

Metallkundliche Untersuchungen mittelalterlicher Schwerter aus dem Voralpenraum

Hubert Preßlinger, Leoben, Erwin Maria Ruprechtsberger und Christian Commenda, Linz

1. Einleitung

Wer kennt nicht das mystische Schmiedeverfahren von „Wieland, dem Schmied“? Von den Eigenschaften (Elastizität, Härte) des von ihm geschmiedeten Schwertes nicht überzeugt, feilte er die Schwertklinge zu feinen Stahlspänen. Diese mischte er in einen Brotteig, buk diesen und verfütterte ihn an seine Gänse, sammelte deren Kot ein, verbrannte diesen, trennte aus der Asche die Metallreste ab, mischte diese wiederum in einen Brotteig, buk diesen und verfütterte ihn abermals an seine Gänse. Diesen Vorgang wiederholte Wieland der Schmied mehrere Male. Zuletzt sammelte er die nun mit Mikrolegierungselementen angereicherten Metallfragmente, schmiedete daraus ein neues Schwert, genannt „Mimung“, welches so scharf war, dass eine im Wasser des Baches treibende Wollflocke von der in die Strömung gehaltene Klinge glatt durchtrennt wurde^{1,2}.

Was im Mittelalter nach der Wielandsage schwarze Magie war, kann heute mit den chemischen Analysemethoden wie folgt erklärt werden: Die Stahlspäne wurden durch den Verdauungsvorgang im Magen der Gänse entschlackt. Die Magensäure und der Mageninhalt reicherden die Stahlspäne mit Stickstoff und Kohlenstoff an².

Clemens Böhne^{3,4} veröffentlichte metallographische Untersuchungsergebnisse, die er an mehreren mittelalterlichen Schwertklingen durchgeführt hatte. Dabei konnte er die Schmiedetechnologien – Damaszierern und Gärben (Scharsachstahl) – an den mittelalterlichen Schwertklingen nachweisen. Im Weiteren berichtet Böhne, dass die Elastizität der Klingen durch die mittelalterlichen Schwertschmiede dadurch gesteigert wurde, dass diese zwei hochkohlige Stahlstreifen auf einen niedrigkohligen Stahlkern oder zwei niedrigkohlige Stahlstreifen auf einen hochkohligen Stahlkern aufschweißten. Die Härte der Schneide ergab sich durch die hochkohligen Stahlstreifen bzw. den hochkohligen Stahlkern.

Im Museum Nordico der Stadt Linz wurden zwei mittelalterliche Schwerter aus dem späten 12. Jahrhundert restauriert. Wegen ihres guten Erhaltungszustandes wurde beschlossen, an den Schwertklingen mikroanalytische Untersuchungen durchzuführen. Mit den Ergebnissen aus den metallkundlichen Befunden sollten Erkenntnisse über die zur Schwertherstellung eingesetzten Stahlsorten



Abb. 1: Makroaufnahme des mittelalterlichen Schwertes aus der OG Steyregg, datiert spätes 12./beginnendes 13. Jahrhundert; erhaltene Schwertlänge 90 cm, Gewicht 1,26 kg

sowie über das handwerkliche Können der Schwertschmiede im Mittelalter gewonnen werden.

2. Erprobung und Probenpräparation

Das Schwert aus Steyregg⁵ (Abb. 1) hat nach der Restaurierung eine Länge von ca. 90 cm und ein Gewicht von 1,26 kg. Es besitzt eine stark elastische Klinge, die auf eine besondere Stahlqualität schließen lässt. Form und festgestellte Charakteristika des Schwertes ließen den Archäologen keinen Moment daran zweifeln, dass dieses in die Kreuzritterzeit, etwa an die Wende vom 12. zum 13. Jahrhundert, datiert werden kann und – wie der Überlieferungszustand beweist – als einmaliges archäologisches Zeugnis dieser Epoche gilt.

Wie beim Schwert aus Steyregg merkt man jenem aus Ebelsberg⁶ die lange Lagerung im Wasser an (Abb. 2). Die teils massive Korrosion konnte durch die versierte und fachgerechte restauratorische Behandlung im Nordi-



Abb.2: Makroaufnahme des mittelalterlichen Schwertes aus Ebelsberg/OG Linz, datiert spätes 12./beginnendes 13. Jahrhundert, erhaltene Schwertlänge 62 cm, Gewicht 0,83 kg



Abb. 3: Lichtmikroskopische Aufnahme der Keilprobe aus der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg, ungeätzt

