

Archäometrische Analysen am ULFBERHT-Schwert

Robert Lehmann

Zusammenfassung Archäometrische Analysen am ULFBERHT-Schwert ergaben, dass unterschiedliche Stähle eingesetzt wurden. Für die Klinge wurde ein härter manganhaltiger Stahl, für die Buchstaben und Parierstange ein weicherer Stahl eingesetzt. Parierstange und Knauf waren mit einer Blei-Zinn-Folie überzogen. Die Herkunft des Bleis konnte dem Hintertaunus zugeordnet werden. Die Analysen des Schwertes sprechen für eine Herstellung im Rheinland, möglicherweise in den Klöstern Fulda oder Lorsch.

Schlüsselwörter Niedersachsen, Frühes Mittelalter, Materialanalysen, Archäometrie

Archaeometric analysis of the ULFBERHT-Sword

Abstract *Archaeometric analyses performed on the ULFBERHT-Sword show different types of steel. For the blade a hardenable manganese steel was used; the letters and the guard were made of softer steel. In addition, the guard and pommel were covered with a thin layer of lead-tin amalgam. The origin of the lead was traced to the Lower Taunus region. The analyses suggest that the sword was made in the Rhineland, possibly at the Fulda or Lorsch monastery.*

Keywords *Lower Saxony, Early Medieval Ages, material analysis, archaeometry*

Einleitung

Die Fundumstände bzw. der Fundplatz und die Bedeutung des Fundes an sich warfen bei dem ULFBERHT-Schwert Fragen auf, welche mit archäologischen Mitteln alleine nicht in Gänze zu beantworten sind. Hier sind weitere Disziplinen gefragt. Besonders Fragen zur Herstellungstechnik und Werkstattherkunft lassen sich mithilfe von Naturwissenschaften besser beleuchten als aus rein archäologisch-kunsthistorischer Sicht. Die hervorragende Erhaltung des Schwertes legte dabei den Einsatz modernster Analysetechniken nahe, welche zerstörungsfrei und ohne sichtbare Beprobung auskommen.

An der Leibniz Universität Hannover, im Arbeitskreis Archäometrie des Instituts für Anorganische Chemie, wurden die geforderten Analysebedingungen erfüllt. Hierbei kamen auch Methoden zum Einsatz, welche bisher das erste Mal an einem Schwert angewendet wurden. In diesem Zusammenhang ist vor allem die in der Archäologie erst seit

wenigen Jahren angewendete, hochauflösende Femtosekunden-Laserablation-Massenspektrometrie (fs-LA-ICP-MS) zu nennen. Hinzu kamen bereits seit längerem angewandte Techniken wie die portable und stationäre Röntgenfluoreszenzanalyse (pRFA und μ RFA) sowie die Rasterelektronenmikroskopie (REM-EDX). Im Zentrum der chemisch-analytischen Untersuchungen standen Fragen zur Qualität der verwendeten Rohstoffe, zur Bestimmung der genauen Materialzusammensetzung sowie die eventuelle bessere Eingrenzung des Herstellungsortes.

Die Analysen wurden zunächst am unrestaurierten Schwert (*Abb. 1*) durchgeführt. Dies hat den Vorteil, dass für das bloße Auge unsichtbare, völlig vergangene Oberflächenhaftungen oder Beschichtungen identifiziert werden konnten. Dies war von Interesse, um eine speziell an das Schwert optimierte Restaurierungsstrategie zu entwickeln.

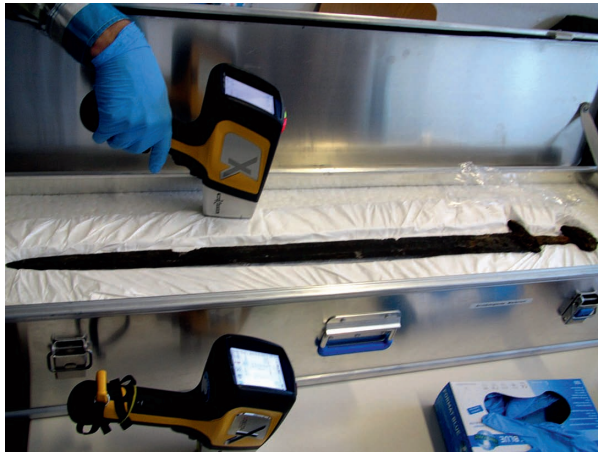


Abb. 1 Portable Röntgenfluoreszenzmessungen (pRFA) am Schwert, hier vor der Restaurierung (Foto: R. Lehmann).

