



Berg Huettenmaenn Monatsh (2024) Vol. 169 (9): 497–509  
<https://doi.org/10.1007/s00501-024-01490-4>  
 © The Author(s) 2024

**BHM** Berg- und  
Hüttenmännische  
Monatshefte

# Marmorgewinnung und Schmiedetätigkeit im Frühmittelalter – Ein erster Hinweis im Steinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten/Österreich

Stephan Karl<sup>1</sup>, Daniel Modl<sup>2</sup>, Susanne Strobl<sup>3</sup> und Roland Haubner<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Antike, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, Österreich

<sup>2</sup>Abteilung Archäologie & Münzkabinett, Universalmuseum Joanneum, Graz, Österreich

<sup>3</sup>Technische Universität Wien, Wien, Österreich

Eingegangen 3. Juni 2024; angenommen 18. Juni 2024; online publiziert 18. Juli 2024

**Zusammenfassung:** Im römerzeitlichen Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten wurde bei archäologischen Ausgrabungen auch Hammerschlag gefunden, der aus einer frühmittelalterlichen Brandschicht stammt. Radiokarbondatierungen dieser Schicht weisen den Befund in das 8. bzw. 9. Jahrhundert n. Chr. Im Zuge der metallurgischen Untersuchung wurde plättchenförmiger Hammerschlag festgestellt. Die Dicke der Plättchen variiert zwischen etwa 30 und 100 µm. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Plättchen durch Verzunderung während des Schmiedevorgangs entstanden. Weiters wurde kugelförmiger Hammerschlag beobachtet, bei dem es sich um ein Gemisch aus geschmolzenem Eisen und Schlacke handelt, das beim Hochtemperaturschmieden (> 1200 °C) vom Werkstück wegspritzt. Diese Teilchen haben einen Durchmesser von etwa 250 µm. Der archäologische Kontext, der Hammerschlag und die Radiokarbondatierungen belegen eine mit der Marmorgewinnung zusammenhängende Schmiedetätigkeit im 8. und 9. Jahrhundert n. Chr. In einer einfachen Feldschmiede wurden die durch die Benutzung stumpf gewordenen Steinbruchwerkzeuge nachgeschärft. Dieser somit indirekt gewonnene Nachweis einer frühmittelalterlichen Steingewinnung am Spitzelofen deckt sich zeitlich mit der Marmorverwendung für die frühmittelalterlichen Flechtwerksteine in Karantani (772 bis 817/828 n. Chr.).

**Schlüsselwörter:** Frühmittelalter, Ostalpen, Marmorgewinnung, Schmieden, Hammerschlag

Prof. Dr. R. Haubner (✉)  
Technische Universität Wien,  
Getreidemarkt 9/164-03,  
1060 Wien, Österreich  
roland.haubner@tuwien.ac.at

**Marble Exploitation and Forging in the Early Middle Ages—A First Evidence in the Quarry Area Spitzelofen in Carinthia, Austria**

**Abstract:** During archaeological excavations in the Roman marble quarry area of Spitzelofen in Carinthia, hammer-scale was found from an early medieval burned layer. Radiocarbon dates of this layer refer to the 8th and 9th century AD. In the course of the metallurgical examination, plate-shaped hammer-scale was determined. The thickness of the flakes varied between 30 and 100 µm. It can be assumed that these flakes were formed by scaling during the forging process. Furthermore, spherical hammer-scale was observed, which is a mixture of molten iron and slag that sprays away from the workpiece during high-temperature forging (> 1200 °C). These particles have a diameter of around 250 µm. The archaeological context, the hammer-scale, and the radiocarbon dates provide evidence of a forging activity related to marble exploitation in the 8th and 9th centuries A.D. In a simple field forge, the quarry tools that had become blunt through use were resharpened. This indirect evidence of early medieval stone quarrying at Spitzelofen coincides with the use of marble for the early medieval reliefs featuring interlaced ornaments in Carantania (772 to 817/828 AD).

**Keywords:** Early Middle Ages, Eastern Alps, Marble exploitation, Forging, Hammer-scale

## 1. Fundsituation

### 1.1 Lage und Stratigraphie

Im Jahr 2020 wurde im römerzeitlichen Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen am Westabhang der Koralpe in



Abb. 1: Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen, Drohnenfoto vom Steinbruch mit der Saxanus-Inschrift (GO 38), Pfeil: Lage der Grabungsstelle „Profilschnitt 2020“ (Foto: Paul Bayer)

Kärnten (Sankt Georgen im Lavanttal, Bezirk Wolfsberg) ein archäologischer Befund erneut untersucht [1], der bereits 1930 durch den Juristen und Altertumsforscher Franz Jantsch (1898–1948) bei einer Grabung im Südwestbereich des Steinbruchs mit der sog. Saxanus-Inschrift (GO 38) dokumentiert und beschrieben worden war ([2]; Abb. 1). Bei diesem Befund handelt es sich um eine ca. 20 cm starke Brandschicht in einem vor der Südostwand des Steinbruchs liegenden Haldenkörper (Abb. 2). Laut dem Ausgräber lag die Brandschicht auf einer eingeebneten, zwei Meter mächtigem Marmor- und Schuttschicht und enthielt Keramik, Tierknochen und ein Messer; allesamt Funde, die er für römisch hielt.



Abb. 2: Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen, Steinbruch GO 38, Profilschnitt 2020 bei der Abbauwand „Südost“, Blick auf das innere Querprofil. Von oben nach unten: Waldboden SE 9, Verstürzschicht SE 10, Schuttschicht SE 13, Brandschicht SE 14 (Pfeil) und Schuttschicht SE 15. (Foto: Paul Bayer)

Die Grabung von 2020 konnte nun Reste dieser Brandschicht erneut erfassen, einerseits im Bereich des verstürzten bzw. erodierten Grabungsprofils von 1930 (SE 11), andererseits im Bereich der noch intakten Halde (SE 14). Die Brandschicht besaß eine Stärke von ca. 25 bis 30 cm und dünnte nach Nordosten aus.

## 1.2 Funde und Datierung

Neben zahlreichen Holzkohlestücken (Fnr. SpO-25), deren Größe zwischen 0,5 und 1 cm schwankte, aber vereinzelt bis 3,5 cm erreichte, bestand die Brandschicht vor allem aus Grobsand und einzelnen durchschnittlich 5 bis 10 cm großen Bruchsteinen aus verwittertem Marmor und anderen Nebengesteinen. Ein besonders erhöhter Anteil von Marmorgrus – wie bei Schutthalde – war nicht festzustellen, auch keine Bruchstücke qualitativ (abbauwürdigen) Marmors. Stattdessen fanden sich in dieser Schicht einzelne verbrannte Gneise und Feldspäte (Fnr. SpO-27) sowie eine größere Schuppe von Hammerschlag (Fnr. SpO-26) und eisenhaltige Partikel (Fnr. SpO-28-1), die mit Hammerschlagfragmenten durchsetzt waren.

Von zwei Holzkohlestücken aus der Brandschicht – SE 11 im verstürzten Zustand (Fnr. SpO-25/1) und SE 14 in der intakten Halde (Fnr. SpO-30/1) – liegt eine <sup>14</sup>C-Altersbestimmung durch das Labor Beta Analytic Inc. vor (Beta-565280 und Beta-565281). Die Radiokarbondatierung dieser Schicht (Cal 2-sigma 614–763 n. Chr. und 676–870 n. Chr.) verweist den Befund in das 8. bzw. 9. Jahrhundert n. Chr.

## 1.3 Fragestellungen

Das obige Datum ist überraschend, da es in Verbindung mit dem Hammerschlag eine frühmittelalterliche Schmiedeaktivität im Steinbruch Spitzelofen belegt und damit vor Ort eine einfache Feldschmiede zur Instandhaltung und Reparatur von Steinbruchwerkzeugen indiziert. Zu Beginn dieses Beitrags soll deshalb kurz der Forschungsstand zum frühmittelalterlichen Schmiedehandwerk rekapituliert werden, worauf die Bedeutung des Hammerschlags für die Rekonstruktion von Schmiedetätigkeiten im Allgemeinen erläutert wird. Danach werden die Analyseergebnisse des frühmittelalterlichen Hammerschlags vom Spitzelofen vorgestellt und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen hinsichtlich der Schmiedetätigkeit im Steinbruch. Zum Abschluss gilt es zu hinterfragen, wie wahrscheinlich eine frühmittelalterliche Marmorgewinnung am Spitzelofen ist und welche Nachweise hierfür neben dem Hammerschlag existieren.

## 2. Das frühmittelalterliche Schmiedehandwerk

Für die Rekonstruktion des Schmiedehandwerks im Frühmittelalter (Mitte 6. bis Mitte 11. Jahrhundert) stehen der Forschung in Mittel- und Nordeuropa zahlreiche schriftliche, bildliche und archäologische Quellen zur Verfügung.



Abb. 3: Der Schmied Wieland auf dem Walbeinkästchen von Auzon (Département Haute-Loire, Frankreich), auch bekannt als Franks Casket, Anfang 8. Jahrhundert, British Museum in London, Umzeichnung eines Details auf der Vorderseite mit den Schmiedewerkzeugen in Dunkelrot (Hämmer, Zange, Amboss). (Grafik: Daniel Modl)

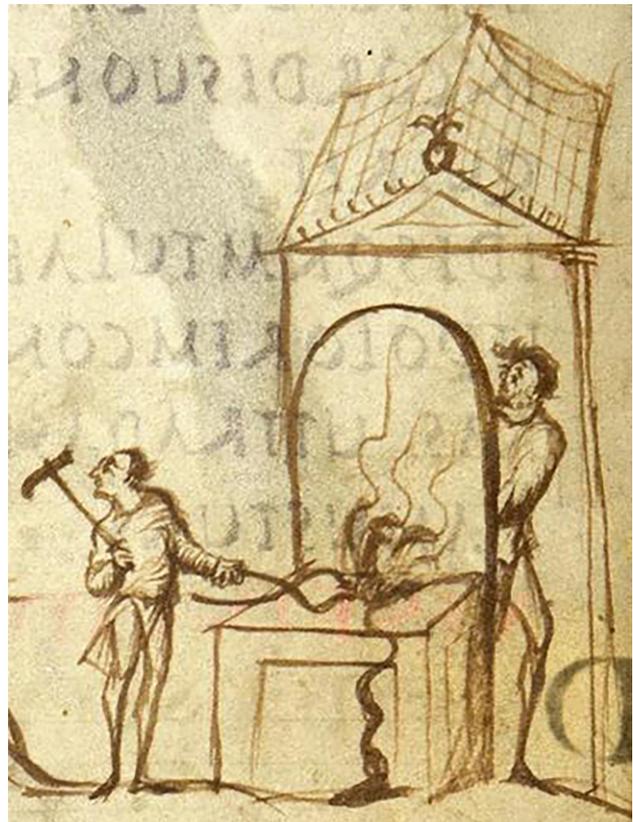


Abb. 5: Darstellung einer überdachten Hochesse mit Schmied und einem Blasebalg-Gehilfen im Utrechter Psalter, um 820. (Quelle: Universitätsbibliothek Utrecht, Hs. 32, fol. 6v)

