

Restaurierung und herstellungstechnische Untersuchung der Spatha von Ludwigsthal in den Werkstätten des Museums für Vor- und Frühgeschichte, Berlin

Ines Gohlke

Zusammenfassung:

Die Arbeit beinhaltet die Neurestaurierung und herstellungstechnische Untersuchung eines Schwertes des späten 5. Jahrhunderts n. Chr. aus Ludwigsthal, Kreis Tuttlingen/Baden-Württemberg. Es handelt sich dabei um einen sehr frühen und seltenen Spathatyp. Die Untersuchungen sollen einen Einblick in Herstellungs- und Verzierungsstechniken geben und das Bild dieses Waffentyps vervollständigen helfen.

Summary:

The article investigates the production of a recently restored sword from the late 5th century AD from Ludwigsthal, Kreis Tuttlingen/Baden-Württemberg, a very early and rare type of spatha. The analyses is supposed to give a conception of the technique of production and decoration and to help to accomplish the picture of this type of weapon.

Résumé:

Ce travail concerne la restauration et l'examen de la technique de production d'une épée du 5^{ème} siècle après J.-Chr., trouvée à Ludwigsthal, au canton de Tuttlingen en Baden-Württemberg. Les examens ont été réalisés pour illustrer les techniques de production et d'ornementation et pour contribuer à compléter l'image de ce genre d'armes.

I. Zustandsbeschreibung und Altrestaurierung

Bei der Spatha von Ludwigsthal, Museum für Vor- und Frühgeschichte Berlin, Inv. Nr. IIC 2839, handelt es sich nur um ein Spathafragment ohne Spitze und ohne Knauf. Die Klinge war zerbrochen, teilweise stark korrodiert und einmal (modern) quer durchgeschnitten. An zwei Stellen wurden zu unbekanntem Zeitpunkt nicht unbeträchtliche Materialproben entnommen. Unterlagen zu den Restaurierungen und eventuell vorgenommenen Untersuchungen liegen leider nicht vor.

Der Augenschein und die Analysen der verwendeten Kleb- und Ergänzungsstoffe belegen mindestens zwei Restaurierungen. Die erste erfolgte wohl um die Jahrhundertwende. Brüche in der Griffnähe und an der Spitze des Schwertes wurden gekittet, Fehlstellen in diesen Bereichen ergänzt, der heute nicht mehr vorhandene Knauf und auch die Riemendurchzüge wurden damals am Schwert angeklebt. Die Kittmasse, die man dafür verwendete, enthält Kolophonium, Leim, Schlämmkreide, Papier (Zellulose), Farbpigmente und vermutlich noch einige andere Bestandteile. Dieses Gemisch hat die günstige Eigenschaft, daß es sich durch Wasser anquellen und dann mechanisch entfernen läßt. Im trockenen Zustand ist das Material sehr hart und fest, jedoch nicht spröde und gleicht in seinem Aussehen den braunschwarzen Korrosionsprodukten des Eisens. Durch die Konsistenz dieser Masse kam es leider zu breiten Klebefugen. Bei dieser ersten Restaurierung wurden die Verzierungen an den Riemendurchzügen mechanisch freigelegt und die Reste der Dorne abgeschliffen. Auch das Scheidenmundblech wurde abgeschliffen, und zwar so gründlich, daß einige Verzierungen nur noch in Ansätzen zu erkennen sind. Danach hat man die Schleifspuren auspoliert. Durch die vollständige Tränkung des Schwertes mit einer Art Firnis wurden alle anhaftenden organischen Reste konserviert.

Nach der Entnahme der oben erwähnten Proben erfolgte, wohl in den siebziger Jahren, die weitere Restaurierung. Für die neuen Klebungen wurde ein Kunststoff auf Methacrylatbasis verwendet. Er läßt sich mit Aceton gut auflösen. Neben dem Ergänzen der Probeentnahmestellen und dem Verkleben neuer und alter Brüche wurde bei der zweiten Restaurierung das Scheidenmundblech an einer aufgebrochenen Seite ebenfalls ergänzt. Bei den alten Bruchstellen hatte man vor dem erneuten Zusammenkleben den Klebstoff nicht entfernt. So kam es zu den sehr breiten Klebefugen und zu Versetzungen. Als Abschlußbehandlung erfolgte eine Tränkung in Wachs. Kleb- und Ergänzungsstoffe beider Restaurierungen waren über Teile des Objekts verteilt.

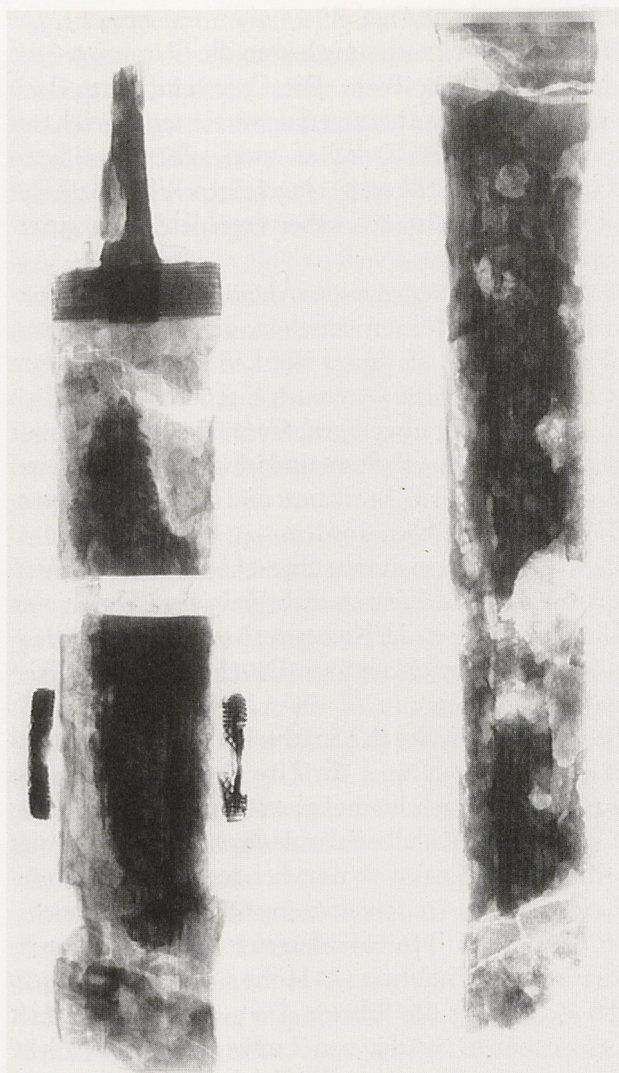


Abb. 1: Röntgenaufnahme der Spatha vor der Neurestaurierung.

Teilweise hatte man Unebenheiten einfach aufgefüllt, Teile der Klinge und der Scheide verdeckt, um damit eine bessere Festigkeit zu erreichen.

Nach diesen Restaurierungen befand sich das Objekt in einem stabilen Zustand. Die erhaltenen, teilweise im Boden mineralisierten, organischen Reste waren am Objekt konserviert. Auf der Rückseite befinden sich sogar noch mehrere Diagenesen – mit Eisenoxid getränkte Abdrücke – von Grashalmen.

Das Stück machte äußerlich zunächst einen materialstarken Eindruck. Der partiell jedoch sehr unterschiedliche Erhaltungszustand des Schwertfragmentes wurde erst im Röntgenbild sichtbar (Abb. 1). Die Klinge beispielsweise ist im unteren Bereich sehr stark durchkorrodiert, und ein metallischer Kern ist nur noch in den oberen 25 cm erhalten.

