

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen

Abschlussbericht

Ursprüngliche Fragestellung, Ziele und Arbeitsumfeld

Unter Verwendung von vier relativ stark korrodierten sog. eisernen Maskenschwertern aus Luristan sollten experimentell Daten gewonnen werden, die zumindest teilweise Antworten auf die derzeit noch ungelösten Fragen dieser möglicherweise ältesten komplexen Eisenartefakte der Menschheit geben sollten. Dabei stand im Vordergrund:

1. Die Altersbestimmung des in den Schwertern (vermutlich) enthaltenen Kohlenstoffs am Leibniz Labor der CAU und in einem 2. Labor anderswo. Dadurch sollte das bisher nur vermutete Alter der Objekte experimentell geklärt werden, wobei klar war, dass die Methodik noch zu hinterfragen war.
2. Metallurgische Untersuchungen von (kleinen) Parallelproben sollten sowohl Hinweise auf die verwendeten Eisen / Stahlqualitäten geben als auch auf die Schmiedetechniken. Außerdem sollten etwaige Einflüsse der Mikrostruktur auf die Altersbestimmung erkannt werden.
3. Ein Schwert sollte flächig aufgesägt werden, wobei mit optimierten Methoden die Materialverluste extrem klein gehalten werden sollten. Eine Hälfte des Schwertes sollte in Kiel, die andere Hälfte in Bochum untersucht werden.

Das Projekt wurde mit kleinen Abstrichen erfolgreich durchgeführt. Ein Zeitproblem ergab sich durch den teilweisen Ausfall des vorgesehenen Mitarbeiters (Herr Ingo Petri), der nur zeitlich stark eingeschränkt zur Verfügung stand. Ein weiteres Problem entstand durch die bei Projektende noch nicht erfolgten Analysen des C14 Fremdlabors (Finnland). Andererseits sind die erhaltenen Ergebnisse so interessant, dass einzelne Fragestellungen weiter untersucht werden sollen - mit „Bordmitteln“ der Technischen Fakultät und im Rahmen von Kooperationen.

Ergebnisse

Nachfolgend werden zunächst die wesentlichen Ergebnisse im Überblick aufgeführt. Im **Anhang** zu diesem Abschlussbericht werden zusätzliche Bilder und Daten gezeigt.

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen



Schwert IR3743

Bezeichnung Antrag: Luri 2;

Altersbestimmung:

C-Konzentration C14 Probe: 0.38 %

C14 Alter: 1427 – 1303 calBCE

Metallographie:

Poliert, Nital und Oberhoffer geätzt

Ca. 220 Bilder im Lichtmikroskop

Ca. 50 Bilder im REM, inkl. div. EDX Analysen.

Typisches Rennofeneisen, inhomogene Struktur und C-Verteilung (Fig. 2); Globularer Zementit, keine Härtung, Verformung durch (Kalt?) Schmieden. Keine Hinweise auf Feuerschweißen.

Erhebliche Schlackeneinschlüsse (Fig. 3). Merklicher Ca Gehalt bei niedrigem K-Gehalt (Verhüttung mit Kalk?).

Härte zwischen 100 und 200 mHV.



Schwert IR3745

Bezeichnung Antrag: Luri 3

Altersbestimmung:

C-Konzentration C14 Probe: 0.01 %;
für Altersbestimmung grenzwertig.

C14 Alter: 1745 – 1533 calBCE

Metallographie:

Poliert, Nital und Oberhoffer geätzt

Ca. 260 Bilder im Lichtmikroskop

3 Bilder im REM, 12 EDX Analysen.

Typisches Rennofeneisen, inhomogene Struktur mit Zonen verschiedener Mikrostruktur; globulare und ungewöhnliche Zementitstrukturen. Keine Härtung; erhebliche Veformung durch Schmieden.

Erhebliche Schlackeneinschlüsse- Merklicher Ca Gehalt bei niedrigem K-Gehalt (Verhüttung mit Kalk?).

Härte zwischen 100 und 185 mHV.

