

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association Pro Aventico
Herausgeber:	Association Pro Aventico (Avenches)
Band:	37 (1995)
Artikel:	Analysen von Gläsern aus der frühkaiserlichen Glaswerkstatt von Aventicum (Schweiz)
Autor:	Amrein, Heidi / Burkhardt, Andreas / Stern, Willem B.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-245712

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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

Heidi Amrein, Andreas Burkhardt und Willem B. Stern

Résumé

ors de fouilles de sauvetage au cours des années 1989-1991, un atelier de verrier datant du milieu du 1^{er} 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 balsamaires. L'atelier, constitué de quatre fours circulaires, dont le diamètre varie entre 0.50-0.65 m, et d'une aire de recuissage, 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 (Na_2O) 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 Na_2O 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 H₂O-enriched surface layer has roughly the same thickness as the region from which the Na radiation (Na K_α, 1,04 KeV) stems (around 1 to 2 micron), a non-destructive surface analysis may determine 0 to 2 wt.-% Na₂O 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 Befund¹

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.²

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 verschont³.

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 Kühlofen interpretiert wird. Die Glasbläser verarbeiteten in diesen Öfen das wahrscheinlich importierte Rohglas zu verschiedenen, farbigen Kleingefässen. Bis jetzt fehlen jegliche Anhaltspunkte für eine lokale Rohglastherstellung.

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 Gefässer), sowie eine grosse Menge von zusammengeschmolzenem Glas⁴. Die Glasfragmente aus der Abfallhalde haben fast ausnahmslos eine klare, glatte Oberfläche

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.

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

Röhrglas, 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 Wiedereinschmelzen bestimmtes Altglas interpretiert.

Bei den in der Werkstatt von Aventicum produzierten Gläsern handelt es sich hauptsächlich um geblasene, farbige Kleingefässer⁵. 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)⁶, zum Teil mit Bleiunterlage oder mit plastisch aufgeschmolzenen vor allem weiss-opaken Spiralfäden.
- Vogelförmige Behälter (Isings 11, AR 123).
- Fläschchen mit gerundetem oder eingerolltem Rand nicht näher bestimmmbaren 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 - Amphorisken (AR 164).

Für andere Glasformen ist eine lokale Produktion wahrscheinlich:

- Grössere Doppelhenkelflaschen - Amphorisken (Isings 15, AR 165).
- Glattwandige 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).
- Gefässer nicht näher bestimmmbaren Typs mit aufgesetzten Nuppen, die von einem Glasstab abgeschnitten wurden⁷.

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

6. Wir verweisen im folgenden auf die von C. Isings (= Isings) und die von B. Rütti (= 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 Glasfragmente⁸

(siehe auch Fig. 4a-b)

Farblos bis hellgrün erscheinendes Glas, durchscheinend⁹

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

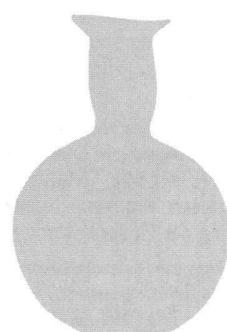
36. WS von Gefäß nicht näher bestimmbarer Form.
37. WS von Rippenschale (Form Isings 3, AR 2), geformt.
38. RS von Fläschchen mit eingerolltem Rand.

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 abgeschnittenen 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 naturfarbenes benannte Glas; aufgrund der Analysenresultate (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

Obwohl 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 Nebenkomponenten. 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 wurden¹⁰.

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 Analysenmethoden zu entwickeln, um die archäometrische Untersuchung nicht auf qualitativ minderwertige Stücke beschränken zu müssen¹¹.

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

Veränderungen hinterlässt. Während die für viele chemische Elemente äußerst empfindliche Neutronen-aktivierungsanalyse (NAA) in gewissen Fällen eine länger andauernde Radioaktivität hinterlassen kann, die klassische wellenlängendiffraktive 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 gefunden¹².

Römisches Glas ist infolge der langdauernden Bodenlagerung 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 Na₂O, 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 Auslaugungerscheinungen zu einer Veränderung der analytischen Informationen führen, wenn die unveränderte Materialoberfläche zerstörungsfrei untersucht wird. Bei der Auswertung der Analysenergebnisse 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 dieselben Ergebnisse liefert wie die destruktive Durchschnittsanalyse (WD-XFA), zeigt die direkte Oberflächenanalyse (ED-XFA) von unbehandelten Oberflächen erwartungsgemäss sehr viel tiefere Natrium-Konzentrationen, da die ausgelauftaue 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 BIANZA, *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.

