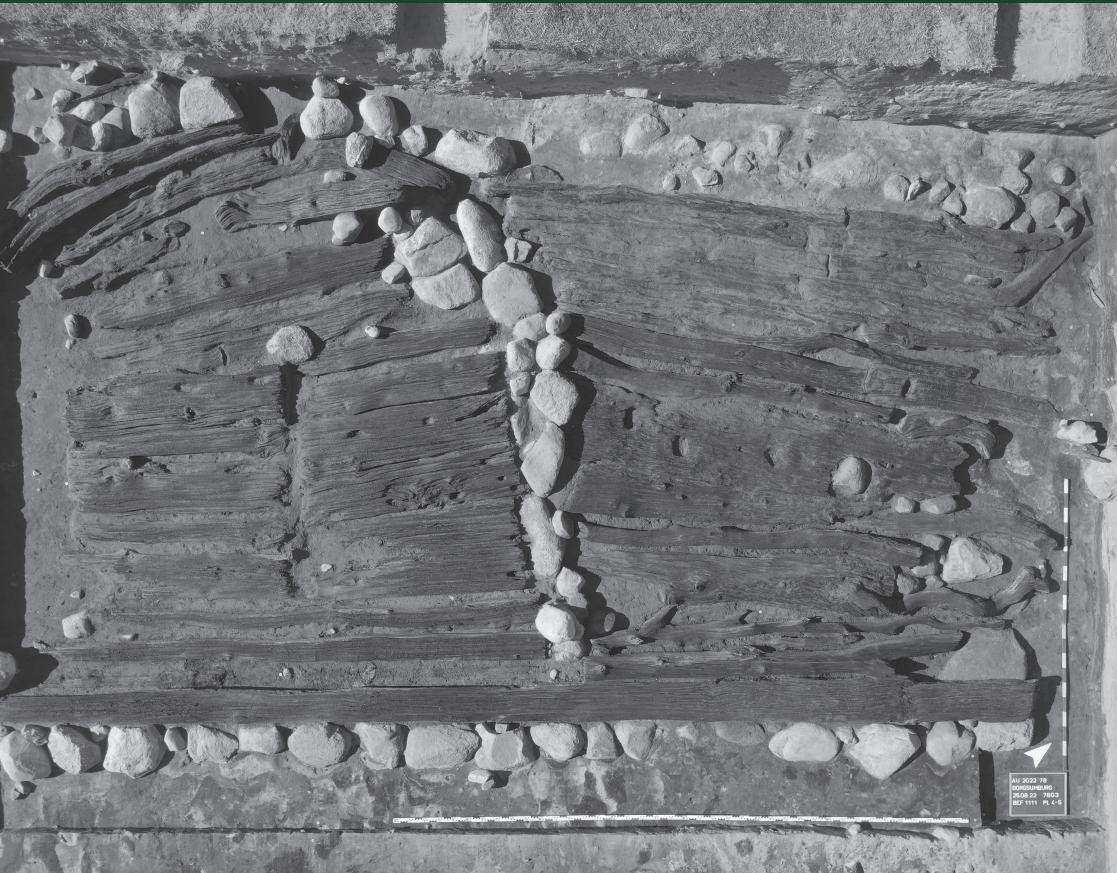


AIS

20 | 2024

Arkæologi i Slesvig | Archäologie in Schleswig



AU 2022 78
SLESVIG
260922 7803
BEG 1111 PL 4-6

Arkæologi i Slesvig
Archäologie in Schleswig

20 · 2024

Symposium Jaruplund
2.–3.2.2024

Kolofon / Impressum

Arkæologi i Slesvig / Archäologie in Schleswig 20 · 2024

Redaktion og udgivelse / Redaktion und Herausgabe

Stefanie Kloß, Archäologisches Landesamt Schleswig-Holstein, stefanie.klooss@alsh.landsh.de

Pernille Kruse, Museum Sønderjylland-Arkæologi Haderslev, pekr@msj.dk

Ingo Lütjens, Archäologisches Landesamt Schleswig-Holstein, ingo.luetjens@alsh.landsh.de

Bente Sven Majchczack, Christian-Albrechts-Universität Kiel, bmajchczack@roots.uni-kiel.de

Lilian Matthes, Museum Sønderjylland-Arkæologi Haderslev, lima@msj.dk

Ralf Opitz, Christian-Albrechts-Universität Kiel, r.opitz@ufg.uni-kiel.de

Mette Sørensen, Museum Sønderjylland-Arkæologi Haderslev, mesr@msj.dk

Trykt med støtte fra / Gedruckt mit Unterstützung von

Museum Sønderjylland-Arkæologi Haderslev

Omslag, grafisk design og opsætning / Umschlag, Layout und grafische Gestaltung

Ralf Opitz, Christian-Albrechts-Universität Kiel

Foto: Piëre Leon Frederiks, Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung

Tryk / Druck

UAB BALTO print

ISSN 0909-0533 | ISBN 978-87-87584-00-5

Alle Beiträge in der AiS unterliegen einem Peer-Review-Verfahren durch auswärtige Gutachter:innen.

Copyright

Ophavsretten til artikler (inklusive ophavsretten til indsendte og accepterede manuskripter), der er publiceret i AIS før d. 1. januar 2023 er ejet af de respektive forfattere. Disse artikler er ikke licenseret med Creative Commons. Artiklerne må downloades, og der må linkes til dem, men de må ikke deles og redistribueres uden tilladelse af forfatterne.

Ophavsretten til artikler publiceret efter den 1. januar 2023 er ejet af de respektive forfattere. Artiklerne er licenseret med Creative-Commons-licensen CC-BY-NC-SA, der giver ret til at kopiere og videredistribuere artiklerne i ethvert medie eller format, samt bruge artiklerne til kommercielle formål, forudsat at brugerne krediterer forfatterne.

Das Urheberrecht für Artikel (einschließlich des Urheberrechts für eingereichte und angenommene Manuskripte), die vor dem 1. Januar 2023 in AIS veröffentlicht wurden, liegt bei den jeweiligen Autoren. Diese Artikel sind nicht unter Creative Commons lizenziert. Die Artikel dürfen heruntergeladen und verlinkt- aber ohne Genehmigung der Autoren nicht geteilt oder weiterverbreitet werden.

Das Urheberrecht für Artikel, die nach dem 1. Januar 2023 veröffentlicht sind, liegt bei den jeweiligen Autoren. Die Artikel sind unter der Creative-Commons-Lizenz CC-BY-NC-SA lizenziert, die das Recht einräumt, die Artikel in jedem Medium oder Format zu kopieren und weiterzuverbreiten sowie die Artikel für kommerzielle Zwecke zu verwenden, sofern die Nutzer die Autoren benennen und zitieren.

Indhold/Inhalt

<i>Ulf Ickerodt</i> 100 år med arkæologiske undersøgelser i Slesvig-Holsten – et kig tilbage	11
<i>Per Ethelberg</i> En analyse af de sønderjyske middelalderkirkers placering i forhold til den samtidige landbebyggelse..	21
<i>Rainer Atzbach, Philip Højén Wørss Brønnum Hansen, Christine Lundgård Kisum Nielsen und Victoria Lyder Tissot</i> Burg Brink: Bischofshof des 13. Jahrhunderts und spätmittelalterliche Burg.	45
<i>Kirsten Hüser und Martin Segschneider</i> Grüße von Harald Blauzahn? – Neue Forschungen in der Borgsumburg auf der nordfriesischen Insel Föhr	63
<i>Jule Kurz</i> Eine angelsächsische Riemenzunge aus Rieseby an der Schlei.	73
<i>Anders Hartwig og Kirstine Pommergaard</i> Guldringen fra Emmerlev og dens ophav	83
<i>Alexander Maaß</i> Leben am Ochsenweg – die völkerwanderungszeitliche Siedlung von Kropp	123
<i>Ringo Kloof</i> Die völkerwanderungszeitliche Siedlung Taarstedt LA 167, Kreis Schleswig-Flensburg	141
<i>Rolf Schulze</i> Brebel LA 49: En bosættelse under overgangen fra ældre til yngre romersk jernalder i nærheden af Thorsberg Mose.	153

<i>Lorenz Harten</i> Eine ländliche Siedlung der römischen Kaiserzeit mit Eisenverhüttung auf der Schleswiger Geest. Der Fundplatz Bollingstedt LA 41	165
<i>Jette Maria Nørgaard Madsen</i> Padholm – en større udgravning syd for Kolding, med et interessant pollenmateriale	177
<i>Lars Grundvad og Martin Egelund Poulsen</i> Stavsager Høj ved Fæsted – de bronzealderlige aktivitetsspor og deres atypiske karakter	197
<i>Ilian Finkeldey</i> Röntgenfluoreszenzgestützte Analyse der zwei bronzezeitlichen Hortinventare von Schellhorn und Fahrdorf (Schleswig-Holstein).	213
<i>Simone Bøgh Jensen</i> Bronzens usynlige farver	241

Spuren des Handwerks im Metall – Röntgenfluoreszenzgestützte Analyse der zwei bronzezeitlichen Hortinventare von Schellhorn und Fahrtdorf (Schleswig-Holstein)

Ilian Finkeldey

Abstract

As part of my master's thesis from 2023/24 »Traces of craftsmanship in metal – X-ray fluorescence-based analysis of the two Bronze Age hoard inventories from Schellhorn and Fahrtdorf (Schleswig-Holstein)«, bronze objects from the two hoards discovered in Schleswig-Holstein, Schellhorn (1902) and Fahrtdorf (2021), were examined using non-destructive X-ray fluorescence analysis (RF/XRF) and microscopy. Both hoards date to Period II of the Nordic Bronze Age and were selected for analysis due to their good state of preservation and typical artifact composition. The proposed presentation will discuss the generated measurement data in the light of the manufacturing processes, the corrosion processes, as well as in relation to conservation measures and thus contribute to the process analysis of XRF data.

Portable X-ray fluorescence (p-XRF) allows the composition of solid objects to be analysed quickly and easily, but the results are influenced by the state of preservation due to the low measuring depth, especially in the case of non-destructive analyses (which were a requirement by the State Museum for all artifacts). However, both hoard inventories processed showed specific anomalies on the surface that do



Abb. 1. Kartierung der Hortfunde von Fahrtdorf LA 105 und Schellhorn LA 37 Schleswig-Holstein (Grafik: R. Opitz, CAU Kiel).

Fig. 1. Mapping of hoards of Fahrtdorf LA 105 and Schellhorn LA 37 in Schleswig-Holstein (graphics: R. Opitz, CAU Kiel).

not match the expected compositions of prehistoric artifacts. In consultation with the responsible conservator, the influence on the more recent finds could be attributed to the desalination method used. As in the case of the older finds from Schellhorn

there is no documentation of any conservation measures that could help to explain the identification of the chemical anomaly. Several possibilities had to be considered, in particular natural and artificial corrosion processes. Ultimately, all anomalies could be classified as the traces of various restoration measures and thus compensated for in the processed data. The trace elements present in the adjusted data correspond to the composition typical for this period and region. Apart from the corrosion-related changes, the compositions of the objects are so similar, with one exception, that a connection between the two hoards could be assumed through a common origin of the raw materials, or perhaps even a common production site.