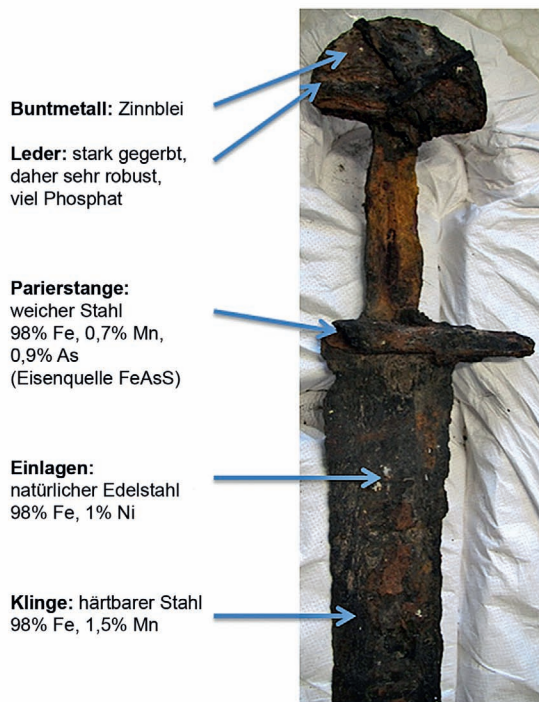


Abb. 2 Verschiedene Qualitäten des Eisens (Stahls) sowie andere mittels pRFA ermittelte Zusammensetzungen am Schwert (unrestaurierter Zustand). Die Messungen wurden nach der Restaurierung und Entfernung großer Teile der Korrosionsschicht neu durchgeführt und die Prozentangaben korrigiert. Die Zahlenwerte sind als Näherungen zu verstehen (Foto: R. Lehmann).

Um Beschädigungen an den anhaftenden Korrosionsschichten zu vermeiden, wurde die Analyse des Schwertes zunächst mit einer zerstörungsfreien Methode ohne direkte Berührung durchgeführt. Diese portable Röntgenfluoreszenzanalyse (pRFA) ermöglicht es zudem, die Eisenqualität, Lederreste sowie Buntmetallanhaftungen zu identifizieren und

zu klassifizieren. Für die Frage nach der Herkunft der Ausgangsrohstoffe (Buntmetall-Legierung) wurden nach den ersten Restaurierungsmaßnahmen mithilfe der Laserablation-Massenspektrometrie (fs-LA-ICP-MC/MS) die Bleiisotopenverhältnisse und Spurenelementmuster (ns-LA-ICP-Q/MS) ermittelt.

Zur Qualität des Eisens

Die pRFA ergab, dass das Schwert aus mehreren Eisensorten (Stahlarten) von verschiedener Güte hergestellt wurde. Dabei wurde an besonders belasteten Bereichen offenbar gezielt eine bessere Stahlqualität verwendet (Abb. 2). Der Begriff „Stahl“ statt „Eisen“ trifft zu, weil es sich um gezielt ausgesuchte, durch den Herstellungsprozess unterschiedlich veredelte Eisenqualitäten handelt, welche für unterschiedliche Umformungsprozesse geeignet sind. Dies zeugt vom hohen technischen Wissen um Rohstoffe und die Abhängigkeit bestimmter mechanischer Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung und der mechanischen Verarbeitung.

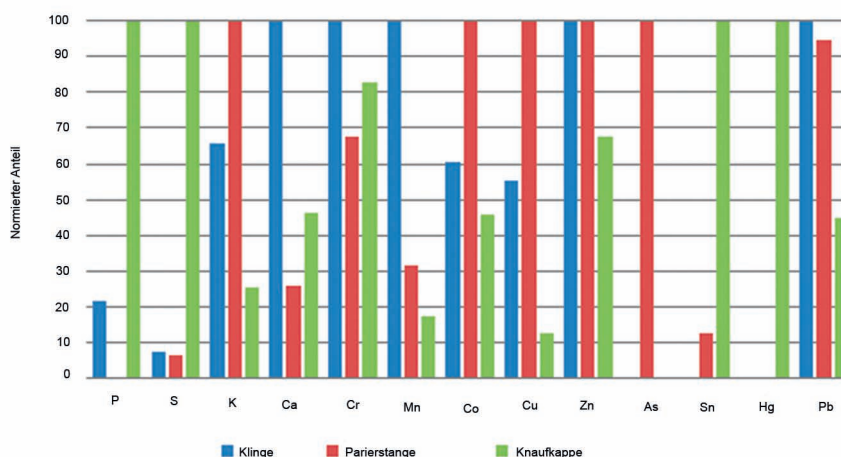
Die Auflistung der Spurenelementmuster in Tabelle 1 belegt die deutlichen Unterschiede der drei verschiedenen Stahlsorten. Jedes separate Eisenteil wurde demnach aus einem anderen Stahl hergestellt. Für die Klinge fällt auf, dass jene Spurenelemente fehlen, deren chemische Eigenschaften die Qualität des Werkstoffes beeinträchtigen (Härte, Zähigkeit, Flexibilität, Schärffbarkeit und Beständigkeit). Parierstange und Knaufkappe weisen dagegen hohe Konzentrationen solcher Spurenelemente auf, darunter vor allem Arsen (Parierstange) und Zinn bzw. Phosphor (Knaufkappe). Hier wurde offensichtlich ein Werkstoff minderer Güte verarbeitet¹.

Klinge und Härtpbarkeit

Die Klinge selbst besteht aus einem Eisen, welches wegen der hohen Güte und einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,2 % und 2,06 % als härtpbarer Stahl bezeichnet werden kann. Unter „Stahl“ wird allgemein veredeltes Eisen mit einem bestimmten Kohlenstoff-

¹ Die weiteren Spurenelemente haben in den nachgewiesenen niedrigen Konzentrationen keinen relevanten Einfluss auf die Verarbeitungsqualität.

