

V. Über basaltische Zersetzungsprodukte und die Bildung von Quarzit.

Von E. Dittler und J. E. Hibsich (Wien).

Mit 1 Abbildung im Texte.

- I. Allgemeine Untersuchungsmethoden.
- II. Beschreibung des Untersuchungsmaterials.
- III. Untersuchungsergebnisse.
 - a) *Der frische Basalt.*
 - b) *Basaltische Zersetzungsprodukte.*
 - c) *Tuffitische Gesteine.*
 - d) *Quarzit.*
- IV. Zusammenfassung und Folgerungen (mit Tabelle I).

Östlich und südöstlich von Brüx (Nordwestböhmen) haben sich während des Oberoligozän größere Basaltergüsse über mitteloligozäne Letten deckenförmig ausgebreitet. Die obersten Lagen dieser Letten sind stellenweise von oben herab bis zu 2 m Tiefe eingekieselt und in ein zusammenhängendes Quarzitlager umgewandelt worden, während die tiefer lagernden Teile der Letten unverändert blieben.

Die im Hangenden der Quarzitlager vorhandenen Basalte von verschiedener Mächtigkeit haben in beachtenswerter Weise an ihrer Unterseite eine vollständige Zersetzung erfahren, während die oberen, der Luft ausgesetzten Teile der Basaltkörper verhältnismäßig frisch erhalten sind. Diese basaltischen Zersetzungsprodukte unterscheiden sich wesentlich von den gewöhnlichen, durch Oberflächenverwitterung aus den Basalten hervorgegangenen Bildungen, so daß für ihre Entstehung wesentlich andere Vorgänge und Zustände, als sie die Oberflächenverwitterung begleiten, angenommen werden müssen.

Das Auftreten basaltischer Polsterlaven an einigen Orten der Umgebung von Brüx läßt darauf schließen, daß die betreffenden Basaltergüsse sich am Grunde von Wasserbecken ausgebreitet haben. Offenbar befanden sich die Basaltdecken auch nach ihrer Verfestigung noch mit ihren unteren Teilen unter dem Spiegel des Grundwassers. Soweit nun das Grundwasser und seine Einwirkung auf den Basalt

reichten, vollzog sich eine Zersetzung des Basaltes, deren Produkte im folgenden nach ihren chemischen und petrographischen Eigenschaften näher beschrieben werden sollen. Hierbei soll auch die Entstehung der zu tiefst liegenden Quarztlager erörtert werden.

I. Allgemeine Untersuchungsmethoden.

Die chemische Untersuchung beschränkte sich nicht einfach auf die Ausführung von Bauschanalysen der lufttrockenen Substanzen, sondern sie wurde ergänzt durch Untersuchungen der Salzsäure- und Schwefelsäurelöslichkeit der Zersetzungsprodukte. In Salzsäure lösen sich die Eisenoxydhydrate, allenfalls vorhandenes Tonerdehydratgel und die zur Gruppe der Allophane gehörigen Tonsubstanzen,¹⁾ in Schwefelsäure die zur Kaolingruppe gehörigen Aluminiumhydrosilikate.

H. Harrassowitz²⁾ hat vor kurzem für das Studium der Verwitterungserscheinungen eine neue Berechnungsmethode in Vorschlag gebracht, die an Stelle der von P. Niggli³⁾ veröffentlichten „petrographischen Methode“ hauptsächlich das Verhalten der Tonerdesilikate in den Verwitterungsprodukten berücksichtigt. Die molekularen Werte $k_i = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ und $b_a = \frac{\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ sollen die bei der Verwitterung sich ergebenden Verschiebungen der Kieselsäure und Basen zum Ausdrucke bringen.

Der Abbau primärer Minerale wäre auf diese Weise leichter zu übersehen. Indem man weiter die Werte k_i und b_a des verwitterten Gesteins durch dieselben Werte des frischen dividiert, erhält man die Zahlen K und B, mit Hilfe derer man weiter einen Überblick über den Grad der Verwitterung gewinnt. Diese Methode berücksichtigt hauptsächlich die Feldspatverwitterung und für diese ist sie gewiß brauchbar, sie übersieht aber die Zersetzung der dunklen Bestandteile der Gesteine (Olivin, Pyroxen, Biotit usw.) und eignet sich daher mehr für saure, feldspatreiche Gesteine, in denen das Verhältnis der Tonerde zu den Basen 1:1 ist.

¹⁾ Nach H. Stremme kolloide Gemenge der Zusammensetzung $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,4 \text{SiO}_2$ bis $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8 \text{SiO}_2$, nach beiden Seiten diese Grenzen überschreitend. C. Doelter, Handbuch der Mineralchemie II, Bd. 2, 30, 1917. In unserem Falle handelt es sich um Gemenge von $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ mit einem Verhältnis wie 1:3 bis 1:4.

²⁾ H. Harrassowitz, Laterit usw., Fortschritte d. Geol. u. Pal. IV, 14, 275, 1926.

³⁾ P. Niggli, Die chemische Gesteinsverwitterung in der Schweiz, Schweizer Min. u. Petr. Mitt., Bd. V, 322, 1925.

In der vorliegenden Arbeit wurde einfach das molekulare Verhältnis $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ in den Bauschanalysen berechnet und in die Schlußtablelle eingetragen. Die Ermittlung und Berechnung des allophanoiden und Kaolinanteiles in den Verwitterungsprodukten erfolgte nach der W. Meigen'schen Methode.⁴⁾

Die Analysen wurden nach den Methoden W. F. Hillebrand's⁵⁾ bearbeitet.

Titan, Mangan und Vanadin wurden in besonderen Proben kolorimetrisch ermittelt, das letztere Element in einer Einwage von 5 g Substanz durch Aufschluß mit Na_2O_2 in einem Silberschmelztiegel und Fällung mit Merkuronitrat.⁶⁾

Die Titansäure in unseren Zersetzungsprodukten stammt aus den Pyroxenen des frischen Gesteins und liegt in einer wasserhältigen kolloiden Form vor; sie hat ähnlich wie bei den Lateriten eine Anreicherung in dem allophanoiden Anteil erfahren. Die Hauptmenge der Titansäure geht bei der Behandlung mit Säuren in den unlöslichen Rückstand, aus dem sie durch Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure leicht in Lösung zu bringen ist.⁷⁾ Das Eisen wurde titrimetrisch mittels $\frac{1}{10}$ n. beziehungsweise $\frac{1}{20}$ n KMnO_4 ermittelt. ($1 \text{ cm}^3 = 0.005125 \text{ g Fe}$, beziehungsweise 0.0024771 g Fe .)

Die Bestimmung der Alkalien in den salzsauren Auszügen erfolgte durch Eindampfen derselben in einer großen Platinschale, Abscheidung der Kieselsäure usw. und weiter wie bei der Mineralwasseranalyse; die Alkalienbestimmung in den unlöslichen Rückständen wurde nach der bekannten Methode von L. Smith durch Aufschluß mit CaCO_3 und NH_4Cl ausgeführt.

Das Wasser über 110° wurde nach der Penfield'schen Methode⁸⁾ bestimmt, die Ermittlung der Analysenwerte für Kohlendioxyd erfolgte direkt in einer Einwage von 5 g lufttrockener Substanz nach der Methode von Fresenius-Classen.

Kohlige und Humussubstanzen wurden in keinem der Verwitterungsprodukte angetroffen.

⁴⁾ W. Meigen, Jahresber. u. Mitt. d. oberrhein. geol. Vereines, N. F., Bd. XII, 46, 1923.

⁵⁾ W. F. Hillebrand, The analysis of silicate and carbonate rocks, Washington 1919.

⁶⁾ W. F. Hillebrand, loc. cit., S. 185.

⁷⁾ Für die Bestimmung derselben siehe die Bemerkungen von J. Jakob. Ztschr. f. Krist., Bd. LXIV, 5—6. 440, 1927.

⁸⁾ Am. Journ. Science 48, 30, 1894.

Alle Proben wurden lufttrocken analysiert, die Analysen nach Abzug des hygroskopischen Wassers auf 10° umgerechnet und bei den stöchiometrischen Berechnungen nur das gebundene, nicht aber das kapillare Wasser berücksichtigt.

II. Beschreibung des Untersuchungsmaterials.

Besonders geeignetes Untersuchungsmaterial boten die ausgedehnten Aufschlüsse, die im Jahre 1926 für die tagbaumäßige Gewinnung von Quarzit unter der Basaltdecke bei der Schloßmühle südöstlich von Brüx zugänglich waren.

