



# Feuer in der Metallverhüttung

## 1 Kupfer, Zinn und Bronze

Kupfer ist ein sehr edles Metall und läßt sich schon in der schwach reduzierenden Atmosphäre verhütten, die sich bereits in einer offenen Grube erzeugen läßt [Cr99]. Dieses Verfahren ist sehr ineffizient, es verbraucht große Mengen Holzkohle und gewinnt nur rund ein Viertel des im Erz enthaltenen Kupfers, das dafür von störenden unedlen Metallen wie Eisen (aber auch Zinn) fast völlig frei bleibt. Im Osten wurde es von viel effizienteren geschlossenen Öfen mit Schlackebildung abgelöst und dort das Eisen in einem zweiten Schritt an Luft beseitigt.

Als das oberflächennahe oxidische Erz verbraucht war, mußte das tiefer liegende sulfidische in einen zusätzlichen Schritt erst geröstet werden. Möglicherweise war das die Ursache für den Hiatus im 4. Jt. BC [Cr99, Ku01]. Der Wiederaufschwung im Osten erfolgte gleichzeitig mit dem Beginn der Metallurgie auf der iberischen Halbinsel und in Britannien. Die dortigen sehr einfachen Verfahren mit offenen Schalen führten zu schwankendem Luftzutritt und gleichzeitigem Rösten und Verhütten in einem Prozess [Ro02]. Trotz des großen Zinnreichtums und des Vorliegens von Mischerzen erhielt man ein sehr reines zinnfreies Kupfer mit deutlichem Zinnanteil in der Schlacke [Ro03]. Ein Zusammenverhütten von Kupfer- und Zinnerz zu Bronze ist zwar auch in einer einfachen Grube möglich, führt aber zum Verlust von 89 % des Zinns [Ro09].

## 2 Woher kam das Zinn?

Die ersten echten Zinnbronzen traten in der Mitte des 3. Jt. BC im vollkommen zinnfreien Großraum von Mesopotamien, Anatolien und Troja auf [Pe98] – nach manchen Quellen [Ty91] auch schon in Britannien, was viele andere aber bestreiten [Cr93, Cr99, Ki10]. Die Herkunft dieses ersten Zinns ist vollkommen unklar. Auch seine Form ist unbekannt, möglicherweise diente zunächst nicht Zinn sondern Zinnseife als Legierungsmaterial. Metallisches Zinn kommt vor dem 16. Jh. BC praktisch nicht vor, ist aber grundsätzlich einfacher zu verhütten als Eisen.

Der Westen scheidet, wenn es dort völlig unbekannt war, wohl aus. Im Osten, in Usbekistan, ist vor der Andronovokultur der mittleren Bronzezeit kein Bergbau und keine Metallurgie bekannt. Die Vorkommen am Viktoriasee wurden auch erst in der Spätbronzezeit über Ägypten verfügbar – von dort stammt das Zinn des Schiffes von Uluburun und der Barren aus dem Hafen von Haifa. In der fertigen Bronze sind die Bleisotope von Zinn und Kupfer nicht mehr zu trennen. Das einzige untersuchte Stück reinen Zinns aus dem 3. Jt. BC dürfte der heute verschollene Zinnring von Thermi sein. Sei-

ne Bleisotope weisen auf das Gesteinsalter der Region um Joachimsthal in Böhmen. Auch dort gibt es aber vor dem 18. Jh. BC noch keine Zinnbronze.

## 3 Eisen – warum und welches?

Einfach verhüttetes Eisen ist entweder wertloses, unbrauchbares Gußeisen (Dreckfluß, Saueisen, pig iron) oder nahezu kohlenstoffreies Schmiedeeisen. Die Erzeugung von Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0.4 % und 1.7 % konnte erst erlernt werden, nachdem Eisen schon verbreitet für einfache Werkzeuge Verwendung fand.

Für seinen Einsatz anstelle der höherwertigen Bronze – zuerst für Gebrauchsgeräte und erst spät für Waffen – werden zwei Ursachen diskutiert. Die eine ist der hohe Holzbedarf bei der Verhüttung des räumlich konzentrierten Kupfers [Ho82], die wahrscheinlichere der Zusammenbruch des Fernhandels mit Zinn in den Wirren am Ende der Spätbronzezeit [Cr95].

Die Voraussetzung für die Eisenverhüttung ist nicht so sehr eine hohe Temperatur – im Gegenteil, das Erreichen des Schmelzpunktes ist strikt zu vermeiden – sondern eine stark reduzierende Atmosphäre mit einer hohen Kohlenmonoxidkonzentration. Seit dem 1. Jh. BC ist in China die Stahlerzeugung durch Entkohlen von Gußeisen bekannt. In der Mongolei wurde dennoch im Mittelalter und in Amerika im 19. Jh. CE zumindest für höherwertige Erzeugnisse Schmiedeeisen aus dem Rennofen bevorzugt.

