

# Schlacken und Tiegel aus dem Adlerturm in Dortmund: Zeugen einer mittelalterlichen Messingproduktion

VON THILO REHREN, EGON LIETZ, ANDREAS HAUPTMANN  
UND KARL HEINRICH DEUTMANN

## Zusammenfassung

Bei einer stadttarchäologischen Grabung in Dortmund wurden zwischen den Fundamenten des Adlerturms zahlreiche Tiegelfragmente und glasige Bleisilikatschlacken geborgen. Sie datieren stratigraphisch gesichert vor etwa 1200 n. Chr.

Die chemisch-mineralogische Untersuchung der Tiegel belegt die Produktion von Messing aus bleihaltigem Kupfer und Zinkoxid; dieser Befund ist in ausgezeichneter Übereinstimmung mit einer Beschreibung der Messingherstellung bei Theophilus Presbyter, deren Entstehung auf etwa 1100 geschätzt wird.

Die Zuordnung der Bleisilikatschlacken ist nicht eindeutig; diskutiert werden eine Bleigewinnung bzw. die Raffination bleihaltigen Kupfers. Der archäologische Zusammenhang sowie metallurgische Überlegungen legen das Modell der Kupferraffination nahe, die als Vorstufe der Messingproduktion diente. Das gemeinsame Auftreten von Tiegelscherben und Schlacken läßt sich so gut erklären.

## 1. Archäologischer Befund

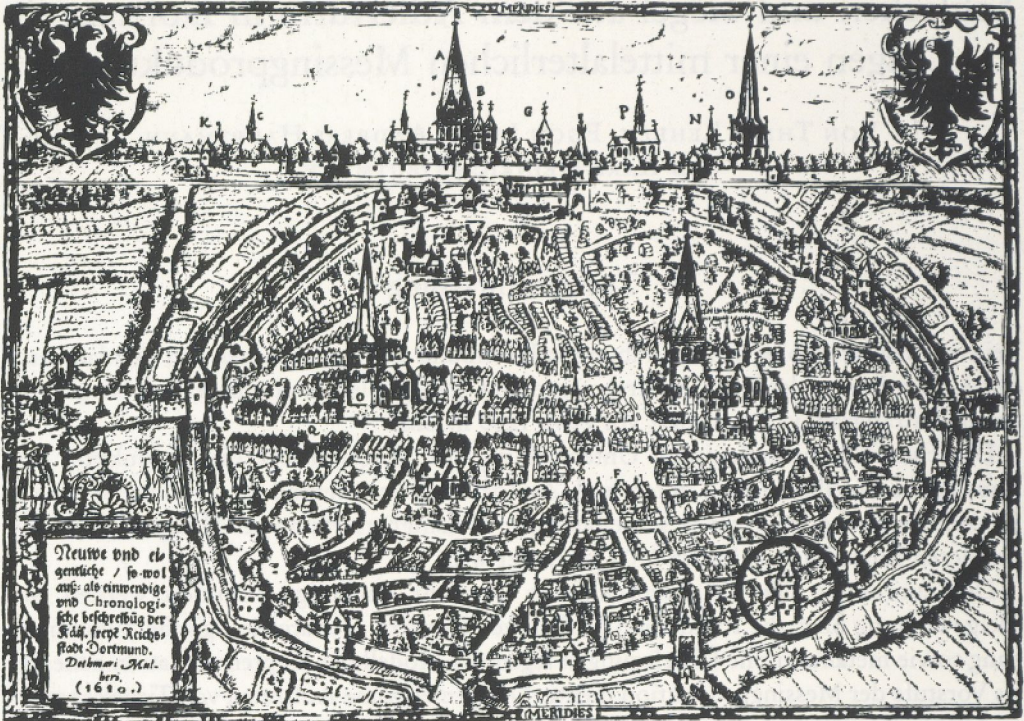
Der Adlerturm war als mächtiger steinerner Wachturm Teil der östlichen mittelalterlichen Stadtbefestigung Dortmunds (Abb. 1). Seine Fundamente wurden in mehreren Kampagnen vom Museum für Kunst und Kulturgeschichte der Stadt Dortmund ausgegraben<sup>1</sup>. Sie sind heute noch teilweise sichtbar (Abb. 2) und von einem modernen, historischen Vorlagen nachempfundenen Turmnachbau überdeckt.

Der Zeitpunkt der Errichtung des Adlerturms läßt sich nach Aussage der aus dem Turminnenen geborgenen Bodenfunde an das Ende des 13. bzw. an den Beginn des 14. Jahrhunderts stellen. Damals wurde der dreiviertelrunde, in mittelalterlicher Zweischaalenmauertechnik errichtete Turm an die schon bestehende Stadtmauer angesetzt.

Der größte Durchmesser des Turmes beträgt 12,80 m, seine Fundamente sind größtenteils bis in eine Tiefe von ca. 6 m erhalten. Unter einer Schicht im Innenraum, die außer Gegenständen des Alltagslebens und Münzen hauptsächlich ein breites Spektrum mittelalterlicher Keramik führte, wurden mehrere Füllschichten aus der Bauzeit des Turmes beobachtet (Abb. 3). Diese überdeckten eine von Holzasche dunkelgrau bis schwarz gefärbte, stark tonhaltige Schicht (Abb. 4), aus der mehrere 100 kg schwarze und rote Schlackenstücke und keramische Tiegelfragmente geborgen werden konnten. Diese Schicht muß durch Abkippen über eine stadtauswärts gerichtete Böschung eines Bachlaufes

<sup>1</sup> Die Grabungen erfolgten als Arbeitsbeschaffungsmaßnahme des Museums für Kunst und Kulturgeschichte Dortmund, die 1986/87 von N. Zieling und 1989/90 von H. Brink-Kloke geleitet wurden.

