

Werkstoffkundliche Untersuchungen an zwei Schwertern aus fränkischen Gräbern des 9. Jahrhunderts

Von Hans-Eugen Bühler, Christian Straßburger und Goar Morck
in Duisburg-Hamborn*

1. Einleitung

In neuerer Zeit sind zahlreiche Untersuchungen über die Schmiedetechnik bei der Herstellung frühgeschichtlicher Schwerter bekannt geworden.¹⁻⁶ Gegenstand des Interesses waren dabei ausschließlich damaszierte Waffen, deren Datierung in die Zeit zwischen dem 2. Jahrhundert v. Chr. (Funde von La Tène am Neuchâtel-er See) und dem 5. Jahrhundert n. Chr. (Funde von Nydam bei Flensburg) fällt.

Alle Berichte führen zu der Erkenntnis, daß die Klingen durch verschweißen des Schmiedens verschiedener Ausgangsstäbe hergestellt wurden. Dabei wurde zumeist das Feuerschweißen angewendet,^{1, 3-6} zum anderen konnte jedoch von G. Becker² nachgewiesen werden, daß an einem Schwert des Nydam-Fundes niedrig schmelzende Eisen-Arsen-Legierungen als Hartlot zum Verbund der einzelnen Ausgangsstäbe Verwendung fanden. Auf einen gleichen Herstellungsgang ließen auch zwei von E. H. Schulz⁵ untersuchte Schwerter schließen.

Will man Schlüsse auf die Herkunft der römischen Schwertklingen mit arsenhaltigen Zwischenzonen ziehen, so liegt die Vermutung nahe, daß sie auf Grund der arsenhaltigen Eisenerzvorkommen aus dem kleinasiatischen Raum stammen.^{2, 7, 8} Die Technik des Feuerschweißens als erstgenannte Art der Damaszierung wurde vermutlich in einer der römischen Waffenfabriken entwickelt, die die Römer in ihrem gallischen Herrschaftsbereich errichteten. Dafür spricht neben der urkundlichen Erwähnung mehrerer Fabriken für „lange Schwerter“ z. B. Reims, Trier und Amiens⁹ auch die Tatsache, daß das Hauptverbreitungsgebiet der damaszierten Schwerter nach Ende der Römerherrschaft in Franken lag.

Der Höhepunkt der Schmiedetechnik wird im 7. und 8. Jahrhundert beobachtet, im 10. Jahrhundert verschwinden die damaszierten Klingen fast vollständig und tauchen auch in späteren Zeiten nicht mehr auf. Es mag deshalb verwundern, daß die bisher im Schrifttum bekannt gewordenen Untersuchungen sich fast ausschließlich mit Klingen römischer Herkunft beschäftigen und eingehende Berichte über Schwerter aus der Blütezeit der fränkischen Waffenschmiede fehlen.¹⁰ Aus der Zeit des frühen Mittelalters (11.—14. Jahrhundert) sind lediglich Untersuchungen an damaszierten Messerklingen von J. Piaskowski⁴ bekannt geworden.

Neben den damaszierten Schwertern wurden im frühen Mittelalter einschneidige Hieb- und Stichwaffen vom Typ des sogenannten „Sax“ verwendet.¹¹⁻¹³ Man unterschied bei den Schwertformen zwischen dem „Langsax“, der bei einer Breite von

* Diese Arbeit wurde in erweiterter Fassung auf der 28. Sitzung des Geschichtsausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute am 1. und 2. Oktober 1965 in Königsbrunn vorgetragen. Sie wurde im „Archiv für das Eisenhüttenwesen“ 37 (1966), veröffentlicht.

3,5 bis 4 cm gewöhnlich 40 bis 60 cm lang war, und dem „Scramasax“, einem 45 bis 75 cm langen und 4 bis 6,5 cm breiten Schlachtschwert mit einer Rückenbreite der Klinge bis zu 12 cm.¹³

Der „Sax“ konnte im Gegensatz zum damaszierten Schwert von den meisten Schmieden ohne großen Aufwand hergestellt werden. Seine Klinge wurde aus einem Ausgangsstück geschmiedet und wirkte wohl mehr durch ihre Wucht als ihre harte Schneide.¹⁰ Obwohl der „Sax“ wegen seiner einfachen und billigeren Herstellung verbreiteter war als die kostbare damaszierte Klinge, liegen werkstoffkundliche Untersuchungen dieses Schwerttyps im Schrifttum unseres Wissens ebenfalls nicht vor.

Vom Historischen Verein für Württembergisch Franken wurden den Verfassern aus dem Bestand des Keckenburgmuseums ein „Sax“ sowie ein damasziertes Schwert für werkstoffkundliche Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Beide Waffen entstammen fränkischen Gräbern. Der „Sax“ wurde in einem fränkischen Grab in Enslingen (Kreis Schwäbisch Hall) gefunden, die damaszierte Spatha konnte bei der Untersuchung eines großen fränkischen Gräberfeldes auf der Flur „Laubenäcker“ in der Markung Ingersheim (Kreis Crailsheim) geborgen werden.¹⁴

2. Untersuchungsergebnisse

2.1 Untersuchung des „Sax“

Die Größe und Gestalt dieses Schwertes werden aus Bild 1 a ersichtlich. Die Gesamtlänge der Waffe betrug 62 cm. Die Klinge war maximal 4,8 cm breit und wies eine Dicke zwischen 7 bis 9 mm (Rücken) und 2 bis 3 mm (Schneide) auf. Die Schneidezzone ist durch einen verstärkten Korrosionsangriff gekennzeichnet. Auf Grund der Maße kann angenommen werden, daß es sich im vorliegenden Falle um einen „Langsax“ handelt.

