

schaftliche Erderforschung in Göttingen, mit Untersuchungsarbeiten in unserm Bezirke beauftragt würde. Darum erlaube ich mir schließlich noch an Sie die Frage zu richten, wie hoch sich ungefähr die Kosten für die besprochenen Untersuchungsarbeiten stellen würden unter Berücksichtigung der Zeit, die sie in Anspruch nehmen?

Dr. Ambronn: Die Kosten einer Untersuchung richten sich nach dem Aufwande an Zeit für die Messungsarbeiten im Gelände, wofür zurzeit pro Physiker 500 M. im Tage angesetzt werden. In den Fällen, wo ein besonders großer Materialverbrauch eintritt an Draht, photographischem Registrierpapier oder dergleichen tritt bei Übernahme der ganzen Untersuchung ein Fixum für derartige einmalige Aufwendungen dazu. Dagegen werden die Vorbereitungen für die Untersuchung, die meist recht umfangreiche rechnerische und graphische Auswertung der Messungen und die Ausarbeitung des zusammenfassenden Gutachtens, wenn damit nicht ganz besondere einmalige Aufwendungen verbunden sind, in den obengenannten Tagessatz für die Arbeiten im Felde an Ort und Stelle bereits mit einbegriffen und bleiben auf die Kostenberechnung ohne Einfluß.

Bei Frage 1 und 3 sind die Aufgaben nicht räumlich begrenzt, weshalb man die Dauer und damit die Kosten nicht abschätzen kann. Die in Frage 2 angedeutete Untersuchung würde etwa 10000 bis 12000 M. kosten.

Berghauptmann Scharf: Im Namen des Halleschen Verbandes danke ich Ihnen, Herr Dr. Ambronn, für Ihren fesselnden Vortrag und die wertvollen, den hiesigen Bergbau berührenden Auskünfte, die Sie uns in liebenswürdiger Weise noch gegeben haben. Vielleicht ist die Anregung am Platze, hier in Halle eine Zweiganstalt der Göttinger Gesellschaft zu errichten, denn Sie sehen, daß eine ganze Anzahl bergtechnisch wichtiger Fragen zu bearbeiten sind.

Braunkohlenquarzite (Knollensteine) und ihre technische Verwendung.

Von Dr. C. Gäbert, Geologe, Naumburg a. S.

	Seite
Einleitung	49
Auftreten, äußerer Habitus	50
Petrographischer Charakter	50
Chemische Zusammensetzung	51
Verbreitungsgebiete	52
Charakteristische geologische Profile	52
Bildungsweise	54
Aufsuchung, Abbau	55
Technische Verwendung	56

Einleitung.

Wie fast alle Sedimentgesteine haben auch die tertiären Quarzite die Geologen und Petrographen bei weitem nicht in dem Maße zu Untersuchungen gereizt, wie die Eruptivgesteine. Es sind nur spärliche Spezialarbeiten darüber erschienen.¹⁾ Dafür sind verstreute Notizen über das Auftreten von Knollen-

1) Besonders bemerkenswert sind: A. Planck, Petrographische Studien über tertiäre Sandsteine und Quarzite, speziell über die Sandsteine von Münzenberg in der Wetterau, Diss. Gießen 1910, W. Schubel, Über Knollensteine und verwandte tertiäre Verkieselungen, Diss. Halle 1911, und F. Wernicke und E. Wildschrey, Die Untersuchung der Quarzite und die Feststellung ihrer Verwendbarkeit in der feuerfesten Industrie, besonders zur Herstellung von Dinassteinen. Tonindustriezeitung 1910.

steinen und Braunkohlenquarziten in der geologischen Literatur um so häufiger, namentlich in den Erläuterungen der geologischen Spezialkarten (so z. B. von den 153 Sektionen der sächs. geol. Spezialkarte in etwa 60 Erläuterungsheften) und in vielen Einzelarbeiten über mittel- und westdeutsche Tertiärgebiete (u. a. bereits in Zincken, Physiographie der Braunkohle, Hannover 1867) und neuerdings auch in der eisenhüttenmännischen Literatur, vornehmlich in der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ (s. u.).

Auftreten, äußerer Habitus.

Die tertiären Quarzite, auch Braunkohlen- oder Süßwasserquarzit genannt, sind (wie andere sedimentäre Gebilde der Braunkohlenformation) über sehr bedeutende Gebiete Mitteldeutschlands verbreitet, teils in Form zusammenhängender Bänke und Schollen, teils — und zwar bei weitem vorwiegend — in Gestalt einzelner Blöcke und Blockansammlungen (daher auch „Findlingsquarzit“), die bald in tertiäre, bald in diluviale Sedimente eingebettet, häufig auch mit erratischen Blöcken vergesellschaftet sind. Ihre primäre Lagerstätte sind, wie schon seit langem erkannt und wie an vielen Profilen ersichtlich ist (s. u.), tertiäre sandige Sedimente. Häufig sind sie auf ihrer ursprünglichen Lagerstätte bis auf mehr oder weniger große Trümmerreste der Denudation zum Opfer gefallen. Solche Denudationsreste sind, ebenso wie die verstreut liegenden, diluvial verschleppten Quarzite, meist von außergewöhnlicher Härte und Festigkeit, weil nur die widerstandsfähigsten, d. h. am intensivsten verkieselten Partien ehemaliger Quarzitlager, sozusagen die Quarzitkerne, übriggeblieben sind. Auf primärer, ungestörter Lagerstätte dagegen kann man alle Stadien vom spröden, muschelrig brechenden und unter dem Hammer klingenden Quarzit bis zum milden Sandstein, ja bis zum lockeren Sand beobachten. Jene der Denudation und der Verwitterung entgangenen harten Kerne von Quarziten stellen einen besonderen Typus der tertiären Quarzite, die sog. **Knollensteine** dar, die in vielen Gegenden einzeln verstreut, zuweilen aber auch in blockmeerartigen Ansammlungen auftreten und deren Größe von wenigen Zentimetern bis zu einem Kubikmeter und darüber schwankt. Meist weisen sie eine knollige, bucklig-wulstige oder wellige Oberfläche, auch zuweilen zapfenartige Auswüchse oder tiefe Löcher auf, in seltenen Fällen Wurzelröhren und Pflanzenstengel, wie auch Blattabdrücke. Dazu kommt, daß die freilagernden Blöcke fast immer eine eigenartig bräunliche, wie lackiert erscheinende Oberfläche darbieten: nach Joh. Walther eine Schutzrinde, die auf Winde und klimatische Einflüsse (wohl während der interglazialen Steppenzeiten) zurückzuführen ist und die hauptsächlich aus Kieselsäure und Eisenhydroxyd besteht.