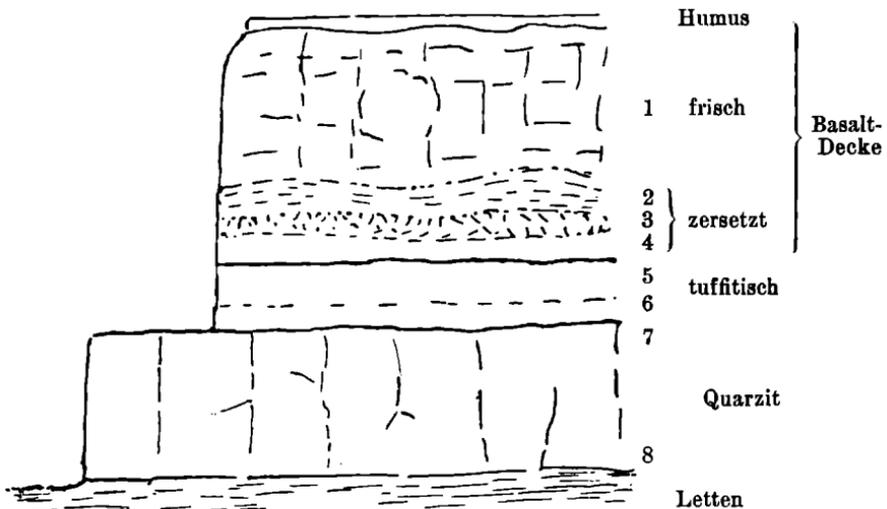


Abb. 1. Aufschluß in der Quarzitgrube bei der Schloß-Mühle südöstl. Brüx. 1—4 Basaltdecke; 1 frischer Basalt, 2 m; 2 bräunlichgrauer zersetzter Basalt, 0·3—0·5 m; 3 stückelig zersetzter, hell, gelbgrauer B., 0·3 m; 4 violett gefärbter zersetzter B., 0·4 m; 5—6 tuffitisch, 0·8—0·9 m; 7—8 Quarzitbank, 1·5—2 m; Darunter Letten. — Maßstab 1:100.

Im Aufschluß war folgendes zu beobachten:

Unter einer 1·5 bis 2 m mächtigen Lage von verhältnismäßig frischem, schwarzem Feldspatbasalt (1) folgt eine im ganzen an 1·2 m starke, in drei unterscheidbare Schichten (2, 3 und 4) geteilte Zone des umgewandelten Basaltes. Die Grenzen von 1 zu 2 und zwischen 2, 3 und 4 sind verwaschen. Unter dem zersetzten Basalt lagert eine in zwei Zonen gegliederte, auffallend bunt gefärbte Lage von tuffit-

ähnlichen Gesteinen (5 und 6). Sie ist im ganzen 0·8—0·9 m mächtig und vom hangenden, zersetzten Basalte scharf getrennt. Endlich folgt im Liegenden eine stellenweise bis 2 m anschwellende Bank von dichtem, hartem Quarzit (7 und 8), oben gegen die Zone 6 ebenfalls scharf abgesetzt. Unter der Quarzitbank lagert gewöhnlicher Letten.

III. Untersuchungsergebnisse.

a) Der frische Basalt.

Der Basalt (Lage 1) ist ein nephelinführender Feldspatbasalt. Gestein dicht, schwarz, bestehend aus 5—8 Raumteilen Olivin, bis 10 Teilen Magnetit, 50—60 Teilen Augit, 20 Teilen Plagioklas (Labrador) und etwa 5 Teilen Nephelin. Glas fehlt. — Augit bildet kleine braune Kriställchen, die sich mit den Magnetitkörnern zu Knäuel vereinigen, zwischen denen die Plagioklasleisten und Nephelinfeldchen sich ausbreiten. — Olivin verfiel bereits teilweise der Umwandlung, dabei lieferte er außer Serpentin auch Chlorit, Desselit und Karbonate. Die genannten Umwandlungsprodukte befinden sich neben noch frischen Olivinteilen in den Kristallräumen des Olivin oder in unmittelbarer Nachbarschaft.

Der chemische Bestand des Basaltes (1) ist folgender:

	%	Mol.-Quot. (× 1000)
SiO ₂	38·75	642·6
TiO ₂	2·58	32
Al ₂ O ₃	18·15	177·6
Fe ₂ O ₃	3·22	40
FeO	5·92	82
MgO	2·56	36
CaO	11·29	201
MgO	7·66	190
Na ₂ O	3·73	60
K ₂ O	1·59	17
P ₂ O ₅	0·52	4
CO ₂	0·90	20·5
H ₂ O ⁻	0·65	180·9
H ₂ O ⁺	2·61	
S ⁹⁾	—	—
	100·13	

⁹⁾ S nicht vorhanden.

Die Nigglistischen Zahlen sind: si 80, ti 4, p 0·5, al 22, fm 43, c 25, alk 10; CO₂ 2·55, h 22, k 0·22, mg 0·54.

b) Basaltische Zersetzungsprodukte, Lage 2—4
der Fig. 1.

Der beschriebene frische Basalt geht an seiner Unterseite allmählich, ohne scharfe Grenze, über in eine bis 1·2 m dicke Zone von zersetztem Basalt, in der man drei verschiedene, nicht scharf voneinander abgetrennte Lagen (2, 3 und 4 des Profils) unterscheiden kann. Davon ist die oberste (2) etwa 0·4—0·5 m mächtig. Sie erscheint dicht, braungrau gefärbt, mit feinen, unregelmäßig verlaufenden, rostfarbigen Schmitzen.

Unter dem Mikroskope treten trübe, isotrope, rotbraune Anhäufungen von Limonit in Bändern und unregelmäßig begrenzten Flecken hervor, die in farblosen Feldern eingebettet liegen. Die rotbraunen Bänder entsprechen den makroskopisch erkennbaren rostfarbigen Schmitzen. Die Hauptmasse der farblosen Felder wird von einer isotropen, optisch unbestimmbaren Substanz gebildet, deren Brechungsquotient $n = 1·53$ ist. Sie ist nicht Opal. In ihr ist noch die ursprüngliche Basaltstruktur, wenn auch undeutlich und verwaschen, erkennbar. Ferner liegen in ihr einzelne trübe braune Körner, die aus den Magnetitkörnern des Basaltes hervorgegangen sind, und gelbliche und farblose Leisten von Biotit mit kräftiger Doppelbrechung, mittlerer Lichtbrechung und schwachem Pleochroismus: γ gelblich-braun, α farblos.

Die chemische Untersuchung des zersetzten Basaltes (Lage 2) ergab folgendes:

	Lufttrocken	Bei 110° getr.
	%	%
SiO ₂	26·80	28·55
TiO ₂	2·96	3·15
Al ₂ O ₃	15·79	16·81
Fe ₂ O ₃	33·66	35·85
FeO	—	—
Mn ₂ O ₃ ¹⁰⁾	1·69	1·80
MgO	0·41	0·44
CaO	0·57	0·61
Na ₂ O	0·31	0·33

¹⁰⁾ MnO in Analogie mit Fe₂O₃ als Mn₂O₃ berechnet.

	Lufttrocken %	Bei 110° getr. %
K ₂ O	0·34	0·36
P ₂ O ₅	0·12	0·12
V ₂ O ₅	0·11	0·11
CO ₂	Spur	Spur
H ₂ O ⁻¹¹⁾	6·17	—
H ₂ O ⁺	11·14	11·87
	<u>100·07¹²⁾</u>	<u>100·00</u>

Bei 110° gibt die lufttrockene Substanz 6·17% hygroskopisches Wasser, beim Glühen entweichen noch weitere 11·14% gebundenes Wasser.

Der bei 110° getrocknete, in Salzsäure 1:1 unlösliche Rückstand gab beim Glühen 4·60%, d. s. 1·77% Wasser, bezogen auf die ursprüngliche Substanz. Für den in Salzsäure löslichen Teil verbleiben daher 10·10% gebundenes Wasser, so daß die Zusammensetzung des letzteren folgende ist:

	Bei 110° getr. ¹³⁾ %	Mol.-Quot.
SiO ₂	1·67	0·0265
TiO ₂	0·14	—
Al ₂ O ₃	11·71	0·1146
Fe ₂ O ₃	35·16	0·2202
FeO	—	—
Mn ₂ O ₃	1·80	0·0114
MgO	0·33	—
CaO	0·17	—
Na ₂ O	0·12	—
K ₂ O	0·15	—
P ₂ O ₅	0·13	—
V ₂ O ₅	0·12	—
CO ₂	—	—
H ₂ O ⁺	10·10	0·5611
	<u>61·60</u>	

Somit lösen sich etwa 62% des Materials dieser Zone in Salzsäure der eingangs erwähnten Konzentration, und zwar nahezu das

¹¹⁾ H₂O- bei 110°, H₂O+ gebundenes Wasser.

