für die natürlichen Wetterbeständigkeitsproben befand, Gebrauchsplatten der Schieferforten a, b, c, d, e, f, h, i, k der Besonnung ausgesetzt. Jede der Platten ruhte auf einem Brett aus Tannenholz und auch sonst waren, abgesehen von der ungleichen Stärke, die Umstände für alle genau die nämlichen. Mitausgesetzt war ebenso eine Tafel aus Zinkblech. Mehrere Wochen lang wurde nun täglich zur Zeit der größten Erwärmung die Temperatur der Platten auf ihrer Oberfläche gemessen. Es ergab sich, daß die Schiefer einen etwas höheren Wärmegrad besaßen wie die Luft; im Durchschnitt aus vielen Versuchen übertraf er die Lufttemperatur um 2 bis 7° C, während die Temperatur des Zinks häufig bis zu 18° höher hinaufgegangen war wie die letztere. Dabei schwankte die Lufttemperatur zwischen 38 und 44° C. Wird für jeden einzelnen Versuch die Temperatur des Zinks als Einheit zu Grunde gelegt, so liefern die entsprechenden Temperaturen der Schieferplatten, hierauf bezogen, Zahlen, welche folgende Mittelwerte ergeben.

c	a	b	d	e	i	f	h	k	Zink
0,71	0,71	0,73	0,73	0,74	0,78	0,78	0,80	0,83	1,00

Die Unterschiede der einzelnen Schieferorten hinsichtlich ihrer Erwärmung sind hiernach nicht erheblich.

B. Erläuternde Bemerkungen zu III und Schluß.

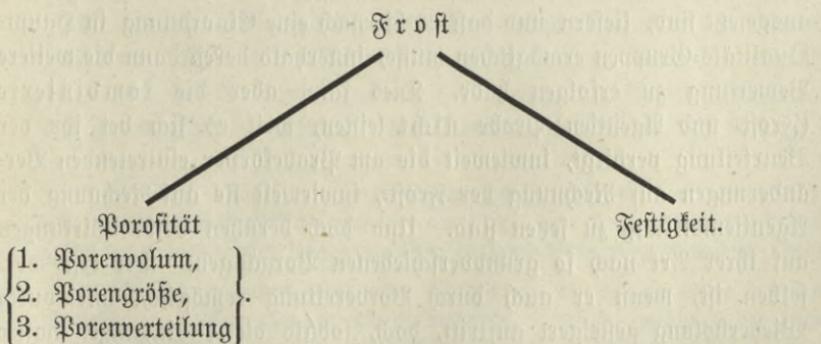
Die Frostprobe ist durch nichts anderes zu ersetzen. Die Kenntnis der Wasseraufnahmefähigkeit einer Steinorte gestattet nur beschränkte und bedingte Schlüsse auf ihr Verhalten im Frost. Alle Steine nehmen mehr oder weniger Wasser auf, viele allerdings nur in minimalen Mengen. Wenn nun auch zugegeben werden kann, daß sich aus der Vergleichung der Ergebnisse ausgeführter Porositätsbestimmungen und Frostversuche für die verschiedensten natürlichen Bausteine ein gewisses ungefähres unteres Porositätsgrenzmaß ableiten läßt, von dem an aufwärts erst Frostschäden aufzutreten pflegen, so gewährt dies doch nur einen ganz allgemeinen Anhalt ohne Beweiskraft und Bürgschaft für jeden neuen Fall. Denn der Erfolg der Frostwirkung hängt nicht nur ab

1. von der Menge des aufzunehmenden Wassers, also von der Größe des Gesamtporenraums, des „Porenvolums“, sondern auch

2. von der „Porengröße“, d. h. von dem durchschnittlichen Porenmaß (auch den Grenzwerten desselben) und

3. von der Art der Verteilung der Porenräume im Stein und

4. von den Kohäsionsverhältnissen des Materials der Porenwände (vgl. das nachstehende Schema):



Der Wasseraufnahme-Versuch, in der alten, üblichen Form belehrt jedoch nur über 1. Eine Methode zur Bestimmung von 2 giebt

es nicht und wenn sie auch existierte, so würde uns doch, wie schon früher erwähnt, die Kenntnis des Mindestporengrößenmaßes für die Eisbildung abgehen. Doch glaube ich, daß wie schon bemerkt, der doppelte Porositätsversuch im Abschn. V geeignet ist, der Aufklärung über diese Punkte einen Schritt näher zu bringen. Ist z. B. die Größe $\frac{1}{\mu}$ so geringfügig oder μ so beträchtlich (meist 3 und größer) wie bei den Dachziefern und zugleich p_1 so gering wie hier, dann kann auch die Porenweite (auch der Imbibitions-poren) nur gering sein und die Eisbildung muß unterbleiben. Auch in betreff des Punktes 3 sind wir in den meisten Fällen unwissend. Endlich decken sich die Ergebnisse der üblichen Festigkeitsprüfungen keineswegs mit dem, was zu 4 zu wissen nötig wäre. Folglich bleibt zur Beurteilung der Frostgefahr lediglich die direkte Frostprobe.

Es mag auffallend erscheinen, daß das unter III vorgeschlagene und beschriebene Gesamt-Prüfungsverfahren für natürliche Bausteine, ungeachtet des von mir an den Tag gelegten Bestrebens, den Verhältnissen der Wirklichkeit gerecht zu werden, dennoch mit einer Einzelprüfung beginnt und schließlich für gewöhnliche Fälle absieht von einer Kombination der Einzelprüfungen: Frost- und Agentienprobe an demselben Probestück. Ich habe dafür folgende Rechtfertigungsgründe anzuführen. Zunächst glaube ich, an ein solches praktisches Prüfungsverfahren die Forderung stellen zu sollen, daß es eine einfache Charakterisierung der Bausteine in betreff ihres Verhaltens gegen die beiden wesentlichsten Angriffe, denen sie witterungsseitig ausgesetzt sind, liefern und daß es hiernach eine Einordnung in Hauptqualitäts-Gruppen ermöglichen müsse, innerhalb deren dann die weitere Bewertung zu erfolgen habe. Dies kann aber die kombinierte (Frost- und Agentien)-Probe nicht leisten, weil es sich bei ihr der Beurteilung verbirgt, inwieweit die am Probekörper eintretenden Veränderungen auf Rechnung der Frost-, inwieweit sie auf Rechnung der Agentienwirkung zu setzen sind. Und doch beruhen beide Wirkungen auf ihrer Art nach so grundverschiedenen Vorgängen. Der erste derselben ist, wenn er auch durch Vorbereitung ermöglicht und durch Wiederholung gesteigert auftritt, doch, sobald die Bedingungen dafür erfüllt sind, ein mehr momentaner Akt, der andere ein mit der Exposition minimal beginnender, stetig fortschreitender und eigentlich

nie aufhörender Prozeß. Überdies ist es zweitens nicht selten augenscheinlich vorwiegend der eine dieser Vorgänge, welcher die Veränderung am Baustein, in einem gewissen Stadium derselben, bewirkt hat. Drittens bin ich der Meinung, daß das vorgeschlagene Prüfungsverfahren auch thatsächlich ausreicht, um in den meisten Fällen die Steine der Wirklichkeit entsprechend zu bewerten, vorbehaltlich höchstens etwa erforderlicher Verbesserungen von Versuchseinzelheiten, wie z. B. Änderung der Einwirkungsdauer der einzelnen Agentien. Auf diesem Wege sind dann z. B. auch die 10 Schieferforten a bis k auf ihre Wetterbeständigkeit hin verglichen worden. Vorausgesetzt ist dabei stillschweigend, daß sie die (von mir nicht vorgenommene) Frostprobe bestünden, was bei der versuchsmäßig nachgewiesenen hygroskopischen Natur der Schiefer sehr wahrscheinlich ist — mit Ausnahme höchstens von f und g — und wodurch ihr, anfänglich im großen und ganzen gleiches Verhalten in Bezug auf die Bedingungen der Frostgefahr erwiesen wäre.*) Von 3 Sorten (a, d und k) liegen übrigens amtliche Atteste vor, welche das Gesagte bestätigen.**) Da die Schiefer der Agentienprobe A, III, 2 nicht unterworfen worden waren, so tritt dafür hier der natürliche Verwitterungsversuch (Abchn II) ein, nach dessen mitgeteilten Ergebnissen die 10 Schieferforten also spezieller zu bewerten waren und auch bewertet worden sind (s. die Ergebnisse auf S. 40. Die allgemeine Qualitäts-Gruppe, der sie nach jenen Resultaten im Vergleich mit dem Prüfungs-Ergebnis für die der Gruppe III bzw. IIIa angehörigen Vergleichsmaterialien m und l, sowie auch im Hinblick auf ihre eigenartigen Kohärenzverhältnisse, zuzuweisen sind, ist die Gruppe II (vgl. die Taf. I). Eine Ausnahme könnten nach Früherem höchstens die Schiefer f und g machen, indem sie möglicherweise noch der Gruppe I zufileen (— entscheiden könnte hierüber nur der Frostversuch —), sodann die Sorte b, welche an der Grenze der

*) Es ist dabei jedoch die Befürchtung nicht ganz von der Hand zu weisen, daß aus der Nichtberücksichtigung der anfänglichen Ungleichheit der Porengröße der Schieferforten Ungenauigkeiten in deren Bewertung erwachsen könnten.

**) Ferner haben nach einer Mitteilung, die ich der Güte des Herrn Professor L. v. Tetmayer in Zürich verdanke, sämtliche anlässlich der schweiz. Landesausstellung von 1896 untersuchten Dachschiefer der Schweiz sowie solche belgischer und französischer Provenienz die Frostprobe vollkommen bestanden.

Gruppen II und III steht. In betreff der Sorten f und g ist jedoch zu bemerken, daß aller Wahrscheinlichkeit nach, wie schon erwähnt, eine eigentliche Frostgefahr für dieselben, also eine Einordnung in die Gruppe I ausgeschlossen ist. Das eigenartige Verhalten dieser 2 Schiefer kommt durch die geringere Bewertung innerhalb der Gruppe II hinreichend zum Ausdruck. Übrigens führen auch schon die Resultate der einfachen Wasserlagerung (Diagramm IV, Taf. XX), zu einer ganz ähnlichen Bewertung wie die Diagramme I₁ und I₂. In betreff des dem natürlichen Verwitterungsversuch mitunterworfenen Gotländer Sandsteins (n) sei bemerkt, daß er als wenig wetterfest gilt. Beispiel: die ehemalige Verblendung der Fassade des Schlüterbaues des Schlosses in Königsberg i. Pr. Frostproben sind mir nicht bekannt geworden. Wahrscheinlich gehört der Stein aber sogar der Gruppe I an.

Trotz alle dem Gesagten bleibt es unbestritten, daß die kombinierte Agentien- und Frostprobe für die Gruppe II, was Treue und Beweiskraft der — greifbar vorliegenden — Resultate betrifft, den Vorzug verdient vor dem bloßen „Schließen von einem Vorhandenen auf ein Zukünftiges. (Auch kommt bei ihr der in der Anmerkung* auf Seite 185 angedeutete Übelstand vonselbst im Wegfall). Und darum eben empfahl ich für Gruppe II wenigstens die Wiederholung des Frostversuchs nach hinreichend fortgesetzter Agentienprobe **an demselben** Probestück, also den „kombinierten Versuch mit successiven Einzelproben“ zur möglichsten Anwendung. Ich verhehle mir dabei nicht, daß dadurch der ganze Versuch unter Umständen sehr erheblich ausgedehnt werden müßte. Denn die Probeplatten werden sehr oft, ungeachtet der doch gewiß starken Agentienwirkung des Versuchs A, III, 2, bei der dort vorausgesetzten Prüfungsdauer, nicht die „Reife“ zum Zerfrierversuch erlangt haben. Es wird also, soll der letztere thatsächlich zur Ausführung gelangen, die längere Fortsetzung der Agentienprobe notwendig sein.

„Unser Wissen ist Stückwerk“ und wird es bleiben. Nur zu augenfällig gilt dieses Wort auch auf dem Gebiet der Wetterbeständigkeitsprüfungen der Bausteine. Doch das soll und wird das Streben und Forschen nach dem Ganzen und Vollkommenen nicht unterdrücken und ersticken. Freilich: Klein ist das Scherflein des Einzelnen! —

Wir kehren zum Schluß noch einmal zu den Versuchen zurück, die uns in den Abschn. II bis VII beschäftigt hatten.

Natürlich wäre es unzulässig, auf Grund der hier erhaltenen Prüfungsergebnisse für einige, ja einzelne Repräsentanten wichtiger Sorten des deutschen, englischen, französischen und schweizer Schiefers nun ein allgemeines vergleichendes Urteil über den Schiefer dieser Länder fällen zu wollen. Es giebt gute und schlechte deutsche und ebenso solche englische und andere Schiefer und wohl ein jeder Schieferdistrikt zeigt in seinen einzelnen Gruben, ja jede Grube in ihren verschiedenen Lagen, in der Regel Verschiedenheiten. Gestattet aber wird es sein, unsere Ergebnisse mit den durch langjährige und umfassende Erfahrungen an Schieferdächern erlangten und darum mit Recht allgemeinere Gültigkeit beanspruchenden Urteilen über jene Schiefer zu vergleichen. Da zeigt sich denn nun folgendes.

Die Qualitätskala der geprüften Sorten war schließlich die nachstehende gewesen (vgl. Diagramm I₂, Taf. XX).

b, i, h, a, k, d, f, c, g, e; m, l, n.

