

Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit.

Von

J. Hirschwald.

[Fortsetzung von S. 264.]

II.

Im Anschluß an die Erörterung der allgemeinen Prinzipien für die Prüfung der Gesteine auf ihre Wetterbeständigkeit sollen im folgenden die für die wichtigeren Gesteinsarten zur Anwendung gelangenden Methoden der Untersuchung und deren Ergebnisse in Kürze dargelegt werden.

1. Sandsteine.

a) Mikrostruktur.¹⁾

Die tonigen, kalkigen, mergeligen und kieseligen Bestandteile der Sandsteine, welche die Zwischenräume zwischen den Quarzkörnchen mehr oder weniger vollständig erfüllen, sind bisher kurzweg als „Bindemittel“ bezeichnet worden. Wären es in der Tat lediglich diese Bestandteile, welche den Zusammenhang der Quarzkörnchen bewirken, dann müßte die Festigkeit des Gesteins in erster Linie von der Beschaffenheit jener Substanzen abhängen. Das ist nun aber im allgemeinen nicht der Fall. Es gibt widerstandsfähige Sandsteine, welche ein sehr weiches toniges oder mergeliges Bindemittel enthalten, ja, in den oft äußerst festen Sandsteinen der Kreideformation besteht dasselbe aus lockerem pulverförmigen Kaolin, der überdies die Zwischenräume zwischen den Quarzkörnchen nur unvollkommen erfüllt.

Man wird hieraus schließen dürfen, daß der Zusammenhang der körnigen Bestandteile der Sandsteine unter Umständen noch auf andere Weise als durch die in Rede stehenden Substanzen bewirkt wird, und diese Annahme wird durch die mikroskopische Untersuchung durchaus bestätigt. Bei der Mehrzahl der festeren Sandsteine erkennt man an Dünnschliffen, daß die Quarzkörnchen durch eine Überrindung von reiner Quarzmasse miteinander verwachsen sind, während die tonige, kalkige oder mergelige Substanz nur die eckigen Hohlräume ausfüllt, welche durch die Zusammenlagerung der Quarzkörner

entstehen. Dabei kann die gedachte Kornergänzung so stark sein, daß die Zwischenräume vollständig davon erfüllt werden, bzw. daß die ursprünglich abgerundeten Körnchen wiederum zu mehr oder weniger vollkommenen Kristallen ausgewachsen erscheinen. In anderen Fällen ist das kieselige Ergänzungs-zement äußerst gering und erscheint selbst unter dem Mikroskop nur als eine dünne Haut. Dennoch aber genügt ein solcher Überzug, um die Körnchen an ihrer Berührungsfäche ziemlich fest miteinander zu verbinden.

Fehlt dieses Kieselzement, so bedarf es einer anderweitigen festen Bindemittelsubstanz, um eine dauerhafte Vereinigung der Quarzkörnchen zu bewirken, und in der Regel erlangen die hierbei in Betracht kommenden Substanzen die erforderliche Festigkeit erst durch eine mehr oder weniger beträchtliche Silifizierung. Nicht selten ist diese Kieselinfiltration des Bindemittels zwischen den Zusammenlagerungsflächen der Quarzkörnchen beträchtlich größer als in der Ausfüllungsmasse der eckigen Hohlräume; ja es können die Körnchen sehr fest miteinander verbunden sein, während die Poren von einer weichen oder pulverförmigen Masse erfüllt oder auch ganz leer sind.

Die Substanz, welche die Zusammenlagerungsflächen der Körnchen miteinander verbindet, wird als „Kontaktzement“ bezeichnet; diejenige, welche die eckigen Hohlräume zwischen drei oder mehreren Körnern erfüllt, als „Porenzement“ oder, falls sie aus lockerer Masse besteht, als „Porenfüllmittel“. Ist das Zement so reichlich vorhanden, daß es eine gleichmäßige zusammenhängende Grundmasse bildet, in welcher die Körnchen einzeln oder in kleineren Gruppen eingelagert sind, so erhält es die Bezeichnung „Basalzement“.

Die verschiedenen Sandsteinvorkommnisse unterscheiden sich nun in sehr bemerkenswerter Weise durch die Art ihrer Kornbindung, und es treten hierbei namentlich folgende Typen auf:

¹⁾ Über ein für die technische Gesteinsprüfung konstruiertes Mikroskop s. Zentralblatt für Mineralogie etc. 1904, S. 626.

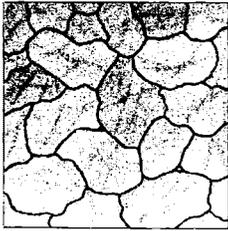


Fig. 76.

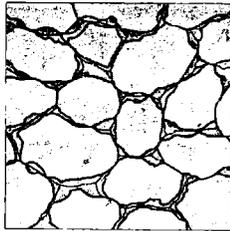


Fig. 77.

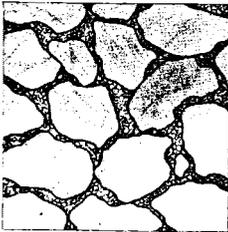


Fig. 78.

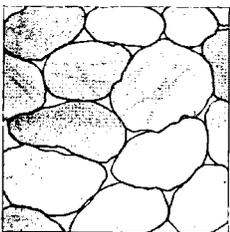


Fig. 79.

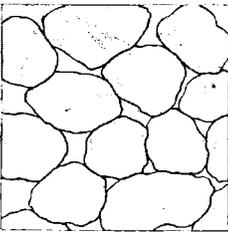


Fig. 80.

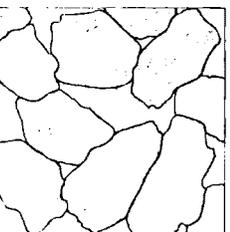


Fig. 81.

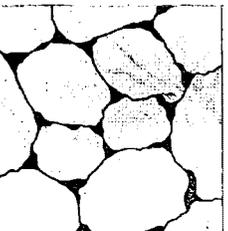


Fig. 82.

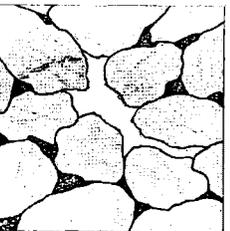


Fig. 83.

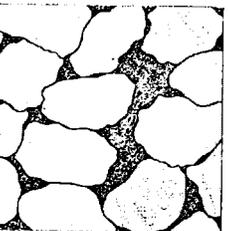


Fig. 84.

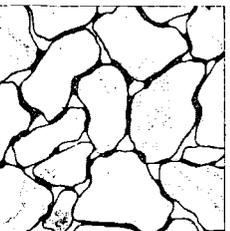


Fig. 85.

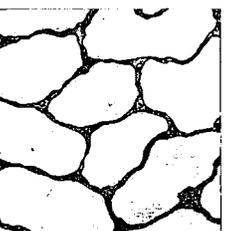


Fig. 86.

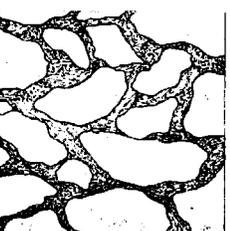


Fig. 87.

Die Kornbindung wird bewirkt:

1. durch kristallographisch orientierten Quarz (sog. unmittelbare Kornbindung); Texturporen²⁾ verwachsen (Fig. 76),

2. durch nicht orientierte, homogene Quarzmasse; Texturporen verwachsen (Fig. 77),

3. desgl. durch granulösen Quarz; Texturporen verwachsen (Fig. 78),

4. durch kristallographisch orientierte Quarzüberrindung, bei leeren Texturporen. Fig. 79 und 80 zeigen diesen Typus mit verschiedener Kornbindungszahl,

5. durch kristallographisch orientierte Quarzüberrindung, bei leeren Textur- und Strukturporen (Fig. 81),

6. durch kristallographisch orientierte Quarzüberrindung, mit Füllung der Texturporen durch ein differentes, d. h. von der Kornsubstanz verschiedenes Porenzement (Fig. 82),

7. durch kristallographisch orientierte Quarzüberrindung, mit Füllung der Texturporen durch ein differentes Porenzement und leeren Strukturporen (Fig. 83),

8. durch kristallographisch orientierte Quarzüberrindung, mit Füllung der Textur- und Strukturporen durch ein differentes Porenzement (Fig. 84),

9. durch ein differentes Kontaktzement, bei leeren Texturporen (Fig. 85),

10. durch ein differentes Kontaktzement, bei gefüllten Texturporen (Fig. 86),

11. durch Basalzement (Fig. 87).

Die Bedeutung der vorstehend aufgeführten Kornbindungstypen für die Wetterbeständigkeit der betreffenden Sandsteine läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

a) Die durch Quarzzement bewirkte kontinuierliche und demnach porenfreie Kornbindung, Typ. 1—3, Fig. 76—78, liefert Sandsteine, welche zu den wetterbeständigsten Materialien überhaupt gehören. Da der körnige Gemengteil ebensowenig wie das Zement chemisch veränderbar ist, so übertreffen diese „Kieselsandsteine“ selbst die besten kristallinen Silikatgesteine an Beständigkeit.

b) Die durch Quarzzement bewirkte diskontinuierliche Kornbindung mit leeren

²⁾ Texturporen werden hier die durch den regelmäßigen Zusammenschluß der einzelnen Körner gebildeten Hohlräume genannt, Strukturporen dagegen die größeren Hohlräume, welche durch stellenweise Verringerung der regulären Kornbindungszahl entstehen.

Texturporen, Typ. 4—6, Fig. 79—81, bildet im allgemeinen ebenfalls vortrefflich wetterbeständige Gesteine. Die Festigkeit derselben wie ihre Porosität hängt in gewissem Grade von der Kornbindungszahl ab. Nur der Frost vermag auf Gesteine dieser Kategorie zerstörend einzuwirken, aber auch nur dann, wenn der Sättigungskoeffizient (s. S. 263, Heft 7) den kritischen Wert von 0,8 übersteigt. Sind die Poren durch ein differentes Zement gefüllt, Typ. 6—8, Fig. 82—84, so kann letzteres, wenn es stark silifiziert ist, die Festigkeit des Gesteins, insbesondere bei niedriger Kornbindungszahl desselben, beträchtlich erhöhen; weiche, stark wasser- aufsaugende Porenzemente vermögen dagegen unter Umständen die Frostbeständigkeit des Gesteins zu vermindern.

c) Wird die Kornbindung durch ein differentes Zement bedingt, Typ. 9 und 10, Fig. 85 und 86, so hängt die Qualität des Gesteins im wesentlichen von der Wetterbeständigkeit dieses Zementes ab. Je widerstandsfähiger und namentlich wasserfester dasselbe ist, desto wetterbeständiger ist unter sonst gleichen Strukturverhältnissen das Gestein.

d) In noch höherem Grade gilt dieses Kriterium für die Sandsteine mit Basalzement, Typ. 11, Fig. 87. Nur wenn das letztere stark silifiziert ist, gehören derartige Gesteine den mittleren Beständigkeitsqualitäten an; in der Regel weisen aber die Basalzemente eine weiche tonige Beschaffenheit auf, und dann sind solche Gesteine in besonderem Grade wetterunbeständig.

b) Die mineralogische Zusammensetzung des Bindemittels.

Die Bindemittelsubstanz der Sandsteine ist nach dem Vorstehenden entweder homogen und kann alsdann aus Quarz, amorpher Kieselsäure bzw. aus Kalkspat bestehen, oder sie wird, wie das meistens der Fall ist, von feinkörnigen bis staubförmigen Gesteinszeretzungsprodukten, insbesondere von tonigen, kalkigen, mergeligen Substanzen, untermischt mit staubförmigem Quarz, Eisenoxyd, Eisenhydroxyd, gebildet. Innerhalb der letztgenannten Produkte finden sich aber häufig auch mineralische Neubildungen, sogenannte authigene Substanzen, und zwar vorzugsweise kristallisierte bzw. amorphe Kieselsäure, Silikate (namentlich Zeolithe), Kalkspat, Glaukonit usw.

