

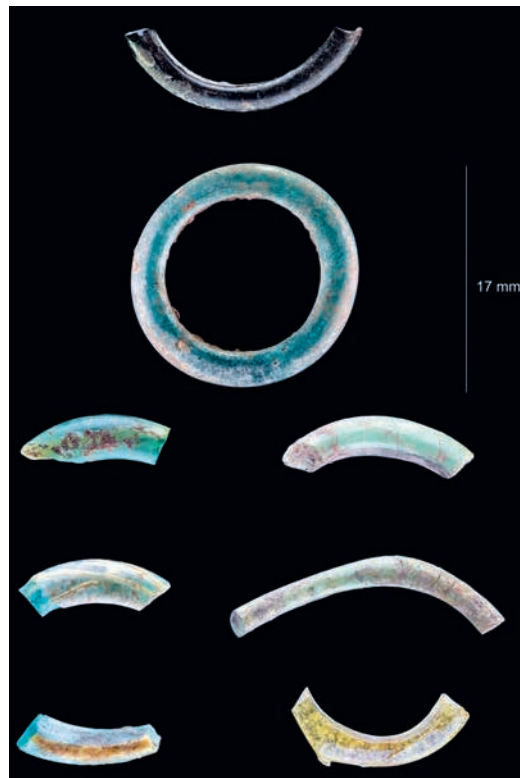
DAS ABSATZGEBIET DER MITTEL- ALTERLICHEN GLASWERKSTATT AUS ERFURT, TROMMSDORFFSTRASSE

Eine naturwissenschaftliche Annäherung

Oliver Mecking

In Erfurt, Trommsdorffstraße, wurde im Jahr 2000 eine Glaswerkstatt ausgegraben.¹ Die Fläche wird im Südwesten von der Trommsdorffstraße, südöstlich von der Löwengasse und nördlich von der Meyfartstraße begrenzt. Ab dem 12. Jahrhundert lassen sich die ersten Siedlungsaktivitäten fassen, die wahrscheinlich mit dem Stadtmauerbau in Verbindung stehen. Im zentralen Bereich der Grabung zwischen der Löwengasse und der Meyfartstraße fand sich ein Nordnordwest-Südsüdost ausgerichteten Grubenhaus mit einer Größe von ca. 3,5 x 4,8 m. Auf dem erhaltenen Stampflehmfußboden bzw. in der Nähe des Hauses wurden zahlreiche Glasringe (Abb. 1), Glasperlenfragmente, Produktionsreste und Tiegelfragmente (Abb. 2) gefunden. Innerhalb des Hauses konnten die Reste einer ca. 0,25 m² großen Feuerstelle nachgewiesen werden. In der Nachbarschaft des Gebäudes konnten mindestens zwei einfache Lehmkuppelöfen belegt werden. Spätestens um 1300 veränderte sich die Nutzung der Fläche und die Glasproduktion kam zum Erliegen. Es wurden dann auf der Fläche unterschiedliche Steinkeller, Vorratsgruben, Latrinen, Abfallgruben und Brunnen angelegt.

Bei der Grabung fehlen die klassischen Glasöfen, sondern es wurden nur einfache Öfen gefunden. In diesen konnte weder das Soda-Asche-Glas noch das Holzascheglas verarbeitet werden. Für die Verarbeitung der beiden Glastypeen sind Temperaturen von ca. 1100 bis 1200 °C nötig. Diese Temperaturen können in den einfachen Öfen bzw. offenen Feuern, die gefunden wurden, nicht erreicht werden. Deswegen muss hier ein anderer Glastyp genutzt worden sein. Erste Untersuchungen zeigten, dass hier Bleigläser verwendet wurden, die einen niedrigeren Schmelzpunkt haben. Durch



1 Auswahl der Bleiglasringe aus Erfurt, Trommsdorffstraße (Inv. Nr. 1350/01).

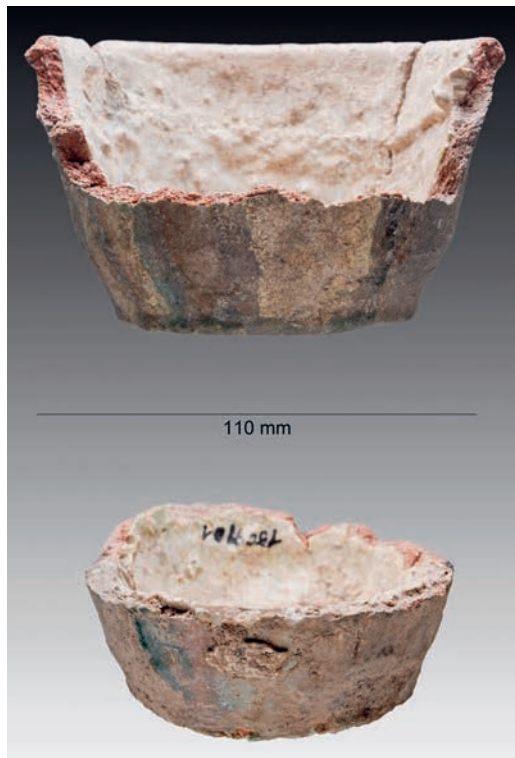
Anhaftungen von Blei am Tiegel konnte gezeigt werden, dass das Glas in der Glaswerkstatt produziert wurde und dann weiter verarbeitet wurde.²

BLEIGLAS IM MITTELALTER

Wohl im 10. Jahrhundert beschreibt Heraclius in seinem Buch „Von den Farben und Künsten der Römer“ die Herstellung von Bleigläsern: „Wie Glas mittelst Blei verfertigt wird und wie man ihm Farbe verleiht. Nimm bestes und glänzendes Blei, gib es in einen neuen Topf und

1 Zu den Details der Grabung Wulf 2003.

2 Mecking 2020.



2 Tiegelfragmente aus Erfurt, Trommsdorffstraße (Inv. Nr. 1509/01).

brenne es im Feuer zu Pulver. Setze es darauf hinweg zum Abkühlen. Dann nimm den Sand, mische es mit diesem Pulver, doch so, dass zwei Theile Blei, der dritte Sand seien und bringe das Ganze in ein irdenes Geschirr. Verfahre aber wie oben für die Glasbereitung vorgeschrieben ist und stelle das irdene Gefäß in den Ofen, worauf du beständig umrührest, bis das Glas fertig ist. Willst du es aber machen, dass es grün erscheine, so nimm Messingfeile und gib davon nach Gutdünken in das Bleiglas.³ Hier wird die Herstellung des Glases in zwei Schritten beschrieben. Zuerst wird das Blei „verbrannt“. Dazu wird das Blei unter Luftzutritt erhitzt. Bei diesem Schritt nimmt das Blei Sauerstoff aus der Luft auf und wird zu Bleioxid oxidiert. Im zweiten Schritt wird dieses dann mit Sand und Messing vermischt und zusammengeschmolzen. Als Mischungsverhältnisse sind zwei Teile Blei und ein Teil Sand angegeben. Wenn man davon ausgeht, dass hier Gewichtsanteile gemeint sind und das Blei oxidiert wird, ergibt sich eine Zusammensetzung von 68,3 % PbO und 31,7 % SiO₂. Das Phasendiagramm gibt für diese Mischung eine Schmelztemperatur von ca. 900 °C an.⁴ Wenn die SiO₂ Gehalte kleiner werden und die PbO-Gehalte leicht zunehmen, fällt die Schmelztemperatur deutlich und liegt nur etwas

über 700 °C. Deswegen ist es wahrscheinlich, dass der Gehalt an Blei etwas höher war als im Rezept angegeben. Aus dem Schmelzdiagramm kann man ablesen, dass die Schmelztemperaturen bei Gewichtsanteilen von SiO₂ zwischen ca. 5 und 30 % unterhalb von 760 °C liegen. Diese Temperaturen sind leicht im offenen Feuer zu erreichen und machen keine speziellen Ofenkonstruktionen nötig.

Heraclius schrieb, dass die Gläser aus drei Komponenten bestehen. Er nannte dafür Sand, Bleioxid und Färbemittel, hier Messing. Ein weiteres Rezept ist von Theophilus in seinem Werk „De diversis artibus“ überliefert: „Aus Glas werden auf folgende Weise Fingerringe gemacht. Baue einen kleinen Ofen nach obiger Anleitung, dann nimm Asche, Salz, Kupferpulver und Blei. Hast du dies zusammengemischt, bestimme die von dir gewünschten Farben des Glases, lege Feuer unter und schmilz es.“⁵

In diesem Text wird Salz genannt aber Salz macht technologisch keinen Sinn – es muss hier Sand gemeint sein.⁶ An selber Stelle steht, dass Kupferpulver verwendet wird. Damit das Kupfer das Glas blau färben kann, muss es in Kupferoxid überführt werden. Dies geschieht beim Schmelzvorgang durch den Sauerstoff.