Tab. 1 Vergleich der Eisensorten von Klinge, Parierstange und Knaufkappe in Form von normierten Anteilen. Diese Darstellung eignet sich gut für einen Vergleich der Verhältnisse. Ermittelt mit Laserablation-Massenspektrometrie (ns-LA-ICP-QMS), Mittelwerte aus jeweils drei Messpunkten. Die 3 Stahlsorten zeigen deutliche Unterschiede (Grafik: R. Lehmann).



gehalt (unter 2,06 %) verstanden. Der Klingen-Stahl enthält etwas über 98 % Eisen, 1,0–1,5 % Mangan sowie Spuren von anderen Elementen. Zu den wichtigsten Spurenelementen zählt mit etwa 0,1 % Nickel. Weitere mit ns-LA-ICP-QMS ermittelte Spurenelemente spielen bei der folgenden Betrachtung keine entscheidende Rolle (vgl. Tab. 1). Mangan erhöht als Bestandteil die Beständigkeit gegen Korrosion und veredelt deshalb das Eisen. Der Kohlenstoffanteil in der Klinge konnte mit REM-EDX an einem bei der Restaurierung abgefallenen Metallkorn im Anschliff auf etwa 0,5 % bestimmt werden. Wegen möglicher lokaler Inhomogenitäten in der Klinge kann dieser Wert jedoch stellenweise schwanken, er ist daher möglicherweise nicht repräsentativ. Wie der nachgewiesene Kohlenstoffgehalt zeigt, war die Klinge problemlos härtbar. Die maximal erreichbare Härte dürfte – unter Berücksichtigung der anderen Spurenelemente – jedoch unter 250 HV (Vickers-Härte) liegen. Der Kohlenstoffgehalt entspricht etwa den durchschnittlichen, von A. Lorange (1889) an wikingzeitlichen Schwertern festgestellten Werten. Auch zahlreiche einschneidige Hiebschwerter (Saxe) scheinen einen ähnlichen Kohlenstoffgehalt von 0,4–0,5 % aufzuweisen². Allerdings sind für die von A. Williams (2012) mit REM-EDX untersuchten 44 Schwerter, darunter zahlreiche ULFBEHRT-Schwerter, starke Schwankungen im Kohlenstoffgehalt nachgewiesen (etwa 0,2 % bis über 2 %). Dementsprechend variieren auch die davon abhängigen Härte-Werte der Klingen, wobei meist Härten zwischen

200 und 300 HV erreicht werden. Wie gut die Schneiden des Schwertes tatsächlich gehärtet wurden, lässt sich ohne massive Probennahme beim derzeitigen Stand der Analysetechniken nicht beantworten. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass zumindest die Schneiden der Klingen speziell und abgestuft gehärtet waren. So behält die Klinge ihre Härte bei gleichzeitiger Biegsamkeit und lässt sich scharf anschleifen.

Allerdings muss angemerkt werden, dass die Probenentnahme zur Härteermittlung nur an einer Stelle der Klinge nicht repräsentativ ist, da meistens eine graduelle Härtung durchgeführt wurde. Dies bedeutet, dass an verschiedenen Stellen der Klinge eine unterschiedliche Härte zu erwarten ist. Zudem verändern inhomogene Korrosion sowie die Umkristallisation der Kristallite aufgrund von Diffusionsvorgängen die Härte. Die Umkristallisation hat ihren Ursprung im hohen Alter des Metalls und führt in der Regel zu einer inhomogenen Erhöhung der Härte, da die Kristallite im Stahl wachsen. Dadurch sinkt die Zahl der Gleitebenen und damit die Duktilität, es kommt zur sogenannten Altersverhärtung. Eine neuzeitliche Härtemessung muss also nicht zwingend den originalen Härtegrad widerspiegeln. Die Härte kann durch Korrosionsvorgänge, besonders interkristalline Korrosion (z.B. Spannungsrissskorrosion) verstärkt werden. Besonders gut ist dieser Effekt bei Objekten aus Buntmetall untersucht (LEHMANN 2014), für Eisenlegierungen hingegen mangelt es noch an fundierten Studien. Eine einfache Klangprobe durch leichtes Anschlagen der Klinge, z. B. mit einem Holzstab, kann helfen, den Grad der Verhärtung abzuschätzen. Beim vorliegenden ULFBEHRT-Schwert konnte ein gehärtetem Stahl ähnelnder heller Ton festgestellt werden. Dies

² Eine entsprechende Studie wird derzeit im Rahmen ihrer Dissertationsschrift zu mittelalterlichen Schwertern aus Westfalen von U. Lehmann (Ruhr-Universität Bochum) angefertigt.

spricht für eine Härtung, jedoch gegen eine massive Altersverhärtung³. Der helle Klang bestätigt die besonders gute Erhaltung und die im Durchschnitt geringen Korrosionsschichten am vorliegenden ULFBERHT-Schwert, lediglich lokal stärkere Korrosionsnester fallen auf.

Bei Funden unter Sauerstoffabschluss bzw. aus Gewässern ist die Korrosion in der Regel deutlich geringer ausgeprägt als bei anderen Funden. Dies macht auch den Einsatz der pRFA sinnvoll, da zu dicke Korrosionsschichten die Ergebnisse stark beeinträchtigen. Dies bestätigte sich auch bei der Analyse des Schwertes vor und nach der Restaurierung, da kaum Korrekturen notwendig waren.

Offenbar haben Korrosion und Umkristallisation den Großteil der Klinge noch nicht zu stark verändert, sodass der sagenumwobene „Gesang einer Klinge“ auch beim Schwingen des vorliegenden Schwertes in der Luft wohl noch zu hören sein dürfte. Dieser ergibt sich aus der Form der Klinge und dem Zusammenspiel des Schwingens von gehärteten Schneiden und dem elastischen Kern, wo die sogenannte Blutrinne⁴ eingebracht wurde.

