



# Metallographische Untersuchungen an einem hochmittelalterlichen Schwert aus Enzelsdorf, Gemeinde Fernitz-Mellach, Steiermark, Österreich

Susanne Strobl<sup>1</sup>, Roland Haubner<sup>1</sup>, Christoph Gutjahr<sup>2</sup> und Daniel Modl<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>2</sup>Kulturpark Hengist, Wildon-Weitendorf, Österreich

<sup>3</sup>Abteilung Archäologie & Münzkabinett, Universalmuseum Joanneum, Graz, Österreich

Eingegangen 26. November 2025; angenommen 2. Dezember 2025

**Zusammenfassung:** Ein aus dem 12./13. Jahrhundert stammendes Eisenschwert aus Enzelsdorf in der Steiermark (Österreich) wurde metallographisch untersucht. Dazu wurden zwei Proben aus der Klinge und eine Probe aus der Griffangel entnommen. Aufgrund der fortgeschrittenen Korrosion war die Schwertschneide nicht mehr vorhanden. Im metallischen Eisen der Klinge wurden stark unterschiedliche Gefüge des Fe-C-Systems gefunden, die auf unterschiedliche Kohlenstoffkonzentrationen und Abkühlbedingungen zurückgeführt werden können. Für das Schwert wurden verschiedene Eisenstücke mittels Feuerschweißen verbunden und danach zur Schwertform ausgeschmiedet. Hinweise auf eine gezielte Anwendung der Damascener-Technik wurden nicht gefunden. Es ist auch anzunehmen, dass die Schwertklinge final durch Abschrecken gehärtet wurde.

**Schlüsselwörter:** Schwert, Mittelalter, Eisen, Metallographie

**Metallographic Investigations on a High Medieval Sword from Enzelsdorf, Municipality of Fernitz-Mellach, Styria, Austria**

**Abstract:** An iron sword dating from the 12th/13th century, found in Enzelsdorf in Styria (Austria), was examined metallographically. Two samples were taken from the blade and one sample from the tang. Due to advanced corrosion, the sword's cutting edge was no longer present. Significantly different microstructures of the Fe-C-system were found in

the metallic iron of the blade, which can be attributed to different carbon concentrations and cooling conditions. For the sword, various pieces of iron were joined by fire welding and then forged into the sword shape. No evidence of a deliberate application of the Damascus technique was found. It can also be assumed that the sword blade was finally hardened by quenching.

**Keywords:** Sword, Medieval time, Iron, Metallography

## 1. Fundumstände und Verbleib

Im Oktober 2008 wurde südwestlich der Ortschaft Enzelsdorf im Grazer Becken im Zuge der Kies- und Schottergewinnung mittels Nassbaggerung ein für die Steiermark seltener Waffenfund aus dem Hochmittelalter getätigt. Mit einem Kettenbagger wurde in der Schottergrube von Heimo Ecker-Eckhofen (Unternehmensverbund Fernitz-Mellach/Graz) ein Eisenschwert gehoben (Abb. 1), das von der maschinellen Brech- und Siebanlage ausgesondert und vom Betriebsführer des damaligen Schottergrubenpächters (Wilfling GmbH), Siegfried Verwüster, zu jenen Metallteilen bei der Aufbereitungsanlage gelegt wurde, für die kein weiterer Verwendungsanspruch bestand. Dort entdeckte durch Zufall der Eigentümer der Schottergrube, Heimo Ecker-Eckhofen, den auffälligen Gegenstand, erkannte dessen archäologisch-historische Bedeutung und finanzierte daraufhin die Konservierung und Restaurierung des Schwertes durch den Restaurator Robert Fürhacker und die Restauratorin Anne-Kathrin Klatz (Gutenberg bei Weiz). In deren Rahmen erfolgten am 18. März 2009 am Lehrstuhl für Gießereikunde der Montanuniversität Leoben auch Röntgenaufnahmen des Schwertes. Im August 2009 übergab Ecker-Eckhofen das Schwert dem Verein Kulturpark Hengist als Dauerleihgabe für das im Schloss

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

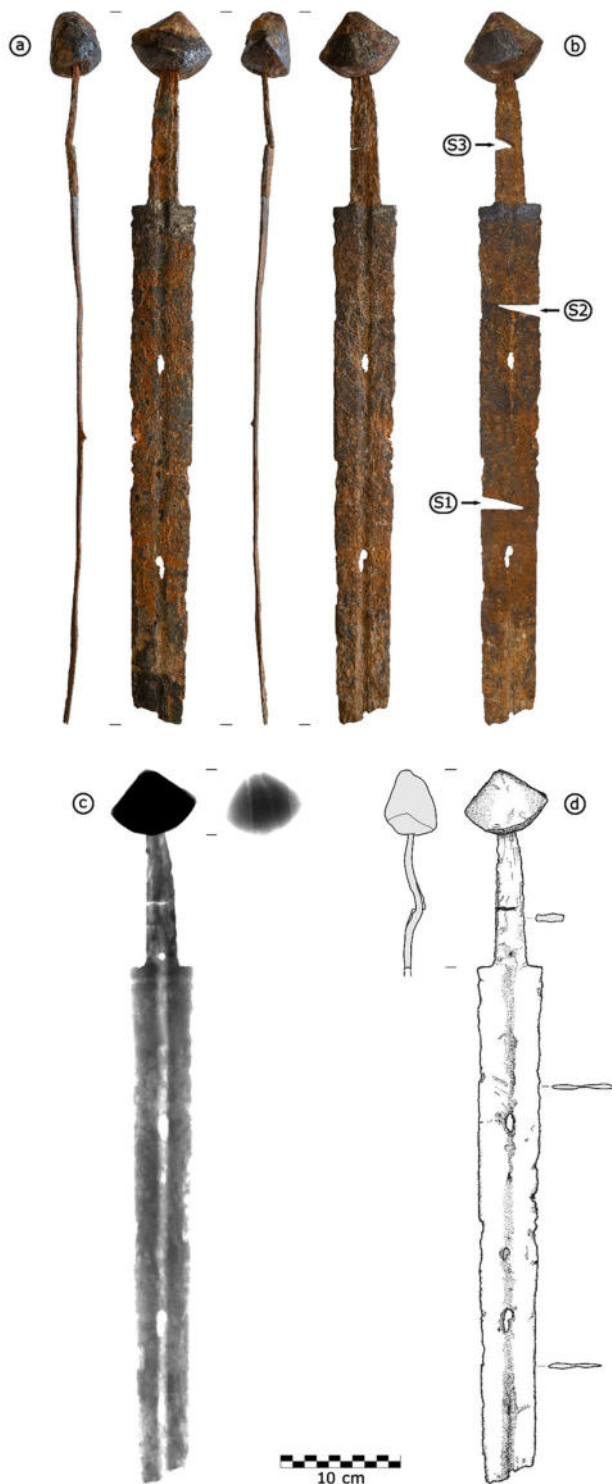


Abb. 1: Das hochmittelalterliche Schwert aus Enzelsdorf: **a** 3D- bzw. SfM-Modell, **b** Foto mit den Probeentnahmestellen (Schnitte S1–S3), **c** Röntgenaufnahme und **d** Umzeichnung. (Grafik: [a] KP Hengist/Archaeogon, P. Bayer, [b] D. Modl, [c] Lehrstuhl für Gießereikunde – Montanuniversität Leoben, [d] KP Hengist/J. Kraschitzer)

Wildon beheimatete Hengist-Museum, wo es seither – dem Wunsch des Eigentümers entsprechend – der Allgemeinheit zugänglich ist. Im Verlauf des Juli 2025 wurde das

Schwert mittels Structure from Motion (SfM) von Paul Bayer (Archaeogon) dokumentiert (Abb. 1a) und für die metallographische Untersuchung von Daniel Modl an Klinge und Griffangel beprobt (Abb. 1b).