Die Bewertung der Sorte b stimmt vollständig überein mit der allgemeinen Wertschätzung des Lehestener (— Gräfenhaler) Schiefers, der als ein vorzügliches, als ein I-Rangs-Material gilt und dessen Güte und weit über 100 Jahre hinausreichende Dauer und Haltbarkeit u. a. durch Beobachtungen am Dach der alten Feste Heldburg bezeugt ist. Unmittelbar an b reiht sich i, und auch unsere Probe entspricht also dem alten Ruf, den auch der englische Schiefer wegen seiner Wetterbeständigkeit (sowie anderer Eigenschaften) genießt. Bezüglich der französischen Sorten, welche im allgemeinen als den deutschen und englischen nachstehend gelten, wozu auch die Stellung von g und f in unserer Skala paßt, fällt es auf, daß sich der Qualität nach, der Angers-Schiefer h zwischen den englischen i und den Mayener Moselschiefer a eindringen konnte. Indessen haben wir gesehen, wodurch er, im Kampfe mit letzterem, als scharfem Konkurrenten, seinen Platz im vorliegenden Falle sich errungen hatte. Dem Moselschiefer a schließt sich, abgesehen von dem trennenden Walliser k, unmittelbar der Cauber d an, dem ich, dem vorzüglichen Ruf gemäß, den der Rheinische Schiefer allgemein genießt, im Stillen eine begünstigtere Stelle in der Skala, mindestens unmittelbar hinter i, vorausgesetzt haben würde. (Übrigens rangierte am Ende des

ersten Versuchsjahrs d noch unmittelbar hinter a). Jedenfalls ist es für k sehr ehrenvoll in solcher hochachtbaren Gesellschaft, mitten zwischen a und d, seinen Platz zu behaupten. Von dem Lahnschiefer e und den Westfälinger c gilt gerade das Gegenteile wie von d. Ich hätte annehmen mögen, daß sie, wegen ihres verhältnismäßig hohen Kalkgehalts, gegen Nimogne g und f, hinter denen sie allerdings z. T. rangieren, entschiedener abstechen würden als es der Fall ist; c und g stehen vorerst fast gleich; aber auch der Abstand zwischen e und f oder g ist nicht so gar groß (am Schluß des ersten Versuchsjahrs erschienen e und c den beiden Nimogne-Sorten sogar noch entschieden überlegen). Allerdings werden, wie früher gezeigt, gerade für e und c, noch weitergehendere Veränderungen in der Folge zu erwarten sein. In einem Punkte aber wird der hellgrünliche Lahnschiefer e nicht leicht von einem andern Schiefer übertroffen werden: in der eigenartigen und hübschen Färbung, weshalb er auch zur Herstellung farbig-gemusterter Dachflächen (sog. Karodächer u. a.) sich besonderer Beliebtheit erfreut. Daß die Färbung keine große Beständigkeit besitzt, ist dabei freilich nicht zu leugnen und hat die gleiche Ursache wie die Eigenart der Farbe selbst, nämlich: die chemische Zusammensetzung des Steins.

Wir glauben, daß es ein dankenswertes und verdienstvolles Unternehmen sein würde, die gängigsten in- und ausländischen Schieferarten nach der Methode A, III, 1 und 2 und womöglich auch nach Abschn. II, in Bezug auf ihre Wetterbeständigkeit zu prüfen und zu bonitieren, eine Aufgabe, welche natürlich die größeren Prüfungs-Anstalten in die Hand nehmen müßten. Und somit sind wir wieder auf den eingangs dieses Abschnitts gemachten Vorschlag für natürliche Bausteine überhaupt zurückgeführt worden. In Bezug auf Schiefer speziell würde sich bei solchen Arbeiten sicherlich bestätigen, was in fachmännischen Kreisen schon längst als ausgemacht gilt: daß wir in Deutschland mit seinem großen Reichtum und seiner seltenen Mannigfaltigkeit an Schiefen, in Bezug auf Qualität derselben, die Konkurrenz mit jedem Lande aufnehmen können. Am Material liegt es wahrlich nicht, daß die deutsche Schieferindustrie noch nicht zu der blühenden Entfaltung sich aufschwingen konnte, zu der sie bestimmt scheint, sondern es sind Ursachen verkehrlicher, z. T. handelspolitischer Art, vor allem aber alte Vorurteile zu Gunsten der fremdländischen Deckart und Schieferware gewesen, welche

jenes seither verhinderten. Die Rückkehr zur altbewährten deutschen Deckart*) ist im Wachsen begriffen und wird mit dem Vertrauen zum heimischen Schiefer noch immer mehr zunehmen. Dieses Vertrauen zu wecken und zu befestigen, scheinen mir die hier besprochenen und vorge schlagenen Wetterbeständigkeitsprüfungen wohl geeignet.

Möchte die Zeit des kräftigen Aufschwungs und der Blüte der deutschen Schieferindustrie nicht mehr fern sein!

*) Die einfache deutsche Deckung schließt bekanntlich die Verwendung ausländischen Materials in der Regel aus.



Erklärung der Tafeln XIII bis XVII.

Tafel XIII.

Abb. 1.	Schiefer a.	Vergr. 1 : 105.		Nikols.
				Zeigt sehr deutlich die Kohlenstoffpartien.
Abb. 2.	Schiefer b.	Vergr. 1 : 105.		"
Abb. 3.	"	b.	"	1 : 625. "
Abb. 4.	"	b.	"	1 : 625. + "
Abb. 5.	"	c.	"	1 : 105. "
Abb. 6.	"	c.	"	1 : 625. "

Zeigt sehr deutlich die Rutile.

Tafel XIV.

Abb. 1.	Schiefer c.	Vergr. 1 : 625.	+	Nikols.
				Stellt einen anderen Teil des Dünnstoffs dar wie Abb. 6, Taf. XIII. Zeigt schön den Calcit (von Rutil durchwachsen).
Abb. 2.	Schiefer d.	Vergr. 1 : 105.		Nikols.
Abb. 3.	"	e.	"	1 : 105. "
Abb. 4.	"	e.	"	1 : 625. "
Abb. 5.	"	e.	"	1 : 625. + "
Abb. 6.	"	f.	"	1 : 105. "

Zeigt eine der charakteristischen Linien, bestehend aus einem Magnetit zwischen Glimmer und etwas Quarz.

Tafel XV.

Abb. 1.	Schiefer f.	Vergr. 1 : 625.		Nikols.
				Bringt die Rutile zur Anschauung.
Abb. 2.	Schiefer g.	Vergr. 1 : 105.		"
				Zeigt die parallel gelagerten dunkeln Titanseisenleütschen.
Abb. 3.	Schiefer h.	Vergr. 1 : 105.		Nikols.
Abb. 4.	"	h.	"	1 : 625. "
				Mit großer Pyritgruppe.
Abb. 5.	Schiefer i.	Vergr. 1 : 105.		"
Abb. 6.	"	i.	"	1 : 625. "

Tafel XVI.

Abb. 1.	Schiefer	k.	Bergr. 1 : 105.	+	Nikols.
Abb. 2.	"	k.	" 1 : 625.		"
			Rechts oben einen Calcit (undeutlich) zeigend.		
Abb. 3.	Carrara-Marmor	l.	Bergr. 1 : 105.		"
Abb. 4.	"	l.	" 1 : 105.	+	"
(Bei Abb. 4 ist der Dünnschliff gegen seine Lage bei Abb. 3 ein wenig nach oben hin verschoben).					
Abb. 5.	"Schwarzer schwedischer Granit"	m.	Bergr. 1 : 105.		Nikols.
Abb. 6.	"	m.	" 1 : 105.	+	"

Tafel XVII.

Abb. 1.	Gotländer Sandstein n.	"	1 : 105.		Nikols.
Abb. 2.	Gladenbacher Schiefer, frisch.	"	1 : 105.		"
Abb. 3.	" " frisch.	"	1 : 625.		"
Abb. 4.	" " frisch.	"	1 : 625.	+	"
Stellt einen ganz andern Teil des Dünnschliffs dar wie Abb. 3.					
Abb. 5.	Gladenbacher Schiefer, verwittert.	Bergr.	1 : 625.		"
u. a. treten gut erhaltene, durch den Verwitterungsvorgang freigelegte Erzteilchen stark hervor.					
Abb. 6.	Englischer Schiefer, angewittert.	Bergr.	1 : 625.		Nikols.

IV



Germann Costenoble, Buchdruckerei, Jena.





Tabelle II.

Versuchsreihe II: $\text{CO}_2 + \text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{Einwirkung}$. Expositionszeit 2941 Stunden.

1	2	3	4			7	8	9	10	11	12	13	14	15	1										
			Der Platten													Gesamt- platten- oberfläche f in mm ²	Anfangs- trockengewicht in g	Trockenge- wicht nach der Einwirkung d. Gase in g	Gewichtsver- lust g in g	Gewichts- verlust in Anfangs- gewichts- Proz.	$\frac{g}{f} \cdot 1000^2$ Gewichts- verlust pro m ² Plat- tenfläche	Verwitterungs- koeffizienten. Gewichts- prozentisch ψ	Flächen- mäßig ψ'	δ in μ .	Bezeichnung der Platten.
			Länge a	Breite b	Dicke c																				
Anfängliche Beschaffenheit der Platten			Beschaffenheit der Platten nach der 2941 Stunden = 4 Monate 2½ Tage langen Einwirkung von CO_2 , O und H_2O .			in mm																			
a	Schwarzgrau, fettglänzend, unregelmäßig schwach gewellt.	Um ein wenig dunkler geworden. Sonstige Veränderungen nicht wahr- nehmbar.	68,5	30,5	3	4773	19,6145	19,6077	0,0068	0,035	1,43	2,1	1,3	0,5	a										
b	Bienlich dunkelschwarzgrau, schwach fettglänzend, unregelmäßig gewellt.	Farbe unverändert, auch keine sonsti- gen Veränderungen wahrnehmbar.	71	31	5,5	5524	34,4147	34,4088	0,0059	0,017	1,07	1	1	0,4	b										
c	Schwarzgrau, schwach fettglänzend, unregelmäßig gewellt.	Viel heller geworden, ebenso rauher und matter im Aussehen. Die feinen Glimmerblättchen hier und da deutlicher sichtbar geworden.	69	30,5	4	5005	24,7038	24,6823	0,0216	0,087	4,32	5,1	4,0	1,6	c										
d	Schwach bläulichgrau (heller wie a und c), fettglänzend, von undeutlicher, etwas regelmäßigerer Paral- lelfäktelung wie a, b, c.	Um ein wenig dunkler geworden. Sonstige Veränderungen nicht wahr- nehmbar.	72,5	29,8	2,5	4075	15,5529	15,5425	0,0104	0,066	2,55	3,9	2,4	0,9	d										
e	Schwarzgrau, fräftig fettglänzend, Oberfläche rauh.	Das frühere helle Olivengrün ist einem gelblichen, ins braune spielenden Farbston gewichen: Ansehen der Platten jetzt matter.	72	30	5	5340	31,4410	31,4150	0,0261	0,083	4,89	4,9	4,6	1,8	e										
f	Olivgrün, ausgesprochen seidenglänzend, feingefäktelt.	Ein wenig dunkler geworden (ins hell- bräunliche spielend). Die sonst weiß- grünlichen dünnen Ränder der Strukturs- blättchen jetzt trüber gelbgrünlich. Ver- einzelte rostbraune Fleckchen zu Tage getreten.	68	32	2,5	4852	18,8565	18,8453	0,0112	0,059	2,31	3,5	2,2	0,8	f										
g	Reinlichtgrau, seiden- bis schwach metall- glänzend, parallele und aartefäktelt.	Um ein ganz geringes dunkler ge- worden, auch etwas glätter.	62	30	3	4272	20,6333	20,6260	0,0073	0,035	1,71	2,1	1,6	0,6	g										
h	Schwarzgrau, fettglänzend (etwa wie a und d), von deutlicher, aber un- vollkommenerer Parallel- fäktelung wie f, g und i.	Farbe im ganzen unverändert. Flächen jedoch rauher geworden. Einige kleine speisgelbe, metallglänzende Erpartien sind deutlicher sichtbar geworden.	68	30,5	3,5	4838	23,3199	23,3125	0,0074	0,032	1,53	1,9	1,4	0,5	h										
i	Sichtbläulichgrau, matt, sehr schön fein parallel gefäktelt.	Dunkler geworden und hier und da wie mit ganz schwachen gelblichen Anhauch bedeckt, auch mehrere rostgelbe Flecken sind erschienen.	69	31,5	2,5	4850	18,5730	18,5680	0,0050	0,027	1,03	1,6	1,0	0,4	i										
k	Dunkelschwarzgrau, fettglänzend, glimmerig, unregelmäßig schwach gewellt.	Farbe ein wenig dunkler wie vorher. Flächen rauher geworden. Die feinen Glimmerblättchen noch deutlicher sichtbar wie vorher, desgl. an eine Stelle etwas FeS_2 ; an eine andere Stelle ein rost- brauner Fleck erschienen.	68	29	5	4914	28,8539	28,8404	0,0135	0,047	2,75	2,8	2,6	1,0	k										

Tabelle III.

Versuchsreihe IIA: O₂- und H₂O-Einwirkung. Expositionszeit: 201 Stunden.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Bezeichnung der Platten	Anfangs-Trockengewicht in g	Trockengewicht nach der Einwirkung des O in g	Gewichtsverlust der Platten in g	Gewichtsverluste in Anfangsgewichts-%	Tauchflüssigkeit nebst Waschwasser enthielten SO ₃ in g	Tauchflüssigkeit nebst Waschwasser enth. SO ₃ in Anfangsgewichts-%	Entsprech. Menge d. zeretzten FeS ₂ in Plattenanfangsgewichts-%	Hierzu verbrauchte O-Menge in cm ³	Bezeichnung der Platten
I	34,6275	34,6245	0,0030	0,009	0,0041	0,012	0,009	1,72	I
II	23,4638	23,4610	0,0028	0,012	0,0033	0,014	0,011	1,39	II
III	23,7384	23,7347	0,0037	0,016	0,0000	0,000	0,000	0,00	III

Tabelle IV.

Versuchsreihe IIB: Einwirkung von H₂O₂-Flüssigkeit. Expositionszeit: 4992 Stunden.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Bezeichnung der Platten	Anfangs-Trockengewicht in g	Trockengewicht nach d. Einwirkg. d. H ₂ O ₂ -Flüssigkeit in g	Gewichtsverlust der Platten in g	Gewichtsverluste in Anfangsgewichts-%	Tauchflüssigkeit nebst Waschwasser enthielten SO ₃ in g	Tauchflüssigkeit nebst Waschwasser enth. SO ₃ in Anfangsgewichts-%	Entsprech. Menge d. zeretzten FeS ₂ in Plattenanfangsgewichts-%	Hierzu verbrauchte H ₂ O ₂ -Flüssigkeitsmenge in cm ³	Bezeichnung der Platten
I	36,3805	36,2880	0,0925	0,25	0,007	0,02	0,015	0,30	I
II	27,1835	27,1095	0,0740	0,27	0,020	0,08	0,060	1,19	II
III	25,0598	25,0273	0,0325	0,13	0,000	0,00	0,000	0,00	III



Tabelle V. Versuchsreihe II B: H_2O_2 -Einwirkung. Expositionszeit: 4992 Stunden.

