Die Entwicklung der Bronzemetallurgie und die frühesten Zinnbronzen

Axel Berger

Institut für Ur- und Frühgeschichte
Universität zu Köln

Die Kupfer- und Bronzezeit Europas
Wintersemester 2012/13
Dr. Christiane Schmidt

CC BY SA

Gliederung

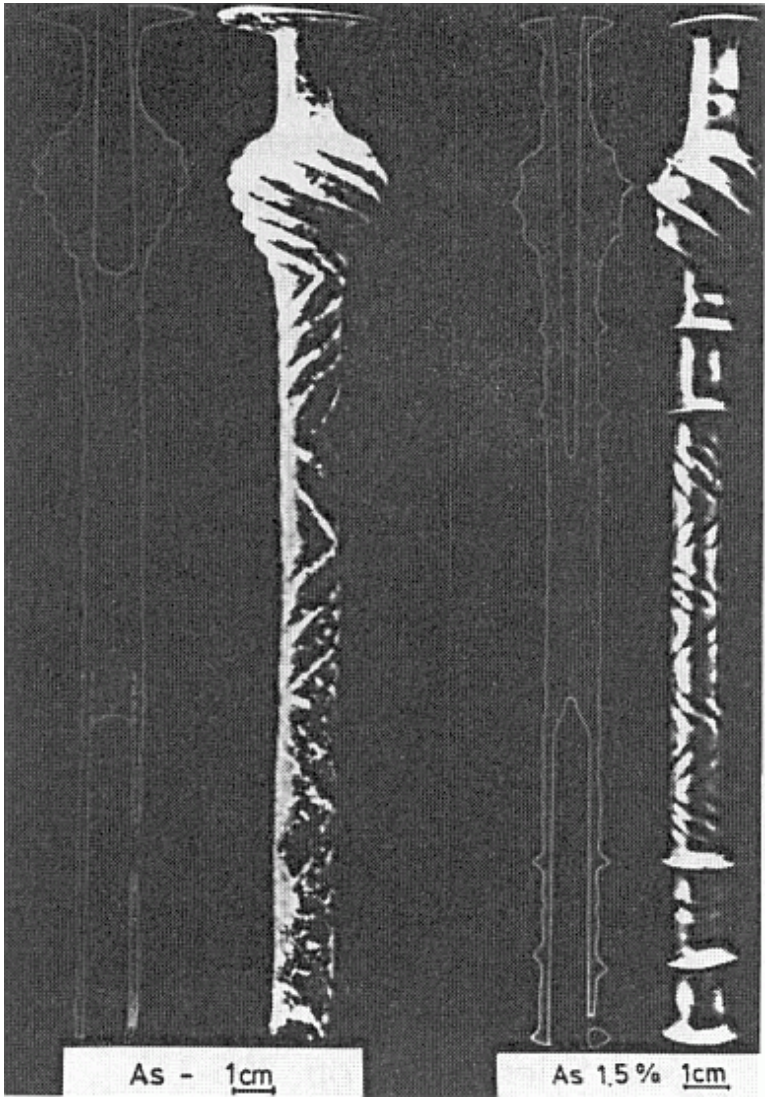
1. Materialeigenschaften
   Was macht die Bronze so überlegen?
2. Woher kam das erste Zinn?
3. Zinnbergwerke in Mittelasien
4. Résumé

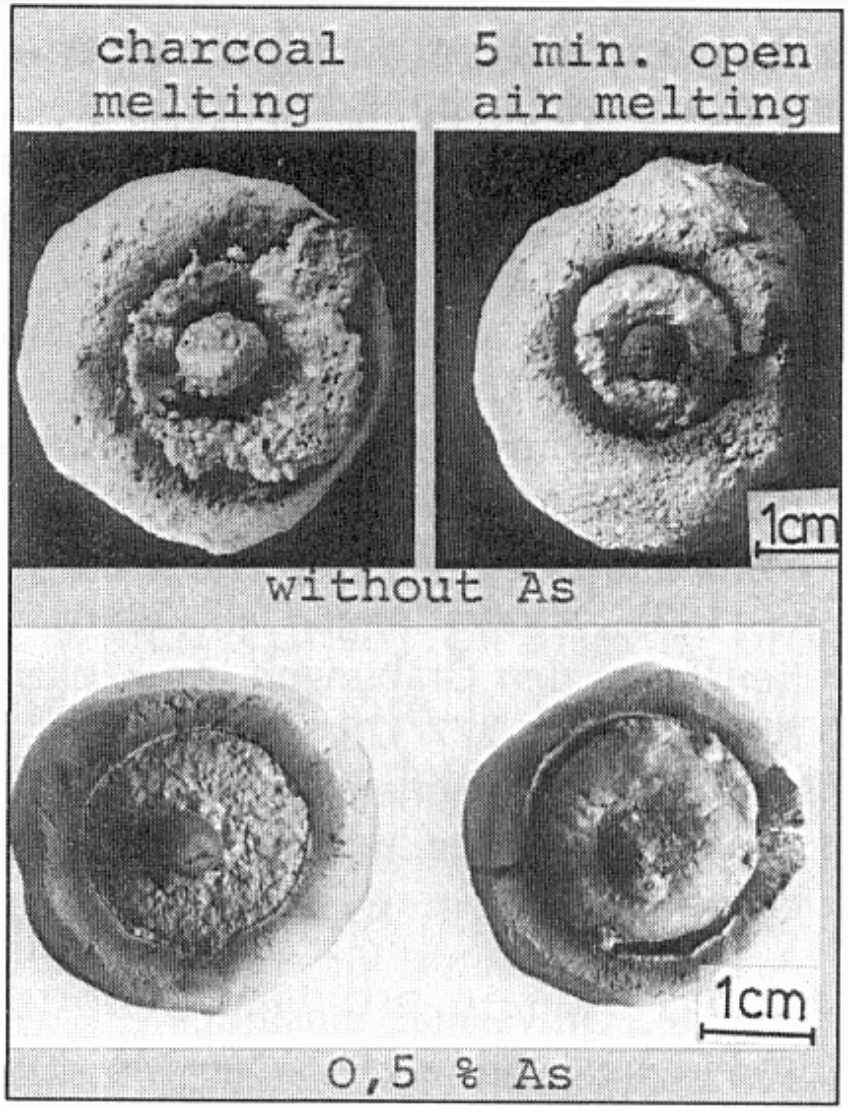
Unterschiede zwischen Bronzen und Kupfer

Bronze und Kupfer unterscheiden sich in drei Punkten

- Auffallendes Aussehen mit goldähnlicher Färbung
- Bessere Gießbarkeit ohne Gasblasen und Lunker
- Größere Härte und Festigkeit

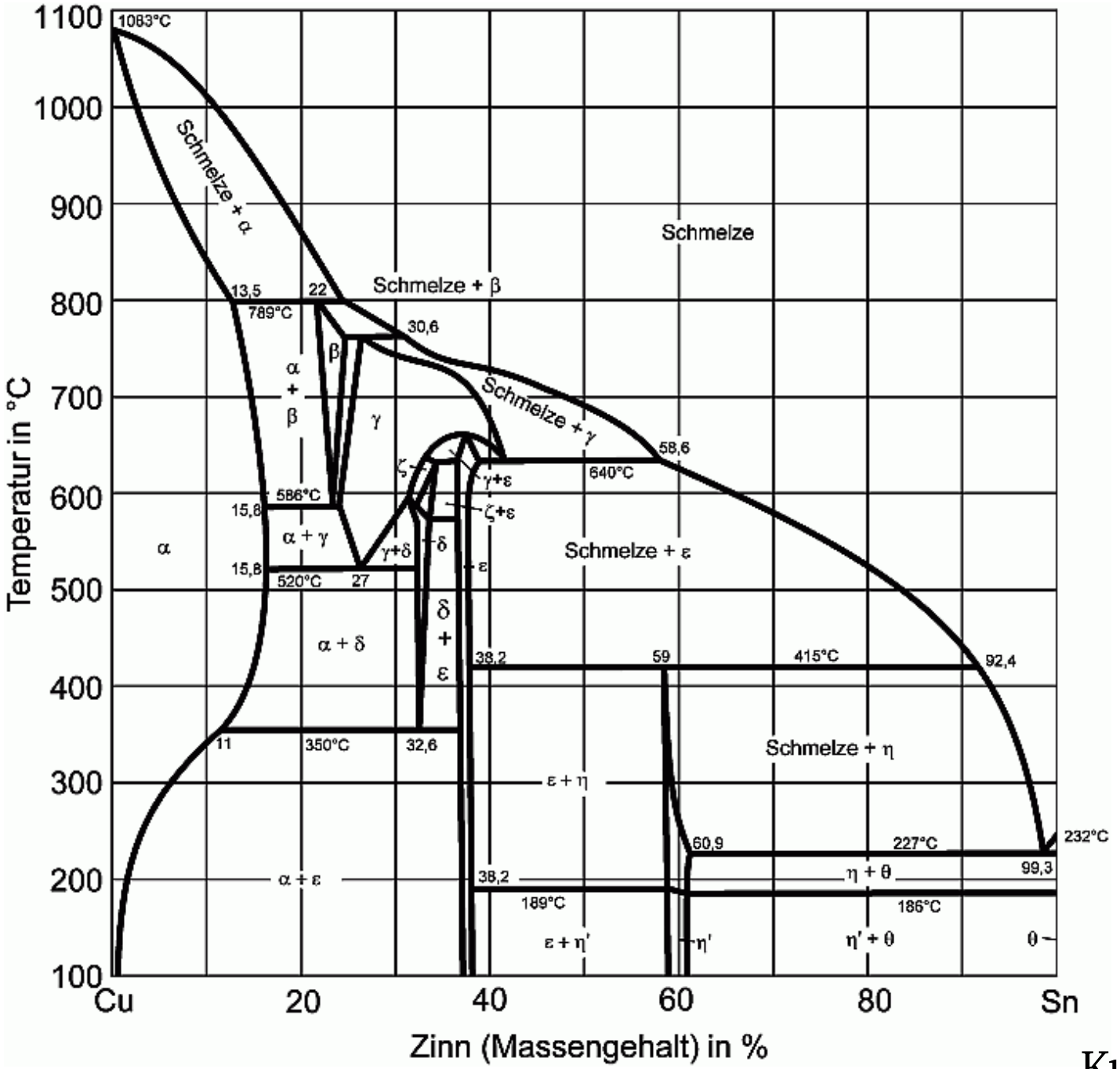
Gießbarkeit





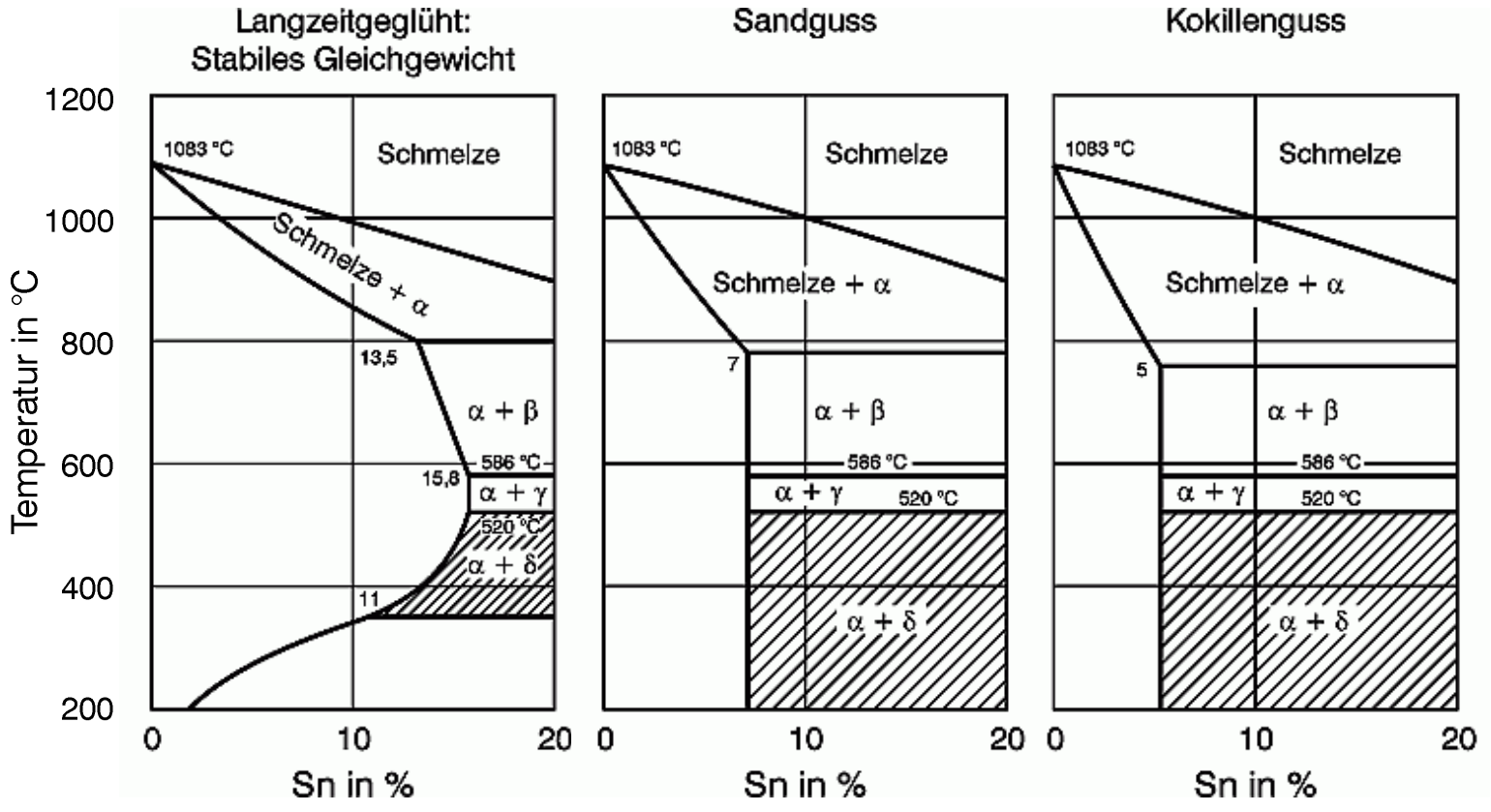
Standarten aus Kupfer und 1.5 %-iger Arsenbronze (Nahal Mishmar); Gußversuch von Perlen in offener Gießform, links offen geschmolzen, rechts unter Holzkohle, oben Kupfer, unten 0.5 %-ige Arsenbronze Zw91.

Phasendiagramm



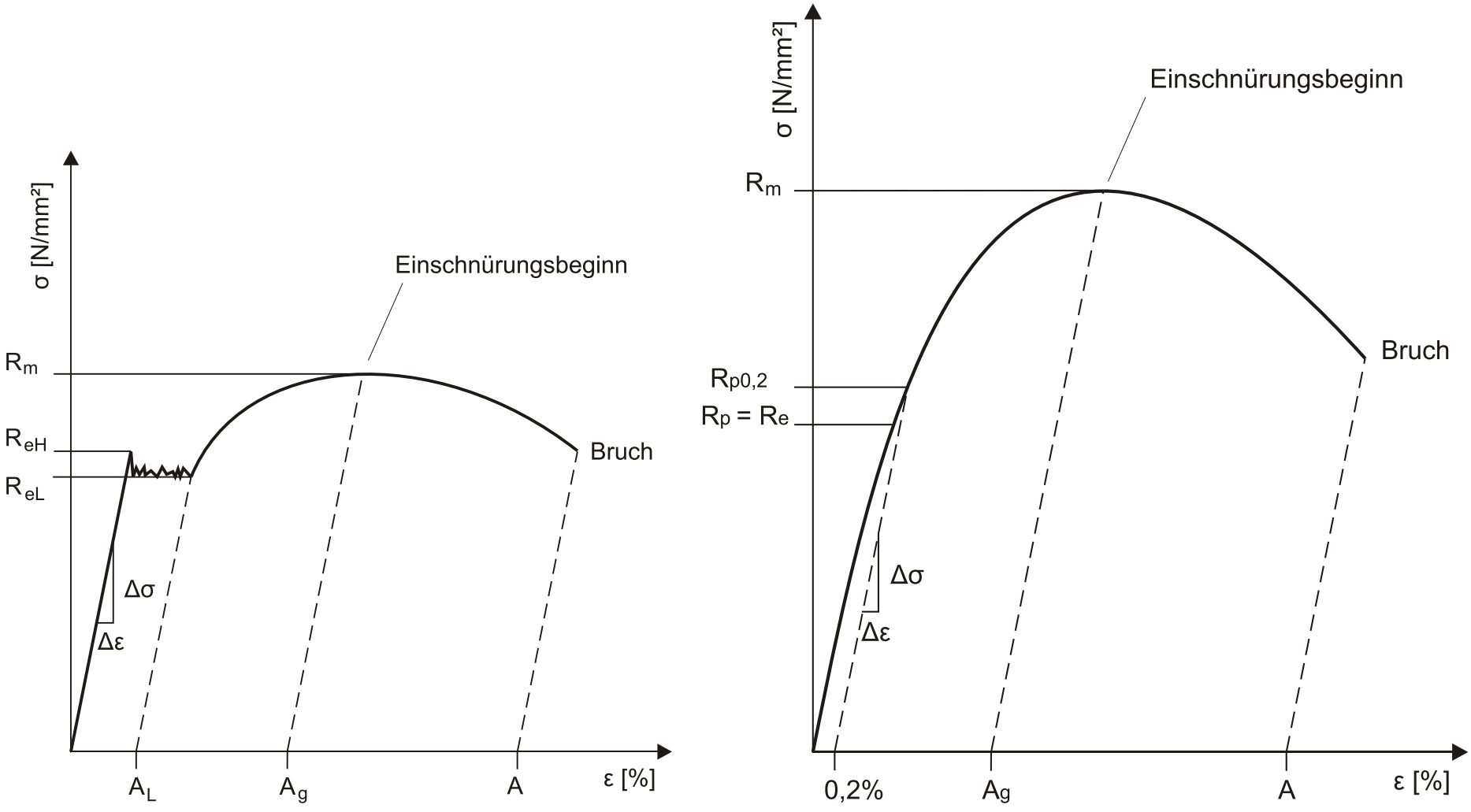
Ku04a

Schmelz- und Erstarrungspunkt



Bei rascher Abkühlung erweitert sich der Erstarrungsberich deutlich.
Bei langsamer Abkühlung kommt es zu Seigerungen. Ku04a.