## 2. Beschreibung und Erhaltung

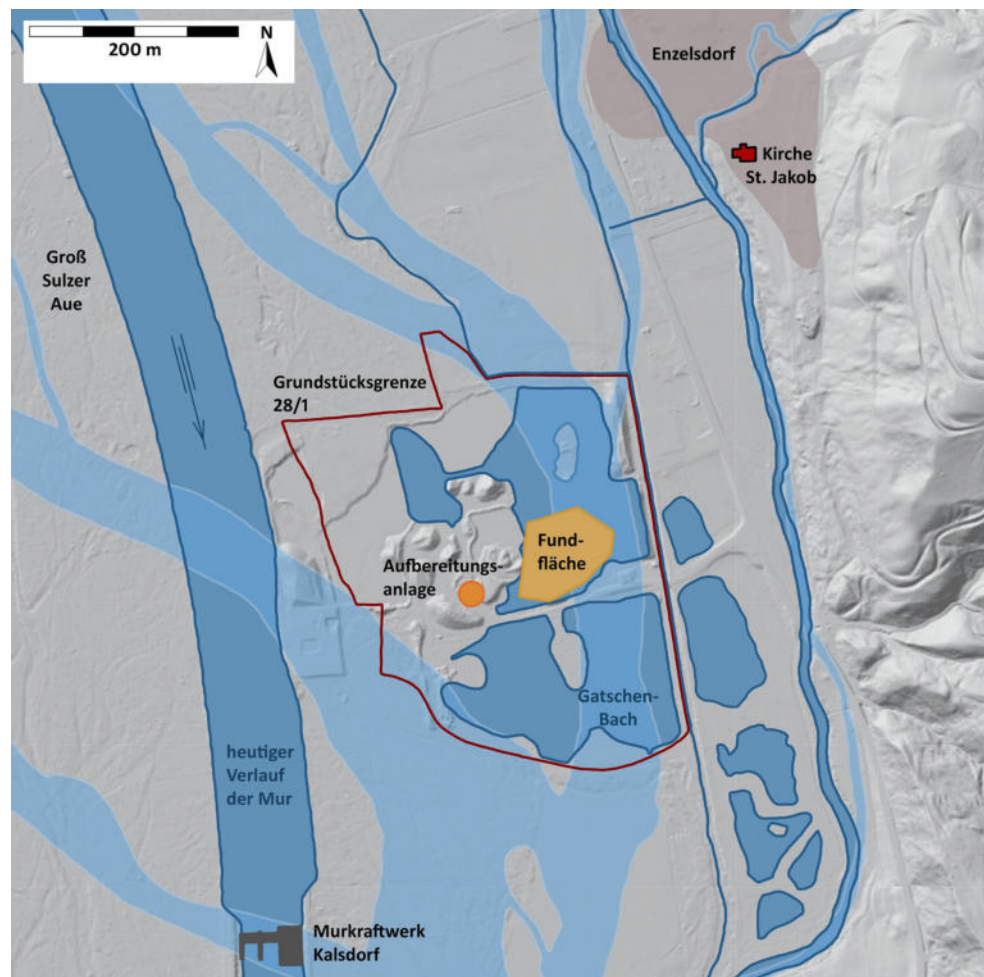
Das Schwert ist stark korrodiert, leicht gewölbt und unvollständig erhalten (Abb. 1a). Es fehlen der vordere Teil der Klinge und die Parierstange. Aufgrund der fortgeschrittenen Korrosion und von Bestoßungen ist auch die eigentliche Schwertschneide nicht mehr vorhanden. Die Klinge besitzt über die gesamte erhaltene Länge eine Hohlkehle und verjüngt sich zur Klingenspitze hin leicht. Aufgrund der geringen Materialstärke haben sich im Bereich der Hohlkehle zwei Korrosionslöcher gebildet. Die Griffangel zeigt zudem einen deutlichen Querriss. Weitere Informationen liefern die Röntgenaufnahmen des Schwertes, die am Beginn der Griffangel ein – heute zukorrodiertes – Loch deutlich erkennen lassen und zeigen, dass der paranussförmige Knauf asymmetrisch auf die Angel gesetzt wurde (Abb. 1c).

Die Abmessungen des Schwertes sind: erhaltene Länge 58,6 cm; erhaltene Klingenlänge ab Parierstange 43,0 cm; Klingebreite an der Klingenwurzel 5,3 cm; Klingebreite an der Klingenmitte 4,3 cm; Klingendicke an der Klingenwurzel 0,6 cm; Klingendicke an der Klingenmitte 0,3 cm; erhaltene Länge der Hohlkehlung 42 cm; Breite der Hohlkehlung 0,9 cm; sichtbare Länge der Griffangel 10,4 cm; Breite der Griffangel 1,5–2,6 cm; Dicke der Griffangel 0,4–0,6 cm; Knaufhöhe 6,6 cm; Knaufbreite 4,2 cm; Knaufhöhe 5,0 cm. Das Gewicht beträgt 853,8 g.

## 3. Fundort und Kontext

Die genaue Fundstelle des Schwertes liegt an der östlichen Seite der Mauer bei Enzelsdorf, auf dem Grundstück 28/1 (Gemeinde Fernitz-Mellach, KG Mellach), und lässt sich innerhalb des heutigen Schotterteichs auf eine Fläche von rund 4500 m<sup>2</sup> einschränken (Abb. 2). Vor der Regulierung der Mauer und ihrer Seitenarme im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts war die Geländesituation im Bereich der Fundfläche eine gänzlich andere. Wie die Riedkarte des Franziszeischen Katasters von 1820 zeigt, lag sie damals am Übergang einer Aulandschaft (Groß Sulzer Aue) zu einem Nebenarm der Mauer (Gatschen-Bach) [1]. Diese Gegebenheiten dürften auch für das Mittelalter gelten, wobei die Uferverläufe in den letzten 800 Jahren wohl starken Veränderungen unterworfen waren. Aus diesem Grund ist das Schwert als Feuchtbodenfund, wenn nicht gar als Gewässerfund zu klassifizieren. Dass es sich bei der Fundfläche auch um den ursprünglichen Ort der Einbettung handelt, ist anzunehmen, da das Schwert keine Abriebspuren aufweist, die von einem längeren Wasser- und Geschiebetransport stammen. Bestoßungen an der Klinge sowie das Fehlen der Klingenspitze und der Parierstange sprechen für eine stärkere physikalische Beanspruchung des Schwertes, wobei hier auch die Bergungsumstände mit dem Bagger und der Aufenthalt in der Aufbereitungsanlage zu berücksichtigen

Abb. 2: Die Fundfläche des hochmittelalterlichen Eisenschwertes mit der Lage von Enzelsdorf und der Kirche St. Jakob sowie dem alten Verlauf der Mur und ihren Seitenarmen (Gatschen-Bach) auf Basis des Franziszeischen Katasters von 1820 (Grafik: D. Modl)



sind, die zu Beschädigungen oder zum Verlust von Teilen hätten führen können.

Da es sich bei dem vorliegenden Schwert um einen Zufallsfund ohne archäologischen Kontext handelt, ist gänzlich unklar, warum ein so wertvoller Gegenstand, wie dieses Schwert, genau an dieser Stelle in den Boden kam bzw. im Gewässer landete. Sämtliche Erklärungsversuche sind spekulativ. Überlegenswert erscheint eine profane Interpretation als Verlustfund; möglicherweise ist es bei einer Flussüberquerung ins Wasser gefallen oder bei einem Reitunfall oder Kampf verloren gegangen. Eher zu verwerfen ist die Annahme einer rituellen Handlung oder religiösen Gabe, auch wenn in der bereits nachhaltig christlich geprägten Welt des Hoch- bzw. Spätmittelalters eine rituelle Niederlegung mit Opferungshintergrund nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann [2, 3].

#### 4. Datierung und Zuweisung

Die Form des Enzelsdorfer Schwertes entspricht höchstwahrscheinlich dem Typ Oakeshott XI-E, mit dem Schwerter umschrieben sind, die zum einen eine lange, recht schlanke Klinge (85–95cm) sowie eine schmale Hohlkehle aufweisen, und zum anderen einen paranussförmigen Knauf mit

deutlich konvexer Unterseite und dreiecksförmiger Wölbung der Oberlinie (E) [4]. In der Kombination von zu vermutender Klinge und Knauf erscheint eine Datierung des Schwertes an die Wende vom 12. zum 13. Jahrhundert oder in das erste Drittel des 13. Jahrhunderts als wahrscheinlich. Ein sehr gut vergleichbares, qualitativ hochwertiges und wesentlich besser erhaltenes Schwert ist ein Exemplar aus dem Donauschotter der sogenannten Ringelau bei Steyregg, das an die Wende vom 12. zum 13. Jahrhundert gestellt wird. Im Unterschied zum Enzelsdorfer Exemplar weist das Schwert aus Steyregg eine Inschrift auf [5]. Als Analogien können ferner Schwerter aus der Hofjagd- und Rüstkammer in Wien (möglicherweise 13. Jhd) [6], und aus einer Schottergrube in Neubau im Unteren Trauntal (Wende 12./13. Jhd) [3], angeführt werden. Beide Schwerter besitzen ebenfalls einen Knauf des Typs E nach Oakeshott.

Den ursprünglichen Besitzer des steirischen Schwertes wird man im Umfeld des ab der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts schriftlich belegten Rittergeschlechts von Enzelsdorf vermuten dürfen. Die historische Forschung erkennt in der 1152 erstmals urkundlich erwähnten Filialkirche St. Jakob in der Ortschaft Enzelsdorf die ehemalige Hofkapelle der Enzelsdorfer (Abb. 2). In deren Nähe wird auch ein fester Wehrbau des Geschlechts vermutet. Das Schwert wurde nur etwa 400m südwestlich der Filialkirche St. Jakob

und der angenommenen Stelle des Wehrbaus gefunden. Nicht auszuschließen ist auch ein Bezug zum Geschlecht der Murberger, deren Wehrbau am Murberg in der Katastralgemeinde Mellach, ungefähr 1500m Luftlinie südlich der Schwertfundstelle, vermutet wird [7].