Maße und Gewichte des Schwertfragmentes von Ludwigsthal vor der Neurestaurierung:

| | | |
|--|------|----------------|
| Länge gesamt: | 714 | mm |
| Länge der Klinge: | 640 | mm |
| Länge der Griffangel: | 74 | mm |
| Größte Breite der Spatha (Klinge mit Scheide): | 65 | mm |
| Größte Breite der Klinge: | 54 | mm |
| Kleinste Breite der Klinge: | 45 | mm |
| Gesamte Materialstärke: | 10 | mm |
| Stärke der Holzschalen: | 2,5 | mm |
| Stärke der Klinge im Querschnitt: | 5 | mm |
| Breite der Klinge im Querschnitt: | 53 | mm |
| Materialstärke des Ziegenleders: | 0,5 | mm |
| Materialstärke des Rindleders: | 1 | mm |
| Gewicht: | 1006 | g ¹ |
| Gewicht der Riemendurchzüge: | | |
| A: | 15,5 | g ² |
| B: | 9,5 | g ³ |
| Länge der Riemendurchzüge (ohne Dorne) | | |
| A: | 49 | mm |
| B: | 45 | mm |
| Größte Breite der Riemendurchzüge: | | |
| A: | 9 | mm |
| B: | 9 | mm |

II. Neurestaurierung und Konservierung des Schwertes 1992

Vor dem Beginn der Restaurierung und Konservierung und aller Untersuchungen wurden Zustandsaufnahmen gemacht. Das Schwert wurde im Maßstab 1:1 gezeichnet und eine Kopie angefertigt, da die Spatha, soweit dies möglich war, von allen Ergänzungen befreit wurde. Die herstellungstechnischen Untersuchungen wurden parallel zu den Restaurierungsmaßnahmen durchgeführt.

Es war notwendig, die Spatha wieder in ihre alten Bruchstücke zu zerlegen. Die Ergänzungen wurden soweit wie möglich wieder entfernt und die Riemendurchzüge abgenommen. Nachdem die alten Klebungen gelöst waren, bestand die Spatha aus 5 Teilen, die gut auch unter dem Mikroskop zu bearbeiten waren. Die nachfolgende Beschreibung der Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen ist des besseren Verständnisses wegen nach Materialgruppen getrennt, wengleich die Materialien selbst nicht getrennt vorlagen.

¹ Nach der Neurestaurierung 954 g.

² Nach der Neurestaurierung 14,5 g.

³ Nach der Neurestaurierung 8 g.

1. Eisen

Mit einem Feinstrahlgerät und einem milden Strahlmittel wurde die Oberfläche schonend gereinigt. Dabei wurden Verkrustungen aus Korrosionsprodukten und Konservierungsmitteln vorsichtig entfernt. Es wurde so weit zur originalen Oberfläche hingearbeitet, bis die Freilegung durch Feinstrahlen nicht mehr weiter möglich war. Dann erfolgte die weitere Freilegung mittels Schabern, Skalpell und Pinsel unter dem Mikroskop.

Bis auf wenige Partien an der Griffangel der Spatha ist an keiner Stelle die originale Eisenoberfläche freigelegt worden, da sich auf der gesamten Schwertfläche immer noch organische Reste der Scheide befinden, wenn diese auch nicht immer deutlich an allen Stellen als Holz oder Leder zu erkennen sind. Die Damaszierung in ihrer originalen Musterung wieder sichtbar zu machen, dürfte bei archäologischen Objekten eine Illusion bleiben. Das Damastmuster von tordierten, gewellten oder gefalteten Stäben sieht an der Oberfläche ganz anders aus als in einer Schicht, die vielleicht nur einen Millimeter tiefer liegt. Würde man also einen noch vorhandenen metallischen Kern freischleifen und anätzen, könnte man damit nie die originale Musterung sichtbar machen. Es würde ein völlig anderes Bild entstehen. Die noch als Korrosionsprodukte vorliegenden oberen Damastschichten wären abgetragen.

So ist es nicht sinnvoll, korrodierte damaszierte Klingen freizuschleifen, allein um den Damast zu zeigen. Dieser läßt sich viel besser durch Röntgenaufnahmen und bald vielleicht auch noch leichter durch dreidimensionale computertomographische Verfahren dokumentieren.

Die Bruchstücke der Klinge wurden wieder zusammengesetzt. Es wurden lediglich am heutigen Ende der Spatha und an den Stellen, an denen früher Proben entnommen wurden, Ergänzungen vorgenommen. Die Verklebungen sind wieder lösbar. Der vorhandene Querschnitt könnte späteren Untersuchungen zur Verfügung stehen.

Die Klinge wurde mit keinem neuen Schutzüberzug versehen. Sie ist bei den alten Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen getränkt worden. Das Konservierungsmittel (Wachs) ist noch erhalten. Da die Spatha in einem speziellen Eisenmagazin des Museums für Vor- und Frühgeschichte untergebracht ist, das die für Eisen idealen Bedingungen bietet, kann bei dieser Lagerung auf einen erneuten Schutzüberzug verzichtet werden. Dieses Vorgehen resultiert auch aus der Überlegung, daß nicht die Konservierungsmittel, sondern vielmehr eine günstige Lagerung für den Erhalt ausschlaggebend sind.

1.1. Riemendurchzüge

Nach der Altrestaurierung hatten die Durchzüge eine eher quadratische Form. Die Unterseite, glatt, flach und unverziert, wurde von dem verzierten Bereich nur leicht überwölbt. Zwischen zwei silbervergoldeten Kappen mit jeweils sechs eingefeilten Rillen befindet sich eine ehemals auch silbervergoldete Kreuzgitterverzierung.

Die Durchzüge waren einst an beiden Enden mit dreiecksförmigen Dornen versehen, die der Befestigung dienten, indem sie unter die Lederhülle gestochen wurden. Die Dorne waren aus Eisen und vermutlich nicht mit Silber überzogen. Sie waren sicherlich nur noch in Resten erhalten und sind bei den älteren Restaurierungen nicht erkannt und als Korrosionsprodukte weggeschliffen worden.

Die Dorne hatte man zwar abgeschliffen, aber die Aussparung für den Riemen nicht freigelegt. Durch eine Unterbrechung in der Klebefuge hatte man als Andeutung eine Möglichkeit zum Durchziehen eines Riemens geschaffen.

Bei der Übernahme der Spatha aus dem Magazin des ehemaligen Museums für Ur- und Frühgeschichte waren die Riemendurchzüge seitlich links und rechts 135 mm unterhalb des Scheidenmundblechs befestigt (Abb. 1). Man hatte sie dort bei der ersten Restaurierung nach dem Freischleifen angeklebt. Bei Vergleichsstücken dieses Typs befinden sich die Riemendurchzüge auf der Vorderseite, in Höhe einer Aussparung in der Verzierung der Scheide. Da es auch bei der hier besprochenen Spatha von Ludwigsthal eine solche Aussparung gibt und es die Zeichnung im Inventarbuch bestätigt, ist es wohl berechtigt, die Riemendurchzüge dort anzusetzen.

Die Durchzüge wurden von der Scheide gelöst. Die verwendete Klebstoffmischung war wasserlöslich. Durch Aufpinseln von destilliertem Wasser oder Auflegen von Kompressen auf die sehr breiten Klebefugen wurde der Klebstoff angequollen und konnte mechanisch entfernt werden. Die beiden Stücke befanden sich in einem recht unterschiedlichen Erhaltungszustand. Während das Teil A noch metallisch erhalten war, bestand das Teil B überwiegend aus Ergänzungsmaterial.

Die Riemendurchzüge wurden gemessen, gewogen (s. Tabelle Abschnitt 2.) und nochmals getrennt geröntgt. An dem noch gut erhaltenen Teil A war auf der Röntgenaufnahme ein Ansatz eines Dornes zu erkennen. Spuren einer möglichen anderen Befestigungsart, z.B. Nietung waren nicht zu erkennen. Die Spathen wurden überwiegend an der linken Körperseite an einem Gurt getragen. Für die dazu notwendige Aufhängevorrichtung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ausschlaggebend dafür sind die Riemendurchzüge, von

denen es recht unterschiedliche Typen gibt. Daß die Befestigung der Riemendurchzüge auf der Scheide in diesem Fall mittels unter das Leder geschobener Dorne erfolgte, ist durch Funde solchen Typs mit noch erhaltenen Dornen gesichert und im Experiment nachgewiesen worden (Menghin 1982).

