

# Analysen von Gläsern aus der frühkaiserlichen Glaswerkstatt von Aventicum (Schweiz)

Autor(en): **Amrein, Heidi / Burkhardt, Andreas / Stern, Willem B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de l'Association Pro Aventico**

Band (Jahr): **37 (1995)**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-245712>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Analysen von Gläsern aus der frühkaiserzeitlichen Glaswerkstatt von Aventicum (Schweiz)

Heidi Amrein, Andreas Burkhardt und Willem B. Stern

### Résumé

Lors de fouilles de sauvetage au cours des années 1989-1991, un atelier de verrier datant du milieu du 1<sup>er</sup> s. a été découvert sur le site d'Avenches. Cette trouvaille a permis d'attester pour la première fois à Avenches la fabrication de récipients en verre, en particulier de balsamares. L'atelier, constitué de quatre fours circulaires, dont le diamètre varie entre 0,50-0,65 m, et d'une aire de cuisson, ainsi que le dépotoir situé à une vingtaine de mètres ont livré des milliers de fragments de verre de couleurs différentes. Il s'agit de fragments de verre brut, de récipients et de divers déchets de travail.

Pour connaître la composition chimique du verre utilisé dans cet atelier, 41 fragments ont pu être analysés (fig. 4a-b; verre brut et verre soufflé provenant de l'atelier et du dépotoir).

Tous les fragments ont été soumis à une analyse non destructive ED-XFA (*energy dispersive X-ray fluorescence analysis*), en général à deux endroits de la surface. Vu que les surfaces du verre ont été lessivées dans le sol, le taux de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) se situe en-dessous de sa valeur réelle. C'est la raison pour laquelle un certain nombre des frag-

ments ont été également soumis à une analyse destructive WD-XFA (*wavelength-dispersive X-ray fluorescence*). La comparaison des résultats des deux méthodes d'analyse a permis d'évaluer un taux fixe de 15% de  $\text{Na}_2\text{O}$  qu'il faut prendre en considération pour les analyses non destructives (ED-XFA).

Les fragments presque incolores ou légèrement teintés de vert ont dû être fabriqués avec une matière première très pure. La couleur vert foncé est obtenue par l'adjonction de limailles de bronze et de fer. Le verre bleu est caractérisé par un taux de cuivre élevé. Le verre jaune présente de faibles taux de fer, de cuivre et de manganèse tandis que le verre couleur lie de vin est caractérisé par un taux de manganèse très élevé.

Il est intéressant de noter que le verre opaque (blanc, bleu clair) a été obtenu à l'aide d'antimoine, matière dont on connaît encore très peu les lieux d'extraction.

Tous les fragments appartiennent au groupe des verres sodiques (fondant sodique), typiques de l'époque romaine, et ils contiennent tous de la chlorite obtenue par l'adjonction de sel.

## Summary

During the emergency excavations of 1989-1991 in Aventicum (Avenches, western Switzerland) a Roman glass workshop, operational in the middle of the first century was detected. The site has been partially destroyed at the beginning of the third century by the construction of a large dwelling. The eastern part of the workshop has been damaged in modern times; the southern, probably untouched part, is situated below a modern road construction and could not be investigated in 1989-1991.

Four circular furnaces with a diameter of 0.5 to 0.65 m were found around a quadrangle which is interpreted as a cooling oven. The furnaces were used for glass making, i.e. recycling of glass, and production of glass ware. So far, no indication exists for a local raw glass production. Some 20 m east of the workshop a dump was detected containing remainings of ceramic crucibles, and several thousands of glass fragments (raw glass, waste, semi-finished ware, broken glass). This material is fairly well preserved, in contrast to the fragments from the workshop site which are mostly altered displaying an opalescent surface. The production covers mainly blown, coloured ware of restricted size. Yellow-opaque, seldom blue-opaque glass fibres and patches served as ornaments, as described in the catalogue of analyzed specimens.

A total of 41 fragments have been analyzed, 17 from the workshop area and 24 from the dump (fig. 2). The fragments were all analyzed by non-destructive ED-XFA (energy-dispersive X-ray fluorescence analysis) generally on two different surface areas (fig. 4a-b). Certain fragments were additionally investigated quantitatively by conventional wavelength-dispersive X-ray fluorescence (WD-XFA) in order to control the impact of leaching upon the analytical result obtained by non-destructive surface analysis (ED-XFA) (fig. 4 a-b). Since the leached, i.e. alkali-depleted and H<sub>2</sub>O-enriched surface layer has roughly the same thickness as the region from which the Na radiation (Na K $\alpha$ , 1,04 KeV) stems (around 1 to 2 micron), a non-destructive surface analysis may determine 0 to 2 wt.-% Na<sub>2</sub>O only, instead of the «true» 15 to 20% of the original sodium glass. If this sodium depletion is corrected by calculation, the analytical results of the other chemical main components are nearly the same for non-destructive ED-XFA and destructive, conventional WD-XFA.

Colourless and light green glass display low manganese and iron concentrations (fig. 3), whereas dark green fragments are rich in iron, but also in copper and tin, due probably to added bronze powder as a colourant. Certain raw glass from the dump and fragments from the workshop are chemically so similar that no argument exists against the statement that the former served as a base material for the latter.

Blue glass may contain cobalt at trace element levels, but its determination in presence of iron as a main component is difficult by means of ED-XFA. Again, certain fragments from the workshop are chemically similar to raw material from the dump site.

Wine-red glass is generally rich in manganese with Mn > Fe. The iron content of objects from the dump is generally higher than the one found in objects from the workshop. Barium is present in most of the analyzed fragments as a minor component.

Opaque glass (white and blue) contains typically antimony as a main constituent, Sb being the opacifying agent.

All glass fragments contain chlorine as a minor component which seems to be typical for Roman glass in general, in contrast to many celtic, medieval and modern glass objects analyzed so far. One may assume that the addition of 1 to 2% of salt (NaCl) belonged to a specifically Roman technology, salt serving as a medium to influence the viscosity of the glass melt.



## Archäologischer Befund<sup>1</sup>

### Einleitung

Die in den Jahren 1989-1991 in *Aventicum* durchgeführten Notausgrabungen erlaubten unter anderem die Entdeckung einer römischen Glaswerkstatt aus der Mitte des 1. Jhs.<sup>2</sup>

Die am nördlichen Abhang des Stadthügels gelegene Grabungszone *Derrière la Tour*, gehörte während der römischen Epoche zum nordwestlichen Stadtrand. Für den Bau eines herrschaftlichen Wohnkomplexes wurden anfangs 3. Jh. wichtige Terrassierungsarbeiten durchgeführt, welche die vorhergehenden Strukturen fast vollständig zerstörten. Nur einige der frühesten, unter einer ungefähr drei Meter hohen Auffüllungsschicht gelegenen Siedlungsspuren, unter anderem die Glaswerkstatt, blieben von diesen Terrassierungsarbeiten verschont<sup>3</sup>.

Der östliche Teil der Werkstatt wurde von einem modernen Eingriff zerstört; der südliche, sehr wahrscheinlich intakte Teil, liegt unter einer modernen Strasse und konnte während der Grabungskampagne 1989-1991 nicht freigelegt werden.

Die vier runden, etwa 20 cm in den Boden eingetieften Öfen (Durchm. 0.50 - 0.65 Meter) sind um eine viereckige Struktur angelegt, die als Kühlöfen interpretiert wird. Die Glasbläser verarbeiteten in diesen Öfen das wahrscheinlich importierte Rohglas zu verschiedenen, farbigen Kleingefässen. Bis jetzt fehlen jegliche Anhaltspunkte für eine lokale Rohglasherstellung.

Etwa 20 Meter östlich von dieser Werkstatt, in einer zu einem hölzernen Kanal führenden Rinne wurde eine grosse Menge von Glas gefunden; es handelt sich ohne Zweifel um eine zur Glaswerkstatt gehörenden Abfallhalde.

