

Grundlagen
ooooo

Fraktionierung
ooo

Zinnverarbeitung
ooooooooo

Bleisotope
ooooooo

Résumé
ooooo



Zinnisotopie – Ein Irrweg

Dipl.-Ing. F. Axel Berger

Institut für Ur- und Frühgeschichte
Universität zu Köln

Magie oder Wissenschaft? Aspekte früher Metallurgie
Sommersemester 2017
Prof. Dr. Tobias L. Kienlin



Gliederung

① Grundlagen

② Fraktionieren der Isotope

③ Zinnverarbeitung und Isotope

④ Metallprovenienz durch Bleisotope

⑤ Résumé



Rekapitulation

Schulwissen der Mittelstufe

Alle Isotope eines Elementes verhalten sich bei chemischen Umsetzungen und bei fast allen physikalischen Prozessen genau gleich.

Die Mengenverhältnisse der Isotope eines Elementes sind unveränderlich und weltweit sowie für alle Zeiten genau gleich.



Elemente und Isotope

12.0107	2	14.0067	2	15.9994	3	118.710	10
12	13	14	15	16	17	116	118
98.89	1.11	99.64	0.36	99.76	0.04	14.5	24.2
14(β^-) 5730 a		13(β^+) 10 m		15(β^+) 2 m		113(ε, γ) 115 d	
6 C	11.260	7 N	14.534	8 O	13.618	50 Sn	7.344
	3.51 d		1.17		1.33		7.29
Kohlenstoff	3550 d	Stickstoff	-195.8	Sauerstoff	-183.0	Zinn	232.0

85.4678	2	87.62	4
85	87	86	87
72.2	27.8	9.9	7.0
86(β^-, γ) 19 d		90(β^-) 28.5 a	
37 Rb	4.177	38 Sr	5.695
	1.53		2.63
Rubidium	38.9	Strontium	769

207.2	4
206	207
24.1	22.1
210(β^-, γ) 22.3 a	
82 Pb	7.416
	11.34
Blei	327.5



Sauerstoff im Gletschereis

12.0107	2	14.0067	2	15.9994	3
12	13	14	15	16	17
98.89	1.11	99.64	0.36	99.76	0.04
14(β^-) 5730a		13(β^+) 10 m		15(β^+) 2 m	
6 C	11.260	7 N	14.534	8 O	13.618
	3.51 d		1.17		1.33
Kohlenstoff 3550 d		Stickstoff	-195.8	Sauerstoff	-183.0

$$15.9994 * \left(1 - \frac{35}{1000} * \frac{0.2}{100} * \frac{2}{16} \right) = 15.99926$$



Strontiumisotope

Y 83 2,85 m β^+ γ 422; 495; ly 62(); m	Y 84 7,1 m β^+ 3,3... γ 36%; 882; 974; 1040... g	Y 85 4,9 h β^+ 2,2... 2122; 2124... g	Y 86 2,7 h 14,74 h ly 208... 21... ly 1077... m	Y 87 13 h 80,3 h ly 381 e β^+ g	Y 88 106,6 d β^+ ly 1836; 898... m	Y 89 16,0 s ly 909 ly 0,001 + 1,25	Y 90 3,19 h ly 203; 480... β^- γ (2319...) ly 556	Y 91 64,1 h β^- 1,5... γ (2186...) ly 1,4	Y 92 49,7 m β^- 3,6... γ 934; 1405; 561; 449... h
Sr 82 25,34 d ϵ no β^+ no γ g	Sr 83 5,0 s ϵ β^+ 1,2... γ 763; 381; 418... ly 259	Sr 84 0,56 σ 0,6 + 0,2	Sr 85 67,7 m ϵ β^+ γ 151... ly 232... ly 514...	Sr 86 9,86 σ 0,81 + 0,20	Sr 87 2,81 h ly 388 σ 16	Sr 88 82,58 σ 0,0058	Sr 89 50,5 d β^- 1,5... γ (909) σ 0,42	Sr 90 28,64 a β^- 0,5 no γ g σ 0,014	Sr 91 9,5 h β^- 1,1; 2,7... γ 1024; 750; 653... m; g
Rb 81 30,3 m ly 86 β^- β^+ 1,4... γ (50...) g	Rb 82 4,58 h ϵ β^+ 0,8... γ 776; 554; 619... ly 446... m	Rb 83 86,2 d ϵ ; no β^+ γ 520; 530; 553... m; g	Rb 84 20,5 m ϵ β^- 0,8; 1,7... β^- 0,9 ly 248; 465; 216	Rb 85 72,165 σ 0,06 + 0,45	Rb 86 1,02 m ly 556 β^- 1,8... ly 1077	Rb 87 27,835 4,8 · 10 ¹⁰ a β^- 0,3 no γ ; g σ 0,10	Rb 88 17,8 m ly 1836; 898... σ 1,2	Rb 89 15,2 m β^- 1,3; 4,5... γ 1032; 1248; 2196... σ < 600	Rb 90 4,3 m β^- 5,9... ly 832; 1375; 1061; 3131; 4366... ly 107; e
Kr 80 2,25 σ 4,6 + 7	Kr 81 13,1 s ly 190 ϵ γ (276)	Kr 82 11,6 σ 14 + 7	Kr 83 1,83 h ly 9... ϵ	Kr 84 57,0 σ 0,09 + 0,02	Kr 85 4,48 h β^- 0,8... ly 151... ly 305 γ 514... σ 1,65	Kr 86 10,76 a σ 0,003	Kr 87 17,3 β^- 3,5; 3,9... γ 403; 2555; 845... σ < 600	Kr 88 76,3 m β^- 0,5; 2,9... γ 2392; 196; 2196; 835; 1530... σ 0,02; 0,05...	Kr 89 2,84 h β^- 3,5; 4,9... γ 221; 586; 1473; 904... σ 0,01
Br 79 4,9 s ly 207 β^- 2,5 + 8,3	Br 80 50,69 4,42 h β^- 2,0... ϵ β^+ 0,9 γ 616; 666... ly 37... e-	Br 81 49,31 σ 2,4 + 0,24	Br 82 6,1 m ly (46) β^- β^- 3,1... γ (776...)	Br 83 2,40 h β^- 0,4... γ 776; 554; 619...	Br 84 6,0 m β^- 2,2... γ 424; 882; 1463... ly 305 β^- 4,6... γ 802; 925... m β^- 2,5... γ 1565; 2751... m	Br 85 31,8 m β^- 2,5... γ 882; 1898... β^- 3,3; 7,6... γ 1565; 2751... m	Br 86 2,87 m β^- 6,8... γ 1420; 1476; 1578; 532; 2006... β^- 0,02; 0,05...	Br 87 55,1 s β^- 6,8... γ 1420; 1476; 1578; 532; 2006... β^- 0,02; 0,05...	Br 88 16,3 s β^- 4,4; 6,9... γ 775; 802; 1441... β^-
Se 78 23,78 σ 0,38 + 0,05	Se 79 3,9 m β^- 0,2... no γ g	Se 80 49,61 σ 0,07 + 0,39	Se 81 57,3 m ly 103 β^- β^- ... γ (260; 276...)	Se 82 18 m 1,08 · 10 ²⁰ a β^- 1,6... γ (276; 290...)	Se 83 69 s ly 3,9... β^- 0,9... γ 1031; 2,9... 357; 888; 510; 225... ly 747... β^- 6,2... γ 345; 3396; 1427... g	Se 84 22,4 m β^- 1,4 ly 747... β^- 6,2... γ 407 g	Se 85 3,1 m β^- 1,4 β^- 6,2... γ 345; 3396; 1427... g	Se 86 33 s β^- 2,6... γ 2441; 2660... β^-	Se 87 14,1 s β^- 5,8 s β^- γ 243; 334; 573; 468... β^-

Rubidium ist im Erdmantel rund dreimal so häufig wie Strontium.