Eine solche Befestigung erscheint als Tragevorrichtung ungenügend. Es ist aber zu bedenken, daß diese Riemendurchzüge nur eine Führungsfunktion hatten; sie sollten den Riemen in seiner Position halten. Das Gewicht der Waffe selbst ging auf den Riemen, der nochmals um das Schwert geschlungen und zum Schwertgürtel geführt wurde. Ein solcher Riemen war an der Spatha von Ludwigsthal allerdings nicht nachzuweisen.

Mittels Feinstrahlung und durch Hochfrequenzschleifen mit Diamantschleifkörpern konnten die Aussparungen eindeutig freigelegt werden. Sie zeichneten sich gut ab, da die Silbereinlagen an ihren Kanten endeten. Es ergab sich eine Nut von 10 mm Breite und 2 mm Tiefe, woraus man auf die Riemenstärke des Leders und dessen Breite schließen kann. Die Unterseite der Durchzüge ist auch nicht flach und gerade, sondern etwas gewölbt. Die Silberverzierungen (siehe unten), die nicht an den Außenkanten vor den Aussparungen für den Riemen enden, verlaufen noch ca. 2 mm in die Unterseite hinein. Die fehlenden Dorne wurden nach Angaben aus der Literatur ergänzt. Die Maße der Dorne waren in etwa durch die Aussparung in der Scheidenverzierung vorgegeben, über die die Riemendurchzüge wohl nicht hinausragten. Die Riemendurchzüge haben nun mit den ergänzten Dornen eine Länge von 72 mm.

2. Silber mit Feuervergoldung

Silber ist als Schmelzprodukt in Form von Kappen und Kreuzgitterverzierungen an den eisernen Riemendurchzügen erhalten (sog. Schmelz-Tauschierungen).



Abb. 2: Oberfläche der Kappen an den Riemendurchzügen.

Die Riemendurchzüge waren bei einer Altrestaurierung oberflächlich freigeschliffen worden. Die Kappen waren kaum, die Rückseite gar nicht freigelegt. Es blieben noch einige Partien, die mittels Skalpell und Stiften aus Plexiglas oder Holz, je nach Bedarf unterschiedlich angespitzt, von Korrosionsprodukten befreit wurden. So konnten in einigen Bereichen sogar noch antike Werkzeugspuren freigelegt werden, die von einer nachträglichen Bearbeitung der Silberaufschmelzungen zeugen (Abb. 2). Das Silber war ursprünglich feuervergoldet. Einige Reste dieser Vergoldung sind noch erhalten. Das Silber bedurfte nach der Freilegung keiner besonderen Restaurierung oder Konservierung. Es wurde lediglich mit einem Schutzüberzug versehen.

Ergänzungen wurden nicht vorgenommen. Das Muster wurde lediglich nachgezeichnet.

3. Messing

Das Scheidenmundblech besteht aus Messing. Die Ergänzungen an der aufgeplatzten Seite des Scheidenmundblechs wurden entfernt. Durch die vorübergehende Entfernung des Scheidenmundbleches konnten Erkenntnisse über seinen Aufbau und die darunter befindliche Verzierung der Holzscheide gewonnen werden. Bei einer der alten Restaurierungen war das Scheidenmundblech freigeschliffen und auspoliert worden. Die Verzierungen wurden dadurch sehr stark in ihrer Plastizität reduziert. Die eingefeilten Rillen sind verschliffen, dazwischen angebrachte Feilstrichverzierungen sind kaum noch zu erkennen.

Das Scheidenmundblech wurde in diesem Zustand nicht weiter gereinigt. Bei den noch vorhandenen Auflagerungen handelt es sich wahrscheinlich um mineralisierte Reste des Rindlederüberzuges, die nun glatt und glänzend auspoliert sind.

Das Scheidenmundblech wurde wieder an der Spatha befestigt und nur punktuell reversibel angeklebt. Die Fehlstelle an der Seite blieb dabei offen, d.h. ohne Ergänzung.

4. Organische Materialien

Da sie zum größten Teil mineralisiert sind, gab es hier keinerlei Probleme. Das Holz und das Leder wurde von den auflagernden Verkrustungen von Schmutz, Korrosionsprodukten, Konservierungsmitteln und Ergänzungsmaterialien gereinigt (siehe oben).

Es gelang, die charakteristischen Strukturen freizulegen, und damit Holz und Leder optisch besser zu differenzieren.

4.1. Leder

Die Lederreste an der Spatha haben alle typischen Ledereigenschaften längst verloren. Sie liegen als harte

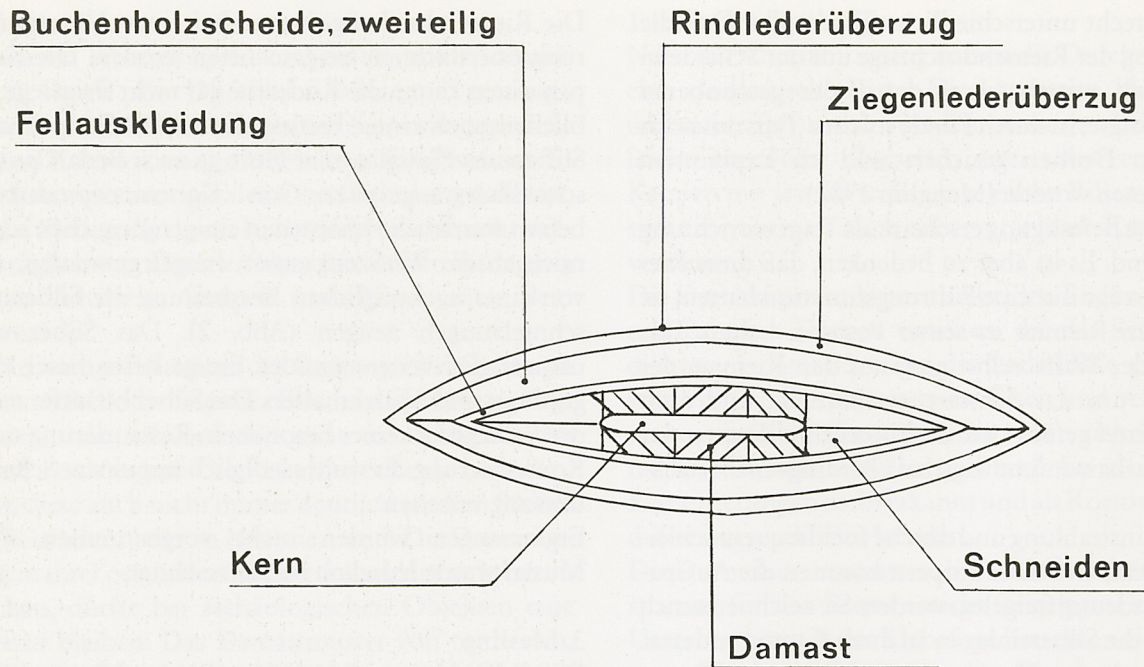


Abb. 3: Aufbau der Spatha im Querschnitt.

und spröde Schicht auf der Holzscheide. In das Leder der Spatha von Ludwigsthal ist dazu noch Eisenoxid eingedrungen und hat es teilweise mineralisiert. Welche Gerbstoffe einst auf die Leder der Spatha eingewirkt haben, ist nicht mehr festzustellen. Die Freilegung des Leders erfolgte unter dem Mikroskop. In vielen Bereichen ist es mineralisiert und als organische Substanz nicht mehr erhalten. Die Narbung ist besonders beim groben Rindleder noch sehr gut zu erkennen, das feine Ziegenleder ist weit weniger gut erhalten. Die Tränkung der alten Restaurierung bot einen ausreichenden Schutz, um das Leder in der vorliegenden Form an der Spatha zu erhalten. Es bestand keine Veranlassung, das Konservierungsmittel aus dem Leder zu entfernen, was ohne eine Beeinträchtigung auch nicht möglich gewesen wäre.