*Dortmund vor 350 Jahren (1610)*



Neuße und ab-  
gemäße / so wol  
auf: als anwendige  
und Chronologi-  
sche beschreibüß der  
Kdt. freyß Reichs  
Stadt Dortmund.  
Detmar Mül-  
her.  
(1610.)

- |                      |                      |                       |                      |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| A. S. Reinoldi       | C. Der Frenßjanner   | Q. Das Gakhaus.       | X. Oßen Pfortz       |
| B. ungr. l. Freuere  | N. S. Catharinen     | F. Das Raitbaus.      | L. Kockelike Pfortz. |
| G. S. Nicolai        | P. Der Dominicaner   | T. Das Rachtbaus      | M. Borch Pfortz.     |
| O. S. Peters         | D. S. Margeriten.    | H. W. fterasse Pfortz | S. W. fter Pfortz.   |
| R. S. Martine Krieb. | E. Der Heilig Geiße. | I. Neuße Pfortz.      |                      |

Abb. 1 Dortmund im Jahre 1610. Perspektivplan von Detmar Mülher. Unten rechts der Adlerturm (im Kreis).

entstanden sein, zu einem Zeitpunkt, an dem die ausweislich der historischen Quellen gegen 1200 erbaute Stadtmauer noch nicht existierte. Die Stratigraphie belegt, daß diese in die schwarze Schüttschicht, die also vor 1200 entstanden sein muß, hineingesetzt wurde. Die nur vereinzelt in der Schicht auftretende graue Irdenware bestätigt diese Einschätzung. Nur im Turminnenraum blieb die schwarze Schicht ungestört, geschützt durch die sie umgebende Turmmauer und die darüberliegenden Füllschichten. Doch auch im weiteren Verlauf der Stadtmauer entlang der genannten, später vom Stadtgraben überformten Böschung läßt sich die Fundschicht noch verfolgen, so daß insgesamt sicher mehr als 1 Tonne Schlacken nachzuweisen sind.

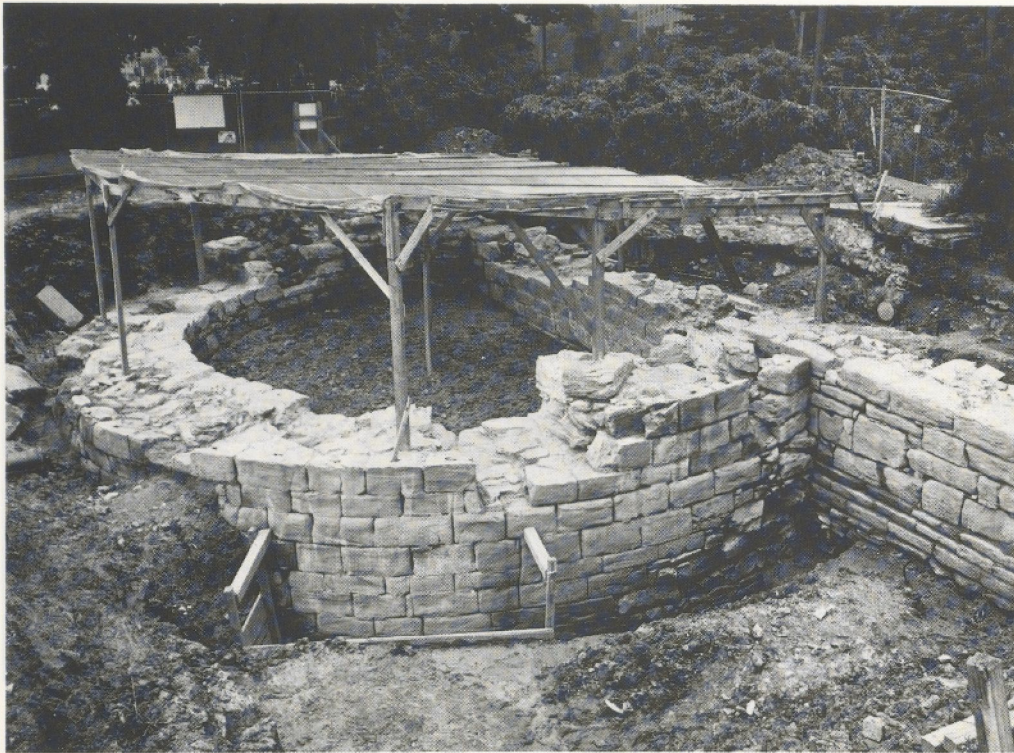


Abb. 2 Dortmund, Adlerturm. Blick von Südosten gegen Turm und Stadtmauer, an der die Schlacken und Tiegelfragmente gefunden wurden.

