Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 63 (1991)

Artikel: Der Werkstoff Stahl im Altertum

Autor: Presslinger, Hubert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-378263

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Werkstoff Stahl im Altertum

Dr. Hubert Preßlinger
St. Lorenzen 45
A-8784 Trieben
und
Dr. Hans Jörg Köstler
Grazer Str. 27
A-8753 Fohnsdorf

Wegen seiner breitgefächerten Eigenschaften ist Stahl heute im Automobilbau, im Nutzfahrzeugbau, im Maschinen- und Anlagenbau, in der chemischen Industrie, in der Energietechnik, im Brücken- und Schiffsbau, in der Umweltschutztechnik, bei Haushaltsgeräten, in der Medizin bis hin zur modernen Luft- und Raumfahrt **der technologietragende Werkstoff.**

Diese Allgegenwärtigkeit des Stahles und seine selbstverständliche Nutzung durch die Gesellschaft führte zu einer klaren Begriffsbestimmung von Eisen und Stahl.

Das Wort Eisen bezeichnet sowohl das chemisch reine als auch das technische Eisen[1]. Das technische Eisen unterscheidet sich vom chemisch reinen Eisen dadurch, dass es neben dem Element Eisen noch andere Elemente, Metalle und Nichtmetalle, enthält. Den wichtigsten Platz unter diesen Beimengungen nimmt der Kohlenstoff ein. Er beeinflusst auch massgebend die begriffliche Einteilung des technischen Eisens. Bild 1 zeigt schematisch die grundlegende Untergliederung des Eisens. Die Unterteilung des Stahles erfolgt hierin nach Gewinnungsverfahren in Eisenschwamm (im festen Zustand gewonnen), Schweissstahl (im teigigen Zustand gewonnen) und Flussstahl (im flüssigen Zustand gewonnen).

Nach der Europäischen Norm EN 10020 werden als **«Stahl»** die Werkstoffe bezeichnet, deren Massenanteil an dem Element Eisen grösser ist als der jedes anderen Elementes, und die im allgemeinen weniger als 2% Kohlenstoff aufweisen sowie andere Elemente enthalten. Der Wert von 2% Kohlenstoff wird als Grenzwert für die Unterscheidung zwischen Stahl und Roheisen betrachtet[2] (einige Chromstähle enthalten mehr als 2% Kohlenstoff).

Die kurze Begriffsdefinition ist notwendig, da man es in der prähistorischen bzw. historischen Zeit in Europa mit Ausnahme von einigen Fehlschmelzen nach dem derzeitigen Wissensstand mit «Rohstahl» und mit «Stahl» zu tun hat. Hierbei wird mit Rohstahl jenes Produkt definiert, das nach Schmelzen von Eisenerz im Rennofen aus dem Ofen (Schmelzgrube) entnommen und durch Schmieden zu Gebrauchsgegenständen geformt wurde.

Wann und wo Stahl zuerst verwendet wurde, ist nicht bekannt. Vermutet wird, dass zuerst Meteorite verarbeitet wurden. Anhaltspunkte für eine gewisse frühzeitige Handhabung von Stahl meteoritischer Herkunft geben Untersuchungen archäologischer Funde aus dem 4. Jahrtausend vor Christus aufgrund des hohen Nickelgehaltes[3,4].

Bild 2 zeigt eine Auswertung mit einer Mikrosonde an einem Metalleinschluss in einer Grundmasse, die aus Olivinen und Pyroxenen besteht. Aus der

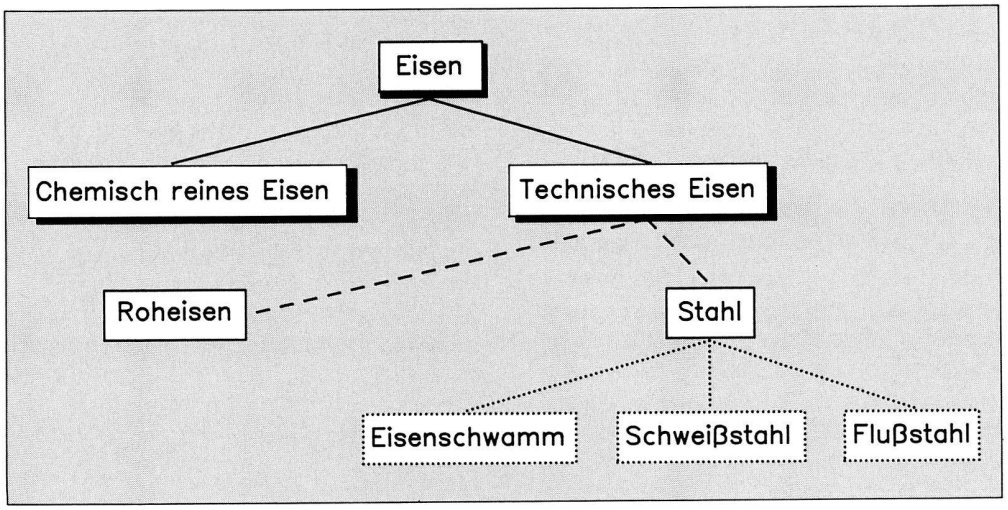
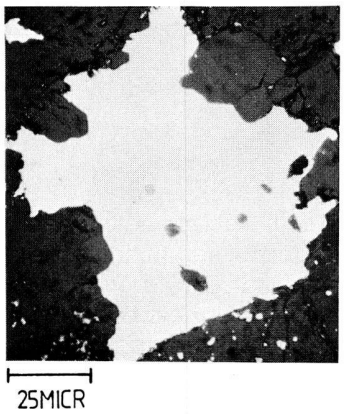


Bild 1: Grundlegende Untergliederung des Eisens[1].



Gew.–%	Fe	Mg	Si	P	Ca	Cr	Co	Ni	Area%
Ni 5–8,5%	91,08	0,12	0,04	0,02	0,02	0,02	0,59	6,89	35,4
Ni 8,5–12,5%	87,79	0,07	0,02	0,01	0,01	0,03	0,50	10,45	4,5
Ni 12,5–17%	83,54	0,02	0,00	0,01	0,01	0,06	0,42	14,42	4,4
Ni 17–25%	78,08	0,09	0,00	0,01	0,01	0,07	0,33	19,78	3,1
Ni 25–33%	69,12	0,84	0,37	0,01	0,02	0,05	0,25	27,13	0,7
Ni >33%	57,95	0,11	0,05	0,01	0,02	0,05	0,19	39,51	0,2

Tabelle 1: Mittlere Zusammensetzung der metallischen Phase im Meteoriten CHELA, Fundort Tansania.