Zinnisotope

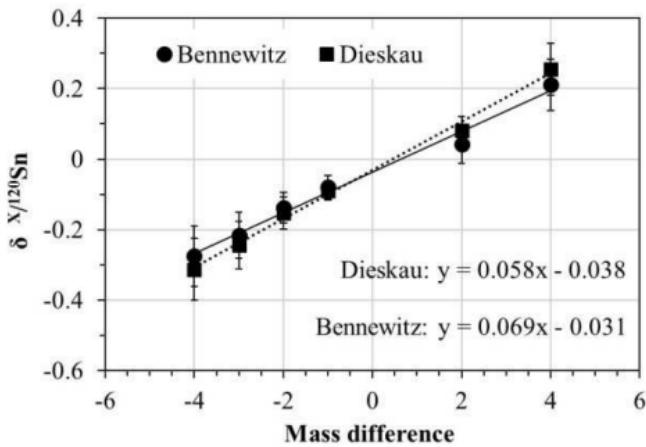
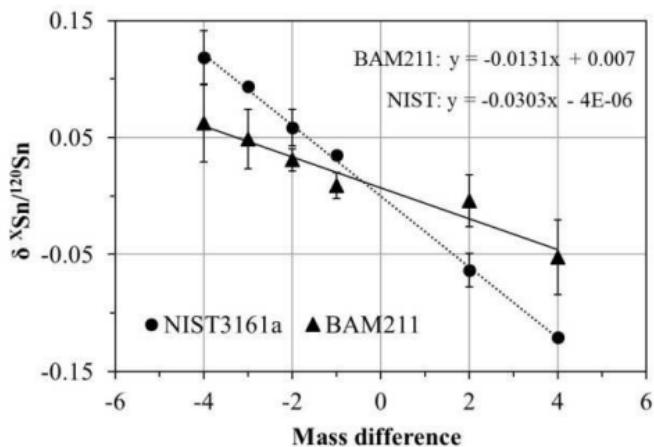
I 115 1,3 m	I 116 2,9 s	I 117 2,2 m	I 118 13 m	I 119 19 m	I 120 53 m	I 121 2,12 h	I 122 3,6 m	I 123 13,2 h	I 124 4,15 d	I 125 59,41 d	I 126 13,11 d	I 127 100	I 128 25,0 m	I 129 1,57 · 10 ² a					
β^+ g	$\beta^+ 6,7...$ $\gamma 679; 540$	$\beta^+ 9,5...$ $\gamma 326; 274...$	$\beta^+ 4,8...$ $\gamma 600; 1006;$ $\gamma 614; 540;$ $\gamma 104; 1338...$	$\beta^+ 2,4...$ $\gamma 258...$	$\beta^+ 3,8...$ $\gamma 590; 600;$ $\gamma 601; 1202;$ $\gamma 614; 941...$	$\beta^+ 1,1...$ $\gamma 212...$ $\gamma 9$	$\beta^+ 3,1...$ $\gamma 564...$	$\beta^+ 0,5...$ $\gamma 159...$ $\gamma 9$	$\beta^+ 2,1...$ $\gamma 35; e^-$	$\beta^+ 0,9; 1,3...$ $\gamma 603; 1891;$ $\gamma 723...$	$\beta^+ 0,9...$ $\gamma 365; 686...$ $\gamma 900...$	$\beta^+ 2,1...$ $\gamma 443; 527...$ $\gamma 22...$	$\beta^+ 0,2...$ $\gamma 40;$	$\beta^+ 0,2...$ $\gamma 20; 7 + 10,3$					
Te 114 15,2 m	Te 115 6,7 m	Te 116 2,5 h	Te 118 1,1 h	Te 118 6,0 d	Te 119 4,7 d	Te 120 16 h	Te 120 0,096	Te 121 154 d	Te 122 16,8 d	Te 122 2,603	Te 123 119,7 d	Te 124 0,908	Te 125 57,4 d	Te 126 7,139	Te 127 109 d	Te 128 31,69			
$\epsilon; \beta^+$ $\gamma 80; 1897; 727;$ $\gamma 147; 1327;$ $\gamma 102; 1099;$ $\gamma 244; 1417...$	$\beta^+ 2,7...$ $\gamma 170; 1294;$ $\gamma 724; 1327;$ $\gamma 102; 1099;$ $\gamma 9$	$\epsilon; \beta^+ ...$ $\gamma 94; 103...$	$\epsilon; \beta^+ ...$ $\gamma 720; 1716;$ $\gamma 2300...$	$\epsilon; \beta^+ ...$ $\gamma 100; 111...$	$\epsilon; \beta^+ ...$ $\gamma 154...$	$\epsilon; \beta^+ 0,6...$ $\gamma 1215; 700...$	$\epsilon; \beta^+ 0,6...$ $\gamma 644; 271...$	$\epsilon; \beta^+ 0,6...$ $\gamma 573; 500...$	$\epsilon; \beta^+ 0,6...$ $\gamma 1102...$	$\epsilon; \beta^+ 1,3; 2,3$ $\gamma 168...$ $\gamma 420...$									
Sb 113 6,67 m	Sb 114 3,5 m	Sb 115 32,1 m	Sb 116 60 m	Sb 117 16 m	Sb 118 5,0 h	Sb 119 3,6 m	Sb 120 38,5 h	Sb 120 5,76 d	Sb 121 15,9 m	Sb 122 57,36	Sb 123 42,64	Sb 124 20 m	Sb 125 60,3 d	Sb 126 2,77 a	Sb 126 19,6 d	Sb 127 3,85 d			
$\beta^+ 2,4; 5,5...$ $\gamma 486; 332...$ $\gamma; g; m$	$\beta^+ 4,0...$ $\gamma 1300; 888...$	$\epsilon; \beta^+ 1,5...$ $\gamma 407...$	$\epsilon; \beta^+ 1,1...$ $\gamma 1294; 932...$	$\beta^+ 0,6...$ $\gamma 159...$	$\beta^+ 0,6...$ $\gamma 1236; 1290...$	$\beta^+ 2,7...$ $\gamma 1236; 1207...$	$\beta^+ 2,7...$ $\gamma 1236; 1207...$	$\beta^+ 2,7...$ $\gamma 1171; 1023...$	$\beta^+ 1,7...$ $\gamma 1171; 1023...$	$\beta^+ 0,4; 5,5$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$	$\beta^+ 0,2; 0.04$ $\gamma 603...$			
Sn 112 0,97	Sn 113 21,4 m	Sn 114 115,1 d	Sn 114 0,65	Sn 115 0,34	Sn 116 14,53	Sn 117 13,6 d	Sn 118 7,66	Sn 118 24,23	Sn 119 293 d	Sn 120 8,59	Sn 121 32,59	Sn 122 -50 a	Sn 122 27,6 h	Sn 123 4,63	Sn 124 40,1 m	Sn 125 129,2 d	Sn 126 2,345 · 10 ² a		
$\alpha; 0,16 + 0,40$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 255...$ $\gamma; g$	$\beta^+ 0,004 + 0,21$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,004 + 0,21$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,001 + 0,13$ $\gamma 24...$	$\beta^+ 0,001 + 0,13$ $\gamma 24...$	$\beta^+ 0,15 + 0,001$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,13 + 0,005$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,13 + 0,005$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,13 + 0,005$ $\gamma 100...$			
In 111 7,6 m	In 112 2,81 d	In 113 20,8 m	In 113 14,4 m	In 114 99,49 m	In 114 4,3	In 115 45,5 d	In 115 71,9 s	In 116 2,2 s	In 116 54 m	In 116 14 s	In 117 1,94 h	In 117 43,1 m	In 118 8,5 s	In 118 44,4 m	In 119 5 s	In 120 2,3 m	In 121 47,8 s	In 121 46,2 s	In 121 3,16
$\epsilon; \beta^+$ $\gamma 245; 171...$ $\gamma 537...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 165; 107...$ $\gamma 380...$			
Cd 110 12,49	Cd 111 49 m	Cd 112 12,80	Cd 112 24,13	Cd 113 12,22	Cd 114 28,73	Cd 115 44,8 d	Cd 115 53,38 h	Cd 116 7,49	Cd 116 3,31 h	Cd 116 2,42 h	Cd 117 50,3 m	Cd 118 2,2 m	Cd 119 2,7 m	Cd 120 50,8 s	Cd 121 8,3 s	Cd 122 12,8 s	Cd 123 5,5 s	Cd 124 3,2 s	
$\alpha; 0,06 + 0,11$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,7...$ $\gamma 245; 181...$ $\gamma; 24$	$\beta^+ 0,04 + 0,30$ $\gamma 20600...$	$\beta^+ 0,04 + 0,30$ $\gamma 20600...$	$\beta^+ 0,026 + 0,052$ $\gamma 100...$	$\beta^+ 0,026 + 0,052$ $\gamma 100...$	$\beta^+ - 0,6$ $\gamma 9$	$\beta^+ - 0,6$ $\gamma 9$	$\beta^+ - 0,6$ $\gamma 9$				
Ag 109 39,6 s	Ag 110 48,161	Ag 111 24,5 s	Ag 112 3,12 h	Ag 113 1,1 m	Ag 114 5,37 h	Ag 115 0,8 s	Ag 115 2,0 m	Ag 116 8,2 s	Ag 116 2,7 m	Ag 116 5,3 s	Ag 117 73 s	Ag 118 2,8 s	Ag 118 3,7 s	Ag 119 0,9 s	Ag 119 2,1 s	Ag 120 1,17 s	Ag 121 0,78 s	Ag 122 0,52 s	Ag 123 0,30 s
β^+ $\gamma 68$	$\beta^+ 0,5...$ $\gamma 689;$ $\gamma 889...$	$\beta^+ 0,5...$ $\gamma 342;$ $\gamma 343...$	$\beta^+ 0,5...$ $\gamma 289;$ $\gamma 290...$	$\beta^+ 0,5...$ $\gamma 289;$ $\gamma 290...$	$\beta^+ 4,9...$ $\gamma 568; 576...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$	$\beta^+ 1,5...$ $\gamma 411;$ $\gamma 412...$					