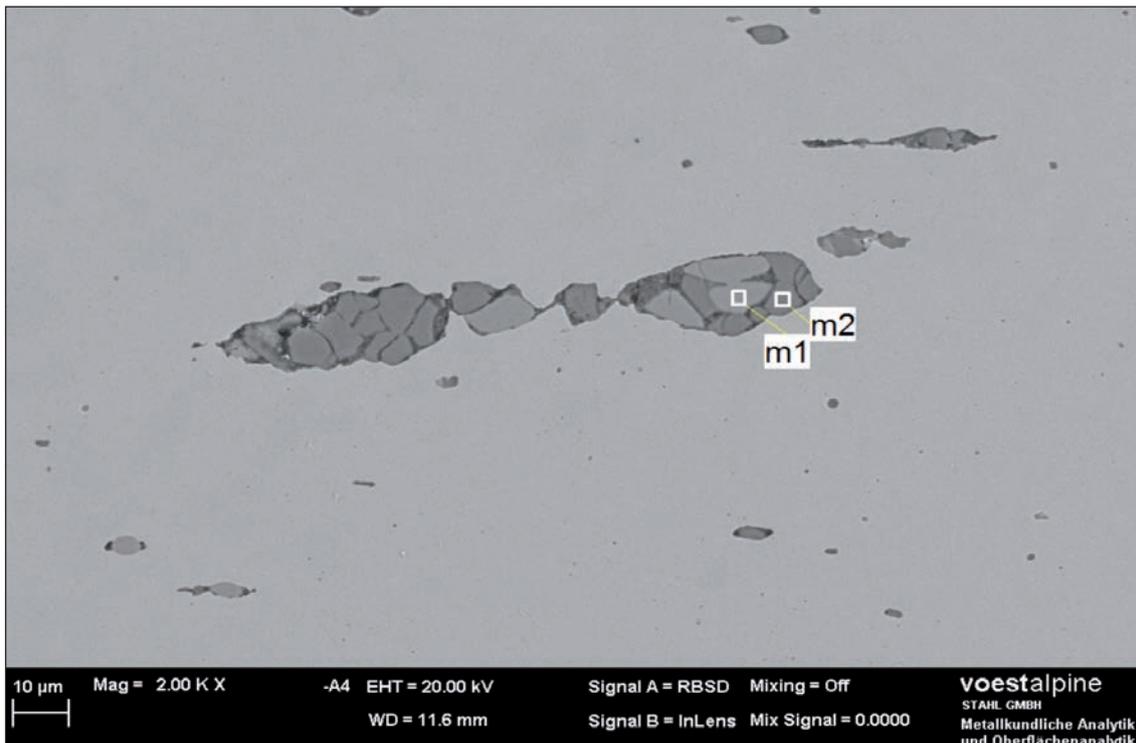


Abb. 4: Rückstreuelektronenbild der Keilprobe aus der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg mit kristallinem heterogenem Schlackeneinschluss, ungeätzt

co-Museum in Grenzen gehalten werden. Ein Teil der Klinge fehlt, der Bruch wird wohl durch wiederholte Regulierungsarbeiten im Bereich der Fundstelle verursacht worden sein. Das Schwert aus Ebelsberg hat nach der Restaurierung eine Länge von 62 cm sowie ein Gewicht von 0,83 kg und wurde gleichfalls am Ende des 12. Jahrhundert geschmiedet.

Nach der Restaurierung der beiden Schwerter wurde vom Restaurator des Nordico-Museums der Stadt Linz, Franz Gillmayr, jeweils aus der Schwertklinge über die halbe Klängenbreite eine Metallprobe (Keilprobe) entnommen. Diese wurde den Metallurgen für eine mikroanalytische Untersuchung übergeben. Die Klängenproben wurden am Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie der Montanuniversität Leoben, und in der metallographischen Abteilung der voestalpine in Linz für die Untersuchung präpariert, am Lichtmikroskop vorbegetachtet und am Rasterelektronenmikroskop (REM) sowie an der Mikrosonde mikroanalytisch beurteilt.

3. Metallographische Untersuchungsergebnisse des Schwertes aus Steyregg⁵

Beurteilung der Schlackeneinschlüsse am Lichtmikroskop und am REM

Die Schliffprobe der Schwertklinge aus Steyregg wurde zunächst ungeätzt am Lichtmikroskop bewertet (Abb. 3). Im ungeätzten Schliff sind zahlreiche Schlackenzeilen von zwei Schlackentypen (Abb. 4 und 5) zu erkennen. Um die beiden Schlackentypen – glasig bzw. kristallin erstarrt – chemisch zu bewerten, wurde am Rasterelektronenmikroskop SUPRA 35 Zeiss SMT eine mikroanalytische quantitative Beurteilung vorgenommen. Der heterogene, kristallin erstarrte Schlackentypus (Abb. 4) ist mehrphasig (m1 und m2 in Tabelle 1). Die Mehrphasigkeit der Schlacke entstand durch Primärausscheidungen FeO_n -reicher Komponenten bei der Erstarrung. Die kristallin erstarrte Schlacke stammt aus der Stahlerzeugung im Rennfeuerofen (Schachtofen).

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der Schlackenkomponenten in der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg; Angaben in Masse-%

Messpunkt	Fe	Si	Mn	Al	Ca	Mg	K	O
m1	67,7	1,8		0,8				29,7
m2	41,7	10,8		2,7	2,5		1,9	38,7
m3		27,4	2,2	8,4	4,0	2,5	5,5	49,4

(Messpunkte sind in den Abb. 4 und 5 markiert)

