

Enzym und Zucker als Zwischenreaktionskatalyse zu betrachten, deren Kinetik dem Massenwirkungsgesetz in seiner einfachsten Form folgt. Die weiteren Konsequenzen, die sich in mathematischer Beziehung aus dieser Betrachtungsweise ergeben, und die Auswertung der experimentellen Befunde können in dieser kurzen Übersicht nicht näher behandelt werden. Nur so viel sei erwähnt, daß nach unseren neuesten Untersuchungen ein Teil der Schlüsse, die zu ziehen man sich berechtigt glaubte, hinfällig geworden ist. Wir konnten zeigen¹⁴⁾, daß die β -h-Fructosidase des *Aspergillus oryzae* gemäß den Kriterien von Michaelis und Rona¹⁵⁾ eine auf Affinität beruhende Hemmung durch α -Glucose zeigt, während n-Fructose die Dissoziationskonstante bei wechselnder Substratkonzentration unverändert läßt. Die β -h-Fructosidase der Hefe zeigt aber, wie aus den umfangreichen Untersuchungen von Kuhn¹⁶⁾ hervorgeht, gerade umgekehrtes Verhalten. Nachdem wir die Identität beider Enzyme erwiesen haben, muß man annehmen, daß die erwähnten Messungen durch „akzessorische“ Begleitstoffe entstellt sind, daß also nur „schein-

bare“ Affinität vorliegt. In Wirklichkeit ist ja auch eine Verwandtschaft der β -h-Fructosidase weder zu α -Glucose noch zur β -n-Fructose zu erwarten. Das Enzym sollte lediglich zu der im Rohrzucker vorliegenden h-Form der Fructose Affinität zeigen. Das steht auch in bester Übereinstimmung mit der Wirkungsweise des Enzyms. Der direkte experimentelle Affinitätsnachweis zu h-Fructose scheitert aber an der Unzugänglichkeit bzw. Unbeständigkeit dieses Körpers. Wir müssen uns also vorläufig damit begnügen, diese Affinität theoretisch anzunehmen, und ich glaube, daß das Bestehen solcher „wirklichen“ Affinität im ursprünglichen Sinne von Michaelis und Pechstein¹⁷⁾ für den Eintritt der Spaltung als hinreichend gelten muß. Eine endgültige Klärung in diesem Punkt werden erst Untersuchungen an isolierten Enzymen geben können, ein Problem, dessen Verwirklichung hoffentlich nicht mehr in zu weiter Ferne liegt. Im Augenblick aber kann das Massenwirkungsgesetz als Grundlage der enzymatischen Kohlehydratspaltungen, wenn auch in eingeschränkter Fassung, weiter wertvolle Dienste leisten.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde ich von Frl. D. Wischniewsky aufs beste unterstützt.

[A. 101.]

¹⁷⁾ Biochem. Ztschr. 60, 90.

Antike Gläser. IV.

Von Prof. Dr. BERNHARD NEUMANN.

Institut für Chemische Technologie der Technischen Hochschule zu Breslau.

(Eingeg. 26. April 1929)

Nachstehend sind die Ergebnisse der Untersuchungen an einigen antiken ägyptischen, babylonischen und römischen Gläsern mitgeteilt. Die untersuchten Gläser, die ägyptischen sowohl wie die babylonischen, sind die ältesten, von denen bis jetzt genaue Analysen gemacht worden sind. Die römischen Stücke sind deshalb besonders interessant, weil eins derselben ein Millefiori-glas ist, d. h. es sich also um Gläser handelt, die aus einer Zeit stammen, wo die römische Glasmacherkunst auf ihrer höchsten Höhe stand.

Altägyptische Gläser.

(Um 1500 v. Chr.)