		Beschaffenheit der exponierten Platten																	
Bezeichnung der Platten	Anfängliche Beschaffenheit der Platten	April 1897									Mai 1897					June 1897	July 1897	November 1897	Bezeichnung der Platten
		12.	13.	14.	15.	17.	20.	21.	23.	27.	3.	8.	14.	18.	20.	14.	3.	6.	
I	Die Platte zeigt etwa in der Mitte einen ca. 2 cm langen Knoten, aber kein äußerlich sichtbares Erz.	—	Starke Gasentwicklung.	Fortgesetzt starke Gasentwicklung. Schwächer, feiner, weißer Beschlag am Boden des Cylinders und dessen Wandung.	Gasentwicklung unverändert. Der weiße Bodenbeschlag ist jetzt stärker. Auch auf der Platte selbst zeigt sich jetzt ein schwacher weißer Beschlag.	Gasentwicklung nur noch schwach. Die Flüssigkeit im Cylinders opalisiert. Platte wie am 15.	Gasentwicklung hat aufgehört. Der Schlammabzug am Cylinderboden ist stärker, und jetzt hellrothfarben. Auf der oberen Schmalseite der Platte ein, theils rothfarbener, theils weißer, ziemlich starker Beschlag, beim Bewegen des Cylinders sich ablösend, aber nicht löslich.	Alles unverändert wie vorher.	In der Versuchsfüssigkeit schweben jetzt weiße Flocken. Obere Plattenschmalseite zeigt weißen Anhauch. Die Langseiten erscheinen schwach rothfarben behaucht.	Der Bodenschlamm erscheint jetzt hellrothfarben und stärker wie früher; sonst alles unverändert.	Unverändert.	Der weißliche Beschlag auf der oberen Plattenschmalseite ist stärker geworden, der Bodenschlamm jetzt reichlicher und hellrothfarben.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Bodenschlamm gänzlich dunkelbraun; sonst alles unverändert.	Alles unverändert. Die Platten I, II und III werden aus dem Cylinders entfernt, sorgfältig gewaschen, getrocknet und gewogen.	I
II	Die Platte zeigt auf der einen Breitseite eine bronzefarbene, metallischglänzende, etwa 4 cm lange, sich verjüngende Erzpartie; auf der andern Breitseite eine ebensolche, jedoch sehr kleine.	Schon nach $\frac{1}{2}$ stündiger Einwirkung der H_2O_2 -Flüssigkeit trat Bräunung der Erzpartie ein.	Starke Gasentwicklung.	Gasentwicklung dauert fort. Die Erzpartien haben eine stark rothbraunweiß-melierte Färbung angenommen.	Gasentwicklung unverändert. Platte wie am 14.	Gasentwicklung hat aufgehört. Platte wie vorher.	Alles wie am 17.	Am Boden des Cylinders wird ein schwacher, schwärzlicher Absatz bemerkbar.	Wie vorher, jedoch sind auf den Erzpartien der Breitseiten, namentlich auf der großen Erzpartie der Platte, rothfarbene und weiße Flecken sichtbar geworden.	Unverändert.	Die kleine rothfarbene Erzpartie der einen Breitseite der Platte hat sich mit starken rothfarbenen Protuberanzen bedeckt. Die Flüssigkeit opalisiert schwach.	Die am 3. erschienenen Protuberanzen sind stärker geworden; auch treten solche jetzt, obgleich noch ganz schwach, auf der oberen Schmalseite auf. Die große Erzpartie der einen Breitseite ist jetzt weniger weißlich, vielmehr wieder mehr rothfarben anzusehen. Cylinderrand ganz dünn weiß beschlagen.	Die Protuberanzen sind jetzt durchweg fast 2 mm dick.	Unverändert.	Die Protuberanzen lösen sich als lockere flattrige Massen stark ab.	Die Platte hat auf der oberen Schmalseite und an der kleinen Erzstelle der einen Breitseite wieder dunkelschwärzlich-rothbraune Protuberanzen angelegt. Die große Erzpartie der einen Breitseite erscheint fast ganz weiß (nur noch schwach gelblich meliert.)	Auch die Effloreszenzen der kleinen Erzstelle der einen Breitseite erscheinen jetzt zur Hälfte weiß, (zur anderen Hälfte noch rothbraun).		II
III	Die Platte besitzt das normale Aussehen der Rimogner Phosphat-Sorte f.	—	Sehr schwache Gasentwicklung.	Die schwache Gasentwicklung dauert fort. Platte unverändert.	Alles wie am 14.	Alles wie am 15.	Die ganz schwache Gasentwicklung dauert noch fort. Platte unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Neuerst feiner, kaum bemerkbarer, weißlicher Beschlag am Boden des Cylinders, sonst alles wie vorher.	Alles unverändert.	Gasentwicklung hört fast auf; sonst alles unverändert.	Unverändert.	Gasentwicklung hat fast aufgehört. Platten unverändert.	Gasentwicklung hat vollständig aufgehört. Unverändert.	Unverändert.	Die Platte erscheint gegen den Anfang unverändert, und höchstens etwas bleicher geworden.		III

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna

Tabelle VI. Versuchsreihe III: SO₂-Einwirkung (Fresenius'scher Versuch). Expositionszeit: 3024 Stunden.

Bezeichnung der Platten	Beschaffenheit der exponierten Platten														Endgiltige Beschaffenheit der Platten nach dem Waschen und Trocknen
	Juli 1896		August 1896					September 1896		Oktober 1896	November 1896				
	24. Nachmittags-Exposition.	31	3	11	15	19	25	29	7	21	3	7	27		
a	Schwach feucht beschlagen.	Ziemlich, doch ungleichmäßig naß, unten tropfend. Tropfenfarbe gelblich. Auf der Platte ist ein ganz schwacher schwefelgelber Belag sichtbar.	Ziemlich naß. Der dünne gelbliche Beschlag noch deutlicher. Die ersten Spuren von Spaltung zeigen sich auf der oberen schmalen Subfläche.	Schwach naß, nicht tropfend. Beschlag wie vorher. Die Spaltungserscheinung auf der oberen Schmalseite ist noch nicht weiter vorgeschritten.	Naß, nicht tropfend. Der gelbliche Beschlag ist etwas schwächer geworden.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert, doch erscheint die Spaltlinie (seit dem 27. August) deutlicher.	Wie vorher, doch tropfend. Tropfen farblos.	Nicht tropfend, doch feucht. Aussehen ganz wie am 29. August.	Stark tropfend (Tropfen farblos), sonst unverändert. Beim vorsichtigen Anschlagen an die Glimberwand giebt die Platte einen hellen Klang.	Unverändert. Die eingeristete Bezeichnung ist noch sehr deutlich sichtbar.	Unverändert wie am 3. und 7. November. Gelbroter Beschlag. Schwache Spaltung.	Gelb- bis orangefarbener Beschlag. Schwache Spaltung.	
b	Desgleichen.	Feucht bis naß, unten tropfend. Tropfenfarbe schwach gelblich. Sonst keine Veränderung.	Sehr naß, sonst unverändert.	Wie vorher; stark tropfend (Tropfenfarbe gelblich).	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Unverändert; nur die Tropfkante, deren Färbung etwas heller geworden, erscheint etwas rauher wie vor der Exposition. Tropfenfarbe hellgelb.	Unverändert. Schwach tropfend. Tropfen farblos. Klang beim Anschlagen sehr hell.	Unverändert, doch erscheint die Bezeichnung etwas undeutlicher wie anfangs. Nicht tropfend, feucht.	Unverändert. Tropfenfarbe hellgelblich. Fast vollständig frisches Aussehen, nur die Tropfkante erscheint matter und rauher. Klang am hellsten von allen Platten.	Unverändert, wie zu Anfang nach Beschaffenheit.	
c	Ziemlich naß.	Feucht. Die Platte ist stark aufgespalten und beginnt blätterig zu werden. Veränderung fast so stark wie bei e.	Fast ganz trocken erscheinend. Platte härker aufgespalten wie am 31. Juli.	Ganz trocken. Platte abermals härker aufgespalten wie vorher.	Ziemlich trocken. Spaltung unten viel weiter gebiechen.	Unverändert.	Unverändert.	Trocken und auch sonst unverändert.	Schwach tropfend. Tropfen farblos. Die Spaltung geht jetzt von oben bis unten fast gleich stark hindurch.	Unverändert.	Die ganz gespaltene Platte hat jetzt ein sehr mürbes Aussehen und klingt beim Anschlagen dumpf.	Platte unten ganz umgekrümmt, rauhe und schwammig und augenscheinlich mürbe. Aussehen kohlig, stark abblätternd und schuppig. Bezeichnung nur noch schwach zu sehen.	Hochgradige Verwitterung. Platte durch und durch von mürbiger, kohlig-Beschaffenheit; die rauhe, mürbe Oberfläche über und über mit glitzernden Stellen. Tiefe Spaltung. Beim Anschlagen fast klanglos, schwach klappernd.	Durch und durch gespaltene, mürbe und kohlig und mit Gipsstrümpfen überzogen.	
d	Desgleichen.	Feucht bis naß, sonst keine Veränderung sichtbar.	Etwas trockener geworden, sonst unverändert.	Naß, tropfende Tropfen gelb. An einer Stelle ist eine schwache rotbraune Efflorescenz sichtbar.	Wie vorher, nur erscheinen die roten Ausblühungen (jetzt an 2 Stellen) dunkler.	Stark tropfend. Tropfenfarbe gelblich. Sonst unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Platte ersichtlich rauher und unten an der Tropfkante etwas mürbe geworden. Stark tropfend. Tropfen gelb.	Nicht tropfend, feucht. An der Tropfkante erscheint die Platte heller und etwas mürbe, hier auch gelblicher Beschlag. Sonst unverändert.	Ganz unverändert wie am 21. September. Klang sehr hell.	Tropfend. Tropfenfarbe hellgelb. Sonst wie vorher, doch an der Tropfkante roter Anflug und Bezeichnung verwaschen.	Nicht tropfend, feucht. Aussehen ziemlich frisch bis auf die rauhe und matte Tropfkante mit roten Ausblühungen. Klang hell.	Gebleicht und mit orangefarbenem und zeisiggrünem Anflug bedekt.	
e	Teils mehr, teils minder feucht beschlagen, stellenweise ganz trocken.	Oberfläche ziemlich trocken. Platte erscheint unten ca. 2 cm hoch gebleicht, oben mit starkem schwefelgelbem Beschlag. Aussehen jetzt ganz matt. Platte stark aufgespalten und blätterig geworden.	Oberfläche ganz trocken und rau-matt. Färbung noch wie am 31. Juli. Spaltung stärker geworden. Eine Spur Plattenmasse hat sich abgelöst und erscheint am Glimberboden.	Ganz trocken. Der gelbe Beschlag ist jetzt fast über die ganze Oberfläche ausgebreitet. Spaltung abermals härker geworden.	Unverändert bis auf die Spaltung, die zugenommen hat.	Unverändert.	Unverändert.	Oberfläche jetzt etwas feucht. Der Spalt hat sich nach oben hin erweitert.	Schwach tropfend. Spalt aufs neue, jetzt unten, weiter geworden.	Ziemlich trocken, sonst unverändert, doch erscheint die Tropfkante jetzt etwas gebleichter.	Schwach tropfend. Tropfen farblos. Die gänzlich durchgespaltene Platte erscheint kräftig gelb gefärbt und giebt einen dumpfen Klang.	Unverändert. Bezeichnung fast verschwunden.	Nicht tropfend, unten feucht. Ganz sonst wie am 7. November. Hochgradige Verwitterung und vollständig durchgehende, mehrfache Spaltung. Farbe schmutzig-gelb. Platte durch und durch blättrig-mürbe. Fast klanglos, schwach klappernd.	Mächtig gespaltene und bröckelnd; hellrotbraun.	
f	Schwach feucht beschlagen. An einer Stelle zeigt sich eine kleine gelbliche Efflorescenz.	Ziemlich naß, schwach tropfend. Die kleine ursprüngliche gelbe Efflorescenz ist leuchtend weiß geworden; außerdem sind noch einige andere, kleine weiße Flecke in der Mitte erschienen.	Wie vorher, nur zeigt sich eine schwache Bleichung der Plattenoberfläche.	Naß, tropfend. Tropfenfarbe schwach gelblich. Plattenfarbe sehr gebleicht, am unteren Rande 2 mm hoch schwach gelblich geworden.	Tropft nicht; nicht sehr naß; im übrigen unverändert.	Die früheren weißen Stellen und Knötchen treten jetzt stärker denn je hervor. An diesen Stellen zeigen sich jetzt dicke Anschwellungen. Sonst unverändert.	Unverändert.	Wie vorher, doch tropft die Platte wieder. Tropfen farblos.	Unverändert.	Nicht tropfend, feucht. Sonst unverändert.	Stark tropfend. Tropfen farblos, sonst unverändert. Klang hell.	Fast trocken. Außen Schmalseiten jetzt gelber Beschlag sichtbar, sonst unverändert. Bezeichnung verwaschen.	Nicht tropfend. Wie am 7. November. Aussehen ganz frisch, nur unten etwas heller geworden.	Stark gebleicht, sonst aber im ganzen sehr frisch aussehend (mit Ausnahme von b, woßl am frischesten). Farbe helllichgrün mit Stich ins gelbliche.	
g	Schwach feucht beschlagen.	Feucht, tropfend. Sonst keine Veränderung sichtbar.	Naß, im übrigen wie zuletzt.	Wie vorher; schwach tropfend. Tropfenfarbe schwach gelblich.	Unverändert.	Fast trocken; nicht mehr tropfend.	Unverändert.	Unverändert.	Wieder stark tropfend. Tropfenfarbe gelblich. Plattenflächen nur wenig angegriffen und rau erschienen. Von einer der Breitseiten hat sich jetzt ein Blättchen von 1/3 mm halb losgelöst.	Loslösung des Blättchens etwas stärker wie am 7. September; sonst unverändert.	Nicht tropfend, feucht. Wie am 21. September. Klang hell.	Tropfend. Tropfenfarbe gelb. Sonst unverändert. Bezeichnung deutlich zu sehen.	Nicht tropfend, etwas naß. Der abgelöste Splitter noch unverändert wie am 7. November (und am 21. September). Aussehen frisch, nur Tropfkante etwas geraut und matter. Klang hell.	Gebleicht.	
h	Ziemlich naß.	Sehr naß, stark tropfend. Sonst keine Veränderung sichtbar.	Wie vorher.	Wie vorher. Tropfenfarbe schwach gelblich.	Naß, nicht tropfend. Sonst ganz wie vorher.	Schwach tropfend. Tropfen farblos; sonst unverändert.	Nichttropfend. Auf der Oberfläche sind einige ganz kleine grüne Stellen sichtbar geworden.	Unverändert.	Stark tropfend. Tropfen farblos. Platte erscheint etwas rauher und angegriffen.	Unverändert, doch Tropfenfarbe gelblich.	Wie am 21. September, doch Tropfen wieder farblos. Klang ziemlich hell.	Tropfenfarbe gelb; sonst wie vorher. Bezeichnung deutlich.	Stark tropfend; wie am 7. November. Aussehen ziemlich frisch, nur die Tropfkante erscheint geraut und matter.	Ein wenig heller und bläulicher geworden.	
i	Desgleichen.	Naß, etwas tropfend. Sonst keine Veränderung sichtbar.	Ziemlich naß. Schwache gelbliche Streifen sind auf der Plattenoberfläche sichtbar geworden.	Wie vorher, die schwachen gelblichen Streifen jedoch eher etwas deutlicher geworden, auch stark tropfend. Tropfenfarbe gelblich.	Unverändert, doch nicht mehr tropfend.	Stark tropfend. Tropfenfarbe gelblich; sonst unverändert.	Unverändert.	Unverändert.	Schwach tropfend. Tropfenfarbe gelblich. Die Flächen erscheinen rauher und mürber da, wo der gelbe Beschlag war und z. T. sich noch befindet, namentlich aber an der Tropfkante.	An der Tropfkante erscheint die Platte jetzt 1 cm hoch mürbe und ganz hell.	Nicht tropfend, feucht; sonst genau wie am 21. September. Klang hell.	Fast trocken; sonst unverändert. Bezeichnung deutlich.	Stark tropfend. Oberfläche ziemlich gleichmäßig etwas mattiert erscheinend. Klang hell.	Ziemlich stark gebleicht.	
k	Desgleichen.	Sehr naß, stark tropfend. Schwache, punktförmige, gelbliche Efflorescenzen auf der Platte sichtbar.	Sehr naß und im ganzen wie vorher; nur sind jetzt die Efflorescenzen über die ganze Platte verbreitet und stark rotbraun.	Wie vorher; nur sind die rotbraunen Efflorescenzen stärker geworden. Stark tropfend. Tropfen farblos.	Nicht tropfend, sonst wie vorher.	Unverändert.	Unverändert.	Am unteren Plattenende zeigt sich die erste Spur einer Spaltung (am 27. August schon beobachtet). Der rote Beschlag ist härker und dunkler wie je geworden.	Nicht tropfend, aber feucht. Spalt jetzt von unten auf stärker. Wo roter Beschlag war und z. T. noch sich befindet, jetzt mürbe Stellen.	Spaltung etwas stärker geworden. Die Platte krümmt sich bereits von unten her ganz schwach auf.	Nicht tropfend, feucht. Platten-spaltung fortgeschritten. Klang etwas dumpf.	Spalt jetzt unten weit klaffend, so daß man auf 1/2 cm Höhe deutlich hindurch sehen kann. Bezeichnung deutlich.	Wie am 7. November. Platte scheint durch und durch mürbe zu sein und zeigt den vollen Verwitterungscharakter, rote Ausblühungen und sehr fortgeschrittene Spaltung. Klang klappernd.	Stark gespaltene, mürbe. Farbe z. T. dunkelrotbraun.	