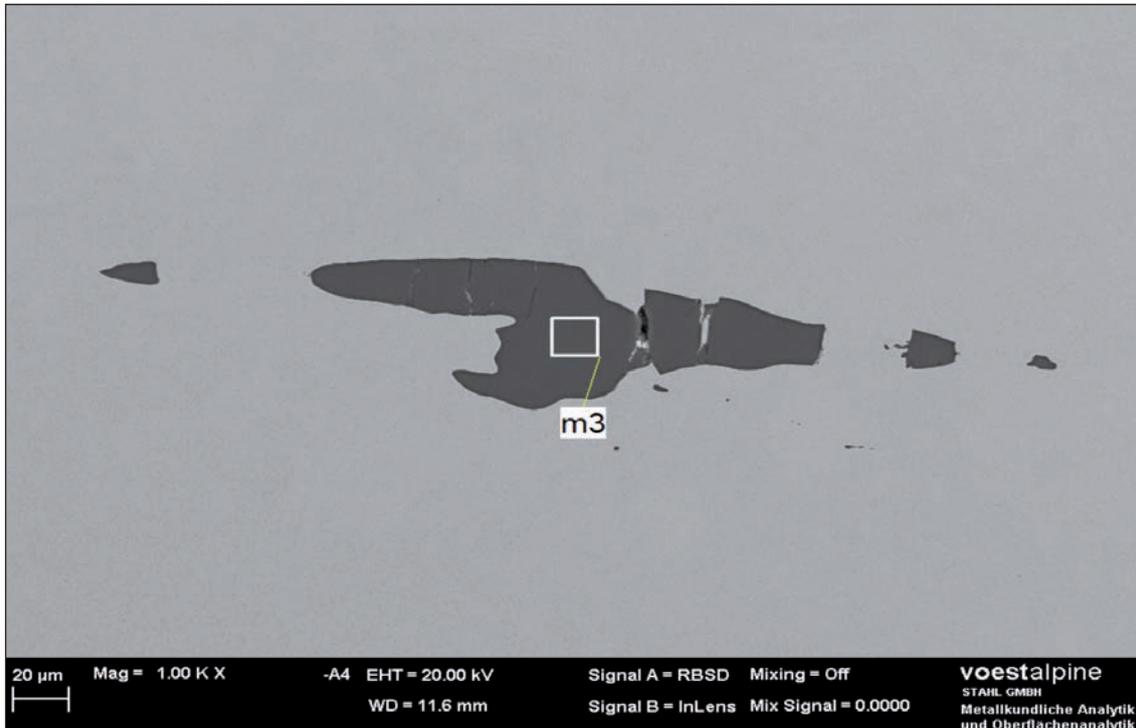


Abb. 5: Rückstreuelektronenbild der Keilprobe aus der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg mit glasigem Schlackeneinschluss, ungeätzt

Der glasig erstarrte Schlackentypus (Abb. 5) ist ein Silicat mit 27,4 Masse-% Si und wurde bei der Erstarrung aufgeschmolzener Schmiedehilfsmittel (feiner quarzreicher Sand, m3 in Tabelle 1) gebildet. Die vielen glasigen Schlackenzeilen im Klingenkern sind ein Hinweis, dass das Werkstück aus mehreren Strahlstäben durch Feuer-schweißen geschmiedet worden ist.

Die Bewertung der Schlackentypen ermöglicht einerseits dem Metallurgen Erkenntnisse über den Schmelzprozess (Möllerzusammensetzung, Temperaturführung, Schlackenweg, Reduktionsgrad, Qualität der Luppe, usw.) zu gewinnen, andererseits kann er mit den Schlackentypen der Schmiedehilfsmittel die Schmiedetechnologie nachvollziehen.

Beurteilung der Metallschliffprobe am Lichtmikroskop

Die mit einer Nitalätzung behandelte Schliffprobe zeigt, dass die Schwertklingenschnede aus grob-nadeligem Martensit (Abb. 6) und der Schwertklingenkern aus Fer-

rit und Perlit (Abb. 7) gebildet werden. Die Grenze zwischen Martensit und Perlit/Ferrit wird durch eine glasige Schlackenzeile markiert. Die Messung der Mikrohärtigkeit ergab an der Schwertschnede einen Wert von 512 HV 0,3 und im Schwertkern einen Wert von 211 HV 0,3.

Mikroanalytische Untersuchungsergebnisse an der Mikrosonde

Um über die Schmiedetechnik zur Schwertherstellung Aussagen tätigen zu können, wurden an der Mikrosonde Cameca SX-100 Elementverteilungsbilder von Kohlenstoff, Phosphor und Mangan erstellt. Aus den Verteilungsbildern der einzelnen Elemente (Abb. 8) sowie aus dem Verlauf der Elemente (Abb. 9) über die Klingendicke können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Der Schwertklingenkern wurde aus mehreren Stahlstäben mit Mangangehalten von 0,03 bis 0,09 Masse-% Mn und Phosphorgehalten von 0,04 bis 0,13 Masse-% P hergestellt. Die Verteilungsbilder von

