Hartmann (2), daß sich gegen Schlacken- und Sodaangriff Steine mit einer Porosität von nur 8% am besten bewährten. Technisch ist man heute schon unter 20% herabgekommen und gelegentlich auch schon erheblich tiefer.

Ich bin mir bewußt, daß meine Vorschäge von der Technik zum Teil als zur Zeit unausführbar bezeichnet werden. Versuche in der hier vorgeschlagenen Richtung sind aber in einigen Werken bereits im Gange und werden zum Ziele führen.

**Schrifttum.**

(1) W. E. S. Turner, „Twenty-One Years. A Professor looks out on the Glass Industry". Sheffield 1937. (Bespr. Glastechn. Ber., **15** (1937), S. 445.)

(2) Hartmann. Stahl und Eisen, **57** (1937).

(3) F. Holler, Diss. T. H. Aachen; Sprechsaal Keramik usw., **69** (1936), S. 746.

DK 666.11 „04/18" (091) (045)

# Die Anschauungen vom Wesen des Glases vom Mittelalter bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. Teil I.

Von W. Ganzenmüller, Tübingen.

(Eingegangen am 11. 10. 1938.)

Die Anschauungen vom Wesen des Glases werden in ihrem Wandel vom Beginn des Mittelalters bis etwa 1830 dargestellt und dabei gezeigt, wie bei Alchemisten und Scholastikern des Mittelalters, bei Humanisten und Naturphilosophen der Renaissance, in der mathematisch-mechanischen Betrachtung der beginnenden Neuzeit, bei den Praktikern des 17. Jahrhunderts und bei den Anhängern der Phlogistontheorie sich die Anschauung vom Wesen des Glases in Uebereinstimmung mit den herrschenden naturwissenschaftlichen Lehren gestaltet und in welchem Verhältnis diese Anschauungen zur Praxis der Zeit stehen. Die Arbeit schließt mit einem Blick auf den grundlegenden Wandel, der seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts die moderne Chemie hervorgerufen hat.

Das Glas gehört zu den ältesten Werkstoffen der Menschheit und der geheimnisvolle Vorgang seiner Herstellung hat von jeher nicht nur die Einbildungskraft, sondern auch die Wißbegierde erregt. Die Frage: „Was ist das Glas?" beantwortete sich zunächst natürlich aus der Praxis des Glasmachers durch eine Aufzählung all der Eigenschaften, die man bei Herstellung, Bearbeitung und Gebrauch des Glases kennen lernte. Man kannte die Stoffe, aus denen man verschiedene Arten von Glas erschmolz, man wußte, wie man die Masse im Ofen zu behandeln, mit welchen Stoffen man sie zu färben hatte — die Assyrer haben ihre Verfahren schon im 17. Jahrhundert v. Chr. aufgezeichnet — aber man wußte nicht, warum das so war, man hatte ein Wissen vom Glas, aber keine Wissenschaft. Die Versuche, die Frage nach dem Wesen des Glases wissenschaftlich zu beantworten, sie zu lösen durch Einstellung in den großen Sinnzusammenhang der Naturwissenschaften, begann da, wo die Wissenschaft überhaupt begann, bei den Griechen. Bei Platon[1]), bei Aristoteles[2]) und bei Theophrast[3]) finden wir Ansätze zu einer Theorie vom Wesen des Glases, aber das Altertum hat es noch zu keiner zusammenfassenden Arbeit über das Wesen des Glases gebracht[4]).