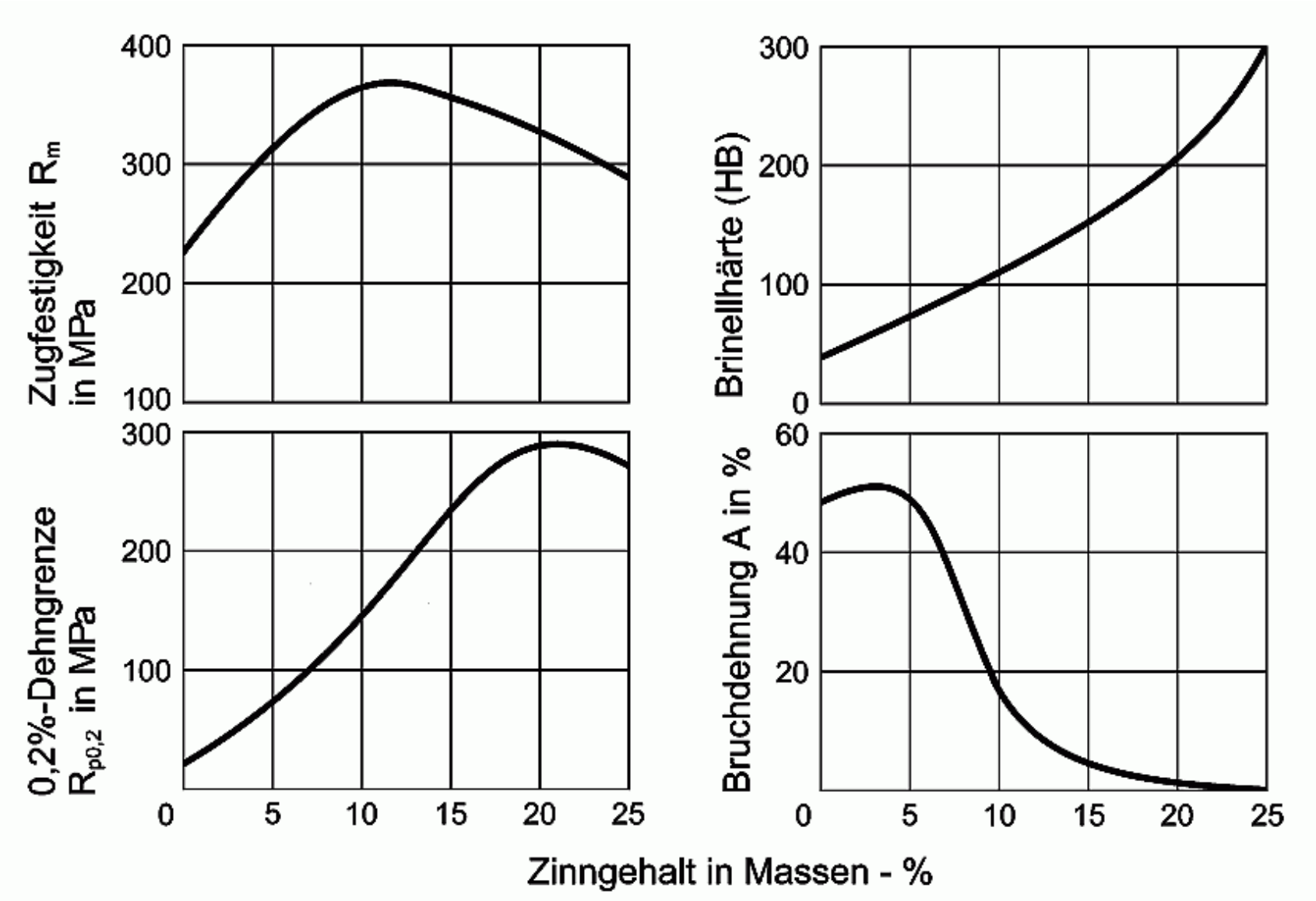
Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm



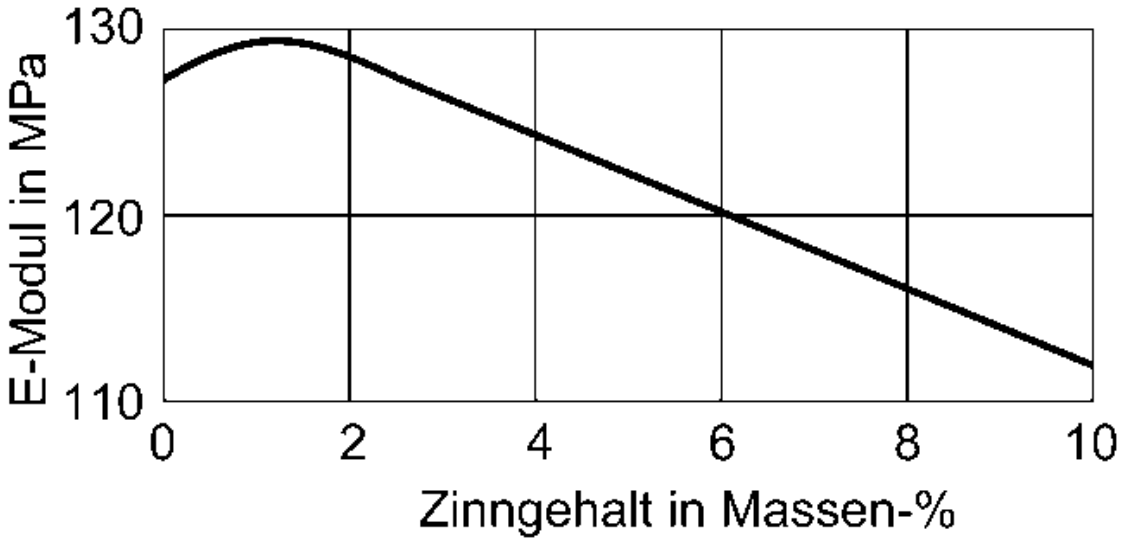
Die Definitionen von Elastizitätsmodul, Streckgrenze, Dehngrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung im Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

Wikipedia

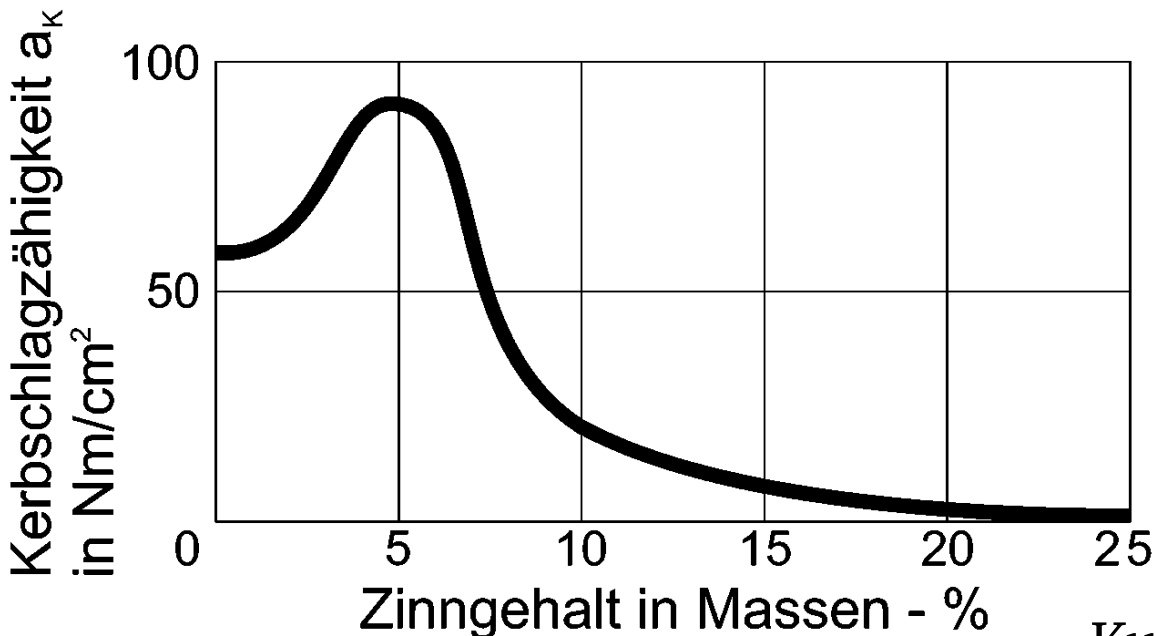
Eigenschaften gegossener Bronze



Steifigkeit und Kerbschlagzähigkeit

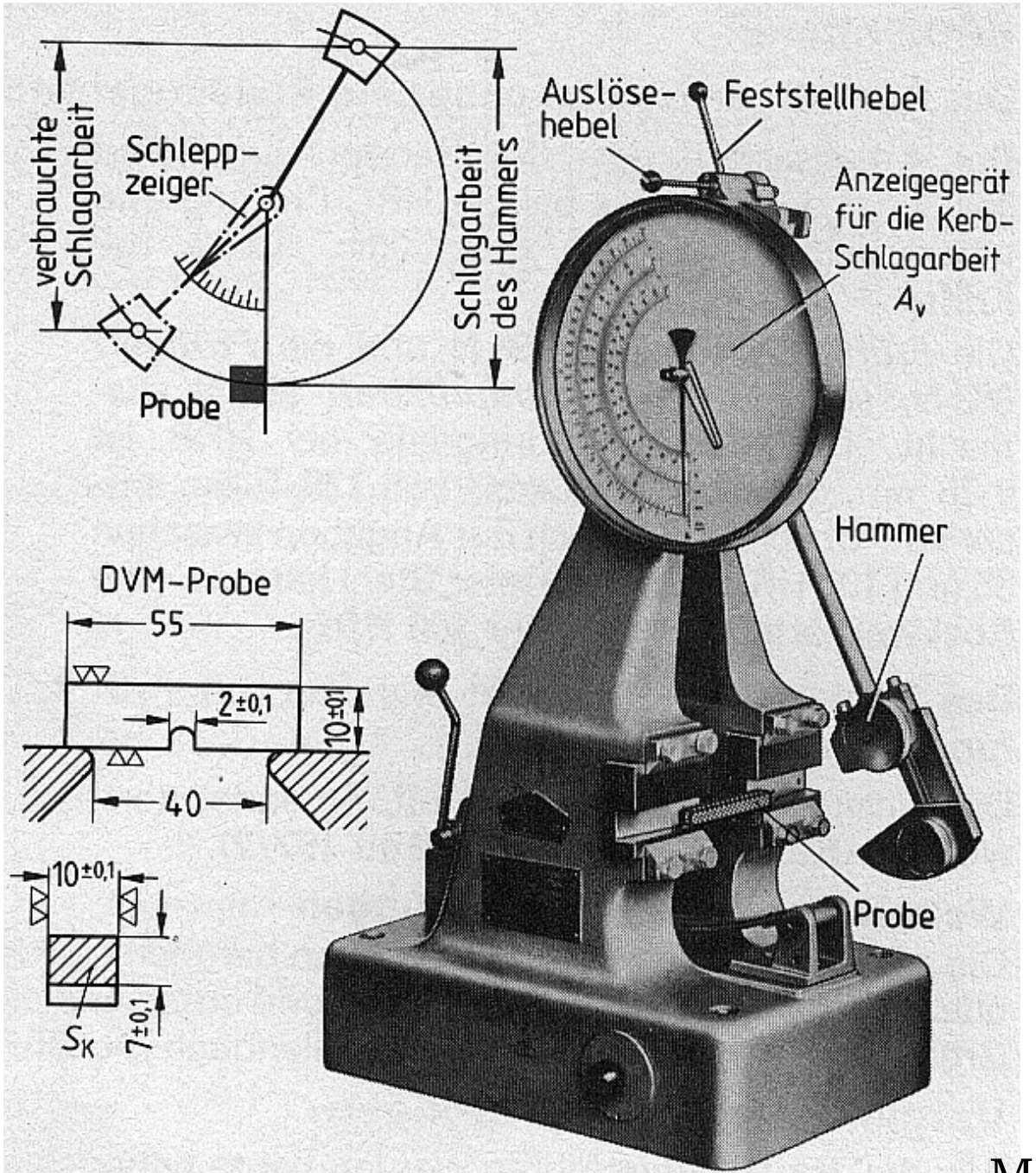


Fehler: Statt MPa muß es hier GPa heißen. Das Maximum der elastischen Dehnung liegt bei 1 ‰



Ku04a,b

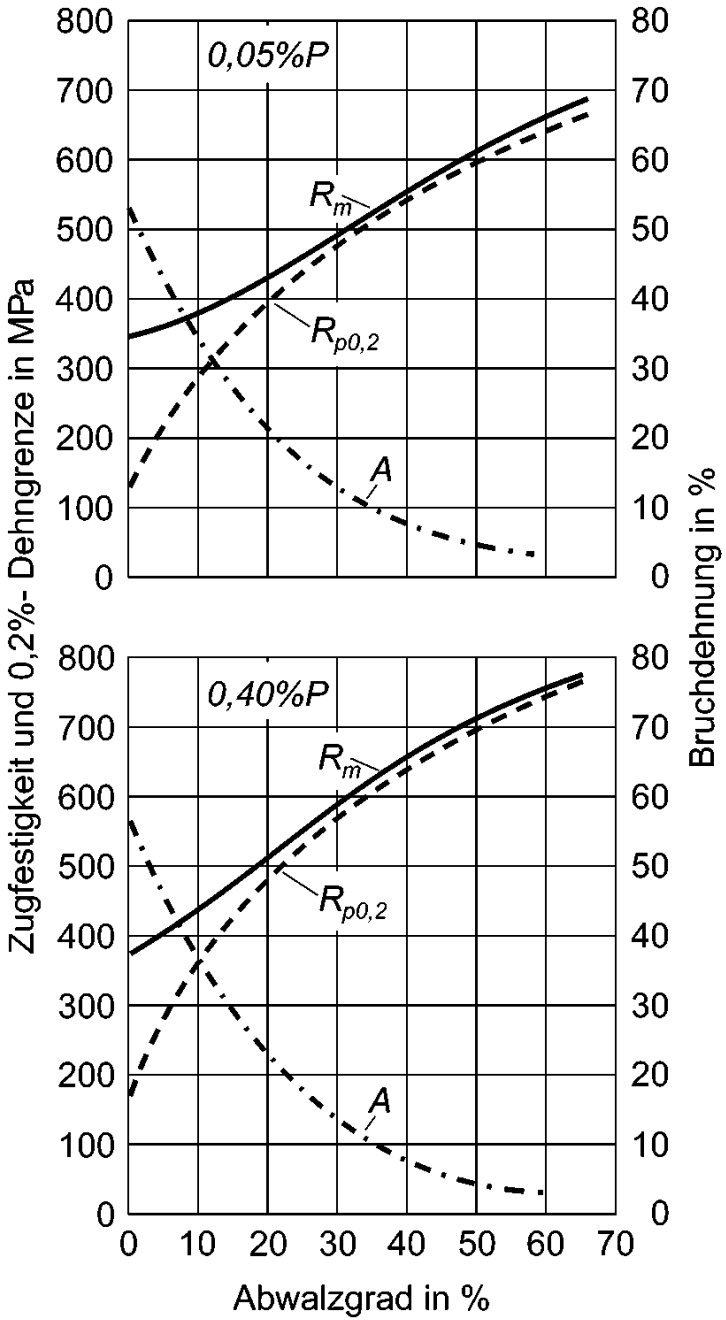
Messung der Kerbschlagzähigkeit

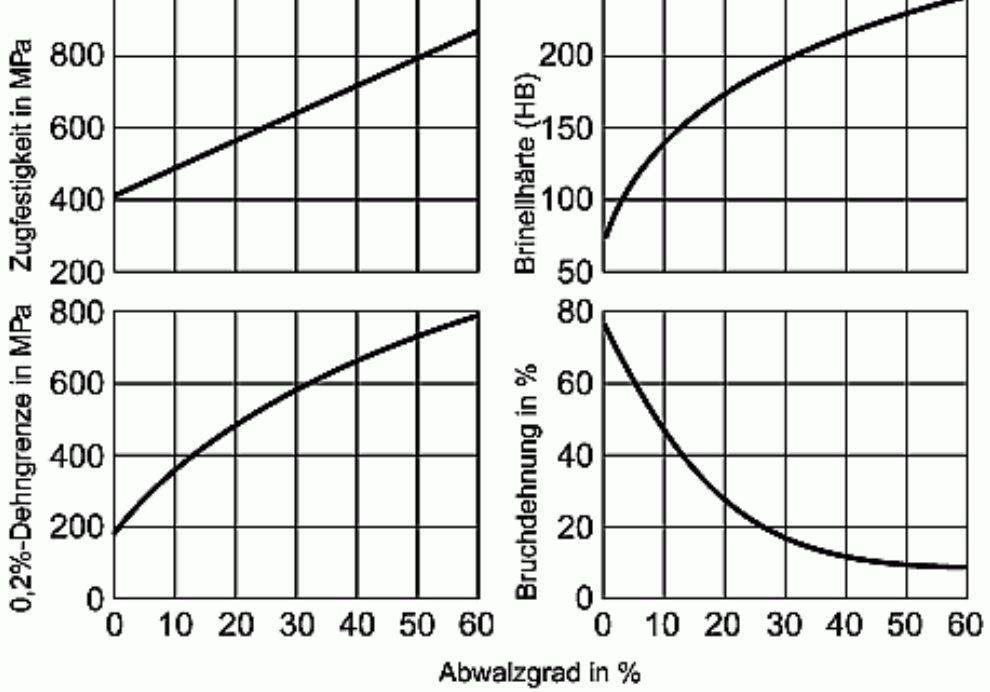


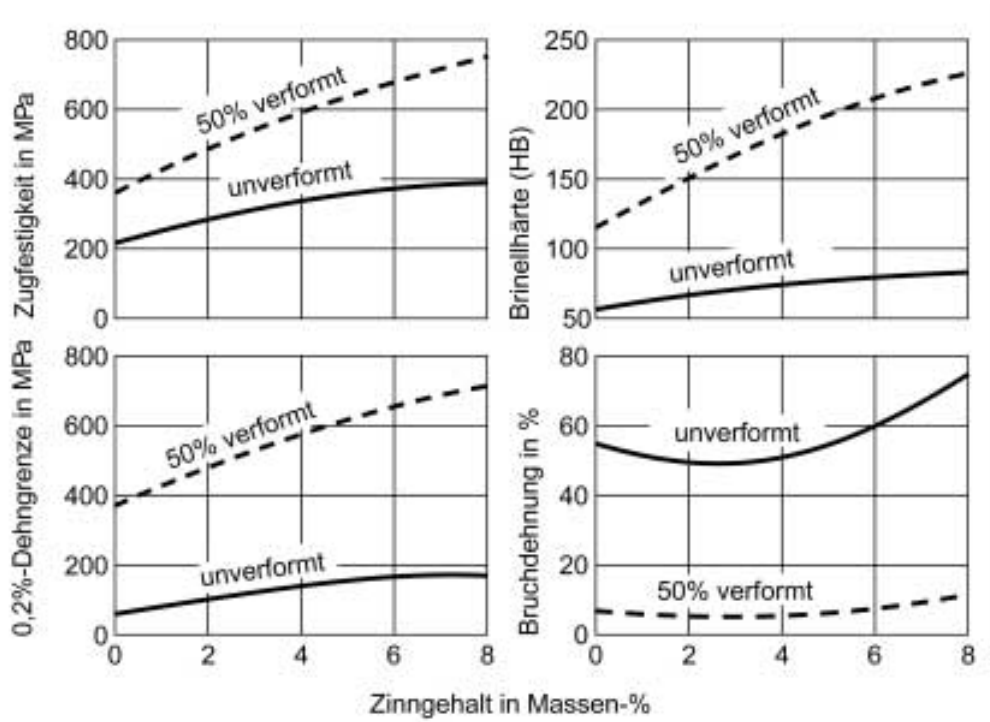
Meßaufbau für die Kerbschlagzähigkeit: Gemessen wird, wie weit der Hammer hinter dem Probekörper ausschwingt, und daraus die beim Schlag absorbierte Energie Me81.