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen



Schwert IR3746

Bezeichnung Antrag: Luri 3

Altersbestimmung:

C-Konzentration C14 Probe: 0.6 %

C14 Alter: 1006 – 901 calBCE

Metallographie:

Es wurden zwei Proben entnommen (a und b).
Poliert, Nital und Oberhoffer geätzt
Ca. 440 Bilder im Lichtmikroskop
Ca. 10 Bilder im REM, inkl. vieler. EDX Analysen.

Typisches Rennofeneisen, inhomogene Struktur; C-Konzentration in Bereich 1 sehr hoch (< 0,7 %). Beide Proben sind (erstaunlicherweise) sehr ähnlich.

Härte zwischen 118 und 228 mHV.



IR3744

Bezeichnung Antrag: Luri 5

Das „halbierte“ Schwert.

Vor der Halbierung wurden keine Proben entnommen. Danach wurde auf eine Altersbestimmung verzichtet, da keine neuen Erkenntnisse zu erwarten waren.

Analyse wg. Größe zunächst erschwert (passt nicht in Probenkammer REM etc.).

Kiel: Hälfte poliert und geätzt; Analyse läuft noch.

Bochum: Hälfte „makro“ geätzt. Erste Auswertung in Bochum zeigt spektakuläre Ergebnisse.

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen

Kommentare:

1. Altersbestimmung

Derzeit stehen nur die Ergebnisse des Leibnizlabors zur Verfügung. Die Probenentnahme (jeweils 3 Proben; 2 zur Altersbestimmung in Kiel und anderswo, eine für die Metallographie) war komplex (es muss jede Querkontamination mit „modernem“ Kohlenstoff vermieden werden, dadurch scheiden die üblichen Trennmethode aus). Auf Details soll jedoch hier nicht eingegangen werden; sie finden sich in der geplanten Konferenz-Veröffentlichung (Abstract abgeschickt). Der Kohlenstoffgehalt war ausreichend für die Analyse, jedoch bei einer Probe grenzwertig.

Die Zeitspanne von im Extrem **1746BC – 901 BC** Jahren ist aus archäologischer Sicht unrealistisch. Obwohl der Entstehungszeitpunkt der Luristan Schwerter nicht bekannt ist, ist ein Zeitraum von 800 Jahren für die Herstellung dieser Artefakte unwahrscheinlich. Damit erscheint es sehr wahrscheinlich, dass der in dem Eisen der Schwerter enthaltene Kohlenstoff zwei Quellen hat: 1. Die beim Verhütten verwendete Holzkohle (deren Alter das Alter der Schwerter widerspiegeln würde) und 2. „alter“ Kohlenstoff aus den im Rennofen vorhandenen Mineralien. Das könnten insbesondere Karbonate im Eisenerz oder in den zum Bau des Rennofens verwendeten Materialien sein. Zwar sollte nur Kohlenstoff aus der Holzkohle in das frisch reduzierte Eisen gelangen, jedoch ist der Verhüttungsprozess weit weg vom thermischen Gleichgewicht und „alter“ Kohlenstoff kann sehr wohl beteiligt sein. Mit zunehmendem Anteil von „altem“ Kohlenstoff verschiebt sich das gemessene Alter „nach hinten“.

Das jüngste gemessene Alter (901 BC) dürfte damit dem wahren Alter der Schwerter am nächsten kommen.

Dieses Ergebnis ist zwar etwas enttäuschend, aber trotzdem sehr wertvoll. Es zeigt die Grenzen einer C14 Altersbestimmung für Eisen / Stahlobjekte. Obwohl das Fehlen einer zuverlässigen Methodik beim Erkenntnisgewinn nicht weiterhilft, ist die unkritische Akzeptanz scheinbar objektiver Daten unmittelbar schädlich.

Daten des zweiten Labors sind derzeit noch nicht verfügbar, können aber das vorliegende Ergebnis wohl kaum noch relativieren.

2. Metallographische Untersuchungen an den „kleinen“ Proben

Die Probenpräparation durch polieren, Nital Ätzung zur Mikrostrukturbestimmung, re-polieren und Oberhoffer Ätzung zur Bestimmung etwaiger Phosphorstahlbereiche war sehr aufwendig. Insgesamt wurden allein an den drei erstaufgeführten Schwertern fast 1000 Lichtmikroskop- und REM-Aufnahmen gemacht, dazu kommen noch umfangreiche EDX Elementanalysen an Schlackenresten im REM sowie Härtemessungen. Die gesamte Probenfläche betrug dabei nur wenige Quadratzentimeter. Das „halbierte“ Schwert IR 2744 hat insgesamt ein ca. 50-mal größere Fläche und bietet damit noch auf lange Zeit Möglichkeiten zur Detailanalyse.

