

K. HANS WEDEPOHL, RENATE PIRLING
und GERALD HARTMANN

Römische und fränkische Gläser aus dem Gräberfeld von Krefeld-Gellep

Die Einführung des Glasblasens und der gut organisierte Handel im römischen Weltreich haben eine Großproduktion von Glas ermöglicht. Die ursprünglich fast ausschließliche Verwendung von Glas zu Schmuck spielte keine Rolle mehr, und die größeren Produktionsmengen ließen die Herstellung von Gebrauchsgegenständen zu. Dabei wurde farbiges Glas immer mehr durch nahezu farblose Produkte ersetzt. Der bei weitem häufigste Glastyp war in römischer Zeit Soda-Kalk-Glas, das aus drei Ausgangsstoffen hergestellt wurde. Diese drei waren Trona („Soda“), Kalk und Quarz. Das Mineral Trona $\text{Na}_3\text{H}[\text{CO}_3]_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ wurde aus Salzablagerungen gewonnen, die sich am Rand von Seen arider Gebiete bilden. Die niedrigen Gehalte an Magnesiumoxid (<1 % MgO) und Kaliumoxid (<1 % K_2O) in den weitaus meisten römischen Gläsern bezeugen, daß diese aus Trona und nicht aus Pflanzenaschensoda (Glastyp Soda-Asche-Glas) hergestellt wurden¹. Quarz und Kalk kommen als die beiden anderen Hauptbestandteile des Glasgemenges in den meisten Gebieten der frühen Glasherstellung in ziemlich reiner Form vor. Natürliche Mischungen von Quarzsand und Kalk zu benutzen ist weniger vorteilhaft, weil es ohne analytische Hilfsmittel nicht leicht ist, gerade die richtige Quarz-Kalk-Mischung in einem Sand zu finden. Gewöhnlich ist diese Mischung in Meeres- und Flußablagerungen sehr variabel. Deshalb gehört der Hinweis des Plinius auf die Entstehung des ersten technischen Glases aus Aschenbrocken im karbonathaltigen Sand des Belus-Flusses wahrscheinlich in den Bereich der Legende².

Für farbloses Glas benötigt man eisenarme Rohstoffe. Trona hat sehr niedrige Eisengehalte. Zur Trennung der Trona von den anderen weißen Mineralen der Salzablagerungen gehört einige Erfahrung. Das ägyptische Wadi El Natrun, das vom Hafen Alexandria nicht weit entfernt ist, war wahrscheinlich die Hauptquelle von „Soda“ im Römischen Reich. Eisenarme Sande und Kalke kann man an der Farbe erkennen. Die Herstellung von zum Teil sehr eisenarmen Gläsern zu römischer Zeit zeigt, daß es

¹ E. V. SAYRE, The intentional use of antimony and manganese in ancient glasses. In: F. R. MATSON / G. E. RINDONE (Hrsg.) *Advances in Glass Technology* 2 (1963) 263–282.

² H. KNOLL / A. LOCHER / R. C. A. ROTTLÄNDER / O. SCHAABER / H. SCHOLZE / G. STRUNK LICHTENBERG / D. ULLRICH, Glasherstellung bei Plinius dem Älteren. *Glastechn. Ber.* 52, 1979, 265–270.

Rohstoffexperten mit entsprechender Erfahrung gegeben hat. Bei mäßigen Eisengehalten im Rohstoff läßt sich dessen färbender Einfluß durch Zusatz von Braunstein (MnO_2) oder Antimonoxid (Sb_2O_5) zur Glasschmelze vermeiden. Dabei wird das färbende zweiwertige Eisen zum dreiwertigen mit den genannten Oxidationsmitteln oxidiert³. Die Verwendung von Antimonverbindungen zur Entfärbung erfolgte bereits im 7. vorchristlichen Jahrhundert, und die Verwendung von Braunstein zum gleichen Zweck begann im 1. vorchristlichen Jahrhundert. Die Mengen an Braunstein, die römischen Glasschmelzen zugesetzt wurden, beliefen sich auf 0,2–2 % MnO_4 . Neun von sechszwanzig Glasscheiben aus verschiedenen Gebieten des Römischen Reiches enthalten im 1.–3. nachchristlichen Jahrhundert 0,4–0,5 % Sb als Entfärber⁵. Unsere Untersuchung soll klären helfen, ob der Übergang von der römischen zur fränkischen Glasproduktion mit der Benutzung anderer Rohstoffe und Glasrezepte verbunden war.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

In Krefeld-Gellep, nördlich von Köln am Rhein gelegen, wurde nach 70 n. Chr. kurz nach dem Bataveraufstand, ein römisches Auxiliarkastell namens Gelduba errichtet, das – mehrmals umgebaut – an derselben Stelle bis ins 5. Jahrhundert hinein bestand. Die zugehörigen Gräberfelder legen sich wie ein Halbbogen auf der dem Rhein abgewandten Seite in einigem Abstand um das Kastellgelände. Sie werden seit 1934 systematisch erforscht. Dabei stellte sich überraschend heraus, daß sie mit dem Abzug der römischen Truppen vom Rhein am Beginn des 5. Jahrhunderts nicht etwa abbrechen, sondern daß sie kontinuierlich von den Franken weiterbenutzt wurden. Die Belegung reicht vom 1. bis zum Beginn des 8. Jahrhunderts. Albert Steeger hatte mit der Erforschung begonnen⁶. Renate Pirling ist für die Ausgrabungen seit 1959 verantwortlich. Bis heute konnten rund 6200 Gräber aufgedeckt werden, 3750 sind publiziert; ein weiterer Band mit 768 Gräbern ist jüngst erschienen⁷.

Neben der ungewöhnlichen Größe macht vor allem die kontinuierliche Belegung die Bedeutung Gelleps für die archäologische Forschung aus. Auf nahezu allen anderen Gräberfeldern des Rheinlandes bricht mit dem Abzug der letzten römischen Truppen vom Rhein am Beginn des 5. Jahrhunderts die Belegung ab. Die fränkischen Bestattungen setzen gewöhnlich erst am Ende des 5. oder im Laufe des 6. Jahrhun-