Indium ist rund hundertmal seltener als Zinn und tritt hauptsächlich vergesellschaftet mit Zink auf. Das Zinnisotop 115 wird üblicherweise nicht gemessen.



Zinnisotope werden ausschließlich durch Fraktionierung getrennt

Wie bei einem Schwermetall zu erwarten, sind die Abweichungen sehr gering.



Isotopenzusammensetzung zweier Referenzmetalle (links) und zweier Artefaktinventare der Aunjetitzer Kultur (rechts) relativ zu einem Laborstandard [Ne15, 9].



Variationsbreite der Zinnisotope in alten Bronzen

Sample	Object	Find Location	Age *	Sn content [%]	f **
421	flat axe	Hagnau, Lake Constance	EBA; ~2100 B.C.	12.0	+ 0.29 ± 0.15
395	vessel	near Wetzlar, Germany	LBA; ~1200 B.C.	5.46	+ 0.20 ± 0.24
369	flat axe	Egypt	LBA; ~1300 B.C.	4.94	- 0.38 ± 0.34
201	needle	Singen, Germany	EBA; ~2200 B.C.	1.65	+ 0.73 ± 0.33
691	spiral bracelet	Bratislava, Slovakia	MBA; ~1600 B.C.	8.26	+ 0.61 ± 0.30
724	bracelet	Kalavasos, Cyprus	EBA; ~2500 B.C.	8.13	- 0.47 ± 0.27
416	pin	Überlingen, Lake Constance	EBA; ~2100 B.C.	7.72	+ 1.42 ± 0.48
218	fragment	Norşuntepe, Turkey	EBA; ~2400 B.C.	6.60	- 0.29 ± 0.19
263	vessel handle	Troy, Turkey	EBA; ~2500 B.C.	5.79	- 0.46 ± 0.16
421 E		see above (repeat of first sample)		11.8	+ 0.35 ± 0.28

Für einen Vergleich mit den üblichen Deltawerten in Promille müssen die hier aufgeführten Fraktionierungen f ungefähr halbiert werden. Positive Werte zeigen eine Anreicherung der schweren Isotope [Be99, 279].



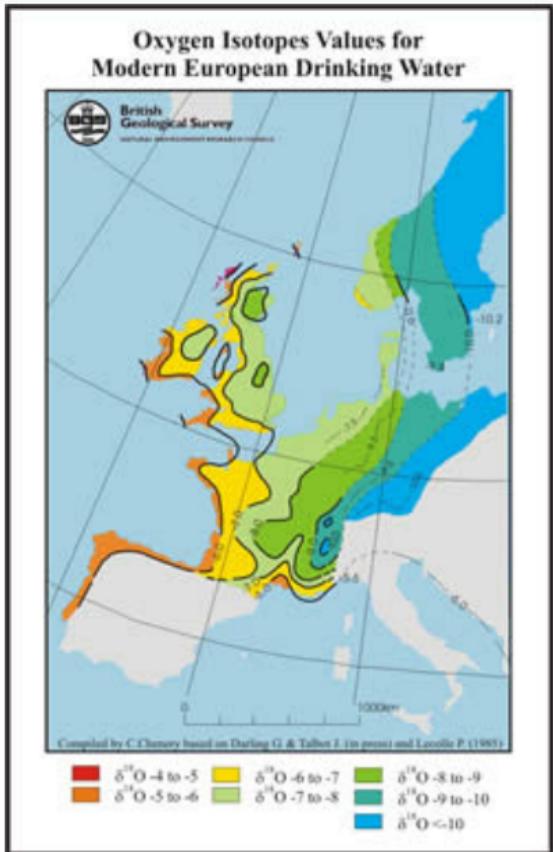
Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff

Die Fraktionierung von Kohlenstoff bedeutet:

- Pflanzenart, C3–C4
- Bewässerung
- terrestrisch–aquatisch
- Überdachung durch Baumbestand

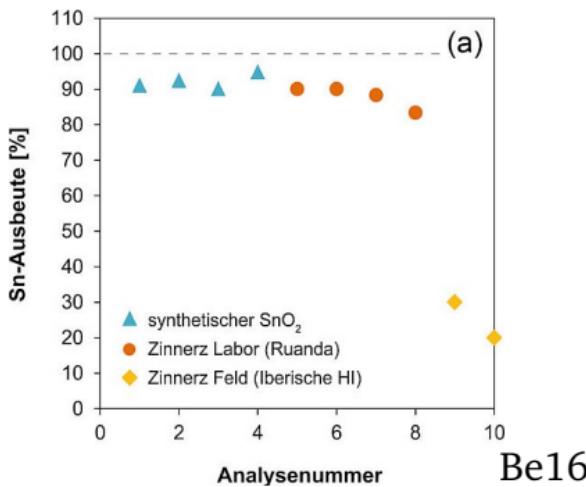
Die Fraktionierung von Stickstoff bedeutet:

- Position in der Nahrungskette
- Düngung im Pflanzenbau
- Wassermangel



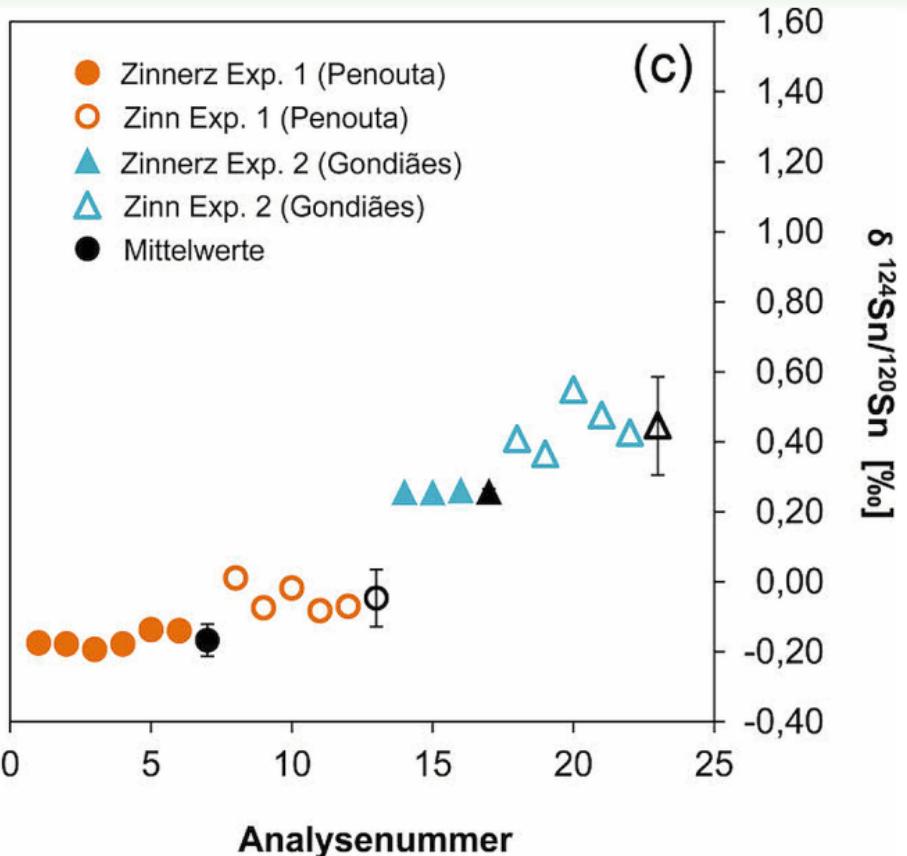


Experimentelle Verhüttung von Zinnerz



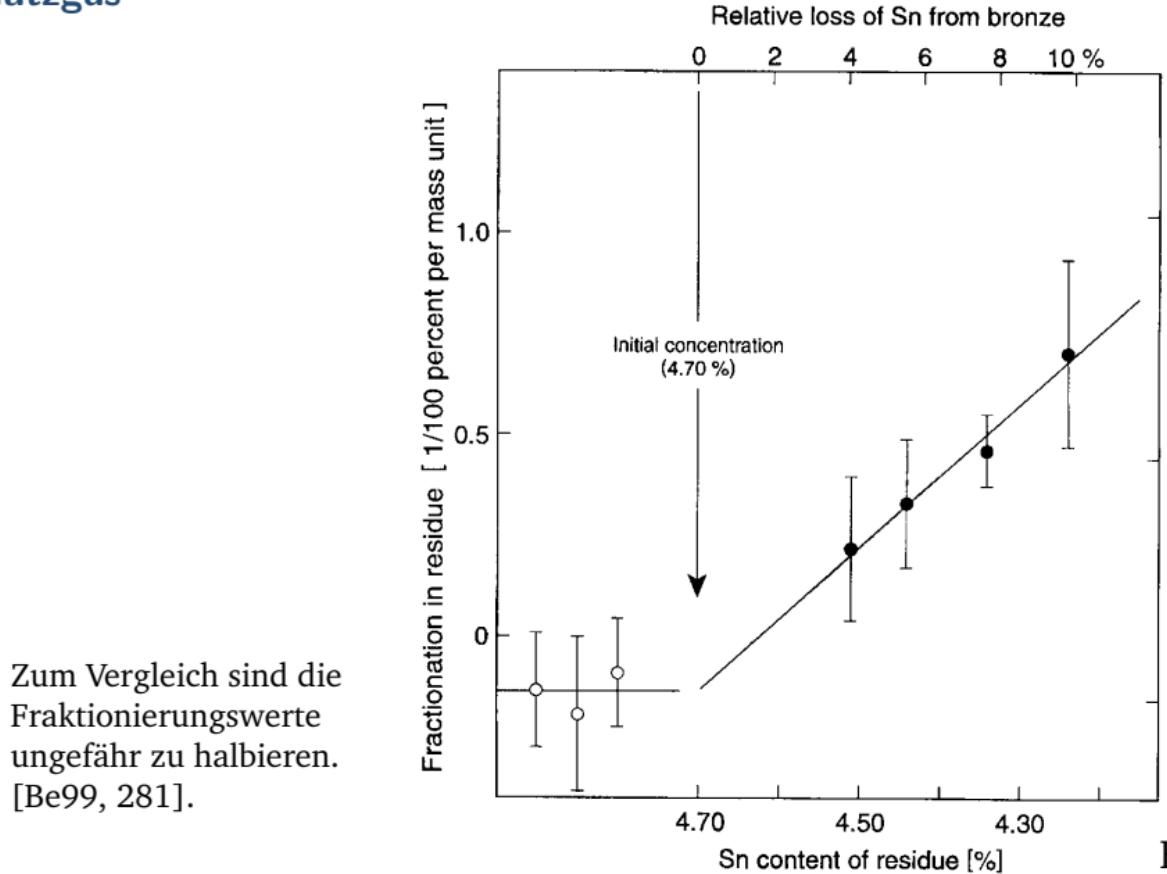


Ergebnis des Verhüttungsexperimentes



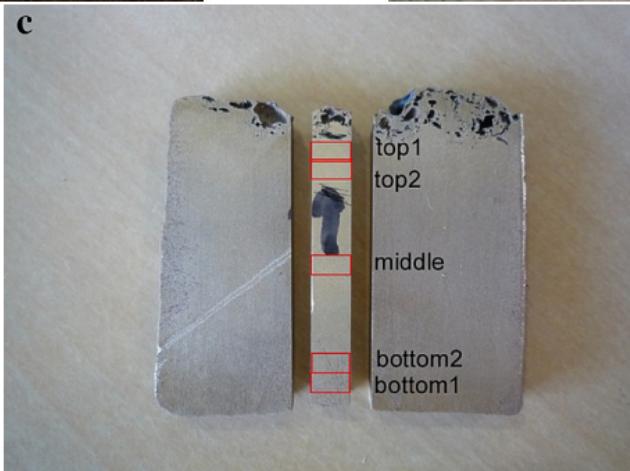