Ein Teil dieser authigenen Stoffe ist aus der Verwitterung der mit dem Quarzsand zugleich abgelagerten Körnchen von Silikaten, namentlich von Feldspat entstanden, durch dessen Zersetzung Kieselsäure, Kaolin und

Alkalikarbonate gebildet werden. Andererseits können authigene Substanzen durch Ausscheidung aus infiltrierten Lösungen entstehen, wie dies sowohl für einen Teil der Kieselsäure als auch besonders für den Kalkspat zutrifft.

Erst durch die reichliche Ausbildung solcher authigenen Bestandteile erlangen die Bindemittel diejenige Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen die Wirkung der Atmosphären, welche sie zur Bildung wetterbeständiger Sandsteine tauglich macht.

Denn da der Zusammenhang der allothigenen tonigen, mergeligen, kalkigen und ockerigen Substanzen an und für sich lediglich auf der Adhäsion ihrer erdigen und staubförmigen Partikel beruht, so werden sie unter dem Einfluß des Wassers mehr oder weniger vollständig erweichen. In dem Maße aber, in welchem die erdigen Agglomerate von Kieselsäure durchtränkt oder von mikrokristallin ausgebildeten Silikaten bzw. von Kalkspatmasse durchwachsen sind, erhöht sich nicht nur ihre eigene Festigkeit, sondern auch ihre Haftfestigkeit gegenüber den Quarzkörnchen des Sandsteins, wie andererseits ihre Widerstandsfähigkeit gegen die erweichende Wirkung des Wassers.

Während diese Verhältnisse für Sandsteine mit unmittelbarer (kieseliger) Kornbindung nur eine untergeordnete Rolle spielen, da in ihnen die differente Bindemittelsubstanz lediglich als Porenzement auftritt, sind sie für Gesteine mit differentem Kontaktzement und Basalzement ausschlaggebend für den Wetterbeständigkeitsgrad derselben.

Für die Prüfung der Bindemittelsubstanz kommen folgende Methoden zur Anwendung:

1. die mikroskopische Untersuchung behufs Bestimmung der feinkörnigen bzw. staubförmigen Bestandteile und ihrer etwaigen Verwachsung durch Kieselsäure, Kalkspat, Glaukonit, Eisenoxyd etc.;

2. die chemische Analyse zur Feststellung eines etwaigen Gehalts an Kalziumkarbonat, Eisenkies und kohligen Substanzen;

3. Untersuchungen behufs Bestimmung des Wassererweichungsgrades, und zwar:

a) durch die Schlämmanalyse, nach der hierfür besonders ausgebildeten Methode;

b) durch Prüfung der Zugfestigkeit des Gesteins in trockenem Zustande und nach längerer Wasserlagerung;

4. die künstliche Durchfärbung des Gesteins mittels Nigrosin, dessen Eindringtiefe den Dichtigkeitsgrad des Bindemittels erkennen läßt.

c) Die Schichtung der Sandsteine.³⁾

Dieselbe kann hervorgerufen werden:

1. durch eine parallelfächige Anordnung der Quarkörner;
2. durch reichliche Ausscheidung der Bindemittelsubstanz in parallelen Lagen;
3. durch parallele Anordnung von Strukturporen;
4. durch Abwechslung der Korngröße bzw. der Kornbindung in parallelen Lagen;
5. durch schichtenweise Abänderung in der Beschaffenheit des Bindemittels;
6. durch parallele Einlagerung akzessorischer Gemengteile.

Alle diese Verhältnisse führen in Verbindung mit den verschiedenen Arten der Kornbindung zu einer außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Strukturentwicklung.

Eine besondere Bedeutung erlangt die Schichtung der Sandsteine für ihre Frostbeständigkeit in allen den Fällen, in welchen durch die Art der Parallelstruktur auch eine schichtenförmige Verteilung des aufgenommenen Wassers bedingt wird. Je ungleicher die Wasseraufsaugung in den einzelnen Lagen und je dünnschichtiger das Gestein dabei ausgebildet ist, desto ungünstiger wirken diese Verhältnisse auf seine Frostbeständigkeit ein. Namentlich aber ist es der häufige Wechsel dünner toniger Zwischenlagen, durch welchen am häufigsten ein Zerfrieren der Sandsteine bedingt wird. Über die Methode zur Bestimmung des Verteilungskoeffizienten, als Ausdruck für die Differenzierung der Wasseraufsaugung nach verschiedenen Richtungen, s. S. 261.

d) Die Kornbindungsfestigkeit.

Von namhafter Bedeutung für den Wetterbeständigkeitsgrad der Sandsteine ist ihre Kornbindungsfestigkeit, d. h. die Intensität, mit welcher ihre körnigen Bestandteile aneinander haften. Dieselbe wird durch die Zugfestigkeitsprüfung bestimmt. Um aber bei dem sehr verschiedenen Porositätsgrade der Sandsteine vergleichbare Werte zu erhalten, bedarf es einer Reduktion des Prüfungsergebnisses auf die Summe der Bindungsflächen innerhalb der Zerreißelebene.

Bei Gesteinsarten, welche zwischen den mehr oder weniger reichlichen Strukturporen ein völlig kompaktes Mineralgefüge aufweisen, wie dies z. B. bei gewissen Basaltlaven, blasigen Doleriten und kavernösen mikrokristallinen Kalksteinen der Fall ist, gelangt man zu einem hinreichenden Näherungs-

wert durch Reduktion der Zugfestigkeit auf das porenfrei gedachte Material. Das hierbei angenommene Proportionalitätsverhältnis zwischen der Porosität und der Zerreißelebene besteht aber bei einer Aggregation rundlicher Körner, wie sie die Sandsteine darstellen, nicht.

Es wäre hier daher in jedem einzelnen Falle eine direkte Ausmessung erforderlich, und zwar könnte dies in der Weise geschehen, daß in Dünnschliffen des betreffenden Gesteins die Länge der Bindungslinien in zwei aufeinander rechtwinkligen Richtungen mittels des Mikroskop-Planimeters bestimmt und hieraus die Summe der Bindungsflächen näherungsweise berechnet würde. Für regelmäßig struierte Sandsteine bietet eine derartige Bestimmung keine erhebliche Schwierigkeit. Ist die Kornbindung aber unregelmäßig, wie dies namentlich bei geschichteter Ausbildung des Gesteins der Fall zu sein pflegt, dann bedarf es einer zeitraubenden Ausmessung größerer Schliffflächen, um nur einigermaßen zutreffende Resultate zu erhalten.

In Rücksicht hierauf, und weil es wünschenswert ist, die gleiche Reduktionsmethode für alle Sandsteine anwenden zu können, erschien es zweckmäßig, auf die Ausmessung ganz zu verzichten und das Maß der Bindungsflächen aus dem Porositätsgrade rechnerisch abzuleiten. Unter der Voraussetzung, daß die Quarkörnchen nahezu kugelförmig sind, und jedes Korn im Durchschnitt eine 6fache Bindung besitzt, berechnet sich die Summe der Bindungsflächen f für die Zerreißelebene F nach der Formel:

$$f = F \left[\frac{-18 \cos \frac{2}{3} \varphi + 36 \sin \frac{\varphi}{3} + 11}{64} \right],$$

wobei

$$\sin \varphi = \left(1 - \frac{v}{F} \right) \frac{32}{9\pi} - \frac{1}{9}$$

zu setzen ist, in welcher Formel v den Porositätskoeffizienten bedeutet, ausgedrückt in Volumprozenten des Gesteins.

Bezeichnet ζ die Zugfestigkeit des Gesteins für 1 qcm des Querschnitts, so ist die Kornbindungsfestigkeit

$$\zeta_r = \frac{\zeta \cdot 100}{f}$$

Es bedarf keiner besonderen Erörterung, um zu erkennen, daß es sich auch hierbei lediglich um einen Näherungswert handelt, der um so ungenauer sein wird, je mehr die Körner von der Kugelform abweichen, je unregelmäßiger die Kornbindung und je größer die Abweichung der Bindungszahl von der angenommenen ist. Für die praktischen Zwecke der Gesteinsprüfung wird man sich

³⁾ Unter Schichtung ist hier, dem technischen Sprachgebrauch gemäß, die Parallelstruktur des Gesteins zu verstehen.

aber mangels genauerer leicht ausführbarer Methoden mit den auf die gedachte Weise berechneten Werten begnügen dürfen.

Bei Bestimmung der Wassererweichung des Bindemittels mittels der Zugfestigkeitsprobe kommt übrigens die in Rede stehende Reduktion nicht in Frage, weil der Erweichungskoeffizient durch den Quotienten aus der Festigkeit des Gesteins im trockenen und wassererweichten Zustande berechnet wird.

e) Die chemische Untersuchung.

Die chemische Untersuchung der Sandsteine bezweckt:

1. die Feststellung des Mengenverhältnisses zwischen der Bindemittelsubstanz und der körnigen Bestandmasse;

2. die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des Bindemittels.

Was den summarischen Gehalt an Bindemittelsubstanz betrifft, so ist derselbe bei den einzelnen Gesteinsvorkommnissen überaus verschieden. Die hier untersuchten Sandsteine liefern folgende Resultate:

Sandsteine	Bindemittel Proz.
der Devonformation	23,24—26,6
- Steinkohlenformation	7,01—25,35
- Buntsandsteinformation	2,89—43,80
- Keuperformation	2,26—17,74
- Juraformation	1,08—12,74
- Kreideformation ⁴⁾	2,24—60,94

Werden die Bindemittelquoten nach den Qualitätsklassen der Gesteine geordnet, so ergeben sich für die einzelnen Klassen folgende Minimal- und Maximalwerte:

Qualitätsklasse	Bindemittel Proz.
I	2,69—12,58
II	2,24—20,8
III	1,27—60,94
III—IV	3,64—21,36
V	2,98—24,88
VI	2,28—30,11
VII	4,13—43,06

Man ersieht hieraus, daß gesetzmäßige Beziehungen zwischen dem summarischen Bindemittelgehalt und dem Wetterbeständigkeitsgrade der Sandsteine nicht bestehen. Nach Maßgabe der für die Qualität der Sandsteine in Betracht kommenden Verhältnisse war eine solche Abhängigkeit aber auch nicht zu erwarten. Widerstandsfähige Sandsteine sind im allgemeinen solche, welche ein rein kieseliges oder doch stark silifiziertes und deshalb schwierig zersetzbares Kontaktzement besitzen, wobei es von untergeord-

⁴⁾ Gesteine der Kreideformation mit noch höherem Gehalt an kalkigem Bindemittel (bis 79,32 Proz.) wurden hierbei, da sie als Übergangsglieder zwischen Sand- und Kalksteinen zu betrachten sind, nicht berücksichtigt.

netter Bedeutung ist, ob die Poren mehr oder weniger vollkommen durch weichere Substanzen erfüllt sind.