4.2. Holz

Die Freilegung der als Buchenholz identifizierten Reste der Scheide erfolgte überwiegend mit Skalpell und Pinseln unter dem Mikroskop. Ein großer Teil des noch erhaltenen Holzes ist mit Leder oder dessen Resten bedeckt. Auch hier erfüllen die alten Konservierungsmittel ihren Zweck. Es blieb allein die Aufgabe, die Oberfläche zu reinigen.

III. Herstellungstechnische Untersuchungen

1. Die Klinge

Radiographische, metallographische und mikroskopische Untersuchungen gaben Aufschluß über den Auf-

bau der Klinge. Für diese Untersuchungen wurde der vorhandene Querschnitt (105 mm unter der ehemaligen Parierstange) genutzt.

Einblicke in das Gefüge, die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Materials, die an der Schnittstelle gewonnen wurden, können nur unter Vorbehalt auf die gesamte Klinge übertragen werden. Der Klingenaufbau, der sehr gut sichtbar wurde, ist für die ganze Klinge zutreffend.

Das Schwert ist damasziert. Dabei handelt es sich um einen Schweißdamast, d.h. unterschiedliche Materialstreifen wurden zusammenschweißt. Das Prinzip der Damaszierung ist die Kombination von hartem, sprödem Material mit zähem und weichem Material. Eine Art früher Verbundstahl, bei dem die spröden Schichten durch die zähen Schichten vor dem Zerbrechen geschützt werden. Man erhält eine harte, scharfe und dennoch elastische Klinge.

Der Aufbau der Klinge der Spatha aus Ludwigsthal (Abb. 3) stellt sich folgendermaßen dar: Sie besitzt ein flachovales Profil. Die größte Materialstärke des Querschnitts beträgt 5 mm. Die Klinge ist 54 mm bis 45 mm breit (soweit noch erhalten) und weist somit eine leichte Verjüngung zur Spitze hin auf. Um einen Kern von 1 mm Dicke, 20 mm Breite und wahrscheinlich mit der Länge der gesamten Klinge liegen zwei Deckschichten mit einer Stärke von je 2 mm. Diese bestehen jeweils aus drei tordierten Damaststäben mit 7 Lamellen, die ein umgekehrtes N-Muster bilden, sowie den daran links und rechts angeschweißten Schneiden. Deutlich sind Schweißnähte um den Kern, am Schnei-

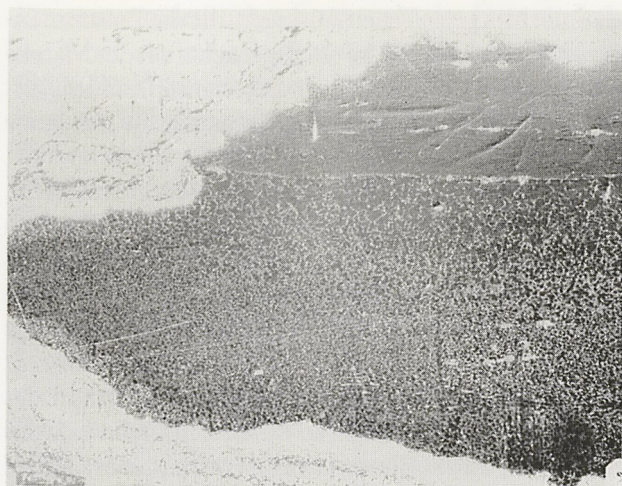


Abb. 4: Schweißnähte am Kern im Bereich des Schneidensansatzes in 50-facher Vergrößerung mit 3% Salpetersäure geätzt.

denansatz (Abb. 4; 5) und in den Schneiden zu erkennen. Die Schneiden sind nicht stumpf angeschweißt, sondern Schneide und Damaststab sind angeschrägt, so daß sich eine größere Kontaktfläche und ein besserer Halt ergeben.

Zuerst wurde der Damast angefertigt. Er besteht aus drei Damaststäben, die aus jeweils drei dünneren (ca. 0,4 bis 0,5 mm) und vier stärkeren (ca. 0,8 bis 1 mm) Schichten gebildet werden. Diese Schichten wurden im Wechsel zusammengeschweißt, zu einem Stab ausgeschmiedet, dann tordiert und durch Verformung auf einen Querschnitt von 2 x 7 mm gebracht. Zwei in S-Richtung tordierte Stäbe sind mit einem in Z-Richtung tordierten zusammengeschweißt. Der Z-tordierte Stab befindet sich in der Mitte. Es entsteht ein umgekehrtes N-Muster. Die Stäbe sind nicht sehr stark tordiert, was aus dem relativ steilen N-Muster ersichtlich ist. Der Betrachter sieht beim Wenden des Schwertes immer das selbe Muster. Das N-Muster zeigte sich in allen im Röntgenbild (Abb. 1) als Damast zu erkennenden Bereichen und wurde also nicht gewechselt. Es handelt sich um eine handwerklich sehr gut ausgeführte Arbeit. Im Damastbereich sind keine Schweißnähte sichtbar.

An den Damast, nun mit einem Querschnitt von 2 x 21 mm, wurden links und rechts die Schneiden angeschweißt. Die 5 Bahnen einer jeden Deckschicht sind zuerst zusammengeschweißt und anschließend als ein Stück an den Kern geschmiedet worden. So entstanden auch in den Schneiden Nähte. Die Verjüngung der Klinge resultiert aus einer Verjüngung der Schneiden. Der Querschnitt des Damastes bleibt gleich.

Ob die Einzelteile der Spatha vor dem Zusammenschweißen schon die Länge der Klinge hatten oder nach dem Zusammenschweißen zur Klingenslänge aus-

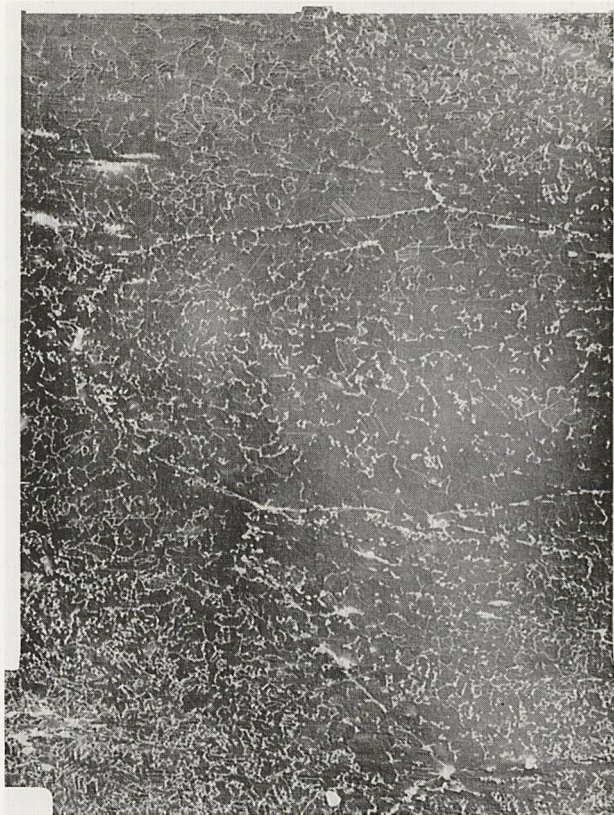


Abb. 5: Schweißnaht an der Scheide in 50-facher Vergrößerung, mit 3% Salpetersäure geätzt.

geschmiedet wurden, ist nicht genau nachzuweisen. Das Zusammenschweißen von Damaststäben, Schneiden und Kern in der endgültigen Klingenslänge dürfte eine Meisterleistung sein. Die Bahnen so zu behandeln, daß die Temperatur in allen Bereichen für eine Verbindung ausreicht, dabei das Material aber nicht verzundern (verbrennen) zu lassen und keine Qualitätseinbußen durch Schlackeeinschlüsse zu erhalten, erscheint bei dieser Materialstärke und Länge fast unmöglich. Dennoch, die in der Regel sehr exakten Damastmuster und Schneidensansätze lassen ein Strecken kaum vermuten.