Wegen dieses eigenartigen Habitus und der häufig bizarren Gestalt hat der Volksmund den Knollensteinen mancherlei Bezeichnung gegeben, so Kieselritten, Feuerwacken, Feldschlacken, Trappquarze, Teufelssteine u. a. m.

Petrographischer Charakter.

Was den petrographischen Habitus und besonders die Mikrostruktur der tertiären Quarzite betrifft, so hat A. Plank genauere Untersuchungen angestellt und eine Übersicht der verschiedenen Typen gegeben, auf die hiermit verwiesen sei (A. Plank, l. c. S. 7 ff.). Für den vorliegenden Zweck sei betont, daß die tertiären Quarzite, speziell die von Knollensteinenhabitus, soweit sie technisch verwendbar sind (d. h. hier: für die feuerfeste Industrie), aus winzigen Quarzkörnchen, -splitterchen und -kriställchen bestehen, die in ein kieseliges, dem bloßen Auge dicht erscheinendes Bindemittel, das sog. Basalzement, eingebettet sind, daher auch „Zementquarzite“ genannt. Die Quarzkörnchen und

-splitterchen können Pfefferkorngroße erreichen, z. B. in manchen nordsächsischen Quarziten, und das Gestein gleicht dann auf dem Querbruch einem äußerst feinen Beton, sie können aber auch so fein sein, daß das Gestein dem bloßen Auge hornsteinartig-dicht erscheint. Oft wechseln solche Strukturtypen auf kurzem Raume, ja im gleichen Gesteinsblock. Das Basalzement besteht teils wiederum aus allerfeinsten Quarzkörnchen, feinst kristallinem Chalcedon, teils auch — z. B. in einigen hessischen Quarziten — aus Opal. Hierzu kommen in den meisten Fällen die sog. akzessorischen Bestandteile, allerwinzigste, nur in Dünnschliffpräparaten unter dem Mikroskop sichtbar werdende Kriställchen und Nadelchen von Zirkon, Rutil, Apatit, manchmal auch Magnetit, Turmalin, dazu zahlreiche unbestimmbare Mikrolithen, Flüssigkeitseinschlüsse und staubförmige Interpositionen in den größeren Quarzen, endlich örtliche Trübungen des Basalzements durch Tonsubstanz, eingestreute Flöckchen von Brauneisen (Eisenhydroxyd) sowie Braunkohlestäubchen.

Das Basalzement kann sehr dürrig vertreten sein und nur eine spärliche Füllmasse zwischen den sich berührenden oder doch nahe beieinander liegenden Quarzkörnern und -kriställchen bilden, oder es kann stärker entwickelt sein, so daß die Quarzfragmente zum Teil frei in ihm liegen.

Chemische Zusammensetzung.

Was die chemische Zusammensetzung betrifft (siehe auch S. 56), so weisen Zementquarzite, die als technisch brauchbar gelten, durchschnittlich 96 bis 98 % Kieselsäure auf, der Rest besteht hauptsächlich aus Tonerde und Eisen; Kalk, Magnesia und Alkalien fehlen oder sind nur in Spuren nachweisbar.

Analysen von Zementquarziten:

	I	II	III		IV
SiO ₂	97,85	98,36	99,21	SiO ₂	94,16
Al ₂ O ₃	1,81	1,06	0,20	Al ₂ O ₃	3,74
Fe ₂ O ₃	0,38	0,36	0,05	Fe ₂ O ₃	0,88
Glühverlust	—	—	0,40	CaO	0,09
	100,04	99,78	99,86	MgO	0,04
				Glühverlust	0,87
					99,78

I und II Quarzit aus dem Westerwald, vgl. Endell, Über Silikaquarzite. „Stahl und Eisen“ 1913, Nr. 43 u. 45.

III Quarzit der Firma Friedr. Zachmann, Leipzig, aus deren Gruben in Pausitz bei Wurzen (Sa.).

IV Quarzit von Ransbach im Westerwald.

Von den weitverbreiteten Quarziten und Quarzitschiefern, die in den deutschen Mittelgebirgen ganze Lagerzüge bilden und in Felsen aufragen, „Fels-quarzite“, unterscheiden sich die Zementquarzite chemisch vielfach gar nicht, um so mehr aber äußerlich wie durch ihre Mikrostruktur, sofern erstere, z. B. die devonischen Taunusquarzite und erst recht die Quarzite der Gneisformation und kristallinen Schiefer, niemals Basalzement, sondern rein kristallines Gefüge (z. T. mit sekundären Kieselsäureanwachszone der Quarzkörnchen) aufweisen (daher auch „kristalline Quarzite“), bei dem die Quarzkörnchen unmittelbar eckig aneinandergrenzen oder gar, wie bei den kristallinen Schiefern, zackig ineinandergreifen, auch Glimmer (Serizit) als Begleitmineral häufig eine Rolle spielt.

Die tertiären Quarzite gehen lokal in Sandstein über (besonders in Westdeutschland), der sich unter dem Mikroskop durch den deutlich dedritischen Habitus der Sandkörnchen vom Quarzit unterscheidet. Es gibt hiernach viele

Grenzfälle, bei denen ein Gestein als Sandsteinquarzit, Quarzitsandstein oder — nach dem subjektiven Ermessen — bereits als Quarzit bezeichnet werden kann.

Die verschiedenartigsten Quarzite und Sandsteine können chemisch große Ähnlichkeit aufweisen, viel wichtiger für ihre technische Verwendung ist jedoch die Mikrostruktur, worauf S. 58 noch besonders hingewiesen ist.

Verbreitungsgebiete.

