

flora europäischen Kolorits eingenommenen Areal verbreitet und häufig ist, findet sie sich in dem böhmischen Binnen-Becken nur selten, und sehr untergeordnet ist auch ihr Auftreten in den sächsischen Revieren.

Auch die in der Tabelle auf S. 385 neben *muricata* als allgemein verbreiteten Arten *acuta* und *Dernoncourtii* treten in manchen Revieren gar nicht und in anderen sehr untergeordnet auf.

Einzelheiten über die geographische Verbreitung der Arten finden sich in der oben erwähnten Monographie über die Gattung *Mariopteris*.

Auf die genauere Beschreibung der einzelnen Arten, welche sich ausführlich in der soeben genannten Abhandlung sowie auch in POTONIÉ, Abbildungen und Beschreibungen fossiler Pflanzen, findet, muß ich hier verzichten. Ich gebe statt dessen eine Tabelle, in der ich versucht habe, zur leichteren Bestimmung und Differenzierung der einzelnen Arten diese nebeneinander mit kurzen charakteristischen Angaben und ihren Unterschieden zueinander aufzuführen.

## 26. Über tiefgründige chemische Verwitterung und subaerische Abtragung.

VON HERRN G. FLIEGEL.

Berlin, den 1. Juli 1913.

Die jahrzehntelang fast ausschließlich herrschend gewesene Anschauung von der Abrasion<sup>1)</sup> ehemaliger Festländer durch die über sie hinschreitende Brandungswooge des Meeres ist zum Teil durch allgemeine geologische Erwägungen, besonders aber durch die morphologischen Studien der neueren Zeit stark eingeschränkt und in vielen Fällen durch die Annahme einer subaerischen Abtragung ersetzt worden.

Jede solche Abtragung unter dem Einfluß der Atmosphärentätigkeit ist mit einer intensiven Verwitterung verbunden

<sup>1)</sup> Ich verstehe unter „Abrasion“ ausschließlich marine Abtragung im Sinne v. RICHTHOFENS (Führer für Forschungsreisende, 1886, S. 356), wie ich gegenüber der neuerdings stellenweise üblich gewordenen, weniger prägnanten Anwendung des Wortes betone.

und hat die Auflockerung des Gesteins durch mechanische und chemische Einflüsse zur Voraussetzung. Die Produkte der Verwitterung sind naturgemäß nur unter günstigen Umständen in Abtragungsresten erhalten und uns dann gleichsam fossil überliefert. Als Begleiterscheinungen der terrestrischen Abtragung sind sie in Zweifelsfällen für den Nachweis der Art der Abtragung von Bedeutung und wegen der Schlüsse interessant, die hinsichtlich der wirksam gewesenen Faktoren der Verwitterung, des Klimas usw. auf sie aufgebaut werden können.

Anregungen, die in dieser Beziehung das Rheinische Schiefergebirge bietet, glaube ich daher zur Sprache bringen zu sollen, zumal gerade hier der Anteil der Atmosphärien und des Meeres an der Abtragung stark umstritten ist. Sie gehen über das, was ich in der Literatur<sup>1)</sup> von solchen chemisch-geologischen Vorgängen angegeben finde, insofern hinaus, als sich hier sehr verschiedenartige Beobachtungen ergänzen und zu einem einheitlichen Bilde zusammenfügen. Besonders aber läßt der Schichtenverband, in dem wir die durch Verwitterung veränderten Gesteine vorfinden, wie wir sehen werden, bestimmte Rückschlüsse auf die Zeit der sub-aerischen Abtragung zu.

Unter den in Betracht kommenden Erscheinungen werde ich im folgenden die tiefgründige chemische Zersetzung unterdevonischer Grauwacken und Tonschiefer, Auslaugungserscheinungen im mitteldevonischen Massenkalk sowie endlich die Oxydations- und Cementationszone paläozoischer Erzgänge behandeln:

Eine überaus tiefgehende Verwitterung sandig-schieferiger Gesteine des Unterdevons, von Tonschiefern, Grauwacken, Sandsteinen und sogar von Quarziten, ist aus dem Rheinischen Schiefergebirge in neuerer Zeit von einer Reihe von Orten beschrieben worden. Die Tendenz der rein chemischen Zersetzung ist darauf gerichtet gewesen, alle löslichen Stoffe fortzuführen und als Endprodukte der Verwitterung allein Kieselsäure und Ton zurückzulassen. Die Verwitterung geht naturgemäß an verschiedenen Stellen, je nach der Art der zersetzenden Stoffe und je nach der Beschaffenheit des Gesteines, sehr verschieden weit; vielfach ist die ursprüngliche

<sup>1)</sup> U. a. weist E. KAISER in mehreren seiner Veröffentlichungen, wenn auch in aller Kürze, auf eine tiefgründige Verwitterung des Rheinischen Schiefergebirges in tertiärer Zeit hin, ebenso E. PHILIPP (Über die präoligocäne Landoberfläche in Thüringen. Diese Zeitschr. 62, 1910, S. 305) für das Thüringische Schiefergebirge.

Struktur des Gesteins noch gut sichtbar, und festere Gesteinsbrocken sind nicht selten erhalten. In anderen, sehr häufigen Fällen aber ist die Schichtung und Klüftung vollständig verloren gegangen, und es scheint ein homogener, ungeschichteter Ton anzustehen.

Durch E. KAISER lernte ich vor Jahren auf einer gemeinsamen Begehung einen solchen Ton in einer Grube der Gegend von Linz kennen; seine Zugehörigkeit zum Devon verriet sich eben nur an einem dünnen, den Ton steil durchsetzenden Quarzgang, der in einem tertiären Ton bekanntlich ausgeschlossen wäre.

Ähnlich beschreibt SCHNEIDERHÖHN<sup>1)</sup> eine „Sandgrube“ im Westerwalde, in der ein mit einigen Tonschieferbänken wechsellagernder Quarzit zu einem zerreiblichen Quarzsand mit tonigen Zwischenlagen zersetzt, als devonisch aber an einigen quer hindurchsetzenden Quarztrümmern zu erkennen ist.

Im übrigen sei auf die anschauliche Schilderung der Erscheinung durch H. RAUFF<sup>2)</sup> aus dem Laacher See-Gebiet und durch A. FUCHS<sup>3)</sup>, der sie ebenso wie W. WOLFF<sup>4)</sup> nahe dem Nordrande des Schiefergebirges eingehend studiert hat, verwiesen.