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Bindemittel ist zu bemerken, daß die hier untersuchten Sandsteine im wesentlichen tonige Substanz enthielten, mehr oder weniger reichlich gemengt mit Eisenoxyd bzw. Eisenhydroxyd und z. T. mit Kalzium- bzw. Magnesiumkarbonat. Überdies weisen aber alle Analysen einen nicht unbedeutlichen Gehalt an Kali und Natron auf, der zwischen 1,29 und 22,47 Proz. des Bindemittels schwankt. Dieser Alkaligehalt rührt in manchen Fällen von eingelagerten Feldspatkörnern oder auch von Glimmerblättchen her. Sind solche Gemengteile nicht vorhanden, dann kann staubförmiger Feldspat u. dgl. im Bindemittel oder aber eine authigene Silikatbildung die Ursache des Alkaligehalts sein. Die mikroskopische Untersuchung ermöglicht die Feststellung der hier in Frage kommenden Verhältnisse.

Ein größerer Kalk- bzw. Magnesiagehalt tritt stets in Verbindung mit Kohlensäure auf, während ein Kalk-Magnesiagehalt von 1—9 Proz. auch in kohlensäurefreien Sandsteinen vorkommen kann. Mitunter ist bei Gesteinen der ersteren Art der Gehalt an CaO und MgO im Verhältnis zu CO₂ des Bindemittels etwas größer, als es der Formel CaCO₃ bzw. MgCO₃ entspricht, in welchem Falle der Überschuß einem Kalk- bzw. Magnesiasilikat angehört, das entweder in klastischer Form oder auch als authigene Bildung im Bindemittel vorhanden sein kann.

Häufig finden sich in dem wäßrigen Auszuge Spuren von Sulfaten, und zwar sowohl in den Gesteinen älterer Bauwerke, wie auch im frischen Bruchgestein. Es handelt sich hierbei um ein aus der Zersetzung des eingesprenkten Eisenkieses hervorgegangenes Produkt, und es ist bemerkenswert, daß diese Erscheinung selbst bei erstklassigen Gesteinen auftreten kann, falls dieselben eine feste, kieselige Kornbindung besitzen. Eine Spur von Phosphorsäure, welche sich in manchen Sandsteinen findet, kommt für die Qualitätsbestimmung derselben nicht in Betracht.

Alle diese Bestandteile treten in den mannigfachsten Mengenverhältnissen in den verschiedenen Sandsteinbindemitteln auf; aber vergebens versucht man zwischen der quantitativen Zusammensetzung derselben und der Qualität der zugehörigen Gesteine irgendwelche konstante Beziehungen aufzufinden.

Betrachtet man z. B. den Gehalt an chemisch gebundener Kieselsäure nebst zugehöriger Tonerde, so weist deren Prozentsatz

in den einzelnen Gesteinsklassen folgende Schwankungen auf:

Qualitätsklasse	Proz. Si O ₂	Proz. Al ₂ O ₃
I	17,90—56,77	10,53—39,93
II	5,80—49,39	3,11—36,71
III	3,77—45,96	1,58—34,48
III—IV . .	19,74—34,98	5,91—25,06
V	10,29—44,80	10,01—39,14
VI	30,58—44,15	15,96—41,14
VII	33,70—37,97	18,16—28,86

Dieses jeder Gesetzmäßigkeit entbehrende Ergebnis erklärt sich aus dem bereits mehrfach erwähnten Umstande, daß in erster Linie die kieselige Kornbindung, nicht aber die Beschaffenheit des Porenzements für den Wetterbeständigkeitsgrad des Sandsteins von maßgebendem Einfluß ist. Nur wenn die unmittelbare Kornbindung unvollkommen ausgebildet ist, oder wenn das Gestein eine Kornbindung mit wenig widerstandsfähigem, differentem Kontaktzement aufweist, kann die Beschaffenheit des Porenzements von wesentlichem Einfluß auf die Festigkeit und den Wetterbeständigkeitsgrad des Gesteins sein. Aber auch in diesem Falle vermag das Resultat der Bindemittelanalyse keinen Anhalt für die Beurteilung des Gesteins zu gewähren.

Die Sandsteinbindemittel bestehen in den meisten Fällen aus einem Gemenge mikrogranulöser Substanzen (Ton, erdigem Kalk, klastischem Gesteinstaub, erdigem Rot- und Brauneisen), und es wird, wie bereits an anderer Stelle hervorgehoben worden ist, die Festigkeit des Aggregats wie seine Widerstandsfähigkeit gegen die erweichende Wirkung des Wassers und z. T. auch gegen die chemischen Wirkungen der Atmosphärien im wesentlichen bedingt durch das Vorhandensein authigener Durchwachungs- oder Infiltrationsprodukte, unter denen die Kieselsäure die Hauptrolle spielt. Der Silifizierungsgrad des Bindemittels ist daher für die meisten Sandsteine, welche keine unmittelbare, d. h. quarzige Kornbildung besitzen, als das wichtigste Kriterium ihrer Wetterbeständigkeit zu betrachten. Aber gerade bei Bestimmung dieser Eigenschaft versagt die chemische Untersuchungsmethode vollständig, da sie die den verschiedenen Bestandteilen des Gesteins angehörige Kieselsäuremenge nicht zu trennen vermag.

Nach ihrer strukturellen Bedeutung haben wir in den Sandsteinen folgende kieselige Gemengteile zu unterscheiden:

1. körnigen Quarz;
2. staubförmigen Quarz in gewissen Bindemitteln;
3. den das Bindemittel als Infiltrationsprodukt durchdringenden Quarz;

4. die Silikate des Bindemittels (Kaolin, Glaukonit, zeolithische Substanzen), sowie die als akzessorische, körnige Gemengteile auftretenden Silikate (Feldspat, Glaukonit, Glimmer usw.);
5. amorphe Kieselsäure als Infiltrationsprodukt.

Die zu 1, 2 und 3 gehörigen Mengen der Kieselsäure sind es, welche nicht gesondert bestimmt werden können, und diesem Umstand ist vorzugsweise die Unzulänglichkeit der chemischen Untersuchung für die Wetterbeständigkeitsprüfung der Sandsteine zuzuschreiben. Selbst die Bestimmung der zu 4 und 5 gehörigen Kieselsäure ist nicht in aller Schärfe durchzuführen; doch fällt hierbei die Ungenauigkeit der Methode für die technische Gesteinsuntersuchung nicht erheblich ins Gewicht.

Demnach ist man bei der Prüfung des Bindemittels vorzugsweise auf die mikroskopische Untersuchung desselben sowie auf Bestimmung seiner Härte und Wassererweichung angewiesen, und es wird die chemische Analyse behufs Ergänzung der vorgedachten Methoden sich darauf beschränken dürfen, folgende Eigenschaften des Gesteins festzustellen:

1. das näherungsweise Mengenverhältnis des Bindemittels und des körnigen Quarzes;
2. die chemische Zusammensetzung des Bindemittels exkl. des staubförmig beigemengten und des als Infiltrationsprodukt vorhandenen Quarzes;
3. den Gehalt an amorpher Kieselsäure;
4. den Gehalt an solchen akzessorischen Gemengteilen, welche nicht mit dem Bindemittel von gleichartigem chemischen Charakter sind (Eisenkies, kohlige Beimengungen usw.);
5. den Gehalt der in Wasser löslichen Zersetzungsprodukte, wie solche bereits im Bruchgestein vorhanden sein können, z. B. Sulfatbildungen durch Zersetzung von Eisenkies.

f) Die Frostprüfung.

Der Frost kann in verschiedener Weise zerstörend auf frostunbeständige Gesteine einwirken; entweder es findet im Laufe längerer Zeiträume, und zwar mitunter erst in Jahrzehnten erkennbar, eine allmähliche Zermürbung des Gesteins statt (Porenfrostwirkung), oder aber es ist die Wirkung eine mehr oder weniger plötzliche (Spaltfrostwirkung und Schichtfrostwirkung).

Die Porenfrostwirkung hat eine derartige Struktur des Gesteins zur Voraussetzung, daß das kapillar eindringende Wasser

die Poren nahezu vollständig erfüllt, der Sättigungskoeffizient S also höher als 0,8 ist. Aber auch bei niedrigerem Sättigungskoeffizienten kann eine derartige Frostwirkung auftreten, wenn das Gestein ein in Wasser stark erweichbares Bindemittel enthält. Als unteren Grenzwert von S für frostunbeständige Sandsteine der letzteren Art hat sich aus den bisherigen Versuchen die Zahl 0,7 ergeben.

Die Spaltfrostwirkung kann auftreten, wenn das Gestein von Spaltrissen oder Ablösungsklüften durchzogen ist, und zwar auch dann, wenn der an rißfreiem Material festgestellte Sättigungskoeffizient den kritischen Wert von 0,8 nicht erreicht. Bedingung ist jedoch, daß das Gestein sehr dicht ist, also nur einen geringen Porositätskoeffizienten besitzt, weil andernfalls das in die Spalten eindringende Wasser alsbald von den benachbarten Partien aufgesogen wird. Das Vorhandensein von versteckten Spaltrissen und Ablösungsklüften wird am sichersten durch die Färbungsprobe (s. S. 260) erkannt.

Die Schichtfrostwirkung setzt eine deutliche Parallelstruktur des Gesteins voraus, und zwar von der Art, daß zwischen den einzelnen Schichten ein beträchtlich größerer Porenzusammenhang besteht als innerhalb derselben. Zur Feststellung einer derartigen Struktur dient die Bestimmung des Verteilungskoeffizienten (s. S. 261) sowie die Färbungsprobe.

Demnach sind zur Bestimmung des Frostwiderstandsgrades der Sandsteine folgende Untersuchungen auszuführen:

1. Die Bestimmung der Wasseraufsaugung unter verschiedenen äußern Bedingungen behufs Berechnung des Porositätskoeffizienten P und des Sättigungskoeffizienten S .

2. Die Feststellung des Erweichungskoeffizienten durch Prüfung der Zugfestigkeit des Gesteins im trocknen Zustande und nach 30 tägiger Wasserlagerung.

3. Die Schlämprobe als Ergänzung der Prüfung auf Wassererweichung.

4. Die Feststellung der Verteilung des aufgenommenen Wassers in geschichteten Sandsteinen behufs Berechnung des Verteilungskoeffizienten V .

5. Die Färbungsprobe zur Erkennung von Spaltrissen und Ablösungsklüften im Gestein sowie einer versteckten Parallelstruktur und des mehr oder weniger lockeren Zusammenhanges der Schichten.

Anmerkung. Hinsichtlich der ziffermäßigen Bewertung der durch die Untersuchung festgestellten verschiedenen Gesteinseigenschaften und der

Bedeutung dieser Zahlenwerte für die Bestimmung des Wetterbeständigkeitsgrades des Materials muß hier wie hinsichtlich der übrigen Gesteinsarten auf die Originalarbeit verwiesen werden.

2. Grauwacken.

Wie bei den Sandsteinen sind folgende Strukturtypen zu unterscheiden:

1. Grauwacken mit rein quarzigem Kontaktzement;
2. solche mit differentem Kontaktzement;
3. Grauwacken mit quarzigem Basalzement;
4. solche mit differentem Basalzement.

Auch die mikrogranulösen, den Tonschiefern verwandten, glimmerreichen, schiefrigen Grauwacken lassen sich in gleicher Weise wie die körnigen Ausbildungsformen systematisieren, doch bildet jede der obengenannten Kornbindungsarten, je nachdem der Glimmer in dem betreffenden Gestein mehr oder weniger reichlich und in vollkommen kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Lagen auftritt, eine Reihe von verschiedenen Varietäten.