Es ist auch anzunehmen, dass die Härtung nicht alleine mithilfe des Kohlenstoffs erfolgte, sondern auch durch andere Verfahren, wie z. B. das Nitrieren. Dabei wurde durch Einsatz von stickstoffhaltigen organischen Substanzen speziell die Oberfläche gehärtet (WIBERG/WIBERG/HOLLEMANN 2007)⁵. Diverse Verfahren zum Nitrieren waren bekannt, welche heute jedoch wegen der Oberflächenkorrosion nicht mehr eindeutig identifiziert werden können. Die überlieferten Rezepte für eine Oberflächenhärtung lesen sich dabei teilweise wie obskure Rituale. So empfehlen mittelalterliche Rezepte neben der Verwendung von menschlichem Urin auch Tierdung oder Katzenurin, oft in Verbindung mit der Rezitation von Beschwörungsformeln (ALCHEMISTENBUCH 1532). Dies mag daran liegen, dass man erst in der Neuzeit verstand, welche chemischen Prozesse bei einer Nitrierung tatsächlich ablaufen: Tierische und menschliche Ausscheidungen enthalten viel Stickstoff in Form von Ammoniak. Eine Nitrierung (Nitridierung) ist auch in der Wielandsage überliefert (NEDOMA 1988). „Wieland der Schmied“ ist eine Gestalt der germani-

schen Heldensage und erscheint in der germanischen Mythologie als ein halbgöttliches Wesen. Die ersten Niederschriften über diesen kunstreichen Schmied stammen aus der altenglischen Fassung der Sage von Walthar und Hildegund um 1000 n. Chr. Diese Überlieferung passt zeitlich zu den ULFBERHT-Schwertern. Zudem lebte Wieland laut dem Völundlied im Ulfdalir (Tal des Ulf). Eine interessante sprachliche Ähnlichkeit zu ULFBERHT. Nach der Thidrekssaga stellte Wieland ein Schwert her, welches er Mime (Mimir) nannte. Als er nach einem Schärfetest unzufrieden war, zerfeilte er das Schwert, vermischte die Späne mit Weizenmehl und gab das Gemisch Gänsen zu fressen, die drei Tage gehungert hatten. Aus dem Gänsekot schmolz er das Eisen heraus und schmiedete daraus ein kleineres, aber schärferes Schwert. Doch auch dieses Mal war er mit der Schärfe nicht zufrieden und so wiederholte er das Prozedere erneut. Das Eisen hatte bei jedem Mal den im Gänsekot enthaltenen Stickstoff aufgenommen und war so härter geworden. Im Grunde führte Wieland eine Nitrierung durch. Nach der dritten Neufertigung war das Schwert angeblich so scharf, dass es ein dickes Wollbüschel zerschnitt, das im Bach gegen das Schwert trieb. Bei der Oberflächenhärtung diffundiert der Stickstoff aus dem Ammoniak ins heiße Metall und bildet chemische Verbindungen mit dem Eisen aus. Leider kann man heute nicht mehr sicher rekonstruieren, welche Härtetechniken am vorliegenden Schwert tatsächlich vorgenommen wurden und welche Rezepte zur Durchführung eingesetzt wurden.

Die Schrifteinlagen

Die Schrifteinlagen in der Klinge bestehen aus einer besonderen Art von Stahl. Dieser enthält wie die Klinge etwas über 98 % Eisen, jedoch auch etwa 1 % Nickel. Dieser geringe Nickelanteil verändert die Eigenschaften des Materials jedoch deutlich. Der Stahl wird zäher und geringfügig korrosionsbeständiger, aber auch etwas weicher und biegsamer. Solche nickelhaltigen Stähle waren selten. Sie werden deshalb auch als „natürlicher Edelstahl“ bezeichnet. In historischer Zeit wusste man noch nicht, dass Nickel das Eisen zu diesem besonderen Stahl macht⁶. Der

³ Allerdings stellt diese Klangprobe nur eine subjektive Einschätzung dar.

⁴ Diese Rinnen dienten weniger zum Abfließen von Blut als zur Gewichtsreduktion der Klinge durch Materialeinsparung.

⁵ Deshalb reicht für die Abschätzung des Härtegrades die Analyse des Kohlenstoffgehaltes alleine oft nicht aus.

⁶ In Schweden befinden sich die bekanntesten Vorkommen an Eisenerz, woraus durch natürlich enthaltenes Nickel ein besonderer Stahl gewonnen werden konnte. Jedoch war dieses Vorkommen erst ab der frühen Neuzeit von europaweiter Bedeutung.

Nickelanteil macht das Eisen also etwas weicher und zäher, was für eine Verarbeitung bei Einlagearbeiten sinnvoll ist. Zudem bildet sich bei diesem Stahl weniger Flugrost und er korrodiert deutlich langsamer. Dies mag zu einer optischen und farblichen Abhebung der Buchstabeneinlagen von der Schwertklinge beigetragen haben. Zudem ließ sich der weichere Stahl leichter anschweißen bzw. aufhämmern. Diese spezielle Materialwahl lässt auf qualitativ hochwertige Bezugsquellen und überdurchschnittliche Kenntnisse um verschiedene Stahlqualitäten schließen. Dies ist ein Hinweis auf eine hochspezialisierte und versierte Fertigungsstätte.