Als eine Folge dieser tiefgründigen chemischen Verwitterung und damit als ein indirekter Beweis für sie ist hier auch im Anschluß an E. KAISER<sup>5)</sup> die Kalkarmut und das vollständige Vorherrschen der überwiegend von zerstörten rheinischen Quarzgängen herrührenden Milchquarzgerölle in den „Quarzigen Liegenden Schichten“ und in den pliocänen Kieseloolithschottern zu nennen.

Sodann betone ich, daß unter dem, was in der Literatur als „Tonige Liegende Schichten“ des Siebengebirges beschrieben

---

<sup>1)</sup> H. SCHNEIDERHÖHN: Die nichtbasaltischen Eruptivgesteine zwischen Wirges, Boden und Ettinghausen im südwestlichen Westerwalde. Jahrb. der Königl. Preuß. Geol. Landesanst. für 1909, Bd. 30, II, S. 251.

<sup>2)</sup> H. RAUFF, E. KAISER, G. FLIEGEL: Bericht über die Exkursionen der Deutschen Geologischen Gesellschaft nach der Versammlung in Coblenz, August 1906. Diese Zeitschr. 1906, Monatsber. S. 267.

<sup>3)</sup> A. FUCHS: Erläuterungen zu Blatt Rheinbach der geologischen Karte von Preußen, Lief. 141, Berlin 1910, S. 16.

<sup>4)</sup> W. WOLFF: Erläuterungen zu Blatt Euskirchen der geologischen Karte von Preußen, Lief. 144, Berlin 1910, S. 22. — Ders.: Zur Kenntnis von Tertiär und Diluvium am Niederrhein. Jahrb. der Königl. Preuß. Geol. Landesanst. für 1904, Bd. 25, Berlin 1905, S. 550.

<sup>5)</sup> E. KAISER: Pliocäne Quarzschotter im Rheingebiet zwischen Mosel und Niederrheinischer Bucht. Jahrb. der Königl. Preuß. Geol. Landesanst. für 1907, Bd. 28, Berlin, S. 89.

ist, manches sicher nicht Tertiär, sondern tiefgründig verwittertes Devon ist. Bezeichnend sind in dieser Hinsicht<sup>1)</sup> die Aufschlüsse in den großen Quarzitgruben von Lannesdorf bei Mehlem. Bei einem Besuch im Sommer 1912 sah ich hier in einer der größten Gruben ein wohl 15 m mächtiges Lager von feuerfestem, d. h. eisenarmen Ton im Abbau, das zwar im allgemeinen frei von festen Gesteinsbrocken war, aber doch eben noch die mit etwa 70° einfallenden Schichten des in situ befindlichen Unterdevons erkennen ließ. Das ganze ist ungleichförmig von horizontal liegendem, tertiärem Quarzit, teils Kieselsandstein, teils Kieselkonglomerat, überlagert; darüber folgt Trachyttuff. Der Quarzit bildet also nach der von LASPEYRES aufgestellten Nomenklatur die „Quarzigen Liegenden Schichten“, während der darunter folgende feuerfeste Ton die Position der Tonigen Liegenden Schichten einnimmt, obwohl er nicht Tertiär, sondern Devon ist.

Da der Trachyttuff an die Grenze von Oligocän und Miocän zu stellen ist, der Quarzit aber zur Vallendarer Stufe, also zum Oberoligocän, gehört, so lernen wir hier einen Fall kennen, in dem der allgemein in die Tertiärzeit verlegte Vorgang tiefer chemischer Verwitterung zeitlich genauer zu umgrenzen ist: Die Vertonung der devonischen Schichten hat spätestens mit der Überdeckung durch oberoligocäne Flußkiese und -sande ihr Ende gefunden. Das Rheinische Schiefergebirge ist in der vorangehenden Zeit Festland gewesen. Seine Abtragung geschah, wie die tiefreichende, unter günstigen Umständen lokal erhaltene Verwitterungsdecke zeigt, subaerisch.

Ähnliche Verhältnisse offenbaren sich im südöstlichen Randgebiet des Schiefergebirges, denn nach KAISER und MEYER<sup>2)</sup> werden im Vogelsberg derartig tief zersetzte ältere Gesteine von Basalt überlagert. —

Als ein weiteres Zeichen chemischer Tiefenverwitterung sind sodann Auslaugungserscheinungen in mitteldevonischem Massenkalk zu besprechen:

Es ist bekannt, daß im rechtsrheinischen Massenkalk des Bergischen und des Sauerlandes Höhlen keine Seltenheit sind, und daß eine große Zahl der im Laufe der Jahre in diesem Gebiet gemachten Funde diluvialer Säugetiere aus solchen Höhlungen und aus erweiterten Klüften des Kalksteines

<sup>1)</sup> H. LASPEYRES: Das Siebengebirge am Rhein. Verhandl. Naturhist. Ver. Rheinfl. 57, 1910, S. 530.

<sup>2)</sup> E. KAISER u. H. L. F. MEYER: Der Untergrund des Vogelsberges. Niederrhein. geol. Verein 1913, S. 38.

stammen. Sie scheiden, weil ihre Entstehung in zahlreichen Fällen sichtlich mit dem Prozeß der quartären Talbildung in Beziehung steht, bei unserer Betrachtung aus. Auch die Fundgrotte des Neandertaler Menschen bietet nichts Besonderes. Der Versuch, sie ins Tertiär zu versetzen, war ein Versuch mit untauglichen Mitteln, den H. RAUFF<sup>1)</sup> seinerzeit treffend widerlegt hat.

Auch den Fund von Cetaceenknochen in einer Spalte des Massenkalkes von Iserlohn, über den H. LOTZ<sup>2)</sup> berichtet hat, und den ich geneigt bin, auf marines Oberoligocän zu beziehen, beweist nicht ohne weiteres die Ausfüllung alttertiärer Auslaugungstrichter durch oligocäne Meeresablagerungen; denn die betr. Schichten sind allem Anschein nach über dem Kalkstein ausgebreitet gewesen und in die später ausgelaugten Hohlräume hinabgestürzt oder eingeschwemmt worden.