Wie eingangs bemerkt, sind die tertiären Quarzite (als Glieder der Braunkohlenformation) in Mittel- und Westdeutschland weit verbreitet, dennoch sind bauwürdige Lagerstätten technisch geeigneten Materials ziemlich spärlich. Die Hauptverbreitungsgebiete sind Nordsachsen¹⁾ (Wurzen, Pausitz, Zeititz, Altenbach, Schmölen, Ölschütz, Unter- und Oberritzschka, Pyrna, Burkhardts-hain, Neichen, Oschatz, Altoschatz, Kleinforst, Rosenthal, Zöschau, Mügeln, Lausick, Colditz, Grimma, Spechtshausen, Kamenz, Neustadt, Bautzen), Umgebung von Halle (Schkopau, Dransfeld, Oberclobikau, Großgräfendorf, Sennewitz, Trotha, Gröbers, Waldau bei Osterfeld u. a.), das östliche Thüringen, die Tertiärgebiete zwischen Magdeburg und Braunschweig, hier nur sporadisch (Calbe, Atzendorf, Königsutter), die Gegend von Cassel und Gießen (Meißner, Großalmerode, Habichtswald, Allendorf, Lollar, Daubringen, Treis, Mainzlar, Münzenberg, Climbach, Rockenberg, Oppershofen, Steinfurt westlich Butzbach, Nieder-Ofleiden und Homberg westlich Alsfeld, Wächtersbach bei Gelnhausen), der Westerwald (Herschbach zwischen Selters und Hachenburg, Marienrachdorf, Freirachdorf, Empel), das Siebengebirge (Rostinger Heide, Wintermühlenhof, Quegstein, Remscheid, Hühnerberg).

Während im Thüringen — Halle — Nordsächsischen Verbreitungsgebiet es sich fast ausschließlich um Quarzite von Knollensteincharakter handelt (also mit ausgesprochenem Basalzement), treten in Westdeutschland auch Quarzitsandsteine (s. o.) auf.

Charakteristische geologische Profile.

In Nordsachsen (Leipziger Bucht) wird wegen der Häufigkeit der Knollensteine an der Basis der oligozänen Braunkohlenformation dieser geologische Horizont die Knollensteinstufe genannt. Die Braunkohlenformation baut sich hier wie folgt auf:

Obere Stufe der Kiese, Sande und Tone,

Hauptbraunkohlenflöz,

Untere Stufe der Kiese, Sande und Tone = Knollensteinetage.

Die Hauptabbaugebiete sind 1. die Gegend von Wurzen, Schmölen, Ölschütz, Neichen, 2. Altoschatz, Rosenthal, Kleinforst. Die Quarzitlager treten meist dicht unter der Erdoberfläche, unter 1 bis 4 m Diluvium und sandigem oder tonigem Tertiär auf und bilden entweder bankartige Blockansammlungen oder feste, geschlossene Bänke von 1 bis 6 m Mächtigkeit, die steinbruchmäßig (mittels Bohren und Sprengen mit Dynamit) abgebaut werden. In Pausitz z. B. folgen unter der Ackerkrume 1 bis 2 m Geschiebelehm, alsdann bis 2 m fetter, grauer, hochfeuerfester Tertiärton (der lokal fehlt und durch eine Schicht weißen Sandes ersetzt wird), darunter die horizontal lagernden, grobklotzigen Quarzitbänke mit von grauweißem Sand erfüllten, vertikalen und horizontalen Klüften, die das Brechen sehr erleichtern. Mitunter schiebt sich zwischen den Quarzit

¹⁾ Einzelne Knollensteinfindlinge tauchen noch auf dem Kamm des westlichen Erzgebirges auf als letzte Reste ehemals hier vorhanden gewesener Tertiärablagerungen, wie denn überhaupt vereinzelt Quarzite und Knollensteine oftmals die letzten, zuweilen sehr wichtigen Anzeichen einer alten tertiären Landoberfläche sind.

und den auflagernden Sand oder Ton noch ein dünnes Braunkohlenflözchen ein. Unter den bis 4 m starken Quarzitbänken folgt hellgrauer Sand oder kaoliniger Ton. Der Quarzit ist stahlhart, hell bis dunkelgrau, splittrig bis muschelig brechend, örtlich ganz dicht, meist aber auf den Bruchflächen winzige, bis stecknadelkopfgroße, dunkelglänzende Quarzkörnchen zeigend. Einzelne Quarzitblöcke, namentlich aus der hangendsten Bank, zeigen bei größter Festigkeit eine schwärzliche Randzone, die auf infiltrierten Braunkohlenstaub zurückzuführen ist (s. S. 54). — Die Quarzitlager schwellen lokal an, verdünnen sich bis zur Unbauwürdigkeit oder lösen sich randlich in Blöcke auf. Sie bilden flache Schilde oder Linsen von wenigen Quadratmetern bis Hektargröße, in seltenen Fällen von noch größerer Ausdehnung.

Bei Bad Lausick (Wüstungsstein) sind unter dem bis 10 m mächtigen Braunkohlenflöz 0,20 m Sand, alsdann 0,50 bis 1 m Knollenstein nachgewiesen, unter dem in großer Mächtigkeit und weiter Ausdehnung Porphyркаolin folgt.

In tertiären Kiesen im Möncher Holz bei Grimma lagern massenhaft große Blöcke grobkörnigen bis konglomeratischen Knollensteins, die in früherer Zeit zu Mühlsteinen verarbeitet wurden (für feuerfeste Zwecke untauglich).

In Dölitz bei Leipzig (Leipzig-Dölitzer Braunkohlenwerke) treten Knollensteinbildungen (verkieselte Sande) mitten in dem hier bis 12 m mächtigen Flöze neben verkieselten Hölzern auf.

Die Knollensteinquarzite der Gegend von Halle haben durch W. Schubel eine so eingehende Darstellung erfahren, daß hier auf dessen oben zitierte Arbeit verwiesen sein möge.

Bei Calbe a. M. treten zwei Braunkohlenflöze auf; im Hangenden des 2 bis 8 m mächtigen Oberflözes, und zwar 2 bis 3 m über dem Flöz, tauchen gelegentlich ziemlich ausgedehnte Knollensteinlager auf.

Auf Grube „Marie“ bei Atzendorf (Egelner Mulde) stellen sich ab und zu Knollensteine im Hangenden des oligozänen Flözes ein.

In der Nähe von Königslutter finden sich in Ablagerungen von Kiesen und Sanden wahrscheinlich miozänen Alters, linsenförmig aneinandergereiht, sehr harte Quarzite (z. T. mit wulstiger Oberfläche), die auch diluvial in der Gegend verschleppt sind und die für Wegeschotter gewonnen werden.

Unter der Basaltdecke des Meißners in Hessen ruht flach muldenförmig auf Röt und Muschelkalk eine miozäne Braunkohlenablagerung, die mit 15 m mächtigen Sanden beginnt, deren obere Lagen bis 1 m tief zu mittelharten Knollensteinen verkieselt sind, die Blocknester und Schollen im Sande bilden. Das darüberfolgende Flöz (in der nördlichen Spezialmulde bis 30 m mächtig) enthält örtlich zahlreiche verkieselte Hölzer.