¹²⁾ S fehlt.

¹³⁾ Bezieht sich auf die bei 110° getrocknete Substanz.

ganze Eisenoxydhydrat und zwei Drittel des Tonerdehydrats der ursprünglichen Substanz.¹⁴⁾ Das Verhältnis $\text{Fe}_2\text{O}_3 (+ \text{Mn}_2\text{O}_3) + \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{H}_2\text{O}$ ist annähernd 1:1'6. Berechnet man die Formel des Brauneisenerzes $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Mn}_2\text{O}_3) : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1$,¹⁵⁾ so verbliebe für das wasserhaltige Tonerdehydrat ein Verhältnis von $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 3$ wie im Hydrargillit. Da dieses Mineral, wie die optische Untersuchung ergab, nicht vorliegt, so bleibt nichts anderes übrig, als den Rest des gebundenen Wassers mit Tonerde und Kieselsäure zu einem wasserhaltigen Aluminiumsilikat von allophanartigem Charakter zu vereinigen. Manganoxyd, Vanadinsäure und Phosphorsäure finden sich ausschließlich im salzsäurelöslichen Anteil. Die Titansäure hingegen ist im salzsäureunlöslichen Rückstand konzentriert. Kalkkarbonat und Magnesiumkarbonat fehlen.

Der in Salzsäure unlösliche Rückstand wurde nach dem Auswaschen u. d. M. geprüft und verhielt sich isotrop. Beim Extrahieren im Heißwasserstrom (24 Stunden in Schleicher-Schüllschen Dialysierhülsen Nr. 603) gehen aus den Substanzen der Lagen 2, 3 und 4 ziemlich beträchtliche Mengen Kieselsäure in Lösung:

					%
Bei Probe	2	etwa	.	.	15 ¹⁶⁾
"	"	3	"	.	15
"	"	4	"	.	8

In Probe 5 und 6 dagegen fand keine Lösung statt (Quarz). Quarz ist in den drei obersten Zonen (2, 3, 4) weder optisch noch chemisch festzustellen.

In den Verwitterungsprodukten 2, 3 und 4 liegen also offenbar chemisch sehr locker gebundene Gemenge von Eisenoxydhydrat mit Tonerde und Kieselsäure vor, die durch Salzsäure leicht aufgespalten werden und im Sinne H. Stremmes als Allophanoide aufzufassen wären.

¹⁴⁾ Wie in den folgenden Versuchen 3—6 ist die Kieselsäure, weil sie bei der Zersetzung mit HCl im Rückstand verbleibt, nicht mitberücksichtigt.

¹⁵⁾ Nach den Untersuchungen von H. E. Merwin und E. Posnjak wäre Limonit nunmehr als $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1 \text{H}_2\text{O}$ und nicht wie früher als $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ zu deuten. Doch enthält die Verbindung $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1 \text{H}_2\text{O}$ gegenüber dem Goethit noch kapillares Wasser gebunden. Am. Journ. Chem. Soc. **44**, 1971, 1922.

¹⁶⁾ Mit kleinen Mengen Tonerde- und Eisenhydrat; ein großer Teil dieser Kieselsäuresole läuft ohneweiters selbst durch gehärtete Filter (C. Schleicher-Schüll extrahart Nr. 602, Porengröße 0'9—1'5 μ).

Der bei 110° getrocknete und in Salzsäure unlösliche Rückstand der Lage 2 (etwa 38%) hatte folgende Zusammensetzung:

	%
SiO ₂	69·96
TiO ₂	7·84
Al ₂ O ₃	13·28
Fe ₂ O ₃	1·80
MgO	0·29
CaO	1·15
Na ₂ O	0·55
K ₂ O	0·55
H ₂ O ⁺	4·60
	100·02

Vor der Zersetzung mit konzentrierter Schwefelsäure bestimmte man die lösliche Kieselsäure zu etwa 54%; sie ist in heißer Kalilauge glatt löslich. U. d. M. ist sie vollkommen isotrop und quarzfrei.

Durch 24stündige Behandlung des Rückstandes in Schwefelsäure bei Wasserbadtemperatur waren gelöst worden:

		HCl unlöslicher Rückstand:		
		Unlöslich in konz. H ₂ SO ₄ , in heißer KOH löslich	H ₂ SO ₄ löslich	Mol.-Quot.
		%	%	
SiO ₂	54·19 ¹⁷⁾	15·77	0·2504	
TiO ₂	—	5·43	0·0677	
Al ₂ O ₃	—	12·80	0·1252	
Fe ₂ O ₃	—	1·57	0·0098	
MgO	—	—		
CaO	—	—		
Na ₂ O	—	—		
K ₂ O	—	—		
H ₂ O ⁺	—	4·60	0·2553	
		40·17		

In dem durch konzentrierte Schwefelsäure zersetzbaren Anteil war das Verhältnis H₂O : Al₂O₃ (+ Fe₂O₃) : SiO₂ nahezu 2 : 1 : 2, also wie im Kaolin.

¹⁷⁾ Bei der Behandlung des ursprünglichen allophanoiden Verwitterungsproduktes mit HCl 1 : 1 flockt die Kieselsäure aus und gelangt in den unlöslichen Rückstand, aus dem sie, wenn nicht Quarz vorliegt, leicht mit heißer KOH in Lösung gebracht und bestimmt werden kann.

Auf das ursprüngliche Material bezogen ergibt sich sonach ein Gemenge von etwa 80% stark mit Limonit (etwa 39%) durchsetztes Aluminiumhydro-silikat und etwa 13% Kaolin. Der Rest ist Titansäure (19%) und in Säuren Unlösliches. Das Mol.-Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$ im salzsäurelöslichen Anteil ist 1:3.

Die 25—30 cm mächtige, dichte und weiche, zerstückelte, hellgelbgrau gefärbte Lage 3 zeigt unter dem Mikroskop die gut erhaltene Basaltstruktur, und zwar deutlicher als die Lage 2. In den Kristallräumen der früheren Olivine erkennt man quergefaserte Bänder von Serpentin. Augite sind in trübe, undurchsichtige, unbestimmbare Massen umgewandelt. Von den Feldspatleisten sind stellenweise die äußersten Ränder noch erhalten. Alle optisch erkennbaren Minerale erscheinen wie bei der Lage 2 eingebettet in eine farblose, durch zerstreute, winzige braune Körnchen getrübe, isotrope Grundsubstanz, deren Brechungsquotient nahezu gleich 1.53 ist. Hydrargillit ist nicht erkennbar. Opal fehlt.

Zur Analyse der Lage 3 wurde wieder eine Durchschnittsprobe verwendet; sie hatte folgende Zusammensetzung:

	Lufttrocken	Bei 110° getr.
	%	%
SiO_2	42.57	46.73
TiO_2	2.34	2.57
Al_2O_3	13.74	15.08
Fe_2O_3	5.37	5.90
FeO	0.32	0.35
MnO	0.18	0.20
MgO	2.27	2.49
CaO	3.93	4.32
Na_2O	0.19	0.21
K_2O	0.32	0.35
P_2O_5	0.08	0.09
V_2O_5	—	—
CO_2	0.91	1.00
H_2O^-	9.41	—
H_2O^+	18.86	20.71
	<u>100.49¹⁸⁾</u>	<u>100.00</u>

¹⁸⁾ Auf S wurde geprüft und nur Spuren festgestellt. Die Probe auf V_2O_5 war hier negativ.

Bei 110° entweichen 9·41% hygroskopisches Wasser, beim Glühen gehen noch weitere 18·86% gebundenes Wasser fort. Der in Salzsäure lösliche Teil enthält 8·90% gebundenes Wasser. Der in Salzsäure unlösliche und bei 110° getrocknete Rückstand gibt beim Glühen noch 19·05% gebundenes Wasser oder, berechnet auf die ursprüngliche Substanz, 11·81% gebundenes Wasser.

