©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

	Festschrift zum 60. Geburtstag von Erik Flügel			Redaktion: Baba Senowbari-Daryan & Albert Daurer
Abh. Geol. B.-A.	ISSN 0378-0864 ISBN 3-900312-90-7	Band **50**	S. 467–475	Wien, 6. April 1994

Prozesse und Produkte bei der chemischen Verwitterung von Basalt

Von GERD F. TIETZ*)

Mit 13 Abbildungen

Vulkanite
Basalt
Verwitterung
Grundwasser

Inhalt

Zusammenfassung 467
Abstract 468
1. Einleitung 468
2. Beispiele der Basaltverwitterung auf dem Jos Plateau/Nigeria 468
2.1. Kurze Übersicht des Untersuchungsgebietes 468
2.2. Makroskopische Unterschiede in Basalten, die oberhalb (A) und unterhalb (B) des Grundwasserspiegels verwitterten 469
2.2.1. Verwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (A) 469
2.2.2. Verwitterung unterhalb des Grundwasserspiegels (B) 470
2.3. Petrographisch erkennbare Verwitterungsprozesse in (A) und (B). 470
2.3.1. Verwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (A) 470
2.3.2. Verwitterung im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels (B) 471
2.4. Schlußfolgerungen 474
Dank 474
Literatur 474

Zusammenfassung

Während des Tertiärs wurden auf dem sich hebenden Jos Plateau vulkanische Gesteine gefördert. Die ältere Gruppe dieser Gesteine (Alt-Tertiär bis Mittel-Miozän) verwitterte unter einem feuchten tropischen Klima zu Laterit (Saprolith) oberhalb des Grundwasserspiegels (A) und im Schwankungsbereich des Grundwassers (B).

Oberhalb des Grundwasserspiegels (A)

In den Regenzeiten attackierten Niederschlagswässer Basalte entlang des Netzwerks der Abkühlungsklüfte. In der ersten Verwitterungsphase wurden in sauerstoffreichem Wasser Plagioklase gelöst und durch sehr schlecht kristallisierten Kaolinit ersetzt. In der anschließenden 2. Phase begann in reduzierendem Milieu die Zersetzung der Fe-haltigen Silikate, wobei der größere Fe-Anteil weggeführt wurde. Das verbleibende gelöste Fe wurde im Verlauf der Austrocknung als Goethit gefällt, der teilweise den Kaolinit der 1. Phase imprägnierte. In der 3. Phase wurde die Auflösung der Fe-Silikate abgeschlossen. Gleichzeitig wurde der nicht mit Goethit imprägnierte Kaolinit (meist in der Matrix) zu Gibbsit umgewandelt. Diese Abfolge der Umwandlung/Neubildung erfaßte nach und nach die gesamte Basaltsäule, die zu leicht erodierbarem Ton verwitterte. Dabei blieb als Geisterstruktur das Netzwerk der ehemaligen Säulenklüftung erhalten. Vorherrschende Minerale dieser Verwitterung sind: Kaolinit, Gibbsit, Goethit (Smectit).

Im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels (B)

Unter vorherrschend reduzierenden Bedingungen werden zunächst die Fe-Silikate angegriffen. Entstehende Porenräume (Matrix, ehem. Olivinkristalle) werden mit gleichmäßigen Überzügen nadeliger Chloritkristalle ausgekleidet. Durch Variieren des Grundwasserspiegels kam es in den Tiefphasen zum Wechsel der Eh-Bedingungen, und die Chloritsäume wurden durch nadeligen Goethit ersetzt. Die noch erhaltenen Plagioklase wurden durch eine Kruste aus mikritischem Goethit und Kaolinit umhüllt, wobei Bruchflächen in den Plagioklaskristallen durch sehr zarte Goethitstege ausgefüllt wurden. In Phasen anhaltend vadoser Bedingungen wurden schließlich auch die Plagioklase zerstört, ihre Hohlformen wurden durch Fe-freien, gut kristallisierten Kaolinit ausgefüllt. Insgesamt wurde der Basalt in einen Goethit- und Kaolinit-dominierten Saprolith umgewandelt. Diesen hochporösen Saprolith überprägten sehr häufig Diffusionsringe alternierend Fe-reicher und Fe-armer Zonen. In Fe-reichen Zonen wird die Reliktstruktur des Basaltes konserviert, in den Fe-armen Zonen dagegen zerstört. Derartig überprägte Saprolithe zerfallen entlang der Fe-armen Zonen, sobald das Gestein Erosionskräften ausgesetzt wird. Vorherrschende Minerale dieser Verwitterungsart (B) sind: Goethit, Kaolinit, (Chlorit).

Die Unterscheidung der Basaltnetzgefüge von den Diffusionsgefügen stellt ein wichtiges Hilfsmittel dar, um palaeogeographische Probleme zu lösen.

*) Anschrift des Verfassers: GERD F. TIETZ, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum, Bundesstraße 55, D-20146 Hamburg.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Chemical Weathering of Basalt: Processes and Products

Abstract

During the lower Tertiary, basalts on the Jos Plateau/Nigeria weathered to Laterite (Saprolite) under a wet tropical climate above (A) and below (B) the watertable.

Above the watertable

During the rainy seasons aggressive waters started to attack the basalts via the columnar jointings. Plagioclase is the first mineral that is getting destructed. When the waters were going to evaporate, some of its ions became precipitated as poorly crystallized kaolinite (Si > Al). In a following phase, the destruction of Fe-minerals (silicates) started while the plagioclase destruction front was advancing towards the centre of the basalt column. Most of the dissolved Fe has vanished from the system, and the remaining Fe was fixed as goethite staining the matrix brownish. A third phase completed the destruction of Fe-minerals and attacked the kaolinite, especially in matrix areas, where now gibbsite is going to replace kaolinite. The complete weathering of basalt columns transfers the solid rock into soft clays characterized by a ghost structure of the former columnar jointings. The most common minerals are: Kaolinite, Gibbsite, Goethite, (Smectite).

Below the watertable

Basalt weathering started by dissolution of Fe-minerals while the plagioclase remained unattacked. Pores and casts (i.e, former olivine) got papered with an even rim coating of fibrous chlorite crystals. Repeated raise and lowering of the watertable made possible the destruction of the chlorite coatings that have become now mixtures of fibrous goethite and kaolinite. Till this stage, most of the plagioclase crystals remained intact, being protected against destruction by the goethite and kaolinite mixture, either in form of an even rim coating or a micritic crust. Nevertheless, the plagioclase crystals were dissolved too. Their places became occupied by Fe-free kaolinite. The solid basalt was changed to a goethite and kaolinite dominated soft rock. This highly porous soft rock is usually overprinted by diffusion rings which are alternatingly Fe-poor and Fe-rich. In Fe-poor rings, the basaltic relict texture is entirely destroyed: remnants of former plagioclase crystals and isolated ilmenite crystals are still visible. The most common minerals are: Goethite, Kaolinite, (Chlorite).

The recognition of the columnar jointing ghost structure or diffusion rings (spheroidal weathering) is a very useful tool for deciphering palaeogeographic conditions.