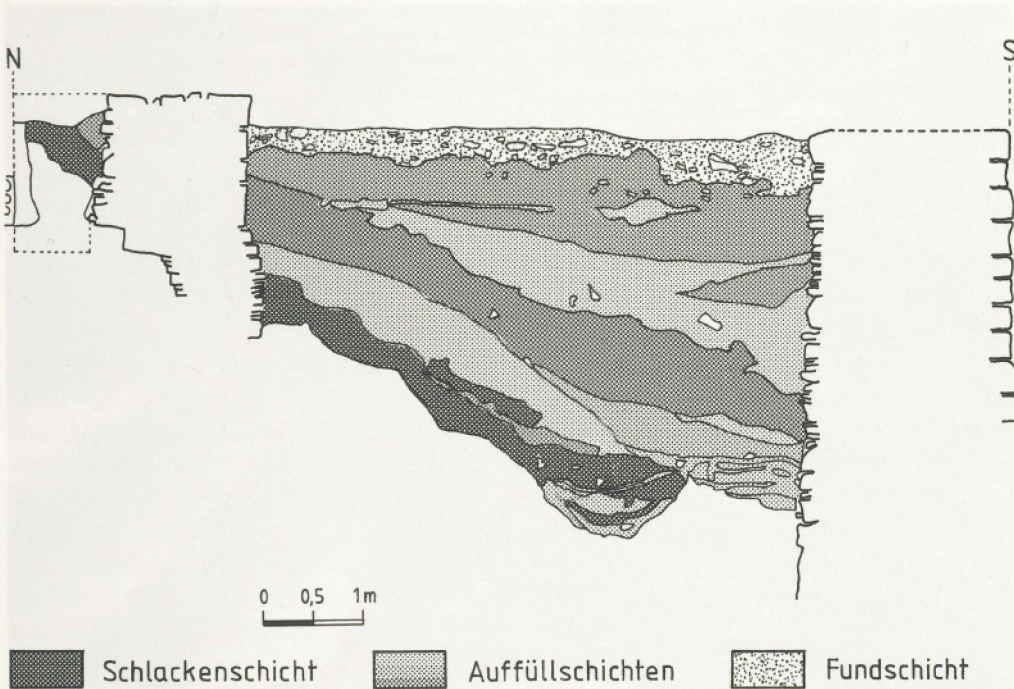


Abb. 3 Dortmund, Adlerturm. Zeichnung des Grabungsprofils. Dunkel eingetragen ist die Fundsicht der archäometallurgischen Reste (Schlacken und Tiegel).



Abb. 4 Dortmund, Adlerturm. Fragmente der Messingziegel.

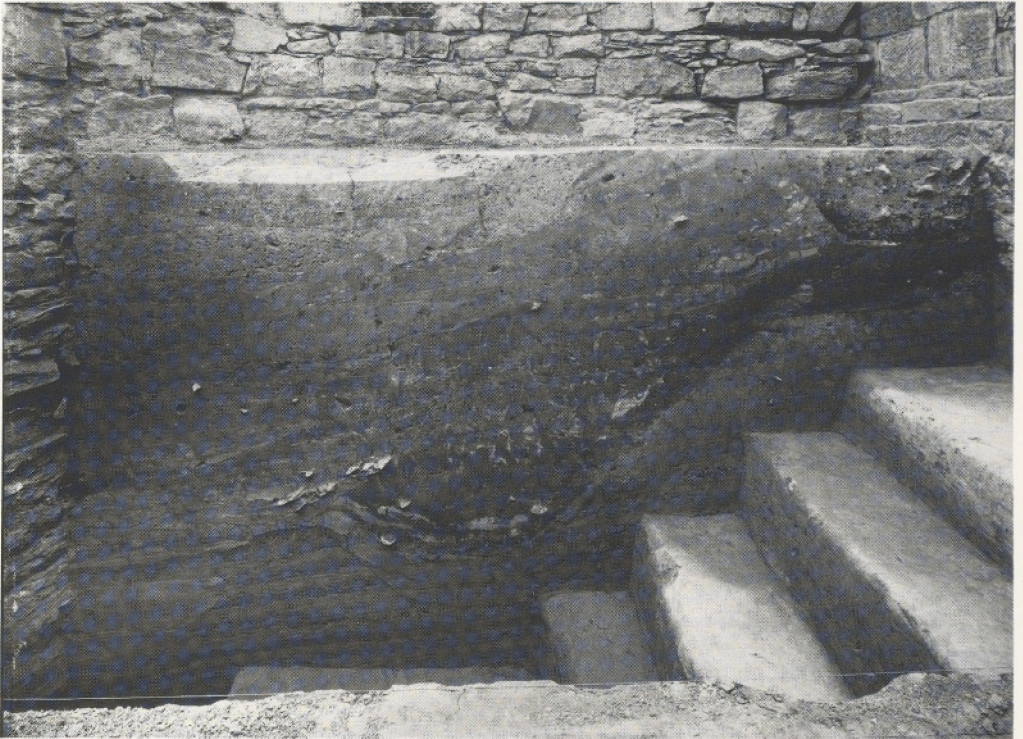


Abb. 5 Dortmund, Adlerturm. Grabungsprofil mit der dunkel gefärbten Fundschicht.

Abb.6 Dortmund, Adlerturm. Rekonstruktionszeichnung der Tiegel.

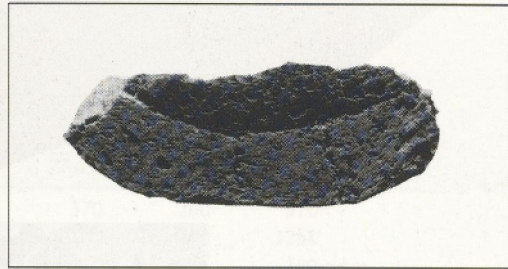
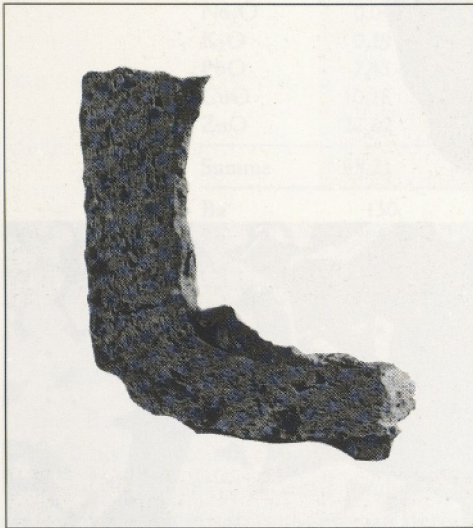
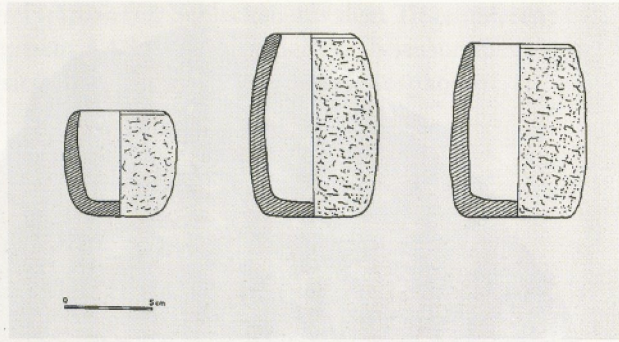


