

# Die Kupferverhüttung auf Helgoland im Mittelalter

Von Horst D. Schulz, Kiel

Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne den begeisterten Einsatz der wissenschaftlichen Tauchergemeinschaft der Universität Kiel. Besonderen Dank schulde

ich daher den Tauchern Hannes Grobe, Hartmut Heinrich, Theo Kollatschni, Roger Mason, Jean Rouquette und Rüdiger Stein.

## ÜBERSICHT ÜBER DEN BISHERIGEN KENNTNISSTAND

Bei Munitionsräumarbeiten um Helgoland wurden nach dem Krieg im Seegebiet südlich der Insel den Berichten zufolge erhebliche Mengen von Rohkupferscheiben damals unbekannter Herkunft gefunden. Der Fundort und die genaue Fundmenge blieben unbekannt. Bis auf eine Scheibe (Stück Nr. S10) ging der gesamte Komplex verloren. Im Jahre 1971 fand H. Stühmer südlich des Helgoländer Südhafens an einer Stelle beieinander Scheiben und Scheibenbruchstücke, die er bergen konnte und die von STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL (1978) eingehend bearbeitet wurden. Die genaue Fundsituation blieb unbekannt, auch gelang es damals nicht, den Fundort wieder aufzufinden, um nach Begleitfunden Ausschau zu halten.

Die Arbeiten von STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL (1978) sowie HÄNSEL u. SCHULZ (1980) machten sicher, daß die Kupferscheiben aus Helgoländer Kupfererz erschmolzen worden waren. Die Zuordnung ergab sich zwingend aus dem Vergleich chemischer Analysen der Scheiben mit quantitativer Bestimmung der Elemente Cu, Ni, Cr, Cd, Ag, Pb, As, Co, Mn, Fe, Zn, Bi und Sb mit entsprechenden Analysen von 50 verschiedenen Kupfererzen – darunter auch des Helgoländer Erzes. Inzwischen wurde der Erzkatalog auf mehr als 100 verschiedene Kupfererze erweitert, was jedoch nichts an der deutlichen Zuordnung der Kupferscheiben zum Helgoländer Erz änderte.

Den Mineralbestand der oxidischen und karbonatischen Helgoländer Kupfererze beschrieb SCHREITER (1932). Die Lage und Größe der Lagerstätte im Felswatt nordöstlich der heutigen Hauptinsel ist von LORENZEN (1965) untersucht und als frühzeitig genutzte Lagerstätte zur Diskussion gestellt worden. Seine quantitativen Analysen des reichen Kupfererzes wurden von FESSER (1971) ausdrücklich bestätigt.

Die Herstellungstechnik der Kupferscheiben erkannten STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL (1978) als – besonders in der Größe der Stücke – kennzeichnend für eine mittelalterliche Verhüttung, wie sie zum Beispiel AGRICOLA (1556) und ERCKER (1565) beschreiben: Nachdem das flüssige Rohkupfer aus dem Schmelzofen abgezogen und in eine runde Grube vor dem Ofen – den Vorherd – gelaufen war, wurde dort im Vorgang des „Scheibenreißen“ die jeweils obere erkaltete Schicht abgerissen. So entstanden nach und nach kleinere Rohkupferscheiben mit zum Grunde des Vorherdes flacher werdendem Rand, bis der „König“ als unterste übrig blieb. Die gefundenen Scheiben verschiedener Größe bilden somit die Form und Größe des Vorherdes ab. Hin und wieder sind in den Scheiben kleine Gerölle von Helgoländer Buntsandstein und Kreide eingeschlossen, die vom noch flüssigen Kupfer umflossen worden waren. An ebenfalls im Rohkupfer eingeschlossenen Holzkohlstückchen wurde eine <sup>14</sup>C-Bestimmung durchgeführt. Diese ergab, daß das zur Verhüttung verwendete Holz zwischen 1140 und 1340 n. Chr. gewachsen war.

Inzwischen war dem Verfasser berichtet worden, daß Taucher des Unterwasserlabors Helgoland südlich der Helgoländer Düne zufällig einige weitere Kupferscheiben gefunden hatten (Stücke Nr. W1, W2, W3, T1, T2, T3, J1, J2), denen Proben entnommen wurden. Eine veranlaßte Suchaktion zur Wiederauffindung der Fundstelle verlief im Sommer 1979 weitgehend erfolglos<sup>1</sup>.

Im März 1980 führte der Verfasser mit Tauchern der wissenschaftlichen Tauchgruppe der Universität Kiel eine weitere Suchaktion durch. Bei außergewöhnlich guter Unterwassersicht (z. T. Sichtweiten um 10–15 m) konnten dabei weite Teile des Schülver-Riffs östlich der Helgoländer Hafeneinfahrt und südlich der Düne abgesehen werden. Dabei wurden der Fundplatz an der Südspitze des östlichen Riffbogens entdeckt (Abb. 1; 9) und die Stücke Nr. A1 bis A20 geborgen<sup>2</sup>. Wegen ungünstigen Wetters unterblieb ein intensiveres Absuchen des Fundplatzes, jedoch war es möglich, die genaue Position festzuhalten.

Im April 1981 erfolgte eine weitere Suchaktion<sup>3</sup>; dabei konnten der Fundplatz des Vorjahres und seine Umgebung gründlich abgesucht und einige weitere Kupferscheiben geborgen werden (Stücke Nr. B1 bis B5). Außerdem wurde beim Tauchen auf dem westlichen Riffbogen ein zweiter Fundplatz (Abb. 2; 9) entdeckt und abgesucht (Stücke Nr. C1 bis C14)<sup>4</sup>. Es wird davon ausgegangen, daß der Fundplatz auf dem östlichen Riffbogen identisch mit dem Ort der Zufallsfunde der Taucher vom Unterwasserlabor Helgoland ist (Abb. 9) und der auf dem westlichen Riffbogen eingetragene Fundplatz von 1981 mit dem von Stühmer aus dem Jahre 1971 (Abb. 9) übereinstimmt.

Von Bord des Forschungsschiffes „Littorina“ konnten die südlichen Teile beider Riffbögen mit Echographen-Profilen in ihrer Gestalt kartiert werden. Zusammen mit den Taucherbeobachtungen und dem Einsatz einer Unterwasserfernsehkamera ergaben diese Profile hinreichend Information, um in Blockbildern beide Fundplätze mit ihrem jeweiligen Umfeld darzustellen (Abb. 1; 2).

Der südliche Teil des östlichen Riffbogens (Schülver-Riff, Abb. 1) besteht aus Schichten des Muschelkalks, die flach nach Osten einfallen. Die Schichtköpfe bilden nach Westen steile Flanken von Einzelriffen, vor denen

sich jeweils Geröllsäume abgelagert haben. Die Unterwasserphotos sollen einen Eindruck von den Geröllsäumen der Einzelriffe und den nahezu geröllfreien Zonen zwischen ihnen vermitteln (Abb. 3, 1. 2). Lokal eng begrenzt befindet sich in den Geröllfeldern die Fundstelle der Kupferscheiben (schraffiert in Abb. 1). Zwei Scheiben werden in Originallage zwischen den Geröllen gezeigt (Abb. 4, 1. 2): eine halbe Scheibe liegt etwas links (Abb. 4; 1) und eine ganze Scheibe befindet sich links von der Bildmitte (Abb. 4, 2), diese wird teilweise von anderen Geröllen bedeckt. Die Scheiben sind unter Wasser durch die sich von der Umgebung stark abhebende grüne Patina nicht zu übersehen. Als Begleitfunde ergaben sich lediglich in der näheren Umgebung der Kupferscheiben ein schlackenüberzogenes Schamottestück (Abb. 8), sowie dunkle Schlackenstücke (Abb. 7), auf die noch näher einzugehen sein wird.

Der südliche Teil des westlichen Riffbogens (Süder-Riff, Abb. 2) ist in seinem Aufbau komplizierter. Den größten Teil des Riffs bilden Schichten der Oberkreide, die westlich des Fahrwassers flach nach Westen einfallen. Teile des Riffkörpers bestehen jedoch aus Buntsandstein und wohl auch aus Schichten des Zechsteins. Eine genauere Beschreibung der geologischen Verhältnisse geben WURSTER (1962) und HILLMER, SPÄTH u. WEITSCHAT (1979). Wieder ist der Fundplatz der Kupferscheiben in Geröllfeldern lokal eng begrenzt (siehe Schraffur in Abb. 2), und auch hier ergaben sich nur in der engeren Umgebung der Kupferscheiben reichlich dunkle Schlackenstücke, sowie ein als Gewichtstein gedeutetes bearbeitetes Buntsandsteinstück (Abb. 10), auf das noch näher eingegangen wird.