### Das Glasmaterial

Die Werkstatt und die Abfallhalde, aus welcher der grösste Teil des Glasmaterials stammt, haben tausende, meist sehr kleine Scherben geliefert: Fragmente von Gefässen, Röhrglas, Halbfabrikate, Abfallprodukte (Tropfen, Stäbchen, Röhrchen, Fäden, missratene Gefässe), sowie eine grosse Menge von zusammengesmolzenem Glas<sup>4</sup>. Die Glasfragmente aus der Abfallhalde haben fast ausnahmslos eine klare, glatte Oberfläche

und ihr Erhaltungszustand kann als sehr gut bezeichnet werden. Die Glasfragmente aus der Werkstatt haben zum grossen Teil eine leicht bis stark irisierte Oberfläche.

Rohglas, Fragmente von missratenen Gefässen sowie die Gleichartigkeit eines grossen Teils des Materials haben es erlaubt, die Produktpalette dieser Werkstatt zu identifizieren. Nur vereinzelt vorkommende Gefässfragmente (ohne entsprechende Abfallprodukte) wurden vorläufig als zum Wiedereinsmelzen bestimmtes Altglas interpretiert.

Bei den in der Werkstatt von *Aventicum* produzierten Gläsern handelt es sich hauptsächlich um geblasene, farbige Kleingefässe<sup>5</sup>. Für die Verzierungen (aufgesetzte Spiralfäden, geflecktes Glas und vielleicht von einem Stab abgeschnittene Nuppen) wurde vor allem weiss- und gelb-opakes, seltener hellblau-opakes Glas verwendet. Die meisten Glasfragmente sind von einigen wenigen Verunreinigungen sowie manchmal von kleinsten Blasen und/oder Schlieren durchsetzt.

In der Werkstatt hergestellte Glasgefässe:

- Kugelbehälter, sogenannte Schminkkugeln (Isings 10, AR 124)<sup>6</sup>, zum Teil mit Bleiunterlage oder mit plastisch aufgeschmolzenen vorallem weiss-opaken Spiralfäden.
- Vogelförmige Behälter (Isings 11, AR 123).
- Fläschchen mit gerundetem oder eingeroltem Rand nicht näher bestimmbar Typs mit kugeligem bis beutelförmigem Körper (Isings 6, 8, AR 125-129) und wahrscheinlich zum Teil mit spitzförmigem Boden (Isings 9).
- Formgeblasene pinien- oder traubenförmige Fläschchen (Isings 78c).
- Kleine Doppelhenkelflaschen - Amphoriken (AR 164).

Für andere Glasformen ist eine lokale Produktion wahrscheinlich:

- Grössere Doppelhenkelflaschen - Amphoriken (Isings 15, AR 165).
- Glatte wandige und vielleicht sogar gerippte bauchige Töpfe mit gefaltetem Vertikalrand (Isings 67b-c, AR 118.1-2).
- Trichter mit gerundetem Rand (Isings 74, AR 105).
- Saugheber (Isings 76, AR 106).
- Gefässe nicht näher bestimmbar Typs mit aufgesetzten Nuppen, die von einem Glasstab abgeschnitten wurden<sup>7</sup>.

1. J. MOREL, H. AMREIN, M.-F. MEYLAN et Ch. CHEVALLEY, Un atelier de verrier du milieu du 1er siècle apr. J.-C. à Avenches, *AS* 15.1, 1992, S. 2-17, mit zahlreichen Photos, Plänen und Zeichnungen.

2. Die Grabungen wurden von der Fondation Pro Aventico (FPA) und dem archäologischen Dienst des Kantons Waadt unter der Leitung von J. Morel (Monuments Historiques et Archéologie du canton de Vaud) durchgeführt; Ch. Chevalley übernahm die Leitung der Grabung der Glaswerkstatt.

3. Für einen vorläufigen Grabungsbericht cf. J. MOREL, Avenches, *Derrière la Tour* et insula 7. Fouilles 1989-1990. Bilan provisoire, *ASSPA* 74, 1991, S. 214-220.

4. MOREL/AMREIN *et al.* (Fussnote 1), S. 8-9, Fig. 12-14.

5. *Ibidem*, S. 10, Fig. 16.

6. Wir weisen im folgenden auf die von C. Isings (= Isings) und die von B. Rütli (= AR) erstellten Typologien für das römische Glas: C. ISINGS, *Roman Glass from Dated Finds*, Groningen, Djakarta, 1957; B. RÜTTI, *Die römischen Gläser aus Augst und Kaiseraugst*, (Forschungen in Augst, Bd. 13/1-2), Augst, 1991.

7. MOREL/AMREIN *et al.* (Fussnote 1), S. 13, Fig. 22.

Für die Analysen haben wir uns vor allem auf die verschiedenfarbigen Gefässe und entsprechende Rohglasfragmente beschränkt, sowie auf einige opake Glasfragmente. Es wurden jeweils Fragmente von der Glaswerk-

statt (in der Analysentabelle Fig. 4a-b mit «Werk» bezeichnet) sowohl als auch von der Abfallhalde (mit «Halde» bezeichnet) berücksichtigt.

## Katalog der analysierten Glasfragmente <sup>8</sup>

(siehe auch Fig. 4a-b)

### Farblos bis hellgrün erscheinendes Glas, durchscheinend <sup>9</sup>

1. WS von Fläschchen.
2. WS von Fläschchen.
3. WS von mittelgrossem Gefäss.
4. WS von Fläschchen.
5. WS von Schminkkugel (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlage (Metallanalyse).
- 6-9. Rohglasfragmente. Nr. 6 und 8 haben einen leicht gelblichen Farbton, Nr. 7 und 9 einen leicht bläulichen.
10. WS von Schminkkugel (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlage (Metallanalyse); blaugrüner Farbton.

### Dunkelgrünes Glas, durchscheinend

11. Rohglasfragment.
12. WS von Fläschchen.
13. Rohglasfragment.
14. WS von Fläschchen.
15. WS von Schminkkugel (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlage (Metallanalyse).

### Türkisblaues Glas, durchscheinend

16. Rohglasfragment ?

### Ultramarinblaues Glas, durchscheinend

17. Rohglasfragment.
18. WS von Rippenschale (Form Isings 3, AR 2), geformt.
19. WS von Fläschchen.
20. WS von mittelgrossem Gefäss.
21. Rohglasfragment.
22. WS von Fläschchen.

### Gelboranges, manchmal leicht bräunliches Glas, durchscheinend

23. Rohglasfragment, leicht bräunlich.
24. WS von Fläschchen.
25. WS von mittelgrossem Gefäss, leicht bräunlich. Auf der Innenseite weiss-opaker Ueberfang. Zwei Analysen: 25 AS = gelborange Aussenseite; 25 IS = weisse Innenseite.

26. Rohglasfragment, leicht bräunlich.
27. WS von traubenförmigem Fläschchen (Form Isings 78c), formgeblasen.
28. WS von Fläschchen, leicht bräunlich.
29. WS von Schminkkugel (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlage.
30. Zwei Werkstattabfälle von Schminkkugeln (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlagen (Metallanalysen). 2 Analysen: 30.1-2.

### Weinrotes Glas, durchscheinend

31. WS von Fläschchen.
- 32-33. Rohglasfragmente.
34. WS von Fläschchen.
35. WS von Schminkkugel (Form Isings 10, AR 124), mit Bleiunterlage (Metallanalyse).

### Weiss-opakes Glas

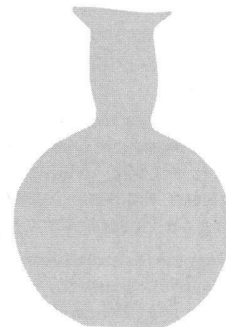
36. WS von Gefäss nicht näher bestimmbarer Form.
37. WS von Rippenschale (Form Isings 3, AR 2), geformt.
38. RS von Fläschchen mit eingerolltem Rand.

