Fachinformationsdienst Biodiversitätsforschung

UB Universitätsbibliothek Frankfurt am Main

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

FID Biodiversitätsforschung

Decheniana

Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens

Augit am Bausenberg - Kristallografie für Einsteiger

Sievers, Rolf

2012

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

Weitere Informationen
Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:
Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

urn:nbn:de:hebis:30:4-197289

Visual Library

Decheniana (Bonn) 165, 161–170 (2012)

Augit am Bausenberg – Kristallografie für Einsteiger

Augite from Bausenberg, Germany – Crystallography for beginners

Rolf Sievers & Bodo M. Möseler

Kurzfassung: Der Bausenberg bei Niederzissen (Rheinland-Pfalz) gilt als bedeutendes Naturdenkmal sowohl aus vegetationskundlich-floristischer und faunistischer Sicht als auch wegen der als Folge vulkanischer Aktivität auftretenden Gesteine und Mineralien. Beschrieben werden zunächst die Beziehungen zwischen den verschiedenen Waldtypen und dem vulkanischen Untergrund. Sodann wird das am Bausenberg vorkommende Mineral *Augit* eingehend diskutiert, wobei insbesondere auf chemische und kristallographische Grundlagen eingegangen wird.

Schlagworte: Kettensilikate, Pyroxen, Kristallwachstum, Symmetrie, Elementanalyse, Kristallklassen, Kristallstruktur, Röntgenbeugung, Gitterkonstanten

Abstract: The Bausenberg near Niederzissen (Rhineland-Palatinate) is an important natural monument due to vegetation, flora and fauna as well as due to specific rocks and minerals as relicts of a previous vulcanism. Initially is briefly described a varying forest vegetation which is caused by different rocks of volcanic provenance. Predominantly the Augite detailed is presented and discussed with a main focus on the chemical and mineralogical background.

Keywords: Chain silicates, pyroxene, crystal growth, symmetry, element analysis, crystal classes, crystal structure, X-ray diffraction, lattice constants

1. Einleitung

1.1. Der Bausenberg – einer der schönsten Hufeisenkrater

Auf der Autobahn 61 aus Süden kommend erblickt man nach der Passage der dortigen Raststätte im Bereich des Oberen Brohltales im Westen das von längst erloschenen Vulkanen noch immer geprägte Zissener Ländchen.

Dort thront auf der Höhe eines alten Phonolith-Kegels das bekannte Wahrzeichen dieser alten Kulturlandschaft, die weithin sichtbare „Burg Olbrück". Seit dem Abschluss der Restaurierungsarbeiten 2001 ist diese regionaltypische rheinische Höhenburg mit ihrem markanten Bergfried ein attraktives Ziel, dessen Besuch unbedingt lohnt.

Neben diesem bemerkenswerten Kulturdenkmal wird das Gebiet durch ein ebenso bemerkenswertes Naturdenkmal geprägt. Denn schon lange vor der Querung des hier tief eingeschnittenen Brohltals erblickt man im Norden die markante Kuppe des Bausenberges (Abb. 1). Mit wohlgerundetem Profil dominiert der alte Vulkan, dessen letzter Ausbruch vor rund 140.000 Jahren die Region erschütterte, die Nordflanke des Brohltales. Der Berg selbst besteht ausschließlich aus lockeren, vulkanischen Auswurfschlacken. Im Nordosten komplettiert ein breiter, basaltischer Lavastrom, der sich östlich in Richtung Rhein bewegte, das vulkanische Ensemble. Wenn auch die Autobahn ein nicht gerade wünschenswertes Element der Landschaft ist, so erschließt sie hier jedoch einen interessanten Blick auf und in diesen Lavastrom. Die Fahrbahn quert den Strom auf seiner ganzen Breite. Auf der östlichen Seite wölbt sich die mehrere Meter mächtige Auflage des anthrazitfarbigen, massigen Basaltes kissenartig über das Niveau der Straße. Wenige hundert Meter weiter zeigt sich die seit Jahrtausenden erstarrte Lava aus dem Vulkan als waldbedeckte grüne Zunge, die der Vulkan dem Rhein trotzig entgegenstreckt.

Nach der Aufgabe des Lava-Abbaus wurde der Bausenberg am 14. April 1981 als Naturschutzgebiet vom Land Rheinland-Pfalz unter Schutz gestellt. Ziel der Ausweisung war und ist die Bewahrung der gebietstypischen, artenreichen Tier- und Pflanzenwelt dieses Vulkans.

1.2. Die Wälder des Bausenberg-Komplexes

Heute tragen sowohl die Vulkankuppe als auch der Lavastrom unterschiedliche Vegetationseinheiten sowohl der offenen, bäuerlichen Kultur-

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Abbildung 1. Der Bausenberg, von Süden gesehen. Foto: WALTER MÜLLER, Niederzissen.
Figure 1. Bausenberg (Rhineland-Palatinate, Germany) from south.

landschaft, als auch der geschlossenen, waldbetonten Naturlandschaft. Gerade die Wälder des Gebietes verdanken dem Vulkan ihr besonderes Gesicht: Das rheinische Schiefergebirge besteht in weiten Teilen aus unterdevonischen Gesteinen, die zu nährstoffarmen, sauren Böden verwittern.