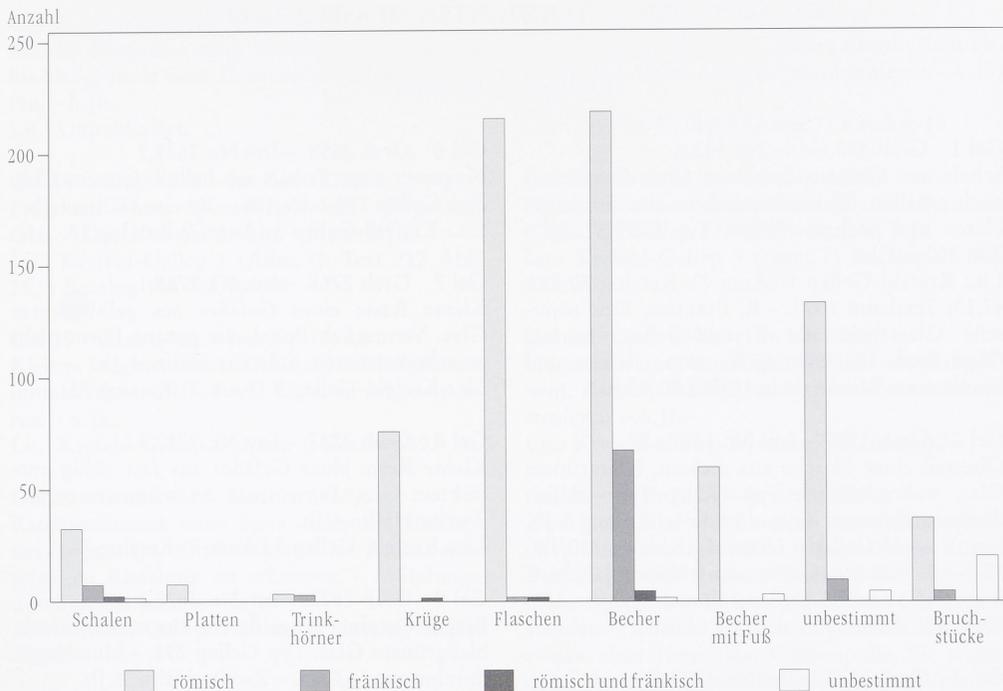
³ C. SELLNER / H. J. OEL / B. CAMARA, Untersuchungen alter Gläser (Waldglas) auf Zusammenhang von Zusammensetzung, Farbe und Schmelzatmosfera mit der Elektronenspektroskopie und der Elektronenspinresonanz (ESR). *Glastechn. Ber.* 52, 1979, 255–264.

⁴ C. BRAUN, Analysen von Gläsern aus der Hallstattzeit mit einem Exkurs über römische Fenstergläser. In: O. FREY (Hrsg.), *Marburger Stud. Vor- u. Frühgesch.* 5 (1983) 129–175; R. C. A. ROTTLÄNDER, Naturwissenschaftliche Untersuchungen zum römischen Glas in Köln. *Kölner Jahrb. Vor- u. Frühgesch.* 23, 1990, 563–581. – Die Einzelwerte von 68 Analysen und einige Originalproben wurden von R. C. A. Rottländer zur Verfügung gestellt, wofür ihm sehr gedankt sei. Die SiO_2 -Werte wurden insgesamt nach unseren Mikrosondenanalysen von Originalproben korrigiert.

⁵ Vgl. Literatur BRAUN in Anm. 4.

⁶ A. STEEGER, Ein frühfränkisches Kriegergrab von Krefeld-Gellep. *Germania* 21, 1937, 80 ff.

⁷ R. PIRLING, Das römisch-fränkische Gräberfeld von Krefeld-Gellep. *Germ. Denkmäler Völkerwanderungszeit* B 2 (1966) = Krefeld-Gellep 1; ebd. B 8 (1974) = Krefeld-Gellep 2; ebd. B 10 (1979) = Krefeld-Gellep 3; ebd. B 13 (1989) = Krefeld-Gellep 4. – R. PIRLING / B. GRODDE, Das römisch-fränkische Gräberfeld von Krefeld-Gellep. *Germ. Denkmäler Völkerwanderungszeit* 17 (1997).



1 Häufigkeitsverteilung verschiedener Gefäßformen vom Friedhof Krefeld-Gellep.

derts ein. In Gellep dagegen wird weiterbestattet, was bedeutet, daß der Ort kontinuierlich besiedelt war. Die berühmte ‚Lücke des 5. Jahrhunderts‘ ist hier nicht vorhanden. Im 6. Jahrhundert muß in Gellep ein fränkischer Stammesfürst ansässig gewesen sein, dessen unversehrtes Grab mit reicher Ausstattung, darunter ein vergoldeter Spangenhelm, 1962 entdeckt wurde.

Da unter den Grabbeigaben in Gellep Glasgefäße ungewöhnlich häufig sind, vor allem in der Spätantike und in der frühen Frankenzeit, bot sich das Material dieses Gräberfeldes für eine Untersuchung der Gläser der römischen und der fränkischen Epoche und einen Vergleich an (Abb. 1). Der leichte Sandboden Gelleps, der die Skelette der Toten gewöhnlich völlig auflöst, bewahrt die Glasgefäße oft sehr gut; viele konnten unversehrt geborgen werden. Um diese zu schonen, wurden die Proben für die vorliegenden Untersuchungen durchweg von Gefäßen entnommen, die stark zerstört waren. Deshalb kann in vielen Fällen die einstige Form dieser Gläser nicht mehr bestimmt werden. Die Datierung der Gräber, aus denen die Proben stammen, steht jedoch aufgrund der Beifunde fest.

Ausgewählt wurden von den römischen Funden solche der Spätzeit, d. h. der zweiten Hälfte des 4. oder dem Beginn des 5. Jahrhunderts, also der Zeit des Übergangs in die fränkische Epoche. Eine Ausnahme macht eine Glasschale aus Grab 533, sicherlich das interessanteste Glas des ganzen Gräberfeldes. Es stammt aus einem Grab der Zeit um 300. Bei den aus fränkischen Gräbern genommenen Proben wurden außer Gefäßscherben Reste eines gläsernen Spinnwirtels und einer oder mehrerer Perlen untersucht.

KATALOG DER UNTERSUCHTEN GLASFRAGMENTE

RÖMISCHE GLÄSER

- Gel 1** Grab 533. – Inv.Nr. 533,6
Schale aus dünnem farblosen Glas, fragmentarisch erhalten. Wahrscheinlich in eine Form geblasen und nachgeschliffen. Typ Gellep 220. – Um 300 n. Chr.
Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm.7): Katalog 70 Taf. 47,13; Textband 109 f. – R. PIRLING, Eine römische Glasschale aus Krefeld-Gellep. *Journal Glass Stud.* 10, 1968, 65 ff.; DIES., Römer und Franken am Niederrhein (1986) 80 Abb.2.
- Gel 2** Grab 1107. – Inv.Nr. 1107a,17
Oberteil einer Flasche aus dickem, lichtgrünem Glas, wahrscheinlich Typ Gellep 199. – Mündungsdurchmesser 4 cm. – Ende 4. / Anfang 5. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm.7): Katalog 130 Taf. 92,7. – R. PIRLING, Gräber des frühen 5. Jahrhunderts aus Krefeld-Gellep. *Bonner Jahrb.* 159, 1959, 218 Abb.3,3.
- Gel 3** Grab 1573. – Inv.Nr. 1573,2
Bodenstück eines Pokals aus hellgrünem, mittelstarkem Glas. Typ Gellep 196. – Bodendurchmesser 5,5 cm. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 2 (Anm.7) Katalog 45 Taf. 36,11.
- Gel 4** Grab 1746. – Inv.Nr. 1746,3
Fragment eines Fläschchens aus dünnem, blau-grünem Glas. Typ Gellep 198. – Letztes Drittel 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 2 (Anm.7) Katalog 57 Taf. 41,8.
- Gel 5** Grab 1746. – Inv.Nr. 1746,5
Kleine Scherben eines völlig zerstörten Gefäßes aus olivgrünem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – Letztes Drittel 4. Jh.
Lit.: Unpubliziert.
- Gel 6** Grab 2658. – Inv.Nr. 2658,3
Fragment eines Pokals aus hellolivgrünem Glas. Typ Gellep 195 oder 196. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm.7) Katalog 58.
- Gel 7** Grab 2768. – Inv.Nr. 2768,1
Kleine Reste eines Gefäßes aus gelbbraunem Glas. Vermutlich Pokal, die genaue Form nicht zu rekonstruieren. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm.7) Katalog 73.
- Gel 8** Grab 2787. – Inv.Nr. 2787,3
Kleine Reste eines Gefäßes aus fast völlig entfärbtem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm.7) Katalog 76.
- Gel 9** Grab 2822. – Inv.Nr. 2822,3
Fragmente einer Kugelflasche aus mittelstarkem, blaßgrünem Glas. Typ Gellep 298. – Mündungsdurchmesser 6,8 cm. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm.7) Katalog 80 Taf. 78,5.
- Gel 10** Grab 2873. – Inv.Nr. 2873,2
Geringe Reste eines Gefäßes aus fast völlig entfärbtem, dünnem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm.7) Katalog 87.
- Gel 11** Grab 2904. – Inv.Nr. 2904,3
Randstück eines Bechers aus blaßgrünem, mittelstarkem Glas. Genaue Form nicht zu rekonstruieren. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 4 (Anm.7) 45 Taf. 1,5.
- Gel 12** Grab 3004. – Inv.Nr. 3004,2
Geringe Reste eines Gefäßes aus braunem Glas. – Zweite Hälfte 4. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 4 (Anm.7) 59.