Bei den Schriftquellen handelt es sich vor allem um örtlich bezogene Urkunden, Güter- und Zinsverzeichnisse sowie Rechtstexte, die Informationen zur Kaufkraft von Eisen, zur Höhe von Eisenabgaben oder der rechtlichen und sozialen Stellung des Eisenschmieds (*faber ferrarius*) liefern [3, 4]. Ergänzt werden diese durch Darstellungen von Schmieden und ihren Werkzeugen auf nordischen Steindenkmälern, angelsächsischen Schnitzarbeiten (Abb. 3) oder karolingischen Bilderhandschriften ([5–8]; Abb. 4, 5). Bei den Darstellungen in den illustrierten Manuskripten, wie den Stutt-

garter oder Utrechter Psalter, ist jedoch unklar, inwieweit sie ältere spätantike/mediterrane Bildvorlagen wiedergeben oder sie der tatsächlichen frühmittelalterlichen Realität entsprechen.

Einzelne Hämmer, Zangen, Feilen oder Ambosse, wie auch ganze Werkzeugsätze sind als Beigaben Teil von

Abb. 4: Darstellung von einem Schmied am Amboss (*rechts*) und einem Blasebalg-Gehilfen an einer Bodenese mit erhöhter Rückwand (*links*) im Stuttgarter Psalter, um 830. (Quelle: Stuttgart, Württembergische Landesbibliothek, Cod. bibl. fol. 23, Bl. 121r)



„Schmiedegräbern“, die eine starke Tradition in Skandinavien und im Baltikum, allen voran im heutigen Norwegen, besitzen [9–11]. Sie stellen nicht nur die Arbeitsutensilien des Verstorbenen dar, sondern spiegeln auch die mythisch-religiöse Bedeutung der Handwerksdisziplin wider und sind in vielen Fällen als Repräsentationsmittel und Symbolgut zu interpretieren. Die Werkzeuge in Gräbern der Oberschicht lassen auf eine enge Verbindung zwischen dem Schmiedehandwerk und der gesellschaftlichen Machtelite schließen, die diesen strategischen Wirtschaftszweig kontrollierte. Die Werkzeuge verdeutlichen die damalige Arbeitsweise und die angewandten Techniken, sind aber auch selbst Produkte, die zusammen mit weiteren Eisenobjekten aus Grab-, Hort- oder Siedlungskontexten metallkundlich untersucht wurden [12–14].

Für den Südostalpenraum liegen archäometallurgische Analysen bislang nur für Waffen und andere militärische Ausrüstungsgegenstände primär aus dem 8. Jahrhundert vor, die tiefe Einblicke in die damalige Technik des Feuerver schweißens und der Härtung/Wärmebehandlung erlauben [15–17]. Sie zeigen, dass die frühmittelalterlichen Schmiede – trotz Unkenntnis der Stahlzusammensetzung oder von Gefügen – ein differenziertes technologisches Wissen besaßen, das ihnen ermöglichte, die Güte des Metalls zu beurteilen und seine Qualität gezielt zu beeinflussen. Die untersuchten Stücke sind der Forschung als Grabfunde und Streu- bzw. Altfunde ohne bekannten Fundzusammenhang überliefert. Sie weisen typologisch, wie auch konstruktions- und schmiedetechnisch starke Bezüge zu Waffen aus dem Frankenreich bzw. dem rheinländischen Gebiet auf, wobei die äußerst hochwertigen Fabrikate wohl Importe darstellen. Auf Basis der metallografischen Ergebnisse wurden auch einzelne Waffen nachgeschmiedet, wie z. B. die frühkarolingerzeitliche Spatha vom Typus Mannheim aus Hohenberg in der Obersteiermark [18].

Die hohe Qualität des frühmittelalterlichen Schmiedehandwerks wird – nicht nur im Bereich der Waffentechnologie, sondern auch im Bereich der Holz- und Landwirtschaft – durch mehrere Eisendepotfunde in Slowenien deutlich, die vom späten 8. bis in die erste Hälfte des 10. Jahrhunderts datieren [19–21]. Sie enthalten neben Militaria auch Agrargeräte und Werkzeuge der Holzverarbeitung zwischen denen äußerlich kein qualitatives Gefälle in der Fertigung festzustellen wäre. Die Horte spiegeln auch die Bedeutung des Eisenschmieds für die agrarisch bestimmte Gesellschaft des Frühmittelalters wider, wo der Herstellung und Instandhaltung der landwirtschaftlichen Infrastruktur große Bedeutung in den autark ausgerichteten Siedlungen zukam. Der bereits in das 6. Jahrhundert datierte Schmiededepotfund von Wegscheid am Kamp (Niederösterreich) zeigt mit Zangen, Hämmern, Amboss, Durchschlag, Meißel, Reißnadel und Düsenrohr den vielfältigen Werkzeugsatz des Eisenschmiedes im österreichischen Donauraum [22].

In den slowenischen Horten sind auch Stabbarren und axtförmige Barren enthalten, die vor allem in Skandinavien und Nordosteuropa eine Handelsform des Eisens darstellten [23–25]. Da sie jedoch nur vereinzelt im Südostalpenraum auftreten, kann angenommen werden, dass im Rennfeuer erzeugte Eisensluppen das primäre Ausgangsmaterial für die Herstellung von Eisengeräten in dieser Re-

gion waren. Die Sluppen wurden durch mehrmaliges Erhitzen und Homogenisieren, ein Prozess den der Schmied „Ausheizen“ nennt, von Schlacke und anderen Verunreinigungen befreit [26, 27]. Mehrere Sluppen konnten zudem durch Feuerver schweißung zu größeren Eisenchargen verbunden werden [28]. Gleichzeitig ist auch das Recycling von Alteisen für die frühmittelalterlichen Werkstätten belegt [29, 30].

Schmiede und ihre Werkstätten sind für das Frühmittelalter im Kontext mit Zentral- und Residenzorten, Höhensiedlungen, Marktplätzen, Mittelpunktsburgen, ländlichen Dörfern, Weilern und Einzelhöfen sowie Klöstern zu erwarten. Das Vorhandensein ortsfester Werkstätten schließt jedoch nicht mobile bzw. wandernde Schmiede aus, die auftragsgebunden oder saisonal ihrer Tätigkeit nachgingen.

Der idealisierte Klosterplan von St. Gallen vom Anfang des 9. Jahrhunderts verzeichnet ein Handwerkerhaus mit getrennten Arbeitsbereichen für Goldschmiede (*aurifices*) und Eisenschmiede (*fabri ferramentorum*) sowie Schildmacher (*scutarii*) und Schwertfeger (*emundatores vel politores gladiatorum*) [31]. Die einzelnen Berufsbezeichnungen im Klosterplan, aber auch in anderen fränkischen Schriftquellen, wie dem *Capitulare de villis* (um 812) [32], belegen – zumindest in den kulturellen und wirtschaftlichen Zentren der damaligen Zeit – eine Spezialisierung und Arbeitsteilung im Schmiedehandwerk, vor allem im Bereich der Waffenproduktion. Gleichsam beweist der um 1000 datierende Eichenholzkasten aus dem Moor Mästermyr auf der schwedischen Insel Gotland, der Werkzeuge für Grobschmiede-, Goldschmiede-, Blechner- und Tischler-/Zimmermannsarbeiten enthielt, dass manche der damaligen Schmiedemeister wohl überraschend vielseitig waren [33].

Gut erhaltene Einzelbefunde von eingetieften, ebenerdig oder erhöhten Schmiedeeissen (*fornaces*) oder großflächige Schmiedeareale sind bis heute selten geblieben (z. B. [34, 35]), jedoch erlauben Funde von kalottenförmigen Schmiedeschlacken oder Essensteinen (Windformen, Düsenziegel) auch indirekt die Größe, Form und Funktion der ehemaligen Anlagen zu rekonstruieren und sich über archäologische Experimente sogar dem Aussehen der damaligen Gebläse zu nähern [36]. Streufunde von Werkzeugen, Halbfabrikaten und Rohmaterial werden nur selten gefunden [37], da diese aufgrund ihres Materialwertes soweit möglich beim Verlassen der Werkstätten mitgenommen wurden. Die meisten Schmieden sind allein durch ihre Abfälle nachweisbar, wie durch zerstreut oder massenhaft angehäufte Schlacken, Konzentrationen von Hammerschlag oder zahlreiche kleine Eisenfragmente.