1. Einleitung

Ein tropisch humides Klima bietet hervorragende Umwelt-Bedingungen für intensive chemische Verwitterung von Gesteinen. Anhaltende Auflösung der primären Minerale sowohl in magmatischen als auch in sedimentären Gesteinen setzt eine Vielzahl verschiedener Elemente frei, die ihrerseits zur neuerlichen Bildung terrestrischer und mariner Sedimentgesteine beitragen können. Besonders Alkali- und Erdalkali-Elemente haben ausgezeichnete Migrationseigenschaften und werden meist schon in einer sehr frühen Verwitterungsphase aus dem Bereich ihres einstigen Muttergesteins weggeführt. Die Mehrheit der anderen Elemente wird während der Verwitterung nur vorübergehend gelöst und meistens bereits in den entstehenden Verwitterungsprodukten, den Sekundär- oder Tertiärmineralen fixiert. Dabei wird das einstige Hartgestein in situ zu einem weichen, später möglicherweise aushärtenden Residualgestein (soft-rock), einem Laterit (i.w.S.). Solange dieses Residualgestein überwiegend noch Texturmerkmale des einstigen Muttergesteins erkennen läßt, wird es in der Regel als Saprolith bezeichnet und bildet den unteren Abschnitt eines Lateritprofils. Um Relikttexturen des einstigen Gesteines erhalten zu können, müssen Lösungs- und Fällungsprozesse nebeneinander ablaufen und zeitlich versetzt die primären Minerale erfassen, damit ein Kollabieren der entstehenden Hohlräume vermieden wird. Die beteiligten Lösungen müssen periodisch eingeengt werden, um die gelöste Ionenfracht mehr oder weniger „in situ" als Sekundär-, manchmal auch als Tertiärminerale ausfällen zu können. Dies wird während der Trockenzeiten eines tropisch wechselfeuchten Klimas möglich. An nahezu allen gesteinsbildenden Mineralen sind Lösungsvorgänge experimentell eingehend untersucht worden (DREVER, 1985); auch zahlreiche, natürliche Beispiele derartiger Vorgänge sind publiziert (COLMAN & DETHIER, 1986).

Viele Fragen zur Mineralneubildung und anschließenden Umwandlung zu (stabilen) Sekundär-(Tertiär-)Mineralen innerhalb des Verwitterungsprofils sind jedoch noch unbeantwortet. Petrographisch und geochemisch wurden beginnende Anlösung und Mineralumwandlung in Basalten untersucht (AUGUSTITHIS, 1978; KING, 1986; WHITE et al., 1986). Bearbeitungen „später" Lösungsphasen und Umwandlungen sind weniger bekannt und häufig unklar oder widersprüchlich dargestellt (AUGUSTITHIS & VGENOPOULOS, 1983; SINGER & NAVROT, 1970). Basalte, oder allgemeiner, Eruptivgesteine, sind aus mehreren Gründen bevorzugte Studienobjekte für die Aufdeckung von Verwitterungsabläufen: die Gesteine wurden an der Erdoberfläche gebildet und ihre Minerale sind nicht durch tektonische Vorgänge beeinflußt. Die Minerale der Basalte sind sehr verwitterungsanfällig und einsetzende Verwitterung kann bereits an sehr jungem Material untersucht werden (WHITE et al., 1986). Das Nebeneinander von Grundmasse und Einsprenglingen erleichtert die Erhaltung der Reliktstrukturen.

Die vorliegende Arbeit versucht, eine Reihung der Lösungsprozesse und der daran gebundenen Neubildungsprodukte aufzuzeigen. Untersuchungsmaterial sind Basalte, die oberhalb des Grundwasserspiegels (A) und im Schwankungsbereich des Grundwassers (B) zu Saprolith verwitterten.

2. Beispiele der Basaltverwitterung auf dem Jos Plateau/Nigeria

2.1. Kurze Übersicht des Untersuchungsgebietes

Das Jos Plateau in Zentral Nigeria (Abb. 1) ist ein isoliertes Hochland, das eine Fläche von 7.000 Quadratmeilen (= 18.130 km²) umfaßt. Weite Ebenen sind im Südteil des Plateaus vorherrschend. Das morphologische Bild wird aufgelockert durch isolierte Rundhöckerberge aus jurassischem Granit und tafeligen Inselbergen, die Reste einer einst zusammenhängenden alttertiären Landoberfläche darstellen. Diese Inselberge bestehen aus Gesteinen der „Fluviovulkanen Serie" (FALCONER, 1921), einem Paket lateritisierter Basalte, Rhyolithe (Ignimbrite ?) und vulkanoklastischer Sedimente, die altersmäßig dem Zeitraum Eozän bis ca. mittleres Miozän entsprechen (ZEESE et al.,

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

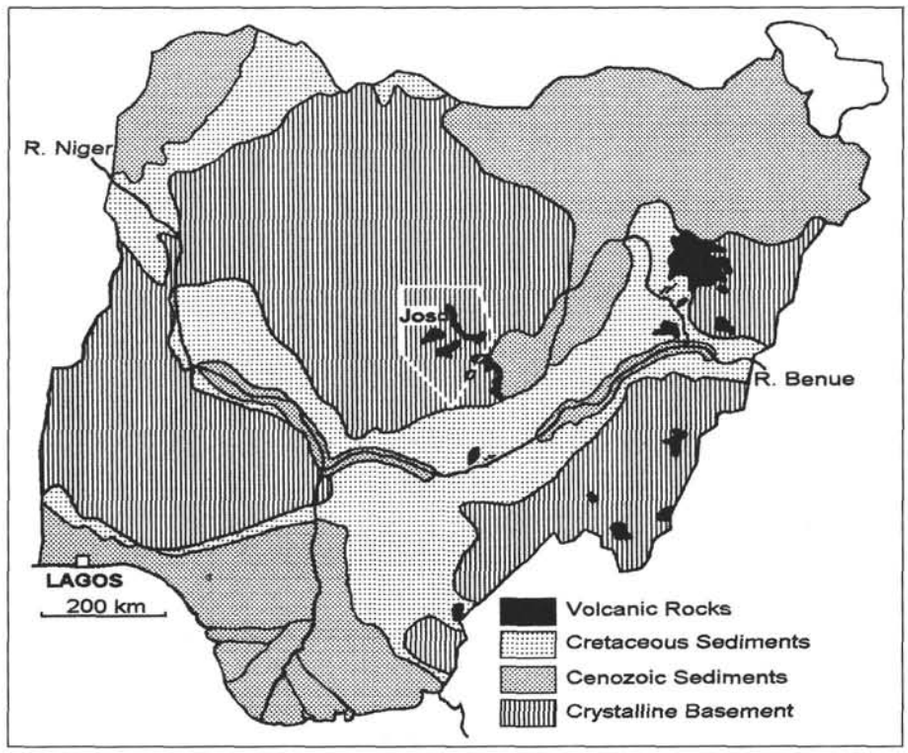

Abb. 1.
Geologische Großgliederung Nigerias.
Das Jos Plateau ist durch weiße Umrandung hervorgehoben.