Leider läßt sich auch das Vorkommen von Septarienton auf dem Kohlenkalk von Ratingen<sup>3)</sup> nach den dürftigen Angaben in der Literatur so lange nicht in dieser Richtung verwenden, als nicht neue Aufschlüsse den Ton in situ in Dolinen des Kohlenkalkes zeigen.

Dagegen konnte ich in der Gladbacher Kalkmulde im Osten von Köln Beobachtungen machen, die für die genauere zeitliche Festlegung der besprochenen Umwandlungsvorgänge von Bedeutung sind:

In den in seiner Hauptmasse dem westfälischen Massenkalk äquivalenten Gladbacher („Paffrather“) Kalk sind allenthalben von jüngeren Ablagerungen erfüllte rinnenförmige Vertiefungen, Trichter und Schloten eingesenkt, die in dem höhergelegenen, östlichen Teil der Mulde mehr vereinzelt auftreten, näher am Rheintal sich aber zu so ausgedehnten wannenförmigen Hohlformen zusammenschließen, daß der Kalkstein nur in vereinzelt Buckeln aus der Decke jüngerer Ablagerungen hervortaucht.

Alle diese Hohlformen sind meist auch dort, wo oberflächlich quartäre Bildungen, Dünensand oder Terrassenkiese, verbreitet sind, von tertiären Ablagerungen, nämlich von Quarzkies, Quarzsand oder von Ton, erfüllt.

Auch Braunkohlen treten darin auf, in einigen engen Trichtern bei ganz geringer Flächenausdehnung 20—30 m

<sup>1)</sup> H. RAUFF: Über die Altersbestimmung des Neandertaler Menschen. Verhandl. Naturhist. Ver. Rheinl. 60, 1903, S. 32.

<sup>2)</sup> H. LOTZ: Über marines Tertiär im Sauerlande. Diese Zeitschr. 54, 1902, Mon.-Ber. S. 14.

<sup>3)</sup> v. DECIEN: Rheinland-Westfalen, II, S. 671.

mächtig, in größerer Verbreitung, jedoch nur wenige Meter stark, innerhalb der weiten, in den Massenkalk eingesenkten Wannen. Leider fehlen hierin zurzeit alle Aufschlüsse.

In verschiedenen kleineren, nicht tiefen Auslaugungstrichtern, die ich sah, kann von einer bestimmten Schichtfolge nicht die Rede sein. Die einzelnen Bildungen lösen sich wirr ab, und die Schichten sind in mannigfacher Weise gestört, wie man es nicht anders erwarten kann, wenn die Auslaugung des unterlagernden Massenkalkes gleich alt oder jünger als die Sedimentation ist.

Eine besondere Bedeutung haben demgegenüber die großen Aufschlüsse an der Flora zwischen Bergisch-Gladbach und Paffrath. Hier ist links (südwestlich) der Straße der bis zu ihrem Niveau heraufreichende Massenkalk seinerzeit in ausgedehnten Gruben abgebaut worden. Rechts der Straße ist er an einigen Stellen ebenfalls noch sichtbar, um unvermittelt an tertiärem Sande abzuschneiden — die mit etwa 70° einfallende Anlagerungsfläche ist sehr schön aufgeschlossen; erst am Grunde der hier in Betrieb befindlichen zahlreichen tiefen Sand- und Tongruben kommt der Kalkstein da und dort von neuem zum Vorschein. Da er auf der drübigen Seite wieder in der normalen Höhenlage auftritt, handelt es sich um eine tiefe und dabei sehr ausgedehnte Doline, in deren im übrigen horizontaler Sohle einige beim Abbau freigelegte Rippen von Kalkstein etwas höher emporragen.

Die Auskleidung des Trichters wird durch graue, tiefdunkle bis schwarze Tone ohne sichtbare Schichtung gebildet; hin und wieder führen sie verkieselte Steinkerne von *Stringocephalus Burtini*. Ihre Mächtigkeit ist, da das Liegende meist nicht erreicht ist, unbekannt; an einigen Stellen haben sie 5 m. Sie sind jedenfalls als die in den Senken des Geländes zusammengeschwemmten, fast noch in situ befindlichen Auslaugungsrückstände des Massenkalkes aufzufassen.

In mehreren Aufschlüssen folgt über ihnen ein 3—5 m starker, rötlich violetter, toniger Feinsand, wobei die Schichtung deutlich sichtbar wird. Ton- und Sandschichten sind stark gestört, schräg gestellt, auch mehrfach von Klüften durchsetzt, die vom Hangenden her mit Kies erfüllt sind.

Mit scharfer, schwach welliger und dabei fast horizontaler Grenze folgt nach oben zu eine rund 10 m mächtige Quarzsandstufe. Sie besteht aus weißem bis gelblichem und dann eisenschüssigem, schwach glimmerigem Quarzsand, zeigt an der Basis ein bis zu 1 m starkes Brandungsgeröll, weiter oben ein oder mehrere dem Sand eingelagerte Bänkechen von Quarz-

kies mit löcherigen Feuersteingeröllen, und weiter im Hangenden eine muschelführende Sandschicht mit bezeichnenden oberoligocänen Formen.

Die Auflagerung auf der unteren Stufe ist dort, wo diese, wie beschrieben, aus tonigen und sandigen Schichten besteht, die Lagerungsverhältnisse also klar sind, deutlich diskordant.

Hinsichtlich der Lagerungsform des Oberoligocäns ist besonders bemerkenswert, daß dieses zwar in einigen Gruben nicht frei von Störungen ist, so daß hier die Auslaugung des Kalksteins auch nach seiner Ablagerung noch weiter fortgeschritten ist; gerade in denjenigen Gruben aber, wo die ungleichförmige Auflagerung unverkennbar ist, liegt es völlig söhlig und ungestört.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß die durch Sickerwasser bewirkte Auslaugung des Massenkalkes von Bergisch-Gladbach zu einem erheblichen Teile nicht ein der Talbildung parallel sich vollziehender, bis in die Gegenwart anhaltender Vorgang ist, sondern vielmehr in die Zeit vor der Ablagerung des marinen Oberoligocäns zu versetzen ist. Berücksichtigen wir dabei, welche erheblichen Kalksteinmassen abgetragen werden mußten, ehe das Tiefste der Auslaugungstrichter mit Ton von einiger Mächtigkeit erfüllt sein konnte, so erscheinen die nacholigocänen Auswaschungen, die sich an einer Anzahl von Stellen in örtlichen Schichtenstörungen der oligocänen Sande andeuten, als Nachklänge jenes großartigeren Vorganges: Die Auswaschung war zur Zeit der oberoligocänen Meerestransgression größtenteils beendet.