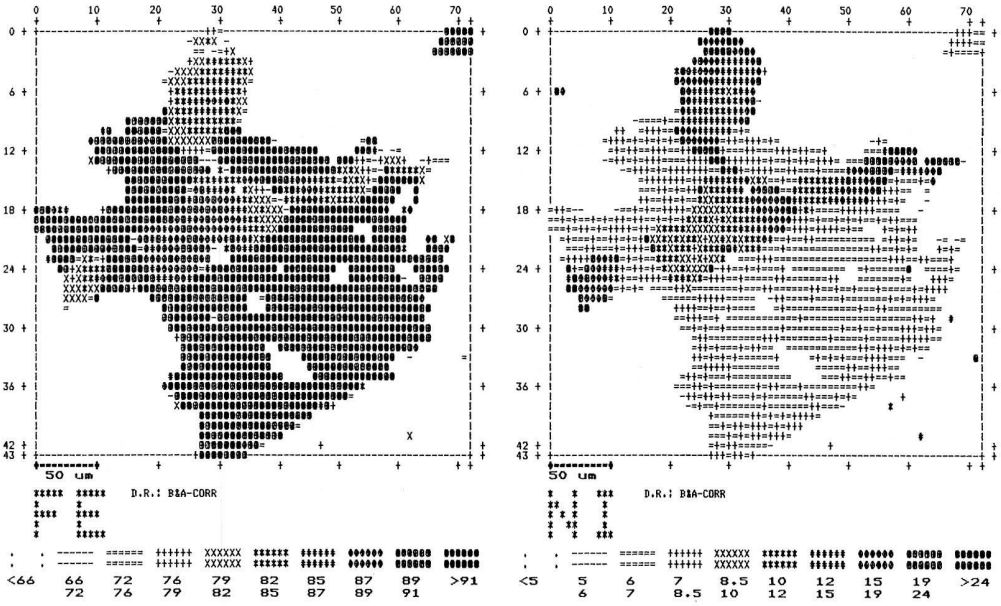


Bild 2: Schliffbild und Konzentrationsverteilung von Fe und Ni des untersuchten Meteoriten CHELA, Fundort Tansania.

Phasenanalyse (siehe Tabelle 1) ist klar erkennbar, dass das Metall als eine Eisen-Nickel-Legierung mit einem geringen Gehalt an Kobalt zu bewerten ist. Weiter erkennt man, dass der Metalleinschluss aus Komponenten mit unterschiedlichem Nickelgehalt aufgebaut ist. Das Ergebnis dieser dargestellten Untersuchung stammt vom Meteoriten Chela, Tansania (die Probe wurde vom Naturhistorischen Museum Wien, Univ.-Prof. Dr. Kurat, zur Verfügung gestellt).

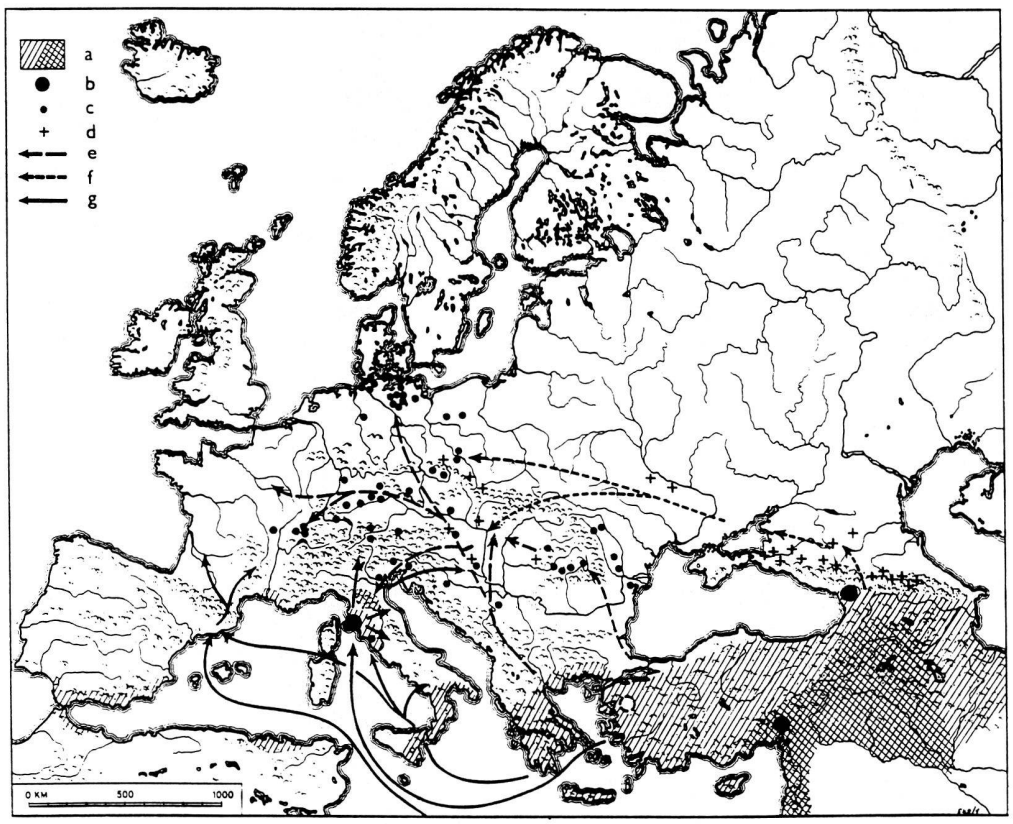
Das erste von Menschen genutzte Eisen war nach heutigen Begriffen ein mit Nickel legierter Stahl. Ein in Ur (Mesopotamien) gefundenes Stück eines Dolches stammt aus der Zeit um 3100 vor Christus, es besteht aus Stahl mit 10,8 % Nickel. Auch ein Dolch mit goldbelegtem Griff und einige andere Geräte aus dem Grabschatz Tut-Ench-Amuns aus der Zeit um 1350 vor Christus sind aus Meteoreisen gefertigt, denn sie enthalten ungefähr 9 % Nickel[3,4].

Dass sich vom Meteoreisen aus eine Eisenkultur entwickelt hat, ist unwahrscheinlich. Zur Entfaltung einer Eisenkultur bedarf es terrestrischen Eisens als Gebrauchsmetall. Vieles spricht nach heutigem Wissensstand dafür, dass das Verfahren, im Rennofen mittels Holzkohle schmiedbare Luppen herzustellen, etwa im 15. Jahrhundert vor Christus im Bereich der heutigen Türkei, im Reich der Hethiter, und im Bereich des südlichen Kaukasus entwickelt wurde[5] (Bild 3).

In Texten aus der Hammurabizeit erscheint eine knappe Notiz über Stahl, der hervorragende Schneiden für Dolch, Schwert, Speer, Messer und Beil lieferte. Nach dem Untergang des Hethiterreiches um etwa 1200 v. Chr. wurde das Geheimnis der Stahlherstellung durch auswandernde oder deportierte Schmiede in die benachbarten Länder des Mittelmeergebietes, z. B. Griechenland und Italien, weitergegeben.