Me81

Kaltverfestigung der Bronze

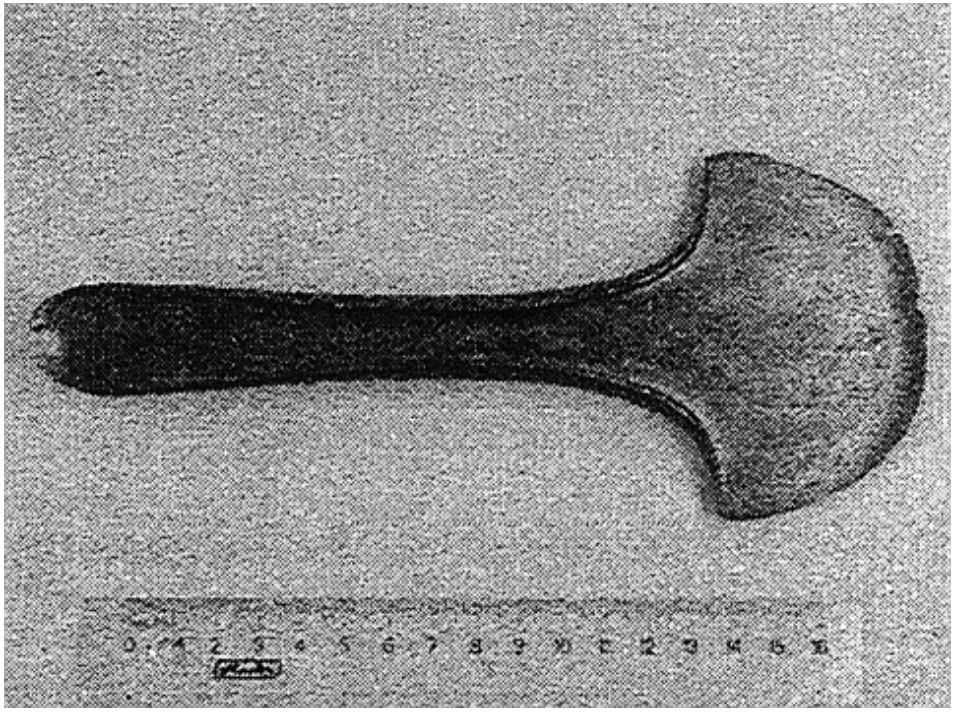


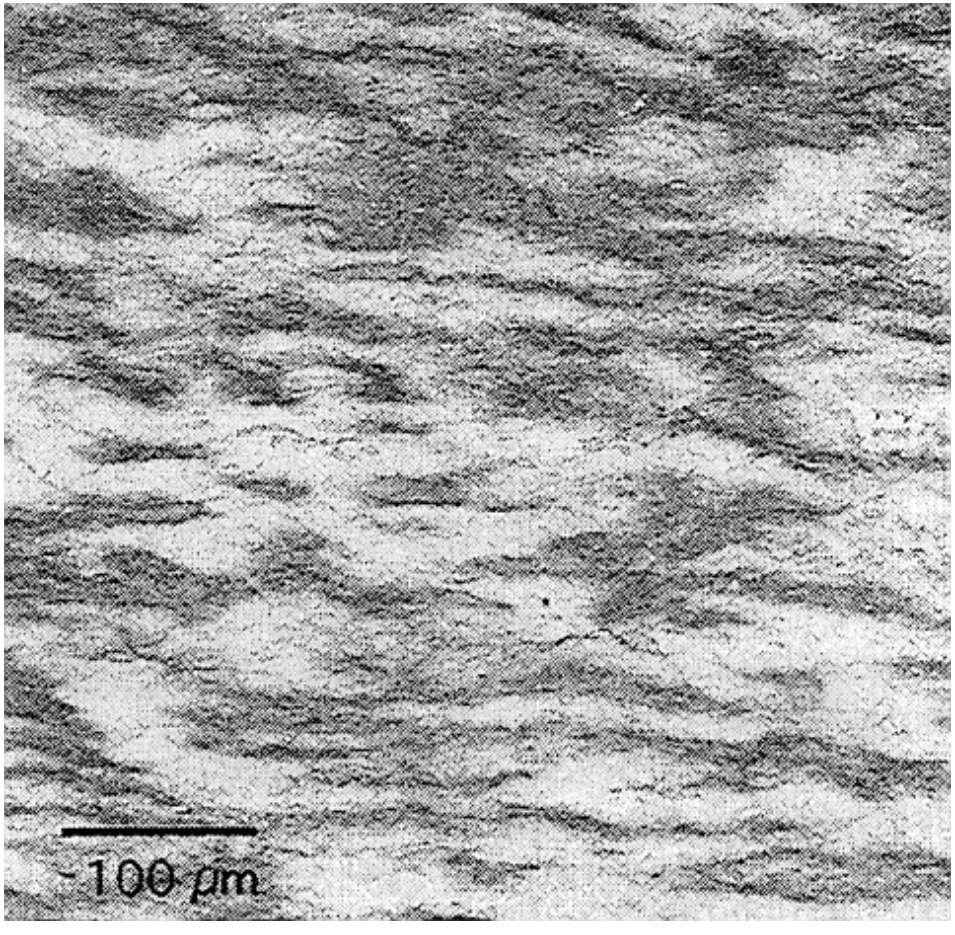




Ku04b

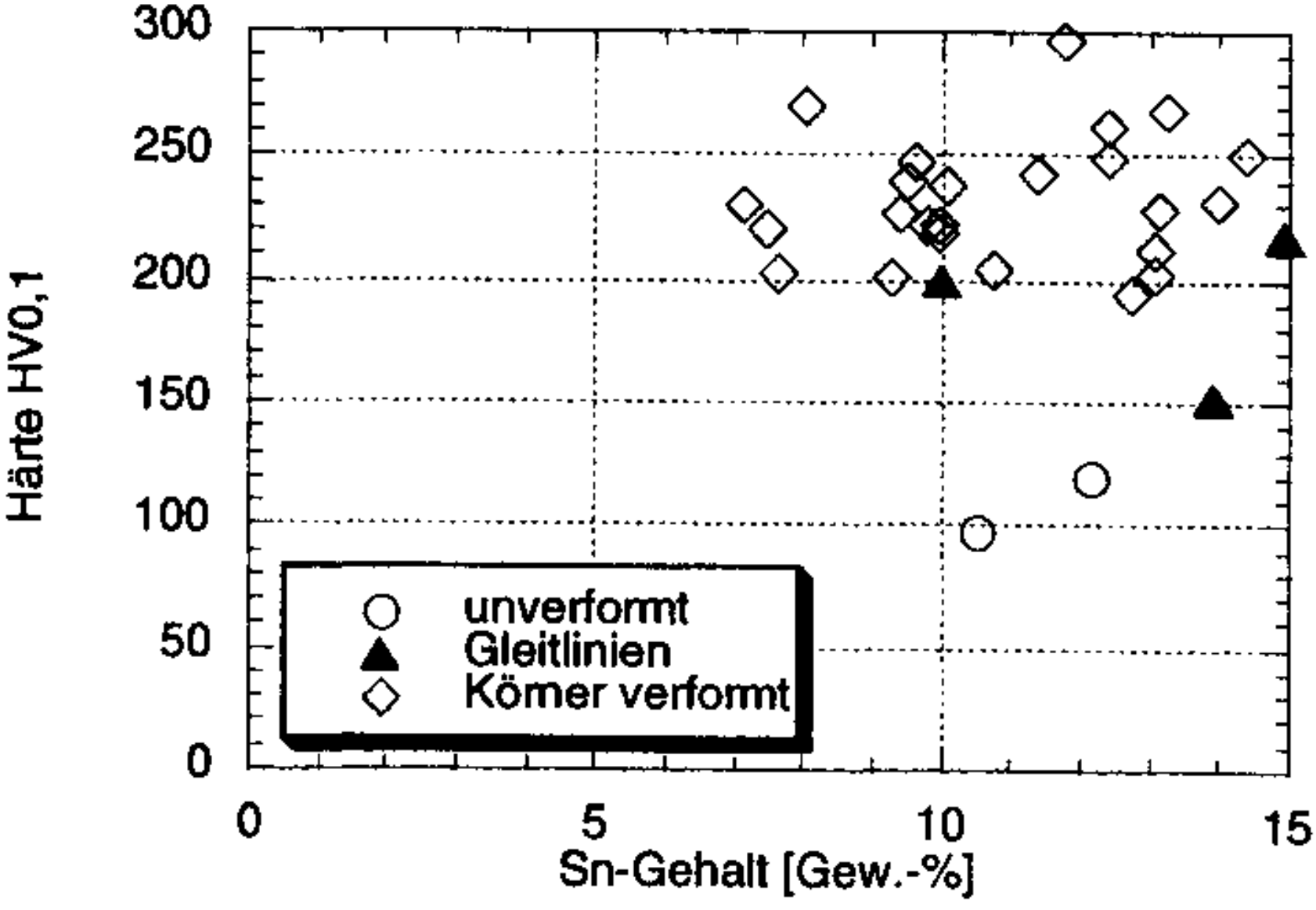
Randleistenbeile vom Typ Langquaid





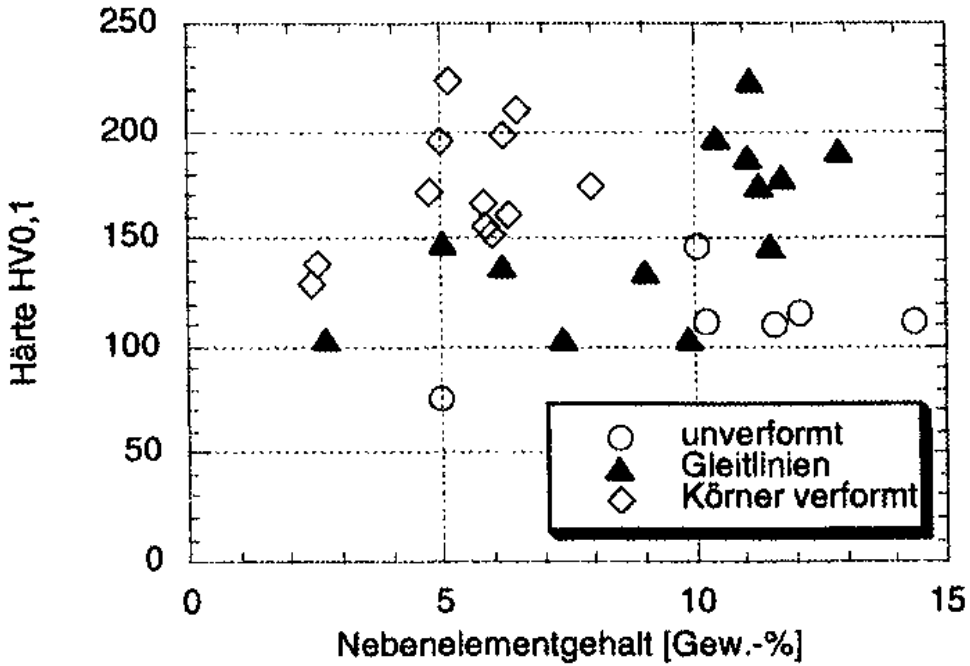
Bronzebeil vom Typ Langquaid und stark verformtes Gefüge durch intensives Kaltschmieden Ki04.

Härte der Langquaid-Beile



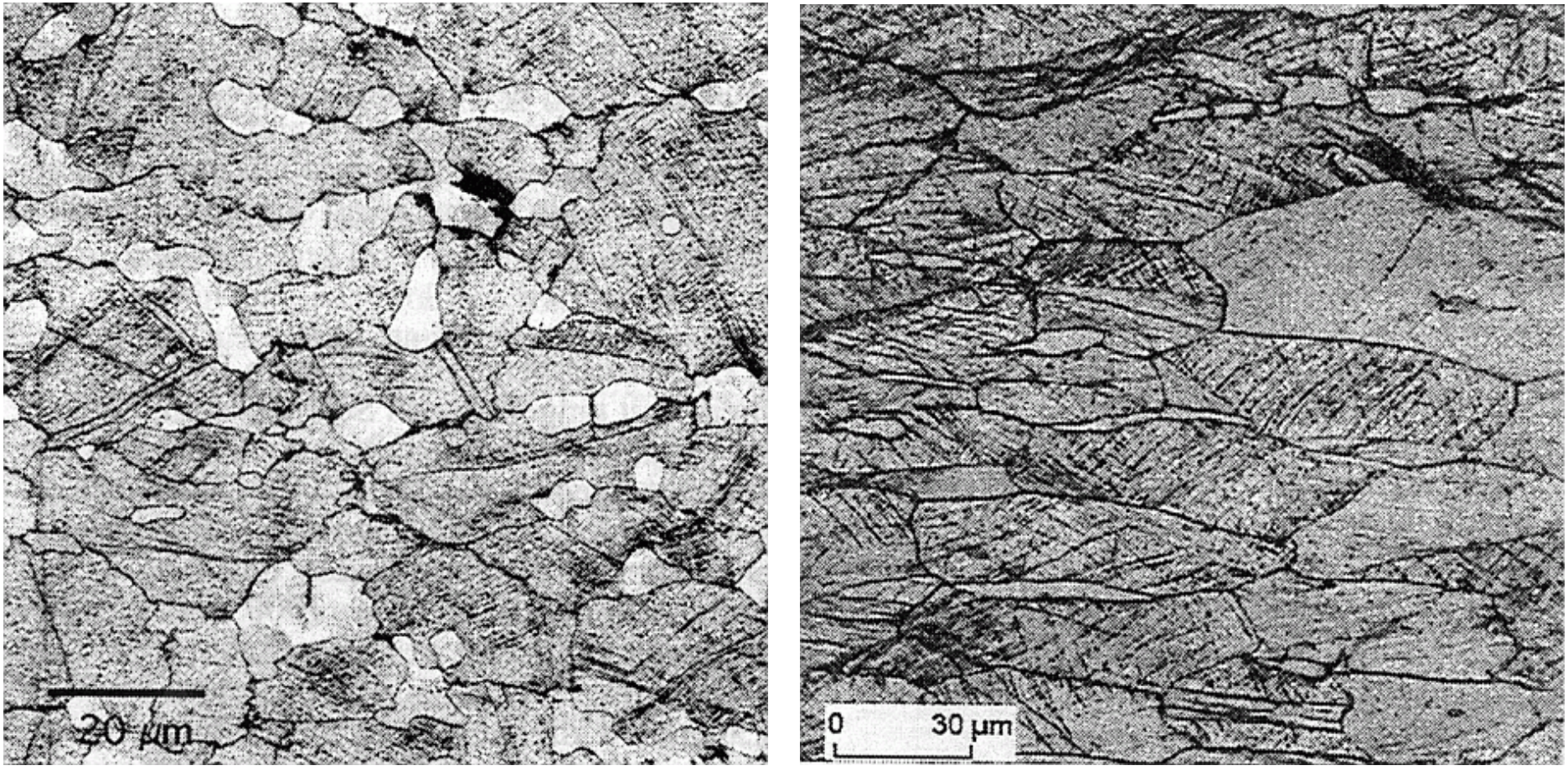
Ferrum Noricum, der Erzberg in der Steiermark

Arsenbronze: Beile vom Typ Salez



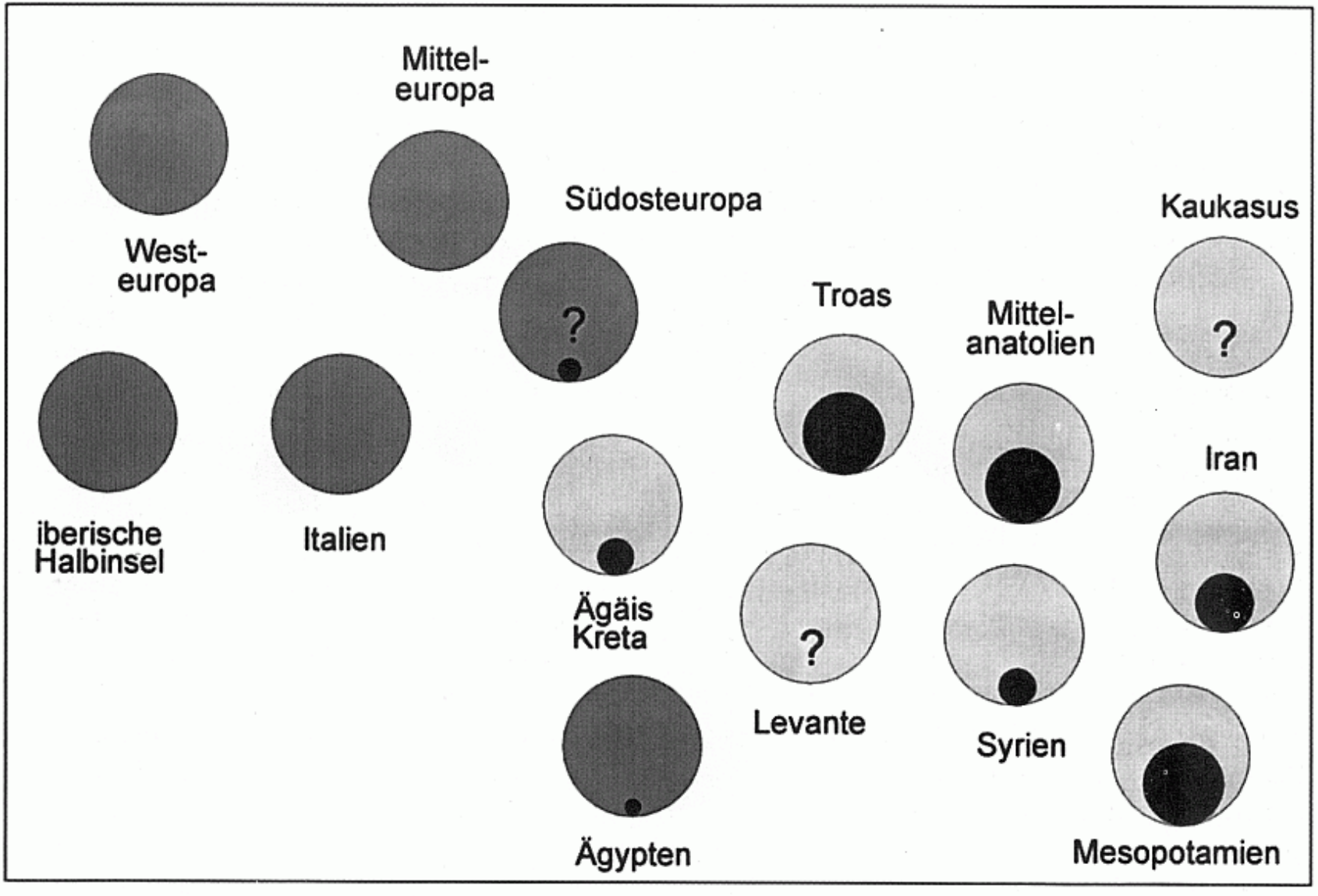
Salezbeile aus Bronzen verschiedener Nebenmetalle und ihre Härte Ki04.

Gefügebilder der Salez-Beile

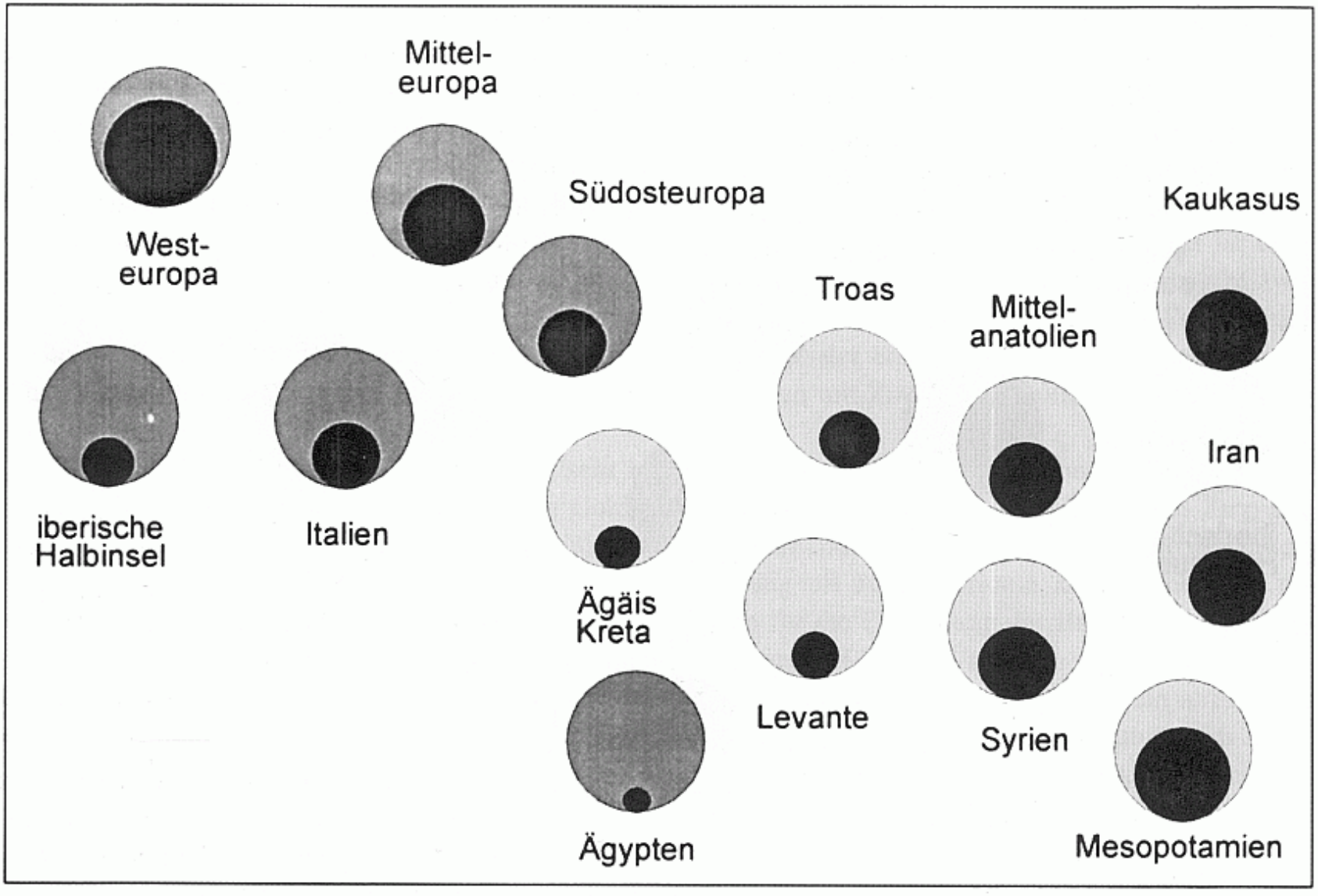


Links: Partielle Rekristallisation mit Zwillingsbildung und Gleitlinien.
Rechts: Stärkere Umformung mit Gleitlinien und verformten Körnern in einem nebenelementärmeren Beil. Ki04.