Die Tabelle 2 gibt neben den chemischen Daten, der Größe und dem Gewicht der Einzelstücke eine Übersicht über die bisher gefundene Menge, wobei auch vermerkt ist, in wessen Besitz die einzelnen Scheiben verblieben sind. Hinzuzurechnen sind weitere elf nicht analysierte, kleinere Stücke aus dem Fund von Stühmer, Helgoland, mit einem Gesamtgewicht von 28,3 kg sowie 20 kleinere, ebenfalls nicht analysierte Stücke mit einem Gesamtgewicht von 13,5 kg aus den Suchaktionen in den Frühjahren 1980 und 1981<sup>5</sup>. Somit haben bisher insgesamt 291 kg

<sup>1</sup> Die Suchaktion erfolgte unter der Leitung eines Tauchers des Unterwasserlabors Helgoland und wurde zusammen mit Tauchern des Norddeutschen Rundfunks Hamburg durchgeführt.

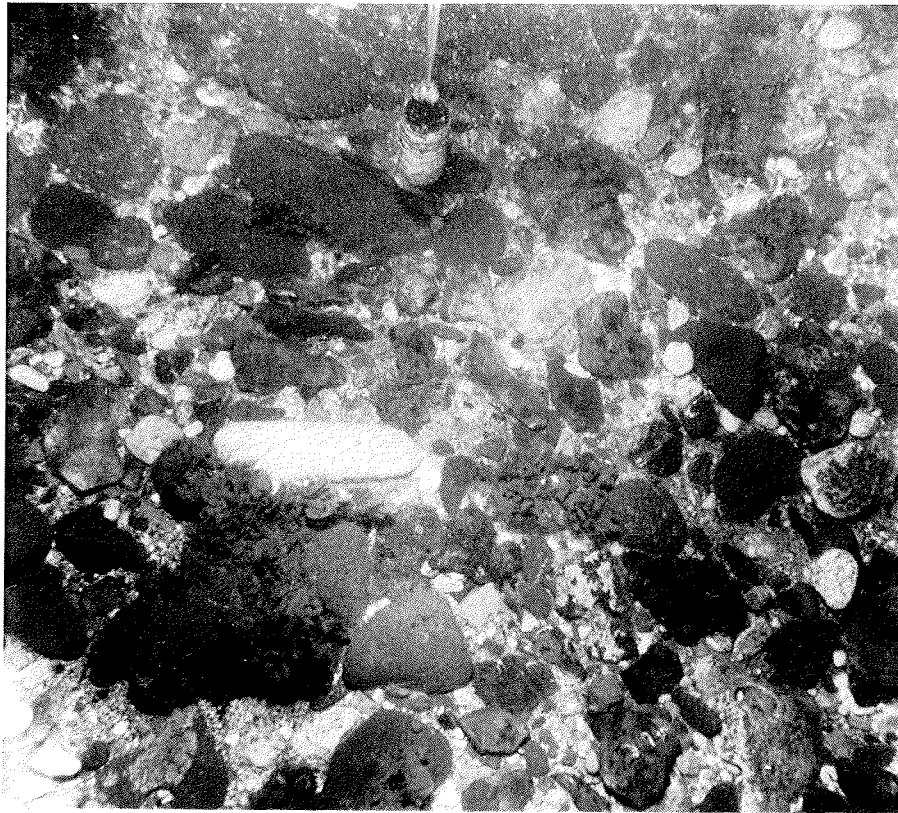
<sup>2</sup> Die Stücke befinden sich heute im Besitz des Landes Schleswig-Holstein (Landesmuseum Schleswig), das die Suchaktion auch finanziell unterstützte.

<sup>3</sup> Auch hier haben Taucher der wissenschaftlichen Tauch-

gruppe Kiel die Unterwasserarbeiten durchgeführt; die Aktion erfolgte mit dem Forschungsschiff „Littorina“ der Universität Kiel.

<sup>4</sup> Die Funde des Jahres 1981 befinden sich im Besitz der Gemeinde Helgoland, die sich an den Kosten der Aktion beteiligt hat.

<sup>5</sup> Die Stücke befinden sich im Besitz des Landesmuseums Schleswig oder verblieben beim Verfassers.



1



2

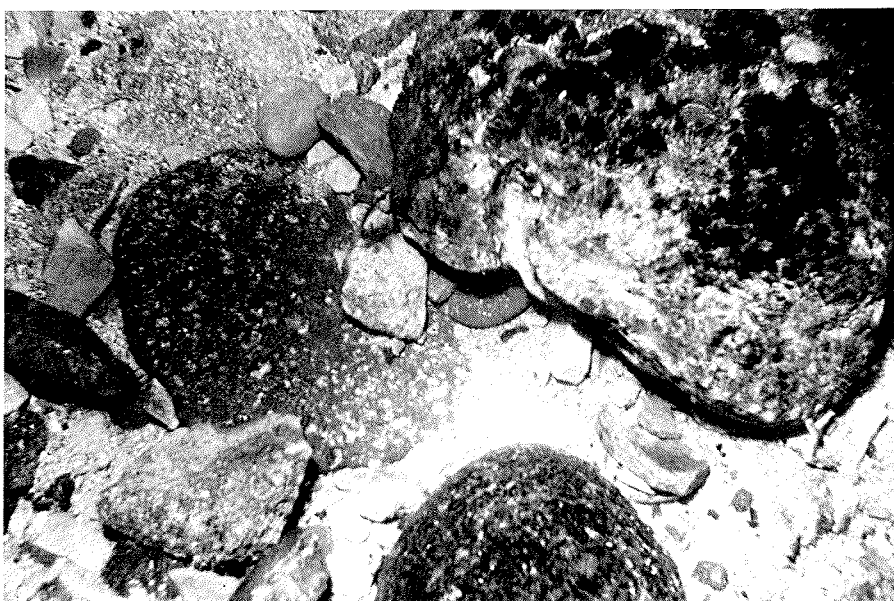
Abb. 3. Unterwasserphotos vom Fundplatz Schülver-Riff. Es wechseln Geröllfelder (1) mit nahezu geröllfreiem, anstehendem Muschelkalk ab (2). Das jeweils oben im Bild hängende Gewicht der Unterwasserkamera hat als Größenmaßstab eine Länge von 10 cm.

Rohkupfer von Helgoland vorgelegen, von denen 172,6 kg vom Schülver-Riff und 118,4 kg vom Süder-Riff stammen. Weitere drei bis vier Scheiben in Privatbesitz sind dem Verfasser bekannt. Berücksichtigt man, daß trotz sorgfältigen Absuchens beider Fundplätze wohl

noch Stücke am Meeresboden verblieben sind und vor allem ein größerer Posten durch die Minenräumarbeiten unkontrolliert verloren ging, so ist die Gesamtmenge des Helgoländer Rohkupfers mit etwa 500 kg sicherlich nicht zu hoch veranschlagt.



1



2

Abb. 4. Unterwasserphotos von Kupferscheiben in Originallage verkeilt zwischen Buntsandstein- und Muschelkalkgeröllen.

Neben einer Reihe von Proben Helgoländer Erzes und einigen in der Nähe der Kupferscheiben gefundenen Schlacken wurden insgesamt 59 Proben aus Kupferscheiben chemisch auf die Elemente Cu, Ni, Cr, Cd, Ag, Pb, As, Co, Mn, Fe, Zn, Bi und Sb quantitativ analysiert. Dazu wurden Aufschlüsse mit Salpetersäure in der Tölg-Bombe bei 180° C und/oder durch Abrauchen mit Flußsäure und Perchlorsäure im offenen PTFE-Tiegel durchgeführt, um die Proben möglichst vollständig aufzulösen. Als Probenmenge wurden jeweils 0,5 g verwendet und anschließend auf 50 ml zu einer Konzentration von 10 g/l aufgefüllt. Die Messung der Einzelkonzentrationen erfolgte mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie in der Luft/Azetylen-Flamme oder in der Graphitrohr-Küvette. Eine Übersicht über die zahlreichen Analysen gibt Tabelle 1, die Einzelanalysen der Kupferscheiben sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Die chemischen Analysen aller 59 Schwarzkupferproben ergaben bei nahezu allen Begleitelementen des Kupfers zum Teil erhebliche Schwankungen in der Konzentration. Die Tabelle 1 zeigt in Spalte 3 die Mittelwerte aller Bestimmungen, die Spalten 4 und 5 geben absolut und prozentual für jedes untersuchte Element die Standardabweichung der 59 Analysen an. Dabei ist naturgemäß die prozentuale Standardabweichung für die Kupferkonzentrationen selbst am niedrigsten (6,7 %). Die höchsten prozentualen Standardabweichungen zeigen die Elemente Fe, Mn und Cr, die bei der Verhüttung in den Schlacken angereichert werden und durch ihr zufälliges Auftreten in den Schwarzkupferproben starken Schwankungen unterworfen sind. Das Cadmium, dessen Siedepunkt bei der Verhüttung weit überschritten wird, ist durch die Zufälligkeiten des dabei erfolgenden Übertritts in die Gasphase ebenfalls in seiner Konzentration im Schwarzkupfer stark schwankend. Für alle anderen Elemente liegt die prozentuale Standardabweichung zwischen 31 % (Antimon) und 105 % (Silber). Etwas ungewöhnlich ist die relativ hohe Standardabweichung der Silberkonzentrationen, die hier wohl überwiegend auf Inhomogenität des Erzes zurückgeführt werden muß. Alle anderen Standardabweichungen scheinen den Rahmen der Zufälle im Ergebnis abzustecken, der durch die Aufsummierung der Zufälle bei Erzauswahl, Erzaufbereitung, Verhüttung und Probenentnahme an den Schwarzkupferscheiben gegeben ist.