„In den Tertiärablagerungen bei Großalmerode (am Hirschberg) sind vier Verkieselungshorizonte übereinander bekannt, von denen der untere dem Oligozän, die drei oberen dem Miozän angehören. Die Schichtenfolge beginnt mit lockeren Sanden, die zum Teil zu Quarzit verhärtet sind. In dem zweiten, bereits dem Miozän angehörenden Braunkohlenflöz stehen zahlreiche senkrechte verkieselte Baumstämme mit den Wurzeln nach unten, also in natürlicher Stellung. Ihr Durchmesser beträgt $1\frac{1}{2}$ bis 2 m, ihre Höhe gewöhnlich bis 2 m. Von dem übrigen Teil der Stammstücke fehlt jede weitere Spur. Diese versteinerten Stümpfe sind außerordentlich hart. — Das nun folgende lignitische Braunkohlenflöz enthält einzelne schwach verkieselte Partien. Die Hauptverkieselung bietet der oberste aus Knollensteinbänken: Trappquarz bestehende Horizont, der 0,30 bis 1,30 m mächtig wird. Der Quarzit ist meist sehr hart, doch enthält er stellenweise lockeren unverkitteten Sand, wie an einzelnen zutage gehenden Blöcken verschiedentlich zu beobachten war.“

Knollensteine finden sich weiter in Hessen im Habichtswald, besonders aber bei Schloß Wilhelmshöhe, unfern Kassel, wo sie, in riesigen Exemplaren, alle charakteristischen Merkmale der Knollensteine aufweisend, im Gelände aufragen. Vom Brunsberg bei Dransfeld endlich sei noch ein Quarzit erwähnt, der sich durch außergewöhnliche Dichte, Härte und muschelig-glasigen Bruch auszeichnet.

Zahlreich sind die Vorkommen miozänen Quarzits von Knollensteinhabitus im Westerwald, wo das z. T. von Basalten und Basalttuffen begleitete, un-
gemein dichte, harte und muschelig-splitterig brechende Gestein lebhaft abgebaut wird.

Bildungsweise.

Von den verschiedenen Ansichten, die über die Bildungsweise der tertiären Quarzite und Knollensteine geäußert worden sind, dürfte folgende wohl die gegenwärtig am meisten verbreitete sein (vgl. Schubel, a. a. O. S. 28 f.): Das subtropische (tropische), niederschlagreiche Klima der Tertiärzeit mit seinen ausgedehnten Sumpfwäldern — den Ursprungsstätten der nachmaligen Braunkohlenflöze — bedingte eine tiefgründige Verwitterung und Zersetzung der Gesteine sowie Verfrachtung des Verwitterungsschuttes in die flachwelligen Niederungen, wobei eine natürliche Aufbereitung in Tone, Sande und Kiese stattfand. Die feine Trübe (Ton, Schluff) setzte sich vorzugsweise im Muldentiefsten, Sand und Kies mehr an den Muldenrändern ab.

Von der Verwitterung und Zersetzung wurden namentlich die feldspathaltigen Gesteine (Porphyre, Granite, Gneise, Grauwacken, Buntsandstein) betroffen, sofern humose, kohlensäurereiche Wässer die Kieselsäure aus den Feldspäten in Form von Alkalisilikaten lösten, während die Aluminiumsilikate zurückblieben. Die Alkalisilikatlösungen drangen in die Sande ein, nachdiffundierende Kohlensäure fällte die Kieselsäure als Gel aus und entführte die Alkalien als Alkalikarbonate, die zurückbleibende Kieselsäuregallerte wurde im Laufe der Zeit verfestigt = verkieselter Sand = Quarzit. Daß aus einer Lösung von kiesel-saurem Alkali die Kieselsäure mittels Humussäuren als Gallerte abgeschieden werden kann, ist schon lange bekannt und zur Erklärung für die Entstehung der Quarzite angeführt worden (C. Simon, Entstehung von Quarziten der Braunkohlenformation, 34. und 35. Bericht d. Ver. für Naturk. zu Kassel 1889). Welch große Mengen Kieselsäure auf solche Weise entstehen konnten, erhellt, wenn man bedenkt, daß auf 100 kg aus zersetztem Feldspat gebildeten Tones gleichzeitig etwa 93 kg Kieselsäure kommen (Schubel). Diese sehr bedeutenden Kieselsäuremengen wurden also in den Quarzsanden adsorptiv und wohl auch chemisch festgehalten, wobei auch Braunkohlenstaub, mikroskopische Mineralien und Mikrolithen sowie Tonteilchen mit eingeschlossen werden und vorhandene Wurzelröhren, Blattreste u. dgl. konserviert werden konnten.

Feuchte Sande wurden gleichmäßig, trockene mehr absätzig-wolkig silifiziert, die feinen Sande an den Muldenrändern wurden in erster Linie mit Kieselsäure getränkt, daher hier die ausgedehntesten Quarzit- und Knollensteinlager (Wurzen, Oschatz, Lausick-Wüstungsstein, Hallesches Becken). Ähnliche Gedankengänge über die Entstehung der Tertiärquarzite (Einwirkung von kohlensäurehaltigen Wässern auf Eruptivgestein und Fortführung der Alkalien als Silikatlösung) entwickelt, unter Beziehung von Analysen, Endell in seiner Arbeit: „Über die Entstehung tertiärer Quarzite bei Herschbach im Westerwald“, Centralbl. f. Min. usw., Jahrg. 1913, Nr. 21.

Eine bemerkenswerte Diskussion über die Herkunft der Kieselsäure in Knollensteinen rollt ferner Petrascheck auf im Anschluß an eine Arbeit über Knollensteine auf dem Niederen Gesenke und ihre Bedeutung für die alttertiäre

Oberfläche: „Bemerkungen über die Entstehung der tertiären Knollensteine“, Verh. der k. k. geol. Reichsanstalt 1917, Nr. 15 u. 16, auf die hiermit verwiesen sei.

