

Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte	76	S. 249 - 262	Halle (Saale)	1994
--	----	--------------	---------------	------

## **Mikroskopische und mikroanalytische Untersuchungen an Fundstücken aus dem Fürstengrab Gommern**

von Holger Schnarr, Manfred Fütting, Matthias Becker, Halle (Saale)

### 1. Einleitung

In zunehmendem Maße spielen naturwissenschaftliche Methoden bei der Untersuchung und Auswertung archäologischer Objekte eine Rolle. Besonders wenn es darum geht, Material- und Struktureigenschaften zu bestimmen oder Substanzen überhaupt erst zu identifizieren, werden verschiedene mikroskopische und analytische Verfahren zum Einsatz gebracht. Neben der notwendigen Genauigkeit und Dokumentierbarkeit der Ergebnisse ist es meist erforderlich, daß zum Schutz und Erhalt der archäologischen Objekte ohne oder nur mit geringem Materialverlust gearbeitet wird. Zum anderen stehen zum Teil so geringe Materialmengen zur Verfügung, daß angestrebt wird, auch aus kleinsten Proben ein Maximum an Informationen zu gewinnen.

Die Verbindung von mikroskopischer Ansicht und mikroanalytischen Untersuchungen ist durch den Einsatz der Rasterelektronenmikroskopie (REM) gegeben<sup>1</sup>. Die Untersuchung archäologischer Objekte mittels konventioneller Rasterelektronenmikroskopie erweist sich dabei oftmals als recht schwierig und wird in ihrer "Bewegungsfreiheit" meist von vielen Faktoren beschränkt. Dazu zählt beispielsweise die Notwendigkeit der Bedampfung mit leitenden Substanzen, wenn die Objekte von nichtleitenden Schichten (z.B. von Korrosionsprodukten) bedeckt sind oder diese nichtleitenden Beläge selbst analysiert und untersucht werden sollen<sup>2</sup>.

Mit der Entwicklung der atmosphärischen REM ergeben sich hierbei neue Aspekte. Eine Untersuchung archäologischer Objekte - ob im Fundzustand oder in bereits restaurierter Form - wird mit dem Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) möglich, ohne diese in ihrem Aussehen, ihrer Struktur oder Beschaffenheit merklich zu verändern.

Seit Inbetriebnahme des atmosphärischen REM ESEM-3 in der Außenstelle des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik in Halle (Saale) werden die Fundstücke des 1990 bei Gommern entdeckten germanischen "Fürstengrabes"<sup>3</sup> systematisch mit diesem Gerät untersucht, um die recht vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des Mikroskops für archäologische Zwecke zu erproben und gleichzeitig die Werkstoffe, Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien und Korrosion der Fundstücke umfassend zu charakterisieren<sup>4</sup>.

Aufgrund der Mannigfaltigkeit und Vielzahl der geborgenen Objekte und des damit verbundenen Untersuchungsaufwandes kann hier nur ein verhältnismäßig kleiner Teil mit seinen mikroskopischen Besonderheiten Gegenstand der Ausführungen sein. Im wesentlichen betrifft dies eine Reihe der Silbergegenstände, verschiedene Gürtelbestandteile sowie Reste des Schildes. Im folgenden sollen erste Ergebnisse vorgestellt werden; eine

umfassendere Auswertung kann beim derzeitigen Stand der Arbeiten noch nicht erfolgen.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der bisher untersuchten Silbergegenstände von Gommern (Durchschnittswerte, in Masseprozent) (O = Original; r = restauriert)

Proben-Nr.	Teil	Zustand	% Ag	% Cu	% Au	% Zn	% Pb	% Sn	% Fe	% Cl	% S
83	<i>Fibel</i>	(r)									
	Fuß		92.6	1.4	1.9	0.6	1.1	-	-	-	-
	Nadelhalter		94.3	1.4	1.5	0.6	1.2	-	-	-	-
	Spiralfeder		89.6	3.9	1.4	0.9	1.5	-	-	-	-
	Perldraht		90.8	3.5	1.7	0.2	1.3	-	-	-	-
	Lot		2.5	13.9	0.8	1.3	3.9	71.0	4.1	-	-
	Achse		8.0	89.5	-	0.4	0.2	1.0	-	-	-
169	<i>Gürtelschnalle</i>	(r)									
	Schnallenkörper		89.0	4.4	1.6	0.3	1.6	-	-	-	-
	Dorn		88.5	8.0	0.8	0.8	0.6	-	-	-	-
	Beschlag										
	zur Gürtelschnalle		90.1	3.8	1.3	0.2	1.5	-	-	-	-
	Niet		91.5	2.5	1.4	0.2	1.6	-	-	-	-
128	<i>Gürtelschnalle</i>	(O)									
	Schnallenkörper		92.2	3.0	1.6	0.1	1.0	-	-	1.0	0.8
	Dorn		91.1	2.2	2.1	0.7	0.9	-	-	1.7	1.0
	Niet		3.1	92.2	-	0.7	1.6	2.1	-	-	-
	Lot		3.2	4.7	0.6	0.3	3.7	86.9	-	0.3	-
196a	<i>Riemenzungen- fragment</i>	(O, r)									
			84.8	4.5	1.4	0.4	0.9	-	0.3	2.3	3.5
44	Oberfläche										
	der <i>Riemenzunge</i>	(O, r)	88.6	4.1	2.6	0.2	0.7	-	-	2.8	-
	Niet		90.6	2.7	1.0	0.2	0.4	-	-	1.4	-
75	Oberfläche										
	der <i>Riemenzunge</i>	(O)	77.3	0.9	1.2	0.2	0.5	-	-	18.3	1.5
	Niet		76.2	1.3	2.7	0.3	2.7	-	-	14.8	1.7
134	Oberfläche										
	der <i>Riemenzunge</i>	(r)	92.8	1.1	2.6	0.2	0.4	-	-	2.4	-
	Niet		90.0	2.0	3.9	0.1	1.9	-	-	1.2	0.2
880	<i>Gürtelschnalle</i>	(r)									
	Schnallenkörper		86.1	6.1	6.0	0.6	1.5	-	-	-	0.2
	Dorn		91.4	4.5	1.2	0.4	1.0	-	-	-	0.2
794	<i>Nietkopf mit Lotresten</i>	(O)									
	Niet		90.7	2.4	2.5	0.2	0.4	-	0.3	2.0	0.6
	Lot		3.8	0.7	1.7	0.3	90.1	0.9	-	1.7	-
	Lot		9.5	5.0	0.2	0.1	35.4	44.8	-	4.1	-
878	<i>Niet</i>	(r)	83.3	3.4	6.1	0.4	2.2	-	0.5	1.7	0.9
862	<i>Zarge</i>	(r)	91.5	4.0	0.8	0.3	1.0	-	-	0.2	-
739	<i>Zarge</i>	(O)	82.8	4.9	0.5	0.2	0.9	-	-	6.1	-
884	<i>Blechfragment</i>	(O)	79.7	2.2	0.8	0.2	0.5	-	-	14.6	0.2
789a	<i>Preßblech zum Ledergürtel</i>	(O)									
	Silberblech		91.6	2.4	2.8	0.1	2.4	-	-	-	-
	Goldschicht		26.3	0.7	65.9	-	0.4	0.8	-	4.5	-
	Lot		8.7	6.6	1.3	0.4	27.1	49.7	-	4.5	-
199*	<i>Schildbuckel</i>	(O)	78.1	7.8	1.2	0.2	2.1	-	-	16.2	-
600*	<i>Schildfessel</i>	(O)	75.2	0.5	0.9	0.1	0.9	-	-	22.2	-
123	<i>Pfeilspitze</i>	(O)	80.3	3.3	2.0	0.3	1.3	-	0.5	10.7	0.6

Proben- Nr.	Teil	Zustand	% Ag	% Cu	% Au	% Zn	% Pb	% Sn	% Fe	% Cl	% S
54	<i>Pfeilspitze</i>	(O, r)	88.3	6.6	0.7	0.7	0.8	-	0.2	0.9	-
85	<i>Pfeilspitze</i>	(O, r)	81.5	3.3	1.2	0.1	0.7	-	0.3	8.7	0.7
87	<i>Schere</i>	(O, r)	90.7	4.5	1.7	0.8	1.9	-	0.1	-	-
64	<i>Messer</i>	(O)									
	Oberfläche		89.5	4.3	0.8	0.1	0.5	-	0.1	4.4	0.3
	Ring		90.3	3.1	0.9	0.8	0.5	-	0.1	1.5	2.5
141*	<i>Hemmoorer Eimer</i>	(O)	89.7	7.1	0.6	0.1	1.0	-	-	-	-
	Fuß*		70.5	3.5	0.7	0.1	0.9	-	0.2	23.7	0.1
	Henkel*		73.0	2.3	1.2	0.1	1.0	-	0.1	21.8	-
186*	<i>Kelle</i>	(O)	88.7	7.8	1.2	0.2	1.6	-	0.3	-	-
	<i>Sieb</i>	(O)	86.7	6.4	1.5	0.6	1.1	-	0.1	2.6	0.7
100	<i>Münze</i>	(r)	90.7	3.4	0.4	-	2.4	-	-	-	-
447	<i>Münze</i>	(r)	90.8	5.0	0.3	-	1.4	-	-	-	-
448	<i>Münze</i>	(r)	88.8	7.7	0.3	-	1.4	-	-	-	-
438	<i>Münze</i>	(r)	89.8	8.6	0.6	-	0.9	-	-	-	-
441	<i>Münze</i>	(r)	91.7	2.6	0.3	-	1.0	-	-	-	-

## 2. Silbergegenstände

### 2.1. Probennumerierung

Bei den untersuchten Objekten handelt es sich sowohl um Gegenstände germanischen als auch römischen Ursprungs. Neben der Silberfibul (Tab.1: Nr. 83) wurden aus dem umfangreichen Ensemble von Gürtelbestandteilen, Schnallen bzw. Riemenzungen verschiedene Typen ausgewählt (Tab. 1: Nr. 169-128, 196a-134), die wohl auch zu unterschiedlichen Teilen der Bekleidung gehörten. Besondere Beachtung erhielt ein aufwendig gearbeiteter und verzierter Ledergürtel, von dessen zahlreichen Einzelteilen mehrere Silberstücke für die Untersuchungen ausgewählt wurden (Tab. 1: Nr. 794-739, 789a, 880, 884).

Eine weitere Gruppe von Untersuchungsobjekten bildeten Gegenstände der Ausrüstung des Toten (Tab. 1: Nr. 199-64). Gegenstände römischen Ursprungs sind durch den Hemmoorer Eimer (Tab. 1: Nr. 141), die Kelle-Sieb-Garnitur (Tab. 1: Nr. 186) und römische Silbermünzen (Tab. 1: Nr. 100-441) vertreten.

### 2.2. Probenpräparation

Für die Untersuchung archäologischer Objekte mit dem atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop ESEM-3 kann der notwendige präparative Aufwand im Vergleich zur konventionellen REM erheblich reduziert werden. Es erweist sich jedoch als notwendig, verschiedene Präparationsmethoden - auch aus der konventionellen REM - hinsichtlich ihrer Eignung für den Untersuchungsgegenstand zu testen und entsprechend auszuwählen. Die Art der Probenvorbereitung richtet sich vor allem nach der Fragestellung zum Objekt. Ziel ist dabei der Erhalt einer maximalen Informationsfülle über Werkstoffzusammensetzung, Materialbe- und -verarbeitung, Verbundtechniken und Korrosionsabläufe bei Gewährleistung einer minimalen Beeinträchtigung des Gesamteindrucks des Fundes.