Der in Salzsäure lösliche Teil hatte folgende chemische Zusammensetzung:

	Bei 110° getr. %	Mol.-Quot.
SiO ₂	1·77	0·0295
TiO ₂	0·11	0·0014
Al ₂ O ₃	14·37	0·1406
Fe ₂ O ₃	4·88	0·0306
MnO	0·20	0·0028
MgO	2·19	0·0543
CaO	4·04	0·0720
Na ₂ O	0·13	—
K ₂ O	0·23	—
P ₂ O ₅	0·09	—
CO ₂	1·00	0·0227
H ₂ O ⁺	8·90	0·4940
	<hr/>	
	37·91	

In dieser Zone (3) lösen sich nur etwa 38% des Verwitterungsproduktes in Salzsäure 1:1; hauptsächlich Aluminiumhydrosilikat mit wenig Eisenhydroxyd, etwas Karbonat sowie leicht salzsäurelösliche Abbaureste von Pyroxen, Feldspat und Serpentin.

Für die stöchiometrische Durchrechnung bindet man zweckmäßig die kleine Menge Kohlensäure an die äquivalente Menge CaO (a), den Rest des CaO an SiO₂ (b), MgO mit der äquivalenten Menge H₂O und SiO₂ an das Serpentinmolekül (c); so verbleiben in (d) Fe₂O₃ und Al₂O₃, deren Verhältnis zu H₂O = 1:2·6 ist. Setzt man wie früher Fe₂O₃:H₂O = 1:1, so verbleibt für Al₂O₃:H₂O ein Zahlenverhältnis 1:3 wie in Zone 2; Limonit ist nur wenig vorhanden. Die Hauptmasse des in HCl löslichen Anteiles besteht aus Aluminiumhydrosilikat, etwa 1 Mol. Kieselsäure mehr enthaltend als in Zone 2; das Verhältnis Al₂O₃:SiO₂ im allophanoiden Anteil ist etwa 1:4.

	a	b	c	d
SiO ₂ . . .	—	0·0493 ¹⁹⁾	0·0362 ¹⁹⁾	—
Al ₂ O ₃ . .	—	—	—	0·1406 (1)
Fe ₂ O ₃ . .	—	—	—	0·0306 (1)
MgO . . .	—	—	0·0543	—
CaO . . .	0·0227	0·0493	—	—
CO ₂ . . .	0·0227	—	—	—
H ₂ O ⁺ . .	—	—	0·0362	0·4578
				[0·4272 (3)]
				[0·0306 (1)]

Der in Salzsäure unlösliche Rückstand von zirka 62% hatte nach dem Trocknen auf 110° folgende Zusammensetzung:

	%
SiO ₂	73·29
TiO ₂	4·09
Al ₂ O ₃	1·17
Fe ₂ O ₃	1·66
MgO	0·49
CaO	0·46
Na ₂ O	0·13
K ₂ O	0·20
H ₂ O ⁺	19·05
	<hr/> 100·54

Bei Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure bleiben zirka 67%²⁰⁾ in heißer Kalilauge lösliche Kieselsäure — also kein Quarz — zurück.

Die Zahlen sind folgende:

	Unlöslich in H ₂ SO ₄ , löslich in KOH	Löslich in H ₂ SO ₄	Mol.-Quot.
	%	%	
SiO ₂ . . .	67·49 ²¹⁾	2·44	0·0406
TiO ₂ . . .	—	3·78	0·0472
Al ₂ O ₃ . .	—	1·07	0·0105

¹⁹⁾ Davon 1·77% (molekular 0·0295) in HCl löslich, der Rest, 3·17% (molekular 0·0560), befindet sich im salzsäureunlöslichen Rückstand.

²⁰⁾ Nach Abzug der an Pyroxen und Serpentin gebundenen Kieselsäure.

²¹⁾ Es verbleibt ein geringer, in Lauge unlöslicher Rückstand.

	Unlöslich in H_2SO_4 , löslich in KOH	Löslich in H_2SO_4	Mol.-Quot.
	%	%	
Fe_2O_3 . . .	—	1·54	0·0096
MgO . . .	—	—	—
CaO . . .	—	—	—
Na_2O . . .	—	—	—
K_2O . . .	—	—	—
H_2O^+ . . .	—	19·05	1·0583
		<hr/> 27·88	(0·0402)

Der in Schwefelsäure lösliche Anteil besitzt ein Verhältnis $H_2O : Al_2O_3 (+ Fe_2O_3) : SiO_2$ wie 2 : 1 : 2, wie im Kaolin (Nontronit), wenn man hierfür nur jene Menge des gebundenen Wassers (molekular 0·0402) berücksichtigt, welches dem Verhältnis $Al_2O_3 (Fe_2O_3) : SiO_2 : H_2O$ in diesem Mineral entspricht; der Rest des Wassers ist offenbar an die Titan- und an die Kieselsäure des allophanoiden Anteiles gebunden.

Auf das ursprüngliche Ausgangsmaterial berechnet, ergibt sich so nach ein Gemenge von zirka 78·50% durch wenig Limonit (5·38%) verunreinigtes Aluminiumhydroxilikat, 3·58% Kaolin, 2·34% Titansäure und 2·28% Kalzit; der Rest ist zersetzter Pyroxen und Serpentin.

Genetisch interessant ist ein Vergleich der Verwitterungsprodukte der Zone 2 und 3 mit dem frischen Basalt der Zone 1 unseres in der Einleitung gegebenen Profils. Zunächst fällt schon rein äußerlich der Farbenunterschied auf; das hellgrau gefärbte Material der Zone 3 enthält zum Unterschied von der dunkelbraunen Verwitterungssubstanz der Zone 2 nahezu den gleichen Tonerde- und Eisenoxyd-gehalt wie der frische Basalt, wenn man, wie unten beschrieben, die Analysen wasserfrei berechnet. Eine Anreicherung an den Hydraten beider Oxyde hat in Zone 3 nicht stattgefunden, vermutlich sind sogar beträchtliche Mengen Eisen gegen die Lage 2 zu abgewandert. Die Alkalien sind fast zur Gänze, die Erdalkalien bis ungefähr auf die Hälfte ausgelaugt, zu gleicher Zeit ist das Material von oben her stark silifiziert worden; nahezu sämtliches Eisenoxydul des frischen Basaltes ist hier wie in Zone 2 zu Eisenoxyd oxydiert.

	Basalt Lage 1 frisch	Basalt Lage 3 verwittert
	wasserfrei berechnet	
	%	%
SiO ₂	40·00	58·94
TiO ₂	2·66	3·24
Al ₂ O ₃	18·74	19·04
Fe ₂ O ₃	3·32	7·45
FeO	6·11 ²²⁾	0·41 ²³⁾
MnO	2·64	0·25
MgO	7·91	3·14
CaO	11·66	5·46
Na ₂ O	3·85	0·26
K ₂ O	1·64	0·44
P ₂ O ₅	0·54	0·11
CO ₂	0·93	1·26
	<u>100·00</u>	<u>100·00</u>

Vergleicht man hiemit die unmittelbar unter dem frischen Basalt liegende eisenreiche Lage 2 (ebenfalls wasserfrei berechnet), so ergibt sich:

	Basalt (Lage 2) %
SiO ₂	32·39
TiO ₂	3·58
Al ₂ O ₃	19·08
Fe ₂ O ₃	40·67
Mn ₂ O ₃	2·04
MgO	0·49
CaO	0·70
Na ₂ O	0·37
K ₂ O	0·41
P ₂ O ₅	0·14
V ₂ O ₅	0·13
	<u>100·00</u>

²²⁾ = 6·79% Fe₂O₃.

²³⁾ = 0·46% Fe₂O₃; insgesamt 7·90% Fe₂O₃ in Lage 3 gegen 10·11% Fe₂O₃ im frischen Basalt.

Beigleichem Tonerdegehalt wie Analyse 1 und 3 und weitgehender Entfernung der alkalischen Erden ist hier also eine Anreicherung des Eisenoxyds auf das Vierfache eingetreten, gleichzeitig sinkt die Kieselsäurezahl auf 32%.

Berechnet man nun in allen drei Lagen die Molekularquotienten für das Eisenoxyd, setzt zum Vergleiche den im frischen Basalt hiefür berechneten Wert = 1 und rechnet die übrigen Werte darauf um, so verhält sich die Menge des Eisenoxyds in den drei Zonen wie 1 : 4 : 0·78.

Die Lage 2 besitzt demnach lateritähnlichen Charakter und eine dementsprechende Zusammensetzung; ²⁴⁾

Mol.-Verhältnis	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	Fe_2O_3
Lage 1 . . .	3·63	1
Lage 2 . . .	2·89	4
Lage 3 . . .	5·27	0·78
Lage 4 . . .	6·94	—

Man erkennt ferner aus dem Quotienten $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ die Abwanderung der Kieselsäure aus Lage 2 in die Zonen 3 und 4, also eine deutlich nach unten zunehmende Verkiezelung.