Die Abbildung 5 zeigt den Vergleich der mittleren Konzentrationen in allen Scheiben (weiße Säulen = Sp. 3 in Tab. 1) mit den auf gleiche Kupferkonzentration normierten Begleitelementkonzentrationen im Erz (schwarze Säulen = Sp. 2 in Tab. 1). Hierin wird – neben den Übereinstimmungen – deutlich, daß gerade die Elemente mit hohen Standardabweichungen (Fe, Mn, Cr, Cd) auch die größeren Abweichungen zwischen Erz und Metall aufweisen.

An beiden Fundplätzen wurden zusammen mit den Kupferscheiben stets dunkle Schlackenstücke (Abb. 7) gefunden; einige Scheiben weisen kleinere Einschlüsse von Schlacken auf. Besonders bei Stück Nr. A7 sind etwa 1–3 cm große Schlacken tief in das Kupfer eingebettet (Abb. 7). Sowohl diese eingeschlossenen als auch die einzeln gefundenen Schlackenstücke wurden chemisch analysiert (Tab. 1, Sp. 6–10). Anhand der Analysen ist die Frage zu diskutieren, ob die lose gefundenen Schlacken zur Verhüttung dieser Kupferscheiben gehören. Für eine Zugehörigkeit spricht der enge Fundverband mit den Scheiben, denn alle etwa 30 Schlackenstücke stammen aus der engeren Umgebung (Umkreis 30–40 m) der beiden Fundstellen von Kupferscheiben. Bei der ausgiebigen Suche auf anderen Teilen der Riffbögen wurden dagegen keine Schlacken gefunden, obwohl in der Suchaktion im Frühjahr 1981 besonders darauf geachtet worden ist. Weiterhin sind die in Scheiben eingeschlossenen Schlacken und die einzeln gefundenen Stücke von gleicher Farbe und Struktur und weisen gleiche typische plattige Einschlüsse helleren Materials auf; auch in den chemischen Analysen gibt es gute Übereinstimmungen (Ni, Cr, Cd, Mn, Fe, Bi, Sb). Der Zuordnung stehen recht niedrige Gehalte für Ag, Pb, As, Co und Zn in den einzeln gefundenen Schlacken entgegen. Diese Unterschiede gegenüber den in Kupfer eingeschlossenen Schlacken könnten jedoch auf Auslaugung im Meerwasser zurückgeführt werden. Für diese Erklärung spricht auch der Kupfergehalt der einzeln gefundenen Schlackenstücke, der viel zu hoch für eine Nichtkupferschlacke wäre, aber selbst für eine moderne Kupferschlacke zu niedrig ist.

Die Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der eingeschlossenen – und damit zweifelsfrei zugehörigen – Schlacken (weiße Säulen = Sp. 6 in Tab. 1) mit der nicht normierten Durchschnittsanalyse vom Helgoländer Erz (schwarze Säulen = Sp. 1 in Tab. 1). Hier sind nun die Schlackenelemente Fe, Mn und Cr, die beim Vergleich Erz – Schwarzkupfer im Metall fehlten, entsprechend in den Schlacken angereichert. Die auch in den Schlacken niedrige Konzentration des Cadmiums weist wiederum auf das Verdampfen dieses Elements bei der Verhüttung hin. Außerdem ist interessant, daß die Elemente Pb, Co und Zn anscheinend eine gewisse Anreicherung in den Schlacken erfahren, während As und Ag offensichtlich mit dem Kupfer bevorzugt in das Metall gehen.

Der Vergleich Metall/Schlacke erfolgt am aussagekräftigsten in Form des Verteilungskoeffizienten ( $K_D$ -Wert):

$$K_D = \frac{\text{Konzentration in der Schlacke}}{\text{Konzentration im Metall}}$$

Ein  $K_D$ -Wert = 1 würde besagen, daß ein Element bei der Verhüttung weder in den Schlacken noch im Metall

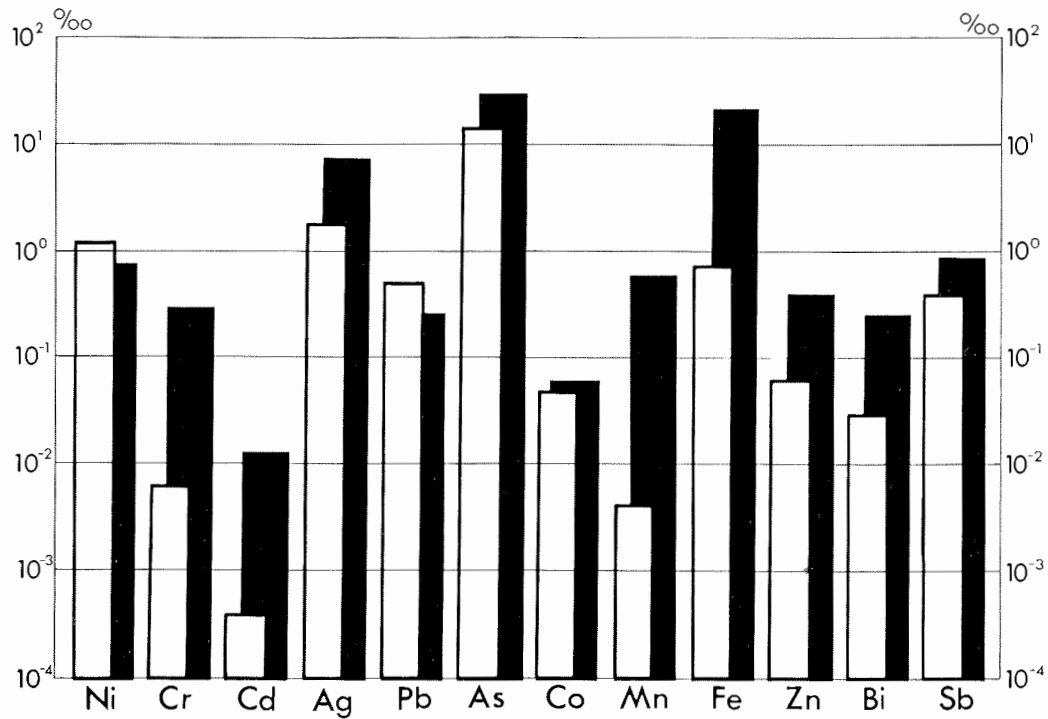


Abb. 5. Vergleich der Schwarzkupferscheiben (weiße Säulen) mit dem auf gleiche Kupferkonzentration hochgerechneten Helgoländer Erz (schwarze Säulen).

(Anmerkung: Gegenüber früheren Arbeiten hierzu ergeben sich durch die inzwischen vorliegende wesentlich größere Analysenzahl leicht veränderte, aber statistisch besser gesicherte Werte. Die früher fehlerhafte, zu hohe Wismut-Bestimmung wurde korrigiert.)