Der typische Wald dieser Gebiete ist der Hainsimsen-Buchenwald, das Luzulo-Fagetum. Diese Assoziation stellt den artenärmsten Flügel der in Mitteleuropa heimischen Buchenwälder dar. Ursache dafür sind die sauren, basenarmen und mithin nährstoffarmen Böden. Die wenigen Kalkgebiete hingegen, die zum Beispiel in der zentralen Eifeler Kalkmuldenzone auftreten, beherbergen den sogenannten Kalkbuchenwald, das Hordelymo-Fagetum, die artenreichsten, heimischen Buchenwälder. Ursache hierfür sind die nur schwach sauren, basenreichen und mithin mit einem besseren Nährstoffangebot ausgestatteten Böden. Das vorhandene Calcium-Carbonat verbessert zusätzlich für den Pflanzenwuchs wichtige Eigenschaften dieser Böden.

Die im Bereich des Bausenberges auftretenden Buchenwälder, die als Waldmeister-Buchenwald oder Galio-Fagetum bezeichnet werden, nehmen hinsichtlich der Artenvielfalt eine vermittelnde Position zwischen den zuvor genannten Buchenwäldern ein. Die Wälder verdanken diese Rolle dem vulkanischen Gestein: Aufgrund der reichlichen Anwesenheit von Quarz ist die Bodenreaktion deutlich sauer. Infolge der Anwesenheit dunkler Silikate wie Augit, Biotit, Hornblende oder Olivin wird der Boden jedoch mit wichtigen Elementen zusätzlich versorgt. Diese Elemente werden bei der Verwitterung der Mineralien freigesetzt und verbessern die Eigenschaften des Bodens erheblich. Vor allem die im Augit enthaltenen Elemente Calcium und Magnesium puffern die infolge der Quarz-Anteile zu erwartenden niedrigen pH-Werte ab. Auf diese Weise sind die im Boden vorhandenen, für Pflanzen wichtigen Nährstoffe tatsächlich auch verfügbar und werden nicht durch komplexe Bindungen der Aufnahme durch Pflanzen vorenthalten. Den Böden über

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Abbildung 2. Am Osthang des Bausenberges bei Niederzissen tritt im Ackerboden das Mineral Augit auf.
Figure 2. Augite can be found near the eastern slope of the Bausenberg.

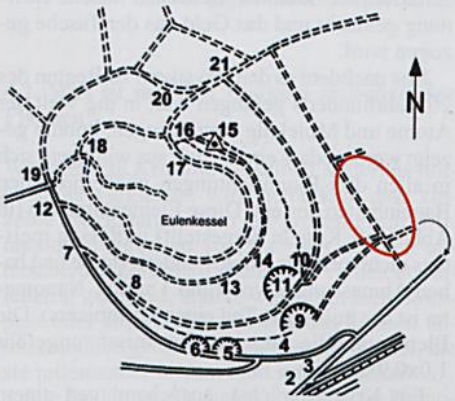

Abbildung 3. Fundort der in diesem Artikel beschriebenen Augit-Kristalle (rot markiert). Skizze aus MÜLLER, SCHRÖDER (2003); die Zahlen verweisen auf dort beschriebene markante Punkte.

Figure 3. Occurrence of the Augite single crystals. (Sketch by MÜLLER, SCHRÖDER (2003); numbers refer to prominent spots pointed out in that paper).

sauren Schiefern fehlt diese Nachlieferung natürlicher Puffer, weshalb diese sauren (und basenarmen) Standorte dem Pflanzenwuchs Nährelemente in deutlich geringerem Umfang zur Verfügung stellen. So fehlen den Hainsimsen-Buchenwäldern bodenbedingt die Arten, die die Buchenwälder des Bausenberg-Komplexes so bereichern, wie z. B. Waldmeister (*Galium odoratum*), Einblütiges Perlgras (*Melica uniflora*), Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) und Goldnessel (*Lamiastrum galeobdolon ssp. montanum*). Grund dafür sind stets die aus der Verwitterung des Gesteins entstehenden Böden mit ihren spezifischen chemischen Eigenschaften, für die ganz besonders die in den Gesteinen enthaltenen Mineralien verantwortlich sind.

Von den für den Bausenberg genannten Mineralien, den sauren Silikaten, sei im Folgenden nun der *Augit* detailliert vorgestellt.

2. Edelsteine am Wegrand

Wer am Osthang des Bausenberges bei Niederzissen (Abb. 2, 3) durch die Felder streift, entdeckt im Ackerboden zahlreiche, unübersehbar im Sonnenlicht glänzende dunkle Steinchen, die sich bei näherem Hinsehen als millimetergroße, gelegentlich sehr gut gewachsene Einkristalle erweisen (Abb. 4).

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

Abbildung 4. Augit am Bausenberg – Ausbeute einer einstündigen Suche.

Figure 4. Augite crystals yield of a one hour search.

Es handelt sich um das bekannte Mineral *Augit*, das erstmals bereits im Jahre 1792 von A. G. WERNER beschrieben wurde. Mineralogen zählen den *Augit* als Kettensilikat zur Gruppe der Pyroxene. Die chemische Zusammensetzung und damit auch die Farbe können in recht weiten Grenzen variieren. Am Bausenberg ist das Material dunkelbraun, fast schwarz. *Augit* ist sehr hart und wie die meisten silikatischen Mineralien chemisch so widerstandsfähig, dass man zum Lösen die grimmigste aller gängigen Säuren benötigt – die Flusssäure.

3. *Augit*-Kristalle – sind die wertvoll?