Die unterste, etwa 0·4 m starke, erdige, dichte, weiche und abfärbende, violettbraun gefärbte, grau und karminrot gefleckte Lage 4 des zersetzten Basaltes ist reich an Karbonaten. Sie braust mit Säuren. In ihr ist nichts Geformtes mehr zu erkennen, die ganze Zone ist in trübe isotrope Substanzen umgewandelt. Da man stellenweise Blasenräume erkennt, so kann man annehmen, daß vorliegende Zone 4 aus einer glasreichen, schlackigen Randfazies an der Unterseite der Basaltdecke hervorgegangen ist.

Die chemische Zusammensetzung ist nachstehend gegeben. Zur Analyse wurde lufttrockenes Durchschnittsmaterial gebracht; hiebei ergab sich folgende Zusammensetzung:

²⁴⁾ Lateritanalysen siehe den Artikel E. Dittler im Handbuche der Mineralchemie III, 2, 484, 1926.

	Lufttrocken %	Lage 4 Bei 110° getr. %
SiO ₂	40·90	45·85
TiO ₂	1·31	1·35
Al ₂ O ₃	17·07	19·08
Fe ₂ O ₃	16·64	18·60
FeO	—	—
MnO	Spur	Spur
MgO	1·01	1·13
CaO	1·62	1·81
Na ₂ O	0·07	0·08
K ₂ O	0·11	0·12
P ₂ O ₅	0·11	0·12
V ₂ O ₅	0·02	0·02
CO ₂	1·84	2·06
H ₂ O ⁻	10·85	—
H ₂ O ⁺	8·75	9·78
	<u>100·30</u>	<u>100·00</u>

Bei 110° werden 10·85% hygroskopisches Wasser abgegeben, beim Glühen gehen noch weitere 8·75% gebundenes Wasser fort. Der in Salzsäure lösliche Teil enthält 5·34% gebundenes Wasser; der in Salzsäure unlösliche, bei 110° getrocknete Rückstand gibt beim Glühen 8·05% gebundenes Wasser, d. i., auf die ursprüngliche Substanz berechnet, 4·44% gebundenes Wasser. Die Lage 4 ist demnach wieder wesentlich eisenreicher, aber wasserärmer als die Lage 3; sie zeigt in dieser Beziehung Ähnlichkeit mit der Lage 2. Vielleicht liegt hier eine Art rhythmischer Ausfällung im Sinne von R. E. Liesegang vor.²⁵⁾

Die in Salzsäure lösliche Partie hatte folgende Zusammensetzung:

	Bei 110° getr. %	Mol.-Quot.
SiO ₂	1·81	0·0301
TiO ₂	0·10	0·0012
Al ₂ O ₃	14·56	0·1425
Fe ₂ O ₃	17·94	0·1123
MgO	1·01	0·0250
CaO	1·80	0·0321
Na ₂ O	0·03	—

²⁵⁾ R. E. Liesegang, Geologische Diffusionen, 1913.

	Bei 110° getr. %	Mol.-Quot.
K ₂ O	0·07	—
P ₂ O ₅	0·12	—
V ₂ O ₅	0·02	—
CO ₂	2·06	0·0468
H ₂ O ⁺	5·34	0·2964
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 44·86	

Somit lösen sich zirka 45 % des Tones in Salzsäure, hievon etwa 38 % Eisen- und Aluminiumhydroxyd; für die stöchiometrische Berechnung der Molekularquotienten kann man wie in Lage 3 verfahren:

	a	b	c
SiO ₂	—	0·0060	—
Al ₂ O ₃	—	—	0·1425
Fe ₂ O ₃	—	—	0·1123
MgO	0·0147	0·0103	—
CaO	0·0321	—	—
CO ₂	0·0468	—	—
H ₂ O ⁺	—	0·0060	0·2904

a = Karbonate, b = Serpentin, c = Eisen- und Aluminiumoxyhydrate.

Sonach ergäbe sich ein Verhältnis Fe₂O₃ (Al₂O₃) : H₂O wie etwa 1 : 1·2. Die sehr viel schwerere Löslichkeit des Eisenoxyds dieser Zone in Salzsäure läßt vermuten, daß dasselbe überhaupt wasserfrei vorliegt oder als zum mindesten sehr wasserarmes, gealtertes Gel, wodurch das Verhältnis Al₂O₃ : H₂O im salzsäurelöslichen Teil 1 : 2 würde. Das Mol.-Verhältnis Al₂O₃ : SiO₂ ist wie in Lage 3 zirka 1 : 4.

Der in Salzsäure unlösliche Rückstand (zirka 55 %) hatte nach dem Trocknen bei 110° folgende Zusammensetzung:

	%
SiO ₂	79·88
TiO ₂	2·27
Al ₂ O ₃	8·20
Fe ₂ O ₃	1·20
MgO	0·22
CaO	0·02
Na ₂ O	0·09
K ₂ O	0·09
H ₂ O ⁺	8·05
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 100·02

Bei der Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure bleiben zirka 65 % in heißer Kalilauge lösliche Kieselsäure zurück, dagegen kein Quarz.

Mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, lösen sich:

	In HCl unlöslich:		Mol.-Quot.
	Unlös. in konz. H ₂ SO ₄ , lös. in KOH	Lösl. in H ₂ SO ₄	
	%	%	
SiO ₂	65·04	9·65	0·1608
TiO ₂	—	2·11	0·0263
Al ₂ O ₃	—	7·71	0·0754
Fe ₂ O ₃	—	1·06	0·0066
MgO	—	—	—
CaO	—	—	—
Na ₂ O	—	—	—
K ₂ O	—	—	—
H ₂ O ⁺	—	8·05	0·4468
		28·58	

Das Verhältnis H₂O:Al₂O₃:SiO₂ im Schwefelsäureauszug ist etwa 2:1:2, das Wasser wie in Zone 3 berechnet; der Rest des Wassers ist an die überschüssige Kieselsäure gebunden; doch ist diese wasserärmer als in Zone 3.

Berechnet man die Bauschalzusammensetzung des Ausgangsmaterials, so ergibt sich ein Gemenge von rund 75 % Aluminiumhydroxilikat (inkl. 18 % Eisenoxyd), 11 % Kaolin, zirka 5 % Karbonate und 1 % Serpentin, der Rest ist Titansäure und Unlösliches.

c) Tuffitische Gesteine.

Im Liegenden der Basaltdecke findet sich eine in zwei Zonen (5 und 6) gegliederte Lage tuffitähnlicher Gesteine, die durch lebhafte Färbung sehr auffällt. Ihre Mächtigkeit beträgt im ganzen 0·8—0·9 m. Die obere, 0·5 m mächtige Zone 5 stellt eine einfarbig lebhaft braunrote, dichte, erdige, abfärbende Masse dar, die aus einzelnen Quarzkörnern und einer braunen, isotropen, strukturlosen, höchstens stellenweise gekörnelten Substanz besteht. Diese wird mit Wasser plastisch.

Die chemische Zusammensetzung dieser Zone ist nachstehende:

	Lage 5	
	Lufttrocken	bei 110° getr.
	%	%
SiO ₂	51·01	52·12
TiO ₂	1·22	1·24
Al ₂ O ₃	24·44	24·97
Fe ₂ O ₃	10·86	11·10
FeO	—	—
MnO	0·02	0·02
MgO	0·60	0·61
CaO	0·86	0·87
Na ₂ O	0·05	0·05
K ₂ O	0·10	0·11
P ₂ O ₅	0·02	0·02
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	0·78	0·79
H ₂ O ⁻	2·41	—
H ₂ O ⁺	7·92	8·10
	<u>100·29</u>	<u>100·00</u>

Bei 110° getrocknet enthält die lufttrockene Substanz 2·41% hygroskopisches Wasser, beim Glühen entweichen noch 7·92% gebundenes Wasser.

Der bei 110° getrocknete, in Salzsäure 1 : 1 unlösliche Rückstand gab beim Glühen 8·25% oder, bezogen auf die ursprüngliche Substanz, 6·51% gebundenes Wasser. Für den in Salzsäure löslichen Teil verbleiben daher 1·59% gebundenes Wasser; die Zusammensetzung des letzteren ist folgende:

	Bei 110° getr.	Mol.-Quot.
	%	
SiO ₂	1·60	0·0265
TiO ₂	0·04	0·0005
Al ₂ O ₃	4·56	0·0446
Fe ₂ O ₃	11·01	0·0689
FeO	—	—
MnO	0·02	0·0003
MgO	0·50	0·0125
CaO	0·87	0·0155

	Bei 110° getr. %	Mol.-Quot.
Na ₂ O	0·03	—
K ₂ O	0·05	—
P ₂ O ₅	0·02	—
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	0·79	0·0018
H ₂ O ⁻	—	—
H ₂ O ⁺	1·59	0·0882
	<hr/>	
	21·08	

Es lösen sich in dieser Zone nur mehr 21 % der Tonsubstanz in Salzsäure 1 : 1, und zwar nahezu das ganze Eisenhydroxyd, dagegen nur zirka ein Sechstel der Tonerde, die, chemisch an Kaolin gebunden, im unlöslichen Rückstand verbleibt.