FRÄNKISCHE GLÄSER

- Gel 13** Gellep-Süd Grab 13. – Inv.Nr. I13,4
Kleines Fragment eines Sturzbechers aus blaßolivgrünem, dünnem Glas. Wahrscheinlich Typ Gellep 234b. – Erste Hälfte 7. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm.7) Katalog 8.
wahrscheinlich erste Hälfte.
Lit.: Krefeld-Gellep (Anm.7) Katalog 95.
- Gel 14** Grab 755. – Inv.Nr. 755,1
Fragment eines Sturzbechers aus olivgrünem, dünnem Glas. Typ Gellep 234 oder 235. – 7. Jh.,
Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm.7) Kat. 95 Taf. 67,14.
- Gel 15** Grab 756. – Inv.Nr. 756,1
Randstück eines Gefäßes aus hellgrünem, mittelstarkem Glas mit aufgelegter Fadenspirale. Vermutlich Spitzbecher Typ Gellep 231. – Mitte 5. bis Ende 6. Jh.
Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm.7) Kat. 95 Taf. 67,14.

Gel 17 Grab 784. – Ohne Inv.Nr.

Kleines Fragment eines Gefäßes aus farblosem bis blaßgrünem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – 6. Jh.

Lit.: Unpubliziert.

Gel 18 Grab 1232. – Inv.Nr. 1232,5

Fragment eines Spinnwirtels aus olivgrünem Glas. – Durchmesser 3,4 cm. – Mitte 5. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 1 (Anm. 7): Text 212 Abb. 25,9; Katalog 145 Taf. 106,18.

Gel 19 Grab 1764. – Inv.Nr. 1764,6

Kleines Fragment eines Gefäßes aus blaßgrünem, mittelstarkem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – 6. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 2 (Anm. 7) Katalog 59.

Gel 20 Grab 1967. – Inv.Nr. 1967,6

Randbruchstück eines Spitz- oder Sturzbeckers aus olivgrünem, mittelstarkem Glas. Ansatz einer schrägen Riefelung zu erkennen. – Mündungsdurchmesser 6,7 cm. – 6. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 2 (Anm. 7) Katalog 90 Taf. 74,15.

Gel 21 Grab 2170. – Inv.Nr. 2170,6

Fragment einer Perle aus opakem, grünlichem Glas mit roten und gelben Einlagen. Form nicht zu bestimmen. – Wahrscheinlich erste Hälfte 7. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 2 (Anm. 7) Katalog 108.

Gel 22 Grab 2396. – Inv.Nr. 2396,5

Dekorfragment (Rüssel?) eines Gefäßes aus hellgrünem Glas. Gefäßform nicht zu bestimmen. – Anfang 7. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7) Katalog 19.

Gel 23 Grab 2398. – Inv.Nr. 2398,2

Kleines Fragment eines Gefäßes aus oliv-bräunlichem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – 6. bis 7. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7) Katalog 19.

Gel 24 Grab 2428. – Inv.Nr. 2428,3

Bodenteil eines Sturzbeckers aus olivbraunem Glas. Typ Gellep 233–235. – Anfang 7. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7) Katalog 23 Taf. 17,15.

Gel 25 Grab 2502. – Inv.Nr. 2502,3

Fragmente eines bauchigen Gefäßes aus blaßgrünem, mittelstarkem Glas. Form nicht zu rekonstruieren. – 6. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7) Katalog 32.

Gel 26 Grab 2528. – Inv.Nr. 2528,6

Zwei zylindrische Röhrchen aus dickem, hellolivgrünem, blasigem Glas. Länge 17 bzw. 10 cm. Beide Röhrchen sind auf beiden Seiten abgebrochen, waren also Teile von größeren Glasgegenständen. Vielleicht handelt es sich um die Endstücke einer römischen Glasampulle. Sie wären dann als antike Fundstücke in zweiter Verwendung in das Grab gelangt. – 6. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7): Text 143; Katalog 35 Taf. 32,10.

Gel 27 Grab 2528. – Inv.Nr. 2528,2.

Unterteil eines Rüsselbeckers aus fast farblosem Glas mit spiralig aufgelegtem Glasfaden. Typ Gellep 336. – Erhaltene Höhe 10 cm, Bodendurchmesser 4 cm. – 6. Jh.

Lit.: Krefeld-Gellep 3 (Anm. 7): Text 79; Katalog 35 Taf. 32,1.

PROBEN UND METHODEN DER CHEMISCHEN UNTERSUCHUNG

Eine kurze Charakterisierung der 12 römischen und 16 fränkischen Glasproben, die zur chemischen Analyse ausgewählt und ausführlich im Katalog beschrieben sind, findet sich in Tabelle 1. Die 28 Fragmente von Glasgefäßen, von einem Spinnwirtel, einer Glasröhre und einer Perle (evtl. Bruchstücke von mehreren Perlen) sind mit einer Elektronen-Mikrosonde (Typ ARL-SEM) analysiert worden. Die Ergebnisse der chemischen Analysen auf Hauptkomponenten und einige charakteristische, z.B. färbende, Nebenbestandteile sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die Elektronen-Mikrosonde besteht aus einem Elektronenmikroskop und mehreren Röntgen-Spektrometern. Der Elektronenstrahl des Mikroskops regt in einem sehr kleinen Volumen der Probe Röntgenstrahlung an. Dieses kleine Volumen hat einen Durchmesser von 0,01–0,02 mm. Weil nur ein so kleines Volumen analysiert wird,