An anderer Stelle schreibt Theophilus über die Asche: „Wenn du beabsichtigst, Glas herzustellen, schneide zunächst viele Buchenscheite und trockne sie. Dann verbrenne sie an einem sauberen Platz, sammle die Asche sorgfältig ein und Sorge dafür, dass du dabei nicht Erde oder Steine untermischt. ... Dann nimm zwei Teile Asche, von der wir oben sprachen, und als dritten Teil sorgsam von Erde und Steinen gereinigten Sand, den du vom Wasser geholt hast. Vermische beide an einem sauberen Platz.“⁷

In diesem Text beschreibt Theophilus für die Bleiglasherstellung vier unterschiedliche Komponenten. Dies sind Sand, Bleioxid, Asche und Färbemittel. Als Färbemittel wird hier Kupfer angegeben. Aus der zweiten Literaturstelle geht hervor, dass als Asche Buchenasche verwendet wurde. Deswegen wird dieser Glastype von Wedepohl als Holz-asche-Blei-Glas beschrieben.⁸ Diesen konnte er unter anderem in den Klöstern Corvey (Höxter, Nordrhein-Westfalen)⁹ und Brunshausen (Bad Gandersheim, Lkr. Northeim, Niedersachsen)¹⁰ und in Paderborn (Nordrhein-Westfalen)¹¹ nachweisen (Abb. 3). Zusätzlich konnten in der gleichen Gegend noch in zwei Glashütten Holz-asche-Bleigläser nachgewiesen werden¹². Weitere Holz-asche-

3 Zitiert nach Eggert 1990, 118.

4 Geller et al. 1934, 243.

5 Brepohl 1999, 164.

6 Ebd., 202.

7 Ebd., 146, 148.

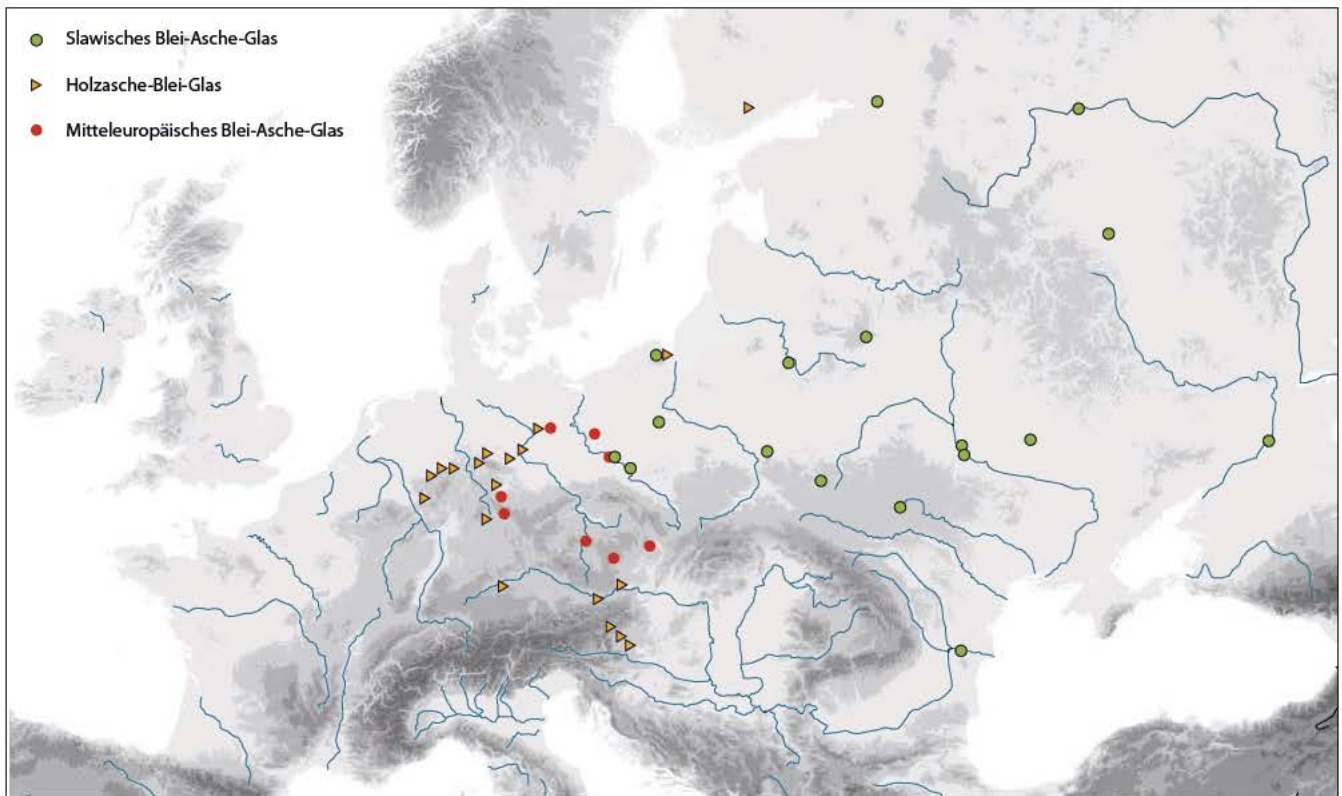
8 Wedepohl et al. 1995.

9 Wedepohl 1998.

10 Stephan/Wedepohl 1997.

11 Lobbedey et al. 2008.

12 Hils: Six/Mader 1989; Dübelsnacken: Bergmann et al. 2008.



Blei-Gläser wurden in mittelalterlichen Kirchenfenstern in Köln, Augsburg, Halberstadt, Soest, Magdeburg und Erfurt, aus der Kirche St. Michel in Weißenkirchen in der Wachau (Niederösterreich, Österreich), aus der Stadtkirche von Steyr (Oberösterreich, Österreich), der Leechkirche in Graz (Steiermark, Österreich) und in Gratwein (Steiermark, Österreich) nachgewiesen.¹³ Klaus Kühne hat 1960 noch weitere Analysen aus Erfurt vorgelegt. Weitere Fundorte sind Jerichow (Jerichower Land, Sachsen-Anhalt)¹⁴ und Bad Windsheim (Mittelfranken, Bayern)¹⁵. Damit sind die meisten Funde innerhalb Deutschlands und Österreichs zu lokalisieren. Es gibt nur wenige außerhalb dieses Verbreitungsgebiets: zum einem Koroinen (Turku, Finnland), Gdańsk (Polen)¹⁶ und Reykholt (Borgarbyggð, Island).¹⁷ Bei den ersten beiden Fundorten ist es denkbar, dass diese durch Hansehandel nach Finnland bzw. Gdańsk gekommen sind.

Woran können diese Holzasche-Blei-Gläser bei Analysen erkannt werden? Es liegen unterschiedliche Analysen von Buchen vor (Tab. 1). Dabei ist erkennbar, dass die Zusammensetzungen sich deutlich unterscheiden können. Dies hat zum einem mit den unterschiedlichen Standorten der Bäume zu tun, zum an-

deren beschreibt schon Michail Bezborodov, dass zwischen Laub, Stamm und Gesträuch deutliche Unterschiede vorliegen.¹⁸ So werden im Laub nur 5,2 % Kalium nachgewiesen, beim Gesträuch steigt der Wert auf 13,8 % und beim Stamm liegt er bei 16,4 %. Auch zwischen Stamm und Rinde bestehen deutliche Unterschiede:¹⁹ der Kaliumgehalt in der Rinde beträgt nur 5,5 %, während er im Stamm 33,9 % beträgt. Auch im Vergleich mit den Daten von Bezborodov zeigt sich, wie variabel die unterschiedlichen Gehalte sind. Bei allen Daten stellt sich jedoch heraus, dass Kalium und Calcium Hauptbestandteile der Aschen sind, wobei in der Tendenz eher mehr Calcium vorhanden ist als Kalium. Neben der Holzasche sind noch natriumhaltige Aschen interessant. Diese entstehen bei der Verbrennung von Halophyten. Diese Pflanzen wachsen hauptsächlich am Meer oder auf Salzwiesen und haben dadurch deutlich höhere Anteile an Natrium als andere Pflanzen.

Solche Aschen findet man als Grundlage in der Entwicklung der mitteleuropäischen Gläser wieder. In römischer Zeit wurde ein Soda-Kalk-Glas (Tab. 2) verwendet. Dieses ist gekennzeichnet durch hohe Natriumgehalte und Kaliumgehalte von weniger als 1,5 %. Die Ursa-

3 Verbreitung der unterschiedlichen Blei-Asche-Gläser in Mittel- und Nordeuropa.

13 Brill 1999, 283, 287, 298, 307, 308.

14 Müller/Bochynek 1989.

15 Kaufmann 2010, 444.

16 Olczak 1968, 168–169.

17 Rehren 2016a, 222.

18 Bezborodov 1975, 50.

19 Meiwes/Beese 1988.

Tabelle 1 Zusammensetzung der Asche von Buchen.

	Watzke 2004	Bezborodov 1975			Maus/Jenisch 1999 Schwarzwald	Hartmann 1994 Göttinger Wald	Meiwes/Beese 1988	
		Laub	Stamm	Gesträuch			Stamm	Rinde
SiO ₂	3,04	33,8	5,4	9,8	3,44	2,3	8,6	4,4
TiO ₂	0,02				0,15	0,05		
Al ₂ O ₃	0,17				0,8	0,25	1,5	0,15
Fe ₂ O ₃	0,12				1,93	0,46	2	0,36
MnO	1,62				6,05	4	0,62	0,21
MgO	7,6	5,9	10,9	10,6	11,29	12,5	8,9	1
CaO	41,08	44,9	56,4	48	31,5	46,6	41,2	87,5
Na ₂ O	0,07	0,7	3,6	2,4	0,22	0,56	0,62	0,09
K ₂ O	8,31	5,2	16,4	13,8	36,9	22,5	33,9	5,5
P ₂ O ₅	1,43	4,7	5,4	12,2	6,83	11	2,7	0,77
BaO	1,27				0,73	0,31		
SO ₃		3,6	1,8	0,8				
CaO/K ₂ O	4,94	8,63	3,44	3,48	0,85	2,07	1,22	15,91
CaO/ MgO	5,41	7,61	5,17	4,53	2,79	3,73	4,63	87,50
CaO/ Na ₂ O	586,86	64,14	15,67	20,00	143,18	83,21	66,45	972,22

Tabelle 2 Zusammensetzung der mittelalterlichen Glastypeen für den mitteleuropäischen Raum.