Das Verhältnis Fe₂O₃ + Al₂O₃ : H₂O im salzsäurelöslichen Teil ist 1 : 0·8. Das Eisenoxyd ist noch schwerer löslich als in Lage 4, daher wasserfrei. Das Verhältnis Al₂O₃ : H₂O ist somit zirka 1 : 2. Da in Kalilauge lösliche Kieselsäure nicht vorliegt, so handelt es sich hier wohl um geringe Mengen freien Tonerdehydrates. Manganoxyd und Phosphorsäure sowie die Karbonate finden sich im salzsäurelöslichen Auszug.

Die Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes (zirka 79 %) ergab nach dem Trocknen bei 110°:

	%
SiO ₂	64·05
TiO ₂	1·52
Al ₂ O ₃	25·85
Fe ₂ O ₃	0·11
MgO	0·14
CaO	—
Na ₂ O	0·03
K ₂ O	0·07
H ₂ O ⁺	8·25
	<hr/>
	100·02

Ein Auszug des Rückstandes mit heißer Kalilauge ergab keine lösliche Kieselsäure.

Nach dem Erhitzen mit konzentrierter Schwefelsäure blieb fast reiner Quarz zurück, der auch durch die mikroskopische Untersuchung nachgewiesen werden konnte.

Von Schwefelsäure wurden gelöst:

	In HCl unlöslich:		Mol.-Quot.
	Unlöslich in H ₂ SO ₄ und KOH %	Löslich in H ₂ SO ₄ %	
SiO ₂ . . .	34·31	30·02	0·4979
TiO ₂ . . .	—	1·20	0·0150
Al ₂ O ₃ . . .	—	24·79	0·2426
Fe ₂ O ₃ . .	—	0·10	0·0006
MgO . . .	—	—	—
CaO . . .	—	—	—
Na ₂ O . . .	—	—	—
K ₂ O . . .	—	—	—
H ₂ O ⁺ . . .	—	8·25	0·4579
		64·36	

Der Anteil an Quarz im unlöslichen Rückstand beträgt 34·31 % oder, bezogen auf die ursprüngliche Substanz, 26·83 %. Das Verhältnis H₂O : Al₂O₃ : SiO₂ in diesem Anteil ist nahezu 2 : 1 : 2 wie im Kaolin. Die Tonsubstanz dieser Zone enthält daher im Gegensatz zu den Lagen der drei oben beschriebenen sehr viel reichlicher Kaolin und Quarz. Die chemische Zusammensetzung der Lage 5 ist rund die folgende: 50 % Kaolin, 27 % Quarz, 18 % tonhaltiger Brauneisenstein, zirka 1·8 % Karbonate und zirka 1 % Serpentin. Rest in Salzsäure und Schwefelsäure Unlösliches.

Die untere Lage 6 der tuffartigen Gesteine besitzt nur 0·3—0·4 m Mächtigkeit. Sie ist ganz dicht, weich, zwischen den Fingern zerreiblich, grau und braunrot gefleckt. An ihrer Zusammensetzung beteiligen sich mehr Quarzkörnchen als in der Zone 5, dann noch Anhäufungen von blätterigen, braungelb gefärbten, schwach doppelbrechenden Gebilden mit α und $\gamma > 1·525$, die der Kaolingruppe angehören.

Der größere Quarzgehalt drückt sich in der folgenden chemischen Zusammensetzung aus.

Die Analyse des luftgetrockneten Materials dieser als 6 bezeichneten Lage führte zu folgenden Zahlen:

	Luftgetrocknet %	Bei 110° getr. %
SiO ₂	66·19	66·78
TiO ₂	1·12	1·13
Al ₂ O ₃	23·13	23·33
Fe ₂ O ₃	1·87	1·88
FeO	0·13	0·13
MnO	Spur	Spur
MgO	0·36	0·37
CaO	0·32	0·33
Na ₂ O	0·07	0·07
K ₂ O	0·16	0·16
P ₂ O ₅	—	—
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	0·37	0·38
H ₂ O ⁻	1·05	—
H ₂ O ⁺	5·40	5·44
	<hr/> 100·17	<hr/> 100·00

Bei 110° entweichen 1·05% hygroskopisches Wasser, beim Glühen noch 5·40% gebundenes Wasser. Der in Salzsäure unlösliche Rückstand enthielt beim Glühen 5·42% gebundenes Wasser oder, auf die ursprüngliche Substanz berechnet, 5·03% gebundenes Wasser, es verbleiben daher für den in Salzsäure löslichen Teil nur 0·42% gebundenes Wasser übrig.

Der in Salzsäure 1:1 lösliche Anteil hatte folgende Zusammensetzung:

	Bei 110° getr. %	Mol.-Quot.
SiO ₂	1·23	0·0205
TiO ₂	0·03	—
Al ₂ O ₃	3·21	0·0314
Fe ₂ O ₃	1·44	0·0090
FeO	—	—
MnO	—	—
MgO	0·36	0·0089
CaO	0·32	0·0057
Na ₂ O	0·07	—

	Bei 110° getr.	Mol.-Quot.
	%	
K ₂ O	0·16	—
P ₂ O ₅	—	—
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	0·38	0·0086
H ₂ O ⁻	—	—
H ₂ O ⁺	0·42	0·0233
	<hr/>	
	7·64	

Es lösen sich in Salzsäure nur mehr 7·64 % des bereits stark quarzitären Materials; das Verhältnis Al₂O₃ (Fe₂O₃) : H₂O wie 1 : 0·6 läßt auf nur geringe Mengen ganz wasserarmer und in Salzsäure löslicher Tonerdehydrosilikate schließen, in denen etwas Limonit steckt.

Der bei 110° getrocknete Rückstand (zirka 92 %) hatte, mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, folgende Zusammensetzung:

	%
SiO ₂	71·25
TiO ₂	1·20
Al ₂ O ₃	21·86
Fe ₂ O ₃	0·48
MgO	0·16
CaO	—
H ₂ O	5·42
	<hr/>
	100·37

Bei der Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure bleiben 50·88 % in heißer Kalilauge unlösliche Kieselsäure (Quarz) zurück.

Die Zahlen waren folgende:

	In Salzsäure unlöslich:		
	Unlöslich in H ₂ SO ₄ , und in KOH	Löslich in H ₂ SO ₄	Mol.-Verh.
	%	%	
SiO ₂	50·88	20·37	0·3395
TiO ₂	—	1·09	0·0136
Al ₂ O ₃	—	17·20	0·1686
Fe ₂ O ₃	—	0·37	0·0023
H ₂ O	—	5·42	0·3011
		<hr/>	
		44·45	

In dem durch konzentrierte Schwefelsäure löslichen Teil ist das Verhältnis $H_2O : Al_2O_3 : SiO_2 = 2 : 1 : 2$ wie im Kaolin. Auf die ursprüngliche Substanz berechnet, ergeben sich zirka 40% Kaolin, 47% Quarz, nur mehr etwa 5% tonerdehaltiger Rot-eisenstein, 1% Karbonate, Rest in Salz- und Schwefelsäure Unlösliches.

Die Berechnung der Molekularquotienten $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$:

für die Zone 5 . . . 3·55
und für die Zone 6 . . . 4·86

verglichen mit denselben Werten in 2 bis 4, läßt einen genetischen Zusammenhang mit den drei oberen Zonen nicht erkennen. Das Kieselsäure-Verhältnis erfährt hier einen plötzlichen Sprung, der sich in einer weitgehenden Kaolinbildung bemerkbar macht. Nach Abzug des Quarzes werden diese Zahlen für die Lage 5: 1·7, für die Lage 6: 1·36, d. h. neben dem Kaolin ist noch ein geringfügiger Überschuß an Tonerde vorhanden, die im Allophananteil gebunden ist. Zone 5 und 6 stellen vermutlich eine alte Landoberfläche dar, auf der sich später Basaltergüsse ausbreiteten.

d) Quarzitbank (Lage 7 und 8. Siehe Fig. 1).