Probe	Grab Nr.	Datierung des Grabes	Bruchstück von	Farbe	Wandstärke
Gel 1	533	etwa 300 n.Chr.	Schale mit graviertem Dekor	farblos	1–1,2 mm
Gel 2	1107	Ende 4. / Beginn 5. Jh.	Flaschenhals	helloliv	1,2–1,8 mm
Gel 3	1573/2	2. Hälfte 4. Jh.	Fußteil Pokal	hellgrün	2–2,5 mm
Gel 4	1746/3	2. Hälfte 4. Jh.	Flaschenboden	hellgrün	0,8 mm
Gel 5	1746/5	2. Hälfte 4. Jh.	Gefäß	farblos-helloliv	0,7 mm
Gel 6	2658/3	Mitte / 2. Hälfte 4. Jh.	Pokal	fast farblos	1,8–2,2 mm
Gel 7	2768/1	2. Hälfte 4. Jh.	Pokal (?)	hell gelbbraun	1–1,4 mm
Gel 8	2787/3	2. Hälfte 4. Jh.	bauchiges Gefäß	farblos	1–1,2 mm
Gel 9	2822/3	2. Hälfte 4. Jh.	Kugelflasche	hellgrün	0,7 mm
Gel 10	2873/2	2. Hälfte 4. Jh.	Gefäß	farblos	1–1,2 mm
Gel 11	2904/3	Ende 4. Jh.	Becher	farblos-hellgrün	1,5–1,8 mm
Gel 12	3004/2	Ende 4. Jh.	Fußteil Pokal	farblos-hellgrün	0,8 mm
Gel 13	13	7. Jh.	Sturzbecher mit senkrechten Rippen	oliv bis braun	0,5–0,8 mm
Gel 14	755	1. Hälfte 7. Jh. (?)	Sturzbecher mit senkrechten Rippen	olivgrün	0,3–0,4 mm
Gel 15	756	wahrscheinlich 5. Jh.	Spitzbecher mit Fadenauflage	grün (hell)	0,7–1 mm
Gel 16	781	2. Hälfte 5.–Beginn 6. Jh.	Miniaturläschchen	blau (tief)	2 mm
Gel 17	784	2. Hälfte 5.–Beginn 6. Jh.	Gefäß	farblos-hellgrün	0,7 mm
Gel 18	1232	Mitte 5. Jh.	Spinnwirtel	oliv	
Gel 19	1764/6	6. Jh.	Gefäß	farblos-hellgrün	1,3–1,8 mm
Gel 20	1967/6	6. Jh.	Spitzbecher oder Sturzbecher	olivgrün	0,6–2 mm
Gel 21	2170	7. Jh.	Perle(n) mit Augendekor	grün, gelb, rot	
Gel 22	2396/5	Beginn 7. Jh.	Rüssel von Rüsselbecher (?)	blaugrün	1–4,5 mm
Gel 23	2398/2	6./7. Jh.	Gefäß mit senkrechten Rippen	olivbraun	0,3–0,4 mm
Gel 24	2428/3	Beginn 7. Jh.	Unterteil von Sturzbecher	olivbraun	0,3–0,4 mm
Gel 25	2502/3	6. Jh.	bauchiges Gefäß	hellgrün	0,6 mm*
Gel 26	2528/6	6. Jh.	zylindrisches Glasrohr	helloliv (mit Blasen)	0,8 mm
Gel 27	2528/2	6. Jh.	Fußteil von Rüsselbecher	fest farblos-hellgrün	0,7–3 mm

Tabelle 1 Probenliste von Soda-Kalk-Gläsern aus römischen (Gel 1–12) und fränkischen (Gel 13–27) Gräbern vom Friedhof Krefeld-Gellep (Detailbeschreibung im Katalogteil); * unterschiedlich.

lassen sich in der Probe fast immer unverwitterte Teile auswählen. Bei der geringen Größe der Probe wird kostbares Material geschont. Die oben erwähnte Röntgenstrahlung wird durch Beugung an Kristallen in ihre elementspezifischen Wellenlängen zerlegt. Die Intensitäten der elementspezifischen Strahlungen werden mit Detektoren registriert und über Rechenprogramme in Konzentrationen umgerechnet. Die in Tabelle 2 für die einzelnen Proben aufgeführten Konzentrationswerte sind Mittel von Einzelmessungen an jeweils verschiedenen Stellen des Objektes, um dessen evtl. vorhandene Heterogenität des Glases zu erfassen. Die Genauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit der Messungen läßt sich an der sogenannten Standardabweichung erkennen. Diese Standardabweichung ist beim SiO_2 -Wert $\pm 0,5\%$. Das heißt, daß nahezu 70% aller Werte von Messungen einer Probe im Bereich von $x - 0,5\%$ bis $x + 0,5\%$ liegen. Der Fehlerbereich ist $\pm 1\%$ für die meisten chemischen Hauptkomponenten, $\pm 2\%$ für Na_2O , K_2O und MnO und liegt zwischen $\pm 5\%$ und $\pm 10\%$ für die Nebenbestandteile. Die Richtigkeit der Analysen wurde durch die Messung von Referenzproben mit bekannten Gehalten überprüft. Fünf Proben enthielten Kupfer und Blei als färbende Komponenten (Gel 15–17, Gel 21 g,r) und eine Kobalt (Gel 16). Kupferionen färben ein Glas, das in oxidierender Ofenatmosphäre hergestellt wurde, blaugrün, und kolloidales Kupfer oder Kupferoxid (aus reduzierender Ofenatmosphäre) färbt rot. Bleiglas hat eine gelbe Farbe; zusammen mit Kupferionen ergibt sich daraus eine tiefgrüne Mischfarbe. Kobalt färbt blau. Selbst mit niedrigen Gehalten von nur 0,1% Co erreicht man eine Blaufärbung des Glases.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PbO	CuO	CoO	Cl
Gel 1	72,62	0,05	1,70	0,31	0,00	0,36	5,73	16,68	0,45	0,03	0,00	0,00	0,00	1,12
Gel 2	63,35	0,32	2,66	1,47	1,96	1,34	5,35	21,00	0,31	0,05	0,00	0,00	0,00	1,29
Gel 3	68,50	0,14	2,33	0,75	1,14	0,80	5,33	19,72	0,48	0,04	0,00	0,00	0,00	1,10
Gel 4	70,01	0,11	2,27	0,67	1,13	0,63	6,12	17,34	0,48	0,07	0,00	0,00	0,00	0,94
Gel 5	68,56	0,07	2,36	0,61	1,17	0,77	6,30	17,94	0,42	0,05	0,00	0,00	0,00	1,06
Gel 6	65,93	0,16	2,16	0,68	1,19	0,80	4,94	21,09	0,47	0,09	0,00	0,00	0,00	1,01
Gel 7	68,19	0,11	2,23	0,57	1,14	0,69	6,58	18,09	0,53	0,08	0,00	0,00	0,00	1,06
Gel 8	69,10	0,15	1,97	0,53	0,94	0,91	5,56	18,78	0,34	0,05	0,00	0,00	0,00	1,37
Gel 9	68,18	0,14	2,17	0,69	1,15	0,80	6,11	18,71	0,52	0,06	0,00	0,00	0,00	1,15
Gel 10	69,91	0,09	1,88	0,47	0,96	0,73	5,72	18,43	0,33	0,04	0,00	0,00	0,00	1,34
Gel 11	70,98	0,13	2,11	0,13	0,20	0,76	6,10	16,37	0,51	0,07	0,00	0,00	0,00	0,98
Gel 12	68,62	0,10	2,28	0,65	1,25	0,74	5,04	19,26	0,47	0,07	0,00	0,00	0,00	1,05
Gel 13	70,91	0,08	2,98	0,56	0,03	0,80	8,25	14,43	0,56	0,12	0,00	0,00	0,00	0,86
Gel 14	69,18	0,10	2,37	0,59	0,52	0,63	7,13	15,22	0,89	0,15	0,00	0,00	0,00	0,85
Gel 15	66,26	0,17	2,20	1,26	1,00	0,88	6,25	16,76	0,58	0,12	1,57	0,43	0,00	0,96
Gel 16	70,20	0,11	2,17	1,25	0,96	0,85	6,49	15,43	0,67	0,09	0,20	0,20	0,13	1,24
Gel 17	68,80	0,12	2,29	0,84	0,95	0,59	6,69	17,56	0,64	0,09	0,45	0,15	0,00	0,85
Gel 18	70,83	0,28	1,98	0,93	0,40	1,20	6,22	16,86	0,39	0,10	0,00	0,00	0,00	1,10
Gel 19	70,08	0,06	2,00	0,70	1,10	0,84	5,99	17,24	0,64	0,05	0,00	0,00	0,00	1,27
Gel 20	62,32	0,19	2,47	2,02	1,66	1,21	7,28	19,52	0,84	0,19	0,00	0,00	0,00	0,84
Gel 21 rot	58,50	0,17	2,18	1,74	0,68	0,91	7,25	16,43	0,83	0,29	3,80*	1,85	0,00	0,88
Gel 21 gelb	60,00	0,16	2,32	0,97	1,43	1,30	7,39	17,56	0,99	0,25	6,00**	1,75	0,00	0,77
Gel 22	70,39	0,11	2,34	1,11	0,42	0,61	7,13	16,85	0,62	0,11	0,00	0,00	0,00	0,90
Gel 23	67,82	0,13	2,30	1,32	1,43	1,65	8,64	14,31	1,51	0,37	0,00	0,00	0,00	0,62
Gel 24	72,77	0,10	2,87	0,41	0,04	0,60	7,73	13,38	0,58	0,08	0,00	0,00	0,00	0,93
Gel 25	66,52	0,12	2,50	2,11	1,27	1,23	7,01	16,45	0,84	0,18	0,00	0,00	0,00	0,86
Gel 26	65,92	0,10	2,28	1,02	1,64	1,15	9,05	16,32	0,83	0,21	0,00	0,00	0,00	0,78
Gel 27	66,21	0,12	2,32	0,86	1,19	0,90	8,12	16,74	0,72	0,12	0,00	0,00	0,00	0,84
$\bar{x}_{12} \pm s$	68,66	0,13	2,18	0,63	1,02	0,78	5,74	18,61	0,44	0,06				1,12
römisch	2,35	0,07	0,25	0,32	0,50	0,22	0,51	1,50	0,08	0,02				0,14
$\bar{x}_{16} \pm s$	67,47	0,13	2,35	1,10	0,92	0,96	7,29	16,32	0,76	0,16				0,91
fränkisch	3,77	0,05	0,27	0,50	0,53	0,30	0,89	1,49	0,25	0,09				0,17
\bar{x}_{28}	68,0	0,13	2,27	0,90	0,96	0,88	6,63	17,30	0,62	0,13				1,00