Frühmittelalterlicher Hammerschlag wurde für Mitteleuropa erst selten ausführlicher publiziert, wie im Fall der Werkstätten des Weilers Develier-Courtételle im Kanton Jura (Schweiz) [38]. Oftmals wird Hammerschlag in den wissenschaftlichen Arbeiten nur flüchtig erwähnt und ist kaum näher untersucht. Dies betrifft beispielsweise die Fundstellen Tautecourt bei Prény (Frankreich) [39], Büsserach im Kanton Solothurn [40] und Otelfingen im Kanton Zürich [41] (beide Schweiz), Wiernsheim in Baden-Württemberg (Deutschland) [42], Thunau am Kamp in Niederösterreich

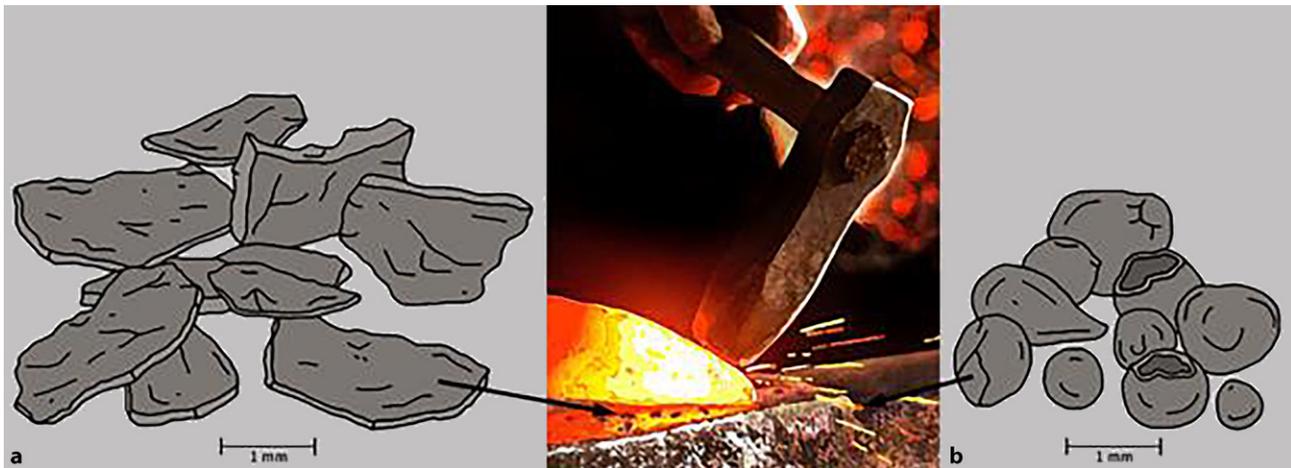


Abb. 6: Idealisierte Darstellung der Entstehung von schuppigem (a) und kugeligem (b) Hammerschlag während des Schmiedeprozesses. (Grafik: Daniel Modl)

(Österreich) [43] und Pržanj bei Ljubljana (Slowenien) [44, 45].

Der obige Hammerschlag stammt bislang ausschließlich aus Siedlungskontexten, sodass dem Fund vom Spitzelofen besondere Bedeutung zukommt. Er belegt einfache Schmiedearbeiten im Steinbruchrevier, wohl im Zusammenhang mit der Instandhaltung und Reparatur der Werkzeuge. Dass schon in der Antike eine enge Beziehung zwischen den Eisenschmiedern und der Gruppe der Steinbrucharbeiter und Steinmetze bestand, zeigen beispielsweise schriftliche Zeugnisse zu den in der römischen Kaiserzeit ausgebeuteten Steinbrüchen Ägyptens [46]. Im Fall des Spitzelofens ist jedoch nicht an eine gut ausgestattete „Bergschmiede“ zu denken, vielmehr ist von einer primitiven Esse im Abbaubereich auszugehen (Abb. 6). Diese kann wohl am besten als einfache Feldschmiede oder „Bergmannsfeuer“ (zum Begriff [47]) beschrieben werden, wo die Steinbrucharbeiter selbst einfache Reparatur- und Wartungsarbeiten durchführten.

Ob es sich bei den Steinbrucharbeitern am Spitzelofen auch gleichzeitig um die späteren Steinmetze handelte, die den Marmor weiterverarbeiten, ist ebenso unbekannt, wie die damals verwendeten Abbauwerkzeuge. Eine Vorstellung von den frühmittelalterlichen Steinmetzwerkzeugen vermittelt möglicherweise ein als „Spitzfläche“ gedeuteter Fund aus einem Grab des 6. Jahrhunderts in Fellbach-Schmiden (Baden-Württemberg, Deutschland) [48].

### 3. Hammerschlag

Als Hammerschlag (auch Zunder; va. Glühspan, Schmiedesinter; engl. hammer scale, fr. battiture, ital. battitura, slowen. kovaška škaja) werden kleine Eisenoxydplättchen bezeichnet, die beim Erhitzen und Schmieden des Eisens vom glühenden Werkstück abfallen bzw. abspringen (Abbrand). Sie gelten als sicherer Beleg für vor Ort stattgefundenen Schmiedearbeiten und finden sich vor allem rund um den ehemaligen Standort des Ambosses, aber auch im Bereich der Esse. Aufgrund ihrer geringen Größe von nur

wenigen Millimetern sind Hammerschlagreste jedoch nur schwer auffindbar und mit viel Zeitaufwand quantifizierbar. Sie können meist nur durch Schlämmen und der Hilfe von Magneten aus dem Sediment herausgelöst werden.

Die Bildung von Hammerschlag ist schon in mehreren Arbeiten untersucht worden, wobei hier Hammerschlag aus archäologischen Fundkontexten oft mit jenem aus praktischen bzw. experimentalarchäologischen Versuchen verglichen wurde [49–58]. Hierzu wurden traditionelle Schmiede aus Europa in die Experimente eingebunden, wie auch die Abfälle aus afrikanischen Schmieden untersucht [59]. Die kombinierte Auswertung erlaubt es unterschiedliche Verarbeitungsschritte (Ausheizen, Schmieden, Feuerschweißen) zu differenzieren, aber neuerdings auch Art und Herkunft des verarbeiteten Eisens durch die geochemische Zusammensetzung der im Hammerschlag enthaltenen Schlackeneinschlüsse zu bestimmen [60]. Hinzu kommen Detailuntersuchungen zum möglichen Recycling von Hammerschlag [61].

Hammerschlag bildet sich bei der Oxidation von heißglühenden Eisenoberflächen und besteht mehrheitlich aus den Eisenoxiden Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Wüstit ( $\text{FeO}$ ) und Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sowie einer silikatreichen Komponente. Bei Letzterem handelt es sich um im metallischen Roheisen enthaltene Schlackenreste, aber auch um Verunreinigungen durch anhaftende Materialien (Brennstoffasche, abgeschmolzene Ofen- bzw. Essenwandung) oder um absichtlich zugegebene Antioxidantien/Flussmittel (Sand, Ton). Je nach Eisen- und Stahlsorte (Kohlenstoffanteil), dem Reinheitsgrad des Metalls (Schlackenanteil) und der Verarbeitungsstufe (Luppe – Barren – Fertigprodukt) kann die chemische Zusammensetzung des Hammerschlags deutlich variieren.

Der Hammerschlag platzt einerseits durch Volumenänderung schon während der Erhitzung in der Esse und andererseits durch mechanische Beanspruchung beim Schmieden in Form dünner, grau-schwarzer, manchmal bläulicher Plättchen bzw. Schuppen vom Werkstück ab (Abb. 6a). Die meisten Plättchen schwanken zwischen 0,1 bis 0,7 mm Stärke, wobei eine lange Glühdauer bzw. eine hohe Glüh-temperatur des Werkstücks auch zu entsprechend stark ausge-

prägten Oxidschichten und damit Hammerschlagschuppen führen. Je nach Form des Werkstücks, Verarbeitungsstufe und Anzahl der Schmiededurchgänge kann der Eisenverlust stark schwanken, jedoch dürfte dieser im Durchschnitt bei 5–10% gelegen haben. Über die Oxidation von Eisen an Luft und die Ausbildung von teils massiven Oxidschichten liegen auch außerhalb der archäologischen Literatur zahlreiche Untersuchungen vor [62–67].

Neben dem plättchenförmigen Hammerschlag wird bei archäologischen Grabungen auch oft eine kugelförmige Varietät angetroffen (Abb. 6b). Diese entsteht, wenn das Werkstück auf Schmiedetemperaturen über 1200 °C erhitzt und durch das Hämmern geschmolzenes Material aus dem Eisen herausgetrieben wird. Dieses spritzt vom Werkstück weg und erstarrt im Flug zu porösen oder hohlen Kugeln mit meist weniger als 1 mm Durchmesser, die neben den Eisenoxiden einen höheren Silicium-Anteil enthalten. Neben dem schuppigen und kugeligen Hammerschlag finden sich im Fundmaterial auch oft amorphe Partikel, die beispielsweise entstanden, wenn das wegspritzende Material im noch viskosen Zustand auf dem Boden auftraf und sich verformte.

## 4. Metallurgische Analyse

### 4.1 Probenauswahl

In der 0,7 g schweren Materialprobe SpO-28-1 aus dem Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen waren eisenhaltige Mineralpartikel und Hammerschlag stark miteinander verbacken. Um die Teilchen voneinander zu trennen, wurde die gesamte Probe mit verdünnter Salzsäure gereinigt.

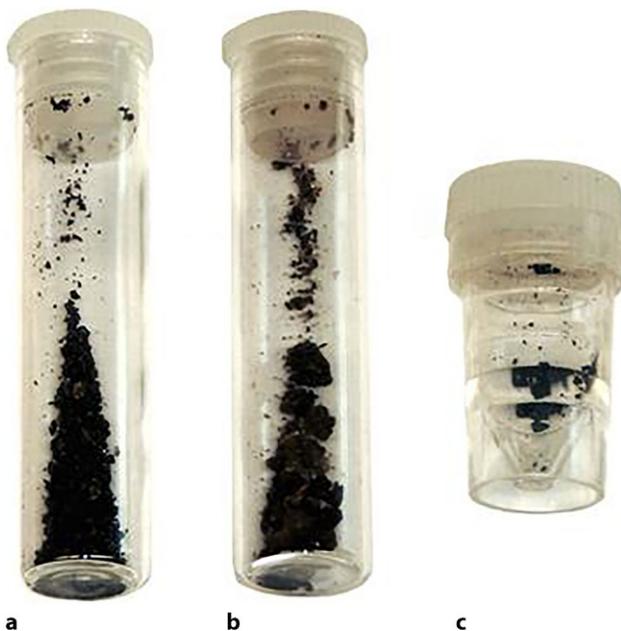


Abb. 7: Für die metallurgische Analyse bereitgestellter, frühmittelalterlicher Hammerschlag aus der Brandschicht (SE 11) im Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen. a „fein“, b „grob“, c „sortiert“

Danach wurde der Hammerschlag in die drei Fraktionen „fein“, „grob“ und „sortiert“ gegliedert (Abb. 7a–c).

### 4.2 Untersuchungsmethoden

Die verschiedenen Fraktionen des Hammerschlags wurden mittels 3D-Digitalmikroskop (3D-DM) sowie Rasterelektronenmikroskop (REM) mit Rückstreuielektronen (BSE) und energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX) untersucht. Aufgrund der geringen Probenmengen konnten keine metallographische Präparation und keine Röntgenbeugungsmessungen (XRD) zur Identifikation der vorliegenden Phasen durchgeführt werden.