Leider nein. Der Name leitet sich vom griechischen Wort *auge* für Glanz ab, und man findet große und ideal gewachsene Exemplare, die diesem Namen alle Ehre machen. Doch gibt es viel zu viele davon - der *Augit* tritt weltweit auf, vorwiegend an Orten, die in vorgeschichtlicher Zeit durch vulkanische Aktivitäten geprägt wurden.

Und das ist auch gut so. Denn wenn der *Augit* auch nur einen Bruchteil des Wertes von Diamant, Saphir oder Rubin hätte, sähen wir heute an Stelle des Bausenberges nur noch eine durchwühlte Mine.

4. Schauen wir doch einmal genau hin.

Wenn wir mit den Kristallen schon nicht reich werden, lohnt es sich doch, sie einmal ganz genau zu betrachten. Beim Anblick eines so schön gewachsenen Exemplares wie in Abb. 5 drängen sich fast zwangsläufig einige Fragen auf:

4.1. Warum haben Kristalle eigentlich eine so auffallend regelmäßige Gestalt und glatte, glänzende Flächen?

Diese Frage konnte viele Jahrhunderte lang nicht befriedigend beantwortet werden. Und so war die Welt der „Crystalle“ beherrscht von mehr oder weniger ernst zu nehmenden philosophischen Betrachtungen. Es galt einstmals als schick, sich mineralogischen Studien zu widmen; selbst Goethe war ein begeisterter Mineraliensammler. Auch gab es Scharlatanerie und mystische Spekulationen um magische Kräfte der Steine.

So mancher Unfug wirkt noch bis in die heutige Zeit fort: Rosenquarz etwa, teuer verkauft, soll schädliche Computer-, Handy- und Erdstrahlen absorbieren. Auch mit Sternzeichen-Steinen lässt sich Umsatz machen. Doch gar nicht mehr lustig ist, dass mit so genannten „Heilsteinen“ kranken Menschen falsche Hoffnung gemacht und das Geld aus der Tasche gezogen wird.

Erst nachdem es den Physikern zu Beginn des 20. Jahrhunderts gelungen war, in die Welt der Atome und Moleküle vorzudringen, konnte gezeigt werden, dass ein Kristall aus winzigen, sich in allen drei Raumrichtungen wiederholenden Baueinheiten besteht. Diese Elementarzellen (in Abb. 6 als Kugeln dargestellt) umfassen meistens nicht mehr als einige hundert Atome und haben Abmessungen von rund 1 nm (1 Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters). Die Elementarzelle des Augits misst ungefähr 1,0x0,9x0,5 nm.

Ein Kristall wächst, ausgehend von einem winzigen „Keim“, weil sich aus der umgebenden Lösung heraus immer neue Teilchen auf seiner Oberfläche anlagern. Die Teilchen suchen vorzugsweise Plätze mit möglichst vielen Nachbarn, also Löcher oder einspringende Kanten. So verschwinden Unebenheiten stets schnell wieder, und auf die vorhandenen Flächen wird Schicht für Schicht aufgetragen.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

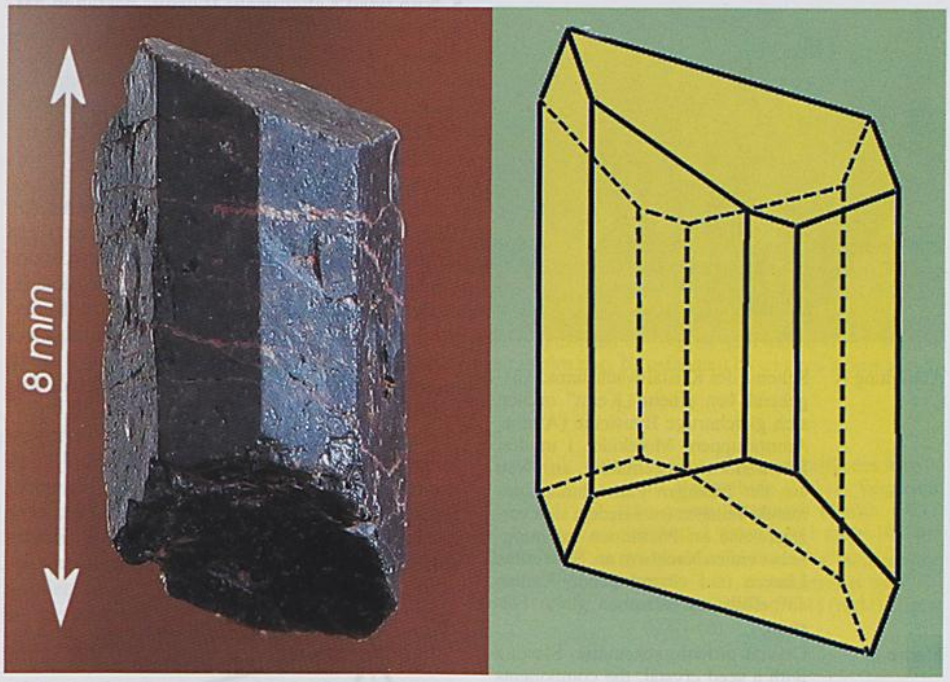

Abbildung 5. Augit-Einkristall vom Bausenberg, rechts eine idealisierte Ansicht. Man beachte, dass die Flächen in ihrer Größe variieren können, nicht aber die Winkel zwischen den Flächen.