### Alchemisten und Scholastiker.

Noch weniger konnte natürlich zu Beginn des Mittelalters von einer wissenschaftlichen Behandlung der Frage nach dem Wesen des Glases die Rede sein. Zwar war der Verfall der hochstehenden römischen Glasmacherkunst nicht so vollständig, wie man früher angenommen hat; besonders am Rhein hat die handwerkliche Ueberlieferung der Glashütten auch die Stürme der Völkerwanderung überdauert und Reste der antiken Rezeptliteratur haben sich, wie die „Compositiones ad tingenda musiva"[5]) beweisen, in Italien erhalten. Auf dieser Ueberlieferung fußend, brachten es die Klöster bald zu beachtlicher Höhe in der Herstellung farbiger Gläser für die Kirchenfenster. So blühte um die Wende des ersten Jahrtausends die Glasmacherkunst im Kloster Tegernsee, so verfaßte zur selben Zeit der Priester Theophilus wohl in Köln seine „Diversarum artium schedula[6]), in deren Vorrede er verspricht, mitzuteilen, was Italien, Frankreich, Deutschland und Arabien auf dem Gebiete der Künste und des Kunstgewerbes leisten, auch alles, was Griechenland an verschiedenen Gattungen von Farben und Mischungen besitzt. Derartige Schriften, wie die Compositiones, die Schedula, des Heraclius Buch „De Coloribus et artibus Romanorum[7]), die Mappae Clavicula[8]) sind das ganze Mittelalter hindurch die Lehrmeister der Glasmacher geblieben, soweit diese sich überhaupt mit Büchern abgaben und nicht — was die Regel gewesen sein wird — einfach die ihnen mündlich von ihrem Meister überlieferten Rezepte benutzten.

Theoretische Auseinandersetzungen über das Wesen des Glases sind in diesen Schriften nicht zu finden, die Männer der Praxis hatten also offenbar kein Interesse an solchen. Das wenige, was davon aus dem Altertum sich erhalten hatte, entnahm man immer wieder dem großen Sommelwerk des Isidor von Sevilla, den Origines, die, im wesentlichen auf Plinius beruhend, folgendes über das Glas zu berichten wußten: „Das Glas wird so genannt, weil es infolge seiner Durchsichtigkeit für den Blick durchlässig ist. Denn in den anderen Metallen ist der Inhalt unsichtbar, im Glas aber zeigt sich jede Flüssigkeit und jeder Stoff äußerlich so wie er innerlich ist und steht gewissermaßen in verschlossenem Zustand offen." Hierauf folgt die aus Plinius bekannte Erzählung von der Erfindung des Glases durch die Phönizier und auch alles weitere ist eine wörtliche Uebernahme aus dessen Naturgeschichte, so die Verwendung von Soda, das Gießen, Blasen und Drehen des

[1]) Platon, Timaios 61 B.

[2]) Aristoteles, Meteor IV, Cap. X, 15. Das vierte Buch der Meteorologie ist nach I. Hammer-Jensen „Das 4. Buch der Meteorologie des Aristoteles, Hermes L (1915), S. 113 ff." das Werk eines Schülers des Aristoteles.

[3]) Theophrastus „περὶ λίθων", hrsg. von Schneider I, S. 698.

[4]) Die Stellen antiker Schriftsteller, wo vom Glas die Rede ist, hat in sorgfältiger Arbeit zusammengetragen Mary L. Trowbridge, Philological Studies in Ancient Glass, Urbana, 1928.

[5]) Ausgabe von H. Hedfors, Upsala 1932.

[6]) Ausgabe von W. Theobald, „Die Technik des Kunsthandwerks im 10. Jahrh." Berlin 1933. (Bespr. Glastechn. Ber., **12** (1934), S. 73.)

[7]) Ausgabe von A. Ilg, Quellenschriften für Kunstgeschichte, IV., 1873.

[8]) M. Berthelot, „La Chimie au moyen-âge". Paris 1893, I, S. 23 ff.

Glases, die Färbung und Herstellung falscher Edelsteine, die Bevorzugung des reinweißen kristallähnlichen Glases und schließlich der Prozeß des Frittens (wobei aus dem hammonitrum des Plinius ein admonitrum geworden ist). Schließlich bringt Isidor aus Plinius noch die Erzählung vom hämmerbaren Glas und den Hinweis auf den Obsidian[9]).