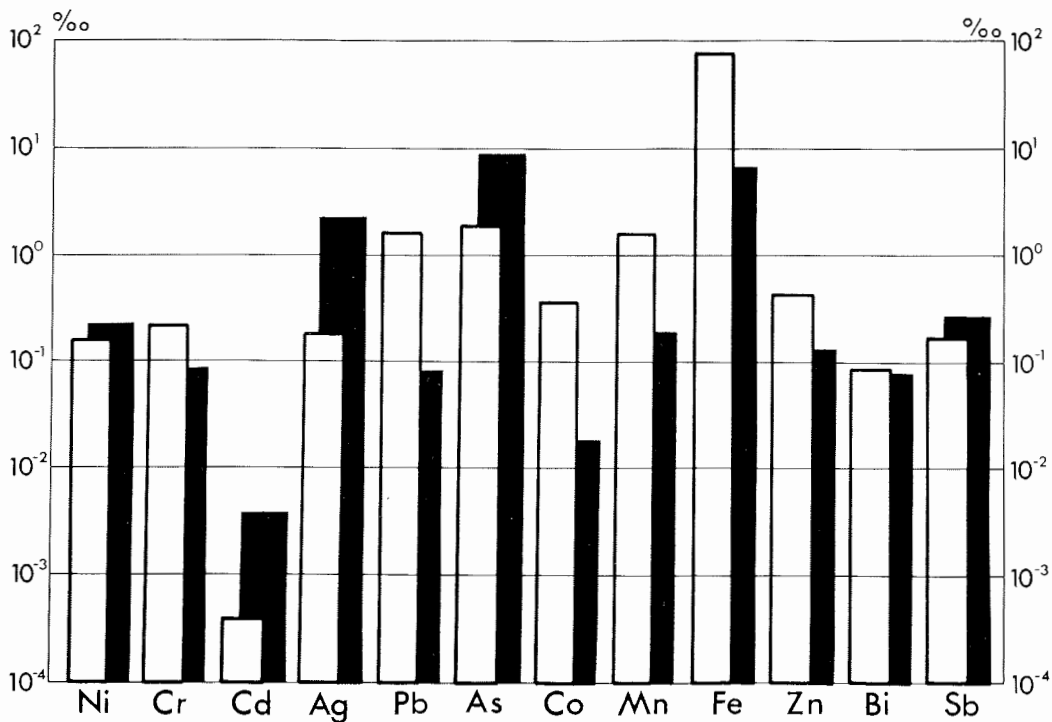


Abb. 6. Vergleich der Analyse von Verhüttungsschlacken, die in Scheiben eingebacken waren (weiße Säulen) mit der nicht normierten Analyse vom Helgoländer Erz (schwarze Säulen).

Tab. 1. Geochemische Übersicht.

	Cu	Ni	Cr	Cd	Ag	Pb	As	Co	Mn	Fe	Zn	Bi	Sb
Spalte 1	271	0,24	0,084	0,0044	2,44	0,078	8,8	0,019	0,19	6,6	0,13	0,078	0,28
Spalte 2	877	0,78	0,27	0,014	7,89	0,25	28,5	0,06	0,61	21,4	0,42	0,252	0,91
Spalte 3	877	1,29	0,0062	0,0004	1,17	0,48	13,7	0,045	0,004	0,7	0,058	0,028	0,36
Spalte 4	59	0,96	0,0258	0,0006	1,23	0,35	5,1	0,022	0,006	1,5	0,023	0,021	0,11
Spalte 5	6,7	74	416	150	105	73	37	49	150	210	40	75	31
Spalte 6	(69,5)	0,16	0,23	0,0004	0,18	1,69	1,94	0,39	1,65	76,7	0,45	0,086	0,17
Spalte 7	(0,08)	0,12	37	1	0,15	3,5	0,14	8,7	412	110	7,7	3,1	0,47
Spalte 8	0,22	0,18	0,27	0,0047	0,003	0,10	<0,2	0,025	5,8	219	0,04	0,11	1,01
Spalte 9	0,84	0,22	0,40	0,0066	0,005	0,11	<0,2	0,037	10,5	324	0,06	0,18	2,17
Spalte 10	0,02	0,14	0,20	0,0028	0,001	0,09	<0,2	0,023	1,3	60	0,02	0,04	0,36

Spalte 1: Kupfererz Helgoland. Durchschnittswerte des nichtkarbonatischen Erzes. Werte in Promille.

Spalte 2: Wie Spalte 1, jedoch normiert auf eine Kupferkonzentration von 877 Promille.

Spalte 3: Kupferscheiben Helgoland. Mittelwerte aus 59 Einzelanalysen. Werte in Promille.

Spalte 4: Kupferscheiben Helgoland. Standardabweichungen der Einzelanalysen.

Spalte 5: Kupferscheiben Helgoland. Prozentuale Standardabweichungen.

Spalte 6: In Kupferscheibe eingeschossenes Schlackenstück. Werte in Promille. Cu nicht repräsentativ, da durch umgebendes Kupfer beeinflusst.

Spalte 7: Verteilungskoeffizienten ( $K_D$ -Werte). Konzentration Schlacke zu Konzentration Metall.

Spalte 8: In der Nähe der Kupferscheiben am Meeresboden gefundene Schlacken. Mittelwerte in Promille.

Spalte 9 und 10: Wie Spalte 8, jedoch in verschiedenen Stücken gefundene Maxima (Sp. 9) und Minima (Sp. 10).

Tab. 2. Chemische Analysen der untersuchten Kupferscheiben. Alle Konzentrationen in Promille, Durchmesser ( $\varnothing$ ) in cm, Gewicht in g.