Für die Silberstücke wurden bisher folgende Präparationsmethoden angewandt:

- a) Die einfachste Art ist das Belassen des Gegenstandes in seinem vorliegenden Zustand. Die zu untersuchenden Objekte wurden bei Vorhandensein größerer korrodierter Flächen und zur Entfernung evtl. vorhandener, durch Bergung bzw. Restaurierung bedingter Wachsschichten an ausgesuchten Stellen mit Alkohol, Azeton und Fixierlösung (Natriumthiosulfatlösung) gereinigt. So konnten neben den Korrosionsschichten und Auflagerungen auch die Metalloberflächen auf Materialzusammensetzung und Gebrauchsspuren untersucht werden. Eine Bearbeitung der Oberflächen mit Drahtbürsten ist nicht zu empfehlen, da zum einen Metallpartikel des Drahtes eine nachfolgende Mikroanalyse verfälschen können und zum anderen eine Beschädigung der empfindlichen Oberflächen die Folge sein kann. Oberflächenstrukturen, die im Ergebnis der Herstellung, der nachfolgenden Bearbeitung oder der Abnutzung durch den Gebrauch entstanden, sind an den Stücken ohne weitere Präparation erkennbar. Die Restaurierung erfolgt dabei durch den Einsatz schonender chemischer Mittel ohne mechanische Einwirkungen.
- b) Rückschlüsse über Herstellung und Verarbeitung des Silbers können aus Bruchflächenuntersuchungen gezogen werden. Hierbei mußte sich zumeist auf bereits vorhandene Brüche beschränkt werden. Diese Flächen sind aufgrund der langen Lagerung im Boden und der erhöhten Oberflächenrauigkeit oft sehr stark korrodiert, und die interessierende metallische Matrix tritt nur an sehr wenigen Stellen zutage. Probenmaterial für Bruchflächenuntersuchungen stand weiterhin aus dem großen Bestand sehr kleiner, restauratorisch nicht nutzbarer Materialreste zur Verfügung, die für Aussagen über das gesamte Objekt meist für die Untersuchung ausreichen.
- c) Eine weitere Möglichkeit der Probenpräparation ist die Gefügeätzung. Hierbei werden mit geeigneten ätzenden Lösungen die Korngrenzen oder Kornflächen in Mikrobereichen sichtbar gemacht. Dabei ist jedoch der Informationsgewinn in erheblichem Maße von der Güte der Probenvorbereitung (Schliff mit anschließendem Polieren) abhängig. Durch die Vorgabe zum schonenden Umgang mit den Stücken kann auch die Methode der Gefügeätzung nur im eng begrenzten Rahmen angewandt werden, und die erreichbaren Ätzergebnisse fallen dementsprechend z. T. recht unbefriedigend aus.

Die Schliffherstellung und Gefügeentwicklung wurde nach folgendem Schema vorgenommen:

1. Oberflächenreinigung mit Alkohol und Azeton, Beseitigung evtl. vorhandener Korrosionsprodukte mit Fixierbad
2. Schleifen einer ca. 5-10 mm<sup>2</sup> großen Fläche mit rotierendem Schleifkörper (SiC in Gummieinbettung)
3. Reinigung mit Aquadest und Alkohol
4. Polieren der geschliffenen Fläche mit rotierendem Filz- oder Lederkörper und Tonerde
5. Erneute Reinigung mit Aquadest, Alkohol und Fixierbad
6. Gefügeanätzung mit verschiedenen Lösungen; mit gutem Erfolg wurden
  - KCN sowie eine
  - Mischung aus Ammoniak, Wasserstoffperoxid und Aquadest im Verhältnis 3:1:1 verwendet
7. Abschließende Oberflächenreinigung (wie 5.). Führt die Ätzung zu keinem Erfolg, wurden die Schritte 4-7 öfter wiederholt (sog. Ätzpolieren). Dabei mußte

äußerst vorsichtig vorgegangen werden, um einen sichtbaren Materialabtrag zu vermeiden.

- d) Insbesondere für die mikroanalytischen Fragestellungen (Legierungszusammensetzung, Identifizierung von Auflagerungen und Korrosionsprodukten) hat sich die Entnahme von geringen Materialmengen als vorteilhaft erwiesen. Dies kann geschehen
1. mit verschiedenen Werkzeugen, z. B. mit Skalpell oder Präpariernadel, oder
  2. mittels Mikroabriebtechnik, wobei mit einer sauberen Korundfläche leicht über die zu untersuchende Probe gestrichen und das anhaftende Material analysiert wird.<sup>5</sup>
- e) Für den gezielten Abtrag von Material- bzw. Korrosionspartikeln wurde im Mikroskop ein sogenannter Mikromanipulator verwendet. Damit können in sehr kleinen Bereichen (von ca. 20...500 µm) Metalloberflächen für eine nachfolgende Analyse freigelegt werden.

### 2.3. Ergebnisse der mikroskopischen und mikroanalytischen Untersuchungen

#### 2.3.1. Chemische Zusammensetzung der Silbergegenstände

Die Materialzusammensetzung, die Zusammensetzung von Korrosions- und Verwitterungsschichten sowie anhaftende Partikel wurden mit dem energiedispersiven Röntgenspektrometer (EDS) KeveX Delta III+ analysiert.

Durchschnittsanalysen der Objekt Oberflächen wurden an mindestens 3 verschiedenen Stellen bei ca. 200facher Vergrößerung ermittelt, das entspricht einem analysierten Gesamtvolumen von ca. 0,001 mm<sup>3</sup>. Bei größeren freiliegenden Metalloberflächen, z.B. bei bereits restaurierten Stücken, erhöhte sich das Materialvolumen auf ca. 0,002 mm<sup>3</sup>. Je Stelle wurde die emittierte Röntgenstrahlung 100 s lang registriert und die Spektren aufsummiert.

Die durchschnittlichen Elementzusammensetzungen der Silbergegenstände bzw. der Einzelteile eines Gegenstandes sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Angaben zu speziellen Besonderheiten erfolgen im laufenden Text.

Die Zusammensetzungen der mit einem "\*" gekennzeichneten Gegenstände wurden aufgrund ihrer Größe mittels Mikroabriebtechnik bestimmt. Dabei sind je Probe mindestens 2 Abstriche in die Ergebnisse der Tabelle 1 eingeflossen. Das in dieser Aufstellung augenfällig hohe Cl/ Ag-Verhältnis der Gegenstände, deren chemische Zusammensetzung mit dieser Technik bestimmt wurde, liegt daran, daß nur bisher noch nicht restaurierte Stücke eine derartige Behandlung erfuhren und somit bei der Materialentnahme immer ein mehr oder weniger großer Anteil an Korrosionsprodukt (AgCl) mit aufgenommen und analysiert worden ist.

Hinzuzufügen ist, daß sich die Silberfunde in bezug auf die Materialzusammensetzung als sehr inhomogen erwiesen haben.

#### 2.3.2. Korrosion des Silbers, Auflagerungen auf den Funden

Die geborgenen Silbergegenstände decken den weiten Bereich des "Lebenslaufes" eines Metalls ab - vom relativ gut erhaltenen, massiv metallenen bis zum vollständig korrodierten und nur noch in seiner Form erkennbaren Objekt ist die gesamte Palette unterschiedlicher Metallzustände vertreten.

Häufigstes Korrosionsprodukt des Silbers ist das Silberchlorid  $\text{AgCl}$ . Dieses bedeckt sämtliche Gegenstände mit einer mehr oder weniger starken Schicht, deren Dicke bis zu  $100\ \mu\text{m}$  betragen kann.

Das  $\text{AgCl}$  ist im Sekundärelektronenbild (SE - Bild) als feinkörnige kristalline Substanz zu erkennen (Tafel 1.1). Es erschwert die Oberflächenuntersuchung des eigentlichen Metalls und sollte deshalb, wie in Kap. 2.2 beschrieben, entfernt werden. Neben der nur oberflächlichen Bedeckung mit Chlorid kann das Stadium der Korrosion weiter fortgeschritten sein, wie mehrere Punktanalysen (bei 1,3 Torr) entlang der Bruchfläche einer silbernen Zarge (Tab. 1: Nr. 739) zeigen. Der Abstand der Analysen vom unteren Zargenrand beginnend (vgl. Abb. 1) betrug ca.  $250\text{-}300\ \mu\text{m}$ .

Wie das Verhältnis des prozentualen Chlor- zum Silberanteil in Abb. 2 zeigt, wird in der Zargenmitte ein Minimum durchlaufen. Hier kommt der unterschiedliche Korrosionsgrad des Silbers mit den äußeren, bereits nahezu vollständig korrodierten Rändern und dem metallreicheren Kern recht anschaulich zur Geltung.

Im ungünstigsten Fall kann bereits das gesamte Objekt aus Korrosionsprodukten bestehen, so daß rein metallische Anteile nicht mehr vorhanden sind, wie das Beispiel eines silbernen Gegennetzes (Tab. 1: Nr. 741) zeigt. Das  $\text{Cl} / \text{Ag}$ -Verhältnis liegt hier bei 0,5, das Verhältnis für reines  $\text{AgCl}$  beträgt 0,65.

Der korrosive Angriff beginnt meist punktförmig und erfaßt immer größere Bereiche, bis schließlich ganze Schichten abgelöst werden. Die Korrosion verläuft dabei entlang der Korngrenzen (interkristalline Korrosion). Tafel 1.2 veranschaulicht den interkristallinen Korrosionsverlauf. Zu sehen ist die mit der Präpariernadel gekratzte Tüllenkante einer Pfeilspitze (Tab. 1: Nr. 54), die mit Fixierlösung behandelt wurde. Bereits dadurch erfolgt eine Anätzung des Gefüges, d.h. durch das Fixierbad wird das an den Korngrenzen angereicherte  $\text{AgCl}$  gelöst, und diese werden sichtbar, was die verstärkte Korrosion entlang der Korngrenzen bestätigt.

Neben den bereits sichtbaren Schädigungen durch Verwitterung ist eine Vielzahl der Objekte stark mit Rissen behaftet (Taf. 2.1). Diese konzentrieren sich immer dort, wo der Werkstoff - bedingt durch Herstellung und Verarbeitung - höheren Spannungen ausgesetzt ist, also an Biegestellen und Aufwölbungen von Blechen oder Bändern. Tafel 2.2 beispielsweise zeigt die Rißausbildung an einem Schnallendorn (Tab. 1: Nr. 880) im Bereich der stärksten Krümmung, hier am Befestigungspunkt mit dem Schnallenkörper. Die Einwirkung korrosiver Medien an mit hohen Umformgraden beaufschlagten und Eigenspannungen belasteten Abschnitten begünstigt hierbei die Rißbildung und -aufweitung. Das Detail der Bruchfläche eines Preßbleches (Tab. 1: Nr. 789a) zeigt die beginnende Korrosion an einem Riß, während das Gefüge in der Umgebung des Risses noch unbeeinflusst ist (Taf. 3.1).