Tabelle 2 Chemisch-analytische Daten der Mikrosondenmessung von 12 Proben aus römischen Gräbern und 16 Proben aus fränkischen Gräbern des Friedhofs von Krefeld-Gellep. – *plus 1,6 % SnO, **plus 1,0 % SnO.

ERGEBNISSE DER CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Das wichtigste Ergebnis unserer Untersuchung ist die Feststellung, daß es keine Unterschiede im chemischen Glastype zwischen den von uns ausgewählten römischen und fränkischen Gläsern gibt. Die in Tabelle 3 aufgeführten Mittelwerte der untersuchten 12 römischen und 16 fränkischen Gläser zeigen viele Übereinstimmungen, aber auch einige deutliche Unterschiede. So weist der durchschnittlich höhere Na₂O-Gehalt der römischen Gläser im Vergleich zu den fränkischen auf einen höheren Soda-Trona-Anteil in den Gemengen für die Herstellung der römischen Gläser hin. Dieser wird durch einen niedrigeren CaO-Gehalt infolge geringerer Kalkzusätze zum Gemenge kompensiert. Dieser Unterschied zwischen den beiden Gruppen von Gläsern ist wohl auf die wachsende Schwierigkeit zurückzuführen, für die fränkischen Glashütten Soda-Trona (oder entsprechendes Rohglas) über den Fernhandel zu beziehen. Ein anderer bemerkenswerter Unterschied zwischen den beiden Gruppen besteht in dem doppelt so hohen mittleren Eisengehalt (und leicht erhöhten Magnesiumgehalt) der fränkischen Gläser, der auf eine geringere Quarzsand- und (Kalk-)Qualität in der Verarbeitung der fränkischen Glashütten hinweist. Unter den

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Probenzahl	36	67	34	78	56	12	16	9	2	16
SiO ₂	69,7	68,6	68,2	71,8	71,1	68,7	67,5	67,6	67,8	69,9
TiO ₂	0,11	0,07	.	0,09	.	0,13	0,13	.	0,17	0,12
Al ₂ O ₃	2,4	3,0	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,4	2,3	2,1
FeO	0,57	0,76	0,74	0,67	0,44	0,63	1,1	0,82	2,0	0,95
MnO	0,43	0,51	0,36	0,29	0,57	1,0	0,92	1,4	0,56	0,51
MgO	0,74	0,54	0,55	0,57	≥0,2	0,78	0,96	1,0	0,75	0,71
CaO	7,0	7,0	7,1	6,4	6,5	5,7	7,2	7,7	7,1	7,6
Na ₂ O	17,6	16,0	16,5	18,1	16,3	18,6	16,3	18,1	16,2	15,8
K ₂ O	0,55	1,2	0,68	0,45	0,43	0,44	0,76	0,76	1,3	0,81
P ₂ O ₅	0,10	.	0,13	.	.	0,06	0,16	.	0,20	0,15
Cl	.	.	1,0	.	1,4	1,1	0,91	0,90	0,63	0,68

Tabelle 3 Römisches und früh- bis hochmittelalterliches Soda-Kalk-Glas nach Literaturangaben im Vergleich mit römischem und fränkischem Soda-Kalk-Glas vom Friedhof Krefeld-Gellep. – I Römisches Fensterglas, Schweiz, Italien, Kroatien usw.; BRAUN (Anm. 4). – II Römisches Becherglas, Schweiz; RÜTTI u. a. (Anm. 11). – III Römisches Gefäßglas, Argonnen, Frankreich; VELDE (Anm. 12). – IV Römisches Gefäß- und Rohglas, Köln; ROTTLÄNDER (Anm. 4). – V Römisches Gefäßglas, Römisch-Germanisches Museum Köln; VELDE (Anm. 12). – VI Römisches Gefäßglas, Friedhof Gellep; diese Arbeit. – VII Fränkisches Gefäßglas, Friedhof Gellep; diese Arbeit. – VIII Merowingisches Gefäßglas, Vicq, Frankreich; VELDE (Anm. 12). – IX Karolingisches Rohglas, Paderborn; WEDEPOHL (Anm. 18). – X Hochmittelalterliches Gefäß- und Fensterglas, Höxter, Brunshausen, Corvey; WEDEPOHL (Anm. 15).