## 5. Forschungsstand und Fragestellungen

Mittelalterliche Schwerter verbanden ästhetische und symbolische Funktion mit herausragenden mechanischen Eigenschaften, was beispielsweise die Streckgrenze und Bruchzähigkeit betraf [6, 8]. Aufgrund ihrer komplexen Herstellung illustrieren sie nicht nur die damaligen metallurgischen Fähigkeiten des Schmieds, sondern bilden einen wichtigen Forschungsgegenstand zum Verständnis der europäischen Eisenverarbeitung und Schmiedekunst während des Mittelalters [9, 10].

Die naturwissenschaftliche Untersuchung hochmittelalterlicher Schwerter aus Mitteleuropa und bedingt durch die Kreuzzüge auch aus dem östlichen Mittelmeerraum liefert zentrale Erkenntnisse zur Werkstoffwahl und der Herstellungstechnik von der Mitte des 11. bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts [11–13]. Aus Österreich liegen dabei mehrere – teils in der metallurgischen Analyse kritisch zu sehende – Untersuchungen von hochmittelalterlichen Schwertern vor, die aus der Donau und ihren Nebenflüssen zwischen Passau und Hainburg geborgen wurden [3, 5, 14–17]. Die naturwissenschaftliche Untersuchung frühmittelalterlicher Schwerter und ihre Nachschmiedung fließt dabei oft als

technologischer Vergleichshorizont in die Untersuchung dieser Schwerter ein, da sie längerfristige Entwicklungen in Materialqualität oder der Schweißtechniken sichtbar macht [18–24].

Metallographische Schlitte, Licht- und Rasterelektronenmikroskopie ermöglichen dabei die Identifikation charakteristischer Gefügestrukturen oder nichtmetallischer Einschlüsse, während Härtemessungen Informationen zur Werkstoffqualität oder der Schweißtechnik liefern. Hinzu kommen noch nicht-destruktive, bildgebende Verfahren, wie Röntgen oder CT, die u. a. Schweißnähte, Brüche und Einschlüsse sichtbar machen [25]. Besonderes Augenmerk wird bei den Untersuchungen auch auf Schweißmuster und Verbundstrukturen gelegt, wie sie bei sogenanntem Damaszenerstahl bzw. mustergeschweißten Klingen auftreten [11, 26–28].

Durch die metallographische Untersuchung des Eisenschwerts aus Enzelsdorf sollten Informationen zur Schmiede- und Schweißtechnik im Hochmittelalter gewonnen werden.

## 6. Beprobung und Untersuchungsmethoden

Aus dem Schwert wurden mit einer Miniaturtrennscheibe unter Wasserkühlung drei keilförmige Proben – zwei aus der Klinge und eine aus der Griffangel – herausgeschnitten (Abb. 1b/S1–S3). Für die metallographische Präparation erfolgte eine Kalteinbettung in Epoxidharz. Zuerst wurde grob abgetragen, um eine möglichst große Fläche freizule-

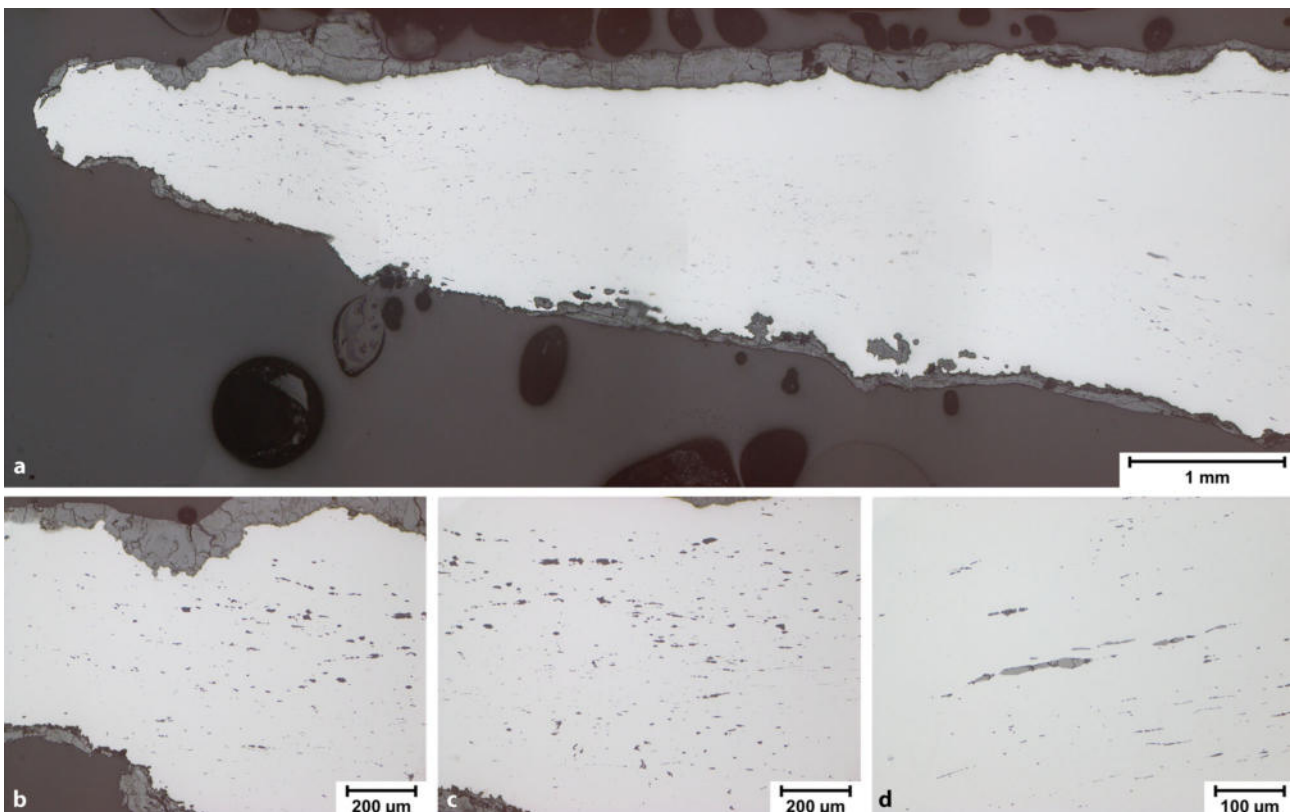


Abb. 3: Schnitt 1 aus der Klinge, Bereich der Schneide, poliert, LOM: a Übersicht; b–d Details mit Schlackeneinschlüssen

gen. Danach erfolgte eine übliche metallographische Präparation mit bis zu 1  $\mu\text{m}$  Diamantsuspension. Die Schliche wurden mit 1% Nital, 3% Nital, Klemm 2 oder aus einer Kombination von 1% Nital und Klemm 2 geätzt.

Die Untersuchung der Schliche erfolgte mittels Lichtmikroskop (LOM) und Rasterelektronenmikroskop (REM) im Rückstreuungsdetektor (BSE). Für die Elementanaly-

se im REM stand auch die energiedispersive Röntgenanalyse (EDX) zur Verfügung. Falls noch tieferliegende Bereiche untersucht werden sollten, wurde die Abtrag- und Schleifprozedur wiederholt.

Da die Eisen-Kohlenstoffgefüge sehr komplex sind, wurden auch Mikrohärtmessungen (HV 0,1) durchgeführt, um Härtegefüge besser zuordnen zu können.