Einleitung

Die Hortfunde der nordischen Bronzezeit stellen neben Gräbern einen Großteil der bronzezeitlichen Metallartefakte in Schleswig-Holstein dar (GEISSLINGER 1983, 320; ENDRIGKEIT 2010, 1; FRANKE 2012). Anders als Gräber enthalten Horte aus der älteren Bronzezeit vor allem Sammlungen alltäglicher Objekte, gerade Werkzeuge wie Beile und Sicheln. Die genaue Bedeutung dieser Niederlegungen wird nach wie vor diskutiert (EGGERS 1986, 264–266). Die jüngeren Untersuchungen der Hortfunde beschränken sich vor allem auf typologische und quantitative Vergleiche (FRANKE 2012; ENDRIGKEIT 2010; SCHMIDT 1993; WILLROTH 1985) während großangelegte Metallanalysen sich auf besondere Artefaktgruppen wie Schwerter konzentrieren (u.a. BUNNEFELD 2016; NØRGAARD 2017) Metallanalysen an Hortinventaren wurden nur vereinzelt in Projekten des Archäologischen Landesmuseums Schleswig-Holstein

durchgeführt (FREUDENBERG/GLASER 2015; 2016; 2017; GLASER u.a. 2016). Durch diese Untersuchungen konnten wichtige Aussagen über die Herkunft und die Herstellung der Objekte getroffen werden. Der dennoch sparsame Einsatz weiterer Metallanalysen begründet sich zum Teil in der Destruktivität der meisten naturwissenschaftlichen Analysemethoden. Deren Durchführung wird daher nicht mehr ohne triftigen Grund an Artefakten erlaubt. Als eine der wenigen vollständig zerstörungsfrei einsetzbaren Methoden ist die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) daher eine naheliegende Möglichkeit, neue Erkenntnisse zu erzielen. Der vorliegende Artikel ist eine Zusammenfassung meiner gleichnamigen Masterthesis, welche im Frühjahr 2024 in Hamburg absolviert wurde. In dieser wurde die Anwendung der zerstörungsfreien RFA an zwei Hortfunden aus Schleswig-Holstein durchgeführt und ausgewertet sowie die Aussagekraft dieser Methode kritisch betrachtet. Die beiden Hortfunde von Fahrdorf und Schellhorn wurden aufgrund der ähnlichen Menge und Zusammensetzung von Artefakten ausgewählt. Dies und die zeitliche und kulturräumliche Nähe der Fundplätze zueinander ließ vermuten, dass sich über die Materialanalyse Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten lassen.

Methodik

Die angewendete Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA, englisch XRF) basiert auf dem Prinzip der Energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDS), also der Messung der durch hochenergetische Röntgenstrahlung erwirkten spezifischen Emission sekundärer Röntgenstrahlung aller bestrahlten Atome, die über eine K-L-Schale verfügen (ARAI 2005, 15). Die gemessene

Rückstrahlenergie wird in Spektren mit elementspezifischen »Peaks« dargestellt. Standardisierte Messverfahren sind wichtige Voraussetzungen für reproduzierbare und vergleichbare Messergebnisse. Dies beginnt mit dem Abstand und Winkel des Geräts zur Oberfläche der Probe bis hin zur Homogenität und Uniformität der Probe selbst (INJUK u.a. 2005, 411). Messungen in der Archäologie bei denen ein Gerät, vielleicht sogar freihändig, auf die unge reinigte Oberfläche unformiger korrodierter Artefakte gerichtet wird, können diese Fehlerquellen schwerlich vermeiden. Die Messergebnisse sind zwar reproduzierbar, die willkürlichen Faktoren einer solchen freien Messung limitieren allerdings die Chance die Messgegebenheiten exakt zu wiederholen. Viele Faktoren konnten durch zusätzliche Kalibrierung der RF-Analysatoren minimiert werden (MAUSER 2005, 385; 393). Dennoch kommt dem Zustand der beprobeden Objekte eine besondere Bedeutung zu. Unebene oder verzierte Oberflächen können für RF-Analysatoren ein Problem darstellen, da diese den Einschlag- und Reflexionswinkel der Röntgenstrahlen verändern und so das »Rauschen«, also die undefinierbaren Einschläge im Detektor, erhöhen und bei Recheneinheiten zu höherer Ungenauigkeit bis hin zu Aussetzern führen können.

Je nach Größe und Material der Probe durchdringt der Röntgenstrahl des jeweiligen Geräts die Probe nur sehr gering. Gerade bei Metallobjekten kann nur eine geringe Messtiefe erreicht werden. Die lange Lagerung archäologischer Artefakte in verschiedenen Milieus verändert durch Korrosion und andere Prozesse die chemische Oberfläche der Artefakte. Solche Veränderungen sorgen für ein verzerrtes Messbild, welches bislang nicht einfach bereinigt werden kann (GIANONCELLI/KOUROUSIAS

2007, 862). Durch die jeweilige Konstruktion, Intensität und Kalibrierung des Gerätes, entsteht außerdem ein Messbild, welches nur mit einem baugleichen Gerät und dem gleichen Messaufbau reproduzierbar wäre. Es entstehen Ergebnisse, die somit nicht allgemein vergleichbar sind, sondern zunächst nur den relativen Zustand darstellen können. M. PEARCE (2018, 84) bezeichnete daher die Möglichkeit der zerstörungsfreien Beprobung als Fluch und Segen der RF-Methode. Einerseits könnten damit weit mehr Objekte untersucht werden, andererseits hätten die Museen und Archive dadurch weniger Grund, eine destruktivere Untersuchung zuzulassen, auch wenn diese für die präzise Beantwortung einer Fragestellung vielleicht vorzuziehen wäre.

Den sichersten Lösungsweg bildet eine invasive/destruktive Probenentnahme. Hierdurch verliert die Methode ihren großen Vorteil archäologisch bedeutsame Objekte völlig unbeschädigt analysieren zu können. Die Ergebnisse sind jedoch nicht durch die Oberflächenbeschaffenheit der Objekte beeinflusst und kommen der ursprünglichen Legierung deutlich näher. Doch auch die invasive Probenentnahme bringt Nachteile mit sich. Unter anderem hat sich bei starker Korrosion häufig auch das Innere der Artefakte zu verschiedenen Graden chemisch verändert (WADSAK u.a. 2000, 159–160; INJUK u.a. 2005, 420). Außerdem ist die Zusammensetzung von prähistorischen Metallobjekten häufig nicht homogen und so müssten diese für ein repräsentatives Ergebnis an mehreren Stellen beschädigt werden. Einen anderen Lösungsansatz für die Unberechenbarkeit der Schichtenzusammensetzung und Korrosionseinflüsse sollen sogenannte Monte-Carlo-Simulationen erbringen (MANTLER 2005, 394; BOTTAINI u.a. 2015, 13). Für diese

komplexe Simulation werden Parameter benötigt, die nicht zerstörungsfrei zu verifizieren sind (EMMITT u.a. 2021, 4). Da sich die Methode in andauernder Entwicklung befindet, könnte ein Einsatz zu einem späteren Zeitpunkt von Interesse sein.

Die Durchführung der Messungen an den Artefakten für die vorliegende Arbeit wurden zwischen dem 20. und dem 22. Juni 2023 in den Räumen des Landesmuseums Schleswig-Holsteins auf Schloss Gottorf mit dem Niton™ XL3t GOLDD+ RFA-Analysator des Instituts für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie Hamburg durchgeführt. Die Artefakte wurden im Vorfeld durch die Konservatorin C. Mayer für die Analyse vorbereitet und sämtliche bekannte konservatorische Maßnahmen ihrerseits erläutert. An allen Artefakten wurden, mit Ausnahme der zu klein fragmentierten Sichel, vier feste Punkte gemessen. Die Grabungsdokumentation und Einträge der Landesaufnahme und Archäologischen Datenbank (Fahrdorf LA 105, AU2021-130; Schellhorn, Kr. Plön, LA 37, ADSH: AA1902-4, AA1902-12) wurden durch das Archäologisches Landesamt Schleswig-Holstein (ALSH) zur Verfügung gestellt.

Patina und Korrosion an Bronzeobjekten

Die chemische Veränderung an der Metalloberfläche sorgt bei der non-invasiven RF-Untersuchung von Artefakten aus Kupfer und Kupferlegierungen für die größte Beeinflussung der Messergebnisse. Für eine RFA besteht daher die Notwendigkeit, sich mit der Beschaffenheit des individuellen Korrosionszustands und jeder weiteren chemischen Veränderung an der Oberfläche eines jeden zu untersuchenden Gegenstands zu beschäftigen (NØRGAARD

2017, 104; 120) – gerade, wenn keine destruktiveren Maßnahmen zur Verfügung stehen. Um ein Artefakt in einem möglichst ursprünglichen Zustand zu erhalten und präsentieren zu können, werden intakte Patinaschichten in der Restaurierung heute nur noch selten ohne dringende Notwendigkeit entfernt.

Die obersten Oxidationsschichten auf Kupferlegierungen bilden eine stabile Kruste, die sogenannte Patina. Diese unterscheidet sich chemisch stark von der ursprünglichen Legierung, da während der Oxidationsprozesse sowohl Elemente ausgewaschen als auch neue aus dem Lagermillieu aufgenommen werden. Nach L. ROBBIOLA (2015) können Patina in zwei Typen geteilt werden (Abb. 2). Passive oder »Edel-« Patina werden für archäologische Funde als Korrosion Typ I beschrieben, diese sind durchweg glatt und ununterbrochen zweischichtig. Ungestört verhindert Typ I einen weiteren Verfall des Objektes. Aktive oder potenziell destruktive Patinaformen, wie »Bronzekrankheit« werden als Typ II beschrieben. Durch eindringende Feuchtigkeit, korrosive Salze oder starkes auswaschen der Oxide wird die Patina immer wieder aufgebrochen und bietet Angriffsflächen für weitere Korrosion. Sie sind mindestens dreischichtig, häufig rissig oder rau. Verschiedene Patinatypen können am selben Objekt nebeneinander existieren.

Zusätzlich müssen weitere Veränderungen der Oberfläche, sowohl durch restauratorische und konservatorische Maßnahmen als auch potenzielle prähistorische Manipulation berücksichtigt werden. Der übliche, auch von den Restaurator:innen in Schleswig verwendete Schutzlack aus BTA (Benzotriazol) oder das Acrylharz B-72 und Nitrocellulosekleber bestehen aus organischen Verbindungen, deren Elemente zu leicht sind, um in der RFA gemessen

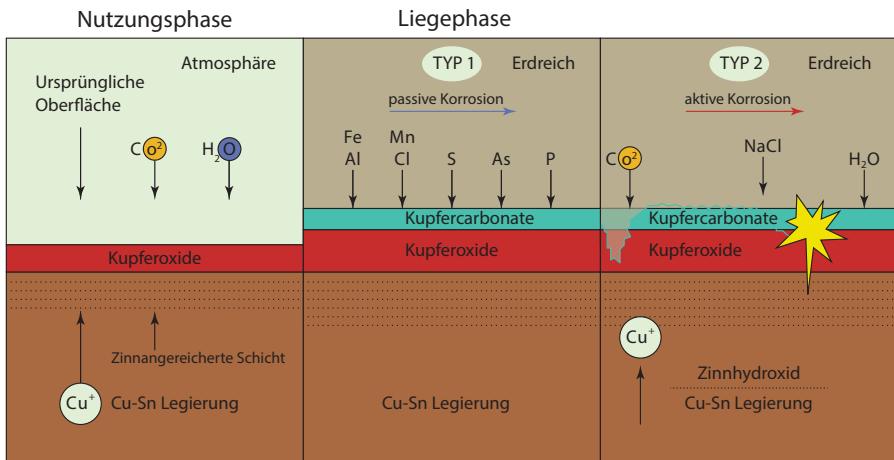


Abb. 2. Vereinfachtes Modell der häufigsten Bronzekorrosionsprozesse Typ I und Typ II nach BERGER 2012a und ROBBIOLA 2015 (Grafik: S. Weihmann).