	HolzascheGlas		Holzasche- Kalk-Glas	Holzasche- Bleigläser	Blei- gläser	Soda-Asche Höxter nach 1270	Soda-Kalk- Glas (römisch)
	Früh- mittelalter	Spät- mittelalter					
SiO ₂	57,7	49,6	53,4	43,3	26,9	69,17	69,4
TiO ₂	0,25	0,13	0,19	0,08	0,05	≤ 0,2	0,12
Al ₂ O ₃	2,97	1,8	2,39	0,87	0,44	0,77	2,35
FeO	0,96	0,62	0,68	0,35	0,23	0,32	0,69
MnO	1,24	1,33	1,23	0,57	0,06	1,32	0,56
MgO	3,87	4,08	4,18	1,08		3,14	0,54
CaO	18,9	19,4	24,09	7,87	0,2	9,52	6,79
Na ₂ O	1,75	0,33	2,07	0,69	0,07	11,6	17,5
K ₂ O	8,52	19,1	7,1	9,8	0,2	2,47	0,61
P ₂ O ₅	2,71	2,34	3,96	0,81	0,08	0,26	0,09
PbO				32,7	69,9		

che dafür ist, dass mineralische Soda, Kalk und Sand für die Glasherstellung verwendet worden sind²⁰. In der zweiten Hälfte des 1. Jahrtausends nach Christus wurden die ersten Gläser mit Holzasche hergestellt²¹. Nach einem zuerst zögerlichen Einsatz von Holzasche nehmen die Kaliumgehalte im Mittelalter weiter zu²². Später treten neben diesen Gläsern auch solche

auf, die einen deutlich höheren Calciumgehalt haben. Dies wird interpretiert, dass zusätzlich noch Kalk dem Glas zugegeben wurde²³. Dies hat zur Folge, dass die Schmelztemperaturen der Gläser ansteigen. Um diese Temperaturen erreichen zu können, war eine Weiterentwicklung der Ofentypen/-technologie erforderlich. Daneben treten in Mitteleuropa noch So-

20 Wedepohl 1993.

21 Velde/Motteau 2013; Wedepohl/Simon 2010.

22 Wedepohl 2003, 92.

23 Ebd., 134–137.

da-Asche Gläser auf. Die Gläser können durch die Verhältnisse von Kalium, Calcium und Natrium voneinander unterschieden werden. Alle Soda-Asche bzw. Soda-Gläser haben sehr hohe Natriumgehalte. Die Kaliumwerte sind im Vergleich sehr niedrig. Die Soda-Asche-Gläser können von den Soda-Gläsern über die Kalium- und Magnesiumwerte voneinander unterschieden werden. Die Holzasche-Gläser haben ein Kalium-zu-Calcium-Verhältnis von ca. eins zu eins, wobei häufig der Calcium-Anteil etwas höher als der Kalium-Anteil ist. Mit dem Aufkommen der Holzasche-Kalk-Gläser verschiebt sich das Verhältnis weiter zugunsten des Kaliums.

In anderen Regionen wurden andere Aschetypen verwendet. Bezborodov hat eine umfangreiche Serie an Gläsern aus dem östlichen Europa vorgelegt.²⁴ Dabei gibt es einen besonderen Glastype, der zu den bleihaltigen Gläsern gehört. Bei diesen Gläsern sind die Kaliumanteile deutlich höher als die Calciumanteile und benutzten damit eine andere Asche als die Holzasche-Gläser.

Aus dem Mittelalter sind Soda-Blei-Gläser analysiert worden. So liegen zum Beispiel. Analysen aus Prag²⁵ und Dolánky (Tschechien),²⁶ Spanien,²⁷ Wollin,²⁸ Ribe,²⁹ Ungarn,³⁰ Venedig,³¹ Cecersk (Belarus) und Kiew³² sowie aus Antwerpen³³ vor. Meist treten an solchen Fundorten Soda-Asche-Bleigläser auf, wo zeitgleich auch Soda-Asche-Gläser verwendet wurden. Die Soda-Asche-Bleigläser kommen häufig nur in kleinen Stückzahlen vor.

Wie bereits erwähnt, hat Bezborodov Bleigläser vorgelegt, die deutlich mehr Kalium enthalten als Calcium. In Erfurt wurden ebenfalls Gläser mit hohen Kalium- und niedrigen Calciumgehalten gefunden.³⁴ Diese unterscheiden sich jedoch in ihrem Bleigehalt deutlich von den vorgelegten Analysen von Bezborodov. Deswegen wurden diese Gläser unterschiedlich benannt: die Gläser mit niedrigerem Bleigehalt und Kalium-zu-Calcium-Verhältnis von ca.

10:1 wurden aufgrund der Verbreitung „slawisches Blei-Asche-Glas“ genannt. Dieses konnte bis jetzt in Gniezno und Gdańsk,³⁵ Sasiadka,³⁶ Wrocław und Opole,³⁷ Kruszwica (alle: Polen)³⁸ und in verschiedenen Fundorten aus Belarus, der Ukraine, Russland und Rumänien³⁹ nachgewiesen werden.

Das mitteleuropäische Blei-Asche-Glas besteht aus der gleichen Asche wie das slawische Blei-Asche-Glas, aber die Bleigehalte liegen bei im Mittel bei. $52,5 \pm 5,4\%$ Blei während sie bei den slawischen Blei-Asche-Gläsern bei $24,3 \pm 5,2\%$ Prozent liegen⁴⁰. Dieses Glas konnte bis jetzt in Erfurt, Henneburg (Lkr. Schmalkalden-Meiningen, Thüringen),⁴¹ Berlin-Spandau,⁴² Olomouc,⁴³ Praha,⁴⁴ Brno,⁴⁵ Žatec⁴⁶ (alle vier: Tschechien), Wrocław,⁴⁷ Międzyrzecze,⁴⁸ Kruszwica⁴⁹ und Szczecin (alle vier: Polen)⁵⁰ nachgewiesen werden (Abb. 3).

Welche Asche für diese beiden Glastypeen verwendet wurde, ist schwierig zu entscheiden. 2004 wurden unterschiedliche Biomassen, die als Brennstoffe dienen können, untersucht.⁵¹ Bei Buchenaschen ist das Verhältnis von Kalium zu Calcium ungefähr eins, während es bei Stroh und Heu zum Kalium hin verschoben werden⁵². Die Werte erreichten aber nicht das Verhältnis, welches die slawischen-Blei-Asche Gläser bzw. das mitteleuropäische Blei-Asche-Glas aufweisen. Die Asche von Farnen verändert sich abhängig von der Wachstumsphase ebenfalls deutlich in seiner Zusammensetzung.⁵³ Aber auch dies kann die chemische Zusammensetzung der Gläser nicht ganz erklären. Denkbar ist zwar ein Einsatz von Pottasche. Für Pottasche wurde z. B. Buchenasche mit Wasser gereinigt. Dies führt dazu, dass der Calciumanteil sinkt.⁵⁴ Dies wäre eine sehr frühe Verwendung, die technologisch wenig Sinn machen würde. Die Pottasche wird sonst eingesetzt, um niedrigere Eisengehalte im Glas zu haben und so farblose Gläser zu produzieren. Da die Bleigläser aber durchgängig farbig sind, macht es in diesem Fall für das Erschei-

24 Bezborodov 1975.

25 Černá et al. 2005.

26 Hulinsky/Černá 2003, 118.

27 Duckworth et al. 2015.

28 Bezborodov 1975, 322.

29 Henderson/Warren 1983.

30 Gratuze et al. 2002.

31 Brill 1999, 225.

32 Bezborodov 1975, 322–323.

33 Sablerolles et al. 1997.

34 Mecking 2013a.

35 Chmielowska 1960.

36 Wajda 2013.

37 Pankiewicz et al. 2014.

38 Bezborodov 1975.

39 Ukraine: Kiew, Wysgorod, Perjaslaol-Chemelnitzky; Belarus: Minsk, Rogacev, Cernigov, Grodno; Russland: Belaya Wesha, Galic, Ryazan, Staraya

Ladoga, Luka und Raika (alle Bezborodov 1975, 310–321); Rumänien: Isaccea (Bugoi et al. 2016) – siehe Abb. 3.

40 Mecking 2013a, 334.

41 Ders. 2013b.

42 Ulrich 1989.

43 Černá et al. 2001.

44 Černá et al. 2005.