Es stellt sich auch die Frage, ob der so exakt und „nahtlos“ angefertigte Damast vielleicht als Halbzeug übernommen und von einem anderen Schmied angefertigt wurde. Gravierende Materialunterschiede gibt es allerdings nicht. Jedenfalls wurde der Damast sorgfältiger und vielleicht unter anderen Bedingungen hergestellt, als das beim Zusammenfügen der Klinge der Fall war. Die Klinge besitzt ein gerundetes Auflager. Beiderseits des Angelansatzes ist im Klingenschnitt eine Naht zu erkennen. Sie wird vom Zusammensetzen der Klinge herrühren. Der Kern scheint nur bis zur Klingenswurzel zu gehen, dann wäre die Griffangel als aus dem Deckschichtenmaterial geschmiedet zu interpretieren. Sie hat einen rechteckigen Querschnitt mit

scharfen Kanten und weist eine leichte Verjüngung zum Knauf hin auf. (Querschnitt: 15 x 5 mm am Auflager, 11 x 4 mm am heutigen Ende.) Der Knauf und die Spitze der Angel sind nicht mehr erhalten. Da der Bereich der Angel noch sehr massiv ist, ist ein Damast im Röntgenbild nicht zu erkennen. In der Höhe des Auflagers rechts neben der Angel befindet sich ein Eisenstift mit einer Höhe von 10 mm und einem Durchmesser von 4 mm. Er schließt genau dort ab, wo die Griffhilfe beginnt. Es bleibt zu vermuten, daß dieser Stift nur mit der antiken Befestigung der Parierstange zusammenhängen kann.

An der Griffangel befinden sich noch Reste einer hölzernen Hilse und vermutlich Spuren der Parierstange, ebenfalls aus Holz. Eine Holzartbestimmung war hier allerdings nicht mehr möglich.

Das Material der Klinge hat eine gute Qualität, es zeigt wenig Schlackeeinschlüsse. Eine Gärbung, das wiederholte Ausschmieden und Zusammenlegen des Metalles zum Entfernen der Schlacke und zur Qualitätsverbesserung, ist an der Schnittstelle nicht nachzuweisen, aber sehr wahrscheinlich. Es handelt sich in diesem Fall eindeutig um einen kohlenstoffarmen Stahl.

Nach heutiger Terminologie wird der Begriff Stahl für alle schmiedbaren Eisenwerkstoffe verwendet. Dem entgegen wird hier aber weiterhin der Begriff Eisen für das beschriebene Schwert vorgezogen. Das Eisen, das in den gebräuchlichen Rennfeueröfen zur damaligen Zeit gewonnen wurde, hatte im allgemeinen keinen hohen Kohlenstoffgehalt. Der höchste Kohlenstoffgehalt im Querschnitt beträgt ca. 0,3 %. Somit ist dieses Eisen so nicht härtbar! Härtbar ist Eisen erst mit einem Kohlenstoffgehalt ab 0,35 %. Eine Steigerung der Härte ist aber auch bei kohlenstoffarmem Eisen durch Kalthärtung oder durch eine Aufkohlung oder Aufstickung möglich. Jedoch sind weder eine Kalthärtung noch eine Aufkohlung oder Aufstickung an der Schnittstelle der Spatha von Ludwigsthal nachzuweisen. Es müßte sich also um eine relativ „weiche“ Waffe handeln. Solche Waffen gab es häufiger. Sie sind sogar durch antike Schriftquellen belegt. Im „Gallischen Krieg“ von Julius Cäsar und in den „Isländischen Sagas“ wird von Waffen berichtet, die so weich sind, daß sie sich im Kampf verbiegen.

Auch wäre es möglich, daß in der Griffnähe bewußt auf eine Härtung verzichtet wurde. Eine harte und damit spröde Klinge ist in der unmittelbaren Griffnähe nicht nur unnötig, sondern sogar schädlich. Es ist anzunehmen, daß zumindest die Schneiden an der Spatha von Ludwigsthal gehärtet waren. Die originalen Randzonen der Spathaklinge sind nicht mehr erhalten. Aufkohlungen und Aufstickungen gehen nicht sehr tief und könnten somit bereits korrodiert sein.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen,

daß alle hier getroffenen Aussagen, die die Zusammensetzung, das Gefüge und die Eigenschaften des Materials betreffen, nur für diese eine Probenstelle Gültigkeit haben. Sie sind keinesfalls repräsentativ für das ganze Objekt.

Das Gefüge der Klinge besteht aus Ferrit und Perlit. Diese Zusammensetzung ist im ganzen Schlibbereich gleich (Abb. 4).

Der Aufbau des Gefüges am Querschnitt verrät ein langsames Abkühlen. Das muß aber nicht unbedingt heißen, daß die ganze Klinge nicht abgeschreckt wurde. Würde man die Klinge mit der Spitze in das Abkühlmedium tauchen, so würde sich an dieser Stelle ein feines, durch Abschreckung entstandenes Gefüge bilden. Weiter oben, wo das Korn noch mehr Zeit zum Wachsen hatte, kann sich dann ein gröberes, auf langsame Abkühlung deutendes Gefüge, herausbilden. Durch dieses Vorgehen beim Abkühlen erzielt man eine größere Härte an der Spitze und im Gegensatz dazu noch eine ausreichende Elastizität in Griffnähe, was den Gebrauchseigenschaften sehr entgegen kommt.

Der Kern der Schwertklinge besitzt ein grobes Gefüge. Es deutet darauf hin, daß er längere Zeit unter Hitzeeinwirkung stand, das Korn so Zeit zum Wachsen hatte, also nicht abgeschreckt wurde. Die Deckschichten weisen ein feineres Gefüge auf (Abb. 4). Das ist herstellungstechnisch so zu erklären, daß der Kern beim Aufschmieden der Deckschichten mehr erwärmt wurde als diese, und die Klinge, jedenfalls in diesem Bereich, nicht abgeschreckt wurde.

An der Schneide zeigt sich ihr zweiteiliger Aufbau neben der Schweißnaht auch daran, daß ein Schneidenteil ein gröberes Gefüge hat. Dies ist der Teil, der zuerst an den Kern geschmiedet und so beim Aufschmieden der zweiten Schicht nochmals erwärmt wurde. An den Schweißnähten, besonders im Kern und an den Schneidenspitzen, kam es zu Entkohlungsercheinungen (Abb. 5). Der Kohlenstoff wurde während der Bearbeitung durch den Sauerstoff der Umgebung herausgelöst und ist als Kohlendioxid entwichen.

An der Schnittfläche der Spatha war ein Damastbereich, wie er im Röntgenbild zu erkennen ist, ohne eine spezielle Ätzung nicht sichtbar. Die unterschiedliche Korrosionsbeständigkeit des Materials läßt den Damast im Röntgenbild erscheinen. Je mehr die Klinge angegriffen ist, um so deutlicher wird das Bild. In der Regel ist das weichere Material, oft das kohlenstoffärmere, das beständigere. Es ist im Röntgenbild als helle Fläche zu erkennen. Es wurde weniger durchstrahlt, während die härteren Schichten stark korrodiert sind und sich kaum noch neben den hellen Flächen abzeichnen.