Fig. 2. Simplified model of the most common type I and type II bronze corrosion processes according to BERGER 2012a and ROBBIOLA 2015 (graphics: S. Weihmann).

zu werden, und sollten daher die Messungen nicht beeinträchtigen, verringern allerdings die Messtiefe. Alternative Mittel können metallische oder mineralische Beimischungen enthalten, welche später im Messbild auftreten. Es wurde zur Verifikation dieser Annahme an einem Bronzeartefakt in der Restaurationswerkstatt vor und nach dem Auftragen des B-72 gemessen und keine eindeutige Verzerrung des Messbildes festgestellt.

Ähnlich kann das Auftragen einer künstlichen Patina weitere Korrosionsprozesse aufhalten. Dies wurde in der frühen Restaurierung aber auch aus ästhetischen Gründen durchgeführt. In der Renaissance waren Historiker:innen der Ansicht, dass sämtliche antiken Metallstatuen der klassischen Zeit ursprünglich schwarz patiniert gewesen wären und dunklen originale Funde mit organischen

Überzügen nach (MANTI/WATKINSON 2022, 158). Tatsächlich sind künstliche schwarze Patinierungen für antike ägyptische, römische und japanische Bronzen nachgewiesen (AUCOUTURIER 2010, 314). Das Auftragen von Pech oder Öl zur Konserverung, sowie Metallfärbung durch Säuren oder Ammoniak ist schriftlich aus der Antike und Spätantike überliefert und chemisch teilweise für diese nachgewiesen (MANTI/WATKINSON 2022, 159; BERGER 2012b, 84–85).

Für die Bronzezeit Mittel- und Nordeuropas ist die Existenz von Beiz- oder Patinierungstechniken noch ungeklärt (BERGER 2012a). Für die Himmelsscheibe von Nebra, welche vermutlich einen Nachthimmel darstellt, kann eine ursprünglich schwarze Färbung des bronzenen Hintergrunds vermutet werden. Der chemische Nachweis konnte allerdings mit

diversen Methoden nicht sicher erbracht werden (BERGER 2012b, 167–168; BERGER u.a. 2010, 776). Überreste von Pech an Bronzeobjekten sind unter besonderen Erhaltungszuständen aus der nordischen Bronzezeit nachgewiesen. In der Masterarbeit von E. MALCHOW (2019) werden Birkenpechreste an der Gürteldose aus der Tollense beschrieben, aber nicht als Schutzbehandlung, sondern als dunkle Kontrastfärbung in den Zierelementen.

Die chemische Zusammensetzung der Oberfläche eines Bronzeartefakts kann demnach sowohl eine ursprüngliche, von ihren Herstellern herbeigeführte Anpassung des Artefakts, ein reines Produkt der Lagerung und des Alters, eine moderne restauratorische Maßnahme oder eine Kombination dieser Prozesse sein.

Analyse Schellhorn, Kr. Plön, LA 37

Der Hortfund von Schellhorn besteht aus vier norddeutschen Absatzbeilen, einem abgebrochenen verzierten nordischen Absatzbeil, einem Tüllenmeißel mit Öhr, zwei Knopfsicheln, zwei gedrungenen Lanzenspitzen und einer verzierten langen schmalen Lanzenspitze. Die Objekte wurden aufgrund der Fundumstände zunächst unter der Kennung Bronzefunde Scharsedorf KS11145 a bis l (ohne j) in der Ortsakte vermerkt. In der modernisierten Aufnahme sind sie unter SH1902-4.1 bis 4.11 eingetragen. Die ursprüngliche Funddokumentation von 1903 ist äußerst vage. Als Fundumstand werden Arbeiten an einem bestehenden Graben genannt. Als örtliche Referenz wird ein benachbartes Bodendenkmal erwähnt, bei welchem es sich um die slavische Besiedlung am Scharsee handeln dürfte (WILLROTH 2017, 81). Der Hort ist im Laufe der Zeit wiederholt bearbeitet

worden und ist im umfassenden Katalog von A. ENDRIGKEIT (2010, 168) aufgeführt. Nach Endrigkeit zählt Schellhorn zu den eindeutig datierbaren gemischten Mehrstückhorten und entspricht der typischen Zusammensetzungen aus Geräten (Absatzbeile, Knopfsicheln, Tüllenmeißel) und Waffen (Lanzenspitzen) (ENDRIGKEIT 2010, 76; vgl. LAUX 2017, 33; 38; 44). Wo bei im Katalog das norddeutsche Absatzbeil SH1902-4.6 zu fehlen scheint. Die jüngste Beschreibung und Zeichnung des Hortinventars wurde von Karl Heinz Willroth 2017 publiziert (WILLROTH 2017, 81 Taf. 28; 29). Ob es sich bei dem Fund um einen geschlossenen Hortbefund handelt, ist aufgrund der geringen Dokumentation nicht zweifelsfrei zu bestimmen.

Äußerlich sind alle Stücke sehr gut erhalten, der Zustand der Oberflächen ist entgegen den älteren Beschreibungen nicht einheitlich. Einige Objekte scheinen ihre ursprüngliche goldene Oberfläche beinahe unangetastet erhalten zu haben. Auf den Abbildungen des Digitalmikroskops und dem Oberflächenscan des 3D-Profilometers zeigen sich diese mit besonders glatten Oberflächen und bronzenem Glanz mit wenigen Korrosionsflecken und nur kleinen Akkumulationen. Alle anderen Objekte wirken deutlich stumpfer und dunkler. Besonders die Oberfläche der Beile und Sicheln ist rauer und mit vielen kleinen Korrosionsgruben übersäht. Teilweise scheinen diese aufgerauten Oberflächen aber nicht mit ausreichend Korrosionsprodukten besetzt zu sein. Dies könnte ein Anhaltspunkt für das Abtragen von ursprünglich vorhandenen Korrosionsprodukten sein. Mit den vorliegenden Lagerbedingungen ist dieses Phänomen nicht schlüssig zu erklären. Am ehesten ist eine moderne Reinigung dieses Objekts anzunehmen, wie sie

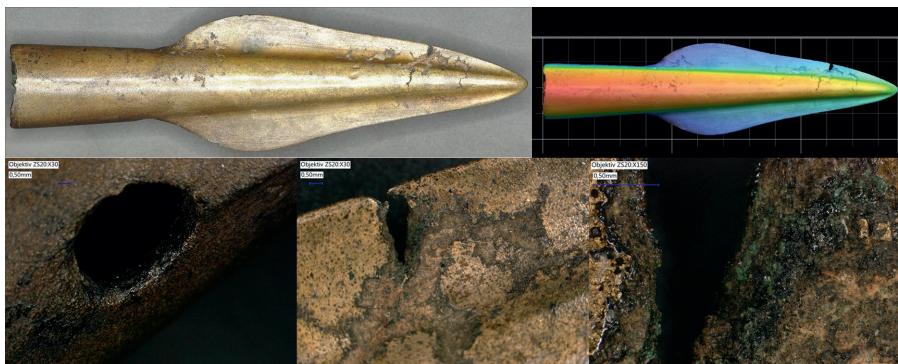


Abb. 3. Riss in der ausgezeichneten Lanzen spitze Schellhorn SH1902-4.11 mit auffällig wenigen Korrosionsprodukten (3D-Profil und Digitalmikroskop, eigene Aufnahmen unterstützt durch B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

Fig. 3. Crack in the excellently preserved spearhead Schellhorn SH1902-4.11 with conspicuously few corrosion products (3D profile and digital microscope, own images supported by B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

auch in älteren Handbüchern empfohlen wird (RATHGEN 1905, 121–122). Im Gegensatz dazu scheint auf den Lanzenspitzen 1902-4.4 und 4.10 eine besonders deckende schwarze Patina zu liegen. Neben der typischen dünnen kristallinen Patina sind hier auch Akkumulation einer teerartigen schwarzglänzenden Masse zu beobachten. Unregelmäßige Spuren dieser Masse, finden sich auch an den anderen Objekten. Hier wirkt dieser Stoff besonders wie eine erstarrte klebrige Masse oder Harz. Teilweise sind an Kanten Schmierspuren dieser Substanz zu erkennen. Optisch wirkt dieser Stoff nicht wie die zu erwartenden kristallinen Korrosionsprodukte. Es stellt sich daher die Frage, ob es sich um einen intentionellen Überzug handelt. Dabei käme Birkenpech als Spur einer prähistorischen Verklebung, Zierde oder Schutzbeschichtung infrage, oder eine künstliche Färbung oder Schutzbeschichtung des 20. Jahrhunderts.

Weitere Objekte wie das Beil SH1902-4.1 und die Sichel SH1902-4.2 (Abb. 4) zeigen stellenweise eine besonders rauhe, poröse und unebene Oberfläche die nicht wie eine mechanisch nachbearbeitete Oberfläche oder Folge von gewöhnlichem Korrosionsfraß wirken. Es sind zahlreiche ungeschlossene Gussblasen und Sandeinschlüsse zu erkennen, die bei einem bearbeitenden Objekt durch Schleifen, Hämmern oder Polieren geschlossen oder abgerieben werden sollten. Die Oberfläche ist der Guss Haut eines frischen Sandgusses ähnlich und könnte den Eindruck einer Fälschung erwecken, wie sie bei dem Hort von Kappeln entdeckt wurde (FREUDENBERG/GLASER 2016). An antiken Bronzen wurde so etwas als Hinweis auf Materialverlust durch frühmoderne ästhetische Nachbearbeitung gewertet, welche die Blasen und Einschlüsse unter der Oberfläche des Objektes freilegen (PELTZ 2013, 102).