## 4 Energiebedarf und Umweltzerstörung

Der nicht mehr zu deckende Holzbedarf in der Nähe der räumlich konzentrierten Kupfervorkommen wird als ein möglicher Grund für den Beginn der Eisenzeit diskutiert. Tatsächlich sind aus geschichtlicher Zeit massive Umweltzerstörungen durch den Kahlschlag für die Verhüttung bekannt. Im 18. Jh. verschob sich die Waldgränze im Südrural bei Kargaly in nur 25 a um 200 km nach Norden. Zarin Elisabeth verbot 1754 bis zu einem Abstand von 200 km um Moskau jegliche Metallindustrie.

Überraschenderweise finden sich in Pollenprofilen aus der Bronzezeit aber keine Hinweise auf großflächige Abholzungen. (Die Ausnahme sind Wüstenstandorte wie Timna [Ho82, 13].) Genaueres Nachrechnen zeigt, daß sich der Abbau der großen damals gewonnenen Mengen an Kupfererz über jeweils lange Zeiträume erstreckte und sich der Bedarf durch nachhaltigen Einschlag auf einer nicht zu großen Gesamtfläche decken ließ. Einen sich radial um die Mine ausbreitenden Kahlschlag hat es zu der Zeit offenbar nicht gegeben [Cr93, 53].