Tabelle VII.

Versuchsreihe III: SO₂-Einwirkung (Fresenius'scher Versuch). Expositionszeit: 3024 Stunden.

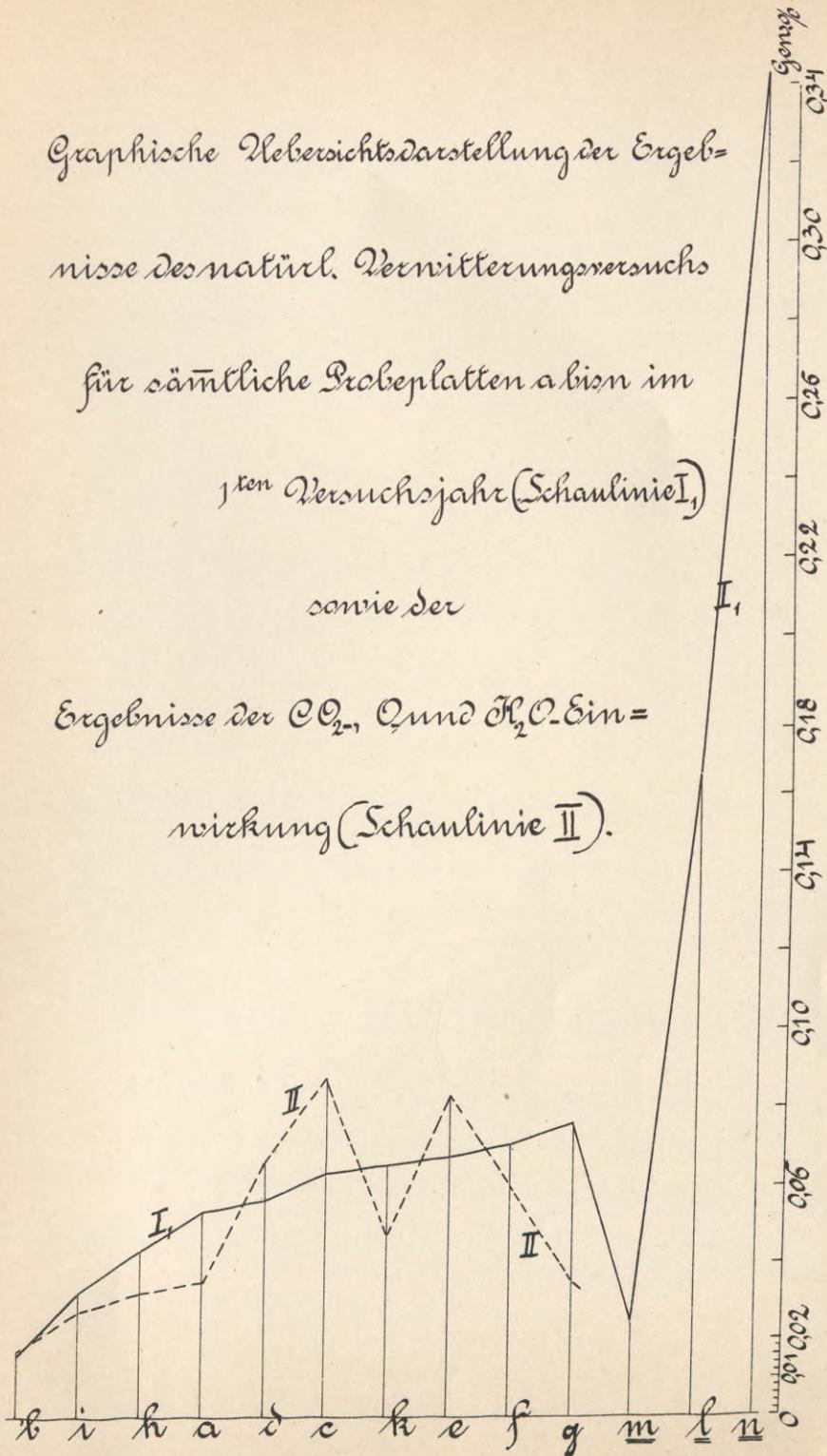
Bezeichnung der Platten	Anfangs-trockengewicht (bei 105° C.)	Trockengewicht nach Einwirkung der SO ₂ (bei 105° C.)	Abgänge in fester Form in g	Gesamtgewichts-		Gesamtgewichts-		Verwitterungs-coefficient, gewichtsprozent. φ
				Verlust nach Einwirkung in g	Zunahme der SO ₂ in g	Verlust nach Einwirkung in %	Zunahme der SO ₂ in %	
a	20,5410	19,8317	unwägbar	0,7093	—	3,453	—	5,2
b	31,0902	30,8822	0,0000	0,2080	—	0,669	—	1
c	25,9382	26,9730	0,1465	—	1,1813	—	4,554	—
d	15,9492	15,4933	unwägbar	0,4559	—	2,858	—	4,3
e	30,4885	30,9445	0,1544	—	0,6104	—	2,002	—
f	16,2042	16,0298	unwägbar	0,1744	—	1,076	—	1,6
g	21,9123	21,7453	unwägbar	0,1670	—	0,762	—	1,1
h	25,1815	24,8860	unwägbar	0,2955	—	1,173	—	1,8
i	18,0383	17,6872	unwägbar	0,3511	—	1,946	—	2,9
k	27,6800	26,1895	0,1631	1,3274	—	4,796	—	7,2
	1	2	3	4		5		6

Tabelle VIII. Versuchsreihe IV: Porosität (Hygroskopie und Imbibition), spec. Gew., gewöhnliche Wassereinwirkung. Expositionszeit: 1392 Stunden (insgesamt).

Bezeichnung der Platten	Anfangs-trocken-gewicht (bei 105° C.) in g	Anfangs-gewicht am 5. VIII. 96 in g	Wasserdampf-fattgewicht. Exposition vom 5. VIII. 96 bis 15. XI. 96		Gewichts-zunahme durch Wasser-dampf in g	Scheinbares Wasser-fatt-gewicht ohne Evakuat. Exposition vom 15. IX. 96 bis 25. IX. 96		Scheinbares Wasser-fatt-gewicht mit Evakuat. Exposition vom 25. IX. 96 bis 5. X. 96		Wirkliches Wasser-fattgewicht mit Evakuat in g	Wirkliche Gewichts-zunahme durch Wasser in g	Wirkliche Ge-samtgewichts-zunahme g' durch Wasser-dampf und Wasser in g	Trockengew. (150° C.) nach Wasser-dampf-fättigung ohne und mit Evakuat in g	Infolge der Wasserdampf-fättigung u. Wasser-lagerung in Lösung gegangen		Gesamtauftrieb der Platten bei t° C. oder g _t + g' _t in g. Annähernd auch Platten-volumina (einschl. Poren-raum) in cm ³	Spec. Gew. Δ für 0° C.	Porosi-tätsmaß p = P _h + P _i in Platten-volumen %	Hygro-skopie-maß P _h in Platten-volumen %	Imbibi-tionsmaß P _i in Platten-volumen %	μ = $\frac{P_h}{P_i}$	$\frac{1}{\mu} = \frac{P_i}{P_h}$	$\frac{1}{\mu + 1} = \frac{P_i}{P_h + P_i}$	Bezeichnung der Platten
			g	am		g	am	g	am					g	am									
a	22,7125	22,8330	22,9185	2. IX.	0,2060	22,9575	21. IX.	22,9637	5. X.	22,9774	0,0589	0,2649	22,6988	0,0137	0,060	8,398	2,79	3,15	2,45	0,70	3,5 : 1	0,29	0,22	a
b	29,6934	29,8135	29,8893	2. IX.	0,1959	29,9135	21. IX.	29,9173	29. IX.	29,9284	0,0391	0,2350	29,6823	0,0111	0,036	10,993	2,76	2,14	1,78	0,36	4,94 : 1	0,20	0,17	b
c	24,7810	24,8705	24,8839	15. IX.	0,1029	24,8860	18. IX.	24,8823	30. IX.	24,9133	0,0294	0,1323	24,7500	0,0310	0,125	9,012	2,79	1,47	1,14	0,33	3,5 : 1	0,29	0,22	c
d	17,2064	17,2575	17,2884	15. IX.	0,0817	17,2925	18. IX.	17,2942	5. X.	17,3059	0,0175	0,0992	17,1950	0,0117	0,068	6,221	2,81	1,59	1,31	0,28	4,67 : 1	0,21	0,18	d
e	29,2933	29,3925	29,4904	2. IX.	0,1971	29,5057	21. IX.	29,5117	2. X.	29,5562	0,0658	0,2629	29,2488	0,0445	0,153	10,716	2,80	2,45	1,83	0,61	3 : 1	0,33	0,25	e
f	18,5870	18,5970	18,6166	24. VIII.	0,0296	18,6184	21. IX.	18,6220	2. X.	18,6395	0,0229	0,0525	18,5695	0,0175	0,094	6,595	2,84	0,80	0,45	0,35	1,29 : 1	0,78	0,44	f
g	21,4406	21,4500	21,4790	31. VIII.	0,0384	21,4795	17. IX.	21,4745	3. X.	21,4931	0,0141	0,0525	21,4220	0,0186	0,087	7,574	2,85	0,69	0,50	0,19	2,72 : 1	0,37	0,28	g
h	23,3265	23,3585	23,3897	31. VIII.	0,0632	23,3900	17. IX.	23,3870	2. X.	23,3979	0,0082	0,0714	23,3156	0,0109	0,046	8,093	2,90	0,88	0,80	0,08	7,71 : 1	0,13	0,09	h
i	21,4795	21,4930	21,5100	31. VIII.	0,0305	21,5091	17. IX.	21,5045	5. X.	21,5200	0,0100	0,0405	21,4640	0,0155	0,072	7,608	2,84	0,53	0,40	0,13	3,05 : 1	0,33	0,25	i
k	30,6857	30,7785	30,8549	31. VIII.	0,1692	30,8705	18. IX.	30,8748	2. X.	30,9014	0,0465	0,2157	30,6591	0,0266	0,087	11,091	2,81	1,95	1,53	0,42	3,64 : 1	0,27	0,22	k
l	2	3	4		5	6		7		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	l

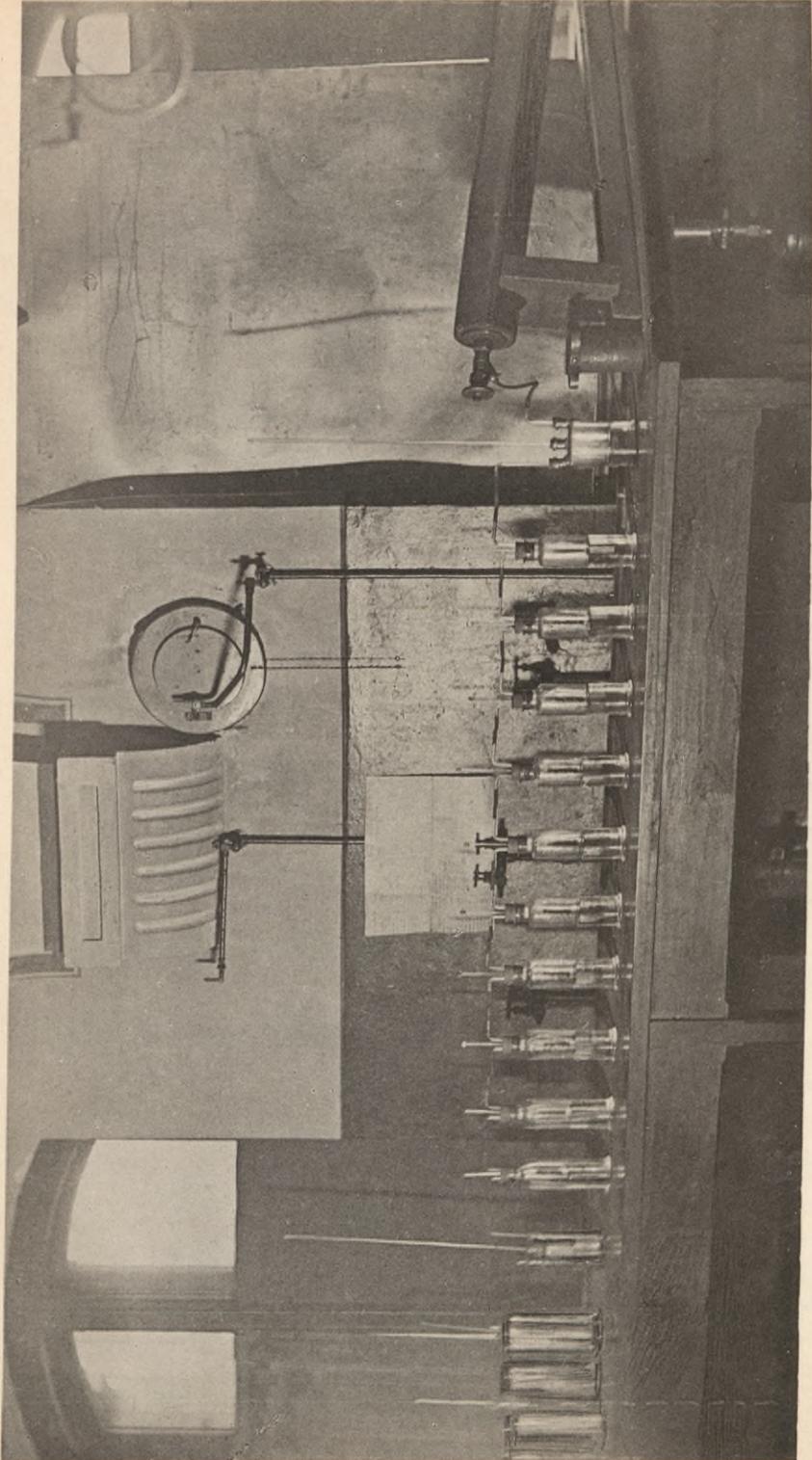


Graphische Uebersichtsdarstellung der Ergebnisse des natürl. Verwitterungsversuchs für sämtliche Probeplatten ab bis n im 1^{ten} Versuchsjahr (Schaulinie I,) sowie der Ergebnisse der CO_2 , O und H_2O -Einwirkung (Schaulinie II).