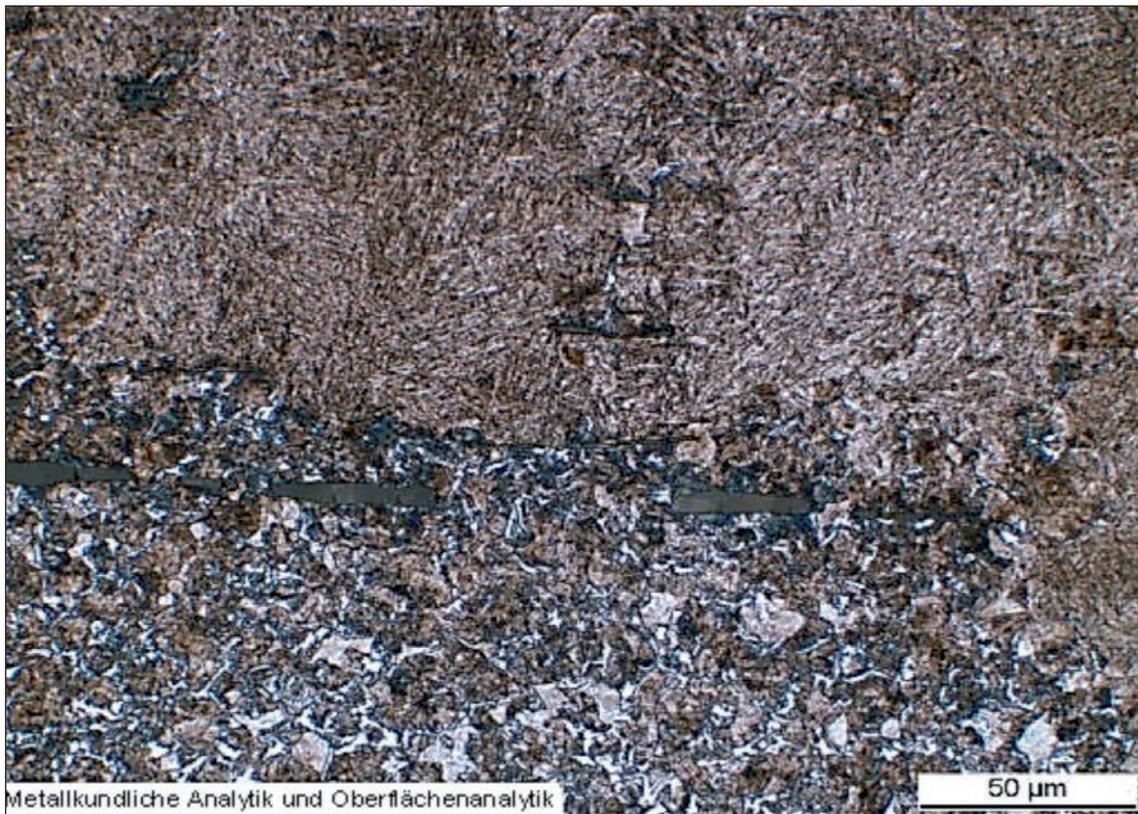


Abb. 6: Schliffbild der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg, Übergangsbereich Schwertschneide/Swertseele mit Martensit oben, Schlackenzeile Bildmitte und Perlit/Ferrit unten; Nitalätzung

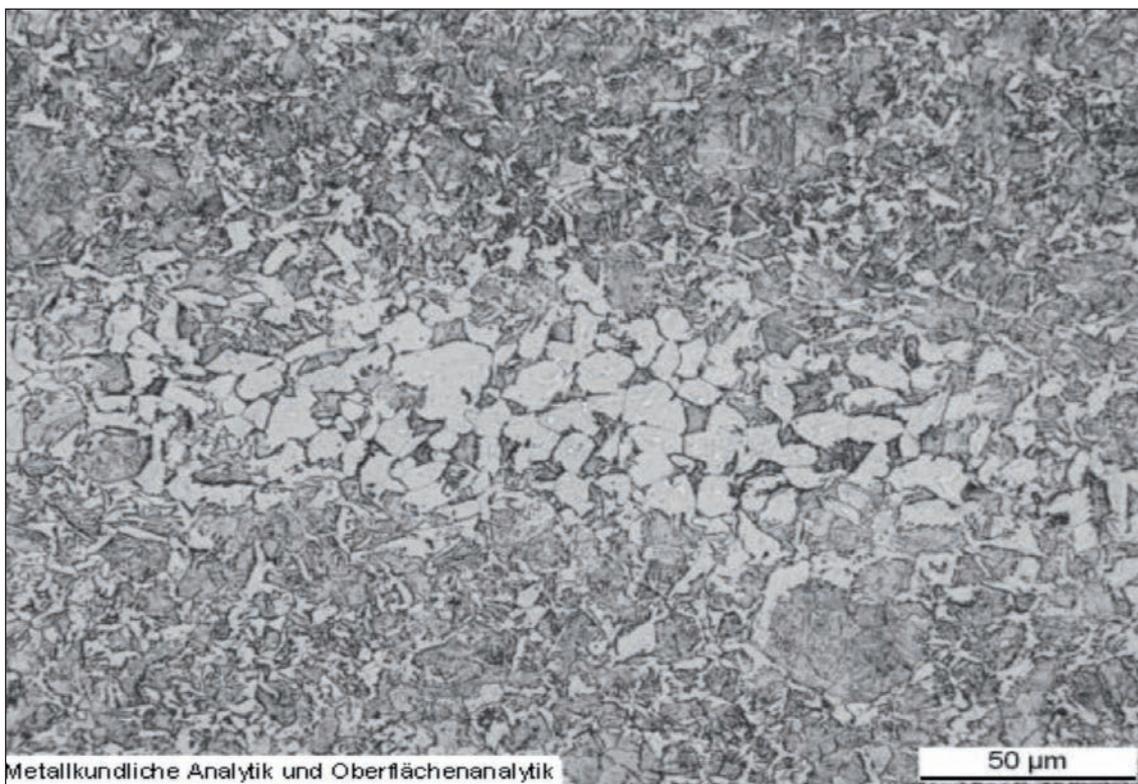


Abb. 7: Schliffbild der Schwertklinge des Schwertes aus Steyregg, Schwertseele mit Ferrit sowie Perlit/Ferrit; Nitalätzung

