

MÜHLENGESTEINE

Durch bestimmte Eigenschaften sind einige Gesteinsarten für eine Mülsteinherstellung besser geeignet als andere. Derartige Qualitätseigenschaften sind anhand der Porosität oder bestimmter Kristalle, der Härte sowie der Homogenität festzumachen.

Unter Porosität versteht man die Raumauffüllung eines Gesteins, d.h. wie viele Hohlräume im Vergleich zur Masse vorhanden sind¹⁹⁶. Durch sie wird eine gewisse Rauigkeit auf der Mahlfläche durch immer wieder neu angeschnittene Hohlräume mit scharfen Kanten gewährleistet. Sie sind erforderlich, damit das Mahlgut an den Kanten hängen bleibt und aufgerissen wird. Ebenso wie die Porosität können auch bestimmte Kristalle für eine fortdauernde Rauigkeit sorgen. Sie können z.B. innerhalb herausgewitterter Hohlräume gewachsen sein und fördern durch ihre scharfkantigen Kristallstrukturen das Aufreißen des Mahlguts. Darüber hinaus sollte das Gestein eine bestimmte Härte aufweisen, welche sich durch wenig Abrieb sowohl positiv auf die Qualität des Mahlprodukts als auch im geringeren Wartungsaufwand niederschlägt. Unter Letztgenanntem versteht man das Nachschärfen der Mahlflächen und das Freilegen des Schlucks auf dem Unterlieger¹⁹⁷. Gleichzeitig geht mit einer größeren Härte auch eine längere Verwendungsdauer der gesamten Handdrehmühle einher. Neben diesen Voraussetzungen sollte das Gestein homogen sein, d.h. es sollte eine gleichmäßige Verteilung von Mineralen und Hohlräumen aufweisen; denn durch Homogenität wird eine leichtere Herstellung und Bearbeitung ermöglicht sowie ein einheitliches Abnutzen der Mahlfläche garantiert.

Nur wenige Gesteine erfüllen alle diese Kriterien, und dies in unterschiedlichem Maße. So eignen sich plutonische Gesteine, wie z.B. Granite, die sich durch relativ große hypidiomorphe Kristalle mit unterschiedlichen Härtegraden und einem kompakten Gefüge auszeichnen¹⁹⁸, nicht besonders gut zum Bau einer Drehmühle, da diese relativ großen Kristalle während des Mahlprozesses im Ganzen herausbrechen und so die Mahlfläche beschädigen können. Zudem weisen Plutonite in der Regel keine Hohlräume auf. Grobkristalline Metamorphite, wie z.B. Gneise, eignen sich ebenso wenig, da sie keinerlei Hohlräume aufweisen und die Kristalle oft gleichmäßig ausgerichtet sind¹⁹⁹. Auch spricht das hohe Eigengewicht gegen eine Verwendung von Plutoniten und Metamorphiten. Dennoch sind derartige Gesteine im östlichen Bereich des Arbeitsgebiets verwendet worden – vermutlich dann, wenn keine besseren Gesteine im nächsten Umkreis anstehen und zur Verfügung standen²⁰⁰.

Sedimentgesteine zeigen in ihrem Gefüge eine große Variationsbreite, und nur wenige sind für eine Mülsteinherstellung geeignet, so z.B. reife quarzitisches Sandsteine²⁰¹. Sie weisen im Allgemeinen eine sehr feine Porosität mit teilweise nur geringer Härte auf²⁰². Die einzelnen Quarzkristalle besitzen zwar eine sehr große Härte (Härte 7 nach Mohs), können jedoch bei einer weniger zähen – z.B. einer tonigen – Matrix leicht aus dem Mineralgefüge herausbrechen. Liegt jedoch ein Sandstein mit einer sehr festen, kieseligen Matrix vor, brechen die körnigen Komponenten nicht so leicht heraus, und der Sandstein eignet sich für eine Getreideverarbeitung gut. Aufgrund der einzelnen, teilweise sehr kleinen Komponenten und des

¹⁹⁶ Press / Siever 1995, 576.

¹⁹⁷ Siehe dazu auch das Kapitel »Abnutzungsspuren an der Mahlfläche«.

¹⁹⁸ Press / Siever 1995, 51.

¹⁹⁹ Press / Siever 1995, 54.

²⁰⁰ Herrmann 1968, 136. – Brachmann 1978, 193. – Spehr 1979. – z.B. Kat.-Nr. 525 (Taf. 95).

²⁰¹ Als reife Sandsteine werden in Mineralverteilung, -größe und Verrundung äußerst homogene Sedimentgesteine bezeichnet (Füchtbauer 1988, 97-99).

²⁰² Press / Siever 1995, 52-53.

daraus resultierenden hohen Abriebs müssen Drehmühlen aus diesem Gestein häufig gewartet werden; sie sind aber dennoch für eine Getreideaufbereitung geeignet²⁰³.

Vulkanische Gesteine weisen eine hohe Härte auf, die durch das meist porphyrische Gefüge bedingt ist. Allerdings eignen sie sich nur unter bestimmten Entstehungsbedingungen zum Bau einer Drehmühle. So kann zum einen eine homogene Porosität den Vulkanit für eine Drehmühlenherstellung geeignet machen: D.h. die Lava entgaste nicht vollständig²⁰⁴, so dass Hohlräume in der erkalteten Lava zurückblieben. Je feiner und gleichmäßiger diese Porosität, desto zweckdienlicher ist der Vulkanit zum Mahlen, da ein Glattwerden der Mahlfläche durch immer wieder neu aufbrechende Hohlräume verhindert wird²⁰⁵. Zum anderen kann durch große Feldspatkristalle, die weniger hart als das umgebende Gestein sind, eine vergleichbare Porosität hervorgerufen werden. Sind sie herausgewittert, während die härteren Kristalle, wie z.B. teilweise große, hypidiomorphe Quarze, stehen blieben, kann an ihren scharfen Kanten das Mahlgut aufgerissen werden. Dies ist z.B. bei Teplicer Rhyolithen der Fall. Auch können in Hohlräumen der z.B. herausgewitterten Feldspäte neue Kristalle mit scharfen Ecken und Kanten gewachsen sein, wie z.B. bei Rhyolithen aus dem Thüringer Wald.

Als weitere Gesteinsart müssen hier noch Karbonate vorgestellt werden, da sieben aufgenommene Drehmühlen aus einem derartigen Material bestehen²⁰⁶. Teilweise könnte es sich durchaus um »Muschelkalke« handeln, wobei mit dieser Bezeichnung nicht eine Datierung in die mittlere Epoche der Trias erfolgen soll²⁰⁷. Die Benennung umschreibt vielmehr das Gefüge des Materials²⁰⁸: ein kalkiges, sehr weiches Gestein, das durch viele scharfe Kanten gekennzeichnet ist, die durch eingebettete Muscheln hervorgerufen werden. Aufgrund der geringen Härte des Muschelkalks scheint aus heutiger Sicht eine Herstellung eines Mühlsteins aus diesem Material nicht sinnvoll. Die aufgenommenen Exemplare beweisen allerdings das Gegenteil, und so scheinen die durch die eingelagerten Muscheln hervorgerufenen scharfen Kanten das ausschlaggebende Kriterium für die Wahl dieses Gesteins gewesen zu sein.

Aus den hier genannten Eigenschaften der verschiedenen Gesteine ergibt sich, dass zum Bau einer Drehmühle am besten poröse Vulkanite oder solche mit herausgewitterten hypidiomorphen Kristallen geeignet sind, gefolgt von reifen quarzitischen Sandsteinen, Plutoniten bzw. grobkristallinen Metamorphiten und zuletzt kalkigen Gesteinen.

Eine weitere besondere Qualifizierung eines Gesteins zur Mühlsteinproduktion kann durch mittelalterlich-neuzeitliche Vergleiche herausgestellt werden. So ist in Frankreich (Dauphine) belegt, dass mittelalterlich-neuzeitliche Müller solche Mühlsteine bevorzugten, deren Mineralkomponenten dem Mahlprodukt keine Färbung geben. So wurden weiße Kalkstein-Mühlsteine für das Mahlen von Weizen denen aus Sandstein vorgezogen. Die Aluminium- und Eisenoxide der Sandsteine verfärben das eigentlich weiße Weizenmehl und mindern damit die Qualität des Mahlprodukts. Für die Aufbereitung von Roggen wurden hingegen die aluminium- und eisenreichen Sandsteine verwendet, da hier die Farbe des ohnehin gräulichen Mahlprodukts nicht großartig verunreinigt werden konnte. In der Dauphine hatte demnach ein Müller immer zwei Mühlsteine zur Verfügung, die je nach Getreideart eingesetzt wurden²⁰⁹. Eine derartig spezielle Auswahl von Drehmühlengesteinen auch in der Latènezeit kann mithilfe der vorliegenden Exemplare jedoch nicht nachvollzogen werden.

²⁰³ Die herausbrechenden Quarzkörner sind äußerst zahn-schädlich, können jedoch ab einer gewissen Größe durch Sieben aus dem Mahlprodukt entfernt werden (Mangartz 2008, 9). Für die Mittelaltenezeit beweist dies ein verkohltes Brotfragment aus den Salinenarealen Bad Nauheims. Es konnten keinerlei Bruchstücke von Getreidekörnern oder Reste von Spelzen gefunden werden (Heiss / Kreuz 2007).

²⁰⁴ Press / Siever 1995, 89-91.

²⁰⁵ Mangartz 2008, 9.

²⁰⁶ Kat.-Nr. 194 (Taf. 37). 239-240 (Taf. 48). 420 (Taf. 65). 421. 508 (Taf. 89). 510 (Taf. 89).

²⁰⁷ Kat.-Nr. 194 (Taf. 37). 420 (Taf. 65). 508 (Taf. 89). 510 (Taf. 89).

²⁰⁸ Schumann 1994, 282.

²⁰⁹ Belmont 2006, 87-89.

BEDEUTENDE GESTEINSVORKOMMEN

Das Arbeitsgebiet, das sich in der so genannten Mittelgebirgszone Deutschlands befindet, kann von West nach Ost in folgende geologische Baueinheiten untergliedert werden: Östliches Rheinisches Schiefergebirge, Hessische und Niederhessische Senke, Knüllgebirge, Harz mit Kyffhäuser, Thüringer Becken, Thüringer Wald mit Ruhlaer Kristallin, Thüringisch-Fränkisch-Vogtländisches Schiefergebirge, Südwest-Thüringisches Trias-Gebiet, Hallesches Porphyrgebiet, Nordwestsächsisches Hügelland, Leipziger Tieflandsbucht, Sächsisches Granulitgebirge, Schiefergebirge der Elbezone, Elbsandsteingebirge, Lausitzer Bergland, Döhleener Senke, Meißener Vulkanit-Gebiet, Vorerzgebirgssenkung und Erzgebirge.

Neben diesen über viele geologische Zeitalter entstandenen Baueinheiten gehören junge Vulkangebiete wie der Vogelsberg, der Westerwald, Vulkane im nordhessischen Raum, der Rhön und im Grabfeld sowie Vulkane des Erzgebirges und der Lausitz zum Arbeitsgebiet²¹⁰. Zusätzlich zu diesen autochthonen Gesteinen kommen im nördlichen Bereich Geschiebe der quartären Eiszeiten aus dem skandinavischen Raum hinzu²¹¹. Noch heute sind einige so genannte Großgeschiebe vorhanden²¹², z.B. solche im Thüringer Becken, die aus Granodiorit Südschwedens und Bornholms bestehen²¹³. Beispielhaft soll hier der aus mittelschwedischem Uppsala-Granit bestehende »Große Stein« von Tonnenheide bei Rahden (Lkr. Minden) erwähnt werden, der mit etwa 100 m³ Volumen und einem Gewicht von etwa 270 t²¹⁴ verdeutlicht, mit welcher Größe auch im Arbeitsgebiet zu rechnen ist. Derartig große Geschiebe könnten sogar als Mühlstein-Steinbruch gedient haben.

Die anstehenden Gesteine, die jungen Vulkanite sowie die glazialen Geschiebe sind für eine Mühlsteinverwendung – wie oben dargelegt wurde – nur unter bestimmten Voraussetzungen geeignet und müssen zusätzlich bei einer möglichen Eignung aufgeschlossen bzw. leicht zugänglich sein. Im Folgenden wird daher lediglich auf geeignete sowie zugängliche Vorkommen im Arbeitsgebiet eingegangen. Die vorzustellenden Gesteinsarten wurden dabei zum einen über die aufgenommenen und petrographisch bestimmten Drehmühlen, zum anderen über schon bekannte Steinbrüche ausgewählt.