Im Liegenden des tuffitischen Lagers folgt schließlich eine bis 2 m anschwellende Bank von dichtem, hartem Quarzit (7 und 8 des Profils). Dessen Farbe ist hellgrau, mit größeren und kleineren blaßbräunlichgelben Flecken. Er besteht aus kleinen Quarzkörnchen, meist von 0·01, seltener von 0·06 bis 0·1 mm Durchmesser. Ab und zu ein Zirkonkorn. Alle Quarzkörnchen sind untereinander unmittelbar, ohne erkennbares fremdes Bindemittel, verbunden. Trübe, undurchsichtige, tonige und organische Stoffe sind fleckenweise angehäuft und bedingen die makroskopisch hervortretenden bräunlichgelben Flecke.

Von oben herab (aus dem Tuffitlager) dringen gegenwärtig Eisenverbindungen in die Quarzitbank ein und erzeugen zu oberst Braunfärbung. Das drückt sich im höheren Eisengehalt der Zone 7 gegenüber dem der Zone 8 aus.

Die chemische Zusammensetzung des Quarzits der Lage 7 war folgende:

	Lufttrocken %	Bei 110° getr. %
SiO ₂	92·42	92·48
TiO ₂	0·24	0·24
Al ₂ O ₃	1·89 ²⁶⁾	1·89
Fe ₂ O ₃	2·81	2·81
FeO	1·18	1·18
MnO	—	—
MgO	0·11	0·11
CaO	0·20	0·20
Na ₂ O	0·13	0·13
K ₂ O	0·11	0·11
P ₂ O ₅	—	—
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	Spur	Spur
H ₂ O ⁻	0·10	—
H ₂ O ⁺	0·85	0·85
	<u>100·04</u>	<u>100·00</u>

Die chemische Zusammensetzung des Quarzits der Lage 8 war:

	Lufttrocken %	Bei 110° getr. %
SiO ₂	96·78	96·14
TiO ₂	0·21	0·21
Al ₂ O ₃	2·78 ²⁷⁾	2·78
Fe ₂ O ₃	0·20	0·20
FeO	—	—
MnO	—	—
MgO	0·10	0·10
CaO	0·14	0·14
Na ₂ O	0·15	0·15
K ₂ O	0·13	0·13
P ₂ O ₅	—	—
V ₂ O ₅	—	—
CO ₂	Spur	Spur
H ₂ O ⁻	0·05	—
H ₂ O ⁺	0·15	0·15
	<u>100·69</u>	<u>100·00</u>

²⁶⁾ Mit kleinen Mengen ZrO₂ (nicht bestimmt).

²⁷⁾ Mit kleinen Mengen ZrO₂ wie Lage 7.

Der Quarzit der Lage 8 ist etwas reicher an Feldspat, beziehungsweise an Tonsubstanz als der der Zone 7, wie aus dem Quotienten $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 83$ für Zone 7, und zirka 60 für Zone 8 hervorgeht.

IV. Zusammenfassung und Folgerungen

(mit Tabelle I).

Auf Grund der chemisch-petrographischen Untersuchung kann nun für die Zersetzung der Basalte der Schloßmühle und für die Quarzitbildung folgende Bildungsgeschichte abgeleitet werden:

Wie in der Einleitung bemerkt, hatten sich im Oberoligozän größere Basaltergüsse über mitteloligozäne Letten deckenförmig, und zwar am Grunde eines Wasserbeckens, ausgebreitet. Später hat der Basalt infolge der Einwirkung des Grundwassers an seiner Unterseite eine weitgehende Zersetzung und Umwandlung erfahren.

Zunächst entstand unter dem Einfluß von durch die vulkanischen Vorgänge erwärmtem Wasser ein Material, das starke Hydratisierung, Abtransport der Alkalien und alkalischen Erden, Anreicherung von Eisenoxyd und Titansäure sowie eine vollständige Oxydation des Eisens erfuhr. Ein derartiger Reaktionsverlauf ist aus dem Vergleich der chemischen Analysen der Lage 2 mit 3 und 4 ohne weiteres ersichtlich.

An der Hand der Tabelle I lassen sich die einzelnen Zonen kurz in folgender Weise chemisch-mineralogisch charakterisieren:

1. Wenig zersetzter Basalt (etwas H₂O- und CO₂-haltig).
2. Basalt vollkommen umgewandelt in ein weiß und braunrot geflecktes, lateritähnliches Gestein; ohne erkennbare Mineralsubstanz.
3. Basaltstruktur gut erhalten; Alkalien vollständig, Erdalkalien zum Teil ausgelaugt. Chemische Bruttozusammensetzung im übrigen wie der frische Basalt, jedoch sehr stark hydratisiert und silifiziert; sehr viel eisenärmer als Zone 2.
4. Ähnlich Zone 2, doch eisenärmer als diese Zone; das Eisenoxydgel dieser Zone ist rot gefärbt und wasserärmer als in Zone 2 und 3. Die Verwitterungsprodukte der Zonen 2, 3 und 4 zeigen einen nach der Tiefe zu ansteigenden Kieselsäuregehalt, doch keinen Quarz.
5. Tuffitartig; allophanoide Tone fehlen, dafür Kaolin und Quarz vorhanden. Hellrot gefärbtes Eisenoxyd, H₂O-arm, in HCl schwer löslich, von Turgit-artigem Charakter.
6. Wie Zone 5, nur reicher an Quarz.
7. Quarzit, Fe-arm.
8. Quarzit, nahezu Fe-frei, etwas tonreicher als 7.

	Zone im Profil	% hygrosk. Wasser < 110°	% gebund. Wasser > 110°	Von Salzsäure 1:1 zersetzbar				Von Schwefelsäure zersetzbar	Quarz	Mol.-Verh. SiO ₂ Al ₂ O ₃ i.d. Bausch- analysen	Anmerkung
				Aluminium- hydrosilikat		Eisenoxyde	Karbonat	Kaolin			
				%	Mol.-Verh. Al ₂ O ₃ :SiO ₂						
Basalt frisch	1	0.65	2.61	—	—	—	—	—	—	3.63	—
Zersetzter Basalt	2	6.17	11.14	41	1:3 H ₂ O- arm	39 % Limosit	—	13 %	—	2.89	Strich: gelb. nicht plastisch
	3	9.41	18.86	73	1:4 H ₂ O- reich	5 % Limosit	2 %	4 %	—	5.27	Strich: weißlichgelb. plastisch
	4	10.85	8.75	57	1:4 H ₂ O- arm	18 % sehr viel wasserärmer als 2 und 3	5 %	11 %	—	6.94	Strich: hellrot. plastisch
Tuffite	5	2.41	7.92	6	—	12 % wasserfrei Turgit- ähnlich	2 %	50 %	27 %	3.55	Strich: rostbraun. weniger plastisch
	6	1.05	5.40	4	—	1.5 % wasserfrei Turgit- ähnlich	1 %	40 %	47 %	4.86	Strich: rostbraun. weniger plastisch
Quarzite	7	0.10	0.85	—	—	3 % Eisenoxyd	Spur	Sehr geringe Reste von Kaolin	92 %	83.13	Strich: hellgrau. hart
	8	0.05	0.15	—	—	Spur	Spur	Etwas größere Reste von Kaolin und Feldspat als in Zone 7	97 %	59.16	Strich: weiß. sehr hart

Scharf hervortretende Grenzen machen sich zwischen den Zonen 4 und 5 und zwischen 6 und 7 bemerkbar; sie treten sowohl petrographisch wie besonders chemisch hervor. In Lage 2 hat der Eisen-gehalt gegenüber dem des frischen Basaltes (Lage 1) eine Anreicherung von etwa 10% auf fast 41%, gegenüber dem der Lage 3 eine solche von 8% auf 41%²⁸⁾ erfahren.