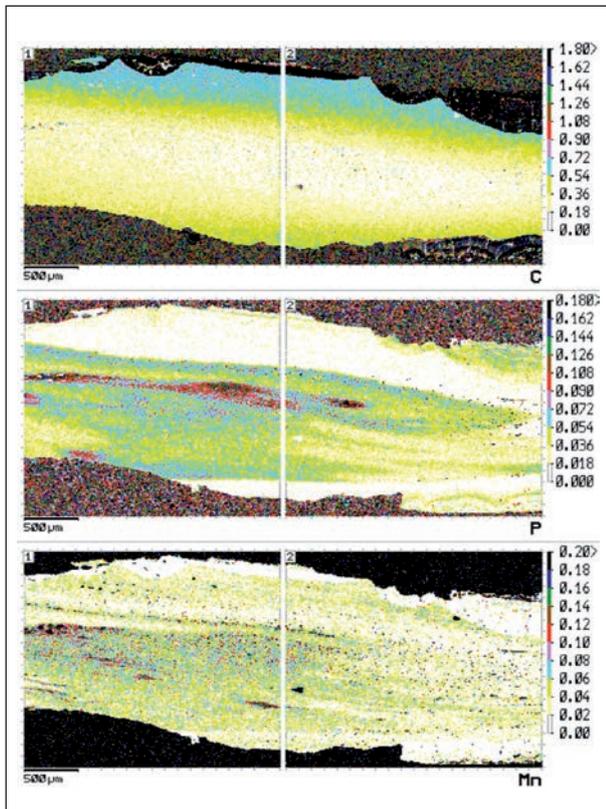


Abb. 8: Elementverteilungsbilder von C, P und Mn über die Klingendicke des Schwertes aus Steyregg, Angaben in Masse-%

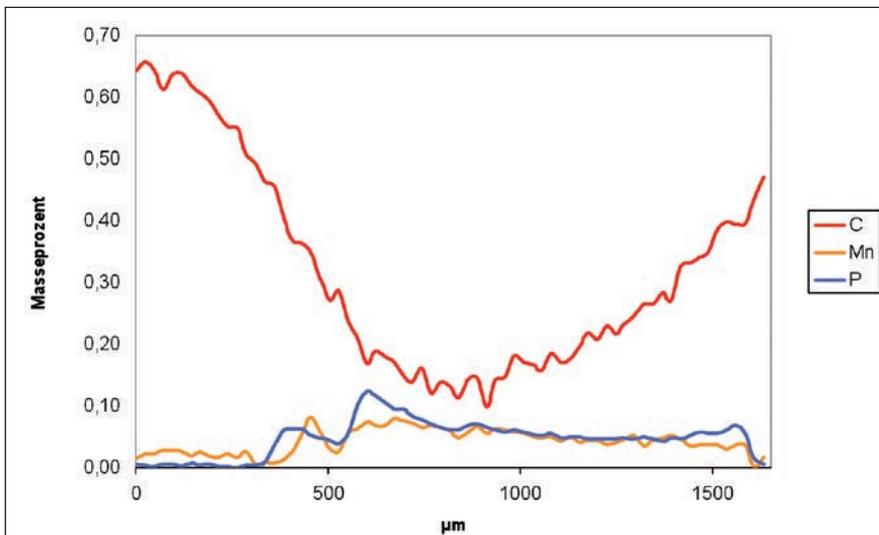


Abb. 9: Konzentrationsverlauf der Elemente C, Mn und P in Masse-% über die Klingendicke des Schwertes aus Steyregg

Phosphor und Mangan bestätigen, dass der Stahlrohling des Schwertkerns aus mehreren Stahlstäben von den Schmieden durch Feuerschweißen gefertigt wurde. Die Lagen der einzelnen Stahlstäbe des Schwertkerns sind unter anderem durch die Schlackenzeilen markiert.

- Für die Schneide der Schwertklinge wurde eine sehr reine Stahlsorte mit sehr niedrigem Mangan-

halt ($<0,03$ Masse-% Mn) sowie Phosphorgehalt ($<0,01$ Masse-% P) auf die Schwertseele mittels Feuerschweißen geschmiedet. Der Kohlenstoffgehalt mit $>0,7$ Masse-% C in der Schneide der Klinge wurde durch Einsetzen, eine Aufkohlung im Schmiedefeuer bei Temperaturen >1000 °C, eingestellt. Das Härten der Klingenschneide erfolgte durch Abschrecken in Wasser. Diese Schmiedefertigung kann aus dem grobnadeligen Martensit im Gefüge der Schwertklingenschneide geschlossen werden (Abb. 6).

4. Metallographische Untersuchungsergebnisse des Schwertes aus Linz/Ebelsberg⁶

Schliffbeurteilung am Lichtmikroskop

Die Schliffprobe des Schwertes aus Ebelsberg wurde wiederum zunächst ungeätzt am Lichtmikroskop bewertet. Im ungeätzten Schliff sind zahlreiche Schlackenzeilen von zwei Schlackentypen – kristallin bzw. glasig erstarrt – zu erkennen. Die überwiegende Anzahl der begutachteten Schlackenzeilen ist heterogen, d. h. kristallin erstarrt. Die Mehrphasigkeit der Schlackenzeilen entstand durch Primärausscheidungen FeO_n -reicher Komponenten bei der Erstarrung. Der kristallin erstarrte Schlackentypus in der Stahlmatrix stammt aus der Stahlerzeugung im Rennofen (Schachtofen). Die glasigen Schlackeneinschlüsse sind auf die bei der Erstarrung der beim Schmieden verwendeten Schmiedehilfsmittel zurückzuführen.