Figure 5. Augite single crystal from Bausenberg. Right: idealized view. The faces may vary in sizes, but not the angles between the faces, which are always constant.

4.2. Was ist mit den Winkeln zwischen den Flächen?

Wer mehrere Kristalle desselben Materials miteinander vergleicht, wird bemerken, dass einzelne Exemplare sich in der groben Form (Mineralogen sprechen von Habitus) deutlich unterscheiden können: manche sind vielleicht säulenartig gestreckt, andere wiederum mehr kompakt oder abgeplattet. Die Flächen können unterschiedlich groß sein – jedoch die Winkel, die sie miteinander bilden, sind immer gleich!

Die Erklärung für dieses erstaunliche Phänomen folgt aus dem Kristallwachstum: wenn das Material schichtweise aufgetragen wird, entfernt sich die Fläche zwar vom Kristallzentrum, doch sind alle Schichten zueinander parallel.

Diese Beobachtung wurde bereits 1669 von Nicolaus Steno als Gesetz der Winkelkonstanz formuliert und markiert den Beginn der exakten Kristallografie. Eine beachtliche Leistung, denn allein das exakte Vermessen der Kristallwinkel war damals alles andere als einfach.

4.3. Ist ein *Augit*-Kristall symmetrisch?

Unter Symmetrie wollen wir einmal vereinfacht Folgendes verstehen: Ein Objekt ist symmetrisch, wenn seine Position nach einer Drehung oder einer Spiegelung nicht von der Ausgangsposition zu unterscheiden ist.

Ein Beispiel verdeutlicht dies: Das Mineral Steinsalz (Kochsalz) kristallisiert bekanntlich in Würfeln. Wenn man einen davon um 90° oder 180° gedreht hat, ist seine Lage scheinbar unverändert. Oder wenn man ihn genau in der Mitte zerschneidet und eine Hälfte auf einen Spiegel legt, wird die andere Hälfte exakt wieder ergänzt.

Beim Augit ist die Symmetrie nicht ganz so offensichtlich. Schaut man aber sehr genau hin, so entdeckt man auch hier zwei Symmetrieelemente: dreht sich der Kristall um eine zweizählige Drehachse, die (wie in Abb. 7 blau skizziert) die beiden kleinen Dachflächen durchsticht, genau um 180°, so gelangt er in eine Position, die von der ursprünglichen nicht zu unterscheiden ist. Weiterhin überführt ihn eine Spiegelebene,

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

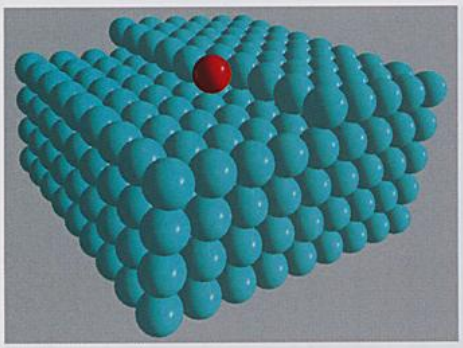

Abbildung 6. Schema des Kristallwachstums. Ausgehend von einem „Keim" ordnen sich gleichartige Bausteine (Atome, Atomgruppen, Moleküle...) in drei Dimensionen regelmäßig an. Neu aus der flüssigen Phase hinzukommende Teilchen (rot) siedeln sich vorzugsweise an Positionen mit möglichst vielen Nachbarn an. So werden Lücken und einspringende Kanten aufgefüllt: es entstehen glatte Flächen.

Figure 6. Crystal growth, schematic. Starting with a seed crystal, the components (atoms, atom groups, molecules...) form a regular three dimensional network. Every new component (red) coming from the liquid phase prefers a position besides as much neighbours as possible, in this way filling any gaps and holes. So nearly perfect faces will be formed.

die durch die beiden roten Hilfslinien hindurchgeht, in sich selbst. Diese Kombination von Symmetrieelementen bezeichnet man mit dem Symbol 2/m (gesprochen: „zwei über m"), wobei m für das französische Wort *miroir* (= Spiegel) steht.

Der Vergleich von Steinsalz mit Augit hat uns gezeigt, dass verschiedene Objekte durchaus verschiedene Symmetrie aufweisen können. Das bedeutet aber keineswegs, dass jedes Objekt seine „eigene" Symmetrie haben kann. Man weiß vielmehr heute, dass die Symmetrieelemente Drehung, Spiegelung und Inversion nur auf genau 32 Weisen miteinander kombinierbar sind. Jeder Mineraloge kennt diese unter der Bezeichnung 32 Kristallklassen.

Bemerkenswert: Jeder Kristall (bekannt sind mehrere Hunderttausend; die wenigsten davon kommen indes als Minerale in der Natur vor) kann bereits nach seinem äußeren Erscheinungsbild einer dieser 32 „Schubladen" zugeordnet werden.

5. Nun wird's chemisch: Woraus bestehen Minerale?

Silicium (Si) und Sauerstoff (O) sind die bei Weitem häufigsten Elemente in der Erdkruste, und so ist es nicht verwunderlich, dass sie die Hauptbestandteile der meisten natürlich vorkommenden Minerale bilden.