Für die Bewertung der einzelnen Bindungstypen gelten dieselben Grundsätze wie für die entsprechenden Sandsteine. Als die vorzüglichsten Zemente sind auch hier die rein kieseligen zu betrachten, und es folgen, nach dem Grade ihrer Silifizierung, die übrigen Bindemittel wie die polygenen staubförmigen, die tonschiefrigen und tonigen Substanzen. Während aber bei den Sandsteinen die Art der Kornbindung in den meisten Fällen ausschlaggebend für die Qualität des Gesteins ist, kommt für die Grauwacken in erheblichem Maße auch die substantielle Beschaffenheit der körnigen Bestandteile in Betracht. Als ungünstig für die Wetterbeständigkeit des Gesteins ist im allgemeinen ein namhafter Gehalt an angewitterten Feldspatkörnchen, weichen Tonschieferbrocken und, falls reichlich Eisenkies vorhanden ist, auch an Kalksteinbrocken zu bezeichnen.

Ist der Gehalt an diesen Bestandteilen so gering, daß bei ihrer Verwitterung der Zusammenhang der Quarzkörnchen nicht erheblich beeinträchtigt wird, so vermögen sie auch den Wetterbeständigkeitsgrad des Gesteins nicht beträchtlich zu vermindern. Ein größerer Gehalt an verwitterbaren körnigen Gemengteilen wird ungünstiger auf Gesteine mit differentem Kontaktzement als auf solche mit quarziger Kornbindung einwirken, da die letzteren einen ziemlich beträchtlichen Ausfall an körnigen Gemengteilen erleiden können, ehe ihre Festigkeit unter das für wetterbeständige Gesteine normale Maß hinabgeht.

Häufiger als bei den Sandsteinen findet sich bei Grauwacken eine durch Parallelstruktur hervorgerufene vollkommene Schichtung, die in der Regel mit einer mehr oder weniger vollkommenen Schieferung und demgemäß mit einem größeren Verteilungskoeffizienten verbunden ist, wodurch die Frostbeständigkeit des Gesteins, bei einem Sättigungskoeffizienten über 0,7, ungünstig beeinflusst wird.

3. Kalksteine.

a) Mikrostruktur.

Die petrographische Einteilung in kristallinische, körnige und dichte Kalksteine beruht lediglich auf der makroskopischen Erscheinungsweise der Gesteinsausbildung. Unter dem Mikroskop erweist sich aber die Struktur der meisten dichteren Kalksteine als eine kristallinische bis kryptokristallinische, und nur in selteneren Fällen bestehen die dichteren Gesteine, welche als Baumaterial in Betracht kommen, aus einer Aggregation staubförmiger („pelitomorph“) Kalkkörnchen.

Nach der Kornausbildung kann man daher die Kalksteine einteilen in makrokristalline (Korndurchm. über 0,7 mm), mesokristalline (0,25—0,7 mm), mikrokristalline (0,01 bis 0,2 mm), kryptokristalline und pelitomorphe (0,003—0,005 mm) Kalksteine. Überdies aber unterscheiden sich die verschiedenen Ausbildungsformen sehr wesentlich durch die Art ihrer Kornbindung. Diese ist entweder eine unmittelbare, lediglich durch den Kristallisationsprozeß bedingte; oder sie wird vermittelt durch ein kalkiges, kalkig-toniges, glaukonitisches, eisenoxydisches bzw. kalkig-kieseliges Bindemittel, das seinerseits wiederum mikrokristallin, kryptokristallin oder pelitomorph ausgebildet sein kann.

Von der Art der Kornbindung hängt vorzugsweise die Festigkeit, Mikroporosität und Widerstandsfähigkeit des Gesteins gegen die erweichende Wirkung des Wassers ab, und es ist deshalb die Kornbindung auch hier in erster Linie maßgebend für den Wetterbeständigkeitsgrad der Kalksteine. Im allgemeinen sind folgende Strukturtypen zu unterscheiden:

1. Kristalline bis mikrokristalline Kalksteine mit unmittelbarer Kornbindung¹⁾.

2. Desgl. mit mittelbarer Kornbindung, welche durch ein kalkiges Zement bewirkt wird, das entweder durchweg oder teilweise mikrokristallin, kryptokristallin oder pelitomorph ist.

3. Desgl. mit „differentem“, d. h. mit einem von den Kalkkörnchen substanziiell verschiedenen Bindemittel, welches mergelig, tonig, eisenoxydig, kohlig, bituminös oder kieselig sein kann, wobei nicht selten die differente Zementsubstanz in fein verteilter Form auch in den Kalkspatkörnchen eingeschlossen erscheint oder in nesterweisen Ausscheidungen zwischen den Kalkspatkörnchen auftritt.

4. Vorherrschend kryptokristallin ausgebildete Kalksteine²⁾.

5. Vorherrschend pelitomorph ausgebildete Kalksteine.

Weitere Varietäten entstehen durch oolithische Ausbildung sowie durch das Auftreten von Muschel- und Pflanzenresten an Stelle der körnigen Bestandteile. Da die einzelnen Strukturelemente sehr verschiedenartig miteinander kombiniert sein können, so ergibt sich hieraus eine überaus mannigfaltige Entwicklungsreihe.

Die schematischen Abbildungen auf S. 383 und 384 geben eine Übersicht über die wichtigsten Strukturtypen der kristallinisch-körnigen und dichten Kalksteine.

b) Die Untersuchung der Kalksteine.

Für die Qualitätsbestimmung der Kalksteine sind die folgenden Verhältnisse zu berücksichtigen.

1. Die Kornausbildung. Die mikroskopische Untersuchung an Dünnschliffen ermöglicht die Ausmessung der Körner, die Feststellung ihrer Gleichmäßigkeit oder Ungleichmäßigkeit und ihrer Homogenität bzw. der in ihnen vorkommenden fremden Einschlüsse (Ton, Eisenoxyd, Quarzsand, organische Substanzen). Zugleich ist hierbei das Auftreten oolithischer und kumulitischer Bildungen, das Vorkommen von Glaukonitkörnchen, sowie von Konchylien und Pflanzenresten in Betracht zu ziehen.

2. Die Kornverwachsung. Dieselbe ist, wie bereits bemerkt, entweder eine unmittelbare, oder sie wird durch mikrokristalline, kryptokristalline bzw. pelitomorphe Zwischenmasse bewirkt, welche entweder rein kalkig oder von fremden Bestandteilen (Ton, Eisenoxyd, Eisenhydroxyd, Glaukonit, Quarzsand, kohligen Substanzen) durchsetzt sein kann.

3. Die Stetigkeit der Kornbindung. Die Kornbindung kann entweder gleichmäßig kompakt oder mehr oder weniger locker sein,

²⁾ Als kryptokristallin soll hier diejenige Ausbildungsform bezeichnet werden, bei welcher die Kalkmasse, im Gegensatz zu den deutlich kristallinisch-körnigen Aggregationen, aus unvollkommen begrenzten, z. T. lappig ausgezackten, auf das polarisierte Licht wirkenden Kristalloiden besteht.

¹⁾ Zur Feststellung der Kornbindungsverhältnisse ist je nach der Körnung des Gesteins eine 300 bis 800fache Vergrößerung erforderlich.

welche Verhältnisse bei gekreuzten Nicols und starker Vergrößerung sehr bestimmt zu erkennen sind.

4. Die Intensität der Kornbindung. Die Bestimmung geschieht durch die Zugfestigkeitsprüfung unter Reduktion der erhaltenen Werte auf die Einheit der Kornbindungsflächen und dient als Ergänzung der Untersuchung zu 3. Für sehr unregelmäßig struierte Gesteine (poröse Konchylienkalke etc.), bei denen die Zugfestigkeitsprüfung keine vergleichbaren Werte zu liefern vermag, werden lediglich die Ergebnisse der mikroskopischen Kornbindungsbestimmung für die Beurteilung des Gesteins zu berücksichtigen sein.

5. Die Gleichmäßigkeit der Struktur. Hierbei leistet die künstliche Durchfärbung (s. S. 260) vortreffliche Dienste. Namentlich auch bei Prüfung der Marmorarten läßt sich eine ungleichmäßige, stellenweise lockere Kornbindung durch das stärkere Eindringen der Farblösung auf das bestimmteste erkennen.

Fig. 88.

Gleichkörnig makrokristallin mit polysynthetischen Zwillinglamellen und gezahnten Kontaktflächen.

Fig. 89.

Gleichkörnig makrokristallin, z. T. mit polysynthetischen Zwillinglamellen.

Fig. 90.

Ungleichkörnig makrokristallin, z. T. mit polysynthetischen Zwillinglamellen und gezahnten Kontaktflächen.

Fig. 91.

Mikrokristallin mit gebogenen polysynthetischen Zwillinglamellen und Einlagerungen kleinerer kataklastischer Körner.

Fig. 92.

Mikrokristallin mit gebogenen polysynthetischen Zwillinglamellen und kataklastischer Struktur, ohne vollkommen scharfe Abgrenzung der Körner.

Fig. 93.

Vorwiegend mesokristallin mit mikrokristalliner Zwischenmasse.

Fig. 94.

Vorwiegend mesokristallin mit kryptokristalliner Zwischenmasse.

Fig. 95.

Isolierte mesokristalline Körner in mikrokristalliner Grundmasse.

Fig. 96.

Isolierte mesokristalline Körner in kryptokristalliner Grundmasse.

Fig. 97.

Isolierte mesokristalline Körner in pelitomorpher Grundmasse.



Fig. 88.



Fig. 89.



Fig. 90.



Fig. 91.



Fig. 92.

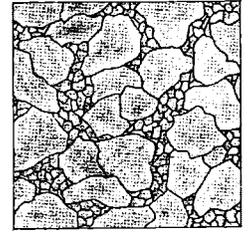


Fig. 93.

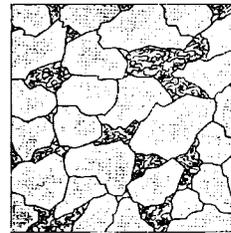


Fig. 94.

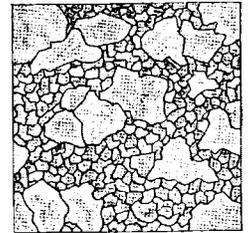


Fig. 95.

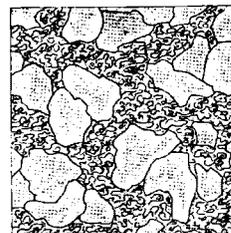


Fig. 96.

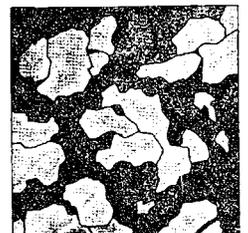


Fig. 97.

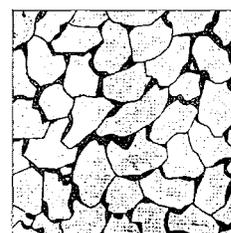


Fig. 98.

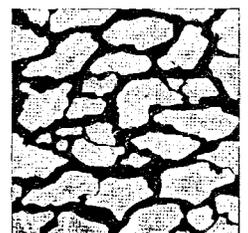


Fig. 99.

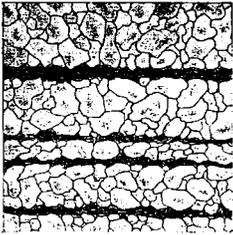


Fig. 100.

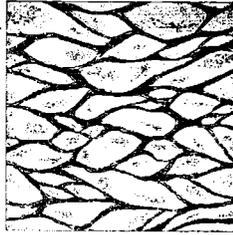


Fig. 101.



Fig. 102.

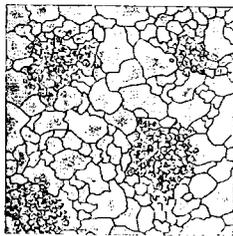


Fig. 103.

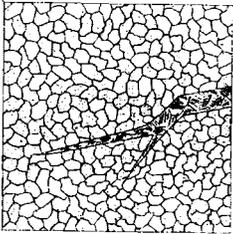


Fig. 104.