Für die metallographische Untersuchung wurden an den in Bild 1 a mit A, B, C und S bezeichneten Stellen Proben für Querschliffe entnommen. Über den gesamten Bereich B—C wurde ein Längsschliff angefertigt. Die chemische Zusammensetzung wurde in den Querschnittszonen 1 bis 3 des Klingenteilstückes C—D bestimmt.

Die in Tafel 1 a zusammengestellten Analysenwerte lassen bereits erkennen, daß die gesamte Klinge aus einem Ausgangsstück gefertigt worden ist. Mit Ausnahme des Kohlenstoffgehaltes, der vom Klinsenrücken bis zur Schneide stetig ansteigt, ist die Konzentration der übrigen Elemente in allen Querschnittszonen die gleiche. Bemerkenswert ist, daß der Kohlenstoffgehalt der Schneidenzone mit 0,79% fast genau der eutektoidischen Zusammensetzung entspricht. Die Mangan- und Schwefelgehalte liegen bei 0,03 bzw. 0,005% in der bei Rennfeuererisen üblichen Höhe,¹⁵ der Phosphorgehalt dagegen muß mit 0,012 bis 0,016% als sehr niedrig angesprochen werden.

Aussagen über die Kohlenstoffverteilung sowie die Wärmebehandlung der verschiedenen Querschnittszonen lassen sich aus den durch Salpetersäureätzung entwickelten Makrogefügen des Bildes 2 ableiten. Die in den Querschliffen A und C schwarz gefärbten Zonen weisen einen erhöhten Kohlenstoffgehalt auf und wurden beschleunigt abgekühlt. Ein martensitisch-troostitisches Gefüge mit Härtewerten um 600 HV 0,5 konnte im Angelquerschliff A beobachtet werden. Der Schneidenteil der Klinsenprobe C weist ein sorbitisches Gefüge mit einer Härte von 300 bis 370 HV 0,5 auf.

Die nicht gehärteten, kohlenstoffreichen Zonen erscheinen in den einzelnen Querschliffen in hell- bis dunkelgrauer Tönung. Ein ansteigender Kohlenstoffgehalt vom Klingentrücken zur Scheide liegt in den Proben C und S vor. Der im Übergangsbereich Klinge-Angel liegende Schliff B dagegen läßt eine stärkere Aufkohlung lediglich in zwei schmalen Flanken zonen an Schneide und Rücken erkennen. Im Angelquerschliff A ist ein im Vergleich zu den Proben C und S umgekehrter Konzentrationsverlauf des Kohlenstoffs festzustellen. Im Anschluß an die martensitisch-troostitischen bzw. sorbitischen Gefügebereiche wird etwa in Klingemitte (Querschliffe A und C) ein feinkörniges perlitisches Gefüge beobachtet. Mit größer werdendem Abstand von der Schneidzone tritt ein zunehmender Anteil an Ferrit auf. In den in Bild 2 hell erscheinenden Bereichen am Klingentrücken liegt bereits ein überwiegend ferritisches Gefüge vor.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß es sich bei dem „Langsax“ um ein Schwert handelt, das auf Grund seiner unterschiedlichen Aufkohlung und der örtlich begrenzten Härtung sicherlich nicht zu den Spitzenerzeugnissen der einschneidigen Hieb waffen zu zählen ist. Dies könnte daran liegen, daß bei der Fertigung dieser Waff en nicht die notwendige Sorgfalt angewendet worden ist, es ist jedoch wahrscheinlicher, daß technische Schwierigkeiten, wie z. B. geringe Ofengröße oder ungleichmäßige Temperaturverteilung beim Zementieren und Härten, als Ursache der unterschiedlichen Gefügebildungen angesehen werden müssen.

Für letztere Annahme spricht auch das Makrogefüge des Längsschliffs B—C (Bild 3). Die oft scharfe Abgrenzung der unterschiedlich stark aufgekohlten Zonen läßt auf ein schrittweises Zementieren der Klinge schließen. Das sorbitische Gefüge in der Schneidzone der Klinge sowie das martensitisch-troostitische Gefüge in der Angel weisen darauf hin, daß die Härtung nicht im Wasser, sondern in einem milderen Ablöschmittel vorgenommen wurde. Daß lediglich in den Schneid zonen in Klingemitte sowie in der Angel, nicht dagegen im Übergangsbereich zwischen beiden Schwertteilen, ein Härtungsgefüge vorliegt, dürfte in der Absicht der Hersteller gelegen haben. Dadurch, daß der Klingenteil nahe der Angel nicht in die Härtung einbezogen wurde, war die Gefahr eines Brechens an dieser beim Schlag stark auf Biegung beanspruchten Stelle vermindert worden.

2.2 Untersuchung des damaszierten Schwertes

Das zweite untersuchte Schwert bestand aus einer zweischneidigen, damaszierten Klinge mit Angel und Knauf (Bild 1 b), deren Spitze jedoch abgebrochen war. Die verbliebene Klingenlänge betrug 30 cm, die Gesamtlänge mit Angel 42 cm. Die Klinge war bei einer mittleren Breite von 45 mm im Durchschnitt noch 5 mm dick. Der Knauf war oval geformt und hatte eine Länge von 9,5 cm und eine größte Dicke von 6 mm. Die Waffe war trotz der stellenweise starken Korrosion insgesamt noch gut erhalten. Durch den Korrosionsangriff trat die Damastmusterung, die sonst im Neuzustand durch ein polierte oder geätzte Oberfläche sichtbar wurde, deutlich hervor.