Sie fiel zeitlich genau mit der besprochenen Vertonung unterdevonischer Schichten zusammen; denn die verkieselten Sandsteine und Kiese der Vallendarfer Stufe, die dort die vertonten Grauwacken überdecken, entsprechen völlig<sup>1)</sup> den Geröllagen, die hier in den Meeressand eingeschwemmt sind. Demnach haben wir einen weiteren Beweis dafür, daß im Rheinischen Schiefergebirge eine Periode subaerischer Abtragung vor der oberoligocänen Zeit herrschte.

Auch im Massenkalk von Elberfeld treten derartig tiefe Auslaugungstrichter auf. Der sie im wesentlichen füllende Quarzsand muß aber mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Mittelmiocän gestellt werden, da er Lagen von ausgezeichnet geröllten

---

<sup>1)</sup> G. FLIEGEL: Die Beziehungen zwischen dem marinen und kontinentalen Tertiär im Niederrheinischen Tieflande. Diese Zeitschr. 63, 1911, Mon.-Ber. S. 520.

„Feuersteineiern“ führt, und auch E. WALDSCHMIDT<sup>1)</sup> bei seiner Beschreibung keine Funde oligocäner Versteinerungen erwähnt. Diese Dolinen lassen also bei der Ermittlung der Entstehungszeit einen weiten Spielraum. Die WALDSCHMIDT'sche Vermutung eines eocänen Alters der „Dolinenlandschaft“ wird jetzt aber durch meine Beobachtungen bei Bergisch-Gladbach (siehe unten, S. 401) im wesentlichen bestätigt. —

Weitere Schlüsse, die über dieses Ergebnis hinausgehen, gestattet die Umwandlungszone rheinischer Erzgänge, wenn wir ihre Lage zum Grundwasserspiegel berücksichtigen.

Bekanntlich erreicht die Oxydationszone nach der Tiefe zu dort ihr Ende, wo das Grundwasser das tiefere Niedersinken der oxydierenden und auslaugenden Sickerwasser unmöglich macht. Der Grundwasserspiegel gilt dabei im allgemeinen als die untere Grenze der Oxydationszone. In ihr angereicherte Erze setzen unter ihm erfahrungsgemäß oft nicht hinab. Vorratsberechnungen, bei denen solche sekundären Erzanreicherungen zu berücksichtigen sind, müssen vorsichtigerweise den Grundwasserspiegel als die untere Grenze der Oxydations- und Cementationszone betrachten, wobei der Begriff „Grundwasserspiegel“ allerdings nicht gar zu wörtlich genommen werden darf. Er wird sich hier ungefähr mit dem Niveau der benachbarten Täler decken, da die niedersinkenden Wässer ihren Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt in dieser Tiefe im allgemeinen abgegeben haben werden.

Daß diese Anschauungen nicht allgemeine Gültigkeit haben, zeigen nun Beobachtungen in einigen unserer besterforschten Erzbergbaugebiete, wo die Oxydationszone vom Grundwasserspiegel unabhängig ist, indem sie zwar gelegentlich in ganz geringer Tiefe endet, an anderen Stellen und selbst bei unmittelbar benachbarten Vorkommen aber bis tief unter die von den Sickerwassern durchflossene äußerste Haut der Erdrinde hinabreicht.

BORNHARDT<sup>2)</sup> ist in seinem klassischen Werk über die Siegener Eisensteingänge diesen Verhältnissen näher nach-

<sup>1)</sup> E. WALDSCHMIDT: Dolinen im mitteldevonischen Kalk bei Elberfeld. Jahresber. des Naturwissenschaftl. Vereins in Elberfeld, H. 10, 1903.

<sup>2)</sup> W. BORNHARDT: Über die Gangverhältnisse des Siegerlandes und seiner Umgebung. — Teil I: Archiv für Lagerstättenforschung, II. 2, Berlin 1910, S. 266—308; Teil II, ebenda, H. 8, 1912, S. 428—433. — Derselbe: Die Erzvorkommen des Rheinischen Schiefergebirges. Metall und Erz, 1912/13, H. 1. — Vgl. auch über ähnliche Beobachtungen an anderen Orten: STELZNER-BERGEAT: Erzlagerstätten, 1905/06, S. 543—44.

gegangen. Er führt eine überraschend große Zahl von Fällen aus dem Siegerlande und dessen weiterer Umgebung an, die alle das gemein haben, daß Spateisenstein nicht nur in derben Brauneisenstein, sondern auch in Braunen Glaskopf umgewandelt ist, der als rindenartiger Überzug oder als Füllung in den den derben Brauneisenstein unterbrechenden Hohlräumen in tropfsteinähnlichen Massen auftritt.

Am auffälligsten ist in dieser Hinsicht das von ihm angeführte Beispiel der Grube Friedrichsseggen bei Ems, wo bis zu 550 m unter dem Ausgehenden (= 380 m unter Stollensohle = 265 m unter dem Spiegel der Lahn bei Ems) noch Brauneisenstein in stalaktitischer Form in der ganzen Gangmächtigkeit und auf große streichende Erstreckung ansteht.

Auch Grube Bollnbach bei Herdorf ist sehr bemerkenswert: Auf der 357 m-Sohle tritt noch viel Brauneisenstein von tropfsteinähnlicher Form auf; auf der 397 m-Sohle ist er zwar zu Ende, sie weist aber zahlreiche ausgelaugte Hohlräume im Spateisenstein auf.