Abb. 7a und b Dortmund, Adlerturm. Tiegelfragmente mit anhaftenden Schlackenresten; (untere Bildkante 4 bzw. 5 cm).

## 2. Beschreibung der archäometallurgischen Funde

Die Tiegelfragmente bestehen aus einer groben, hochgebrannten Keramik, die durch einen charakteristischen lila Farbton gekennzeichnet ist (Abb. 5). Sie fügen sich zu Tiegeln mit einem Durchmesser von maximal 5 cm zusammen (Abb. 6). Die konkaven inneren Wänden sind oft bimsartig aufgebläht und wesentlich stärker verglast als die äußeren konvexen Seiten. Viele der Tiegelscherben sind an ihrer Außenseite von einem dünnen Schlackenfilm überzogen. Von besonderem Interesse sind die an vielen Stücken erhaltenen, bis zu 1 cm starken Schlacken an der Innenseite der Tiegel (Abb. 7a und b) sowie die zahlreichen Metalltröpfchen, die die Schlacken und die keramische Masse der Tiegel durchsetzen.

Die Schlackenstücke, die neben den Tiegelfragmenten aus der Fundschicht geborgen wurden, sind meist rot oder schwarz gefärbt, teils schlierig gestreift. Sie sind glasig und nahezu blasenfrei. Viele Stücke zeigen eine typische Fließoberfläche mit seilartigem Gefüge

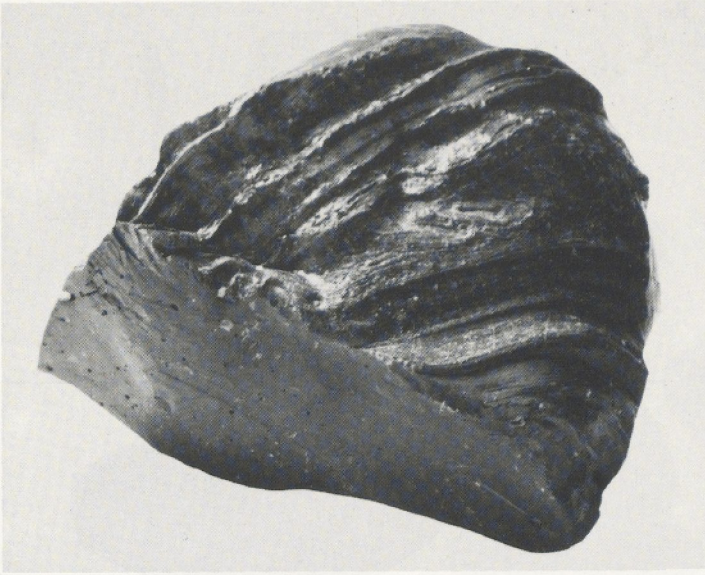


Abb. 8 Dortmund, Adlerturm. Bleisilikatschlacke mit deutlich erkennbarer Fließstruktur; (untere Bildkante 5 cm).

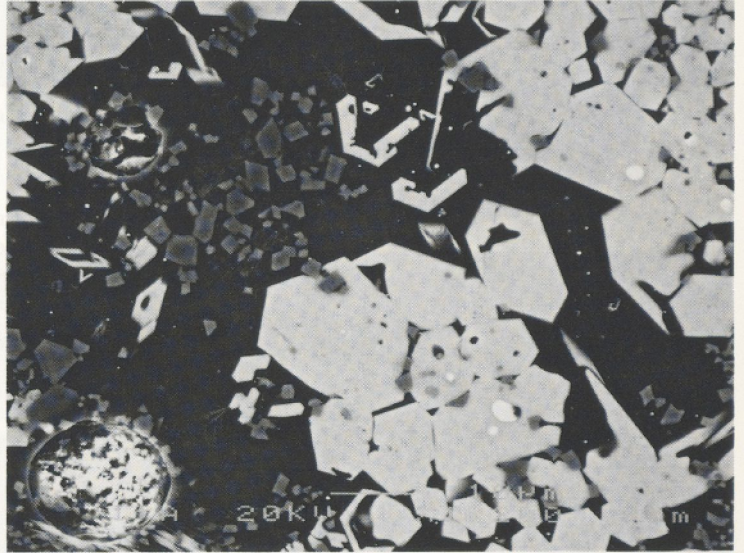


Abb. 9 Dortmund, Adlerturm. Willemit (groß, hellgrau) und Gahnit (dunkelgrau) in Tiegelschlacke REM-Aufnahme; (untere Bildkante 50  $\mu\text{m}$ ).

(Abb. 8), doch überwiegen glattkantig gebrochene Stücke mit wenigen cm Durchmesser. Eine Rekonstruktion der ursprünglichen Gesamtform unzerbrochener Schlacken ist bislang nicht möglich; jedoch sind schon viele der vorliegenden Bruchstücke zu groß, um sie aus den Tiegeln herleiten zu können.