1993). Jedes Gestein dieser Serie wurde unmittelbar nach seiner Platznahme von der chemischen Verwitterung erfaßt. Nachfolgende Überdeckung durch jüngere Vulkanite blockierte den jeweils erreichten Verwitterungsgrad und stoppte zunächst dessen Weiterentwicklung. Das frische Gestein wurde nach der Abkühlung ebenfalls von der Verwitterung angegriffen und lateritisiert. Innerhalb der Fluviovulkanen Serie dokumentieren zwei ausgeprägte Lateritkrusten (Ferricrete) ein vorübergehendes Abflauen der vulkanischen Aktivität (FARNBAUER, 1993). Diese Lateritkrusten bestehen aus in situ zerbrochenen Resten ehemaliger Basalte und aus transportiertem Verwitterungsschutt vielfältiger Gesteine. Das Material wurde durch Goethitrinden zu kompakten Krusten zementiert. Besonders die ältere Kruste bildet heute die erosionsresistente Deckschicht der Mehrzahl der Tafelberge.

2.2. Makroskopische Unterschiede in Basalten, die oberhalb (A) und unterhalb (B) des Grundwasserspiegels verwitterten

2.2.1. Verwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (A)

Säulenförmige Absonderung ist ein charakteristisches Merkmal schnell abkühlender Effusivgesteine. Derartige Absonderungsflächen schaffen ausgezeichnete Transportbahnen für versickernde Niederschlagswässer. Je nach Durchlässigkeit des Untergrundes wird entweder das Niederschlagswasser relativ rasch in Richtung Vorfluter versickern oder im Netzwerk der Abkühlungsflächen aufgestaut und auch bei Trockenheit nur langsam verdunsten (bzw. versickern). Es entwickelt sich eine Wechselwirkung zwischen Stauwasser und Basaltsäule, in deren Verlauf zwangsweise Lösungsvorgänge an basaltischen Mineralen eingeleitet werden. Die Bildung von Verwitterungsrinden um die einzelnen Basaltsäulen (Abb. 2) führt zu einer Kantenzurundung der ursprünglich 5-seitigen Säulen.

Über längere Zeit gleichbleibende Klimaverhältnisse lassen ehemals säulige Basaltdecken zu einer Ansammlung runder, isolierter Basaltsäulenstümpfe werden (Abb. 3), die von einem Netzwerk toniger Rinden umgeben sind. Als Reliktstruktur zeichnen derartige tonige Verwitterungsrinden das Netzmuster der ehemaligen Basaltsäulen nach. Die jeweils äußeren Rinden jeder Säule sind generell weißlich gelblich bis weißlich rosa gefärbt und nicht breiter als 1,0–1,5 cm; zum Zentrum der ehemaligen Säule werden die Ringe breiter (> 2 cm) und graubraun-gelbbraun. Die hellen äußeren Rinden sind stets widerstandsfähiger gegen Erosion als die inneren Ringe.

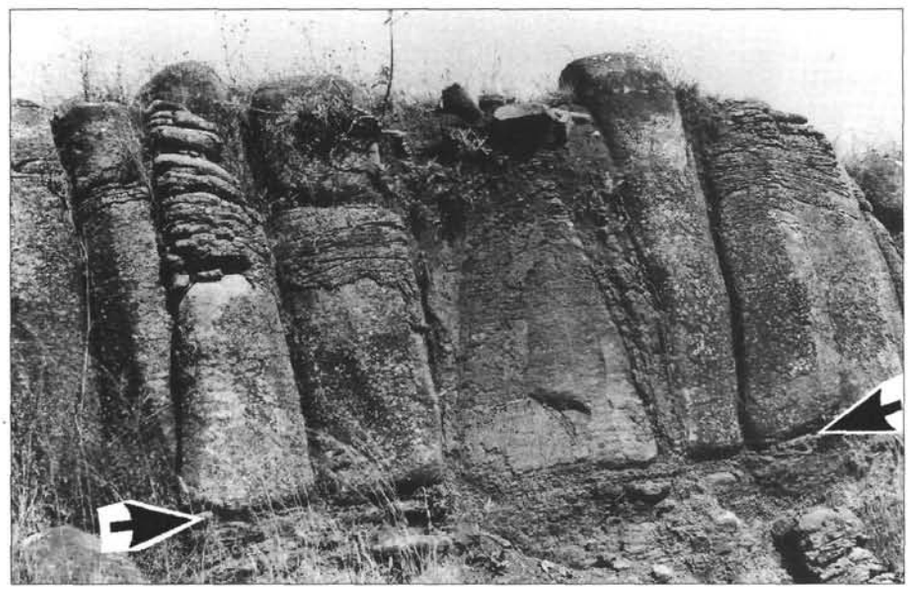

Abb. 2.
Zu rundlichen Säulen verwitterte Basaltdecke.
Die beiden Pfeilspitzen markieren den Wasserstauhorizont im unteren Teil der Basaltdecke. Hier entwickelt sich eine plattige–kissenförmige Verwitterung.
Ca. 6 km W von Barakin Ladi, S von Jos.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

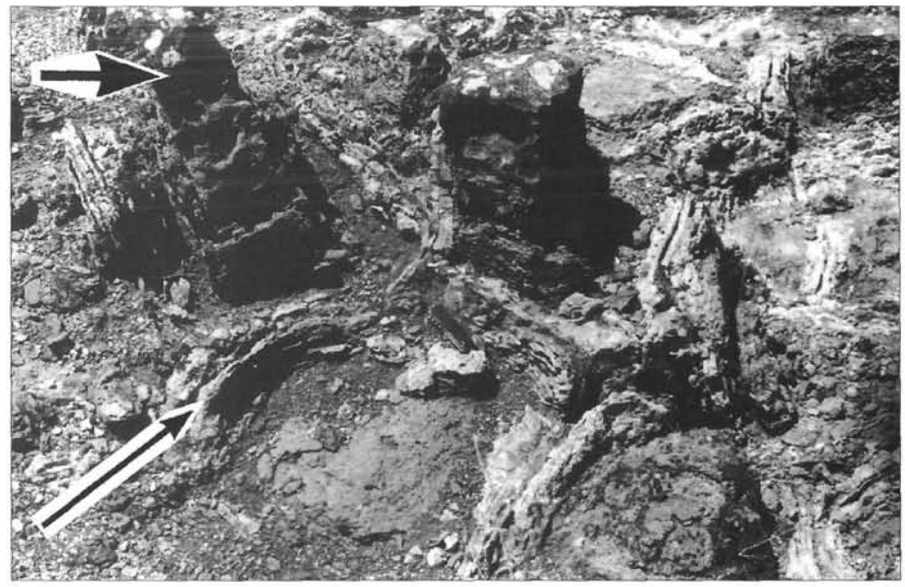

Abb. 3.
Zwei Basaltstümpfe sind die erhaltenen Reste einer ehemaligen Basaltdecke.
Die Stümpfe (s. dicker Pfeil) stehen locker auf der plattigen Verwitterungszone (s. Abb. 2) und sind von den Resten (langer Pfeil) toniger Rinden umgeben, die das Kluftsystem der Abkühlungsflächen der Basaltdecke (= Basaltnetz) nachzeichnen.
Ca. 4 km SW Mbar, ca. 30 km vom Aufschluß der Abb. 2 entfernt.