Bild 3: Richtung der Ausbreitung von Stahl und der metallurgischen Kenntnisse in Europa zur Spätbronzezeit nach R. Pleiner[5].

a) Gebiete mit Zivilisation des Eisens
b) festgestellte Verhüttungszentren
c) Eisenfunde der Spätbronzezeit (etwa HB_3)
d) Eisengegenstände der östlichen Typen, Spätbronzezeit
e) vermuteter thrako-venetoill-yrischer und protokeltischer Weg
f) kimmerischer Weg
g) griechisch-phönizischer und etruskischer Weg



Die Etrusker betrieben schon zu Beginn des 6. Jahrhunderts v. Chr. auf der Insel Elba mit den dort vorhandenen hochwertigen Erzen eine blühende Stahlindustrie. Hier gab es riesige Vorkommen, die dicht unter der Erdoberfläche lagen, so dass die etruskischen Bergleute glaubten, die Minen füllten sich durch Zauberei von selbst wieder auf[6].

Um 400 v. Chr. war Populonia (Etrurien) eine grosse Industriestadt. In der Blütezeit bestand Populonia aus zwei Zonen. Am Meer lag der Industriesektor mit seinen Verhüttungsöfen, Schmieden und Giessereien sowie dem Erzhafen, im oberen Teil der Stadt, der wohlgeschützt vor dem Lärm und den Gerüchen der Industriezone auf einem Vorgebirge lag, standen die Wohnhäuser.

In der Hallstattzeit, etwa von 750 bis 450 v. Chr. beginnt die mitteleuropäische Eisenzeit[7]. Der Stahl kommt hier schon am Beginn der Periode zur Geltung, und zwar in grossen Mengen, zunächst für die Anfertigung von Schmuck, bald darauf für Waffen und Werkzeuge. **Die grösste technische und kulturelle Leistung der Bevölkerung in der Hallstattzeit war die Einführung des Stahles als Nutzmetall.**

Die Urbewohner in den Alpen waren exzellente Metallurgen, sie konnten bereits zu Beginn der Hallstattzeit auf eine über 1000-jährige Erfahrung in der Kupferverarbeitung zurückblikken. Sie beherrschten die Erschmelzung von Rohkupfer aus Kupfererzen in eigens dafür angelegten Verhüttungsanlagen[8,9]. Bild 4 zeigt in einem Schema die einheitliche Bauweise der bronzezeitlichen Kupferhütten, die sich wie folgt charakterisieren lässt:

- Zuerst wurden Arbeitspodien stufenförmig gegraben und mit gestampftem Lehm planiert.
- Auf dem höchstgelegenen Arbeitspodium wurde, durch eine Steinsetzung umfasst, das Röstbett schichtförmig aufgebaut, wobei eine nach ihrer Funktion noch nicht eindeutig geklärte Unterteilung in mehrere Segmente üblich war.
- Neben dem Rösten erfolgte auf dem oberen Arbeitspodium auch die diskontinuierliche Beschickung der Schachtöfen mit geröstetem Erz, Zuschlägen und Holzkohle.
- Dem Materialfluss folgend wurden auf dem tieferen Arbeitspodium die Schachtöfen in die Geländestufe eingesetzt. Als kleinste Einheit arbeiteten mindestens zwei Schachtöfen.
- Auf dem unteren Arbeitspodium wurde neben dem Abstechen der

flüssigen Schlacke und dem Ziehen des festen Schwarzkupferkuchens aus dem Schachtofen auch der Wind mit Hilfe von Blasebälgen durch Düsen eingeblasen.

- Die abgestochene Schlacke (Laufschlacke) wurde nach dem Erstarren gebrochen und hangabwärts auf Halde geworfen.

Die angeführten Ergebnisse stammen aus Befunden archäologischer Grabungen an verschiedenen Kupfererzverhüttungsplätzen in den Ostalpen[8,9].

Der Gehalt an unerwünschten Begleitelementen im Rohkupfer wurde durch Umschmelzen und Raffinieren in metallurgischen Öfen, die in benachbarten Siedlungen lagen, gesenkt. Durch Legieren erzielte man ferner bestimmte Eigenschaften der Kupferlegierungen. Im Bild 5 sind zwei einfache Produkte als Beispiele für zwei unterschiedliche Erzeugungsarten dargestellt, nämlich eine Nadel und ein Schmuckstück. Die Nadel wurde durch Verformung, das Schmuckstück (Triangel) durch Giessen hergestellt. Der jeweiligen Anwendung des Metallproduktes wurde bereits zu jener Zeit die Kupferlegierung angepasst.

In diese Hochblüte der Kupfererzeugung und -verarbeitung drängte ein neuer Werkstoff, nämlich «Stahl». Wie auch immer die Kunst der Stahlherstellung nach Mitteleuropa gelangt sein mag, sie fiel auf fruchtbaren Boden. Dank früherer Erfahrungen mit Kupfer und Bronze wurden die metallverarbeitenden Völker in Mitteleuropa rasch zu fachkundigen Stahlverarbeitern. Sie lernten die Herstellung der Luppe (ein Gemenge aus Rohstahl und Schlacke) und deren Verarbeitung durch Hämmern. Die Qualität des Stahls hing nicht so sehr vom Schmelzvorgang als von der Erfahrung und Geschicklichkeit des Schmiedes ab[7].

Zu den Hauptaufgaben des keltischen Schmiedes zählte die Anfertigung von Waffen. Die keltischen Heerscharen waren nicht nur aufgrund ihrer Tapferkeit und ihres Mutes, sondern auch wegen ihrer Bewaffnung ge-