Die beiden Elemente gehen stabile chemische Verbindungen miteinander ein, denen stets ein Grundmotiv gemeinsam ist: vier Sauerstoffatome bilden die Ecken eines gedachten Tetraeders, in dessen Zentrum sich das Silicium befindet. Weil jedes Sauerstoffatom gleichzeitig zu zwei derartigen SiO_4-Tetraedern gehören kann (nicht muss), entsteht eine ungeheure Vielzahl von Verknüpfungsvarianten (Abb. 8).

Eine extreme Ausprägung dieses Verknüpfungsprinzips finden wir beim Quarz (Bergkristall). Hier sind alle Tetraeder über ihre vier Ecken zu einem dreidimensionalen Netzwerk zusammengefügt. Somit gehört jedes Sauerstoffatom gleichzeitig zu zwei Tetraedern - je-

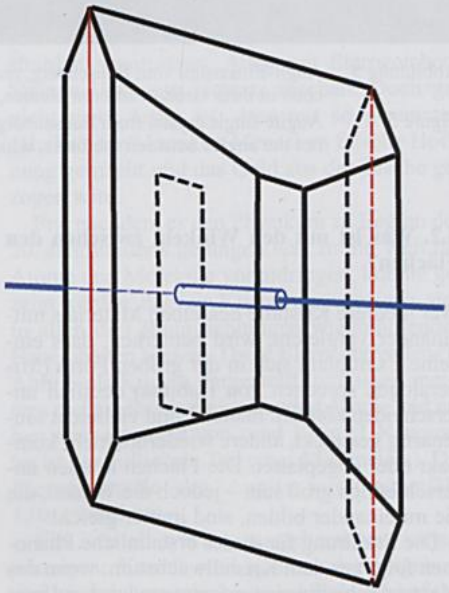

Abbildung 7. Kristallklasse 2/m. Eine Symmetrieachse (blau) durchsticht die beiden kleinen Dachflächen. Sie steht senkrecht auf einer Spiegelebene, die den Kristall, wie durch die beiden roten Linien angedeutet, in zwei spiegelbildliche Hälften teilt.

Figure 7. Crystal class 2/m with its symmetry axis (blue) and mirror plane (red).

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

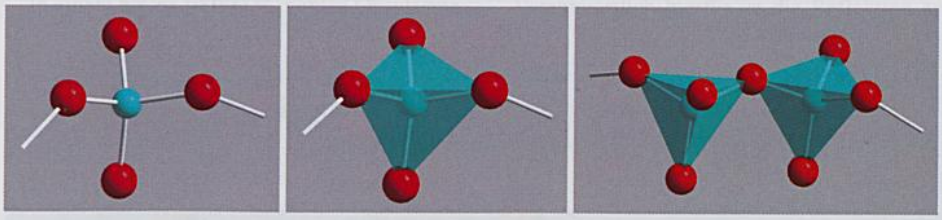

Abbildung 8. Ein Siliciumatom ist in Mineralen fast immer von vier Sauerstoffatomen umgeben; diese bilden die Eckpunkte eines Tetraeders (links). Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit stellt man diesen Tetraeder auch graphisch dar (Mitte). Weil der Sauerstoff gleichzeitig an zwei Siliciumatome gebunden sein kann, sind Verknüpfungen dieser Tetraeder möglich (rechts).

Figure 8. In the minerals silicon atoms normally are coordinated by four oxygen atoms which form a tetrahedron (left, middle). Two or more tetrahedra may be catenated by oxygen atoms which form bridges between the silicon atoms (right).

des Siliciumatom besitzt nur noch vier halbe Sauerstoffatome. Die Summenformel muss also $Si(O_{1/2})_4$ lauten, was der bekannten Summenformel SiO_2 des Quarzes entspricht.

Wenn ein Teil der Sauerstoffatome keine Tetraeder verbrückt, sondern durch Wasserstoffatome „abgesättigt" ist, liegt die bekannte Kieselsäure vor.

Die schier unübersehbare Vielfalt der Minerale entsteht aber erst dadurch, dass verschiedenste Metallatome in die Lücken zwischen den SiO_4-Tetraedern eingebettet sein können. Derartige Materialien werden als silikatische Mineralien oder kurz als Silikate bezeichnet. Überdies kann ein gewisser Anteil der Siliciumatome in den Tetraederzentren durch Aluminium ersetzt sein („Alumosilikate") - das erhöht die Mannigfaltigkeit noch weiter.

Tabelle 1. Monokline Elementarzelle des Augits vom Bausenberg (links); Vergleich mit einem Titanaugit (Smith 1971) (rechts). 1 pm = 0,001 nm = 10^{-12} m.

Table 1. Monoclinic unit cell of Bausenberg Augite (left); a comparison with Titanaugite (Smith 1971) (right). 1 pm = 0,001 nm = 10^{-12} m.

Gitterparameter	Bausenberg-*Augit*	*Titanaugit*
a [pm]	977,29(14)	976,90
b [pm]	890,57(9)	890,10
c [pm]	529,83(6)	533,30
β [°]	106,096(9)	105,64

6. *Augit* – ganz konkret

Augit kristallisiert aus heißer basaltischer Magma; Qualität und Größe der Kristalle lassen vermuten, dass auch Wasser im Spiel war. Bei extremem Druck und sehr hohen Temperaturen - man spricht von hydrothermalen oder überkritischen Bedingungen - vermag Wasser nämlich neben den Metallionen auch Quarz, Kieselsäure oder Silikate zu lösen. Bei sehr langsamer Abkühlung verbinden sich die in der Lösung ursprünglich isolierten SiO_4-Einheiten miteinander. Von Art und Konzentration der gleichzeitig anwesenden Metallionen hängt es nun ab, ob sich die Tetraeder zu Ketten, Ringen oder komplizierteren Netzwerken verknüpfen.