Für die Werkstoffuntersuchung wurden an den in Bild 1 b eingezeichneten Stellen aus Klinge und Angel Schliffe entnommen. Neben einem Oberflächenanschliff (E—S) wurden zahlreiche Querschliffe (A—D und S) und ein Längsschliff (D—E) metallographisch untersucht. Außerdem wurden umfangreiche Mikrohärtemessungen durchgeführt.

Um einen Überblick über die chemische Zusammensetzung der Klinge zu bekommen, wurde eine Hälfte des Stückes D—E zerspant und naß-

chemisch untersucht. Die Analysenergebnisse (Tafel 1 a) stellen einen Mittelwert der Elemente in den verschiedenen Klingenzonen dar und zeigen für die Gehalte an Silizium, Mangan, Schwefel und Stickstoff niedrige Werte, wie sie bei früheren Untersuchungen anderer frühhistorischer Schwerter ebenfalls festgestellt worden sind (Tafel 1 b). Der Kohlenstoffgehalt von 0,16% ist als verhältnismäßig gering anzusehen, während der Gehalt an Phosphor mit durchschnittlich 0,27% einen hohen Wert darstellt, der im oberen Bereich der bisher bei Damastschwertern festgestellten Gehalte liegt. Der niedrige Arsengehalt zeigt, daß keine Schweißverbindung auf der Basis einer niedrig-schmelzenden Eisen-Arsen-Legierung, wie sie eingangs erwähnt worden ist, vorliegen kann.

Die Damastmusterung ist auf beiden Klingenseiten vorhanden und auf der in Bild 1 b abgebildeten Seite besonders gut ausgeprägt. Die Aufnahme läßt erkennen, daß es sich bei der Musterung um einen Winkeldamast des sogenannten N-Musters handelt, der aus drei nebeneinanderliegenden Streifen unterschiedlicher Orientierung besteht. Außerdem sind aus dem Schrifttum Winkeldamastformen als einfacheres V-Muster und als aufwendigeres W- oder M-Muster bekannt.⁶ Neben Schwertern mit diesen Winkeldamastmustern sind solche mit Rosendamast oder Rosettendamast häufiger gefunden und auch untersucht worden.^{3, 6} Das Schwert der vorliegenden Untersuchung zeigt eine Kombination zwischen Winkel- und Rosendamast in der Art, daß die Grundform als N-Muster vorliegt, die äußeren Streifen aber neben einer Winkelzeichnung Rosettenmuster aufweisen. Eine ähnliche Ausbildung des Musters wurde auch von France-Lanord beschrieben.¹⁰

Über die Klingenlänge wird zweimal ein Wechsel zwischen Winkeldamast und Streifendamast (das ist die einfache längsgerichtete Musterung) beobachtet (Bild 1 b). Diese zwei Musterungsarten sind auf der Klingenvorderseite und -rückseite versetzt angeordnet (Bild 4).

Die Damastmusterung beruht bekanntlich auf einem schichtweisen Aufbau von Zonen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung.^{1, 4, 5} Durch das unterschiedliche Verhalten dieser Zonen z. B. gegenüber Korrosionsangriff war die Musterung bereits ohne Vorbehandlung der Klingenoberfläche gut zu erkennen. Die Makrogefüge der Schichten wurden durch Oberflächenanschliff und Ätzung sichtbar gemacht (Bild 5). Es ist zu erkennen, daß der damaszierte Bereich aus kohlenstoffreicheren (dunklen) Zonen und kohlenstoffarmen (hellen) Zonen besteht. Neben den drei damaszierten Streifen in Klingenmitte wurden helle, kohlenstoffarme Schneidenbereiche am Klingensrand beobachtet. (Die äußeren Bereiche der Schneiden sind im Bild 5 nicht sichtbar, da sie von der Einbettmasse des Schliffes verdeckt werden.)

Die Meßwerte einer Mikrohärtemessung im Flankenbereich zeigten das zunächst überraschende Ergebnis, daß die kohlenstoffarmen Gefügezonen, die rein ferritisch waren, mit einer Vickershärte von rund 245 HV 0,5 eine wesentlich höhere Härte aufweisen als die kohlenstoffreicheren, ferritisch-perlitischen Gefügezonen mit rund 145 HV 0,5. Dieser Befund wird jedoch verständlich, wenn man neben dem Kohlenstoffgehalt der Gefüge auch die Verteilung des Phosphorgehaltes beachtet.

Es zeigte sich, daß die rein ferritischen Zonen phosphorreich, die ferritisch-perlitischen Gefügebereiche dagegen phosphorarm sind. Die gleiche Beobachtung

sowie auch die Verwendung des Phosphors als festigkeitssteigerndes Legierungselement des Ferrits wurde bereits von E. Schürmann bei Untersuchungen an damaszierten Schwertern des Nydam-Fundes beschrieben.¹

Phosphorverteilung und Aufbau des Schwertes werden aus den nach Oberhoffer geätzten Querschliffen in Bild 6 erkennbar. Danach besteht die Klinge aus einer phosphorarmen Kernzone, zwei Flankenzone (damaszierte Bereiche, zusammengesetzt aus jeweils drei Streifen unterschiedlicher Orientierung) und zwei phosphorreichen Schneidenzonen. Diese Zonen sind miteinander durch Feuerschweißen verbunden worden (Bild 7).