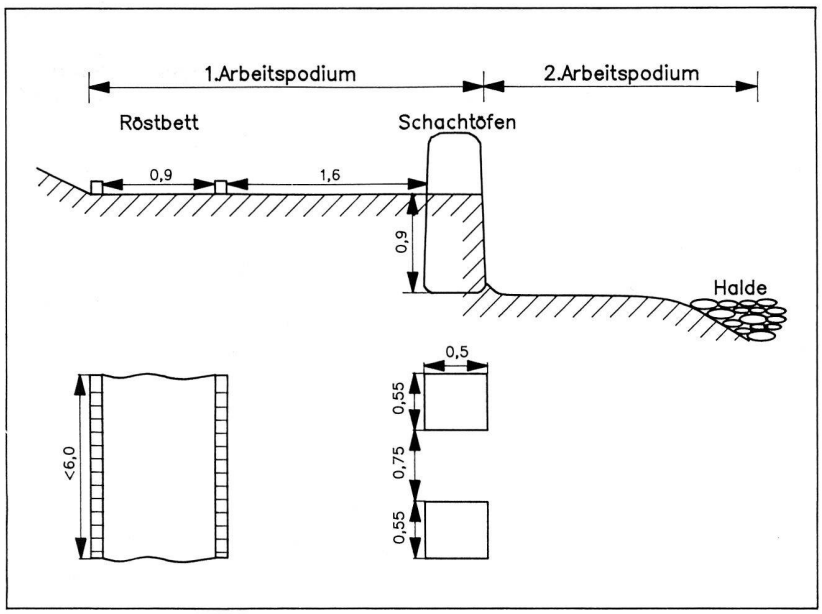
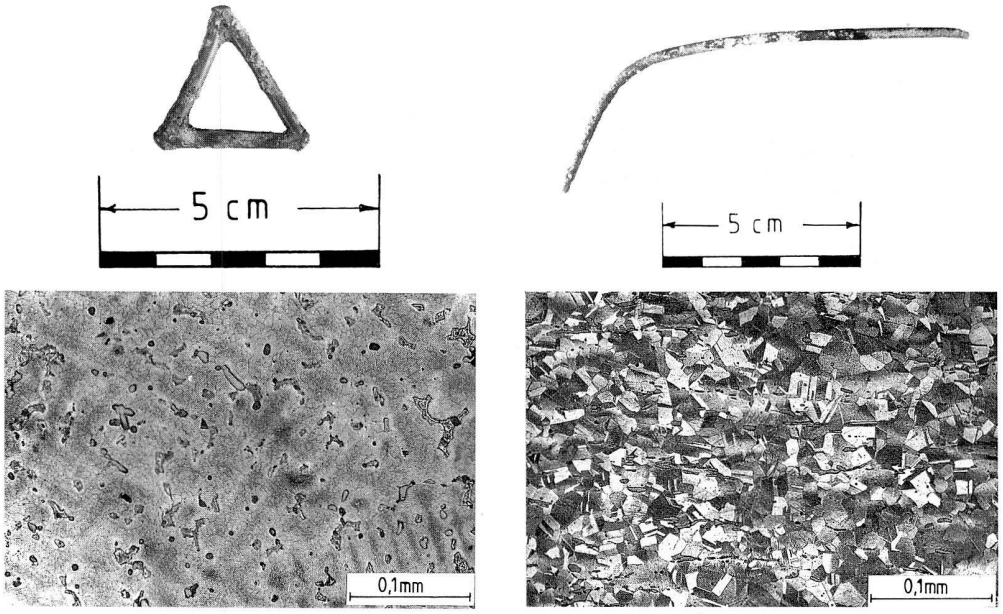


Bild 4: Skizze von Verhüttungsanlagen der Bronzezeit, gezeichnet nach montanarchäologischen Grabungsergebnissen[8,9] (Bemassung in Meter).



Triangel	Cu	Sn	Pb	As	Co	Sb
Gew.–%	83,6	10,7	1,4	n.b.	0,01	n.b.

Nadel	Cu	Sn	Pb	As	Co	Sb
Gew.–%	89,1	8,1	0,52	1,8	0,22	0,16

Bild 5: Metallographische Untersuchungsergebnisse spätbronzezeitlicher Metallfunde aus der Siedlung Kaiserköpperl, Gemeinde Rottenmann, Österreich.

fürchtet. Mit besonderer Sorgfalt widmete sich der Schmied der Herstellung der bis zu 80 cm langen Stahlschwerter. Die Klinge sollte möglichst scharf und hiebfest, gleichzeitig aber auch biegsam sein. Die Festigkeit des neuen Materials wurde erkennbar ausgenutzt, denn die Klingen der Messer, Schwerter oder Beile bestanden aus Stahl, und die Griffe bzw. Schäftungsteile wurden weiterhin aus Bronze gegossen. Der Stahl wurde ganz von Anfang an auf heimischem Boden gewonnen. Die unzulänglichen Forschungsarbeiten haben zwar noch keine Schmelz- und Verarbeitungsstätten gefunden, doch können sie mit Sicherheit angenommen werden, ist doch aus Stahl verfertigtes Fundgut typisch für das Alpengebiet[7].

Die Herstellung von Werkzeugen und Geräten bildete einen weiteren Schwerpunkt der Tätigkeit des keltischen Schmiedes. Das «Erzeugungsprogramm» umfasste eine grosse Zahl von Werkzeugen, z. B. Äxte, Sägen, Bohrer, Raspeln zur Holzbearbeitung sowie Hämmer, Zangen, Meissel und Punzen für das Metallhandwerk. An landwirtschaftlichen Geräten seien Schaufel, Erdhacke, Pflugschar, Sense, Sichel und Erntemesser erwähnt. Auch im Haushalt waren eiserne Gerätschaften unentbehrlich, z. B. Fleischmesser, Schere, Bratspiess, Kesselhaken, Schlüssel, Möbelbeschläge.

Welches waren die Gründe, dass der Werkstoff «Stahl» gegenüber den Kupferlegierungen siegreich blieb? War doch die Gewinnung des Stahles aus Erzen im Rennofen metallurgisch um vieles schwieriger. Anzuführen ist die Verbesserung der Werkstoffeigenschaften, was am Fertigprodukt «Schwert», dem Lieblingsobjekt des Mannes in der Urzeit, nun beispielhaft abgehandelt wird.

Die Bronzeschwerter der Urnenfelderzeit wurden gegossen und anschliessend geschärft. Der Griff wurde extra gegossen und mit der Schneide vernietet.

Dazu ein Zitat[10] aus Homers Ilias:
«Hurtig zog der Atride das Schwert voll silberner Buckeln.
Schwang es und hieb auf den Bügel des Helms, doch dreifach und vierfach barst die Klinge daran ihm entzwei und entsank seinen Händen.»

Diese Textstelle führt klar vor Augen, dass die Schwerter aus Bronze wohl eine bestimmte Festigkeit besassen, aber wegen der Gussfehler unter starker Hiebbelastung (also Biegebeanspruchung) brachen[11]. Dass die Substitution von Bronze durch Stahl nicht spontan zu einer Verbesserung geführt hat, verdeutlichen zwei lateinische Literaturstellen[12].

So berichtet Plutarch von der Schlacht an der Allia zwischen Römern und Galliern (387 v. Chr.):
«Die gallischen Schwerter, die aus einem weichen Eisen bestanden und nicht gehärtet waren, verbogen sich leicht und zerbrachen in zwei Stücke.»

Noch ausführlicher beschreibt der griechische Schriftsteller Polybius (202 bis 120 v. Chr.) dieses Ereignis:
«Die Römer hatten in den vorhergehenden Kämpfen beobachtet, dass bei dem ungestümen Angriff der Gallier deren Eisenschwerter furchtbar waren. Aber schon nach dem ersten Hieb waren sie sofort verbogen, so dass die gallischen Krieger das Schwert auf die Erde stützen und mit dem Fuss geradebiegen mussten und der zweite Schlag bereits ohne Wirkung war.»