Die danach mit einer Nitalätzung behandelte Schliffprobe zeigt, dass die Schwertklingenschneide (Abb. 10) aus einem Gefüge von Perlit besteht. Die Schwertklingenseele wird aus Ferrit mit geringem Flächenanteil von Perlit gebildet (Abb. 11). Deutlich erkennt man in Abb. 12 und 13, dass die Schwertklinge aus vielen Stahlstäben von unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung fachgerecht geschmiedet worden ist.

Mikroanalytische Untersuchungsergebnisse am REM

Die mittlere chemische Analyse der mehrphasigen Schlackenzeilen besteht aus 33,9 Masse-% Fe, 16,2 Masse-% Si, 15,4 Masse-% Mn, 2,1 Masse-% Ca, 1,4 Masse-% Al, 1,0 Masse-% K und 0,8 Masse-% Mg.

Den Verlauf der Phosphorkonzentration über die Dicke der Keilprobe zeigt Abb. 12. Im Bereich der Schwertklingenseele wurde ein Phosphorgehalt $<0,005$ Masse-% analysiert. An der Schwertklingensoberfläche liegt der

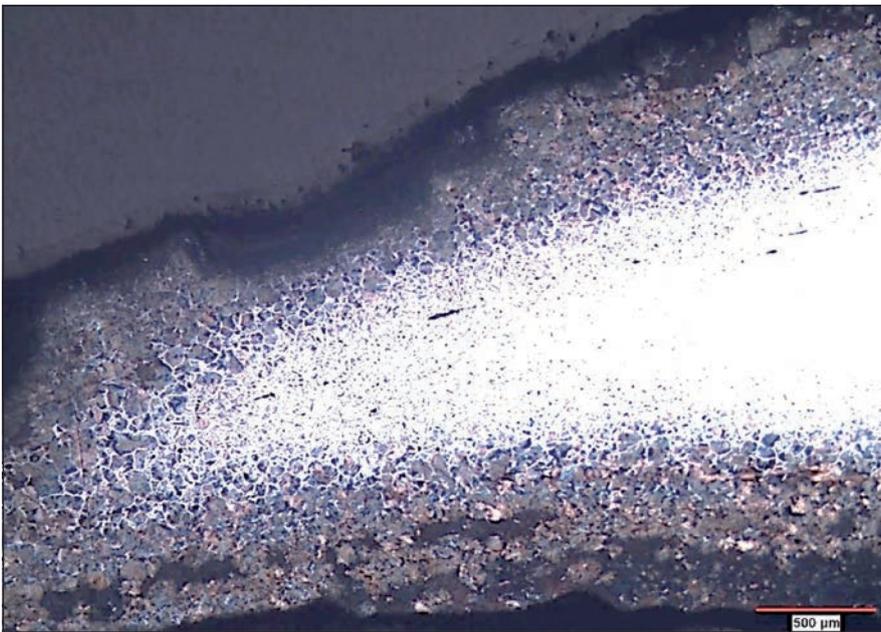


Abb. 10: Schliffbild aus dem Bereich der Schwertklingenschneide des Schwertes aus Ebelsberg mit Perlit und Martensit und der Schwertklingenseele mit Ferrit/Perlit, Nitalätzung

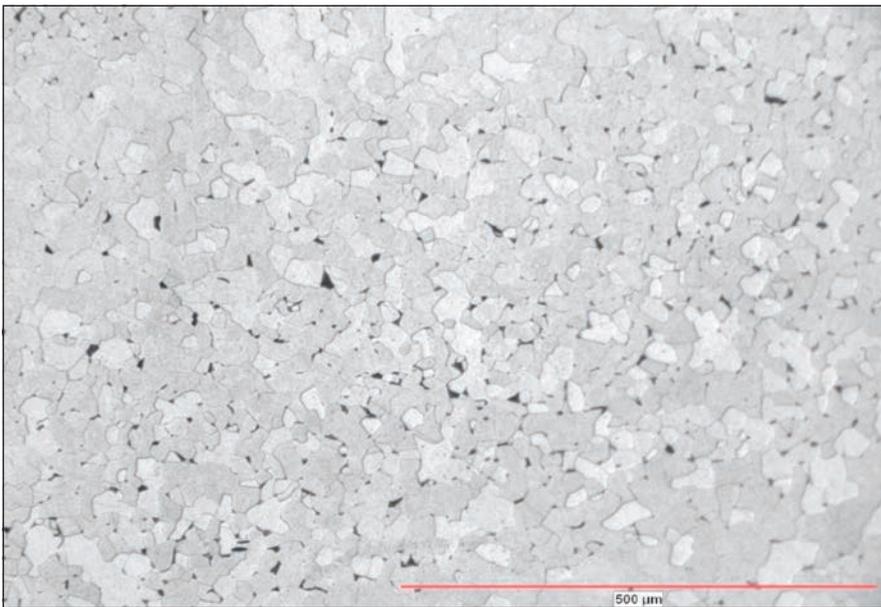


Abb. 11: Schliffbild aus dem Bereich der Schwertklingenseele des Schwertes aus Ebelsberg mit Ferrit und geringen Mengen an Perlit, Nitalätzung