Außer den ersten Härtemessungen (Bild 5) wurden weitere Härtebestimmungen in den verschiedenen Gefügezonen an sämtlichen Schliffen durchgeführt, wie Bild 7 am Beispiel des Querschliffes D zeigt. Zur Messung wurde, ebenso wie bei dem vorher beschriebenen Langsax, das Kleinlasthärteprüfgerät „Durimet“ der Firma Leitz (Belastung 500 g) verwendet. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tafel 2 den Querschnitts- und Gefügezonen mit ihren kennzeichnenden Analysengehalten für Kohlenstoff und Phosphor gegenübergestellt.

Aus der Tafel geht ferner hervor, daß in der Kernzone und im Rand des Knaufs kohlenstoffreiche Gefügebereiche mit einem Gehalt von fast 0,8⁰/_o C vorliegen. Wenn man berücksichtigt, daß der als Durchschnittsanalyse gewonnene Wert von 0,16⁰/_o C (Tafel 1 a) von Spänen stammt, die zufällig im Bereich der Kernzonenaufkohlung entnommen wurden, so dürfte der Kohlenstoffgehalt der ganzen Klinge noch niedriger anzusetzen sein.

Die Mikrogefüge der Flankenzone sind aus Bild 8 ersichtlich. Während das ferritisch-perlitische Gefüge ein feines Korn aufweist, ist die rein ferritische Gefügeausbildung durch zahlreiche, meist nur wenig gestreckte, nicht-metallische Einschlüsse und durch ein sehr grobes Korn gekennzeichnet.

Der verhältnismäßig scharfe Übergang vom ferritisch-perlitischen zum rein ferritischen Gefüge fällt mit der Schweißnaht zwischen den beiden Streifen zusammen. Die Schweißnaht ist außerordentlich sauber, d. h. schlackenfrei, so daß ihr Verlauf nicht mehr klar verfolgt werden kann. Diese Beobachtung wurde auch bei früheren Untersuchungen herausgestellt.¹ Sie ist beachtlich, wenn man bedenkt, daß der Schmied über keine modernen Hilfsmittel wie z. B. die Schutzgasglühung zum Vermeiden der Verzunderung verfügte. Im Schliffbild unterscheiden sich die Schweißnaht zwischen den ferritisch-perlitischen und den rein ferritischen Bereichen ganz wesentlich von den im Bild 7 sichtbaren Schweißnaht zwischen den drei Streifen der Flankenzone und zwischen Kernzone und Flankenzone bzw. Kernzone und Schneidzone. Dort liegen entlang den verschweißten Grenzflächen Schlackenanhäufungen vor, wie sie das Feuerschweißen kennzeichnen.

Es scheint in diesem Zusammenhang der Überlegung wert, ob die damaszierten Zonen überhaupt durch Feuerschweißungen entstanden sind. Wie bereits erwähnt wurde, scheidet eine Lötverbindung auf der Basis niedrigschmelzender Eisen-Arsen-Legierungen aus. Jeder Betrachtung von Entmischungserscheinungen in kohlenstoffarme, phosphorreiche Phasen einerseits und kohlenstoffreichere, phosphorarme Phasen andererseits, die im Dreistoffsystem Fe-C-P auftreten können, steht die mangelnde Erklärungsmöglichkeit der zweifellos bewußt erzeugten Musterung gegenüber. Daß es sich tatsächlich um Schweißen handelt, darf nach neueren Schrifttumsangaben, wonach zur Erzeugung künstlicher Steigerungen für Untersuchungen der Gefügezeitigkeit mehrere Plättchen unterschiedlicher chemi-

scher Zusammensetzung zusammengeschweißt worden waren und dabei ebenso saubere Schweißverbindungen erhalten wurden wie in den damaszierten Zonen, als möglich angenommen werden.¹⁶

Das Gefüge der Schneidenzonen ist rein ferritisch. Die Korngröße wechselt stellenweise sprunghaft von mittlerer zu sehr grober Ausbildung (ASTM 7 bzw. 1).

An einigen Stellen der Schneidzone wurde Martensit gefunden. Die Entstehung eines solchen Härtingsgefüges setzt eine beschleunigte Abkühlung von Temperaturen oberhalb des Umwandlungspunktes voraus, sie kann also nicht als zufällig angesehen werden. Die Bereiche mit Härtingsgefüge sind so vereinzelt, daß die ermittelte Härte der Schneiden von 170 bis 220 kp/mm² HV 0,5 kennzeichnend für die Klinge im jetzt vorliegenden Zustand ist. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Waffe im Gebrauchszustand härtere Schneiden aufwies, die auf erheblich höhere Anteile von Martensit am Gesamtgefüge zurückgingen, durch Verrosten aber verlorengegangen sind.