Beide Literaturbelege sollten nicht so verstanden werden, dass alle Produkte aus Stahl schlecht waren, doch verlangte die Erzielung einer bestimmten Festigkeit ein hohes Mass an Können. Diese Festigkeit wurde durch eine bereits in der «La-Tène-Zeit» angewandte Schmiedetechnik, die Technik der Damaszierung, erreicht.

In den Funden von La Tène am Neuenburgersee, die zeitlich dem 2. bis 1. Jahrhundert v. Chr. zuzurechnen sind, wurde eine grössere Anzahl Schwerter mit einem Schlangenmuster gefunden, das sich über die ganze Länge der Klinge hinzieht[4,12]. Der «Schlangendamast» ist die früheste und einfachste Form der Damaststahlherstellung in Mitteleuropa, bei der Stahlstreifen mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten durch Schmieden miteinander verschweisst wurden, wobei durch Verdrehen und Teilungen mit Aufeinanderlegen verschiedene Muster erreicht werden konnten.

Neben der Verbesserung der Werkstoffeigenschaften war auch die Verfügbarkeit des Werkstoffes ein Faktum

für die Anwendung von Stahl. Wenn man bedenkt, dass zur Zeit Kaiser Augustus' bei den Römern 50 Legionen unter Waffen standen, und berücksichtigt man die Bewaffnung der vor den Grenzen des römischen Reiches stehenden Feinde, ist unschwer abzuleiten, dass die Verfügbarkeit eines Werkstoffes für die Waffenherstellung gesichert werden musste.

Obwohl es nicht Aufgabe dieser Veröffentlichung ist, über mögliche Verfahrensabläufe, Ofenkonstruktionen oder aufgestellte Theorien der Stahlgewinnung im Altertum zu schreiben, sollte doch zusammenfassend die «direkte Stahlgewinnung» (Bild 6) kurz erörtert werden.

Im Schachtofen wurden von oben (= an der Gicht) Holzkohle, geröstetes Erz und Zuschläge aufgegeben. Von unten wurde mit Hilfe von Blasebälgen erzeugter künstlicher Wind (= Luft) eingeblasen. Man spricht so vom Gegenstromverfahren «Erz von oben, Wind von unten». Dabei erfüllte der künstlich erzeugte Wind einerseits die Aufgabe, den Sauerstoff für die chemische Reaktion mit Kohlenstoff herzugeben und durch die exotherme Reaktion Wärme zu erzeugen. Andererseits erwärmte sich das entstandene Gas am Reaktionsort und stieg im Schachtofen auf. Dabei gab das Gas seine Wärme an das herabsinkende Erz und an die Zuschläge schon im Oberofen ab. Somit wurden das Erz und die Zuschläge im Oberofen erwärmt und, wenn Feuchtigkeit vorhanden war, diese gleichzeitig ausgetrieben.

Beim weiteren Absinken des hochfesten, körnigen Erzes im Schacht wurde dieses durch das CO-haltige Gas zu metallischem Eisen reduziert und aufgekohlt (reduzierender Ofenbereich, indirekte Reduktion). Gleichzeitig schmolzen die Gangmaterialien (SiO_2-Al_2O_3-MgO-FeO-Verbindungen) und bildeten mit den Zuschlägen nach dem Niedertropfen eine flüssige SiO_2-reiche Eisenoxidschmelze. Das reduzierte, aufgekohlte, aber feste Eisen, dessen geometrische Form gemäss den Erzkörnern zumeist erhalten blieb, wanderte durch die flüssige Schlacke (hoher FeO-Gehalt = oxidierender Ofenbereich), wo das aufgekohlte Eisen entkohlt wurde und danach, ohne jemals geschmolzen gewesen zu sein, am Boden des Schachtofens zur Stahlluppe zusammensinterte.

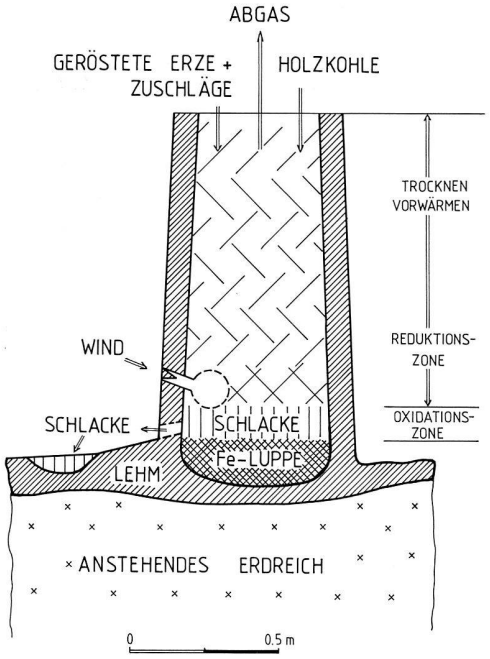
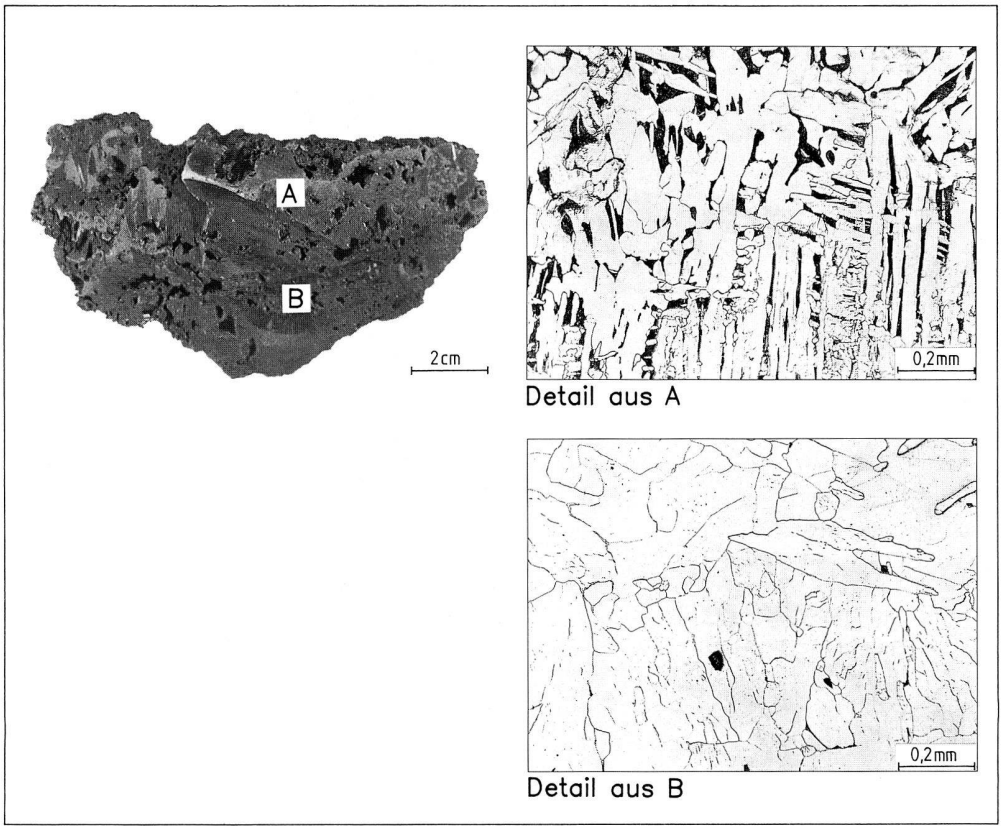


Bild 6: Vereinfachtes Schema der direkten Stahlherstellung im Rennofen.