### 4.3 Kornfraktion „fein“

In der Kornfraktion „fein“ (Abb. 8) liegen Körner mit unterschiedlichen Brauntönen und Korngrößen zwischen 0,1 bis 1 mm vor (Abb. 8a–c). Es sind auch einige dunkelgraue Plättchen zu erkennen, welche der zu untersuchende Hammerschlag ist. Die braunen Anteile bestehen aus unförmigen Eisenoxidteilchen und diversen Silikaten, welche jedoch nicht genauer bestimmt wurden. Im REM erscheinen die vorliegenden Plättchen tendenziell heller und aufgrund der EDX-Messung sollte es sich um  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  handeln (Abb. 8d–i). Eine eindeutige Phasenidentifikation mittels XRD war nicht möglich. Die EDX-Analyse zeigte zudem geringe Verunreinigungen mit Ca, Fe, Al und Si.

Die Hammerschlagplättchen erreichen Abmessungen bis etwa  $500 \times 500 \mu\text{m}$  und Dicken bis zu  $30 \mu\text{m}$  (Abb. 9a–c). An den Bruchflächen der Plättchen sind auch Poren zu erkennen, welche auf Volumensänderungen während der Verzunderung zurückgeführt werden können. Der in Abb. 8c zu sehende Partikel zeigt zahlreiche parallele Risse, ist aber nach EDX-Analysen ebenfalls Hammerschlag.

Eine Besonderheit in dieser Kornfraktion sind mehr oder weniger kugelige Teilchen (Abb. 8e), welche bei höheren Vergrößerungen in Abb. 9d–f zu sehen sind. Die Teilchendurchmesser liegen zwischen  $200$  und  $300 \mu\text{m}$ . Es dürfte sich dabei um beim Schmieden wegspritzende Eisenpartikel handeln. Diese entstehen, wenn bei höheren Temperaturen geschmiedet wird. Das Eisen dieser Partikel überzieht sich rasch mit einer Zunderschicht und in weiterer Folge kann es zu einer Korrosion des darunterliegenden Eisens kommen. Abb. 9d zeigt eine intakte Kugel und Abb. 9e eine Kugel mit Rissen. Hingegen zeigt Abb. 9f eine gebrochene Kugel mit einer dünnen, glatten Schale und einem porösen Inneren, welches das korrodierte Eisen darstellt. Die Korrosionsprodukte bei wässriger Korrosion sind üblicherweise Eisenhydroxide.

### 4.4 Kornfraktion „grob“

Die Kornfraktion „grob“ (Abb. 10) enthält Partikelgrößen bis etwa 2 mm mit Färbungen von hellbraun bis dunkelbraun (Abb. 10a–c). Die in der Kornfraktion „fein“ beobachteten Hammerschlagplättchen und kugelförmigen Teilchen wur-

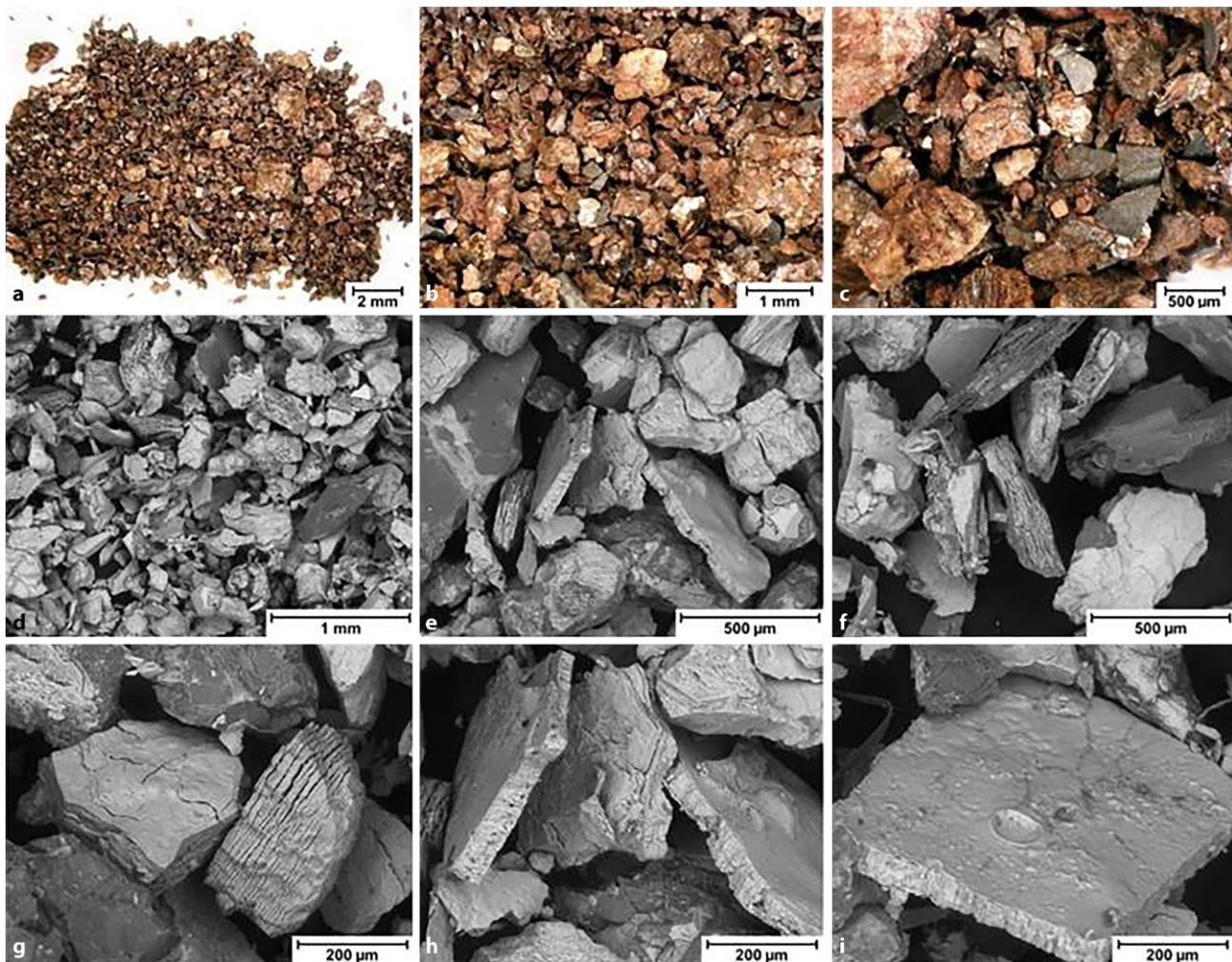


Abb. 8: Die Kornfraktion „fein“ im 3D-DM (a-c) und REM (d-i)

den hier nicht beobachtet. In den REM-BSE Bildern sind Bereiche mit deutlichen Helligkeitsunterschieden zu sehen (Abb. 10d-f). Eine Bestimmung der einzelnen Phasen war nicht möglich, aber in Anlehnung an eine frühere Hammerschlag-Studie [68] sollten FeO hellgrau, sowie Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dunkelgrau erscheinen.

#### 4.5 Kornfraktion „sortiert“

In der Kornfraktion „sortiert“ (Abb. 11) liegen überwiegend graue Hammerschlagplättchen vor, deren Größe der Kornfraktion „grob“ mit bis zu 2 mm entsprechen (Abb. 11a-c). Einzelne dieser Hammerschlagplättchen erreichen eine Dicke von etwa 100 µm (Abb. 11f, g). Die sichtbaren Bruchflächen zeigen eine körnige Struktur und auch eine Reihe von Poren etwas außerhalb der Plättchenmitte (Abb. 11g). Es liegen in dieser Kornfraktion auch einige unregelmäßig geformte Teilchen vor, welche in den REM-BSE Bildern eine ähnliche Helligkeit aufweisen, und auch die EDX-Messungen zeigen als Hauptbestandteil Fe mit variablen O-Gehalten.

#### 4.6 Interpretation der Analyseergebnisse

Der frühmittelalterliche Hammerschlag vom Spitzelofen ist Großteils von schuppiger Form, jedoch wurden auch einzelne kugelige Aggregate gefunden. Aufgrund der geringen Fundmenge sind verlässliche Aussagen zu dem im Steinbruch stattgefundenen Schmiedeprozessen kaum möglich. Die geringe Stärke der Hammerschlagschuppen von etwa 30 und 100 µm lässt vermuten, dass das Werkstück nicht besonders lang erhitzt wurde. Der kugelige Hammerschlag indiziert jedoch eine durchaus hohe Glüh-temperatur während des Schmiedeprozesses. Der Hammerschlag scheint – bedingt durch den Fundort – für die Instandhaltung oder Reparatur von eisernen Werkzeugen zum Marmorabbau zu sprechen. Wie experimentelle Untersuchungen gezeigt haben [69], mussten eiserne Werkzeuge regelmäßig nachgeschliffen werden, weshalb eine Schmiede vor Ort unerlässlich war.