### Hellblau-opakes Glas

39. RS von halbkugeligem Becher mit abgesprengtem und überschliffenem Rand (Form Isings 12, AR 34).
40. WS von Gefäss nicht näher bestimmbarer Form aus farblos erscheinendem Glas, mit von rundem Stab abgeschmitteten aufgesetzten Nuppen aus hellblau-opakem Glas. 2 Analysen: 40.A = Gefässwand; 40.B = Nuppe.
41. Fragment von rundem Stäbchen.

8. WS = Wandscherbe; RS = Randscherbe; wenn nicht anders erwähnt, handelt es sich um freigeblasene Gefässe. Die Inventarnummer sowie der genaue Fundort (Werkstatt, Halde) sind in der Analysentabelle (Fig. 4a-b) erwähnt. Die Reihenfolge entspricht nicht typologischen, sondern chemischen Kriterien.

9. Es handelt sich um das in der Archäologie traditionellerweise als blaugrünes und/oder naturfarbendes benannte Glas; aufgrund der Analysenergebnisse (relative Reinheit des Rohstoffes usw., siehe S. 197) wird dieses Glas in dieser Studie mit farblos bis hellgrün bezeichnet. Das Fragment Nr. 10 hat einen starken blaugrünen Farbton, gehört aber chemisch zu der oben erwähnten Gruppe und nicht zu den ultramarinblauen Gläsern.



## Zur Analyse der Glasobjekte

### Einleitung

O bwohl Glas aus lediglich zwei Rohmaterialien hergestellt werden kann, nämlich z.B. aus zwei Dritteln Quarz-Feldspatsand und einem Drittel Soda als Flussmittel, besteht römisches Glas in der Regel aus 5 bis 15 chemischen Haupt- und Nebenkomponten. Ein Teil stammt aus den verwendeten und natürlicherweise «verunreinigten» Rohmaterialien, ein anderer widerspiegelt die Technologie der Glasbereitung, indem je nach gewünschten Glaseigenschaften den Rohmaterialien stabilisierende, färbende oder entfärbende Komponenten beigegeben wurden<sup>10</sup>.

Die chemische Analyse kann demzufolge Aufschluss geben über die Natur der verwendeten Rohmaterialien und in seltenen Fällen über deren Herkunft, aber auch über die Herstellungstechnologie, sowie unter Umständen über die Zugehörigkeit und vor allem Nicht-Zugehörigkeit von Glasfragmenten zu bestimmten Objekten oder Objektgruppen.

### Analytik

Römisches Glas ist seit den Anfängen der Silikatanalytik im ausgehenden 18. Jh. untersucht worden, wobei aus einleuchtenden Gründen archäologisch bedeutsame oder kostbare Stücke nicht analysiert wurden, war doch die klassische nass-chemische Silikatanalyse bis gegen Ende des 20. Jhs. ein destruktiver Prozess. Wohl können seit etwa 1960 mittels instrumenteller Methoden quantitative Analysen an sehr kleinen Probenmengen (typischerweise einigen Milligrammen) vorgenommen werden, aber leider besteht zwischen Probenmenge und Repräsentativität der Analyse eine enge Beziehung. Bei heterogenen Untersuchungsobjekten ist die Repräsentativität / Aussagefähigkeit eines analytischen Ergebnisses umso geringer, je kleiner das analysierte Probenvolumen ist. Dieser Sachverhalt wird bei archäometrischen Arbeiten oft nicht genügend berücksichtigt.

Es sind aber immer wieder Versuche unternommen worden, zerstörungsfreie Analysemethoden zu entwickeln, um die archäometrische Untersuchung nicht auf qualitativ minderwertige Stücke beschränken zu müssen<sup>11</sup>.

Zerstörungsfrei im engeren Wortsinne ist eine Analysemethoden, wenn weder die Probenvorbereitung, noch die Analyse selbst am Untersuchungsmaterial feststellbare

Veränderungen hinterlässt. Während die für viele chemische Elemente äusserst empfindliche Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) in gewissen Fällen eine länger andauernde Radioaktivität hinterlassen kann, die klassische wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-XFA) bei Glas und Edelsteinen zu drastischen Verfärbungen führt, ist die energiedispersive XFA (ED-XFA) als tatsächlich zerstörungsfrei anzusprechen. Falls das Untersuchungsobjekt stofflich homogen ist, ebene Oberflächenbereiche aufweist und seine Grösse gewisse Dimensionen nicht übersteigt (maximal ca. 10 x 20 x 10 cm) ist die ED-XFA die analytische Methode der Wahl.

Da die ED-XFA eine verhältnismässig junge Methodik ist, hat sie zwar in der industriellen Anwendung grössere Verbreitung gewonnen, aber noch nicht in alle Lehrbücher Eingang gefunden<sup>12</sup>.

Römisches Glas ist infolge der langdauernden Bodeneinlagerung in der Regel korrodiert. Von Auge erkennbar ist dies oft (aber nicht immer) durch eine irisierende und gelegentlich fein schuppig abblätternde Oberfläche. Ursache ist das Herauslösen von Alkalien, namentlich Na<sub>2</sub>O, aus den oberflächennahen Bereichen und die Einlagerung von Wasser in diese Bereiche.

Da die bei der XFA verwendeten Röntgenlinien in Abhängigkeit der Ordnungszahl und der Probenzusammensetzung aus recht unterschiedlichen Tiefen des Untersuchungsobjektes stammen (in silikatischem Material 1 bis 2 Mikrometer für Natrium, 1 bis 2 Millimeter für Zirkon) können Auslaugungserscheinungen zu einer Veränderung der analytischen Informationen führen, wenn die unveränderte Materialoberfläche zerstörungsfrei untersucht wird. Bei der Auswertung der Analyseergebnisse ist diesem Sachverhalt entsprechend Rechnung zu tragen.

Im Falle der Gläser aus Aventicum war es möglich, von elf Objekten der Abfallhalde sowohl destruktive, den mittleren Chemismus quantitativ wiedergebende Analysen mittels WD-XFA, als auch zerstörungsfreie ED-XF Analysen (Fig. 2) vorzunehmen. Während die ED-XFA im Rahmen der analytischen Zuverlässigkeit an frischen Bruchflächen diesselben Ergebnisse liefert wie die destruktive Durchschnittsanalyse (WD-XFA), zeigt die direkte Oberflächenanalyse (ED-XFA) von unbehandelten Oberflächen erwartungsgemäss sehr viel tiefere Natriumkonzentrationen, da die ausgelaugte oberflächennahe Schicht ungefähr mit dem Tiefenbereich übereinstimmt, aus dem die Na-Röntgenstrahlung stammt. Da die Analysensumme einem Total von 100 Gew.-% entspricht, sind in diesem Fall die übrigen Elemente scheinbar um

10. W. B. STERN, The Composition of Roman Glass, *Ann. 11th Congr. Intern. Assoc. Hist. Glass (AIHV)*, Amsterdam, 1990, S. 37-41.

11. U. NAEF, *Archäometrische Untersuchungen am römischen Silberschatz von Kaiseraugst*, Diss. Basel, Schwabe, Muttenz, 1984; N. R. U. GMÜR BRIANZA, *Chemische Untersuchungen an römischen Gläsern aus Muralto, Vindonissa und Eretria*, Diss. Basel, Reinach, 1990.