45 Sedláčková/Zapletalova 2012.

46 Hulinsky/Černá 2003.

47 Siemianowska 2015.

48 Bezborodov 1975, 320.

49 Olczak 1968, 132.

50 Dekowna 1980, 301.

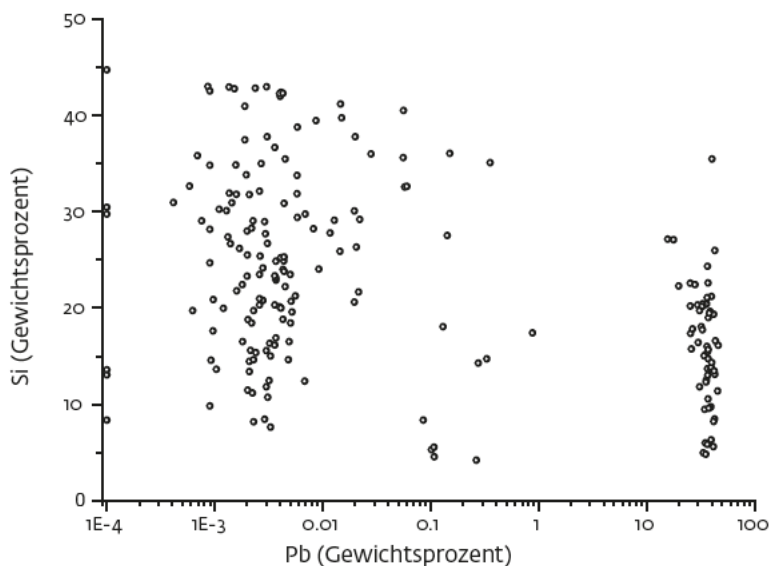
51 Hartmann/Hering 2004.

52 Ebd., 33–34

53 Jackson/Smedley 2008.

54 Cílová/Woitsch 2012, 375.

Diagramm 1 Silizium- und Bleigehalte, bestimmt durch p-RFA-Messungen an der Oberfläche von Glasringen bzw. Glasringfragmenten aus Thüringen.



nungsbild keinen Unterschied macht, ob man Pottasche oder Buchenasche einsetzt. Die Daten lassen keinen sicheren Rückschluss zu, ob eine spezielle Asche oder Pottasche verwendet wurde.

Der mengenmäßig wichtigste Bleiglastyp des Mittelalters ist das Bleiglas ohne Aschezusätze (hoch bleihaltiges Glas). So sind ca. 60 Prozent aller Bleigläser ohne Asche angefertigt worden.⁵⁵ Obwohl Bleigläser mengenmäßig im Vergleich zu anderen Glastypen nur eine untergeordnete Rolle, kommen sie doch zu allen Zeiten vor: So gab es schon im Alten Ägypten Bleiglas. Eine Perle aus dem Palast des Amenophis III enthielt 76 % PbO und 19 % SiO₂.⁵⁶ Auch in der Folgezeit finden sich immer wieder einzelne Bleigläser: Im ersten Jahrtausend nach Christus gibt es im islamischen Bereich unterschiedliche Bleiglastypen. Hierbei handelt es sich um reine Bleigläser,⁵⁷ aber auch um Gläser mit unterschiedlichen Aschen.⁵⁸ Die hoch bleihaltigen Gläser in Mittel und Nordeuropa haben vom 9. bis zum 13. Jahrhundert eine sehr weite Verbreitung. Sie kommen von England bis nach Russland vor.⁵⁹ Mit Ausnahme von England treten neben den hochbleihaltigen Gläsern hier auch unterschiedliche Aschegläser auf.

In Erfurt konnten sowohl das Holzasche-Bleiglas als auch hoch bleihaltige Gläser und das mitteleuropäische Blei-Asche-Glas nach-

gewiesen werden. Damit befindet sich Erfurt im westlichen Grenzbereich der mitteleuropäischen Blei-Asche-Gläse-Verteilung (Abb. 3). Dies bietet die Chance, den Absatz der Glaswerkstatt aus Erfurt möglicherweise zu fassen: zum einen sind Bleigläser selten und es wurden nur Glasringe und vereinzelt Glasperlen hergestellt, und zum anderen liegt Erfurt an der Verteilungsgrenze zwischen zwei unterschiedlichen Glastypen.

AUF DER SUCHE NACH DEM ABSATZGEBIET: DICHTEMESSUNG UND RFA-ANALYSEN

In Thüringen sind bis jetzt ca. 700 mittelalterliche Glasringe gefunden worden. Um zu bestimmen, welche Gläser aus Erfurt stammen können, müssten alle Objekte analysiert werden. Da die Messung aller Ringe zu aufwendig wäre, war es notwendig, eine einfache und sichere Möglichkeit zu finden, um die möglichen Bleiglasringe zu identifizieren. Der Bleigehalt der Proben ist – wie der Name des Glastyps besagt – sehr hoch. Das Bleidioxid hat eine Dichte von 9,4 g/cm³. Quarz als zweite wichtige Komponente des Glases besitzt mit 2,65 g/cm³ eine deutlich niedrigere Dichte. Damit können Bleigläser sehr einfach über die Bestimmung der Dichte von anderen Glastypen unterschieden werden. Dies ist seit einiger Zeit bekannt und auch praktiziert worden.⁶⁰

In den letzten Jahren wurde vermehrt die portable RFA (p-RAF) in der Archäometrie eingesetzt,⁶¹ auch für Analysen an Gläsern.⁶² Die p-RFA wurde dazu genutzt, um mittels Messzeiten von unter einer Minute zu entscheiden, ob ein Bleiglas vorliegt. Die in Frage kommenden Bleigläser besitzen Bleigehalte als Pb⁶³ gerechnet von über 10 %, während die anderen Gläser Bleigehalte bis zu einem Prozent zeigen (Diagramm 1). Damit ist eine schnelle Möglichkeit gegeben, die Bleiglasringe im Fundus zu identifizieren. Bis jetzt wurden 227 Ringe und Ringfragmente mit der p-RFA untersucht. Davon stammen 161 Glasringe bzw. Fragmente aus Erfurt und die restlichen Fragmente aus weiteren Fundorten aus Thüringen. In Thüringen bestehen ca. 32 % der Glasringe aus Bleiglas. Nur diese können aus der Glaswerkstatt Erfurt, Trommsdorffstraße stammen. Auch in Erfurt selbst ist der Anteil an Bleiglasringen nur leicht höher und liegt bei 34 %. Hier kann ebenfalls nur ca. ein Drittel der Glasringe

55 Mecking 2013a.

56 Brill 1999, 36.

57 Ebd., 170, 182, 183, 189, 199, 204.

58 Duckworth et al. 2015; Robertshaw et al. 2010.

59 Mecking 2013a, 331.

60 Eggert 1990; Krueger 1987; Steppuhn 1997.

61 Aimers et al. 2012; Frahm/Doonan 2013.

62 Kaiser/Shugar 2012; Kato et al. 2009.

63 Das Gerät gibt die Gehalte nicht in Oxiden an, sondern als Gehalt des Elementes in Gewichtsprozent. Auf eine Umrechnung in Oxide wurde verzichtet.

aus der Werkstatt Erfurt, Trommsdorffstraße stammen. Außerhalb Erfurts ist die Verteilung der Bleigläser sehr ungleichmäßig, es sind jedoch immerhin 26 % der untersuchten Ringe aus Bleiglas hergestellt worden. Ein Fundplatz, der intensiv untersucht wurde, ist der Fundplatz Henneburg, wo 16 Glasringfragmente gefunden wurden, von welchen 13 aus Bleiglas hergestellt sind. Dies ist bis jetzt außerhalb Erfurts der Fundplatz mit dem höchsten Anteil an Bleiglasringen. Wenn man die Funde aus Henneburg beiseitelässt, verbleiben aus Bleiglas nur noch 8 % der Ringe. Unter den 14 weiteren untersuchten Fundorten konnten nur in Dornburg (Lkr. Saale-Holzland, Thüringen) und Bad Liebenstein (Lkr. Wartburgkreis, Thüringen) Bleigläser nachgewiesen werden. Damit wird deutlich, dass die Glaswerkstatt in Erfurt Trommsdorffstraße nur für ca. ein Drittel der Glasringe in Erfurt verantwortlich sein kann, und auch außerhalb Erfurts gibt es nur einzelne Fundplätze, die möglicherweise Glasringe von der Glaswerkstatt Erfurt, Trommsdorffstraße aufweisen.

Diese Voruntersuchungen können nur den Glastyp bestimmen. Um zu entscheiden, ob Gläser aus Erfurt stammen können, wurden die Bleigläser mittels LA-ICP-MS untersucht.

Die Gläser können, wie oben besprochen, aus Blei, Sand, Asche und farbgebenden Pigmenten zusammengesetzt sein. Jede Komponente bringt Spurenelemente ins Glas. Über den Vergleich der Spurenelemente kann überprüft werden, ob die Gläser aus der Glaswerkstatt Erfurt, Trommsdorffstraße stammen können. Da bis jetzt aus Henneburg die meisten Bleigläser außerhalb von Erfurt vorliegen, soll die Vorgehensweise an diesem Beispiel besprochen werden.

AUF DER SUCHE NACH DEM ABSATZGEBIET MIT HILFE VON SPURENELEMENTEN

Bei Messungen mittels LA-ICP-MS wurden bis zu 48 Elemente bestimmt. Nun kann man versuchen, diese einzelnen Elemente den vier möglichen Rohstoffquellen zuzuordnen und durch einen Vergleich mit den Analysen aus Erfurt zu entscheiden, ob die Gläser aus Erfurt stammen können. Am einfachsten ist es bei den Farbpigmenten. Diese sind bei den untersuchten Gläsern primär Kupfer und Zinn.⁶⁴ Das Kupfer bzw. seine Legierung werden laut Heraclius und Theophilus als Metall zugegeben (s. o.). So kommen für das Kupfer nur wenige

Begleitelemente in Frage. Dies sind als Legierungselemente Zink, Blei und Zinn. Zusätzlich ist es noch möglich, dass Gehalte an Arsen, Antimon, Nickel und etwas Silber in das Glas gelangen können. Wenn zum Beispiel die Kupferlegierung 1 % Antimon enthält, führt dies bei einem Gehalt von 1 % Kupfer zu einem Gehalt von 100 µg/g Antimon im Glas. Gleiches gilt auch für andere Spurenelemente im Kupfer. Bis zu einem Prozent Spurenelemente können nach den Daten von Werner⁶⁵ und Riederer⁶⁶ Nickel, Arsen und Antimon sein. Daneben kommen um den Faktor 2 bis 50 niedrigen Faktor noch Silber und Bismut in Frage.