Ein genauso deutliches Erscheinen des Damastes war auch bei der metallographischen Untersuchung im Querschnitt zu erwarten. Diese ergab jedoch eine Überraschung, von einem Damast war nichts zu sehen. Es liegt in allen Bereichen ein kohlenstoffarmes Eisen vor. Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt in den Schneiden beträgt 0,3 %, im Damastbereich 0,3 %, und im Kern ist ein Gehalt von 0,1 % anzutreffen. Der Unterschied im Kohlenstoffgehalt zwischen Kern, Schneide und Damastbereich beträgt somit 0,2 %.

Schweißnähte waren deutlich als Folge des Zusammenschweißens von zwei Deckschichten über einem Kern zu erkennen. Es gab keinerlei Hinweise auf eine Verschweißung in dem im Röntgenbild sichtbaren Damast.

Der Kohlenstoffgehalt ist mit 0,3 % im ganzen Damastbereich gleich, genauso wie auch das Gefüge, das Ferrit und Perlit enthält, ebenso die Korngrößen. Härtemessungen ergaben gleiche Werte.

Neben dem Kohlenstoff als Legierungselement enthalten Kohlenstoffstähle noch andere Bestandteile, die durch die metallurgischen Herstellungsverfahren bedingt sind.

Für einen „modernen Stahl“ sind die Elemente Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel, Stickstoff, Kupfer, Chrom, Nickel, Sauerstoff, Aluminium, Wasserstoff, sowie auch silikatische, oxidische und sulfidische nichtmetallische Einschlüsse wichtig. Für das vorgeschichtliche Eisen ist neben Kohlenstoff aufgrund der Erschmelzungsart eigentlich nur der Phosphor von Bedeutung. Phosphor ist in nicht unbeträchtlicher Konzentration im Raseneisenerz enthalten, welches auch als Ausgangsstoff für die Eisengewinnung diente. So sind die Eigenschaften eines vorgeschichtlichen Eisens nicht nur von seiner Behandlung und vom Kohlenstoffgehalt abhängig, sondern auch vom Gehalt an Phosphor. Heute wird Phosphor als schädliche Beimengung weitgehend aus dem Eisen entfernt. Damals machte man aus der Not eine Tugend, indem man das phosphorreiche Eisen dort verarbeitete, wo seine schlechten Eigenschaften am wenigsten störten und seine Vorteile genutzt werden konnten, z.B. im Damast (Abb. 6).

Phosphor macht das Eisen hart und spröde, führt zu Rissen bei der Warmverformung, fördert die Kaltversprödung und Schweißrissigkeit, erzielt beim Eisen aber eine glatte, glänzende Oberfläche.

Der Phosphornachweis zeigte nun endlich Unterschiede in der Materialzusammensetzung, und der Damast wurde auch im Schnitt sichtbar. Er besteht also aus Eisen mit gleicher Kohlenstoffkonzentration (jedenfalls an der Schnittstelle), aber unterschiedlichem Phosphorgehalt.

Der Kern und die Schneide sind phosphorfrei, und im



Abb. 6: Phosphorätzung des Querschnitts in sechsfacher Vergrößerung.

Damastbereich zeichnen sich Streifen von phosphorfreiem und phosphorhaltigem Material ab. Der Ausdruck „phosphorfrei“ ist vielleicht nicht ganz gerechtfertigt, jedenfalls ist der Phosphorgehalt so gering, daß kein Nachweis erfolgen konnte. Es scheint, daß die Korrosion an der Spatha von Ludwigsthal während der Bodenlagerung bevorzugt im phosphorhaltigen Bereich eingesetzt hat. Allein der Phosphorgehalt kann wohl nicht der Grund für diese besondere Korrosionsfreudigkeit sein, da ein Phosphorgehalt eher korrosionshemmend wirkt und es so noch andere Gründe geben muß, die eine Korrosion begünstigten. Es ist zu vermuten, daß im übrigen Klingensbereich doch ein unterschiedlicher Kohlenstoffgehalt im Damast vorliegt, aus dem sich der unterschiedliche Angriff erklären läßt, man also ein kohlenstoffreicheres und phosphorhaltiges Eisen neben einem kohlenstoffarmen und phosphorfreiem Eisen im Damast verarbeitet hat. Diese Vermutung konnte aber im vorhandenen Querschnitt nicht bewiesen werden. Der unterschiedliche Erhaltungszustand der Klinge, im Röntgenbild (Abb. 1) sichtbar, belegt eine unterschiedliche Materialzusammensetzung.

Es wäre immerhin denkbar, daß die dünnen, phosphorhaltigen Damastlamellen zur Schwertschneidspitze hin aufgekohlt waren. Diese Technik war ja bereits bekannt und oft die einzige Möglichkeit, mit genügend Kohlenstoff angereichertes Eisen zu erhalten.

Die Härteprüfungen an der Schnittstelle wurden nach dem Vickersverfahren durchgeführt. Der Damastbereich ist von annähernd gleicher Härte. (Bei einem so ähnlichen Gefüge, wie in diesem Fall, ist das durchaus möglich, aber nicht Bedingung.) Die Durchschnittswerte sind:

Kern: 140 HV (HV = Vickershärte)

Rand (Damastbereich): 180 HV

Schneide: 200 HV. (Die Vickershärte von reinem Ferrit beträgt 80 HV.)

Die Härtemessung ergab nur sehr geringe Härteunterschiede zwischen Kern, Schneide und Damast; im Damastbereich selbst keine. Das ist ungewöhnlich für die Schmiedearbeit. Wurde der Zweck, ein hartes und gleichzeitig elastisches Material zu erhalten, nicht erreicht oder war das gar nicht die Absicht und ging es lediglich nur um eine optische Wirkung? Bei allen Überlegungen ist aber zu bedenken, an welcher Stelle des Objektes sich der Querschnitt befindet.

Die an der Schnittstelle angetroffenen Eigenschaften sind für eine Klinge in Griffnähe wirklich ideal. Würde die Klinge in ihrer Gesamtheit diese Eigenschaften besitzen, wäre sie für einen Kampf allerdings nahezu unbrauchbar. Man kann davon ausgehen, daß alle ausgeführten Messungen nicht repräsentativ für das ganze Schwert sind. In einem anderen Bereich kann es durchaus zu größeren Härte- und Gefügeunterschieden kommen.

Die Klinge ist nur im oberen Bereich noch metallisch erhalten. Eine Untersuchung zur Schwertspitze hin, die Zeugnis von den Fertigkeiten des Schmiedes ablegen könnte, ist mit heutigen Mitteln noch nicht möglich, da in dem Abschnitt, in welchem Veränderungen zu erwarten wären, kein Metallkern mehr erhalten ist und die Korrosionsprodukte durch Konservierungsmaßnahmen beeinflusst sind.

Metallographische Untersuchungen können aber überhaupt nur richtig aussagekräftig sein, wenn man Zufallserscheinungen ausschließt, das ganze Stück beprobt, was bisher aber nicht zerstörungsfrei möglich ist. Die am Eisen der Spatha von Ludwigsthal vorgenommenen Untersuchungen können somit nur Hinweise geben und Überlegungen anregen.

Der komplizierte Aufbau der Klinge ist für die Zeit nichts Ungewöhnliches und zeugt von einer hohen Kunstfertigkeit der Schmiede. Aus den neueren Veröffentlichungen über damaszierte Klingen (Emmerling 1972; 1975; 1978; 1979; Piaskowski 1965; Sachse 1978; 1989; Westphal 1980; 1986; Ypey 1983) ist ersichtlich, daß gerade die sehr frühen Klingen so aufwendig zusammengesetzt sind und Damaststäbe mit kleinen Querschnitten haben.

2. Die Scheide

Die Scheide besteht aus 2 längsgefasernten Schalen aus Buchenholz. Diese sind je 70 mm breit und 2,5 mm stark. Vermutlich wurden die beiden Teile an den Seiten mit einer Harzmasse verklebt. Ein eindeutiger Nachweis ist leider nicht möglich, da schon Konservierungsstoffe eingewirkt haben.