Da diese tropfsteinähnlichen Brauneisensteine, wie BORNHARDT betont, nur aus verdunstenden Sickerwassern, also in luftgefüllten Hohlräumen, ausgeschieden sein können, muß der benachbarte Teil des Gebirges s. Z. über dem Grundwasserspiegel gelegen haben und kann erst nach der Entstehung der mächtigen Umwandlungszone in das heutige tiefe Niveau herabgesunken sein. Zu demselben Schluß führt das vielfach — wie z. B. auf Grube Bollnbach — beobachtete Vorkommen von Auslaugungsräumen in einer unter der Oxydationszone folgenden Auslaugungsregion: Sickerwasser haben beim Durchwandern der oberen Gangteufen ihren Sauerstoff in der Oxydationszone abgegeben, können daher in größerer Tiefe nicht mehr oxydierend, sondern nur noch auflösend wirken, zumal wenn sie Kohlensäure aufgenommen haben. —

Im Aachener Bezirk sind die sulfidischen Blei- und Zinkerze bekanntlich im allgemeinen an den Kohlenkalk gebunden. Die erzeichen Lösungen sind auf den Querspalten zugewandert und haben sich an diesen sowie von ihnen ausgehend entlang den begrenzenden sandig-schiefrigen Schichten des Oberdevons und des Produktiven Carbons an die Stelle des Kalksteins gesetzt. Sie füllen dabei vielfach Hohlräume im Kalkstein aus, und zeigen durch ihren schaligen Bau („Schalenblende“) und durch ihre tropfsteinähnlichen Formen, daß sie aus verdunstenden Lösungen ausgeschieden worden sind.

BORNHARDT<sup>1)</sup> schreibt in dieser Hinsicht: „Zugleich geht aus den Nachrichten hervor, daß ein erheblicher Teil des Erzinhalt bis in die größten, durch den Bergbau erreichten Teufen, die z. T. auf Hunderte von Metern unter den natürlichen Grundwasserstand hinabgehen“ — bei Grube Schmalgraf und Diepenlinchen bis zu 175 und 250 m —, „schaligen Bau und stalaktitische Formen aufweist, woraus mit Sicherheit zu schließen ist, daß zum mindesten dieser Teil der Erze in offenen Hohlräumen oberhalb des Grundwasserspiegels aus niedersickernden und niedertröpfelnden Wassern ausgeschieden worden ist. Während in den oberen Teufen der Vorkommen Galmei vorherrscht, finden sich beim tieferen Niedergehen nur sulfidische Erze, die größtenteils aus einem lagenförmigen Wechsel von Schalenblende, Bleiglanz und Markasit bestehen.“

Wir kommen demnach für den Aachener Bezirk aus der Lage dieser „Cementationszone“ zum Grundwasser zu dem gleichen Ergebnis wie vorher für das Siegerland: Das Gebirge muß nachträglich in das jetzige tiefe Niveau versenkt worden sein.

Herrn BORNHARDT verdanke ich sodann den Hinweis, daß die ebenfalls an Kalkstein gebundenen Blei- und Zinkervorkommen von Schwelm, Brilon und Iserlohn nicht nur ganz den gleichen, wesentlich durch Galmei und vor allem durch Schalenblende bezeichneten Lagerstättentypus darstellen, sondern ebenfalls eine heut tief im Grundwasser liegende Cementationszone besitzen. So haben die auflässigen Iserlohner Gruben seinerzeit Teufen von 150—180 m erreicht.

Da der Grundwasserspiegel von der Tiefe der Täler und damit letzten Ortes von der Erhebung des Gebirges über dem Meeresspiegel abhängt, so ergibt sich der Schluß, daß alle die genannten Gebiete sich einst in relativ größerer Meereshöhe befunden haben. BORNHARDT nimmt an, daß die betreffenden Ganggebiete in einer bestimmten Epoche der geologischen Vergangenheit zufolge gebirgsbildender Vorgänge eine höhere Lage, als Horste emporrägend, eingenommen haben, so daß die hierin aufsetzenden Gänge im Gegensatz zu anderen bis zu ungewöhnlicher Tiefe von den Sickerwassern oxydiert und umgewandelt werden konnten.

Er legt dabei — sicherlich mit Recht — besonderen Wert darauf, daß das Land gebirgig war, weil es nur in einer zertalten Gebirgslandschaft denkbar ist, daß die Niederschläge, bevor sie in den tief eingeschnittenen Tälern als

<sup>1)</sup> W. BORNHARDT: a. a. O., Teil II, S. 194.

Quellen wieder austreten, bis zu großer Tiefe in den zwischen den Tälern hoch aufragenden Gebirgsrücken versickern und die Erzgänge umwandeln. Dabei ist er geneigt, die gebirgsbildenden Vorgänge mit der jüngsten Gruppe der Störungen DENCKMANNs, mit den meridionalen Brüchen, in ursächlichen und zeitlichen Zusammenhang zu bringen.

Diese Vorstellung schließt naturgemäß die weitere nicht aus, daß sich das Festland als Ganzes relativ gehoben hat; ja diese Annahme erscheint mir bei der großen Verbreitung der Erscheinung und auch deshalb notwendig, weil tief eingeschnittene Täler ja immer erst — wenn auch tektonisch bedingt — durch die Erosion des fließenden Wassers geschaffen werden. Dazu aber ist wieder ein beträchtlicher Höhenunterschied zwischen Festland und Meer Voraussetzung.

Wir gelangen damit zu der Vermutung, daß die an einer großen Anzahl rheinischer Erzgänge beobachtete tiefreichende Umwandlungszone eine gemeinsame Eigenschaft aller Gänge war, die dort durch spätere Abtragung wieder verschwunden ist, wo einzelne Schollen in einer nachfolgenden Periode sinkenden Festlandes in der Senkung zurückgeblieben sind. Wir müssen also mit dem Vorhandensein bzw. der Entstehung eines Gebirges in älterer Zeit und mit einer nachfolgenden Senkungsperiode rechnen.

Suchen wir diese tektonischen Vorgänge zeitlich festzulegen, so sind zunächst die diesbezüglichen Angaben von KLOCKMANN und besonders von BORNHARDT von Bedeutung.

Ersterer<sup>1)</sup> spricht für die Erzvorkommen der Aachener Gegend in sehr vorsichtiger Weise „der mit der Tertiärzeit hervortretenden Schaffung der heutigen Oberflächen- und Grundwasserverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf die Umgestaltung und Umformung der Lagerstätten“ zu.

BORNHARDT<sup>2)</sup> kommt für die tiefreichende Oxydationszone der Siegerländer Gänge und für die Cementationszone der Aachen-Briloner Erze zu einer gleichzeitigen Entstehung „in weiter zurückliegender, spätestens tertiärer Zeit“. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Tatsache, daß tertiärer Basalt an der damals schon vorhandenen Brauneisenzone von Spateisensteingängen Kontaktwirkungen hervorgerufen hat.