Beim Kontakt der flüssigen, FeO-reichen Schlacke mit der glühenden Holzkohle ist durch CO-Bildung der Sauerstoff in der Schlacke abgebaut worden. Dadurch wurde der Sauerstoffpartialdruck gesenkt, und es kam wegen der Mischungslücke im System Fe-FeO zur Ausscheidung von sauerstoffgesättigtem Eisen aus der flüssigen Schlacke (direkte Reduktion). Dies geschah auch, wenn flüssige Schlacke in das Lückenvolumen der glühenden Holzkohle floss, wonach durch die Reduktion die Holzkohle gleichsam mit einer Roheisenfolie umhüllt wurde. Dieses durch direkte Reduktion aus der flüssigen Schlacke ausgeschiedene Eisen beteiligte sich gleichfalls an der Luppenbildung.

Das Produkt war eine Stahlluppe, die mit Holzkohle und Schlacke mehr oder weniger stark, z. T. zonenartig durchsetzt war. Dabei muss bemerkt werden, dass eine Aufkohlung nach thermodynamischen Überlegungen nicht möglich war, solange die teigige Luppe mit der eisenoxidreichen, flüssigen Schlacke im Ofen Kontakt hatte. Wurde aber die flüssige Schlacke sorgfältig abgestochen und danach z. B. nur noch Holzkohle aufgegeben, so konnte, wenn die Luppe noch im Ofen belassen wurde, eine Aufkohlung der Luppe im Bereich der Kontaktzone

Bild 7: Metallographische Untersuchungsergebnisse einer römerzeitlichen Stahlluppe, Fundort Waisenberg, Österreich.



zur Holzkohle eintreten bzw. der im oberen Teil des Schachtofens durch die Ofengase[14,15,16] aufgekohlte Stahl ohne Berührung mit der FeO-reichen Schlacke zum Ofenboden absinken und sich an der Luppenbildung beteiligen. Durch Teilen der Luppe in mehrere Segmente wurde Rohstahl mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten erzeugt. Bild 7 zeigt ein metallographisches Untersuchungsergebnis einer römerzeitlichen Stahlluppe aus Waisenberg in Kärnten. Hierin sind klar zwei unterschiedliche Gefüge zu erkennen. Im Bereich einer Kontaktzone zu Kohlenstoff ist ein Widmannstätten-Gefüge, für dessen Ausbildung besondere Voraussetzungen erfüllt sein müssen, zu erkennen; eine aus einer anderen Zone entnommene Probe enthält einen Ferrit.

In der Literatur[17,18] wird mehrfach berichtet, dass neben dem Kohlenstoffge-

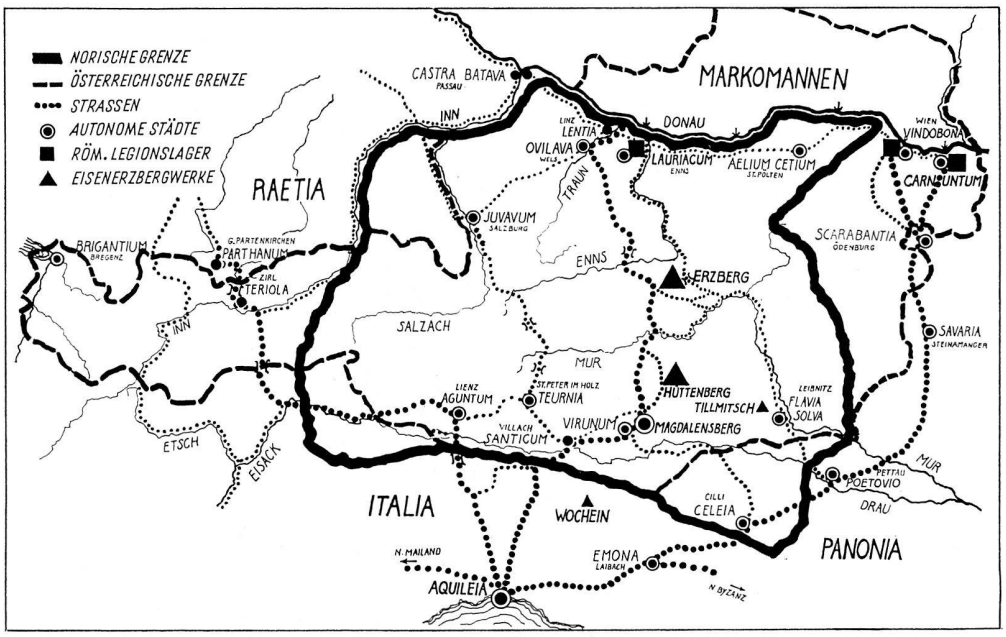


Bild 8: Karte des «regnum Noricum» nach H. Malzacher[18].

Literaturhinweise

1 Gmelin-Durrer: Metallurgie des Eisens 4. Auflage, Band 1 (1964) Verlag Chemie GmbH Weinheim/ Bergstr.

2 Europäische Norm EN 10020 und EN 10001.

3 Tschudin, P. F.: Ferrum Nr. 57, (1986) S. 12–17.

4 Schauwinhold, D.: Stahl und Eisen 105 (1985) Nr. 22, S. 1275–1282.

5 Pleiner, R.: In: Frühes Eisen in Europa; Festschrift W. U. Guyan zu seinem 70. Geburtstag, Hrg: H. Haefner, Verlag Peter Meili, Schaffhausen (1981), S. 115–128.

6 Hamblin, D. J.: Die Etrusker, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg (1978) Nr. 880, S. 13–14.

7 Moosleitner, F.: Katalog zur Salzburger Landesausstellung im Keltenmuseum Hallein, Österreich (1980) S. 93–100.

8 Preßlinger, H.; Walach, G.; Eibner, C.; Gruber, A.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 131 (1986) Nr. 7, S. 225–230.