12. P. G. POTTS, *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Blackie, Glasgow, 1992.

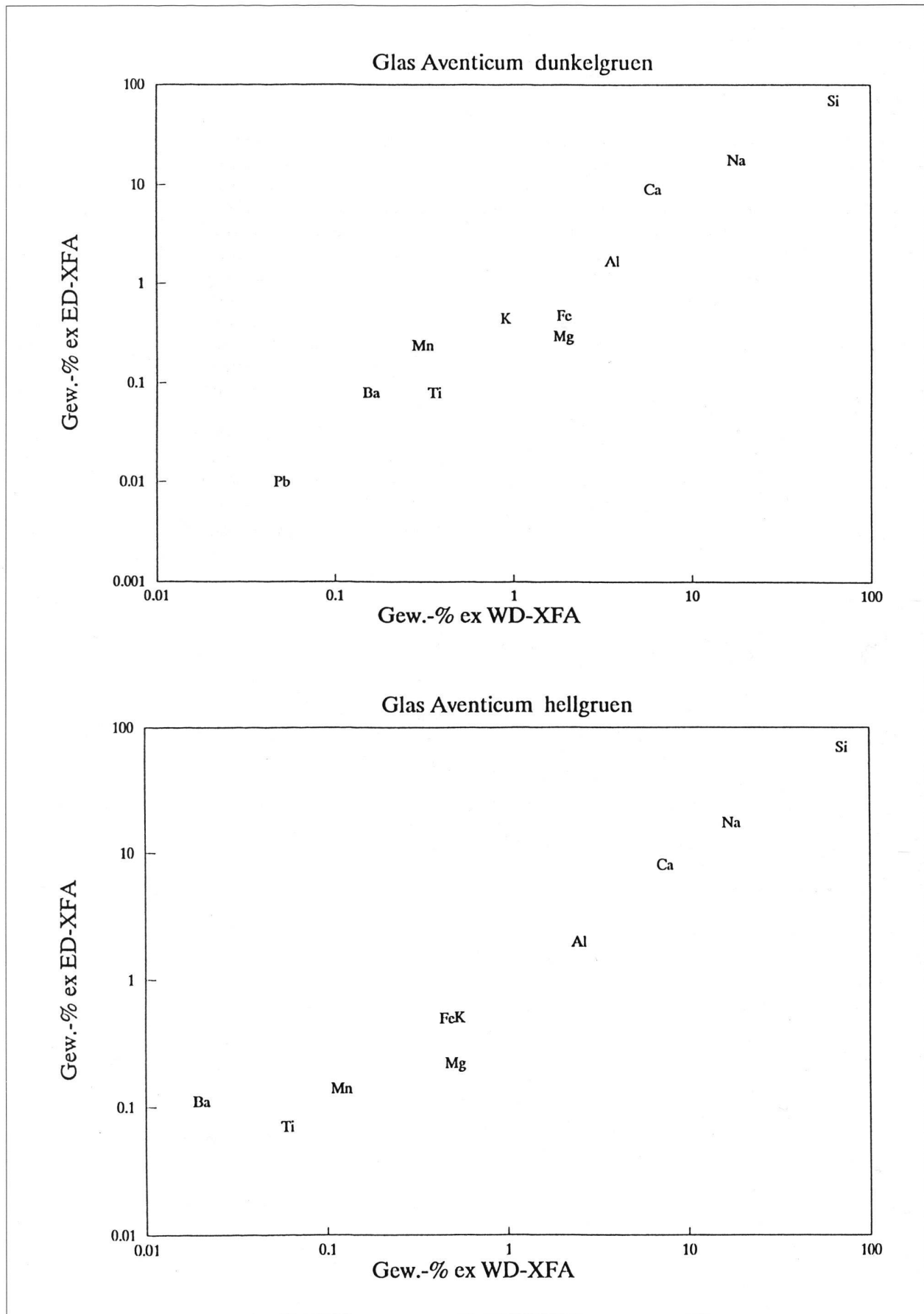


Fig. 1a. Chemische Hauptkomponenten der dunkelgrünen und der hellgrünen Gläser.

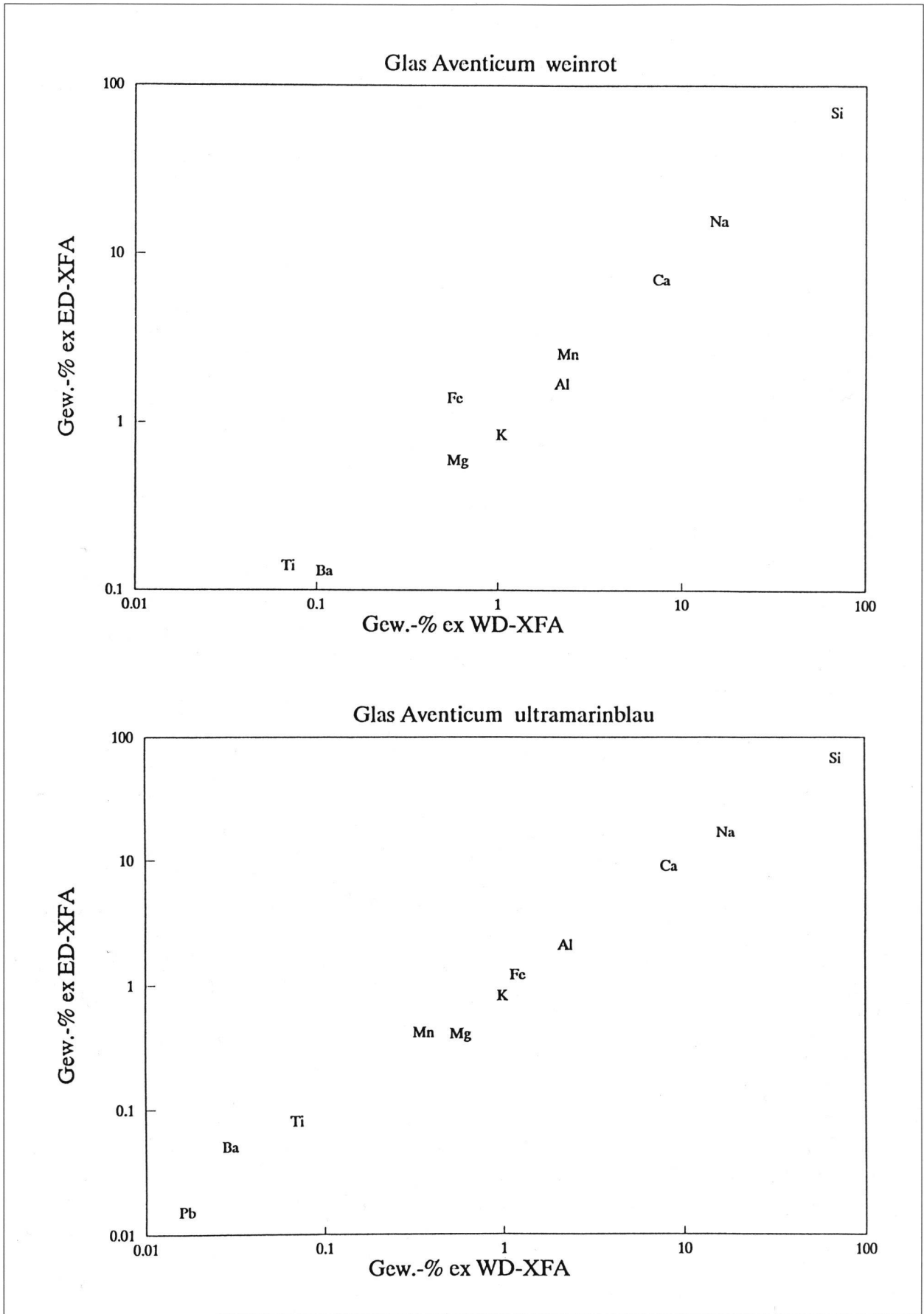


Fig. 1b. Chemische Hauptkomponenten der weinroten und der ultramarinblauen Gläser.



rund 15% angereichert, wenn der ursprüngliche  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt in der Grössenordnung von 15 Gew.-% liegt.