Man sieht, daß der Glasmacher aus diesen Ausführungen nichts entnehmen konnte, was ihm nicht aus seiner Tätigkeit schon bekannt war. Wenn die Mönche diese „Wissenschaft" weiter überlieferten, so geschah es auch nicht im Interesse der Glasmacherkunst, sondern im Interesse der Bildung. Die umfangreichen Kompendien, in denen das geschah, waren gewissermaßen die Vorläufer unserer Konversationslexika, aus denen wohl der Laie, nicht aber der Fachmann Belehrung schöpft.

Eine wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Wesen des Glases wurde erst ermöglicht durch die in der zweiten Hälfte des 12 .Jahrhunderts einsetzende Hinwendung zu den Erfahrungswissenschaften. Der aus dem Arabischen übersetzte Aristoteles wurde jetzt für Jahrhunderte zur fast unbestrittenen Autorität auch in naturwissenschaftlichen Dingen. Was man seinen Schriften für die Frage nach dem Wesen des Glases entnehmen konnte, war ja nicht allzuviel; wichtiger war, daß er durch seine Elementen- und Qualitätenlehre und durch seine Theorie von der Bedeutung der Poren für die chemischen und physikalischen Vorgänge den Gelehrten des Mittelalters gewisse allgemeine Grundsätze der Betrachtung lieferte, die es ermöglichen sollten, die verschiedensten Naturerscheinungen unter einheitlichem Gesichtspunkt zu betrachten und zu erklären. Freilich kam man damit über eine bloße Spekulation, ein Arbeiten mit fertig übernommenen Begriffen nicht hinaus. Hier aber trat die gleichzeitig mit Aristoteles aus den Schriften der Araber übernommene Alchemie ergänzend ein. Wenn auch das eigentliche Ziel der Alchemie die Verwandlung der unedlen Metalle in edle war, so darf doch nicht verkannt werden, daß sie mindestens in der durch al-Razi eingeschlagenen und von einer Reihe lateinischer Schriftsteller fortgesetzten Richtung zu systematischer Darstellung und praktischen Ergebnissen gelangt ist, die die Grundlage unserer heutigen Chemie bilden. Al-Razis Buch „Geheimnis der Geheimnisse[10]) gibt z. B. eine systematische Einteilung der chemischen Stoffe in die Körper oder Metalle, die Geister oder flüchtigen Stoffe (Quecksilber, Schwefel, Schwefelarsen und Salmiak), die Steine und Salze. Unter die Steine rechnet er auch das Glas. Razi vertritt also eine mineralogische Betrachtungsweise, das Glas gilt ihm als eine Art Bergkristall, der aus Sand und „Qali" künstlich hergestellt wird, aber den „natürlichen an Reinheit gleicht"[11]). Durch Metallzusätze laßt das Glas sich färben, man erhält dann Edelsteine, die den arabischen und abendländischen Alchemisten nicht als wertlose Nachahmungen galten, sondern den echten gleichwertig waren, genau so wie das alchemistische Gold dem natürlichen.

Die Auffassung al-Razi's trifft insofern das Richtige, als Glas und Bergkristall ja beide aus Siliziumdioxyd bestehen, bzw. es enthalten. Das war dem Araber natürlich unbekannt, er urteilte auf Grund der äußeren Aehnlichkeit, die schon den Griechen aufgefallen war und in der Doppelbedeutung des Wortes *Κρυσταλλος* ihren Ausdruck gefunden hatte. Auch wußte er, daß man Bergkristall zur Herstellung von Kristallglas und künstlichen Edelsteinen verwendet. Andere Alchemisten dagegen rechneten das Glas unter die Metalle. Diese Auffassung findet sich schon bei den Aegyptern, bei denen, wie Lepsius[12]) nachgewiesen hat, die Metalle stets in einer ganz bestimmten Reihenfolge aufgeführt werden. Sie lautet: 1. Gold, 2. Elektrum, 3. Silber, 4. Chesbet, 5. Mafek, 6. Kupfer, 7. Eisen, 8. Blei. Chesbet bedeutet ursprünglich Lasurstein, lapis lazuli, dann Kupferlasur in Kristallen oder in erdiger Form, schließlich blauen Glasfluß. Ganz entsprechend bezeichnet Mafek Smaragd, Malachit und grünes Glas. Die Einschaltung der beiden Edelsteinarten in die Metallreihe erklärt sich zunächst einfach aus der Kostbarkeit des Stoffes. Bei der künstlichen Herstellung beider Edelsteine erkannte man dann die ihnen gemeinsame Glasnatur und der dazu nötige Schmelzprozeß schien die Einreihung unter die Metalle aufs neue als richtig zu erweisen. Es ist anzunehmen, daß praktische Erfahrungen im Hüttenwesen auch anderswo dazu geführt haben, das Glas als eine Art Metall zu betrachten, doch mögen auch uralte mythologische Vorstellungen dabei eine Rolle gespielt haben[13]).