Im unteren Bereich einer derartigen Basaltdecke ist die Verwitterung wegen der lang anhaltenden Restnässe besonders intensiv und verwandelt diesen Teil der Basaltsäule in horizontal angeordnete, plattige Verwitterungskissen (Pfeilspitzen in Abb. 2). Auf diesen Verwitterungsrinden sitzen die Säulenstümpfe (Abb. 3) locker auf. Erkennungsmerkmal dieser Basaltnetzverwitterung ist eine vertikale Streifung der Aufschlußwand (= Längsschnitte durch die Verwitterungsrinden) und netzartige Reliktstruktur bei horizontalem Anschnitt des Aufschlußbodens (vgl. 2.2.2.).

Abb. 4.
Nach Heraushebung aus dem Grundwasserbereich ist der sphaerolithisch verwitterte Basalt in den Fe-reichen Zonen stabil, in den Fe-armen Zonen ausgewaschen worden.
Gebiet der E-Land Mine, ca. 18 km E Kurra Falls.

2.2.2. Verwitterung unterhalb des Grundwasserspiegels (B)

Im Grundwasserbereich kommt Basalt entlang aller vorhandenen Brüche / Risse mit Wasser in Kontakt; unter den vorherrschend reduzierenden Bedingungen wird Eisen nahezu vollständig weggeführt, vorherrschende Sekundärminerale sind Smectite, vereinzelt treten auch Chlorite auf (SINGER & NAVROT, 1970). Entsprechende Beispiele wurden bisher im Bereich des Jos Plateaus nicht gefunden. Stattdessen trifft man häufig auf Basalte, die im jahreszeitlich bedingten Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels zu erdigem Saprolit / Laterit verwitterten. Alle derartigen Vorkommen zeigen im Aufschluß sphärolithische Verwitterung bzw. Diffusionsringe (vgl. AUGUSTITHIS, 1982, Fig. 391–393). Wurden diese Vorkommen durch tektonische Aktivitäten über den Grundwasserspiegel gehoben, so stabilisierten sich die eisen-reichen Zonen durch vermehrte Goethitbildung, die eisen-armen Zonen wurden dagegen ausgewaschen (Abb. 4); schließlich verlieren die stabilisierten Ringe den Zusammenhalt innerhalb des Saprolithgefüges und zerbrechen in situ zu Lateritschutt (reworked laterite) oder rollen als isolierte „Basaltkugeln" hangabwärts (Abb. 5). Wichtiges Unterscheidungsmerkmal zur Basaltnetzverwitterung (2.2.1.) ist die Kugelform der Diffusionsringe, die sowohl in der Aufschlußwand (Vertikalanschnitt) als auch im Aufschlußboden (Horizontalanschnitt) an kreisrunden Querschnitten erkennbar ist.

2.3. Petrographisch erkennbare Verwitterungsprozesse in (A) und (B)

2.3.1. Verwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (A)

Zwei nebeneinanderliegende Basaltstümpfe aus einem Aufschluß ca. 4 km SW von MBAR (Abb. 3) wurden mit den zugehörigen Verwitterungsrinden durch Kunstharz fixiert und in Hamburg petrographisch und geochemisch untersucht (GALLER, in Bearbeitung). Dünnschliffe dieser Proben wurden mit Dünnschliffen aus einem vertikalen

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Abb. 5.
Ein durch Diffusionsringe überprägter Basaltsaprolith ist aus dem Bereich des Grundwasserspiegels herausgehoben worden.
Unter subaerischer Verwitterung zerfällt der Saprolith, und die Kernzonen der Diffusions„kugeln" sammeln sich am Fuß der Aufschlußwand.
Wegböschung an der Straße nach Richa, im äußersten SW des Jos-Plateaus.

Verwitterungsprofil über Vulkaniten/Vulkanoklastica (Profil II, nahe Kurra Railway Station) verglichen (ZEESE et al., 1993).

Die entlang des Abkühlungsnetzes versickernden Niederschlagswässer attackieren zunächst unter oxidierenden Bedingungen die Plagioklasleisten der Grundmasse (= 1. Verwitterungsphase). Abb. 6 zeigt rechts vom Plagioklas-Einsprengling ein weitgehend intaktes Basaltgefüge. Die linke Seite des Einsprenglings, besonders seine linke untere Ecke ist bereits korrodiert; in der linken Bildhälfte sind die ehemaligen Plagioklasleisten nur noch an leichter Streifung erkennbar. Sie sind mit ungeordnetem Kaolinit geringer Kristallinität (HINCKLEY, 1963) verfüllt worden. Es entstand eine Kaolinitzone, die völlig intakte Pyroxene und Olivine enthält (Abb. 7).

In der nächsten Phase wurde die Kaolinitzone in den „frischen" Basalt vorgeschoben, während in der älteren Kaolinitzone die Anlösung der Fe-Minerale einsetzte, wobei die Masse des gelösten Eisens abwanderte. Wahrscheinlich ermöglichte die drastisch erhöhte Porosität der Kaolinitzone bei geringer Permeabilität die Ausbildung reduzierender Bedingungen. In der anschließenden Trokkenzeit wurden die Fe-Minerale mit Goethit überzogen, weiterer Goethit imprägnierte einen Teil des schlecht kristallisierten Kaolinit, der dadurch weitgehend stabilisiert wurde.

In der nachfolgenden Verwitterungsphase erfolgte intensive Eisenlösung, die nach Austrocknung eine erste, starke, umfassende Verbraunung des Gesteins durch Goethit bedingte. Gleichzeitig wurde der nicht mit Goethit imprägnierte Kaolinit aufgelöst und durch Gibbsit ersetzt (Abb. 8). Die bisher beschriebene Verwitterung umfaßt eine Zone von insgesamt nur 4 mm.

Die weitere Entwicklung der Saprolithrinden um Basaltsäulen wird durch das Nebeneinander von Kaolinit – Goethit – Gibbsit (– Hämatit) geprägt. Dabei erweisen sich Goethit-imprägnierte Kaolinitareale (Matrixzwickel, ehemalige Plagioklasleisten) durchgehend als stabil. Ungeschützter Kaolinit wird durch Goethit und Gibbsit verdrängt (Abb. 10, 11). Derartig ungeschützter Kaolinit konnte relativ lange als Füllung der Hohlräume ehemaliger Plagioklasleisten überdauern, bis er letztlich doch durch micritischen Goethit und grobspätigen Gibbsit (Abb. 10, 11) verdrängt wurde. Der weiße Streifen (K_p in Abb. 11) repräsentiert die rekristallisierte Kaolinit-Restfüllung einer ehemaligen Plagioklasleiste. Charakteristische Merkmale dieser Verwitterung sind

- sehr frühe Auflösung der Plagioklase,
- frühzeitige Stabilisierung der Matrixareale durch Gibbsit,
- Auskleidung in ehemaligen Plagioklasleisten durch micritischen Goethit.