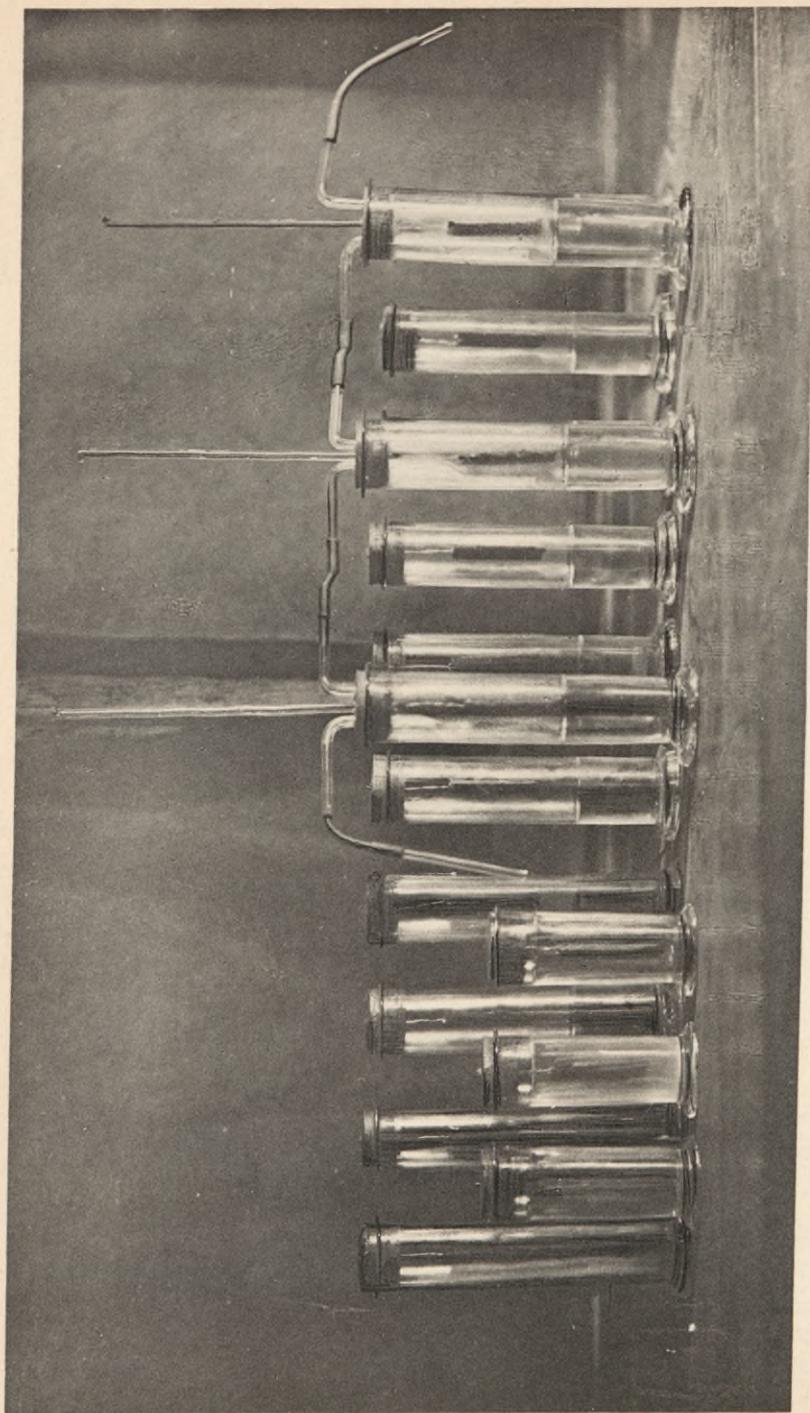


Seipp, Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine.



Laboratoriumsansicht.





Laboratoriumsansicht.



BIBLIOTEKA
KRAKÓW
*
politechniczna

Stoßplatten I, II, III nach dem Versuch: H_2O_2 Einwirkung.
Etwa $\frac{4}{3}$ nat. Größe.



I



II



III

Abb. 1

2

3

Statten a, b, c nach dem Fresenius'schen Versuch.
Etwa $\frac{3}{2}$ nat. Größe.



a



b



c



e

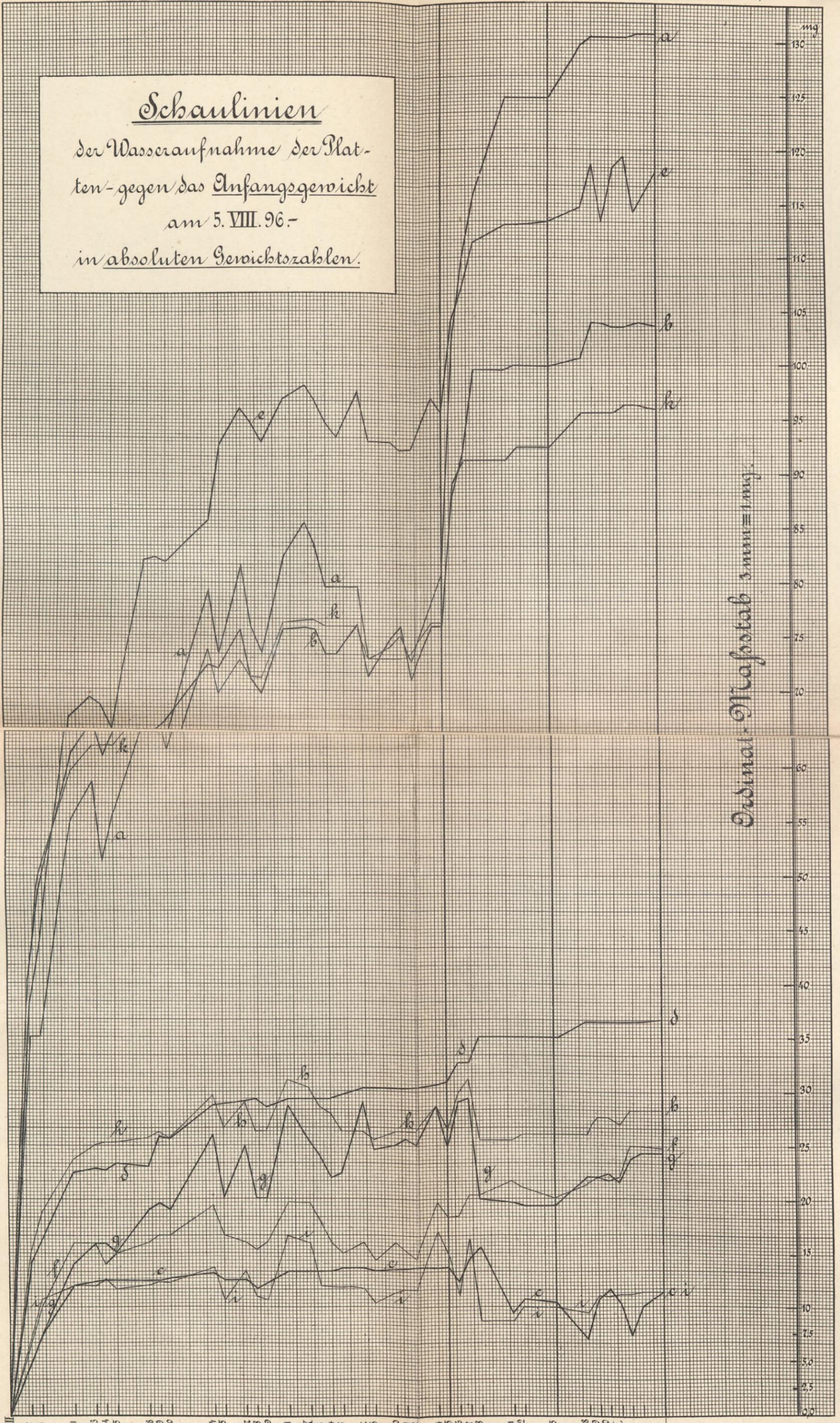
Abb. 4

5

6

7

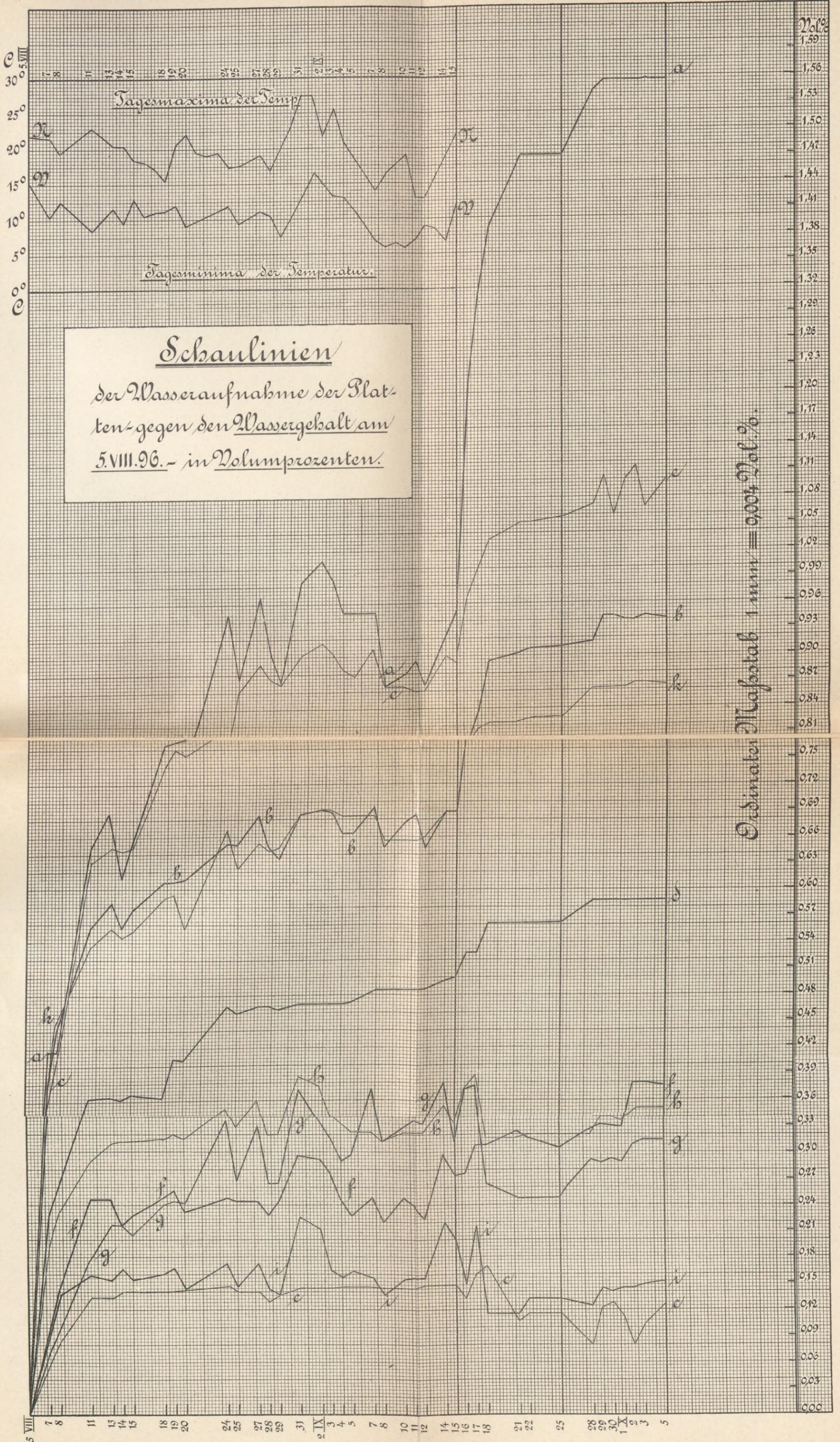
Schaulinien
 der Wasseraufnahme der Platten-
 gegen das Anfangsgewicht
 am 5. VIII. 96.
 in absoluten Gewichtszahlen.



Ordinal. Maßstab 3mm=1mg.