Fundort	Nummer	Cu	Ni	Cr	Cd	Ag	Pb	As	Co	Mn	Fe	Zn	Bi	Sb	$\varnothing$	Gew.	Eigentümer/Verbleib
Fundplatz östlich des Fahrwassers Östlicher Riffbogen	W 1	826.	.98	.0100	.00068	3.10	.69	19.0	.065	.0230	1.00	.070	.050	.40	48.	11850.	E.Wendler, Hamburg
	W 2	914.	.83	.2010	.00088	1.93	.45	12.0	.105	.0210	4.80	.090	.020	.50	29.	3700.	E.Wendler, Hamburg
	W 3	920.	1.05	.0070	.00360	2.95	.26	15.0	.050	.0030	.27	.050	.004	.57	46.	6550.	E.Wendler, Hamburg
	T 1	832.	.67	.0048	.00053	.95	.32	11.2	.043	.0120	.52	.043	.020	.46	55.	13300.	Tadday, Helgoland
	T 2	739.	.55	.0020	.00053	1.43	.32	11.2	.043	.0190	1.75	.048	.007	.29	41.	6300.	Tadday, Helgoland
	T 3	754.	.61	.0033	.00059	1.16	.44	6.0	.077	.0200	1.42	.117	.005	.33	26.	2200.	Tadday, Helgoland
	J 1	761.	.66	.0029	.00100	.90	.41	14.9	.060	.0210	2.01	.074	.010	.28	48.	10700.	Jatzke, Helgoland
	A 2	791.	.69	.0022	.00073	.58	.20	13.7	.040	.0130	.73	.036	.002	.38	37.	5100.	Jatzke, Helgoland
	A 3	831.	.95	.0020	.00005	.97	.49	10.0	.073	.0003	.01	.076	.046	.50	22.	3000.	Museum Schleswig
	A 4	856.	1.11	.0025	.00060	.52	.42	17.1	.045	.0050	.11	.057	.045	.53	41.	8350.	Museum Schleswig
	A 6	865.	1.43	.0008	.00005	.05	.59	14.9	.058	.0035	.10	.037	.054	.48	27.	6000.	Museum Schleswig
	A 8	844.	.90	.0023	.00066	.04	.54	19.8	.057	.0008	.23	.053	.050	.54	46.	9100.	Museum Schleswig
	A 9	895.	1.13	.0018	.00018	1.45	.37	21.9	.068	.0027	.04	.081	.064	.65	25.	4000.	Museum Schleswig
	A 10	812.	.95	.0010	.00022	1.57	.49	12.3	.025	.0044	.24	.031	.051	.45	14.	1500.	Museum Schleswig
	A 11	870.	.95	.0023	.00015	.34	.33	13.4	.063	.0009	.17	.033	.046	.44	42.	6000.	Museum Schleswig
	A 12	758.	.92	.0035	.00018	.04	.26	14.2	.042	.0050	.10	.033	.047	.51	58.	4650.	Museum Schleswig
	A 15	777.	.89	.0025	.00030	1.02	.46	11.4	.048	.0003	.00	.040	.055	.46	45.	1750.	Museum Schleswig
	A 17	930.	.95	.0010	.00056	2.25	.18	13.0	.021	.0056	.12	.028	.077	.65	50.	125.	Museum Schleswig
	A 1 - 1	828.	.91	.0043	.00022	.04	.18	9.9	.029	.0070	.45	.068	.017	.23	58.	17000.	Museum Schleswig
	A 1 - 2	785.	1.18	.0055	.00024	.02	.17	11.5	.033	.0050	.36	.042	.013	.26	58.	17000.	Museum Schleswig
	A 1 - 3	780.	1.17	.0045	.00022	.12	.19	13.5	.035	.0040	.46	.036	.021	.31	58.	17000.	Museum Schleswig
	A 3	891.	1.51	.0028	.00025	1.28	.40	10.3	.065	.0010	.02	.047	.007	.21	39.	7100.	Museum Schleswig
	A 5	922.	1.43	.0035	.00025	.41	.27	10.9	.039	.0030	.08	.034	.057	.34	33.	4800.	Museum Schleswig
	A 7	909.	1.45	.0025	.00026	.64	.29	12.1	.037	.0010	.15	.030	.066	.40	24.	4000.	Museum Schleswig
	B 1 - 1	886.	1.26	.0021	.00016	.31	.30	11.8	.034	.0010	.08	.038	.010	.37	59.	21600.	Gemeinde Helgoland
B 1 - 2	865.	1.03	.0035	.00020	.06	.29	11.6	.034	.0020	.17	.043	.025	.32	59.	21600.	Gemeinde Helgoland	
B 2	902.	1.06	.0025	.00023	.18	.58	10.7	.050	.0010	.10	.093	.014	.31	32.	1090.	Gemeinde Helgoland	
B 3	884.	.96	.0024	.00016	.16	.38	12.0	.044	.0010	.07	.047	.002	.32	38.	1950.	Gemeinde Helgoland	
B 4	942.	1.54	.0021	.00019	1.11	.46	12.5	.046	.0020	.10	.050	.033	.37	24.	3900.	Gemeinde Helgoland	
B 5	881.	1.11	.0019	.00015	1.26	.38	10.9	.046	.0030	.11	.051	.003	.28	38.	2040.	Gemeinde Helgoland	
Fundplatz westlich des Fahrwassers Westlicher Riffbogen	S 9 b	940.	1.74	.0008	.00010	7.65	2.23	3.2	.065	.0010	1.32	.087	.060	.23	14.	1475.	H.Stühmer, Helgoland
	S 9 e -1	958.	1.08	.0008	.00010	2.74	.77	11.9	.060	.0010	.11	.093	.040	.28	18.	3500.	H.Stühmer, Helgoland
	S 9 e -2	965.	.86	.0002	.00010	1.98	.56	8.7	.063	.0010	.02	.103	.030	.30	18.	3500.	H.Stühmer, Helgoland
	S 9 d	890.	1.50	.0011	.00010	3.54	.58	13.0	.073	.0010	.19	.040	.030	.38	19.	3160.	H.Stühmer, Helgoland
	S 9 c	949.	.93	.0002	.00010	2.22	.38	21.9	.016	.0010	.00	.042	.020	.56	17.	2965.	H.Stühmer, Helgoland
	S 10	902.	1.50	.0023	.00010	2.21	.80	14.0	.035	.0000	1.44	.076	.009	.36	26.	2625.	H.Stühmer, Helgoland
	S 5 a	894.	1.33	.0020	.00020	2.82	.78	12.2	.016	.0030	.66	.036	.030	.47	42.	2300.	H.Stühmer, Helgoland
	S 5 r	852.	1.25	.0042	.00010	1.75	1.03	12.8	.048	.0150	1.94	.089	.020	.29	50.	324.	H.Stühmer, Helgoland
	S 5 b	875.	1.44	.0034	.00020	1.89	.50	16.9	.082	.0110	1.37	.073	.020	.35	50.	5150.	H.Stühmer, Helgoland
	S 1	945.	1.37	.0008	.00010	1.43	.35	19.8	.020	.0010	.19	.041	.020	.59	48.	16600.	H.Stühmer, Helgoland
	S 9 a	931.	1.32	.0020	.00020	1.72	.39	14.0	.062	.0020	1.31	.037	.003	.45	12.	950.	H.Stühmer, Helgoland
	SZ	945.	.84	.0014	.00010	1.47	.25	14.0	.032	.0010	.08	.047	.001	.28	50.	250.	Verfasser
	SDH	780.	.75	.0020	.00190	1.49	.39	29.1	.028	.0110	2.00	.056	.010	.30	29.	4400.	Deutsches Haus, Helgol.
	C 1	900.	6.07	.0075	.00023	.20	.04	25.0	.003	.0060	9.98	.034	.033	.24	21.	2230.	Gemeinde Helgoland
	C 2	941.	6.25	.0055	.00015	.31	.02	26.0	.002	.0001	.13	.026	.011	.24	25.	1830.	Gemeinde Helgoland
	C 3	922.	1.02	.0036	.00022	.31	.39	10.9	.020	.0040	.23	.042	.011	.30	36.	4990.	Gemeinde Helgoland
C 4	891.	1.41	.0024	.00029	.93	.38	21.0	.067	.0005	.05	.087	.021	.30	40.	4000.	Gemeinde Helgoland	
C 5	906.	1.03	.0031	.00015	.99	.61	8.8	.077	.0004	.09	.115	.053	.26	38.	2960.	Gemeinde Helgoland	
C 6	909.	1.36	.0021	.00023	.66	.06	17.5	.032	.0002	.03	.085	.004	.38	43.	3780.	Gemeinde Helgoland	
C 7	950.	1.17	.0029	.00022	1.52	.38	17.0	.013	.0009	.07	.042	.003	.32	50.	1090.	Gemeinde Helgoland	
C 8	894.	1.48	.0022	.00012	1.00	.70	16.1	.033	.0006	.27	.079	.006	.35	44.	5500.	Gemeinde Helgoland	
C 9	903.	1.74	.0015	.00019	1.55	1.29	17.4	.071	.0001	.01	.089	.030	.31	31.	3510.	Gemeinde Helgoland	
C 10	850.	1.46	.0032	.00025	.23	.50	15.2	.046	.0010	.22	.051	.033	.25	40.	4210.	Gemeinde Helgoland	
C 11	869.	1.23	.0049	.00021	.16	.40	10.5	.061	.0030	.92	.079	.010	.39	20.	660.	Gemeinde Helgoland	
C 12	848.	1.11	.0060	.00025	.13	1.49	13.2	.043	.0110	1.20	.087	.022	.32	42.	530.	Gemeinde Helgoland	
C 13	972.	1.66	.0025	.00015	.69	.14	12.1	.086	.0001	.03	.072	.025	.21	30.	570.	Gemeinde Helgoland	
C 14	922.	1.20	.0051	.00010	.08	.30	12.8	.027	.0000	.97	.048	.051	.31	12.	240.	Gemeinde Helgoland	
Süderpiep	Büsum 1	906.	.72	.0028	.00009	.32	.55	1.3	.045	.0034	.03	.049	.072	.19	51.	.	M.Urthel, Friedrichskoog
	Büsum 2	922.	.76	.0030	.00011	.21	.31	.9	.037	.0040	.06	.054	.064	.21	70.	.	M.Urthel, Friedrichskoog

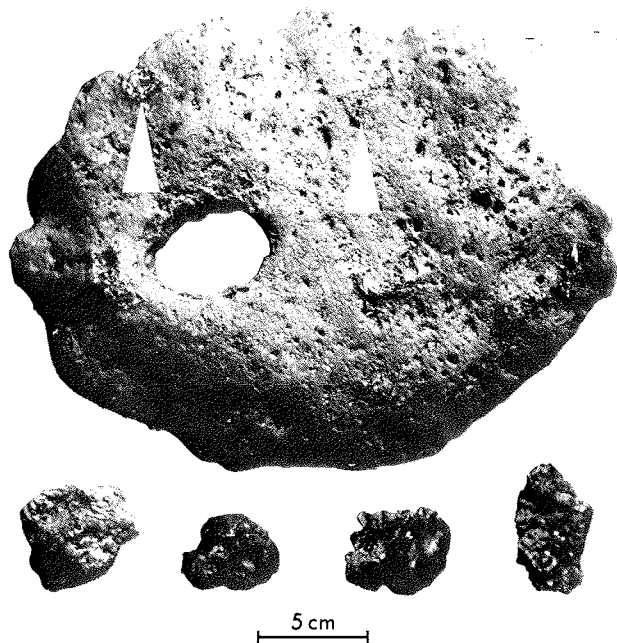


Abb. 7. Verhüttungsschlacken und Kupferscheiben (König) mit eingeschlossenen Schlackenstücken (Stück Nr. A7). Gefunden am Fundplatz Schülver-Riff.

eine Anreicherung erfährt, sondern sich indifferent verhält.  $K_D$ -Werte  $> 1$  bedeuten dann eine Anreicherung in den Schlacken und  $< 1$  eine Anreicherung im Metall. Dieses Konzentrationsverhältnis ist in Tabelle 1 (Sp. 7) aufgeführt, wobei für die Schlackenkonzentrationen nur die Analyse der eingeschlossenen Schlacken verwendet wurde. Es ergeben sich ausnahmslos dieselben Aussagen wie oben in den jeweiligen Vergleichen von Schlacke und Metall zum Erz. Die Elemente Cu, Ni, Ag und As haben Verteilungskoeffizienten von deutlich  $< 1$  und gehen bei der Verhüttung somit bevorzugt in das Metall. Die Elemente Fe, Mn und Cr werden mit  $K_D$ -Werten sehr viel  $> 1$  als Schlackenelemente ausgewiesen. Selbst die aufgefallene Neigung der Elemente Pb, Co und Zn zur leichten Anreicherung in den Schlacken (Abb. 6) spiegelt sich in den  $K_D$ -Werten zwischen 3,5 und 8,7 wider. Die