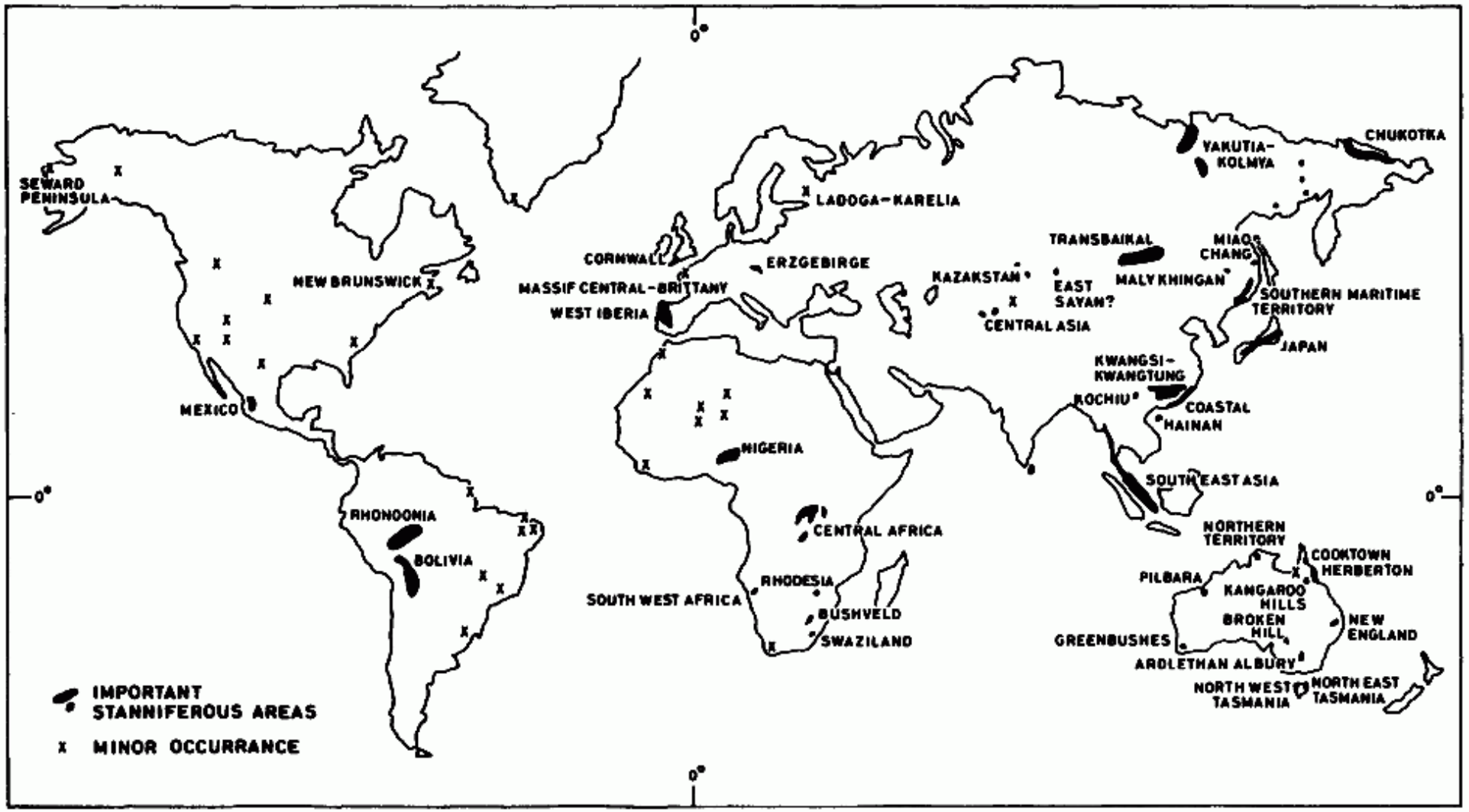
Das Auftreten der ersten Zinnbronzen vor 2200 BC



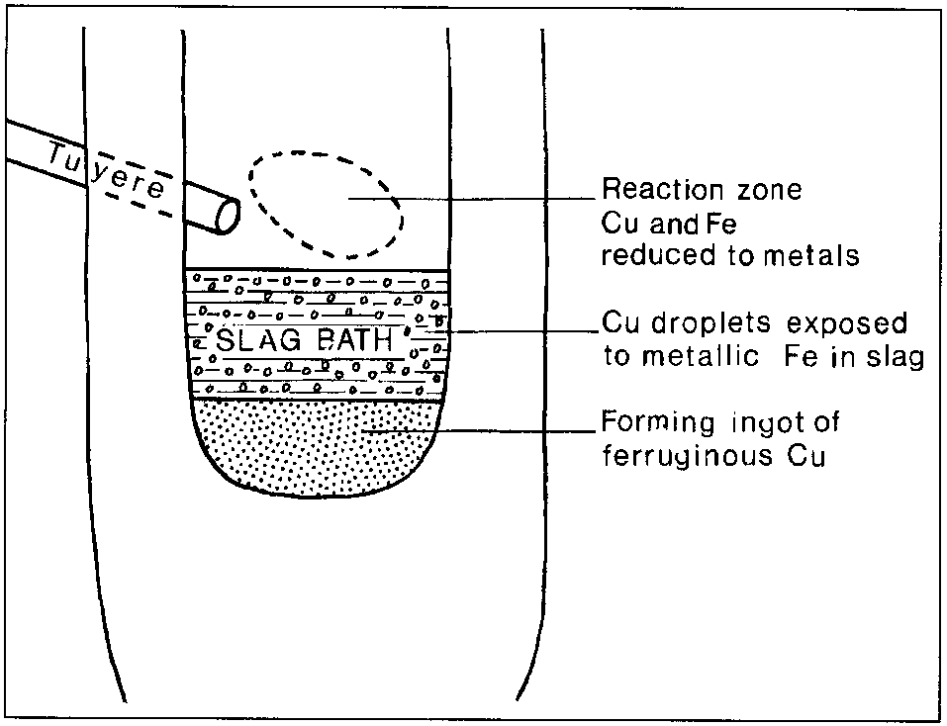
Frühe Zinnbronzen zwischen 2200 und 1800 BC



Zinnvorkommen der Welt

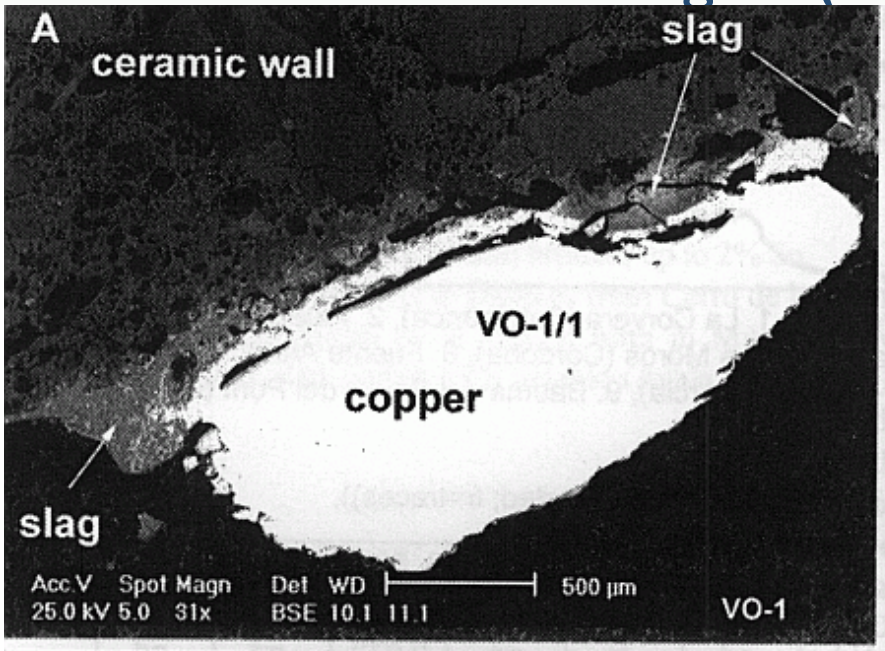


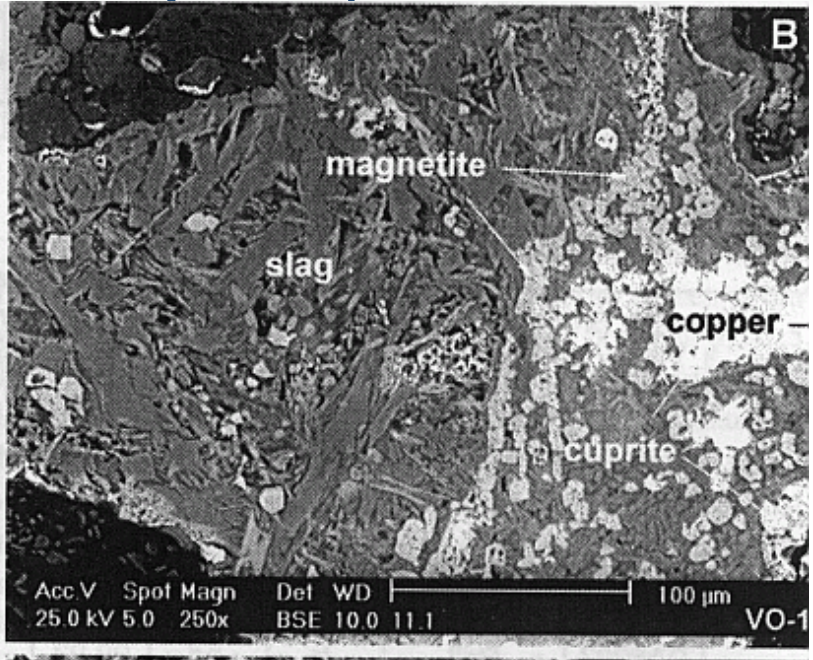
Stark und schwach reduzierende Kupferverhüttung

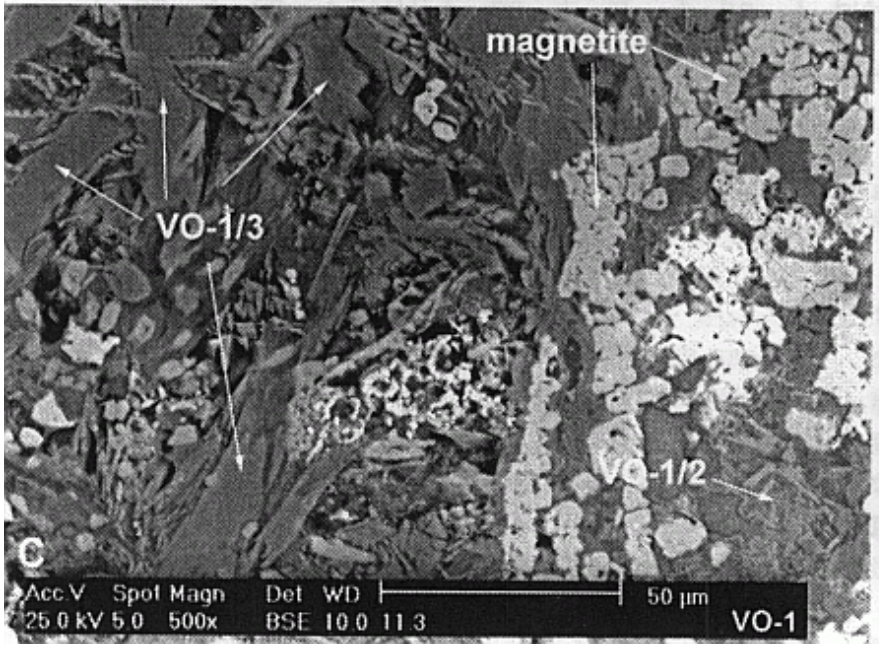


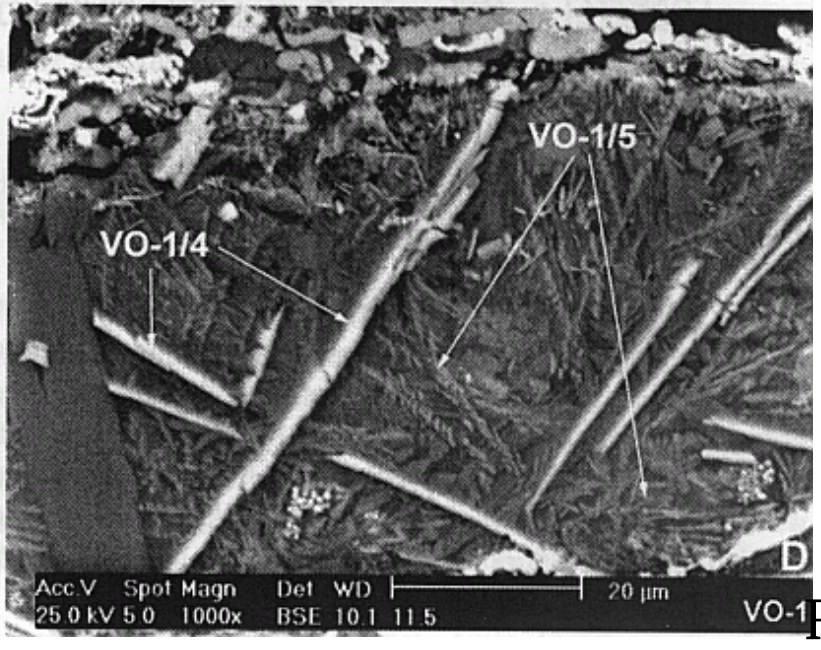
Schwach reduzierende Verhüttung ergibt reines, eisenfreies Kupfer, verhindert aber auch die Reduktion von Zinn aus Mischerzen Cr99.

Zinnschlacken an Reduziertiegeln (Avila, Spanien)









Elementverteilung in der Schlacke und Kupferpille

Table 5. XRF Analysis from Site nº 4 (Villaviciosa de Odón). (% in weight).

NUM_ANALIS	TIPO	FE	NI	CU	ZN	AS	AG	SN	SB	PB
PA3046	Palmela arrowhead	0.04	nd	99.5	nd	0.20	0.017	0,004	0.154	nd
PA3047A	Metal drop	0.96	nd	96.0	nd	2.87	tr	0,17	nd	nd
PA3047	Smelting crucible	17.8	nd	65.3	nd	11.9	nd	5,08	nd	nd
PA3048	Smelting crucible	49.6	nd	24.4	nd	22.5	0.107	0,36	0.066	2.50

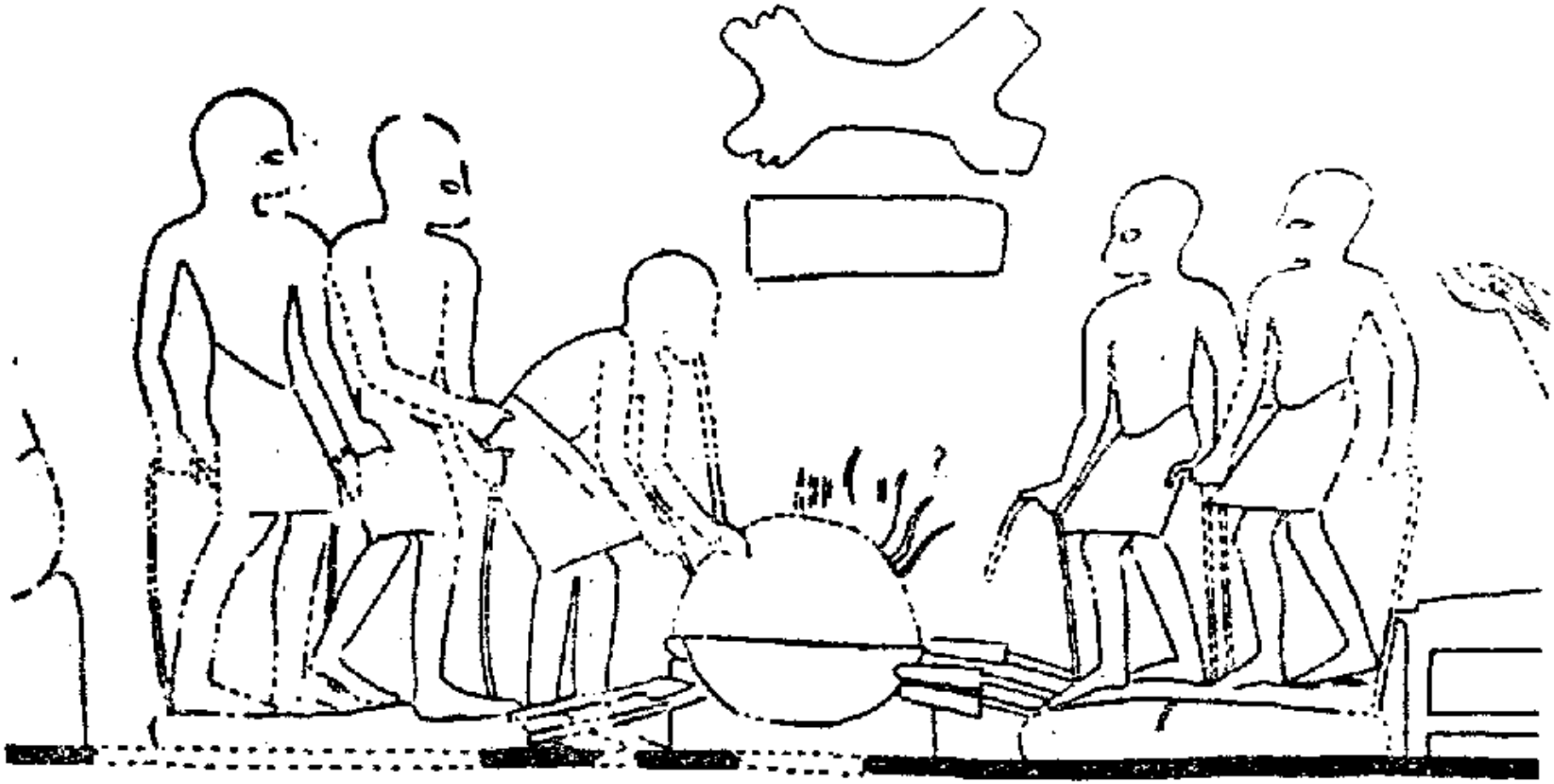
Table 6. Slag in smelting crucible (SEM microanalysis, weight %)