Proben gibt es zwei römische (Gel 1, Gel 11) und eine fränkische (Gel 24) mit außergewöhnlich niedrigen Eisengehalten ($\leq 0,41\%$ FeO). Die Hersteller dieser wohl recht kostbaren Gläser kannten die sehr gute Qualität ihres Quarzsandes und setzten deshalb der Schmelze keinen Braunstein als Entfärber zu. Der MnO-Gehalt liegt in diesen Gläsern und in der Probe Gel 13 unter $0,20\%$ MnO. Alle übrigen Gläser enthalten mehr als $0,40\%$ MnO infolge zugesetzten Braunsteins. Das Fragment Gel 1 stammt von einer besonders kostbaren, mit Palmettendekor versehenen römischen Schale. Das Glas Gel 11 mit niedrigem Eisengehalt hat einen gravierten Dekor als Zeichen höherer Qualität. Vom Becher Gel 24 fehlt das Oberteil, so daß über die Qualität dieses Stückes keine Aussage möglich ist. Der relativ hohe K₂O-, P₂O₅- und (MgO-)Gehalt des Mittels der fränkischen Gläser im Vergleich mit den römischen ist weitgehend durch eine Probe verursacht worden. Es handelt sich dabei um das olivfarbene Gefäß Gel 23 mit Rippendekor aus einem Grab des 6./7. Jahrhunderts. Im Gegensatz zu allen anderen hier untersuchten römischen und fränkischen Gläsern und im Gegensatz zur weit überwiegenden Anzahl der von anderen Autoren untersuchten römischen Gläser ist das Glas der Probe Gel 23 unter Zusatz von Altglas eines gänzlich anderen Typs hergestellt worden⁸. Dieses Altglas erkennt man an seinen erhöhten K₂O-, MgO- und P₂O₅-Gehalten als Soda-Asche-Glas, das vor dem Übergang vom 8. zum 9. nachchristlichen Jahrhundert im westlichen Teil des Römischen Reiches und seiner direkten Nachfolger sehr selten war. Nach dem Übergang vom 8. zum 9. Jahrhundert wurde das Soda-Asche-Glas zunächst besonders von islamischen Glashütten benutzt⁹. Zuvor war es fast ausschließlich auf Persien und die Region östlich davon beschränkt. Die für eine größere Anzahl von fränkischen Glä-

⁸ SAYRE (Anm. 1).

⁹ Ebd.

sern nachweisbaren Unterschiede zur Hauptmenge der römischen Gläser (z. B. im Eisengehalt) sprechen gegen eine Verwendung von großen Mengen von römischem Altglas in fränkischen Glashütten.

Zum Vergleich mit den römischen Gläsern aus Gellep haben wir die folgenden Untersuchungsergebnisse aus der Literatur herangezogen: (a) 36 römische Fenstergläser des 1. bis 3. nachchristlichen Jahrhunderts, hauptsächlich aus dem Gebiet der Schweiz und Kroatiens¹⁰, (b) 8 Gruppen von insgesamt 67 römischen Bechern des 1. nachchristlichen Jahrhunderts aus dem Gebiet der Schweiz¹¹, (c) 34 römische Gläser des 2. und 3. nachchristlichen Jahrhunderts aus den Argonnen in Frankreich¹², (d) 78 römische Glasgefäße und Rohglasfragmente, hauptsächlich des 1. bis 3. nachchristlichen Jahrhunderts aus Köln¹³ und (e) 56 Gläser des 1. bis 4. nachchristlichen Jahrhunderts aus dem Römisch-Germanischen Museum in Köln¹⁴. Mittelwerte dieser 5 Gruppen von Literaturdaten, die mit modernen analytischen Methoden ermittelt wurden, sind zusammen mit denen der römischen und fränkischen Gläser aus Gellep in Tabelle 3 zusammengestellt worden.

Der Vergleich der 283 römischen Gläser von Tabelle 3 zeigt eine außergewöhnlich gute Übereinstimmung in den Hauptkomponenten SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO und K_2O zwischen den Gruppen. Die römischen Gläser aus Köln, die Rottländer analysiert hat, und die römischen Gläser aus Gellep haben etwas niedrigere CaO - und höhere Na_2O -Gehalte. Die Summe $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$ ist aber bei allen Gruppen römischer Gläser recht ähnlich. Auffallend sind wiederum die hohen Mangengehalte der römischen Gläser aus Gellep. Aus unserer Erfahrung mit mittelalterlichen Gläsern können wir sagen, daß eine derartige Homogenität eines Glastyps wie in der römischen Produktion im Mittelalter nicht wieder erreicht worden ist¹⁵. Die Homogenität läßt sowohl auf die Einhaltung eines Herstellungsrezeptes wie auch die Benutzung ähnlicher Rohstoffe schließen. Besonders wichtig ist auch die Feststellung, daß die in Tabelle 3 zusammengefaßten Gruppen aus Funden der gesamten römischen Kaiserzeit stammen und aus einem relativ großen Gebiet kommen (Deutschland, Schweiz, Frankreich, Italien und Kroatien).

Um Einzelheiten der Unterschiede zwischen den römischen und fränkischen Gläsern aus Gellep im Vergleich zu den römischen Gläsern aus anderen Fundorten zu erkennen, sind in den Abbildungen 2–5 die Beziehungen CaO-SiO_2 und $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ in den Proben graphisch dargestellt. Benutzt wurden dazu zusätzlich zu unseren Proben die vorher erwähnten Literaturwerte der Tabelle 3. Es muß dazu vermerkt werden, daß die Daten der 67 römischen Becher (mit Zirkusszenen als Dekor) aus

¹⁰ BRAUN (Anm. 4).

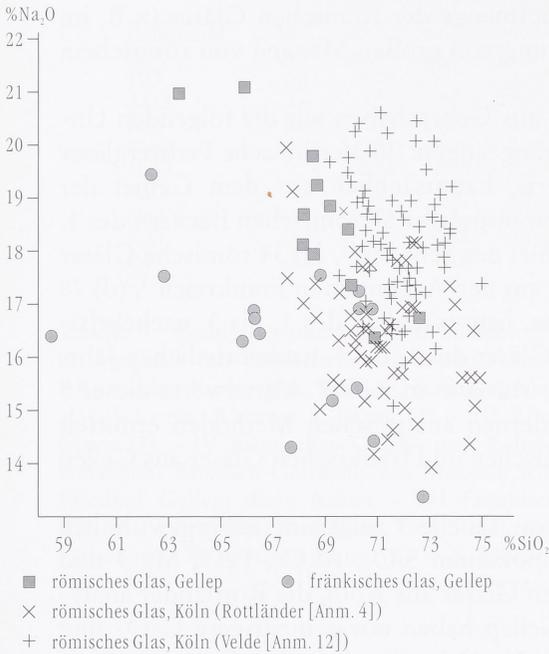
¹¹ B. RÜTTI / L. BERGER / S. FÜNFSCILLING / W. B. STERN / N. SPICHTIG, Die Zirkusbecher der Schweiz, eine Bestandsaufnahme. Jahresber. Ges. Pro Vindonissa 1987, 27–104.

¹² B. VELDE, Alumina and calcium oxide content of glass found in western and northern Europe first to ninth centuries. Oxford Journal Arch. 9, 1990, 105–117.