Vulkanit

Die für eine Mühlsteinherstellung relevanten Vulkanite können zwei Entstehungszeiträumen zugeordnet werden: dem Karbon bis Rotliegend und dem Tertiär und Quartär (**Farbtaf. 1**).

Am Ende der variszischen Orogenese im Permokarbon entstand die erste hier interessante Vulkanitgruppe. Die Masse und die weite mitteleuropäische Verbreitung der in diesem Zeitalter geförderteten Vulkanite wurden weder zu einem früheren noch zu einem späteren Zeitpunkt übertroffen. Die Gruppe umfasst auch den uns hier betreffenden, allerdings östlich außerhalb des Arbeitsgebiets situierten Vulkanit, den so genannten Teplicer Quarzporphyr. Bei diesem handelt es sich um einen Rhyolith, der vom Mineralgehalt seinem plutonischen Gegenstück, dem Granit, gleicht und durch einen hohen Quarzgehalt mit einer feinen und hellen

²¹⁰ Henningsen / Katzung 2002, VII-VIII.

²¹¹ Insgesamt zwei der drei quartären Glaziale Elster, Saale und Weichsel betreffen das Arbeitsgebiet. Die Gletscher der ältesten Elster-Vereisung (500000-425000 v.h.) drangen am weitesten in die Region Thüringen-Sachsen vor. Sie reichten sogar um den Harz herum bis in das Thüringer Becken hinein. Die darauf folgenden Gletscher der Saale-Eiszeit (215000-127000 v.h.) beeinflussten die Oberfläche des thüringisch-sächsischen Raums kleinräumiger als die der vorhergehenden Elster-Eiszeit. Sie umflossen den Harz nicht. Die Gletscher der letzten der

drei quartären Eiszeiten, die der Weichsel-Eiszeit (115000-10000 v.h.), erreichten das Mittelgebirge nicht mehr und beeinflussten somit auch nicht die Oberflächengestaltung des Arbeitsgebiets (Ehlers 1990, 161 Abb. 1. – Kahlke 1994, 166-167. – Vespermann 1999, 43 Tab. 2).

²¹² Nach E. Speetzen (Skupin / Speetzen / Zandstra 1993, 34) haben Großgeschiebe eine größte Länge von über 2 m sowie ein Gewicht von mehr als 5 t.

²¹³ Fraedrich 1996, 57-58 mit Abb. 22.

²¹⁴ Fraedrich 1996, 35-37 mit Tab. 9; Abb. 9.

Matrix zu identifizieren ist. Der Rhyolith aus der Region Teplice (Ústí n.L., Tschechien) wurde neben weiteren Vulkaniten in einem Zeitraum von etwa 25 Millionen Jahren in einer Vielzahl geologischer Ereignisse gefördert und ist heute Teil des vulkano-plutonischen Komplexes des östlichen Erzgebirges. Phänokristalline Quarze unterschiedlicher Ausformungen, die in nahezu allen magmatischen Gesteinen dieses Komplexes vertreten sind, erlauben es, den Teplicer Rhyolith (TR) in die drei zeitlich voneinander getrennten Hauptgruppen TR1 bis TR3 zu unterteilen. Mithilfe dieser unterschiedlich ausgeformten Quarze, stratigraphischer Merkmale und K/Ar-Datierungen war es möglich, die Entstehungsgeschichte des gesamten vulkano-plutonischen Komplexes zu rekonstruieren. So wurde vor dem Teplicer Rhyolith der so genannte Schönfeld Rhyolith als oberer, gefolgt von einem Rhyodacit als unterer Bereich einer Magmakammer gefördert. Nach diesen kalkalkalinen Schönfeld Vulkaniten wurden kaliumreiche Teplicer kalkalkaline Rhyolithe gefördert. Die Unterschiede beider Magmen zeigen mit der Entwicklung der chemischen Zusammensetzung der Schmelzen den Wechsel von einer spät- zu einer post-orogenen Geotektonik an. Diese Merkmale stellen auch in anderen Bereichen der Varisziden einen wichtigen Marker zwischen Westfal B und D (**Farbtaf. 1**) dar und bieten damit einen Datierungsansatz für die Entstehung des Teplicer Rhyoliths in Westfal C bis D²¹⁵. Das Magma des heutigen Teplicer Rhyoliths stieg durch spannungsbedingte Störungen in höhere Krustenbereiche auf und bildete dort eine weitere kleinere Magmakammer, und dies führte letztendlich zu einer Förderung von 70-120 km³ Lava an die Erdoberfläche. Dies hatte einen Einsturz der durch die Entleerung instabil gewordenen, höher gelegenen Magmakammer zur Folge, so dass eine große Caldera entstand. Vermutlich durch ihren Einsturz wurden am Boden der Magmakammer verbliebene Magmen noch einmal mobilisiert und bildeten den heute so genannten Altenberg-Frauenstein Mikrogranit. Die unterhalb dieser Caldera befindliche größere Magmakammer kollabierte daraufhin ebenfalls und bildete zusammen mit der zuvor entstandenen eine vermutlich 6-10 km tiefe und 650 km² große nordnordwest-südsüdost-orientierte Caldera, die sich zwischen Altenberg (Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge) und Teplice erstreckt²¹⁶.

Zudem spielen von den zahlreichen im Rotliegend geförderten Vulkaniten weitere Rhyolithe in Deutschland im Zusammenhang mit der Mühlsteinherstellung eine Rolle. Zum einen sind diese rhyolithfördernden Eruptionszentren innerhalb des Arbeitsgebiets im Bereich des Thüringer Walds, aber auch weiter nordöstlich im Raum Halle/Saale und Altenburg (Lkr. Altenburger Land) vertreten. Der »intraorogene Rotliegendvulkanismus des Thüringer Waldes ist [...] als Produkt eines Krustenmagmatismus mit verschiedenen Aufschmelzungsniveaus über einer Hochlage der Asthenosphäre anzusehen«²¹⁷. Die unterschiedlichen Gesteine dieser Vulkantätigkeit wurden sowohl unter subaerischen, subaquatischen, oberflächennahen Bedingungen als auch durch Intrusionen von Tiefengesteinskörpern gebildet. Im Thüringer Wald wurden mehrere Lavaströme durch vermutlich eine große Magmakammer gespeist. Daher sind die zahlreichen Lavaströme der Rotliegend-Vulkane des Thüringer Walds relativ gleichförmig in ihrer mineralogischen Struktur ausgebildet. Ihre Förderung ereignete sich in einem Zeitraum von etwa 15 bis 20 Millionen Jahren und war nicht immer gleich intensiv; vielmehr wechselten sich Zeiträume intensiver mit Zeiträumen geringer bis gar keiner Förderung ab. Der Rhyolithvulkanismus, als eine von vielen Vulkanphasen des Rotliegenden, erlangte in der Oberhof- und Rotterode-Formation seinen Höhepunkt²¹⁸. Die heute aufgeschlossenen Rhyolithe aller Rotliegendformationen weisen eine relativ gleiche äußere Form auf. »Sie bilden mehr oder weniger ausgedehnte Decken und Quellkuppen, die Mächtigkeiten bis > 200 m erreichen können und die, im Gegensatz zu den intermediären Vulkaniten, nur eingeschränkt in Einzelergüssen aufzugliedern sind«²¹⁹. Anhand

²¹⁵ Die in Westeuropa als »Westfal« bezeichnete Stufe entspricht nach der internationalen Stratigraphie (**Farbtaf. 1**) den Stufen Bashkirian und Moscovian.

²¹⁶ Beeger u.a. 1988, 6. – Štemprok / Holub / Novák 2003, 278-279. 286-287. – Müller u.a. 2005, 202. 206-209. 221-222. 224.

²¹⁷ Lützner u.a. 2003, 256.

²¹⁸ Lützner u.a. 2003, 256.

²¹⁹ Lützner u.a. 2003, 259.

unterschiedlicher Phänokristallgrößen werden die Rhyolithe differenziert. So liegen Rhyolithe mit wenigen kleinen, mit reichlichen mittelgroßen und mit zahlreichen großen Einsprenglingen vor, deren Einteilung gleichzeitig eine relativchronologische Untergliederung erlaubt. So sind Rhyolithe mit großen und mittelgroßen vor solchen mit kleinen Einsprenglingen gefördert worden²²⁰. Die Matrix, d.h. die Grundmasse, in die die Einsprenglinge eingebettet sind, ist petrographisch kaum zu unterscheiden. Einziges Unterscheidungskriterium stellen daher die Phänokristalle dar. Die Rhyolithe, die innerhalb des Arbeitsgebiets im Raum Halle/Saale zu finden sind, sowie die Tuffe rhyolithischer Zusammensetzung, die bei Altenburg anstehen, sind nach neuesten Untersuchungen zeitgleich mit den Rhyolithen des Thüringer Walds entstanden. Makroskopisch sind die des Raums Halle/Saale nicht von denen des Thüringer Walds zu unterscheiden. Im Gegensatz dazu hebt sich der rhyolithische Tuff Altenburgs, der als Kristallasche-Tuff bezeichnet werden kann, anhand seines weißen Erscheinungsbildes von den Thüringischen und Halleschen Rhyolithen deutlich ab²²¹. In Südhessen und Rheinland-Pfalz gibt es einige Rhyolithaufschlüsse, die jedoch nicht alle für eine Mühlsteinproduktion geeignet sind. Die aufgrund ihrer Porosität geeigneten Vorkommen stehen im Raum Groß-Umstadt (Lkr. Darmstadt-Dieburg) bzw. Bad Kreuznach an, lassen sich makroskopisch jedoch nur äußerst schwer von den Thüringischen Rhyolithen unterscheiden²²².

Für eine vorgeschichtliche Mühlsteinherstellung spielen die folgenden Aufschlüsse bzw. Regionen des oben beschriebenen permokarbonen Vulkanismus, die sowohl innerhalb als auch östlich des Arbeitsgebiets angetroffen werden, eine Rolle (**Taf. 112**). Zum einen handelt es sich um einen Steinbruch bei Oparno, der nordwestlich von Lovosice in Tschechien gelegen ist. Unter anderem in der Latènezeit fand er für eine Mühlsteingewinnung Verwendung. Der hier abgebaute Teplicer Rhyolith ist in großem Umfang im Bereich der Altenberg-Teplice Caldera aufgeschlossen, allerdings nur unter bestimmten Bedingungen für eine Mühlsteinproduktion geeignet. So sind frische, unverwitterte Rhyolithe kein geeigneter Rohstoff, ganz im Gegensatz zu den nordwestlich von Lovosice bei Oparno zugänglichen angewitterten Rhyolithen²²³. Welche außergewöhnliche Qualität diese hatten, macht die weite Verbreitung der fertigen Mühlsteine im gesamten böhmisch-mährischen Gebiet offensichtlich (**Taf. 113**)²²⁴. Zum anderen dürfen die Gesteinsvorkommen um Crawinkel (Lkr. Gotha) und am Borzel im Thüringer Wald (**Taf. 112**) schon in der Latènezeit für eine Mühlsteingewinnung angegangen worden sein, auch wenn derart alte Abbauspuren durch neuzeitliche Steinbruchbetriebe wahrscheinlich überprägt wurden und nicht mehr nachvollziehbar sind. Zudem scheinen möglicherweise lediglich kurzfristig genutzte Steinbrüche in der Region Halle/Saale sowie Altenburg vorhanden gewesen zu sein. In den Regionen Groß-Umstadt sowie Bad Kreuznach ist eine eher sporadische Nutzung der dort anstehenden Rhyolithe schon ab dem Neolithikum nachgewiesen²²⁵. Auch in der Latènezeit scheinen diese Aufschlüsse für eine Mühlsteinproduktion verwendet worden zu sein²²⁶.

Die zweite Vulkangruppe, die für die Mühlsteinproduktion brauchbare Materialien liefern kann, ist im Tertiär und Quartär entstanden (**Farbtaf. 1**)²²⁷. Die Vulkane sind Teil einer Kette von Vulkanzentren, der so genannten Central European Volcanic Province (CEVP), die sich von der Mittelmeerküste bei Agde über Chaîne des Puys, Eifel, Siebengebirge, Westerwald, Vogelsberg und Rhön bis nach Schlesien erstreckt. Dieser Intraplattenvulkanismus wird in der Region zwischen Eifel und Vogelsberg auf die relativ dünne, d.h.

²²⁰ Diese Unterteilung entspricht der ehemaligen Einteilung der Rhyolithe in die so genannten Älteren und Jüngeren Oberhofer Quarzporphyre (Lützner u.a. 2003, 260).

²²¹ Ehling 2006. – Ehling / Breitzkreuz 2006, 383.