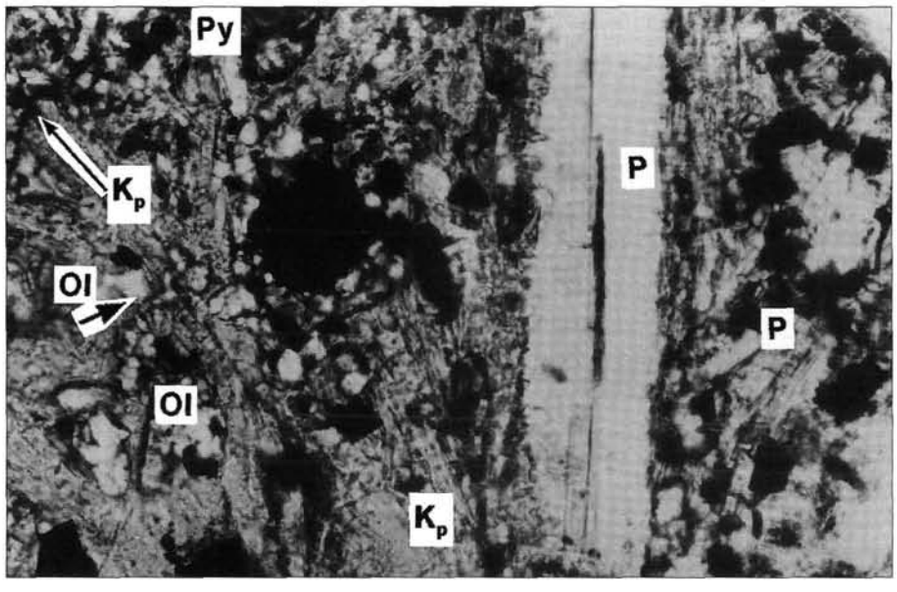

Abb. 6.
Der rechte Bildteil zeigt unverwitterten Basalt, P kennzeichnet intakte Plagioklase. Die linke Bildseite dokumentiert die 1. Verwitterungsphase: Plagioklase sind durch Kaolinit (K_p) ersetzt worden; der Pfeil gibt die Lage der ehemaligen Leiste an. Fe-Silikate (Py, Ol) sind bisher nicht angegriffen. Beispiel eines Basaltstumpfes aus Abb. 3.
Bildlänge entspricht 0,18 mm.

2.3.2. Verwitterung im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels (B)

Aus diesem Verwitterungsbereich liegen keinerlei „frische" Proben vor. Zur Verfügung stehen nur Proben, die den Zustand völliger Umwandlung des Basaltes zu

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

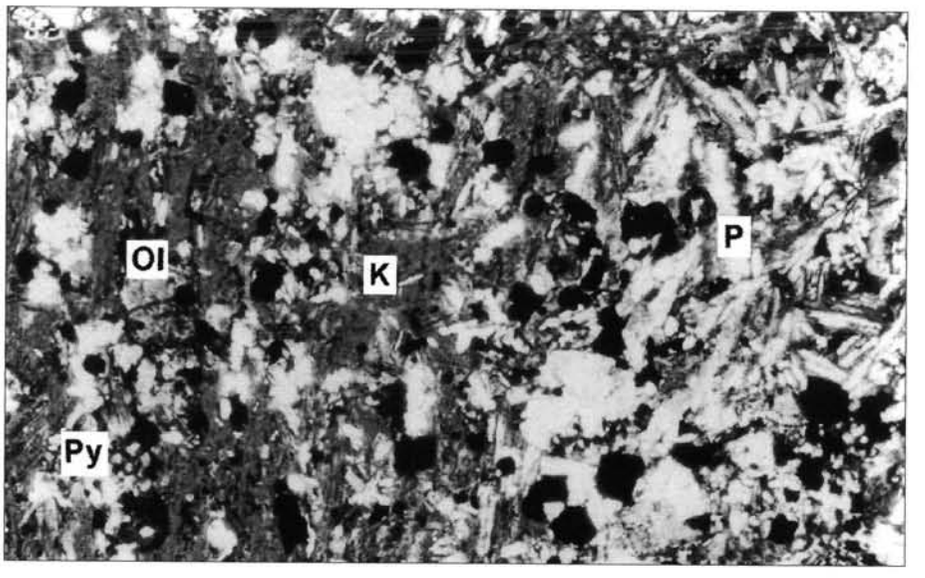

Abb. 7.
Übersicht zu Abb. 6.
Rechte Seite: unverwitterter Basalt, P = Plagioklasleiste.
Linke Seite: die graue Tönung (K) kennzeichnet Areale ehemaliger Plag.-Leisten, die nun durch Kaolinit ersetzt sind. Darinnen „schwimmen" helle Flecken unverwitterter Olivine (Ol) und Pyroxene (Py).
Beispiel eines Basaltstumpfes aus Abb. 3.
Bildlänge entspricht 0,57 mm.

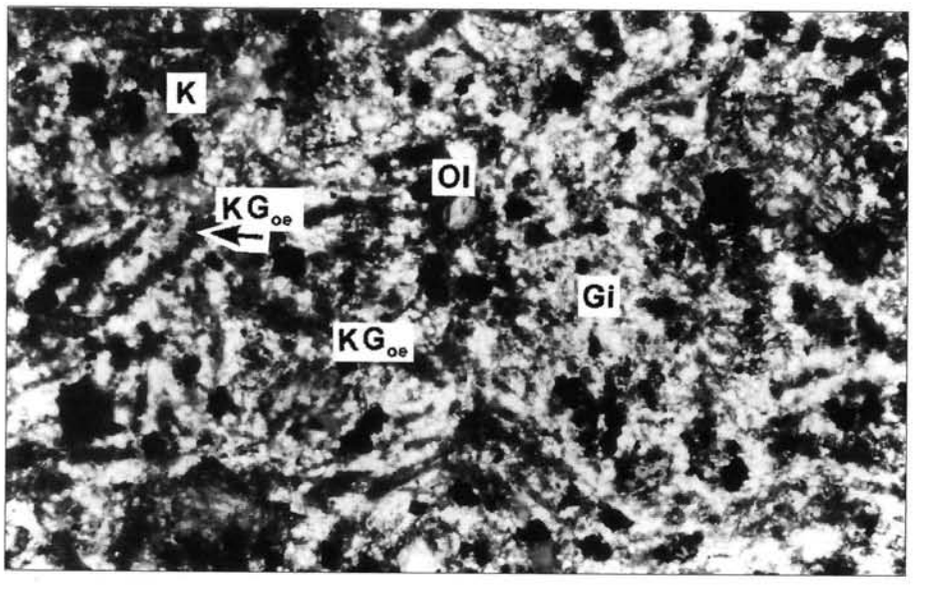

Abb. 8.
Im oberen linken Bildteil ist noch Kaolinit (K) erhalten, der nicht durch Goethit imprägniert ist. Die Fe-Silikate (helle Flekken) sind bereits angelöst und durch einen breiten Goethitsaum gekennzeichnet (2. Verwitterungsphase, vgl. Abb. 7). Die unregelmäßigen, dunklen Leisten (KG$_{oe}$) bilden ehemalige Plagioklase nach und bestehen aus Goethit-imprägniertem Kaolinit ehemaliger Plagioklasleisten. Im zentralen und rechten Bildteil ist der unimprägnierte Kaolinit aufgelöst und durch Gibbsit (helle Flecken, Gi) ersetzt worden. In diesem Bereich sind die Fe-Silikate durch dicke Goethitüberzüge schwarz gefärbt (3. Verwitterungszone).
Beispiel eines Basaltstumpfes aus Abb. 3.
Bildlänge entspricht 0,57 mm.