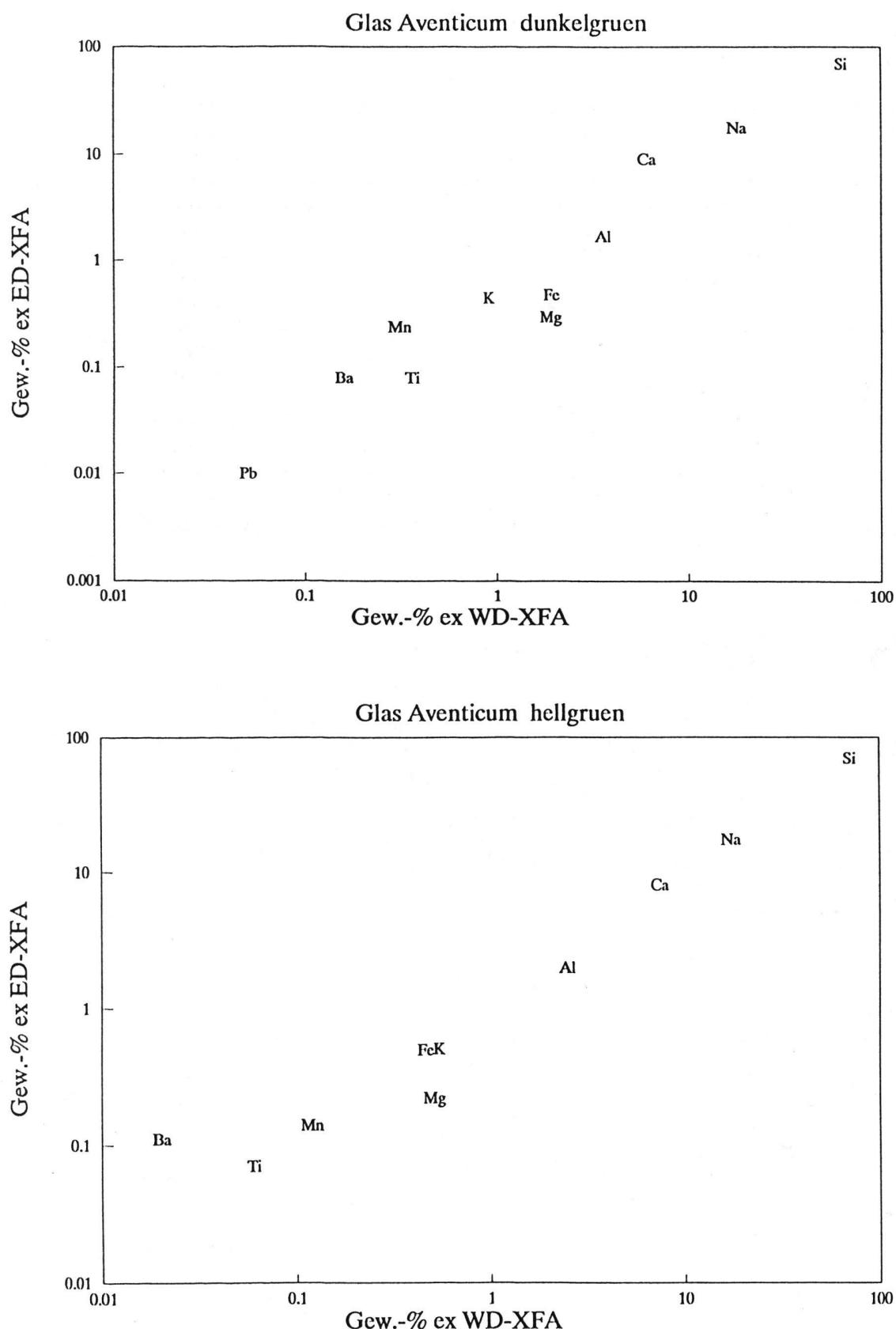


Fig. 1a. Chemische Hauptkomponenten der dunkelgrünen und der hellgrünen Gläser.