²²² Freundl. Mitt. Dr. O. Spieler (Ludwig-Maximilians-Universität München), Prof. em. Dr. J. Mädler (Jena) und Dr. G. U. Aselmeyer (Bauhaus-Universität Weimar).

²²³ Freundl. Mitt. PhDr. V. Salač (Univerzita Karlova v Praze).

²²⁴ Waldhauser 1981, 178 Karte 1. – Fröhlich / Waldhauser 1989, 37 Abb. 7.

²²⁵ Spieler 1993.

²²⁶ Ausschließlich aus Bad Nauheim sowie vom Heidetränk-Oppidum liegen Mühlsteine aus einem Rhyolith vor, der in der Region Bad Kreuznach oder Groß-Umstadt gewonnen worden sein kann. Die Drehmühlen von weiteren Fundorten dieser Region sind alle nicht aus Rhyolith gefertigt.

²²⁷ Siehe auch Mangartz 2008, 3-10.

etwa 50 km mächtige Lithosphäre des in etwa nord-süd-streichenden Rheingrabens im Vergleich zu einer etwa 90 km mächtigen Lithosphäre West- und Osteuropas zurückgeführt²²⁸. Die in diesem Bereich geringe Mächtigkeit der Lithosphäre wird durch die Verwerfungs-Riftzone des Rheingrabens erklärt²²⁹. Gleichzeitig kann die in etwa rechtwinklig dazu verlaufende, lang gestreckte Zone des Intraplattenvulkanismus und damit auch der Vulkanismus im hessischen, thüringischen und sächsischen Raum durch die synchrone alpine Orogenese begründet werden²³⁰. Durch die Kollision der Afrikanischen Platte und ihr vorgelagerter kleinerer Platten mit dem europäischen Kontinent entstand eine komplizierte Subduktions- und Überschiebungszone, aus der die Alpen hervorgegangen sind²³¹. Das den Alpen nördlich vorgelagerte Gebiet befindet sich aufgrund der Verwerfungs-Riftzone des Rheingrabens und der Kollision der Afrikanischen Platte mit dem europäischen Kontinent in einem starken tektonischen Spannungsfeld, das von kräftigen Bewegungen in der Erdkruste geprägt ist und sich durch zum Teil tief reichende Störungszonen ausdrückt. An diesen Störungszonen orientiert sich der oben genannte Intraplattenvulkanismus, der möglicherweise auch in gewisser Weise mit der Subduktionszone vor den Alpen zusammenhängt²³². Der Vulkanismus in der Eifel kann zudem durch ein weiteres Erklärungsmodell begründet werden: Nach neuen seismologischen und geochemischen Untersuchungen wird dieser Intraplattenvulkanismus mit einem so genannten Eifel-Plume in Verbindung gebracht – also einem pilzförmigen Aufstrom von Magma aus dem oberen Mantel, der im Fall der Eifel einen Durchmesser von etwa 100 km hat und mindestens 400 km in die Tiefe reicht²³³. Von diesen im Tertiär und Quartär (**Farbtaf. 1**) zahlreich geförderten Vulkaniten interessieren hier lediglich die folgenden Vulkane bzw. Steinbrüche, die sowohl innerhalb als auch außerhalb des Arbeitsgebiets liegen: So sind die Steinbrüche der Region Ettringen, Kottenheim und Mayen (Lkr. Mayen-Koblenz) schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts von besonderem Interesse für die ur- und frühgeschichtliche Forschung. Die zahlreichen noch im 20./21. Jahrhundert genutzten Brüche dieser Region können auf eine seit dem Neolithikum währende Geschichte zurückblicken. Zwar ist der Großteil des vorgeschichtlichen durch den neuzeitlichen Abbau überprägt, doch finden sich immer wieder alte Steinbruchparzellen oder archäologische Fundstücke in den alten Schutthalden. Zudem ist es durchaus möglich, dass weitere Brüche im gesamten Gebiet der Eifel in vorgeschichtlicher Zeit vorhanden gewesen sind, so dass im Folgenden stets von der »Region Eifel« als Herkunftsgebiet gesprochen wird. Neben den gut erforschten und publizierten Steinbrüchen dieser Region sind aber auch weitere junge Vulkangebiete für eine Mühlsteinfertigung geeignet. Neben dem Vogelsberg als größter zusammenhängender Vulkangruppe Mitteleuropas kommen auch zahlreiche diesem Vulkanismus zugehörige kleinere Vulkane der Hessischen Senke (Borken, Schwalm-Eder-Kr.), aber auch der Wetterau (Bommersheim, Hochtaunuskr., Ober-Erlenbach, Hochtaunuskr., Mardorf, Lkr. Marburg-Biedenkopf)²³⁴ für eine Mühlsteinproduktion in Betracht. In der Nähe von Borken, Mardorf, Bommersheim und Ober-Erlenbach lassen Funde von Halbfabrikaten oder sogar Steinbruchspuren auf einen Abbau des vulkanischen Gesteins schließen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass weitere Steinbrüche nicht nur in den Regionen Wetterau und Hessische Senke vorhanden waren, die jedoch noch nicht entdeckt wurden oder nicht mehr entdeckt werden können. Zudem ist es durchaus möglich, dass die Vul-

228 »Der Rheingraben ist das zentrale Glied einer Grabenkette, welche Westeuropa von der Nordsee bis zum Mittelmeer durchzieht, einer Sub-Plattengrenze also, eines kontinentalen Zweiges des world rift system.« (Illies 1975, 403-404).

229 Ähnlich wie beim Afrikanischen Graben driften die beiden Ränder des Rheingrabens auseinander, so dass die dazwischen liegende Lithosphäre gezerrt und ausgedünnt wird. Driften sie immer weiter auseinander, entsteht im Endeffekt ein neuer Ozean, und ein ehemals zusammenhängender Kontinent bricht entzwei (Press / Siever 1995, 505).

230 Der Begriff »Orogenese« bezeichnet die Gebirgsbildung.

231 Unter anderem Kuno 1966. – Press / Siever 1995, 505. – Schmincke 2000, 18. 105.

232 Illies 1975, 408. – Lippolt 1982, 131. – Schmincke 1988, 18-19. 25. – Walter 1992, 334. – Dreher 1996, 29-30. – Ehrenberg / Hickethier 2002, 23. – Steindlberger 2003, 23.

233 Ziegler 1992, 91. 101-103. 107. – Hoernle / Zhang / Graham 1995, 34-38. – Wedepohl / Baumann 1999, 225. 236-238. – Schmincke 2000, 94. – Ritter u.a. 2001.

234 Jung / Masberg 1998, 152-153.

kanite der Rhön oder des südöstlichen Grabfelds für eine Mühlsteinproduktion Verwendung fanden. Es wird im Folgenden daher davon ausgegangen, dass immer der nächstgelegene Vulkanitaufschluss angegangen wurde (**Taf. 112**).

Sandstein

Sandsteine aus unterschiedlichen erdgeschichtlichen Zeitaltern stehen in weiten Teilen des Arbeitsgebiets an. Da sich die einzelnen Schichten aufgrund ihrer Bildungsbedingungen nicht überall gleichen, ist es möglich, Drehmühlen aus Sandstein bestimmten Schichten bzw. Zeiträumen und teilweise großflächigen Regionen zuzuordnen. So können die für eine Mühlsteinproduktion infrage kommenden Sandsteine alle dem Rotliegend (Perm)²³⁵ und dem Buntsandstein (Trias)²³⁶ zugeordnet werden (**Farbtaf. 1**).

Beide Sandsteinarten wurden auf die gleiche Weise abgelagert, nur dass es sich bei den Rotliegendesandsteinen um kleinräumigere Vorkommen festländischer Schuttsedimente handelt. Gebildet wurden sie stets in Geosynklinalen²³⁷, Einzeltrögen bzw. Senken des variszischen Grundgebirges (Rotliegendes Fazies) oder aber flächenhaft in einem festländischen Becken (Buntsandstein Fazies). In diese Senken wurden die durch die Erosion entstandenen Lockermaterialien der umliegenden höheren Regionen abgelagert. Die Gesteine der Rotliegendes Fazies sind nicht gleichmäßig in Deutschland verbreitet, sondern auf erzgebirgisch streichende Einzeltröge beschränkt. Im Gegensatz dazu wurden die Sedimente der Buntsandstein Fazies in ein großes, weite Teile Mitteleuropas umfassendes festländisches Becken abgelagert²³⁸. Aus diesem in Schichten abgelagerten, lockeren Material bilden sich mit der Zeit feste Sedimentgesteine oder auch Sedimentite durch einen als Diagenese bezeichneten Prozess. Unter Diagenese ist die Umwandlung von Lockersedimenten in Festgesteine durch mehr oder minder langzeitige Wirkung von Temperatur, Druck und chemischen Lösungen zu verstehen. Folgende Prozesse führen zu einer Verfestigung der Sedimente: Durch Auflast jüngerer Sedimente erfolgt ein Zusammenpressen und damit eine Verminderung des Porenraums. Fluide werden herausgepresst, Salze können ausgelaugt und organische Substanzen zersetzt werden. Durch die Druck- und Temperaturerhöhung bei fortschreitender Subsidenz kommt es zu Umkristallisation²³⁹, Sammelkristallisation²⁴⁰ von Karbonaten und Kieselsäure sowie Drucklösung, bei der an den Berührungspunkten der einzelnen Kristalle aufgrund des hier höchsten Druckes Kristallstrukturen aufgelöst und im Druckschatten neu gebildet werden. In Wasserlösung befindliche Karbonate können in den freien Poren subaquatischer, körniger Sedimente ausfallen, und metasomatische Vorgänge, die eine Veränderung des vorhandenen Mineralbestands und damit des Chemismus durch Mineralneubildungen bedeuten, können erfolgen²⁴¹. Durch diese variablen Bildungsbedingungen können verschiedenste Sedimentite entstehen, die zudem aufgrund ihres spezifischen Mineralgehalts, der durch die ehemaligen Lockersedimente vorgegeben ist, unterschieden werden können. So variieren die Lockersedimente je nach Liefergebiet, aber auch nach der Entfernung vom Liefergebiet, denn die zumeist fluviatil in die Sedimentationsbecken gelieferten Lockermaterialien werden nach abnehmender Strömungsgeschwindigkeit sortiert abgelagert, so dass in ehemaligen Beckenrandbereichen gröbere und im Zentrum feinere Sedimentite gebildet werden.

²³⁵ Das Perm ist die letzte Periode des Paläozoikums, die in Mitteleuropa in die Epochen Rotliegend und Zechstein unterteilt wird und etwa 50 Ma, von 299 bis 251 Ma vor heute, dauerte.

²³⁶ Die Trias ist die erste Periode des Mesozoikums, die in Mitteleuropa in die namengebenden drei Epochen Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper unterteilt wird und etwa 50 Ma, von 251 bis 200 Ma vor heute, dauerte.

²³⁷ Als Geosynklinale wird eine Großmulde oder auch ein Senkungsraum in der Erdkruste bezeichnet (Press/Siever 1995, 216).

²³⁸ Henningsen 1976, 46-49.

²³⁹ Die instabile Modifikation eines Minerals, wie z.B. Aragonit, wird in die stabile Modifikation, z.B. Kalzit, umgewandelt.

²⁴⁰ Große Kristallkerne wachsen auf Kosten der kleinen.

²⁴¹ Press / Siever 1995, 149-150.

Nach der geologischen Karte ist es nicht möglich, bestimmte Sedimentitschichten als adäquat oder inadäquat für eine Mühlensteinherstellung zu bestimmen, da hier großflächig ausschließlich nach Zeitären kartiert wird. Es darf allerdings davon ausgegangen werden, dass Drehmühlen aus Sedimentiten aufgrund ihrer Qualitätseigenschaften im Vergleich zu solchen aus Vulkaniten und des weiträumigen Vorkommens von Sedimentiten nicht sehr weit transportiert wurden, so dass der Herkunftsort von Exemplaren aus Sedimentit stets im nächsten Umkreis der jeweiligen Siedlung zu suchen ist.

Die Sandsteine, aus denen 120 der aufgenommenen Drehmühlen hergestellt wurden, weisen in den seltensten Fällen eine karbonatische²⁴², etwas häufiger eine tonige²⁴³ und meistens eine kieselige²⁴⁴ Matrix auf²⁴⁵. Dabei stammt der Großteil derartiger Stücke (93 Exemplare) aus Regionen südlich des Thüringer Walds (Grabfeld), wobei die Masse der Funde (78 Exemplare) von der Steinsburg bei Römhild vorliegt²⁴⁶. Eine weitere Gruppe von Drehmühlen aus Sandstein (17 Exemplare) ist im Thüringer Becken sowie östlich des Harzes vertreten²⁴⁷, und ein weiterer Teil stammt aus der Region zwischen Westerwald und Rhön (10 Exemplare), genauer aus dem Bereich der Wetterau, der nördlichen Niederhessischen Senke sowie der Main-Taunus-Region (Taf. 114)²⁴⁸.