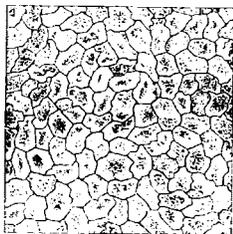


Fig. 105.

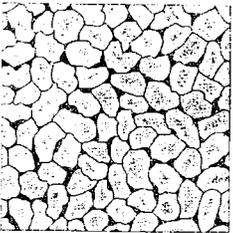


Fig. 106.

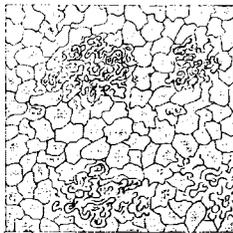


Fig. 107.

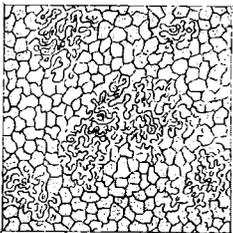


Fig. 108.

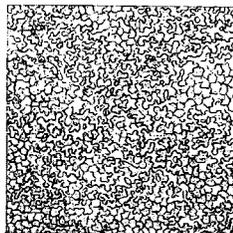


Fig. 109.

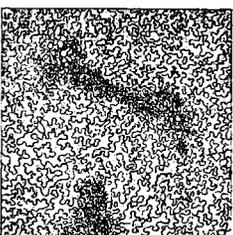


Fig. 110.

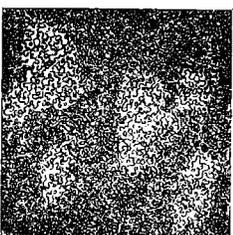


Fig. 111.

Fig. 98.

Mesokristallin, in unvollkommen verwachsenen Körnern mit tonigem oder ockerigem Zwischenmittel.

Fig. 99.

Meso- bis mikrokristalline Körner mit kohligem Zwischen- bzw. Grundmasse.

Fig. 100.

Ungleichkörnig mesokristallin in vollkommener Verwachsung, mit tonschiefrigen parallelen Zwischenlagen.

Fig. 101.

Makro- bis mesokristalline Körnung mit tonschiefrigem Bindemittel.

Fig. 102.

Meso- bis mikrokristalline Körnung mit gleichmäßiger Kieselimpregnation.

Fig. 103.

Meso- bis mikrokristalline Körnung mit ungleichmäßiger Kieselausscheidung.

Fig. 104.

Mikrokristallin, mit klaren homogenen Kalkspatkörnchen.

Fig. 105.

Mikrokristallin; Körnchen mit Aggregatpolarisation oder mit staubförmiger Einlagerung von Ton, Eisenoxyd usw.

Fig. 106.

Mikrokristalline Körnung, unvollkommen verwachsen mit tonigem oder ockerigem Zwischenmittel.

Fig. 107.

Vorherrschend mikrokristallin, untergeordnet kryptokristallin.

Fig. 108.

Vorherrschend mikrokristallin; sehr beträchtlich kryptokristallin.

Fig. 109.

Vorherrschend kryptokristallin; untergeordnet mikrokristallin.

Fig. 110.

Vorherrschend kryptokristallin; untergeordnet pelitomorph.

Fig. 111.

Vorherrschend pelitomorph; untergeordnet kryptokristallin.

6. Der Grad der Wassererweichung. Da bei sehr dichtem Gesteine eine etwaige Wassererweichung nur an der Oberfläche stattfindet, so empfiehlt es sich in diesem Falle, die sonst angewendete Zugfestigkeitsprüfung durch die Härteprüfung des trockenen und wassergesättigten Gesteins zu ersetzen.

7. Die Porositäts-, Sättigungs- und Verteilungskoeffizienten, deren Bestimmung nach den bei den Sandsteinen erwähnten Methoden geschieht.

8. Der Gehalt an Nebenbestandteilen. Für die Qualitätsprüfung sind namentlich zu berücksichtigen: ein größerer Gehalt an Ton, Quarzsand, Eisenoxyd und Eisenhydroxyd, an bituminösen Substanzen, kohligem Beimengungen und Eisenkies bzw. Markasit.

c) *Beziehungen zwischen Struktur und Wetterbeständigkeit.*

Über den Einfluß, den die Strukturausbildung auf den Wetterbeständigkeitsgrad der Kalksteine ausübt, ist folgendes zu bemerken.

Zu den vorzüglichsten Gesteinen gehören die kristallinen und mikrokristallinen Abänderungen mit unmittelbarer, kontinuierlicher Kornbindung. Beträchtliche Diskontinuitäten der Kornbindung vermögen infolge der damit verbundenen größeren Porosität und geringeren Festigkeit des Gesteins die Beständigkeit desselben erheblich zu beeinträchtigen.

Auch bei mittelbarer Bindung kann das Gestein noch ein gutes Baumaterial liefern, wenn das kalkige Bindemittel kompakt und mikrokristallin ausgebildet ist. Weniger günstig ist die kryptokristalline Ausbildungsform, während die pelitomorphen Bindemittel wie die im ganzen pelitomorph ausgebildeten Kalksteine fast durchweg von geringerer Wetterbeständigkeit und als gänzlich unbeständig zu bezeichnen sind, wenn sie einen beträchtlichen Tongehalt besitzen und demnach im Wasser eine starke Erweichung erfahren.

Nicht immer sind die gedachten Strukturformen rein ausgebildet; vielfach finden sich Kombinationen derselben und überdies eine sehr mannigfaltige Reihe von Varietäten durch das Auftreten oolithischer Bildungen, durch reichliche Strukturporen (Schaumkalke) und unregelmäßige Hohlräume, durch beträchtliche Einlagerung von Muschel- und Pflanzenresten.

Aber auch bei diesen Kalksteinvarietäten erscheint die Wetterbeständigkeit in erster Linie abhängig von den obengenannten Strukturformen der Kalkmasse, so daß selbst stark poröse und kavernöse Schaumkalke und solche mit reichlichen Muschel- und Pflanzenresten sich als wetterbeständig erweisen können, wenn die körnige Kalkmasse mikrokristallin ausgebildet ist und eine kompakte Kornbindung besitzt.

Übrigens ist zu bemerken, daß auch die pelitomorphen Kalksteine den kristallinischen an Beständigkeit gleichkommen können, wenn sie einen beträchtlichen Silifizierungsgrad besitzen.

d) *Die Frostprüfung.*

Was die Frostbeständigkeit der Kalksteine betrifft, so ist dieselbe abhängig von dem Sättigungskoeffizienten, der Erweichbarkeit in Wasser und dem Verteilungskoeffizienten. Als oberer Grenzwert für frostbeständige Kalksteine ist der Sättigungskoeffizient 0,8 anzunehmen, doch

sinkt derselbe bei starker Erweichungsfähigkeit sowie bei hohem Verteilungskoeffizienten bis auf 0,7. Für sehr dichte Kalksteine, deren Wasseraufsaugung weniger als 0,9 Gew.-Proz. beträgt, bedarf es besonderer Bewertungen, hinsichtlich deren auf die Originalarbeit verwiesen werden muß. Endlich kann die Frostbeständigkeit durch gewisse strukturelle Gesteineigenschaften beeinträchtigt werden. So sind z. B. als mehr oder weniger frostunbeständig zu betrachten:

Geschichtete, dichte Kalksteine mit dünnen Tonzwischenlagen;

Dünngeschichtete Mergelkalke;

Dichte Kalksteine, welche bei der künstlichen Durchfärbung deutliche Schichteindrungen des Farbmittels aufweisen.

e) *Die chemische Untersuchung.*

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung hat die Untersuchung folgendes ergeben:

Der Gehalt an $(Ca, Mg)CO_3$ beträgt in den analysierten Vorkommnissen 50,79 bis nahezu 100 Proz. In den besten Kalksteinen schwankt dieser Gehalt zwischen 78,33 und 99,75 Proz., in den schlechtesten zwischen 56,14 und 99,16 Proz.; und während der Minimalgehalt von 50,79 Proz. sich an einem Gestein der Qualitätsklasse I—II findet, gehört der Kalkstein mit 100 Proz. $(Ca, Mg)CO_3$ der Qualitätsklasse III an. Wenn daher eine gesetzmäßige Abhängigkeit des Wetterbeständigkeitsgrades der Kalksteine von ihrem Gehalt an Karbonaten nicht unmittelbar hervortritt, so wäre es doch irrig, hieraus schließen zu wollen, daß die Reinheit der Kalksubstanz ohne Einfluß auf die Qualität des Materials sei. Wohl aber wird man diesen Einfluß nicht in dem Maße als vorherrschend betrachten dürfen, daß er nicht durch andere ungünstige Eigenschaften des Gesteins aufgehoben werden könnte. Ebenso wenig ist eine maßgebende Einwirkung des Magnesiumgehaltes auf die Qualität der Kalksteine erkennbar. Unter den Gesteinen der Qualitätsklasse I finden sich solche, welche 0 bis 42,88 Proz. $MgCO_3$ enthalten und annähernd in denselben Grenzen, nämlich von 0 bis 43,91 Proz., schwankt dieser Bestandteil in den Gesteinen der Klasse VI.

Scheidet man aber aus der betreffenden Zusammenstellung diejenigen Kalksteine aus, welche vermöge ihrer Porositätsverhältnisse der Frostwirkung unterliegen oder infolge eines beträchtlichen Gehalts an Eisenkies bzw. an organischen Bestandteilen wetterunbeständig sind, so ergibt sich, daß von den übrig bleibenden Gesteinen, die reinen

Kalksteine einen sehr erheblich größeren Bruchteil an wetterfesten Materialien liefern als diejenigen, welche einen beträchtlichen Gehalt an Nebenbestandteilen, insbesondere an Ton und Sand, enthalten. Ein wesentlicher Einfluß des Magnesiumgehaltes läßt sich aber auch bei einer derartigen Vergleichung nicht feststellen, und während die dolomitischen Kalke in geologischen Zeiträumen wesentlich andere Verwitterungserscheinungen als die reinen Kalksteine aufweisen, tritt ein solcher Unterschied innerhalb der für Bauwerke in Betracht kommenden Zeitabschnitte nicht hervor.

Der Tongehalt zeigt für die einzelnen Qualitätsklassen ähnlich unregelmäßige Schwankungen wie alle übrigen Nebenbestandteile der Kalksteine. Er beträgt z. B. für die untersuchten Gesteine der Klasse I 0 bis 7,62 Proz., der Klasse III 0,03 bis 19,27 Proz., der Klasse VI 0 bis 0,48 Proz. Scheidet man die frostunbeständigen aus der Zusammenstellung aus, so ergibt sich zwar ein beträchtlich höherer Prozentsatz wetterbeständiger Steine unter den tonarmen als unter den tonreichen Materialien, aber es kommen auch erstklassige Gesteine mit einem Gehalt von über 7 Proz. Al_2O_3 vor.

Eine Erklärung für diese auffällige Erscheinung liefert die mikroskopische Untersuchung der Kalksteine. Danach treten tonige Substanzen teils als feinpulverige Einlagerungen inmitten der Kalkkörnchen auf, teils als Bestandteile der Kornbindungsmasse. Im ersteren Falle kann bei unmittelbarer Kornverwachsung ein Tongehalt bis 8 Proz. noch bei vollkommen wetterfesten Materialien vorkommen, während ein solcher Gehalt in der Kornbindungsmasse die Qualität des Gesteins sehr erheblich beeinträchtigt. Aber auch bei Kalksteinen der letzteren Art wird der ungünstige Einfluß eines noch größeren Tongehalts durch reichliche Silifizierung des Gesteins aufgehoben werden.