Phosphorgehalt im Bereich zwischen 0,01 bis 0,02 Masse-%. Der Mangangehalt hat einen Wert $<0,07$ Masse-%. Der Verlauf des Mangangehaltes über die Keilprobendicke (Abb. 13) lässt klar erkennen, dass für die Schwerherstellung zahlreiche Stahlstäbe mit unterschiedlichen Mangangehalten von den mittelalterlichen Schmiedemeistern eingesetzt wurden. Daher ist es auch falsch, mit Punktanalysen verschiedene Fertigprodukte untereinander zu vergleichen bzw. diese bestimmten Schmiedezentren zuzuordnen.

temperatur im Wasser abgeschreckt, wodurch die Randschicht der Klinge hart wurde, während die Klingenseele zäh blieb^{5,6}.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung vermitteln uns ein aufschlussreiches Wissen von der hochentwickelten Schmiedetechnik sowie dem exzellenten handwerklichen Können und dem guten Werkstoffverständnis der Schwertschmiede im Mittelalter. Damit lässt sich die Hypothese aufstellen, dass die beschriebene mittelalterliche Schmiedetechnologie – weiche Schwertklingenseele und

5. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Der metallographische Befund zeigt, dass für das Schmieden eines Schwertes im Mittelalter viele Stahlstäbe unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung, d.h. verschiedener Stahlqualitäten, verarbeitet wurden. Die Schwertklingenseele wurde aus unlegierten Stahlsorten hergestellt. Für die Schwertschneide, von der eine hohe Härte und eine nachhaltige Schneidehaltigkeit gefordert werden, verwendete der mittelalterliche Schmied martensitische/perlitische Stahlwerkstoffe, die er durch eine besondere Schmiedetechnik erzeugte.

Nach den Ergebnissen der Werkstoffuntersuchung ist im Mittelalter folgende mehrstufige Schmiedetechnik angewandt worden: Zuerst wurden von den Schmiedemeistern die für den Schwertklingenkern geeigneten Stahlstäbe (Stahlblätter) ausgewählt. Mit den Stahlblättern mit niedrigem Kohlenstoffgehalt ($<0,1$ Masse-% C) wurde ein Schwertklingenkern (Schwertklingenseele) geschmiedet. Im nächsten Arbeitsschritt wurde die Schwertklingenseele mit einer kohlenstoffarmen Stahlsorte mit niedrigem Mangan- und Phosphorgehalt ummantelt. Im vierten Arbeitsschritt, dem Einsetzen, wurde die Aufkohlung durch Diffusion des Kohlenstoffs über die gesamte Schwertklingenoberfläche durch eine Wärmebehandlung in einem Schmiedefeuer mit einem Holzkohlebett vorgenommen. Nach dem Einsetzen wurde die Schwertklinge aus der Einsatz-

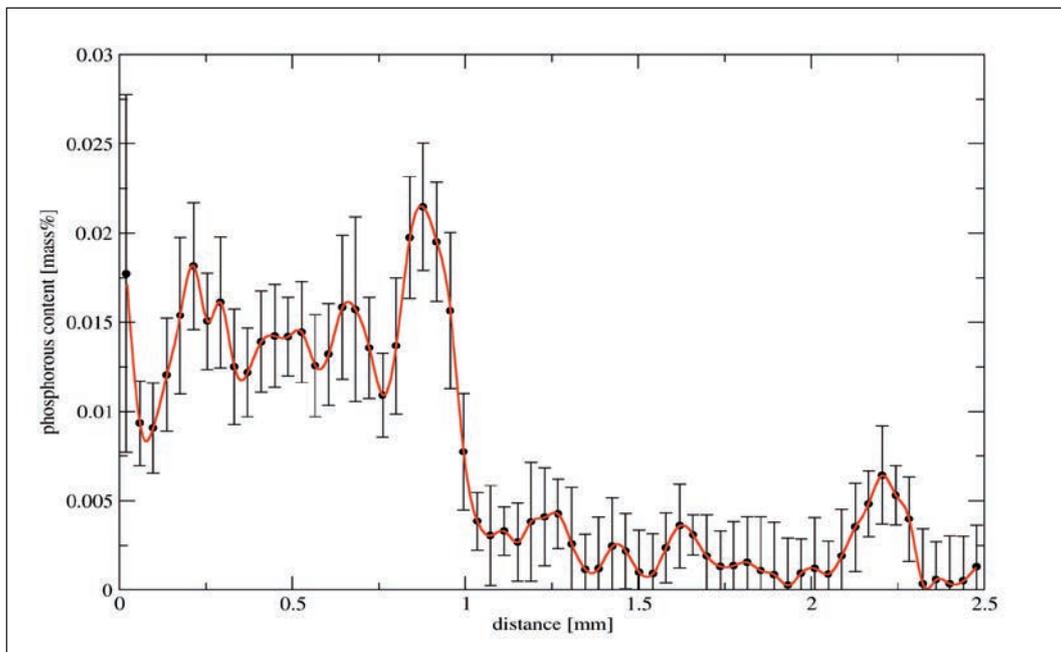


Abb. 12: Verlauf des Phosphorgehaltes über die Dicke der Schwertklingenprobe von der Schwertklingenoberfläche (links beginnend) bis in die Mitte der Schwertklingenseele des Schwertes aus Ebelsberg (Mikroanalytik am REM der voestalpine)