Das Thüringer Becken ist durch Sedimentite der Trias und vor allem am Südrand des Harzes durch solche des Perms geprägt. Das Spektrum der aufgeschlossenen Gesteine des Zechsteins und der Trias reicht von Kalk-, Schluff-, Mergel-, Ton- und Sandsteinen bis hin zu Gips, Anhydrit, Steinsalz und Dolomit. Dabei spielen die letztgenannten Gesteine, da sie den Evaporiten zuzuordnen sind und damit keine große Härte aufweisen, für eine Mühlensteinherstellung nur in wenigen Fällen eine Rolle²⁴⁹. Auch die übrigen Gesteine können erst bei einer gewissen Porosität, d.h. im Falle einer gewissen Korngröße oder aber eingelagerter größerer und härterer Elemente, als relevant angesehen werden. Daher sind homogene Kalk-, Schluff-, Mergel- und Tonsteine aufgrund ihrer geringen Korngröße ebenfalls zu vernachlässigen. So bleiben lediglich die Sandsteine der Trias übrig, die im Unteren Keuper sowie im Buntsandstein entstanden sind. Sie sind vor allem in den Randbereichen des Thüringer Beckens aufgeschlossen und unterschiedlichen tektonischen Einheiten zugeordnet. Eine dieser Einheiten ist das Eichsfeld, das das Thüringer Becken in Richtung Nordwesten begrenzt. Es wird von Sattel- und Muldenstrukturen durchzogen und besteht hauptsächlich aus Sedimentiten des Buntsandsteins und Muschelkalks. Im Nordosten begrenzt die Hermundurische Scholle das Thüringer Becken, eine Horststruktur, durch die Buntsandsteine aufgeschlossen sind. Die nördlich anschließende und südlich des Harzes gelegene Sangershäuser Mulde besteht hauptsächlich aus Unterem Buntsandstein. Neben Letzterem besteht die Merseburger Buntsandsteinplatte zudem aus Mittlerem Buntsandstein. Beide Sedimentitschichten sind jedoch zum Großteil durch tertiäre und quartäre Ablagerungen verdeckt. Der Komplex ist von der Sangershäuser Mulde durch die Querfurter Mulde abgetrennt. Der südliche Rand des Thüringer Beckens ist ebenfalls durch Buntsandstein- und Muschelkalk-Aufschlüsse gekennzeichnet. Er wird durch mehrere Störungszonen wie z.B. die etwa 120 km lange Eichenberg-Gotha-Saalfelder Störungszone geprägt. Ein ähnliches Sedimentitspektrum findet sich im thüringischen Grabfeld, bei dem es sich genau wie bei dem Thüringer Becken um eine Muldenstruktur handelt²⁵⁰.

²⁴² Kat.-Nr. 208. 221. 449.

²⁴³ Kat.-Nr. 152. 430. 441. 444-445. 450. 455-456. 481. 486. 488. 491. 498-499. 502. 504. 522-523. 527. 571-572.

²⁴⁴ Kat.-Nr. 62. 79-82. 85. 191-192. 215. 428-429. 431-432. 434. 436-437. 446-448. 451-454. 457-459. 461-466. 468-471. 474. 476-480. 483. 487. 489-490. 492-495. 503. 505. 509. 511-514. 516-519. 521. 524. 526. 558. 560-564. 566-567.

²⁴⁵ In diese Einteilung können lediglich 95 Drehmühlen einfließen, da keine Bestimmung der restlichen 25 Sandsteine erfolgte.

²⁴⁶ Kat.-Nr. 79-82. 84-85. 227-228. 428-432. 434. 436-438. 441. 444-466. 468-471. 474-481. 483. 486-495. 498-499. 502-505. 509. 511-514. 516-524. 526-527. 560-564. 566-567.

²⁴⁷ Kat.-Nr. 156. 187. 191-192. 194. 198. 208. 221. 236. 423-424. 552. 557. 568-569. 571-572.

²⁴⁸ Kat.-Nr. 62. 94. 105. 152. 180. 215. 231. 237. 362. 419.

²⁴⁹ Siehe dazu auch das Kapitel »Kalkstein«.

²⁵⁰ Walter 1992, 335-340. 372.

In einer breiten, lang gestreckten Zone, die sich von Nord nach Süd durch ganz Hessen zieht, ist ebenfalls vor allem Buntsandstein aufgeschlossen. Sie ist in unterschiedlichste tektonische Strukturen unterteilbar: Nördlich von Kassel handelt es sich um die Solling-Scholle, eine Antiklinalstruktur; hier ist vor allem Mittlerer Buntsandstein aufgeschlossen. Westlich von Kassel findet sich das Egge-Störungssystem mit einer Gesamtlänge von etwa 40 km. Es ist ein eggisch streichendes Senkungsfeld, in dem neben Muschelkalk-, Keuper- und Jura-Schichten auch solche des Buntsandsteins ausstreichen. Südlich schließen das Wolfhagen-Volkmarsener Störungssystem und die Fritzlar-Naumburger Grabenzone, die beide nord-süd-orientiert sind, mit ebensolchen Schichtenfolgen an. Südlich von Kassel verläuft die kompliziert gebaute Kasseler Grabenzone, wodurch auch hier Schichten des Mittleren Buntsandsteins zu Tage treten. In den Randzonen der südlich anschließenden Niederhessischen Senke streichen ebenfalls Buntsandsteinfolgen aus, und der weiter südlich gelegene Vogelsberg wird unter anderem von Buntsandsteinfolgen unterlagert. Östlich dieses ausgedehnten tertiären Vulkankomplexes treten neben Muschelkalk und Keuper auch Buntsandsteine zu Tage. Dieses Gebiet um Fulda gehört tektonisch bereits zur Süddeutschen Großscholle. Die Wetterau, eine Beckenstruktur, ist der südlichste Abschnitt der Hessischen Senke, in der lediglich tertiäre Ablagerungen zugänglich sind. Sie wird im Osten durch den Vilbeler Rotliegend-Horst begrenzt, bei dem es sich um eine Fortsetzung des Spremlinger Rotliegend-Horsts, die Nordbegrenzung des Bergsträßer Odenwalds, handelt. Die abschließend zu nennende Region Hessens, in der Buntsandsteine aufgeschlossen sind, ist die Frankenger Bucht. Sie liegt hauptsächlich nördlich von Marburg und wird durch den Kellerwald im Norden und Nordosten sowie den Vogelsberg im Süden begrenzt²⁵¹.

Kalkstein

Auch wenn im Vorfeld der Fundaufnahme davon ausgegangen wurde, dass aufgrund der geringen Härte keine Drehmühlen aus Kalkstein gefertigt wurden, muss diese Annahme aufgrund von sieben aufgenommenen Exemplaren revidiert werden (**Taf. 114**)²⁵². Sie wurden alle östlich der Rhön lokalisiert. In wenigen Kilometern Entfernung von jedem Fundort sind Kalksteinaufschlüsse vorhanden, so dass von einer jeweiligen lokalen Produktion auszugehen ist. Spuren der Steingewinnung können sicherlich nicht mehr aufgefunden gemacht werden, da sie aufgrund des wenig verwitterungsresistenten Gesteins durch erosive Prozesse unwiederbringlich zerstört sind.

Plutonite

Insgesamt bestehen 14 Drehmühlen aus plutonischen Gesteinen, wobei der überwiegende Anteil aus unterschiedlichen Graniten²⁵³, ein Exemplar aus Diorit²⁵⁴ und ein weiteres Exemplar aus Granodiorit²⁵⁵ gefertigt wurden. Die Fundorte liegen hauptsächlich östlich der Rhön; lediglich ein Exemplar wurde in der Niederhessischen Senke entdeckt (**Taf. 114**)²⁵⁶. Ebenso wie bei den Sand- und Kalksteinen ist auch bei den Plutoniten davon auszugehen, dass die Lagerstätten in der Nähe des Fundorts zu suchen sind. So werden

²⁵¹ Walter 1992, 179, 328-335.

²⁵² Kat.-Nr. 194. 239-240. 420-421. 508. 510.

²⁵³ Kat.-Nr. 175. 186. 193. 200. 229. 233-234. 426-427. 550. 554. 556.

²⁵⁴ Kat.-Nr. 525.

²⁵⁵ Kat.-Nr. 174.

²⁵⁶ Kat.-Nr. 229.

die Drehmühlen von Großrudestedt (Lkr. Sömmerda)²⁵⁷, vom Großen Gleichberg²⁵⁸ und von der Steinsburg²⁵⁹ im Thüringer Wald gewonnen worden sein. Für das Exemplar von der Steinsburg, das aus Diorit besteht, ist diese Annahme nahezu gesichert, da es ein relativ seltenes Gestein in Deutschland ist und nach dem makroskopischen Vergleich das Material der Drehmühle mit dem aus dem Thüringer Wald bei Broterode (Lkr. Schmalkalden-Meiningen) nahezu identisch ist²⁶⁰. Die beiden im Raum Dresden gefundenen Exemplare, die aus Granodiorit und Granit bestehen, scheinen ebenfalls regional gewonnen und gefertigt worden zu sein. So ist der Granodiorit wahrscheinlich südöstlich von Dresden bei Dohna (Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge)²⁶¹ und der Granit vermutlich im Erzgebirge oder in der Region Meißen gewonnen worden²⁶². Neben diesen regional anstehenden wurden auch skandinavische Gesteine zur Drehmühlenherstellung verwendet, die als Gletscherfracht in großen Teilen des Arbeitsgebiets während der Eiszeiten abgelagert worden sind. Insgesamt scheinen acht Exemplare aus derartigen Findlingen hergestellt worden zu sein²⁶³.

Alles in allem ist es bisher nicht gelungen, Steinbrüche für Drehmühlen aus plutonischem Gestein zu entdecken. Gerade für die eiszeitlichen Geschiebe wird dies auch in Zukunft nicht möglich sein, da ein großer Anteil der Findlinge schon komplett zu Werksteinen verarbeitet worden ist und die Findlinge, aus denen Drehmühlen gewonnen wurden, ebenfalls bereits komplett abgebaut sein können²⁶⁴.

GESTEINSANALYSE

Alle aufgenommenen Handdrehmühlen wurden zunächst einer makroskopischen Gesteinsanalyse unterzogen. Das bedeutet, dass das Material mit bloßem Auge zunächst grob in eine der drei durch unterschiedliche Entstehungsbedingungen unterteilten Kategorien Vulkanit²⁶⁵, Plutonit²⁶⁶ oder Sedimentit/Kalkstein²⁶⁷ klassifiziert wurde. Dies verdeutlicht, dass drei Viertel (75,2 %) aller Mühlen (n = 573²⁶⁸) aus vulkanischem Gestein, weitere 21 % aus Sandstein und die übrigen 3,8 % aus karbonatischem²⁶⁹ oder plutonischem Gestein²⁷⁰ gefertigt sind (**Abb. 10**). Die aus Vulkanit gearbeiteten Exemplare wurden demzufolge bevorzugt und am häufigsten verwendet. Inwieweit man gewisse Gesteinsarten in bestimmten Regionen bevorzugte, wird in dem Kapitel »Qualität einer Drehmühle« diskutiert.

Anschließend an diese grobe Voreinteilung konnten die Plutonite und Sedimentite durch die Bestimmung der einzelnen Mineralkomponenten weiter differenziert und im Fall von Sedimentiten zusätzlich das Vorhandensein einer kieseligen bzw. tonigen oder karbonatischen Matrix mithilfe des Salzsäuretests bestimmt

²⁵⁷ Kat.-Nr. 200.

²⁵⁸ Kat.-Nr. 427.

²⁵⁹ Kat.-Nr. 525.

²⁶⁰ Freundl. Mitt. Dr. G. U. Aselmeyer (Bauhaus-Universität Weimar).

²⁶¹ Freundl. Mitt. Prof. Dr. K. Thalheim (Museum für Mineralogie und Geologie Dresden).

²⁶² Freundl. Mitt. Dr. G. U. Aselmeyer (Bauhaus-Universität Weimar).

²⁶³ Kat.-Nr. 186. 193. 233-234. 426. 550. 554. 556. – Freundl. Mitt. Dr. G. U. Aselmeyer (Bauhaus-Universität Weimar) sowie Prof. em. Dr. J. Mädler (Jena).