Für Holzasche-Bleigläser wurde als Färbemittel Messing verwendet,⁶⁷ während in Erfurt hauptsächlich Kupfer und vereinzelt Bronzen benutzt wurden.⁶⁸ Die mittelalterlichen Kupferlegierungen werden durch die vier Hauptelemente Kupfer, Zinn, Zink und Blei bestimmt. Da Blei ein Hauptbestandteil der Gläser ist, kann dieses aus den Messungen nicht bestimmt werden. Somit bleibt nur das System Kupfer, Zinn, Zink. Bei Zinn tritt das Problem auf, dass einige Ringe gelb gefärbt sind. Diese Gelbfärbung kann durch intentionelle Zinnzugabe bewirkt werden.⁶⁹ Deswegen sind die Zinngehalte bei einigen Ringen deutlich erhöht. Ringe, die keine Gelbfärbung und damit keine erhöhten Zinngehalte aufweisen, haben auf das Kupfer bezogen Zinngehalte von deutlich unter 10 % (Diagramm 2 A). Die Proben aus Erfurt und von der Henneburg zeigen in der Tendenz niedrige Gehalte an Zinn auf das Kupfer bezogen. Die Holzasche-Bleigläser überlappen mit einer leichten Tendenz zu höheren Werten. Da aber schon kleine Änderungen des Zinngehaltes einen deutlichen Einfluss auf die Verhältnisse haben, muss diese Aussage mit Vorsicht interpretiert werden. Anders sieht es beim Zink aus (Diagramm 2 B). Dort gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Holzasche-Bleigläsern und den Funden aus Erfurt. Die Holzasche-Bleigläser weisen über 2000 µg/g Cu und daneben noch Zinkanteile auf. Wenn der Zinkanteil auf das Kupfer bezogen wird, liegt der Zinkanteil dabei häufig über 5 % und für die meisten Proben über 10 %.

Damit liegen sie im Bereich, den Messinge im Mittelalter hatten. So haben die Messinge einen maximalen Zinkgehalt zwischen 10 und 16 Prozent.⁷⁰

Ganz anders sieht es bei den Proben aus Erfurt, Trommsdorffstraße aus. Hier erreichen die berechneten Zinkanteile nur in Ausnahme-

64 Mecking 2013a.

65 Werner 1997.

66 Riederer 2000.

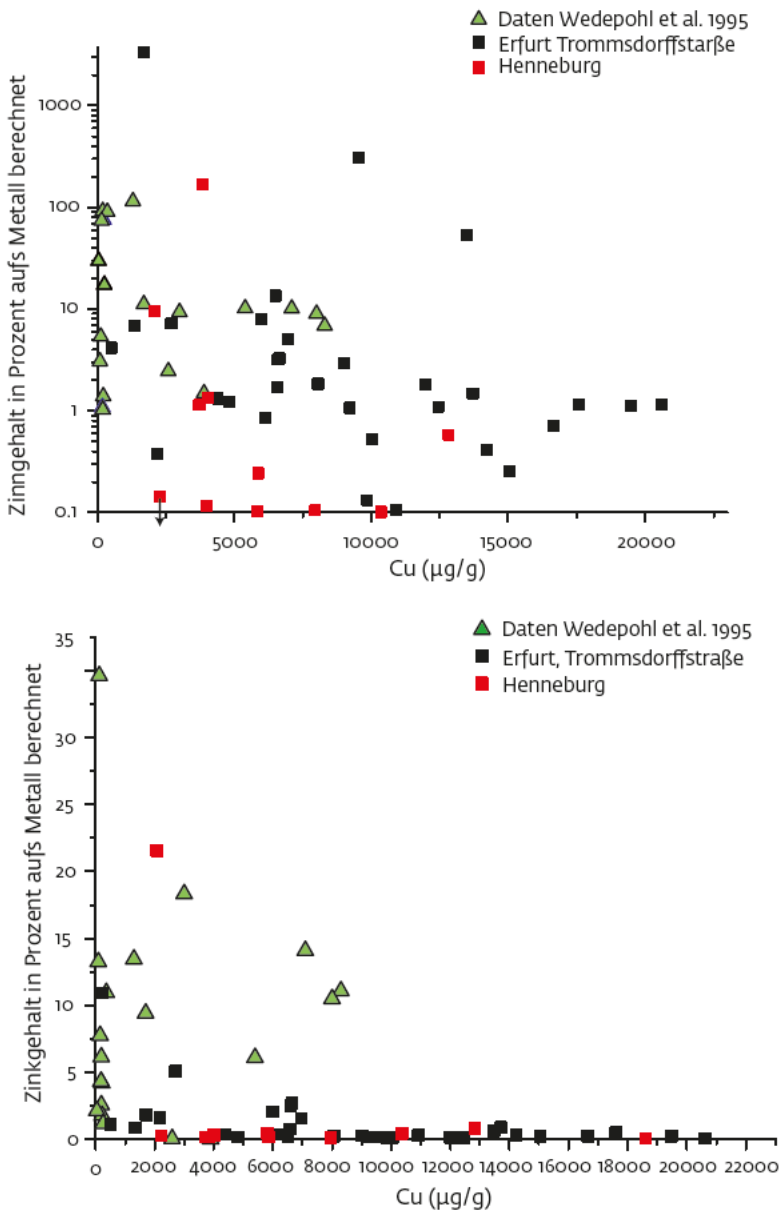
67 Wedepohl et al. 1995.

68 Mecking 2013b.

69 Ders. 2013a, 340–341.

70 Werner 1977; Riederer 2000.

Diagramm 2 Berechnung der Zinn- bzw. Zinkanteile der zugegebenen Kupferlegierung von westdeutschen Holzasche-Bleigläsern und Funden aus Erfurt, Trommsdorffstraße und Henneburg.



fallen annähernd 5 %. Die meisten Proben haben deutlich niedrigere Gehalte. Viele Proben der Henneburg folgen dem Muster der Glaswerkstatt aus Erfurt. Nur eine Probe, 270-15, hat einen berechneten Zinkanteil von ca. 22 % und fällt damit in den Bereich der Messinge und scheint dadurch eher zu den westdeutschen Proben zu passen.

Als weitere wichtige Komponente tritt das Blei auf. Das Blei für die Bleiglasringe ist ein Abfallprodukt aus der Silbergewinnung.⁷¹ Darauf deutet auch der Silbergehalt der Proben hin. In Bleierzen liegen die Silbergehalte normal zwischen 0,0X bis 0,X %⁷². Wenn die Erze

direkt zum Blei reduziert – ohne Abtrennung des Silbers – wurden, müsste sich das Silber in den Proben wiederfinden lassen. Das heißt, wenn man von zwei Teilen Blei und einem Teil Sand ausgeht und in die obigen Angaben für X eins einsetzt, dass die Gehalte ca. zwischen 0,007 (70 µg/g) und 0,07 (700 µg/g) Prozent liegen müssten. Bei den Proben aus Erfurt liegen die Gehalte zwischen 1 und 131 µg/g Silber mit einem Mittelwert von 23 µg/g. Auch die Proben aus Henneburg zeigen ähnliche Werte. Der Mittelwert liegt leicht tiefer bei 17 µg/g. Das Minimum liegt bei 9 µg/g und der Maximalwert liegt bei 48 µg/g Silber und zeigen so die gleiche Nutzung von Blei an, von dem vorher das Silber abgetrennt wurde.

Ein weiterer wichtiger Rohstoff für die Gläser ist der Sand. Im Spurenelementspektrum können Aluminium, Titan, Zirkon, Hafnium und die Seltenen Erden-Elemente einen Hinweis auf die Sandquelle geben.⁷³ Deswegen wurden zuerst die Elemente Aluminium gegen Titan aufgetragen (Diagramm 3). Bei diesem Diagramm erkennt man, dass zwei unterschiedliche Sande für die Glasringe aus Erfurt verwendet worden sind. Einer hat niedrige Gehalte an Titan und sehr variable Gehalte an Aluminium. Dabei nehmen die Titangehalte mit steigenden Aluminiumgehalten leicht zu, wobei Titan nur ein Zehntel der Werte des Aluminiums annimmt. Dieses Aluminium stammt aus dem Sand anhaftenden Mineralien wie z. B. Kaolin oder unterschiedlichen Feldspäten. Der andere Sand zeigt genau das umgekehrte Verhältnis: hier liegt deutlich mehr Titan als Aluminium vor, wobei der Aluminiumwert konstant ist und bei ca. 0,2 % liegt, während der Titangehalt zwischen ca. 0,2 und 0,4 % schwankt. Die Titanquelle dieses Sandes ist wahrscheinlich Rutil. Interessant wird es, wenn diese Messwerte mit anderen Vergleichsanalysen von hoch bleihaltigen Gläsern verglichen werden. Die meisten Gläser haben dabei niedrige Titangehalte und eher steigende Aluminiumgehalte und stimmen am besten mit dem ersten Sand aus Erfurt überein. Höhere Aluminiumwerte haben die Holz-Asche-Blei-Gläser. Das rührt daher, dass die Asche (Tab. 1) höhere Aluminiumgehalte aufweist und es so eine zweite Quelle für das Aluminium gibt. Dies macht es für die Holz-Asche-Blei-Gläser schwierig, zu bestimmen aus welcher Quelle das Aluminium stammt.