Neben den beschriebenen Korrosionserscheinungen des Silbers treten sehr oft Oberflächenbeläge anderer Zusammensetzung auf. Meist sind dies Cu-haltige Verbindungen, hervorgerufen durch die Korrosion der bronzenen Gegenstände im Grab, die sich infolge der Ausbildung elektrochemischer Potentiale auf dem Silber abscheiden.

Als weitere Auflagerungen wurden Si-, Ca- und P-reiche Verbindungen in meist schollenförmiger Ausbildung analysiert. Dabei handelt es sich einerseits um Ablagerungen des das Grab umgebenden Sandbodens, andererseits besteht die Wahrscheinlichkeit, daß sich Zersetzungsprodukte organischen Ursprungs (Leder-, Knochenreste) auf den Silberoberflächen anreicherten, was die Anwesenheit des Ca und P erklären würde. Andere schollenförmige Strukturen auf der Oberfläche erweisen sich als stark Cl- und S-haltig (Taf. 3.2).

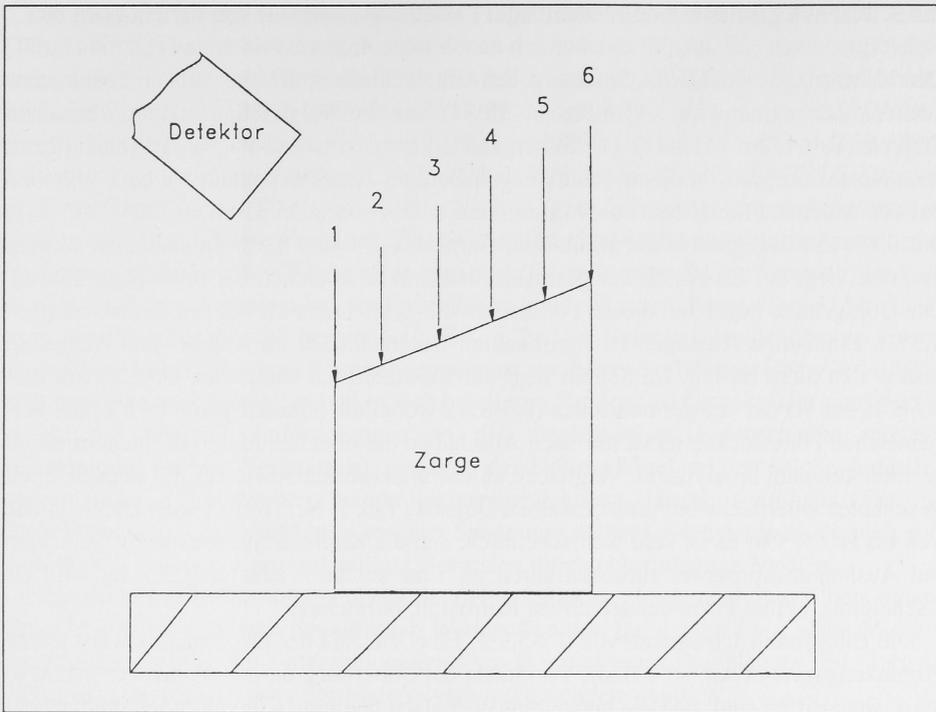


Abb. 1: Skizze der Verteilung der Punktanalysen über der Bruchfläche einer Zarge

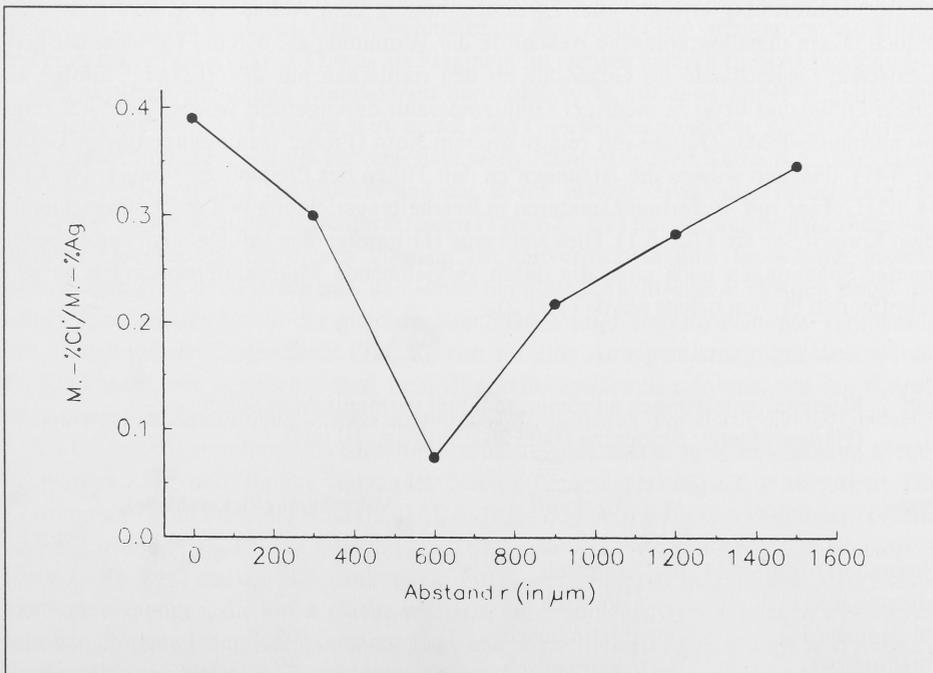


Abb. 2: Massenverhältnis von Chlor und Silber in Abhängigkeit vom Analysenort

### 2.3.3. Technologie der Silberverarbeitung

Die Mikroanalysen der Silberfunde ergeben Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der germanischen (Tab.1: Nr. 83-64) und im Vergleich dazu der römischen Objekte (Tab. 1: Nr. 141-441). Die Silbergehalte können mit 70,5-94,3% (in Abhängigkeit vom Korrosionsgrad) in einem relativ engen Bereich zusammengefaßt werden. Während bei den Münzen (Tab.1: Nr.100-441) kein und beim Hemmoorer Eimer (Tab. 1: Nr. 141) nur 0,1% Zn, dagegen bei der Kelle-Sieb-Garnitur 0,2% und 0,6% Zn analysiert werden konnten, liegt der Zn-Anteil der germanischen Stücke zwischen 0,1-0,9% (vgl. Tab. 1). Die Goldgehalte liegen bei diesen Funden mit 0,5-6,1% höher als bei den römischen (0,3-1,5%). Eindeutige Aussagen zu signifikanten Unterschieden im Kupfer- und Bleigehalt lassen sich nicht treffen. Im Schnitt liegt der Cu-Anteil der römischen Objekte mit 2,3-8,6% höher als der der germanischen (0,5-8%), wobei die höheren Werte (> 6%) bei germanischen Fundstücken meist nur nach Abschaben der obersten Materialschicht ermittelt werden konnten. Analytische Vergleiche an der unberührten sowie der mit dem Skalpell geschabten Oberfläche ein- und desselben Objekts (Tab. 1: Nr. 169) ergaben Unterschiede von bis zu 6% Cu. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Kupferarmut der oberen Schichten auf Auslaugungsprozesse zurückzuführen ist. Eine solche Auslaugung des Cu wird als "Scheidung", einer Form der selektiven Korrosion, bezeichnet<sup>6</sup>.

Die Bleigehalte schwanken von 0,2-3,9%. Eine Vielzahl der Gegenstände weist starke Abnutzungsspuren auf, so z.B. die Perldrähte der Silberfibel, deren Oberflächen schon so stark abgegriffen sind, daß die herstellungstechnisch bedingte Rille nur noch bruchstückhaft zu sehen ist (Taf. 4.1).

Das Material ist - soweit untersucht - ausnahmslos kalt bearbeitet worden. Im Anschluß an eine Umformung erfolgte eine Zwischenglühung zum Abbau der Kaltverfestigung. Jedoch lassen metallographische Anschliffe die Vermutung zu, daß die Glühung der germanischen Gegenstände im Gegensatz zu den römischen nur unvollständig infolge zu kurzer Glühdauer bzw. zu niedriger Glühetemperatur durchgeführt wurde. Tafel 4.2 zeigt ein normalgeglühtes Gefüge mit relativ grobem Korn (Probe: Hemmoorer Eimer, Gefäß Nr. 141), dagegen weisen die Ätzungen an den Tüllen der Pfeilspitzen (Tab. 1: Nr. 123, 54, 85) Gefüge mit Verformungstexturen in Bearbeitungsrichtung und recht unterschiedlichen Korngrößen auf (Taf. 5.1). Dies zieht eine Härtesteigerung infolge noch verbliebener innerer Spannungen nach sich, die durch vergleichende Mikrohärtmessungen an den betreffenden Proben belegt wurde (Tab. 2).

Tab. 2: Mikrohärtmessungen an römischem und germanischem Silber  
(Härteprüfgerät: Shimadzu DUH 202; Prüflast: 10 mN)

Probe	Herkunft	Mikrohärt (Vickershärt)
Hemmoorer Eimer (141)	römisch	49
Münze (438)	römisch	82
Pfeilspitze (54)	germanisch	164
Fibelfuß (83)	germanisch	39

Die Mikrohärten des Hemmoorer Eimers (Tab. 1: Nr. 141) sowie des Fußes der Fibel (Tab. 1: Nr. 83) liegen hier deutlich unter denen der anderen Stücke. Die dazu vergleichsweise höhere Härte der Münze ist durch den höheren Cu-Anteil (8,6% im Gegensatz zu 7,1% des Eimers) erklärbar. Der höhere Verformungsgrad wird auch an den Bruchflächen einiger Gegenstände deutlich. Während der Hemmoorer Eimer (Tab. 1: Nr. 141) einen teils spröden, teils zähen Bruch mit der typischen Wabenstruktur aufweist (Taf. 5.2), zeigt die Bruchfläche an der Fibelspirale (Tab. 1: Nr. 83) der Silberfibel ein stark verformtes Gefüge (Tafel 6.1). Diese Form des zähen Gewaltbruches deutet auf eine fast erschöpfte Verformungsfähigkeit des Werkstoffes hin, wie das nach einer Kaltumformung der Fall ist. Ein ähnliches Aussehen hat die Bruchfläche einer silbernen Zarge (Tab. 1: Nr. 739), auch als "Holzfaserbruch" bezeichnet<sup>7</sup> (Taf. 6.2). Das Belassen des Stückes in einem Zustand mit höheren inneren Spannungen, daraus resultierender höherer Härte und Elastizität, war also beabsichtigt, zumal es sich bei diesen Funden fast ausnahmslos um Gegenstände mit höheren Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften handelt (Fibelspirale, Schere, Pfeilspitzen), wogegen der Fuß der Fibel, an den solche Anforderungen nicht gestellt werden, keinen herausragend hohen Härtewert aufweist (Tab. 2). Einhergehend mit dem erhöhten inneren Spannungszustand wächst natürlich auch die Anfälligkeit gegenüber interkristalliner Korrosion durch chloridhaltige Medien.

Neben den fast reinen Silberstücken liegt eine Reihe von Verbunden des Silbers untereinander bzw. mit anderen metallischen Werkstoffen vor. Dazu zählen vor allem Verbindungen mit Gold sowie Lotverbindungen. Am Beispiel eines Preßbleches (Nr. Tab. 1: 789a) vom Ledergürtel wird der Materialverbund besonders deutlich.