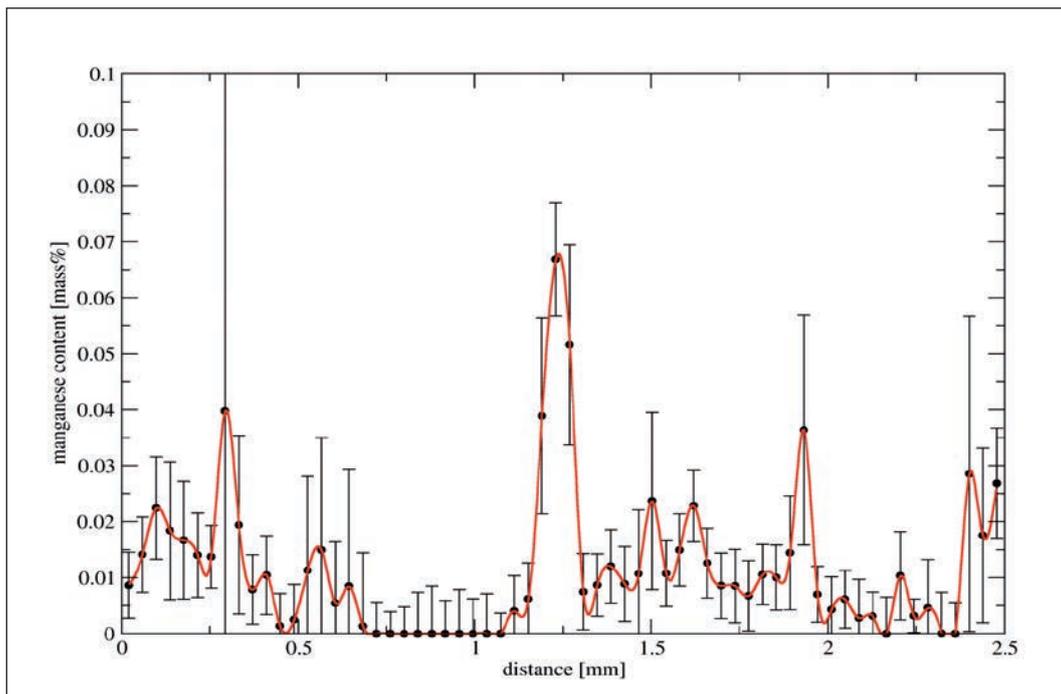


Abb. 13: Verlauf des Mangangehaltes über die Dicke der Schwertklingenprobe von der Schwertklingenoberfläche (links beginnend) bis in die Mitte der Schwertklingenseele des Schwertes aus Ebelsberg (Mikroanalytik am REM der voestalpine)

harte Schwertklingenschneide – im Voralpenraum Stand der Technik war. Um diese Erkenntnisse als These zu verifizieren, müssten jedoch noch weitere mikroanalytische Untersuchungen an mittelalterlichen Schwertern aus dem Voralpenraum durchgeführt werden.

Danksagung

Die metallographischen Arbeiten an den Keilproben wurden am Lehrstuhl für Eisen- und Stahlmetallurgie, Montanuniversität Leoben, und bei der voestalpine Stahl Linz, Abteilung Mikrostruktur- und Oberflächenanalytik, durchgeführt, wofür die Autoren danken.

Anmerkungen:

- 1 Karl Otto HENSELING, Bronze, Eisen, Stahl – Bedeutung der Metalle in der Geschichte. (Reinbek bei Hamburg 1981).
- 2 Wulf BRÖNING, Das Schwert – der Kult um Macht, Magie und Männlichkeit. In: P.M. – History (2005) Januar, 60 – 67.
- 3 Clemens BÖHNE, Die Technik der damaszierten Schwerter. In: Archiv für das Eisenhüttenwesen 34 (1963), 227 – 234.
- 4 Clemens BÖHNE, Vom Damaststahl zum Scharsachstahl. In: Archiv für das Eisenhüttenwesen 40 (1969), 661 – 665.
- 5 Hubert PRESSLINGER/Erwin Maria RUPRECHTSBERGER, Metallkundliche Untersuchungsergebnisse eines Schwertes aus der Kreuzritterzeit. In: BHM 156 (2011), 180 – 184.
- 6 Hubert PRESSLINGER/Erwin Maria RUPRECHTSBERGER/Christian COMMENDA, Metallkundliche Untersuchung eines mittelalterlichen Schwertes aus Linz/Ebelsberg. In: BHM 159 (2014), 135 – 128.

Autoren:

Univ.-Prof. Hon.-Prof. Univ.-Doz. DI Dr. mont.
Hubert Preßlinger
Montanuniversität Leoben/Lehrstuhl für Eisen- und
Stahlmetallurgie
Franz-Josef-Straße 18
A – 8700 Leoben

Univ.-Prof. Dr. Erwin Maria Ruprechtsberger
Nordico-Museum der Stadt Linz
Dametzstraße 23
A – 4020 Linz

DI Christian Commenda
voestalpine Stahl GmbH
voestalpine Straße 3
A – 4020 Linz