Der Gehalt an Quarzsand kann selbst bei bessern Kalksteinen bis auf etwa 37 Proz. steigen. Die ungünstige Wirkung dieses Nebenbestandteiles beruht lediglich darauf, daß durch denselben die Kontinuität der Bindung der Kalkkörnchen unterbrochen wird. Da aber Kalksandsteine mit 20 bis 30 Proz. kalkigem Bindemittel unter Umständen recht wetterbeständige Gesteine bilden, der Sandgehalt im Mörtel sogar 75 bis 80 Proz. beträgt, so wird ein mäßiger Gehalt an Quarzsand, insbesondere bei kristallinischer Ausbildung der Kalksubstanz, die Qualität des Gesteins nicht erheblich zu beeinträchtigen vermögen.

Die organischen Beimengungen sind teils bituminöser Natur, wie in den meisten rauchgrauen Kalken, teils bestehen sie aus kohligter Substanz. Ein größerer Bitumengehalt bewirkt durch Oxydation eine Auflockerung des Gesteinsgefüges, während kohlige Einsprengungen die hygroskopische Eigenschaft des Gesteins erhöhen und dadurch seine Frostbeständigkeit unter Umständen vermindern. Wie bei tonigen Einlagerungen ist auch hier der schädliche Einfluß am geringsten, wenn bei unmittelbarer Kornbindung des Gesteins, die organischen Bestandteile von den Kalkspatkörnchen vollkommen umschlossen werden, während ein reichlicher Gehalt an bituminöser oder kohligter Substanz im Bindemittel oder als Einlagerung zwischen den Kalkkörnern stets in sehr ungünstiger Weise auf die Wetterbeständigkeit des Gesteins einwirkt. Bei Kalksteinen der ersteren Art kann der Kohlenstoffgehalt ohne erhebliche Beeinträchtigung der Gesteinsqualität bis auf 3 Proz. steigen, während selbst ein geringerer Gehalt innerhalb der Zwischenmasse die Beständigkeit des Materials erheblich zu verringern vermag. Durch eine mehr oder weniger starke Silifizierung des Gesteins kann auch der schädliche Einfluß der bituminösen und kohligten Beimengungen gänzlich aufgehoben bzw. beträchtlich verringert werden.

Ein Gehalt an Eisenkies bzw. Markasit wirkt am schädlichsten bei sehr feiner gleichmäßiger Verteilung. In gewissen Lagen des Rüdersdorfer Schaumkalks beträgt der Gehalt an FeS_2 nur 0,1 Proz.; trotzdem wird dadurch das Gestein gleichmäßig blaugrau gefärbt, welche Farbe an der Luft alsbald in ein helles Ockergelb umgewandelt wird. Bei einer solchen Verteilung vermag schon ein Gehalt von 0,2 Proz. FeS_2 sehr ungünstig auf die Beständigkeit des Gesteins einzuwirken, zumal wenn dasselbe einen namhaften Tongehalt besitzt und infolgedessen stark wasseraufsaugend wirkt.

Ist dagegen der Eisenkies in körniger Form im Gestein eingesprengt, so bedarf es einer wesentlich größeren Menge dieses Bestandteiles, um eine namhafte Verwitterung hervorzurufen. Eine starke Silifizierung vermindert in allen Fällen auch die schädliche Wirkung des Eisenkiesgehalts.

4. Dachschiefer.

a) Mikrostruktur.

Die mikroskopische Untersuchung der Dachschiefer, welche am zweckmäßigsten an Dünnschliffen senkrecht zur Schichtung auszuführen ist, läßt erkennen, daß die Struktur-

unterschiede der Schiefer im wesentlichen durch die Ausbildung der Glimmerlagen bedingt wird. Der Glimmer selbst tritt entweder in dickblättrigen Lamellen von dunkler Farbe mit den optischen Eigenschaften des Magnesiaglimmers auf, oder er erscheint schwach gelblich gefärbt bis wasserhell und bildet dann stets feinschuppige Aggregate bzw. stark streifige (feinblättrige) Lamellen. Die schuppigen Aggregate erinnern an den eisenfreien Magnesiaglimmer (Phlogopit), die streifigen Lamellen an den Serizit. Überdies kommen aber nicht selten auch chloritische Abänderungen vor. Teils erscheint der Glimmer gleichmäßig gefärbt, teils schwarz gefleckt bis vollkommen undurch-

nicht in dem Maße ausgesetzt sein, wie dies bei stark mit Wasser durchtränkten Schiefnern der Fall ist.

Ist der Glimmer weniger reichlich vertreten, so bildet er diskontinuierliche Lagen (Fig. 122—124) oder völlig getrennte, kleinere Lamellen (Fig. 125—128), wie das im allgemeinen für die schlechteren Schiefer zutreffend ist. Alsdann vermag das Wasser reichlich von der Schichtungsfläche her einzudringen, so daß eine vermehrte auflösende Wirkung, eine stärkere Zersetzung des etwaigen Eisenkieses bzw. erhöhte Frostwirkung stattfindet. Diejenigen Schiefer, welche schuppig zerteilten Glimmer enthalten, zeigen selbst bei kontinuierlicher Ausbildung der Glimmerschichten

Texturtypen der Glimmerlagen.

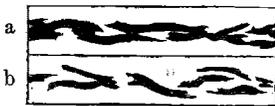


Fig. 112.
Durchsichtige Glimmerlamellen.
a Vollkommen, b unvollkommen
zusammenhängend.



Fig. 113.
Durchsichtige, stellenweise schwarz
gefleckte Glimmerlamellen.
a Vollkommen, b unvollkommen
zusammenhängend.

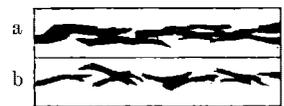


Fig. 114.
Undurchsichtige,
schwarze Glimmerlamellen.
a Vollkommen, b unvollkommen
zusammenhängend.



Fig. 115.
Durchsichtige, schuppige Aggregate.
a Vollkommen, b unvollkommen
zusammenhängend.

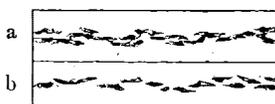


Fig. 116.
Durchsichtige, stellenweise schwarz
gefleckte, schuppige Aggregate.
a Vollkommen, b unvollkommen
zusammenhängend.

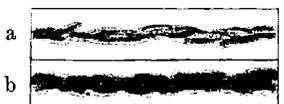


Fig. 117.
a Schwach kohlige, undurchsichtige
Streifen oder Lamellen.
b Sehr stark kohlige, undurchsichtige
Streifen oder Lamellen.

sichtig (s. Fig. 112—114). Diese Erscheinung kann sowohl durch Magneteisen als auch durch kohlige Substanzen bewirkt werden. In letzterem Falle sind die schwarzen Flecke nicht scharf begrenzt, sondern zeigen verschwommene Umrisse, und das gleiche gilt für die Gesamtumgrenzung der Glimmerlamellen, wenn dieselben sehr reichlich mit Kohle imprägniert sind (s. Fig. 117).

Tritt der Glimmer in kontinuierlichen Lagen auf, wie das bei den guten Schiefnern meistens der Fall ist (Fig. 118—121), so verhindert er das Eindringen des Wassers von der Schichtenfläche her; er schützt in diesem Falle nicht nur die zwischen den Glimmerschichten eingelagerten übrigen Bestandteile vor der auflösenden, erweichenden und zersetzenden Wirkung des Wassers, sondern es werden die im Innern nur schwach durchfeuchteten Schiefer auch der Frostwirkung

eine vermehrte Wasseraufsaugung und dadurch stärkere Zersetzungserscheinungen; sie gehören somit meistens zu den minderwertigen Schiefnern.

Aber noch ein anderer Unterschied macht sich in der Ausbildung der Glimmerlagen bemerkbar. Teils nämlich zeigen dieselben eine ausgezeichnet parallelfächige Anordnung (Fig. 121), teils sind sie mehr oder weniger flasrig, so daß der Glimmer die übrigen Schieferbestandteile linsenförmig umhüllt, und es wird dadurch zugleich in kurzen Abständen ein inniger Zusammenhang der einzelnen Glimmerlagen bewirkt (s. Fig. 118).

Im ersteren Falle vermag das seitlich vom Rande der Dachschieferplatte her eindringende Wasser sich durch Kapillarwirkung vollständig frei zwischen den Glimmerlagen zu verteilen, und solche Schiefer blättern durch Frostwirkung sehr leicht auf. Bei

Strukturtypen der Dachschiefer.

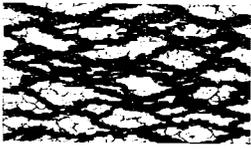


Fig. 118.

1. Vollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, sehr vollkommen miteinander verbunden.

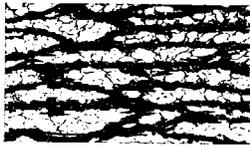


Fig. 119.

2. Vollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, ziemlich vollkommen miteinander verbunden.

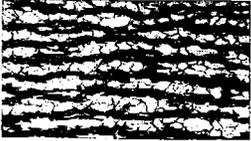


Fig. 120.

3. Vollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, unvollkommen miteinander verbunden.



Fig. 121.

4. Vollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, völlig voneinander getrennt.



Fig. 122.

5. Unvollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, ziemlich vollkommen miteinander verbunden.



Fig. 123.

6. Unvollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, unvollkommen miteinander verbunden.



Fig. 124.

7. Unvollkommen kontinuierliche Glimmerlagen, völlig voneinander getrennt.



Fig. 125.

8. Diskontinuierliche Glimmerlagen, unvollkommen miteinander verbunden.



Fig. 126.

9. Diskontinuierliche Glimmerlagen, völlig voneinander getrennt.

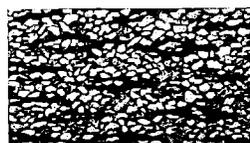


Fig. 127.

10. Isolierte, fasrige Glimmerschmitzen.



Fig. 128.

11. Isolierte Glimmerschmitzen.

fasriger Struktur dagegen wird ein seitliches Eindringen des Wassers nur in sehr geringem Maße stattfinden können, und da die kontinuierlichen, hier meist stark entwickelten Glimmerlagen auch ein Eindringen von der Schichtenfläche her verhindern, so ist eine namhaftere Frostwirkung ausgeschlossen. Wenn solche fasrigen Schiefer nach Jahrhunderten schließlich verwittern, so zeigen sie auch nur geringe schichtenförmige Ablätterung, häufig aber nur schuppige Ablösungen. Die glimmerreichen Schiefer mit fasriger Struktur gehören daher zu den besten Materialien, vorausgesetzt, daß der Glimmer in homogenen Lagen auftritt und nicht in jenen lockeren, schuppigen Aggregaten, wie sie oben erwähnt wurden.

Aber auch glimmerarme Schiefer können ziemlich haltbar sein, wenn sie stark silifiziert sind. Dadurch erlangt insbesondere die Tonsubstanz einen großen Härtegrad und eine dementsprechende Widerstandsfähigkeit gegen die erweichende Wirkung des Wassers.

Eine besondere Kategorie bilden die stark kohligen Schiefer.

In gewissen Fällen ist die kohlige Substanz lediglich den Glimmerschichten eingelagert, und es erscheinen nur diese unter dem Mikroskop intensiv schwarz und undurchsichtig mit eigentümlich verwaschenen Rändern (s. Fig. 117), während die übrigen Gemengteile vollkommen durchsichtig bleiben. Andererseits kann aber die kohlige Substanz auch gleichmäßig oder in einzelnen regellos zerstreuten Flecken in der ganzen Schiefermasse verteilt sein.