Der Schichtaufbau des Preßbleches ist anhand einer Bruchfläche recht gut zu sehen. Unter der Goldschicht, deren Dicke nur bis zu 5 µm beträgt, schließt sich eine ca. 50 µm starke Silberlage an, die z. T. vollständig korrodiert ist, aber auch am selben Blech noch massiv metallisch sein kann. Den Abschluß bildet eine mehr oder weniger starke Füllung mit einem Sn-Pb-Lot (Taf. 7.1), was als Fragment im rechten unteren Bildteil zu sehen ist.

Aufgrund der Stärke und Kompaktheit der Goldschicht mit einer Dicke < 5 µm kann das Blech blattvergoldet worden sein, zumal kein Quecksilber analysiert wurde. Andererseits könnten mehrere Details für eine Feuervergoldung sprechen. Dazu zählt zum einen die starke Versprödung des Silbers und der Bruch infolge Spannungsrißkorrosion mit trans- und interkristallinen Bruchmerkmalen (Taf. 7.2). Das bei der Feuervergoldung verwendete Quecksilber löst diesen Vorgang am kaltverformten und damit unter inneren Spannungen stehenden Blech aus, und schon bei geringer statischer Belastung bricht das Silber. Ein weiteres Detail der gleichen Bruchfläche zeigt eine recht innige Verbindung des Silbers mit der Goldschicht (Taf. 8), was für eine Amalgamierung sprechen würde. Jedoch konnte, wie bereits erwähnt, kein Quecksilbernachweis erfolgen, was die Vergoldung durch Amalgamierung bestätigen würde<sup>8</sup>.

Als Lote zur Verbindung von Silberteilen eines Gegenstandes bzw. mit anderen Metallen wurden Zinn- und Bleilote verwendet, deren Zusammensetzung z.T. stark variiert. Die Lote an den Perldrähten der Silberfibel (Tab. 1: Nr. 83) beispielsweise enthalten 71% Sn, 13,9% Cu und 3,9% Pb als Hauptbestandteile, während die Lotfüllung des Nietkopfes (Tab. 1: Nr. 794) starken Schwankungen unterliegt. Grund dafür sind selektive Korrosionserscheinungen, die ihre Ursache wahrscheinlich im leicht verschiedenen elektrochemischen Potential der Komponenten Blei und Zinn haben. Tafel 9 zeigt die helleren Partien als sehr bleireiche Strukturen, während die dunklen, darunterliegenden Anteile durch ein Sn-Pb-Lot mit 44,8% Sn und 35,4% Pb gebildet werden. Eine ähnliche Zusam-

mensetzung hat die Lotverstärkung des Preßbleches des Ledergürtels (Tab. 1: Nr. 789a) mit 27,1% Pb und 49,7% Sn.

Auch die Lote sind oftmals durch Einwirkung von Schwefel und Chlor stark korrodiert. Die Korrosion eines Sn-Pb-Lots (Tab. 1: Nr. 805a) in Form von Stengelkristallen ist auf Tafel 10.1 abgebildet. Hierbei handelt es sich vermutlich um PbS (Bleispießglanz), worauf der hohe Schwefelanteil dieser Gebilde zurückzuführen ist.

### 3. Nichtmetallische Substanzen

#### 3.1. Leder

Besonders interessant im Hinblick auf Möglichkeiten und Grenzen des ESEM erscheinen Untersuchungen an dem Ledergürtel (Nr. 197), der zusammengerollt im Fußbereich des Grabes gefunden wurde. Dieser war bei der Bergung eine pastöse Masse und das Leder selbst schon sehr weit abgebaut, so daß es nicht im geschmeidigen Zustand zu restaurieren war. Die restauratorische Bearbeitung des Gürtels ergab, daß er im wesentlichen aus drei Schichten aufgebaut war: Eine mit Durchbruchsarbeit verzierte durchgehende Lederlage war im Bereich der Durchbrüche mit blattvergoldeten Lederstücken hinterlegt. Den Abschluß bildete eine dritte durchgehende Lederschicht. Hier galt es zu klären, welche - und ob überhaupt - Strukturen des Leders erhalten waren, um anhand evtl. vorhandener markanter Unterschiede Aussagen über die Verschiedenartigkeit der durch die Restaurierung erkannten drei Schichten des Leders machen zu können.

Feuchtes, gut erhaltenes Leder zeichnet sich durch seine relativ hohe Flexibilität aus, die aus dem dreidimensionalen Netzwerk der kollagenen Bestandteile resultiert<sup>9</sup>. Der sehr spröde Zustand des Ledergürtels jedoch ließ auf eine "Verleimung" der Kollagenfasern infolge der Austrocknung schließen; Oberflächenabbildungen bestätigten den Verlust der typischen Lederstruktur. Die Rückseite des gleichen Leders läßt dagegen noch ein z. T. gut erhaltenes Netzwerk von Fasern erkennen, ebenso verhält es sich mit den Untersuchungen an Bruchflächen (Taf. 10.2). Daraus kann geschlossen werden, daß die Zerstörung bisher nur die oberflächennahen Bereiche erfaßt hat, was zwar eine Identifizierung der Lederart wegen des teilweisen bzw. völligen Verlusts der Narbung erschwert und unter Umständen gänzlich verhindert, dagegen jedoch die tiefer liegenden Schichten, die im Bruch und auf der Rückseite sichtbar werden, für weitere Untersuchungen genutzt werden können. In diesen ergänzenden Analysen bleibt noch zu klären, inwieweit diese sichtbaren Strukturen zur Identifizierung aussagekräftig sind. Das muß nach den ersten Ergebnissen noch negativ beantwortet werden.

Weiterhin sind an bestimmten Teilen der mittleren Lederlage noch vereinzelt Haare im fortgeschrittenen Schädigungsstadium zu finden, die auch noch nicht eindeutig identifiziert werden konnten.

Eine dritte, auf der Körperseite des Gürtels befindliche Schicht unterscheidet sich in Aufbau und Struktur z. T. erheblich von den beiden darüberliegenden Lederschichten. Diese hellbraune Schicht ist im Gegensatz zu den dunkelbraunen darüberliegenden Lederlagen sehr dünn. Die mikroskopischen Untersuchungen dieser Lage deuteten auf eine mitunter sehr feine Strukturierung der nach dem Bruch sichtbaren Fasern (Taf. 11.1) hin. Auch hier handelt es sich um Leder. Das wird durch eine in Fragmenten noch sichtbare Narbung auf der Oberfläche bestätigt (Taf. 11.2). Die Mikroanalyse der Schicht ergab einen sehr hohen Bleigehalt, der jedoch nicht erklärbar ist.

Mit Hilfe der am Gürtel gewonnenen Erkenntnisse konnten auch die geringen organischen Reste zwischen Schnallendorn und -rahmen, zwischen der Nietleiste der großen Gürtelschnalle (Tab. 1: Nr. 128) sowie in den Einkerbungen der Riemenzungen eindeutig als Leder mit Resten der Silberkorrosion (AgCl) identifiziert werden (Taf. 12.1). Auch an diesen sehr geringen Resten ist die Faserstruktur des Leders teilweise noch recht gut zu erkennen.

Ein Teil des Gürtelleders war mit einer Blattgoldschicht bedeckt. Das Material mit einer Dicke von 0,7-2  $\mu\text{m}$  und einzelnen erkennbaren Dehnungslöchern (Taf. 12.2) weist eine relativ hohe Reinheit auf (95% Au, 2% Ag, 1% Cu).

### 3.2. Substanzen des Schildes

Zum Grabinventar gehört u. a. ein Schild, der aus verschiedenen Werkstoffen gefertigt worden war. Neben den Metallbestandteilen (Schildbuckel Nr. 199, Schildfessel Nr. 600, Randumbörtelung, Preßbleche) sind auch Reste einer Bemalung in Form von Farbspuren erkennbar gewesen<sup>10</sup>. Weiterhin waren einige Fragmente vom Holz des Schildes erhalten, auf denen neben den deutlichen roten und blauen Farbresten weitere Schichten erkennbar waren. Hier bot sich die Möglichkeit der Untersuchung des Schildquerschnittes, um weitere Erkenntnisse zu seinem Aufbau zu gewinnen.

Tafel 13 zeigt die blauen Farbreste im SE-Bild, das zugehörige EDS-Spektrum sagt aus, daß es sich bei dem kristallartigen Stoff um Ägyptisch-Blau ( $\text{CaO}\cdot\text{CuO}\cdot 4\text{SiO}_2$ ) handelt. Diese kristalline Substanz weist zwischen den einzelnen Körnern schleierförmige Strukturen auf, die durch das Vorhandensein eines organischen Bindemittels zur Haftung auf dem Untergrund bzw. zur Verfestigung der Farbschicht in sich selbst erklärt werden können. Die roten Farbpigmente wurden als Zinnoberrot (HgS) identifiziert, welches an den besser erhaltenen Stellen des Schildes über der blauen Farbschicht, aber bisher nur auf dessen Rückseite, festgestellt werden konnte.

Zwischen der blauen Farbe (Taf. 14.1, Markierung 3) und dem Holz des Schildes (Markierung 1) befindet sich noch eine weitere, helle Schicht (Markierung 2), die bisher nur auf der Vorderseite erkannt wurde und auf der Rückseite bislang völlig fehlt. Diese hat ein sehr feinkörniges, schwammiges Aussehen, und der hohe Ca-Anteil dieser Substanz weist auf eine unter der dunkleren Farbe aufgebrauchte Kreideschicht ( $\text{CaCO}_3$ ) hin. Der Umstand, daß diese Kreidelage noch nicht auf der Rückseite des Schildes analysiert werden konnte, spricht weniger für eine Verwendung als Grundierung zur evtl. besseren Kontrastierung des Blau, sondern eher für eine dritte, also weiße Farbschicht. Beim derzeitigen Stand der Untersuchung kann von einer blau-weißen Färbung des Schildes auf der Vorderseite und einer rot-blauen Bemalung auf der Rückseite ausgegangen werden, da rote Farbpigmente wie beschrieben auf der Vorderseite noch nicht analysiert werden konnten. Die in diesem Bild (Taf. 14.1) sichtbare vierte Schicht wird durch das an dieser Stelle noch vorhandene Lot gebildet, das zur Verstärkung einer an dieser Stelle sitzenden vergoldeten Schmuckscheibe diente.

An einigen Stellen des Schildes, so an Fragmenten unter bronzenen Gegenblechen, wurde bei der Restaurierung eine weitere Materialschicht entdeckt, die sich zwischen dem Holz und den Farbresten befindet. Verschiedene in der Restaurierungswerkstatt des Landesamtes für archäologische Denkmalpflege Halle (Saale) durchgeführte Tests ergaben, daß es sich hierbei um eine eiweißhaltige Substanz handelt. Die Vermutung liegt deshalb

nahe, daß mit dieser Lage eine noch in Resten erhaltene Lederbespannung des Schildes sichtbar wurde<sup>11</sup>. Jedoch weist diese Schicht mikroskopisch nur geringfügig Ähnlichkeit mit der sonst typisch vernetzten Lederstruktur auf. Tafel 14.2 zeigt diese Schicht im Bruch. Man erkennt eine sehr starke Orientierung im Faserverlauf parallel zur Holzoberfläche mit einzelnen Auflockerungen. Die glatte Bruchfläche zeugt von einer extremen Sprödigkeit des Materials. Geht man von einer ganzflächigen "Bespannung" des Schildes mit einer solchen Schicht aus, ist es denkbar, daß das Leder im feuchten Zustand aufgebracht wurde und infolge der Schrumpfung beim Trocknen die entstehenden Zugspannungen die Orientierung der Kollagenfasern bewirkten, was zur Stabilitäts-erhöhung des Holzgerüsts beigetragen haben dürfte. Auf Tafel 15.1 ist ein Fragment des Holzes vom Schild abgebildet.