Von ägyptischen Gläsern wurden von mir schon früher untersucht und besprochen: 12 Gläser aus Tel el Amarna (um 1400 v. Chr.), 10 Gläser von der Insel Elephantine (2.—1. Jahrhundert v. Chr.), und 2 alexandrinische Gläser (etwa vom Beginn unserer Zeitrechnung)¹⁾. Die gleichartige Zusammensetzung der Gläser dieser einzelnen Gruppen deutet darauf hin, daß sie lokalen Erzeugungstätten entstammen, was bei den ersten beiden Gruppen auch in anderer Weise sichergestellt ist. Bei zwei später untersuchten ägyptischen Gläsern aus Gräbern der Umgegend von Theben (etwa 1500 v. Chr.)²⁾ war das ziemlich unsicher. Nun war Herr Prof. W. Biltz, Hannover, so liebenswürdig, mir weiteres sicher datiertes Material aus den Gräbern von Gorub Medined (1500 v. Chr.) zur Verfügung zu stellen, von dem an einigen besonderen Stücken Analysen ausgeführt wurden. Es waren lauter Bruchstücke von flaschenförmigen Gefäßen. Der Untergrund, d. h. die Glasmasse, war das typische ägyptische Dunkelblau, meist nur durchscheinend. Ein Bruchstück bestand allerdings aus einem sattblauen durchsichtigen Glase, was bei Gläsern dieses Alters eine Ausnahme und auf-

fällig ist. Noch eigenartiger war ein anderes Bruchstück, ebenfalls fast durchsichtig, aber nicht blau, sondern dunkelviolet. Alle Bruchstücke hatten auf der Oberfläche die bekannten feinen Einlagerungen gelber, graublauer und weißer Streifen der üblichen Form, nur das durchsichtige blaue Glas hatte ausnahmsweise nur weiße (mit Zinnoxid getrübe) Streifen.

Die Analysen von 4 Gläsern dieser Herkunft sind nachstehend aufgeführt. Dazu ist vorher zu bemerken: Die Gläser haben alle einen geringen Wassergehalt, 0,1—0,19%, sie enthalten sämtlich kein Blei, und die Blaufärbung der ägyptischen Gläser stammt niemals von Kobalt, wie ausdrücklich wieder festgestellt wurde. Die in der Analyse angegebenen geringen Zinnmengen (und etwas Eisenoxyd) stammen aus den aufgelegten fadenförmigen getrübbten Streifen, die sich nicht von der Grundmasse des Glases trennen lassen. Die Trübungsmittel finden sich also nur in den Verzierungs-fäden, nicht aber in der Grundmasse.

Ägyptische Gläser von Gorub Medined (1500 v. Chr.)

	Nr. 95 Dunkelblau durchscheinend mit grauen und gelben Einlagen	Nr. 96 Dunkelblau durchscheinend m. graublauen u. gelben Einlagen	Nr. 97 Violett, fast durchsichtig, m. graublauen u. gelben Einlagen	Nr. 98 Sattblau, durch- sichtig, mit nur weißen Streifen. Etwas blasig. Ganz klar.
	%	%	%	%
SiO ₂	67,80	62,70	62,90	67,03
CaO	3,80	8,80	8,87	7,83
MgO	2,89	3,29	5,49	4,93
Fe ₂ O ₃	0,92	1,07	1,29	1,88
Al ₂ O ₃	3,22	3,82	2,58	2,48
Mn ₂ O ₃	0,54	0,83	1,71	2,64
CuO	1,51	1,00	0,46	0,79
Na ₂ O	16,08	15,21	12,83	10,12
K ₂ O	2,08	2,12	1,86	1,82
SO ₃	1,01	0,94	1,51	0,75
SnO ₂	0,51	0,41	0,42	0,39
	100,36	100,19	99,92	100,66

¹⁾ Ztschr. angew. Chem. 1925, S. 776 u. 857.

²⁾ Ebenda 1927, S. 963.

Überblickt man die Zusammensetzung³⁾ dieser vier Gläser, so zeigen sie die typischen Merkmale der alt-ägyptischen Gläser, deren Gehalt an Kalk und Magnesia, ebenso an Eisen und Tonerde immer auf die Verwendung ein und derselben Rohmaterialien (Wüstensand) deutet. Die Färbung ist ebenfalls die übliche Kupfer-Mangan-Färbung. Auch das Verhältnis der beiden Alkalien zueinander ist das übliche, der Gesamtalkaligehalt des violetten und durchsichtigen blauen Glases ist dagegen wesentlich geringer als der Durchschnitt der ein wenig jüngeren Amarna-Gläser. Sie sind vielleicht überhaupt die besten der bisher untersuchten ägyptischen Gläser, was auch durch ihren ausgezeichneten Erhaltungszustand bestätigt wird. Die 1300 Jahre jüngeren Elephantine-Gläser sind ebenfalls viel weicher eingestellt. Die Gläser Nr. 96–98 von Gorub Medined dürften wohl ein und derselben Herstellungsstätte entstammen. Hiervon weicht das etwas trübe Glas Nr. 95 in seiner Zusammensetzung sichtlich ab, es ähnelt aber auffällig dem einen der beiden dunkelblauen Gläser (Nr. 72) aus derselben Zeit „aus der Umgebung von Theben“, dessen Zusammensetzung schon früher mitgeteilt wurde⁴⁾. Die jetzt untersuchten Gläser bestätigen wieder und eigentlich noch besser die merkwürdige Tatsache, daß die ältesten ägyptischen Gläser, nämlich solche der 18. Dynastie, glastechnisch viel besser und widerstandsfähiger sind als alle bekannten antiken Gläser der nächsten 2000 Jahre.