Zinnverlust bei längerer Erhitzung einer Bronzeschmelze unter Schutzgas



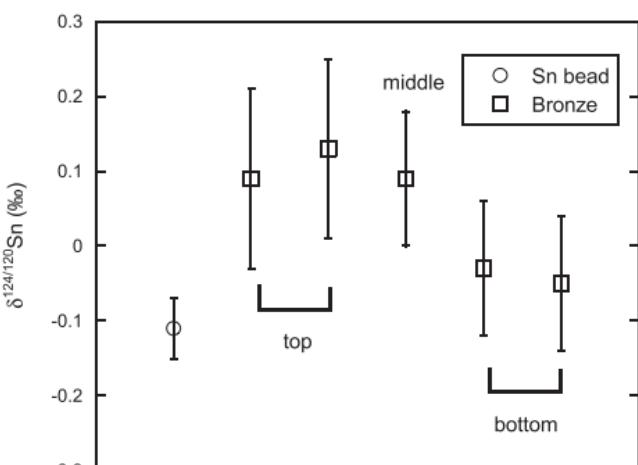
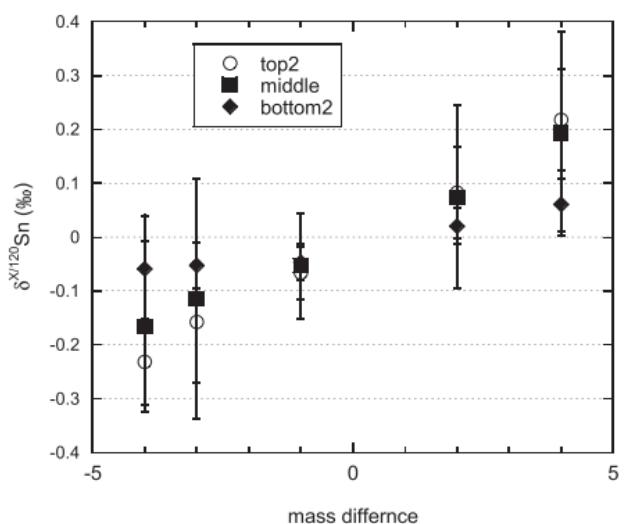


Experimenteller Bronzeguß





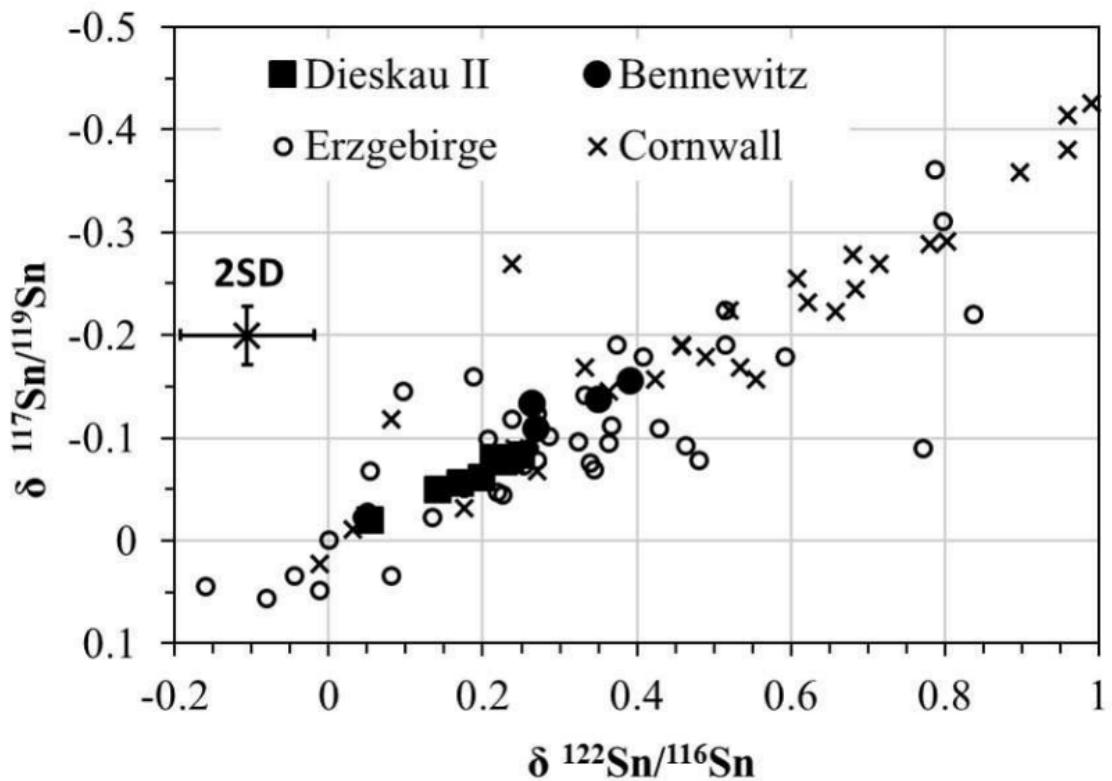
Ergebnis des Gießversuches



Das Zinn wird gemessen als $^{124}\text{Sn}/^{120}\text{Sn}$ rund 0.2 ‰ schwerer [Ya14, 463].