Abb. 4. Knopfsichel Schellhorn SH1902-4.2 mit Resten dunkler »Moorpatina« und rostrem Fleck nach Aceton Behandlung (3D-Profil und Digitalmikroskop, eigene Aufnahmen unterstützt durch B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

Fig. 4. Button sickle Schellhorn SH1902-4.2 with remains of dark »bog patina« and rusted stain after acetone treatment (3D profile and digital microscope, own images supported by B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

Bei den Messergebnissen fällt zunächst die stark variierende Menge der Grundbestandteile der Legierung auf. Gerade die teilweise äußerst niedrigen Kupferwerte und dagegen stark erhöhten Zinnwerte sprechen für eine durch Korrosion bedingte Reduzierung des Kupfers an der Oberfläche. Für eine funktionale Legierung bei bronzezeitlichen Objekten wird von einem ungefährnen Kupfer-Zinn-Verhältnis neun zu eins ausgegangen (JANTZEN 2008, 7–8). Nur eine Messung, vorgenommen an der Mittelrippe von Absatzbeil SH1902-4.1, fällt mit 83,48 % Kupfer zu 11,367 % Zinn und 5,15 % Verunreinigung annähernd in den zu erwartenden Bereich. Eine Verzerrung der Messwerte durch Korrosionsprozesse ist bei allen Objekten offensichtlich. Es ist eine Abhängigkeit der Verzerrung zur Stärke der Patinierung erkennbar, dabei scheint der Fortschritt des Kupferentzugs aber generell stärker zu sein, als von dem guten

optischen Erhaltungszustand anzunehmen wäre. Bei der weiteren Betrachtung der Hauptbestandteile sticht vor allem der hohe Eisenanteil heraus. Der vorhandene Anteil schwankt stark zwischen den unterschiedlichen Messungen, auch am selben Objekt. Gerade in frühbronzezeitlichen Legierungen ist Eisen als Spuren-element (<1%) zu erwarten. Eisen wird bei der Verhüttung der gängigen Kupfererze wie Arsenfahlerz ($[Cu, Fe]_{12}As_4S_{13}$), Kupferkies ($CuFeS_2$) und Buntkupferkies (Cu_5FeS_4) zwar reduziert, konnte aber nicht völlig abgetrennt werden (vgl. BUNNEFELD 2016, 94 Tab. 6; PERNICKA 1999, 165–170). Höhere Eisenteile wie bei den vorliegenden Objekten können eher über Korrosionsprozesse erklärt werden, da sich Eisen während der Patinabildung aus dem umliegenden Erdreich heraus stark anreichern kann. Dass ein derart hoher und variabler Eisenanteil durch eine Anreicherung aus dem Lagermilieu

zu erklären ist, scheint hier aber nicht plausibel. Es wäre anzunehmen, dass die Anreicherung in einem eisenhaltigen Boden relativ gleichmäßig über die einzelnen Objekte verteilt wäre. Dies muss jedoch nicht zutreffen, da die Aufnahme von Eisen durch verschiedene chemische Wechsel im Bodenmilieu bedingt werden kann. Die hier vorliegenden Werte liegen im Durchschnitt bei 4,8% schwanken aber zwischen den Objekten stark mit bis zu 16 % an den dunkler patinierten Objekten. Diese Messwerte und Schwankungen sind deutlich höher als bei Objekten mit einer als einheitlich bezeichneten Moorpatina zu vermuten sei. In Kombination mit den, unter dem Mikroskop beobachteten ungewöhnlichen Patinaoberflächen schien eine moderne Kontamination oder Beeinflussung wahrscheinlich. Im Gegensatz zu den vermutlich nach unbekannten Originalen hergestellten Fälschungen des Hortes von Kappeln verfügen die Objekte von Schelhorn ansonsten über eine einheitliche und plausible Legierung. Auch die deutlich erkennbaren Nutzungs- und Bearbeitungsspuren sowie das Erscheinungsbild des Metalls an Stellen mit geringer Patinabildung sprechen hier, anders als bei Kappeln (FREUDENBERG/GLASER 2016, 198–200), für die Authentizität der Objekte. Nur das Fehlen der Korrosionsprodukte in einigen der aufgerauten und pockennarbigen Oberflächen ist verwunderlich, könnte allerdings die von Willroth erwähnte Spur einer Depatinierung sein (Abb. 3; vgl. WILLROTH 2017, 81).

Viele ältere restauratorische Maßnahmen sind schlecht oder gar nicht dokumentiert. Somit ist die chemische Veränderung gerade bei Altfunden schwer vorhersehbar. Die Behandlung an älteren Funden können mit den verschiedensten

Verfahren und womöglich durch den Restaurator selbst produzierte Mittel durchgeführt worden sein (RATHGEN 1905, 15–49; 120–146; BECKER u.a. 2017, 95–96). Die bei einem Reinigungsversuch der Restauratorin mit Aceton entstandenen rotbraunen Eisenoxidationsprodukte weisen darauf hin, dass die erhöhten Eisenbestandteile hauptsächlich an der Oberfläche der Objekte liegen. Eisennitrate sind ein bis heute gängiges modernes Mittel zur Patinierung, Brünierung oder Beize bronzer Kunstobjekte. In »Die Metallfärbung«, beschreibt der Chemiker G. BUCHNER (1920, 166) verschiedene Vorgehen zur Färbung und Patinierung von Kupferlegierungen, unter anderem zitiert er ältere Rezepte zur Beize mit Eisenoxid. Auch für die schwarz glänzende Patina der Objekte von Kappeln wird von einer künstlichen Patina aus Kohlenstoff mit Bestandteilen aus Eisen, Aluminium und Nickel ausgegangen. An den Objekten aus Schellhorn ist keine Korrelation zu Nickel oder Aluminium erkennbar.

Auch handelt es sich aufgrund der hohen Eisenanteile bei der schwarzen Masse sehr wahrscheinlich nicht um Reste einer möglichen prähistorischen Beschichtung, Verklebung oder Färbung mit Birkenpech (MALCHOW 2019, 55–56; BERGER 2012b, 84–85), sondern um die Reste eines modern aufgetragenen Mittels. Beizverfahren zur Konservierung von Bronzeobjekten wurden in frühen restauratorischen Maßnahmen eingesetzt, konnten allerdings das Erscheinungsbild der Artefakte deutlich verändern. Andere chemische, vor allem schwerölbasierte, Korrosionsinhibitoren konnten sich erst während und nach den Weltkriegen etablieren (FINŠGAR/MILOŠEV 2010, 2737). Warum die ursprüngliche Patina, dieser These folgend, zumindest teilweise von



Abb. 5. Auswahl des Hortinventars Fahrerdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105, unbehandelt kurz nach der Bergung 2021 (Foto: L. Hermannsen, ALSH).

Fig. 5. Selection of the Fahrerdorf hoard inventory, Schleswig-Flensburg district, LA 105, untreated shortly after recovery in 2021 (photo: L. Hermannsen, ALSH).

den Originalen entfernt wurde, nur um dann in unterschiedlichen Stärken wieder neu aufgetragen zu werden, erschließt sich aus heutiger Sicht nicht ganz. Möglicherweise wurde nach der durchaus üblichen Dedpatinierung ein weiterer Verfall der Objekte befürchtet oder die Korrosion hatte sich während der Lagerung und Ausstellungen reaktiviert.

Das Ausmaß der veränderten Anteile ist nur im Falle der überhöhten Eisenanteile deutlich erkennbar, somit können die Ergebnisse rechnerisch geringfügig ausgeglichen werden. Die Eisenanteile könnten dem Kupferanteil zugesprochen werden, da dieser als einziges Hauptlegierungsmetall deutlich unterrepräsentiert ist und Objekte mit hohen Eisenanteilen besonders niedrige Kupferwerte aufweisen. Durch ein

Abziehen des Eisenanteils konnte sich somit dem ursprünglich erwarteten Verhältnis modellhaft angenähert werden. Die daraus folgende Erhöhung des Kupferanteils kann die stark variierenden Veränderungen in den Ergebnissen der Hauptlegierung nicht ausgleichen. Die Ergebnisse scheinen allerdings deutlich vergleichbarer mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen. Es ist zu vermuten, dass die Objekte ursprünglich, wie häufig der Fall, unterschiedlich starke korrosionsbedingte Veränderungen durchliefen, welche durch eine End- bzw. Repatinierung optisch nicht mehr nachzuvollziehen sind. Insgesamt besteht der gesamte Hort aus Objekten, die abgesehen von ihrem Korrosionsbefall, eine sehr ähnliche Zusammensetzung der Legierung und Spurenelemente besaßen.

Analyse Fahrdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105

Der Hort von Fahrdorf besteht aus den Objekten mit der Kennung SH2021-130.1 bis SH2021-130.32. Es handelt sich um fünf norddeutsche Absatzbeile, eines davon ein unbearbeiteter Rohguss, eine fragmentierte Lanzenspitze und Fragmente von mindestens neun Knopfsicheln, sowie vier nicht zugeordnete Sichelklingenfragmente (Abb. 5). Aufgrund seiner Zusammensetzung wird der Hort ebenfalls als typischer Mehrfundhort der Periode II angesprochen. Die Objekte wurden teilweise zerplügt, teilweise noch *in situ*, auf einem Acker bei Fahrdorf geborgen (FISCHER 2021; KLOSS u.a. 2022). Sie sind sehr gut erhalten und haben stellenweise den ursprünglichen Bronzeglanz erhalten. Die meisten Objekte haben ansonsten eine geschlossene Edelpatina mit wenigen pockenartigen oder spröden Flächen (Abb. 6).

Alle Objekte des Hortes Fahrdorf, mit Ausnahme eines Rohgusses, weisen unter dem Mikroskop Nutzungsspuren auf. Die Objekte stammen, soweit ersichtlich, aus unterschiedlichen Gussformen. Die umlaufenden Gussnähte an dem Rohguss (SH2021-130.2) sprechen für die Verwendung zweischaliger Gussformen. Diese Gussformen könnten aus Stein oder Lehm bestanden haben. Für Absatzbeile sind auch eine Reihe von bronzenen Gussformen, mit denen in kurzer Zeit eine große Zahl Beile hergestellt werden konnte, bekannt (LAUX 2017, 70). Beile und Sicheln könnten durch Abdruckgüsse immer wieder repliziert worden sein. Siliziumanteile in allen Objekten könnten für die Verwendung von Lehmformen sprechen. Wahrscheinlicher stammt das Silizium allerdings nicht aus der Gussform sondern aus dem Lagermilieu und

konnte nur in deutlich geringerem Maße bei der Verhüttung oder über Tiegel und technische Keramik in die Gusspeise gelangen. Nur die Lanzenspitze mit Tülle muss mindestens in einer dreiteiligen Form mit einem langen Gusskern oder Sporn gegossen worden sein, da die erhaltenen Fragmente zur Gänze durchlocht sind.