²⁶⁴ Skupin / Speetzen / Zandstra 1993, 37.

²⁶⁵ Vulkanite sind Gesteine, die an der Erdoberfläche erstarrt sind (Murawski 1972, 56).

²⁶⁶ Plutonite sind in der Tiefe der Erdkruste erstarrte Gesteine (Murawski 1972, 162).

²⁶⁷ Ein anlässlich der Vorgänge der Sedimentation gebildetes Gestein. Eine zusätzliche Unterteilung in klastische, chemische und organogene Sedimentite erfolgt aufgrund bestimmter Bildungsbedingungen. Eine scharfe Trennung dieser Bildungsbedingungen ist allerdings nicht immer möglich, so dass auch Mischtypen auftreten können (Murawski 1972, 183).

²⁶⁸ Von drei Drehmühlen konnte die Gesteinsart nicht bestimmt werden, da sie verschollen sind und ausschließlich über die jeweiligen Inventarbücher bzw. zugehörigen Fotos der Museen aufgenommen werden konnten (Kat.-Nr. 197 Grabow; Kat.-Nr. 232 Meisdorf; Kat.-Nr. 422 Räpitz).

²⁶⁹ Kat.-Nr. 194. 239-240. 420-421. 508. 510.

²⁷⁰ Kat.-Nr. 174-175. 186. 193. 200. 222. 229. 233-234. 426-427. 525. 550. 554. 556.

werden²⁷¹. Eine differenziertere Benennung anhand des Mineralgehalts konnte innerhalb der Vulkanite allerdings lediglich für die porphyrischen Rhyolithe erfolgen²⁷², da hier der für einen Rhyolith charakteristisch hohe Quarzgehalt eindeutig zu erkennen ist²⁷³. Bei den übrigen vulkanischen Gesteinen war es aufgrund der mikroskopisch klein ausgebildeten Minerale hingegen nicht möglich, sie makroskopisch weiter nach ihrem Mineralgehalt zu untergliedern. Daher erfolgte hier eine nähere Beschreibung und Zuordnung durch die Porosität und das gesamte Erscheinungsbild. Aus geologischer Sicht ist anhand einer makroskopischen Bestimmung von Vulkaniten eine Zuordnung zu einem bestimmten Vulkan nicht möglich. Denn bezüglich der Porosität ist jeder Lavastrom in sich nicht einheitlich, so dass schon innerhalb eines Meters die Größe und die Verteilung der Hohlräume äußerst variabel sein können. Allerdings ist eine derartige Unterteilung der Vulkanite aus archäologischer Sicht nicht abwegig, da nur bestimmte Bereiche eines Lavastroms für eine Mülsteinherstellung verwendet wurden. Diese Bereiche müssen in ihrer Porosität homogen sein, um eine effiziente und gut funktionierende Handdrehmühle zu erhalten. Daher scheint es zumindest in Bezug auf die hier bearbeitete Fundgruppe möglich, die Vulkanite nach ihrer Porosität zu untergliedern, um sie so möglichen Vulkanen bzw. Steinbrüchen zuzuordnen.

In der Geologie ist eine Klassifizierung der Vulkanite ebenso wie bei den übrigen Gesteinsarten nach ihrem Mineralgehalt und Chemismus üblich. Dies kann allerdings ausschließlich durch eine mikroskopische oder chemische Untersuchung geschehen, da die Minerale eines Vulkanits durch das schnelle Abkühlen an der Erdoberfläche so klein ausgebildet sind, dass sie, abgesehen von einigen ausreichend großen Phänokristallen, mit dem bloßen Auge nicht näher benannt werden können²⁷⁴. Um also eine nähere Ansprache durch eine mikroskopische Analyse zu ermöglichen, wurde versucht, möglichst allen Exemplaren eine Probe zu entnehmen. Dies gelang aus zwei verschiedenen Gründen teilweise nicht: So wurde von der Entnahme einer Probe abgesehen, wenn keine Erlaubnis des Besitzers eingeholt werden konnte, oder wenn keine geeignete Ansatzstelle an einer Handdrehmühle oder einem Handdrehmühlenbruchstück vorhanden war, so dass z.B. das Risiko eines ungewollten Bruches nicht ausgeschlossen werden konnte. Die Proben wurden mithilfe von Hammer und Meißel entnommen, und der bei der Entnahme hervorgerufene Klang ließ eine Gruppierung häufig verwendeter Vulkanite zu. So klingen bestimmte vulkanische Gesteine auffällig hell

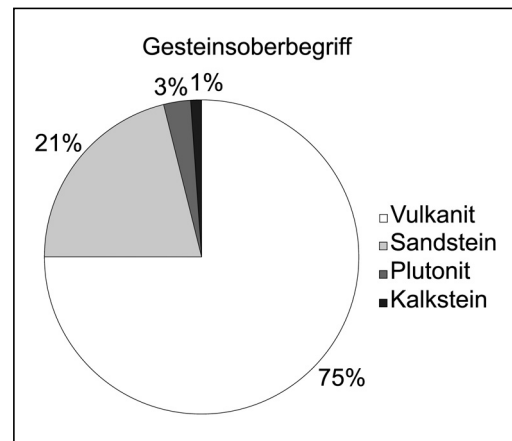
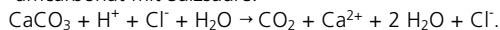


Abb. 10 Kreisdiagramm der für Mülsteine verwendeten Gesteinsarten (n = 573).

²⁷¹ Ausschließlich ein Kalkgestein braust beim Auftrag von Salzsäure aufgrund der folgenden chemischen Reaktion von Calciumcarbonat mit Salzsäure:



²⁷² Magmatisches Gestein, »bei dem einzelne größere, meist gut ausgebildete, Kristalle (Einsprenglinge) in feinkörniger, dichter oder glasiger Grundmasse liegen« (Murawski 1972, 164).

²⁷³ An dieser Stelle seien Dr. T. Gluhak (Institut für Geowissenschaften, Geomaterial- und Edelsteinforschung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz), Dr. E. Steindlberger (Institut für Steinkonservierung e.V. Mainz), Dr. G. U. Aselmeyer (Geotechnik der Bauhaus-Universität Weimar), Dr. O. Spieler (Mineralogie, Petrologie, Kristallografie der Ludwig-Maximilians-Universität München) sowie Prof. em. Dr. J. Mädler (Jena) für die

Unterstützung in der petrographischen Bestimmung und Bestimmung der Herkunft gedankt.

²⁷⁴ Ausnahmen sind hier porphyrische Vulkanite, d.h. vulkanische Gesteine, die in einer mikroskopisch feinen Matrix größere, idiomorphe Kristalle, auch Einsprenglinge genannt, beinhalten. Diese Kristalle können sich zum einen durch ein längeres Verweilen des Magmas in höheren Krustenlagen durch ein langsames Abkühlen der gesamten Magmakammer bilden, bevor das Magma durch einen Vulkanausbruch schockartig an der Erdoberfläche abkühlt. Zum anderen können durch den Vulkanausbruch Gesteinsbruchstücke der Magmakammer mitgerissen werden, bei denen es sich dann allerdings um verschiedene zusammenhängende Minerale handelt.

oder dunkel, und unter Hinzuziehung der Porosität war es möglich, eine Herkunft gewisser Vulkanite schon vor der mikroskopischen Bestimmung zu vermuten.

Mikroskopische Analyse

Bei der Auswahl einer Analysemethode kommt es nicht nur auf die Fragestellung an, die an ein Objekt gerichtet wird – in diesem Fall, das Herkunftsgebiet einer Drehmühle einzugrenzen –, sondern auch auf die Möglichkeiten, die einem seitens des Untersuchungsobjekts zur Verfügung stehen bzw. stehen können. So ist es einem Archäologen nicht immer möglich, für bestimmte geologische Analysen ausreichend große Probenmengen zu entnehmen – sei es, um das Fundstück nicht zu zerstören oder um weitere Beprobungen für zukünftige Forschungen zu gewähren. Es ist daher zu bedenken, dass die geologischen Analysemethoden, die in diesem Fall für eine Bestimmung herangezogen wurden, den archäologischen Gegebenheiten unterworfen sind. So steht einem Geologen im Idealfall eine ausreichende Menge von einem frisch gebrochenen Gestein zur Verfügung, das mit den verschiedensten Analysemethoden untersucht werden kann. Archäologischen Funden hingegen können meist nur kleine Probenmengen entnommen werden, die darüber hinaus im Falle von Drehmühlen außen stark verwittert sein können, so dass bestimmte Minerale angewittert oder sogar komplett verwittert sind. Daher muss sich die Archäologie mit Mittelwegen begnügen, um bestimmte Fragestellungen, die an ein archäologisches Fundstück gestellt werden, zu beantworten.

Um aus der großen Menge an verschiedenen Proben für eine petrographische Bestimmung eine Auswahl zu treffen, wurde zunächst mithilfe eines Binokulars mit 10-facher Vergrößerung eine grobe Sortierung vorgenommen. So ist es möglich, die Stücke nach der Mineralgröße, dem Gefüge und, im Falle idiomorpher bis hypidiomorpher Einsprenglinge, dem Mineralgehalt zu sortieren.

Für eine genauere Analyse wurde die Polarisationsmikroskopie ausgewählt, da es sich zum einen um die kostengünstigste Methode handelt und zum anderen die dafür notwendigen Dünnschliffe bzw. die durch die Herstellung eines solchen übrig gebliebenen Anschnitte noch für weitere Analysemethoden verwendet werden können. Durch diese Methode kann das Gefüge sowie der relative Mineralgehalt einer Drehmühlenprobe mit den Dünnschliffen der Steinbruchproben verglichen werden. Dabei beschränkt sich der Vergleich auf einen maximalen Ausschnitt von 2 x 2 cm, der jedoch aufgrund variierender Bedingungen vor allem innerhalb eines Lavastroms nicht repräsentativ sein kann. Innerhalb dieses 2 x 2 cm großen Ausschnitts kann ein Nebengemengteil oder Akzessorium fehlen, das für eine genaue Herkunftsbestimmung aber ausschlaggebend sein könnte. Dennoch ist die Polarisationsmikroskopie unter Berücksichtigung der oben genannten archäologischen Voraussetzungen und Vermutungen eine Methode, den Mineralgehalt der Gesteinsgruppen zu umschreiben, sie so bestimmten Regionen zuzuordnen und mit dünn geschliffenen Steinbruchproben zu vergleichen.

Weitere Analysemethoden

Für eine genauere Herkunftsbestimmung können geochemische Analysemethoden herangezogen werden. Diese sind jedoch entweder zu kostenaufwändig oder setzen eine große Probenmenge oder Experten (für die jeweiligen Gesteinsarten und für die verschiedenen Regionen) voraus, so dass sie im Falle dieser Untersuchung nicht herangezogen werden konnten.

In der Geochemie stehen verschiedene Messmethoden zur Verfügung, deren sinnvoller Einsatz jedoch von der Fragestellung und insbesondere dem Gesteinstyp abhängig ist. Grundsätzlich ist zwischen Methoden

zur Analyse der Gesamtgesteinschemie und der Analyse einzelner Mineralphasen zu unterscheiden. Erstere Methode, in der die Gehalte an Haupt- und Spurenelementen ermittelt werden, ist hauptsächlich für homogene Gesteine wie z.B. Magmatite sinnvoll, da ihre chemische Zusammensetzung stets durch einen besonderen Entstehungsprozess bestimmt wird. Dieser kann für die entsprechende Lokation charakteristisch sein. Die Haupt- und Spurenelementanalyse am Gesamtgestein erfolgt in der Regel mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA, engl. XRF). T. Gluhak gelang es, mittels dieser Analyse ein Verfahren zu erarbeiten, mit dem Mühlsteine den Eifeler Steinbrüchen zugewiesen werden können. Dabei analysierte sie im ersten Schritt ihres Projekts Vulkanitproben, die sie den bekannten römischen Steinbrüchen der Eifel entnommen hatte. Indem es ihr gelang, die Steinbrüche über die Haupt- und Spurenelementanalyse zu charakterisieren, können in einem zweiten Schritt nun auch Mühlsteinproben diesen Steinbrüchen zugewiesen werden²⁷⁵. Für eine Zuordnung aller Vulkanitmühlsteine des Arbeitsgebiets zu den verschiedensten Steinbrüchen müssten jedoch alle infrage kommenden Vulkanitbrüche beprobt und analysiert werden. Eine derartige Referenzdatenbank für die anschließende Mühlsteinanalyse aufzubauen, ist nicht nur zeitaufwändig und kostspielig, sondern sollte aufgrund des erforderlichen geologischen Fachwissens von einem Geologen durchgeführt werden. Problematisch ist auch die anschließende Probennahme an den Mühlen, um diese auf geochemischer Basis ihren Abbaustellen zuzuordnen: Um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten, müssen etwa 10 g relativ frisches, d.h. noch nicht der Verwitterung ausgesetztes Probenmaterial komplett aufbereitet und analysiert werden. Im Falle der Drehmühlen sind diese Bedingungen nur durch eine Beschädigung des Objekts zu erfüllen. Hinzu kommt ein sehr hoher Kostenaufwand²⁷⁶, der mit dem zu erwartenden Ergebnis nicht zu rechtfertigen ist.