#### 4. Zusammenfassung

Die Gegenstände aus dem "Fürstengrab" von Gommern weisen eine breite Materialvielfalt auf, stammen sowohl aus dem römischen als auch aus dem germanischen Kulturbereich und waren von ihrer Niederlegung an bis zur Ausgrabung prinzipiell wohl gleichartigen Umweltbedingungen ausgesetzt. So bieten sich mit diesem Ensemble gute Möglichkeiten für vergleichende Untersuchungen mit naturwissenschaftlichen Methoden. Ein Teil dieser Untersuchungen wurde mittels des ESEM am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik Halle durchgeführt. Dabei standen bisher Untersuchungen an Silbergegenständen und organischen Substanzen im Vordergrund.

Neben den Analysen der zahlreichen Silbergegenstände fanden Untersuchungen zum Korrosionsverhalten, zur Herstellungstechnologie und zu Materialverbunden statt. Bezüglich der Korrosion sind verschiedene Stadien vom metallischen Objekt bis zum Korrosionsprodukt nachweisbar. Unterschiedliche Korrosionsformen lassen Rückschlüsse auf angewendete Herstellungstechnologien zu.

Sowohl in der Zusammensetzung der Gegenstände als auch in den erkennbaren Technologien lassen sich tendenziell Unterschiede zwischen römischen und germanischen Gegenständen feststellen. Diese sind jedoch nicht zu verallgemeinern und bedürfen der Vertiefung durch weiterführende Untersuchungen.

Bei der Untersuchung von Lederresten wurde der Nachweis von Leder in verschiedenen Abbaustufen geführt. Es ergab sich die Möglichkeit, auch an geringen Spuren Leder zu erkennen und somit Aussagen bezüglich der Bekleidung des Toten zu treffen. Alle untersuchten Gürtelbestandteile waren demnach an ledernen Gegenständen befestigt gewesen.

Mit Hilfe der Untersuchungen an den Resten des Schildes war es möglich, die Erkenntnisse über das äußere Erscheinungsbild hinaus auch auf die Konstruktion hin zu erweitern. Neben dem Umstand, daß den wenigen bisher bekannten bemalten Schilden ein weiterer mehrfarbig bemalter Schild hinzuzufügen ist, ist es bemerkenswert, daß sich auf dem Holz des Schildes offensichtlich eine Lederbespannung befunden hat.

Insgesamt lassen die vorliegenden Ergebnisse erkennen, daß das für archäologische Fragestellungen zu Verfügung stehende Instrumentarium naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden durch das ESEM erweitert worden ist. Hierbei ist der äußerst geringe Aufwand für die Probenpräparation ein wichtiger Faktor. Weiterhin verdienen die Untersuchungsmöglichkeiten auch sehr geringer Reste und das materialschonende bzw. -erhaltende Verfahren besondere Beachtung. Vor allem bezüglich der Untersuchung an

nichtleitenden Materialien sind deutliche Vorteile in der Einsatzvielfalt und Handhabbarkeit zu erkennen.

### Anmerkungen

- <sup>1</sup> Riederer 1987, S. 30
- <sup>2</sup> Fütting/Schnarr 1994
- <sup>3</sup> Becker et al. 1992, S. 301 ff.
- <sup>4</sup> Kuna/Fütting 1992; die Autoren danken dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die Unterstützung dieser Untersuchungen (Förderkennzeichen 03-KU9FHG-1). Für die Unterstützung und Beratung bei der Vorbereitung und Präparation der Objekte danken wir den Restauratoren des LfA, besonders Herrn H. Breuer, sowie Herrn Restaurator U. Sieblist, Halle (Saale).
- <sup>5</sup> Fütting/Schnarr 1994
- <sup>6</sup> Uhlig 1975, S.16
- <sup>7</sup> Engel/Klinge 1982, S. 47
- <sup>8</sup> Z. B. bei Kalfass/Paul/Jehn 1985, S. 317 ff.
- <sup>9</sup> Graßmann 1944, S.277 ff.
- <sup>10</sup> Vgl. Capelle 1986, S. 83
- <sup>11</sup> Vgl. weitere Schildreste mit Lederfragmenten bei Capelle 1986, S. 83

### Literaturverzeichnis:

- Becker, M./Böttcher, G./Gosch, G./Weber, T. 1992  
Ein "Fürstengrab" der spätromischen Kaiserzeit bei Gommern, Ldkr. Burg. Vorbericht - Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 75, Halle (Saale), S. 301-311
- Capelle, T. 1986  
Zu den bemalten Schilden der Germanen - Sprache und Recht - Beiträge zur Kulturgeschichte des Mittelalters 1. Festschrift für Ruth Schmidt-Wiegand zum 60. Geburtstag, Berlin/New York, S.80-87
- Engel, L./Klinge, H. 1982  
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Metallschäden, 2. neubearbeitete Auflage - München/Wien
- Fütting, M./Schnarr, H. 1994  
Konventionelle und atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie - Grundlagen und archäometrische Anwendungen - Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 76, Halle (Saale), S. 231-248
- Graßmann, W. 1944  
Handbuch der Gerbereichemie und Lederfabrikation. Bd. 1: Die Haut - Wien
- Kalfass, M./Paul, J./Jehn, H. 1985  
Untersuchungen zur Sprödigkeit einer antiken römischen Silberschale - Praktische Metallographie 22, S. 317-323
- Kuna, M./Fütting, M. 1992  
Entwicklung der Methode der atmosphärischen Rasterelektronenmikroskopie für die archäometrische Forschung am Beispiel eines Fürstengrabes - Ergebnisbericht zum BMFT-Projekt (03-KU9FHG-1), Halle (Saale), S. 1-17

Riederer, J. 1987

Archäologie und Chemie - Einblicke in die Vergangenheit - Berlin

Uhlig, H. H. 1975

Korrosion und Korrosionsschutz - Berlin

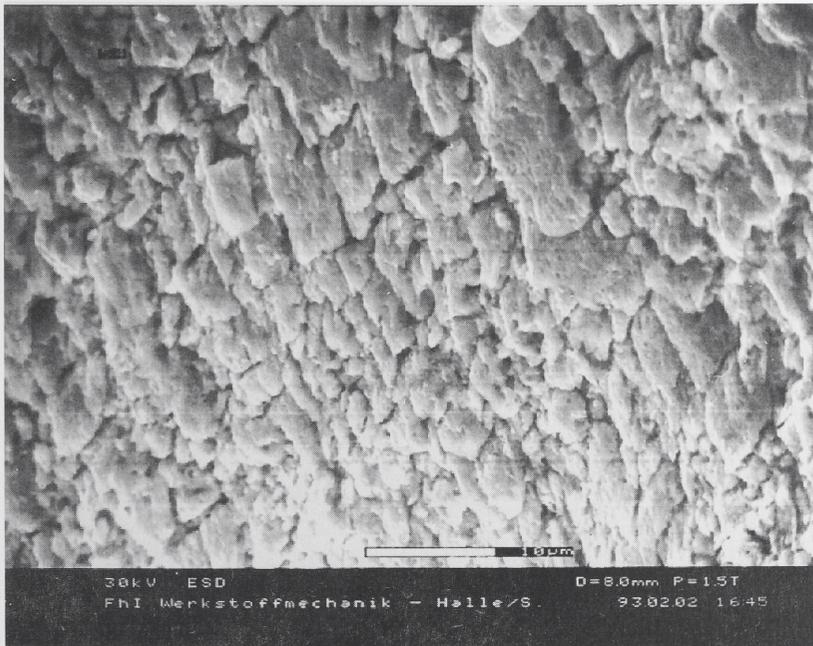
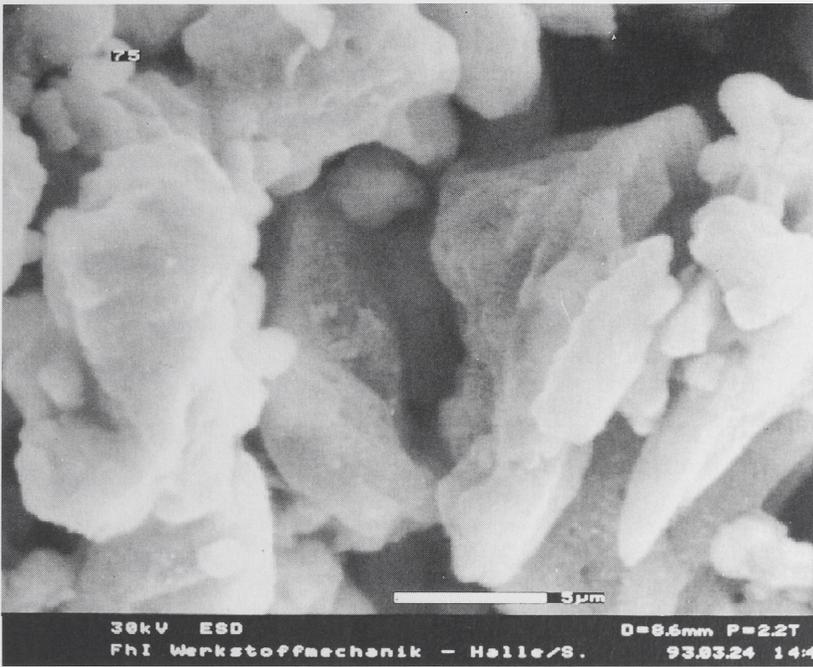
**Anschriften**

Dipl.-Ing. Holger Schnarr, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik Halle, Heideallee 19,  
06120 Halle (Saale)