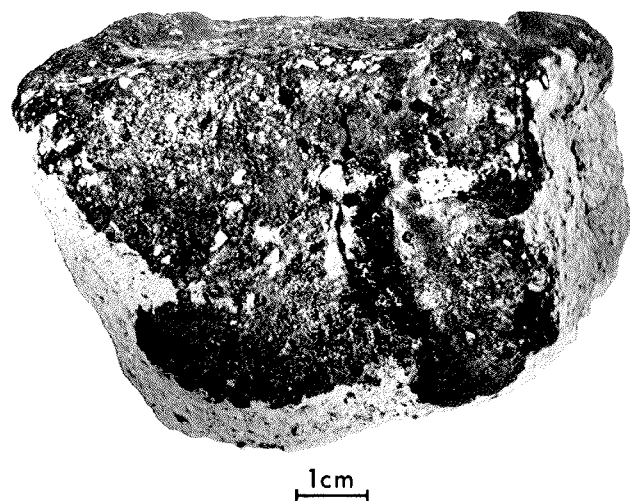


Abb. 8. Schamottestein mit Schlackenüberzug. Gefunden am Fundplatz Schülver-Riff.

Elemente Bi und Sb weisen mit  $K_D$ -Werten von 3,1 und 0,47 ein relativ indifferentes Verhalten auf, wobei das Wismut anscheinend eine leichte Neigung zur Anreicherung in den Schlacken hat. Das Verdampfen von Cadmium bei der Verhüttung betrifft offensichtlich gleichermaßen Metall und Schlacken, so daß sich für dieses Element ein  $K_D$ -Wert = 1 ergibt.

Insgesamt bietet sich gegenüber früheren Arbeiten (STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL 1978) ein deutlich abgerundeteres Bild der Verhüttung auf Helgoland, das uns über die reine Zuordnung von Erz und Metall hinaus noch eine Reihe von wertvollen Hinweisen zum Verhalten der einzelnen Begleitelemente des Kupfers bei der Verhüttung liefert und damit unsere Kenntnis der Verhüttungstechnik erweitert (vgl. SCHULZ u. HÄNSEL, in Vorbereitung).

## VERHÜTTUNGSPLÄTZE AM ALTEN HELGOLÄNDER SÜDHAFEN

In früheren Arbeiten (STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL 1978) konnte noch keine Aussage darüber gemacht werden, auf welche Weise die damals gefundenen Kupferscheiben auf den Meeresboden vor Helgoland gelangt sein könnten. Es wurde damals angenommen, es handle sich um die Reste einer Schiffskatastrophe. Die Suchaktionen in den Frühjahren 1980 und 1981 haben jedoch eine Fülle neuer Informationen ergeben, die weitere Aussagen gestatten.

Bereits das beschriebene Nebeneinander von Kupferscheiben und Schlacken an denselben Fundstellen deutet darauf hin, daß die heutigen Fundstellen möglicherweise die ehemaligen Verhüttungsplätze dokumentieren. In die gleiche Richtung weist ein Schamottestück mit Schlackenüberzug (Abb. 8), das im Frühjahr 1980 am Fundplatz auf dem östlichen Riffbogen (Schülver-Riff) entdeckt wurde. Von beiden Fundplätzen liegt zumindest jeweils ein „Paar“ von Kupferscheiben vor, das heißt



Scheiben, die nacheinander aus derselben Füllung des Vorherdes gerissen wurden (Stücke Nr. A2, A9 vom Schülver-Riff und Stücke Nr. C1, C2 vom Süder-Riff). Die jeweilige Zusammengehörigkeit ergibt sich aus der ähnlichen äußeren Form und aus der engen Verwandtschaft der chemischen Analysen. Gleiches könnte mit geringerer Evidenz für weitere Stücke gelten. Dieses Beieinanderbleiben von Scheiben aus demselben Schmelzvorgang wäre aber sehr unwahrscheinlich für Stücke, die vom Verhüttungsplatz wegtransportiert wurden. Auffällig sind weiterhin zwischen beiden Fundplätzen deutliche Unterschiede im Herstellungsstil der Kupferscheiben. Während die Scheiben vom Schülver-Riff durchweg kompakt, kreisrund und gleichmäßig geformt sind (Abb. 12), besteht der größte Teil des Fundes vom Süder-Riff aus dünnen, ovalen und unvollständigen Scheiben, zum Teil nur aus Segmenten.

Auf der Fundstelle am Süder-Riff wurde bei der Aktion im Frühjahr 1981 ein bearbeitetes Buntsandsteinstück von etwa 47 cm Länge, 21 cm Breite und 8 cm Dicke

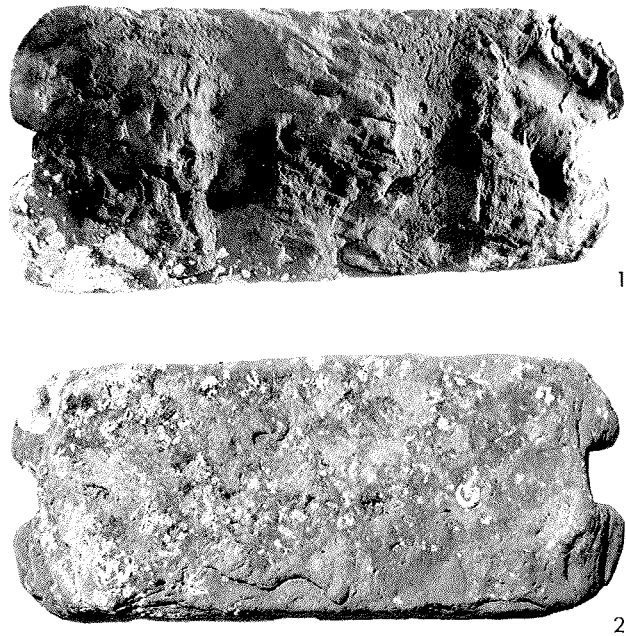


Abb. 10. Gewichtstein aus Helgoländer Buntsandstein vom Fundplatz am Süder-Riff. An den Schmalseiten sind Einkerbungen zur Halterung ausgearbeitet. Auf einer Fläche (a) sind zwei querverlaufende Vertiefungen für darüberzulegende Seile erkennbar.

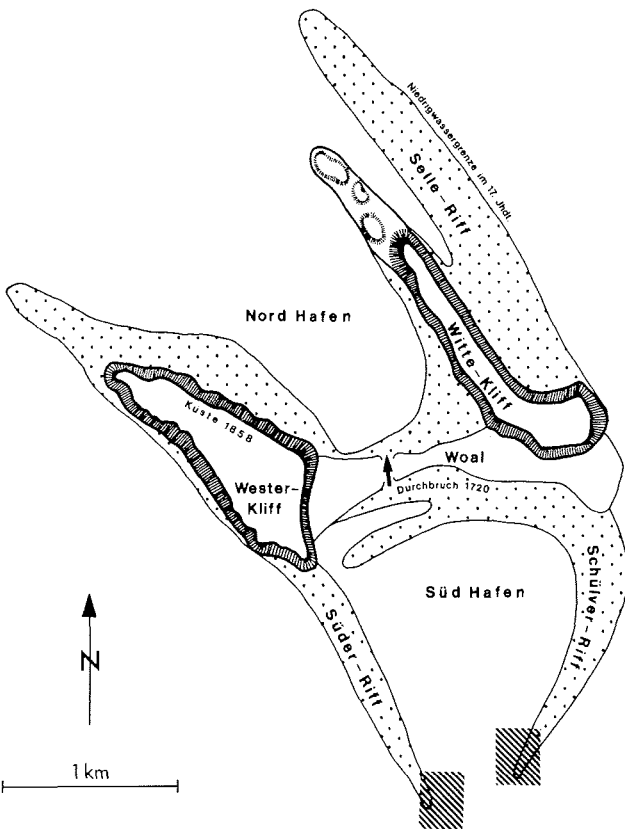


Abb. 9. Helgoland im 17. und 18. Jahrhundert. Noch ausgeprägter als heute umschließen die Riffbögen „Süder-Riff“ und „Schülver-Riff“ den ehemaligen Südhafen. An den Süden der Riffe sind schraffiert die Fundplätze der Kupferscheiben eingetragen. Zwischen Düne und Hauptinsel besteht noch eine flache Verbindung aus quartären Geröllen. (Nach HILLMER, SPÄTH u. WEITSCHAT 1979).

geborgen, das an beiden Schmalseiten ausgearbeitete Aussparungen und auf einer Fläche zwei querlaufende Vertiefungen aufweist (Abb. 10). Dieser Stein kann eigentlich nur als Gewicht benutzt worden sein. Wenn ein Zusammenhang mit der Verhüttung angenommen wird, so bietet sich die Deutung als Gegengewicht an einem Blasebalg an, wie ihn AGRICOLA (1556) abbildet und beschreibt (Abb. 11). Auch dort wurde das Gegengewicht des Blasebalgs in Zapfen (Abb. 11, links unten) auf dem Gegengewichtsbaum gehalten (siehe Aussparungen im Stein) und durch zwei Seile angebunden (siehe oberes Drittel der Bildmitte von Abb. 11 und querlaufende Vertiefungen auf dem Stein von Abb. 10, 1).