ANALYSI	PHASE	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	FeO	CuO	As_2O_3	SnO_2
VO-1/2	Glassy matrix	0	5.11	16.9	1.3	20.7	17.3	11.3	10.6	2.2
VO-1/3	Pyroxene laths	3.6	4.4	32.7	0.1	25.5	24.3	1.5	2.7	3.6
VO-1/4	Delafossite needle	0	0	24.2	0	7.5	25.3	37.9	4.7	0
VO-1/5	Glassy matrix	3	4.6	37.2	1.8	18.7	8.7	12.8	10.6	1.3
VO-1/6	Ceramic (bulk)	1.1	16.1	64.1	4.8	5.3	7.2	0	0	0

Table 7. Metal prill in slag (SEM microanalysis, weight %)

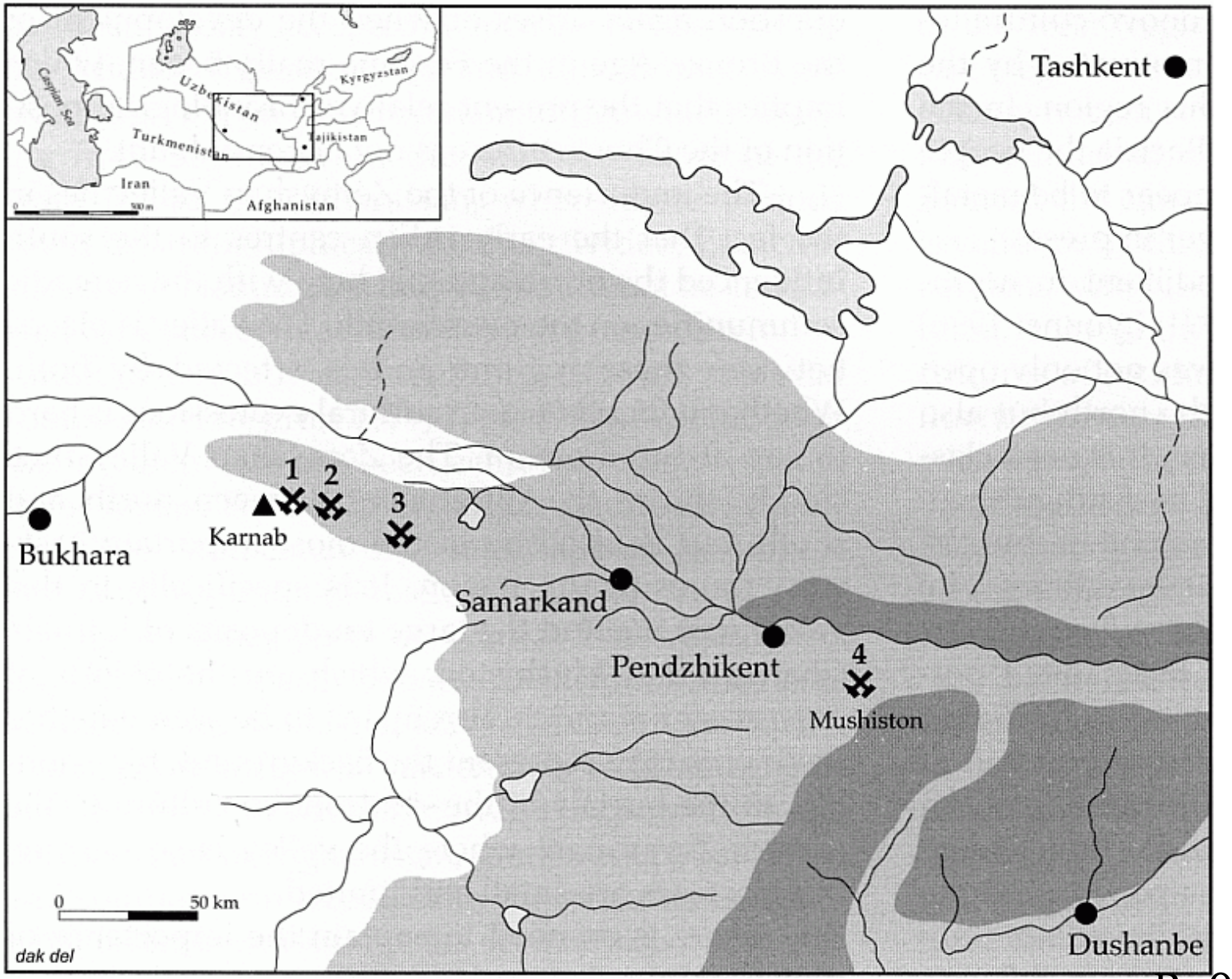
ANALYSIS	PHASE	Cu	Sn	As	Fe
VO-1/1	Metal prill	95.58	0.35	4.07	0

Bronzelegierung aus Kupfer- und Zinnbarren



Ägyptische Wandmalerei in einem Handwerkergrab aus der Zeit Amenhoteps III., 1385–1370 BC.
Gezeigt ist das von vier Blasebalgpaaren befeuerte Erschmelzen von Bronze aus Barren von Kupfer und Zinn Wa43.

Früher Zinnbergbau in Usbekistan und Kasachstan



Die Lage von Karnab und Mushiston im Zeravshantal Bo02.

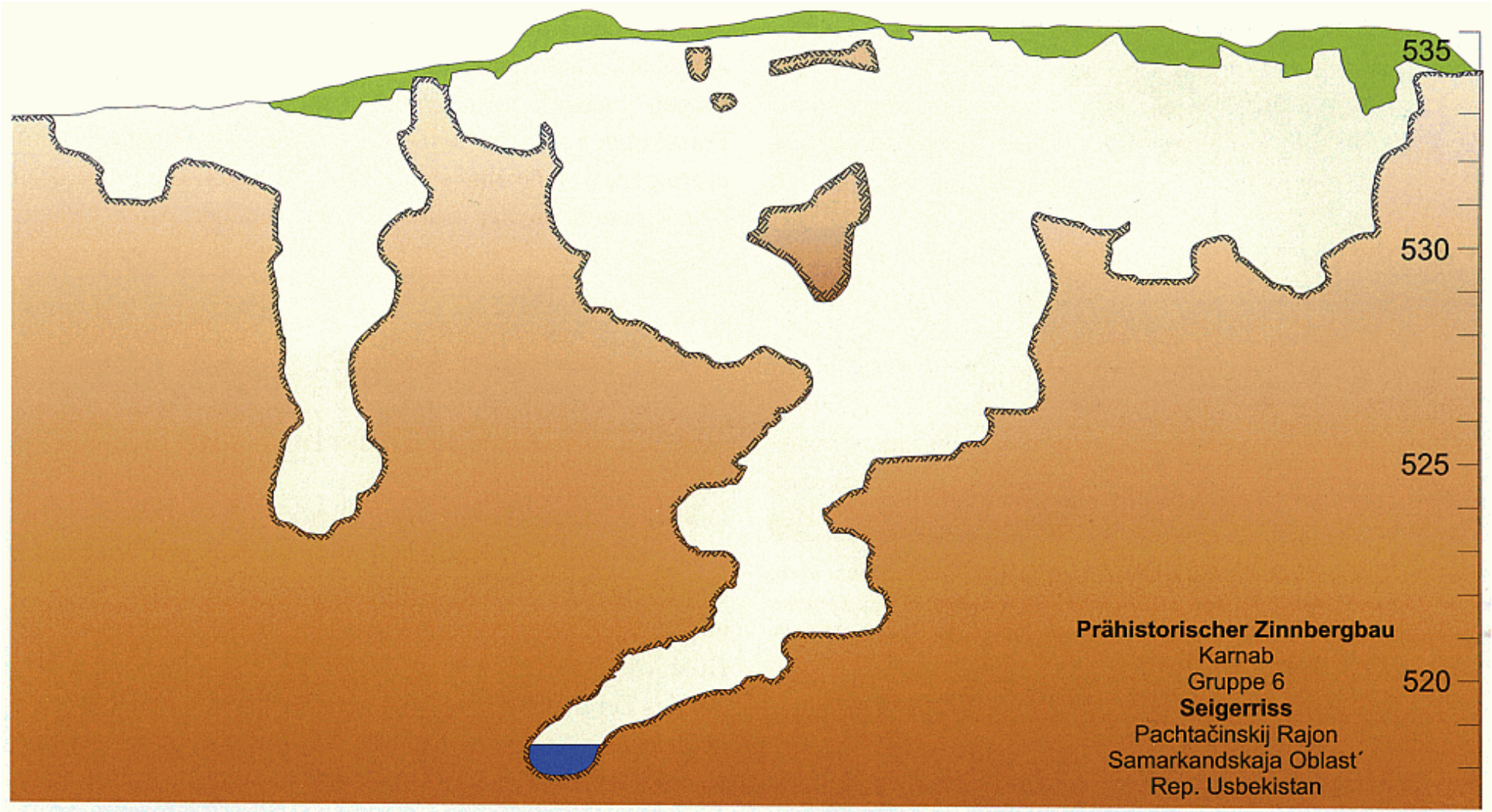
Karnab Schacht 3/3

Der von rezenter Prospektion freigelegte Schacht 3/3 in Karnab Ci05.

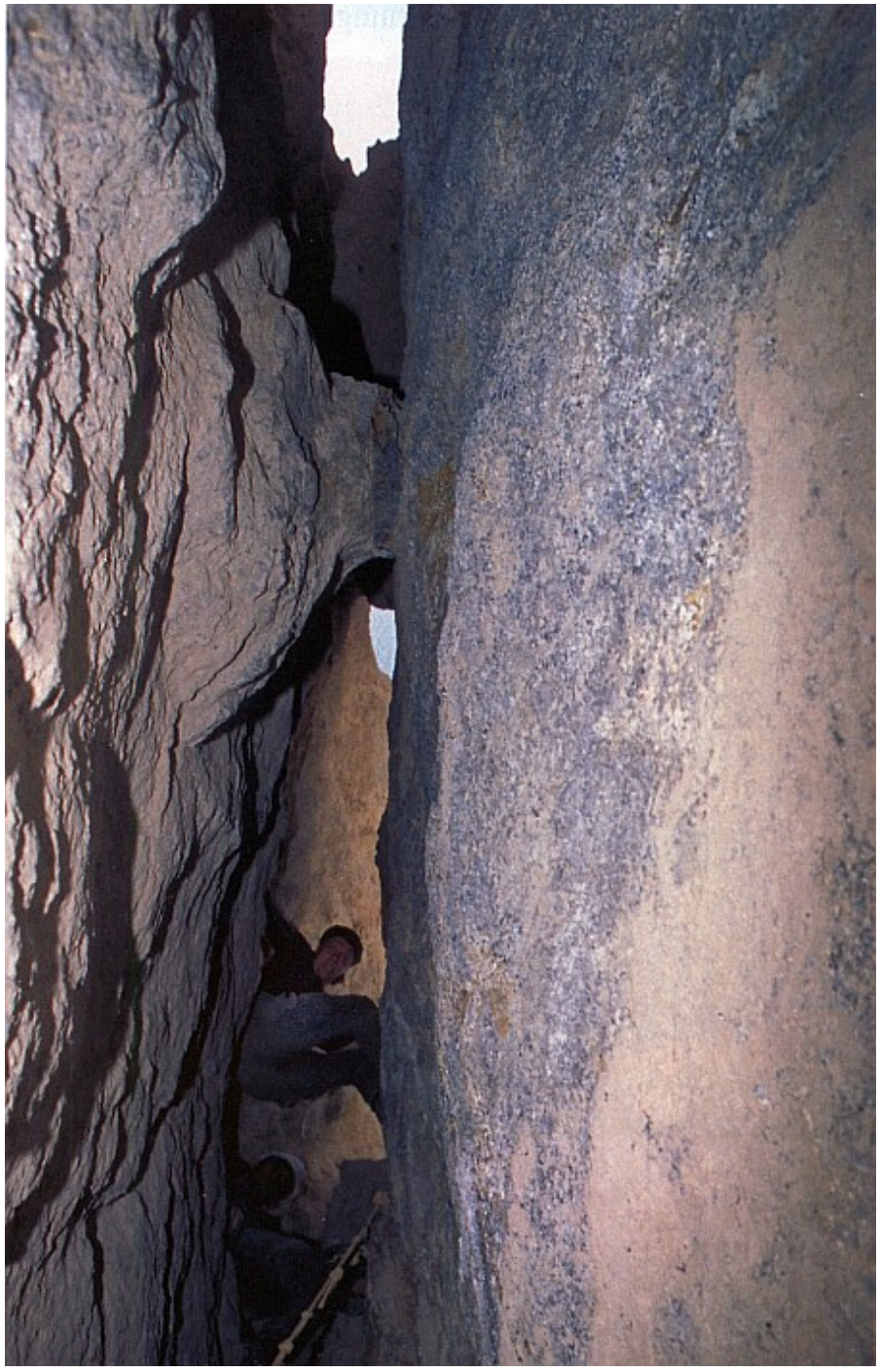
Karnab Schacht 6/1

Der von rezenter Prospektion freigelegte 30 m lange Schacht 6/1 in Karnab Ci05.

Karnab Schacht 6/1: Seigerriß



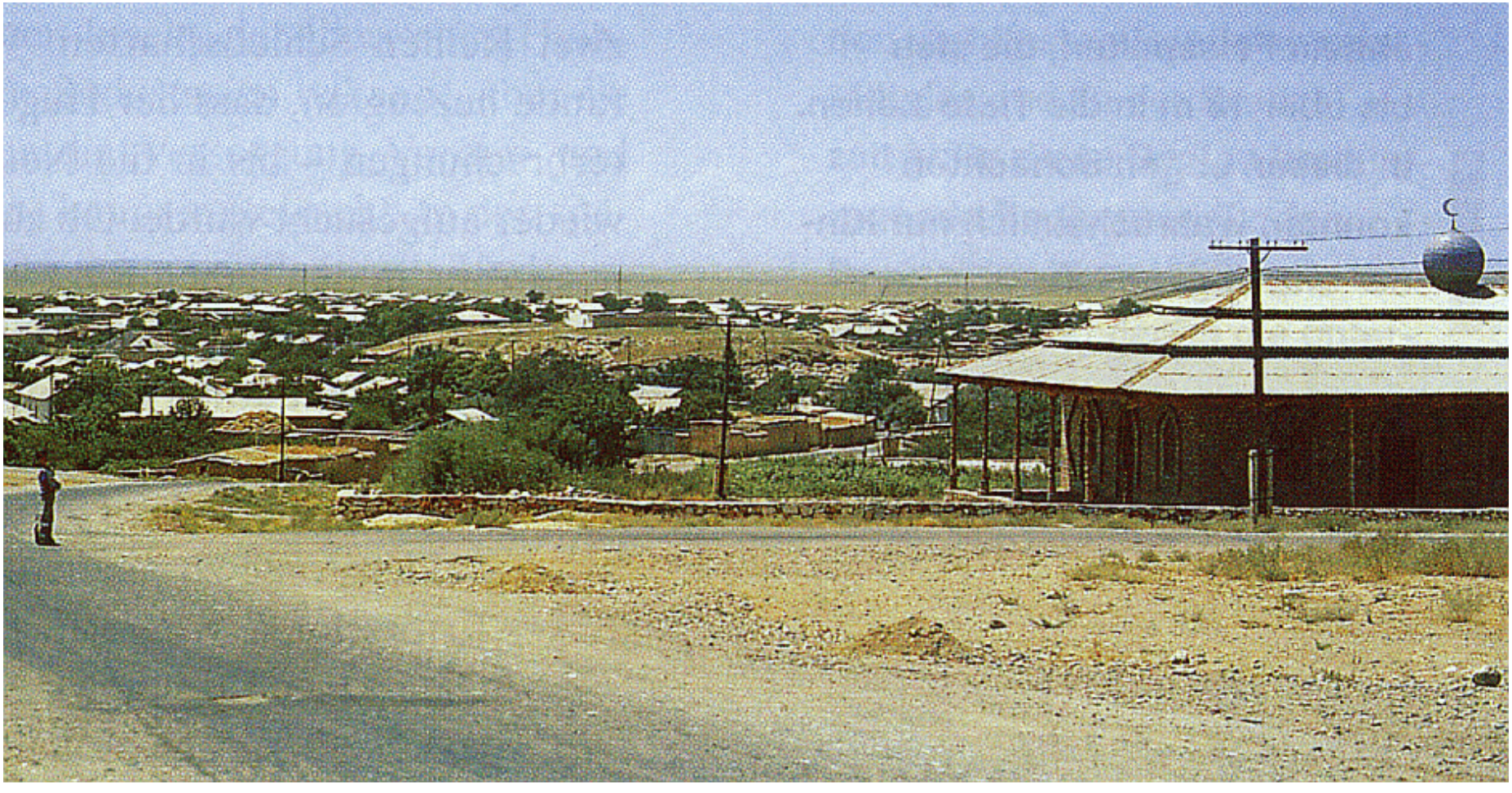
Karnab Schacht 6/1



Blick aus der Tiefe nach oben.
Rechts im Sicherheitspfeiler ein Rest des ca. 5 cm mächtigen Zinnganges Ci05.

Ci05

Der Tell von Karnab



Der Tell im Zentrum der Ortschaft Karnab. Seine Besiedlung reichte vom 4. Jh. BC bis ins 12. Jh. CE Bo02.

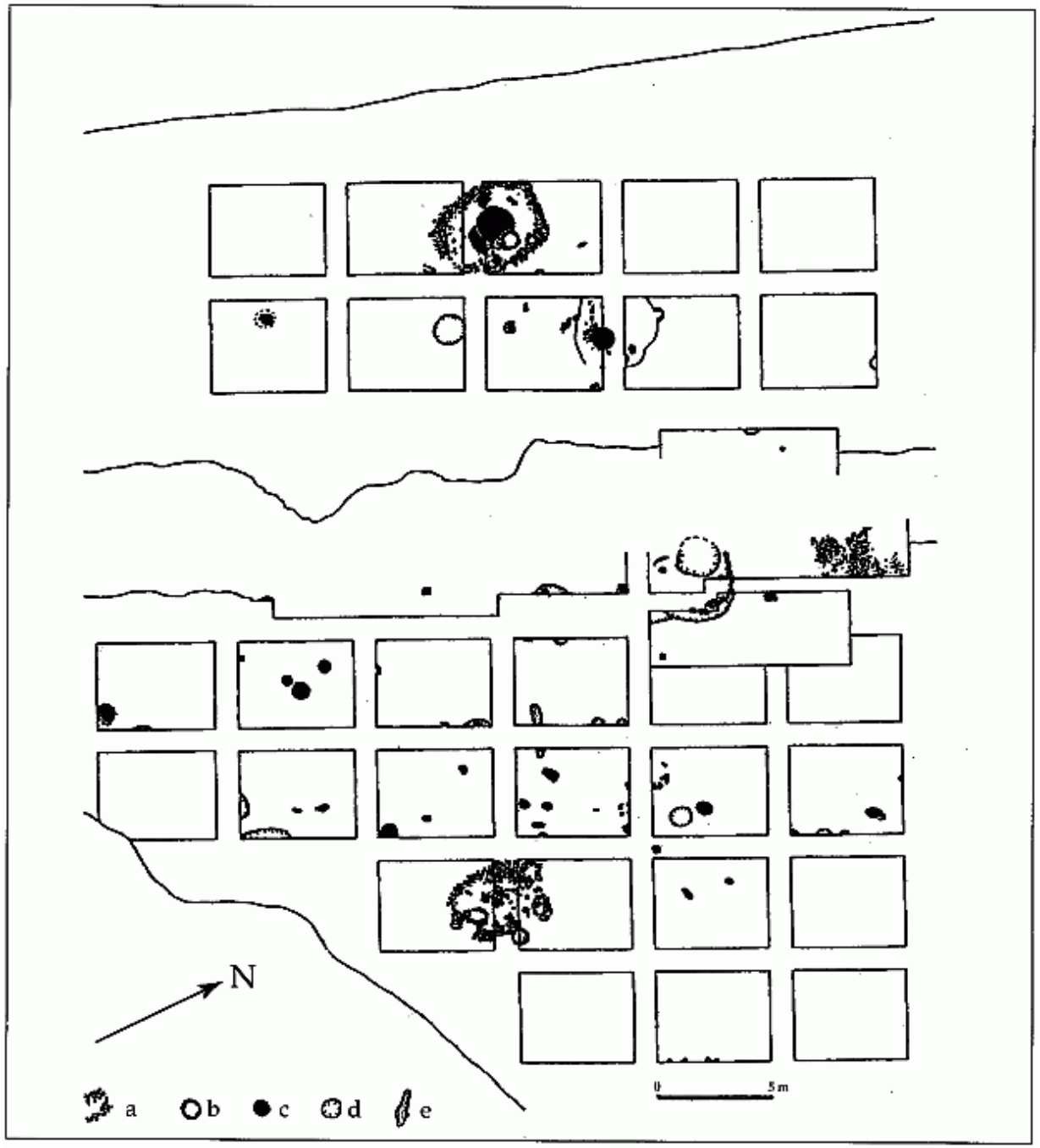
Befestigung in Karnab

Die Befestigung mit zwei Reihen von Schießscharten stammt aus den ersten vier Jahrhunderten CE und sicherte vermutlich die Wegekreuzung Pa01.