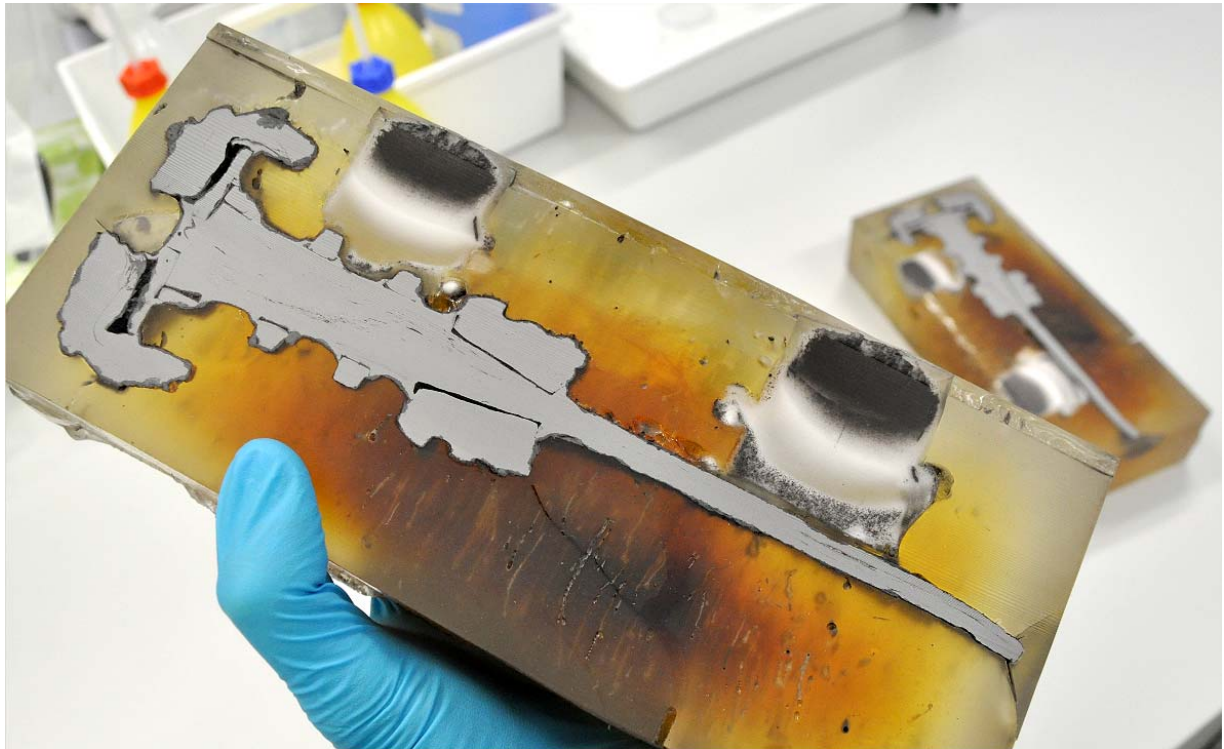
Die Darstellung der bisher ausgewerteten Ergebnisse würde den Rahmen dieses Berichts sprengen; einige „Highlights“ sind im Anhang aufgeführt. Auffällig ist, dass das verwendete Eisen ziemlich schlecht war, die Schmiedetechnik aber recht hochentwickelt erscheint.

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen

3. Die „Halbierung“ von Schwert IR 3744

Benötigt wird ein Sägeverfahren, das bei minimalster Schnitttiefe ($< 0,5$ mm) eine perfekte planare Oberfläche liefert und dabei eine minimale (später zu entfernende) Schädigung der Oberfläche verursacht. Das im Antrag vorgesehene Verfahren der Funkenerosion kann das leisten. Die Firma Hofmann in Kiel war auch bereit, die Trennung vorzunehmen, ist aber gescheitert. Offenbar verhindern die im Schwerteisen noch enthaltenen dielektrischen Schlackeneinschlüsse lokal die Funkenerosion und bringen den Prozess zum Stoppen.