Speziell hinsichtlich der Cementationszone der Blei-Zink-erzvorkommen in den Massenkalkgebieten ist die andere von

<sup>1)</sup> F. KLOCKMANN: Die Erzlagerstätten der Gegend von Aachen. Festschr. XI. Allgem. Deutsch. Bergmannstag zu Aachen. Berlin 1910. II, S. 15.

<sup>2)</sup> W. BORNHARDT: a. a. O., I, S. 307, II, S. 169.

ihm angeführte<sup>1)</sup>, seinerzeit von v. HUENE<sup>2)</sup> veröffentlichte Beobachtung sehr wichtig, daß sich in den Dolinen des Massenkalkes von Bergisch-Gladbach, und zwar im Felde Humboldt, scharfkantige Stücke von Schalenblende, Bleiglanz und Schwefelkies in braunkohleführendem Letten gefunden haben, woraus geschlossen wird, daß die Cementationszone, aus der diese Bruchstücke stammen, schon „vor Ablagerung der nieder-rheinischen Braunkohlenformation“ vorhanden gewesen ist.

Man wird diesen Ausführungen insofern beistimmen müssen, als die von v. HUENE beobachteten Vorkommen von traubiger und drusiger Schalenblende und von Galmei beweisen — obwohl etwas derartiges in diesem Gebiet anscheinend nie wieder beobachtet worden ist —, daß im Bereich der Gladbacher Kalkmulde Erze von dem beschriebenen Aachen-Briloner Typus angestanden haben und bis auf die bescheidenen, ins Tertiär verschwemmten Bruchstücke bei der allgemeinen Abtragung des Gebirges zerstört worden sind. Ebenso steht dann fest, daß die ehemals vorhanden gewesene Cementationszone dieser Erze älter als die Braunkohlen von Gladbach sein muß, die allerdings mit der untermiocänen Braunkohlenformation des Niederrheins nicht ganz identisch sind.

Bei dem Mangel an Aufschlüssen ist das Alter dieser Braunkohlen bisher nicht so einwandfrei zu klären gewesen, wie ich es wohl wünschte. Ich halte sie vorläufig für das Äquivalent der marinen Schichten des Oberoligocäns<sup>3)</sup> und lasse offen, ob und wie weit ihre Bildung noch ins Miocän hineinreicht.

Jedenfalls decken sich die BORNHARDTSchen Schlußfolgerungen hinsichtlich der Zeit, in der die Cementationszone spätestens entstanden sein muß, völlig mit dem Ergebnis, zu dem ich oben hinsichtlich des Alters der Dolinen gekommen bin, in denen die Bruchstücke von Schalenblende gefunden worden sind. Eine wesentlich engere Umgrenzung der Zeit könnte sich allerdings dann ergeben, wenn sich etwa herausstellen sollte, daß die tiefen Letten ebenfalls bereits Braunkohlen führen. —

Im folgenden soll nun dem Alter der Erscheinung auf einem anderen Wege nachgegangen werden, indem wir die

<sup>1)</sup> W. BORNHARDT: a. a. O., II, S. 195.

<sup>2)</sup> v. HUENE: Das Vorkommen von Galmei, Blende, Bleierz, Schwefelkies und Braunkohle bei Bergisch-Gladbach. Diese Zeitschr. 4, 1852, S. 571.

<sup>3)</sup> G. FLIEGEL: Aufnahmebericht zu den Blättern Mülheim a. Rh. und Hüttdorf im Jahre 1911. Jahrb. d. Königl. Preuß. Geol. Landesanst. für 1911

Auffassung von einer Hebungs- und einer nachfolgenden Senkungsperiode des Schiefergebirges in das Bild hineinzubringen versuchen, das wir uns aus anderen geologischen Erwägungen heraus von der Entstehung des Rheinischen Schiefergebirges machen. Da ergibt sich, daß sie jedenfalls nicht in die jüngere geologische Vergangenheit hinein paßt, für die die Entwicklung des Schiefergebirges in zufriedenstellender Weise geklärt ist, in das Jungtertiär und das Quartär:

Am Ausgange der Oligocänzeit war das Rheinische Schiefergebirge ein erloschenes Gebirge, das zwar die intensive varistische Faltung in seinem inneren Bau bewahrt hat, den Namen eines Gebirges aber morphologisch nicht mehr verdient. Denn nur als flacher Schild tauchte es mit sanftem Anstieg aus dem Nordmeer empor, um ebenso flach zu dem Meerbusen des Mainzer Beckens abzufallen. Das Gebirge war fast bis zum Niveau des Meeres eingeebnet.

Mit dem in der Miocänzeit einsetzenden Meeresrückzug nach Norden und der gleichzeitig beginnenden Aussübung des Mainzer Beckens wächst das Schiefergebirge allmählich höher aus dem Meere heraus und wird zu dem Horstgebirge, als welches wir es heut vor uns sehen. Dabei lehrt uns der Prozeß der Talbildung, der für den Rhein durch zahlreiche Einzeluntersuchungen vom Beginn der Pliocänzeit an fortlaufend bis zur Gegenwart verfolgt worden ist, daß in der Heraushebung des Gebirges wohl Ruhepausen zu beobachten sind, nirgends aber eine Umkehr ins Gegenteil: Der gegenwärtige Zustand ist der Höhepunkt dieser Entwicklung.

Für ein Absinken des ganzen oder derjenigen Teilgebiete des Schiefergebirges, in denen Erzgänge mit einer besonders mächtigen Umwandlungszone aufsetzen, in ein Hunderte von Metern tieferes Niveau, fehlt daher in der geologischen Entwicklung des Rheinischen Schiefergebirges im Jungtertiär und im Quartär ganz und gar der Raum, weil ja die Heraushebung bis in die Gegenwart hineinreicht.

Wir kommen aus diesen allgemeinen Betrachtungen über die geologische Entwicklungsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges heraus zu der Überzeugung, daß die heut unter dem Grundwasser liegende Umwandlungszone solcher Erzgänge vor der im Miocän einsetzenden großen Hebungperiode entstanden ist und auch vor dieser Zeit bereits ins Grundwasser versenkt war.

Dieses Ergebnis deckt sich völlig mit der oben festgestellten Tatsache, daß die Periode tieferreichender chemischer Verwitterung der sandig-schiefrigen Gesteine des Paläozoicums

und intensiver Auslaugung des Massenkalkes spätestens im Oligocän ihr Ende fand.