Die Bergarbeitersiedlung Sichkonchi bei Karnab

Die Siedlungsreste lagen unter etwa 1 m sterilen Löß verborgen und wurden bei einer Bulldozer-Prospektion entdeckt. Blick von Nordosten Pa01.

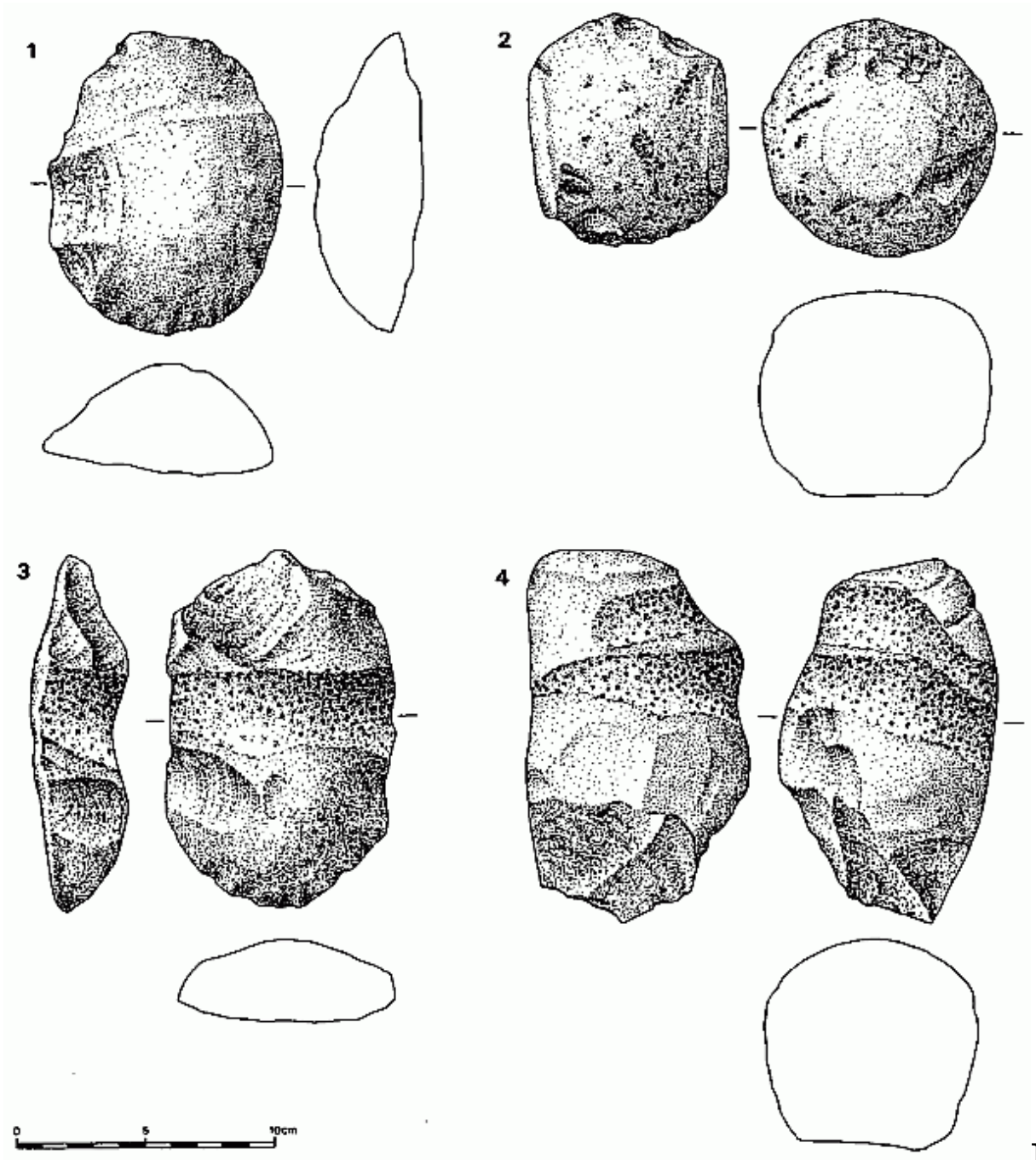
Karnab Sichkonchi Grabungsplan



Grabungsplan der Bergarbeitersiedlung Sichkonchi bei Karnab
a Steinsetzung
b Ofen
c Feuerstelle
d Grube
e Kanal aus gestampftem Ton Bo02.

Bo02

Werkzeuge aus Karnab



Der Aufstieg nach Mushiston

Blick zurück ins Seitental des Zeravshan beim Aufstieg zu den Gruben von Mushiston Ci05.

Bergwerk von Mushiston

Rezentes Geologenlager in Mushiston.
Das Bergbaurevier liegt links oberhalb der Bäume. Al98.

Al98, Pa01, Ci03, Ci05

Bergwerk von Mushiston

Die alten Stollen liegen oberhalb der rezenten Halde Pa01.

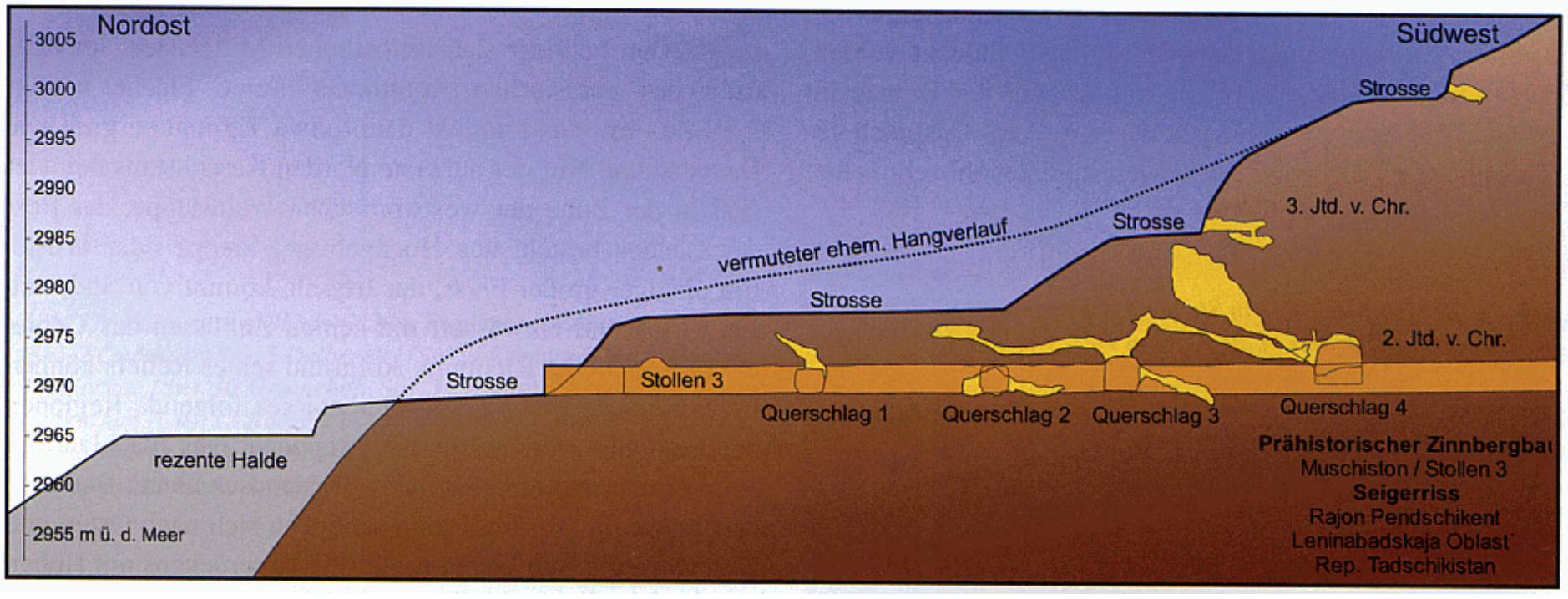
Bergwerk von Mushiston

Von Bulldozertrassen angeschnittene und freigelegte alte Stolleneingänge Ci03.

Bergwerk von Mushiston

Die alten Stollen liegen oberhalb der rezenten Halde Ci05.

Bergwerk von Mushiston



Schnitt durch den Hang Ci05.

Bergwerk von Mushiston

Vom rezenten Stollen angeschnittene alte Gänge Al98.

Erzgang in Mushiston

Heller Quarzgang mit grünen Kupfer- und gelbgrünen Zinnerzen Ci05.

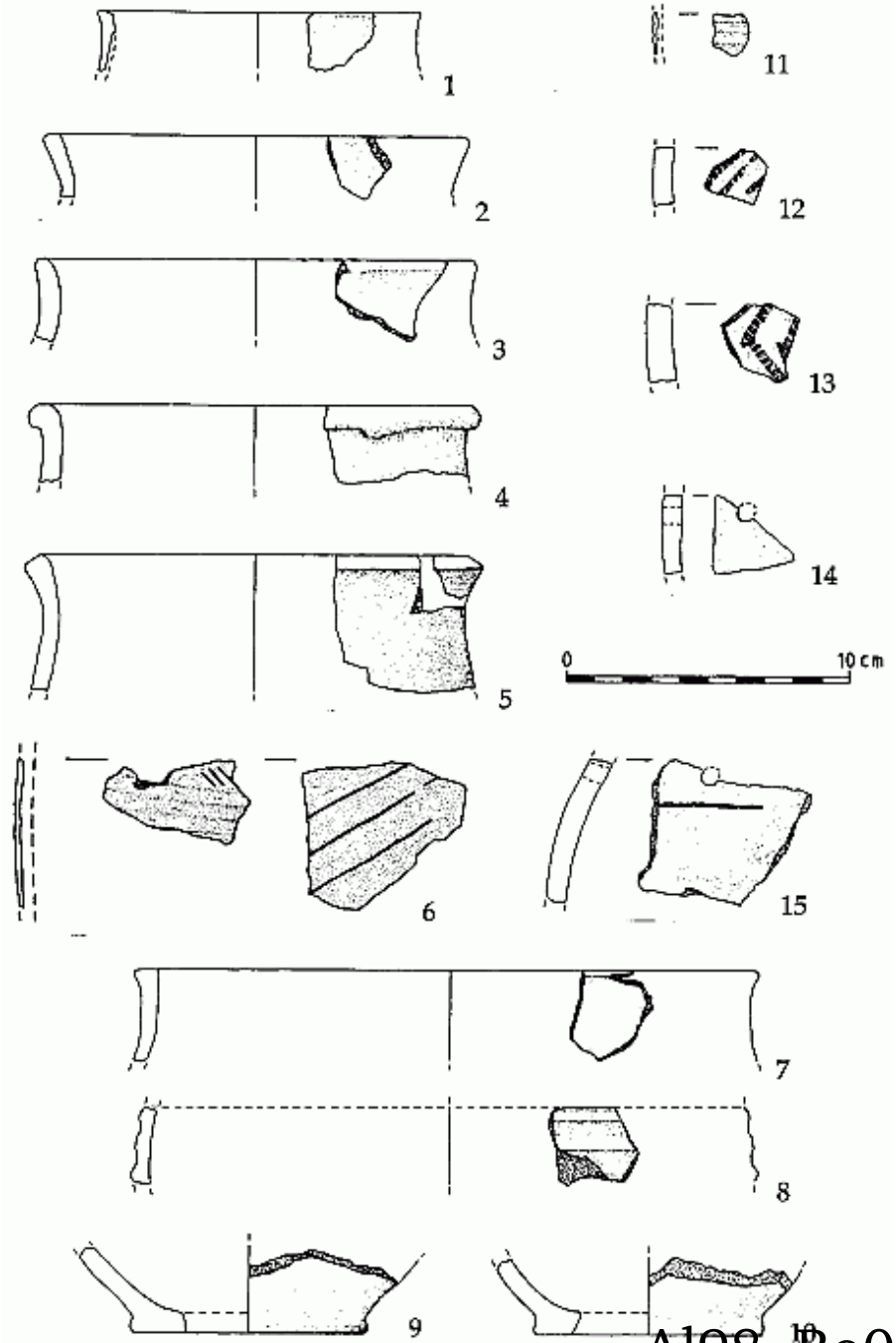
Datierter Holzstempel

Holz an der Grubensohle, datiert auf 1515–1265 cal BC (95 %) Al98.

Datierter Holzstempel

In situ gefundener Holzstempel, datiert auf 1645–1250 cal BC (95 %) Al98.

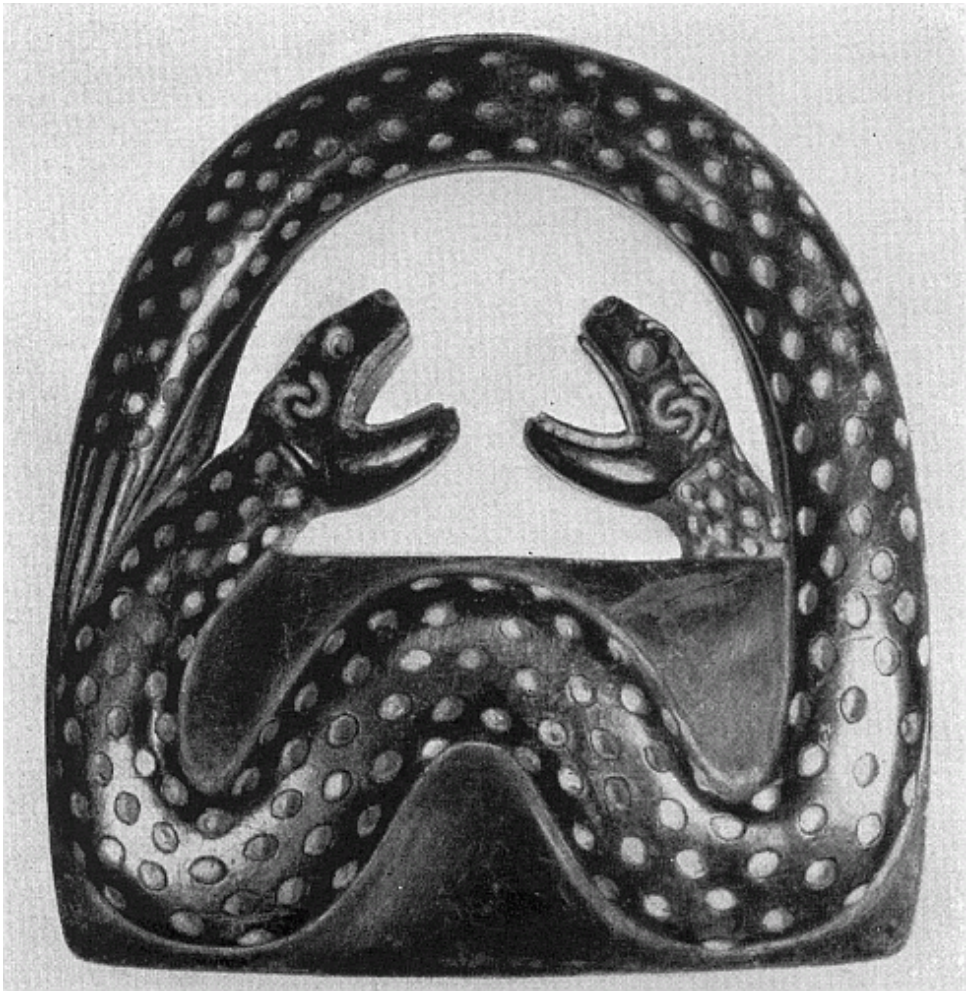
Andronovo Keramik in Mishiston und Karnab-Sichkonchi



A198, Bo02

Verbreitungsgebiet der Andronovo-Kultur

Ein elamitischer Streufund in Soch



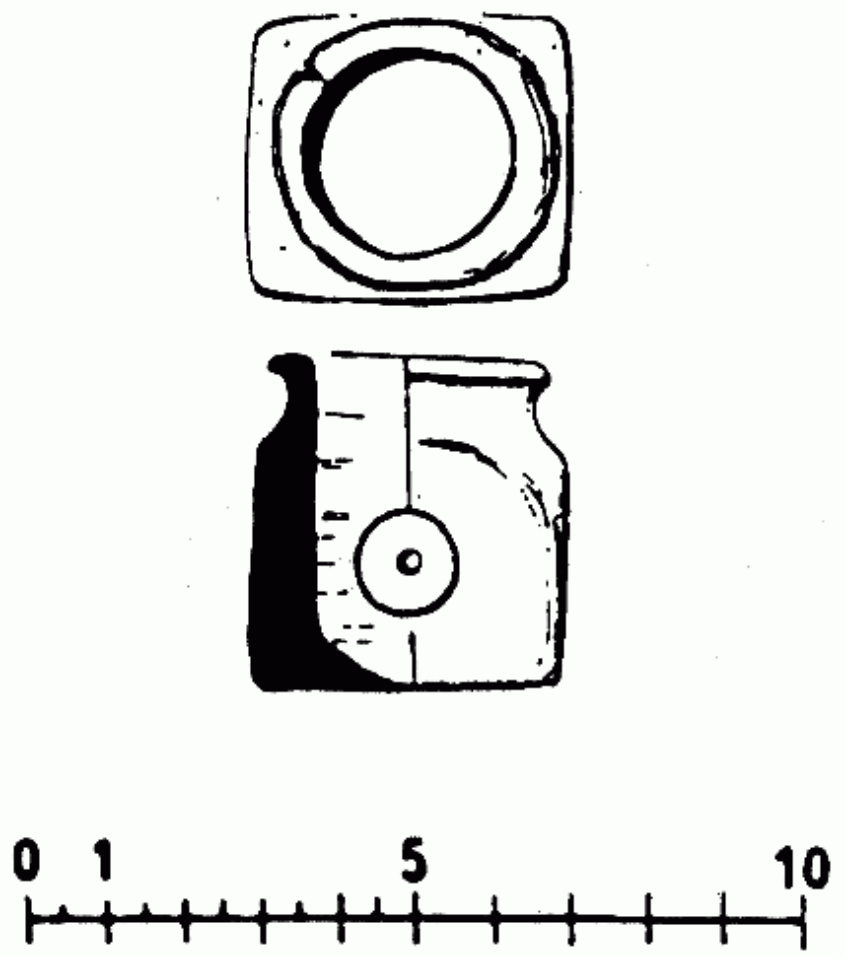
In Soch, Fergana, gefundenes Kultobjekt aus Elam, vermutlich Mitte des 3. Jt. BC. Rechts zum Vergleich ein verbreitetes elamitisches Dekor. Br71.