Die metallographische Untersuchung des Schwertknaufes ergab, daß das Teil aus einem Stück mit einer der Klingenkernzone ähnlichen Gefügeausbildung gefertigt worden ist. Der Kohlenstoffgehalt liegt, abgesehen von einem Randgebiet mit rund 0,8%, bei durchschnittlich 0,2%, und der Phosphorgehalt ist nach den Oberhoffer-Ätzungen als verhältnismäßig gering anzunehmen. Dementsprechend ergaben die Härtemessungen Werte zwischen 380 und 140 kp/mm² HV 0,5. Das Mikrogefüge des Querschnitts zeigt eine gleichmäßige, feinkörnige ferritisch-perlitische Ausbildung, während in der aufgekohlten Zone eine sorbitisch-perlitische Gefügeausbildung vorlag.

3. Zusammenfassung

Untersuchungen an einem „Langsax“ sowie an einer damaszierten Spatha aus fränkischen Gräbern des 9. Jahrhunderts führten zu folgenden Ergebnissen:

- a) Der „Langsax“ war aus einem Ausgangsstück geschmiedet. Der Schneidenteil der Klinge sowie die Angel waren im Einsatz aufgekohlt und beschleunigt abgekühlt worden. Eine durchschnittliche Kohlenstoffanalyse ergab im Schneidenbereich einen Wert von 0,79%. Die unterschiedlich starke Aufkohlung der einzelnen Schwertzonen ließ auf eine schrittweise Zementation kleinerer Klingengebiete schließen.
- b) Die damaszierte Spatha wurde aus insgesamt 9 verschiedenen Ausgangsstäben gefertigt, die durch Feuerschweißen verbunden wurden.

Im einzelnen bestand das Schwert aus einem kohlenstoffreichen und phosphorarmen Mittelteil, zwei phosphorreichen und kohlenstoffarmen Schneidenzonen sowie den damaszierten Flankenbereichen, die beidseitig aus je drei Einzelstreifen in Form einer Kombination von Winkel- und Rosendamast und, damit abwechselnd, aus Streifendamast gefertigt waren.

Die damaszierten Bereiche ließen abwechselnd Lagen aus phosphorarmem und kohlenstoffreichem ferritisch-perlitischem Gefüge und härterem phosphorreichem und kohlenstoffärmerem ferritischem Gefüge erkennen.

*

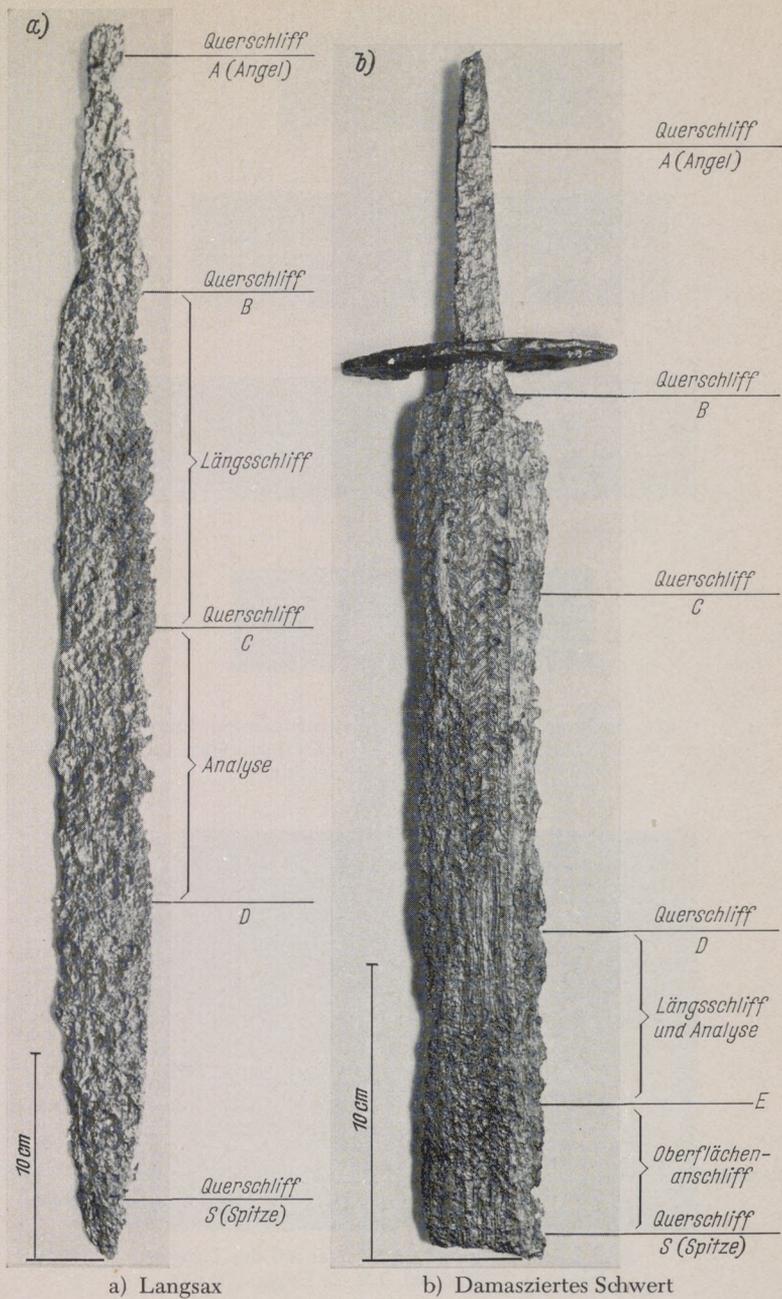
Die Verfasser danken dem Historischen Verein für Württembergisch Franken, vor allem Herrn Dr. med. W. Dürr, für die Überlassung der Schwerter und die Genehmigung zur Untersuchung.