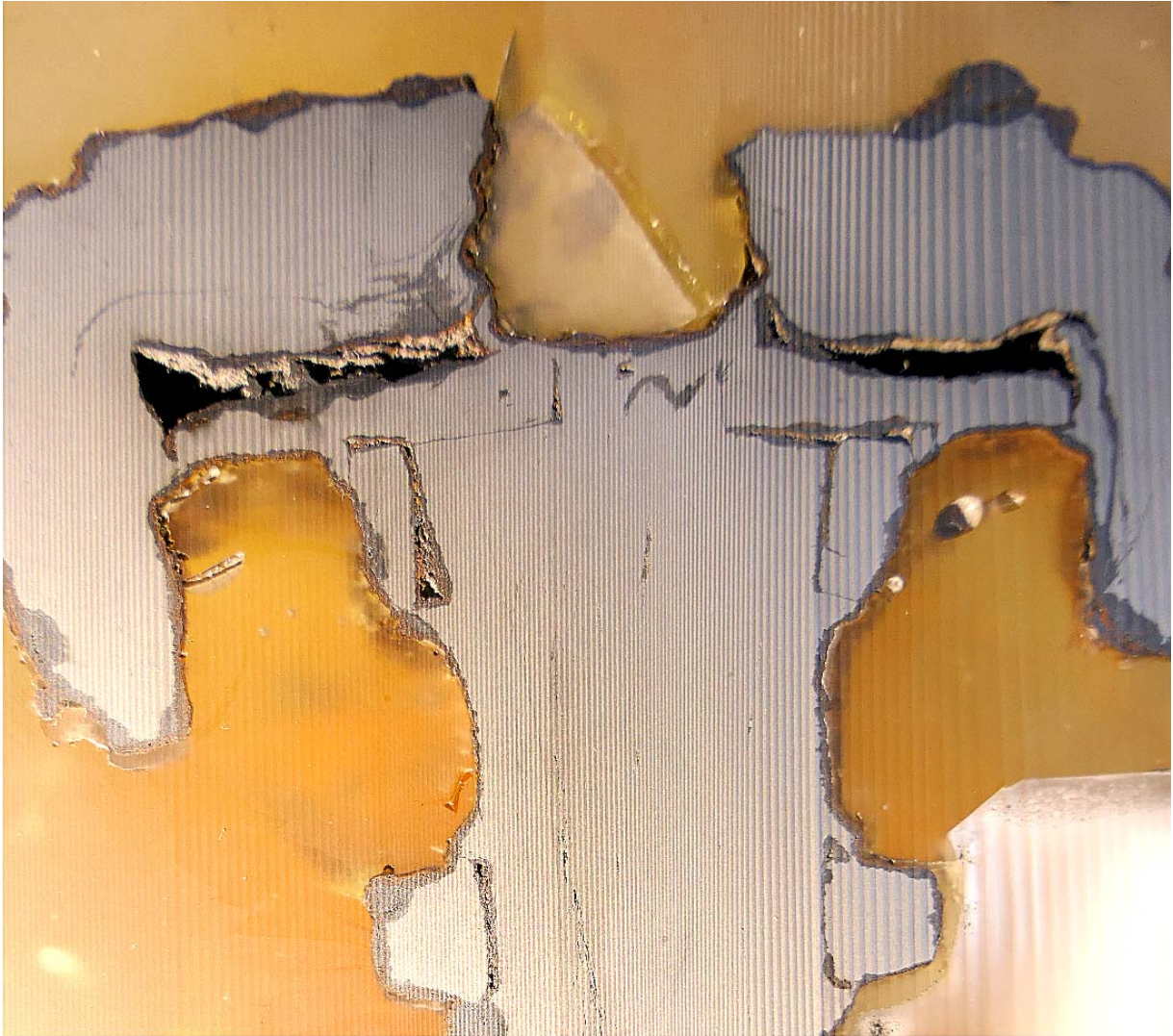
Eine langwierige Suche nach Alternativen (z. B. Höchstdruck Wasserstrahl, Laser, spezielle Diamantscheiben, ...) blieb zunächst ergebnislos. Erfolgreich war letztlich der Einsatz einer am Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS) in Halle speziell entwickelten Drahtsäge, mit der schon beim ersten Versuch ein nahezu optimaler Schnitt gelang.