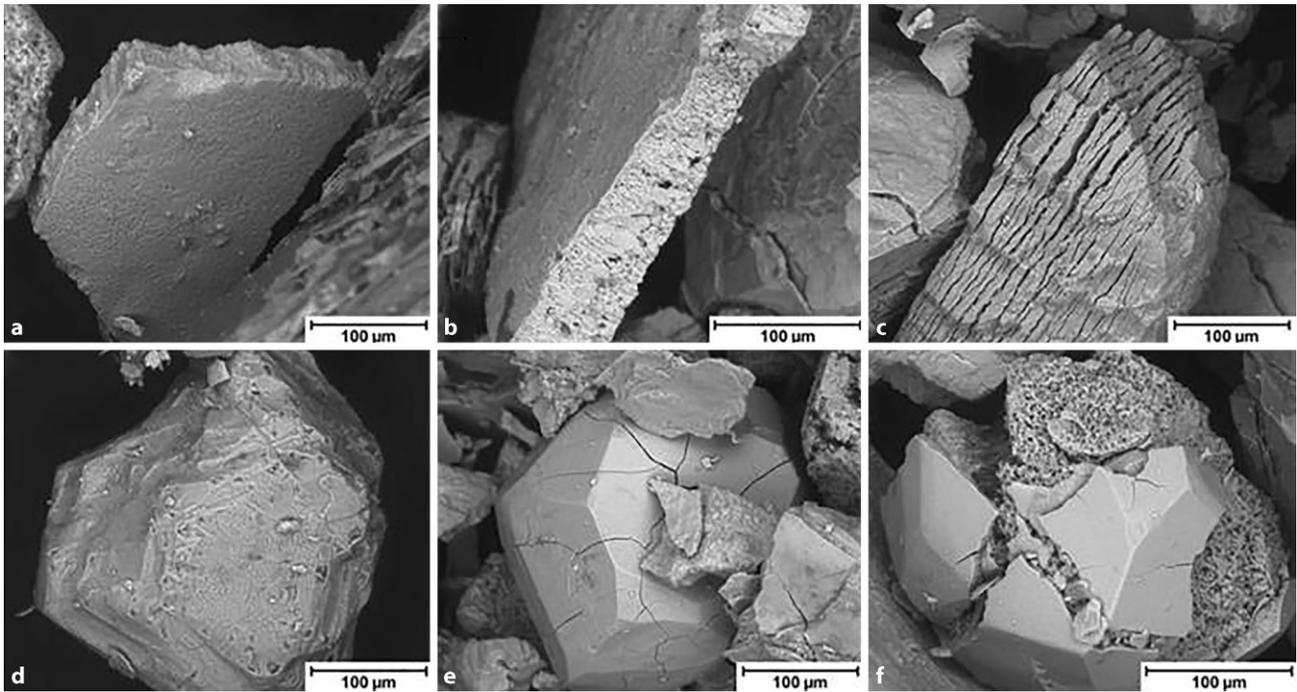


Abb. 9: Details der Kornfraktion „fein“ im REM

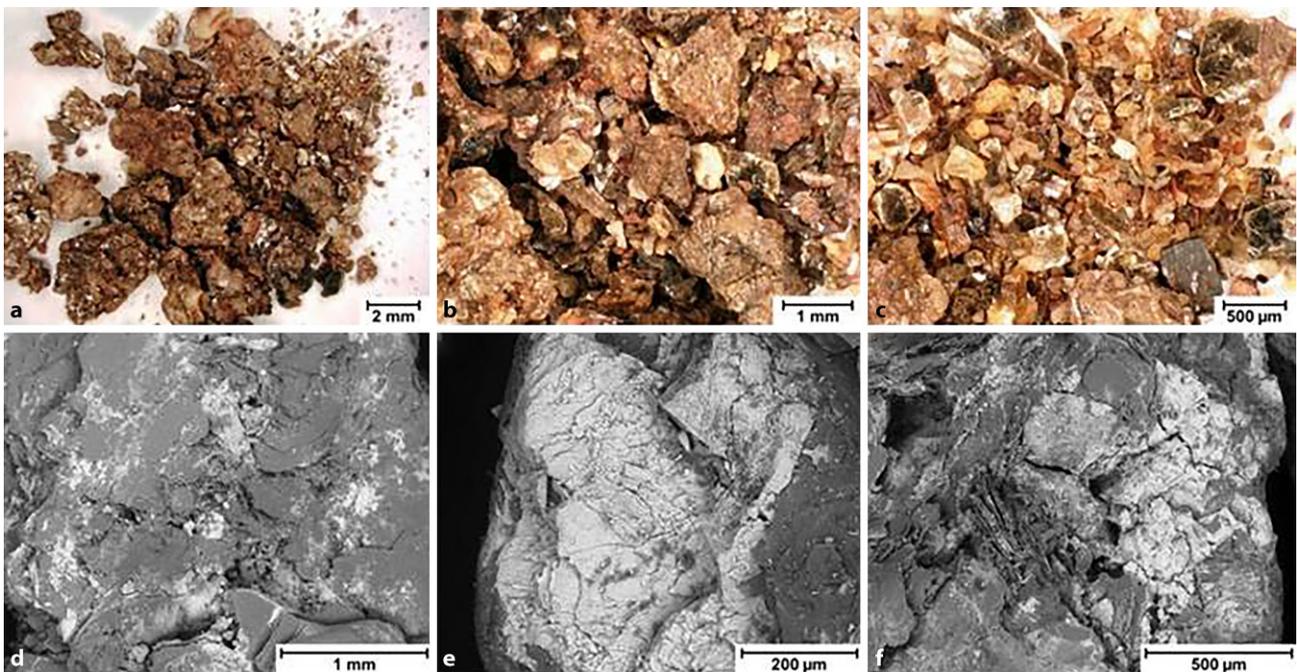


Abb. 10: Die Kornfraktion „grob“ im 3D-DM (a-c) und REM (d-f)

## 5. Die antike und frühmittelalterliche Marmorgewinnung

Die Gewinnung und Verarbeitung des ostalpinen weißen Marmors stellte im südöstlichen Teil der römischen Provinz *Noricum* bis in das 3. Jahrhundert n. Chr. hinein einen blühenden Wirtschaftszweig dar. Mehrere römerzeitliche Steinbrüche mit charakteristischen Abbauspuren, wie

Schrämwände mit groben, zumeist horizontal verlaufenden Schrämrrillen und Keiltaschen eingetieft in keilförmigen Schrotschlitzten, liegen in den ostalpinen Steinbruchrevieren vor [70]. Durch intensive Geländeprospektionen der letzten Jahre hat sich die Anzahl zunehmend erhöht; aktuell sind es: Spitzelofen, Gummern, Treffen/Alt-Treffen, Treffen/Pölling, Tentschach, Kraig, Oswaldgraben und Schaidberg.

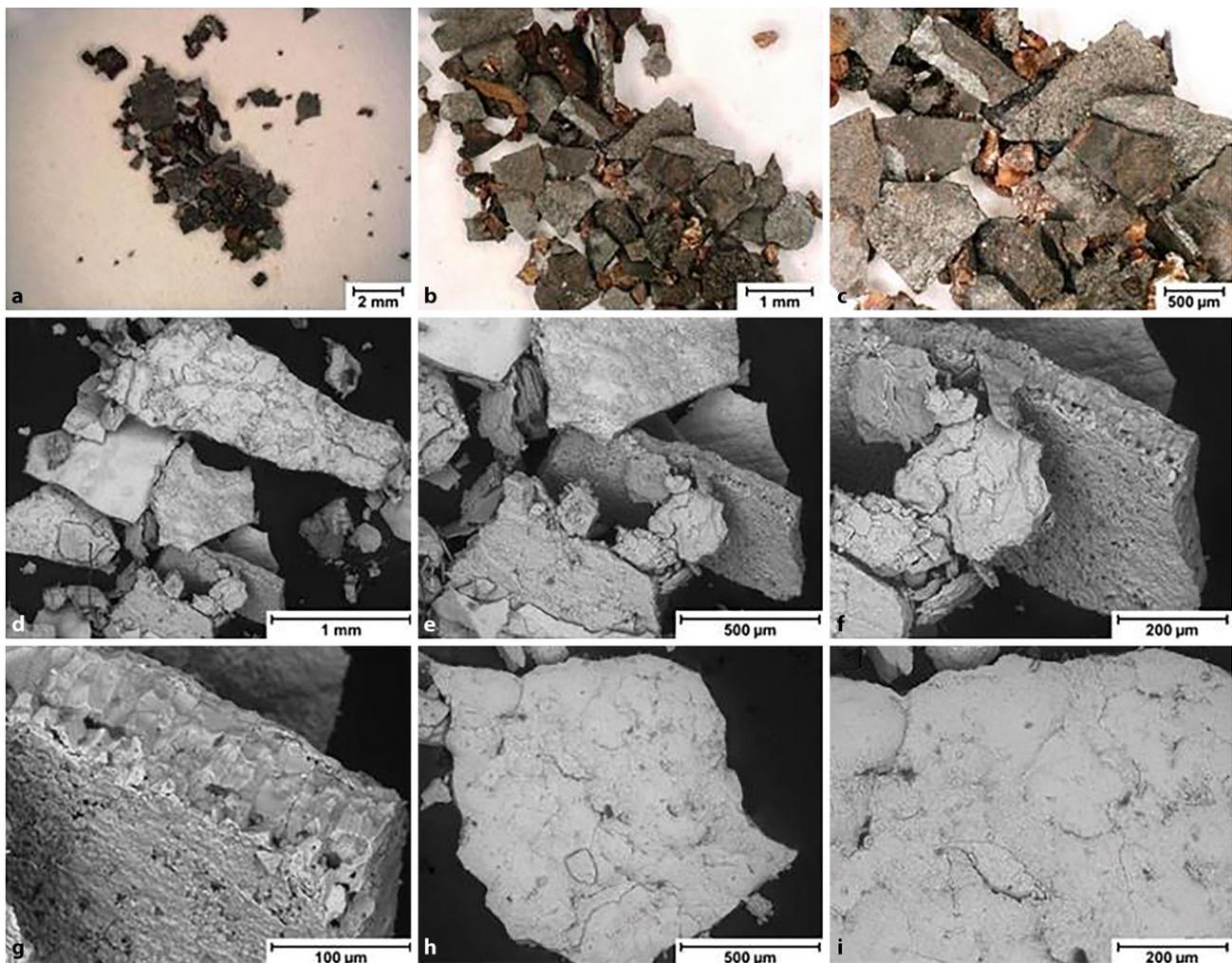


Abb. 11: Die Kornfraktion „sortiert“ im 3D-DM (a–c) und REM (d–i)

Veränderungen in den Bestattungssitten, u. a. der allmähliche Wechsel zur Körperbestattung, und der allgemeine wirtschaftliche Rückgang ab Mitte des 3. Jahrhunderts führten dazu, dass monumentale Grabbauten aus Marmor nicht mehr errichtet wurden oder nicht mehr leistbar waren [71]. Im Laufe des 4. Jahrhunderts dürfte die Marmorgewinnung in den Steinbrüchen gänzlich zum Erliegen gekommen sein.

Wenn ab dem ausgehenden 4. Jahrhundert noch gelegentlich Marmor gebraucht wurde, entstammt er zumeist aus dem Recycling von Erzeugnissen aus diesem Gestein; bevorzugt aus den nicht mehr betreuten bzw. aufgegebenen Grabanlagen aus Marmor. Eine umfassende Spolienverwendung im 5. Jahrhundert ist u. a. an den frühchristlichen Kirchen von *Teurnia* bei St. Peter in Holz (Kärnten) oder der Bischofskirche am Kirchbichl von Lavant bei *Aguntum* (Osttirol) nachweisbar. Im Gegensatz zum Beginn der Marmorgewinnung in den ostalpinen Steinbrüchen, der durch datierbare Monumente aus dem betreffenden Gestein indirekt erschlossen werden kann [72], sind wir hinsichtlich ihrer Aufgabe aufgrund der Problematik der Wiederverwendung und fehlender archäologischer Hinweise in den Stein-

brüchen selbst nur auf Vermutungen angewiesen. Durchaus kann es aber noch bis zum 6. Jahrhundert in einzelnen Fällen zum Brechen von Marmorblöcken gekommen sein, vor allem dann, wenn geeignete Formate nicht im Altmaterial zur Verfügung standen.