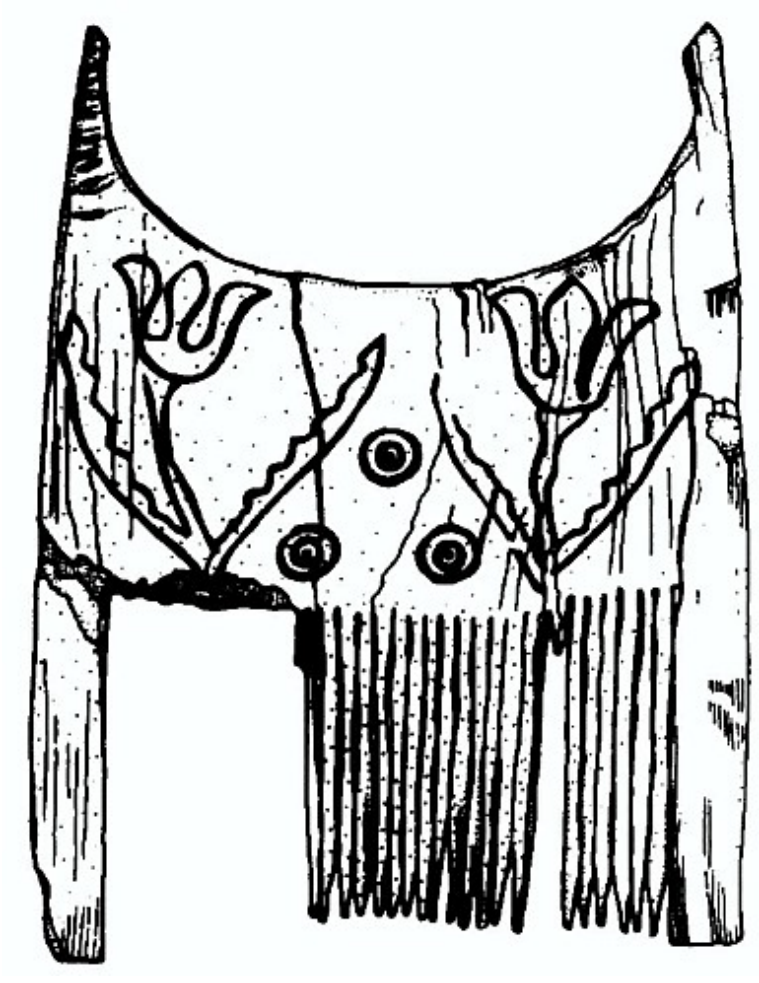
Importe des MBAC in Bahrain

Grabfunde aus ’Ali, Bahrain. In der Mitte ein Kelch aus dem Murghabo-Baktrischen Kulturkomplex (MBAC, Anfang des 2. Jt. BC), links und rechts verzierte lokale Nachbildungen Du94.

Du94

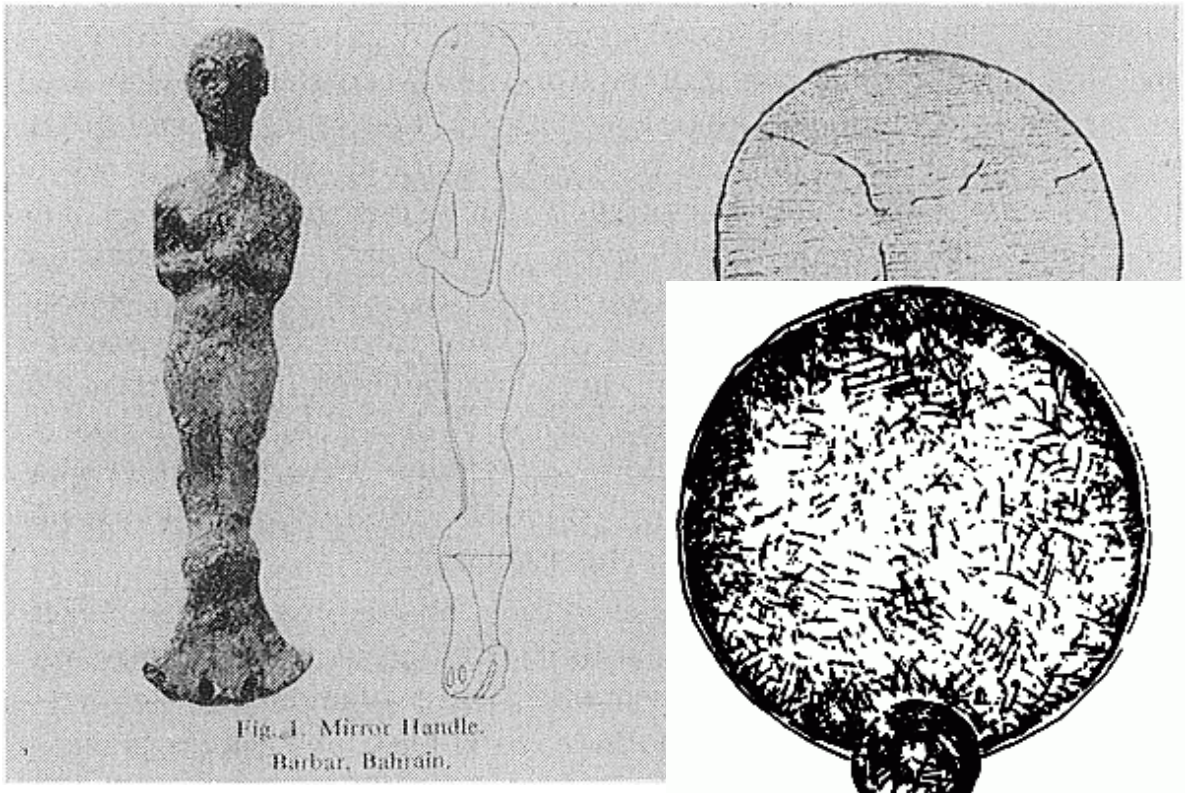
Chloritgefäß und Elfenbeinkamm

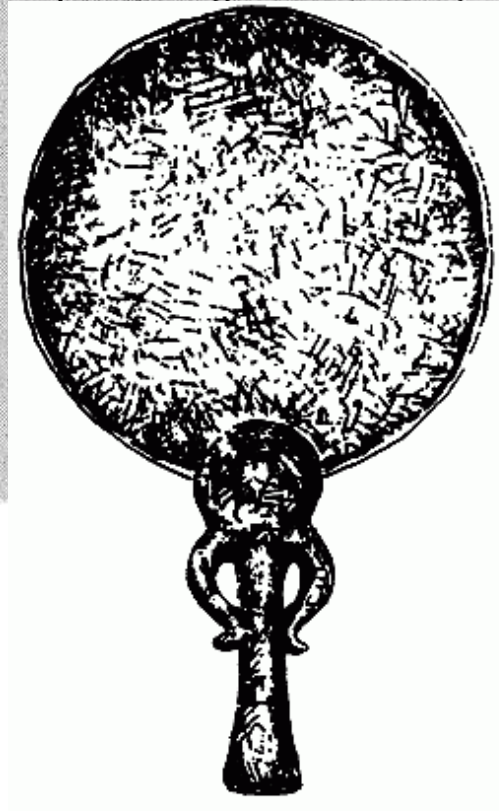


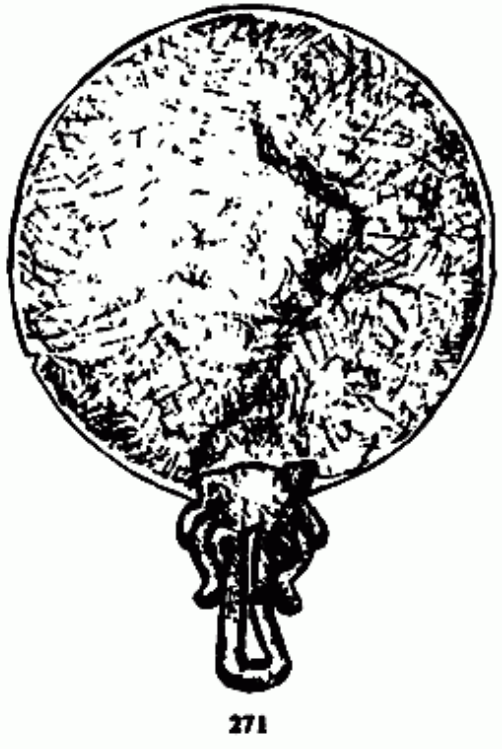


Links: MBAC Chloritgefäß aus Grab A, Hili North, Abu Dhabi Du94.
Rechts: MBAC Kamm aus Elfenbein aus dem Tell Abraq, U.A.E., Ende 3. Jt. BC Du95.

Nachbilding eines baktrischen Spiegels





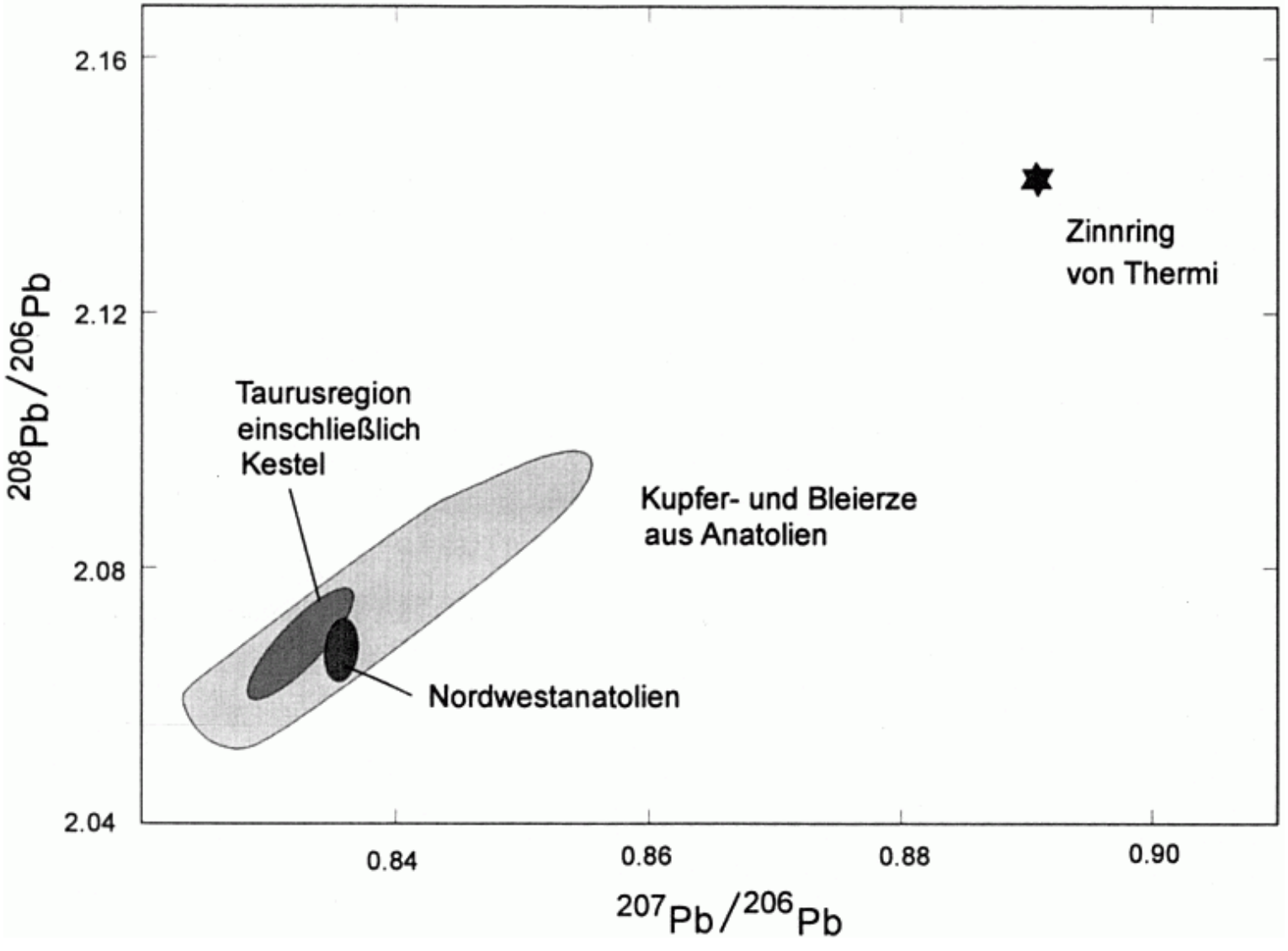


Links: Spiegelgriff, Barbartempel, Bahrain.
Rechts: baktrische Bronzespiegel Du94.

Transport durch Karawanen

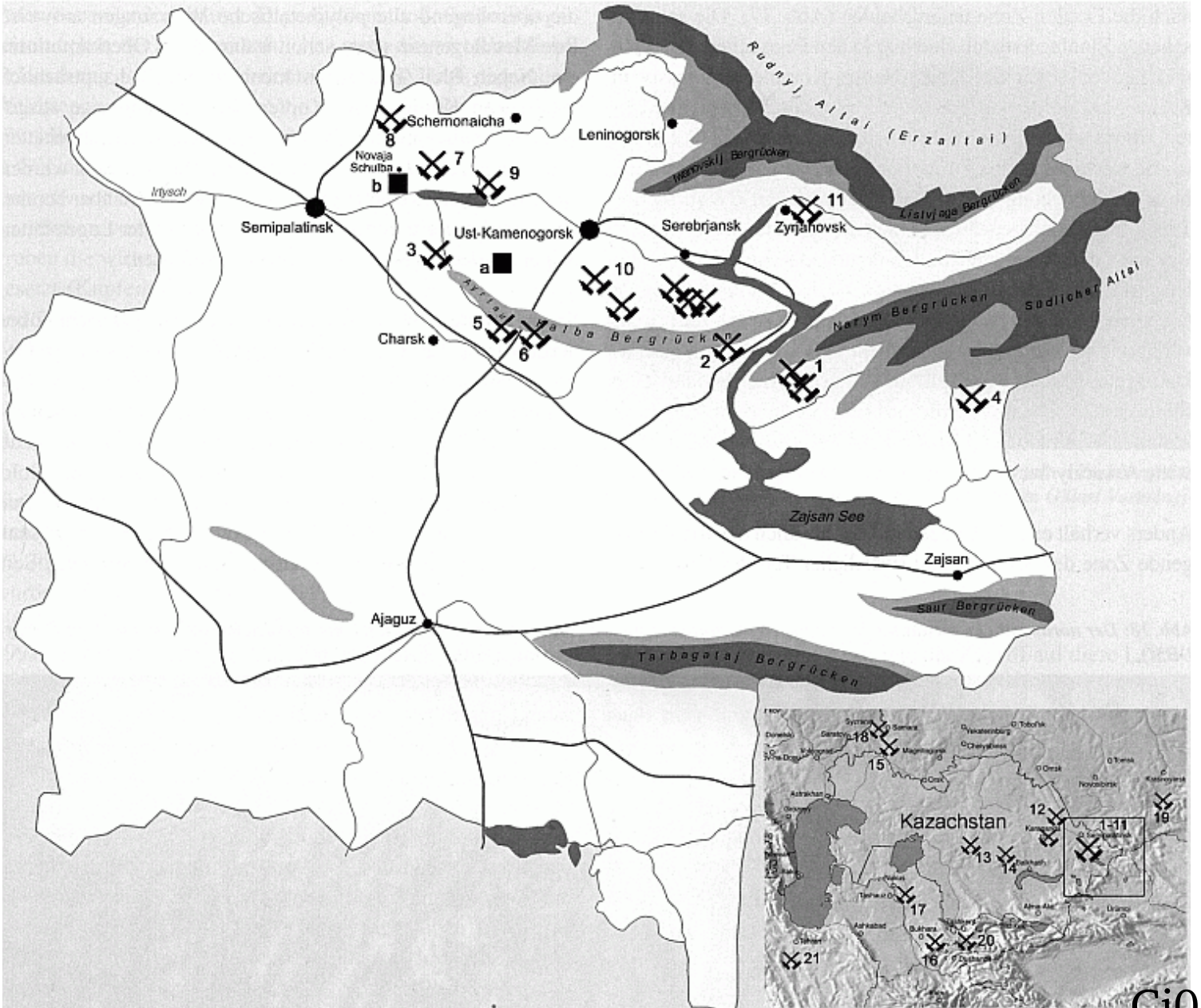
Künstlerische Darstellung des Zinntransports nach dem Fund antiker Barren am Grund des Hafens von Falmouth 1863 Mu85.
Transport von Kerosin und Getreide bei Zarshuran, Iran, 1978 Ci05.

Bleisotope der ältesten Bronzen



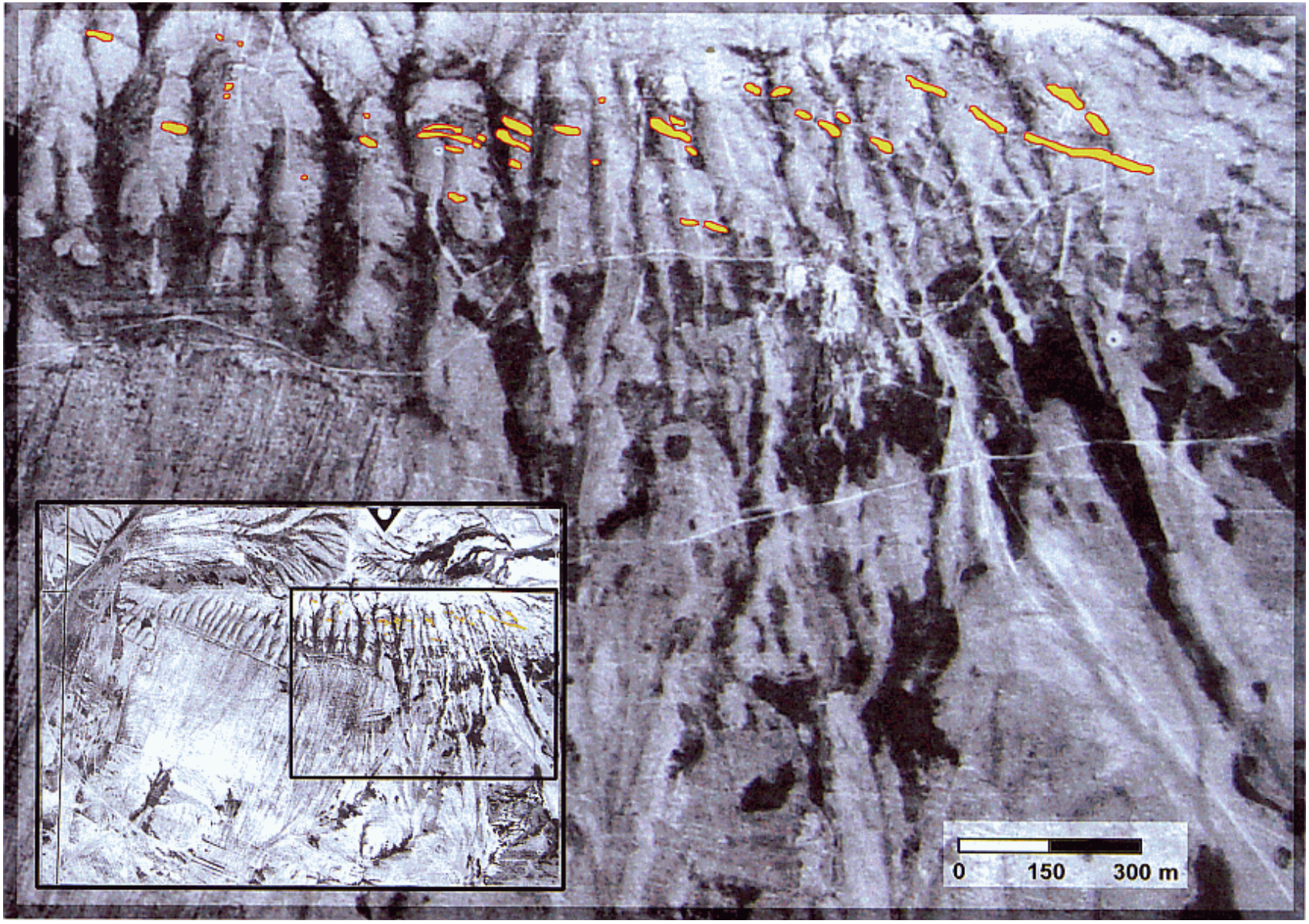
Bleiisotope des einzigen frühbronzezeitlichen Zinnobjektes aus dem östlichen Mittelmeerraum, des Zinnrings von Thermi Pe98.