Endlich ist kürzlich eine mir während der Drucklegung dieser Zeilen in die Hände kommende Studie von W. Braun erschienen: „Zur Entstehung der westdeutschen Tertiärquarzite“, Steinbruch u. Sandgrube, 20. Jahrg., Heft 19, 1921, die, hauptsächlich auf Vorkommen im Westerwald gestützt, davon ausgeht, daß feinstgemahlener Quarz verhältnismäßig reaktionsfähig ist und die das Problem mehr vom kolloidchemischen Standpunkt aus anfaßt. Die durch Alkalien gelöste, von kleinsten Quarzflittern, aus der Verwitterung von Feldspatmineralien und aus Pflanzenasche herrührende Kieselsäure (Gel) gelangt während der Regenzeit ins Grundwasser — ein Vorgang, der sich vorzugsweise im Bereich alter Flußtäler abgespielt hat, wie die Verteilung der Lagerstätten gewisser westdeutscher Quarzite erkennen läßt. „In der Trockenzeit führt das verdunstende Lösungsmittel die gelösten Kristalloide näher an die Oberfläche, wo sie Ausblühungen erzeugen. In dem ruhenden Grundwasser werden daher die Kolloide mehr angereichert als die Kristalloide. Die hangenden, bis zum Ausblühen abgeschiedenen Kristalloide müssen vor dem Ausblühen ein Stadium höchst konzentrierter Lösung durchlaufen. In diesem Stadium können Alkalien Quarz anätzen und Alkalisilikate bilden.

In der nächsten Regenzeit werden die Ausblühungen wieder gelöst und auch die Alkalisilikate dem Grundwasser zugeführt, wo sie in der Trockenzeit einem neuen Eindickungsvorgang unterworfen sind. Dabei werden in dem negativen Kolloid der Kieselsäure die positiven Kolloide des Eisens und des Aluminiums ausgefällt. Sie ergeben die rhythmischen Färbungen und die Tonkoagulation. Durch die Kohlensäure der Sickerwässer werden die neugebildeten Alkalisilikate unter Abscheidung von Kieselsäure gespalten, zugleich wird die kolloide Kieselsäure als Gel ausgeflockt. Da Kieselsäure ein irresolubles Kolloid ist, kann das Gel durch einfache Wasserzufuhr nicht wieder in das Hydrosol verwandelt werden.“

Das Problem der Quarzitbildung soll hiermit, wie Braun ausdrücklich betont, noch nicht als gelöst gelten, es müssen vielmehr noch weitere ähnliche lithogenetische Vorgänge in anderen Quarzitgebieten erforscht werden.

Aufsuchung, Abbau.

In den meisten Fällen machen sich Quarzit- bzw. Knollensteinlager durch verstreute Blöcke im Gelände und durch bei Bestellung der Felder, Drainagearbeiten, Waldrodungen usw. zutage kommende Gesteinsbrocken bemerkbar, seltener durch Blockmeere oder durch ausbeißende Felspartien. In manchen Gegenden kann man auf Grund gewisser Erfahrungen Quarzitlager unter Geländeschwellen oder längs Talterrassen auf einer bestimmten Höhenlage erschürfen (Nordsachsen, Hessen). Da der Quarzit dem Grundeigentümer gehört und nicht, wie z. B. Kohle, bergamtlich verliehen werden kann, muß das für den Quarzitabbau ausersehene Gelände entweder vom Besitzer käuflich oder gegen Pacht (Tonnenzins) erworben werden. Das Aufsuchen bauwürdiger Lagerstätten ist oftmals schwierig, zeitraubend und kostspielig und mehr oder weniger von günstigen Zufällen abhängig, da sich von vornherein selten übersehen läßt, ob es sich nur um eine Blockscharung, ein kleines „Nest“ oder um eine ausgedehnte, genügend mächtige Lagerstätte handelt, was mit der Entstehung der Quarzitlager zusammenhängt (s. oben). Die Feststellung geschieht fast ausnahmslos durch Schurflöcher (schon wegen der Probenahme), selten, wegen der großen Härte des Gesteins, durch Bohrungen, die aber zur Ermittlung der Abraumstärke gute Dienste leisten können. Wichtig ist die Probenahme aus zahlreichen Schürfen und von allen petrographischen Typen, wegen der zuweilen wechselnden Beschaffenheit des Gesteins. Eine ebenso wichtige Frage ist die Kalkulation der

Abraumkosten und der Anfuhr zur Bahn, die bei den heutigen Löhnen so anschwellen können, daß ein ausgedehntes Lager von erstklassigem Stein unbauwürdig werden kann. Tatsache ist, daß das Aufsuchen bauwürdiger Quarzitlager und der Betrieb einer Quarzitgrube mehr Erfahrung und Sachkenntnis erfordern, als gemeinhin angenommen wird, und daß schon viel Geld auf diesem Gebiet von nichtfachkundigen Unternehmern verloren worden ist.

Der Abbau des Quarzites erfolgt nach Freilegung der Blöcke oder Bänke in der üblichen steinbruchmäßigen Weise; häufig kommen die zahlreichen, z. T. sand-erfüllten Klüfte im Gestein zustatten, so daß es mit Hammer und Brechstange gelöst werden kann und nur wenig Pulver oder Dynamit nötig ist. Unterirdischer Abbau dürfte in den seltensten Fällen möglich und dabei lohnend sein (Ölschütz bei Wurzen). Der gebrochene Stein wird, soweit nötig, in Stücke von Brechmaulgröße zerschlagen, weil das Material später den Steinbrecher zu passieren hat.

In vielen Quarzitgruben findet eine Sortierung nach der Qualität statt, meist in zwei Sorten. Das härteste, sprödeste, möglichst ton- und eisenfreie Material bildet die erste, das etwas weniger gut erscheinende die zweite Sorte. Vielfach handelt es sich aber bei dieser Sortierung nur um Äußerlichkeiten (sozusagen „Schönheitsfehler“), nämlich um Berücksichtigung der Wünsche von Abnehmern, viel weniger um Qualitätsunterschiede, denn die Anforderungen der feuerfesten Industrie an das Quarzitmaterial sind durchschnittlich sehr hohe. Minderwertige Steine, z. B. örtlich im Steinbruch auftretende, infolge größeren Ton- oder Sandgehaltes bröckelnde oder mit Eisenhydroxyd getränkte Stücke müssen unbedingt ausgehalten werden, eine diesbezügliche sorgfältige Bruchaufsicht ist Haupterfordernis des Quarzitgrubenbetriebs. In manchen Gruben wird das Gestein vor der Abfuhr gewaschen (abgespritzt), um anhaftenden Ton und Lehm zu beseitigen, vielfach ist jedoch das Waschen unnötig, zuweilen wird es auch vom Abnehmer besorgt. Der Verkaufspreis von 1 t Quarzit frei Bahnhof beträgt gegenwärtig, je nach den örtlichen Umständen, etwa 90 bis 120 Mk.