Nach den frühchristlichen Kirchenbauten der Spätantike, die teilweise mit Marmor reich ausgestattet waren, und einzelnen marmornen Grabplatten verlor der Marmor mit Beginn der slawischen Landnahme um 600 und der Entstehung eines slawischen Fürstentums in Karantanien gänzlich seine Bedeutung. Dies änderte sich jedoch mit dem Sieg des bairischen Herzogs Tassilo III. über die Karantanen im Jahre 772 als der einheimische karantanische Adel nach bairischem Vorbild repräsentative Eigenkirchen mit flechtwerkverzierten Chorschranken aus Marmor errichtete [73]. Diese Entwicklung war aber nicht nachhaltig, denn mit der Entmachtung der karantanischen Führungsschicht und der Einrichtung der Grafschaft Karantanien im Jahre 817/828 wurde diese wiederbelebte Wertschätzung des Marmors neuerlich beendet und über das gesamte Mittelalter hindurch bis zur Frühneuzeit nicht mehr aufgenommen.

Für die frühmittelalterlichen Flechtwerksteine in Karantanien wurde durchwegs ein ostalpiner Marmor genutzt, wobei man wie bei den frühchristlichen Kirchengrausstattungen der Spätantike davon ausgeht, dass dafür Grabdenkmale oder andere Bauten aus Marmor der römischen Kaiserzeit wiederverwendet wurden [74]. Spuren einer solchen Wiederverwendung sind jedoch bislang nur an einem (freistehenden) Steindenkmal ersichtlich: dem Pfeiler mit Flechtwerkdekor im Stift Sankt Lambrecht, der aus einem römerzeitlichen Grabaltar herausgearbeitet wurde [75].

Auch die bisherigen, eher wenig systematisch angelegten Marmorprovenienzanalysen von Flechtwerksteinen helfen nur bedingt bei der Frage einer frühmittelalterlichen Marmorgewinnung in den Steinbrüchen. Drei beprobte Teile der Chorschranke von St. Peter bei Moosburg (Nr. MP1, 2, 9) sollen aus ganz unterschiedlichen – auch mit dem freien Auge gut unterscheidbaren – Marmoren bestehen: Kraiger bzw. Gummerner Marmor [76].

Ein bemerkenswerter Flechtwerkstein (Abb. 12) wurde 2001 im Pfarrhof von Mariahof in der Steiermark gefunden [77]. Er besteht aus einem grauweißen, grobkörnigen Marmor mit Pyrit-Einschlüssen und ähnelt damit – makroskopisch beurteilt – einem Marmortyp, der am Spitzelofen am Westabhang der Koralpe ansteht (Abb. 13). Eine geowissenschaftliche Marmorprovenienzanalyse des Flechtwerksteins von Mariahof ist noch in Arbeit [78]. Spuren einer Wiederverwendung eines älteren Werksteins konnten am betreffenden Objekt nicht festgestellt werden, jedoch schließt dies eine solche nicht aus. Die Platte mit einer ursprünglichen Breite von ca. 115 cm und einer Höhe von ca. 105 cm besitzt eine Dicke von nur 8 bis 9 cm. Es handelt sich dabei um ein Format, das nur mit erheblichem Aufwand aus dem gängigen Bestand römerzeitlicher Grabbauteile zuzurichten gewesen wäre.



Abb. 12: Flechtwerkstein aus einem grobkörnigen grauen Marmor von Mariahof in der Steiermark, letztes Viertel des 8. bis 1. Viertel des 9. Jahrhunderts (Foto: Paul Bayer)

Bis auf das Beispiel von Mariahof sind weitere in das Frühmittelalter zu datierende Marmorobjekte im Umfeld der Marmorvorkommen auf der Kor- und Gleinalpe und im Süden der Wölzer Tauern – geologisch handelt es sich dabei um Marmore des Rappold-Komplexes [79] –, wie im Lavanttal und im Oberen Murtal, bislang unbekannt. Diese Tallandschaften liegen historisch im Randbereich von Karantanien und außerhalb des Kerngebiets der Verbreitung von frühmittelalterlichen Flechtwerksteinen; eine breite Marmorverwendung wäre hier gar nicht zu erwarten.

## 6. Zusammenfassung

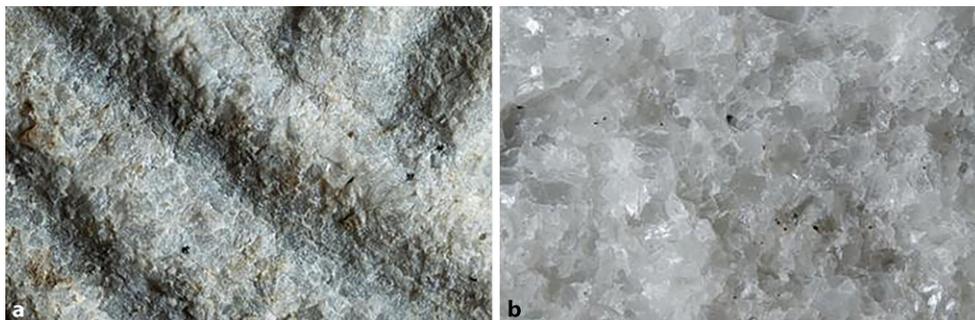
Vor dem Hintergrund der wenigen Zeugnisse frühmittelalterlicher Marmorverwendung im Ostalpenraum nimmt der hier vorgestellte archäologische Befund im Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen auf der Koralpe eine wichtige Rolle ein. Der aus einer Brandschicht stammende Hammerschlag bezeugt nämlich eine mit der Marmorgewinnung zusammenhängende Schmiedetätigkeit im 8. und 9. Jahrhundert n. Chr. An dieser Stelle wurden demnach Eisenobjekte geschmiedet bzw. instandgehalten, bei denen es sich aufgrund des Kontextes wohl nur um Steinbruchwerkzeuge handeln kann.

Der frühmittelalterliche Hammerschlag vom Spitzelofen tritt plättchenförmig auf, jedoch wurden auch einige kugelige Aggregate gefunden. Der typische Hammerschlag besteht aus den Eisenoxiden Wüstit ( $\text{FeO}$ ), Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) und Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), jedoch können auch verschiedene Eisenhydroxyde vorliegen, wenn metallisches Eisen vorlag und korrodierte. Aufgrund der geringen Probenmenge wurden keine Anschliffe durchgeführt, wodurch auch keine Fayalitschlacke und kein metallisches Eisen nachgewiesen werden konnten. EDX-Analysen des Hammerschlags zeigten nur geringe Verunreinigungen mit Ca, Fe, Al und Si. Plättchenförmiger Hammerschlag entsteht durch Diffusion und Oxidbildung (Verzunderung) während des Erhitzens der Werkstücke, wobei es beim Schmiedevorgang zur Abplatzung der spröden Oxidschichten kommt. Kugelförmiger Hammerschlag bildet sich durch Wegspritzen von flüssigem Metall oder flüssiger Schlacke, wofür höhere Schmiedetemperaturen notwendig sind ( $> 1200^\circ\text{C}$ ).

Steinbruchwerkzeuge mussten in regelmäßigen Abständen „nachgeschärft“ werden, um die Effektivität des Werkzeugs zu erhalten. Dies erfolgte in einfachen Feldschmieden direkt im Nahbereich der Steinbrüche, zumeist von den Steinbrucharbeitern selbst. Für diese Nachbearbeitung war es vermutlich nicht notwendig, das gesamte Werkzeug auf Schmiedetemperatur zu erwärmen, sondern nur so weit, dass die gewünschte Reparatur durchgeführt werden konnte.

Der Umfang der frühmittelalterlichen Marmorgewinnung am Spitzelofen ist sicherlich als gering zu bezeichnen, da die Abbauwände bis heute von sehr regelhaften und einheitlichen Schrämmspuren überzogen sind, die mit dem Abbau während der römischen Kaiserzeit in Verbindung stehen. Vom kaiserzeitlichen Abbausystem abweichende Spuren sind nur im Bereich der Sohle des Steinbruchs GO 38 bekannt, wo auch die Brandschicht mit dem Hammer-

Abb. 13: Optischer Vergleich der Marmorstruktur (Bildbreite jeweils 3 cm); **a** verwitterte Marmoroberfläche am Flechtwerkstein von Mariahof; **b** frische Bruchfläche eines typischen Marmors vom Spitzelofen. (Fotos: Paul Bayer)



schlag freigelegt wurde. Da der Marmorbedarf im Frühmittelalter im Vergleich zur römischen Kaiserzeit gering war, ist eher davon auszugehen, dass die im Steinbruchrevier verbliebenen Roh- und Halbfertigprodukte sowie Ausschuss- und Abfallprodukte zur weiteren Nutzung herangezogen wurden und gar kein Marmor frisch gebrochen werden musste.

**Danksagung.** Unser Dank für die Bereitstellung von Abbildungen, Informationen und Literatur gilt Paul Bayer, MA (Archaeogon, Graz), Dr. Folke Damminger (Landesamts für Denkmalpflege Baden-Württemberg, Karlsruhe), Dr. Bart Jaski (Universitätsbibliothek Utrecht), Dr.<sup>in</sup> Daša Pavlovič (Narodni muzej Slovenije, Ljubljana), Ao. Univ.-Prof. Dr. Walter Prochaska (Österreichische Akademie der Wissenschaften, Österreichisches Archäologisches Institut, Wien), Arietta Ruß (Württembergische Landesbibliothek Stuttgart), Wolfgang Scheiblechner (Pal-fau), Univ.-Prof. Vincent Serneels (Universität Freiburg/Université de Fribourg, Departement für Geowissenschaften), Dr. Gerd Stegmaier (Eberhard Karls Universität Tübingen, Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters), Mag.<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> Astrid Steinegger (Bundesdenkmalamt, Landeskonservatorat für Kärnten, Klagenfurt), Dr. Georg Tiefengraber (Naturhistorisches Museum Wien) und Dr. Peter Turk (Narodni muzej Slovenije, Ljubljana).