Hilprecht⁵⁾ ist übrigens bei seiner Besprechung der Ausgrabungen von El Amarna auf Grund äußerer Betrachtung der Funde zu einem ähnlichen Urteil gekommen: „All the rings and different amulets of pearls . . . shows, that the end of the Eighteenth Dynasty, about 1400 B. C., was the best period of Egyptian art, especially in the manufacture of glass and faience articles. Never again such a fine glaze, such a fresh blend of colors, reached as in the pieces of that period.“

Es wird nun auch interessieren, zu wissen, ob und was bei den jüngsten ägyptischen Funden im Grabe Tut-ench-Amuns von Glasgegenständen zutage gekommen ist. Tut-ench-Amun ist der Schwiegersohn Echn-Atons (Amenophis IV.); er folgte letzterem etwa ein Jahr nach dessen Tode auf dem Throne. Die aus seiner Regierungszeit stammenden Glasgegenstände sind also noch ein wenig jünger als die von Tel el Amarna (der Residenz Echn-Atons). In dem Buche Howart Carters „Tut-ench-Amun“, (2. Band, S. 208, 1927) äußert sich der Regierungschemiker Lucas am Museum in Kairo wie folgt über die im Grabe gefundenen Glasgegenstände. „Glas wurde in dem Grabe, einige kleine Schalen und Gefäße ausgenommen, nur in Form von Einlagen und Perlen gefunden. Die Perlen des Glases, das im Grab gefunden wurde, waren weiß, rot, blau, grün, gelb und schwarz. Weißes Glas ist sehr selten, nur ein kleines durchscheinendes Gefäß, mehrere Ringe und ein paar undurchsichtige Perlen aus weißem und schwarzem Glase waren vorhanden. Das Weiß rührt wahrscheinlich von Zinnoxid⁶⁾ her, das als geeignetes Material schon in Ägypten bekannt war. Durch Analyse konnten wir diese Annahme noch nicht bestätigen.“ Die Weißtrübung mit Zinnoxid ist mehrfach von mir festgestellt, z. B.

³⁾ Wenn, wie früher, Eisen als Fe_2O_3 und Mangan als Mn_2O_3 in den Analysen angegeben ist, so soll damit keineswegs gesagt sein, daß Eisen und Mangan in dieser Form im Glase vorhanden waren.

⁴⁾ Ztschr. angew. Chem. 1927, S. 963.

⁵⁾ Explorations in Bible Lands, Philadelphia 1903, S. 675.

⁶⁾ In der deutschen Übersetzung steht irrtümlich „Zinkoxyd“ und „Kupferoxyd“.

durch die eben mitgeteilten Analysen der vier Gläser, wo die getrübbten, farbigen, eingelegten Fäden immer Zinnoxid enthalten, aber auch besonders augenfällig in den türkisblauen getrübbten Amarna-Gläsern. „Rotes Glas ist immer undurchsichtig und ahmt roten Jaspis nach. Schon sein Aussehen beweist, daß die Farbe von Kupferoxydul⁷⁾ herrührt, und die chemische Analyse bestätigt es. Blaues Glas ist undurchsichtig, in einigen Fällen durchscheinend. Es kommt in verschiedenen Tönen vor, in Dunkelblau als Nachahmung von Lapislazuli, in Hellblau und Grünlichblau als Türkisnachahmung. Gerade diese Farbtöne sind chemisch besonders interessant, und die Analyse ergibt, daß alle drei von einem Kupferzusatz herrühren. Nur das dunkle Lapislazuliblau ist gelegentlich mit Kobalt gefärbt, aber unter den vielen, im Grab gefundenen Stücken war es nur bei einem der Fall. Alle anderen blauen Färbungen stammen von Kupfererz her. Kobalt wird in Ägypten nur in sehr geringen Mengen als Verunreinigung von andern Mineralien gefunden. Es ist weder erwiesen noch sehr wahrscheinlich, daß dies den alten Ägyptern bekannt war. Vielmehr ist es fast sicher, daß das nötige Kobalt eingeführt wurde.“ Was die letzte Bemerkung über die Blaufärbung der Gläser betrifft, so ist auffällig, daß nur ein einziges Stück als kobalthaltig festgestellt wurde. Noch mehr muß auffallen, daß überhaupt ein kobalthaltiges Glas gefunden wurde. Lucas sagt mit Recht, daß sonst die dunkelblauen ägyptischen Gläser allein mit Kupferoxyd blau gefärbt sind. Ich selbst habe nun neun dunkelblaue und einige türkisblaue altägyptische Gläser quantitativ untersucht und nie eine Spur Kobalt nachweisen können; die Färbung kommt immer durch Kupfer- und Manganoxyde zustande.