EIN FALLBEISPIEL: DIE GLÄSER AUS HENNEBURG

Die meisten Bleigläser außerhalb von Erfurt stammen von der Henneburg. Um jetzt zu entscheiden, ob diese Gläser aus Erfurt stammen

⁷¹ Wedepohl et al. 1995.

⁷² Wedepohl 2013, 154.

⁷³ Wedepohl et al. 2001; Degryse/Shortland 2009; Aerts et al. 2003; Rehren/Freestone 2015.

können, müssen die Spurenelemente der Gläser aus Henneburg mit den Funden aus Erfurt verglichen werden. Dazu wurden diese mit der LA-ICP-MS untersucht.

Beide Sandtypen lassen sich auch bei den Gläsern aus Henneburg wiederfinden (Diagramm 3). Nur ein Glas zeigt deutliche Unterschiede zu den Gläsern aus Erfurt. Das Glas 273/15 verfügt über deutlich erhöhte Aluminiumwerte und unterscheidet sich damit von den Gläsern aus Erfurt. Bei den Produktionsresten aus Erfurt wurden aber Stücke gefunden, die Einschlüsse besaßen, welche erhöhte Aluminium-Werte hatten, was als Erklärung dienen könnte⁷⁴. Auch hat das oben angewandte Modell seine Grenzen, weil beim Schmelzen des Glases in einem Tiegel sich auch ein Teil des Tiegels löst und so Elemente in das Glas gelangen, die nicht aus den Rohstoffen stammen.⁷⁵ Als weitere Elemente für den Sand werden Zirkon und Hafnium genannt. Das Verhältnis Zirkon/Hafnium ist bei den Gläsern aus Erfurt und Henneburg zueinander sehr ähnlich. Wenn man aber Diagramm 4 zu Titan, Aluminium und Zirkon betrachtet, fallen drei Proben aus dem Bereich von Erfurt heraus. Die Probe 273/15 wurde schon oben durch einen hohen Aluminiumgehalt beschrieben. Die Proben 277/15 und 270/15 liegen im dem Diagramm außerhalb des Aluminium, Titan und Zirkon-Feldes. Alle anderen untersuchten Proben von der Henneburg lassen sonst keine Unterschiede zu den Proben aus Erfurt erkennen.

Die seltenen Erden (SEE) können weitere Aufschlüsse über die Gläser geben. Diese können mit dem Sand über Monazitanhaftungen in die Gläser gekommen sein. Dazu wurden zuerst die Daten als Bielementplots betrachtet. Zum Beispiel zeigt das Elementpaar Lanthan/Cer, dass die Proben aus Henneburg sehr gut mit den Proben aus Erfurt übereinstimmen. Auch bei anderen Elementpaaren ergibt sich das gleiche Bild. Die Variabilität der Werte ist dabei sehr hoch. Im nächsten Schritt wurden die SEE-Werte auf Chondorit normalisiert. Auch bei dieser Auswertung stimmen die Werte von Erfurt und von der Henneburg gut überein.

Als letztes wurden die Werte mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse ausgewertet. Die drei ersten Faktoren erklären zusammen nur ca. 50 % der Gesamtvarianz. Damit beschreiben die drei ersten Faktoren nur unzureichend die Messwerte. In Diagramm 5 kann man vier Proben aus der Henneburg erkennen, die Unterschiede zu den Proben aus Erfurt zeigen. Dies sind die Proben 269/15, 270/15, 273/15

Diagramm 3 TiO_2 gegen Al_2O_3 für die Gläser aus Erfurt und Henneburg mit Vergleichsanalysen (Bergmann et al. 2008, Bezborodov 1975, Brill 1999, Cerna et al. 2001, Cerna et al. 2005, Chmielowska 1960, Dekowna 1980, König et al. 2002, König et al. 2002, Kuisma-Kursula/Räisänen 1999, Olczak 1968, Six/Mader 1989, Stephan/Wedepohl 1997, Ulrich 1989, Wedepohl 1998, Wedepohl et al. 1995).

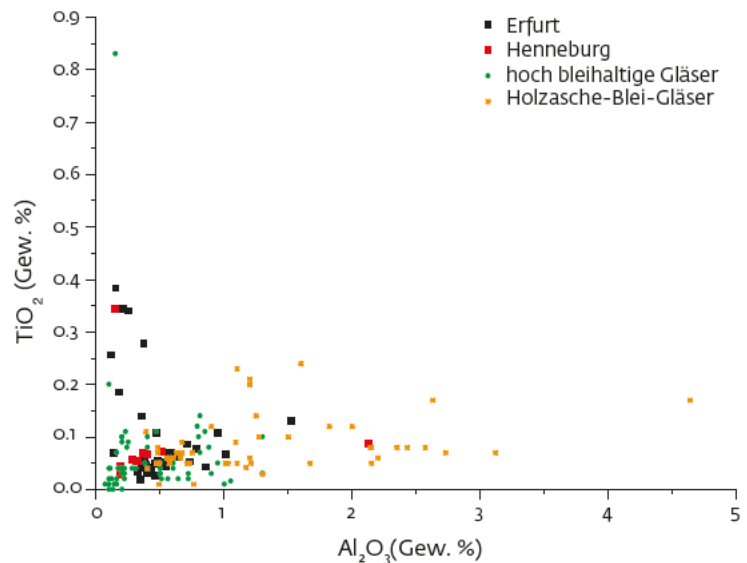
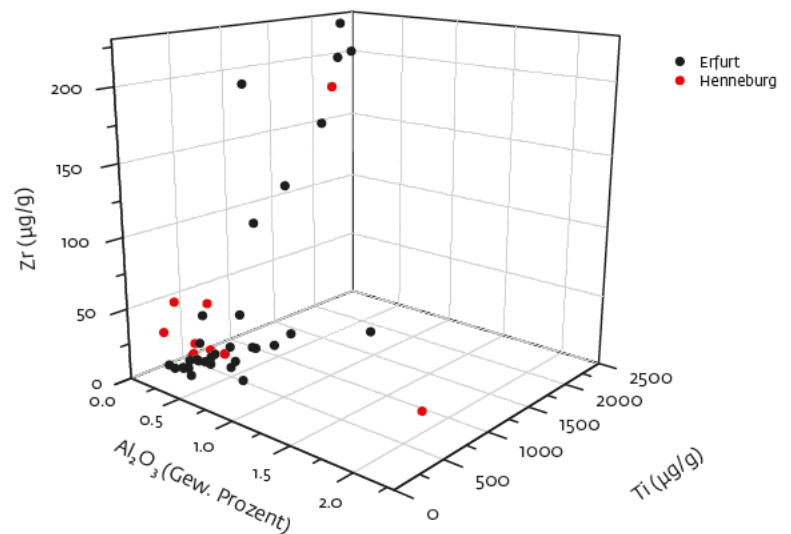


Diagramm 4 Ti, Zr, Al_2O_3 -Diagramm für Gläser aus Erfurt und Henneburg.

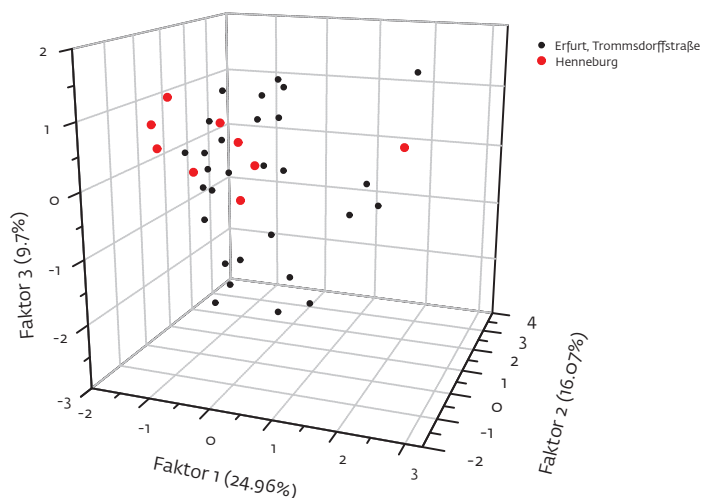


und 277/15. Die Probe 270/15 ist sowohl hinsichtlich Farbpigment als auch Sand auffällig. Die Proben 277/15 und 273/15 zeigten bei den Sanden Unterschiede. Die Probe 269/15 fiel bis jetzt noch nicht auf. Ein Grund dafür kann der sehr hohe Nickelgehalt der Probe sein. Der hohe Nickelgehalt kann z. B. über die Kupferlegierung in das Glas gekommen sein. Die Beurteilung, ob diese vier Proben nicht aus Erfurt stammen können, ist schwierig. In den Diagrammen 3–5 ist ersichtlich, dass die Streuungen der Proben aus Erfurt einen ge-

74 Mecking 2013a, Abb. 12 und Abb. 14.

75 Vgl. Rehren 2016b.

Diagramm 5 Diagramm der ersten drei Faktoren der Hauptkomponentenanalyse von Gläsern aus Erfurt und Henneburg.



wissen Raum umfassen können. Aus der Keramikanalyse werden dreißig Proben für eine Referenzgruppe als ausreichend angesehen. Ob diese Zahl auch für die Proben aus Erfurt genügen, ist fragwürdig. Bei den Produktionsabfällen aus Erfurt gibt es Hinweise darauf, dass zum Beispiel die Sandquellen unterschiedlich sind. Deswegen ist es wahrscheinlich, dass mehr Proben für die Referenzgruppe untersucht werden müssen, um sicher entscheiden zu können, ob die Proben aus Erfurt stammen können. Die Probe 270/15 wurde, weil sie sich sowohl im Sand als auch im Färbemittel unterscheidet, wahrscheinlich nicht in Erfurt produziert. Die anderen drei auffälligen Proben sind schwer zu beurteilen. Fünf weitere Proben passen mit Blick auf alle Elemente gut mit den Proben aus Erfurt überein, so dass nichts dagegen spricht, dass diese Proben aus Erfurt stammen können.