Jedenfalls war die Bezeichnung des Glases als Metall im ausgehenden Altertum bei den Glasmachern verbreitet und muß von ihnen auch unter das Volk gelangt sein. So erzählt Gregor von Tours († 594) von einem Dieb, der sich durch Einbruch in eine Kapelle die holzgefaßten Glasfenster aneignete, um „durch Schmelzen des Metalls Gold zu gewinnen. Nach Herausnahme und Zerkleinern der Scheiben nahm er das Metall mit. Nachdem er das Glas drei Tage lang im Ofen geschmolzen hatte, konnte er nichts daraus gewinnen"[14]).

Auch die arabischen Alchemisten übernahmen z. T. die Einreihung des Glases unter die Metalle, so Dschabir im „Buch der Siebzig"[15]). Eine ähnliche An-

[9]) Lib. XVI, cap. 15. Auch die Angabe lib. XIV, cap. 4, der Magnet (magnes-magnesia der Glasmacher, der Braunstein) reinige die Glasmasse, geht auf Plinius, Hist. nat., 34, 148, zurück.

[10]) Das Wissen der Araber vom Glase in seinem ganzen Umfang darzustellen, wäre eine wichtige Aufgabe, die aber nur von einem Orientalisten gelöst werden kann. Abgesehen von den nicht immer einwandfreien Ausgaben und Uebersetzungen in Berthelots „Chimie au moyen-âge" sei hier vor allem auf die Arbeiten von J. Ruska hingewiesen (Ueber Nachahmung von Edelsteinen. Quellen und Studien zur Gesch. der Naturwissenschaften und der Medizin, Bd. 3. Berlin 1933, S. 108—119; Das Buch der Alaune und Salze. Berlin 1935. Al-Razi's Buch Geheimnis der Geheimnisse, Qu. u. St., **6**, Berlin 1937), ferner auf Edm. von Lippmann, „Entstehung und Ausbreitung der Alchemie", Berlin 1918 und 1931, im Register unter Glas, sowie auf P. Kahle, „Bergkristall, Glas und Glasflüsse nach dem Steinbuch von el-Beruni". Z. Dtsch. Morgenländ. Ges. (Leipzig), **90** (1936), H. 2, S. 322—356 (Ref. Glastechn. Ber., **15** (1937), H. 1, S. 37.).

[11]) J. Ruska, „Al-Razi's Buch Geheimnis der Geheimnisse", S. 87, § 26.

[12]) Lepsius, „Die Metalle in den ägyptischen Inschriften". Phil. Hist. Abh. der kgl. Akad. der Wissensch., Berlin 1871, S. 27—143.

[13]) So wird im altiranischen bundehišn erzählt, daß aus dem Haupt des sterbenden Urmenschen das Blei, aus dem Blute das Zinn, aus dem Mark das Silber, aus dem Fett das Glas, aus dem Fleisch der Stahl und aus dem Austreten der Seele das Gold zum Vorschein gekommen sei; vgl. R. Reitzenstein und H. Schaeder, „Studien zum antiken Synkretismus". 1926, S. 228.