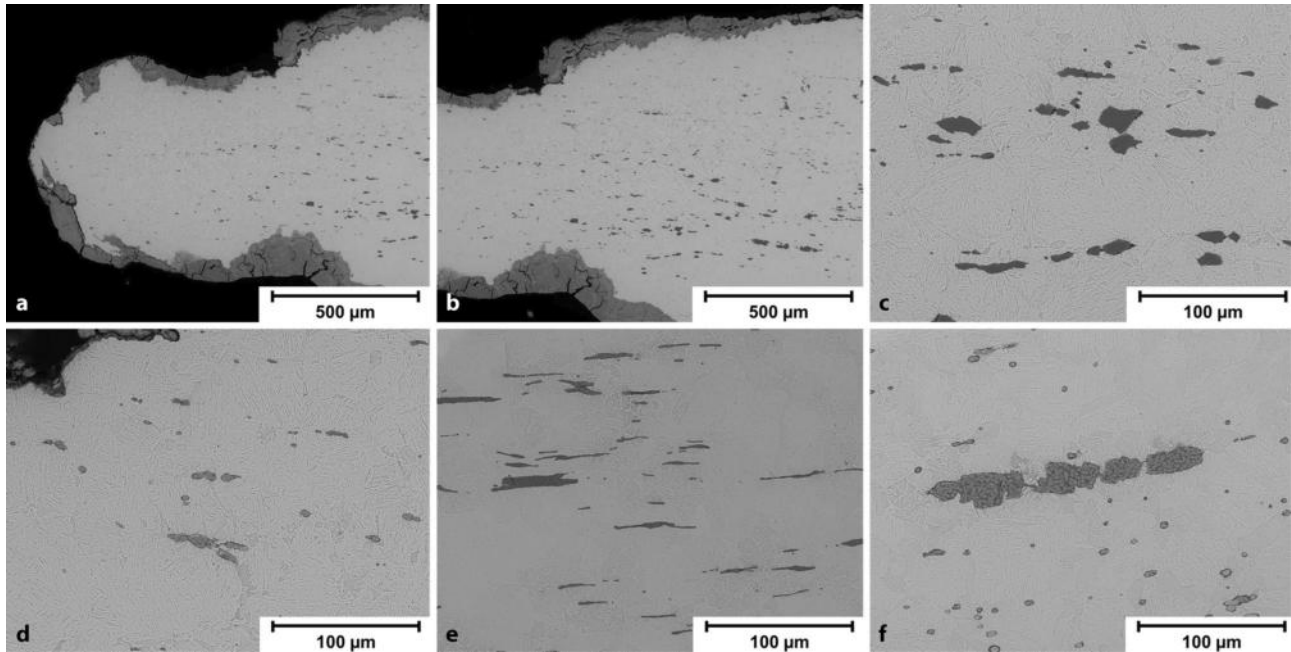
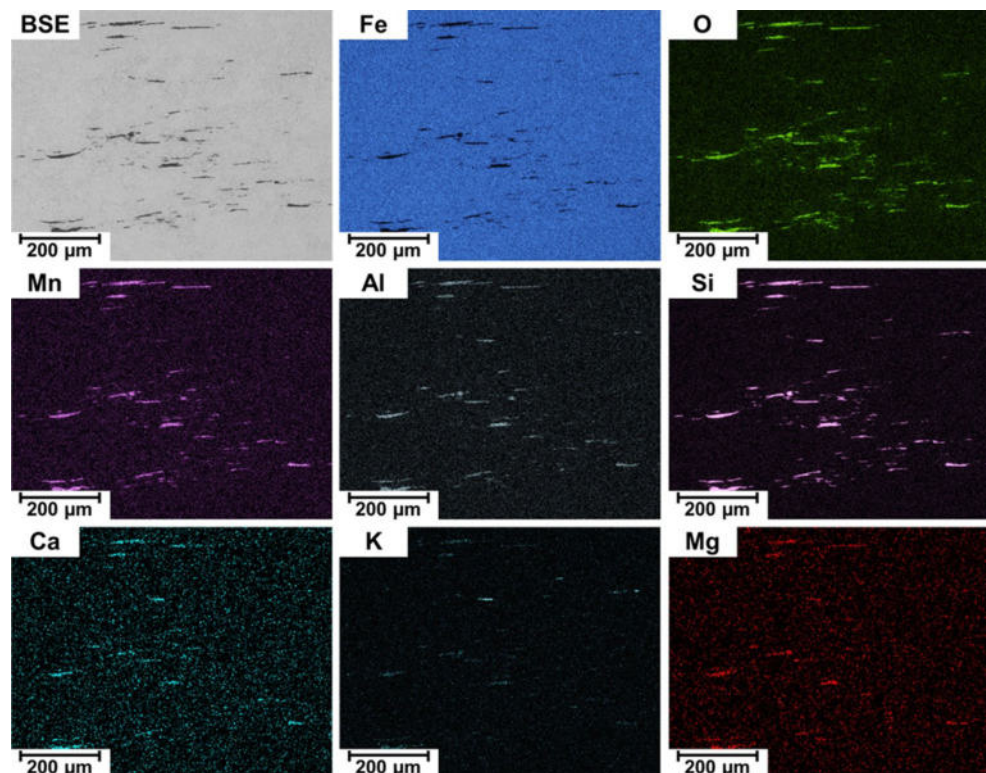


Abb. 4: Schnitt 1 aus der Klinge, Bereich der Schneide, REM: a-f unterschiedliche Einschlüsse von Schlacken und Mineralien

Abb. 5: REM-EDX Elementverteilung in einem Bereich mit Oxid- und Schlackeneinschlüssen



## 7. Untersuchungsergebnisse und Diskussion

### 7.1 Schnitt 1 (S1): Probe aus der Klinge, von der Schneide bis zur Hohlkehle

Aufgrund von Bestoßungen und Korrosion erscheint die Schwertschneide deutlich abgerundet (Abb. 3a). Die Korrosionsschicht ist zudem unterschiedlich ausgeprägt, an einer Klingenseite ist sie bis etwa 0,4 mm stark und auf der anderen nur bis etwa 0,2 mm. Dies könnte auf die unterschiedliche Einbettung der Klinge im Schotter zurückzuführen sein.

Im metallischen Eisen sind länglich geformte Einschlüsse erkennbar, die auf den Schmiedevorgang bei der Herstellung des Schwertes zurückzuführen sind (Abb. 3b–d). Diese

Einschlüsse weisen aber nicht alle eine typische Mikrostruktur von Schlacken auf, wie sie bei der Eisengewinnung entstehen [29]. Im REM-BSE erkennt man grob drei Typen (Abb. 4a, b): Einschlüsse, die im REM-BSE dunkel erscheinen, bestehen überwiegend aus  $\text{SiO}_2$  mit geringen Anteilen an Al und Mg (Abb. 4c). Dabei handelt es sich vermutlich um Quarzeinschlüsse. Hellgraue Bereiche, die  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  enthalten, würden Feldspateinschlüssen entsprechen (Abb. 4d). Derartige Einschlüsse, die nicht aus dem Verhüttungsprozess von Eisen stammen, sind vermutlich während des Feuerschweißens in den Stahl eingebracht worden. Ähnliche Einschlüsse wurden bereits in hallstattzeitlichen Eisenteilen gefunden [30].

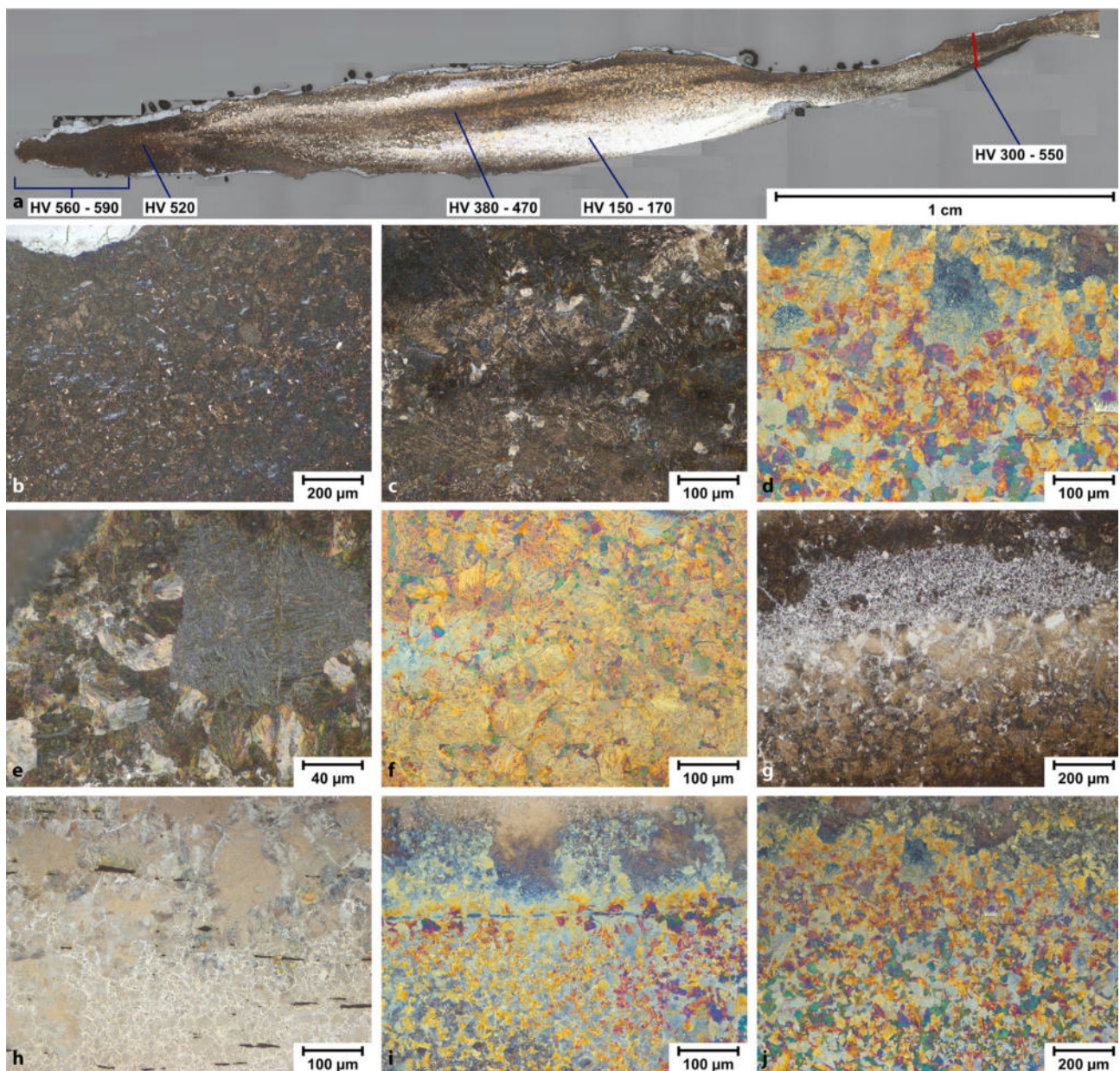


Abb. 6: Schnitt 1, aus der Klinge: a Übersicht, links die Schneide, rechts die Hohlkehle. Eingetragene HV 0,1 Messwerten. a, b, c, e, g 3% Nital Ätzung, d, f, h, i, j Nital + Klemm Ätzung

Die inhomogenen Einschlüsse aus  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  entsprechen den typischen Schlackeneinschlüssen im Schmiedeeisen (Abb. 4e, f; [31, 32]). Eine EDX Elementverteilung ist in Abb. 5 zu sehen.