Die Parierstange

Die Parierstange, welche an die Klinge angesetzt ist, besteht im Gegensatz zur Klinge aus einem weichen Stahl (Abb. 3). Es enthält wieder etwa 98 % Eisen, jedoch nur 0,7 % Mangan und als wichtigste Verunreinigung 0,9 % Arsen. Weiterhin konnten knapp 0,2 % Nickel nachgewiesen werden. Mittels REM-EDX konnte an einem bei der Restaurierung abgefallenen Metallkorn im Anschliff ein Arsengehalt von $0,8 \pm 0,1$ % gemessen werden. Dies bestätigt den Wert der pRFA-Messung von $0,9 \pm 0,2$ %. Die Werte überschneiden sich im Fehlerbereich. Der Kohlenstoffgehalt konnte mit REM-EDX punktuell auf etwa $0,5 \pm 0,2$ % bestimmt werden. Damit war die Parierstange härtbar. In der Regel ist erst ab 0,2 % Kohlenstoffanteil eine Härtung möglich und praktikabel (WIBERG / WIBERG / HOLLEMANN 2007).

Ein zu hoher Arsenanteil mindert die Qualität des Stahls, da er zu starken Seigerungen (Inhomogenitäten) beiträgt. Arsen senkt die Zähigkeit ab, verschlechtert die Schweißbarkeit und erhöht die Sprödigkeit (WIBERG / WIBERG / HOLLEMANN 2007). Zudem deutet der hohe Arsen-Anteil darauf hin, dass das Eisen aus einem Eisenerz mit FeAsS-Anteilen stammen könnte. Derartige Lagerstätten sind nicht sehr häufig, jedoch auch nicht so selten, dass sie eine eindeutige Herkunftszuordnung erlauben würden. Mit Arsen verunreinigtes Eisen ist schlecht zu schmieden, es handelt sich also um minderwertigeres Eisen. Da an der Parierstange kein besonders veredelter und damit teurer Stahl notwendig ist, macht der Einsatz eines Eisens geringerer Güte ökonomisch Sinn. Die Parierstange sollte lediglich die Hand schützen. Eine Härtung kann hier sogar wegen Splitterbildung von

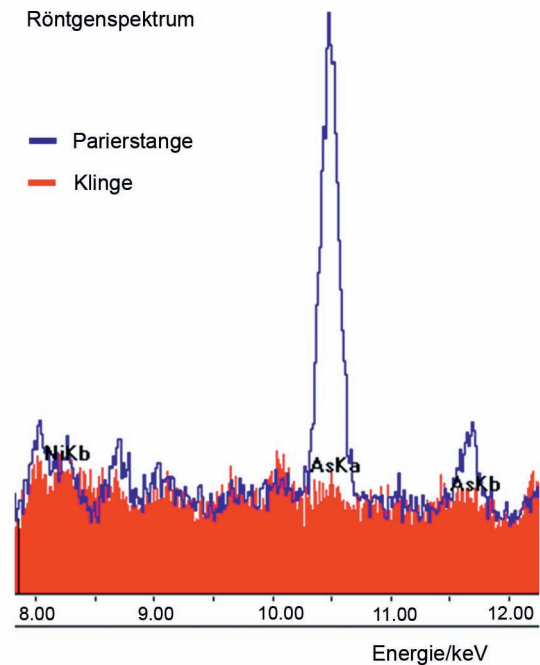


Abb. 3 Überlagerte Röntgenspektren von Parierstange (blaue Linie) und Klinge (rotes Spektrum), aufgenommen mit μ RFA (50 μ m Messspot, 40 kV Beschleunigungsspannung, 150 μ A Röhrenstrom, 250 Sekunden Messzeit) an korrosionsfreien Stellen. Die Klinge enthält kein nachweisbares Arsen, was eine wesentlich höhere Eisenqualität als bei der Parierstange ausweist (Grafik: R. Lehmann).

Nachteil sein. Die Parierstange weist wie der Knauf Reste der Umwicklung mit einer Buntmetallfolie auf.

Der Knauf

Am Knauf konnte das silbrige Metall als ein Zinnblei identifiziert werden. Bestimmte Legierungen von Zinn und Blei sind widerstandsfähiger und wurden im Mittelalter gerne eingesetzt, um teure Silberbeschichtungen zu ersetzen. Beim vorliegenden Schwert waren Knauf und Parierstange mit diesem Zinnblei als Folie dünn überzogen. Der Knauf zeigt eine symmetrische Umwicklung mit Leder. Die Analyse des Leders zeigte hohe Anteile von Stoffen, welche für starkes Gerben üblich sind. Das starke Gerben macht Leder besonders widerstandsfähig, jedoch auch unelastischer.

Hinsichtlich der Zinn-Blei-Beschichtung ist noch zu überlegen, warum bei einem solch kostbaren Schwert kein Silber eingesetzt wurde. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass bereits in der Antike Silberbeschichtungen gerne gegen Beschichtungen aus Zinnlegierungen ersetzt wurden, da diese bei geringeren