Alle stark kohligen Abänderungen gehören zu den schlechtesten Sorten, da die Kohle den Schiefer hygroskopisch und insbesondere die Glimmerschichten durchlässig macht, so daß sie die Zwischensubstanz vor der Einwirkung des Wassers nicht mehr genügend zu schützen vermögen. Wie bereits hervorgehoben wurde, können die schwarzen Einlagerungen auch aus Magnet Eisen bestehen, welches Mineral frei von den ungünstigen Eigenschaften der kohligen Beimengungen ist. Da beide Substanzen wie der häufig eingemengte Eisenkies gleich undurchsichtig sind, so kommt es darauf an, diese drei Bestandteile des Schiefers auch in solchen Fällen mit Sicherheit unter dem Mikroskop zu unterscheiden, in denen ihre morphologische Ausbildung hierzu nicht genügt.

Am einfachsten geschieht dies durch Untersuchung der Dünnschliffe bei Oberflächenbeleuchtung, und zwar eignet sich hierzu besonders die Beobachtung bei Lampenlicht¹⁾.

¹⁾ Die hierzu vom Verf. angegebene Vorrichtung s. Zentralbl. für Min. u. Geologie 1904, S. 626.

Die kohligen Einlagerungen erscheinen alsdann intensiv schwarz; das Magneteisen zeigt eine hellgraue Reflexfarbe bei metallischem Glanz, während der Eisenkies an seinem lebhaften Goldglanz zu erkennen ist. Übrigens liefert diese Methode auch für die Unterscheidung der anderen Gesteinsbestandteile, wie z. B. von Quarz und Feldspat, sehr markante Merkmale. Der Quarz erscheint im reflektierten Licht wasserhell, der Feldspat, je nach seinem Zersetzungsgrad, mehr oder weniger trübe.

b) *Kornbindungsfestigkeit und Erweichungsfähigkeit in Wasser.*

Die Methode zur Bestimmung der Kornbindungsfestigkeit, wie sie für Sandstein und Kalkstein zweckdienlich erschien, ist für die Untersuchung des Dachschiefers aus folgenden Gründen nicht verwendbar. Zerrißt man die Probestücke in Richtung der Schieferungsebene; dann erhält man einen derartig ausgezackten Bruch, daß die Zerreißungsfläche nicht meßbar ist; werden dagegen die Probestücke rechtwinklig zur Schieferungsebene geschnitten, damit die Zerreißung nach dieser erfolgt, dann wird durch die Prüfung im wesentlichen der Zusammenhang der Schichtlagen, nicht aber die Bindungsfestigkeit der körnigen Bestandteile bestimmt.

Da jedoch die Kornbindung vorzugsweise durch die tonige bzw. kalkige Zwischenmasse vermittelt wird, und diese eine um so größere Festigkeit und zugleich Härte erlangt, je stärker sie silifiziert ist, so liefert in diesem Falle die Härteprüfung einen willkommenen Ersatz für die Zugfestigkeitsbestimmung.

Zur Ausführung dieser Untersuchung bedient man sich des hierfür konstruierten Sklerometers und bestimmt an den bei 60° C. getrockneten Schieferrn das Belastungsgewicht, bei welchem ein deutliches Eindringen der Spitze mit der Lupe zu beobachten ist. In gleicher Weise wird die Erweichbarkeit der Schiefer nach 2wöchiger Wasserlagerung festgestellt und der Erweichungskoeffizient η durch den Quotienten $\frac{h_w}{h_t}$ ausgedrückt, in welchem h_t die Härte der trockenen, h_w die der wassergelagerten Probe bedeutet.

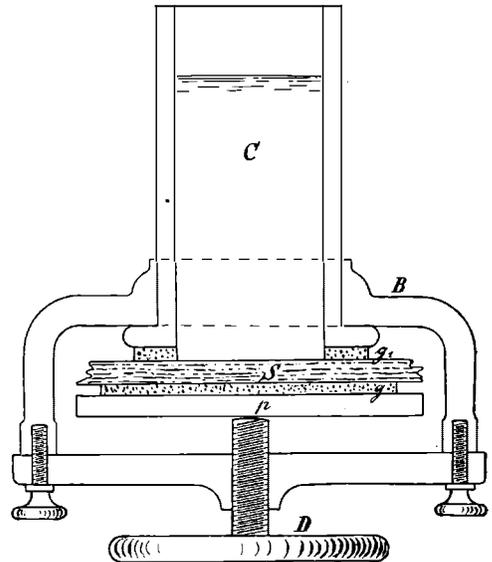
Bei den hier untersuchten Dachschieferrn schwankt η zwischen 1 und 0,17.

c) *Porosität und Wasseraufsaugungsfähigkeit.*

Die Feststellung der Porosität und Wasseraufsaugung des Dachschiefers geschieht nach dem im allgemeinen hierfür üblichen Verfahren. Um aber zu untersuchen, in welchem Grade die Dichtigkeit der Glimmerlagen bzw. die der übrigen Schieferbestandteile die Platten

vor dem Eindringen des Wassers von der Oberfläche her zu schützen vermag, ist folgende Methode zur Anwendung gelangt:

Ein annähernd quadratisches Schieferstück von ca. 9 cm Kantenlänge und der gewöhnlichen Plattenstärke wird bei 60° C. getrocknet und genau ausgewogen. Alsdann spannt man dasselbe in den Fig. 129 abgebildeten Apparat ein, füllt den Zylinder mit Wasser und bedeckt das Ganze mit einer Glasglocke, um das Verdunsten des in den Schiefer eingedrungenen Wassers tunlichst einzuschränken.



S Schieferstück, C Zylinder mit Wasser,
B Messingbügel, p Messingplatte, D Druckschraube
g Gummiplatte, g₁ Gummiring.

Fig. 129.

Apparat zur Bestimmung der Wasseraufsaugungsfähigkeit.

Nach 24 Stunden wird das Wasser aus dem Zylinder entfernt, die aus dem Apparat genommene Schieferplatte oberflächlich gut abgetrocknet und wiederum gewogen. Das durch die Differenz beider Wägungen festgestellte Gewicht des eingedrungenen Wassers wird auf 1 qcm Aufsaugungsfläche reduziert und, in Gramm ausgedrückt, als Flächenaufsaugungskoeffizient mit W_a bezeichnet.

Bei den hier untersuchten Schieferrn schwankt der Wert von W_a zwischen 0,027 und 1,376. Er beträgt für die besten Schiefer mit kontinuierlichen Glimmerlagen 0,027 bis 0,12, für Schiefer mit unvollkommen zusammenhängenden Glimmerlagen 0,35 bis 0,62 und für ganz schlechte Schiefer mit getrennten Glimmerlamellen 0,84 bis 1,376.

d) *Prüfung durch Erhitzen.*

Die Erfahrung, daß manche Schiefer wie unter der Einwirkung des Frostes, so auch

durch Sonnenbestrahlung zerspringen, andere wiederum aus gleicher Ursache eine feine Abschilferung erfahren, veranlaßte dazu, das Verhalten der Schiefer bei höherer Temperatur (ca. 200° C.) zu untersuchen. Es ergab sich hierbei, daß die besseren Schiefersorten keinerlei wahrnehmbare strukturelle Veränderungen erleiden, während viele der schlechteren Sorten eine mehr oder weniger beträchtliche Abblätterung zeigten. Die letztere Erscheinung läßt sich in folgender Weise erklären. Fast alle Schiefer erleiden beim Erhitzen eine Farbenänderung, sie werden mehr oder weniger stark rot gefärbt, und zwar durch Umänderung der Eisenoxydulverbindungen bzw. des Eisenbisulfids in Eisenoxyd. Überdies bleichen die kohligen Schiefer aus, so daß die ursprünglich dunkelgraue bis schwarze Farbe in grau oder rötlichgrau übergeht, während die durch Magneteisen schwarz gefärbten Abänderungen entweder unverändert bleiben oder rötlichbraunschwarz erscheinen. Die hierbei stattfindenden Umwandlungen entsprechen in ihrer Wirkung den Veränderungen, welche die Schiefer im Laufe der Zeit durch den oxydierenden Einfluß der Atmosphärien erleiden. In beiden Fällen wird durch die Zersetzung der eisenhaltigen und kohligen Bestandteile, welche zwischen den Glimmerlamellen eingelagert sind, der Zusammenhang der letzteren gelockert, bis dann durch die Wärmewirkung die Abblätterung erfolgt.

Eine Lockerung des Gefüges wird aber auch lediglich dadurch hervorgerufen werden können, daß die Glimmerlagen eine verschiedene Ausdehnung parallel und rechtwinklig zur Spaltungsrichtung erfahren, und zwar sowohl infolge ungleicher Ausdehnung durch vielfach sich wiederholende Sonnenbestrahlung als auch durch einmalige starke Erhitzung. In gleicher Weise wird ein Zerspringen der Schiefertafeln eintreten können, wenn die Strukturverhältnisse innerhalb derselben von sehr ungleicher Art sind.

Es läßt sich annehmen, daß solche Schiefer, welche selbst bei starkem Erhitzen und trotz der chemischen Veränderung der eisenhaltigen und kohligen Bestandteile keine Abblätterungen erfahren und durch Wärmewirkung nicht zerspringen, dieses Verhalten auch unter dem Einfluß der Atmosphärien und der wechselnden Sonnenbestrahlung bewahren werden, während man aus der bei starker Erhitzung auftretenden Abblätterung bzw. Zerspaltung der Platte nicht mit Sicherheit auf dasselbe Verhalten des Materials unter der ungleich geringfügigeren, wenn auch sehr häufig wiederholten Wirkung der Atmosphärien schließen darf, wieweil die bis-

her ausgeführten Versuche auch diese Schlußfolgerung zu rechtfertigen scheinen.

e) *Resultate der chemischen Analyse.*

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen: Nach ihrer chemischen Zusammensetzung zerfallen die Dachschiefer in drei Gruppen:

1. kalkreiche Schiefer (Kalktonschiefer) mit einem Gehalt von 15 bis 25 Proz. CaCO_3 . Dieselben bilden etwa 14 Proz. der hier zur Untersuchung eingesandten Proben;
2. kalkhaltige Schiefer mit einem Gehalt von 5 bis 10 Proz. CaCO_3 . Dazu gehören ca. 28 Proz.;
3. kalkfreie bis kalkarme Schiefer mit einem Gehalt von 0 bis 4 Proz. CaCO_3 . Hierher rechnen ca. 58 Proz.

Es ist eine viel verbreitete Ansicht, daß ein größerer Kalkgehalt die Schiefer leicht verwitterbar macht, und daß man die schlechten Schiefer an ihrer stärkeren Zersetzbarkeit durch Salzsäure zu erkennen vermag. Diese Annahme erweist sich aber in ihrer Allgemeinheit als irrtümlich. Nicht nur, daß bei den hier zur Untersuchung gelangten Proben die guten Schiefer meistens kalkreicher sind als die schlechten, zeigen gerade die vorzüglichsten unter den heimischen Vorkommnissen, nämlich die Schiefer von Nordenau bei Arnsberg und einiger anderer Brüche des Sauerlandes, deren Material noch heute die Bedeckung von 500 bis 600 Jahre alten Dächern bildet, den Maximalgehalt an kohlensaurem Kalk (14 bis 25 Proz.). Insofern hat jedoch die erwähnte Ansicht eine Berechtigung, als unter den Schiefen mit hohem Eisenkieisgehalt die kalkreicheren als die schlechteren zu betrachten sind. Überdies erfordern die kalkreichen Schiefer eine stärkere Silifizierung oder einen hohen Gehalt an Glimmer in kontinuierlichen Lagen, um den kalkfreien an Beständigkeit gleichzukommen.