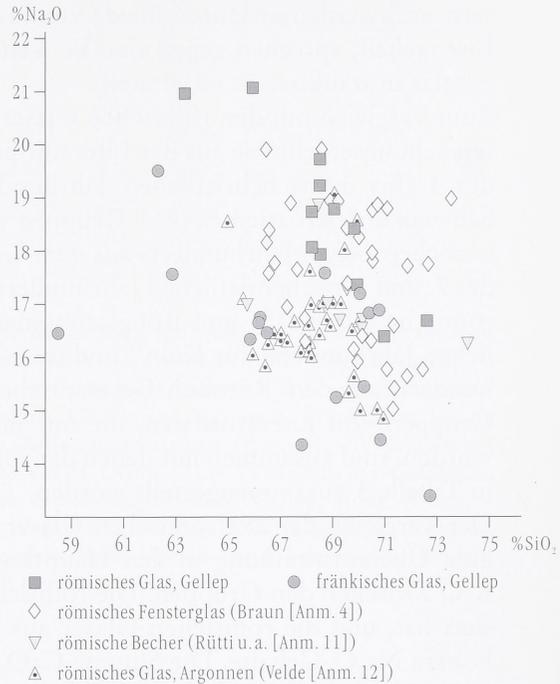
¹³ RÖTTLÄNDER (Anm. 4).

¹⁴ VELDE (Anm. 12).

¹⁵ K. H. WEDEPOHL, Die Herstellung mittelalterlicher und antiker Gläser. Abhandl. Akad. Wiss. Lit. Mainz, Math.-naturwiss. Kl. (1993) 1–38. – K. H. WEDEPOHL, Mittelalterliches Glas in Mitteleuropa. Zusammensetzung, Herstellung, Rohstoffe. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen 2, Mathemat. Physikal. Kl. 1, 1998, 1–56.

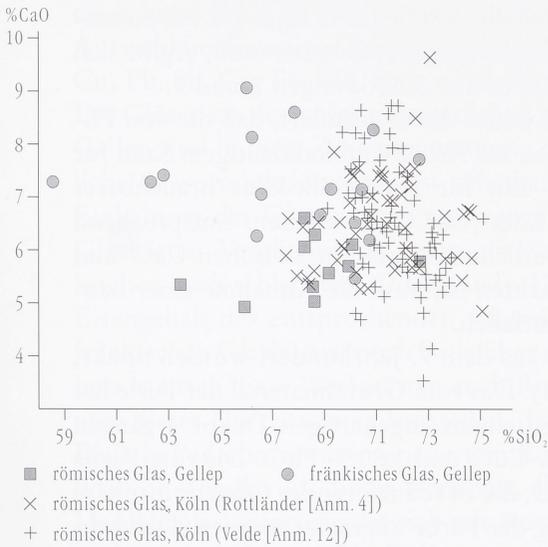


2 Korrelationen zwischen Na_2O - und SiO_2 -Gehalten in römischen und fränkischen Gläsern (die SiO_2 -Werte von Rottländer sind im Mittel um 3,6 % SiO_2 zu hoch).



3 Korrelationen zwischen Na_2O - und SiO_2 -Gehalten in römischen und fränkischen Gläsern.

der Schweiz zu acht Farbtypen zusammengefaßt wurden. Damit die Darstellungen nicht zu unübersichtlich wurden, sind die Literaturwerte auf je zwei Diagramme aufgeteilt. Im Vergleich zu den mit Probensymbolen dicht besetzten Teilen der Abbildungen, die die Literaturwerte für die gesamte römische Kaiserzeit repräsentieren, streuen die darstellenden Punkte für die Gläser aus Gellep viel stärker. Das gilt für die römischen wie für die fränkischen Proben. Da die römischen Proben aus Gellep (mit Ausnahme von Gel 1) aus der zweiten Hälfte des 4. Jahrhunderts stammen, kündigt die große Streuung sehr wahrscheinlich Mängel in der straffen Organisation und der Qualität des Personals in den römischen Glashütten gegen Ende der römischen Besatzung an. Während der römischen Kaiserzeit wurden bei der Herstellung der Gemenge für die Glasschmelzen offenbar im allgemeinen die durch ein Rezept festgelegten Proportionen zwischen Soda, Quarzsand und Kalk ziemlich streng eingehalten. Dadurch erreichte man zu allen Zeiten eine gleichartige Qualität des Glases, das bei ähnlichen Ofentemperaturen erschmolzen wurde. Diese Sorgfalt ging gegen Ende der römischen Zeit wohl verloren. Vielleicht wurden keine guten Waagen mehr benutzt oder die Rohstoffe vor dem Wiegen nicht getrocknet, sondern die zur Mischung notwendigen Mengen nur noch geschätzt. Die mangelnde Sorgfalt der spätrömischen Periode setzt sich in der fränkischen fort. Wie von experimentell ermittelten Schmelztemperaturen für unterschiedliche SiO_2 - Na_2O - CaO -Mischungen bekannt ist, nehmen diese Temperaturen mit steigenden SiO_2 -Gehalten besonders



4 Korrelationen zwischen CaO- und SiO₂-Gehalten in römischen und fränkischen Gläsern (die SiO₂-Werte von Rottländer sind im Mittel um 3,6 % SiO₂ zu hoch).



5 Korrelationen zwischen CaO- und SiO₂-Gehalten in römischen und fränkischen Gläsern.

deutlich zu¹⁶. Die SiO₂-Gehalte der hier untersuchten römischen und fränkischen Gläser liegen zwischen 59 und 73 % SiO₂. Das ist – gemessen an den vielen Proben aus der früheren römischen Kaiserzeit und aus einem viel größeren Gebiet (65–75 % SiO₂) – ein sehr großer Variationsbereich, der mit der Erzeugung von allerhand unbrauchbarem Schmelzgut und damit der Verschwendung von Rohstoffen verbunden gewesen sein muß.

Durch die entsprechenden darstellenden Punkte in den Abbildungen 2–5 wird deutlich gezeigt, daß die römischen und fränkischen Gläser von Gellep unterschiedliche Zusammensetzungen haben. In der fränkischen Glasproduktion wurde, wie schon erwähnt, offenbar wenig römisches Altglas wiederverwendet. Weniger als die Hälfte des Bereichs der Gelleper Gläser überlappt sich mit dem Bereich der römischen Gläser aus Köln. Obwohl benachbart, haben die Römer in Gellep offenbar ihr Glas nicht bevorzugt aus der relativ großen Produktion in Köln bezogen. Die Kölner Gläser sind übrigens – verglichen mit der anderen kaiserzeitlichen Produktion – mit relativ hohen SiO₂-Gehalten (meist 69–73 % SiO₂) hergestellt worden, was für ihre besondere Qualität (und auch Wasserresistenz) spricht. Die kostbare, wohl um 300 entstandene römische Glasschale mit Palmettendekor aus Gellep (Gel 1) hat ebenfalls einen relativ hohen SiO₂-Gehalt. Sie könnte von ihrer Zusammensetzung her in Köln hergestellt worden sein. Schalen dieser Art sind aber im Kölner Gebiet nicht gefunden worden. Einen relativ hohen SiO₂-Gehalt, kombiniert mit niedrigen FeO-Werten, haben auch alle drei untersuchten fränkischen Sturzbecher (Gel 13, 14, 24) sowie ein römisches Becher (Gel 11) und die blauen, mit Zirkusszenen dekorierten

¹⁶ K. A. SHAHID / F. B. GLASSER, *Physical Chemistry of Glasses* 12 (1971) 50 ff.

römischen Becher aus der Schweiz, die in Tabelle 3 aufgeführt sind. Da bei zunehmendem Quarzanteil der Sodagehalt des Glasgemenges abnehmen muß, ergibt sich eine negative Korrelation von Na_2O mit SiO_2 in den Abbildungen 2 und 3.