Es ist bis jetzt überhaupt nur ein einziges Mal mit Sicherheit Kobalt als Färbungsmittel in einem antiken Glase nachgewiesen worden, und zwar in einem alten babylonisch-assyrischen Glase⁷⁾. Bei dieser Gelegenheit habe ich gezeigt, daß die sämtlichen andern Angaben in der Literatur über einen Kobaltgehalt in antiken Gläsern unbewiesen oder falsch sind. Man muß deshalb wohl annehmen, daß auch das im Grabe Tut-ench-Amuns gefundene einzige kobalthaltige Glasstück vielleicht ein babylonisch-assyrisches Erzeugnis ist, welches als besondere Kostbarkeit mit in das Königsgrab gegeben wurde. (Das ägyptische Königshaus stand in nahen verwandtschaftlichen Beziehungen zum König von Mitanni, dessen Land an den Ufern des Euphrat lag.)

Die andern von Lucas an Glasgegenständen des Grabes beobachteten Farben Weiß, Rot, Blau, Grün, Gelb und Schwarz sind von mir schon an Amarna-Gläsern festgestellt und besprochen worden. Richtig ist, daß Grünfärbung nur bei undurchsichtigem Glas auftritt und durch Kupferoxyd und irgendeinen gelben Bestandteil veranlaßt ist (letzterer kann aber nicht gut Bleioxyd sein, da die geringen Mengen keine Gelbfärbung des Glases ergeben können). „Über die gelbe Farbe an alt-ägyptischem Glas gibt es keine Aufzeichnungen, auch ist kein gelbes Glas aus dem Grab analysiert. Nur ein Stück der 18. Dynastie, das mir Dr. H. Carter überließ, wurde untersucht und ergab, daß sein Gelb von einer Mischung aus Antimon und Blei herrührt.“ Dieser Angabe stehe ich sehr skeptisch gegenüber, da wir in keinem der vielen untersuchten Gläser Antimon angetroffen haben und bei so geringen Mengen Verwechslungen nicht ausgeschlossen sind. Die von uns untersuchten gelben Amarna-Gläser weisen alle erheb-

⁷⁾ Chem.-Ztg. 1927, S. 1013.

liche Sulfatgehalte auf; in dem honiggelben durchsichtigen Glase liegt also wahrscheinlich Schwefelfärbung vor, vielleicht hat diese auch bei dem undurchsichtigen, fast apfelsinenfarbigen Glase mitgewirkt, die Hauptursache der Färbung ist hier aber gelber Ocker, der im Glasfluß suspendiert ist. „Das schwarze Glas konnte nicht chemisch untersucht und der Farbstoff nicht bestimmt werden“. Die schwarzen Gläser sind nach unseren Feststellungen nicht eigentlich schwarz, sondern, wie man an dünnen Splittern erkennen kann, schwarzviolett oder schwarzgrün. Das violette Schwarz kommt durch eine Häufung von Oxyden des Mangans, Kupfers und Eisens zustande; das grünschwärze Elephantine-Glas war durch fast 10% Eisen grün gefärbt (Eisenoxydulsilicat).

Altbabylonisch-assyrische Gläser

(Um 1400 v. Chr.).