**Funding.** Open access funding provided by TU Wien (TUW).

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

- Karl, S.: Das römerzeitliche Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten, Montanarchäologische Forschungen. Fundberichte aus Österreich, Beiheft, Bd. 1. Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H, Wien, S. 95–98 (2021). Mit Beiträgen von P. Bayer, M. Grabner, M. Hainzmann, R. Haubner, Chr. A. Hauzenberger, A. G. Heiss, K. Layr, D. Modl, W. Prochaska, S. Strobl, B. Toškan, E. Wächter, M. Weißl und S. Wiesinger
- Jantsch, F.: Antike Bodenforschung in Kärnten 1930. Ausgrabungen am römischen Steinbruch Spitzelofen im Lavanttal. Carinthia I **121**, 2–6 (1931)
- Zotz, T.: Schriftquellen zum Bergbau im frühen Mittelalter. In: Steuer, H., Zimmermann, U. (Hrsg.) Montanarchäologie in Europa. Berichte zum Internationalen Kolloquium „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg im Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990, Archäologie und Geschichte, Bd. 4, S. 188–193. Jan Thorbecke, Sigmaringen (1993)
- Ludwig, K.-H.: Das Eisen in den Schriftquellen des Frühmittelalters. *Ferrum* **71**, 16–26 (1999)
- Beck, H.: Der kunstfertige Schmied – ein ikonographisches und narratives Thema des frühen Mittelalters. In: Andersen, F.G., Nyholm, E., Powell, M., Stubkjær, F.T. (Hrsg.) Medieval Iconography and Narrative. A Symposium. Proceedings of the Fourth International Symposium organized by the Centre for the Study of Vernacular Literature in the Middle Ages, held at Odense University on 19–20 November, 1979, S. 15–37. University Press, Odense (1980)
- Roth, H.: Kunst und Handwerk im frühen Mittelalter – Archäologische Zeugnisse von Childerich I. bis zu Karl dem Großen. Konrad Theiss, Stuttgart, S. 64–65 (1986)
- Amrein, H., Binder, E.: Mit Hammer und Zange an Esse und Amboss – Metallgewinnung und Schmiedekunst im frühen Mittelalter. In: Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.) Die Alamannen [Ausstellungskatalog], hier, Bd. 360, S. 359–370. Theiss, Stuttgart (1997)
- Oehrl, S.: Bildliche Darstellungen vom Schmied Wieland und ein unerwarteter Auftritt in Walhall. In: Pesch, A., Blankenfeldt, R. (Hrsg.) Goldsmith Mysteries—Archaeological, pictorial and documentary evidence from the 1st millennium AD in northern Europe, Schriften des Archäologischen Landesmuseums, Ergänzungsreihe, Bd. 8, S. 279–332. Wachholtz, Neumünster (2012). Papers presented at a workshop organized by the Centre for Baltic and Scandinavian Archaeology (ZBSA), Schleswig, October 20th and 21st, 2011
- Müller-Wille, M.: Der frühmittelalterliche Schmied im Spiegel skandinavischer Grabfunde. *Fruhmittelalt. Stud.* **11**, 127–201 (1977)
- Henning, J.: Schmiedegräber nördlich der Alpen – Germanisches Handwerk zwischen keltischer Tradition und römischem Einfluß. *Saalburg Jahrb.* **46**, 74–81 (1991)
- Tobias, B.: Frühmittelalterliche Gräber mit Beigabe von Werkzeugen zur Metallbearbeitung. Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Bd. 153. Verlag des RGZM, Mainz (2021). 2. Bde
- Pleiner, R.: Die Technologie des Schmiedes in der Großmährischen Kultur. *Slov. Archaeol.* **15**(1), 77–188 (1967)
- Pleiner, R.: Eisenschmiede im frühmittelalterlichen Zentraleuropa. Die Wege zur Erforschung eines Handwerkszweiges. *Fruhmittelalt. Stud.* **9**, 79–92 (1975)
- Westphal, H.: Franken oder Sachsen – Untersuchungen an frühmittelalterlichen Waffen. *Studien zur Sachsenforschung*, Bd. 14. Isensee, Oldenburg (2002)
- Mehofer, M.: Technologische Analysen an der Spatha von Hohenberg, Steiermark. *Archaeol. Austriaca* **2005**(89), 251–254 (2007)
- Eichert, S., Mehofer, M., Baier, R.: Archäologische und archäometallurgische Untersuchungen an einer karolingerzeitlichen Flügelanzenspitze aus dem Längsee in Kärnten/Österreich. *Archäol. Korrespondenzbl.* **41**(1), 139–154 (2011)
- Eichert, S., Mehofer, M.: Neue Analysen an alten Waffen – Zur Archäologie und Archäometallurgie frühmittelalterlicher Waffen

- aus dem Museum der Stadt Villach. *Neues Aus Alt-villach* **51**, 7–36 (2014)
18. Scheiblechner, W.: Nachschmiedung der Spatha von Hohenberg, Steiermark. *Archaeol. Austriaca* **2005**(89), 255–267 (2007)
  19. Pleterski, A.: Sebenjski zaklad / Der Hortfund von Sebenje. *AV* **38**, 237–330 (1987)
  20. Knific, T.: Early mediaeval hoards of iron items in Slovenia. *Archaeol. Adriat.* **4**(1), 85–99 (2010)
  21. Bitenc, P., Knific, T.: Zgodnjesrednjeveški zakladi železnih predmetov z Gorjancev, Starega gradu nad Uncem in Ljubične nad Zbelovsko Goro / Early medieval ironwork hoards from the Gorjanci Hills, Stari grad above Unec and Ljubična above Zbelovska Gora. *AV* **66**, 103–146 (2015)
  22. Lauerer, E., Scheiblechner, W.: Ein frühmittelalterlicher Schmiedepotfund von Wegscheid am Kamp, Niederösterreich. *Slov. Archaeol.* **65**(1), 81–98 (2017)
  23. Bialeková, D.: Eisenbarren. In: Wiczorek, A., Hinz, H.-M. (Hrsg.) *Europas Mitte um 1000. Beiträge zur Geschichte, Kunst und Archäologie*, Bd. 1, S. 201–202. Konrad Theiss, Stuttgart (2000)
  24. Curta, F.: New Remarks on Early Medieval Hoards of Iron Implements and Weapons. In: Macháček, J., Ungerman, Š. (Hrsg.) *Frühgeschichtliche Zentralorte in Mitteleuropa*. Internationale Konferenz und Kolleg der Alexander von Humboldt-Stiftung zum 50. Jahrestag des Beginns archäologischer Ausgrabungen in Pohansko bei Břeclav, 05.–09.10.2009, Břeclav, Tschechische Republik, Studien zur Archäologie Europas, Bd. 14, S. 309–332. Habelt, Bonn (2011)
  25. Furger, A.R.: Antike Stahlerzeugung – Ein Nachweis der Aufkohlung von Eisen aus Augusta Raurica. *Beiträge zur Technikgeschichte*, Bd. 2. LIBRUM Publishers & Editors, Basel, Frankfurt a.M., S. 85–86 (2019)
  26. Pleiner, R.: Vom Rennfeuer zum Hochofen. Die Entwicklung der Eisenverhüttung, 9.–14. Jahrhundert. In: Lindgren, U. (Hrsg.) *Europäische Technik im Mittelalter, 800–1200, Tradition und Innovation*. Ein Handbuch, S. 253–254. Gebr. Mann, Berlin (1996)
  27. Eichert, S., Nau, E.: Experimente zu Eisenverhüttung, Buntmetallguss und Email des Frühmittelalters, Bajuwaren Hof Kirchheim – Projekt für lebendige Archäologie des frühen Mittelalters, 2010, S. 23–24 (2011)
  28. Herdits, H.: Schweißisen – seine Herstellung, Verarbeitung und Veredelung im archäologischen Experiment (Ein kurzer Überblick zu Experimenten von 1988–1995). In: Friesinger, H., Pieta, K., Rajtár, J. (Hrsg.) *Metallgewinnung und Verarbeitung in der Antike (Schwerpunkt Eisen)*, *Archaeologica Slovaca Monographiae*, Bd. III, S. 65–67. Archeologický ústav SAV, Nitra (2000)
  29. Schwab, R., Senn, M.: Recycling von Alteisen. *Berl. Beitr. Archäomet.* **21**, 209–223 (2008)
  30. Senn Bischofberger, M.: Das Schmiedehandwerk im nordalpinen Raum von der Eisenzeit bis ins frühe Mittelalter, Bd. 5. Verlag Marie Leidorf, Rahden, S. 66–234 (2005)
  31. Schedl, B.: Der Plan von St. Gallen – Ein Modell europäischer Klosterkultur. Böhlau, Wien, Köln, Weimar, S. 39–132 (2014)
  32. Capelle, T.: Handwerk in der Karolingerzeit. In: Stiegemann, C., Wemhoff, M. (Hrsg.) *799 – Kunst und Kultur der Karolingerzeit*. Karl der Große und Papst Leo III. in Paderborn. Beiträge zum Katalog der Ausstellung Paderborn 1999, S. 424–429. Verlag Philipp von Zabern, Mainz (1999)
  33. Arwidsson, G., Berg, G.: The Mästermyr find: a viking age tool chest from Gotland. *Larson, Lompoc* (1999)
  34. Hensch, M.: Erz – Feuer – Eisen. Eine kleine Geschichte des frühen Montanwesens in der mittleren Opferpfalz. *CUTURCON* medien, Berlin, S. 39–80 (2018)
  35. Tauber, J.: Die Eisenwerker im Röserntal. In: Ewald, J., Tauber, J. (Hrsg.) *Tatort Vergangenheit – Ergebnisse aus der Archäologie heute*, S. 242–246. Wiese, Basel (1998)
  36. Giese, E.: Rekonstruktionsversuch einer frühmittelalterlichen Esse. In: Fansa, M. (Hrsg.) *Experimentelle Archäologie in Deutschland*, *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland*, Beiheft, Bd. 4, S. 405–408. Verlag Isensee, Oldenburg (1990)
  37. Westphalen, P.: Das Grobschmiedehandwerk in Haithabu. In: Melzer, W. (Hrsg.) *Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit*. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks, Soester Beiträge zur Archäologie, Bd. 5, S. 25–32. Westfälische Verlagsbuchhandlung Mocker & Jahn, Soest (2004)
  38. Eschenlohr, L., Friedli, V., Robert-Charrue Linder, C., Senn, M.: *Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien. 2. Métallurgie du fer et mobilier métallique*. *Cahiers d'archéologie jurassienne*, Bd. 14. Office de la culture et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy, S. 65–258 (2007)
  39. Leroy, M., Cabboi, L. (Hrsg.): *Produire et travailler le fer: Les ateliers de l'est du Bassin parisien du ve siècle av. J.-C. au xe siècle apr. J.-C.* *Recherches archéologiques*, Bd. 16. Inrap, CNRS Éditions, Paris, S. 142 (2019)
  40. Tortoli, F., Schreyer, S.: Neue Entdeckungen im frühmittelalterlichen Gewerbeviertel von Büsserach. *Archäol. Denkmalpfl. Kanton Solothurn* **25**, 58 (2020)
  41. Frascoli, L.: Otelfingen-Vorderdorfstrasse Kat.-Nr. 838: Siedlungsstrukturen und Funde des Frühmittelalters. *Archäol. Kanton Zürich* **04**, 11 (2021). <https://doi.org/10.20384/zop-53>
  42. Stegmaier, G., Damminger, F., Desaymonet, E.: Ein außergewöhnliches Siedlungs- und Handwerksareal der frühalamannischen bis spätmittelalterlichen Zeit in Wiernsheim. *Archäol. Ausgrab. Baden-Württemberg* **2021**, 250–251 (2022)
  43. Kern, D., Wewerka, B.: KG Thunau am Kamp, MG Gars am Kamp, VB Horn (Fundberichte 1982, Frühmittelalter, Niederösterreich). *Fundber. Österr.* **21**, 306 (1982)
  44. Hrovatin, I.M., Turk, P.: Pržanj pri Ljubljani. Naselbinska jama 17. In: Guštin, M. (Hrsg.) *Srednji vek: Arheološke raziskave med Jadranskim morjem in Panonsko nižino / Mittelalter: Archäologische Forschungen zwischen der Adria und der Pannonischen Tiefebene*, S. 146. Narodni muzej Slovenije, Ljubljana (2008)
  45. Turk, P., Laharnar, B., Istenič, J., Pavlovič, D.: Začetki metalurgije / Beginnings of Metallurgy. In: Kotar, J., Lazar, T., Fajfar, P. (Hrsg.) *Ko zapoje kovina: Tisočletja metalurgije na Slovenskem / The song of metal: Millennia of Metallurgy in Slovenia*, S. 55. Narodni muzej Slovenije, Ljubljana (2019)
  46. Bülow-Jacobsen, A.: On Smiths and Quarries. In: Kramer, B., Luppe, W., Maehler, H., Poethke, G. (Hrsg.) *Akten des 21. Internationalen Papyrologenkongresses*. Berlin, 13.–19.08.1995, *Archiv für Papyrusforschung und verwandte Gebiete*, Beiheft, Bd. 3, S. 139–145. B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig (1997)
  47. Cech, B., Walach, G.: Alpine Bergschmieden des 15. und 16. Jahrhunderts. In: Melzer, W. (Hrsg.) *Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit*. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks, Soester Beiträge zur Archäologie, Bd. 5, S. 117–128. Westfälische Verlagsbuchhandlung Mocker & Jahn, Soest (2004)
  48. Roth, H.: Ein Reihengräberfeld bei Fellbach-Schmidlen, Rems-Murr-Kreis. Mit einem Kommentar zu einigen bemerkenswerten Funden. *Fundber. Baden-Württemberg* **7**(506), 502–528 (1982)
  49. Allen, J.R.L.: Interpretation of some Romano-British smithing slag from Awre in Gloucestershire. *Hist. Metall.* **20**(2), 97–104 (1986)
  50. De Rijk, P.: Das Schmieden von Luppe und Eisen – eine Schlackebeschreibung, *Historisk-Arkaeologisk Forsogscentre Lejre. Res. Rep.* **46**, 30–34 (1994)
  51. Sim, D.: Beyond the Bloom. Bloom refining and iron artifact production in the Roman world. *BAR International Series*, Bd. 725. Archaeopress, Oxford, S. 97–145 (1998)
  52. Leblanc, J.-C.: *Sur l'identification de la chaîne opératoire de forgeage du fer antique, associée à l'archéométrie des battitures* (2002). Diss., Univ. Toulouse III 2002, 2 Bde. (Text und Annex)
  53. Leblanc, J.-C., Dabosi, F.: *Restitution de la chaîne opératoire ancienne de forgeage manuel du fer sur la base d'une étude morphométrique et minéralogique des oxydes de fer (Recovery of the ancient sequence of iron hand forging based on a morphometric and mineralogic study of iron oxides)*. *Matér. Tech.* **92**(5–6), 3–12 (2004). <https://doi.org/10.1051/mattech:2004023>
  54. Pleiner, R.: Iron in Archaeology: Early European Blacksmiths. *Archeologický ústav AV ČR, Praha*, S. 110–112 (2006)
  55. Dungworth, D., Wilkes, R.: *An Investigation of Hammerscale—Technology Report*. Research Department Report Series, Bd. 26. English Heritage, Portsmouth (2007)