In Halle frisch „halbirtes“ Schwert IR3744

Wie im Antrag ausgeführt, wurde eine Hälfte zu dem bekannten Archäometallurgen Prof. Ünsal Yalçın in Bochum geschickt, erste (und noch vorläufige) Ergebnisse sind im Anhang näher ausgeführt. Die 2. Hälfte wird an der Technischen Fakultät in Kiel untersucht; die Arbeiten laufen noch. Schon im frisch gesägten Zustand sind zahlreiche Strukturfeinheiten erkennbar. Es würde hier zu weit führen, die vielen Details zu diskutieren; auch hier sei für eine erste Bewertung auf den Anhang verwiesen.

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen



Strukturen im frisch „halbierten“ Schwert **IR3744**. Die vertikalen Linien sind Sägespuren.

4. Schlussbewertung und Ausblick

Das Projekt hat bereits eine Vielzahl an Erkenntnissen geliefert; die bereits erstellten Daten sind aber bei weitem noch nicht umfassend ausgewertet. Eine Altersbestimmung war zwar mit der gewünschten Genauigkeit nicht möglich, jedoch kann die Methodik jetzt eindeutiger bewertet werden. Damit werden die bereits früher veröffentlichten Daten in eine neue Perspektive gestellt und die vorhandenen Zweifel beseitigt.

Eine erste Veröffentlichung ist im Rahmen der „Radiocarbon“ Konferenz in Trondheim, Schweden, geplant; ein Abstract wurde bereits eingereicht (C. Matthias Hüls, Ingo Petri, Helmut Föll: Absolute dating of early iron objects from the ancient Orient: Radiocarbon dating of Luristan Iron Mask Swords). Weitere Veröffentlichungen, insbesondere im Rahmen der „Anatolian Metals“ Reihe in Bochum, sind geplant.

Ein Vortrag zur Thematik findet am 12.04.2018 am IMWS in Halle statt.

Die Untersuchungen, insbesondere am halbierten Schwert, werden an der Technischen Fakultät mit „Bordmitteln“ weiterlaufen. Die Schwerter werden dann Prof. Bruno Overlaet, Kurator am Königlichen Museum für Kunst und Geschichte, Brüssel, übergeben. Damit wird sichergestellt, dass die Objekte weiterhin für Untersuchungen zur Verfügung stehen und nicht in Privathand verschwinden

Projekt: Altersbestimmung an Luristan Schwertern verbunden mit metallographischen Untersuchungen

Danksagung:

Dank gebührt folgenden Personen für Ihre Mitwirkung an dem Projekt:

Fr. Katrin **Brandenburg** hat die formale Seite der Projektarbeit wie immer kompetent und zielführend abgewickelt und war uns eine große Hilfe.

Fr. **Heitmann** aus dem Institut für Ur- und Frühgeschichte hat die zur Dokumentation unerlässlichen, hochaufgelösten, professionellen Photos der Schwerter erstellt.

Herr Andreas **Hofmann**, Fa. Hofmann, hat unentgeltlich und mit großem Einsatz einige Zeit für Trennexperimente mit der Funkenerosion investiert.

Profs. B. **Overlaet**, Brüssel, und Ü. **Yalçın**, Bochum, haben beim Projekt mit Rat und Tat entscheidend mitgewirkt.

Herr **Rath** aus dem Materialwissenschaftsteam stand jederzeit mit Rat und Tat bei der experimentellen Arbeit zur Verfügung.

Prof. **Wehrspohn** und Herr **Schwabe** aus dem IMWS Halle waren dem Projekt gegenüber sehr aufgeschlossen und haben sofort auf dem „kleinen Dienstweg“ die erfolgreiche Halbierung des Schwertes veranlasst.

Kiel, den 25.05.2018

Prof. Dr. L. Kienle

Prof. Dr. H. Föll