Wird das durch Auslaugung entfernte Natrium rechnerisch durch Angleich an den mittels WD-XFA erfassten  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt angeglichen, so zeigen alle chemischen Hauptkomponenten eine gute Übereinstimmung (Fig. 1a-b). Hieraus ist zu schliessen, dass die zerstörungsfreie Oberflächenanalyse mittels ED-XFA den Glaschemismus richtig wiedergibt, falls der Na-Auslaugung Rechnung getragen wird.

## Material

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden 41 Objekte, meist an zwei verschiedenen Stellen zur Prüfung der Homogenität, mittels zerstörungsfreier ED-XFA, sowie 11 davon mittels quantitativer WD-XFA destruktiv analysiert (Fig. 4-5). Insgesamt kamen auf diese Weise 82 ED-XF Analysen zusammen, von denen jede eine grössere Anzahl chemischer Elemente umfasste. Die Stücke verteilen sich auf einzelne Farbgruppen in folgender Weise (Fig. 2):

	farblos	h. grün	d. grün	blau	gelb	w. rot	weiss	andere
Werkstatt								
- Rohglas	-	2	1	1	1	1	-	-
- Glasbruch	3	-	1	2	2	1	2	-
Halde								
- Rohglas	-	2 (2)	1 (1)	2 (1)	2 (1)	1 (1)	-	1
- Glasbruch	2 (1)	-	2 (1)	1 (1)	3 (1)	2 (1)	1	4
Total: 41	5	4	5	6	8	5	3	5

Fig. 2. Anzahl der Glasanalysen nach Farbgruppen und Fundort. Zahl ohne Klammer: Total Analysen. Zahl in Klammer: Anzahl der WD-XF Analysen.

## Befunde

Generell ist festzustellen, dass alle untersuchten Objekte zur Hauptgruppe der Kalk-Natrongläser<sup>13</sup> gehören. Alle enthalten überdies Chlor als Nebenkomponekte, wie dies für römisches Glas durchaus typisch ist. Ältere Analysen aus der Literatur vermitteln ein etwas anderes Bild, indem Chlor früher in der Regel nicht erfasst wurde, bzw. mit bestimmten Methoden - z.B. AAS - nicht bestimmt werden kann.

Die untersuchten Gläser der Abfallhalde erscheinen durchwegs weniger ausgelaugt zu sein als jene der Werkstatt. Es ist zu vermuten, dass dies mit lokal unterschiedlicher Wasserzirkulation zu tun haben dürfte.

Alle Gläser enthalten  $\text{Al}_2\text{O}_3$  als chemische Hauptkomponente, was auf die Verwendung von Feldspat-haltigem Sand zurückzuführen sein dürfte. Unter der Annahme eines silikatischen Sandes mit 85% Quarz und 15% Feldspat (z.B. Sanidin, Ortoklas) ergäbe dies rund 2.5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 2%  $\text{K}_2\text{O}$ . Bei Anwesenheit von Albit als Feldspat würde anstelle von  $\text{K}_2\text{O}$  eine entsprechende Menge  $\text{Na}_2\text{O}$  in die Glasschmelze eingebracht.

Natürlich wäre es wünschenswert gewesen, von jeder Untergruppe eine grössere Anzahl Individuen zu erfassen, um eine statistische Absicherung der Aussage zu ermöglichen. Der damit einhergehende analytische Aufwand erlaubte diese Vorgehensweise im Rahmen dieser Studie leider nicht.

Im Gegensatz zu manchen mittelalterlichen Gläsern wurde auch bei diesen römischen Gläsern in keinem Fall Phosphor als Haupt- oder Nebenkomponekte nachgewiesen; die Verwendung von Knochenasche als Kalziumlieferant kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Einige Gläser wurden nachweislich mit Blei hinterlegt (Fig. 5 mit Metallanalysen zu Nr. 5, 10, 15, 29, 30, 35). Diese Proben weisen auch im Glas erhöhte Pb-Gehalte auf. Dies dürfte aber als analytisches Artefakt zu deuten sein, indem die harte, von der Bleiauflage stammende Pb-Strahlung die dünne Glaswand durchdringt und dort mitregistriert wird. Die Analyse der metallisierten Rückseite ergab, dass die metallische Schicht zu über 95% aus Blei besteht<sup>14</sup>.

Unter den elf mittels WD-XFA quantitativ untersuchten Objekte liegen von vier Farbgruppen sowohl Rohglasproben vor, als auch Fragmente von geblasenem Glas («Glasbruch»). Bei drei Farbgruppen - dunkelgrün, gelborange, weinrot - besteht eine weitgehende chemische

13. M. A. BEZBORODOV, *Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser*, Mainz, 1975; H. SCHOLZE, *Glas. Natur, Struktur und Eigenschaften*, 2. Aufl., Berlin, 1964.

14. In der Abfallhalde sowie bei einem der Oefen wurden flache bleiartige Ringlein (Diam. ca. 0.7 cm) gefunden; die Vermutung, dass sie für die Bleiunterlage gebraucht worden wären, konnte nicht bestätigt werden, da die Ringlein eine andere chemische Zusammensetzung aufweisen als die Bleiunterlage.

Ähnlichkeit zwischen Rohglas und Glasbruch, bei den blauen Stücken hingegen nicht. Hieraus darf geschlossen werden, dass zwischen Rohglas und Glasbruch bei den ersten drei Farbgruppen ein Zusammenhang bestehen

kann (aber nicht muss), bei den untersuchten blauen Gläsern aber das geblasene Glas nicht direkt vom Rohglas stammt.

Im Einzelnen ist folgendes festzustellen (vgl. Fig. 3):