Wir werden daher geneigt sein, alle diese chemisch-geologischen Vorgänge als eine einheitliche Erscheinung zu betrachten, und werden sie in dieselbe Periode der geologischen Vergangenheit versetzen. Die scheinbar so verschiedenen Äußerungen der atmosphärischen Einwirkung beruhen im Grunde genommen nur auf den Unterschieden der betroffenen Gesteine, sowie darauf, daß bei den Erzgängen die Zerklüftung und Zerrüttung des Gebirges, wie wir mit BORNHARDT annehmen, die Wasser in größere Tiefen versickern ließ, so daß hier die chemische Umwandlung nach der Tiefe zu gleichsam voraus-eilen konnte.

Hat diese Periode spätestens im Oligocän ihr Ende gefunden, so ist damit doch noch keine befriedigende positive stratigraphische Festlegung gegeben. Durch die folgende Überlegung wollen wir ihr näherzukommen suchen:

In der Mehrzahl der Fälle ist zweifellos jede Spur der ursprünglichen Verwitterungsdecke — zu ihr gehört ja auch die Umwandlungszone der Erzgänge — durch die Abtragung während der jungtertiären und quartären Zeit wieder ausgelöscht worden. Zu ihrer Erhaltung ist, abgesehen von anderen günstigen Umständen, in jedem Falle erste Vorbedingung, daß die tiefgründig verwitterten Gebirgsteile in der Zeit der oligocänen Meerestransgression unter den Meeresspiegel oder wenigstens unter das Niveau des schützenden Grundwasserspiegels versenkt worden sind. Die Vorgänge chemisch-geologischer Umwandlung selbst sind daher in eine noch vor der Transgression liegende ältere Zeit zu versetzen.

Diese oligocäne Transgression<sup>1)</sup> nimmt bekanntlich, wie im übrigen Norddeutschland, so auch am Rhein bereits im Mitteloligocän ihren Anfang. Sie macht sich in gleicher Weise in der Gegend von Aachen, also am Nordabfall des Hohen Venns bzw. der Ardennen, in der Niederrheinischen Bucht und im rechtsrheinischen Gebiet bemerkbar und ergreift sogar das südliche und südöstliche Randgebiet des Schiefergebirges, da hier der Septarienton aus der Kasseler Gegend bis ins Mainzer Becken reicht.

Leider haben wir, wie ich anderweitig<sup>1)</sup> ausführlich dargelegt habe, bisher kein genügend klares Bild von den Wan-

---

<sup>1)</sup> G. FLIEGEL: Die Beziehungen zwischen dem marinen und kontinentalen Tertiär usw., a. a. O.

derungen, die die Küstenlinie in der Nachbarschaft des Rheinischen Schiefergebirges im Unteroligocän, im Eocän und Paleocän durchgemacht hat. Alles in allem ist es bei wesentlich geringerer Meeresausdehnung das Bild eines wiederholten Vordringens und Zurückweichens. Denn braunkohleführende Schichten sind neben marinen Ablagerungen und Brandungsgeröll in verschiedenen Stufen des ältesten Tertiärs am Niederrhein nachgewiesen. Das Rheinische Schiefergebirge ist in dieser Zeit Festland gewesen und hat wesentlich höher über den Meeresspiegel auferagt als nach Beginn der mitteloligocänen Transgression.

Die beschriebenen chemisch-geologischen Vorgänge müssen also, wie wir nunmehr aussprechen können, mindestens bis ins älteste Tertiär, ins Eocän und Paleocän, zurückverlegt werden, wobei der Anfangspunkt der Erscheinung noch offen ist. In dieser Hinsicht ist folgendes zu beachten: Die Umwandlungszone ist bisher bei den Erzgängen bis zu rund 500 m Tiefe nachgewiesen, und man muß annehmen, daß die oberen Gangteufen nach erfolgter Umwandlung in demselben Maße wie das Gebirge selbst bereits wieder abgetragen worden sind. In gleicher Weise können wir die heutigen Auslaugungstrichter des Massenkalkes nur als eine Resterscheinung sehr viel größerer Vorgänge ansehen. Dadurch wird es möglich, daß die Entstehung vielleicht bereits vor der Tertiärzeit ihren Anfang genommen hat.

Nun kennen wir nahe dem Nordrande des Schiefergebirges von mesozoischen Ablagerungen nur solche der Trias und des Lias sowie des Senons. Die die Trichter des Massenkalkes von Bergisch-Gladbach füllenden oberoligocänen Sande führen in ihren Geröllagen löcherige, nur wenig transportierte und daher aus nicht großer Entfernung eingeschwemmte Feuersteingerölle, die mir die ehemalige Verbreitung senoner Schichten von Belgien und Aachen her bis über Köln hinaus zu erweisen scheinen. Das Fehlen anstehender Kreide in den Massenkalktrichtern, das wir bisher annehmen müssen, ist dann so zu deuten, daß die Auslaugungserscheinungen jünger, d. h. erst nach Abtragung des Senons<sup>1)</sup>, entstanden sind.

<sup>1)</sup> Über das Vorkommen von Galmei und Schalenblende bei Blankenroda, unweit Stadtberge, in cenomanem Pläner, und das sich daraus möglicherweise ergebende nachcenomane Alter der Umwandlung der Erzgänge siehe BORNHARDT, a. a. O., Teil II, S. 197.

Die in den Dolinen im Liegenden des Oberoligocäns auftretenden Tone und Sande gehören dann ins Eocän<sup>1)</sup>, und die Periode tiefer chemischer Verwitterung steht in engem Zusammenhang mit der erneuten Hebungszeit des Schiefergebirges, die mit dem allgemeinen Meeresrückzug am Ende der Kreidezeit einsetzt.

Ich trage jedoch vorläufig noch Bedenken, in diesem Ergebnis, das von der Auffassung BORNHARDTS hinsichtlich der Erzgänge wohl kaum abweicht, einen absolut zwingenden Beweis zu sehen, wenngleich ein hoher Grad von Wahrscheinlichkeit vorhanden ist.