Eine großflächige Ätzung mit 3% Nital ist in Abb. 6a gezeigt. Man erkennt bereits deutliche Gefügeunterschiede, denn bei dieser Ätzung erscheinen Gefüge mit höherem C-Gehalt dunkler. Da die Gefüge im Eisen vom Kohlenstoffgehalt, von Abkühlbedingungen und allfälligen Wärmebehandlungen abhängen, sind einfache Aussagen nicht möglich [33].

Im Bereich der Schneide liegt ein sehr feines Gefüge, welches aus Mischungen von Zwischenstufe und Martensit bezeichnet werden kann (Abb. 6b–d). Die Härtewerte von

560–590 HV 0,1 entsprechen auch diesem Gefüge. Der breitere Bereich der Schneide ist nach der Ätzung nicht einheitlich gefärbt, sondern weist eine Bänderung aus weißen bis dunkelbraunen Streifen auf. In den braunen Regionen liegen verschiedene Mischungen aus Zwischenstufe, Perlit und Ferrit vor (Abb. 6e–g). Für diese Gefüge wurden Härtewerte von 380–470 HV 0,1 gemessen. In Abb. 6g ist ein Gradient der verschiedenen Gefüge zu sehen. Die sehr hellen Bereiche bestehen aus Ferrit mit sehr geringen Perlitanteilen (Abb. 6h–j). Die Härtewerte liegen hier bei etwa 150–170 HV 0,1.

Im Bereich der Hohlkehle wurden Härtewerte zwischen 300–550 HV 0,1 gemessen. Dies zeigt, dass dort die unter-

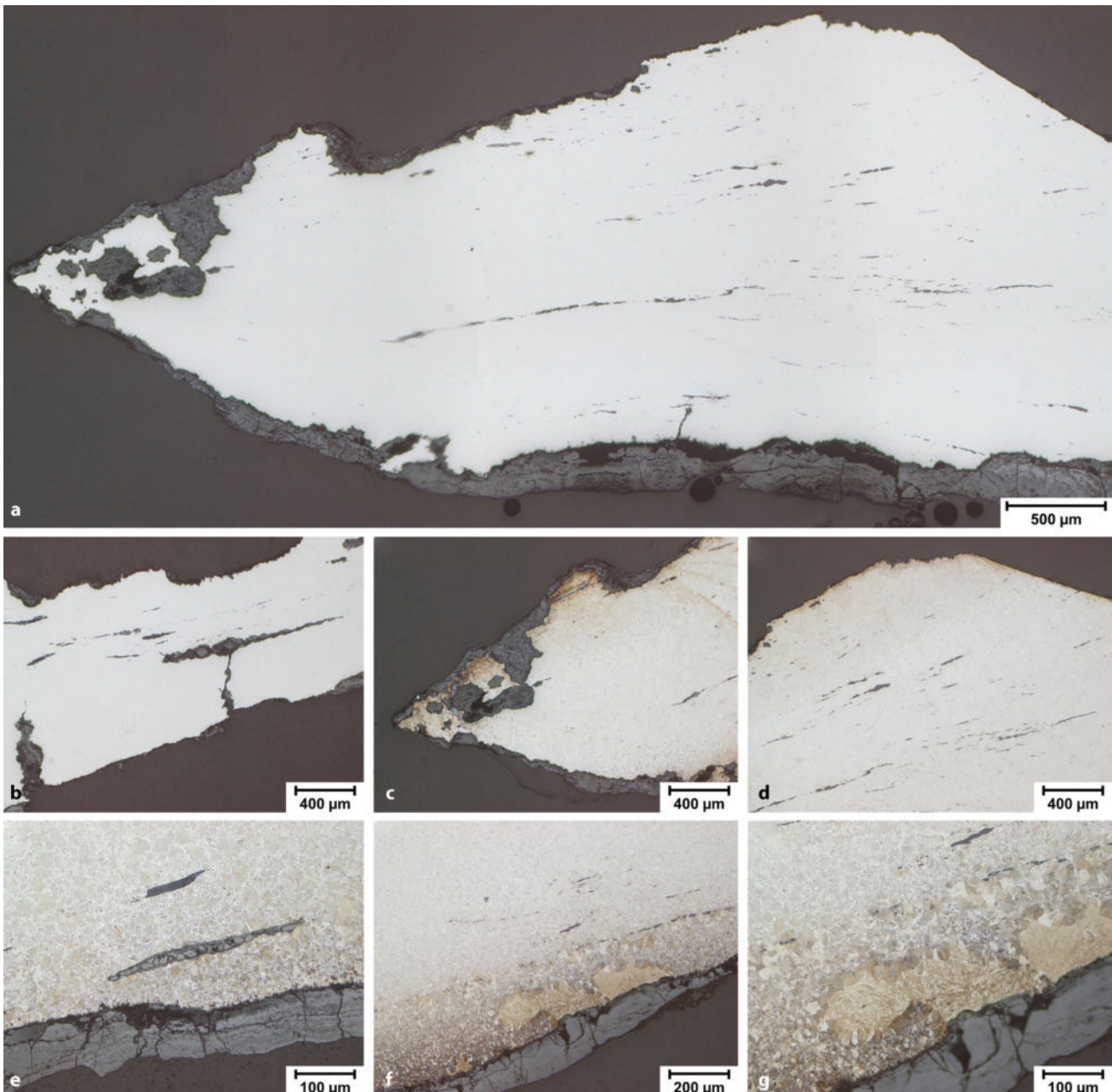


Abb. 7: Schnitt 2 aus der Klinge, Bereich der Schneide, LOM: a, b poliert, c–g 1% Nital