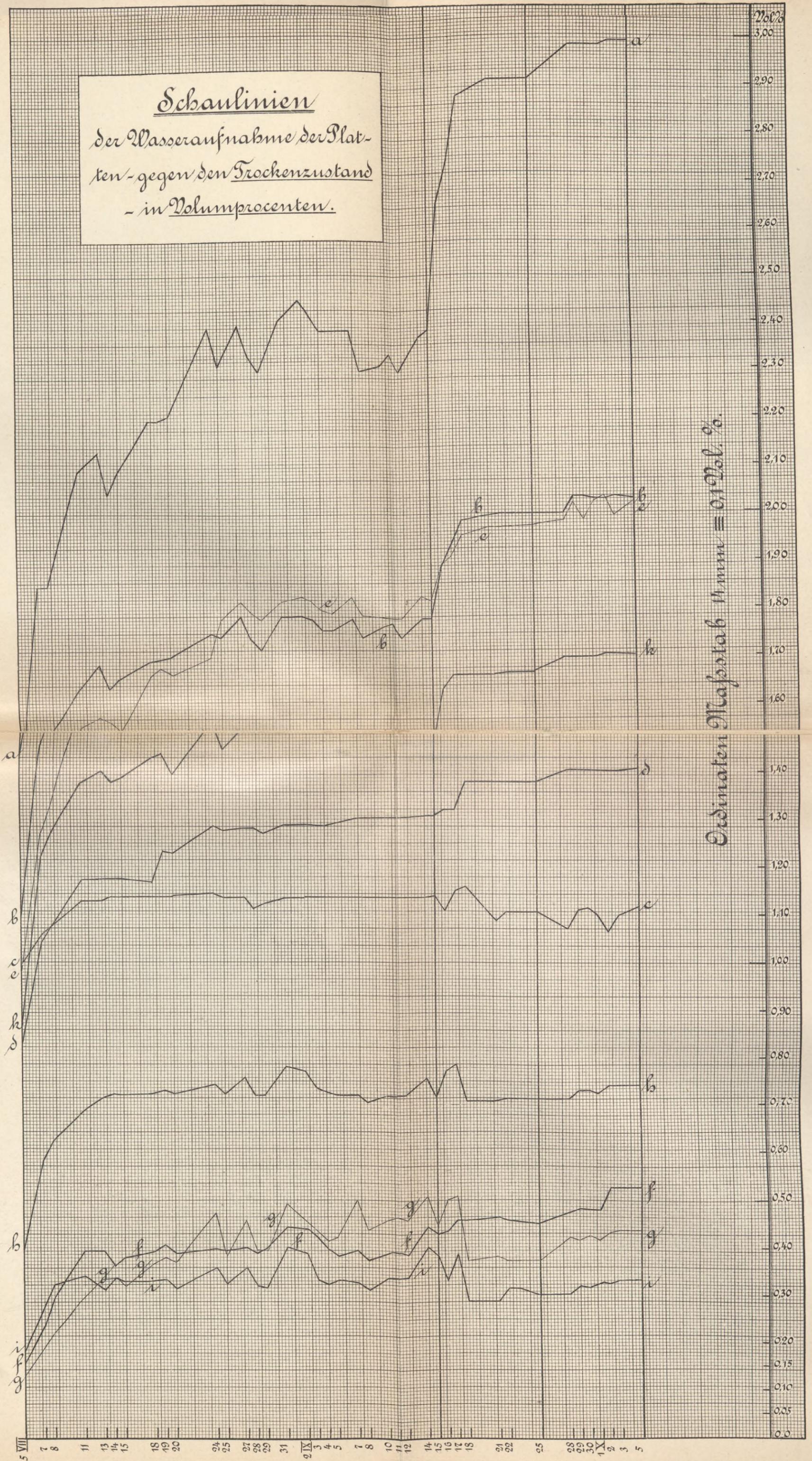
← Hygroskopisch aufgenommenes Wasser. —→ Ohne Evakuation. Mit Evakuation
 imbibitorisch aufgenommenes Wasser.







Schaulinien
 der Wasseraufnahme der Platten-
 gegen den Trockenzustand
 - in Volumprocenten.





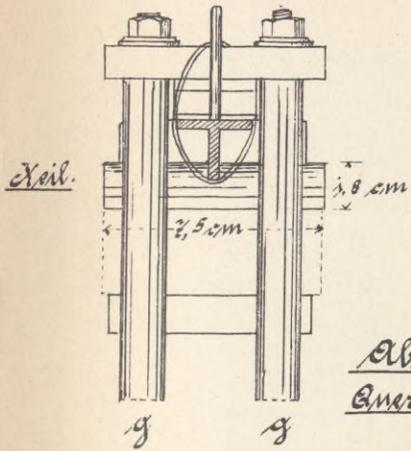


Abb. 3.
Querschnitt.

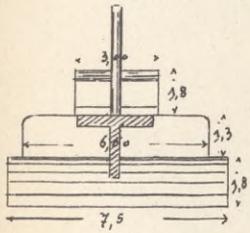


Abb. 4.
Querschnitt
nach Fortnahme
von b, g, u. d.

Hebelwerk

für

die Spaltversuche.

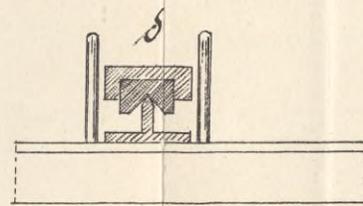
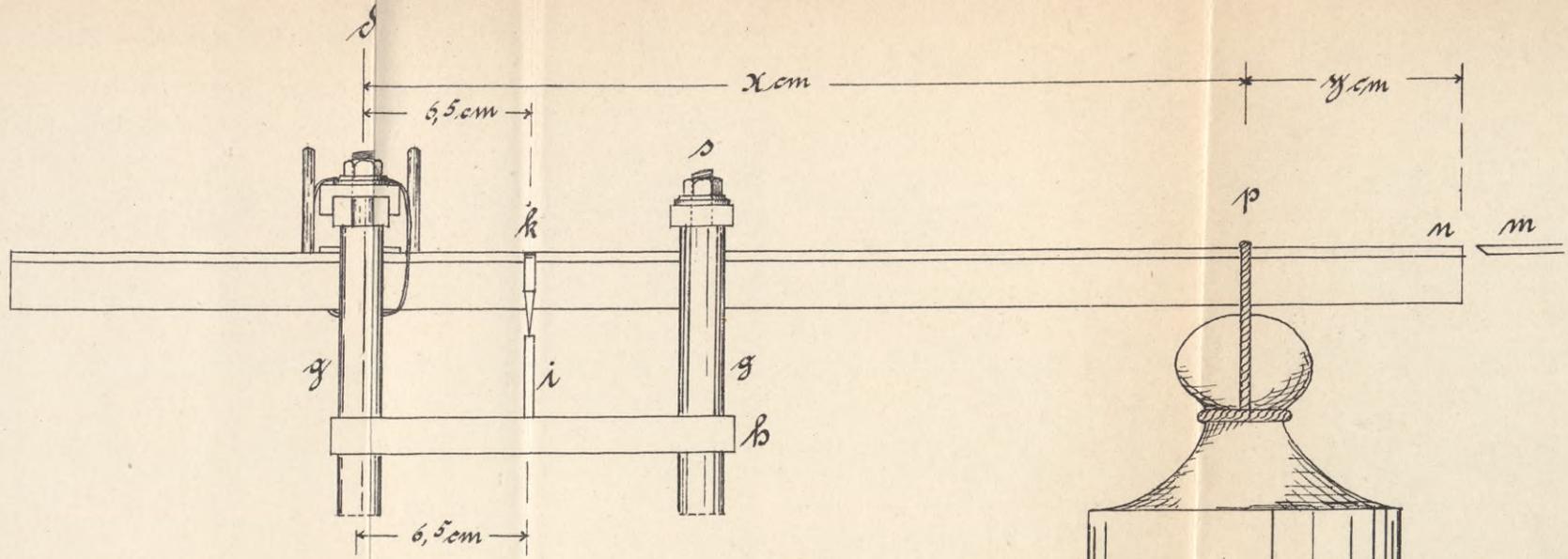


Abb. 5. Querschnitt
bei d geführt.

Abb. 6. Ansicht.

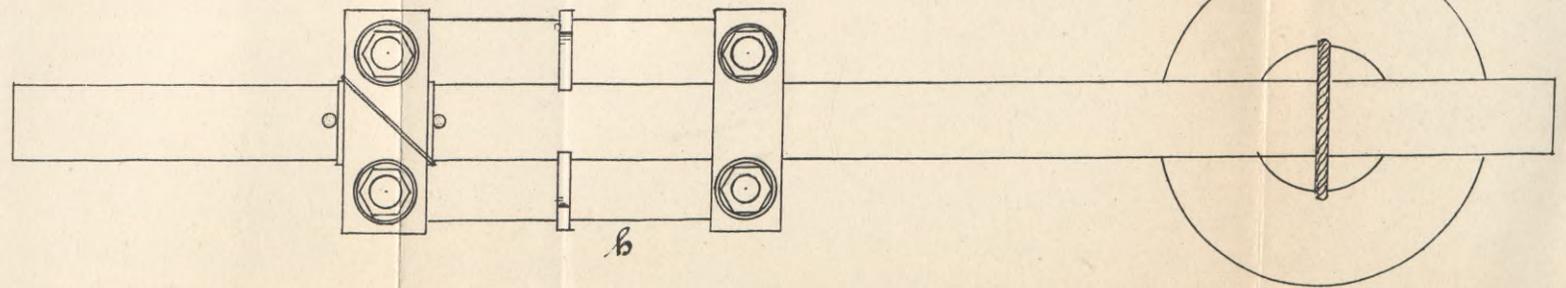
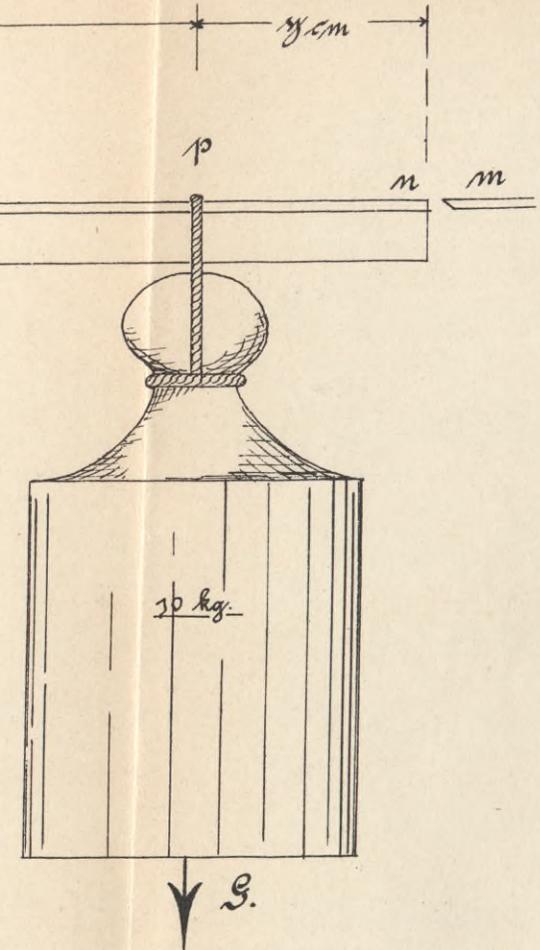
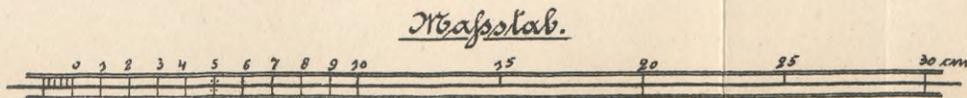


Abb. 7. Grundriss.





Seipp, Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine.

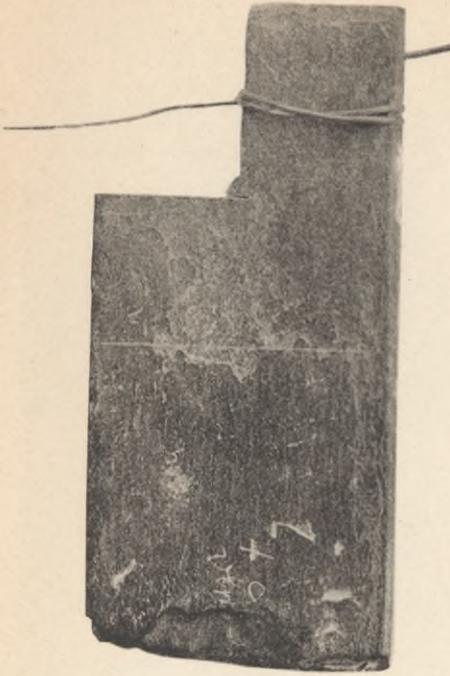
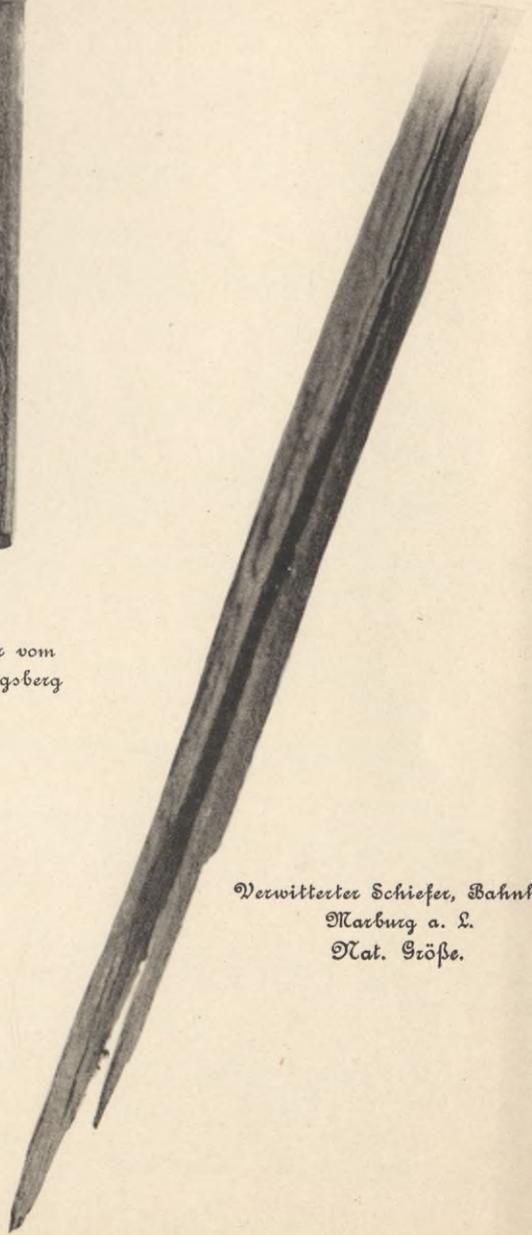


Abb. 1.

Angewitterter englischer Schiefer vom
Dach einer Badeanstalt in Königberg
i. Pr.
Etwa $\frac{4}{3}$ nat. Größe.



Verwitterter Schiefer, Bahnhof
Karburg a. L.
Nat. Größe.

Abb. 2.





Verwitterter Schiefer, Bahnhof Marburg a/S.
Natürliche Größe.



Seipp, Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine.