Das Messbild zeigt bei allen Objekten einen regelmäßigen, deutlich erhöhten Aluminiumanteil, welcher bereits während der Messungen auffiel. Diese waren eindeutig zu hoch, um aus dem Lagermilieu zu stammen. Sie konnten aber auf die angewandte Entsalzungsmethode zurückgeführt werden. Die Methode wurde in der Konservierung angewendet, um den erkennbaren Befall durch »Bronzekrankheit« zu stoppen, welche durch weiße Kupferchloridsalze ausgelöst wird. Theoretisch sollte diese Methode keine Veränderungen der Oberfläche hinterlassen, in den Messdaten ist zu beobachten, dass die entfernten Salze durch Aluminiumverbindungen ersetzt worden sind. Nicht nur sind die vorhandenen Aluminiumverbindungen auf der Oberfläche darauf zurückzuführen, sondern durch das Abtragen der Aluminiumchloridsalze ist auch ein Teil der vorher im Kupferchlorid gebundenen Kupferanteile ausgewaschen worden. Somit sind die weiteren Legierungsbestanteile wie Zinn und Arsen noch einmal deutlich überrepräsentiert. Besonders die kleinen Sichelfragmente sind schon durch die starke Korrosion deutlich kupferreduziert, während die Messungen an noch goldenen Flächen regelhaft glaubhaftere Verhältnisse ergeben. Davon ausgehend, dass die Aluminiumanteile vor allem durch die Entsalzungsmethode in die Oberfläche gekommen sind, repräsentiert somit jedes % Al jeweils mindestens den

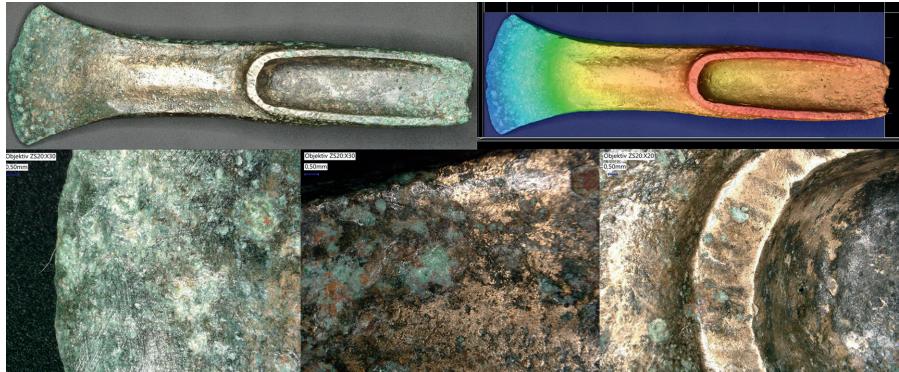


Abb. 6. Absatzbeil Fahrndorf SH 2021-130.23 mit hervorragend erhalten Oberfläche, Bearbeitungsspuren und kristallinem Lochfraß (3D-Profil und Digitalmikroskop, eigene Aufnahmen unterstützt durch B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

Fig. 6. Palstave Fahrndorf SH 2021-130.23 with excellently preserved surface and traces of metalworking and crystalline pitting (3D profile and digital microscope, own images supported by B. Meller, N. Joachimsthaler, J. Harms).

äquivalenten Wert ausgewaschenes Cu. So könnte die bestehende Verunreinigung mit Al herausgerechnet und dem Cu-Anteil angerechnet werden, um diese Beeinflussung der Oberfläche zu mindern. Der entstehende Wert wäre weiterhin zu niedrig, da die große Dunkelzahl ausgewaschener Elementanteile nicht berücksichtigt wird und die Verbindungen Cu + Cl und Al + Cl nicht gleichwertig auftreten (Redoxgleichung $3\text{CuCl}_2[\text{aq}] + 2\text{Al}[\text{s}] \rightarrow 2\text{AlCl}_3$ und 3Cu) und daher kein konstanter $1\text{Cu} = 1\text{Al}$ -tausch vorliegt. Somit müsste der Aluminiumanteil bei stabilen Kupferchloridsalzen (CuCl_2) mindestens ein 1,5-faches, bei saurem Kupferchlorid (CuCl) sogar ein 3-faches Verhältnis repräsentieren. Schon bei einer Erhöhung von 1,5 würde dies zu einer Erhöhung der Kupferwerte zwischen 2,437% und 17,178%, im Durchschnitt 8,28275% führen. Der Rest der Elemente müsste um

0,5 dieses Wertes verringert werden, um wieder 100 % zu erhalten (2 bei einem 3-fachen Verhältnis). Dieses Rechenmodell ignoriert weiterhin die Effekte der Korrosion und Zinnmigration. Die Möglichkeit verschiedenzähliger Elementverbindungen und die Möglichkeit, dass die Entsalzungsmethode möglicherweise auch andere Elemente reduzierte, kann in diesen Rechenmodellen nicht akkurat dargestellt werden. Dennoch erhöht diese Korrektion die Kupferwerte derart, dass auf den besser erhaltenen Flächen die Werte der erwarteten »Ursprungslegierung« angeähnert sind und somit eine weitgehende Eliminierung der Verzerrung der Entsalzungsmethode angenommen werden kann. Die Effekte der Korrosion bleiben jedoch bestehen und können rechnerisch nicht einfach beseitigt werden.

Die Funde aus Fahrndorf zeigen ein gemischtes Messbild. Teile der Objekte sind

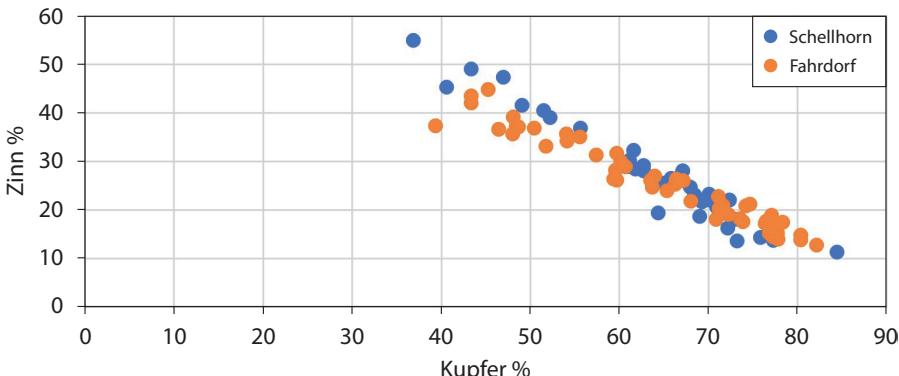


Abb. 7. Kupfer-Zinn-Verhältnis der kompensierten Messdaten der einzelnen Messpunkte zeigt den variablen Erhaltungszustand (Grafik: I. Finkeldey).

Fig. 7. Copper-tin ratio of the compensated measurement data of the individual measurement points shows the variable state of preservation (graphics: I. Finkeldey).

deutlich besser erhalten, während stark korrodierte Flächen deutlich schlechter ausgewertet oder verglichen werden können. Reaktive Spurenelemente, besonders Arsen, sind an den stark korrodierten Flächen stark überrepräsentiert und können nur bedingt für präzise Aussagen genutzt werden. Im Gegensatz zu den erwähnten modernen Veränderungen korrespondiert der Arsenwert als eines der primären Spurenelemente in beiden Horten stark mit dem korrosionsbedingten Kupfer-Zinn-Verhältnis und ist daher als stark korrosionsabhängig zu erkennen (Abb. 7). Gerade die Auswertung von Durchschnittswerten der Messpunkte nach den jeweiligen Objekten kann hier durch diese korrosionsbedingte Streuung der Verhältnisse keine sinnvollen Ergebnisse hervorbringen. Daher können für eine Annäherung an die ursprünglichen Werte nur die Messungen an den weniger korrodierten Flächen und

Objekten wirklich verwendet werden. Gerade die Messungen mit Kupferwerten, die nach der Korrektur des Aluminiumwertes auf etwa 80 % kommen, sollten eine niedrige Verzerrung der zu erwarteten Legierungen besitzen. Unverkennbar sind die Werte durch die angewendete Entsalzungsmethode weiter verzerrt worden. Da die angewendete Methode in diesem Fall allerdings bekannt und dokumentiert wurde, konnten die Modelle zur Kompensation der Verzerrung erstellt werden. Darüber hinaus scheinen die Verhältnisse nicht so eindeutig zu korrelieren, als dass diese für eine generelle Rückrechnung der Korrosion genutzt werden könnten. Eine Gruppenbildung innerhalb des Hortes aufgrund der Elementverhältnisse scheint daher nicht sinnvoll. Die insgesamt aber sehr homogene Zusammensetzung der Legierung spricht viel eher für eine einheitliche Herstellung aller Objekte aus derselben Rohstoffqualität.

Ergebnisse

Die beiden Hortfunde von Schellhorn und Fahrndorf repräsentieren in ihrer Zusammensetzung eine Auswahl von Gegenständen des täglichen Lebens, wie sie für einen Großteil der menschlichen Vorgeschichte ebenso notwendig wie gewöhnlich gewesen sein dürften. Dennoch können durch die Untersuchung ihrer Vergesellschaftung, ihrer Befunde sowie Materialanalysen und Rekonstruktionen auf ihre Herstellung, Verwendung und Niederlegung und somit auf das Leben der Menschen geschlossen werden. Für die Masterthesis wurde das Material der Horte eingehend untersucht und verglichen. Die unbearbeiteten Messdaten der zerstörungsfrei durchgeführten RFA spiegeln zunächst die Spuren konservatorischer Arbeiten und den Erhaltungszustand der Objekte wider. Wie durch die Untersuchung moderner Gussversuche gezeigt wurde (FINKELDEY/HARMS 2024; ZIMMERMANN u. a. 2004), sind Spuren des Gussvorgangs hauptsächlich in der Oberfläche zu erkennen, weswegen eine oberflächenbasierte Analyse sinnvoll schien. Die durch Lagerung und Korrosion angereicherten Elemente lassen hier allerdings keine schnellen Erkenntnisse zu. Durch die starke Überrepräsentation der Oberfläche und andere Einschränkungen der Methodik repräsentiert das Messbild bei einer zerstörungsfreien Messung primär den heutigen Zustand des Artefaktes. Dieser hat sich durch Prozesse der Lagerung, Verfall und Konservierung deutlich von seinem ursprünglichen Zustand abgewandelt. Der zerstörungsfreie Einsatz limitiert, gegenüber tiefer eindringenden Labormethoden, somit die Vergleichbarkeit der entstehenden Daten. Die so verlorenen Informationen der Oberfläche

könnten dabei nur begrenzt durch invasive Methoden aus dem Kern des Objekts ausgeglichen werden, da davon ausgegangen werden muss, dass die Verteilung der Legierungselemente zwischen Oberfläche und Kern heterogen ausfällt. Die Interpretation der entstandenen Messdaten ist also massiv vom Verständnis der vorliegenden Objekte, ihrem Erhaltungszustand und den damit verbundenen Prozessen abhängig. Die jüngsten chemischen Veränderungen der Bronzeoberfläche konnten für diese Arbeit identifiziert und teilweise kompensiert werden. Mithilfe von Mikroskopie und 3D-Profilometer konnten neben Schlüssen über den Korrosionszustand auch Spuren der Herstellung und Nutzung der Objekte gesammelt werden.