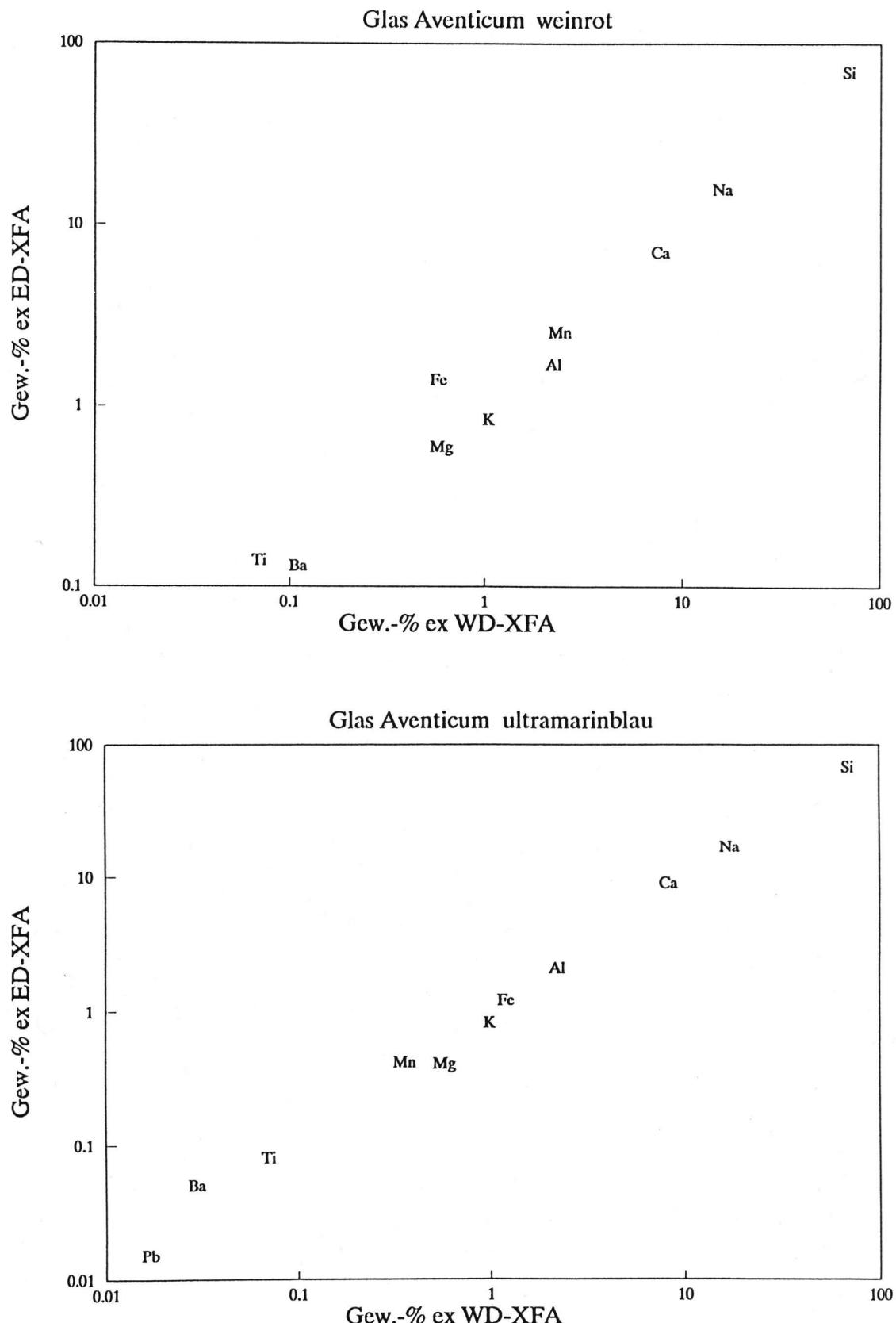


Fig. 1b. Chemische Hauptkomponenten der weinroten und der ultramarinblauen Gläser.

rund 15% angereichert, wenn der ursprüngliche Na₂O-Gehalt in der Größenordnung von 15 Gew.-% liegt.

Wird das durch Auslaugung entfernte Natrium rechnerisch durch Angleich an den mittels WD-XFA erfassten Na₂O-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-Natrongläser¹³ gehören. Alle enthalten überdies Chlor als Nebenkomponente, wie dies für römisches Glas durchaus typisch ist. Ältere Analysen aus der Literatur vermitteln ein etwas anderes Bild, indem Clor 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 Al₂O₃ 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% Al₂O₃ und 2% K₂O. Bei Anwesenheit von Albit als Feldspat würde anstelle von K₂O eine entsprechende Menge Na₂O 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 Nebenkomponente 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 besteht¹⁴.