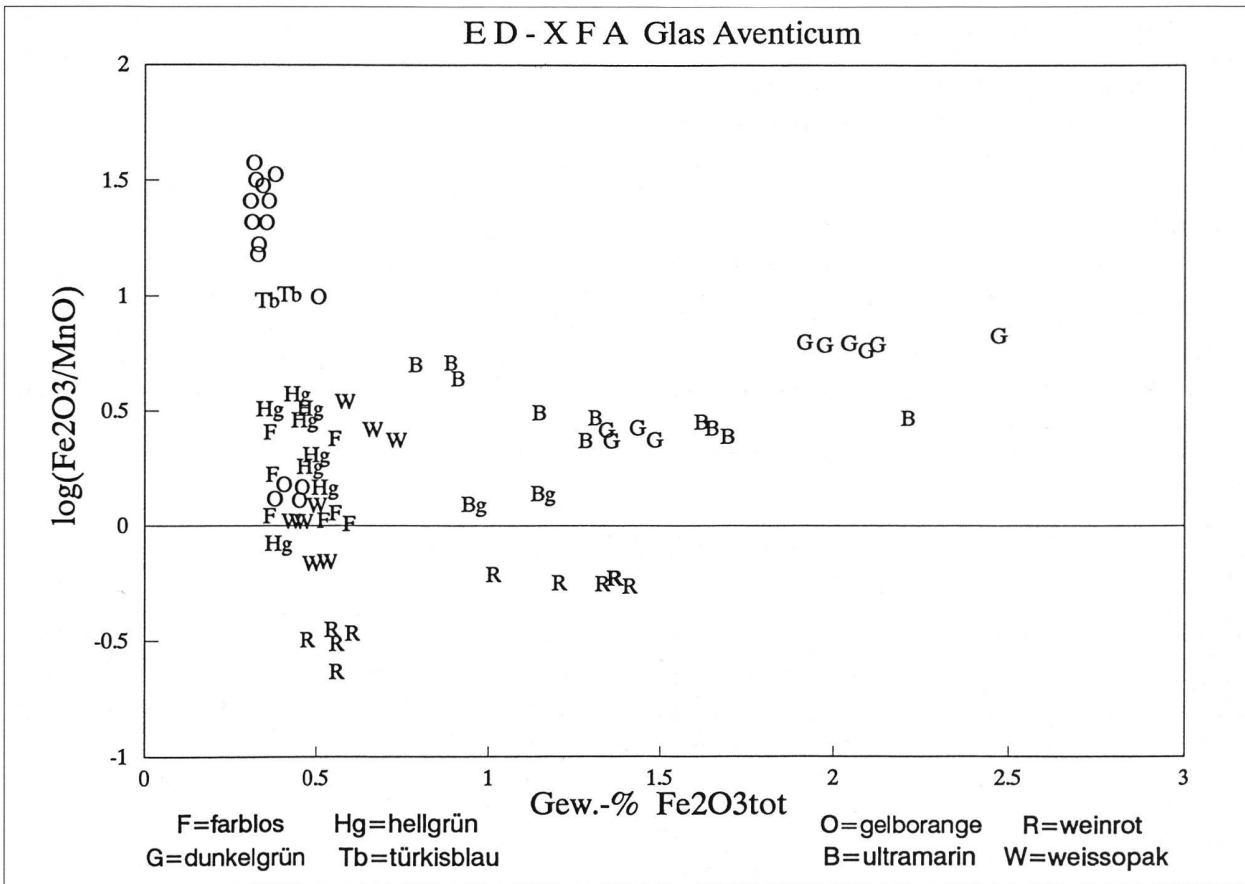


Fig. 3. ED-XFA Analysen.

Farbloses Glas und hellgrünes Glas<sup>15</sup> (Nr. 1-9 und Nr. 40.A). Die grosse stoffliche Ähnlichkeit dieser beiden Gruppen legt den Schluss nahe, dass es sich um dasselbe Material handelt und der unterschiedliche Farbton lediglich von der jeweiligen Dicke des Fragments abhängt. Der Eisengehalt ist gering (0,4 bis 0,6% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), während Mangan in insgesamt etwas kleineren Konzentrationen vorliegt (0,2 bis 0,6% MnO). Hieraus ist zu schliessen, dass die fehlende Färbung weniger einem oxidierenden Zuschlag zuzuschreiben ist als der relativen Reinheit des verwendeten Rohmaterials, worauf auch der tiefe Gehalt an Spurenelementen hinweist.

Blaugrünes Glas (Nr. 10). Das einzige Stück dieser Gattung weist einen erhöhten Eisen-, Mangan- und Kupfergehalt auf.

Dunkelgrünes Glas (Nr. 11-15). Der Eisengehalt ist rund dreimal höher als im farblosen/hellgrünen Glas (1,3 bis 2,5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Alle Fragmente enthalten Kupfer als Haupt-, sowie Zinn als Nebenkompente. Deshalb ist anzunehmen, dass die Grünfärbung durch Zugabe von Bronzepulver (Cu90 Sn10) erzielt worden ist. Rohglas

F	farblos	G	dunkelgrün
Hg	hellgrün	Tb	türkisblau
O	gelborange	B	ultramarin
R	weinrot	W	weissopak

und Glasbruch aus der Werkstatt sind nicht nur einander ähnlich, sondern entsprechen auch den Objekten aus der Halde, so dass hier von einem einheitlichen und möglicherweise auch zueinander gehörigen Glas gesprochen werden kann.

Der CaO-Gehalt ist insgesamt etwas tiefer, der MgO-Gehalt hingegen höher als beim farblosen Glas (Fig. 5). Möglicherweise wurde hier als Stabilisator anstelle von Kalk oder Marmor ein dolomitischer Kalk verwendet.

Blaue Gläser (türkis, ultramarin) (Nr. 16-22). Die Eisen- und Mangangehalte entsprechen jenen des farblosen/hellgrünen Glases (Nr. 1-9), streuen aber stärker. Kupfer ist Nebenkompente und im türkisblauen Glas (Nr. 16) Hauptkomponente wie bei den dunkelgrünen Gläsern. Kobalt dürfte allgemein als Nebenkompente oder Spurenelement anwesend sein, liegt aber in der Nähe der analytischen Nachweisgrenze der ED-XFA für dieses

15. Siehe Bemerkung (Fussnote 9).

Element (0.1% in Anwesenheit von Fe als Hauptkomponente). Antimon ist als Spurenelement vertreten mit Ausnahme der Objekte Nr. 17 und Nr. 20, wo es Nebenkomponente ist. In diesem Fall ist Rohglas aus der Werkstatt (Nr. 17) stofflich dem Glasbruch (Nr. 20) der Halde sehr ähnlich. Ob diese Ähnlichkeit auch eine Zusammengehörigkeit bedeutet, indem beispielsweise aus dem blauen Rohglas der Werkstatt Gläser geblasen worden wären, die dann als Abfall auf die Halde gekommen wären, kann nicht mit Sicherheit belegt werden.

*Gelboranges Glas* (Nr. 23-30). Der Eisengehalt entspricht jenem der farblosen/hellgrünen Gläser, während der Mangangehalt bei den Stücken Nr. 25-30 besonders tief liegt. Der Spurengehalt ist gesamthaft tief, abgesehen von Antimon in Objekt Nr. 25, das eine Sb-reiche, weisse Auflage trägt.

*Weinrotes Glas* (Nr. 31-35). Die fünf untersuchten Gläser zeichnen sich alle durch einen hohen Mangangehalt aus (Mittelwert 2% MnO), der deutlich über jenem des Eisens liegt (Mittelwert 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Barium ist in den meisten Stücken Nebenkomponente. Die weinroten Gläser der Halde scheinen sich durch ihre höhere Eisenkonzentration von den beiden Stücken der Werkstatt abgrenzen zu lassen.

*Weiss- und hellblau-opake Gläser* (Nr. 36-41). Bei allen drei weiss-opaken (Nr. 36-38 sowie Nr. 25.IS) und den drei hellblau-opaken Gläsern (Nr. 39-41) handelt es sich um Antimonglas, wobei Sb für die Streuung des Lichtes, bzw. die Opazität verantwortlich sein dürfte. Der Eisengehalt ist gering und liegt bei den Objekten Nr. 37-38 in der Grössenordnung des Mangans. Der bläuliche Farbton der hellblau-opaken Fragmente dürfte mit dem erhöhten Kupfergehalt dieser Stücke zusammenhängen. Die hellblau-opaken Nuppen (Nr. 40.B) auf dem farblosen Glas (Nr. 40.A) zeigen die gleiche chemische Zusammensetzung wie das Glasstäbchen (Nr. 41), so dass seine Verwendung als Rohmaterial für das Aufbringen der Nuppen auf farbloses Glas naheliegt.

Antimon ist als Trübungsmittel seit zweieinhalb tausend Jahren bekannt, obwohl Antimongläser selten sind und in der Analysensammlung von Bezborodov<sup>16</sup> kein einziges römisches Antimonglas aufgeführt ist. Aus eigenen, unpublizierten Analysen keltischer Glasarmreife geht indessen hervor, dass Antimon in der Antike ein weit verbreiteter Zusatz gewesen sein muss und nicht nur zur Herstellung opaker Gläser verwendet wurde.

Die archäologischen und chemischen Untersuchungen der frühkaiserzeitlichen Gläser aus *Aventicum* bestätigen das bekannte Bild von Analysen römischer Gläser. Aufgrund der archäologischen Befundsituationen von Glaswerkstatt und Abfallhalde zeigt sich aber zugleich ein differenziertes Bild, das material- und bodenspezifisch bedingt ist.

Einzelne Materialgruppen lassen sich nach Farben unterscheiden. Der optische Eindruck kann bestätigt oder modifiziert werden wie z. B. bei den sogenannten farblosen und hellgrünen Gläsern. Diese Gläser zeigen sehr tiefe Kupfergehalte, die teilweise unter der analytischen Nachweisgrenze liegen. Ihr schwacher kaum erkennbarer Farbton weist auf eine relative Reinheit des Rohmaterials hin. Die Zugabe von Bronze- und Eisenspänen sowie Magnesium bewirkt eine dunkelgrüne Färbung. Das gelborange Glas ist durch einen tiefen Eisen- Kupfer- und Mangangehalt charakterisiert, während weinrotes Glas sich durch die höchsten Mangangehalte unter allen Gläsern auszeichnet.