56. Dungworth, D., Wilkes, R.: Understanding Hammerscale: the use of high-speed film and electron microscopy. *Hist. Metall.* **43**(1), 33–46 (2009)
57. Young, T.: Some preliminary observations on hammerscale and its implications for understanding welding. *Hist. Metall.* **45**(1), 26–41 (2011)
58. Jouttijärvi, A.: Scales and spheres. *Hist. Metall.* **2014**(48), 41–46 (2015)
59. Soullignac, R.: Les scories de forge du Pays dogon (Mali). Entre ethnoarchéologie, archéologie expérimentale et archéométrie. LI-BRUM, Hochwald, Basel, S. 30–148 (2017)
60. Rodier, J., Serneels, V.: Geochemical link between slag inclusion and hammerscale, a potential new tool to better understand the iron supply of an archaeological workshop. *Metallogr. Microstruct. Anal.* **12**, 312–326 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13632-023-00951-5>
61. Thiele, Á., Török, B.: A possible medieval recycling technique—smelting iron using hammerscale. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **1246**, 9 (2022). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1246/1/012008>
62. Young, D.J. (Hrsg.): *High Temperature Oxidation and Corrosion of Metals*, 2. Aufl. Elsevier, Cambridge (2016)
63. Paidassi, J.: Contribution à l'étude de l'oxydation du fer dans l'air dans l'intervalle 700–1250°C. *Rev. Métall.* **54**(8), 569–585 (1957). <https://doi.org/10.1051/metal/195754080569>
64. Schmahl, N.G., Baumann, H., Schenck, H.: Die Temperaturabhängigkeit der Verzunderung von reinem Eisen in Sauerstoff. *Arch. Eisenhüttenwes.* **29**(2), 83–88 (1958). <https://doi.org/10.1002/srin.195802678>
65. Tuck, C.W., Odgers, M., Sachs, K., Reinbold, B.G.: Die Verzunderungsgeschwindigkeit von reinem Eisen und Weichstahl in Sauerstoff, Wasserdampf und Kohlendioxid bei Temperaturen zwischen 850 und 1000°C. *Mater. Corros.* **17**(1), 34–48 (1966). <https://doi.org/10.1002/maco.19660170106>
66. Garnaud, G., Rapp, R.A.: Thickness of the oxide layers formed during the oxidation of iron. *Oxid. Met.* **11**, 193–198 (1977). <https://doi.org/10.1007/BF00606543>
67. Larsson, H., Jonsson, T., Naraghi, R., Gong, Y., Reed, R.C., Ågren, J.: Oxidation of iron at 600°C—experiments and simulations. *Mater. Corros.* **68**, 133–142 (2017). <https://doi.org/10.1002/maco.201508781>
68. Karl, S., Modl, D., Strobl, S., Haubner, R.: Untersuchungen von Hammerschlag aus einer Schmiedeesse im römerzeitlichen Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten, Österreich. *Berg. Hüttenmännische Monatsh.* **166**(7), 375 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00501-021-01123-0>
69. Koželj, T.: Extraction of Blocks in Antiquity: Special Methods of Analysis. In: Herz, N., Waelkens, M. (Hrsg.) *Classical Marble: Geochemistry, Technology, Trade*, NATO ASI Series E: Applied sciences, Bd. 153, S. 31–39. Kluwer Academic, Dordrecht, Boston, London (1988)
70. Karl, S.: Das römerzeitliche Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten, Montanarchäologische Forschungen. *Fundberichte aus Österreich, Beiheft*, Bd. 1. Ferdinand Berger & Söhne, Wien, S. 67–75 (2021). Mit Beiträgen von P. Bayer, M. Grabner, M. Hainzmann, R. Haubner, C. A. Hauzenberger, A. G. Heiss, K. Layr, D. Modl, W. Prochaska, S. Strobl, B. Toškan, E. Wächter, M. Weißl und S. Wiesinger, Taf. 24–34
71. Gruber, G.: *Die Marmorausstattung frühchristlicher Kirchen im Ostalpenraum* (1997). Diss., Universität Wien
72. Djurić, B., Müller, H.W.: White Marbles in Noricum and Pannonia: an outline of the Roman Quarries and their Products. In: Jockey, P. (Hrsg.)  $\Delta\text{EYK}\text{O}\Sigma\ \Lambda\text{I}\Theta\text{O}\Sigma$ . *Marbres et autres roches de la Méditerranée antique: études interdisciplinaires*, S. 111–127. Éditions Karthala, Paris (2011). *Interdisciplinary Studies on Mediterranean Ancient Marble and Stones, Actes du VIII<sup>e</sup> Colloque international de l'Association for the Study of Marble and Other Stones used in Antiquity (ASMOSIA)*, Aix-en-Provence, 12–18 juin 2006
73. Karpf, K.: Frühmittelalterliche Flechtwerksteine in Karantanien. *Marmorne Kirchengeschichten aus sassilonisch-karolingischer Zeit. Monographien zur Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie*, Bd. 8. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck (2001)
74. Gleirscher, P.: *Die karolingischen Flechtwerksteine aus Karantanien. Aus Forschung und Kunst*, Bd. 45. Verlag des Geschichtsvereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 121 (2019)
75. Harl, F., Harl, O.: *Ubi Erat Lupa*. <https://lupa.at/1556>
76. Piccotti, G.: *Die Römersteinsammlung des Landesmuseums für Kärnten*. Verlag des Geschichtsvereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 182–185 (1996)
77. Brunner, W., Hebert, B., Lehner, S.: Ein neuer Flechtwerkstein und die Gebeine der „heiligen“ Beatrix. Überlegungen zum Frühmittelalter in Mariahof. *Mitt. Steiermärkischen Landesarch.* **52/53**, 65–101 (2004)
78. Persönliche Mitteilung von Ao. Univ.-Prof. Dr. Walter Prochaska (Österreichische Akademie der Wissenschaften, Österreichisches Archäologisches Institut, Wien)
79. Karl, S.: Die provinzialrömischen Steindenkmale aus Marmor von Flavia Solva – Zur Herkunft des Materials (Teil 1). *Sprechende Steine* **35**, 23–35 (2021)

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.