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

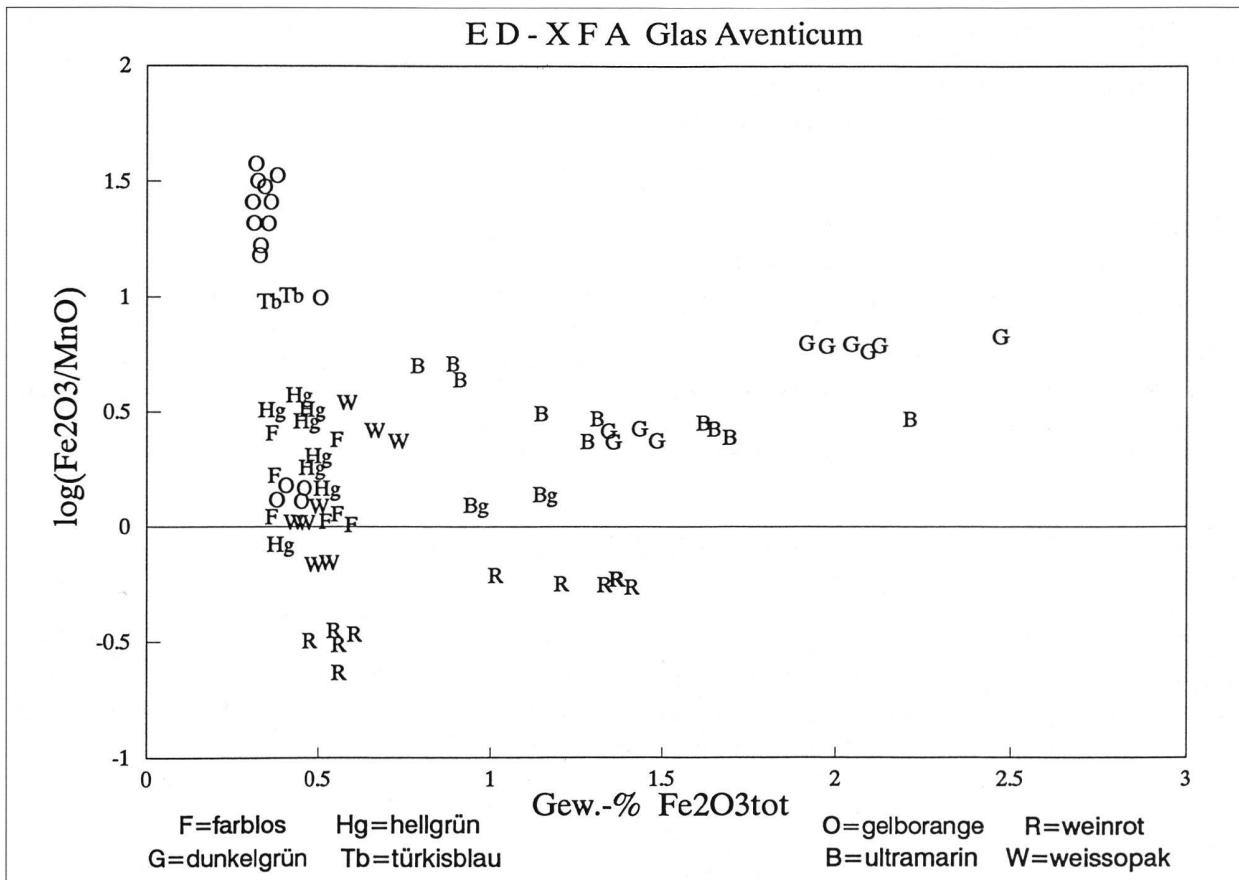
13. M. A. BEZBORODOV, *Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser*, Mainz, 1975; H. SCHOLZE, *Glas. Natur, Struktur und Eigenschaften*, 2. Aufl., Berlin, 1964.

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):



*Farbloses Glas und hellgrünes Glas*¹⁵ (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% Fe₂O₃), 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% Fe₂O₃). Alle Fragmente enthalten Kupfer als Haupt-, sowie Zinn als Nebenkomponente. Deshalb ist anzunehmen, dass die Grünfärbung durch Zugabe von Bronzepulver (Cu90 Sn10) erzielt worden ist. Rohglas

Fig. 3. ED-XFA Analysen.