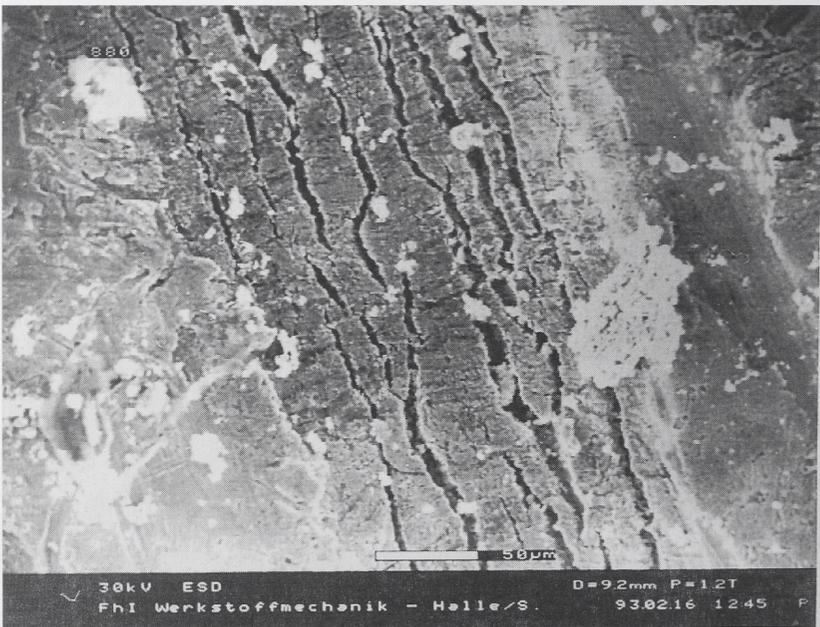
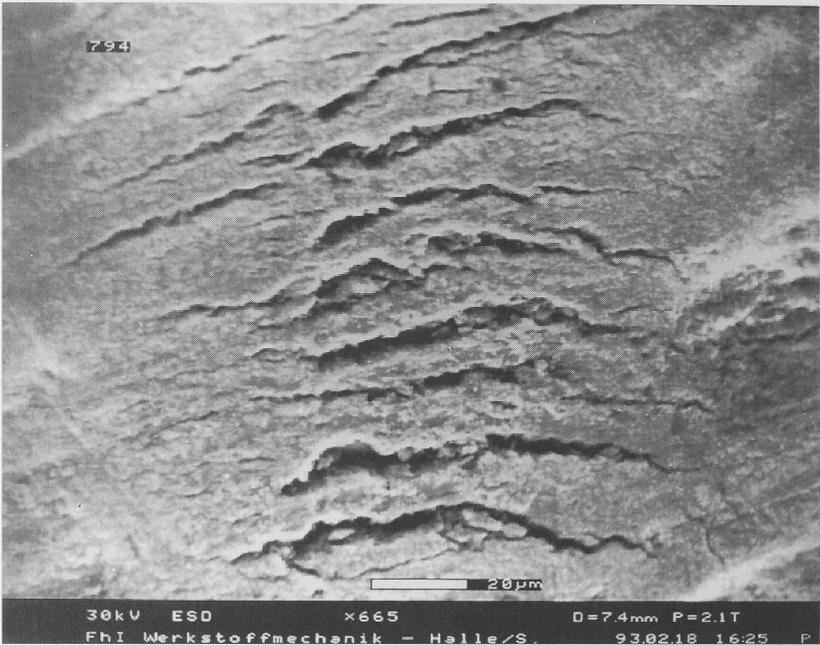
Dr. Manfred Fütting, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik Halle, Heideallee 19,  
06120 Halle (Saale)

Dipl.-Prähist. Matthias Becker, Landesamt für archäologische Denkmalpflege Sachsen-Anhalt -  
Landesmuseum für Vorgeschichte, Richard-Wagner-Str. 9-10, 06114 Halle (Saale)

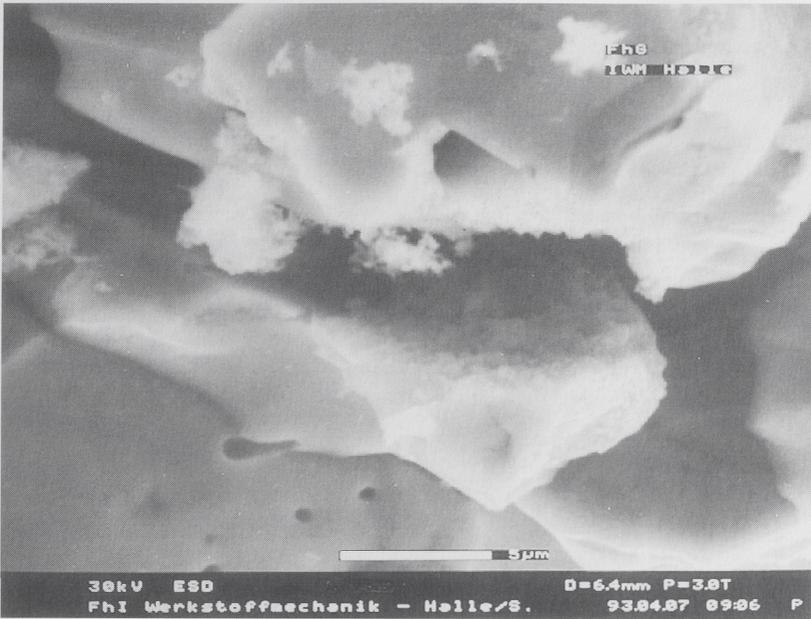
Fotos: H. Schnarr, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik Halle



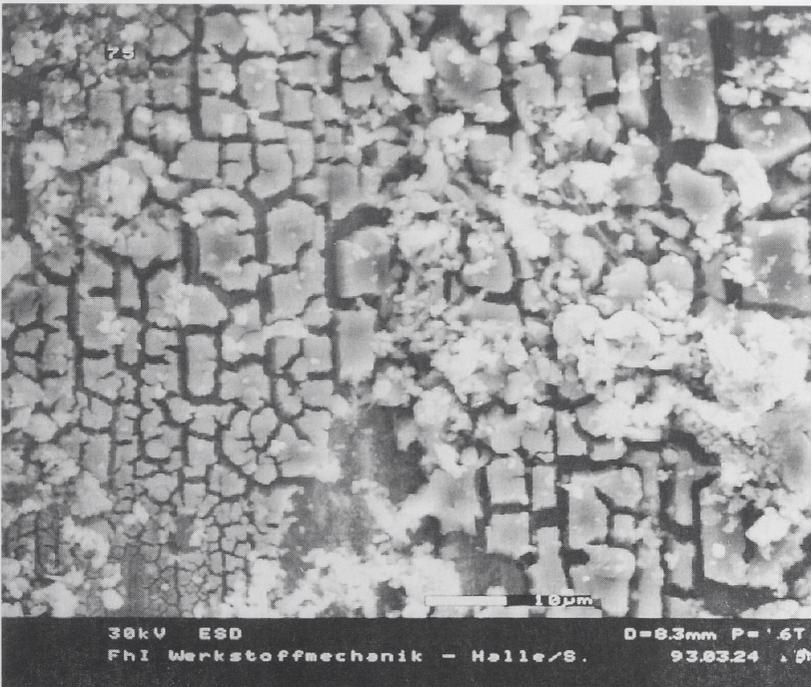
Tafel 1: 1 Silberchloridkristalle (AgCl) auf der Oberfläche der Gegenstände; 2 Korngefüge an der Tüllenkante einer Pfeilspitze nach Entfernung der obersten Chloridschicht mit der Präpariernadel und Fixierbadbehandlung



Tafel 2: 1 Risse auf der Oberfläche eines Nietkopfes; 2 Risse am Krümmungsbereich eines Schnellendorns

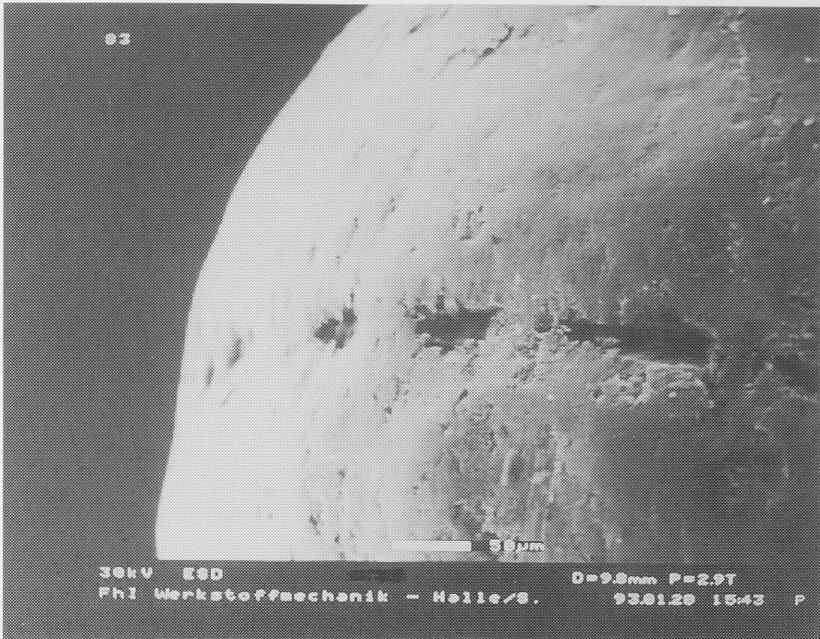


1

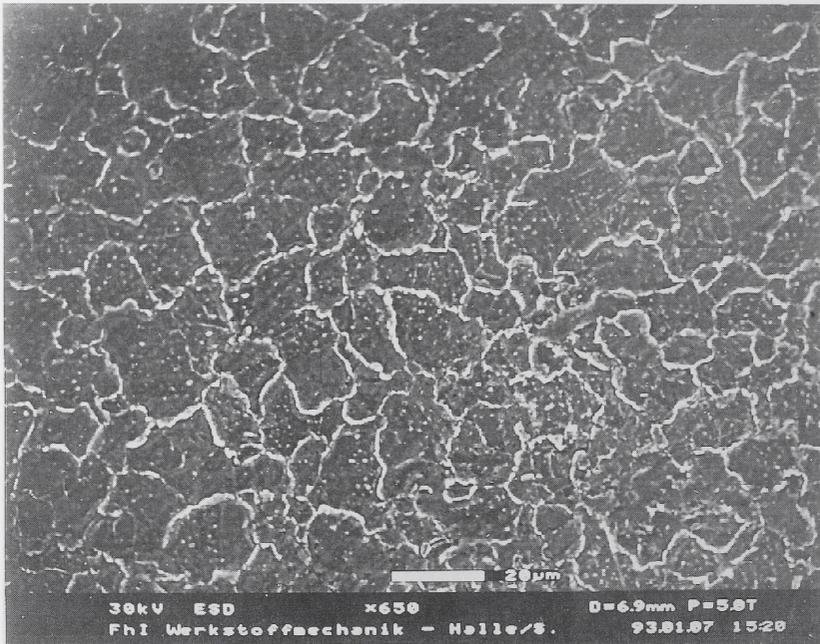


2

Tafel 3: 1 beginnende Korrosion an einem Riß (Bruchfläche eines Preßbleches);  
 2 Auflagerungen auf den Silberfunden in schollenförmiger Ausbildung