Schrifttum

- ¹ Schürmann, E.: Archiv für das Eisenhüttenwesen 30 (1959), S. 121/26.
- ² Becker, G.: Archiv für das Eisenhüttenwesen 32 (1961), S. 661/65.
- ³ Neumann, B.: Archiv für das Eisenhüttenwesen 1 (1927/28), S. 241/44.
- ⁴ Piaskowski, J.: J. Iron Steel Inst. 202 (1964), S. 561/68.
- ⁵ Schulz, E. H.: Technische Beiträge zur Archäologie I (1959), S. 46/64.
- ⁶ Böhne, C.: Archiv für das Eisenhüttenwesen 34 (1963), S. 227/34.
- ⁷ Mathesius, W.: Stahl und Eisen 32 (1912), S. 1502.
- ⁸ Mertens, G.: Stahl und Eisen 7 (1887), S. 678/80.
- ⁹ Notitia Dignitatum Edition Böcking Bonn 1839 bis 1853 II, S. 93/94.
- ¹⁰ France-Lanord, A.: Mém. Sci. Rev. Met. 49 (1952), S. 411/19.
- ¹¹ Beck, L.: Die Geschichte des Eisens, Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1890/91.
- ¹² Lauts, J.: Wehr und Waffen, eine Fibel, L.-Staackmann-Verlag, Leipzig 1943.
- ¹³ Johannsen, O.: Geschichte des Eisens, 3. Auflage, Düsseldorf 1953.
- ¹⁴ Dürr, W.: Persönliche Mitteilung.
- ¹⁵ Schürmann, E.: Stahl und Eisen 78 (1958), S. 1297/1308, siehe dort weitere Schrifttumshinweise.
- ¹⁶ Peter, W., u. H. Finkler: Archiv für das Eisenhüttenwesen 34 (1963), S. 605/16.

*

Die Druckstöcke zu den Bildtafeln wurden freundlicherweise vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, zur Verfügung gestellt.



a) Langsax

b) Damaziertes Schwert

Bild 1.

Ansicht der untersuchten Schwerter mit Lage der Schliff- und Analysenentnahmestellen.

H. - E. Bühler, Chr. Straßburger und G. Morck:
Werkstoffkundliche Untersuchungen an zwei Schwertern aus fränkischen Gräbern des 9. Jahrhunderts.

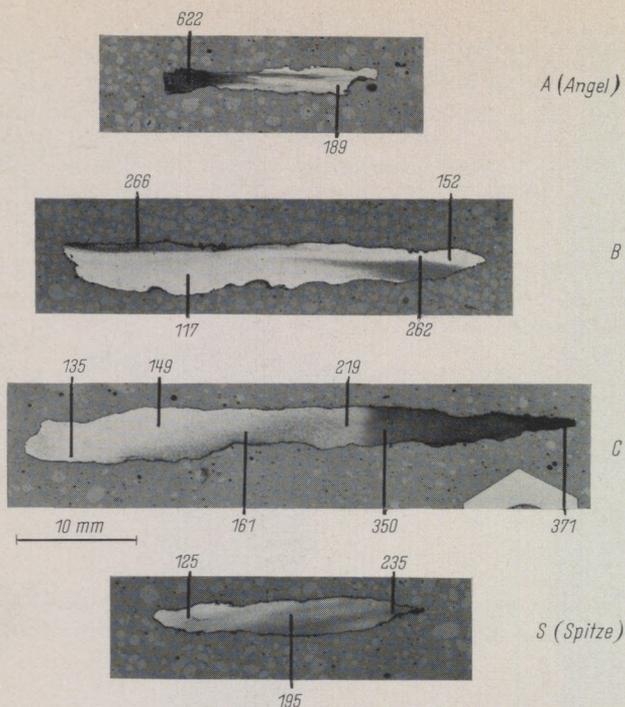


Bild 2. Makrogefüge und Härte in verschiedenen Querschnittszonen des Langsax [alkohol. HNO_3 ; Härteangaben in HV 0,5 (kg/mm^2)] (rd. 1,5 : 1, Original 2 : 1).



Bild 3. Makrogefüge im Klingenteil des Langsax (alkohol. HNO_3) (rd. 1,2 : 1, Original 2 : 1).