### 2.1 Chemie und Mineralogie der Tiegelschlacken

Aus mehreren Tiegelfragmenten wurden die anhaftenden Schlackenreste herauspräpariert und naßchemisch untersucht. Zudem wurden von weiteren Proben polierte Dünnschliffe für die optische und elektronenmikroskopische Untersuchung hergestellt.

*Tabelle 1:* Gesamtanalysen freipräparierter Schlacken aus dem Tiegelinneren; Analysen gravimetrisch, AAS, ICP. Niedrige Analysensummen durch nicht analysierte Gehalte an Kohlenstoff, Phosphor etc.

	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	13,6	36,9	22,2	40,9	24,9
TiO <sub>2</sub>	0,22	0,66	0,42	0,50	0,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,74	21,13	8,63	8,85	7,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,10	11,28	0,86	1,74	0,57
MnO	0,52	0,31	0,77	1,57	0,52
MgO	0,48	0,68	0,91	0,86	0,75
CaO	1,09	3,93	3,52	3,72	4,12
Na <sub>2</sub> O	0,04	n.b.	0,08	0,28	0,18
K <sub>2</sub> O	0,19	n.b.	0,62	0,85	1,22
PbO	7,43	0,73	3,05	4,42	4,56
CuO	10,18	0,48	4,45	1,88	5,85
ZnO	22,62	10,66	32,12	14,01	30,78
Summe	88,21	86,76	77,63	79,58	81,12 %
Ba	130	n.b.	370	260	370
Sb	2020	n.b.	2860	900	3250
As	275	n.b.	230	325	120 ppm

Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Se und Sn unter 100 ppm.

Die Pauschalanalysen der Schlacken sind durch ZnO- und SiO<sub>2</sub>-Gehalte zwischen 10 und 30 bis 40 Prozent charakterisiert; FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und CuO erreichen in den Proben 1 und 2 ebenfalls über 10 Prozent (Tab.1). Die starke Streuung der Analysenwerte ist auf unterschiedlich zusammengesetzte Bereiche mit wechselnden Anteilen an Schlackenphasen und unreaktierten Chargenbestandteilen zurückzuführen, wie sie in den Dünnschliffen zu erkennen sind. So ist der hohe Gehalt an Kupfer und Blei in Analyse 1 vermutlich auf größere Metalleinschlüsse zurückzuführen (s. u.). Die niedrigen Analysensummen gehen u. a. auf nicht analysierte Gehalte an Kohlenstoff, Phosphor etc. zurück, die sich mikroskopisch nachweisen lassen.

Im Dünnschliff zeigen sich die Schlacken scharf abgesetzt von der eigentlichen Tiegelkeramik, die sie als Film überziehen. Nur vereinzelt gibt es schlierige Übergänge zu verglaster Keramik. In der glasigen Schlackenmatrix treten als kristalline Phasen<sup>2</sup> idiomorph Zinksilikat (Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, »Willemit«) und Zinkspinell (ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, »Gahnit«) (Abb. 9) sowie rundlich geformtes Zinkoxid (ZnO, »Zinkit«) auf, alle mit wechselnden Eisengehalten anstelle von Zink. Tabelle 2 zeigt halbquantitative, auf 100 Prozent normierte EDX-Analysen von Willemit und Gahnit aus den Tiegelschlacken sowie, zum Vergleich, einen Gahnit aus Brasilien. Neben eisenhaltigem Zinkit ist auch fast reiner Wüstit (FeO) vertreten. Oft umschließen größere Willemitkristalle Zinkitkörner; auch Gahnitkristalle werden von Willemit umschlossen, so daß Willemit sicher die jüngste Bildung ist.

Sowohl die Tiegelkeramik als auch die anhaftende Schlacke sind von unregelmäßig verteilten Metalltröpfchen durchsetzt. Es sind entweder Kupfer- oder Messingpartikel mit wechselnden Gehalten an Zink. Größere Tropfen sind meist zweiphasig, sie bestehen in

2 Phasenbestimmung lichtoptisch und nach EDX-Analysen, Formeln eisenfrei idealisiert; Bezeichnung in Anlehnung an entsprechend zusammengesetzte Minerale.

Tabelle 2: Halbquantitative EDX-Analyse von Willemmit und Gahnit aus den Tiegelschlacken sowie ein Gahnit aus Brasilien mit Meß- und Sollwert (nach Jarosewich et al. 1980) (Gew. %)

	Willemmit (n = 3)	Gahnit (n = 4)	Gahnit (Brasilien) (Soll)
SiO <sub>2</sub>	24,4 ± 0,3	0,0	0,0 ( 0,0)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	47,5 ± 0,4	52,3 (55,3)
FeO	1,1 ± 0,3	3,6 ± 0,5	1,6 ( 1,9)
CaO	0,0	0,1 ± 0,1	0,1 ( 0,0)
ZnO	74,5 ± 0,2	48,8 ± 0,8	46,1 (42,5)

der Regel aus Messing und Blei. Als Ausnahmen wurden vereinzelt metallisches Eisen und Silber identifiziert.

In offensichtlich nicht durchreagierten Bereichen der Schlacken wurden vielfach Holzkohle und Quarzkörner, aber auch Splitter von Bleisilikatglas gefunden.

## 2.2 Chemie und Mineralogie der schwarz-roten Schlacken

Zur chemischen Charakterisierung der Schlacken, die im archäologischen Befund neben den Tiegelscherben lagen, wurden mehrere rote und schwarze Stücke getrennt aufgemahlen und naßchemisch analysiert. Zusätzlich wurden mehrere Anschliffe für die mikroskopische Untersuchung hergestellt.