Technische Verwendung.

Von der Verwendung des Quarzits zu Wegeschotter, Packlager, Pflastersteinen, Werk- und Mühlsteinen soll hier nicht geredet und nur die Verwertung für die feuerfeste Industrie, nämlich zu Silika- oder Dinassteinen betrachtet werden. Wie man im Siemens-Martinofen beim basischen Eisenerzverhüttungsprozeß ein Futter von Dolomit- oder Magnesiateinen benötigt, so beim sauren Prozeß einen Ausbau des Ofens mit Silikasteinen, für die bei höchsten Anforderungen nur ganz erstklassige Quarzite, am besten solche mit Basalzement (s. S. 50) Verwendung finden können.

Die Benutzung sehr saurer Steine als Ofenfutter sowie für einige andere Zwecke der Hütten- und chemisch-technischen Industrie ist schon seit etwa 100 Jahren bekannt und stammt aus England. „Die Bezeichnung der seit 1822 von Young in England zuerst angefertigten feuerfesten Dinasziegel stammt von dem zu ihrer Herstellung ursprünglich verwandten Rohstoff, dem Dinassandstein, welcher sich im Tale von Neath in Wales teils als Felsen, teils als Sand von nachstehender Zusammensetzung (von zwei verschiedenen Stellen) findet:

Si O ₂	. . . 98,31	96,73
Al ₂ O ₃	. . . 0,72	1,39
Fe ₂ O ₃	. . . 0,18	0,48
Ca O	. . . 0,22	0,19
Alkalien	. . . 0,14	0,20
H ₂ O	. . . 0,35	0,50.“

Br. Kerl, Hdb. d. Tonwarenindustrie. 3. Aufl. 1907, S. 890.

In Deutschland hat man erst vor wenigen Jahrzehnten die Fabrikation der „Dinassteine“ aufgenommen, nachdem anfänglich verschiedene Versuche mit karbonischem Sandstein nicht besonders günstig ausgefallen waren und nachdem man dann empirisch erkannt hatte, daß der „Findlingsquarzit“ des Westerwaldes und Siegerlandes (d. s. Tertiärquarzite von Knollensteincharakter mit Basalzement) ein ideales Rohmaterial für die Dinassteinfabrikation repräsentiert.

Der aus der Quarzitgrube in der Fabrik ankommende, gegebenenfalls erst noch zu waschende Quarzit gelangt zunächst in den Steinbrecher, wo er auf etwa faustgroße Stücke gebrochen wird, alsdann in einen schweren Kollergang oder ein Walzwerk zur Feinmahlung auf Sand und Gries, der noch etwa ein Drittel der Menge bis erbsengroße scharfkantige Gesteinsplitter, die sogen. „Magerungskörner“ enthält. Das Mahlgut wird dann unter Zusatz von etwa 2 % gebranntem, sehr reinem Kalk (in Form von Kalkmilch) zu Steinen geformt, die, nach Trocknung, in Rundöfen, besser in Ring- oder Tunnelöfen bei ganz allmählich steigender Erhitzung schließlich bei etwa 1450° (Seigerkegel 15) mehrere Tage gebrannt werden und dann als klingend harte Silikasteine (auch als Quarzziegel oder als Quarzkalksteine bezeichnet) aus dem Ofen gelangen und damit handelsfertig sind.

Die Magerungskörner erhöhen die Festigkeit des Steins, sie bilden sozusagen sein inneres Gerüst; der tunlichst niedrig zu bemessende Kalkzusatz dient lediglich zur Sinterung (Verfestigung) des Steins, er bildet mit dem Quarzmehl und den „Verunreinigungen“ des Quarzits (s. S. 51) ein Kalktonerdeisensilikat und fördert zusammen mit letzteren wohl auch Kristallisationsvorgänge beim Brennen und namentlich während der nachfolgenden Verwendung des Silikasteins im Martinofen, die für dessen Dauerhaftigkeit von der größten Bedeutung sind (s. u.).

Analysen von Silikasteinen:

	I	II	III	IV
Si O ₂	95,96	94,72	96,20	93,66
Ca O + Mg O . . .	2,06	1,06	0,26	0,44
Al ₂ O ₃	1,88	0,34	0,50	0,72
Fe ₂ O ₃	—	3,90	3,05	5,21
	99,90	100,02	100,01	100,03
	V	VI	VII	VIII
Si O ₂	97,03	95,87	96,24	96,54
Ca O	1,42	1,85	1,40	1,43
Al ₂ O ₃	1,14	2,08	2,36	2,03
Fe ₂ O ₃	0,41	0,42		
	100,00	100,22	100,00	100,00
	IX	X	XI	XII
Si O ₂	95,95	95,60	94,95	95,94
Al ₂ O ₃	1,69	1,42	1,86	1,50
Fe ₂ O ₃	0,51	0,98	1,04	1,11
Ca O	1,20	1,40	1,90	1,30
Mg O	0,16	0,18	0,21	0,11
K ₂ O	0,49	0,19	0,04	0,04
Glühverlust . . .	—	0,23	—	—
	100,00	100,00	100,00	100,00

I bis IV Silikasteine von Bendorf (Rhld.), nach C. Bischof, Gesammelte Analysen, Leipzig 1901, S. 139.

V bis VIII Silikasteine von Eschweiler bei Aachen, s. ebenda S. 139.

IX bis XII Unveränderte Kernpartien von Silikasteinen, die im Siemens-Martinofen benutzt worden sind; vgl. Internat. Kongreß f. Bergbau, Hüttenwesen usw., Düsseldorf 1910.

Berichte d. Abt. f. Hüttenwesen: Dr. Blasberg, Über die Wandlung in der Zusammensetzung feuerfester Steine, S. 13. (In dieser Arbeit u. a. auch zahlreiche Analysen von schwach und stark veränderten [geschmolzenen] Silikasteinen.)

Beim Brennen der Roh-Silikasteine findet stets eine starke Volumenvergrößerung (etwa 14 %) statt, weil sich unter dem Einfluß der Hitze der Quarz ausdehnt und in seine polymorphe Modifikation, den Tridymit¹⁾ umkristallisiert bzw. übergeführt wird. Tridymit hat aber ein spez. Gewicht von 2,32 gegenüber dem des rohen, ungebrannten Quarzes von 2,65, woraus sich die Volumenzunahme von rund 14 % erklärt.