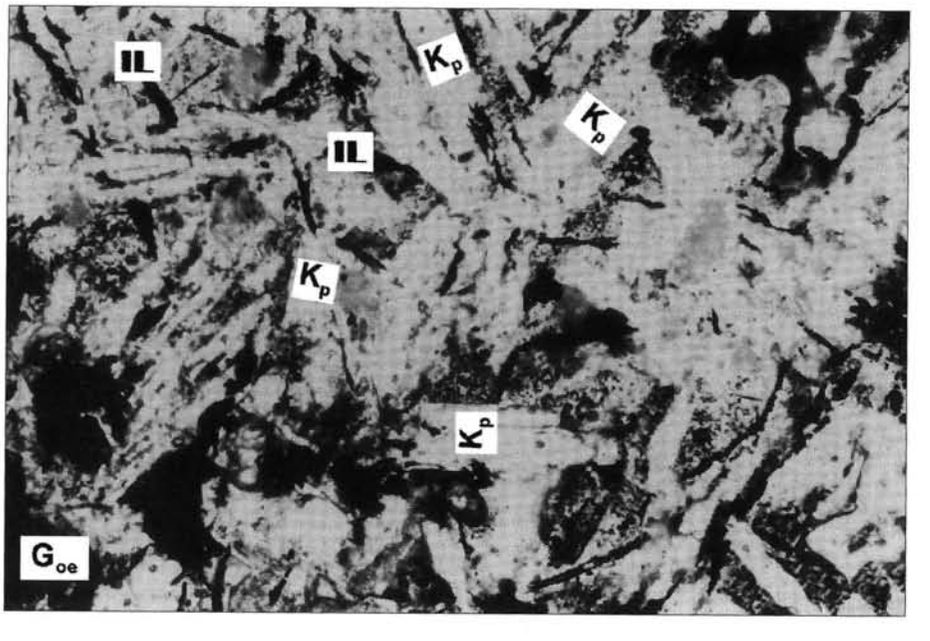

Abb. 9.
Probe I/6 aus Profil I, siehe Text.
Mit der linken unteren und der rechten oberen Ecke sind zwei Fe-reiche Diffusionsringe angeschnitten. Der Zentralabschnitt repräsentiert einen Fe-armen Diffusionsring. Da hier Goethit nicht ehemalige Matrixareale erfüllt, sind die schmalen, schwarzen Stege der Ilmenitkristalle gerade in dieser Zone klar erkennbar. Graue/dunkelgraue Areale bestehen aus mehr oder weniger stark mit Goethit imprägniertem Kaolinit.
Bildlänge entspricht 0,36 mm.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

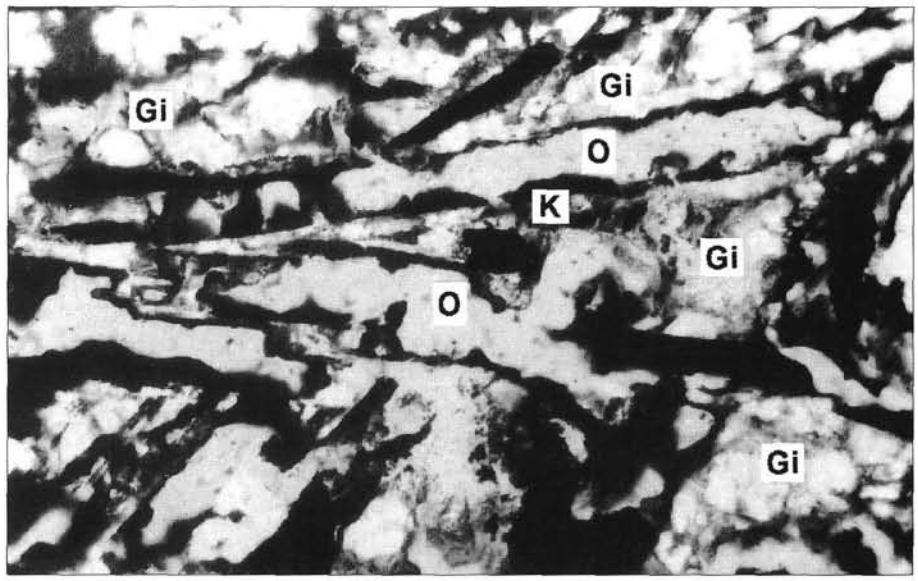

Abb. 10.
Auflösung des Matrixkaolinit und Kristallisation grobspätigen Gibbsits (Gi) haben das Reliktgefüge des Basaltes stark zerstört. Nur die zur Zeit dieser Gibbsitkristallisation noch mit grobem Kaolinit gefüllten Hohlräume ehemaliger Plagioklasleisten stabilisierten das Saprolithgefüge. Im Verlauf der Gibbsitkristallisation wurde der grobkristalline Kaolinit gelöst. In dieser Phase übernahm das Matrixgefüge aus Gibbsit + Goethit + Goethit-imprägniertem Kaolinit (K) die Stützung des Saprolithgefüges. Die entstandenen Hohlräume der ehemaligen Plagioklasleisten wurden in einer letzten Phase mit micritischem Goethit (+ Kaolinit) teilweise ausgekleidet. Ein Großteil der Hohlformen blieb leer (O).
Probe II/21 aus Profil II (sieheText).
Bildlänge entspricht 0,4 mm.

Saprolith repräsentieren (Profil I, Power Station a. d. Str. nach Kurra Falls). Der Charakter dieser Verwitterung ist durch Vorherrschen reduzierender Bedingungen geprägt (SINGER & NAVROT, 1970). Unter diesen Umständen wurden zuerst die Fe-Minerale der Matrix gelöst und das meiste Eisen weggeführt. Die Gefügestabilität während dieser Phase war durch die sich gegenseitig stützenden Plagioklasleisten gegeben (vgl. Abb. 12, 13). Perioden eines abgesenkten Grundwasserspiegels sind dokumentiert durch eine Füllung der Matrixzwickel mit einem Goethit-/Kaolinitgemenge (K in Abb. 13). Damit werden auch die Plagioklasleisten von außen (vgl. 2.3.1.) überzogen; Bruchflächen und Spaltrisse in Plagioklasleisten werden durch sehr feine Goethitstege „verklebt" (Pfeil in Abb. 13). Diese Stege sind wichtigster Beweis dafür, daß zur Zeit der Goethitbildung noch Plagioklaskristalle vorhanden waren. Anhaltende Hochstände des Grundwasserspiegels werden durch Gesteinsporen dokumentiert, deren Wandung mit auffallend gleichmäßig breiten Goethitsäumen ausgekleidet sind (s. Abb. 12). Von AUGUSTITHIS (1978) werden derartige Säume in schwach verwitterten Basalten beschrieben. Dort bestanden diese Säume aus extrem feinnadeligen Chloritkristallen, die senkrecht zur Aufwachsfläche angeordnet sind. Gelangen Gesteine mit derartigen Chloritsäumen unter oxidierende Bedingungen (z.B. nach Absinken des Grundwasserspiegels), so können die Chloritsäume in „even rim" Goethitsäume umgewandelt werden (s. Abb. 12). Für eine derartige Interpretation spricht die Tatsache, daß in zahlreichen Spot-Analysen (SEM + EDX) dieses Goethitsaumes immer (!) erhebliche Si- und Al-Gehalte gefunden wurden, die nur als Reste/Umwandlungsprodukte eines Goethit-„Vorgängers" gedeutet werden können, da die Werte eine Toleranzschwelle deutlich überschreiten, die ihrerseits gegeben ist durch die Obergrenze isomorph in Goethit eingebauten Aluminiums und adsorbtiv an Goethit gebundenen Siliziums.