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 Nebenkomponente und im türkisblauen Glas (Nr. 16) Hauptkomponente wie bei den dunkelgrünen Gläsern. Kobalt dürfte allgemein als Nebenkomponente 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% Fe₂O₃). 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 Farnton 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 Bezborodov¹⁶ 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 Farnton 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 BEZBODOROV 1975 (Fussnote 13), Abb. 43.

ED-XFA, GEOCHEMISCHES LABOR MPI UNIVERSITÄT BASEL, SPECTRACE 5000, 2mm Kollimator, 5mm PLX-Masken		NR.	INV.-NR.	FARBE	FLIND-STELLE	OBJEKT	ED-XFA	S102	AI203	FE203	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SiO3	Cl	ClO	As203	PbO	SB203	BAO	SNO	%
W%	%																								
1	8255-15	FARBLOS	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	69.9	4.7	0.36	0.14	0.3	8.1	15.0	0.4	0.08	0.61	0.092	0.083	0.004	0.001	0.017	0.00	F			
2	8254-24	FARBLOS	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	69.3	4.3	0.56	0.49	0.3	8.6	15.0	0.6	0.10	0.57	0.000	0.000	0.015	0.016	0.021	0.002	F			
3	8256-15	FARBLOS	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	68.6	4.6	0.56	0.23	0.4	8.9	15.0	0.7	0.10	0.46	0.155	0.011	0.011	0.011	0.046	0.002	F			
4	8248-377	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	72.3	2.6	0.38	0.34	0.3	7.7	15.0	0.6	0.07	0.63	0.000	0.009	0.005	0.039	0.001	0.001	F			
4	8248-377	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	73.0	2.0	0.36	0.24	0.2	7.5	15.0	0.6	0.05	0.20	0.67	0.000	0.013	0.003	0.007	0.033	0.000	F		
5	8248-384	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	70.4	2.7	0.52	0.50	0.3	8.7	15.0	0.7	0.08	0.22	0.66	0.032	0.000	0.120	0.001	0.001	0.001	F		
5*	8248-384	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	68.3	2.9	0.58	0.57	0.3	8.9	15.0	0.8	0.10	0.66	0.092	0.000	1.382	0.013	0.001	0.001	0.094			
40-A	8248-388	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	70.7	2.1	0.63	0.51	0.3	8.4	15.0	0.9	0.08	0.20	0.64	0.000	0.000	0.048	0.054	0.036	0.004	f		
40-A	8248-388	FARBLOS	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.1	2.3	0.47	0.70	0.3	9.1	15.0	0.9	0.12	0.31	0.60	0.000	0.021	0.134	0.309	0.014	0.004	f		
6	8257-14	HELLGRÜN-GE	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	69.6	4.5	0.47	0.12	0.4	9.0	15.0	0.5	0.08	0.61	0.175	0.382	0.000	0.001	0.062	0.003	H			
6	8257-14	HELLGRÜN-GE	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	69.9	3.9	0.36	0.11	0.2	8.1	15.0	0.6	0.18	0.26	0.73	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.000	H		
7	8257-13	HELLGRÜN-BL	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	69.0	4.9	0.49	0.37	0.3	8.2	15.0	0.5	0.09	0.50	0.000	0.003	0.008	0.000	0.002	0.002	H			
7	8257-13	HELLGRÜN-BL	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	70.8	3.4	0.39	0.46	0.2	8.0	15.0	0.5	0.07	0.19	0.68	0.000	0.007	0.000	0.006	0.179	0.000	H		
8	8248-372	HELLGRÜN-GE	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	71.3	2.1	0.48	0.15	0.2	8.6	15.0	0.5	0.16	0.08	0.77	0.004	0.000	0.000	0.000	0.108	0.003	H		
8	8248-372	HELLGRÜN-GE	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	70.0	2.0	0.52	0.15	0.2	8.2	15.0	0.5	0.08	0.13	0.310	0.000	0.000	0.002	0.000	0.106	0.000	H		
9	8248-373	HELLGRÜN-BL	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	71.2	1.9	0.50	0.25	0.4	9.4	15.0	0.5	0.08	0.10	0.69	0.000	0.000	0.015	0.001	0.081	0.000	H		
9	8248-373	HELLGRÜN-BL	HALDE	ROHGLAS	KERN	71.2	1.8	0.48	0.25	0.2	9.3	15.0	0.5	0.07	0.06	0.80	0.087	0.000	0.024	0.000	0.086	0.002	H		
10	8248-382	BLAUGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	67.3	3.8	1.15	0.84	0.6	9.2	15.0	0.9	0.11	0.00	0.63	0.000	0.000	0.120	0.000	0.071	0.016	H		