Von ganz besonderem Interesse sind die weiss- und hellblau-opaken Gläser, die durch sehr hohe Antimongehalte gekennzeichnet sind. Aufgrund der Verwendung von Antimon stellen sich auch neue rohstoffspezifische Fragen, die Gewinnung, Handel und Verbreitung von Antimon in römischer Zeit betreffend und durch weitere Studien abzuklären sind.



16. Siehe BEZBORODOV 1975 (Fussnote 13), Abb. 43.



NR.	INV.-NR.	FARBE	FUND-STELLE	OBJEKT	ED-XFA	ST02	AL203	FE203	MNO	MGO	CAO	MA20	K20	T102	SO3	CL	CUO	AS203	PBO	SB203	BAO	SNO
						%	%	%	%	%	%	ftx	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
23	8253-10	GELBORANGE	WERK	ROHGLAS	BRUCHK.	71.6	2.3	0.46	0.33	0.5	8.0	15.0	0.4	0.09	0.22	0.88	0.061	0.035	0.000	0.000	0.063	0.000
23	8253-10	GELBORANGE	WERK	ROHGLAS	BRUCHK.	71.7	2.9	0.38	0.29	0.2	7.9	15.0	0.5	0.07	0.04	0.86	0.000	0.000	0.007	0.000	0.050	0.001
24	8257-15	GELBORANGE	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	72.3	2.8	0.40	0.28	0.3	8.2	15.0	0.9	0.07	0.03	0.61	0.000	0.000	0.000	0.001	0.028	0.000
24	8257-15	GELBORANGE	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	71.6	2.2	0.44	0.31	0.4	8.2	15.0	0.5	0.07	0.36	0.92	0.000	0.058	0.015	0.000	0.005	0.000
25-AS	8255-14	GELBORANGE	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	63.7	3.0	0.51	0.05	0.5	14.1	15.0	1.0	0.10	0.68	0.59	0.024	0.000	0.008	0.009	0.066	0.000
26	8248-375	GELBORANGE	HALDE	ROHGLAS	BRUCHK.	72.6	2.2	0.34	0.01	0.2	7.6	15.0	0.5	0.05	0.08	0.67	0.263	0.218	0.000	0.000	0.095	0.002
26	8248-375	GELBORANGE	HALDE	ROHGLAS	KERN	73.2	2.3	0.34	0.01	0.1	7.8	15.0	0.5	0.07	0.02	0.62	0.000	0.000	0.000	0.002	0.055	0.000
27	8248-387	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.9	1.9	0.31	0.02	0.1	7.7	15.0	0.6	0.06	0.17	0.72	0.136	0.079	0.077	0.000	0.028	0.001
27	8248-387	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.1	2.1	0.38	0.01	0.2	8.5	15.0	0.6	0.07	0.15	0.58	0.008	0.194	0.032	0.000	0.033	0.002
28	8248-379	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.6	2.4	0.34	0.01	0.2	7.9	15.0	0.6	0.06	0.00	0.72	0.079	0.000	0.000	0.000	0.023	0.001
28	8248-379	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.3	2.7	0.35	0.02	0.2	7.8	15.0	0.7	0.09	0.00	0.67	0.086	0.010	0.000	0.000	0.036	0.000
29	8248-386	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.7	2.1	0.33	0.02	0.2	8.0	15.0	0.6	0.05	0.00	0.73	0.150	0.000	0.105	0.000	0.008	0.001
29*	8248-386	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	71.6	2.1	0.33	0.02	0.3	8.1	15.0	0.6	0.07	0.00	0.69	0.010	0.000	1.229	0.000	0.000	0.000
30.1*	8248-390	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	71.4	2.0	0.32	0.01	0.3	8.1	15.0	0.7	0.07	0.02	0.69	0.036	0.000	1.219	0.000	0.060	0.003
30.2*	8248-390	GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.7	2.2	0.33	0.01	0.2	7.6	15.0	0.8	0.07	0.06	0.71	0.027	0.000	0.259	0.000	0.016	0.001
31	8254-21	WEINROT	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	70.4	1.9	0.55	1.55	0.6	8.0	15.0	0.9	0.11	0.21	0.30	0.085	0.151	0.038	0.023	0.076	0.001
31	8254-21	WEINROT	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	70.1	1.9	0.56	1.56	0.3	8.3	15.0	1.0	0.12	0.09	0.36	0.011	0.000	0.193	0.031	0.214	0.000
32	8253-11	WEINROT	WERK	ROHGLAS	BRUCHK.	69.5	1.9	0.57	1.73	0.5	8.6	15.0	0.7	0.14	0.24	0.51	0.000	0.142	0.000	0.008	0.462	0.000
32	8253-11	WEINROT	WERK	ROHGLAS	BRUCHK.	70.1	1.9	0.48	1.49	0.3	8.2	15.0	0.9	0.10	0.03	0.45	0.109	0.000	0.027	0.003	0.261	0.001
33	8248-376	WEINROT	HALDE	ROHGLAS	BRUCHK.	71.5	1.9	1.02	1.65	0.4	6.6	15.0	0.8	0.12	0.05	0.56	0.183	0.000	0.000	0.000	0.287	0.003
33	8248-376	WEINROT	HALDE	ROHGLAS	BRUCHK.	67.0	2.0	0.56	2.41	0.5	8.2	15.0	0.8	0.11	0.21	0.52	0.402	0.000	0.053	0.006	0.577	0.002
34	8248-380	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.7	1.6	1.41	2.59	0.6	7.1	15.0	0.9	0.15	0.10	0.50	0.090	0.128	0.000	0.000	0.138	0.001
34	8248-380	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	71.2	1.8	1.21	2.15	0.3	6.5	15.0	0.8	0.13	0.21	0.55	0.000	0.007	0.025	0.002	0.121	0.000
34	8248-380	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	70.3	1.5	1.34	2.39	0.3	7.1	15.0	0.9	0.14	0.00	0.54	0.075	0.000	0.000	0.000	0.109	0.000
35	8248-385	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.9	1.5	1.37	2.32	0.3	6.6	15.0	0.8	0.13	0.24	0.54	0.065	0.000	0.822	0.000	0.139	0.016
35*	8248-385	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.6	1.7	1.37	2.32	0.3	6.5	15.0	0.8	0.14	0.16	0.47	0.095	0.000	1.032	0.000	0.088	0.011
36	8254-27	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	60.7	1.8	0.73	0.31	0.2	8.7	15.0	0.6	0.22	0.66	0.26	0.000	0.469	0.028	10.33	0.003	0.000
36	8254-27	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	65.1	1.8	0.60	0.25	0.3	8.6	15.0	0.6	0.22	0.01	0.23	0.000	0.056	0.006	7.10	0.072	0.000
37	8254-7	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	BRUCHK.	56.6	1.8	0.50	0.43	0.5	7.2	15.0	0.5	0.15	0.15	0.17	0.103	0.000	0.035	16.71	0.123	0.000
37	8254-7	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	BRUCHK.	58.9	1.8	0.46	0.45	0.0	7.8	15.0	0.5	0.20	0.17	0.18	0.040	0.042	0.000	14.33	0.043	0.000
37	8254-7	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	SCHLIFF	64.5	1.5	0.44	0.42	0.1	6.9	15.0	0.6	0.14	0.52	0.24	0.000	0.000	0.000	9.25	0.020	0.003
38	8248-345	WEISSOPAK	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	54.7	2.3	0.53	0.76	0.5	7.6	15.0	0.7	0.20	0.32	0.31	0.089	0.000	0.052	16.77	0.174	0.000
38	8248-345	WEISSOPAK	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	58.3	2.3	0.49	0.72	0.5	8.0	15.0	0.7	0.20	0.46	0.39	0.000	0.000	0.064	12.27	0.097	0.014
25.1S	8255-14	WEISSOPAK	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	61.3	2.7	0.53	0.16	0.2	7.2	15.0	0.9	0.18	0.47	0.44	0.000	0.000	0.017	10.37	0.141	0.000
39	8248-359	HELLBLAUOPAK	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	63.6	2.2	1.14	0.43	0.4	7.9	15.0	0.7	0.16	0.31	0.34	0.156	0.152	0.000	7.13	0.048	0.000
39	8248-359	HELLBLAUOPAK	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	65.5	1.7	1.05	0.44	0.5	7.7	15.0	0.7	0.17	0.51	0.35	0.137	0.044	0.000	6.11	0.038	0.005
40.B	8248-388	HELLBLAUOPAK	HALDE	NUPPE	OBERFL.	62.7	2.3	1.16	0.53	0.5	8.3	15.0	0.9	0.16	0.60	0.33	0.204	0.076	0.011	6.95	0.146	0.000
40.B	8248-388	HELLBLAUOPAK	HALDE	NUPPE	OBERFL.	58.5	2.5	1.49	0.57	0.3	8.1	15.0	0.9	0.16	0.74	0.41	0.120	0.000	0.017	10.93	0.188	0.011
41	8248-389	HELLBLAUOPAK	HALDE	STAB	OBERFL.	54.8	3.7	1.22	0.55	0.3	6.7	15.0	0.9	0.17	0.10	0.36	0.146	0.193	0.000	15.61	0.243	0.024
41	8248-389	HELLBLAUOPAK	HALDE	STAB	OBERFL.	62.4	2.9	1.28	0.48	0.4	7.9	15.0	0.9	0.16	0.45	0.39	0.230	0.000	0.010	7.44	0.083	0.001