Materialkosten dem Silberglanz recht nahe kommen konnten. Dabei kam selten reines Zinn zum Einsatz, da Zinn nur oberhalb von 13,2° C silberweiß ist (sogenanntes β -Zinn). Unterhalb von 13,2° C wandelt es sich in das graue α -Zinn um (WIBERG / WIBERG / HOLLEMANN 2007). Da diese Zinnphase ein größeres Volumen besitzt, zerfällt die Kornstruktur und damit das Zinn zu grauem Zinnpulver. Dieser Vorgang wird auch Zinnpest genannt. Dies ist auch der Grund dafür, warum so wenige Zinnobjekte, vor allem das ehemals häufige Zinngeschirr, die Zeiten überdauert haben. Durch Legierung des Zinns kann der Zinnpest vorgebeugt bzw. können die zinnhaltigen Objekte zumindest resistenter gemacht werden. Dies wurde bereits in der Antike erkannt. Hinzu kam, dass bei einer bestimmten Zinn-Legierung der Silberglanz sogar recht gut imitiert werden konnte. So spricht der römische Geschichtsschreiber Plinius (NAT. HIST. 34,48) vom *argentarium*, einer Legierung aus gleichen Teilen Blei und Zinn (Silberblei). Mit diesem und ähnlichen Gemischen wurden Kupfergefäße überzogen (verzinkt), da es dem Gekochten angenehmen Geschmack gäbe und das Gift des Grünspans (bitter schmeckende Kupferkorrosion durch saure Nahrungsmittel) zähme. Die Bezeichnung *argentarium* gibt einen Hinweis zur silbernen Farbe und einem hohen Glanz. Zinnlegierungen waren widerstandsfähiger als reines Zinn und konnten so das teurere Edelmetall ersetzen⁷.

Zur Frage der Materialherkunft

Die Verunreinigungen im Eisen können einen Hinweis auf die Herkunft der Ausgangsstoffe liefern. Zusammen mit Bleiisotopenverhältnissen der Buntmetallbeschichtungen kann damit die Herstellungsregion besser eingegrenzt werden. Als Herkunftsorte der ULFBERHT-Schwerter werden sowohl klösterliche Waffenschmieden (Fulda, Lorsch, St. Gallen u. a.) als auch weltliche Waffenschmieden angenommen. Der Name ULFBERHT kann als Hinweis auf das fränkische Kerngebiet, möglicherweise das Rheinland, dienen. Diese Überlegungen sollten mit naturwissenschaftlichen Daten genauer überprüft werden.

Interessant ist, dass besonders in der Klinge ungewöhnlich hohe Mangangehalte von knapp 1,5 % festgestellt werden konnten. Damit ist widerlegt, dass für dieses ULFBERHT-Schwert Tiegelstahl genutzt wurde, eine Technik aus dem Vorderen Orient. Tiegelstahl wäre deutlich sauberer und enthielte deutlich weniger Schlackeneinschlüsse. Üblicherweise kann man nur mit Spuren von Mangan im Eisen rechnen, welche durch Schlackeneinschlüsse bedingt sind. Die durch Schlackeneinschlüsse resultierenden Mangangehalte liegen meistens unter 0,1%. Bei Gehalten von etwa 1 % geht man von einer gezielten Zulegierung aus, um das Eisen zu veredeln. Da das Zulegieren von Mangan erst seit etwa 100 Jahren praktiziert wird, gelten deshalb Werte von >1 % Mangan häufig als ein Fälschungsmerkmal für angeblich historische Klingen. Diese moderne Ansicht ist jedoch sehr fraglich. So kann ein erhöhter Mangangehalt auch durch stark manganhaltige Eisenerze eingetragen sein. A. Williams (2012a) zeigte auf, dass Mangananteile von unter 2 % im Eisen seit dem 15. Jh. vorkommen können. 1961 wies F. Wever auf einen hohen Mangangehalt in Eisenerzen aus der Steiermark und dem Siegerland hin. Ein hoher Mangangehalt kann allgemein auf die Verwendung von Raseneisenerzen oder auch manganhaltigen Bergerzen schließen lassen. In der Regel wurde Raseneisenerz jedoch wegen der hohen Phosphor- und Mangangehalte gemieden (GASSMANN 2004). Es wurde reicheres Eisenerz mit weniger Verunreinigungen bevorzugt, weil es leichter zu verarbeiten war. So lassen sich laut A. Kronz (1997, 188–199) im Rennofen nur Eisenerze erfolgreich verhütten, welche mehr als 60 % Eisenoxid (FeO) enthalten. Solche Reicherze können aber auch als lokale Inhomogenitäten in sonst armen Eisenerzvorkommen vorkommen. In diesem Zusammenhang ist auf eine noch unpublizierte Analyse eines ULFBERHT-Schwertes hinzuweisen⁸, durchgeführt mit REM-EDX an der EMPA (Schweiz). Die korrodierte, aber gut erhaltene Klinge weist eine schwach erkennbarer Buchstabenfolge „+VLF....“ und ein sich andeutendes Rautenmuster auf der Gegenseite auf. Der Mangangehalt dieser Klinge konnte auf um 1 % bestimmt werden. Bei diesem dem hier diskutierten Fund aus der Weser metallurgisch ähnlichen Schwert stimmen auch die Knaufform und die Klingenform weitgehend überein.

⁷ Hierbei muss bedacht werden, dass Zinn generell einen Wert hatte, welcher sich nahe am Wert von Kupfer bewegte. Nur Blei war deutlich günstiger als Zinn oder Kupfer.

⁸ Präsentiert von S. Maeder, Internationale Tagung Solingen 2015 („Das Schwert – Gestalt und Gedanke“ / „The Sword – Form and Thought“ (19.–20. Nov. 2015).