In der Einführung zu dieser Arbeit wurde Zweifel daran geäußert, daß die von Plinius erwähnte Entstehung einer Glasschmelze aus Asche und kalkhaltigem Sand für die Glasproduktion relevant sein könnte. Ein für Soda-Kalk-Glas brauchbarer Quarzsand müßte dann immer etwa 20% Kalk (CaCO_3) enthalten. Entsprechend sollte in den Abbildungen 4 und 5 eine deutliche Korrelation zwischen CaO und SiO_2 zu sehen sein. Da diese nicht zu beobachten ist, muß die Annahme einer häufigen Verwendung von kalkhaltigem Sand entfallen.

Aus den Funden im fränkischen Grab 2170 aus dem 7. Jahrhundert wurden opake, farbige Perlenbruchstücke analysiert (Gel 21). Das rote Grundmaterial der Perle hat gelbe und grüne Einlagen, die man evtl. zu einem augenartigen Dekor ergänzen kann. Das rot-opake Material enthält 1,85% CuO und 3,80% PbO . Die rote Farbe stammt von kolloidalem Cu und/oder Cu_2O , die in reduzierender Ofenatmosphäre hergestellt wurden. Blei ist zur Stabilisierung der Farbe zugesetzt worden. Die dazu notwendigen Bleimengen wurden im Laufe der Zeit verändert und lagen im 1. bis 2. nachchristlichen Jahrhundert zwischen 2 und 13% PbO ¹⁷. Demnach ist anzunehmen, daß diese Perle entsprechend alt ist. Die gelbe Farbe des Dekors wurde durch Zusatz von 6% PbO zusammen mit 1% SnO zur Glasmischung erzielt. Abschließend sei erwähnt, daß die Zusammensetzung des zylindrischen Glasrohrbruchstücks (Gel 26), dessen Zuordnung zu einem fränkischen Gefäßtyp Schwierigkeiten macht, nach unseren Erfahrungen wohl fränkischen und nicht römischen Ursprungs ist.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die kaiserzeitliche Glasproduktion im Römischen Reich hielt sich recht streng an ein Rezept für ein bestimmtes Soda-Kalk-Glas. Hiernach wurden für das Ausgangsgemenge zur Schmelzherstellung etwa 62% reiner Quarz(sand), 26% Soda aus Tronalagerstätten, 11% reiner Kalk (und 2% Braunstein oder weniger als Entfärber) benötigt. Die Soda wurde wahrscheinlich vorwiegend aus den Tronalagerstätten ägyptischer Salzseen importiert. Für besonders kostbare (und wasserresistente) Gläser wählte man einen sehr reinen Quarzsand, der ganz eisenarm war, und veränderte das normale Glasrezept etwas zugunsten eines wenige Prozent höheren Quarzanteils. Es zeigt sich, daß die römischen Glashütten gute Kenntnisse von den Beziehungen zwischen Gemengezusammensetzung, Schmelztemperatur und Glaseigenschaften hatten. Im Mittel enthielt der normale, von den Römern verwendete Quarzsand etwa 5% Al_2O_3 , das in diesen Sanden meist in Form von Feldspaten, Tonmineralen und Glimmern vorliegt. Aus den Glashäfen kommt meist nur wenig Al_2O_3 in die Schmelze. Das bereits erwähnte Glas mit Palmettendekor (Gel 1) ist aus Quarzsand gefertigt, der nur etwa 3% Al_2O_3 enthielt. Die relativ hohen SiO_2 -Gehalte der römischen Gläser aus Köln sprechen dafür, daß man dort bevorzugt sehr gute Glasquali-

¹⁷ J. HENDERSON, The scientific analysis of ancient glass and its archaeological interpretation. In: J. HENDERSON (Hrsg.), Scientific Analysis in Archaeology and its Interpretation. Univ. Comm. Arch. Monogr. 19 (1989) 30–62.

täten herstellte. Die Römer hatten offenbar auch Experten für die Auffindung und Auswahl hochwertiger Rohstoffe (reine Quarzsande, reine Kalke, Verbindungen von Cu, Pb, Sb, Co, Fe, Mn, Sn u. a.) als Farbstoffe bzw. Entfärber.

Die Gläser aus den spätkaiserzeitlichen römischen sowie den fränkischen Gräbern in Gellep sind in ihrer Zusammensetzung deutlich variabler als die normale kaiserzeitliche Glasproduktion. Dies ist offenbar ein Zeichen von geringer Sorgfalt bei der Einhaltung des Glasrezeptes und zeugt von einem Nachlassen der Qualität in den Glashütten. Verglichen mit den römischen Produktionsstätten verwendeten die fränkischen auch schlechtere Quarzsande. Das ist erkennbar an einem doppelt so hohen Eisengehalt des entsprechenden Glases. Überraschend ist allerdings, daß auch die fränkischen Glashütten noch Soda über den Fernhandel beziehen konnten. Vielleicht importierten diese Werkstätten auch Rohglas aus der Levante. Es ließ sich im Rahmen dieser Untersuchung feststellen, daß die karolingische Glaswerkstatt neben der Pfalz in Paderborn mit importiertem Rohglas arbeitete¹⁸. Tabelle 3 enthält eine Analyse von Rohglas aus dieser Werkstatt, die etwa von 775–778 n. Chr. tätig gewesen ist. Das Rohglas unterscheidet sich mit Ausnahme eines doppelt so hohen Eisengehaltes und etwas niedrigerer Na₂O-Konzentration kaum vom Mittel der Gläser aus Gellep. Auch neun merowingerzeitliche, in Tabelle 3 aufgeführte Gläser aus dem Gebiet von Paris haben eine ähnliche durchschnittliche Zusammensetzung¹⁹. Römisches Altglas wurde offenbar in den fränkischen Hütten oder von deren Lieferanten von Rohglas wenig verwendet. Um 800 n. Chr. führte man dann in Mitteleuropa zusätzlich zu dem Soda-Kalk-Glas einen neuen Glastyp ein, der ausschließlich aus heimischen Rohstoffen hergestellt wurde, das Holzasche-Glas²⁰.

Abbildungsnachweis

1–5 WISA Frankfurt a. M. (V. Hassenkamp, TRH) nach Vorlagen der Autoren

¹⁸ K. H. WEDEPOHL / W. WINKELMANN / G. HARTMANN, Glasfunde aus der karolingischen Pfalz in Paderborn und die frühe Holzasche-Glasherstellung. Ausgr. u. Funde Westfalen-Lippe 9A (1997) 41–53.

¹⁹ VELDE (Anm. 12).

²⁰ WEDEPOHL u. a. (Anm. 18).