Insgesamt ergibt sich somit die Vorstellung von zwei Verhüttungsplätzen an den Süden der Riffe, die den alten Südhafen Helgolands umschlossen (siehe Abb. 9). Nun liegen diese Plätze heute bei einer Wassertiefe von 5–7 m, obwohl seit dem Mittelalter der Meeresspiegel nur um einen Bruchteil dieses Betrages angestiegen sein kann. Dieses wird durch die Betrachtung jüngerer Veränderungen des quartären Unterlandes um den Buntsandsteinfelsen verständlich. Noch im 17. Jahrhundert waren Hauptinsel und Düne durch einen Rücken aus quartären Schottern – den Woal – fest miteinander verbunden (Abb. 9). Erst im Jahre 1720 wurde diese Verbindung in einer Sturmflut durchbrochen und dann schnell zur heutigen Wassertiefe von 4–8 m ausgeräumt.

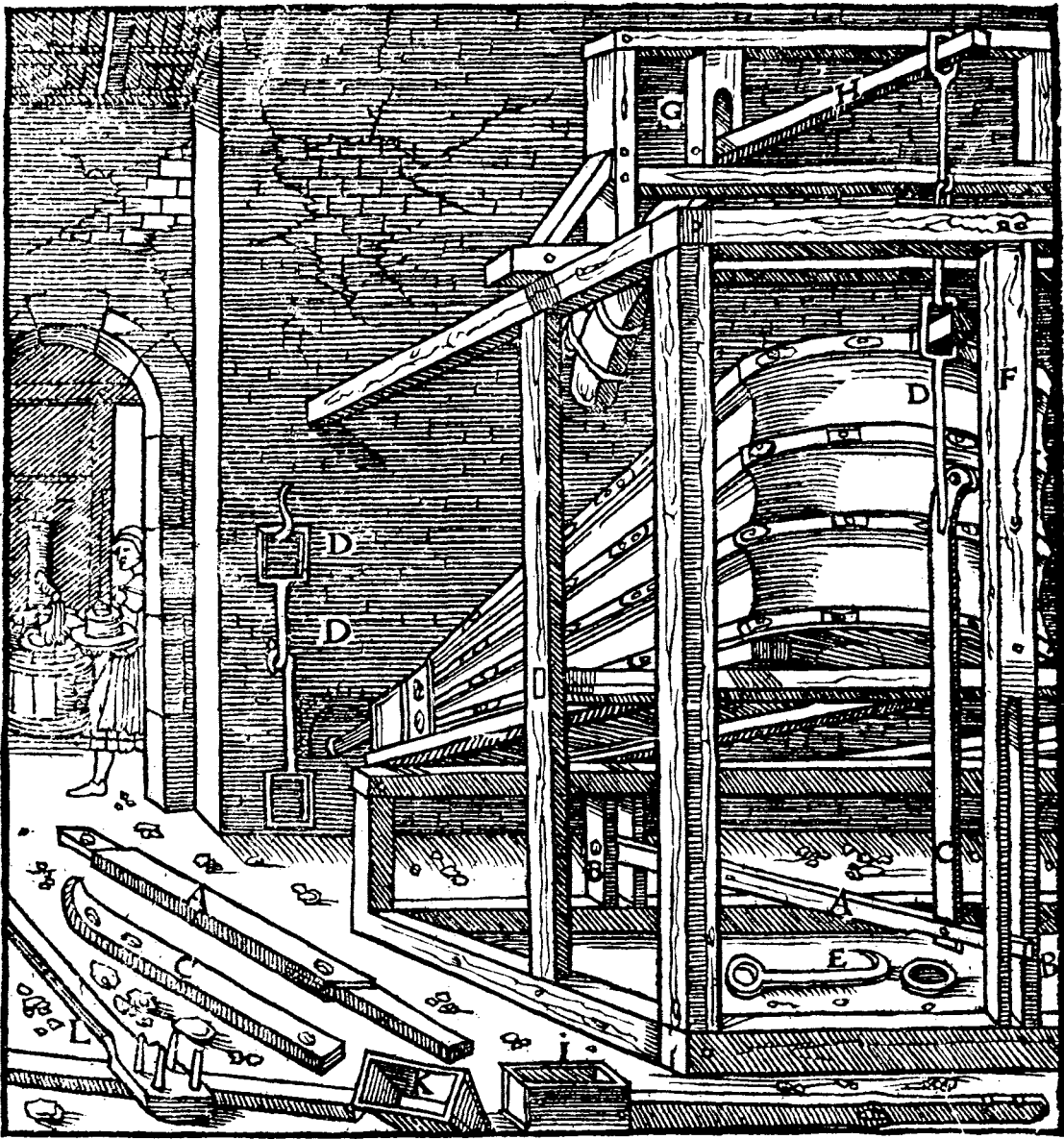


Abb. 11. Blasebalg an einem mittelalterlichen Hüttenofen. Deutlich ist am Ende des Gegengewichtsbaumes ein Gewicht zu erkennen, das mit zwei Seilen angebunden ist (oberes Drittel der Bildmitte). (Aus AGRICOLA 1556).

Noch bis in die jüngste Zeit reichte von der Düne ein Streifen aus Geröllen – die Aade – weit nach Westen. Dieser wurde in einer Sturmflut vor gut zehn Jahren zerstört und bis auf den Felssockel in einer Wassertiefe von 4–5 m abgetragen. Bei einer Diskussion der ehemaligen Größe Helgolands wird meistens nur der Abtrag am Buntsandsteinfelsen betrachtet und aus dieser Sicht die Darstellung in alten Karten beurteilt (JACOBY 1953). Es ist jedoch unmöglich, aus der heutigen Situation der Insel mehr über das quartäre Unterland auszusagen, als daß es einst größer als heute war. Eine Bedeckung zumindest des Süder-Riffs und des Schülver-Riffs im Mittelalter mit quartären Ablagerungen und ein Umschließen des alten Südhafens ist hochwahrscheinlich. Die Verhüttungsplätze an diesem Hafen wären dann in

ihrer Lage auf der Insel transport- und energieorientiert, da die Holzkohle zur Verhüttung sicherlich im Gegenweg zum Abtransport der Scheiben mit dem Schiff herangebracht werden mußte.

Wenn wir in den heutigen Fundplätzen der Kupferscheiben die alten Verhüttungsplätze erkennen, so stellt sich die Frage nach dem Ende dieser Verhüttung. Wertvolle Gegenstände, wie sie die gefundenen Kupferscheiben darstellen, sind in dieser großen Zahl sicher nicht ohne Not aufgegeben worden, ihre Erhaltung muß daher durch eine Katastrophe erklärt werden. Als eine solche bietet sich in der Zeit des ausgehenden Mittelalters eine der damals verstärkt einsetzenden Sturmfluten an. Bei einem derartigen Anlaß könnte das den alten Südhafen

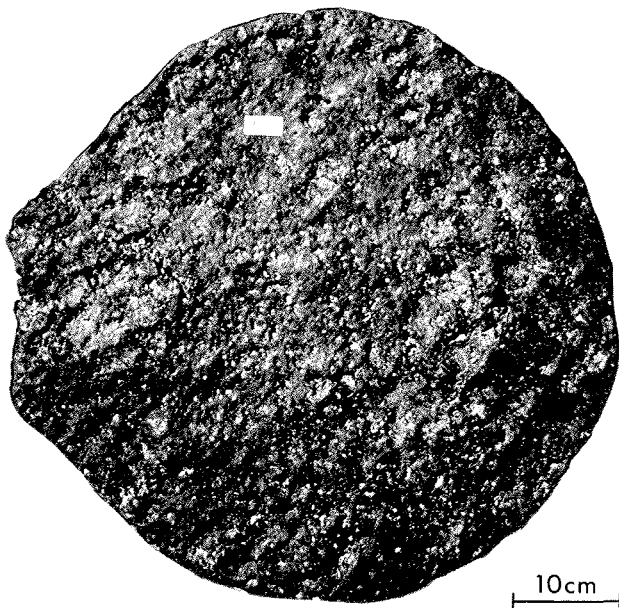


Abb. 12. Größte und schwerste bisher gefundene Kupferscheibe (Stück Nr. B1) vom Fundplatz am Schülver-Riff (Durchmesser 59 cm, Gewicht 21,6 kg). Deutlich ist die zum Ofen gerichtete Einlaufseite des Vorherdes zu erkennen.