Abb. 7: Querschnitt in 40-facher Vergrößerung, ungeätzt. Die Fellauskleidung der Scheide ist hier sichtbar (Pfeil).

Auf der Vorderseite befindet sich eine feine, ornamental gegliederte Schnitzerei. Aus dem Holz wurden hier Stege von 1 mm Breite und 1 mm Höhe herausgearbeitet. Diese Verzierungen gehen nicht bis zum Rand, sondern enden 14 mm davor mit einem leichten Absatz. Der Bereich, in dem sich ehemals die Riemen durchzüge (siehe Punkt 4) befanden, wurde von Verzierungen ausgespart. Die Rückseite der Holzscheide weist keine Verzierungen auf und ist glatt. Die Scheide war mit Fell ausgeschlagen. Reste davon waren im Querschnitt eindeutig zu erkennen (Abb. 7). Es könnte sich um ein Vließ (Schaffell) handeln, eine nähere Bestimmung des Felles an der Spatha von Ludwigsthal war jedoch nicht möglich.

Die Buchenholzscheide war mit feinem Ziegenleder überzogen, durch das sich das geschnitzte Relief der Holzscheide gut abzeichnen konnte.

Auf der Rückseite der Scheide befindet sich eine ca. 5 mm breite „Naht“. Es sind aber keine Spuren von Fäden oder Einstichlöchern zu erkennen. Der Aufbau dieser „Naht“ ist in Abbildung 8 ersichtlich. Es wäre auch denkbar, daß das Leder an der Nahtstelle verklebt wurde. Ein Nachweis einer Verklebung war an dem alt konservierten Stück jedoch nicht mehr möglich, und es ist auch nicht mehr festzustellen, ob das Leder noch zusätzlich auf der Holzscheide aufgeklebt war.



Abb. 8: Nahtaufbau am Ziegenlederüberzug der Scheide.

Auf dem Überzug von feinem Ziegenleder befinden sich weitere Schichten aus sichtbar größerem Rindleder. Über diesem wiederum liegt an einer Stelle eine mindestens doppellagige Manschette aus Ziegenleder. Diese war auf der Vorderseite zusammengeschnürt, so daß ein Faltenwurf wie bei einer Schleife entstand. Das feine Ziegenleder muß der eigentliche Scheidenüberzug gewesen sein. Die geschnitzten Verzierungen der Holzscheide zeichnen sich gut durch. Dieser Effekt ist bei einer Rindlederauflage nicht zu erzielen.

Rindleder kann nur durch starkes Aufpressen gemustert werden. Es ist aber ungeeignet, ein sich unter ihm befindendes Muster nach dem Überspannen abzubilden, zumal das starke Rindleder nicht mit dem Leder heutiger Rinder verglichen werden kann, da die Tiere damals eine derbere Haut ausbildeten. Die Tatsache, daß sich das Ziegenleder unter dem Rindleder befindet, und daß beim Entfernen des Scheidenmundbleches keine Spuren des größeren Leders darunter gefunden wurden, läßt den Schluß zu, daß es sich beim Rindleder offensichtlich um eine Schutzhülle für das Schwert und die Scheide gehandelt haben muß.

Das Rindleder wurde zusätzlich um Schwert und Scheide gewickelt. Es sind keine Spuren einer Naht zu finden, und es zeichnen sich mehrere Schichten ab, die auf ein wenigstens zweimaliges Wickeln des Rindleders um die Spatha hindeuten. Diese Hülle war mit der gerafften Manschette aus Ziegenleder verziert, die wohl auch zur Sicherung des Leders am Schwert gedient haben wird. Die Rindlederreste, die sicherlich auch über das Scheidenmundblech verliefen, müssen bei einer älteren Restaurierung abgeschliffen worden sein.

3. Das Scheidenmundblech

Das Scheidenmundblech besteht aus Messing. Ein 0,6 mm dünner, 14 mm breiter und 114 mm langer Metallstreifen wurde zu einem Oval von 70 mm Breite und 12 mm Stärke gebogen und mit einer Messingplatte 14 x 14 mm geschlossen. Der Metallstreifen wurde aus einem getriebenen Blech ausgeschnitten. Im Röntgenbild sind noch gut die Treibspuren erkennbar. Erst nachdem der Blechstreifen zu einem Oval gebogen worden war, wurde er verziert. Dazu hat man auf der Schauseite Rillen eingefeilt. Das sich zwischen den Rillen befindende Material war durch Feilstriche verziert. Sie sind leider nur noch in Ansätzen erhalten, da das Scheidenmundblech modern abgeschliffen und

blankpoliert wurde. Die Rückseite ist unverziert und wird durch die Verschlußplatte geschmückt. Diese ist ein Gußstück und an den Rändern abgefeilt, ihre Verzierungen sind in das Metall eingeschnitten worden. Durch das Abschleifen bei einer Altrestaurierung ist eine der Linien fast ganz verschwunden. Ein Harz/Wachsgemisch, das von der Konservierung stammt, befindet sich heute in den Vertiefungen. Die Messingplatte geht je 4 mm über den Blechstreifen, so daß sie einen Spalt von 6 mm überbrückt. Die Platte besteht aus einer anderen Legierung als der Blechstreifen. Sie besitzt einen höheren Zinkanteil und ist nicht so gelbglänzend wie das Blech selbst. Die Platte wurde vor der Montage des Bleches auf die Scheide auf das Scheidenmundblech gelötet. Es handelt sich dabei um eine Weichlötung (Zinn-Blei).

Diese Verbindungstechnik war bis zur Römerzeit in Mittel- und Nordeuropa unbekannt und wurde dann nur für die Verbindung von Kupfer und Kupferlegierungen eingesetzt. Eine Weichlötung ist relativ leicht und schnell auszuführen. Sie hat aber den Nachteil, daß sie keinen größeren Belastungen standhält. Als Lot diente eine Zinn-Blei Legierung, die schon bei niedrigen Temperaturen von 200 °C bis 300 °C eine Haftung möglich machte (Formigli 1984).

Unter dem Scheidenmundblech befindet sich eine offensichtlich antike Kittmasse. Sie konnte nicht eindeutig bestimmt werden. Die Kittmasse diente dazu, einen Spalt zwischen Blech und Scheide auszufüllen und für einen festen Sitz auf dem Ziegenleder zu sorgen. Sie hat eine weißliche, glasige Farbe, ist hart und spröde.

4. Die Riemendurchzüge

Da an den Riemendurchzügen eine meines Wissens bisher für das Frühmittelalter noch nicht publizierte Ziertechnik angewendet wurde, werden diese hier gesondert behandelt.