Im Durchschnitt enthalten die Tonschiefer ca. 13 bis 26 Proz. Aluminiumoxyd , während nur 2 bis 9 Proz. in Salzsäure gelöst werden. Der Gehalt an Kieselsäure schwankt zwischen 36 und 64 Proz.; der Gehalt an Eisenoxyd bzw. -oxydul zwischen 1 und 9 Proz. Alkalien in Höhe von ca. 0,5 bis 6 Proz. finden sich nur in dem durch Salzsäure nicht zersetzbaren Rückstand.

Der Gehalt an Eisenkieis schwankt von 0,05 bis 3,8 Proz.; der Gehalt an Kohlenstoff zwischen 0 und 1 Proz.

Um nun die Beziehungen zu erörtern, welche zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Wetterbeständigkeit der Schiefer bestehen, erscheint es zweckmäßig,

die klastischen Mineralgemengteile und die sogen. authigenen Bestandteile, die sich im Schiefer selbst gebildet haben bzw. durch Zersetzung darin entstanden sind, gesondert zu betrachten.

Zu den klastischen Bestandteilen gehören: der größte Teil des Quarzes, der tonigen Substanz und des Glimmers. Authigen sind der Kalk, insoweit er in Form von Kalkspat vorhanden ist, derjenige Teil des Quarzes, der als Infiltrationsmasse auftritt; ferner der Eisenkies, die zahlreich vorkommenden Rutil-Nädelchen und die kohligen Substanzen, welche aus der Zersetzung der eingeschlossenen organischen Reste entstanden sind.

In ihrem Gewichtsverhältnis treten die authigenen Bestandteile gegenüber den klastischen Gemengteilen — abgesehen von dem Kalk- und authigenen Kieselgehalt — außerordentlich zurück, so daß also das analytische Resultat im großen und ganzen der Zusammensetzung der klastischen Gemengteile entspricht.

Vergleicht man nun die verschiedenen Qualitätsklassen der Schiefer mit der chemischen Zusammensetzung der wesentlichen Gemengteile, so sind irgend welche konstante Beziehungen zwischen der Verwitterungsfähigkeit und dem chemischen Bestand nicht aufzufinden.

Folgende kurze Übersicht mag dies erhärten:

Bei den besten Schiefen, also denen der Klasse IA bis I, schwankt der Gehalt an Kieselsäure von 36 bis 64 Proz.; bei den schlechtesten, Klasse VI bis VII, von 47 bis 59 Proz.; der Tonerdegehalt beträgt bei Klasse I: 12 bis 22 Proz.; bei Klasse VI: 15 bis 26 Proz.; der Magnesiagehalt bei Klasse I: 1,30 bis 5,47 Proz.; bei Klasse VI: 1,07 bis 4,7 Proz.; der Alkaligehalt bei Klasse I: 0,53 bis 5,32 Proz.; bei Klasse VI: 3,26 bis 5,98 Proz.; der Gehalt an kohlen-saurem Kalk bei Klasse I: 2,3 bis 25 Proz.; bei Klasse VI: 2,1 bis 14,8 Proz. Endlich beträgt der in Salzsäure unlösliche Rückstand bei Klasse I: 52 bis 82 Proz.; bei Klasse VI: 64 bis 79 Proz.

Wenn in diesen Resultaten keinerlei Gesetzmäßigkeit zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Qualität der Schiefer hervortritt, so ist der Grund auch hier lediglich in der Unzulänglichkeit der Untersuchungsmethode zu suchen.

Es braucht z. B. nur an den tonigen Bestandteil erinnert zu werden, der infolge seiner leichten Erweichbarkeit in Wasser die vom Regen durchfeuchteten Schiefer nicht nur an und für sich mürbe werden läßt, sondern auch der Einwirkung des Frostes in

erhöhtem Maße zugänglich macht, um zu erkennen, daß die tonigen Beimengungen zu den durchaus ungünstigsten Bestandteilen gehören müssen. Wenn trotzdem der Tonerdegehalt durchschnittlich bei den guten Schiefen ebenso hoch ist wie bei den schlechten, so ist dies zunächst darauf zurückzuführen, daß der analytisch bestimmte Gehalt an Al_2O_3 nicht nur der tonigen Substanz, sondern auch anderen Gemengteilen, wie namentlich dem Glimmer, entstammt. Die besseren Schiefer sind aber im allgemeinen die glimmerreicheren, und da eine chemische Trennung des aus der Zersetzung des Glimmers stammenden Aluminiumoxyds von dem der Tonsubstanz nicht möglich ist, so erklärt sich hieraus der hohe Tonerdegehalt der besseren Schiefer.

Hierzu kommt jedoch noch der Umstand, daß die Tonsubstanz ihre für die Haltbarkeit der Gesteine ungünstige Eigenschaft, unter Aufnahme von reichlichem Wasser zu erweichen und demnächst bei Einwirkung des Frostes zu zerfriren, bei starker Silifizierung verliert.

Gerade bei den Schiefen finden sich aber Kieselinfiltrationen außerordentlich häufig, und zwar bekanntlich z. T. in dem Maße, daß die Tonschiefer in förmliche Kiesel-schiefer umgewandelt werden. So wird es erklärlich, daß stark silifizierte, tonreiche Schiefersich wetterbeständigerweisen, während andere, mit beträchtlich geringerem Tongehalt, die aber der Silifizierung entbehren, zu den schlechteren, leicht erweichbaren Schiefen gehören.

Aber auch der Silifizierungsgrad gelangt in dem analytischen Resultat nicht zum Ausdruck, weil die den Schiefen infiltrierte authigene Kieselsäure von der des klastischen Quarzes chemisch nicht zu trennen ist. Behufs Feststellung aller dieser Verhältnisse, die für die Beurteilung des Gesteins von hervorragender Bedeutung sind, ist man deshalb auf andere Methoden, insbesondere auf die mikroskopische Untersuchung, angewiesen, die auch hier durchaus befriedigende Resultate liefert.

Bestimmter tritt dagegen die Abhängigkeit der Verwitterbarkeit der Schiefer von dem analytischen Befund an authigenen Gemengteilen hervor.

In Betracht kommen hierbei namentlich Eisenkies und die kohligen Beimengungen.

Der Gehalt an Eisenkies, der in allen Schiefen mehr oder weniger reichlich auftritt, und zwar teils in sehr feiner gleichmäßiger Verteilung, teils in Körnchen und größeren linsenförmigen Konkretionen, beträgt, wie bereits erwähnt, 0,05 bis 3,8 Proz.

Bei guten Schiefen schwankt dieser Gehalt zwischen 0,04 und 1 Proz., bei schlechten dagegen von 0,4 bis 3,8 Proz.

Dabei ist jedoch zu bemerken, daß ein Eisenkiesgehalt von 0,5 bis 1 Proz. nur dann ohne erheblich ungünstigen Einfluß bleibt, wenn die Schiefer keinen größeren Gehalt an kohlenurem Kalk besitzen oder bei namhaftem Kalkgehalt stark silifiziert sind. Die kalkreichen und dabei nur schwach silifizierten Schiefer der Qualität I haben sämtlich einen Eisenkiesgehalt unter 0,4 Proz.

Wie der Eisenkies, so gehören auch die kohligen Substanzen, wie bereits bemerkt, zu den ungünstigsten Bestandteilen der Schiefer, und zwar namentlich wegen der stark hygroskopischen Eigenschaft, die sie dem Material verleihen. Der Gehalt an Kohlenstoff schwankt zwischen 0,1 und 1 Proz. Bei guten Schiefen geht er nicht über 0,3 Proz. hinaus, doch vermag auch hier eine beträchtliche Silifizierung die ungünstige Einwirkung eines höheren Gehaltes an diesem Bestandteil aufzuheben.

Im allgemeinen bestätigt die Untersuchung der Schiefer die allgemeine Erfahrung,* daß die Qualität des Gesteins nicht nach einzelnen,

als günstig oder ungünstig erachteten Bestandteilen bestimmt werden darf.

Denn es können solche Bestandteile, welche bei gewisser Gesteinsausbildung höchst ungünstig wirken, in anderen Fällen so vollständig durch die Gegenwart gewisser Bestandteile neutralisiert werden, daß sie für die Beurteilung der Qualität des Gesteins zum Teil oder auch vollständig außer Betracht fallen.

f) Die Frostprüfung.

Die Prüfung der Schiefer auf ihre Frostbeständigkeit geschieht nach den allgemeinen Vorschriften, durch Feststellung ihres Sättigungs- und Erweichungskoeffizienten. Zufolge der schichtenförmigen Verteilung des aufgenommenen Wassers und der dadurch erhöhten Frostwirkung ist jedoch der Grenzwert von S für frostbeständige Schiefer nach den bisherigen Erfahrungen auf 0,7 zu normieren. Bei sehr dichten Schiefen, deren Wasseraufsaugung weniger als 0,32 Gew.-Proz. beträgt, bedarf es noch einer weiteren Reduktion dieses Wertes, worüber in der Originalarbeit das Nähere angegeben ist.

[Schluß folgt.]

Referate.

Die Aufgaben der Bergwirtschaft im Rechts- und Kulturstaat. [M. Krahnmann: „Bergwirtschaftliche Zeitfragen“¹⁾ — Actualités de l'économie minérale; Problems of the mining economy —. Heft 1; Okt. 1908²⁾.]

Viele Leser dieser Zeitschrift, welche die bergwirtschaftlichen Bestrebungen des Herausgebers verfolgt haben, werden schon seit einiger Zeit eine zusammenhängende Darstellung erwartet haben. Im engeren Rahmen der praktischen Geologie und Lagerstättenkunde war aber eine vollständigere Erfassung dieses

nationalökonomischen und staatswissenschaftlichen Themas nicht möglich; es galt, sich hiermit an weitere, politisch interessierte Kreise zu wenden, und deshalb wählte ich hierfür einen neuen, weiteren Rahmen unter dem Titel „Bergwirtschaftliche Zeitfragen“, doch nicht als Zeitschrift, sondern als zwanglose Monographien-Reihe.

Das vorliegende erste Heft erörtert die Aufgaben der Bergwirtschaft im heutigen Rechts- und Kulturstaat und versucht, ausgehend von dem juristischen Begriff des „Verfügens“, zum ersten Mal ein System der Bergwirtschaft anzubahnen und zur Diskussion zu stellen.

Im Anschluß an die Ergebnisse einer hoffentlich recht lebhaften Debatte, welche z. T. in dieser Zeitschrift wiedergegeben werden wird, soll dann dieses System weiter ausgebaut werden.

Die Erörterungen im ersten Heft, die vorläufig ohne fachwissenschaftliche Anmerkungen, Belege und Beispiele in allgemein verständlicher Form geboten werden, schließen S. 31 mit folgendem Resümee:

Bergwirtschaft ist Lagerstätten-Wirtschaft; wirtschaften heißt haushalten.

Das Haushalten mit Naturschätzen oder -kräften (den Objekten), das Verfügen darüber

¹⁾ Herausgegeben und verlegt von M. Krahnmann. Bureau für praktische Geologie, Verlagsabteilung. Berlin NW 23, Händelstraße 6. — Die „Bergwirtschaftlichen Zeitfragen“ erscheinen in einzelnen, der Zeit und dem Umfange nach zwanglosen Heften.

²⁾ 46 S. mit französischem und englischem Resümee. Pr. 2 M. Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Herausgeber und Verleger. — Vollständige Übersetzungen bleiben vorbehalten; bezüglich der französischen und englischen Nomenklatur im Inhaltsverzeichnis, im Resümee und im Nachwort bittet der Herausgeber dringend um Richtigstellungen, damit bald eine internationale Verständigung über die Terminologie dieser Disziplin erzielt wird.