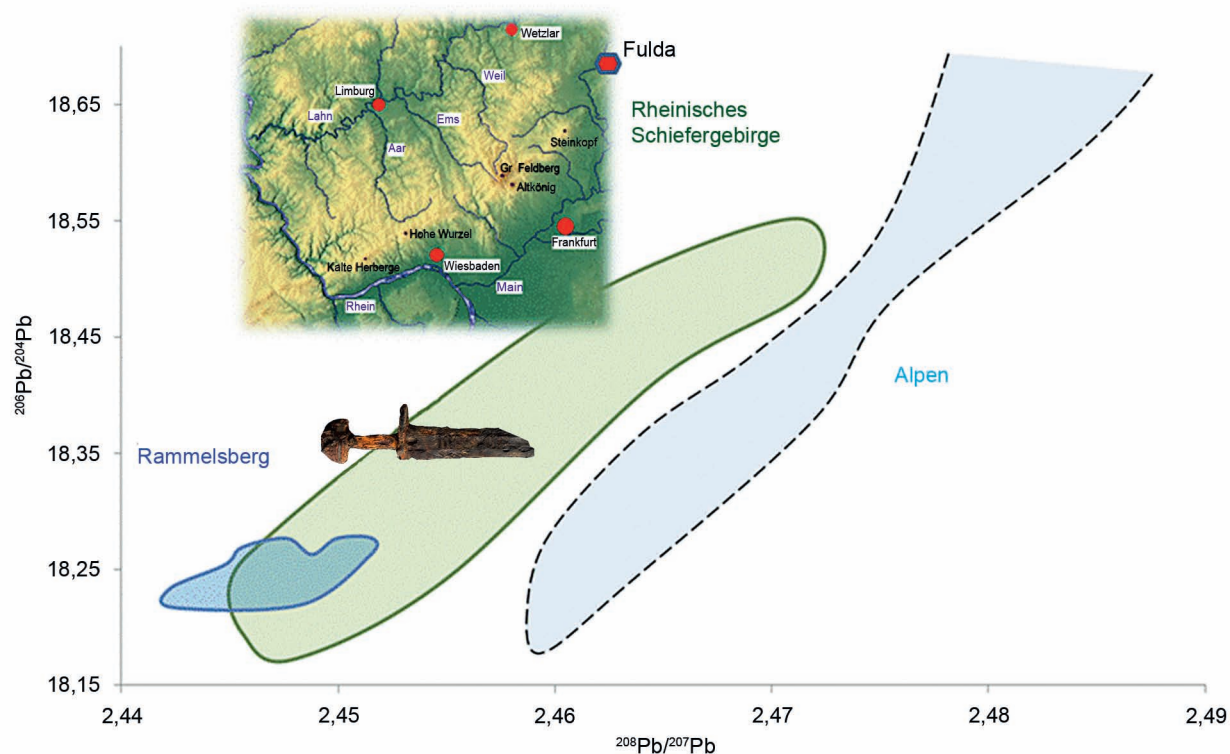


Abb. 4 Herkunftszuweisung mithilfe der Bleisotopenverhältnisse, ermittelt mit der fs-Laserablation-Massenspektrometrie (fs-LA-ICP-MS) (Grafik: R. Lehmann).

Dieser zweite Fall eines ULFBERHT-Schwertes mit erhöhtem Mangangehalt (um 1%) könnte auf eine ähnliche Materialherkunft deuten. Beide Schwerter sind ein erster Beleg dafür, dass manganreiches Eisen bereits im Frühmittelalter im deutschen Raum eingesetzt wurde. Im Rheinland, aber auch im Siegerland gäbe es durchaus Eisenvorkommen, welche einen manganreichen Stahl bedingen können. Diese Überlegungen werden bei der Untersuchung zu den Buntmetallbeschichtungen noch einmal aufgegriffen.

Die Rohstoffherkunft der Bleilegierung an Knauf und Parierstange wurde durch Messung von Bleisotopenverhältnissen (fs-LA-ICP-MS) ermittelt. Bei einer fs-LA-ICP-MS wird eine nicht wägbare und nicht sichtbare Menge an Material verdampft und durch Zählung der einzelnen verdampften, ionisierten Isotope können präzise die Bleisotopenverhältnisse ermittelt werden. Der Messfleck (< 100 Mikrometer) hinterlässt keine sichtbaren Spuren, was erst die Analyse von wertvollen Kulturgütern erlaubt. In der Archäologie steht die Anwendung der fs-LA-ICP-MS noch am Anfang (LEHMANN / FELLENGER / VOGT 2014).

Der Abgleich mit einer größeren Datenmenge (LEHMANN 2011) zeigt, dass das Blei eine Signatur aufweist, welche mit der Signatur des Rheinischen

Schiefergebirges übereinstimmt. Eine genauere Eingrenzung weist in den Hintertaunus (Abb. 4). Die ermittelten Bleisotopenverhältnisse haben folgende Werte: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $18,365 \pm 0,001$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $15,6102 \pm 0,0015$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $2,08081 \pm 0,00066$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $0,85008 \pm 0,00004$, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ $2,45078 \pm 0,00019$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $38,21043 \pm 0,01285$.

Da im Mittelalter zahlreiche Bleilagerstätten ausgebeutet wurden, wurde in der Regel wegen der hohen Transportkosten das nahe gewonnene, einheimische Blei verwendet. Deshalb ist es wahrscheinlich, dass die Beschichtung der Parierstange und des Knaufs in der Region des Hintertaunus erfolgte. Hierzu könnten die manganreichen Eisenerzvorkommen im Siegerland passen, welche an den Hintertaunus angrenzen. Zumindest lägen diese manganhaltigen Erzvorkommen in der Nähe der Herkunftsregion des in der untersuchten Blei-Zinn-Beschichtung nachgewiesenen Bleis. Es ist wahrscheinlich, dass alle Teile des Schwertes an einem Ort gefertigt wurden.