10*	8248-382	BLAUGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	67.9	2.2	0.96	0.77	0.1	9.0	15.0	0.8	0.09	0.03	0.58	0.404	0.000	1.632	0.019	0.047	0.009	H		
11	8253-9	DUNKELGRÜN	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	65.4	2.3	1.45	0.56	1.8	6.7	15.0	2.7	0.23	0.17	0.53	5.746	0.000	1.297	0.386	0.097	0.244	G		
11	8253-9	DUNKELGRÜN	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	61.9	1.7	1.35	0.52	1.3	5.9	15.0	2.5	0.23	0.17	0.54	2.994	0.000	1.04	0.000	0.013	0.013	G		
12	8234-23	DUNKELGRÜN	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	62.9	6.8	1.99	0.35	1.6	6.1	15.0	1.1	0.37	0.13	0.54	2.994	0.000	1.04	0.000	0.013	0.013	G		
12	8234-23	DUNKELGRÜN	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	62.8	6.9	1.97	0.32	1.1	6.3	15.0	1.0	0.41	0.27	0.54	3.763	0.000	1.07	0.000	0.018	0.018	G		
13	8248-371	DUNKELGRÜN	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	64.3	3.8	1.97	0.32	1.9	6.2	15.0	0.9	0.38	0.09	0.42	3.763	0.000	1.07	0.000	0.023	0.023	G		
13	8248-371	DUNKELGRÜN	HALDE	ROHGLAS	KERN	64.3	3.7	1.92	0.31	2.1	6.1	15.0	0.8	0.38	0.44	0.53	3.282	0.000	0.98	0.029	0.140	0.310	G		
14	8248-381	DUNKELGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	62.8	4.3	2.47	0.37	2.2	6.1	15.0	0.9	0.40	0.09	0.45	3.165	0.000	1.81	0.025	0.116	0.310	G		
14	8248-381	DUNKELGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	63.6	4.1	2.06	0.33	2.5	6.0	15.0	0.9	0.38	0.11	0.49	3.915	0.000	0.111	0.030	0.132	0.282	G		
15	8248-383	DUNKELGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	66.0	2.5	1.48	0.63	1.5	7.3	15.0	1.4	0.28	0.32	0.64	2.724	0.000	0.345	0.075	0.029	0.082	G		
15*	8248-383	DUNKELGRÜN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	58.7	3.3	1.33	0.53	1.1	6.4	15.0	1.1	0.27	0.03	0.52	7.050	0.000	3.670	0.070	0.150	0.048	G		
16	8248-0	TÜRKISBLAU	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	64.8	4.2	0.42	0.04	0.5	7.9	15.0	0.8	0.08	0.00	0.74	3.703	0.000	0.585	0.025	0.076	0.646	Tb		
16	8248-0	TÜRKISBLAU	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	68.1	2.1	0.38	0.04	0.6	8.2	15.0	0.5	0.06	0.52	0.64	3.551	0.000	0.583	0.029	0.095	0.591	Tb		
17	8234-25	ULTRAMARIN	WERK	ROHGLAS	BRUCH.	69.2	2.8	1.68	0.65	0.3	8.4	15.0	0.8	0.11	0.00	0.46	0.122	0.000	0.195	0.147	0.024	0.2	B		
17	8234-25	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	BRUCH.	68.7	2.3	1.29	0.55	0.1	7.9	15.0	0.9	0.09	0.36	0.48	3.533	0.000	1.012	0.633	0.107	0.018	B		
18	8235-13	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	BRUCH.	66.3	3.2	1.69	0.69	0.5	9.0	15.0	0.6	0.10	0.00	0.75	0.523	0.000	0.000	0.000	0.083	0.008	B		
18	8235-13	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	BRUCH.	66.3	3.2	2.21	0.75	0.4	9.6	15.0	0.9	0.11	0.02	0.83	0.072	0.210	0.002	0.003	0.118	0.000	B		
19	8234-22	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	72.4	2.8	0.79	0.16	0.5	6.4	15.0	1.0	0.07	0.20	0.46	0.160	0.000	0.005	0.015	0.000	0.000	B		
20	8234-26	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	68.4	2.7	1.62	0.57	0.4	8.4	15.0	0.7	0.13	0.39	0.29	0.221	0.000	0.151	0.467	0.035	0.012	B		
20	8234-26	ULTRAMARIN	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	69.0	2.8	1.46	0.58	0.3	8.0	15.0	0.7	0.16	0.39	0.553	0.130	0.061	0.532	0.087	0.014	B			
21	8248-374	ULTRAMARIN	HALDE	ROHGLAS	BRUCH.	73.6	1.6	0.91	0.19	0.3	6.7	15.0	0.5	0.09	0.14	0.65	0.170	0.000	0.000	0.017	0.000	0.003	B		
21	8248-374	ULTRAMARIN	HALDE	ROHGLAS	KERN	73.5	1.4	0.91	0.20	0.4	6.4	15.0	0.4	0.07	0.03	0.64	0.172	0.036	0.000	0.011	0.064	0.002	B		
22	8248-378	ULTRAMARIN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.2	2.2	1.31	0.45	0.3	9.2	15.0	0.8	0.09	0.27	0.61	0.122	0.000	0.023	0.030	0.086	0.004	B		
22	8248-378	ULTRAMARIN	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	69.6	2.2	1.15	0.37	0.4	9.1	15.0	0.8	0.10	0.01	0.66	0.253	0.012	0.011	0.031	0.002	0.000	B		