Bei der endgültigen Stellungnahme spielt, solange keine neuen tatsächlichen Beobachtungen vorliegen, die Vorstellung eine Rolle mit, die man sich von dem Zustande des Schiefergebirges in mesozoischer Zeit macht. Die Rheinische Masse ist an ihrem Rande und in einem bestimmten Teilgebiete, dem Westeifeler Graben, vom Trias- und Liasmeere, bedeckt gewesen; es ist aber keineswegs feststehend<sup>2)</sup>, daß diese Meeresbedeckung sich über das ganze Schiefergebirge erstreckt hat. Jedenfalls ist dieses in jungmesozoischer Zeit Festland gewesen. Denn die senonen Schichten von Aachen<sup>3)</sup> lassen in ihrer faziellen Entwicklung und ihren speziellen Lagerungsverhältnissen die Schwankungen der in der Nähe liegenden Meeresküste deutlich erkennen. Daß das Meer der Senonzeit nur den äußersten Rand des Schiefergebirges berührte, geht auch daraus hervor, daß die oberoligocänen und pliocänen Kiese, soweit sie innerhalb des Gebirges auftreten, frei von Feuersteingeröllen sind.

Infolge dieser Erwägungen erscheint es immerhin denkbar, daß die Verwitterungsrinde des devonischen Gebirges teilweise vielleicht schon in vorsenoner Zeit zur Ausbildung gelangt ist, und daß die fürs Ende der Kreidezeit und im Alttertiär nachgewiesene Periode tiefer chemischer Verwitterung mit ihren Anfängen weiter ins Mesozoicum zurückreicht. —

Aber noch nach einer anderen Richtung hin eröffnet uns die Beschäftigung mit den erhalten gebliebenen Abtragungs-

---

<sup>1)</sup> Die in den Trichtern des Massenkalkes von Bergisch-Gladbach verbreiteten Brauneisensteine entsprechen demnach stratigraphisch den Bohnerzen des Oberrheingebietes und der Schweiz.

<sup>2)</sup> G. FLIEGEL: Zum Gebirgsbau der Eifel. Verhandl. Naturhist. Ver. Rheinl. 68, 1911.

<sup>3)</sup> E. HOLZAPPEL: Die Geologie des Nordabfalles der Eifel usw. Abhandl. Königl. Preuß. Geol. Landesanst. N. F., 66, Berlin, 1910, S. 111.

resten tiefgründiger chemisch-geologischer Vorgänge einen interessanten Ausblick:

Trotz der seit dem Beginn des Miocäns anhaltenden allmählichen Heraushebung des Rheinischen Schiefergebirges sind die Auslaugungserscheinungen im Massenkalk nur stellenweise und jedenfalls nicht beträchtlich weitergeschritten. Ebenso war, wie auch BORNHARDT annimmt, die Umwandlungszone der Siegener Spateisensteingänge schon damals im wesentlichen in ihrer heutigen Ausdehnung vollendet. Daß die chemisch-geologischen Vorgänge in dieser langen Zeit die Umwandlungs- und Auslaugungszonen nicht haben an Mächtigkeit gewinnen lassen, ist aber nicht, wie man zunächst glauben möchte, auf eine dem Weiterwachsen nach der Tiefe entgegenwirkende und sie ausgleichende oberflächliche Abtragung zurückzuführen, sondern hat seine Ursache in einem tatsächlichen Stillstand dieser Vorgänge, wie die schon genannten Kontaktwirkungen von tertiärem Basalt an Brauneisenstein zeigen, die tief unten in der Oxydationszone, nur wenig über der unveränderten Spateisensteinzone, beobachtet worden sind<sup>1)</sup>. Es ist also eine regional wirkende, andere Ursache für diesen Stillstand der chemischen Verwitterung verantwortlich zu machen, und das kann nur das Klima sein:

Die lebhaft rot-, gelb-, violett-, zum Teil aber auch schneeweißgefärbten<sup>2)</sup>, immer wieder durch die Reinheit der Farbe ausgezeichneten Verwitterungstone der unterdevonischen Gesteine entstehen unter dem Einfluß unseres heutigen Klimas nicht mehr. Leider sind die chemischen Vorgänge, die zu ihrer Bildung führen, noch gar nicht erforscht, so daß es unmöglich ist, sie in den Einzelheiten zu erklären. Wenn wir aber bedenken, daß sich gleichartige Verwitterungsprodukte allem Anschein nach schon im Miocän, also während eines subtropischen Klimas, nicht mehr bildeten — wir kennen solche Farben nicht aus den Braunkohlethonen —, und daß andererseits heut derartige tiefgründige Verwitterungserscheinungen auf die Tropen beschränkt zu sein scheinen, so kommen wir zu der Annahme, eines erheblich wärmeren und niederschlagsreicheren Klimas, das wohl mit einer üppigen Vegetationsdecke verbunden war, für die Zeit des Ältertärs.

Diese Folgerung aus chemisch-geologischen Tatsachen steht wiederum in gutem Einklang zu dem, was uns der Charakter

<sup>1)</sup> W. BORNHARDT, a. a. O., I., S. 306.

<sup>2)</sup> Ähnlich lebhaft, besonders rotgefärbte Tone sind für das Paleocän des Niederrheinischen Tieflandes sehr charakteristisch.

der tertiären Floren lehrt, daß nämlich ein anfänglich tropisches Klima sich im Miocän zu einem subtropischen gemildert hat, um sich im Pliocän noch weiter abzukühlen. —

Ich habe mich im vorstehenden auf solche Verwitterungserscheinungen beschränkt, die einer älteren Periode angehören. Es wäre ein kleines, sie aus dem Jungtertiär und dem Quartär durch die Anführung anderer chemisch-geologischer, ebenfalls durch die Atmosphärien bedingter Vorgänge, z. B. die tiefe Auslaugung altquartärer Flußkiese oder die Bildung tertiärer Kieselsandsteine und -Konglomerate, zu ergänzen. Die angeführten Beispiele werden aber genügen, um zu zeigen, daß die chemisch-geologischen Erscheinungen für die Erkenntnis der geologischen Entwicklungsgeschichte mancher Gebiete wertvoll sind, zumal wenn sie vermöge des Schichtenverbandes, in dem sie auftreten, stratigraphisch festgelegt werden können.

Neben der Form verdient die Beschaffenheit einer alten Landoberfläche weitgehende Beachtung.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [65](#)

Autor(en)/Author(s): Fliegel Gotthard Walter Waldemar

Artikel/Article: [26. Über tiefgründige chemische Verwitterung und subaerische Abtragung. 387-404](#)