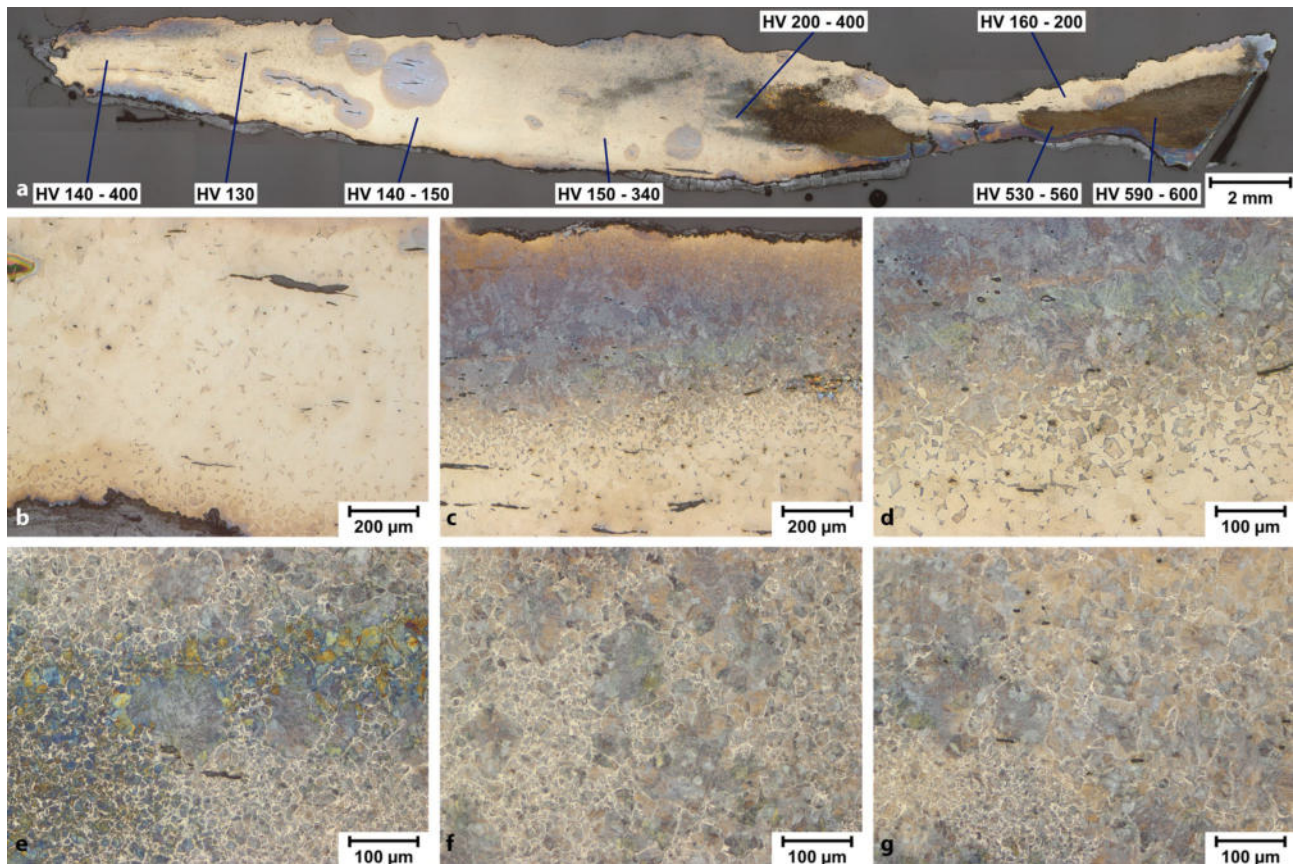


Abb. 8: Schnitt 2, aus der Klinge, Nital + Klemm Ätzung, LOM. a Übersicht, links die Schneide, rechts die Hohlkehle. Eingezeichnete HV 0,1 Messwerten. b–g Gefügedetails aus dem Bereich der Schneide

schiedlichsten Gefüge von Perlit, Zwischenstufe und Martensit nebeneinander vorliegen.

## 7.2 Schnitt 2 (S2): Probe aus der Klinge. Von der Schneide bis zur Hohlkehle

Diese Probe wurde, in Relation zum 1. Schnitt, aus der gegenüberliegenden Seite der Schwertklinge entnommen (Abb. 2/S2).

Im Bereich der Schneide sind zahlreiche längliche Einschlüsse zu sehen (Abb. 7a) und die 1% Nital Ätzung zeigt nur wenig Angriff in den Randbereichen (Abb. 7c–g). Die Härtemessungen von 130–150 HV 0,1 zeigen, dass es sich hier um ein weitgehend ferritisches Gefüge handelt (Abb. 8a, b). Die Gefüge in den Randbereichen enthalten etwas mehr Kohlenstoff und die Härte von bis zu 340 HV 0,1 legen nahe, dass dort neben Ferrit und Perlit auch etwas Zwischenstufe vorliegt (Abb. 7e–g und 8c–g).

Im Bereich der Hohlkehle liegt ein großer, länglicher Schlackeneinschluss vor, und es sind auch Risse zu sehen (Abb. 7b und 9a–c). Die Risse könnten aufgrund von Korrosion verstärkt worden sein. Auffällig ist, dass der Kohlenstoffgehalt und damit die Gefüge auf beiden Seiten des Risses stark unterschiedlich sind. Offensichtlich wurden hier zwei Eisenbleche mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten feuerverschweißt (Abb. 9d–f). Auf der

Seite mit niedrigem Kohlenstoffgehalt wurden Härte von 160–200 HV 0,1 gemessen, was ein ferritisch-perlitisch Gefüge nahelegt. Die kohlenstoffreiche Seite ist mit 530–600 HV 0,1 deutlich härter, und es liegt ein Härtegefüge aus Martensit und Zwischenstufe vor.

## 7.3 Schnitt 3 (S3): Probe aus der Griffangel

Diese Probe wurde neben einem Riss aus der Griffangel des Schwerts entnommen (Abb. 2/S3).

Bereits die Röntgenaufnahmen des Schwertes zeigten im Griffangelbereich auffällige Inhomogenitäten im Eisen, die unterschiedliche zusammengeschiedete Eisen-Materialien vermuten ließen. Dementsprechend wies auch die Probe eine sehr inhomogene Kohlenstoffverteilung auf, wodurch sehr unterschiedliche Gefüge vorliegen (Abb. 10a). Die beobachteten Gefüge stimmen sehr gut mit den gemessenen Härtewerten überein. Die Gefüge sind: überwiegend ferritisch mit etwas Perlit (Abb. 10b, c); Ferrit mit zunehmendem Perlitgehalt (Abb. 10d–h); perlitisch mit Zwischenstufe (Abb. 10i, j).

In Abb. 11 sind neben einem deformationsfreiem ferritisch-perlitischem Gefüge (Abb. 11a) auch Gefüge mit verformten Körnern gezeigt (Abb. 11b, c). Die Verformungen liegen im Randbereich der Probe vor.

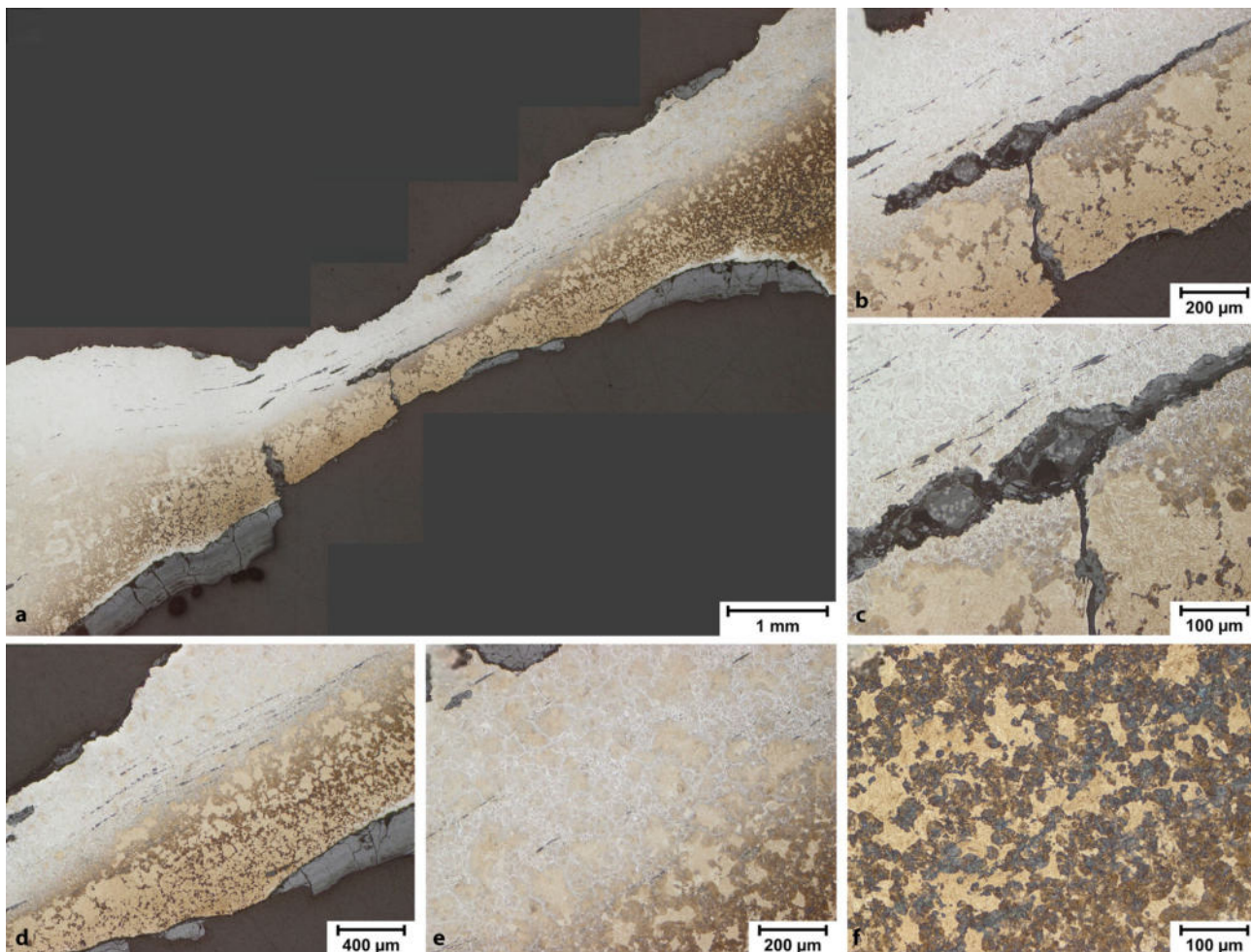


Abb. 9: Schnitt 2, Bereich der Hohlkehle, LOM, 1% Nital: a Übersicht, b–f Details

## 7.4 Überlegungen zur Herstellung des Schwerts

Ausgangsmaterial für das Schwert waren verschiedene Eisenstücke, die zu dieser Zeit üblicherweise in Stucköfen oder kleinen Rennfeuern hergestellt wurden [34]. Da bei dieser Herstellung der Kohlenstoffgehalt im Eisen nicht eingestellt werden kann, sind sehr unterschiedliche Stahlqualitäten zu erwarten. Für größere Eisengegenstände oder zur Homogenisierung des Eisens wurden die Luppen ausgeschmiedet und danach mittels Feuerschweißen wieder zusammengefügt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Kohlenstoffverteilungen in den produzierten Werkstücken [35–37]. Feuerschweißen ist ein üblicher Vorgang beim Schmieden, um aus kleineren Eisenstücken größere Werkstücke herzustellen. Die zeilige Kohlenstoffverteilung ist hier eher zufällig, im Gegensatz zur Damaszenerntechnik, bei der die unterschiedlichen Stähle gezielt aneinandergesetzt werden.