Fig. 4a. Analysenresultate der Glasfragmente Nr. 1-22.

NR.	INV.-NR.	Farbe	FUND- STELLE	OBJEKT	ED-XFA	S102	AL203	FE203	MNO	MgO	CAO	Na2O	K2O	T102	SO3	CL	CUO	AS203	PBO	SB203	BAO	SNO	%	
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	0.063	0.000	0.000	0	
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	0.000	0	
24	8257-15	GELBORANGE	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	72.3	2.8	0.40	0.28	0.3	7.3	15.0	0.5	0.07	0.03	0.61	0.000	0.000	0.001	0.028	0.000	0.000	0	
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	0.32	0.000	0.058	0.015	0.000	0.005	0.000	0	
25	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	0.39	0.024	0.000	0.008	0.909	0.066	0.000	0	
26	8248-375	GELBORANGE	WERK	ROHGLAS	BRUCHK.	72.6	2.2	0.34	0.24	0.01	0.2	7.6	15.0	0.5	0.05	0.68	0.67	0.253	0.218	0.000	0.000	0.095	0.002	0
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	0	
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	0	
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	0	
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	0	
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	0	
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	0.05	0.73	0.150	0.000	0.008	0.000	0.008	0.001	0	
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	0	
30	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	0	
30	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	0	
31	8256-21	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	R	
31	8254-21	WEINROT	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	70.1	1.9	0.56	1.56	0.6	8.0	15.0	1.0	0.12	0.09	0.21	0.000	0.193	0.031	0.021	0.000	0.000	R	
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	0.442	0.000	R	
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	0.241	0.001	R	
33	8248-376	WEINROT	HALDE	ROHGLAS	BRUCHK.	71.5	1.9	0.42	1.65	0.4	6.6	15.0	0.8	0.12	0.05	0.56	0.183	0.000	0.000	0.287	0.003	0.003	R	
33	8248-376	WEINROT	HALDE	ROHGLAS	BRUCHK.	67.0	2.0	0.56	2.41	0.5	8.2	15.0	0.8	0.12	0.05	0.52	0.402	0.000	0.000	0.035	0.006	0.577	0.002	R
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	0.07	0.50	0.090	0.128	0.000	0.000	0.138	0.001	R	
34	8248-380	WEINROT	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	71.2	1.8	1.21	2.15	0.3	7.5	15.0	0.8	0.13	0.13	0.55	0.000	0.007	0.025	0.000	0.121	0.000	R	
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	0.109	0.000	0.000	R	
35	8248-395	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	0.045	0.000	0.822	0.000	0.159	0.016	R	
35	8248-395	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	R	
36	8256-27	WEISSPAK	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	W	
36	8254-27	WEISSPAK	WERK	GEFÄSS	OBERFL.	65.1	1.8	0.66	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	W	
37	8254-7	WEISSPAK	WERK	GEFÄSS	BRUCHK.	56.6	1.8	0.50	0.43	0.5	7.2	15.0	0.5	0.15	0.17	0.51	0.000	0.035	0.000	0.123	0.000	0		
37	8254-7	WEISSPAK	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	W	
38	8248-345	WEISSPAK	HALDE	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	0.020	0.020	0.030	0.003	W	
38	8248-345	WEISSPAK	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	W	
38	8248-345	WEISSPAK	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	W	
25	8255-14	WEISSPAK	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	W	
39	8248-359	HELLBLAUPAK	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	W	
39	8248-359	HELLBLAUPAK	HALDE	GEFÄSS	OBERFL.	65.7	2.3	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	W	
40	8248-368	HELLBLAUPAK	HALDE	NUPPE	OBERFL.	58.2	2.3	1.16	0.53	0.5	8.3	15.0	0.9	0.17	0.60	0.33	0.204	0.076	0.011	6.95	0.146	0.000	W	
40	8248-368	HELLBLAUPAK	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	W	
41	8248-359	HELLBLAUPAK	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	0.093	0.001	W	