[14]) Gregor von Tours, „Gloria martyrum". Mon. Germ. Script. rer. Merov. I, 2, S. 528; hier werden also die Ausdrücke metallum und vitrum abwechselnd für denselben Stoff gebraucht.

[15]) J. Ruska, „Buch der Alaune", S. 35.

schauung vertritt das bald dem Aristoteles, bald al-Razi (in beiden Fällen zu Unrecht) zugeschriebene Lumen luminum[16]). Die Alchemie wird hier als Astronomia inferior bezeichnet. Wie die obere (eigentliche) Astronomie die Fixsterne und die Planeten unterscheidet, so die Alchemie die Steine, die im Feuer fest bleiben und die, die im Feuer sich verflüchtigen. Die Reihe der Planeten (die den Metallen entsprechen) lautet hier Sonne (Gold), Mond (Silber), Mars (Eisen), Saturn (Blei), Jupiter (Zinn), Venus (Kupfer) und Glas. Solche Reihen führten nach Ruska dazu, das Glas dem Planeten Merkur zuzuordnen, da ja das Quecksilber damals an anderer Stelle, nämlich unter den flüchtigen „Geistern" aufgeführt wurde. Auch das „Buch der Alaune und Salze" sagt, „das Glas gehört zum Anteil des Merkur, aber ich weiß nicht, in welcher Hinsicht das der Fall ist"[17]). Dem Verfasser ist also der Grund für die Einreihung unter die Metalle nicht mehr klar, er übernimmt hier einfach die Zuteilung zum Merkur aus älteren arabischen Vorlagen. Von hier gelangt die Stelle wörtlich in die große Enzyklopädie des Vinzenz von Beauvais[18]) und damit zur Geltung in weiten Kreisen der Gelehrten.

Wenn diese Anschauung nicht noch stärkere Verbreitung gefunden hat, so ist das wohl Albert dem Großen zu verdanken, der in seiner Mineralogie sich eingehend mit der von dem arabischen Spanier Gilgil (ibn Dschuldschul) aufgestellten Schlußfolgerung auseinandersetzt, wonach Metalle und Glas aus derselben Materie bestehen müßten, weil sie beide in der Kälte erstarren und in der Hitze flüssig werden.[19]) Alberts eigene Anschauung entspricht der Razis: die Edelsteine sind eine Art natürlich entstandener Gläser, weshalb sie auch feiner in ihrer Zusammensetzung und durchsichtiger sind als die künstlichen Gläser, weil die Kunst, wenn sie auch die Natur nachahmt, doch nicht die Vollkommenheit der Natur erreichen kann[20]). Das Ansehen al-Razis und Alberts wie die praktischen Erfahrungen, die die Alchemisten bei der Herstellung künstlicher Edelsteine aus Glas machten, verhalfen dieser Anschauung zum Sieg, doch hat sich die Bezeichnung des flüssigen Glases als Metall offenbar unter den Glasmachern noch lange — im konservativen England bis heute — erhalten und noch bei den Gelehrten der Renaissance finden wir immer wieder das Bestreben, Glas und Metall zu unterscheiden, was kaum nötig gewesen wäre, wenn man beide Stoffe nicht zusammengeworfen hätte.