# Literatur

- Ba96** Martin Bartelheim & Elke Niederschlag, *Bronzezeitliche Zinn- gewinnung im Erzgebirge? Archäologie aktuell im Freistaat Sachsen* 4 (1996), 61–66.
- Be80** Walter Berger, *Zur Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen*. *VFDB-Zeitschrift* 1980, ii, 45–47.
- Bu05** Vagn Fabritius Buchwald, *Iron and steel in ancient times*. Historisk-filosofiske Skrifter 29 (Copenhagen 2005).
- Ch94** Eugène N. Chernykh, *L'ancienne production minière et métallurgique et les catastrophes écologiques anthropogènes, Introduction au problème*. *Trabajos de Prehistoria* 51 (1994), ii, 55–68.
- Ch98** Evgenij N. Chernykh, *Ancient mining and metallurgy in Eastern Europe, Ecological problems*. In: Bernhard Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas – Man and Environment in European Bronze Age, Abschlußtagung: Die Bronzezeit, das erste goldene Zeitalter Europas, Berlin, 17.–19. März 1997*. (Kiel 1998), 129–133.
- Cl07** Gregory Clark, *A Farewell to Alms, A brief economic history of the world*. Princeton Economic History of the Western World (Princeton 2007).
- Co55** Fred Cottrell, *Energy & Society, The relation between energy, social change, and economic development*. (Bloomington 2009).
- Cr93** Paul T. Craddock, *A short review of the evidence for Bronze Age mining in the British Isles*. In: Heiko Steuer & Ulrich Zimmermann (Hrsg.), *Montanarchäologie in Europa, Int. Koll. „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg i. Br. vom 4. bis 7. Oktober 1990*. Archäologie und Geschichte 4 (Sigmaringen 1993), 37–56.
- Cr95** Clayton E. Cramer, *What Caused The Iron Age? unveröffentlichter Seminarvortrag, December 10, 1995*. (Sonoma 1995). <<http://www.claytoncramer.com/unpublished/Iron2.pdf>> (2012-11-17).
- Cr99** Paul T. Craddock, *Paradigms of metallurgical innovation in prehistoric Europe*. In: Andreas Hauptmann, Ernst Pernicka, Thilo Rehren & Unsal Yalgin (Hrsg.), *The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference „The Beginnings of Metallurgy“, Bochum 1995*. Der Anschnitt, Beiheft 9 (Bochum 1999), 175–192.
- Da03** John E. Dayton, *The problem of tin in the ancient world, (Part 2)*. In: Alessandra Giumlia-Mair & Fulvia Lo Schiavo (Hrsg.), *Le probleme de l'etain a l'origine de la metallurgie – The Problem of Early Tin, Acts of the XIVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001*. BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 165–170.
- Da71** J.E. Dayton, *The problem of tin in the Ancient World*. *World Archaeology* 3 (1971), 49–70.
- Da73** J.E. Dayton, *The Problem of Tin in the Ancient World, A Reply to Dr Muhly and Dr Wertime*. *World Archaeology* 5 (1973), 123–125.
- Go92** Robert B. Gordon & David J. Killick, *The Metallurgy of the American Bloomery Process*. *Archeomaterials* 6 (1992), 141–167.
- Ho82** Lee Horne, *Fuel For The Metal Worker, The Role of Charcoal and Charcoal Production in Ancient Metallurgy*. *Expedition* 25 (1982), i, 6–13.
- Ki10** Tobias L. Kienlin, *Traditions and Transformations: Approaches to Eneolithic (Copper Age) and Bronze Age Metalworking and Society in Eastern Central Europe and the Carpathian Basin*. BAR International Series 2184 (Oxford 2010).
- Ki96** David Killick, *On Claims For “Advanced” Ironworking Technology in Precolonial Africa*. In: Peter R. Schmidt (Hrsg.), *The Culture and Technology of African Iron Production*. (Gainesville 1996), 247–266.
- Ku01** Michael Kunst, *Die Kupferzeit der Iberischen Halbinsel*. In: Blech (Hrsg.), *Denkmäler der Frühzeit*. Hispania Antiqua (Mainz 2001), 67–100.
- Le15** Verena Leusch, Barbara Armbruster, Ernst Pernicka & Vladimir Slavčev, *On the Invention of Gold Metallurgy, The Gold Objects from the Varna I Cemetery (Bulgaria)—Technological Consequence and Inventive Creativity*. *Cambridge Archaeological Journal* 25 (2015), 353–376.
- Me80** Nikolaas Johannes van der Merwe, *Production of high carbon steel in the African Iron Age, The direct steel process*. In: R. E. Leakey & B. A. Ogot (Hrsg.), *Proceedings of the 8th Panafrican Congress of Prehistory and Quaternary Studies, Nairobi, September 1977*. (Nairobi 1980), 331–334.
- Mo15** Ian Morris, *Foragers, farmers, and fossil fuels, How human values evolve*. University Center for Human Values Series (Princeton 2015).
- Mo60** Julius Moshage, *Energie bewegt die Welt, Das große Buch der Naturkräfte*. (1960).
- Mu73** J. D. Muhly & T. A. Wertime, *Evidence for the sources and use of tin during the Bronze Age of the Near East: a reply to J. E. Dayton*. *World Archaeology* 5 (1973), 111–122.
- Pa15** Jang-Sik Park & Susanne Reichert, *Technological tradition of the Mongol Empire as inferred from bloomery and cast iron objects excavated in Karakorum*. *Journal of Archaeological Science* 53 (2015), 49–60.
- Pe98** Ernst Pernicka, *Die Ausbreitung der Zinnbronze im 3. Jahrtausend*. In: Bernhard Hänsel (Hrsg.), *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas – Man and Environment in European Bronze Age, Abschlußtagung: Die Bronzezeit, das erste goldene Zeitalter Europas, Berlin, 17.–19. März 1997*. (Kiel 1998), 135–147.
- Ro02** Salvador Rovira, *Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain*. In: Martin Bartelheim, Ernst Pernicka & Rüdiger Krause (Hrsg.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt, Euroseminar Freiberg/Sachsen, November 1990*. Forschungen zur Archäometrie 1 (Rahden/Westf. 2002), 83–98.
- Ro03** Salvador Rovira & Ignacio Montero, *Natural Tin-Bronze Alloy in Iberian Peninsula Metallurgy: Potentiality and reality*. In: Alessandra Giumlia-Mair & Fulvia Lo Schiavo (Hrsg.), *Le probleme de l'etain a l'origine de la metallurgie – The Problem of Early Tin, Acts of the XIVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001*. BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 15–22.
- Ro09** Salvador Rovira, Ignacio Montero-Ruiz & Martina Renzi, *Experimental co-smelting to copper-tin alloys*. In: Tobias L. Kienlin & Ben Roberts (Hrsg.), *Metals and Societies, Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 169 (Bonn 2009), 407–414.
- Ro99** Salvador Rovira, *Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica, El caso de Gorný en la región de Kargaly (Orenburg, Rusia)*. *Trabajos de Prehistoria* 56 (1999), ii, 85–113.
- Si93** Klaus Simon, *Zum ältesten Erzbergbau in Ostthüringen und Sachsen, Argumente und Hypothesen*. In: Heiko Steuer & Ulrich Zimmermann (Hrsg.), *Montanarchäologie in Europa, Int. Koll. „Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa“ in Freiburg i. Br. vom 4. bis 7. Oktober 1990*. Archäologie und Geschichte 4 (Sigmaringen 1993), 89–104.
- Sp71** Konrad Spindler, *Zur Herstellung der Zinnbronze in der frühen Metallurgie Europas*. *Acta Praehistorica et Archaeologica* 2 (1971), 199–253.
- Ty91** R. F. Tylecote, *Early copper base alloys; natural or man-made?* In: Jean-Pierre Mohen & Christiane Éluère (Hrsg.), *Découverte du métal*. Millénaires 2 (Paris 1991), 213–221.



Die Hausarbeit, Präsentation und Literatur liegen auf:

[axel.berger-odenthal.de/work/Referat/](http://axel.berger-odenthal.de/work/Referat/)