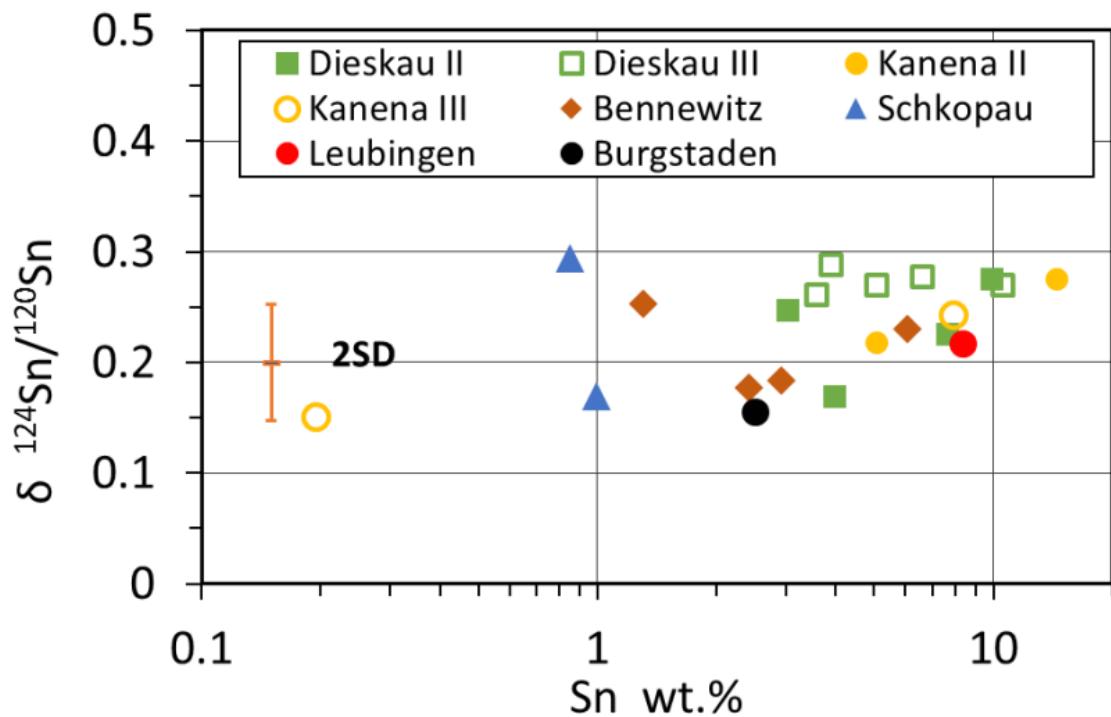


Variationsbreite der Lagerstätten von Cornwall und dem Erzgebirge



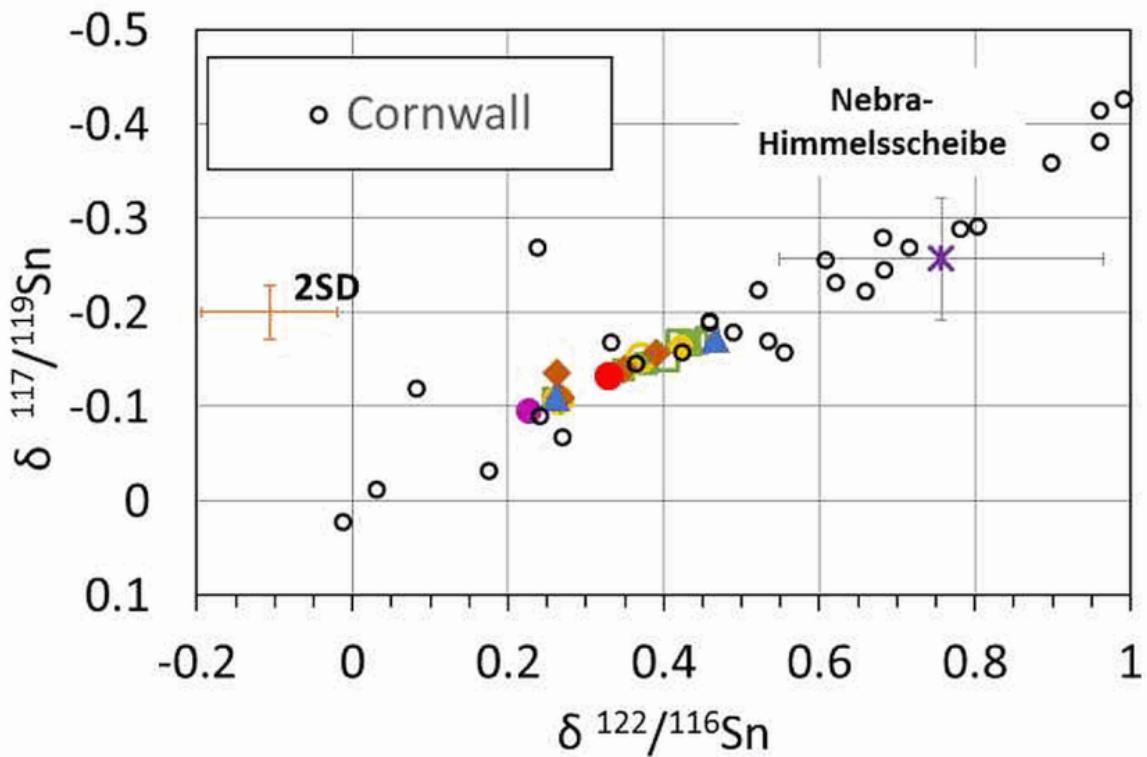


Die Bronzen aus Mitteldeutschland

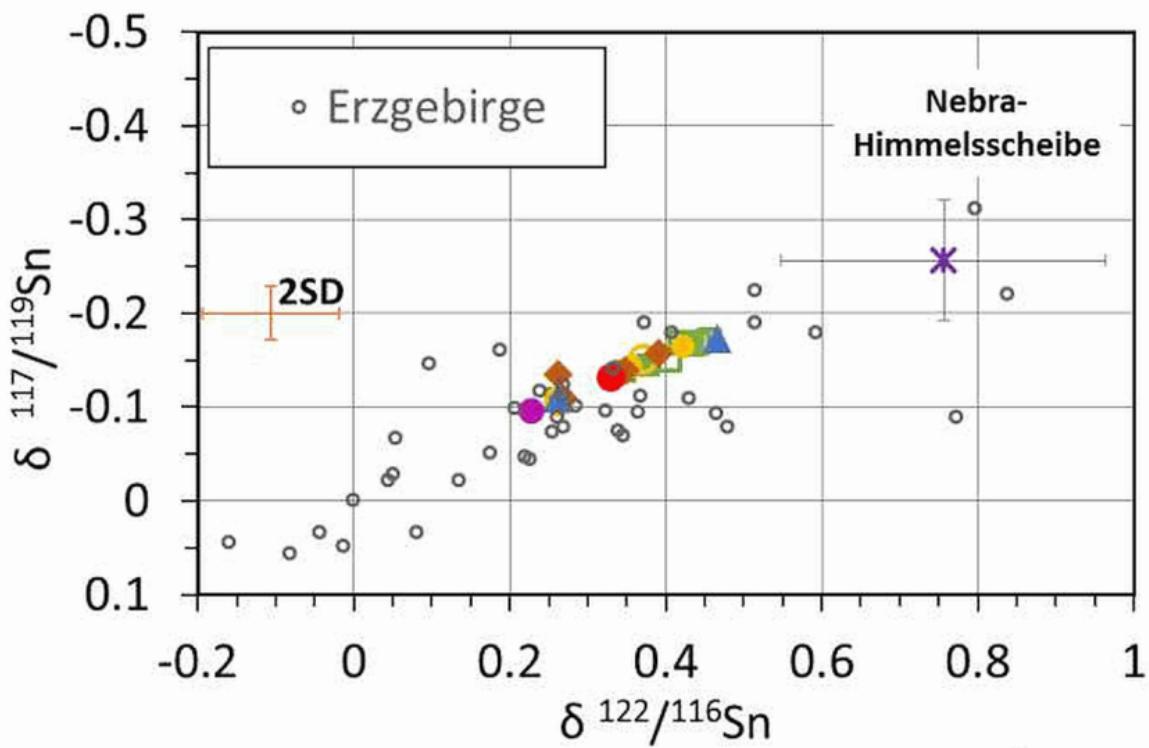


Stammt das Zinn wirklich nicht aus Cornwall?

Die Himmelsscheibe von Nebra angeblich schon



Und wie sieht es für das Erzgebirge aus?





Altes metallisches Zinn ist außergewöhnlich rein

Sample			Sn [%]	Cu	Pb	As	Sb	Co	Ni	Ag	Au	Fe	W	
Hishuley Carmel														
Haifa 1111/1	HDM	3231	96	15	9	43	9	1.6	<10	<0.6	1.4	<90	0.13	
1111/2		3232	99	2	19	26	90	2.6	<16	<0.9	0.29	840	0.55	
1111/3		3233	100	2	11	6	0.5	0.9	<12	32	122	180	0.79	
1111/4		3234	103	2	7	10	9	1.5	<12	<0.7	0.23	630	0.76	
1111/5		3235	91	58	6	130	262	2.8	<15	<0.8	0.18	3040	2.3	
Kefar Shamir														
Haifa 81-604	HDM	3240	92	3	220	26	14	3.1	12	<0.6	0.38	550	9.5	
605		3239	94	4	32	30	14	2.8	10	<0.5	0.25	890	18	
606		3241	89	12	8	31	21	2.3	12	<0.6	0.28	276	1.8	
607		3237	100	4	14	38	15	3.4	11	<0.5	0.19	258	4.2	
608		3238	100	4	12	41	14	2.7	8	<0.6	0.23	<90	0.46	
609		3236	100	6	22	50	13	4.5	<30	<2	0.27	<350	1.7	
Uluburun (Kaş)														
KW	197	HDM	3242	73	1790	630	215	42	1.5	5	4.8	0.27	600	<0.4
199		3243	70	107	8	37	24	1.2	4	7.6	1.56	145	1.1	
203		3244	75	130	0.5	37	19	2.8	5	<0.2	0.51	700	3.2	
203A*		3245	66	346	3	29	12	2.7	6	1.0	0.28	750	0.3	

Alle Spurenelementanteile in ppm [Be99, 282].