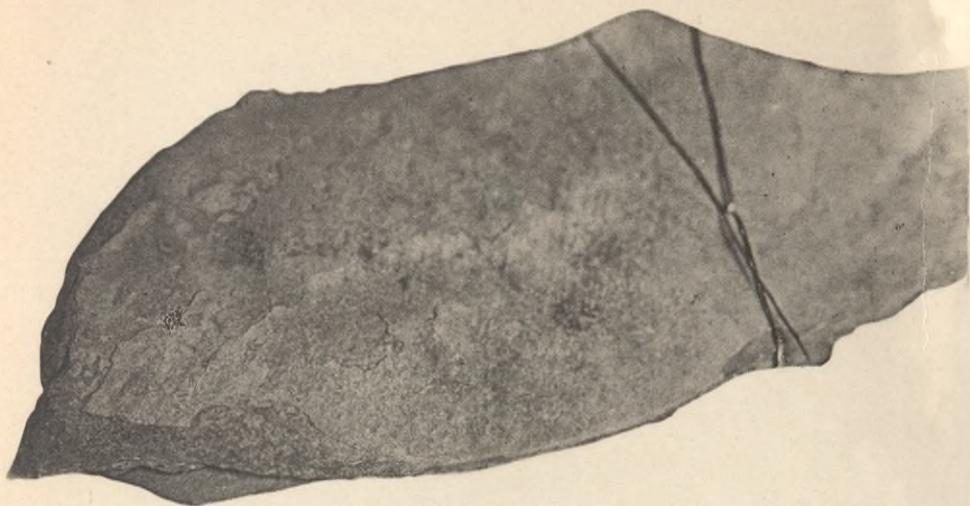


Abb. 1

Verwitterter Schiefer, Bahnhof Marburg a. L.
Etwa $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

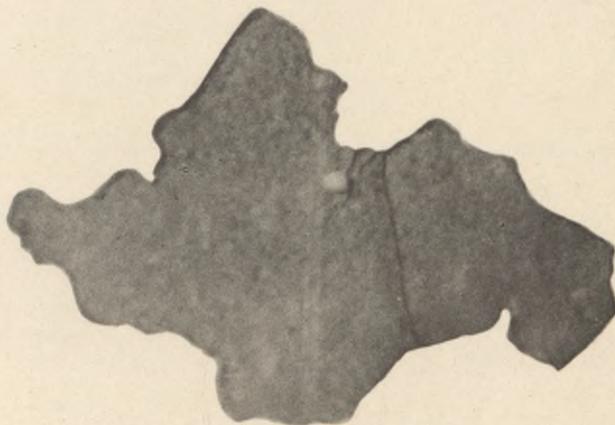


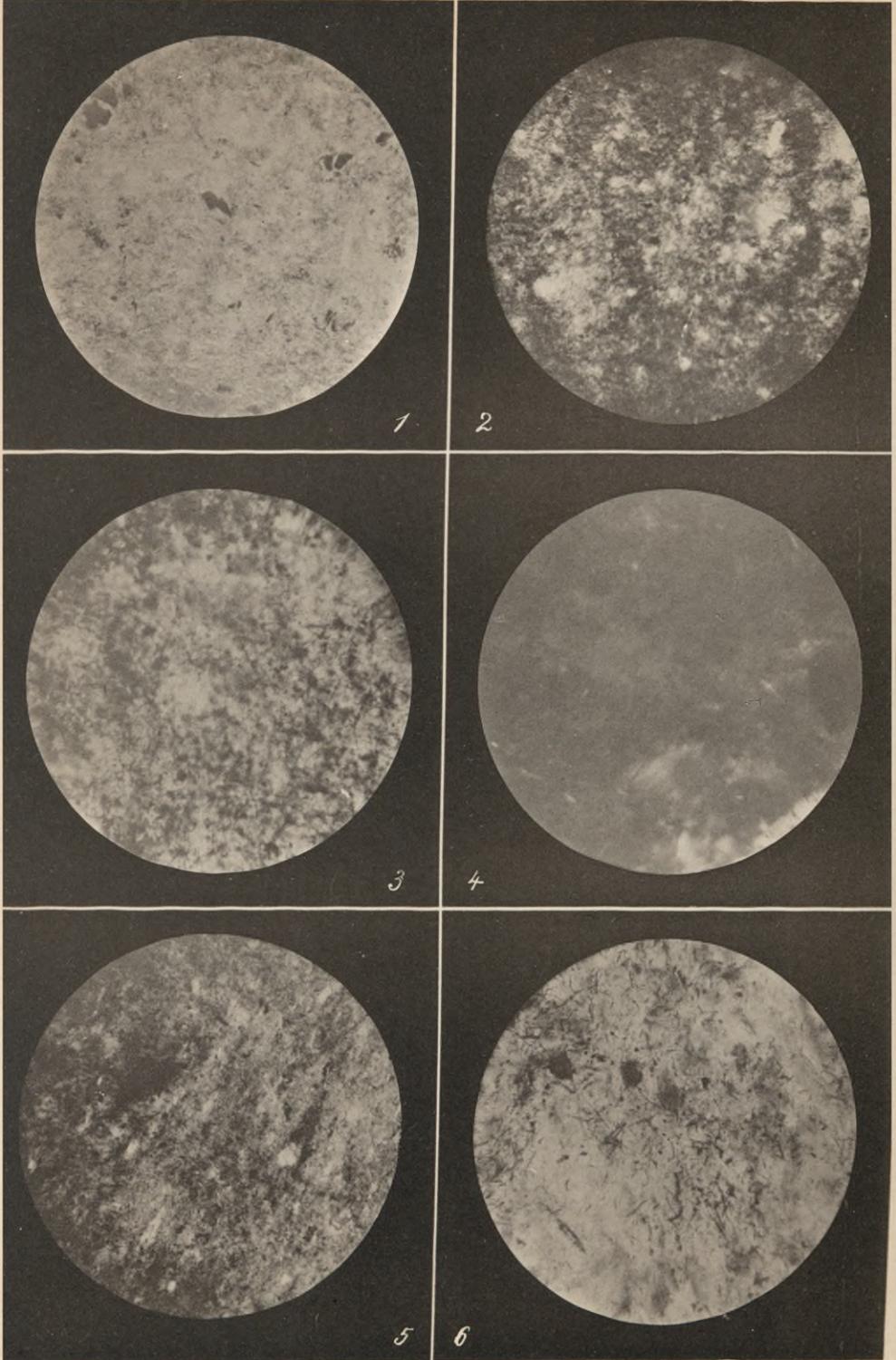
Abb. 2

Spaltschicht des Schiefers, Abb. 2, Taf. IX oder Abb. 1, Taf. XI.
Etwa $\frac{4}{3}$ nat. Größe.



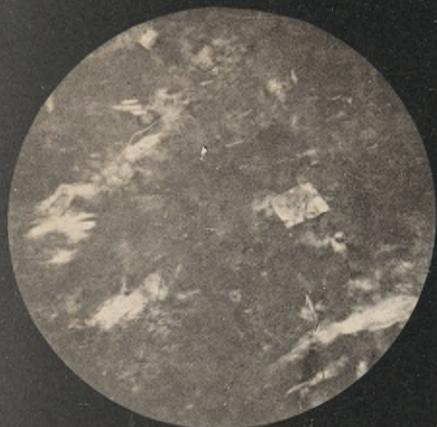


Verwitterter Schiefer, Frauenklinik Marburg a/L.
Etwa $\frac{3}{5}$ natürl. Größe.

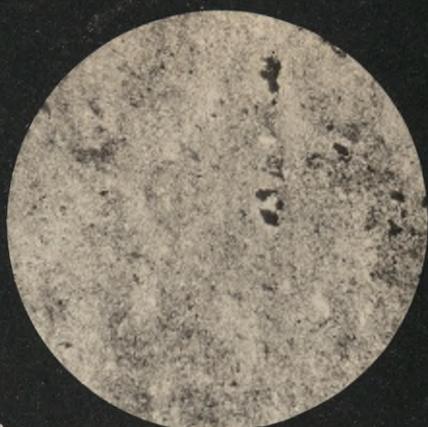


Mikrophotogramme.

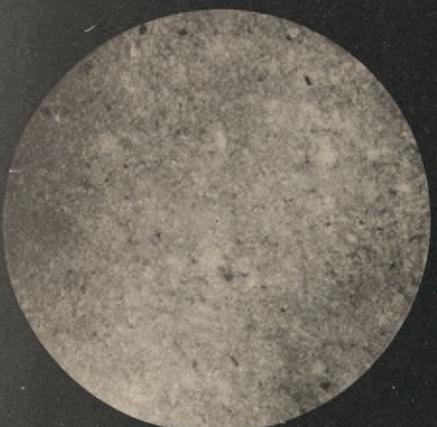




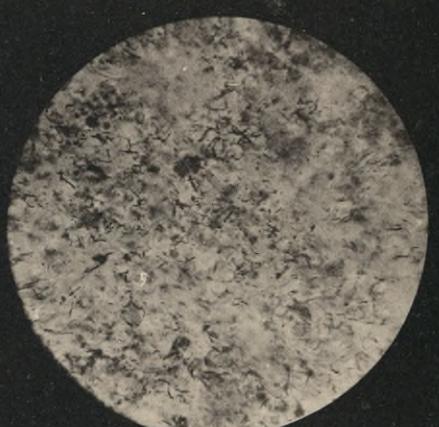
1



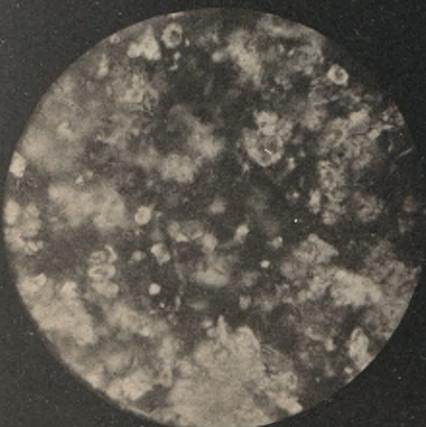
2



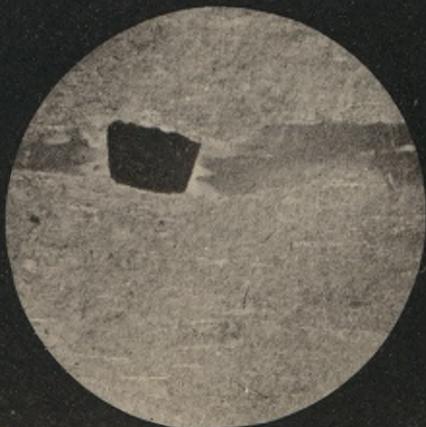
3



4



5



6

Mikrophotogramme.





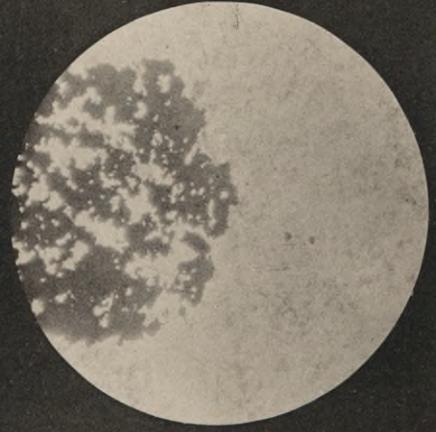
1



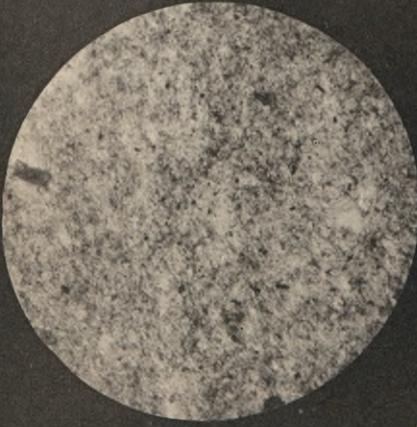
2



3



4



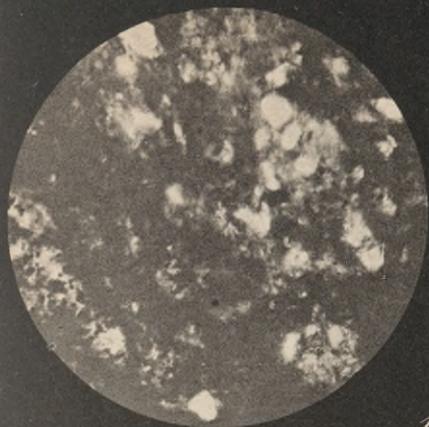
5



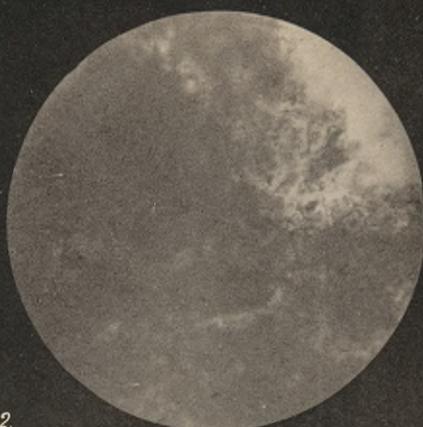
6

Mikrophotogramme.





1



2



3



4

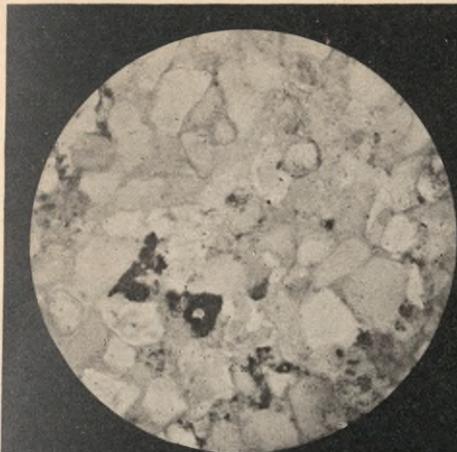


5

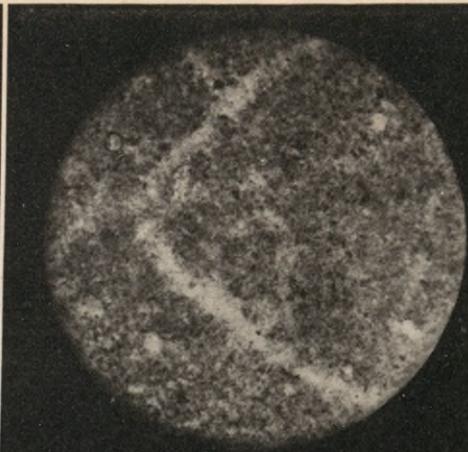


6

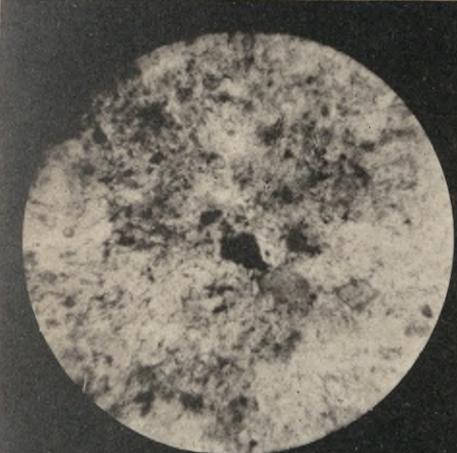
Mikrophotogramme.