LITERATUR

AERTS ET AL. 2003

A. Aerts/B. Velde/K. Janssens/W. Dijkman., Change in silica sources in Roman and post-Roman glass. *Spectrochimica Acta Part B* 58, 2003, 659–667.

AIMERS ET AL. 2012

J. Aimers/D. Farthing/A. N. Shugar, Hand-held XRF analysis of maja ceramics. A pilot study presenting issues related to quantification and calibration. In: A. N. Shugar/J. L. Mass (Hrsg.), *Handheld XRF for art and archaeology*. Stud. Arch. Scien. 3 (Leuven 2012) 423–448.

BERGMANN ET AL. 2008

R. Bergmann/K. H. Wedepohl/A. Kronz, Die Glashütte des 12. Jahrhunderts am Dübelsnacken bei Altenbeken, Kreis Paderborn. In: R. Bergmann (Hrsg.), *Studien zur Glasproduktion seit dem 12. Jahrhundert im östlichen Westfalen* (Münster 2008) 67–111.

BEZBORODOV 1975

M. A. Bezborodov, *Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser* (Mainz 1975).

BREPOHL 1999

E. Brepohl, *Theophilus Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk* (Köln, Weimar, Wien 1999).

BRILL 1999

R. H. Brill., *Chemical analyses of early glass* (Corning 1999).

BUGOI ET AL. 2016

R. Bugoi/I. Poll/G. Mănucu-Adameşteanu/T. Calligaro/L. Pichon/C. Pacheco, PIXE-PIGE analyses of Byzantine glass bracelets (10th–13th centuries AD) from Isaccea, Romania. *Journ. Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 307, 2016, 1021–1036.

ČERNÁ ET AL. 2001

E. Černá/V. Hulinsky/O. Gedeon, Vypoved mikroanalýz vzorku skel z raneho stredoveku – microprobe analyses results of ear-

ly medieval glass specimens. *Archeologické rozhledy* LIII, 2001, 59–89.

ČERNÁ ET AL. 2005

E. Černá/V. Hulinsky/K. Tomkova/Z. Cílová., Early medieval glass beads from Prague Castle and its surroundings. Typological and chemical classification of the finds. *Annales Congrès Association Intern. Histoire Verre* 16, 2005, 335–339.

CHMIELOWSKA 1960

A. Chmielowska, *Wyroby szklarskie z. X–XIII wieku na stanowisku w Gdansk, Gdansk wczesnosredniowieczny*, 3, 1960, 141–58.

CÍLOVÁ/WOITSCH 2012

Z. Cílová/J. Woitsch, Potash – a key raw material of glass batch for Bohemian glasses from 14th–17th centuries? *Journal of Archaeological Science* 39, 2, 2012, 371–380.

DEGRYSE/SHORTLAND 2009

P. Degryse/A. Shortland, Trace elements in provenancing raw materials for roman glass production. *Geologica Belgica* XII, 3–4, 2009, 135–143.

DEKOWNA 1980

M. Dekowna, *Szkło w Europie wczesnosredniowiecznej* (Wrocław 1980).

DUCKWORTH ET AL. 2015

C. N. Duckworth/R. Córdoba/E. W. Faber/D. J. Edwards/J. Henderson, Electron Microprobe Analysis of 9th–12th Century Islamic Glass from Córdoba, Spain. *Archaeometry* 57, 2015, 27–50.

EGGERT 1990

G. Eggert, Beobachtungen an archäologischen Glasobjekten. *Restaurio* 2, 1990, 117–124.

FRAHM/DOONAN 2013

E. Frahm/R. C. Doonan, The technological versus methodological revolution of portable XRF in archaeology. *Journ. Arch. Scien.* XL, 2, 2013, 1425–1434.

GELLER ET AL. 1934

R. F. Celler/A. S. Creamer/E. N. Bunting, The system. PbO–SiO₂. *Journ. Research Nat. Bureau Standards* 13, 1934, 237–244.

GRATUZE ET AL. 2002

B. Gratuze/I. Uzonyi/Z. Elekes/A. Z. Kiss/E. Mester., A study of Hungarian medieval glass composition. Preliminary results. In: E. Jerem/K. T. Biró/E. Rudner (Hrsg.), *Proceedings of the 31st International Symposium on Archaeometry* (Oxford 2002) 565–572.

HARTMANN 1994

G. Hartmann, Late-medieval Glass Manufacture in the Eichsfeld Region (Thuringia, Germany). *Chem. Erde* 54, 1994, 103–128.

HARTMANN/HERING 2004

H. Hartmann/T. Hering, Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: M. Härdlein/L. Eltrop/D. Thrän (Hrsg.), *Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe*. *Nachwachsende Rohstoffe* (Münster 2004) 29–48.

HENDERSON/WARREN 1983

J. Henderson/S. E. Warren, Analysis of prehistoric lead glass. In: A. Aspinall/S. E. Warren (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd Symposium on Archaeometry* (Bradford 1983) 168–180.

HULINSKY/ČERNÁ 2003

V. Hulinsky/E. Černá, Micronanalysis of early medieval glass beads and its importance in archaeological research. *Annales Congrès Association Intern. Histoire Verre* 15, 2003, 116–121.

JACKSON/SMEDLEY 2008

C. M. Jackson/J. W. Smedley, Medieval and post-medieval glass technology: seasonal changes in the composition of bracken ashes from different habitats through a growing season. *Glass Technology. Eur. Journ. Glass Scien. and Technology A* XLIX, 5, 2008, 240–245.

KAISER/SHUGAR 2012

B. Kaiser/A. Shugar, Glass analysis utilizing handheld X-ray fluorescence. In: A. N. Shugar/J. L. Mass (Hrsg.), *Handheld XRF for art and archaeology*. Stud. Arch. Scien. 3 (Leuven 2012) 449–470.

KATO ET AL. 2009

N. Kato/I. Nakai/Y. Shindo, Chemical composition of early islamic glass excavated in Raya, Egypt. *Annales Congrès Association Intern. Histoire Verre* 17, 2009, 274–280.

KAUFMANN 2010

V. Kaufmann, Archäologische Funde einer spätmittelalterlichen Glaserwerkstatt in Bad Windsheim. *Handwerk, Handel und Geschichte. Quellen und Materialien zur Hausforschung in Bayern* 14 (Bad Windsheim 2010).

KÖNIG ET AL. 2002

A. König/H.-G. Stephan/K. H. Wedepohl/G. Hartmann., Mittelalterliche Gläser aus Höxter (ca. 800 bis 1530) *Archäologie, Chemie und Geschichte. Neue Ausgrabungen und Forschungen in Niedersachsen* 23, 2002, 325–373.

KRUEGER 1987

I. Krueger, Die Glasfragmente aus einer Grube bei St. Quirin in Neuss. *Beiträge zur Archäologie des Rheinlandes* 27 (Bonn 1987) 271–291.

KUISMA-KURSULA/RÄISÄNEN 1999

P. Kuisma-Kursula/J. Räisänen, Scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometry and proton induced X-ray emission analyses of medieval glass from Koroinen (Finland). *Archaeometry* 41, 1999, 17–79.

KÜHNE 1960

K. Kühne, Beitrag zur Kenntnis mittelalterlicher Gläser. *Silikattechnik*, 11, 6, 1960, 260–262.

LOBBEDEY ET AL. 2008

U. Lobbedey/K. H. Wedepohl/A. Kronz, Neue Untersuchungen an romanischen Glasscheibenfragmenten aus dem Paderborner Dom. In: R. Bergmann (Hrsg.), *Studien zur Glasproduktion seit dem 12. Jahrhundert im östlichen Westfalen* (Münster 2008) 121–133.

MAUS/JENISCH 1999

H. Maus/B. Jenisch, Schwarzwälder Waldglas. Glashütten, Rohmaterial und Produkte der Glasmacherei vom 12.–19. Jahrhundert. *Alemannisches Jahrbuch* 17, 1997/1998, 325–524.

MECKING 2013A

O. Mecking, Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Bleiglasringen aus Erfurt, Trommsdorffstraße. Ein Beitrag zu Bleigläsern in Mittel- und Nordeuropa. *Alt-Thüringen* 2010/11, 42, 2013, 324–349.

MECKING 2013B

O. Mecking, Medieval Leadglass in Central Europe. *Archaeometry* 55, 2013, 640–662.

MECKING 2020

O. Mecking, Nachweis der Glasherstellung in Erfurt. *Alt-Thüringen*, 46, 2018/19, 99–104.

MEIWES/BEESE 1988

K. J. Meiwes/F. Beese, Ergebnisse der Untersuchung des Stoffgehaltes eines Buchenwaldökosystems auf Kalkstein. *Berichte des*

Forschungszentrums Waldökosysteme B 9, 1988, 1–141.