Sowohl in Form, Zustand, Spurenelementen und Material ergaben die Analysen an den Objekten, auch zwischen den Horten, mehr Gemeinsamkeiten als Unterschiede. Die Horte und ihre Objekttypen sind in ihrer Zusammensetzung nach Haupt- und Spurenelementen neben den charakteristischen Korrosionsspuren nicht deutlich voneinander abgrenzbar. Es spiegelt sich in den Unterschieden vor allem die Erhaltungszustände der Oberflächen wider. Dies könnte bedeuten, dass eventuelle Materialgruppen, mit der angewandten Methode nicht erfasst werden können oder dass das untersuchte Material derselben Gruppe angehört. Nur ein Objekt (Tüllenmeißel SH1902-4.9) stach durch seine etwas abweichende Verteilung der Spurenelementverhältnisse, besonders hohe Nickelwerte, heraus und gehört daher als einziges Artefakt möglicherweise einer anderen Materialgruppe an (Abb. 8). Insofern kann angenommen werden, dass es sich bei den anderen Objekten tatsächlich um die gleiche oder sehr ähnliche Materialgruppen handelt. Eine nahe Verwandtschaft

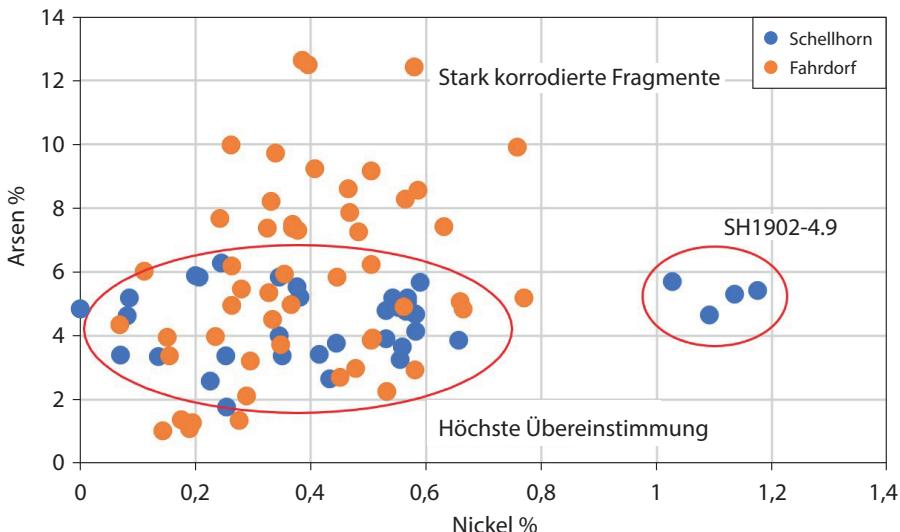


Abb. 8. Arsen-Nickel-Verhältnis der einzelnen Messpunkte zeigt ein zentrales Cluster, überrepräsentierte Arsenanteile einiger Messpunkte aus Fahrndorf und die deutlich erhöhten Nickelwerte des Tüllenmeißels SH1902-4.9 (Grafik: I. Finkeldey).

Fig. 8. Arsenic-nickel ratio of the individual measuring points shows a central cluster, over-represented arsenic proportions of some measuring points from Fahrndorf and the significantly increased nickel values of the SH1902-4.9 socketed chisel (graphics: I. Finkeldey).

der Hortbefunde in Herkunft und Herstellung kann demnach vermutet werden. Aufgrund der korrosionsbedingten Verzerrung können über die mit RFA gemessenen Spurenelemente keine Provenienzanalysen durchgeführt werden. Die Verhältnisse der Spurenelemente mit Arsen und Nickel als primäre Spurenelemente entsprechen allerdings für alle Objekte weitgehend der sogenannten AsNi-Gruppe (mit Ausnahme des fehlenden Silberanteils), welche in der älteren nordischen Bronzezeit verbreitet ist und können somit in diese eingruppiert werden (MELHEIM u.a. 2018, 96 Fig. 8; BUNNEFELD 2016, 34; 93). Konkretere Spuren des Handwerks konnten nicht

anhand von Spurenelementen oder spezifischen Verunreinigungen identifiziert werden. Die Spuren des Herstellungsprozesses sind durch Korrosion und Anreicherung weiterer Elemente weitgehend zerstört, beziehungsweise überlagert worden. Bearbeitungs- und Nutzungsspuren wiederum sind unter dem Mikroskop noch deutlich sichtbar. Der zerstörungsfreie Einsatz kann den Einsatz invasiver Methoden für Fragestellungen, welche den ursprünglichen Zustand betreffen, auch bei guter Erhaltung der Objekte, nicht völlig ersetzen. Die undokumentierte chemische und mechanische Veränderung der Artefakte durch konservatorische Maßnahmen

besonders bei Funden des 19. und 20. Jahrhunderts führt darüber hinaus zu Problemen der Quellenkritik (LAUX 2017, 11–13). Gleichzeitig ist es erstaunlich, dass die untersuchten Objekte, welche in unterschiedlichen Milieus komplexen Korrosionsprozessen ausgesetzt waren, und mit konservatorischen Mitteln behandelt wurden, trotzdem derart vergleichbare Messergebnisse erzielen.

Fazit und Ausblick

Die RFA bietet eine Möglichkeit zur schnellen qualitativen Einordnung von Funden und der quantitativen Metallkomposition. Sie kann für viele grundsätzliche Fragestellungen an einer Objektgruppe genutzt werden und bietet eine Grundlage, auf der die Notwendigkeit aufwendigerer Methoden entschieden werden kann. Es ist dabei ein präzises Werkzeug, welches den heutigen Zustand eines Artefaktes erfasst, den Zustand von vor dreitausend Jahren allerdings nur bedingt rekonstruieren kann. Diese Arbeit zeigte neben den Möglichkeiten der RFA vor allem den Einfluss auf die Messergebnisse, welcher

neben den chemischen Verfallsprozessen, durch moderne Eingriffe und Restaurierungen ausgeübt wird. Bemerkenswert ist dabei die Möglichkeit moderne Eingriffe im Messbild zu identifizieren. Die Veränderung der Objekte ist oberflächlich zwar so gravierend, dass eine Rekonstruktion des ursprünglichen Zustands kaum mehr möglich ist, mit den Informationen über den Zustand und die Beeinflussung der Messungen innerhalb eines geschlossenen Befundes können allerdings Annäherungen an vergleichbares Material herausgearbeitet werden, sodass die Unterstützung von Materialuntersuchungen durch RFA gerade an geschlossenen Befunden sinnvoll erscheint. Für die Aussagekraft zukünftiger archäometrischer Untersuchungen scheint es darüber hinaus äußerst wichtig, chemische Veränderungen von Artefakten in Museen und Archiven zu dokumentieren und auch die Patina und Korrosion von Objekten aufzuschlüsseln. Eine Ergänzung der vorgenommenen Analysen durch größere Datenbanken, Methoden zur schnellen Schicht- und Patinaauswertung, sowie verbesserte Ansätze zur Korrektur der Messdaten könnten helfen, konkretere Muster zu finden.

Literatur

- Arai 2005: T. Arai, 1 Introduction. In: BECKHOFF u. a. 2005, 1–26.
- Aucouturier 2010: M. Aucouturier/F. Mathis/D. Robcis/J. Castaing/J. Salomon/L. Pichon/E. Delange/S. Descamps, Intentional patina of metal archaeological artefacts: Non-destructive investigation of Egyptian and Roman museum treasures Corrosion Engineering Science and Technology 45(5), 2010, 314–321.
- Becker u. a. 2017: H. Becker/B. Scherer/A. Heft/B. Grünler, Stärkeester – ein nachhaltiges Korrosionsschutzsystem für archäologische Eisenobjekte. Restaurierung und Archäologie 10, 2017, 95–108.
- Beckhoff u. a. 2005: B. Beckhoff/B. Kanngießer/N. Langhoff/R. Wedell/H. Wolff (Hrsg.), Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis (Berlin 2005).
- Berger 2012a: D. Berger, Schwarz auf gelb – Untersuchungen zu künstlicher Korrosion prähistorischer Metallgegenstände, Acta Praehistorica et Archaeologica 44, 2012, 59–77.
- Berger 2012b: D. Berger, Bronzezeitliche Färbe-techniken an Metallobjekten nördlich der Alpen. Eine archäometallurgische Studie zur prähistorischen Anwendung von Tauschierung und Patinierung anhand von Artefakten und Experimente. Forschungsberichte des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 2 (Halle 2012).
- Berger u. a. 2010: D. Berger/R. Schwaab/C.-H. Wunderlich, Technologische Untersuchungen zu bronzezeitlichen Metallziertechniken nördlich der Alpen vor dem Hintergrund des Hortfundes von Nebra. In: H. Meller/F. Berntes (Hrsg.), Der Griff nach den Sternen. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle 5 (1) (Halle 2010) 751–777.
- Bottaini u. a. 2015: C. Bottaini/J. Mirão/M. Figueiredo/A. Candeias/A. Brunetti/N. Schiavon, Energy dispersive X-ray fluorescence spec-troscopy/Monte Carlo simulation approach for the non-destructive analysis of corrosion patina-bearing alloys in archaeological bronzes: The case of the bowl from the Fareleira 3 site (Vidigueira, South Portugal). Spectrochimica Acta Part B 103–104, 2015, 9–13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S058485471400295X> (Zugriff: 24.01.2024).
- Buchner 1920: G. Buchner, Die Metallfärbung: Handbuch für die chemische-elektrchemische und mechanische Metallfärbung nebst einer Darstellung der geschichtlichen Entwicklung derselben (Berlin 1920).
- Bunnefeld 2016: J. H. Bunnefeld, Älterbronzezeitliche Vollgriffscherter in Dänemark und Schleswig-Holstein. Studien zu Form, Verzierung, Technik und Funktion. Teil I: Text und Katalog. Studien zur nordeuropäischen Bronzezeit 3 (Göttingen 2016).
- Eggers 1986: H. J. Eggers, Einführung in die Vorgeschichte (München 1986).
- Emmit u. a. 2021: J. Emmitt/A. McAlister/J. Armstrong, Pitfalls and Possibilities of Patinated Bronze: The Analysis of Pre-Roman Italian Armour Using pXRF. Minerals 2021, 11, 697. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11070697> (Zugriff: 07.12.2023).
- Endrigkeit 2010: A. Endrigkeit, Bronzezeitliche Depotfunde in Schleswig-Holstein. Eine kul-turhistorische Studie. Universitätsforschun-gen zur Prähistorischen Archäologie 178 (Bonn 2010).
- Finkeldey/Harms 2024: I. Finkeldey/J. Harms, Rekonstruktion und Versuch einer frühbronzezeitlichen Lanzengussform vom Typ Killymaddy. In: G. Schöbel (Hrsg.), Experimen-telle Archäologie in Europa Jahrbuch 2024, 93–104.
- Finšgar/Milošev 2010: M. Finšgar/I. Milošev, Inhibition of copper corrosion by 1,2,3-benzotriazole: A review. Corrosion Science 52, 9, 2010, 2737–2749.