Im Laufe der Jahrtausende ist das basaltische Gestein mit den *Augit*-Einsprenglingen oberflächlich verwittert, so dass die Kristalle nun im Ackerboden sichtbar werden. Mechanische Belastungen führten im Laufe der Zeit zu Kratzern und abgerundeten Ecken am harten Material.

Im *Augit* sind SiO_4-Tetraeder zu unendlich langen Ketten verbunden. Damit gehören jedem Siliciumatom die beiden verknüpfenden Sauerstoffatome nur je zur Hälfte, die beiden anderen aber ganz (Abb. 9). Obwohl somit die Summenformel SiO_3 lauten müsste, schreibt man aus formalen Gründen Si_2O_6. Die Ketten verlaufen parallel zueinander.

Elektrisch neutral wird das System erst durch den Einbau positiv geladener Metallatome in die Lücken zwischen den Ketten. Eine stark idealisierte chemische Formel für *Augit* könnte daher $CaFeSi_2O_6$ lauten.

Im natürlichen Mineral ist, von Fundort zu Fundort sehr unterschiedlich, das Calcium teilweise durch andere Metalle wie Natrium ersetzt,

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

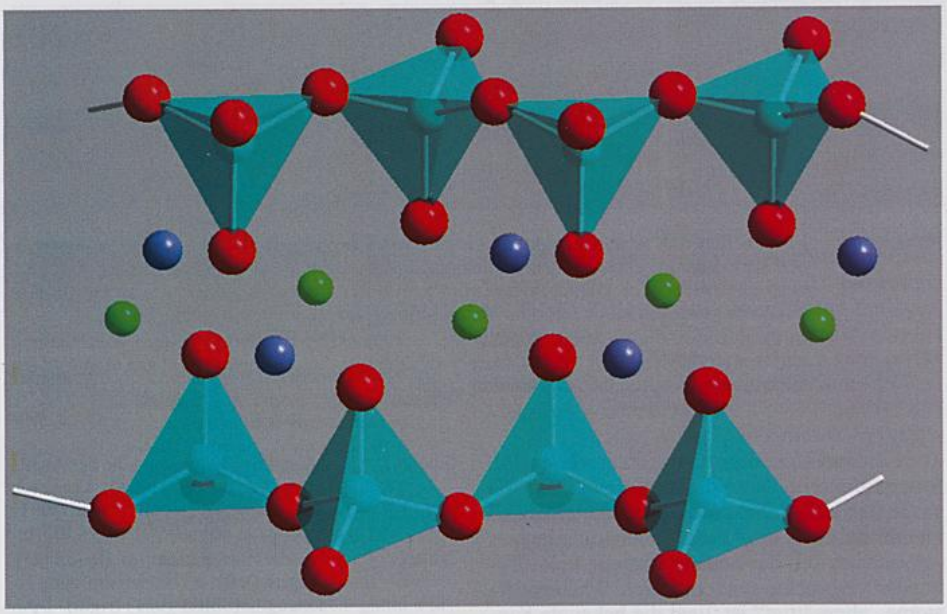

Abbildung 9. Ausschnitt der Kristallstruktur des Augits. In die Zwischenräume der parallel verlaufenden Silikatketten sind Metall-Ionen eingelagert (blau: Calcium, Eisen; grün: Magnesium, Aluminium).

Figure 9. Section of the Augite crystal structure. The gaps within the parallel silicate chains are occupied by the metal ions calcium or iron (blue), magnesium or aluminium (green).

ebenso wie das Eisen teilweise durch Magnesium, Titan oder Aluminium substituiert sein kann. Überdies findet man sogar im Zentrum der Tetraeder gelegentlich Aluminium an Stelle von Silicium („Alumosilikat"). Eine Formel wie

$$(Ca,Na)(Fe,Mg,Ti,Al)(Si,Al)_2O_6$$

entspricht daher der Realität schon eher. Die sehr dunkle Farbe des Bausenberg-*Augits* deutet auf einen relativ hohen Eisengehalt hin; nach Literaturangaben (BRAUNS, 1928) soll auch der Titangehalt nennenswert sein („*Titanaugit*").

Die sehr einfach messbaren Kristallstrukturdaten, insbesondere die Gitterkonstanten, stellen eine Art Fingerabdruck für jedes kristalline Material dar und eignen sich deshalb hervorragend zur Charakterisierung und zur Identifikation der Minerale (Tab. 1).

Der *Augit* des Bausenberges hat eine schiefwinklige Elementarzelle und zählt daher zu den Klinopyroxenen. Jede Elementarzelle enthält acht Silicium-, 24 Sauerstoff- und ca. acht Metallatome.

Alle untersuchten Exemplare vom Bausenberg haben die gleichen Gitterkonstanten. An Proben von entfernteren Fundorten könnten die Gitterkonstanten wegen des variierenden Platzbedarfes der eingelagerten Metallatome sehr wohl um einige Prozent abweichen. Zwar kann man leider aus den gut messbaren Gitterdaten nur sehr eingeschränkt auf die genaue chemische Zusammensetzung schließen, doch ist immerhin die Übereinstimmung mit einem Titanaugit-Vertreter aus der Literatur sehr auffallend.