Das Revier in Ostkasachstan



3: Delbegtej;
16: Karnab;
20: Mushiston
Ci05.

Askaraly 1

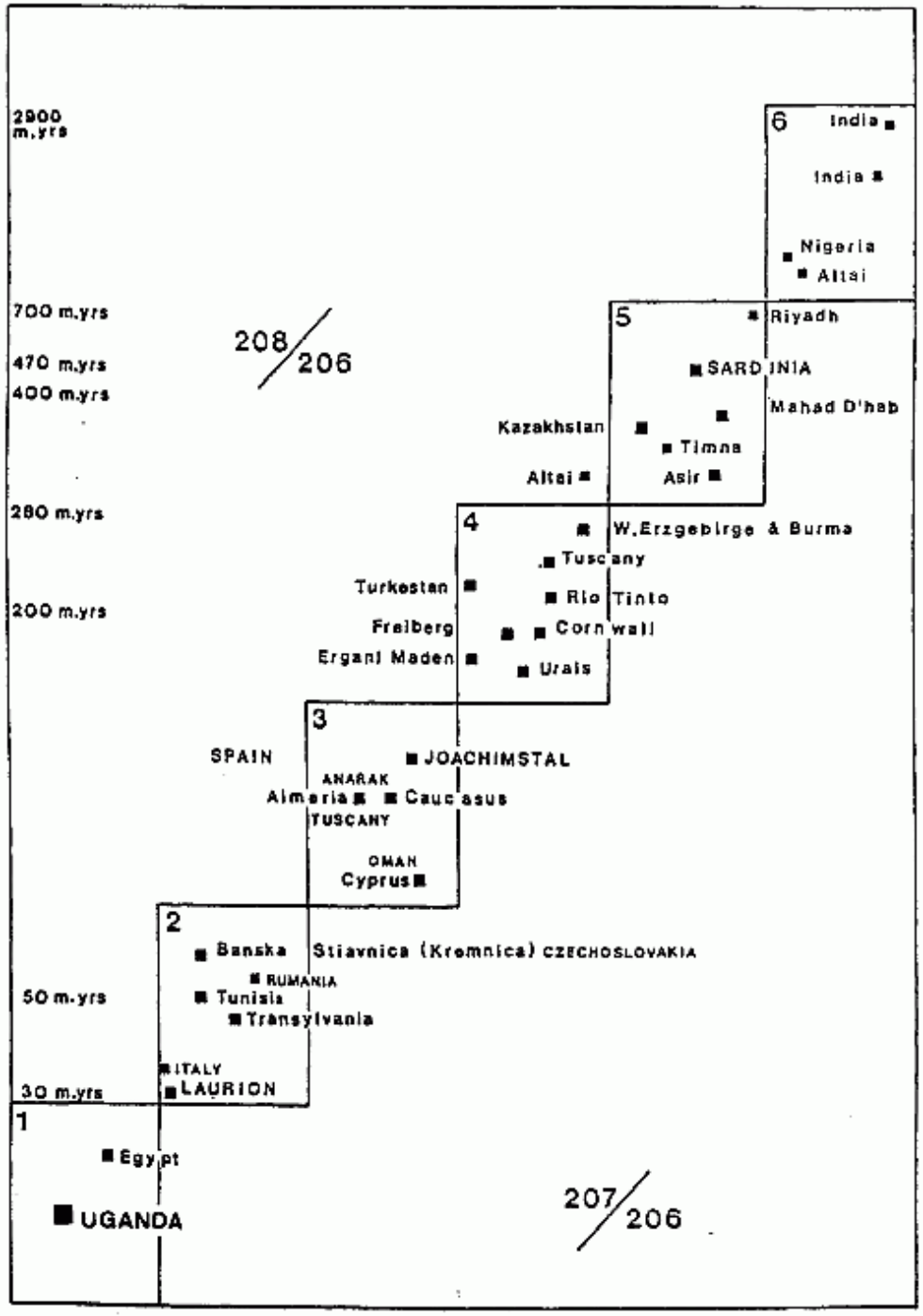


Der nordwestliche Ausläufer des Delbegtej-Granitmassivs mit den Pingenzügen der Fundstelle Askaraly 1 Ci05

Askaraly 1

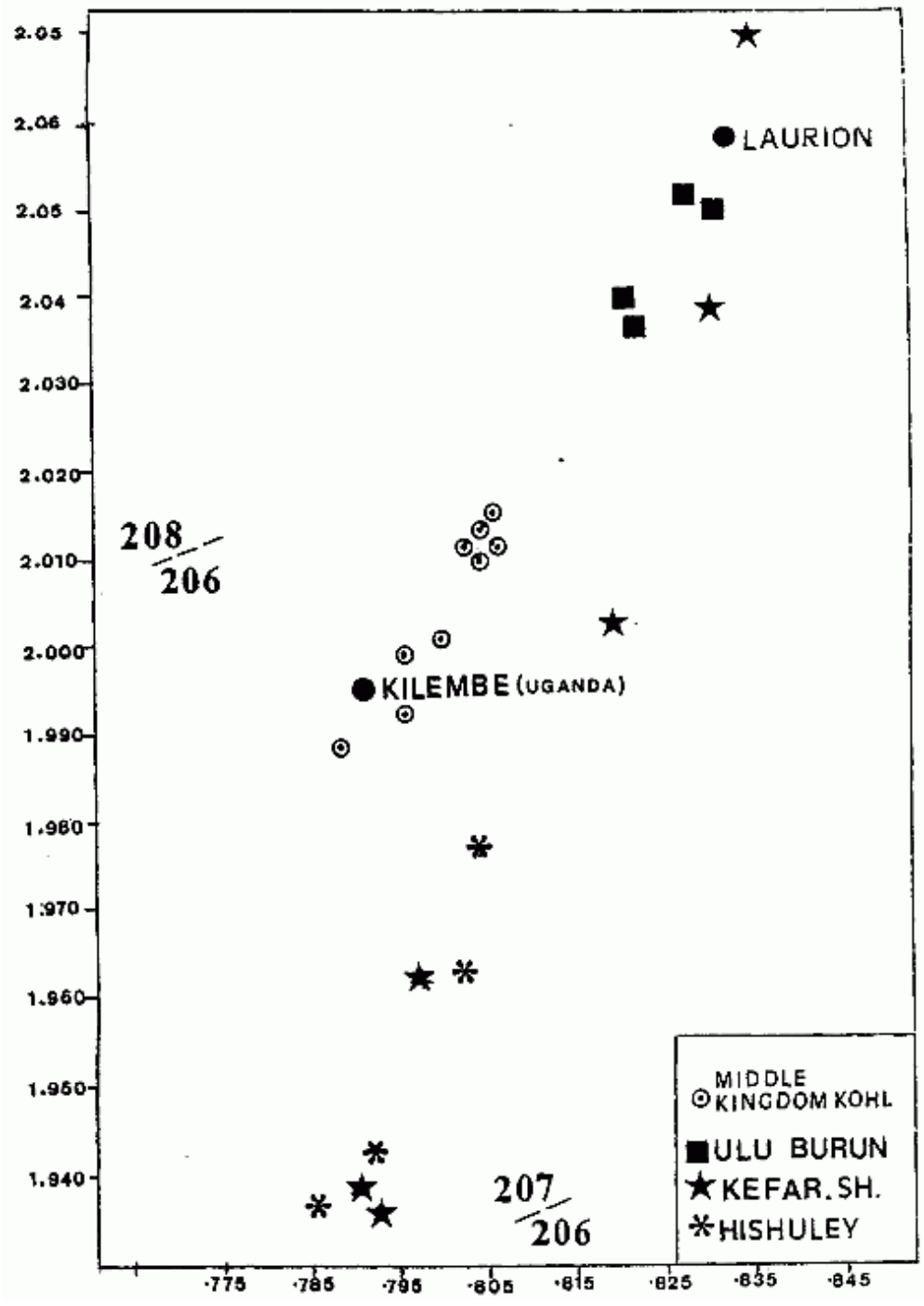
Die Pingenzüge von Akaraly 1, Delbegtej, Ostkasachstan Ci05.

Bleiisotope und Gesteinsalter



Da03

Uluburun und Haifa

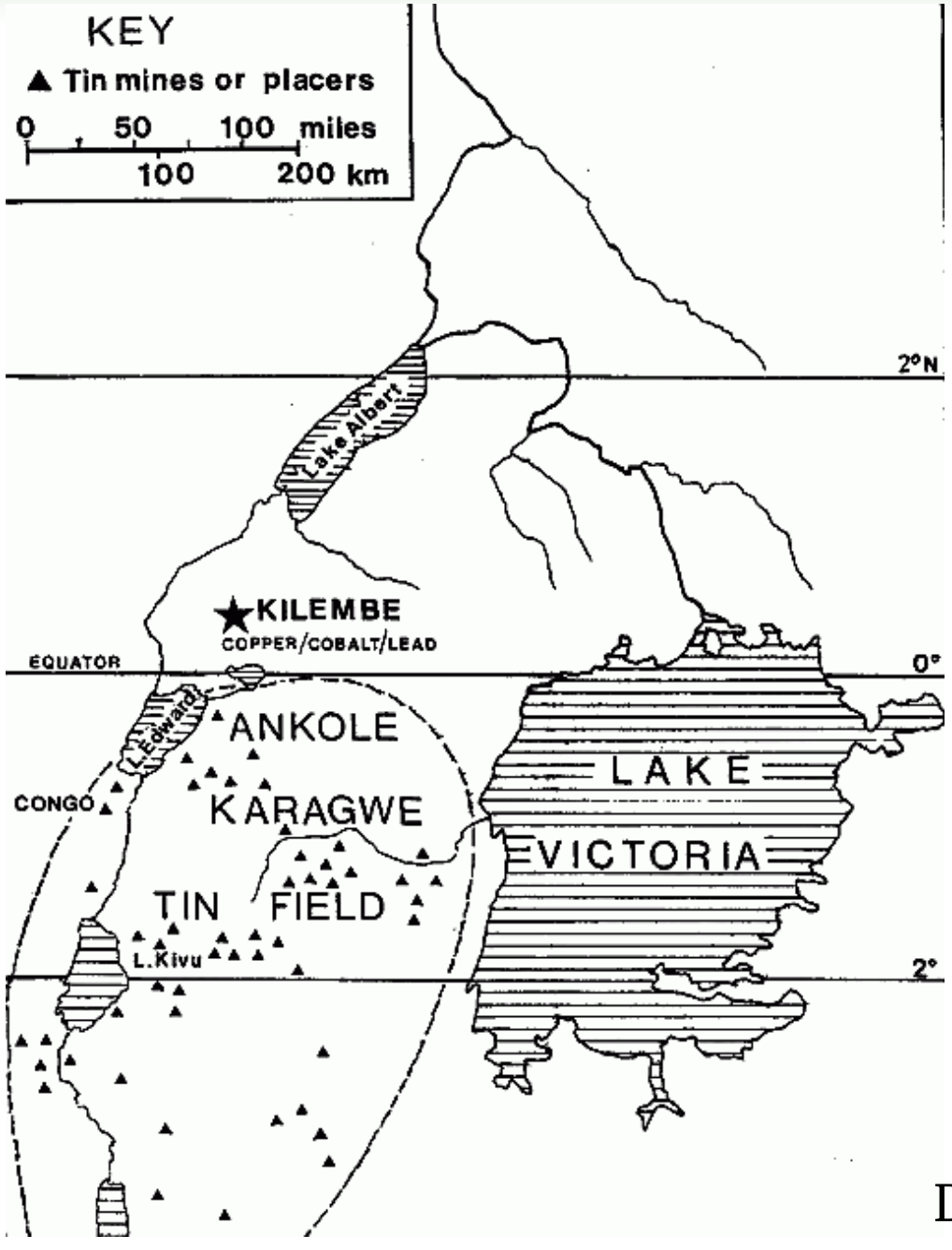


Das Zinn des Schiffes von Uluburun und das Zinn aus dem Hafen von Haifa ist geologisch viel zu jung, um aus den Bergwerken Mittelasiens stammen zu können Da03.

Da03

Zinnrevier Zentralafrika

Ägypten und später Phönizien unterhielten seit der 5. Dynastie (ca. 2500 BC) intensive Handelskontakte nach Zentralafrika und importierte Elfenbein, Ebenholz, Leopardenfelle, Gold und Pygmäen Da03.



Vielen Dank

Die Hausarbeit und Literatur liegen auf:
`www.axel.berger-odenthal.de/work/Referat/`

Literatur

Al98 Kamildžan Alimov et al.,
Prähistorischer Zinnbergbau in Mittelasien, Vorbericht der Kampagne 1997.
Eurasia Antiqua **4** (1998), 137–199.

An09 David W. Anthony,
The Sintashta Genesis, The Roles of Climate Change, Warfare, and Long-Distance Trade.
In: Bryan K. Hanks & Katheryn M. Linduff (Hrsg.),
Social Complexity in Prehistoric Eurasia, Monuments, Metals and Mobility.
(Cambridge 2010), 47–73.
DOI:10.1017/CBO9780511605376.005.

Ba97 Martin Bartelheim,
Aunjetitz und El Argar, Neue Überlegungen zu einer alten Frage.
In: Cornelia Becker, Marie-Luise Dunkelmann, Carola Metzner-Nebelsick, Heidi Peter-Röcher, Manfred Roeder & Biba Teržan (Hrsg.),
Χρόνος, Beiträge zur Prähistorischen Archäologie zwischen Nord- und Südosteuropa, Festschrift für Bernhard Hänsel.
Studia honoraria 1 (Espelkamp 1997), 275–285.

Bo02 Nikolaus Boroffka, Jan Cierny, Joachim Lutz, Hermann Parzinger, Ernst Pernicka & Gerd Weisgerber,
Bronze Age Tin from Central Asia: Preliminary Notes.
In: Katie Boyle, Colin Renfrew & Marsha Levine (Hrsg.),
Ancient interactions: east and west in Eurasia.
(Cambridge 2002), 135–159.

Br71 Burchard Brentjes,
Ein elamitischer Streufund aus Soch, Fergana (Usbekistan).
Iran **9** (1971), 155.

Bu05 Vagn Fabritius Buchwald,
Iron and steel in ancient times.
Historisk-filosofiske Skrifter 29 (Copenhagen 2005).

Literatur (cont.)

Ci03 Jan Cierny & Gerd Weisgerber,
Bronze Age Tin Mines in Central Asia.
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 XlVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001.
BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 23–31.

Ci05 Jan Cierny, Thomas Stöllner & Gerd Weisgerber,
Zinn in und aus Mittelasien.
In: Ünsal Yalçın, Cemal Pulak & Rainer Slotta (Hrsg.),
Das Schiff von Uluburun, Welthandel vor 3000 Jahren, Katalog der Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 15. Juli 2005 bis 16. Juli 2006.
(Bochum 2005), 431–448.

Cl82 Serge Cleuziou & Thierry Berthoud,
Early Tin in the Near East, A reassessment in the light of new evidence from western Afghanistan.
Expedition **25** (1982), i, 14–19.

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).

Literatur (cont.)

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.
Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 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 XlVth 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.

Du94 Elisabeth C. L. During Caspers,
Further Evidence for 'Central Asian' Materials from the Arabian Gulf.
Journal of the Economic and Social History of the Orient **37** (1994), 33–53.

Du95 Elisabeth C. L. During Caspers,
Local MBAC materials in the Arabian Gulf and their manufacturers.
Proceedings of the Seminar for Arabian Studies **26** (1995), 47–64.

Ho82 Lee Horne,
Fuel For The Metal Worker, The Role of Charcoal and Charcoal Production in Ancient Metallurgy.
Expedition **25** (1982), i, 6–13.

Literatur (cont.)

Ka04 Giorgi L. Kavtaradze,
The Chonology of the Caucasus during the Early Metal Age: Observations from Central Trans-Caucasus.
In: Antonio Sagona (Hrsg.),
A view from the highlands, Archaeological studies in honour of Charles Burney.
Ancient Near Eastern Studies Supplement 12 (Herent 2004), 539–556.

Ki04 Tobias L. Kienlin,
Zur Metallographie urgeschichtlicher Artefakte: Ergebnisse einer Untersuchung an Kupfer- und Bronzebeilen des nordalpinen Raumes.
In: P. Portella (Hrsg.),
Fortschritte in der Metallographie, Vortragstexte der 37. Metallographie-Tagung, 17.–l9. September 2003 in Berlin.
Sonderbände der Praktischen Metallographie 35 (Frankfurt 2004), 3–10.

Ki05 Tobias L. Kienlin,
Frühbronzezeitliche Vollgriffdolche und Randleistenbeile, Zu Herstellungstechnik, Zusammensetzung und Materialwahrnehmung.
Archäologisches Korrespondenzblatt **35** (2005), 175–190.

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).

Kr98 Rüdiger Krause,
Zur Entwicklung der frühbronzezeitlichen Metallurgie nördlich der Alpen.
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), 163–192.

Ku04a Deutsches Kupferinstitut,
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen).
(Düsseldorf 2004).
<http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/Infodruck%20i.%2025_12_2004.pdf> (2012-11-10).

Literatur (cont.)

Ku04b Deutsches Kupferinstitut,
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen).
(Düsseldorf 2004).
<http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/i15_2004.pdf> (2012-11-10).

Ku04c Deutsches Kupferinstitut,
Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne.
(Düsseldorf 2004).
<http://www.kupfer-institut.de/front_frame/pdf/Bronze_040122_screen.pdf> (2012-11-10).

Me81 G. Würtemberger,
Fachkunde für Metallberufe.
(Wuppertal ^{44}1981).

Mo60 Julius Moshage,
Energie bewegt die Welt, Das große Buch der Naturkräfte.
(1960).

Mu73a J. D. Muhly,
Tin Trade Routes of the Bronze Age.
American Scientist **61** (1973), 404–413.

Mu73b 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** (1973b), 111–122.

Mu85 James D. Muhly,
Sources of Tin and the Beginnings of Bronze Metallurgy.
American Journal of Archaeology **89** (1985), 275–291.

Pa01 Hermann Parzinger & Nikolaus Boroffka,
Woher stammt das Zinn der Bronzezeit in Mittelasien?
Archäologie in Deutschland **2001**, iii, 12–17.

Literatur (cont.)

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.

Pr02 M. Primas,
Early tin bronze in Central and Southern Europe.
In: Martin Bartelheim, Ernst Pernicka & Rüdiger Krause (Hrsg.),
Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt, Euroseminar Freiberg/Sachsen, November 1990.
Forschungen zur Archäomatrie 1 (Rahden/Westf. 2002), 303–314.

Pu65 Г. А. Пугаченкова & Л. И. Рempель,
История искусств Узбекистана, С древнейших времен до середины девятнадцатого века.
(Москва 1965).

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 Archäomatrie 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 XlVth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001.
BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 15–22.

Literatur (cont.)

Ru99 Vladimir Ruzanov,
Zum frühen Auftreten der Zinnbronze in Mittelasien.
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.
Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 103–105.

Sh99 Sariel Shalev,
Recasting the Nahal Mishmar Hoard: Experimental archaeology and metallurgy.
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.
Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 84 (Bochum 1999) [Der Anschnitt, Beiheft 9], 295–300.

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.

Wa43 G. A. Wainwright,
Egyptian bronze-making.
Antiquity **17** (1943), 96–98.

Literatur (cont.)

We91 Gerd Weisgerber,
Die Suche nach dem altsumerischen Kupferland Makan.
Das Altertum **37** (1991), 76–90.

Ya05 Ünsal Yalçın,
Das Schiff von Uluburun, Welthandel vor 3000 Jahren, Führer durch die Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 16. Oktober 2005 bis 16. Juli 2006.
(Bochum 2005).

Zw91 U. Zwicker,
Natural copper-arsenic alloy and smelted arsenic bronzes in early metal production.
In: Jean-Pierre Mohen & Christiane Éluère (Hrsg.),
Découverte du métal.
Millénaires 2 (Paris 1991), 331–340.