Natürlich begnügte sich die Wissenschaft des Mittelalters nicht damit, das Glas unter die Edelsteine oder Metalle einzuordnen, sondern versuchte, tiefer in sein Wesen einzudringen, sei es auf dem Weg der Beobachtung des Schmelzprozesses, sei es auf dem Weg theoretischer Erwägung. Der erste führt zu der Feststellung, daß das Alkali in Form der Asche von Land- oder Seepflanzen als Schmelzmittel dient, daß aber auch ein alkalifreies Glas aus Kiesel und Blei hergestellt werden kann[21]). Auch war man sich klar darüber, daß die Verschiedenheit in Schmelzpunkt, Durchsichtigkeit und Farbe der Gläser von der Verschiedenheit der aus verschiedenen Stoffen gebrannten Aschen abhing[22]). Es ist aber bezeichnend für die geistige Haltung des Mittelalters, daß man nicht versuchte, auf diesen praktischen Erfahrungen eine Theorie aufzubauen. Vielmehr ging die Theorie fern von der Praxis den Weg scholastischen Denkens, der für das Mittelalter so kennzeichnend ist. Die aus Aristoteles übernommene, von den arabischen Alchemisten weiter ausgebaute Elementen- und Qualitätenlehre gab die Grundlage ab, auf der man mit Hilfe formal-logischer Gedankenarbeit seine Theorie errichtete. Dabei schrieb man bald nach arabischem Vorgang dem Glas Kälte und Trockenheit zu[23]), bald im Anschluß an Aristoteles auch noch eine „humiditas radicalis", aus deren Vorhandensein sich seine Schmelzbarkeit erklären sollte. Diese auch von Albert dem Großen vertretene Ansicht[24]) wurde die herrschende. Die bei der Glasherstellung beobachtete Schmelzwirkung des Alkali führte dazu, den Ursprung der Radikalfeuchtigkeit in der Asche zu suchen. Beachtenswert ist, daß sich in diesem Zusammenhang bereits die Frage erhob, ob die Asche als solche in das Wesen des Glases eingehe, was bekanntlich noch in späteren Zeiten Anlaß zu Auseinandersetzungen gegeben hat. Albert erklärt, es sei nicht die Asche, die in das Glas eingehe, sondern das humidum radicale, das in dem veraschten Stoff enthalten ist[25]).

---

[16]) Theatrum Chemicum (abgekürzt: Th. Ch.), 1659, III, S. 76.

[17]) J. Ruska, „Buch der Alaune", S. 116, § 64.

[18]) Speculum naturale, Buch VI, cap. 78.

[19]) Albertus Magnus, „De Mineralibus et Rebus metallicis", 1569, Lib. III, Tract. 2, cap. 4.

[20]) ebda. Lib. I, cap. 2. — Ausführlich äußert sich über den Unterschied von Glas und Metall Petrus Bonus in seiner angeblich 1330 abgefaßten „Margarita Preciosa", Th. Ch., V., S. 538: geschmolzene Metalle vermischen sich, Glas aber vermischt sich nicht mit Metall, sondern schwimmt darauf wie Oel; erhitztes Glas springt, wenn es plötzlich in kaltem Wasser abgekühlt wird, Metall aber nicht, nur Metall ist hämmerbar, Glas nicht. Daß es hämmerbares Glas gebe, ist eine Behauptung unwissender Idioten. Diese für den Anfang des 14. Jahrhunderts sehr bemerkenswerten Beobachtungen und Kritiken verlieren leider dadurch etwas an Gewicht, daß das Werk nur in einem Druck des 16. Jahrhunderts erhalten ist und auch an anderen Stellen Interpolationen aus dieser Zeit aufweist.

[21]) Die Verwendung von Alkali erwähnen alle Schriftsteller, die vom Glas reden, z. B. Bartholomaeus Anglicus „De proprietatibus rerum", XVI, cap. 100, und XVII, „De Fago" (Buchenasche besonders geeignet), ferner die Bearbeitungen von Razi's „Secretum Secretorum"; s. Ruska „Bearbeitungen von Al-Razi's Secr. Secr.", S. 39; Vinzenz von Beauvais, „Spec. naturale", Lib. VI, cap. 77 f. (Verschiedenheit des Glases je nach Verwendung von Buchen- oder Farnkrautasche) und zahlreiche Alchemisten. Alkalifreies Bleiglas V. von Beauvais, Spec. nat.", ebda.

[22]) Petrus Bonus, Th. Ch., V, S. 537. „Asche" bezeichnet hier wie auch sonst ganz allgemein den durch Einwirkung des Feuers erzeugten Zustand. Auch Albert spricht von „cineribus plumbi sive silicis sive ferri" (vgl. Anm. 24).