Die beiden Riemendurchzüge sind im Inventarbuch des Museums für Vor- und Frühgeschichte von 1896 als aus Eisen, silbertauschiert, beschrieben. Es handelt sich in diesem Fall aber um keine echte Tauschierung im Sinne von in vorbereitete Vertiefungen oder Rasterflächen des Eisens eingeschlagene Metallfäden. Es sind keine einzelnen Fäden zu erkennen, sondern das Silber zeigt sich an den Kappen und in der Kreuzgitterverzierung als leicht poröse, durchgehende Masse (Abb. 9). Die Vertiefungen, die an einigen Stellen freiliegen, sind flach und rund; sie würden einer herkömmlichen Tauschierung keinen Halt geboten haben. Die Stellen des Silbers, die nicht überschliffen sind, haben eine rauhe, unruhige, gußähnliche Oberfläche (Abb. 2). Das Silber ist in Vertiefungen der geschilderten eisernen Riemendurchzüge eingeschmolzen worden; ein Verfahren, das

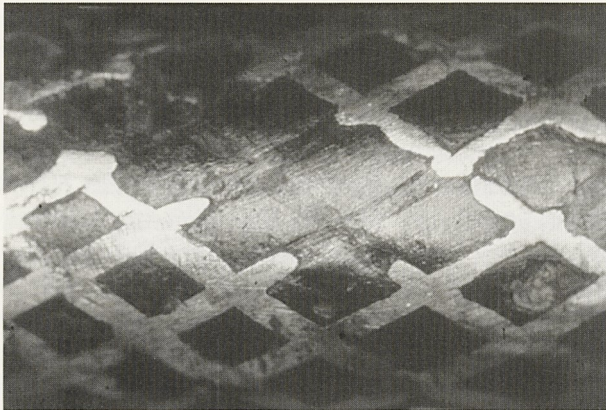


Abb. 9: Kreuzgitterverzierung.

in der Hallstattzeit bereits als Verzierungstechnik bekannt war (Eichhorn u.a. 1974). Die antike und frühmittelalterliche Anwendung dieser Technik scheint bis heute unbekannt geblieben (Born 1993). Das Eisen wurde vorbereitet, indem die Flächen, in denen später das Silber haften sollte, eingefeilt oder eingeschliffen wurden. Das Objekt wurde mit Silberspänen oder Silberstückchen, sicherlich zusammen und mit Hilfe eines Flußmittels „beklebt“ und in Ton oder Lehm eingepackt. Das so vorbereitete und eingepackte Eisen wurde dem Feuer ausgesetzt, bis die angenommene Schmelztemperatur des Silbers erreicht war. Das Silber verfüllte nun aber nicht nur die Vertiefungen, sondern schoß auch über die gesamte Eisenoberfläche. Dieses „überschüssige“ Silber mußte nun, nach dem Entfernen des Tonmantels, abgefeilt werden, bis das Muster zutage trat (sog. Schmelz-Tauschierung). Bei den Kappen mußten die Rillen, die durch das Silber zugeschwemmt waren, wieder eingefeilt werden. Einige der Kratz- und Feilspuren in diesen Rillen dürften noch aus der Herstellungszeit stammen. Anschließend wurde das Silber an den Riemendurchzügen noch vergoldet. Es handelt sich dabei um eine Feuervergoldung. Das Gold wurde in heißem Quecksilber gelöst. Das entstandene Amalgam aus Quecksilber und Gold wurde auf das Silber aufgetragen und dem Feuer ausgesetzt. Dabei entweicht das Quecksilber, indem es abdampft, und das Gold bleibt fest auf dem Untergrund haften. Angeblich ist dieses Verfahren bereits seit dem 2. Jahrhundert bekannt, Untersuchungen vergoldeter Silberobjekte aus römischer Zeit belegen, daß spätestens seit dem 3. Jahrhundert Quecksilberspuren in den Vergoldungen üblich sind (Oddy 1985).

Danksagung

Der hier wiedergegebene Text ist ein abgeänderter Auszug aus meiner Prüfungsarbeit an der Technischen Fachhochschule Berlin, 1992: „Neurestauration und herstellungstechnische Untersuchung eines Schwertes des späten 5. Jahrhundert n. Chr. aus Ludwigsthal, Kr. Tuttlingen/Baden-Württemberg“.

Abschließend möchte ich mich ganz besonders bei meinem Mentor Herrn Hermann Born für seine Hinweise und freundliche Unterstützung bedanken. Für das zur Verfügung gestellte Material und die freundliche Unterstützung danke ich Herrn Prof. Dr. W. Menghin, Direktor des Museums für Vor- und Frühgeschichte der Staatlichen Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz. Das Zustandekommen dieser Arbeit wäre ohne das großzügige Entgegenkommen von Herrn Dr. H. Seyer, Leiter der Bodendenkmalpflege beim Märkischen Museum, und die Unterstützung der Mitarbeiter des Märkischen Museums Berlin, des Museums für Vor- und Frühgeschichte der Staatlichen Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz, der Metallographischen Abteilung des Lette-Vereins Berlin und des Thüringischen Landesmuseums in Weimar nicht möglich gewesen, wofür ich mich auf diesem Wege vielmals bedanken möchte.

Die metallographischen Untersuchungen erfolgten beim Lette-Verein in Berlin unter Anleitung von Frau Kaatz, Frau Jeschke und Herrn Dietl. Die Bestimmung der Lederreste verdanke ich Herrn Keller (im Ruhestand), Lederrestaurator beim Völkerkundemuseum der Staatlichen Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz. Die Holzfragmente wurden von Frau Cott, Herrn Brather und Herrn Bruse im Thüringischen Landesmuseum in Weimar bestimmt. Die Röntgenaufnahmen wurden von Herrn Zimmermann am Museum für Vor- und Frühgeschichte, Staatliche Museen zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz ausgeführt.

Ines Gohlke
Märkisches Museum
Am Köllnischen Park 5
D-10179 Berlin

Literatur

Born 1993
H. Born, Terminologie und Interpretation von Tauschier-Techniken in der altorientalischen, altägyptischen und alteuropäischen Metallkunst. In: Bestandskataloge des Museums für Vor- und Frühgeschichte Berlin Bd. 2, 1993, 72 ff.

Eichhorn u.a. 1974
P. Eichhorn, H. Rolling, U. Schwarz, B. Urbon, U. Zwicker, Untersuchungen über hallstattzeitliche Technik für Bronzeinlagen in Eisen. Fundber. Baden-Württemberg 1, 1974, 293 ff.

Emmerling 1972

J. Emmerling, Technologische Untersuchungen an eisernen Bodenfunden. *Alt-Thüringen* 12, 1972, 267 ff.

Emmerling 1975

J. Emmerling, Metallkundliche Untersuchungen an latènezeitlichen Schwertern und Messern. *Alt-Thüringen* 13, 1975, 205 ff.

Emmerling 1978

J. Emmerling, Technologische Untersuchungen an kaiserzeitlichen Schwertern aus Buchhain (Buchowien). *Alt-Thüringen* 15, 1978, 92 ff.

Emmerling 1979

J. Emmerling, Zur Technologie zweier Schwerter und einer Lanzen spitze aus Wolkow. *Alt-Thüringen* 16, 1979, 120 ff.

Formigli 1984

E. Formigli, Übernommene und neu entwickelte Verbindungstechniken im etruskischen Metallhandwerk. In: *L'Etruria Mineraria. Atti 12. Congr. Stud. Etruschi e Italici Florenz 1981. Arbeitsbl. Restauratoren* 1, 1984, 2, 138 ff.

Menghin 1982

W. Menghin, Das Schwert im Frühen Mittelalter. *Wiss. Beibände zum Anz. Germ. Nat. Mus.* 1 (1982).

Oddy 1985

W.A. Oddy, Vergoldungen auf prähistorischen und klassischen Bronzen. In: H. Born (Hrsg.), *Archäologische Bronzen, antike Kunst, moderne Technik* (1985) 64 ff.

Piaskowski 1965

J. Piaskowski, Niektóre dziwirowane miecze rzymskie na ziemach Polski. *Z otchłani wieków* 31, 1965, 36 ff.

Sachse 1978

M. Sachse, Restaurierung von Damaszenerstahl. *Arbeitsbl. Restauratoren* 11, 1978, 1, 113 ff.

Sachse 1989

M. Sachse, Damaszenerstahl, Mythos, Geschichte, Technik, Anwendung (Bremerhaven 1989).

Westphal 1980

H. Westphal, Die Restaurierung und Untersuchung eines karolingischen Schwertes. *Arbeitsbl. Restauratoren* 13, 1980, 1, 141 ff.

Westphal 1986

H. Westphal, Ungewöhnliche Schweißtechniken und Dekorationen an zwei Sachsen des 8. Jahrhunderts. *Arbeitsbl. Restauratoren* 19, 1986, 1, 217 ff.

Ypey 1983

J. Ypey, Damaszierung. In: *Reallexikon Germanische Altertumskunde* 5 (1983) 191 ff.