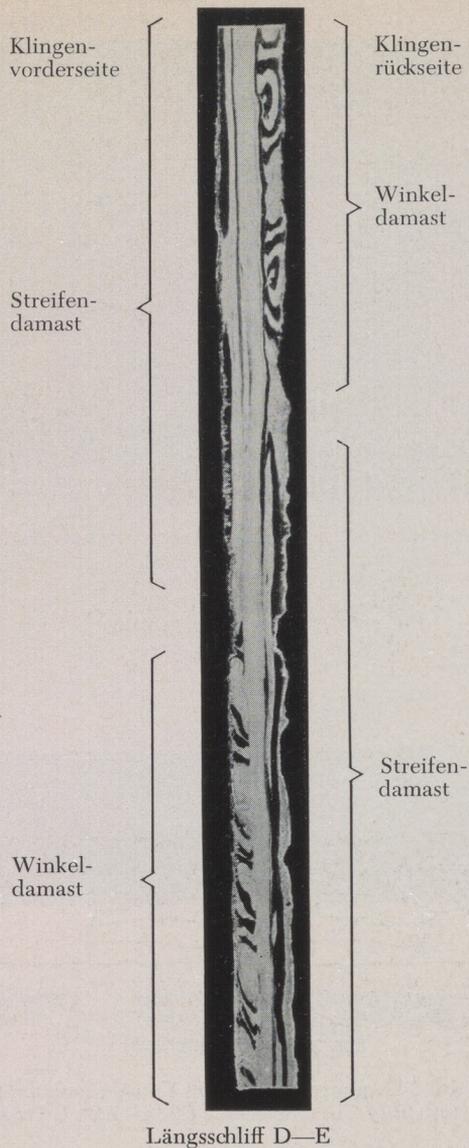


Bild 4. Wechsel zwischen Streifen- und N-Muster entlang der Klingenslänge und zwischen Vorder- und Rückseite Ätzung nach Oberhoffer (2 : 1).

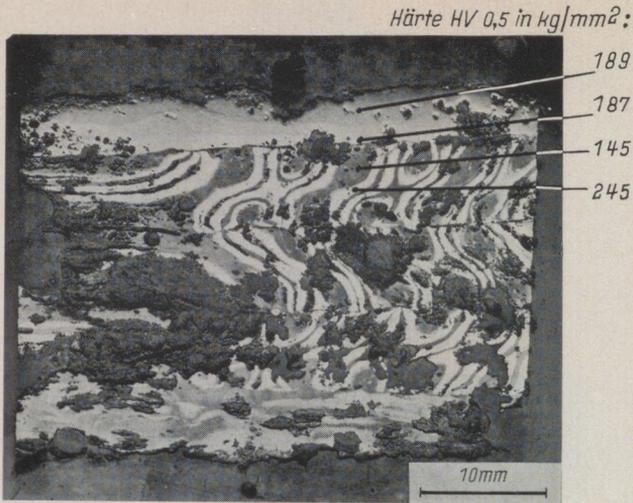


Bild 5. Gefügeunterschiede in der Damastmusterung nach Ätzen mit Natriumthiosulfat (rd. 1,6 : 1, Original 2 : 1).

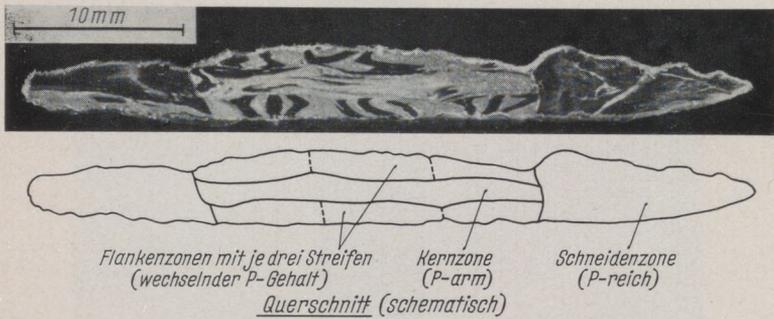


Bild 6. Phosphorverteilung im Klingenschnitt (Schliffage nach Bild 1 b, Querschliff D) (rd. 2,2 : 1, Original 2 : 1).

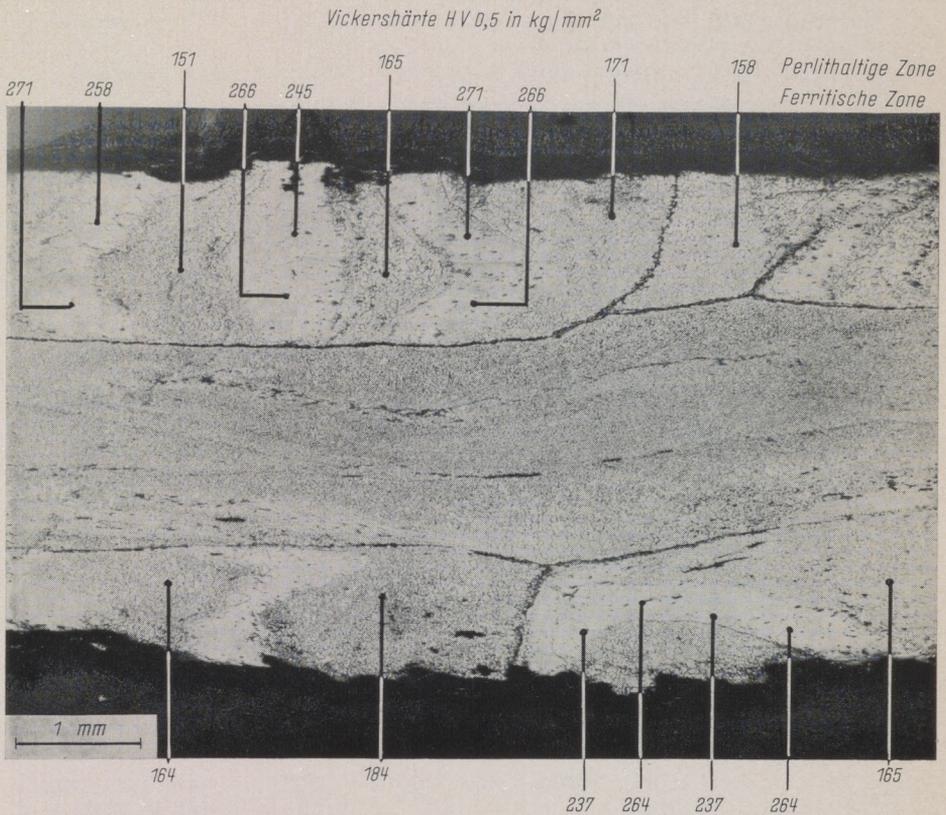


Bild 7. Härtemessungen (Vickershärte HV 0,5 in kg/mm²) in den unterschiedlichen Gefügebereichen der Flankenzone. Ausschnitt aus der Mitte vom Querschliff D (alkohol. HNO₃) (16 : 1, Original 20 : 1).