[23]) Vinzenz von Beauvais, Spec. nat., Lib. VI, cap. 79. Im Zusammenhang damit gibt der Verf. Nachricht von einem seltsamen Verfahren: wenn man Fleisch rasch abkochen will, so legt man ein Stück Glas mit dem Fleisch zusammen ins Wasser; denn da das Glas trocken ist, zieht es durch sein Kochen so viel aus der Feuchtigkeit des Fleisches aus, daß das Fleisch sofort gekocht zurückbleibt. Die Wirkung trete rascher ein bei Glas aus Buchen- oder Farnkrautasche; (statt „de cinere foeni" im Druck von 1473 ist wohl „fagi" zu lesen, entsprechend dem „de faina" des Heraclius, „De artibus et coloribus Romanorum", 2, VII; dazu W. Theobald, Das Kunsthandwerk im 10. Jahrh. Berlin 1933, S. 201), weil solche weniger reich an Feuchtigkeit ist; denn das erste (Bleiglas) besitzt etwas Feuchtigkeit, die es vom Blei bekommen hat, das sich zuerst im Satz befand (VII, cap. 78).

[24]) Albertus Magnus, „De mineral.", Lib. I, cap. 2.

[25]) ebda. Lib. III, Tract. 2, cap. 4. „Prima materia vitri in cineribus occulta" sagt Richardus Anglicus (14. Jahrhundert), Correctorium, Th. Ch., II, S. 443, und die Dicta Alani unterscheiden im Holz drei Arten von Feuchtigkeit, die erste, die die Verbrennung des Holzes verhindert, eine zweite fette und ölige, die brennt; die dritte schmierige (unctuosum) bleibt in der Asche zurück. Th. Ch., III, S. 727.

Das Mittelalter ist somit über die Leistungen des Altertums nicht wesentlich hinausgelangt: zwar finden sich neben richtigen Einzelbeobachtungen auch Versuche zu theoretischer Erfassung, aber die hier angegriffenen Probleme, insbesondere das der chemischen Zusammensetzung des Glases, setzten Kenntnisse und Methoden voraus, die der Alchemie nicht zu Gebote standen. So teilte die Wissenschaft vom Glase mit der Alchemie, der sie ja nach Albert dem Großen untergeordnet ist[26]), das Schicksal, beträchtlich zurückzubleiben hinter dem, was etwa auf dem Gebiet der Physik oder der Astronomie geleistet wurde.

**Humanisten und Naturphilosophen der Renaissance.**

Das änderte sich auch nicht wesentlich in der Folgezeit. Wir sind ja gewohnt, der Renaissance mit der „Entdeckung der Welt und des Menschen" auch die Anfänge der modernen, auf Beobachtung und Experiment gegründeten Naturwissenschaft zuzurechnen. Das ist aber nur mit Einschränkung richtig[27]). Auch bei den großen Forschern der Renaissance wirkte noch stark das alchemistisch-magische Denken des Mittelalters nach. Man erstrebte ein intuitives Erfassen des Naturzusammenhangs als einer großen, den Menschen (Mikrokosmos) mit dem Weltganzen (Makrokosmos) verbindenden Einheit durch ein Denken, das in der Analogie — ganz im Sinne des Mittelalters — ein Erklärungsprinzip zu besitzen glaubte. Die „Scheidung zwischen dem Gesetzlichen und dem Phantastisch-Willkürlichen" vollzog sich erst unter dem Einfluß des mathematischen Denkens, kam also wiederum den Wissenschaften zugut, die schon im Mittelalter höhere Leistungen aufzuweisen hatten; dagegen konnte sie sich gerade in der Alchemie am wenigsten auswirken. Die Folge war, daß auch in der Renaissance die Theorie der Glasschmelzkunst weit hinter der Praxis zurückblieb.