Blei in Erzregionen

2.6

2900
m.yrs

700 m.yrs

470 m.yrs

400 m.yrs

280 m.yrs

200 m.yrs

2.6

50 m.yrs

30 m.yrs

1

2.0

0.8

208 / 206

5

4

3

2

207 / 206

6 India ■
India ■
Nigeria ■
Altai ■

Riyadh ■
SARDINIA ■
Mahad D'hab ■
Timna ■
Asir ■

W.Erzgebirge & Burma ■
Tuscany ■
Rio Tinto ■
Cornwall ■
Urals ■

JOACHIMSTAL ■
ANARAK ■
Almeria ■
Caucasus ■
TUSCANY ■
OMAN ■
Cyprus ■

Banska ■
Stiavnica (Kremnica) ■
czechoslovakia ■
RUMANIA ■
Tunisia ■
Transylvania ■

ITALY ■

LAURION ■

Egypt ■

UGANDA ■

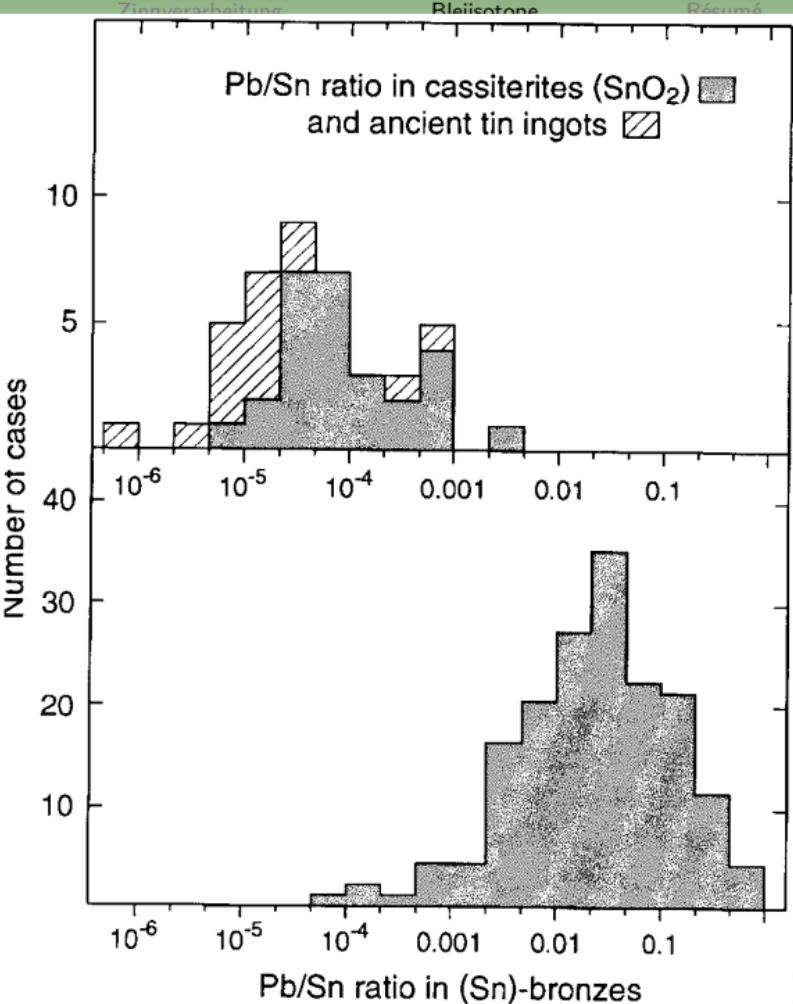
1.1 Da03

Blei fraktioniert fast gar nicht und die Variationsbreite der Erzregionen umfasst 300 resp. fast 400 % [Da03].



Bleanteile

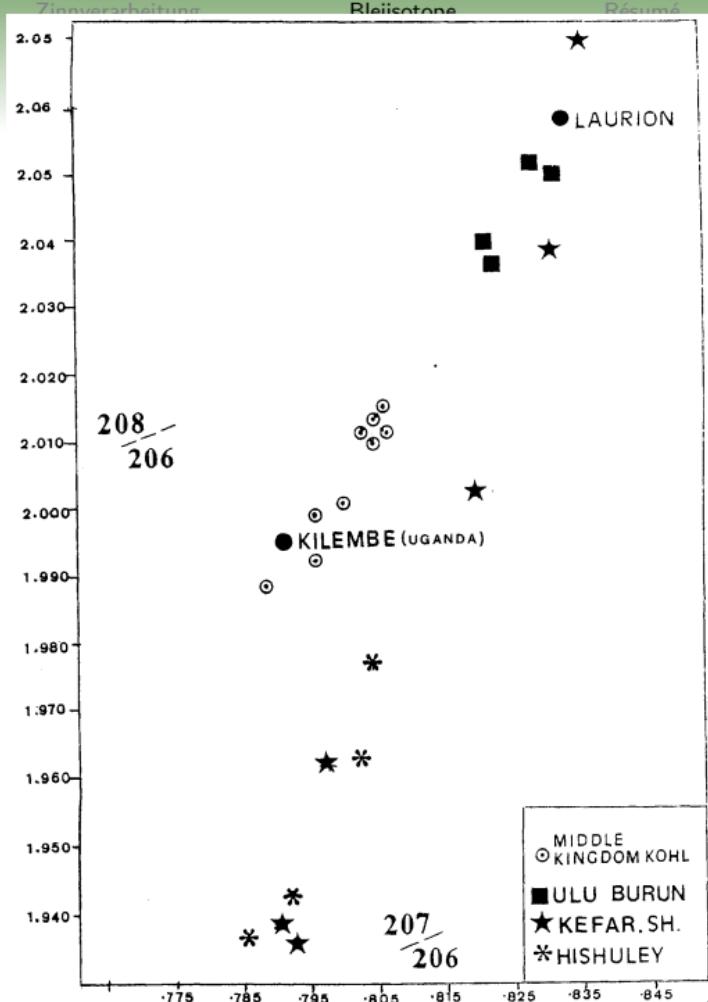
Bleiisotope sind nur für reines Zinn und auf keinen Fall für Gemische oder Legierungen anwendbar. Gerade für die Anfangszeit ist metallisches Zinn extrem selten [Be99].



Das Zinn aus dem Meer

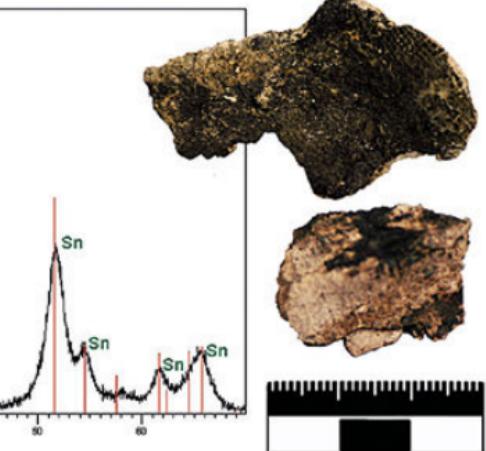
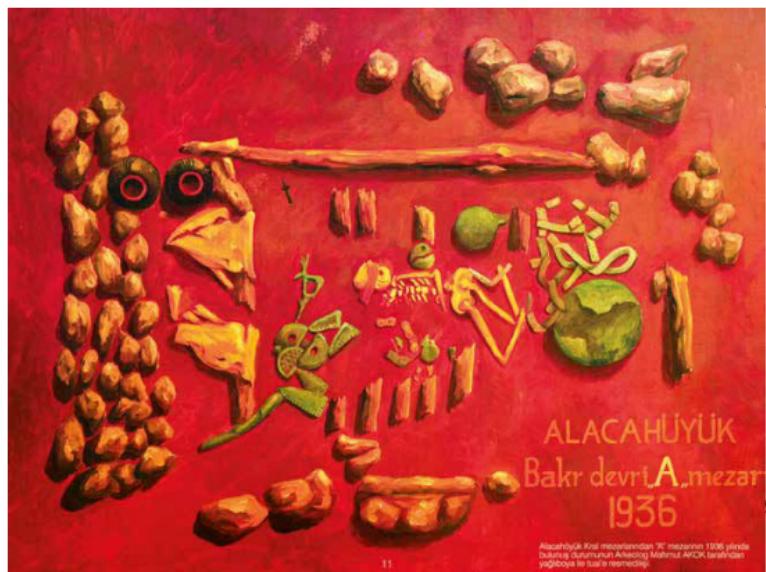


Die Erzregion südwestlich des Viktoriasees ist weltweit die einzige bekannte mit Bleiisotopverhältnissen wie sie die Zinnfunde der spätbronzezeitlichen Schiffswracks aufweisen [Da03].