Die Zone 2 ist demnach die eisenreichste Zone des ganzen Profils überhaupt; in sie muß Eisen von unten her zugewandert sein (vgl. Analysen der Zonen 1, 2 und 3 auf S. 58). Man könnte sich den Vorgang etwa folgend vorstellen: die Liegendzone (Zone 3) stand unter ständiger Grundwasserbedeckung, worauf auch der höhere Gehalt an Wasser und an Karbonaten in Lage 3 hindeutet. In der Lage 2 hingegen wechselte der Grundwasserspiegel. Erhöhte Temperatur, reichliche Sauerstoffzufuhr und häufiger Wechsel zwischen Feucht- und Trockenperioden erzeugten eine vollständige Zerlegung der Silikate des Basaltes dieser Zone in Limonit und allophanoide Tonsubstanz. Es liegt hier der außerordentlich interessante Fall einer lateritähnlichen Bildung (Zone 2) unter Mitwirkung von Grundwasser vor, wobei die Zone 3 etwa der Bleichzone im Lateritprofil entsprechen würde. Nach unten zu fortschreitend folgen verschiedene Stadien der Entwässerung des Eisenoxydhydrats, in Zone 5 und 6 ist kein Wasser für die Bildung von Eisenoxydhydrat mehr übrig; tatsächlich konnten in den Hohlräumen der Zone 5 mehrere Millimeter große Hämatitkriställchen beobachtet werden; die hellrote Farbe der unteren Zonen rührt von beigemengtem Roteisen her.

In jedem der Abschnitte 2—4 und 5—6 ist nun eine Zunahme der Kieselsäure nach unten zu zu beobachten (Werte $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ der Tabelle). Es müssen also beträchtliche Mengen Kieselsäure, insbesondere aus der Zone 2, abgespalten worden sein. Wie besonders E. R a m a n n²⁹⁾ betont, hängt es hauptsächlich von klimatischen Faktoren ab, ob es bei der Zersetzung von Aluminiumsilikaten zur vollständigen Trennung von Kieselsäure und Tonerdehydrat, beziehungsweise Kieselsäure und Eisenhydroxyd kommt oder nicht.

Höhere Temperatur als im humiden, gemäßigten Klima kann die Silikate auch über das Allophanstadium hinaus gänzlich aufspalten.

²⁸⁾ Wasserfrei auf 100 berechnet (S. 58).

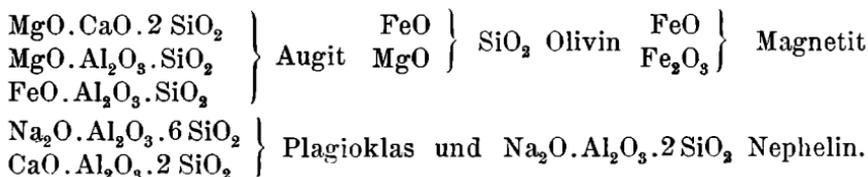
²⁹⁾ E. R a m a n n, Bodenbildung und Bodeneinteilung, Berlin 1918.

Damit es z. B. zur Bauxit-, beziehungsweise Lateritbildung kommt, muß die Kieselsäure als Sol vollständig abwandern. M. Storz hat in dem groß angelegten Werk „E. Kaiser, Die Diamantenwüste Südwestafrikas“, Bd. II, Berlin 1926, ausführlich die Verkieselungserscheinungen, die in dem extrem ariden Klima der Wüste zur förmlichen Ver- und Einkieselung des Untergrundes führen, behandelt. M. Storz konnte nachweisen, daß das disperse Kieselsäuresol durch die sehr elektrolytreichen Verwitterungslösungen rasch ausgefällt und oft in unmittelbarer Nachbarschaft der verwitternden Gesteine als Opal, Chalzedon und Achat wieder abgesetzt wird. In ähnlich disperser Form bewegt sich auch die Titansäure in den Untergrund. Nach M. Storz bestünde der Unterschied gegenüber humiden Klimaten darin, daß in diesen der geringe Elektrolytgehalt der Verwitterungslösungen eine weite Abwanderung der Kieselsäure begünstigt; nach unseren Untersuchungen kann dies offenbar nur insoweit erfolgen, als das Gesteinsmaterial, in dem die Kieselsäure wandert, leicht durchlässig ist. Treffen die Kieselsäurelösungen hingegen auf einen Letten oder Ton, also auf ein undurchlässiges oder schwer durchlässiges Material, so fällt die Kieselsäure aus und wirkt zementierend.

* * *

Man kann sich den Ablauf der Vorgänge, die sich bei der Zersetzung des Basaltes unter der Einwirkung des wahrscheinlich warmen Grundwassers abspielten, nach den herrschenden chemischen Anschauungen ³⁰⁾ folgendermaßen vorstellen.

Das auf den Basalt einwirkende Wasser enthielt negativ geladene OH- und CO₃-Anionen in großer Verdünnung. Diese wirkten sowohl hydrolytisch zerlegend, als auch lösend auf die Silikate der Basaltminerale:



Aus den Raumgittern dieser Minerale wurden zunächst die Metalle Ca, Mg, Fe und Na herausgeholt, es entstanden Lösungen

³⁰⁾ Siehe diesbezüglich G. Wiegner, Boden und Bodenbildung usw., 1924. Hier auch weitere Literatur.

von Karbonaten dieser Metalle. Der Reichtum an ein- und zweiwertigen Basen machte die Lösungen alkalisch, also reich an OH-Ionen. Durch Hydrolyse gingen auch anfänglich Aluminiumhydroxyd und Kieselsäure in Lösung, die aber bald, wie auch das Eisenhydroxyd, in Sole, beziehungsweise Solvate übergeführt wurden. Die positiv geladenen, kolloiden Zerteilungen von Aluminium- und Eisenhydroxyd wurden später durch die negativen OH-Anionen ausgeflockt und reicherten sich in bestimmten Lagen des zersetzten Basaltes an, während die negativ geladene Kieselsäure durch die OH-Anionen stark dispergiert wurde und in den Untergrund wanderte, wo sie die Letten zu Quarzit zementierte. Die Scheidung ging ziemlich rein vor sich. Der Quarzit im Liegenden enthält nur 0'20 %, Eisenoxyd, während in der oberen Zone des zersetzten Basaltes an 40 %, Eisenoxydhydrat angereichert wurden.

Quarzit ist also hier aus einem Letten durch Einwanderung von Kieselsäure aus dem zersetzten, überlagernden Basalt (Zone 1—4) und aus den tuffitischen Gesteinen (Zone 5 und 6) dadurch entstanden, daß sich aus der zugewanderten Kieselsäure später authigener Quarz bildete, der in Form von kleinen Körnchen die allothigenen Quarze der Letten zu festem Quarzit verkittete. Siehe hiezu auch I. E. Hibsich und H. Michel, Über das Auftreten von Quarziten südwestlich des geschlossenen Böhmisches Mittelgebirges. Ann. d. naturhist. Mus. in Wien, **38**, 1925, 180.

Keinerlei Gründe liegen vor, anzunehmen, daß die Verkittung der Letten zu festen Quarziten schon vor der Zersetzung der Hangendbasalte erfolgt wäre.

B. v. Freyberg³¹⁾ hat in einem vor kurzem erschienenen Werke die verschiedenen Möglichkeiten der Quarzitbildung zusammengestellt. Er unterscheidet folgende Fälle:

1. Die verkittende Kieselsäure stammt aus verwitternden hangenden Eruptivgesteinen (Quarzite von Hessen, Westerwald usw.).
2. Die verkittende Kieselsäure ist bei der Kaolinisierung umliegender Gebiete frei geworden.
3. Die verkittende Kieselsäure geht innerhalb der Tertiärsedimente in Lösung.

³¹⁾ B. v. Freyberg, Die Tertiärquarzite Mitteldeutschlands und ihre Bedeutung für die feuerfeste Industrie, Stuttgart 1926, 28.

Die erste und die zweite Entstehungsweise wird von B. v. Freyberg für die Tertiärquarzite Mitteldeutschlands, besonders des Westerwaldes, abgelehnt. Nach diesem Forscher ist es hauptsächlich der in Punkt 3 angegebene Vorgang, welcher in regionaler Verbreitung ausgedehnte Quarzitlager schafft. Es besteht jedoch kein Zweifel, daß (lokal) auch der unter 1 angeführte Vorgang zur Bildung von Quarzit führen kann. Für unseren Fall ist eine andere Erklärung unzulässig.

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, daß uns aus der Umgebung von Brück auch Quarzitblöcke bekannt sind, die über miozänen Letten liegen und deshalb nicht unter Mitwirkung der Kieselsäure aus zersetzten Basalten, die das Liegende der miozänen Letten bilden, entstanden sein können. Hier stammt die Kieselsäure, die zur Bildung der Quarzitblöcke notwendig war, sicher aus dem Letten selbst, wie es der Fall 3 B. v. Freybergs verlangt. Von der Oberfläche der dem Abtrag unterworfenen Letten her entstanden Lösungen von Kieselsäure, die sich konkretionär an bestimmten Punkten ansammelten und nachher in fester Form so ausschieden, daß sie Teile des Lettens zu Quarziten verkitteten.

Wien, Juli 1927.

Mineralogisches Institut
der Universität Wien.