Tabelle 3a: Gesamtanalysen der roten Bleisilikatschlacken;  
Analysemethoden: gravimetrisch, AAS, ICP

	1	2	3	4	5	Mittel
SiO <sub>2</sub>	34,4	33,6	35,9	30,4	31,1	33,08
TiO <sub>2</sub>	0,31	0,30	0,28	0,28	0,27	0,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,40	3,77	3,93	3,35	3,63	3,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,65	3,43	3,29	2,74	2,80	2,98
MnO	0,15	0,14	0,21	0,13	0,19	0,16
MgO	0,52	0,56	0,61	0,52	0,58	0,56
CaO	2,41	2,51	2,71	2,21	2,67	2,50
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,39	0,36	0,34	0,34	0,35
K <sub>2</sub> O	1,85	2,07	2,12	1,82	2,15	2,00
PbO	46,22	45,45	44,88	55,90	50,16	48,52
CuO	2,04	1,96	1,58	2,39	1,61	1,92
ZnO	1,02	2,21	2,40	0,75	1,48	1,57
Summe	96,31	96,39	98,27	100,83	96,98	97,76 %
Ba	375	385	1000	372	852	
Sb	650	735	800	665	810	
As	435	445	516	445	550 ppm	

Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Se und Sn unter 100 ppm.



Tabelle 3b: Gesamtanalysen der schwarzen Bleisilikatschlacken;  
 Analysenmethoden: gravimetrisch, AAS, ICP

	1	2	3	4	Mittel
SiO <sub>2</sub>	36,7	36,4	30,3	26,1	32,38
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,32	0,28	0,25	0,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,27	4,25	3,57	3,37	3,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,51	6,23	3,55	8,37	6,17
MnO	0,26	0,26	0,22	0,23	0,24
MgO	0,77	0,75	0,61	0,56	0,67
CaO	4,45	4,31	4,50	3,19	4,11
Na <sub>2</sub> O	0,42	0,40	0,32	0,28	0,36
K <sub>2</sub> O	2,84	2,76	2,16	1,86	2,41
PbO	33,52	36,35	49,29	45,85	41,25
CuO	1,49	1,85	1,89	1,61	1,71
ZnO	4,22	4,28	3,50	7,10	4,78
Summe	95,77	98,16	100,19	98,77	98,22 %
Ba	300	315	330	315	
Sb	776	800	800	1115	
As	600	570	500	410 ppm	

Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Se und Sn unter 100 ppm.

Es handelt sich bei allen Proben einheitlich um Bleisilikatgläser mit Gehalten an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, K<sub>2</sub>O, Cu<sub>2</sub>O und ZnO im unteren Prozentbereich (Tab. 3a und 3b). Von den Spurenelementen sind Barium, Antimon und Arsen mit mehr als 100 ppm vertreten. In drei weiteren Proben wurde Silber gesondert zu jeweils unter 5 ppm bestimmt.

Die Gegenüberstellung der Analysenwerte von roten und schwarzen Schlacken zeigt bei aller Ähnlichkeit der beiden Typen auch deutliche Unterschiede. Die schwarzen Schlacken enthalten etwa doppelt so viel Eisen, Calcium und Zink wie die roten Proben und haben entsprechend weniger Blei. Der Gehalt an Silizium, Aluminium und Kupfer ist für beide Schlackentypen etwa gleich. Die Trennung ist jedoch nicht scharf durchzuhalten, wie die Analyse 3 der schwarzen Schlacken zeigt, die eine Übergangsform darstellt. Außerdem treten immer wieder Stücke mit schwarz-roten Schlieren auf, die ebenfalls die enge Zusammengehörigkeit beider Typen belegen.

Mikroskopisch sind die Schlacken durchgehend glasig und dicht erstarrt. Die schon makroskopisch erkennbaren Schlieren sind im optischen Mikroskop wie im REM deutlich zu sehen. Sie gehen auf ungleichmäßig verteilte Gehalte an PbO, FeO, CaO und ZnO zurück und belegen eine relativ hohe Viskosität der Schmelze.

Die Schlacken sind durchstäubt von feinsten Kupfertröpfchen, deren Durchmesser unter etwa 10 μm liegt. Die wenigen größeren Metalleinschlüsse sind zweiphasige Kupfer-Blei-Legierungen, oft an Gasblasen gebunden (Abb. 10), die offenbar das Absetzen der Legierung aus der Schlacke verhindert haben. Der Anteil an metallischem Blei am Gesamtbleigehalt der Analysen läßt sich auf Grund des Schliffbildes auf unter 5 Prozent schätzen. Vereinzelt sind in den Schlacken randlich aufgeschmolzene Quarzkörner erhalten; weitere Kristallphasen konnten nicht nachgewiesen werden.

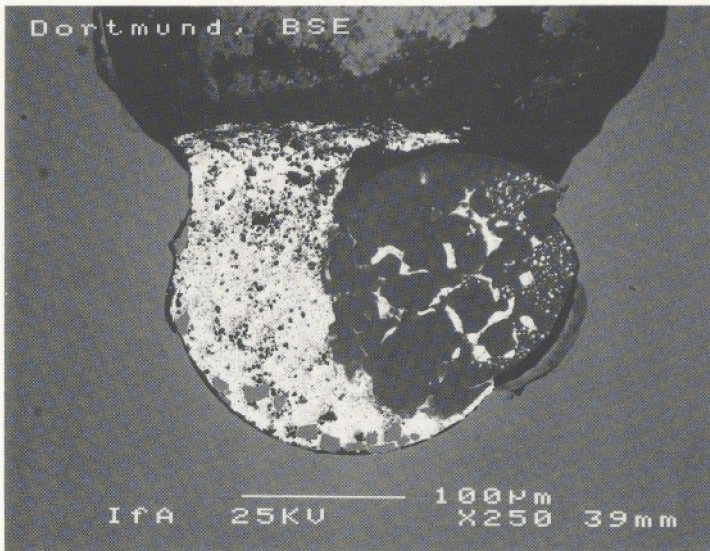


Abb. 10 Dortmund, Adler-turm. Zweiphasiger Blei-Kupfer-Einschluß in Bleisilikatschlacke mit anhaftender Luftblase. REM-Aufnahme, Rückstreuelektronenbild.