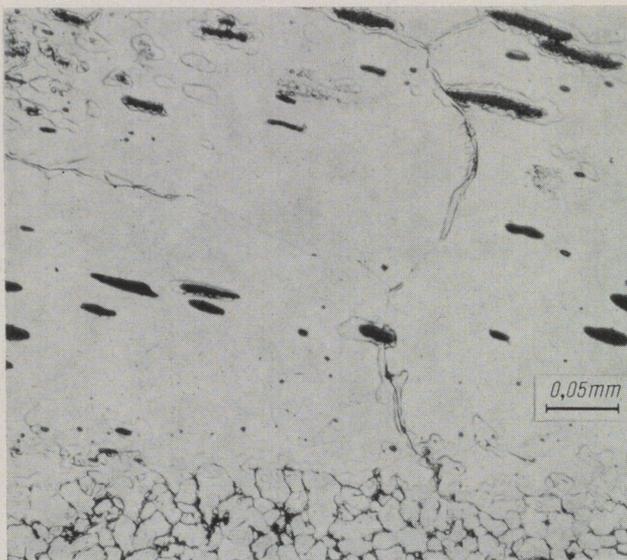


Bild 8. Gefügeausbildung in der Flankenzone (alkohol. HNO_3)
(rd. 180 : 1, Original 200 : 1).

T a f e l 1 a
Chemische Zusammensetzung der untersuchten Schwerter (Naßanalyse)

		C ‰	Si ‰	Mn ‰	P ‰	S ‰	N ‰	As ‰	Cr ‰
a) Langsax	1	0,79	0,00	0,030	0,016	0,005	< 0,002	0,012	n. b.
	Querschnittszone 2	0,67	0,00	0,035	0,012	0,004	< 0,002	0,008	n. b.
	3	0,32	0,00	0,035	0,013	0,004	< 0,002	0,009	n. b.
b) damasziertes Schwert		0,16*	0,04	0,01	0,27*	0,014	0,005	0,027	0,01

* Erläuterungen hierzu im Text

T a f e l 1 b
Chemische Zusammensetzung von Schwertern und Messern aus Untersuchungen
des Schrifttums

	C ‰	Si ‰	Mn ‰	P ‰	S ‰	N ‰	As ‰	Cr ‰
Nydam 3. Jh. n. Chr. [1]								
Schwert A	0,29/52	0,061	0,03	0,117/161	0,013	0,018	<0,01	n. b.
B	0,42	0,003	0,016	0,211	0,020	n. b.	<0,01	n. b.
C	0,52	0,107	0,016	0,146	0,011	0,007	<0,01	n. b.
Römisches Schwert [2]	0,08	n. b.	n. b.	0,112	0,004	0,003	0,87	n. b.
Römisches Schwert (Nydam) [3]	0,62	0,15	0,363	0,054	0,073	n. b.	n. b.	n. b.
Danzig und Krakau 11. bis 14. Jh. [4]	n. b.	n. b.	0,00	0,15/39	0,00 0,06	n. b.	n. b.	n. b.
Fränkisches Schwert [10]	0,045	0,11	n. b.	0,04	0,016	n. b.	n. b.	n. b.
Römische Schwerter								
Worms [5]	≤0,1/0,8	n. b.	n. b.	0,095/135	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
ZM 2851 [5]	≤0,1/0,5	n. b.	n. b.	0,104/112	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
H [5]	≤0,1/0,8	n. b.	n. b.	0,131/150	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Mainz [5]	0,5/0,7	n. b.	n. b.	0,02	n. b.	0,01	n. b.	n. b.

H. - E. Bühler, Chr. Straßburger und G. Moreck:
Werkstoffkundliche Untersuchungen an zwei Schwertern aus fränkischen Gräbern des 9. Jahrhunderts.

T a f e l 2
 Aufbau des damazierten Schwertes und Härte der einzelnen Querschnitts-
 und Gefügezonen

Querschnitts- zone	Gefüge	Chem. Zusammensetzung in ‰		Kleinlasthärte HV 0,5 in kp/mm ² ****
		C	P	
Schneide	Ferrit	0,096*****	0,1/0,5***	170 bis 220
Kern	Ferrit/Perlit	0,10/0,20* (0,8)	≤ 0,1**	180 bis 210 (320 bis 350)
Flanke	Ferrit	—	0,7***	230 bis 280
	Ferrit/Perlit	0,10/0,20*	≤ 0,1***	130 bis 180
Knauf	Ferrit/Perlit	0,2 (0,8)*	0,1**	130 bis 180 (290 bis 380)

* Gehalte geschätzt nach Gefügeausbildung — ** Angaben geschätzt aus Oberhoffer-Ätzbild — *** Ergebnisse der Elektronenstrahl-Mikrosonde — **** Bereich von jeweils rund 20 Einzelmessungen — ***** Naßchemisch bestimmt