Tatsächlich liegen bekannte klösterliche Waffenschmieden nicht weit vom Hintertaunus entfernt. Die nächstgelegenen wären Fulda und etwas weiter entfernt Lorsch. Wichtig ist, dass die viel diskutierte Waffenschmiede St. Gallen (in der heutigen Schweiz) als Produktionsort eher ausscheidet, da sie

zu weit entfernt ist. Auch der manganreiche Stahl der Klinge könnte aus dieser Region stammen. Im Hochtanaus gab es zudem bedeutende historische Eisenverarbeitung. Die Gegend von Dorfweil z. B. war nicht nur für die Eisenverarbeitung, sondern auch für Bleilagerstätten bekannt. Sowohl die Klöster Fulda als auch Lorsch hatten im Hochtanaus Rechte und Besitz. Das Kloster Lorsch erhielt z. B. im Jahre 772 einen Eisenzins aus dem oberen Weilbereich. Das Kloster Fulda erhielt im Jahre 912 Eisenzins aus Möltau bei Weilmünster (MIELKE 2015). Diese Angaben zeigen zusammen mit den Messergebnissen, dass eine mögliche Herstellung des untersuchten ULFBERHT-Schwertes in den genannten Klöstern ernsthaft diskutiert werden kann. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen scheint die erste Herkunftszuweisung eines ULFBERHT-Schwertes anhand von soliden Messdaten gelungen zu sein. Weitere Vergleichsuntersuchungen an Ulfberht-Schwertern sowie Produktionsresten in Fulda und Lorsch sind geplant und werden vielleicht die Herkunftsfrage noch besser beleuchten helfen⁹.

QUELLENVERZEICHNIS

ALCHEMISTENBUCH 1532

Von Stahel und Eisen; Alchemistenbuch (Nürnberg 1532).

PLINIUS D.Ä.

PLINIUS D.Ä., *Naturalis historia* /Naturgeschichte. Neuübersetzung von Marion Giebel. (Stuttgart 2005).

LITERATURVERZEICHNIS

GASSMANN 2004

G. GASSMANN, Schmiedeabfälle – Aspekte ihrer naturwissenschaftlichen Untersuchung. In: W. Melzer (Hrsg.), *Schmiedehandwerk in Mittelalter und Neuzeit. Beiträge des 6. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks*. Soester Beitr. Arch. 5 (Soest 2004) 71–80.

KRONZ 1997

A. KRONZ, Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen – Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken. Diss. rer. nat. Mainz 1997.

LEHMANN 2011

R. LEHMANN, Archäometallurgie von mittelalterlichen Deutschen Silberbarren und Münzen. Diss. rer. nat. Leibniz Universität Hannover (Hannover 2011).

LEHMANN/FELLENGER/VOGT 2014

R. LEHMANN/D. FELLENGER/C. VOGT, Modern metal analysis of Bronze Age gold in Lower Saxony by using laser ablation mass spectrometry. In: H. Meller/R. Risch/E. Pernicka, *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber / Metals of power – Early gold and silver*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 11 (Halle [Saale] 2014) 237–246.

LEHMANN/VOGT 2014

R. LEHMANN/C. VOGT, Römische Silberbarren als Legionssold – Analysen zur Herstellung und Funktion der Funde aus Niedersachsen, In: R. Lehmann u.a. (Hsg.), *Nub Nefer – Gutes Gold*. Hannoversche Numismat. Beitr. 1, 2014, 159–177.

LORANGE 1889

A.L. LORANGE, *Den yngre jernalders svaerd* (Bergen 1889).

MIELKE 2015

H.-P. MIELKE, Die Ulfberht-Schwerter und der Taunus. *Hochtaunusblätter – Beiträge zur Geschichte des Hohen Taunus 18* (Schmitt im Taunus 2015).

NEDOMA 1988

R. NEDOMA, Die schriftlichen und bildlichen Denkmäler der Wielandsage (Göppingen 1988).

WEVER 1961

F. WEVER, *Das Schwert in Mythos und Handwerk – Über die Ergebnisse neuerer metallkundlicher Untersuchungen alter Eisenfunde und ihre Bedeutung für die Technik und die Archäologie* (Wiesbaden 1961).

WIBERG/WIBERG/HOLLEMANN 2007

N. WIBERG/E. WIBERG/A. HOLLEMANN, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie* (Berlin 2007).

WILLIAMS 2009

A. WILLIAMS, A metallurgical study of some Viking swords. *Gladius* 29, 2009, 121–184.

WILLIAMS 2012a

A. WILLIAMS, *The Sword and the Crucible: A History of the Metallurgy of European Swords up to the 16th Century*. *History of Warfare* 77 (Leiden 2012) 198–199.

⁹ Die Herkunft des Eisens soll durch Messung der Osmiumisotopenverhältnisse nachgewiesen werden. Allerdings muss nach heutigem Stand der Technik das wenige Osmium im Eisen durch massive Probennahme (mind. 1 g) extrahiert werden. Da es in absehbarer Zeit Weiterentwicklungen in der Empfindlichkeit der Massenspektrometrie geben wird, die eine massive Probennahme unnötig machen werden, wurde eine genauere Analyse zur möglichen Herkunftsregion des Eisens vertagt.