* Pb-hinterlegt

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

Mittelwerte und Standardabweichungen der Farbgruppen																							
NR.	INV.-NR.	FARBE	FUND- STELLE	PB	CU	SN	ZN	AS	P	S	CR	MN	FE	NI	AG	CD	SB	AU	HG	BI	PD	MO	CO
F		Mittelwert farblos Standardabweichung		S102	Al203	FE203	MNO	MGO	CAO	Na2O fix	K2O	T1O2	SO3	CL	CUO	AS203	PBO	SB203	BAO	SNO	%	%	
				1.52	1.01	0.20	0.17	0.05	0.53		0.00	0.14	0.02	0.09	0.06	0.054	0.026	0.427	0.041	0.091	0.029		
H		Mittelwert hellgrün Standardabweichung		70.2	3.13	0.55	0.41	0.30	8.43	15.0	0.70	0.09	0.17	0.61	0.041	0.012	0.178	0.026	0.056	0.013	%	%	
				1.34	1.11	0.25	0.25	0.14	0.53	0.00	0.14	0.01	0.08	0.07	0.142	0.114	0.485	0.009	0.036	0.005			
G		Mittelwert dunkelgrün Standardabweichung		69.8	3.04	0.58	0.35	0.27	8.60	15.0	0.57	0.08	0.09	0.67	0.098	0.044	0.180	0.006	0.090	0.003	%	%	
				1.94	1.67	0.36	0.12	0.49	0.39	0.00	0.66	0.06	0.14	0.07	1.390	0.070	1.072	0.131	0.053	0.108			
B		Mittelwert ultramarin Standardabweichung		63.3	3.94	1.80	0.42	1.69	6.32	15.0	1.34	0.33	0.19	0.55	3.823	0.026	0.628	0.104	0.081	0.212	%	%	
				2.24	0.52	0.41	0.20	0.11	1.09	0.00	0.17	0.02	0.14	0.15	0.199	0.066	0.067	0.363	0.038	0.007			
O		Mittelwert gelborange Standardabweichung		71.7	2.35	0.37	0.09	0.26	8.31	15.0	0.63	0.07	0.12	0.70	0.058	0.040	0.197	0.061	0.038	0.001	%	%	
				2.18	0.33	0.05	0.13	0.12	1.56	0.00	0.16	0.01	0.18	0.13	0.072	0.070	0.408	0.227	0.026	0.001			
R		Mittelwert weinrot Standardabweichung		69.9	1.78	0.95	2.02	0.39	7.42	15.0	0.84	0.13	0.14	0.48	0.101	0.039	0.199	0.007	0.223	0.003	%	%	
				1.10	0.17	0.38	0.40	0.12	0.83	0.00	0.08	0.01	0.08	0.08	0.108	0.062	0.350	0.010	0.155	0.005			
W		Mittelwert opakweiss Standardabweichung		60.0	2.03	0.54	0.44	0.28	7.76	15.00	0.65	0.19	0.35	0.28	0.029	0.071	0.025	0.124	0.084	0.002	%	%	
				3.41	0.35	0.09	0.20	0.18	0.61	0.00	0.14	0.03	0.21	0.09	0.041	0.152	0.022	3.304	0.056	0.005			
W		Mittelwert opakblau Standardabweichung		61.3	2.57	1.22	0.50	0.42	7.76	15.0	0.83	0.17	0.45	0.36	0.166	0.077	0.006	0.028	0.124	0.007	%	%	
				3.57	0.61	0.14	0.05	0.07	0.51	0.00	0.09	0.01	0.20	0.03	0.039	0.073	0.007	3.315	0.075	0.008			

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 Ba Sn
	Ca Ti Mn Fe		

Fig. 6. Analytische Parameter (SPECTRACE 5000).