In den Jahren 1888–1896 wurden in Nippur von der Pennsylvania-Universität Ausgrabungen veranstaltet, bei welchen über den Ruinen des Bêl-Tempels eine ausgedehnte Palast- und Befestigungsanlage der seleucidisch-parthischen Zeit (um 250 v. Chr.) aufgedeckt wurde. Dabei kamen auch reichlich Glasbruchstücke zutage, von denen ich einige typische Stücke untersuchen konnte⁸⁾.

In diesen der parthischen Periode angehörigen Schichten fand Peters in einem Raume eine größere Anzahl cassitischer Weihegaben aus geschnittenem Achat, aus dünnen, runden Lapislazuli-Plättchen usw., die mit kurzen Inschriften versehen waren und die zweifellos einer viel älteren Zeit angehören. Die Deutung des Alters und die Herkunft dieser Dinge wurde von Hilprecht richtiggestellt. Die Lapislazuli-Plättchen tragen die Namen der cassitischen Könige Kurigalzu, Nazi-Maruttash und Kadashman-Turgu, welche der Zeit von 1400–1300 v. Chr. angehören. Mit diesen Plättchen aus echtem Lapislazuli zusammen fanden sich auch Gegenstände aus „künstlichem Lasurstein“, d. h. einem dunkelblauen undurchsichtigen Glasflusse, die derselben Zeit angehören müssen. Hilprecht berichtet in seinem schon genannten Buche darüber folgendes: „Die genannten cassitischen Weihegaben in Achat, Magnetit, Feldspat, Elfenbein, Türkis, Malachit, Lapislazuli und die Nachahmungen der letztgenannten drei Halbedelsteine in Glas, zusammen mit unbeeideter Gold, Amethyst usw., lagen ursprünglich in einem Holzkästchen, von welchem noch verkohlte Reste und Kupfernägeln gefunden wurden. Diese kostbaren Gaben sind ursprünglich offenbar von den genannten cassitischen Königen zwischen 1400 und 1300 v. Chr. dem Bêl-Tempel geweiht worden. Tausend Jahre später hat ein parthischer Händler oder Juwelier die Sachen gefunden, hat sie teilweise zerschlagen und auf Arm- und Halsbänder verarbeitet. Über sein Geschäft und seine Zeit ist aber eine weitere Katastrophe hereingebrochen und so sind die Sachen erhalten geblieben, aber mit Gegenständen einer ganz andern Zeitepoche zusammen gefunden worden.“

Es war natürlich sehr wünschenswert, etwas über die Zusammensetzung so alter babylonischer Gläser zu erfahren, zumal auch hier wieder bunte, undurchsichtige Glasflüsse wie bei den Ägyptern als Ersatz für die Schmucksteine Türkis und Lapislazuli gedient hatten,

und außerdem auch Malachit nachgeahmt worden zu sein schien.

Dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Präsidenten Morey und des Herrn Kurator Legrain vom Museum der Pennsylvania-Universität verdanke ich die Möglichkeit, einige dieser kostbaren Stücke untersuchen zu können. Herr Legrain teilte mir allerdings schon mit, daß die Annahme Hilprechts, betreffs der Malachit-Nachahmung, wohl ein Irrtum sein müsse, da eigentlich nur zwei Sorten von Gläsern vorhanden seien, dunkelblaue und hellblaue. Wie die mir überlassenen Fragmente zeigen, ist der Irrtum Hilprechts dadurch zustande gekommen, daß diese altbabylonischen Gläser äußerlich mehr oder weniger weitgehend zersetzt sind. Das dunkelblaue Stück „des künstlichen Lasursteins“, über den ich schon an einer anderen Stelle wegen seines Kobaltgehaltes berichtet habe⁹⁾, hatte eine etwa 1 mm starke gelbbraune Rinde (die auch quantitativ untersucht wurde und die 37,8% Wasser enthielt, gegen 0,92% im Kern); die türkisblauen Stücke wiesen äußerlich stellenweise ebenfalls helle bräunliche Überzüge auf, meist waren sie aber nur mehr oder weniger grünlich angelauten, während der frische Bruch der Stücke das ursprüngliche reine Türkisblau zeigte. Diese grünlichen Verwitterungsschichten sind es, die Hilprecht getäuscht haben. Es lagen tatsächlich nur zwei verschiedene Arten von Gläsern vor, die beide stark getrübt waren und die den natürlichen Halbedelsteinen Lapislazuli und Türkis in bezug auf die Farbe ziemlich nahe kamen. Auch das Türkisglas wies einen relativ hohen Wassergehalt (2,17%) auf. Die beiden nachstehend angeführten Analysen der dunkelblauen und hellblauen Stücke beziehen sich auf die trockne Substanz.