9 Preßlinger, H.; Walach, G.; Eibner, C.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 133 (1988) Nr. 7, S. 338–244.

halt auch der Gehalt an Begleitelementen – Mangan, Phosphor, Schwefel – für die Güte des erzeugten Stahles von Wichtigkeit ist. Diese Elemente wurden durch das chargierte Eisenerz miteingebracht. Dazu schreibt auch Plinius der Ältere[17] in der Naturalis Historia:
«Die hohe Qualität der Eisenwaren wird in unserem (Herrschafts-)Bereich einmal durch das Erz gewährleistet, wie in Noricum, anderswo durch die Verarbeitung...»

In diesem Zitat wird sowohl auf die Wichtigkeit der Güte des Werkstoffes «Stahl» als auch auf das Können bei der Verarbeitung hingewiesen. Die Güte des Stahles und das Können der Verarbeitung von Rohstahl soll an einem Fund aus Noricum (Bild 8) erörtert werden.

Bei einer Grabung in Gleisdorf (liegt in der Nähe von Graz) wurde von Archäologen der Universität Graz eine Kleinstadt der Römerzeit ausgegraben. Neben handwerklichen Betriebsstätten wurden auch Betriebe der Stahlherstellung und -verarbeitung freigelegt. Neben zahlreichen Laufschlacken der Eisenerzverhüttung konnten auch Stahlluppen sowie Produkte aus dem Werkstoff «Stahl» geborgen werden.

Aus diesem Fundus ist ein «Messer» (Bild 9), das durch Begleitfunde von den Archäologen auf ca. 100 n. Chr. datiert werden kann, für eine metallographische Untersuchung ausgewählt worden. Das Messer wurde mechanisch getrennt, die Trennfläche geschliffen, poliert und geätzt (Querschliff). In Bild 10 ist klar zu erkennen, dass für die Erzeugung zwei verschiedene Werkstoffe aus Stahl mit unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt verwendet wurden. Die Schneide des Messers besteht aus Stahl mit 1,3 Gew.-% Kohlenstoff, der Rücken der Klinge aus kohlenstoffarmem Stahl mit 0,02 Gew.-% Kohlenstoff.

Das Gefüge des weicheren, kohlenstoffärmeren Stahles (reiner Ferrit) ist mit zahlreichen Schlackeneinschlüssen durchsetzt, die auf einen zonenartigen Aufbau des Rohstahles, d. h. der Luppe, zurückzuführen sind. Gefügebilder dieser Art sind charakteristisch für Rohstahl aus dem Rennofen. Das Gefüge des hochkohlenstoffhal-

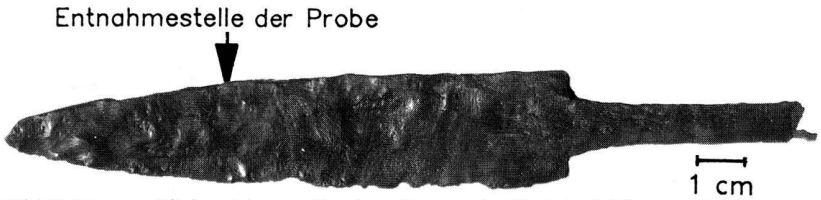


Bild 9: Römerzeitliches Messer, Fundort Gemeinde Gleisdorf, Österreich (datiert ca. 100 n. Chr.).

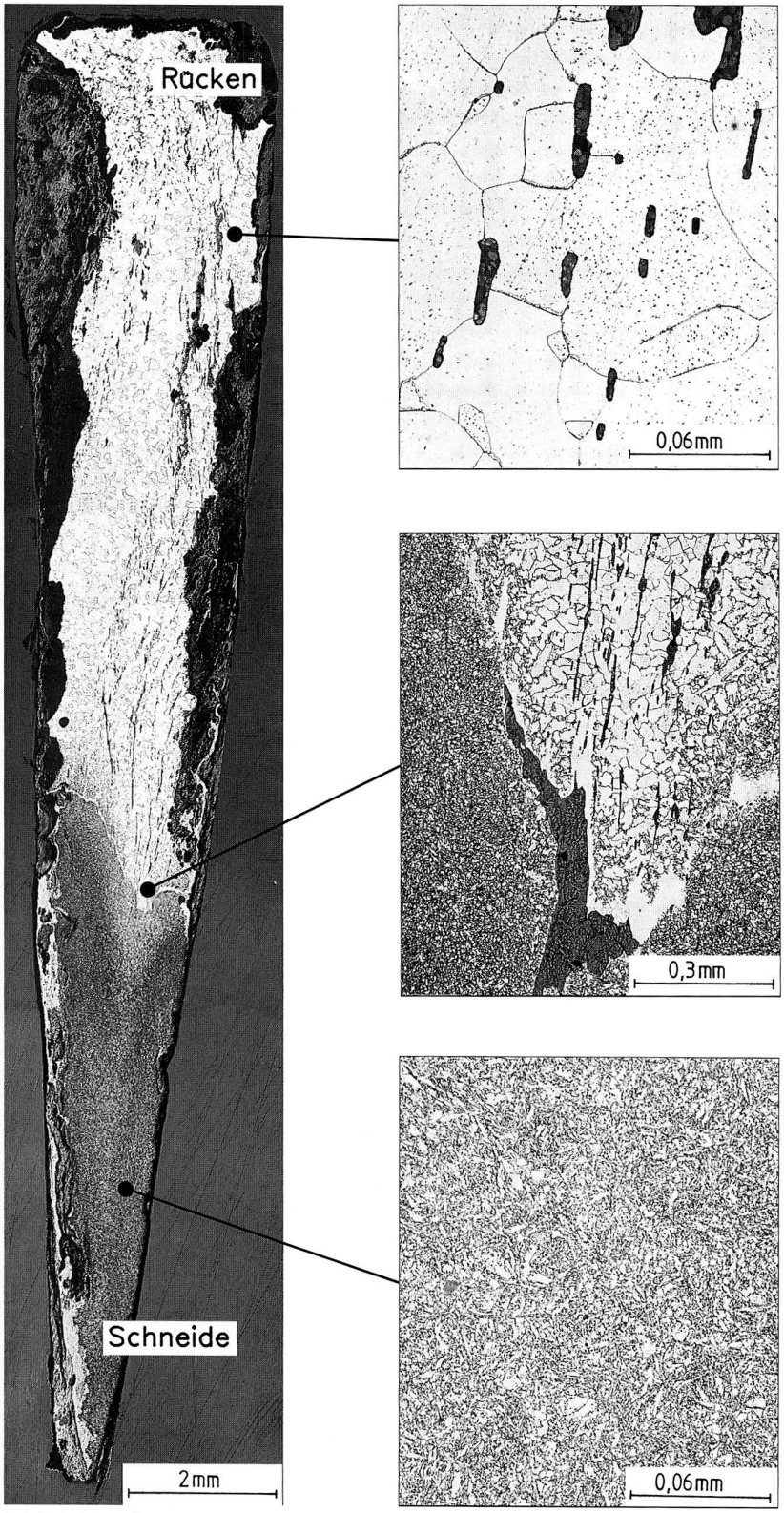


Bild 10: Metallographische Untersuchungsergebnisse des Messers aus Bild 9.