7. Woher weiß man das eigentlich alles?

7.1 Chemische Zusammensetzung

Wer sich im Leistungskurs Chemie oder in einem Chemischen Praktikum einmal mit Elementanalysen beschäftigt hat, wird noch wissen, dass der Nachweis chemischer Elemente und deren quantitative Bestimmung noch bis in die jüngste Zeit hinein mit den klassischen nassanalytischen Methoden (Aufschluss, Fällung, Titration ...) geschah und deshalb sehr aufwändig war.

Das hat sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend gewandelt. Heute wendet man zur Analyse der Mineralien vorwiegend physikalische Methoden an:

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg Frankfurt am Main

In einem bis zu 10.000 °C heißen Gasplasma (ICP = Inductively Coupled Plasma) zerfällt jedes Material unter Bildung von Ionen, die im Hochvakuum durch ein elektrisches Feld geleitet werden und auf den Detektor eines Massenspektrometers (MS) gelangen. Dort lösen sie ein elektrisches Signal aus, das Art und Menge jeder Ionensorte zu berechnen gestattet. Alternativ nutzt man auch die Tatsache aus, dass heiße Ionen Licht aussenden. Aus den Wellenlängen und Intensitäten der registrierten „Emissionslinien" lässt sich ebenfalls die chemische Zusammensetzung berechnen (OES = Optische Emissions-Spektroskopie).

Im Routinebetrieb lässt sich eine Probe mit den beschriebenen Methoden innerhalb weniger Minuten untersuchen. Doch die Geräte sind teuer (> 100.000 €), und der Aufwand für Probenvorbereitung, Gerätewartung und -kalibrierung sowie für die Ausarbeitung einer neuen Analysenprozedur ist so erheblich, dass für den in diesem Artikel beschriebenen Augit auf eine Untersuchung verzichtet werden musste.

7.2 Kristallstruktur

Jeder kennt den Effekt. CDs, Ölfilme auf Wasseroberflächen, Schmetterlingsflügel oder auch Diapositive in Glasrahmen mit ihren Newton-Ringen bieten im reflektierten Licht ein buntes Farbenspiel (Abb. 10). Aus jeder Blickrichtung sehen wir andere Farben – es schillert.

Abbildung 10. Das Farbenspiel der Lichtreflektion an einer CD entsteht durch Interferenz an dünnen Schichten. Aus den Reflektionswinkeln lassen sich Schichtdicken (bei der CD auch Spurabstände) berechnen.

Figure 10. Light reflection on a CD-ROM. The changing colors result from interferences within the very thin surface layers. It is possible to calculate the layer dimensions from these reflection effects.

Verantwortlich hierfür ist die Reflektion an dünnen Schichten: das an der Unterseite reflektierte Licht legt einen um eine Winzigkeit längeren Weg zurück als das an der Oberseite reflektierte. Zwischen den beiden Lichtstrahlen entsteht eine von Schichtdicke und Reflektionswinkel abhängige Phasenverschiebung, die bei der Überlagerung der beiden Lichtstrahlen (Interferenz) zur gegenseitigen Auslöschung, aber auch zur Verstärkung führen kann.

Aus dem Winkel, unter dem Licht einer bestimmten Wellenlänge mit maximaler Intensität reflektiert wird (konstruktive Interferenz), kann man die Schichtdicke berechnen. Der wesentliche Nutzen dieses Verfahrens besteht darin, dass man mit Hilfe einer makroskopischen Winkelmessung einen mikroskopisch kleinen Wert, nämlich die im Mikrometerbereich liegende Schichtdicke, ermitteln kann.

Max von Laue zeigte im Jahr 1912, dass dieser Effekt auch zum Nachweis der atomaren Schichtabfolge in Kristallen nutzbar ist, wenn man anstatt des sichtbaren Lichtes die 1895 von Conrad Wilhelm Röntgen entdeckte wesentlich kürzerwellige Strahlung verwendet. In seinem berühmten Experiment machte er die durch einen Kupfersulfat-Kristall hindurchgegangene Röntgenstrahlung mit einer Fotoplatte sichtbar und erhielt ein Interferenzmuster. Beide Forscher wurden für ihr Gesamtwerk mit dem Nobelpreis belohnt.

Doch weil Kristalle dreidimensional sind und weil Interferenzen höherer Ordnungen berücksichtigt werden müssen, ist die Interpretation des Interferenzexperimentes außerordentlich schwierig. Und so dauerte es noch mehr als 70 Jahre, bis der theoretische Unterbau, die Lösungsalgorithmen, die Computer-Soft- und Hardware sowie die hochpräzisen Röntgen-Messinstrumente so weit entwickelt waren, dass die periodische Anordnung der Atome im Kristall routinemäßig ermittelt werden konnte.

Zahlreiche herausragende, durch Nobelpreise und andere Auszeichnungen gekrönte Leistungen waren nötig, um diesen steinigen Weg zu ebnen. Erwähnt seien hier nur zwei davon.