Altbabylonisch-assyrische Gläser von Nippur (1400 v. Chr.).

	Nr. 99 „Künstlicher Lasurstein“	Nr. 100 „Künstlicher Türkis“
	%	%
SiO ₂	65,03	64,41
CaO	5,65	6,19
MgO	2,52	5,59
Fe ₂ O ₃	0,97	1,36
Al ₂ O ₃	2,13	1,52
Mn ₂ O ₃	0,65	0,00
CuO	1,94	2,60
CoO	0,93	0,00
PbO	0,19	0,00
Na ₂ O	17,37	13,98
K ₂ O	1,68	2,37
SO ₃	1,70	1,28
SnO ₂	0,00	0,32
	100,76	99,62

Das Lapislazuli-Glas ist das einzige, bis jetzt vollständig analysierte antike Glas, welches wirklich Kobalt, und zwar in erheblicher Menge (also sicher nicht als zufälligen Bestandteil) enthält. Das Türkisglas enthält kein Kobalt und merkwürdigerweise auch keine Spur Mangan, die Färbung ist allein durch Kupferoxyd (in sehr reichlicher Menge), die Trübung

⁸⁾ Ztschr. angew. Chem. 1928, S. 203.

⁹⁾ Chem.-Ztg. 1927, S. 1013.

durch Zinnoxid herbeigeführt worden, was immerhin bei diesen alten Gläsern bemerkenswert ist. Dabei soll noch in bezug auf den Mangangehalt erwähnt werden, daß die meisten dieser alten Gläser immer einen Mangangehalt (meist wohl zur Verbesserung der Blaufärbung) aufweisen. Auffällig ist nun, daß auch die ägyptischen Türkisgläser von Tel el Amarna und Elephantine keine Spur Mangan enthalten; also sind die manganhaltigen Zusätze ganz mit voller Absicht bei bestimmten Gläsern gemacht worden.

Die sonstige Zusammensetzung der beiden obigen Gläser weicht nicht so sehr voneinander ab, daß nicht die Herkunft aus ein und derselben (bisher allerdings unbekannten) Erzeugungsstätte wahrscheinlich wäre. Daß die Verwitterung dieser babylonischen Gläser eine so starke ist, liegt vielleicht an den Erdschichten, in denen die Funde ruhten, vielleicht waren aber auch die Gläser nicht richtig durchgeschmolzen, was man bei trüben Gläsern nie recht sehen kann, wofür aber der relativ hohe Sulfatgehalt sprechen könnte. Die gleichaltrigen ägyptischen Amarna-Gläser, welche, abgesehen von einem erheblich höheren Kalkgehalte, ganz ähnliche Zusammensetzung aufweisen, haben sich ungleich besser gehalten. Mir sind jedenfalls so stark verwitterte antike Gläser sonst nicht vorgekommen. Lucas erwähnt allerdings, daß im Grabe Tut-ench-Amuns dunkelblaues Glas stellenweise grau geworden und auch sogar zu Pulver zerfallen war (das helle nicht).

Römisches Millefiori-Glas von Sacrau (300 n. Chr.).

In den Jahren 1886/87 wurden in Sacrau bei Breslau durch Zufall drei Gräber einer vandalischen Königsfamilie aufgedeckt, die eine Unmenge Metallgegenstände aus Gold, Silber, Bronze, ferner Gegenstände aus Ton, Bernstein, Carneol, Bergkristall und Glas enthielten. Die jüngste der beigegebenen Münzen war eine fast neue Münze von Claudius Gothicus (268–270 n. Chr.), so daß man das Alter dieses Fundes um das Jahr 300 herum ansetzen kann. Berühmt geworden sind von diesem Funde besonders einige römische Becher und Schalen aus Millefiori-Glas, die mit zu den schönsten zählen, die uns aus dem Altertum erhalten sind. Diese habe ich natürlich nicht analysieren können, aber von andern Schalen sind zahlreiche Bruchstücke gesammelt worden, von denen mir Herr Prof. Seger, Direktor des Breslauer Museums für Kunstgewerbe und Altertümer, einige Fragmente freundlichst zur Untersuchung überlassen hat, wofür ich ihm auch an dieser Stelle nochmals bestens danke. Merkwürdigerweise sind die nicht vollständig erhaltenen Schalen in eine Unzahl kleinster Stückchen zerfallen, die alle noch voller Sprünge sind. Die Spannungen in den Millefiori-Gläsern müssen also außerordentlich groß sein; auch die gut erhaltenen Gefäße weisen Sprünge auf. Auffällig ist weiter, daß alle diese Gefäße, wenigstens innen, ausgedreht, d. h. nach der Anfertigung noch ausgeschliffen worden sind. Von solchen Bruchstücken sind vorhanden: die Reste einer dunkelblauen durchsichtigen Schale, ferner einer dunkelgrünen flachen, nur durchscheinenden Millefiori-Schale mit Einlagerung unzähliger kleiner strohgelber Glasfadenbruchstücke in der Grundmasse, und schließlich einer dicken Überfangschale, bestehend aus starkem, ziemlich weißem Glase mit dickem dunkelblauen durchsichtigen Überfang. Untersucht wurden die Reste der erstgenannten blauen