Die zeilige Anordnung der Schlackeneinschlüsse kann ebenfalls auf das Ausschmieden der Eisenluppe zurückgeführt werden. Die Einschlüsse von Quarzkörnern hingegen könnte durch einen nachträglichen Eintrag während des Feuerschweißens erklärt werden.

Die hohen Härtewerte im Bereich der Schneide und der Hohlkehle sind auf das Vorliegen von Martensit zurückzuführen. Für die Martensitbildung ist eine rasche Abkühlung von kohlenstoffhaltigem Stahl notwendig, wobei dünne Eisenteile, aufgrund der geringeren Wärmekapazität, die Martensitbildung begünstigen.

Aufgrund der starken Korrosion können jedoch keine Aussagen über die Oberflächenbeschaffenheit des Schwertes gemacht werden.

## 8. Schlussfolgerungen

Ein aus dem 12./13. Jahrhundert stammendes Eisenschwert aus Enzelsdorf in der Steiermark (Österreich) wurde metallographisch untersucht. Dazu wurden zwei Proben aus der Klinge und eine Probe aus der Griffangel entnommen. Aufgrund der fortgeschrittenen Korrosion war die Schwertschneide nicht mehr vorhanden. Im metallischen Eisen der Klinge wurden stark unterschiedliche Gefüge des Fe-C-Systems gefunden, die auf unterschiedliche Kohlenstoffkonzentrationen und Abkühlbedingungen zurückgeführt werden können.

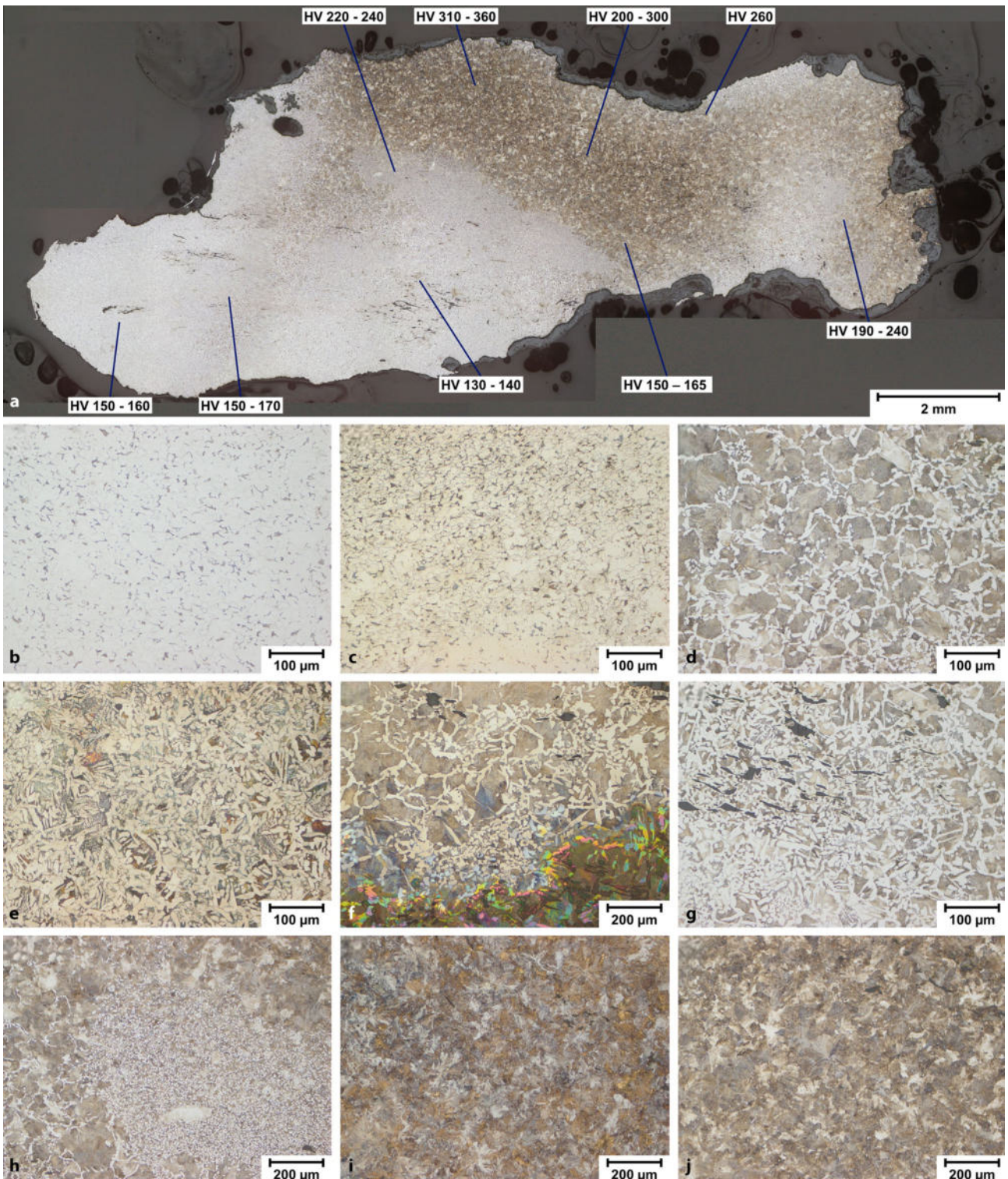


Abb. 10: Schnitt 3, aus dem Bereich der Griffangel, LOM. a Übersicht mit eingetragenen HV<sub>0,1</sub> Messwerten. a, b, d, g-j 1 % Nital Ätzung, c, e, f Nital + Klemm Ätzung

Für das Schwert wurden verschiedene Eisenstücke mittels Feuerschweißen verbunden und danach zur Schwertform ausgeschmiedet. Hinweise auf eine gezielte Anwendung der Damaszenerertechnik wurden nicht gefunden. Es

ist auch anzunehmen, dass die Schwertklinge final durch Abschrecken gehärtet wurde.

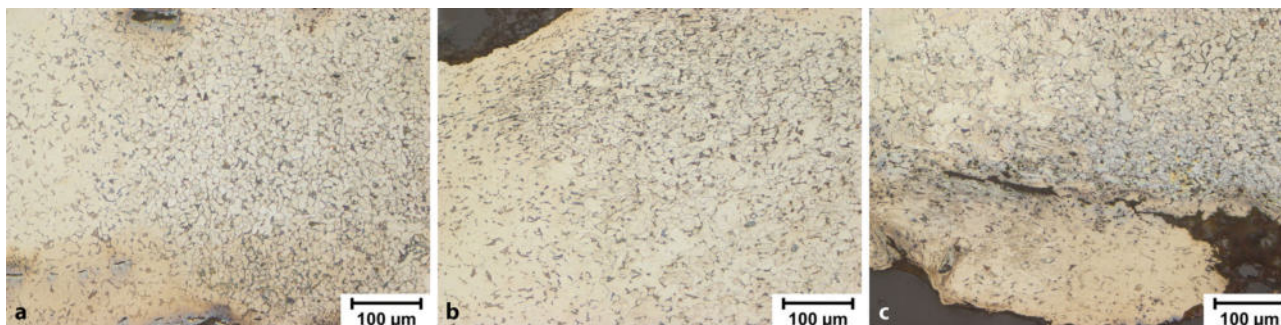


Abb. 11: Gefüge aus dem Bereich der Griffangel, LOM, Nital und Klemm Ätzung. **a** Keine Verformungen, **b, c** Verformungen im Randbereich

**Danksagung.** Wir danken Mag. Heimo Ecker-Eckhofen und Ing. Helmut Ecker-Eckhofen für die Möglichkeit, das Schwert aus Enzelsdorf untersuchen zu können.