- Fischer 2021: J. Fischer, Grabungsbericht FM 2021-130, Fahrdorf, Kreis Schleswig-Flensburg, LA 105 (Schleswig 2021).
- Franke 2012: D.C. Franke, Vergleichende Untersuchungen zu bronzezeitlichen Deponierungen und Grabfunden in Schleswig. Magisterarbeit (Freiburg 2012).
- Freudenberg/Glaser 2015: M. Freudenberg/L. Glaser, Der Hortfund von Kappeln, Kr. Schleswig-Flensburg – Die Entdeckung einer Fälschung aus dem 19. Jahrhundert. Archäologische Nachrichten aus Schleswig-Holstein 21, 2015, 24–27.
- Freudenberg/Glaser 2016: M. Freudenberg/L. Glaser, Der Hortfund von Kappeln (Kr. Schleswig-Flensburg) oder: Wir sehen nur, was wir erwarten. Prähistorische Bronzefunde, XX, 14, 2016, 193–207.
- Freudenberg/Glaser 2017: M. Freudenberg/L. Glaser, The axe from Ahneby – non-destructive view with X-rays inside the object. In: B. V. Eriksen/A. Abegg-Wigg/R. Bleile/U. Ickerodt (Hrsg.), Interaktion ohne Grenzen, Beispiele archäologischer Forschungen am Beginn des 21. Jahrhunderts 1, 2017, 103–110.
- Geißlinger 1983: H. Geißlinger, »Depotfund«, In: J. Hoops (Hrsg.), Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 5, Berlin/New York 1984, 320–338.
- Gianoncelli/Kourousias 2007: A. Gianoncelli/G. Kourousias, Limitations of portable XRF implementations in evaluating depth information: an archaeometric perspective. Applied Physics A 89, 2007, 857–863. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00339-007-4221-4> (Zugriff: 25.01.2024).
- Glaser u. a. 2016: L. Glaser/A. Rothkirch/S. Techer/M. Freudenberg, A non-destructive view with X-rays into the strain state of bronze axes. Microchemical Journal 126, 2016, 322–325.
- Injuk u. a. 2005: J. Injuk/R. van Grieken/A. Blank/L. Eksperiandova/V. Buhrke, 6 Specimen Preparation. In: BECKHOFF u. a. 2005, 411–429.
- Jantzen 2008: D. Jantzen, Quellen zu Metallverarbeitung im Nordischen Kreis der Bronzezeit. Prähistorische Bronzefunde XIX, 2 (Stuttgart 2008).
- Klooß u. a. 2022: S. Klooß/M. Freudenberg/J. Fischer, Die Entdeckung eines Bronzehortes an der inneren Schlei, Fahrerdorf LA 105 Kr. Schleswig-Flensburg, Archäologische Nachrichten 2022, 24–29.
- Laux 2017: F. Laux, Bronzezeitliche Hortfunde in Niedersachsen. Materialhefte zur Ur- und Frühgeschichte Niedersachsens 51 (Rahden/Westfalen 2017).
- Malchow 2019: E. Malchow, Nass gelagertes Pechdekor – Konservierungskonzept für eine bronzezeitliche Gürteldose aus dem Tollensetal. Düppel Journal 2019, 53–62.
- Manti/Watkinson 2022: P. Manti/D. Watkinson, Corrosion phenomena and patina on archaeological low-tin wrought bronzes: New data, Journal of Cultural Heritage, 55, 2022, 158–170.
- Mantler 2005: M. Mantler, 5.8 Monte Carlo Methods. In: BECKHOFF u. a. 2005, 394.
- Mauser 2005: K.-E. Mauser, 5.7.3 Requirements for a Standardless Method. In: BECKHOFF u. a. 2005, 385–399.
- Melheim u. a. 2018: L. Melheim/K. Kristiansen, L. Melheim/L. Grandin/P.-O. Persson, K. Billström/Z. Stos-Gale/J. Lingd/A. Williams/I. Angelini/C. Canovaro/E. Hjärthner-Holdar/K. Kristiansen, Moving metals III: Possible origins for copper in Bronze Age Denmark based on lead isotopes and geochemistry. Journal of Archaeological Science 96, 2018, 85–105.
- Nørgaard 2017: H. W. Nørgaard, Portable XRF on Prehistoric Bronze Artefacts: Limitations and Use for the Detection of Bronze Age Metal Workshops. Open Archaeology 3, 2017, 101–122. DOI: <https://doi.org/10.1515/opar-2017-0006> (Zugriff: 25.01.2024).

- Pearce 2018: M. Pearce, The Curse of the pXRF: the Negative Consequences of the Popularity of Handheld XRF Analysis of Copper-Based Metal Artefacts. *Metalla* 24.2, 2018, 81–85.
- Peltz 2013: U. Peltz, Mounting and Patina: Nineteenth Century Solutions in the Restoration of Large Bronzes in Berlins Antikensammlung. In: E. Risser/D. Saunders (Hrsg.), *The Restoration of Ancient Bronzes, Naples and Beyond*, Getty Publications 2013, 96–112.
- Pernicka 1999: E. Pernicka, Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance? In: S. Young/A. Pollard/P. Budd/R. Ixer (Hrsg.), *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792 (Oxford 1999) 163–171.
- Rathgen 1905: F. Rathgen, *The Preservation of Antiquities: A Handbook for Curators* (Cambridge 1905).
- Robbiola 2015: L. Robbiola, Les patines naturelles des bronzes – quelques développements majeurs. *Les dossiers de l'Institut du Patrimoine Wallon IPW* 15, 2015, 45–50.
- Schmidt 1993: J. P. Schmidt, Studien zur jüngeren Bronzezeit in Schleswig-Holstein und dem nordelbischen Hamburg. *Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie* 15 (Bonn 1993).
- Wadsak u.a. 2000: M. Wadsak/I. Constantinides/G. Vittiglio/A. Adriaens/K. Janssens/M. Schreiner/F. C. Adams/P. Brunella/M. Wuttmann, Multianalytical Study of Patina Formed on Archaeological Metal Objects from Bliesbruck-Reinheim. *Mikrochimika Acta* 133, 2000, 159–164.
- Willroth 1985: K. H. Willroth, *Die Hortfunde der älteren Bronzezeit in Südschweden und auf den dänischen Inseln*. Offa-Bücher 55 (Neumünster 1985).
- Willroth 2017: K. H. Willroth, Die Funde der älteren Bronzezeit des nordischen Kreises in Dänemark, Schleswig-Holstein und Niedersachsen. 21 Kreise Plön und Ostholstein und die kreisfreie Hansestadt Lübeck (Mainz 2017).
- Zimmermann u.a. 2004: E. J. Zimmermann/M. Senn/A. Wichser, Zum Verhalten von Spurenelementen und Legierungsbestandteilen in Kupfer bei der Weiterverarbeitung des Metalls. *Experimentelle Archäologie in Europa*, Bilanz 2004, 127–136.

Ilian Finkeldey

<ilian.finkeldey@hotmail.de>

Institut für Vor- und Frühgeschichtliche Archäologie

Universität Hamburg

Edmund-Siemers-Allee 1, Flügel West

D-20146 Hamburg

Tab. 1. RFA Messergebnisse (Schellhorn, Kr. Plön, LA 37; Fahrdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105).

Table 1. XRF measurement results (Schellhorn, district of Plön, LA 37; Fahrdorf, district of Schleswig-Flensburg, LA 105).

Nr.	Bezeichnung	Messpunkt	Fundort	SH-Nr.	Mg	Al	Si	P	S	Ti	V	Fe
1.	Absatzbeil	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.1	0,003	0	0	0	0	0,328	0	4,371
2.	Absatzbeil	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.1	0	0	0,738	0	0,979	0,256	0,025	2,118
3.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.1	0	0	1,116	0	0,641	0,137	0,085	0,934
4.	Absatzbeil	Schaftmulde	Schellhorn	SH1902-4.1	0,002	0	0,970	0	0,454	0,435	0	6,436
5.	Absatzbeil	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.6	0,003	0	0,701	0	0	0,241	0	2,418
6.	Absatzbeil	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.6	0,006	0	0,923	0	0	0,182	0	2,746
7.	Absatzbeil	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.6	0,008	0	1,559	0	0	0,456	0,062	2,121
8.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.6	0	0	1,313	0	0,123	0,249	0	3,277
9.	Absatzbeil	Schaftmulde	Schellhorn	SH1902-4.6	0,005	0	1,093	0	0	0,227	0	2,402
10.	Absatzbeil	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.5	0,004	0	0,864	0	0	0,310	0	13,93
11.	Absatzbeil	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.5	0,002	0	1,293	0	0	0,311	0	6,170
12.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.5	0,003	0	1,093	0	0	0,257	0	2,327
13.	Absatzbeil	Schaftmulde	Schellhorn	SH1902-4.5	0,006	0	1,217	0	0	0,349	0	10,168
14.	Absatzbeil	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.7	0,004	0	1,114	0	0	0,287	0	3,417
15.	Absatzbeil	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.7	0,009	0	1,369	0	0	0,381	0	4,521
16.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.7	0,005	0	2,354	0	0	0,239	0	5,030
17.	Absatzbeil	Schaftmulde	Schellhorn	SH1902-4.7	0,003	0	1,018	0	0	0,339	0	6,802
18.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.8	0,005	0	0,973	0	0	0,283	0,046	2,189
19.	Absatzbeil	Mittelgrad	Schellhorn	SH1902-4.8	0	0	1,343	0,068	0	0,566	0,035	3,609

Co	Ni	Cu	Zn	As	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi
0	0,136	62,736	0,118	3,350	0	0,005	0	0	28,082	0,244	0	0,266	0,026
0	0,226	75,012	0,049	2,576	0	0	0	0	17,654	0,173	0	0,176	0
0	0,254	83,482	0	1,773	0	0	0	0	11,362	0,137	0	0,067	0
0	0	49,185	0,075	4,854	0	0	0	0	36,880	0,263	0	0,300	0,030
0	0,565	68,322	0	4,764	0	0	0	0	22,627	0,192	0	0,124	0
0	0,531	64,067	0,171	3,918	0	0	0	0	27,037	0,207	0	0,106	0,013
0	0,559	66,433	0,175	3,649	0	0	0	2,269	22,411	0	0	0,188	0
0	0,531	66,833	0,098	4,802	0	0	0	0	22,059	0,162	0	0,158	0,010
0	0,552	65,550	0,078	4,891	0	0,003	0	0,145	24,736	0,185	0	0,123	0
0	0,070	33,060	0,121	3,392	0,005	0,005	0	0	47,360	0,084	0,163	0,508	0,055
0	0,253	55,435	0,115	3,389	0	0	0	0,023	32,323	0,073	0	0,473	0,039
0	0,351	70,017	0,124	3,386	0	0,002	0	0	22,033	0,107	0	0,268	0,023
0	0,082	33,180	0,127	4,626	0,005	0	0	0,073	49,129	0,111	0,288	0,547	0,050
0	0,559	62,384	0,038	4,865	0	0	0	0,512	26,557	0,091	0	0,106	0
0	0,376	44,570	0,071	5,551	0,006	0	0	1,080	41,607	0,106	0,169	0,169	0
0	0,381	47,171	0,135	5,226	0	0,004	0	0,058	39,079	0,163	0	0,110	0
0	0,346	44,668	0,159	5,854	0	0,003	0	0	40,469	0,149	0	0,106	0,008
0	0,433	67,837	0,036	2,649	0	0	0	1,533	23,268	0	0,179	0,546	0
0	0,415	67,693	0,117	3,433	0	0	0	2,040	20,018	0	0	0,650	0,010

Tab. 1, Fortsetzung. RFA Messergebnisse (Schellhorn, Kr. Plön, LA 37; Fahrdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105).

Table 1, continued. XRF measurement results (Schellhorn, district of Plön, LA 37; Fahrdorf, district of Schleswig-Flensburg, LA 105).