Eine Hauptaufgabe der Silikasteinfabrikation ist daher, die Steine möglichst „tot“ zu brennen, damit sie nach dem Einbau in die Öfen nicht noch wachsen, denn sich weiter ausdehnende Steine können das Ofenfutter zertreiben und zu schweren Betriebsstörungen Anlaß geben.

Die Tridymitbildung im Silikastein, die sich bereits bei etwa 1000° C vollzieht, ist von der Größe der Quarzkörnchen abhängig und geht um so rascher und ausgedehnter vor sich, je größer die „freie“ Oberfläche der Quarzteilechen ist (Endell²⁾), also besonders bei dem Quarzfeinmehl und erst recht im Basalzement, das aus mikro- bis submikroskopisch feinen Quarzelementen und „Verunreinigungen“ besteht, die gleichzeitig als Kristallisationszentren dienen (Grum-Grzimailo³⁾). Hiernach leuchtet es ein, daß die Zementquarzite (Knollensteinhabitus) rascher und durchgreifender im Feuer wachsen als kristalline oder Felsquarzite (vgl. S. 51) und Silikasteine aus solchem Material — richtigen Fabrikationsvorgang vorausgesetzt — sich bereits bei ihrer Herstellung tot oder doch annähernd tot brennen und Zementquarzite daher von den Silikasteinfabriken unbedingt bevorzugt werden.

Die weitere Umwandlung des Silikasteins vollzieht sich dann allmählich in der Hitze des Martinofens, in der auch noch die größeren Quarzfragmente, die „Magerungskörner“, die beim Brennen der Steine anscheinend äußerlich unverändert bleiben oder nur rändlich gefrittet werden, allmählich in Tridymit übergehen, so daß schließlich ein reiner „Tridymitstein“ entsteht.

Es kommt nun vor, daß Silikasteine (Tridymitsteine) an den Stellen, wo die größte Ofenhitze (1700° C) herrscht, erweichen, ja sogar stalaktitenartig herunterschmelzen. In solchen Steinen läßt sich unterm Mikroskop die dritte Modifikation des Quarzes, der Cristobalit⁴⁾, nachweisen, der in Oktaederform kristallisiert, in den geschmolzenen Steinen aber ein inniges, von perlitischen Sprüngen durchzogenes Gemenge von Kristallkörnchen bildet, die nach einem komplizierten System verzwilligt sind und nur selten deutliche Oktaederform aufweisen (Lacroix, Holmquist, Endell⁵⁾).

Aus dem oben über die Tridymitbildung und das Wachsen der Silikasteine Gesagten läßt sich theoretisch ableiten, daß eigentlich jeder Quarzit (von entsprechender chemischer Zusammensetzung) für die Silikasteinfabrikation benutzt

1) Tridymit ist eine mit Quarz heteromorphe Modifikation der Kieselsäure, hexagonal, meist in dünnen Täfelchen als Zwillinge oder Drillinge in dachziegelartig angeordneten Kristallgruppen auftretend.

2) K. Endell, Über Silikaquarzite. „Stahl und Eisen“ 1913, Nr. 43 u. 45.

3) Grum-Grzimailo, Die Feuerfestigkeit der Dinassteine. „Stahl und Eisen“ 1911, Nr. 6, S. 224 ff.

4) So genannt nach dem Cerro de San Cristóbal in Mexiko, wo das Mineral auf Klüften in einem andesitischen Gestein vorkommt. In Deutschland ist Cristobalit festgestellt in Quarzeinschlüssen im Basalt der Blauen Kuppe bei Eschwege.

5) A. Lacroix, Sur la tridymite du Vesuve et sur la genèse de ce Minéral par fusion. Bull. soc. minéral. France, XXXI, 1908, S. 323—338. — P. J. Holmquist, Über die Bildung von Tridymit und Cristobalit in Quarzziegeln. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Bd. 33, 1911, S. 245—260. — K. Endell, Über die Konstitution der Dinassteine. „Stahl und Eisen“ 1912, Nr. 10.

werden könnte, vorausgesetzt, daß das zur Formung der Steine herzustellende Mahlgut außer dem Feingriß und den Magerungskörnern eine genügend große Menge Feinmehl (Staub) aufweist. Es trifft dies nach neueren Versuchen tatsächlich zu, trotzdem wird sich aber das Verfahren, wenigstens solange Zementquarzite zur Verfügung stehen, in Deutschland kaum einbürgern, wie sogleich erörtert werden soll.

Schon lange ist es aufgefallen, daß die hochentwickelte nordamerikanische Stahlindustrie Silikasteine verwendet, die ausschließlich aus typischem Felsquarzit angefertigt und die den höchsten Anforderungen gewachsen sind. Amerika hat keine Zementquarzite (Knollensteine) und man war auf kristalline Quarzite der älteren geologischen Formationen angewiesen, von denen hauptsächlich der dem Cambrium angehörige „Barabooquarzit“ und der „Medinaquarzit“ der pennsylvanischen „Medinaformation“, ferner der „Wisconsinquarzit“ (aus der Nähe von Chicago) und der „Alabamaquarzit“ (von Birmingham, Alab.) verwendet werden.

Analysen amerikanischer Felsquarzite:

	I	II	III
SiO ₂	97,80	97,15	97,70
Al ₂ O ₃	0,90	1,00	0,96
Fe ₂ O ₃	0,85	1,05	0,80
CaO	0,10	0,10	0,05
MgO	0,15	0,25	0,30
Alkalien	0,40	0,10	0,31
	100,20	99,65	100,12

I Pennsylvania-, II Wisconsin-, III Alabamaquarzit; vgl. Kenneth Seaver: Die Herstellung von Silikasteinen und Versuche über deren Verwendung für Koksöfen mit Nebenproduktengewinnung. Bull. Am. Min. Eng. 1915, 1913 — 1927 (Ref. in Zeitschr. f. angew. Chemie, 29. Jahrg., 1916, Nr. 6 vom 21. Januar, S. 44).