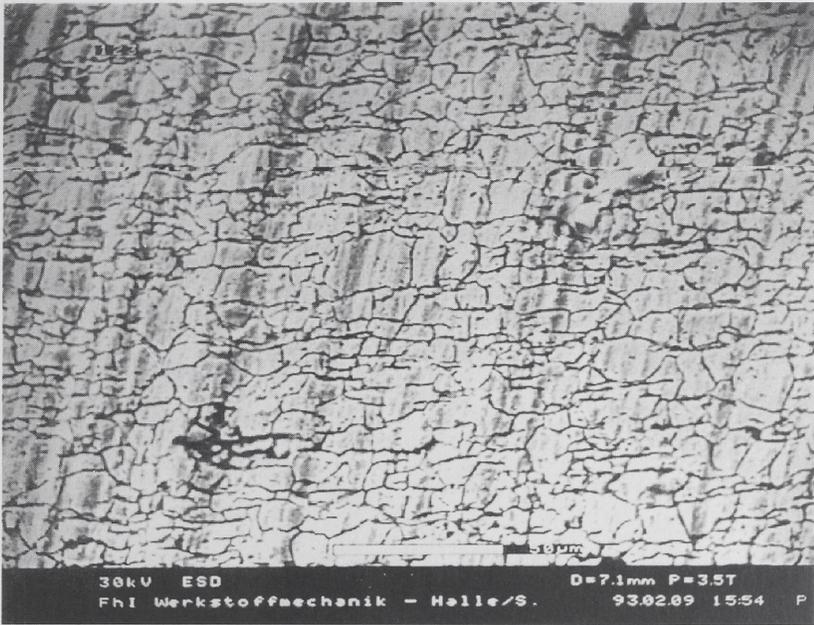


1

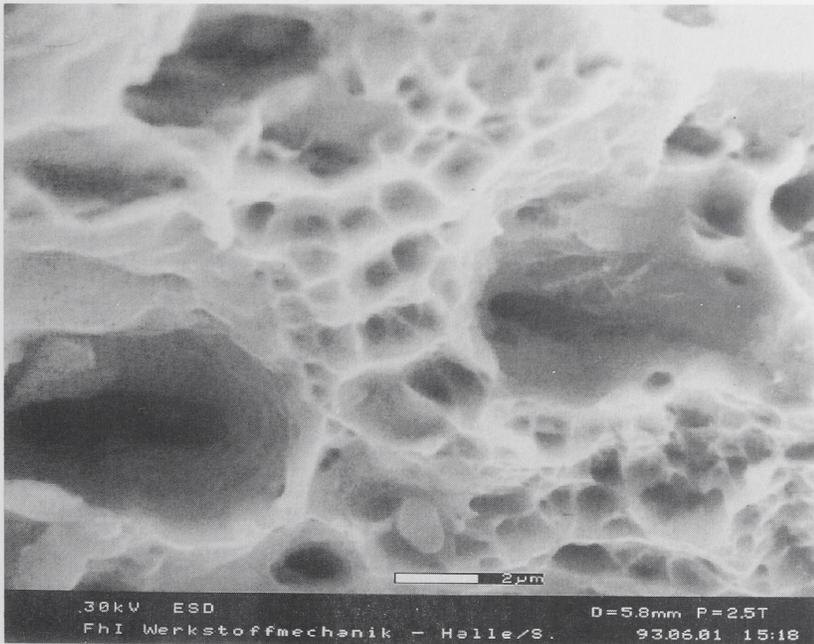


2

Tafel 4: 1 Oberfläche des Perldrahtes der Silberfibel; starke Abnutzung; 2 Gefüge des Hemmoorer Eimers (Gefäßwandung); Ätzung mit Ammoniak, Wasserstoffperoxid und dest. Wasser

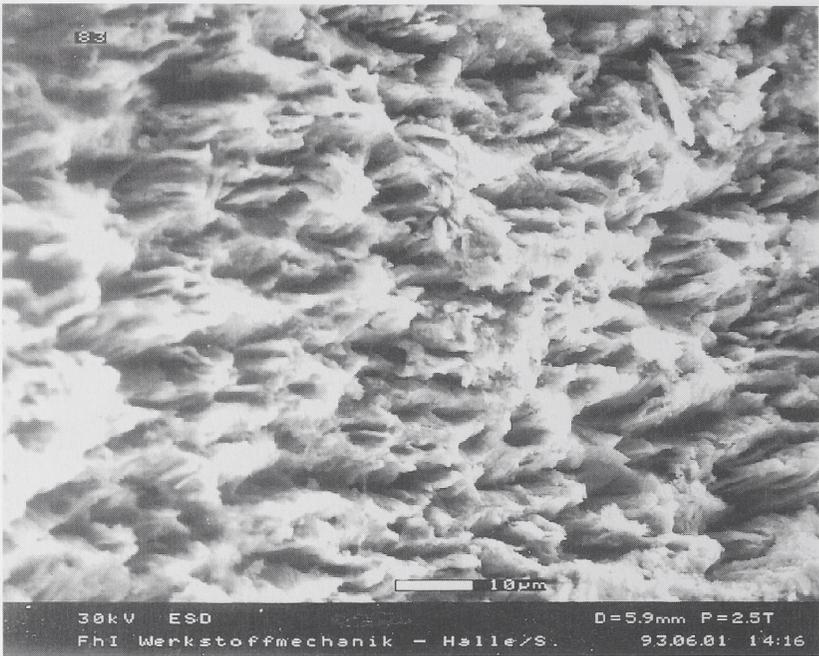


1

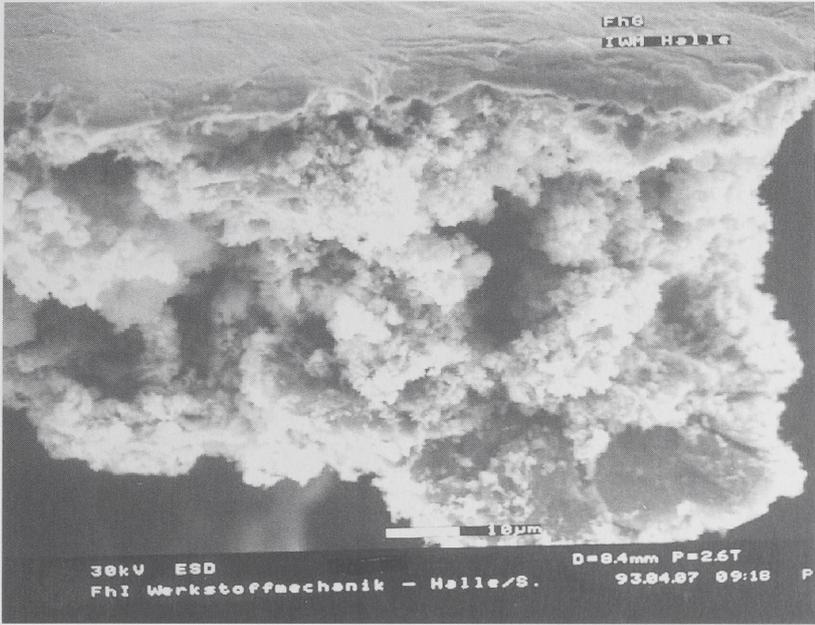


2

Tafel 5: 1 Querschnitt der Tüllenkante einer Pfeilspitze; nach dem Schleifen mit Fixierbad behandelt; 2 wabenartige Bruchfläche des Hemmoorer Eimers



Tafel 6: 1 Starker Verformungsgrad an der Bruchfläche der Nadel der Silberfibel; 2 Bruchfläche einer silbernen Zange; stark verformtes Gefüge

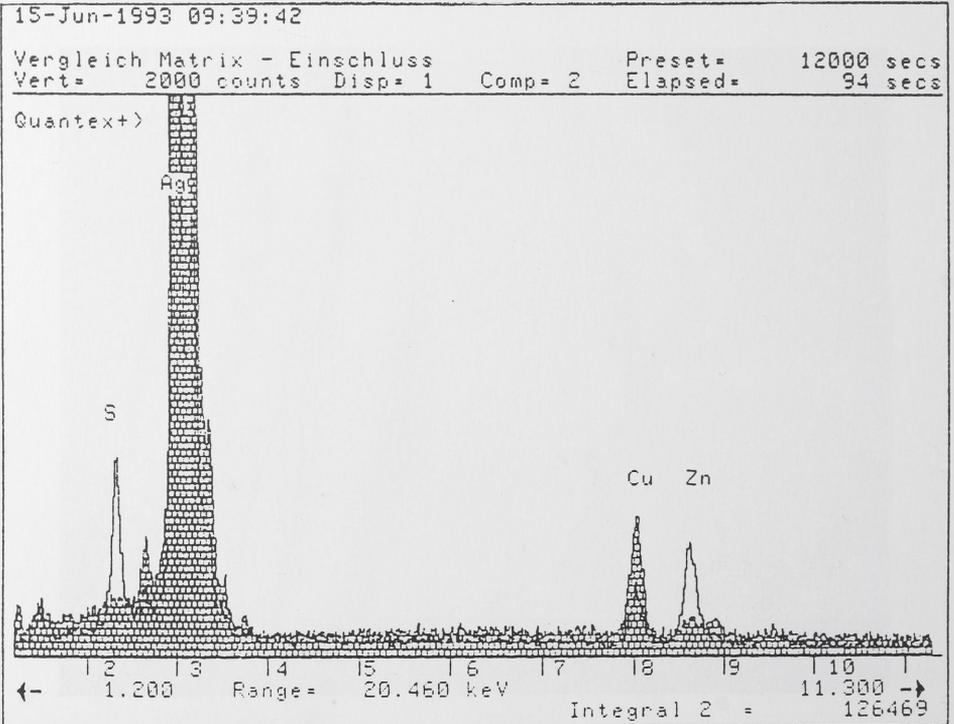


1

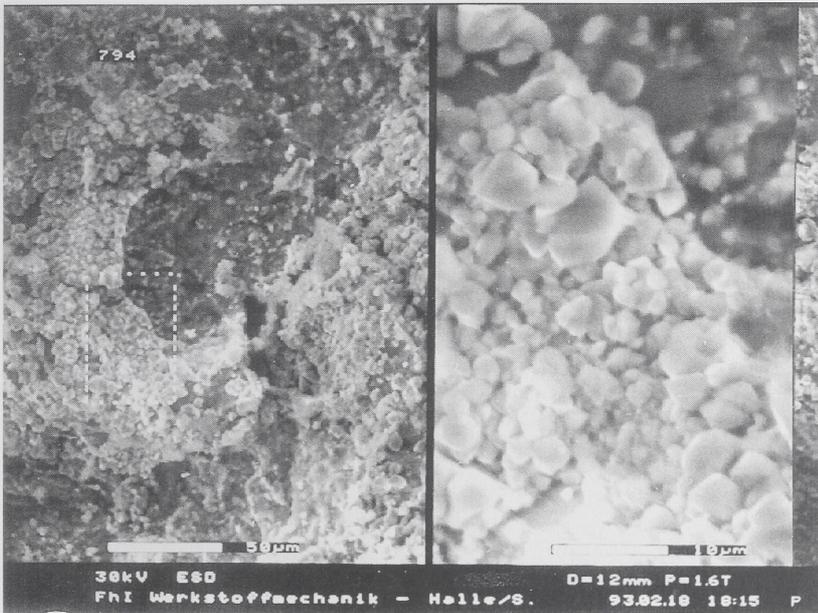


2

Tafel 7: 1 Bruchfläche eines Preßbleches vom Ledergürtel; von oben nach unten: Goldschicht, korrodierte Silberlage, Lotfüllung (rechts unten); 2 trans- und interkristalliner Spröbruch eines Preßbleches



Tafel 8: Detail der Bruchfläche eines Preßbleches; Verbindungsstelle zwischen Gold- und Silberlage; Zinksulfideinschlüsse in Bildmitte (siehe EDS-Spektrum)