W. H. Bragg und W. L. Bragg (Nobelpreis 1915) formulierten die nach ihnen benannte fundamentale Gleichung

$$\lambda = 2d \sin(\Theta),$$

die es gestattet, aus dem Reflektionswinkel Θ eines Lichtstrahles der Wellenlänge λ den Abstand d einer periodischen Schichtfolge im Kristall zu berechnen (Abb. 11). Darüber hinaus ermittelten sie als Erste den atomaren Aufbau einfacher kristalliner Verbindungen.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

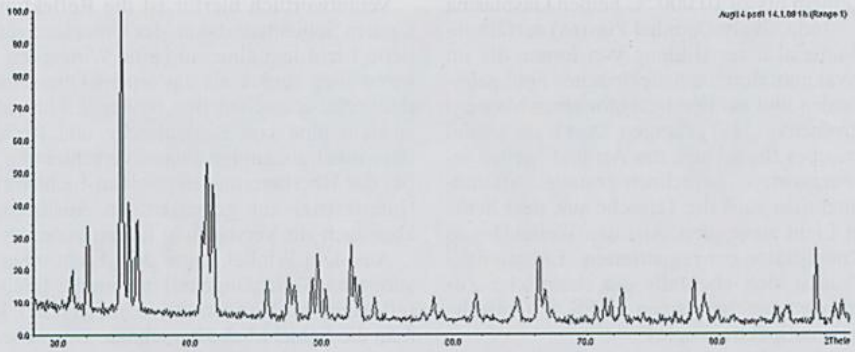

Abbildung 11. Röntgendiffraktogramm von Augit. Man bestrahlt das kristalline Material unter verschiedenen Winkeln mit Röntgenlicht und trägt die Intensität des reflektierten Lichtes gegen den Einstrahlwinkel auf. So entsteht eine Kurve mit scharfen Maxima, aus deren Gesamtheit sich die Kristallstruktur berechnen lässt.
Beispiel: Der stärkste Peak beim Einstrahlwinkel $\Theta = 17{,}35°$ zeigt nach der Bragg-Gleichung (mit $\lambda = 178{,}90$ pm) an, dass im Kristall eine Schichtabfolge mit der Periodizität d = 299,97 pm existiert.

Figure 11. X-ray pattern of Augite. The crystalline material is irradiated with X-rays, and the intensities of the reflected X-rays are recorded. This will result in a characteristic line with sharp maxima which can be used to determine the crystal structure.
Example: The Bragg equation indicates for the strongest peak (diffracion angle $\Theta = 17{,}35°$, X-ray wavelength $\lambda = 178{,}90$ pm) that there are layers in the crystal structure with a periodicity of d = 299,97 pm.

H. A. HAUPTMANN und J. KARLE (Nobelpreis 1985) fanden heraus, wie sich Kristallstrukturen mit Hilfe so genannter Direkter Methoden ohne das zunächst erforderliche aufwändige Herumprobieren ermitteln lassen. Damit wurde es möglich, im Routineverfahren die Strukturen insbesondere einer Unzahl organischer Verbindungen zu berechnen – eine wichtige Grundlage bei der Entwicklung moderner Pharmazeutika.

8. Neugierig geworden?

Wer hätte gedacht, dass sich um ein harmloses Steinchen vom Bausenberg so viele wissenswerte Dinge ranken?

Weiterer Forscherdrang lässt sich vorzüglich durch Stöbern im Web stillen. Empfehlenswerte Stichworte in Wikipedia.de sind unter anderem:

Alumosilikate, Augit, Bragg-Gleichung, Elementhäufigkeit, Heilstein, ICP-MS, ICP-OES, Kieselsäure, Kristallklassen, Kristallstrukturanalyse, Max von Laue, Monoklines Kristallsystem, Nicolaus Steno, Quarz (Kristallstruktur).

Danksagung

Die Autoren danken sehr herzlich: WALTER MÜLLER, Niederzissen, für den Hinweis auf den *Augit*-Fundort und das Foto vom Bausenberg, Prof. Dr. JOHANNES BECK, Direktor des Instituts für Anorganische Chemie der Universität Bonn, für die freundliche Unterstützung der Röntgenexperimente, VOLKER BENDISCH und BARBARA KNOPP für die Durchführung der Röntgenmessungen.

Literatur

BRAUNS, R. (1928): Die chemische Zusammensetzung der Basaltlaven des Laacher Seegebietes. – N. Jb. Miner. (Stuttgart), BB LVI A, 468–498.

MÜLLER, W. & SCHRÖDER, H. (2003): Der Bausenberg. Vulkan und Heimat seltener Pflanzen und Tiere. Verbandsgemeinde Brohltal (Hrsg.) – Koblenz (Görres Verlag), ISBN 3-935690-23-1, 256 S.

SMITH, D. (1971): Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA. Zitiert in: 1999 JCPDS-International Centre for Diffraction Data.

THIELE, H.U. & BECKER, J. (1975): Der Bausenberg. Naturgeschichte eines Eifelvulkans. – Beiträge Landespflege Rhld.-Pfalz, Beiheft 4 (Hrsg.: Landesamt für Umweltschutz Rheinland-Pfalz), Oppenheim.

Anschrift der Autoren:
Dr. ROLF SIEVERS, Peenestr. 1, 53127 Bonn; E-Mail: sievers@uni-bonn.de; PD Dr. BODO M. MÖSELER, AG Vegetationsökologie am Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Nußallee 9, D-53115 Bonn; E-Mail: moeseler@uni-bonn.de.

Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg
Frankfurt am Main

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Decheniana

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: 165

Autor(en)/Author(s): Sievers Rolf, Möseler Bodo Maria

Artikel/Article: Augit am Bausenberg - Kristallografie für Einsteiger 161-170