Für den Fall, dass ein bestimmtes Mineral für ein Gestein charakteristisch ist, kann die Analyse einzelner Mineralphasen eine sinnvolle Ergänzung zur Gesamtgesteinschemie sein. Zur Ermittlung der Hauptelementzusammensetzung einzelner Minerale wird die Elektronenstrahlmikrosonde (EMS) eingesetzt. Hierzu werden unabgedeckte polierte Dünnschliffe der Proben benötigt²⁷⁷. Will man die Spurenelementzusammensetzung eines Minerals ermitteln, ist dies z.B. mittels Laser-ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) möglich, bei der von dem zu analysierenden Mineral auf einem unabgedeckten Dünnschliff mittels eines Lasers Material »abgeschliffen« wird, das dann über einen Edelgasstrom in das Massenspektrometer geleitet und analysiert wird. Anhand beider Analysemethoden können Rückschlüsse auf bestimmte Herkunftsgebiete möglich sein. Sie sind in Hinblick auf Kosten-, Zeit- und Materialaufwand eine weitere gute Möglichkeit, zu deren Durchführung allerdings ein erfahrener Geologe oder Mineraloge notwendig ist²⁷⁸.

Bei inhomogenen Gesteinen, wie z.B. klastischen Sedimenten, kann es zweckmäßig sein, einzelne Mineralphasen zu analysieren, da Herkunftsgebiete durch bestimmte prozentuale Mengenanteile einzelner Minerale oder durch ein bestimmtes Mineral charakterisiert werden können. Mittels der Schwermineralanalyse ist es möglich, die Herkunft von Sedimentgesteinen für ein großflächiges Gebiet zu bestimmen. Schwerminerale, unter denen Minerale mit einer Dichte über $2,9\text{ g/cm}^3$ zu verstehen sind, werden mithilfe einer Schwereflüssigkeit von Mineralen mit geringerer Dichte extrahiert und auf einen Objektträger aufgebracht. Nun können sie mikroskopisch analysiert und ihre prozentualen Mengenanteile bestimmt werden. Über

²⁷⁵ Jaccotey / Marmier / Gluhak 2008, 382-386. – Gluhak / Hofmeister 2009.

²⁷⁶ Es müssen zwischen 100 und 200 € pro Probe veranschlagt werden.

²⁷⁷ Strübel 2001, 383. – Freundl. Mitt. Prof. Dr. M. Bröcker (Westfälische Wilhelms-Universität Münster).

²⁷⁸ Kosten: etwa 250 €/Tag für die Elektronenstrahl-Mikrosonde, etwa 300 €/Tag für Laser-ICP-MS; Zeitaufwand: pro Messung ungefähr 2-3 min. (EMS) bzw. ungefähr 5-10 min. (Laser-ICP-MS) nach einer zeitaufwändigen Kalibrierung des Gerätes; Material: Analyse auch kleiner Probenmengen möglich, da der Chemismus einzelner Minerale bestimmt wird (freundl. Mitt. Prof. Dr. M. Bröcker, Westfälische Wilhelms-Universität Münster).

diese lassen sich verschiedene Sedimentregionen unterscheiden. Die Methode erlaubt allerdings keine genaue, d.h. kleinräumige Herkunftsbestimmung, so dass Steinbrüche nicht ausfindig gemacht werden können. Jedoch ist es möglich, Regionen wie z.B. das Thüringer Becken vom Grabfeld zu unterscheiden, so dass überprüft werden kann, ob Mühlsteine aus Sandstein lediglich über kurze oder doch über längere Strecken transportiert wurden²⁷⁹.

Die hier vorgestellten weiteren Analysemethoden konnten bisher nicht angewendet werden, stellen aber sicherlich eine gute Alternative für noch ausstehende Proben und teilweise vorhandene Probenreste dar.

Gruppierung

Insgesamt war es möglich, 235 Dünnschliffe herzustellen und mikroskopisch zu untersuchen²⁸⁰. Dabei wurden sie zum einen aus Drehmühlenproben, zum anderen aus Proben von möglichen Steinbrüchen hergestellt. Die teilweise in Kunstharz eingebetteten Gesteinsproben, die auf einen Objektträger aufgeklebt werden, werden auf eine Dicke von 0,03-0,02 mm geschliffen, um sie unter einem Polarisationsmikroskop untersuchen zu können. 50 der insgesamt 235 Dünnschliffe wurden nach dem Schleifen abgedeckt, aber nicht poliert, 20 Stück sind nicht abgedeckt sowie poliert, um sie weiteren Untersuchungsmethoden, z.B. der Elektronenstrahlmikrosonde, verfügbar zu machen, und 165 Dünnschliffe wurden mit einem durchsichtigen, nicht näher bestimmbar Kunstharz abgedeckt²⁸¹.

Mithilfe der Polarisationsmikroskopie können die ersten vier Gesteinsgruppen wie folgt charakterisiert werden; die übrigen drei Gruppierungen wurden lediglich makroskopisch oder unter einer 10-fach vergrößernden Stereolupe untersucht.

Gruppe 1: Diese als phonolithischer Tephrit (oder auch Phono-Tephrit) der Eifel zu bezeichnende Gruppe²⁸² (**Abb. 11; Farbtaf. 2, 1**) weist eine gleichmäßig verteilte, feine Porosität von bis zu 8 mm Durchmesser auf, wobei die Porenwandungen stets unregelmäßig geformt sind; als Hohlraumfüllungen treten sekundäre Zeolithe auf. Charakteristisch sind zonar aufgebaute Ägirin-Augite sowie Bruchstücke des Grundgebirges, die als Xenolithe in der mikrokristallinen bis dichtkörnigen Grundmasse vorliegen können. Die Grundmasse besteht aus Pyroxenen, opaken, oft pseudomorphen Erzkörnern, Feldspäten, Nephelinen und Hauyinen, und in den Zwickeln finden sich glasige Füllungen. Akzessorien können Plagioklas, Olivin, Zirkon und Titanit sein²⁸³.

Gruppe 2: Diese als Olivinbasalte zu umschreibende Gruppe²⁸⁴ (**Abb. 12; Farbtaf. 2, 2-4; 3, 1**) kann eine sehr unterschiedliche Porosität aufweisen; die Blasen variieren von sehr kleinen Blasendurchmessern bis zu

²⁷⁹ Freundl. Mitt. Dr. G. U. Aselmeyer (Bauhaus-Universität Weimar).

²⁸⁰ An dieser Stelle sei nochmals ganz herzlich dem Mineralogischen Institut der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster für die Herstellung von 50 Dünnschliffen gedankt. Ebenso gebührt dem Verein für Geschichte und Heimatkunde Oberursel (Taunus) e.V. sowie dem Kultur- und Heimatverein Haldorf für Ihre Spenden, die zur Dünnschliffherstellung verwendet wurden, mein großer Dank. Weiterhin sei dem Landesamt für Archäologie mit Museum für Ur- und Frühgeschichte Thüringens und ganz besonders Dr. Th. Grasselt (Thüringisches Landesamt für Archäologische Denkmalpflege Weimar) für eine finanzielle Unterstützung zur Dünnschliffherstellung gedankt.

²⁸¹ Zwar wurde für die Anfertigung der 165 Dünnschliffe an das MiEKiNiA-Labor (Krakau) der Auftrag erteilt, die Schliffe nicht abzudecken, doch wurde diese Anweisung leider nicht beachtet. Der klebstoffähnliche Film konnte im Nachhinein nicht

identifiziert werden, so dass Versuche, den Film zu entfernen, scheiterten.

²⁸² Kat.-Nr. 20. 47. 49. 97. 113-114. 157. 188. 247-248. 250. 252. 254. 256-257. 260. 262-263. 266-268. 272 (**Farbtaf. 2, 1**). 273-274. 278-279. 282. 285-287. 296. 299. 302. 308. 310-314. 316-317. 320. 322. 325. 327. 329. 335. 337. 352. 357-360. 365-368. 371. 373-374. 377. 379-381. 383-386. 388-389. 393. 395-399. 408-409. 412-415. 417-418. 536.

²⁸³ Freundl. Mitt. Dr. E. Steindlberger (Institut für Steinkonservierung e.V. Mainz). – Grimm 1990, Nr. 034-035.

²⁸⁴ Kat.-Nr. 4-5. 9. 18. 21. 25. 29. 32. 34. 50 (**Farbtaf. 3, 1**). 52. 67. 77 / 78. 83. 134. 169. 181. 209. 213-214. 224-225. 230. 235. 249. 253. 259. 261. 264. 269 (**Farbtaf. 2, 4; 4, 4**). 271. 275-277. 280 (**Farbtaf. 2, 3**). 281. 283-284. 290-292. 294. 297. 300. 305. 307. 315. 319. 321. 323. 336 (**Farbtaf. 2, 2**). 340-341. 351. 353. 355. 361. 364. 372. 375. 390. 392. 394. 400. 411. 443. 472. 497 (**Farbtaf. 4, 1**). 501 (**Farbtaf. 4, 3**). 506 (**Farbtaf. 4, 2**). 515. 532-534. 540. 565. 575.

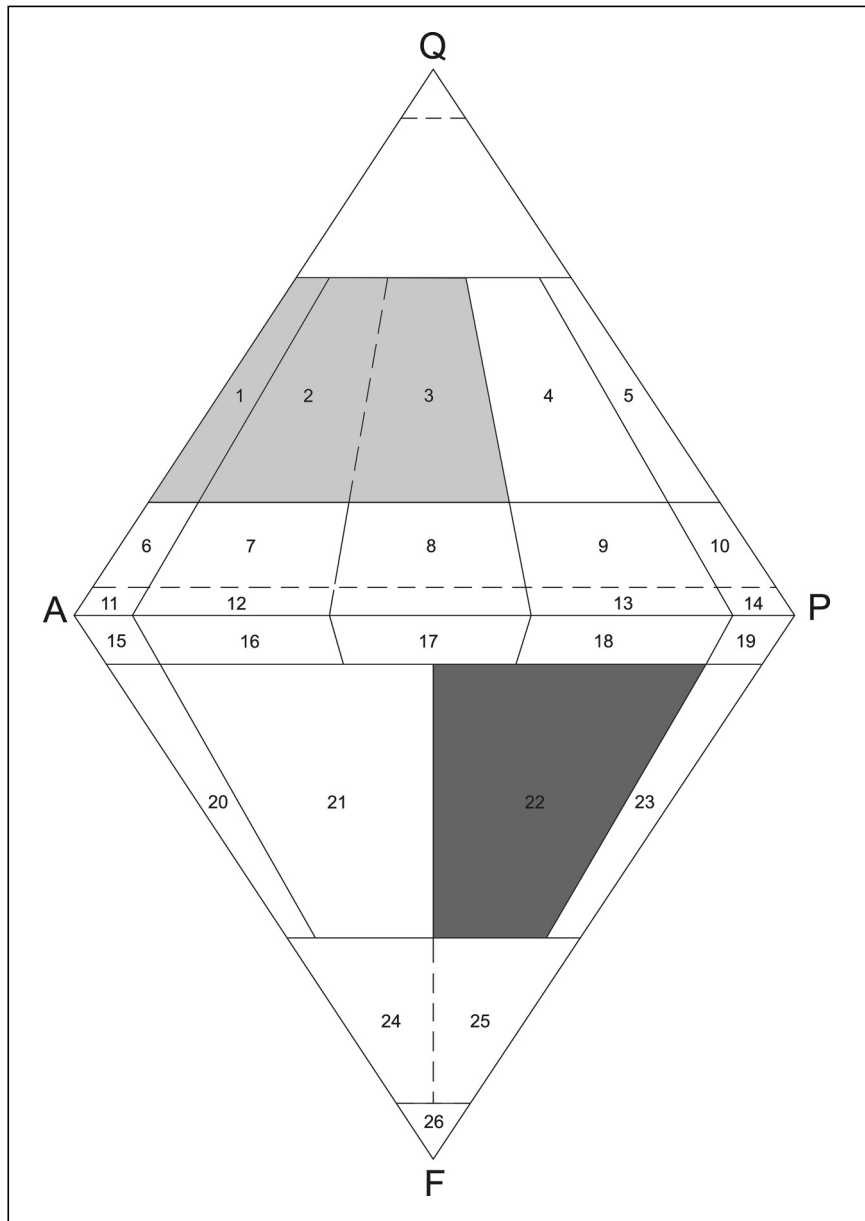


Abb. 11 Streckeisen-Diagramm der Vulkanite: **1** Alkali-Rhyolith. – **2** Rhyolith. – **3** Rhyodacit. – **4** Dacit. – **5** Plagidacit. – **6** Quarz-Alkali-Trachyt. – **7** Quarz-Trachyt. – **8** Quarz-Latit. – **9** Quarz-Latiandesit. – **10** Quarz-Andesit. – **11** Alkali-Trachyt. – **12** Trachyt. – **13** Latiandesit. – **14** Andesit, Tholeiitbasalt. – **15** Foid-führender Alkali-Trachyt. – **16** foid-führender Trachyt. – **17** Foid-führender Latit. – **18** Alkalimugearit, Alkalibasalt. – **19** Alkalihawaiiit, Alkaliolivinbasalt. – **20** Phonolith. – **21** Tephriphonolith. – **22** Phonotephrit (Ol < 10), Phonobasanit (Ol > 10). – **23** Basanit (Ol > 10), Tephrit (Ol < 10). – **24** Phononephelin, Phonoleucit. – **25** Tephriphelin, Tephrioleucit. – **26** Foidite. – (Ol Olivin).