1



2



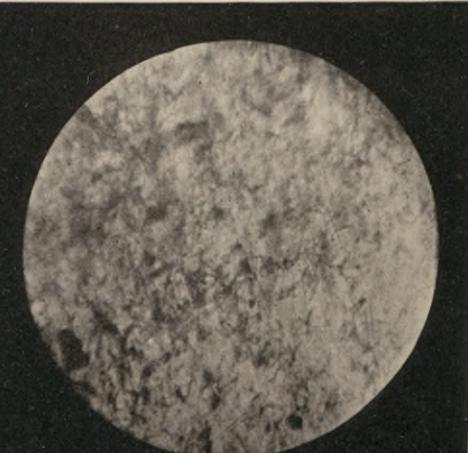
3



4

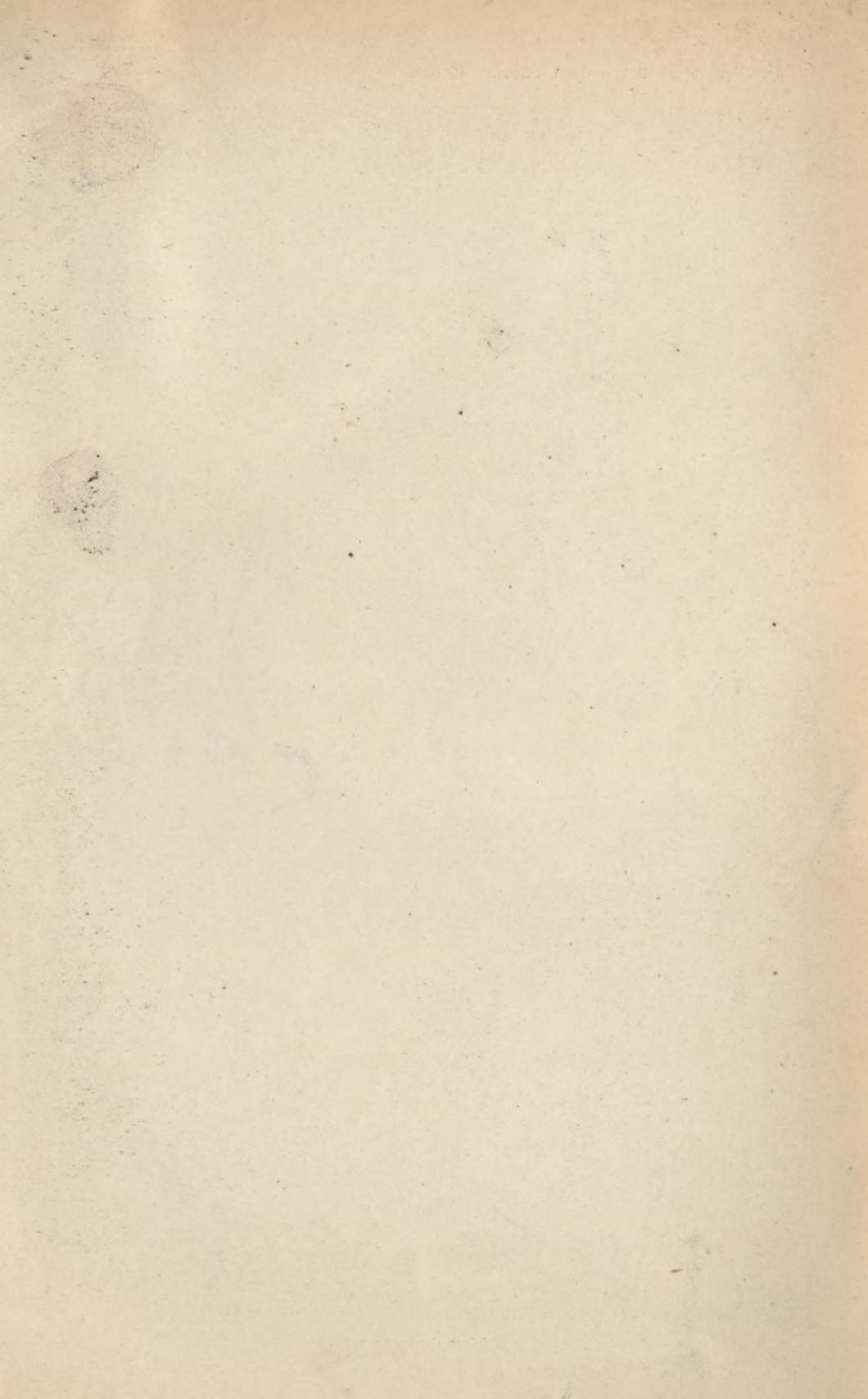


5



6

Mikrophotogramme.



Seipp, Wetterbeständigkeit der natürlichen Bausteine.

a

b

c

d



Abb. 1

2

3

4

e

f

g

h

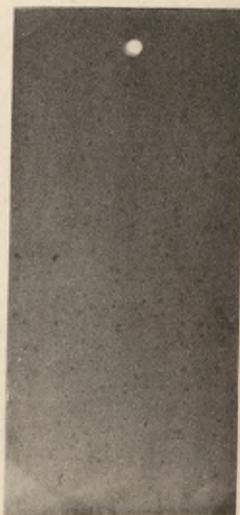
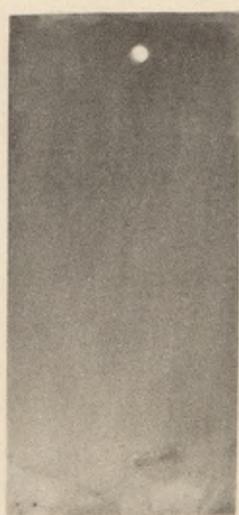


Abb. 5

6

7

8

Röntgenbilder.



BIBLIOTEKA

KRAKÓW

*
Politechniczna

i

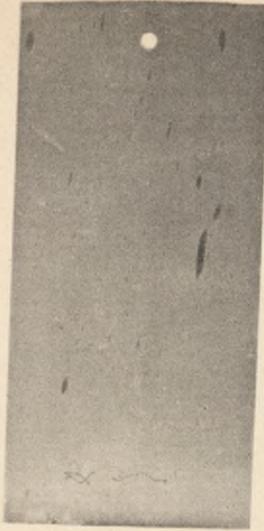


Abb. 1.

h



2.

I



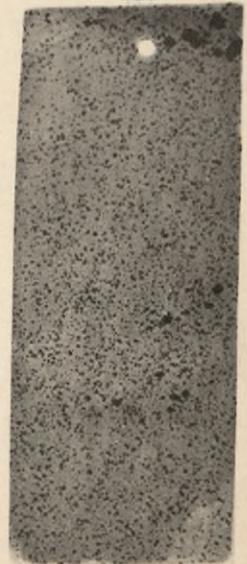
Abb. 3.

II



4.

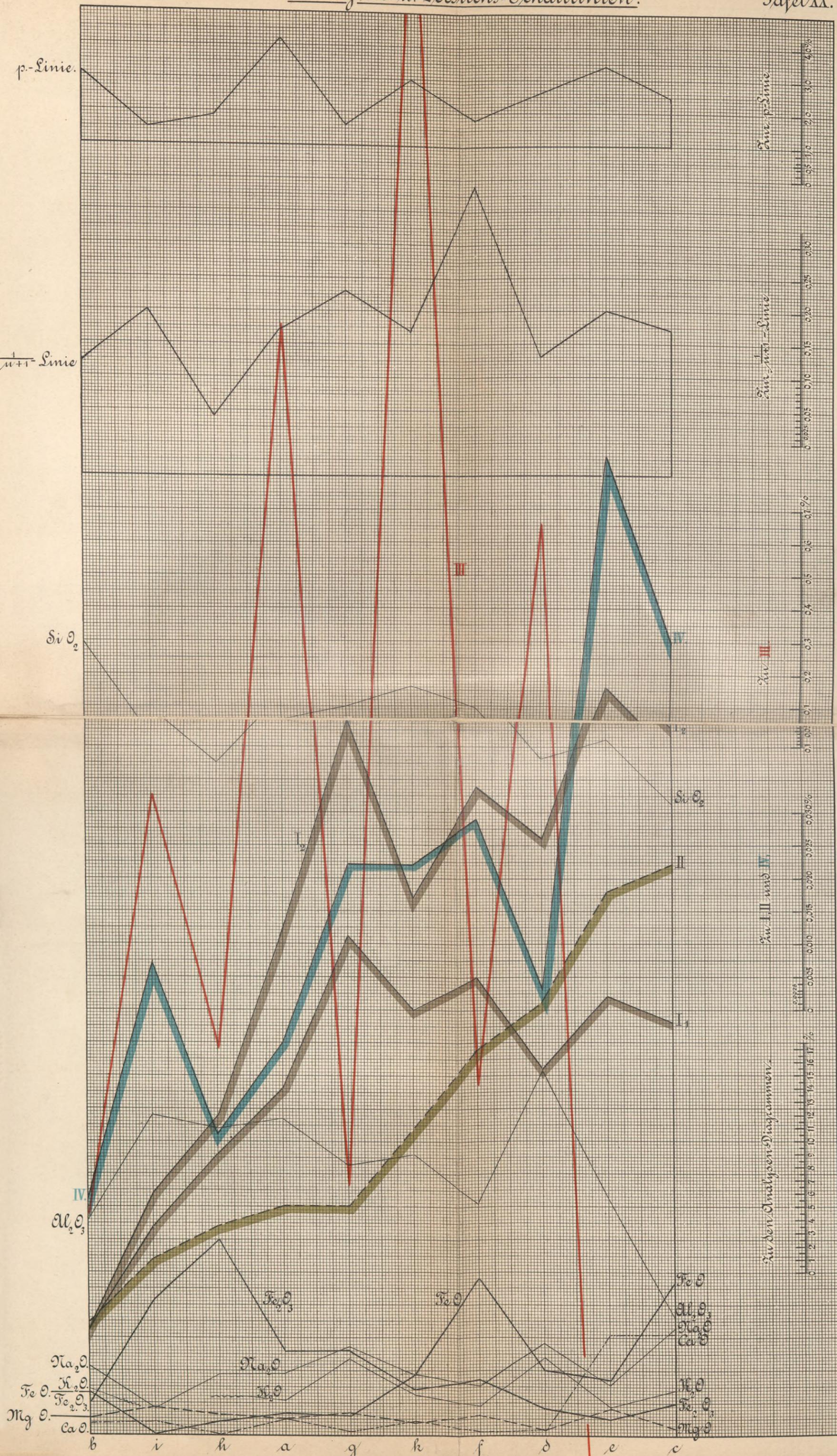
III



5.

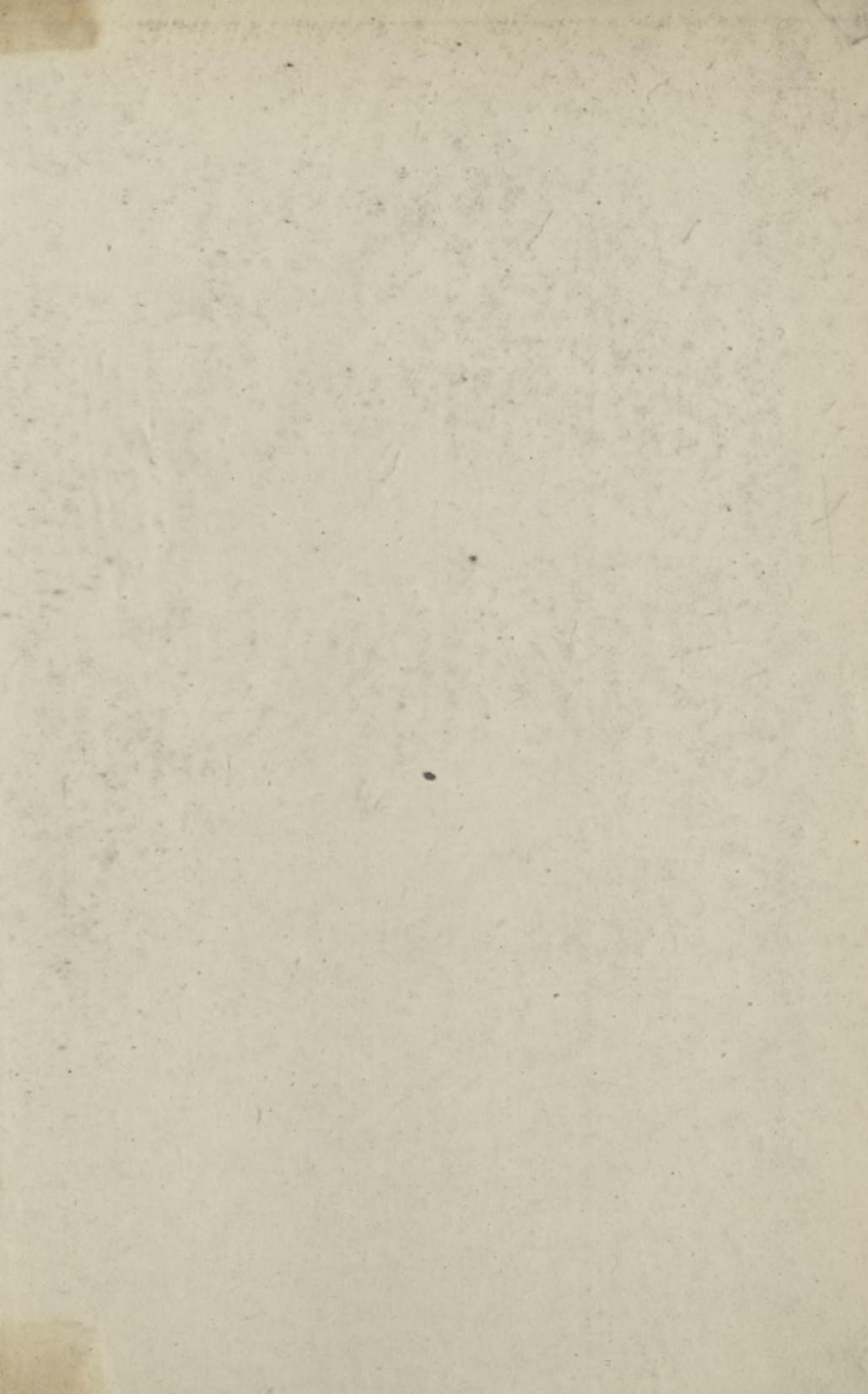
Röntgenbilder.





I₁ Natürl. Verwitter. Vers. Jahr 1. II. C O₂ u. H₂O-Einwirkung. III. SO₂-Einwirkung.
 II₂ Natürl. Verwitter. Vers. Jahr 2. IV. Einfache H₂O-Einwirkung.





S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

L. inw.

5443

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299095