Nr.	Bezeichnung	Messpunkt	Fundort	SH-Nr.	Mg	Al	Si	P	S	Ti	V	Fe
20.	Tüllenmeißel	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.9	0	0	1,518	0,067	0,477	0,173	0,018	1,054
21.	Tüllenmeißel	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.9	0	0,540	1,725	0,096	0,564	0,196	0,014	1,393
22.	Tüllenmeißel	Mittel	Schellhorn	SH1902-4.9	0	0	5,192	0,079	1,464	0,178	0,020	1,384
23.	Tüllenmeißel	Tülle	Schellhorn	SH1902-4.9	0	0	3,142	0,114	0,763	0,245	0	3,243
24.	Lanzen spitze	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.11	0	0	1,554	0,148	0,683	0,304	0	3,727
25.	Lanzen spitze	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.11	0	0	4,989	0,126	0,626	0,327	0,024	3,535
26.	Lanzen spitze	Mittel	Schellhorn	SH1902-4.11	0	0	1,197	0,099	0,497	0,193	0,019	1,462
27.	Lanzen spitze	Tülle	Schellhorn	SH1902-4.11	0	0	1,611	0,084	0,424	0,316	0	4,052
28.	Lanzen spitze	Blatt	Schellhorn	SH1902-4.10	0	0	1,455	0,203	1,701	0,359	0	8,133
29.	Lanzen spitze	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.10	0	0	1,688	0,149	1,531	0,372	0	7,163
30.	Lanzen spitze	Mittel	Schellhorn	SH1902-4.10	0	0	3,295	0,146	1,349	0,335	0	8,842
31.	Lanzen spitze	Tülle	Schellhorn	SH1902-4.10	0	0	1,397	0,249	1,018	0,428	0	14,097
32.	Knopfsichel	Vorderseite	Schellhorn	SH1902-4.2	0	0	1,253	0,117	0,663	0,234	0,022	2,999
33.	Knopfsichel	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.2	0	0	0,982	0,069	0,838	0,225	0,014	3,270
34.	Knopfsichel	Vorderseite	Schellhorn	SH1902-4.3	0	0	1,629	0,223	0,827	0,389	0	7,918
35.	Knopfsichel	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.3	0	0	10,319	0,235	0,449	0,298	0	4,355
36.	Lanzen spitze	Rückseite	Schellhorn	SH1902-4.4	0	0	1,628	0,058	0,648	0,307	0,019	4,977
37.	Lanzen spitze	Mittel	Schellhorn	SH1902-4.4	0	0	6,039	0,154	0	0,565	0	13,829
38.	Lanzen spitze	Tülle	Schellhorn	SH1902-4.4	0,005	0	1,525	0	0	0,550	0	16,105

Co	Ni	Cu	Zn	As	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi
0,011	1,174	76,201	0	5,418	0	0	0	0	13,680	0,086	0	0,119	0
0	1,135	74,471	0	5,308	0	0	0	0	14,345	0,092	0	0,114	0,005
0	1,091	71,835	0	4,651	0	0	0	0	13,617	0,092	0	0,099	0
0	1,027	68,907	0	5,706	0	0	0	0	16,229	0,098	0	0,127	0
0	0,582	64,716	0	4,149	0	0	0	0	23,181	0,102	0	0,376	0,006
0	0,582	65,449	0,158	4,689	0	0	0	0	18,698	0,085	0	0,317	0,005
0	0,657	76,144	0,060	3,870	0	0	0	0	15,053	0,079	0	0,278	0,006
0	0,568	65,212	0,141	5,072	0	0	0	0	21,704	0,089	0	0,369	0
0	0,568	53,668	0,135	5,187	0	0	0	0	28,505	0	0	0,057	0,006
0	0,542	53,707	0,141	5,184	0	0,002	0	0	28,908	0	0	0,049	0,009
0	0,555	53,889	0,149	3,269	0	0,002	0	0	28,127	0	0	0,035	0,005
0	0,579	47,056	0,130	4,703	0	0,002	0	0	30,289	0	0	0,041	0,008
0,107	0,245	69,939	0,054	6,283	0	0	0	0	18,040	0,012	0	0,028	0
0,116	0,206	67,664	0,070	5,853	0	0	0	0	20,579	0	0	0,057	0
0	0,346	54,806	0,151	4,012	0	0,002	0	0	29,130	0,132	0,074	0,343	0,013
0	0,444	59,994	0,071	3,768	0	0	0	0	19,417	0,112	0	0,241	0,010
0	0,590	59,977	0,088	5,685	0	0	0	0	25,575	0,182	0	0,257	0
0	0,200	26,797	0,092	5,885	0	0	0	0	45,408	0,259	0	0,181	0
0	0,086	20,746	0,102	5,201	0,005	0	0	0,244	55,057	0,103	0	0,256	0

Tab. 1, Fortsetzung. RFA Messergebnisse (Schellhorn, Kr. Plön, LA 37; Fahrdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105).

Table 1, continued. XRF measurement results (Schellhorn, district of Plön, LA 37; Fahrdorf, district of Schleswig-Flensburg, LA 105).

Nr.	Bezeichnung	Messpunkt	Fundort	SH-Nr.	Mg	Al	Si	P	S	Ti	V	Fe
39.	Absatzbeil	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.25	0	4,059	2,326	0,359	0	0,346	0,033	0
40.	Absatzbeil	Mittelgrad	Fahrdorf	SH2021-130.25	0	5,091	3,302	0,284	0,698	0,253	0,033	0
41.	Absatzbeil	Schaftmulde	Fahrdorf	SH2021-130.25	0	9,666	2,242	0,806	0	0,495	0	0
42.	Absatzbeil	Rötlicher Fleck	Fahrdorf	SH2021-130.25	0	7,660	1,698	0,158	0,676	0,195	0,024	0
43.	Absatzbeil	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.23	0	2,412	0,852	0,070	0,086	0,179	0,043	0
44.	Absatzbeil	Rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.23	0	5,224	2,075	0,301	0,238	0,425	0,02	0
45.	Absatzbeil	Mittelgrad	Fahrdorf	SH2021-130.23	0	4,984	2,215	0,401	0,216	0,507	0	0
46.	Absatzbeil	Schaftmulde	Fahrdorf	SH2021-130.23	0	8,037	1,386	0,040	0,678	0,206	0,037	0
47.	Absatzbeil	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.19	0	7,454	1,638	0,444	0,148	0,276	0,014	0
48.	Absatzbeil	Rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.19	0	6,598	2,197	0,409	0,254	0,268	0,013	0
49.	Absatzbeil	Mittelgrad	Fahrdorf	SH2021-130.19	0	5,173	1,749	0,312	0,104	0,154	0,063	0
50.	Absatzbeil	Schaftmulde	Fahrdorf	SH2021-130.19	0	5,011	1,885	0,347	0	0,344	0,028	0
51.	Absatzbeil	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.24	0	6,822	3,296	0,271	0,161	0,214	0,045	0
52.	Absatzbeil	Rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.24	0	4,846	2,325	0,149	0,171	0,266	0,033	0
53.	Absatzbeil	Mittelgrad	Fahrdorf	SH2021-130.24	0	6,791	4,101	0,195	0,175	0,284	0,062	0
54.	Absatzbeil	Schaftmulde	Fahrdorf	SH2021-130.24	0	5,969	2,687	0,352	0,183	0,368	0,039	0
55.	Absatzbeil	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.2	0	6,856	2,152	0,235	0,594	0,164	0,059	0
56.	Absatzbeil	Rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.2	0	8,831	2,671	0,155	0,654	0,227	0,037	0
57.	Absatzbeil	Mittelgrad	Fahrdorf	SH2021-130.2	0	4,175	1,618	0,086	0,786	0,161	0,057	0

Co	Ni	Cu	Zn	As	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi
0,266	0	0,262	46,296	0	8,294	0	0	0	37,066	0,160	0	0,417	0,020
0,245	0	0,123	62,800	0,042	6,646	0	0	0	19,894	0,124	0	0,449	0,013
0,448	0	0,313	28,730	0,051	11,903	0	0	0,022	44,597	0,219	0	0,466	0,027
0,065	0	0,079	66,647	0,023	5,026	0	0	0,009	17,366	0,112	0	0,250	0,009
0,037	0,028	0,609	76,994	0	3,088	0	0	0	15,480	0,091	0	0,027	0
0,483	0,016	0,417	47,704	0,017	8,064	0	0	0	34,681	0,161	0	0,167	0
0,161	0,016	0,644	40,524	0	9,424	0	0	0	40,513	0,180	0	0,186	0,007
0,068	0,007	0,176	65,200	0	4,608	0	0	0	19,340	0,094	0	0,115	0,004
0,072	0,019	0,583	66,961	0	4,517	0	0	0	17,620	0,137	0	0,109	0,004
0,116	0	0,415	60,778	0	5,637	0	0	0	22,941	0,172	0	0,185	0,006
0,085	0,017	0,587	75,090	0	2,484	0	0	0	14,021	0,120	0	0,035	0
0,198	0,014	0,555	51,177	0	6,864	0	0	0	33,002	0,212	0	0,276	0,009
0,358	0,023	0,328	66,345	0,026	2,404	0	0	0	19,529	0,053	0	0,110	0,010
0,256	0	0,170	59,134	0	3,701	0	0	0	28,580	0,075	0	0,271	0,011
0,396	0,020	0,335	54,885	0,027	3,653	0	0	0	28,783	0,067	0	0,163	0,012
0,503	0,017	0,295	44,304	0,045	5,552	0	0	0	39,332	0,090	0	0,242	0,016
0,194	0,033	0,164	68,492	0	1,162	0	0	0	19,884	0	0	0,008	0
0,215	0,043	0,207	60,824	0	1,631	0	0	0	24,487	0	0	0,016	0
0,211	0,049	0,206	71,018	0	1,194	0	0	0	20,429	0	0	0,007	0

Tab. 1, Fortsetzung. RFA Messergebnisse (Schellhorn, Kr. Plön, LA 37; Fahrdorf, Kr. Schleswig-Flensburg, LA 105).

Table 1, continued. XRF measurement results (Schellhorn, district of Plön, LA 37; Fahrdorf, district of Schleswig-Flensburg, LA 105).

Nr.	Bezeichnung	Messpunkt	Fundort	SH-Nr.	Mg	Al	Si	P	S	Ti	V	Fe
58.	Absatzbeil	Schaftmulde	Fahrdorf	SH2021-130.2	0	4,886	1,580	0,111	0,708	0,190	0,055	0
59.	Lanzen spitze	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.29	0	7,710	4,748	0,588	0	0,522	0	0
60.	Lanzen spitze	Rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.29	0	2,341	1,063	0,232	0,324	0,279	0,021	0
61.	Lanzen spitze	Mittel	Fahrdorf	SH2021-130.29	0	5,594	2,192	0,610	0	0,536	0	0
62.	Lanzen spitze	Tülle	Fahrdorf	SH2021-130.29	0	7,490	2,114	0,990	0	0,545	0	0
63.	Knopfsichel	Blatt	Fahrdorf	SH2021-130.12	0	6,000	1,031	0,114	0,409	0,261	0,016	0
64.	Knopfsichel	Blatt rückseite	Fahrdorf	SH2021-130.12	0	3,485	1,208	0,165	0,327	0,208	0,028	0

Co	Ni	Cu	Zn	As	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi
0,179	0,045	0,214	67,267	0	1,405	0	0	0	23,323	0	0	0,008	0
1,369	0	0,557	26,911	0,043	8,394	0,004	0	0,029	48,566	0,205	0	0,277	0,015
0,343	0,023	0,386	56,482	0,028	7,715	0	0	0	30,331	0,143	0	0,273	0,014
0,793	0,018	0,627	31,404	0,036	9,207	0	0	0,018	48,421	0,217	0	0,304	0,022
0,807	0,027	0,537	32,780	0,044	9,058	0	0	0,016	45,085	0,204	0	0,284	0,017
0,127	0,016	0,371	55,191	0,038	9,211	0	0	0	26,802	0,137	0	0,269	0,005
0,142	0,014	0,347	62,335	0	7,894	0	0	0	23,346	0,119	0	0,357	0,006