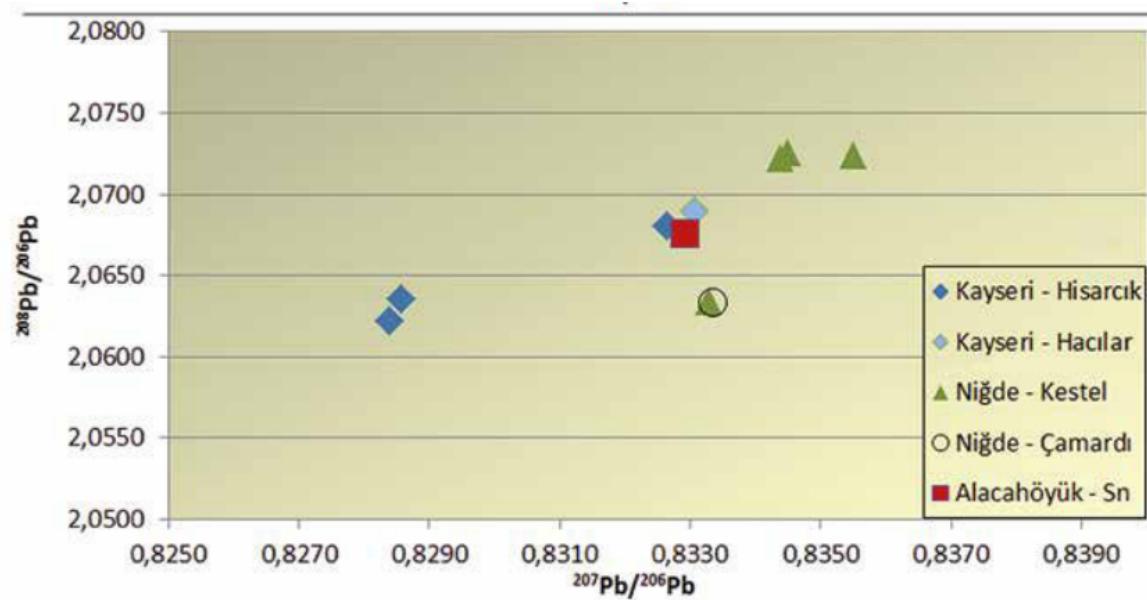




Der Altfund aus Alacahöyük



Das Analyseergebnis



Grundlagen
ooooo

Faktionierung
ooo

Zinnverarbeitung
oooooooo

Bleisotope
oooooo●

Résumé
ooooo



Der Fundort und mögliche Bergwerke



Grundlagen
○○○○○

Fraktionierung
○○○

Zinnverarbeitung
○○○○○○○○○

Bleisotope
○○○○○○○

Résumé
●○○○○



Résumé

Die Isotopenverhältnisse des Zinns sind innerhalb einer Lagerstätte hochvariabel und unterliegen in der weiteren Verarbeitung starken Veränderungen.

Der Versuch aus Zinnisotopenverhältnissen in Artefakten auf die Quelle des Zinns zu schließen ist sinnlos.

Grundlagen
oooo

Fraktionierung
ooo

Zinnverarbeitung
oooooooo

Bleisotope
ooooooo

Résumé
o●ooo



Handout und Literatur

Vielen Dank

Handout und Literatur liegen auf:
www.axel.berger-odenthal.de/work/Referat/



Literatur

- Be16** Daniel Berger, Gerhard Brügmann, Elin Figueiredo & Ernst Pernicka,
Zinnisotopenverhältnisse von Verhüttungsprodukten von Kassiterit und ihre Bedeutung für die Herkunftsbestimmung von Zinn.
Metalla (2016), Sonderheft 8, 194–197.
- Be99** Friedrich Begemann, Konrad Kallas, Sigrid Schmitt-Strecker & Ernst Pernicka,
Tracing ancient tin via isotope analyses.
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), 277–284.
- Br15** Gerhard Brügmann, Daniel Berger, Ernst Pernicka & Bianka Nessel,
Zinn-Isotope und die Frage nach der Herkunft prähistorischen Zinns.
Metalla (2015), Sonderheft 7, 189–191.
- 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 XIth UISPP Congress, University of Liege, Belgium, 2–8 September 2001.
BAR International Series 1199 (Oxford 2003), 165–170.
- He09** Barbara Helwing,
Rethinking the Tin Mountains, Patterns of usage and circulation of tin in Greater Iran from the 4th to the 1st millennium bc.
Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi 12 (2009), 209–221.
- Ma16** J. Marahrens, D. Berger, G. Brügmann & E. Pernicka,
Vergleich der stabilen Zinn-Isotopenzusammensetzung von Kassiteriten aus europäischen Zinn-Lagerstätten.
Metalla (2016), Sonderheft 8, 190–193.



Literatur (cont.)

Ne15 B. Nessel, G. Brügmann & E. Pernicka,

Tin Isotopes and the Sources of Tin in the Early Bronze Age Únětice Culture.

In: Josep María Mata-Perelló, Mark A. Hunt Ortiz & Enrique Orche García (Hrsg.),

Patrimonio Geológico y Minero: De la Investigación a la Difusión, Actas del XV Congreso Internacional Sobre Patrimonio Geológico y Minero, 25–28 de septiembre de 2014.

(Logrosán 2015), 1–20.

NU98 G. Pfennig, H. Klewe-Nebenius & W. Seelmann-Eggebert,

Karlsruher Nuklidkarte.

(Karlsruhe ⁶1998).

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.

PS02 Ekkehard Fluck & Klaus G. Heumann,

Periodensystem der Elemente.

(Weinheim ³2002).

Ya09 Ünsal Yalçın & Hadi Özbal,

Ein neues Zinnvorkommen in Kayseri-Hisarcık, Zentralanatolien, Ein Vorbericht.

Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi 12 (2009), 117–122.

Ya14 E. Yamazaki, S. Nakai, Y. Sahoo, T. Yokoyama, H. Mifune, T. Saito, J. Chen, N. Takagi, N. Hokanishi & A.

Yasuda,

Feasibility studies of Sn isotope composition for provenancing ancient bronzes.

Journal of Archaeological Science 52 (2014), 458–467.



Literatur (cont.)

Ya16 Ünsal Yalçın,

Zinn für die Königin, Ein Barrenfragment aus Alacahöyük und seine Deutung.

In: Gabriele Körlin, Michael Prange, Thomas Stöllner & Ünsal Yalçın (Hrsg.),

From Bright Ores to Shiny Metals, Festschrift for Andreas Hauptmann on the Occasion of 40 Years Research in Archaeometallurgy and Archaeometry.

Der Anschnitt, Beiheft 29 (Bochum 2016), 69–74.

Yi99 Wen Yi et al.,

Tin isotope studies of experimental and prehistoric bronzes.

In: Andreas Hauptmann, Ernst Pernicka, Thilo Rehren & Ünsal Yalçın (Hrsg.),

The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference „The Beginnings of Metallurgy“, Bochum 1995.

Der Anschnitt, Beiheft 9 (Bochum 1999), 285–290.