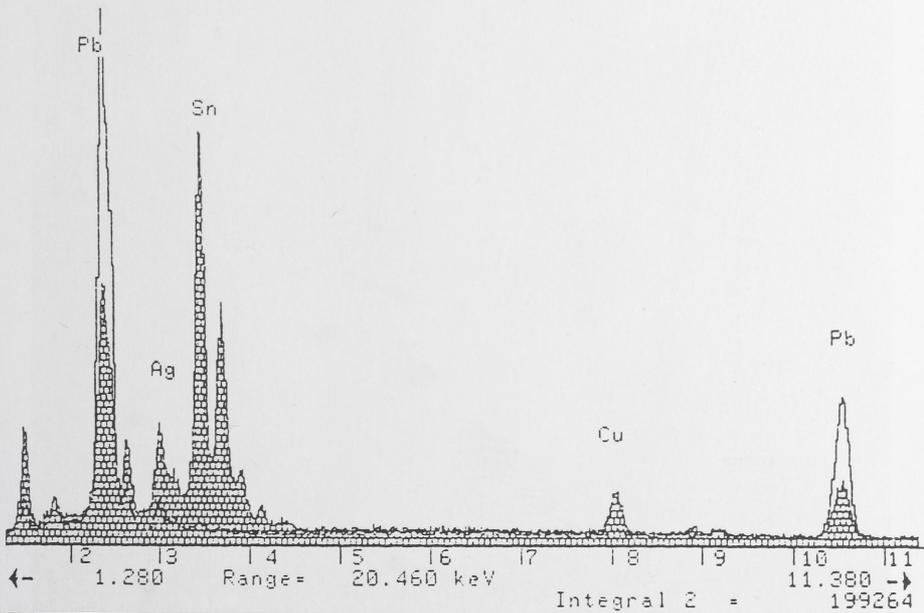


15-Jun-1993 09:22:03

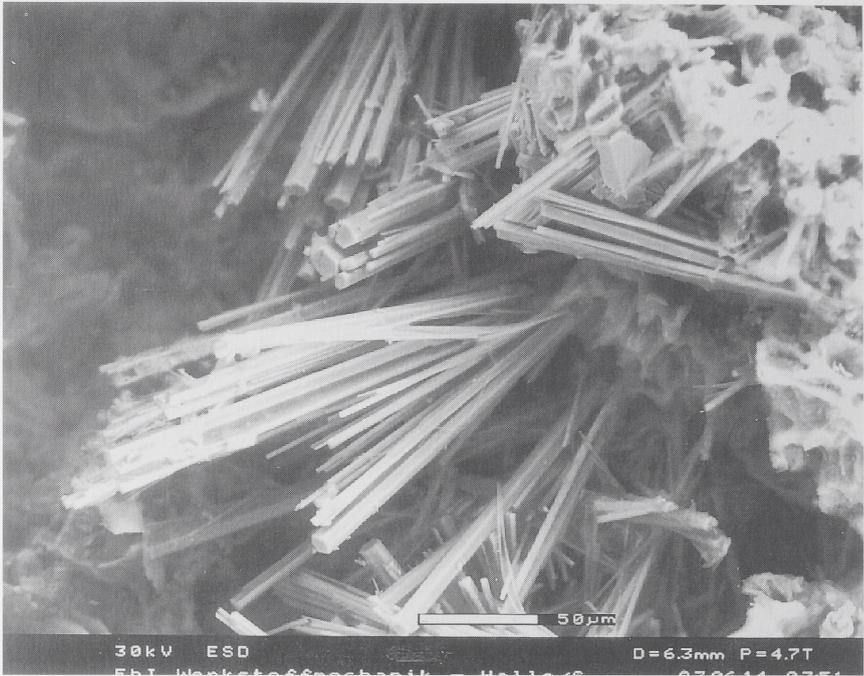
Vergleich hellere Bereiche - Lot  
 Vert = 5000 counts Disp = 2

Comp = 3

Preset = 12000 secs  
 Elapsed = 100 secs



Tafel 9: Sn-Pb-Lotfüllung eines Nietkopfes; die helleren Strukturen werden im Gegensatz zu den dunkleren Bereichen durch nahezu reines Blei gebildet

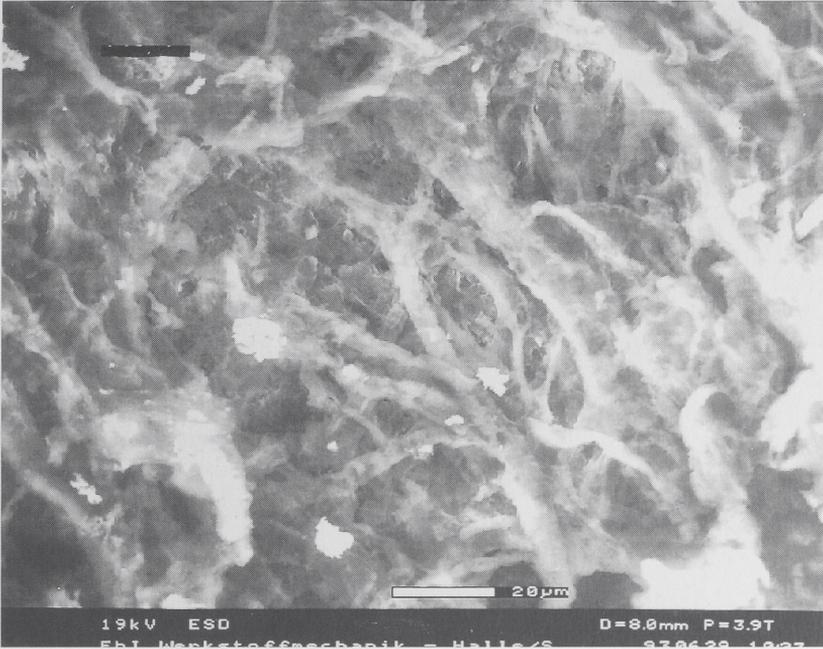


1



2

Tafel 10: 1 Korrosion des Bleis einer Lotverbindung zu Stengelkristallen (PbS); 2 Faserstrukturen der Rückseite eines Lederfragments des Ledergürtels

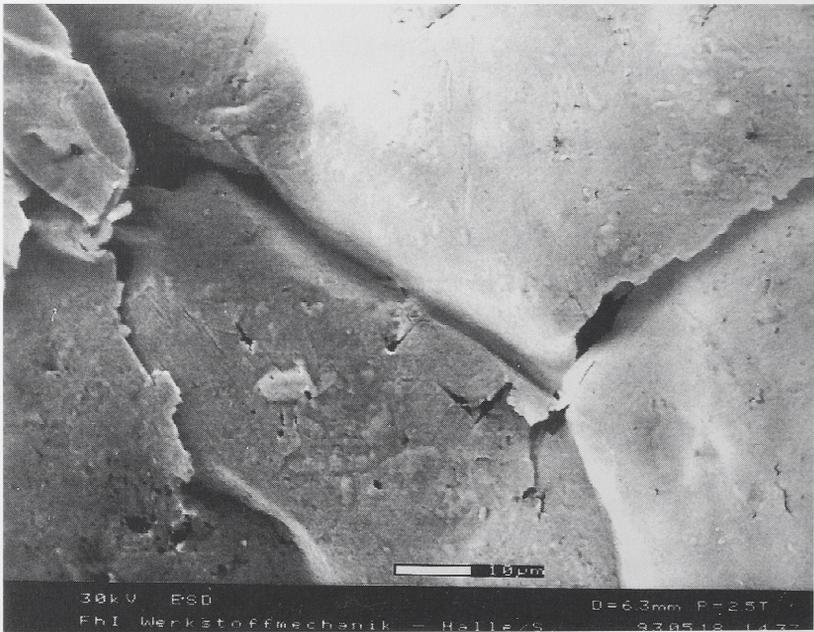


1



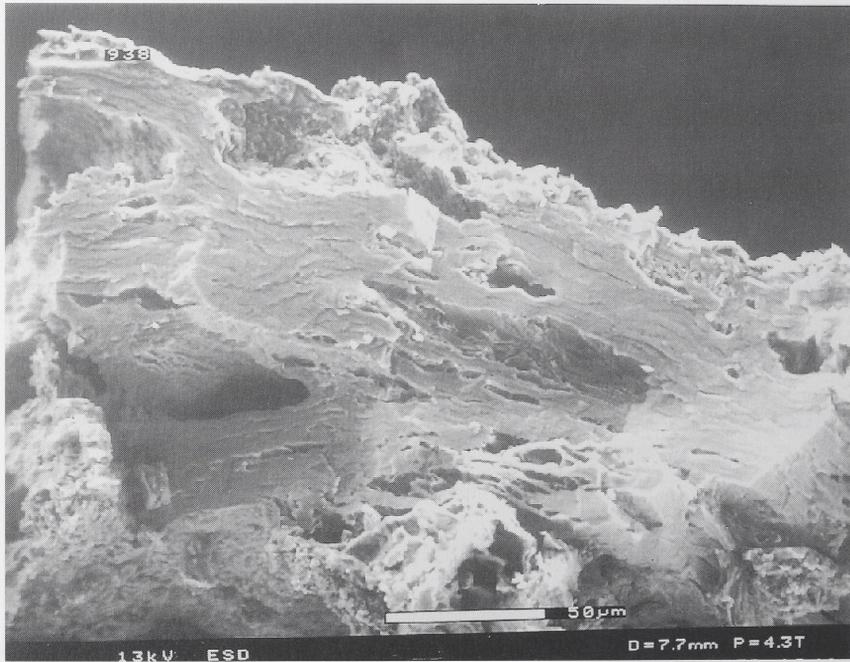
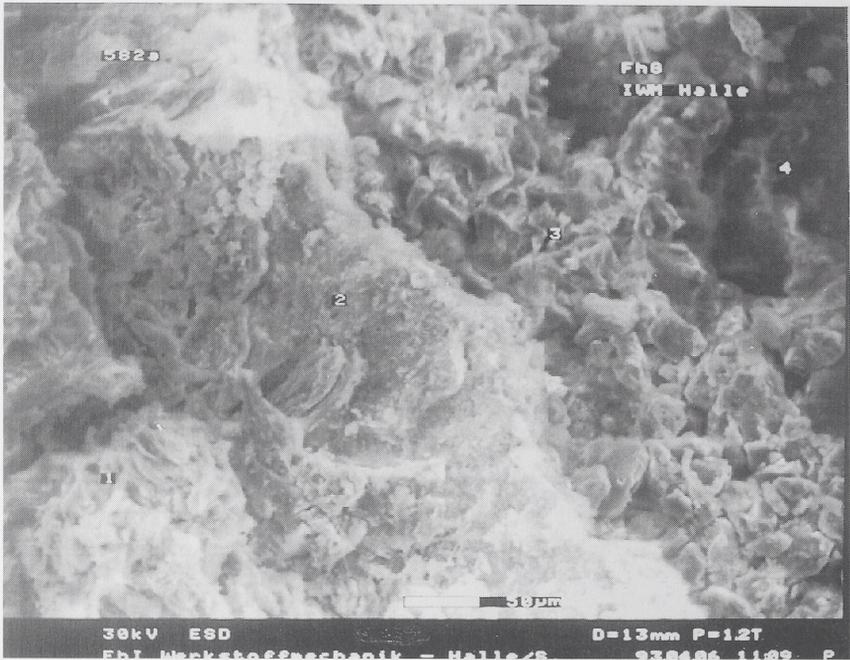
2

Tafel 11: 1 Faserausbildung der dritten Lederlage des Gürtels; 2 Oberfläche der dritten Lederlage mit Haarlöchern



Tafel 12: 1 Materialreste aus den Riemenzungen erweisen sich als Leder mit Partikeln der Silberkorrosion (helle Bereiche); 2 Blattgoldauflage des Ledergürtels mit Verwerfungen und Überlappungen





Tafel 14: 1 Schichtaufbau eines Fragmentes des Schildes (1: Holz, 2: Kreideschicht, 3: Ägyptisch-Blau, 4: Lotfüllung einer Schmuckscheibe); 2 Bruchfläche der in Fragmenten erhaltenen Lederbespannung des Schildes



Tafel 15: Zellaufbau des Holzes vom Schild