und der grünen Millefiori-Schale. Bei der berühmt gewordenen Sacrauer Millefiori-Schale sind die Grundmasse und die Einlagen undurchsichtig. Die Grundmasse besteht aus streifigem violetten Manganglas, in welchem ganz regelmäßig „Streublümchen“ eingearbeitet sind, diese haben einen roten Kern aus einem auffällig ziegelroten Hämatinonglase, um welchen strohgelbe und grüne Stabquerschnitte angeordnet sind, wodurch ein außerordentlich reizvolles, farbenfreudiges Muster entstanden ist.

Die Analyse der beiden Schalenfragmente ergab folgendes:

Römische Gläser von Sacrau (300 n. Chr.).

	Nr. 101. Dunkelblaue, durchsichtige, große, geschliffene Schale	Nr. 102. Dunkelgrüne, durchscheinende Schale mit schwefelgelben Ein- lagen i. Millefiori-Technik
	%	%
SiO	69,04	66,84
CaO ₂	5,76	4,38
MgO	2,64	2,07
Al ₂ O ₃	2,97	3,24
Fe ₂ O ₃	0,94	1,68
Mn ₂ O ₃	0,62	0,57
CuO	1,96	3,23
Na ₂ O	13,87	16,35
K ₂ O	2,02	1,41
SO ₃	Spur	0,71
	99,82	100,55

Die dunkelblaue Schale ist ein Kupferoxydglas; Kobalt wurde nicht gefunden.

Bei der anderen dunkel-blaugrünen Schale konnte natürlich nur eine Gesamtanalyse ausgeführt werden, da die kleinen gelben, nur etwa 1 mm starken und 2–3 mm langen Stäbchen nicht isoliert werden konnten. Die Grünfärbung ist hier durch Kupferoxyd hervorgebracht, dessen Menge sehr erheblich ist. Die gelbe Farbe der Einlagen kann (da Blei und Antimon vollständig fehlen) eigentlich nur durch gelben Ocker erreicht worden sein, obwohl die Farbe mehr schwefelgelb aussieht. Zinnoxid kann hier nicht als Trübungsmittel gedient haben, da solches nicht vorhanden war.

Die Zusammensetzung dieser beiden Gläser aus der Blütezeit der römischen Glasmacherkunst weicht sowohl von der der in Deutschland viel gefundenen römischen Hohlgläser¹⁰⁾ wie auch von der der früher untersuchten römischen Mosaikwürfel von Salona¹¹⁾ erheblich ab. Der Alkaligehalt der Sacrauer Gläser ist ziemlich mäßig, jedenfalls viel geringer als bei den vorgenannten Gläsern. Das blaue Glas war ganz sulfatfrei, was bei antiken Gläsern eine Merkwürdigkeit ist. Der Magnesiumgehalt ist etwas höher wie sonst bei römischen Gläsern; auffällig hoch dagegen ist der Tonerdegehalt. Der Erhaltungszustand ist deshalb, dank dieser günstigen Zusammensetzung, ein recht guter.

Die Analysen sind von Frl. H. Hoffmann ausgeführt worden, der ich für die dabei verwendete Mühe und Sorgfalt meinen besten Dank sage. [A. 73.]

¹⁰⁾ Ztschr. angew. Chem. 1925, S. 781/82.

¹¹⁾ Ebenda 1927, S. 964.