Das Geheimnis der amerikanischen Silikasteinfabrikation besteht nun, wie in einer vor kurzem erschienenen Arbeit von E. Lux¹⁾ dargetan wird, einesteils in der überaus feinen Mahlung eines sehr großen Feinmehlanteils bei der Zubereitung des Brenngutes (bis 50, ja 60 % Quarzstaub), andererseits in der längeren Brenndauer und der Anwendung höherer Hitzegrade (1540° bis 1580° C). Wie sofort zu erkennen, verursacht also die Fabrikation der Steine durch die Feinmahlung und den viel höheren Kohlenverbrauch wesentlich höhere Kosten als bei der Silikasteinherstellung aus tertiären Quarziten mit Basalzement, so daß für deutsche Verhältnisse — wenigstens vorläufig — die Silikasteinformation aus Felsquarzit nicht wirtschaftlich erscheinen dürfte.

Glücklicherweise besitzt aber Deutschland Tertiärquarzite wenn auch nicht im Überfluß, so doch in genügender Menge, und noch an manchen Punkten in Mitteldeutschland, wo sie bisher übersehen oder nicht gewürdigt wurden, werden sie künftig erschlossen und der feuerfesten Industrie dienstbar gemacht werden können.

1) E. Lux, Über die Möglichkeit der Herstellung erstklassiger Silikasteine aus Felsquarzit. „Stahl und Eisen“, Nr. 8 vom 24. Februar 1921, S. 258—264. Vgl. auch die oben zitierte Arbeit von K. Seaver: „Vf. bespricht die Zerkleinerung des Quarzits, die Art und Menge des Kalkzusatzes, die Formung und das Brennen der Steine, den Einfluß des Brennens auf die Zusammensetzung und Ausdehnung der Steine, die Bedingungen für die Umwandlung von Quarz in Cristobalit und Tridymit und die physikalischen Unterschiede dieser Modifikationen des Quarzes. Durch Ermittlung der Refraktionsindizes läßt sich, wie Versuche des Vf. zeigten, eine Unterscheidung von Quarz und Cristobalit durchführen. Schließlich wird der Einfluß des Grades der Umwandlung des Quarzes auf das Wachsen der Steine kurz in Besprechung gezogen.“

Diskussion.

Prof. von Wolff: Wir besitzen in Deutschland ebenfalls ein Christobalitvorkommen im Basalt der Blauen Kuppe bei Eschwege. Schollen von Sandstein sind in dem dortigen Basaltschlot durch die Hitze gefrittet und im Kontakt umgeändert. Bei dieser Gelegenheit bildeten sich kleine Christobalitkriställchen und Pseudomorphosen von Christobalit nach Tridymit. Dr. Ramdohr¹⁾, ein Schüler von Mügge, hat dieses Vorkommen untersucht und beschrieben. Seine Dissertation ist im Jahrbuch der geologischen Landesanstalt gedruckt worden. Von anderen Mineralien besitzt der Forsterit, das natürliche Magnesiumorthosilikat, einen sehr hohen Schmelzpunkt von 1890°. Wieweit dieses Material für derartige Zwecke verwendbar ist, und ob es sich herstellen läßt in geeigneter Form, darüber sind wohl Versuche noch nicht angestellt worden.

Prof. Dr. Walther: Man kann Mitteldeutschland nicht durchwandern, ohne im Lockerboden große graue Blöcke verteilt zu sehen, die, oberflächlich oft kaffeebraun verfärbt und wie mit dem Meißel ziseliert, einen auffallenden Anblick gewähren. Oft kommen sie beim Ackern zutage und liegen daher vielfach am Straßenrand. Schon den Urbewohnern unserer Heimat fielen diese seltsamen Wacken oder Findlinge auf und wurden als uralte Denkmäler aufgerichtet. 7 m hoch ragt die gespenstig dahinschreitende „Steinerne Jungfrau“ bei Dölau über das Ackerland. Bei Aschersleben ist eine riesige aufgerichtete Platte als „Speckseite“ bekannt. Alle diese Wacken sind dieselbe Bildung, die unser Herr Vortragender mit Rücksicht auf ihre Entstehungsweise und wirtschaftliche Bedeutung so ausgezeichnet behandelt hat.

Aber es knüpfen sich noch eine ganze Reihe von interessanten geologischen Fragen an diese Findlinge an. Oft enthalten sie die prächtigen Abdrücke des Adernetzes untertertiärer Pflanzenblätter. Zimmetbaum und Lorbeer, Palmen und immergrüne Eichen lassen sich leicht unterscheiden. Daß diese Pflanzen in dem einst unverkitteten Sand gewachsen sind, beweisen zahlreiche Wurzelabdrücke. Und sogar die bis $\frac{1}{2}$ m langen, wie ein Pferdehuf gestalteten Schildkrebse (*Limulus*), welche aus dem Meere bis in die Dünen in der Umgebung der Braunkohlensümpfe stiegen, sind mehrfach darin gefunden worden.

Die braune Oberfläche und die scharfen Schleifspuren stimmen so vollkommen mit ähnlichen Bildungen in den afrikanischen Wüsten überein, daß wir am Ende der diluvialen Gletscherzeit, wo diese Erscheinungen sich bildeten, annehmen dürfen, daß auch Deutschland eine sturmdurchbraute, öde Wüste war. Sehr merkwürdig und bisher unerklärt ist die Tatsache, daß große Knollensteine wie ein Konglomerat aus zahlreichen kleineren Knollen zusammengeschweißt erscheinen. Man muß annehmen, daß hier eine mehrmalige Zufuhr von verkittender Kieselsäure erfolgte.

Die Herkunft dieser im sandigen Boden zirkulierenden Lösungen von kolloidaler Kieselsäure dürfte mit den tertiären Verwitterungsvorgängen zusammenhängen. Denn als unsere eisen- und kieselsäurereichen Porphyre zu den noch in der Umgebung von Halle in großen Ton- und Porzellanerdegruben überall ausgebeuteten weißen Kaolinitdecken verwitterten, mußten große Mengen von gelöster Kieselsäure in den Kreislauf der Tagewässer kommen und konnten im sandigen Boden wieder ausgeschieden werden.

Fast auf jedem Spaziergang in unsere Gegend können Sie Beobachtungen über diese interessanten Erscheinungen anstellen, und für wichtige Entdeckungen bieten unsere Knollensteine noch reiche Gelegenheit.

¹⁾ Paul Ramdohr, Über die Blaue Kuppe bei Eschwege und benachbarte Basaltvorkommen. Jahrbuch der Preuß. Geol. Landesanstalt 1919, XL, Teil 1, Heft 2, S. 284—355, Tafel IV.