\* Pb-hinterlegt

Fig. 4b. Analysenergebnisse der Glasfragmente Nr. 23-41.

Mittelwerte und Standardabweichungen der Farbgruppen		S102	AL203	FE203	MNO	MGO	CAO	Na2O	K2O	TI02	SO3	CL	CUO	AS203	PBO	SB203	BAO	SNO						
		%	%	%	%	%	%	fix	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%						
F	Mittelwert farblos Standardabweichung	70.2 1.52	3.13 1.01	0.55 0.20	0.41 0.17	0.30 0.05	8.43 0.53	15.0 0.00	0.70 0.14	0.09 0.02	0.17 0.09	0.61 0.06	0.041 0.054	0.012 0.026	0.178 0.427	0.026 0.041	0.056 0.091	0.013 0.029						
H	Mittelwert hellgrün Standardabweichung	69.8 1.34	3.04 1.11	0.58 0.25	0.35 0.14	0.27 0.14	8.60 0.53	15.0 0.00	0.57 0.14	0.08 0.01	0.09 0.08	0.67 0.07	0.098 0.142	0.044 0.114	0.180 0.485	0.006 0.009	0.090 0.036	0.003 0.005						
G	Mittelwert dunkelgrün Standardabweichung	63.3 1.94	3.94 1.67	1.80 0.36	0.42 0.12	1.69 0.49	6.32 0.39	15.0 0.00	1.34 0.66	0.33 0.06	0.19 0.14	0.55 0.07	3.823 1.390	0.026 0.070	0.628 1.072	0.104 0.131	0.081 0.053	0.212 0.108						
B	Mittelwert ultramarin Standardabweichung	69.8 2.24	2.44 0.52	1.36 0.41	0.47 0.20	0.36 0.11	8.10 1.09	15.0 0.00	0.72 0.17	0.10 0.02	0.13 0.14	0.57 0.15	0.289 0.066	0.040 0.067	0.050 0.067	0.258 0.363	0.077 0.038	0.008 0.007						
O	Mittelwert gelborange Standardabweichung	71.7 2.18	2.35 0.35	0.37 0.05	0.09 0.13	0.26 0.12	8.31 1.56	15.0 0.00	0.63 0.16	0.07 0.01	0.12 0.18	0.70 0.13	0.058 0.072	0.040 0.070	0.197 0.408	0.061 0.227	0.038 0.026	0.001 0.001						
R	Mittelwert weinrot Standardabweichung	69.9 1.10	1.78 0.17	0.95 0.38	2.02 0.40	0.39 0.12	7.42 0.83	15.0 0.00	0.84 0.08	0.13 0.01	0.14 0.08	0.48 0.08	0.101 0.108	0.039 0.062	0.199 0.350	0.007 0.010	0.223 0.155	0.003 0.005						
W	Mittelwert opakweiss Standardabweichung	60.0 3.41	2.03 0.35	0.54 0.09	0.44 0.20	0.28 0.18	7.76 0.61	15.0 0.00	0.65 0.14	0.19 0.03	0.35 0.21	0.28 0.09	0.029 0.041	0.071 0.152	0.025 0.022	12.14 3.504	0.084 0.056	0.002 0.005						
W	Mittelwert opakbläulich Standardabweichung	61.3 3.57	2.57 0.61	1.22 0.14	0.50 0.05	0.42 0.07	7.76 0.51	15.0 0.00	0.83 0.09	0.17 0.01	0.45 0.20	0.36 0.03	0.166 0.039	0.077 0.073	0.006 0.007	9.028 3.315	0.124 0.075	0.007 0.008						
NR.	INV.-NR. FARBE	FUND- STELLE	OBJEKT	PB	CU	SN	ZN	AS	P	S	CR	MN	FE	NI	AG	CD	SB	AU	HG	BI	PD	MO	CO	
5	8248-384 FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	96.2	0.043	1.659		1.32	0.11	0.004	0.038	0.470	0.010	0.007	0.008	0.032							0.038	0.014
10	8248-382 BLAUGRÜN	HALDE	GEFÄSS	97.6	0.052	0.163	0.027	1.03	0.09	0.005	0.039	0.685	0.024				0.039			0.029	0.174	0.001		
15	8248-383 DUNKELGRÜN	HALDE	GEFÄSS	95.1	0.067	0.127	0.011	2.72	2.76	0.27	0.007	0.018	1.230	0.007	0.009	0.003		0.017	0.003	0.061				0.006
29	8248-386 GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	95.8	0.053	0.026	0.038	2.18	2.94	0.17		0.020	0.587					0.033	0.062					0.010
30.1	8248-390 GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	96.2	0.079	0.059	0.014	2.65	2.41	0.27		0.020	0.672	0.014				0.006	0.004					0.004
30.2	8248-390 GELBORANGE	HALDE	GEFÄSS	95.2	0.079	0.036	0.009	3.88	3.20	0.16		0.021	0.886					0.005	0.004					0.000
35	8248-385 WEINROT	HALDE	GEFÄSS	95.9	0.076	0.389	0.010	4.00	2.06	0.10	0.009	0.014	0.800	0.020	0.003	0.010	0.015	0.023	0.035	0.126	0.005			0.001

Fig. 5. Mittelwerte und Standardabweichungen der Farbgruppen. Metallanalysen der Fragmente mit Bleiunterlage (Nr. 5, 10, 15, 29, 30.1-2, 35).

	GLAS-L	GLAS-M	GLAS-S
Anregung kv	4	10	50
mA	0.90	0.50	0.30
Filter	-	Zellulose	Kupfer
Lifetime sec	200	100	100
Dead time %	<40	<40	<40
Kollimator mm	2	2	2
Elemente	Na Mg Al	Si P S Cl K	Co Cu As Pb Sb
		Ca Ti Mn Fe	Ba Sn

Fig. 6. Analytische Parameter (SPECTRACE 5000).