Im Verlauf der Verwitterungsprozesse (B) werden die Plagioklase relativ spät zerstört; da aber die Leistenform als „Abguß" in einer Goethit-/Kaolinithülle erhalten blieb, konnte der Hohlraum langsam durch gut kristallisierten Kaolinit (häufig als wurmförmiger Kaolinit, K_p in Abb. 12, 13) ausgefüllt werden (TIETZ, 1991). Dabei diente die Goethit-/Kaolinithülle als Stabilisator des Gesteinsgefüges (Abb. 13).

Erst in einer späten Phase der Basaltverwitterung kam es (z. Zt. nur vermutet) zur Entwicklung von Fe-reichen und Fe-armen Diffusionsringen nach dem Modell der Liesegang'schen Ringe (vgl. AUGUSTITHIS et al., 1966; STEGENA, 1983). In den Fe-armen Zonen wird Goethit nahezu quantitativ entfernt und damit die wichtigste Komponente der Gefügestabilisierung. Vorübergehend übernehmen Ilmenitstege eine Stabilisierungsrolle (Abb. 9); fehlen Ilmenitstege, so wird der Saprolith geringfügig durch Auflastdruck ver-

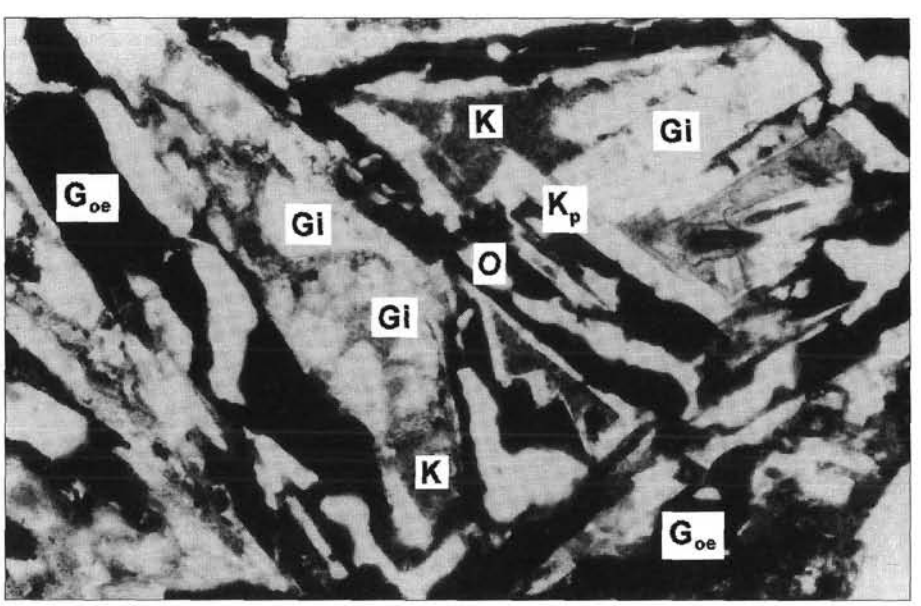

Abb. 11.
(Bildlänge entspricht 0,36 mm), gleiche Probe wie Abb. 10. Ein Rest der grobkristallinen Kaolinitfüllung einer ehemaligen Plagioklasleiste blieb erhalten (K_p), nur ihre Kernzone wurde gelöst und durch Goethit verfüllt.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

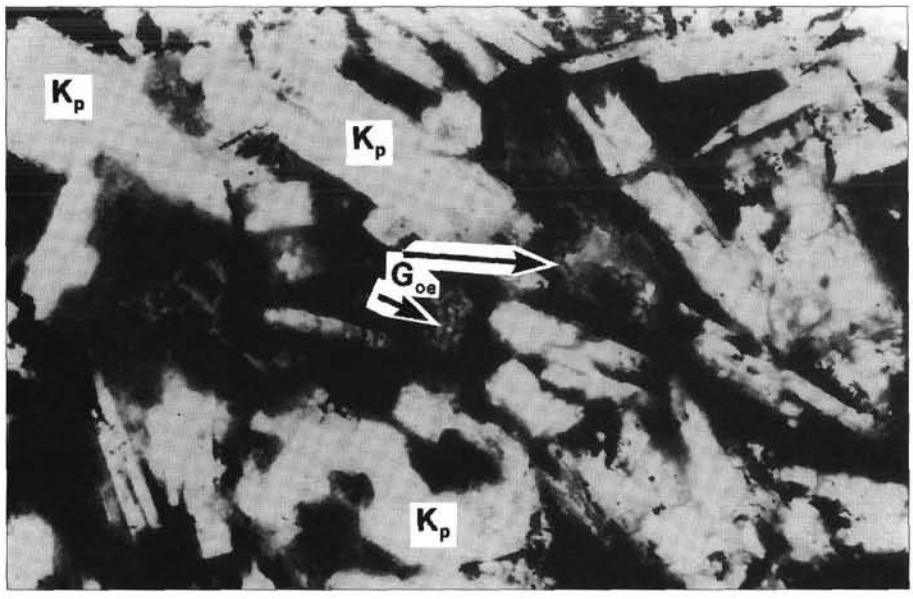

Abb. 12.
Der Gegensatz zu den Abb. 10/11 ist deutlich erkennbar: dieser Ausschnitt eines Fe-reichen Diffusionsringes ist klar gegliedert in Goethit-freien Kaolinit (K_p) ehemaliger Plagioklasleisten und in Goethit-imprägnierten Kaolinit des Matrixareals (s. K in Abb. 13). Die Matrixareale enthalten Poren, die mit klarem (hier hellgrauem) „even-rim" Goethit (G_{oe} + Pfeile) ausgekleidet sind (vgl. Angaben im Text).
Gleiche Probe wie Abb. 9.
Bildlänge entspricht 0,36 mm.

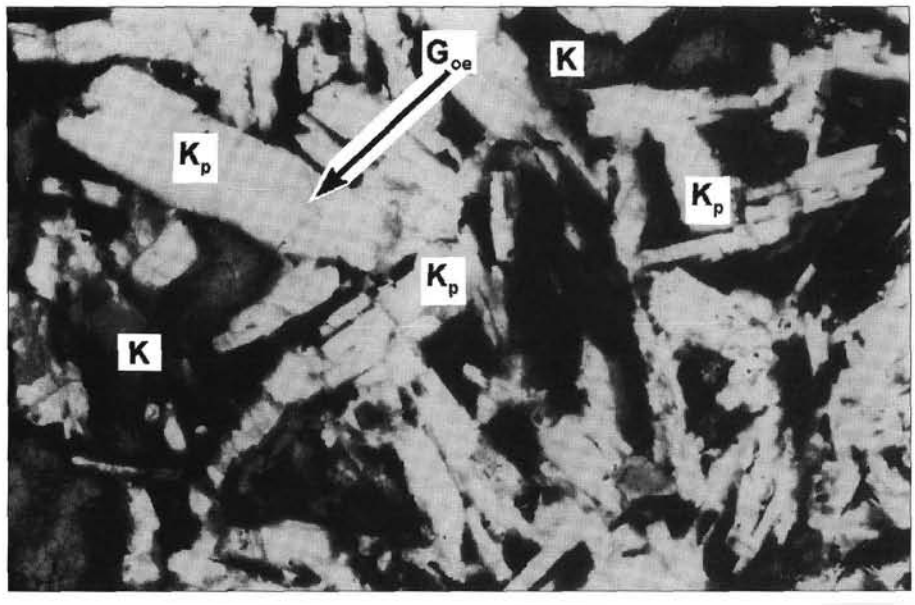

Abb. 13.
Haarfeine Goethitleisten zeichnen Bruchzonen ehemaliger Plagioklaskristalle nach (G_{oe} + Pfeil).
Erläuterungen wie Abb. 12; gleiche Probe wie Abb. 9.
Bildlänge entspricht 0,27 mm.