### 3. Interpretation

#### 3.1 Die Tiegel: Zeugen einer Messingproduktion

Die Untersuchung der Tiegelscherben zeigt, daß in den Tiegeln unter stark reduzierenden Bedingungen gearbeitet wurde; dafür spricht neben der Farbe des Scherbens auch das Auftreten von metallischem Eisen.

Die Zuordnung der Funde zur Messingmetallurgie ergibt sich klar aus den Pauschalanalysen der Schlackenreste in den Tiegeln, der Mineralogie dieser Schlacken sowie aus der Zusammensetzung der Metalleinschlüsse in den Tiegelscherben und den anhängenden Schlackenresten. Stets herrschen Zink und Kupfer vor; Blei, das silikatisch gebunden in der Tiegelschlacke ebenso wie als zweiphasige Kupfer-Blei-Legierung vorkommt, kann von der Menge her nur Begleitelement oder Verunreinigung sein.

Anhand des Phasenbestandes und der Zusammensetzung der Kupfer-Messing-Einschlüsse in den Tiegelschlacken läßt sich belegen, daß hier Messing aus Kupfer und Zinkoxid produziert und nicht fertiges Messing umgeschmolzen wurde. Die Zusammensetzung der Kupfereinschlüsse reicht von fast reinem Kupfer bis zu Messing mit über 20 Prozent Zink; zugleich ist in nicht vollständig durchreagierten Bereichen der Charge neben Holzkohle verbreitet Zinkoxid erhalten, wie es sich gelegentlich auch in kleinen Klumpen im Fundmaterial findet, wo es als »Hüttenrauch«, kondensiertes  $ZnO$ , angesprochen wird.

Offenbar wurde also in diesen Tiegeln metallisches Kupfer mit Holzkohle und Zinkoxid versetzt und dann unter stark reduzierenden Bedingungen zu Messing umgesetzt, wie dies von Theophilus Presbyter in seiner Schrift »Diversarum Artium Schedula« detailliert beschrieben wird (Theobald 1933, Buch III, Kap. 6.5). Danach wird in kleinen Tiegeln eine Wechselfolge von Zinkoxid oder Galmei, fein verrieben mit Holzkohle, und Kupferstückchen aufgeschichtet und mit Holzkohle bedeckt (Abb. 11). Mehrere dieser Tiegel werden dann in einem größeren, von oben zugänglichen Ofen geheizt, um nach dem Zementationsprozeß Messing zu bilden.

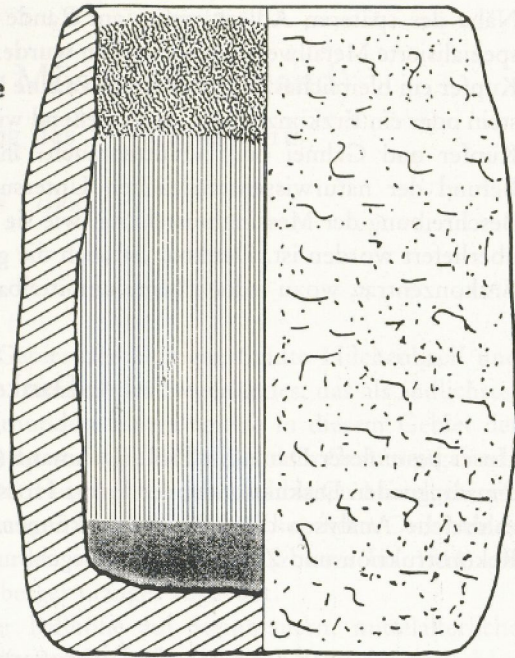
Hier haben wir erstmals für diese Zeit eine Übereinstimmung bis ins Detail von Feld- und Laborbefund einerseits und technikgeschichtlicher Quellenlage andererseits, was ganz wesentlich für die Einschätzung der Zuverlässigkeit der Texte des Theophilus Presbyter ist.

Abb. 11 Messingherstellung nach Theophilus Presbyter, skizziert in einen rekonstruierten Dortmunder Tiegel: 1 Teil Galmei, mit Holzkohlepulver vermischt, darüber 6 Teile Kupferstücke und alles mit Holzkohle im offenen Tiegel bedeckt.

Holzkohle

Kupfer

Galmei



### 3.2 Die bleireichen Gläser: Schlacken der Kupfer- oder der Blei-Metallurgie?

Der hohe Bleigehalt der schwarzroten Schlacken legt es zunächst nahe, diese Schlacken einer Bleigewinnung zuzuschreiben. Bleisilikatschlacken mit vergleichbar hohen Bleigehalten, wie sie am Adlerturm vorliegen, werden regelmäßig an Bleiverhüttungsplätzen unterschiedlicher Zeitstellung beobachtet (Atkinson, Taylor 1924; Craddock et al. 1985; Hauptmann et al. 1988; Dierkes 1990; Heimbruch 1990; Goldenberg 1990). Im Gegensatz zu dem hier beschriebenen Material machen sie dort jedoch niemals den Hauptteil der produzierten Schlackenmenge aus, sondern sind nur in kleinen Mengen und ausnahmsweise beobachtet worden. Neben lagerstättenspezifischen Unterschieden etwa im Gehalt an Barium und Fluor sind dabei trotz makroskopisch ähnlicher Ausbildung stets auch die Eisen-und/oder Calcium-Gehalte deutlich höher als hier; zudem sind die hohen Bleigehalte vielfach auf Einschlüsse von metallischem Blei zurückzuführen.