2,5 cm Durchmesser. Die Poren sind im Vergleich zu den Eifeler Poren glatt sowie gerundet und häufig mit sekundären Zeolithen ausgekleidet. Das intergranular-intersertale Gefüge kann um die Gasblasen hyaloopitisch sein. Die Grundmasse besteht aus Plagioklas, in der Größe variierenden Ilmenitleisten sowie Apatitnadelchen. Besonders auffällig sind iddingsitisierte Olivine, die im Kern noch eine intakte Mineralstruktur aufweisen können (z.B. **Farbtaf. 2, 2-4; 3, 1**), sowie Pyroxene. Teilweise kommen Olivin- oder auch Pyroxenaggregate (z.B. **Farbtaf. 2, 3; 3, 1**) vor²⁸⁵.

Gruppe 3: Diese den Tholeiiten zugeordnete Gruppe²⁸⁶ (**Abb. 12; Farbtaf. 3, 2**) kann ebenso wie die Olivinbasalt-Gruppe eine sehr unterschiedliche Porosität aufweisen; die Blasen variieren sehr stark und

²⁸⁵ Freundl. Mitt. Dr. E. Steindlberger. – Steindlberger 2003, 76-77. 80-81.

²⁸⁶ Kat.-Nr. 145. 147. 217. 223. 241 (**Farbtaf. 3, 2**). 242-245. 338. 350. 376. 406-407. 440. 538.

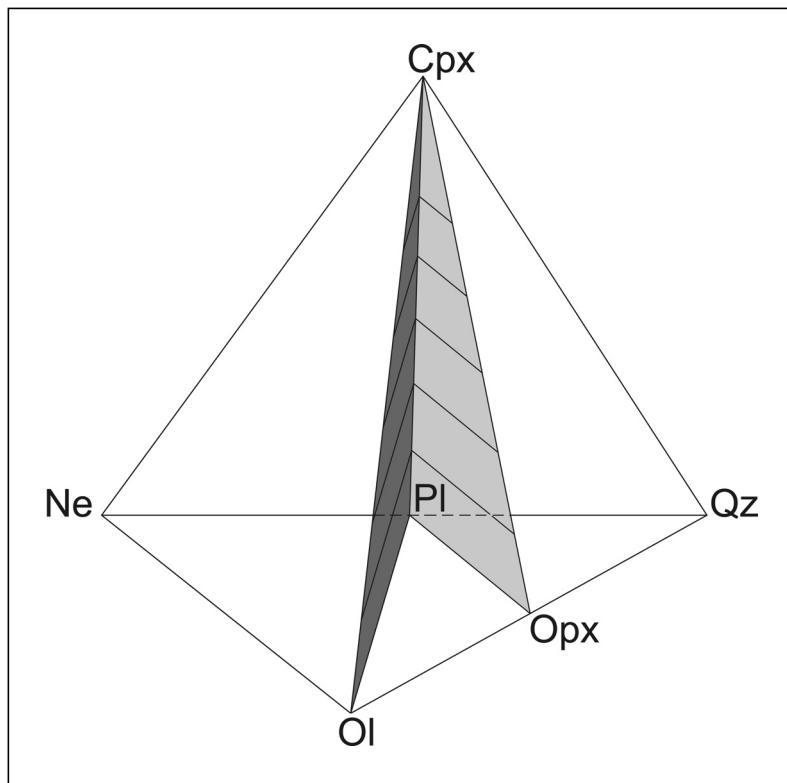


Abb. 12 Basalttetraeder (Cpx Clinopyroxene. – Ne Nephelin. – OI Olivin. – Opx Orthopyroxene. – Pl Plagioklas. – Qz Quarz): Cpx-Opx-Pl Tholeiit. – Cpx-OI-Pl Olivinbasalt. – (Geringfügig verändert nach Yoder / Tilley 1962).

können sowohl sehr kleine als auch bis zu 2 cm große Durchmesser aufweisen. Sie sind ebenso wie die Olivinbasalte im Vergleich zu den Eifeler Poren glatt sowie gerundet und mit unterschiedlichen sekundären Zeolithen ausgekleidet. Das Gefüge ist intergranular-intersertal bis hyaloophitisch. Sperrige, hypidiomorphe bis idiomorphe Plagioklase sind das vorherrschende Mineral der Grundmasse, und Ilmenitleisten sowie Augite können unterschiedlich groß ausgebildet sein. In den Zwickeln sind Erzphasen im Glas angesammelt²⁸⁷.

Gruppe 4: Innerhalb dieser Gruppe finden sich alle Rhyolithe wieder²⁸⁸. Es handelt sich um sehr kieselsäurereiche Vulkanite²⁸⁹, die Quarz und Alkalifeldspat sowie untergeordnet Plagioklas und Biotit als Einsprenglinge in einer meist mikrokristallinen Grundmasse aufweisen (**Abb. 11; Farbt. 3, 3**). Als Akzessorium tritt Zirkon auf²⁹⁰. Die für Mühlsteine verwendeten Rhyolithe sind stets in einem fortgeschrittenen Stadium der Verwitterung. In der Latènezeit müssen stets Randbereiche oder Klüfte von Rhyolithvorkommen angegangen worden sein, da ausschließlich in diesen Bereichen verwitterte Rhyolithe zu finden sind. Durch die Verwitterung sind die hypidiomorphen Feldspatkristalle teilweise kaolinitisiert, so dass die Rhyolithe die für Mühlsteine so wichtige poröse Struktur aufweisen²⁹¹.

²⁸⁷ Freundl. Mitt. Dr. E. Steindlberger. – Steindlberger 2003, 78-79. 82-83.

²⁸⁸ Kat.-Nr. 13. 69. 92. 158-159. 179. 185. 196. 199. 211-212. 265. 293. 298. 304. 324. 326 (**Farbt. 3, 3**). 328. 332. 349. 363. 369. 391. 433.

²⁸⁹ SiO₂ > 70 Gew.-%.

²⁹⁰ Spieler 1993, 18. – Freundl. Mitt. Dr. E. Steindlberger und Dr. O. Spieler (Ludwig-Maximilians-Universität München).

²⁹¹ Siehe folgendes Kapitel »Petrographische Ausbildung und vermutliche Herkunft des Gesteinsmaterials vorgeschichtlicher Mühlsteine aus Basalt« von Prof. em. Dr. J. Mädler (Jena).

Gruppe 5: Alle Sandsteine werden in dieser Gruppe zusammengefasst²⁹². Sie umfassen hauptsächlich fein- bis grobkörnige Sandsteine mit zum Großteil kieseligem²⁹³, aber auch tonigem²⁹⁴ oder karbonatischem Bindemittel²⁹⁵. Als singuläres Exemplar muss ein diagenetisch verfestigter und mit sekundärem Kalkein- schluss versehener Läufer hervorgehoben werden²⁹⁶.

Gruppe 6: Diese Gruppe umfasst alle Gesteinsarten, die unter der übergeordneten Gruppe »Plutonit« zu- sammengefasst werden können²⁹⁷. Darunter werden jegliche Varietäten von mittel- bis grobkörnigen Graniten bis Gabbros verstanden, die aus idiomorphen bis hypidiomorphen, unterschiedlich großen, haupt- sächlich Quarz-, Feldspat- und Glimmerkristallen aufgebaut sind.

Gruppe 7: Diese Gruppe umfasst alle Proben, die aus Karbonaten bestehen²⁹⁸, d.h. sowohl Muschelkalke als auch kristalline Kalksteine.

Über die Makroskopie, teilweise unter Hinzuziehung einer 10-fach vergrößernden Stereolupe, konnten weitere Gesteinsproben den oben beschriebenen Gruppen zugeordnet werden²⁹⁹. So gehören weitere 89 Drehmühlen zu Gruppe 1³⁰⁰, zusätzliche 82 Exemplare zu Gruppe 2³⁰¹, 19 Stücke zu Gruppe 3³⁰² und weitere 27 Mühlen zu Gruppe 4³⁰³.

Petrographische Ausbildung und vermutliche Herkunft des Gesteinsmaterials vorgeschichtlicher Mühlsteine aus Basalt

(J. Mädler)

Untersucht wurden 14 Dünnschliffe von an basaltischen Mühlsteinen aus Hessen³⁰⁴, Bayern³⁰⁵ und Thü- ringen³⁰⁶ entnommener Gesteinsproben. Die mikroskopische Durchmusterung ergab, dass bis auf Kat.-Nr. 440 für die Mühlsteinherstellung durchweg das gleiche Gesteinsmaterial wahrscheinlich vom gleichen Vor- kommen verwendet wurde. Es handelt sich um einen glasführenden bis relativ glasreichen tholeiitischen Olivinbasalt, der ein sehr fein- bis feinkörniges und -leistenförmiges, intergranular-/intersertal-sperriges, meist stark blasiges Gefüge aufweist. Einzelne Blasen enthalten noch Reste von schluffig-feinsandigem

²⁹² Kat.-Nr. 62. 79-82. 84-85. 94. 105. 152. 156. 180. 187. 191-192. 198. 208. 215. 221. 227-228. 231. 236-237. 362. 419. 423-424. 428-432. 434. 436-438. 441. 444-466. 468-471. 474-481. 483. 486-495. 498-499. 502-505. 509. 511-514. 516-524. 526-527. 552-553. 557-558. 560-564. 566-568. 571-572.

²⁹³ Kat.-Nr. 62. 79-82. 85. 191-192. 215. 428-429. 431-432. 434. 436-437. 446-448. 451-454. 457-459. 461-466. 468-470. 471. 474. 476-480. 483. 487. 489-490. 492-495. 503. 505. 509. 511-514. 516-519. 521. 524. 526. 560-564. 566-567.

²⁹⁴ Kat.-Nr. 152. 430. 441. 444-445. 450. 455-456. 481. 486. 488. 491. 498-499. 502. 504. 522-523. 527. 571-572.

²⁹⁵ Kat.-Nr. 208. 221. 449.

²⁹⁶ Kat.-Nr. 558.

²⁹⁷ Kat.-Nr. 174-175. 186. 193. 200. 222. 229. 233-234. 426-427. 525. 550. 554. 556.

²⁹⁸ Kat.-Nr. 194. 239-240. 255. 420-421. 508. 510.

²⁹⁹ An dieser Stelle sei Dr. E. Steindlberger herzlich für seine Hilfe gedankt, die Vulkanite zu gruppieren, Großregionen zuzuwei- sen und mit der umfangreichen Gesteinssammlung des Insti- tuts für Steinkonservierung e.V. Mainz zu vergleichen. – Dr. G. U. Aselmeyer (Geotechnik, Bauhaus-Universität Weimar) sei ebenfalls herzlich für seine Hilfe gedankt, die Rhyolithen zu

gruppieren und unterschiedlichen Regionen zuzuordnen.

³⁰⁰ Kat.-Nr. 7. 64. 76. 86. 88. 98-104. 106-111. 116. 118-122. 124-133. 135. 137-139. 160-168. 170-173. 182-184. 190. 201-207. 216. 246. 301. 303. 318. 330-331. 354. 356. 370. 378. 382. 387. 416. 528. 535. 537. 539. 542. 544-546. 548. 573-574. 576.