MÜLLER/BOCHYNEK 1989

W. Müller/G. Bochynek, Möglichkeiten der Altersabschätzung mittelalterlicher Gläser an Hand der chemischen Zusammensetzung. In: E. Drachenberg/M. Flügge (Hrsg.), *Neue Forschungen zur mittelalterlichen Glasmalerei in der Deutschen Demokratischen Republik Berlin* 1989, 19–27.

OLCZAK 1968

J. Olczak, Wytwórczość szklarska na terenie polski we wczesnym średniowieczu: studium archeologicznotechnologiczne, Zakad Narodowy im. Osslin'skich, (Wrocław 1968).

PANKIEWICZ ET AL. 2014

A. Pankiewicz/S. Siemianowska/K. Sadowski, Wczesnośredniowieczne naczynia szklane pochodzenia wschodniego z Wrocławia-Ostrowa Tumskiego i Opoła-Ostrówka. *Śląskie Sprawozdania Archeologiczne* 56, 2014, 191–206.

REHREN 2016A

T. Rehren, Appendix 3: The Church Windows from Reykholt. In: G. Sveinbjarnardóttir (Hrsg.), *Reykholt The Church Excavations* (Reykjavík 2016) 214–223.

REHREN 2016B

T. Rehren, Another order for glass. Or: how much glass does Pharaoh need? *Forsch. Ramses-Stadt* 10, 2016, 257–267.

REHREN/FREESTONE 2015

T. Rehren/I. C. Freestone, Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball. *Journ. Arch. Scien.* 56, 2015, 233–241.

RIEDERER 2000

J. Riederer, Die Berliner Datenbank von Metallanalysen kulturgeschichtlicher Objekte, 2. Objekte aus Kupferlegierungen des 17./18. Jahrhunderts, der Renaissance und des Mittelalters. *Berliner Beitr. Archäometrie* 17, 2000, 143–216.

ROBERTSHAW ET AL. 2010

P. Robertshaw/BenCo N/M. Wood/L. Dussubieux/E. Melchiorre/A. Ettahiri, Chemical analysis of glass beads from medieval Al-Basra (Marocco). *Archaeometry* 52, 2010, 355–379.

SABLEROLLES ET AL. 1997

Y. Sablerolles/J. Hernderson/W. Dijkman, Early medieval glass bead making in Maastricht (Jodenstraat 30), the Netherlands. An archaeological and scientific investigation. In: U. von Freeden/A. Wieczorek (Hrsg.), *Perlen. Archäologie, Techniken, Analysen* (Bonn 1997) 293–313.

SEDLÁČKOVÁ/ZAPLETALOVA 2012

L. Sedláčková/D. Zapletalova, Skleněné kroužky z Brna a problematika raně středověkého sklářství na Moravě. *Archeologické rozhledy* 64, 2012, 534–548.

SIEMIANOWSKA 2015

S. Siemianowska, Analiza zabytków szklanych i szklawionych z badań św. Idziego na Ostrowie Tumskim we Wrocławiu. In: A. Lisiewicz, A. Pankiewicz (Hrsg.), *In pago Silensi. Wrocławskie Studia Wczesnośredniowieczne i Kształtowanie się grodu na wrocławskim Ostrowie Tumskim. Badania przy ul. św. Idziego* (Wrocław 2015) 261–284.

SIX/MADER 1989

H. Six/K. H. Mader, Spätmittelalterliche Bleiglasherstellung in der Umgebung von Grünenplan im Hils. *Glastechn. Ber.* 12, 1989, N73–N75.

STEPHAN/WEDEPOHL 1997

H.-G. Stephan/K. H. Wedepohl, Mittelalterliches Glas aus dem Reichskloster und der Stadtwüstung Corvey. *Germania LXXV*, 2, 1997, 673–715.

STEUHUHN 1997

P. Steppuhn, Bleiglasperlen des frühen und hohen Mittelalters in Nordeuropa. In: U. von Freeden/A. Wieczorek (Hrsg.), *Perlen. Archäologie, Techniken, Analysen* (Bonn 1997) 203–209.

ULRICH 1989

D. G. Ulrich, Halbedelsteine und Glasfunde. *Berliner Beitr. Vor- und Frühgesch.*, 6, 1989, 57–99.

VELDE/MOTTEAU 2013

B. Velde/J. Motteau, Glass Compositions of the Merovingian Period in Western Europe. In: K. Janssens, *Modern methods for analysing archaeological and historical glass* (Chichester 2013) 387–397.

WAJDA 2013

S. Wajda, Rozdział IV Kultura materialna IV.9. Zabytki szklane i szklawione. In: J. Kalaga (Hrsg.), *Sutiejsk--gród z pogranicza polsko-ruskiego z X-XIII wieku: studium interdyscyplinarne = Sutiejsk--A 10th–13th century stronghold on the Polish-Ruthenian border: an interdisciplinary study* (Warszawa 2013) 93–103.

WATZKE 2004

B. Watzke, Materialwissenschaftliche Untersuchungen von Produktionseinrichtungen und Produkten der spätmittelalterlichen Glashütte Schönbuch. In: S. Frommer/A. Kottmann, *Die Glashütte Glaswasen im Schönbuch. Produktionsprozesse, Infrastruktur und Arbeitsalltag eines spätmittelalterlichen Betriebs*. *Tübinger Forsch. hist. Arch.* 1 (Büchenbach 2004), CD-Supplement, 119–250.

WEDEPOHL 1993

K. H. Wedepohl, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser (Mainz 1993).

WEDEPOHL 1998

K. H. Wedepohl, Mittelalterliches Glas in Mitteleuropa: Zusammensetzung Herstellung Rohstoffe (Göttingen 1998).

WEDEPOHL 2003

K. H. Wedepohl, Glas in Antike und Mittelalter. Geschichte eines Werkstoffs. Mit 29 Tabellen (Stuttgart 2003).

WEDEPOHL ET AL. 1995

K. H. Wedepohl/I. Krueger/G. Hartmann, Medieval lead glass from northwestern Europe. *Journ. Glass Stud.* 37, 1995, 65–82.

WEDEPOHL ET AL. 2011

K. H. Wedepohl/K. Simon/A. Kronz, Data on 61 chemical elements for the characterization of three major glass compositions in late antique and the middle ages. *Archaeometry* 53, 2011, 81–102.

WEDEPOHL/SIMON 2010

K. H. Wedepohl/K. Simon, The chemical composition of medieval wood ash glass from Central Europe. *Chemie der Erde. Geochemistry* 70, 1, 2010, 89–97.

WERNER 1977

O. Werner, Analysen mittelalterlicher Bronzen und Messinge. Arch. und Naturwiss. 1 (Bonn 1977) 144–220.

WULF 2003

D. Wulf, Zur Nutzungsgeschichte eines städtischen Randgebietes: Ergebnisse der Ausgrabungen Trommsdorffstraße und Meyfahrtstraße. In: M. Escherich/C. Misch/R. Müller (Hrsg.), Erfurt im Mittelalter. Neue Beiträge aus Archäologie, Bauforschung und Kunstgeschichte. Erfurter Stud. Kunst- und Baugesch. 1 (Berlin 2003) 9–30.

BILDNACHWEIS

Abb 1–2: Thüringisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie (TLDA), H. Arnold. – Abb. 3: TLDA, K. Bielefeld, O. Mecking. – Diagramme: TLDA O. Mecking.

ANSCHRIFT DES AUTORS

Dr. Oliver Mecking
Thüringisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie
Archäometrielabor
Humboldtstraße 11
99423 Weimar
oliver.mecking@tlda.thueringen.de

ZUSAMMENFASSUNG

In der Glaswerkstatt Trommsdorffstraße innerhalb der Stadtmauern Erfurts wurden hauptsächlich Finger-
ringe hergestellt, wobei der fehlende Befund von Glasöfen, die zu einer Schmelzung von Holz-Asche-Glas fähig gewesen wären, Rätsel aufgibt. Aufgrund überlieferter Schriftquellen und des archäologischen Befunds ergibt sich der Hinweis, dass hier Blei-
glas hergestellt wurde, welches entweder auf einer Sand-Blei-Basis oder auf einer Basis von Sand, Holzasche und Blei beruhen kann. Da Bleigläser niedrigere Schmelztemperaturen erfordern als Holz-Asche-Gläser, ist das Fehlen leistungsfähigerer Schmelzöfen erklärt. Eine neue Auswertung der Bestandteile europäischer Bleigläser ergab eine Unterscheidung zwischen mitteleuropäischem und slawischem Blei-Asche-Glas, die in ihrem Kalium-zu-Calcium-Verhältnis andere Werte aufweisen. Eine sorgfältige Analyse der Bestandteile der Glasringe ergab, dass nur etwa ein Drittel der vorliegenden Objekte aus der Werkstatt in der Trommsdorffstraße stammt.

ABSTRACT

The former glassworks located on Trommsdorff Street in Erfurt (State of Thuringia) mainly produced glass finger rings, though the fact that furnaces capable of melting wood ash glass have not been observed poses a riddle. Written sources provide evidence that this factory produced lead glass, which is made either of sand and lead or a combination of sand, wood ash, and lead. The fact that lead glass requires a lower melting temperature than wood ash glass explains the lack of more powerful furnaces. A new evaluation of the ingredients of European lead glass has revealed a difference between middle European and Slavic lead ash glass, the two of which differ in their respective proportion of potassium and calcium. A thorough analysis of the ingredients of the Erfurt glass rings provided proof that only about a third of the objects on hand originated from the Trommsdorff Street glassworks.