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

**Interessenkonflikt.** S. Strobl, R. Haubner, C. Gutjahr und D. Modl geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

**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

- Steiermärkisches Landesarchiv (StLA), Riedkarte-FK-1256-Mellach
- Schulze, M.: Diskussionsbeitrag zur Interpretation früh- bis hochmittelalterlicher Flußfunde. *Fruhmittelalt Stud.* **18**(229), 222–247 (1984)
- Einwögerer, M.: Dem Wasser entrissen – Hochmittelalterliche Schwerter aus Flüssen zwischen Passau und Hainburg, Masterarbeit an der Universität Wien, S. 71–74 (2019) Taf. 7
- Oakeshott, E.: *The Sword in the Age of Chivalry*. Boydell Press, Woodbridge, S. 31–37 (1997)
- Ruprechtsberger, E.M.: Ein hochmittelalterliches Schwert aus dem Donauschotter bei Steyregg. In: mit Beiträgen von, K., Heiss, G., von Mayer, A., von Thalhammer, O.A., Preßlinger, H. (Hrsg.) *Linzer Archäologische Forschungen, Sonderheft 46*. Nordico-Museum, Linz, S. 14–15 (2012) Abb. 2-4
- Williams, A.: *The Sword and the Crucible—A History of the Metallurgy of European Swords up to the 16th Century, History of Warfare*, Vol. 77. Brill, Leiden—Boston, S. 230–285 (2012). bes. 239, Fig. 15 (Gruppe IIB)
- Purkathofer, H.J.: *Mellach – Geschichtsbilder*. Gemeinde Mellach: Deutschlandsberg, S. 29–33 (1984)
- Wever, F., Schulz, E.H.: *Das Schwert in Mythos und Handwerk / Über die Ergebnisse neuerer metallkundlicher Untersuchungen alter Eisenfunde und ihre Bedeutung für die Technik und die Archäologie*. Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen **91**. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 7–71 (1961). <https://doi.org/10.1007/978-3-322-96294-2>
- Tylecote, R.F.: *A History of Metallurgy*, 2. Aufl. Maney Publishing, London, S. 75–82 (1992)
- Pleiner, R.: *Iron in Archaeology: Early European Blacksmiths*. Praha: Archeologický ústav AV ČR, S. 160–181, 236–239 (2006)
- Mapelli, C., Nicodemi, W., Riva, R.F.: Microstructural Investigation on a Medieval Sword Produced in 12th Century A.D. *Isij Int.* **47**(7), 1050–1057 (2007). <https://doi.org/10.2355/isijinternational.47.1050>
- Merico, P., Faccoli, M., Gotti, R., Cornacchia, G.: Archeometallurgical Investigation of a Fragment from a Medieval Sword Blade. *Metallogr. Microstruct. Analysis* **13**, 257–271 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13632-024-01064-3>
- Lantos, S., Bornstein, Y., Khamisy, R., Eshel, T.: Crusader Military Activities on the Carmel Coast: the typology, imaging, and metallography of three swords. *Palest. Explor. Q.* (2025). <https://doi.org/10.1080/00310328.2025.2562701>
- Preßlinger, H., Ruprechtsberger, E.: Metallkundliche Untersuchungsergebnisse eines Schwertes aus der Kreuzritterzeit. *Berg Huettenmaenn Monatsh* **156**, 180–184 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00501-011-0641-8>
- Preßlinger, H., Ruprechtsberger, E.M., Commenda, C.: Metallkundliche Untersuchung eines mittelalterlichen Schwertes aus Linz/Ebelsberg. *Berg Huettenmaenn Monatsh* **159**, 135–138 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00501-014-0284-7>
- Preßlinger, H., Ruprechtsberger, E.M., Commenda, C.: Metallkundliche Untersuchungen eines spätmittelalterlichen Schwertes aus OG Popping/Oberösterreich. *Berg Huettenmaenn Monatsh* **160**, 123–127 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00501-014-0284-7>
- Kaltenböck, C., Schmid, C., Leskovic, J., Traxler, S.: Fünf Schwerter aus dem Donauschotter – Neuerwerbungen des OÖ. Landesmuseums. *Sonius* **26**, 8–10 (2020)
- Szameit, E., Mehofer, M.: Technologische Untersuchungen an Waffen der Frühmittelalters aus Oberösterreich. *Jb. Oö. Mus.-ver.* **147**(1), 127–168 (2002)
- Mehofer, M.: Metallurgische Untersuchungen an einem Säbel aus dem ungarischen Reitergrab von Gnadendorf. In: Daim, F., Lauerer, E. (Hrsg.) *Das frühungarische Kriegergrab aus Gnadendorf (Niederösterreich) Monographien des RGZM 64*. S. 159–173. Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz (2006)
- Mehofer, M.: Technologische Analysen an der Spatha von Hohenberg, Steiermark. *Archaeol. Austriaca* **89**, 251–254 (2005). <https://doi.org/10.1553/archaeologia89s251>
- Scheiblechner, W.: Nachschmiedung der Spatha von Hohenberg. Steiermark. *Archaeol. Austriaca* **89**, 255–268 (2005)
- Hošek, J., Košta, J., Bárta, P.: The metallographic examination of sword no. 438 as part of a systematic survey of swords from the early medieval stronghold of Mikulčice. *Gladius XXXII*, Czech Republic, S. 87–102 (2012)
- Lehmann, U., Roth, S., Lipka, C.: Phosphoric Iron and Welded Patterns: The Reconstruction of an Early Medieval Sword from Beckum. In: Deutscher, L., Kaiser, M., Wetzler, S. (Hrsg.) *The Sword: Form and Thought*, Bd. 2019, S. 43–60. Boydell and Brewer, Woodbridge
- Doračić, D., Hošek, J., Brauns, M., Miletić Čakširan, I.: Technical Examination and Conservation of the Early Medieval Sword from Bojna-Brekinjova Kosa. In: Sekelj Ivančan, T., Karavidović, T., Tkalčec, T., Krznar, S., Belaj, J. (Hrsg.) *Secrets of Iron—from Raw Material to an Iron Object*, Proceedings of the 7th International Conference

- of Mediaeval Archaeology of the Institute of Archaeology Zagreb, 10th–11th September 2020, S. 195–206. Zbornik Instituta za Arheologiju XX. Institute of Archaeology Zagreb, Zagreb (2022)
25. Stelzner, J., Gauß, F., Schuetz, P.: X-ray computed tomography for non-destructive analysis of early Medieval swords. *Stud. Conserv.* **61**(2), 86–101 (2016). <https://doi.org/10.1179/2047058414.0000000157>
  26. Thiele, A., Hošek, J., Kucypera, P., Dévényi, L.: The Role of Pattern Welding in Historical Swords—Mechanical Testing of Materials Used in Their Manufacture. *Archaeometry* **57**(4), 720–739 (2015). <https://doi.org/10.1111/arc.12114>
  27. Strobl, S., Haubner, R., Scheiblechner, W.: Damascus Steel Inlay on a Sword Blade—Production and Characterization. *Key Engineering Materials* **742**, 333–340 (2017). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.742.333>
  28. Strobl, S., Haubner, R., Scheiblechner, W.: New Steel Combinations Produced by the Damascus Technique. *Adv. Eng. Forum* **27**, 14–21 (2018). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.27.14>
  29. Haubner, R., Strobl, S.: Slag investigation from iron smelting and iron processing sites in Austria—from Hallstatt and medieval period and the 19th century. *Materials Science Forum* **782**, 635–640 (2014). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.782.635>
  30. Haubner, R., Strobl, S., Jaklin, A.M., Rebay-Salisbury, K.: A roll-headed pin from Getzersdorf, Austria, opens up interesting questions about iron metallurgy in the Hallstatt period. *Pract. Met.* **62**, 604–616 (2025). <https://doi.org/10.1515/pm-2025-0057>
  31. Strobl, S., Haubner, R.: Microstructural features of bronze-coated iron coins from the Roman Empire. *Materials Science Forum* **782**, 629–634 (2014). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.782.629>
  32. Strobl, S., Haubner, R., Klemm, S.: Metallographic investigations of a historical bloom found in Styria—Austria. In: Longauerová, M. (Hrsg.) *Metallography 2010. 14th International Symposium on Metallography, Stará Lesná*, 28.–30. Apr. 2010. *Acta Metallurgica Slovaca Conference 1*, S. 655–660. Technical University in Košice, Faculty of Metallurgy, Košice (2010)
  33. Strobl, S., Haubner, R.: Investigation of the diffusion couple ductile cast iron / iron. *Defect Diffusion Forum* **405**, 54–59 (2020). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.405.54>
  34. Klemm, S., Strobl, S., Haubner, R.: Archäologische Funde mittelalterlicher Eisenverhüttung und Holzkohlenproduktion im Nahbereich des Steirischen Erzberges. *res montanarum, Sonderband*, Bd. 2012., S. 69–81 (2012)
  35. Strobl, S., Haubner, R.: Metallographic investigations of a late medieval pick found at the gold mining site „Goldzeche – kleines Fleißtal“, Austria. *Materials Science Forum* **891**, 596–601 (2017). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.891.596>
  36. Scheiblechner, W., Karl, S., Modl, D., Strobl, S., Haubner, R.: Untersuchung eines Doppelspitzschlängels aus dem römerzeitlichen Marmorsteinbruchrevier Spitzelofen in Kärnten. Österreich. *Bhm Berg-Hüttenmännische Monatshefte* **166**, 363–369 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00501-021-01086-2>
  37. Modl, D., Strobl, S., Haubner, R.: Untersuchung eines Doppelspitzschlängels aus dem Umfeld der römischen Siedlung Michlhallberg nahe Altaussee (Steiermark, Österreich). *Berg Huettenmaenn Monatsh* **168**, 453–467 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00501-023-01380-1>

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