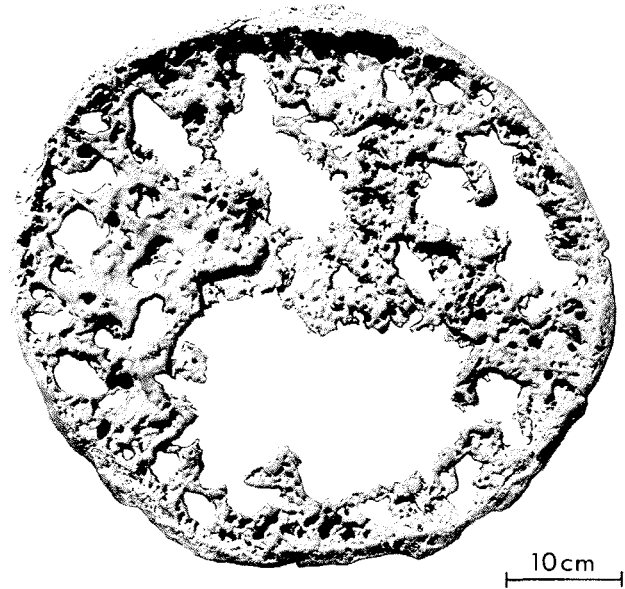


Abb. 13. Große, aber dünne und stark durchbrochene Kupferscheibe aus der Süderpiep (Stück Nr. Büsum 1).

umgebende quartäre Unterland zerstört und dann schnell bis auf den Felssockel abgetragen worden sein. Dabei wäre das leichtere Gesteinsmaterial abtransportiert worden und nur die schweren Kupferscheiben am Ort des Verhüttungsplatzes als Residuum auf dem Felssockel verblieben. Möglicherweise brachte die „Mannsdränke“, die im Jahre 1362 weite Teile der deutschen Nordseeküste zerstörte und in das heutige Watt umwandelte, auch das Ende der Kupferverhüttung auf Helgoland. Diese Vermutung würde gut zu dem  $^{14}\text{C}$ -Alter passen, das besagt, daß das zur Verhüttung verwendete Holz zwischen 1140 und 1340 gewachsen ist. Unsere Funde der Kupferschei-

ben wären dann nichts anderes als der auf Stapel gelegene, noch nicht abtransportierte letzte Guß von den Kupferhütten am alten Helgoländer Südhafen. Bei HÄNSEL u. SCHULZ (1980) wurde über die Form und Größe der Scheiben gezeigt, daß eine Vorherdfüllung zumindest 50 kg Rohkupfer enthielt. Nach den jetzt vorliegenden Scheiben ist dieser Wert eher etwas höher anzusetzen. Wenn die Gesamtmenge des Rohkupfers vom Meeresgrund mit etwa 500 kg abgeschätzt wird, dann entspräche das dem Produkt von nur fünf bis zehn Schmelzvorgängen, das am alten Südhafen gelagert und noch nicht abtransportiert war.

#### KUPFERSCHEIBEN AUS DER SÜDERPIEP

Bereits in früheren Arbeiten (STÜHMER, SCHULZ, WILLKOMM u. HÄNSEL 1978) ist mitgeteilt worden, daß Fischer angeblich auch Kupferscheiben aus der Süderpiep geborgen hätten. Dazu liegen inzwischen genauere Informationen vor. Danach wurden zwischen fünf und zehn Scheiben mit Grundnetzen zufällig geborgen. Alle Funde stammen von einer Stelle nahe der Mündung des Prieles in die offene Nordsee bei einer Wassertiefe von etwa 10–12 m. Zwei dieser Scheiben haben dem Verfasser vorgelegen (Stücke Nr. Büsum 1 und 2 in Tab. 2). Beide stimmen in Form und Größe sowie der chemischen

Zusammensetzung mit den Helgoländer Funden überein, so daß für diese Scheiben die Herkunft gesichert erscheint. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß eine bei Wedel aus der Elbe geborgene Kupferscheibe eine grundsätzlich andere Zusammensetzung aufweist und damit sicher nicht aus Helgoland stammt. Eine der beiden Scheiben aus der Süderpiep ist ein relativ großes, aber dünnes und stark durchbrochenes Exemplar (Abb. 13), wie wir sie auch vom Fundplatz auf dem Süder-Riff kennen.

Es bleibt ungeklärt, ob es sich bei der Fundstelle in der Mündung der Süderpiep um die Reste eines gesunkenen Schiffes handelt oder ob hier der Lagerplatz nach dem Antransport über den Seeweg vorliegt. Auf jeden Fall

stellt dieser Komplex die Funde vor Helgoland in einen weiteren Rahmen und zeigt, daß der Abtransport des Rohkupfers von der Insel ohne weitere Verarbeitung nach Osten zum Festland erfolgte.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Bei Suchaktionen in den Frühjahren 1980 und 1981 wurden weitere umfangreiche Funde von Rohkupferscheiben am Meeresboden südlich von Helgoland geborgen. Aus der Kartierung der Fundgebiete, der Fundsituation und aus Beifunden ergibt sich das Bild von Kupferverhüttungsplätzen des Mittelalters auf einem quartären Unterland, das den alten Südhafen Helgolands umschloß. Die chemische Untersuchung von 59 Kupferproben und einigen Verhüttungsschlacken erweiterte die Kenntnis vom Verhalten der Begleitelemente des Kupfers bei der alten Verhüttung. Die Funde gleicher Kupfer-

scheiben aus der Süderpiep verweisen auf die Richtung des Abtransports des Rohkupfers von der Insel.

Die vorliegende Arbeit befaßte sich ausschließlich mit der Kupferverhüttung auf Helgoland während des Mittelalters oder genauer mit deren Ende. Sehr wahrscheinlich wurde bereits viel früher Kupfer auf der Insel verhüttet. SCHULZ u. HÄNSEL (in Vorbereitung) beschreiben die Analysen von fünf Kupfererzfunden aus der frühen Bronzezeit und machen sehr wahrscheinlich, daß davon vier Stücke ebenfalls dem Helgoländer Kupfererz zuzurechnen sind<sup>6</sup>.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Agricola 1556: Georgius Agricola, De re metallica (Basel 1556). Deutsche Übersetzung von 1953. Deutscher Taschenbuch Verlag (München 1980).
- Ercker 1565: Lazarus Ercker, Vom Rammelsberge und dessen Bergwerk, ein kurzer Bericht von 1565. In: Vereinigung der Freunde von Kunst und Kultur im Bergbau (Hrsg.), Lazarus Ercker: Drei Schriften (Bochum 1968) 215–266.
- Fesser 1971: H. Fesser, Kupfer-Mineralien auf Helgoland. Der Aufschluß 22, H. 7–8, 1971, 221–225.
- Hänsel u. Schulz 1980: B. Hänsel u. H. D. Schulz, Frühe Kupfer-Verhüttung auf Helgoland. Spektrum Wiss. 2, 1980, 10–20.
- Hillmer, Späth u. Weitschat 1979: G. Hillmer, Ch. Späth u. W. Weitschat, Helgoland. Portrait einer Felseninsel. Geol. Inst. Univ. Hamburg (Hamburg 1979).
- Jacoby 1953: G. Jacoby, Helgoland bei Johannes Mejer und Adam vom Bremen. Die Küste 2, 1953, 95–129.
- Lorenzen 1965: W. Lorenzen, Helgoland und das früheste Kupfer des Nordens (Otterndorf 1965).
- Schreiter 1932: R. Schreiter, Kupfererze im Buntsandstein von Helgoland. Zeitschr. Dt. Geol. Ges. 84, 1932, 1–17.
- Schulz u. Hänsel, in Vorbereitung: H. D. Schulz u. B. Hänsel, Zuordnung von Kupfer-Metall zum Ausgangserz. Möglichkeiten und Grenzen der Methode. Prähist. Zeitschr. (in Vorbereitung).
- Stühmer, Schulz, Willkomm u. Hänsel 1978: H. Stühmer, H. D. Schulz, H. Willkomm u. B. Hänsel, Rohkupferfunde vor Helgoland. Offa 35, 1978, 11–35.
- Wurster 1962: P. Wurster, Geologisches Portrait Helgolands. Die Natur 70, H. 7/8, 1962, 135–150.

<sup>6</sup> Diese Kupferfunde stammen aus dem Besitz des Landesmuseums Schleswig.