In dem Dortmunder Material dominieren dagegen feinverteilte Kupfertropfen als Metalleinschlüsse; nur in den wenigen größeren Einschlüssen kommt Blei mit Kupfer als zweiphasige Legierung vor. Dies kann als Indiz für die Zugehörigkeit der Schlacken zur Kupfermetallurgie gewertet werden. Von besonderem Interesse für den vorliegenden Befund ist der Vergleich mit dem Hobokener Verfahren, das in den Niederlanden zur Trennung von Blei und Kupfer durchgeführt worden ist (Tafel 1951). Dabei wurde ein blei- und kupferhaltiger Stein nach vorangehender Röstung unter Zuschlag von Sand oder anderem  $\text{SiO}_2$ -reichen Material geschmolzen, wobei das Blei verschlackt und bleiarmses Rohkupfer produziert wurde. Die Zusammensetzung der dabei bewusst produzierten Bleisilikatschlacke ist mit der des Adlerturms vergleichbar. Auch Th. Presbyter erwähnt die Notwendigkeit der Entbleiung von bleireichem Kupfer, wenn man hochwertiges Messing herstellen möchte; seine Beschreibung dazu ist jedoch nicht so präzise wie die der Messingherstellung selbst.

Die Synthese der vorgestellten Interpretationen führt zu der Annahme, daß – in der

Nähe des späteren Adlerturms – am Rande der Siedlung Dortmund eine auf Messing spezialisierte Metallwerkstatt betrieben wurde. Dort verwendete man zur Herstellung von Kupfer ein bleireiches Vorprodukt, etwa eine Kupfer-Blei-Legierung, bleihaltigen Kupferstein oder ein Erzkonzentrat. Anschließend wurde aus dem nur noch schwach bleihaltigen Kupfer und Galmei oder »Hüttenrauch« in kleinen Tiegeln Messing hergestellt. Der Befund der naturwissenschaftlichen Untersuchung deckt sich dabei sehr gut mit der Beschreibung der Messingherstellung, wie sie etwa gleichzeitig von Theophilus Presbyter überliefert worden ist. Denkbar ist auch die gleichzeitige Produktion von Blei aus einem Erzkonzentrat, wozu jedoch keine unmittelbaren Parallelen bekannt sind.

#### 4. Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Prof. Bachmann (Hanau) und Prof. Brockner (Clausthal) für die anregenden Diskussionen, der Firma Hoesch Stahl AG (Dortmund) für die Erlaubnis, zahlreiche Analysen durchführen zu können, sowie Herrn N. Zielsing (Xanten) für die Rekonstruktion und Zeichnung der Tiegel.

#### 5. Literaturverzeichnis

- ATKINSON, TAYLOR 1924 = D. ATKINSON, M. U. TAYLOR, Flint excavation report. Roman lead furnaces from Pentre, Flint. Flints, HS 10,1. Zit. nach TYLECOTE 1985.
- CRADDOCK et al. 1985 = P. T. CRADDOCK, I. C. FREESTONE, N. GALE, N. D. MEEKS, B. ROTHENBERG, M. S. TITE, The investigation of a small heap of silver smelting debris from Rio Tinto, Huelva, Spain. In: Furnaces and Smelting Technology in Antiquity. Eds. P. T. CRADDOCK, M. J. HUGHES, British Museum Occasional Paper 48 (London) 199–218.
- DEUTMANN 1990 = K.-H. DEUTMANN, Geschichte und Ergebnisse der mittelalterlichen Stadtgrabung Dortmunds. In: Vergessene Zeiten – Mittelalter im Ruhrgebiet. Hrsg. F. SEIBT et al. Ausstellungskatalog Ruhrlandmuseum Essen.
- DIERKES 1990 = L. DIERKES, Geologische und mineralogische Untersuchungen an Bleischlacken der Sierra de Gador, Provinz Almeria, Spanien. Unveröff. Diplomarbeit Universität Mainz.
- GOLDENBERG 1990 = G. GOLDENBERG, Die Schlacken und ihre Analysen. Freiburger Universitätsblätter 109, 147–172.
- HAUPTMANN et al. 1988 = A. HAUPTMANN, E. PERNICKA, G. A. WAGNER, Untersuchungen zur Prozeßtechnik und zum Alter der frühen Blei-Silbergewinnung auf Thasos. In: Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos. Hrsg. G. A. WAGNER, G. WEISGERBER, Der Anschnitt, Beiheft 6 (Bochum) 88–112.
- HEIMBRUCH et al. 1989 = G. HEIMBRUCH, St. KOERFER, W. BROCKNER, Archäometrische Untersuchungen an Erz-, Schlacken-, Metall- und Bleiglätte-funden der Grabung 1987. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9, 103–110.
- JAROSEWICH et al. 1980 = E. JAROSEWICH, J. A. NELEN, J. A. NORBERG, Reference Samples for Electron Microprobe Analysis. Geostand. Newsletter 4, 43–47.
- TAFEL 1951 = V. TAFEL, Lehrbuch der Metallhüttenkunde. Bd. 1 (Leipzig).
- THEOBALD 1933 = W. THEOBALD (Hrsg.), Technik des Kunsthandwerks im Zehnten Jahrhundert. Des Theophilus Presbyter Diversarum Artium Schedula (Berlin).
- TYLECOTE 1985 = R. F. TYLECOTE, The Early History of Metallurgy in Europe (London, New York).