formt. Dabei werden die Plagioklasleisten-Pseudomorphosen leicht verbogen. Charakteristische Merkmale dieser Verwitterung (B) sind:

- frühe Stabilisierung der Matrix(-zwickel) durch Goethit-imprägnierten Kaolinit,
- Überziehen intakter Plagioklasleisten durch eine Goethit-Kaolinitkruste,
- Destabilisierung des Reliktgefüges durch Abbau des Goethit.

2.4. Schlußfolgerungen

Die spezifischen Kriterien der Basaltverwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (Fall A) und im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels (Fall B) wurden dargestellt. Damit ist es möglich, bereits im Aufschluß den Charakter der Verwitterung zu erkennen und für paläogeographische Deutungen zu benutzen. Darüberhinaus kann durch sorgfältige Dünnschliffpetrographie der Ablauf der Verwitterungsphasen verfolgt werden. Die Ausführungen zeigen jedoch auch, daß gerade bei verwitterten Basalten die Ausdeutung von Profilproben nur dann sinnvoll ist, wenn bei der Profilaufnahme auf Spuren des „Basaltnetzes" geachtet wird bzw. die Proben entlang einer Aufschlußwand nicht senkrecht übereinander, sondern in der Breite gestreut entnommen werden.

Die eingangs als verwirrend oder irreführend bezeichnete Darstellung über generelle sphärolithische Verwitterung läßt sich nun entwirren: AUGUSTITHIS (1982) beschreibt eine Basaltverwitterung oberhalb des Grundwasserspiegels (vgl. Fig. 6, Seite 168, Tab. IV a,b, S. 159), die nichts mit sphaerolithischer Verwitterung zu tun hat. SINGER & NAVROT (1970) beschreiben einen Basaltsäulenstumpf, der als teilweise verwittertes Material (entspr. Fall A) begraben wurde und in diesem Zustand nach Fall B verwitterte.

Dank

An dieser Stelle sei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Bereitstellung von Sach- und Reisemitteln (AZ. Ze 172/5–1) sowie der VW-Stiftung (VW-1/66–164) für die Gewährung von Sachmitteln herzlich gedankt. Weiterer Dank gilt den Herren J. GALLER und H. DÖHRMANN für die Überlassung von Dünnschliffen und bereitwilliges, kritisches Diskutieren. Dieser Beitrag ist Teil einer umfassenden Untersuchung zur Aufdeckung detaillierter Verwitterungsabläufe in Lateriten Nigerias.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Literatur

AUGUSTITHIS, S.S. (1978): Atlas of the textural patterns of basalts and their genetic significance. – 323 p., Amsterdam – Oxford – New York (Elsevier).

AUGUSTITHIS, S.S. (1982): Atlas of the sphaeroidal textures and structures and their genetic significance. – 329 p., Athen (Theophrastus Publ. S.A.).

AUGUSTITHIS, S.S. & VGENOPOULOS, A. (1983): On leaching and diffusion-rings in charnockites, basalt, trachytic tuffite, bauxite, alunite and andesite. – In: AUGUSTITHIS, S.S. (Ed.): Leaching and diffusion in rocks and their weathering products, 151–173, Athen (Theophrastus Publ. S.A.).

COLMAN, S.M., DETHIER, D.P. (Ed.), (1986): Rates of chemical weathering of rocks and minerals. – 603 p., New York – London – Tokyo (Academic Press Inc.).

DREVER, J.I. (Ed.), 1985: The chemistry of weathering. – NATO ASI Series. Series C, Mathematical and physical sciences; vol. **149**, 324 p., D. Dordrecht – Boston – Lancaster (Reidel Publ. Comp.).

FALCONER. J.D. (1921): The geology of the plateau tin fields. – Geol. Surv. Nigeria, Bull. **1**, 55 p., Nigerian Governm., Colchester, UK (Benham & Comp. Ltd.).

FARNBAUER, B. (1993): Das Jos Plateau: die tertiäre bis quartäre Entwicklung des Gebietes zwischen den Granit Komplexen des Ganawuri, Foron und Rop. – Unveröffentl. Dissertation, Univ. Hamburg.

GALLER, J. (in Bearbeitung): Petrographische und geochemische Untersuchungen in einem säulig verwitternden Basalt von Mbar im SW des Jos Plateaus/Nigeria. – Diplomarbeit am Geol. Pal. Inst. der Univ. Hamburg.

HINCKLEY, D.N. (1963): Variability in crystallinity values among the kaolinite deposit of the coastal plain of Georgia and South Carolina. – Clays and Clay Min., **11**, 229–235, The Clay Mineral Soc., Boulder, USA.

KING, R.H. (1986): Weathering of holocene airfall tephras in the southern Canadian Rockies. – In: COLMAN, S.M., DETHIER, D.P. (Ed.), 1986: Rates of chemical weathering of rocks and minerals, 239–264, New York – London – Tokyo (Academic Press Inc.).

SINGER, A. & NAVROT, J. (1970): Diffusion rings in altered basalt. – Chem. Geol. **56**, 31–41.

STEGENA, L. (1983): Leaching in rocks: some physical principles. – In: AUGUSTITHIS, S.S.(Ed.): Leaching and diffusion in rocks and their weathering products, 81–92, Athen (Theophrastus Publ. S.A.).

TIETZ, G.F. (1991): Intense lateritic weathering in heterogeneous volcanic rocks of the Jos Plateau/Central Nigeria. – In: GERMANN, K., KLITZSCH, E., MATHEIS, G., FISCHER, K., BOWITZ, J., SCHWARZ, T., WAGNER, M. (Ed.): Supergene ore deposits and mineral formation, EUROLAT '91, 5th Intern. Meeting, Berlin 1991, 199–203, TU-Berlin.

WHITE, A.F., BENSON, L.V., YEE, A. (1986): Chemical weathering of the May 18, 1980, Mount St. Helens ash fall and the effect on the Iron Creek watersheed, Washington. – In: COLMAN, S.M., DETHIER, D.P. (Eds.), 1986: Rates of chemical weathering of rocks and minerals, 351–375, New York – London – Tokyo (Academic Press Inc.).

ZEESE, R., SCHWERTMANN, U., TIETZ, G.F. & JUX, U. (1993): Mineralogy and stratigraphy of three deep lateritic profiles of the Jos Plateau (Central Nigeria). – Submitted for publication, 23 p., 10 Fig., 6 Photos.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt in Wien

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: 50

Autor(en)/Author(s): Tietz Gerd Friedrich

Artikel/Article: Prozesse und Produkte bei der chemischen Verwitterung von Basalt 467-475