Tabelle 2: Chemische Analysen eines römerzeitlichen Messers aus Gleisdorf, Österreich.

Gew.–%	C	Mn	P	S	Si	As
Schneide	1,30	0,13	0,013	0,004	0,05	0,001
Rücken	0,02	0,08	0,013	0,008	0,10	0,031

tigen Stahles ist als angelassener Martensit zu beurteilen. Der Werkstoff mit 1,3 Gew.-% Kohlenstoff ist in einem eigenen metallurgischen Verfahren hergestellt worden.

Die Gehalte der Stahlbegleitelemente Mangan, Silicium, Phosphor und Schwefel sind in Tabelle 2 angeführt. Dem Mangangehalt, dem in der Literatur die festigkeitserhöhende Wirkung zugeschrieben wird, kann nach den Untersuchungen nicht diese Wirkung zuerkannt werden. Der hochkohlige Werkstoff der Schneide hat einen Mangangehalt von 0,13 Gew.-%, der Messerrücken einen Mangangehalt von 0,08 Gew.-%. Beide Mangangehalte sind zu niedrig, um eine merkbare Festigkeitssteigerung zu erzielen (anzumerken ist, dass bei der Schmelzreduktion von flüssigen Oxiden das FeO reduziert wird, während MnO zum überwiegenden Anteil in der Oxidschlacke verbleibt).

Interessant ist, wie die beiden Stahlwerkstoffe verbunden wurden. Im Schliffbild ist klar eine die beiden Werkstoffe trennende Phase zu erkennen. Untersuchungen am Rasterelektronenmikroskop ergaben, dass diese Phase einen geringen Anteil an Arsen aufweist. Man kann daraus schliessen, dass der kohlenstoffhaltige Schneidewerkstoff mit Hilfe einer Lötlegierung (Hartlot) bei Anlasstemperaturen an den weichen Stahl angelötet wurde[19]. Der Messerrohling – nach heutigen Fachbegriffen ein Verbundwerkstoff – wurde durch Schmieden umgeformt.

Dieses Untersuchungsergebnis des römerzeitlichen Messers lässt erkennen, welch hohes handwerkliches Geschick die Schmiede in der Antike besessen haben. Allein die Verbindung von zwei Werkstoffen mit unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt mit einem Hilfsmittel, einer arsenhaltigen Eisenverbindung als Lot, ist ein meisterhaftes Zeugnis dieses Könnens. Ohne Zweifel wurde die Herstellung von «Stahl mit unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt» beherrscht. Der für bestimmte Einsatzgebiete am besten geeignete Stahl wurde von den Schmieden jeweils dafür ausgesucht. Diese Anordnung von kohlenstoffarmem bzw. kohlenstoffreichem Stahl am Beispiel des untersuchten römerzeitlichen Messers ist, wie auch andere Forscher[18–23] schon berichtet haben, sicher nicht zufällig entstanden, sondern wurde angestrebt, um eine verschleissfeste Schneide und einen zähen Klingenrücken zu erzielen.

Das Geschick der Schmiede in der Provinz Noricum – die Rohstahlherstellung in Rennöfen und das Schmieden des Rohstahles zu Gebrauchsgegenständen – war die Quelle für einen in der römischen Literatur mehrfach zitierten Werkstoff, dem «norischen Stahl».

Aus den meisten der bekannten Literaturzitate[24], welche im ausgehenden 1. Jahrhundert v. Chr. anfangen und bis in die Spätantike währen, ist direkt oder indirekt ein Hinweis auf die besondere Qualität des norischen Stahles zu entnehmen. So bei den Dichtern der augusteischen Zeit, Horaz und Ovid, welche das «norische Schwert» bzw. den «norischen Stahl» ohne Zweifel als Beispiel für die wirksamste Stichwaffe bzw. den härtesten Stahl im Bewusstsein ihrer Leser voraussetzen.

Besonders deutlich aber wird dies bei Petron, einem Zeitgenossen des Kaisers Nero, in der Satire der «cena Trimalchionis», in welcher der Autor den Alltag seiner Zeit in der Lebensweise des neureichen Freigelassenen Trimalchio mit ätzendem und hintergründigem Spott persifliert. Dieser Trimalchio – ein allzeit gültiges Genre – besitzt von allen Dingen selbstverständlich nur das ausgesucht Beste, und keine Kostbarkeit ist ihm zu teuer; kein Wunder also, dass er seinem Koch als Lohn für die Zubereitung erlesenster Gerichte nicht normale Messer, sondern eben solche aus «norischem Stahl» aus Rom mitgebracht hatte – ein besseres Qualitätszeugnis wird man kaum finden können. ■

10 Ilias von Homer, 3, 361–363; Übertragen ins Deutsche von H. Rupé, Heimeranausgabe, Freising 1961.

11 Eibner, C.; Wald, D.: Giesserei 77 (1990) Nr. 2, S. 38–39.

12 Böhne, C.: Arch. Eisenhüttenwes. 40 (1969) Nr. 8, S. 661–665.

13 Preßlinger, H.; Gahm, H.; Eibner, C.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 128 (1983) Nr. 5, S. 163–168.

14 Straube, H.: Ferrum Nr. 57 (1986) S. 20–27.

15 Straube, H.: Arch. Eisenhüttenwes. 35 (1964) Nr. 9, S. 932–940.

16 Straube, H.: Radex-Rundschau (1973) Nr. 2, S. 479–498.

17 Knoll, H.; Locher, A.; Mauterer, R.; Newesely, H.; Preusser, F.; Rosumek, P.; Rottländer, R.; Schaaber, O.; Schulze, G.; Strunk-Lichtenberg, G.; Vetters, H.: Arch. Eisenhüttenwes. 51 (1980) Nr. 12, S. 487–492.

18 Malzacher, H.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 108 (1963) Nr. 3, S. 49–59.

19 Becker, G.: Arch. Eisenhüttenwes. 32 (1961) Nr. 10, S. 661–665.

20 Schaaber, O.: Carinthia I 153 (1963) Heft 1 und 2, S. 129–279.

21 Schaaber, O.: Arch. Eisenhüttenwes. 35 (1964) Nr. 6, S. 502–506.

22 Mitsche, R.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 106 (1961) Nr. 11, S. 460–465.

23 Naumann, F. K.: Arch. Eisenhüttenwes. 35 (1964) Nr. 6, S. 495–502.

24 Piccottini, G.: Kärntner Museumsschriften 68 (1981) S. 70–75.