³⁰¹ Kat.-Nr. 6. 8. 10-12. 14-15. 17. 19. 23. 27-28. 30. 33. 35-45. 48. 51. 53-55. 57-61. 65-66. 68. 70-73. 75. 87. 90-91. 93. 95-96. 112. 115. 117. 123. 136. 176. 226. 251. 258. 270. 288-289. 295. 306. 339. 342-348. 401-405. 530 / 531. 541. 547. 559. 570.

³⁰² Kat.-Nr. 16. 22. 31. 56. 63. 74. 89. 140-144. 146. 148-151. 189. 543.

³⁰³ Kat.-Nr. 1. 3. 24. 26. 46. 153-155. 177-178. 210. 218-220. 333-334. 425. 435. 442. 467. 473. 482. 484. 496. 500. 507. 529. 551. 555.

³⁰⁴ Oberursel-Oberstedten, Heidetränk-Oppidum: Kat.-Nr. 269 (Farbtaf. 2, 4; 4, 4), 336 (Farbtaf. 2, 2), 376.

³⁰⁵ Bad Neustadt: Kat.-Nr. 77 / 78. 83. – Hohe Schule bei Völ- kershäusern: 565.

³⁰⁶ Steinsburg bei Römhild: Kat.-Nr. 440. 443. 472. 485 (Farbtaf. 3, 4; 13). 497 (Farbtaf. 4, 1). 501 (Farbtaf. 4, 3). 506 (Farb- taf. 4, 2). 515.

Sedimentmaterial mit vereinzelt organischen Resten. Auffällig ist die intensive randlich-saumartige bis vollständige Iddingsitisierung der die Einsprenglinge und einen Teil der Zwickelfüllung bildenden Olivine. Das für die Mühlesteinherstellung verwendete basaltische Gestein weist folgenden im Mengenanteil in relativ geringen Grenzen schwankenden Mineralbestand auf: hauptsächlich sperrig-leistenförmigen Plagioklas, in den Zwickeln körnigen bis stängel-nadeligen Klinopyroxen sowie in teils geringer, teils reichlicherer Menge Glas, dazu meist viel leistenförmiger Ilmenit und vereinzelt Magnetitkörnchen. Die serialen Einsprenglinge werden nahezu ausschließlich von Olivin in leicht wechselnder, meist größerer Menge gebildet. In Kat.-Nr. 376 und 485 (**Farbtaf. 3, 4; 13**) fehlen die Olivine weitestgehend bis ganz, sind aber möglicherweise vollständig umgewandelt und herausgelöst, worauf die zahlreichen, mit feinen oxidischen Säumen ausgekleideten »olivinförmigen« Kavernen hindeuten.

Korngrößen

Plagioklas	0,05-0,6 mm, meist zwischen 0,15-0,4 mm Länge und 0,02-0,08 mm, selten >0,1 mm Breite
Klinopyroxen	Körner 0,02->0,1 mm, max. bis 0,2 mm, meist $\leq 0,1$ mm Dm. Stängel bis $\pm 0,3$ mm, vereinzelt bis $\pm 0,6$ mm lang, gedrunge, die größeren einsprenglingsartig, in Kat.-Nr. 376 und 269 (Farbtaf. 2, 4; 4, 4) ab und zu auch dünnnadelig, bis max. 0,8 mm lang
Glaszwickel	etwa 0,05- $\pm 0,4$ mm
Ilmenitleisten	<0,05->0,5 mm, max. 0,8 mm, meist 0,1 bis 0,1-0,4 mm lang, 0,005-0,04 mm breit
Magnetitkörner	0,02-0,15 mm, meist 0,05-0,1 mm Dm. bzw. Kantenlänge
Olivin	0,05-> 1 mm, max. 2 mm, meist etwa 0,2-0,8 mm lang, gedrunge

Mineralbeschreibung

Die leistenförmigen, sperrig angeordneten Plagioklase zeigen im Allgemeinen nur verhältnismäßig geringe Idiomorphie (an den Enden abgebrochen, an den Längsseiten oft \pm »angefressen«). Sie sind frisch und klar und durchgehend lamellar verzwillingt. In wenigen Dünnschliffen finden sich auf Zwickeln gedrunge, zonar auslöschende Plagioklaskörner.

Die Klinopyroxene sind körnig bis gedrunge-stängelig ausgebildet, kaum bis gering idiomorph und teilweise von Plagioklasleisten durchsetzt (»zerhackt«). In wenigen Proben sind auch nadelige Kriställchen eingestreut³⁰⁷ (**Farbtaf. 3, 4**). Im Allgemeinen erscheinen die Klinopyroxene frisch und farblos, verbreitet aber stärker rissig und von den Rissen aus leicht bräunlich getönt, in vereinzelt Proben auch leicht braunfleckig oxydiert. Vor allem die stängel-nadeligen Individuen weisen zahlreiche Querbrüche auf. In Kat.-Nr. 472 und 501 (**Farbtaf. 4, 3**) sind einzelne bis >0,3 bzw. 0,6 mm lange, gedrunge, mitunter gut idiomorphe, teilweise ausgeprägt verzwillingte einsprenglingsartige Kristalle zu beobachten.

Neben Klinopyroxen findet sich auf den Feldspatzwickeln in wechselnder, sehr geringer (**Farbtaf. 4, 3**)³⁰⁸ bis größerer Menge durch feinstkörniges Opakmaterial stärker schmutzigbraungrau bis schwarzgrau getrübt Glas. Selten ist zu erkennen, dass es von feinstnadeligen Kristalliten durchsetzt wird; sehr vereinzelt ist eine schwach angedeutete Anisotropie erkennbar.

³⁰⁷ z.B. Kat.-Nr. 376. 485 (**Farbtaf. 13**).

³⁰⁸ z.B. Kat.-Nr. 77 / 78. 501.

Olivin tritt in leicht wechselnder, im Allgemeinen jedoch relativ reichlicher Menge auf, ist aber in einzelnen Dünnschliffen etwas fleckig verteilt. Er bildet die Einsprenglingskomponente des Basalts, findet sich jedoch auch in den Zwickeln (serialporphyrische Ausbildung). Die überwiegend ± gedrungenen, in frischeren Resten farblosen Individuen sind bruchstückförmig bis hypidiomorph, größere oft auch gut idiomorph geformt. Sie sind meist etwas kantengerundet, teilweise buchtig korrodiert und verbreitet mehr oder weniger rissig; größere Kristalle zeigen auch angedeutete bis mitunter deutliche Spaltbarkeit (**Farbtaf. 4**). Charakteristisches Merkmal des Gesteins ist neben seiner Blasigkeit die durchgehende, meist intensive bis vollständige gelb- bis rotbraune Iddingsitisierung der Olivine. Die Iddingsitisierung geht von den Kornrändern aus. In einzelnen Dünnschliffen ist sie auf schmale randliche Säume beschränkt, meist hat sie jedoch die Körner stark bis vollständig erfasst. Vereinzelt treten kleine, iddingsitisierte Olivine mit dünnem farblosen, frischen Saum auf.

Alle Basaltproben werden von reichlich Ilmenitnadeln und -leisten wirt durchsetzt. Sie bilden in Kat.-Nr. 77 / 78 vereinzelt angedeutet skelettartige Anhäufungen. In wenigen Dünnschliffen³⁰⁹ treten glasreichere, feldspat- und klinopyroxenärmere Schlieren und Flecken (bis > 1 mm) auf, die eine etwas stärkere Ilmenitleistenführung zeigen. Die Ilmenitleisten durchsetzen die anderen Mineralkörner bzw. lagern sich ab und zu an Plagioklasleisten an.

Der Gehalt an Magnetitkörnern ist allgemein sehr gering. Nur in Kat.-Nr. 501 treten sie reichlich auf (**Farbtaf. 4, 3**); dafür geht die Ilmenitführung zurück. Teilweise zeigen Magnetite relativ gut idiomorphe Formen (drei- und viereckig).

Charakteristisch für die vorliegenden Gesteinsproben ist die durchgehende, teilweise starke blasige Ausbildung. Die Blasen (0,4-7 mm, meist 1-4 mm Dm.) sind rundlich bis oval, vorwiegend relativ regelmäßig, mitunter aber auch stärker buchtig geformt. Vereinzelt werden größere Blasen von einem Gesteinssaum mit zahlreichen feinsten, millimeterlangen, wirt angeordneten Sprüngen ummantelt; selten treten feine braune oxidische Beläge auf. Oft sind die Blasen teilweise bis nahezu vollständig mit unregelmäßigem und unsortiertem schluffigen, leicht feinsandigen Sedimentmaterial gefüllt, das ab und zu Spuren organischen Materials führt.

Abweichende Ausbildung von Kat.-Nr. 440

Die einzige leicht abweichende Gesteinsausbildung zeigt Kat.-Nr. 440. Es handelt sich zwar um den gleichen, aber etwas gröberkörnigen Gesteinstyp mit nur vereinzelt bis 2 mm großen rundlichen bis unregelmäßigen, ungefüllten Kavernen, der offensichtlich einem weniger randnahen Bereich eines Ergusses entstammt. Wie in Kat.-Nr. 376 und 485 (**Farbtaf. 3, 4; 13**) fehlen die Olivine, könnten aber auch hier wie in den angeführten Proben vollständig umgewandelt und herausgelöst sein. Darauf scheinen die ebenfalls verbreitet auftretenden feineren (kaum >0,7 mm), häufig hydrohämatisch-limonitisch ausgekleideten, allerdings wenig regelmäßigen Poren hinzudeuten. Damit könnte das Gestein ebenfalls als tholeiitischer Olivinbasalt bezeichnet werden.

Das Gefüge ist fein- bis feinkörnig-wirreleistenförmig ausgebildet, mit körnigen und Glas-Zwickelfüllungen. Mineralbestand und Gefüge entsprechen weitgehend denen des Hauptgesteins. Die etwas größere Korngröße zeigt folgende Schwankungsbereiche:

Plagioklas	0,15- > 1 mm, meist 0,2-0,5 mm lang, ca. 0,025- > 0,1 mm breit
Klinopyroxen	ca. 0,05- > 0,8 mm, meist 0,1-0,5 mm lang, gedrungen, schwach hypidiomorph

³⁰⁹ z.B. Kat.-Nr. 443. 515.

Glaszwickelfüllungen	kaum 0,1- > 0,4 mm
Ilmenitleisten	< 0,05-0,5 mm lang, ca. 0,01-0,04 mm breit
Magnetit	bis 0,1 mm Kantenlänge

Weitere Besonderheiten sind:

- das ab und zu auftretende, deutliche zonare Auslöschten von Klinopyroxenen bei gekreuzten Nicols,
- die verstärkte bzw. auffälligere Durchsetzung der fleckenweise ebenfalls sehr schwach und undeutlich anisotrop erscheinenden Glaszwickelfüllungen mit feinsten geraden, farblosen, mikroskopisch nicht bestimmbaren Nadelchen und
- das leichte Zurücktreten der Ilmenitleisten bei gleichzeitiger schwacher Zunahme der mitunter idiomorphe Formen ausbildenden Magnetitkörner.

Zusammenfassende Bemerkungen

Das für die Herstellung der untersuchten Mühlsteine verwendete Gesteinsmaterial entstammt offenbar durchgehend der gleichen Lokation. Iddingsitisierung der Olivine (oxydierende Bedingungen) und starke Blasenführung weisen auf eine Materialentnahme in der unmittelbaren Randzone eines Basalergusses hin. Dabei könnten die Blasenfüllungen mit unregelmäßigem und unsortiertem schluffig-feinsandigen Sediment auf eine Aufnahme von feuchtem Material von der Basis des Ergusses hindeuten. Das Fehlen von Pleochroismus bei dem Iddingsit deutet nach St. E. Haggerty und I. Baker auf Bildungsbedingungen unter 140°C hin³¹⁰.

Die durch die enge Verzahnung der Plagioklasleisten hervorgerufene Zähigkeit des Gesteins und die starke Blasenführung prädestinieren das Material für eine Verwendung als Mühlstein. Eine regionale Zuordnung des verwendeten Basalts ist schwierig, da entsprechende bzw. ähnliche Ausbildungen in verschiedenen tertiären Basaltvorkommen in der weiteren Umgebung der Mühlsteinfundorte anzutreffen sind. Genauere Aussagen könnten nur durch eingehende regionale petrographische Untersuchungen gewonnen werden. Eine Herkunft aus dem Raum Vogelsberg ist jedoch wahrscheinlich.

³¹⁰ Haggerty / Baker 1967.