Rein äußerlich verrät sich der humanistische Zug der Renaissance in dem Zurückgreifen auf Plinius, das bei allen Schriftstellern zu beobachten ist, die sich über das Glas in irgend einem Zusammenhang äußern[28]). Das Bestreben, sich klassisch auszudrücken, führte dabei zur Uebernahme der von Plinius verwendeten Bezeichnungen, was der Klarheit nicht immer dienlich war. So gebraucht z. B. Agricola[28]) die Bezeichnung nitrum für Soda; da man aber in der alchemistischen Literatur mit salnitrum den Salpeter bezeichnete, so konnte hier leicht Verwirrung entstehen. Schlimmer noch war es, daß mit der Uebernahme der Bezeichnung magnes die Meinung aufkam, der Magnet diene zur Entfärbung des Glases. Biringuccio begnügt sich damit, zu sagen, die Alten hätten dem Glase Magnetstein zugesetzt, Agricola aber sagt ausdrücklich: „Wie in früheren Zeiten glaubt man nämlich auch in unseren Tagen an die außerordentliche Fähigkeit des Magnetsteins, die flüssige Substanz des Glases an sich zu ziehen, wie er das Eisen anzieht. Und diese Substanz, die er anzieht, reinigt er auch und macht aus grünem und gelbem Glas weißes. Der Magnetstein selber wird dann vom Feuer verzehrt." In Wirklichkeit ist es natürlich keinem Glasmacher eingefallen, sein Glas mit Hilfe eines in den Hafen geworfenen Magneten entfärben zu wollen. Vielmehr ist unter magnes der Braunstein zu verstehen, der freilich in der Theorie noch lange für eisenhaltig galt[29]), aber in der Praxis zur besseren Unterscheidung als Magnesia vitriariorum, von den Italienern als manganese bezeichnet wurde. Caesalpinus[30]) bringt zwar ebenfalls die Fabel von der Entfärbung durch den Magneten, setzt aber hinzu: „Diese Gattung wird heute gemeinhin manganese, bei Albert Magnesia genannt. Der Stein ist schwarz, dem Magneten ähnlich, ihn gebrauchen die Glasmacher. Wenn man ihn in geringer Menge dem Glas zusetzt, reinigt er es von den fremden Farben, und macht es klarer, wenn in größeren, färbt er purpurn. Er wird aus Deutschland eingeführt. Auch in Italien wird er in den Bergen von Viterbo und anderswo ergraben."

Der alte Streit, ob das Glas als Metall zu betrachten sei, setzt sich im Anschluß an Alberts Ausführungen (s. S. 360) immer noch fort, ohne daß sich dabei neue Gesichtspunkte ergäben[31]). Eine Art Vermittlung zwischen den beiden gegensätzlichen Anschauungen stellt die erstmals bei Biringuccio auftretende, aber wohl auf ältere alchemistische Lehren zurückgehende Zuteilung des Glases zu den sogen. Mittelmineralien dar[32]). Wesentlicher war es, daß Biringuccio, dessen Werk einen großen Einfluß auf seine Nachfolger ausgeübt hat, stärker als diesen mineralogischen den technologischen Gesichtspunkt in den Vordergrund stellt. „Jedes Naturerzeugnis, das sich im Innern der Erde findet, ist entweder Stein oder Metall oder gehört zur Gruppe der Mittelmineralien. Offensichtlich hat das Glas Aehnlichkeit mit allen diesen, obgleich das Glas seiner ganzen Herkunft nach ein Kunsterzeugnis ist. In diesem Kapitel will ich das Glas nicht als eigentliches Mittelmineral noch als Metall schildern, sondern als eine leicht

[26]) Albertus Magnus, „De mineral.", Lib. I, cap. 2, „in arte vitraria, quae alchemiae subalternatur".

[27]) Ernst Cassirer, „Individuum und Kosmos in der Philosophie der Renaissance". Studien der Bibliothek Warburg X, Leipzig 1927, S. 156 ff.

[28]) Vanoccio Biringuccio, „De la Pirotechnia", 1540; übersetzt und erläutert von O. Johannsen. Braunschweig 1925, S. 149. Hieron. Cardanus, „De Varietate", 1550, S. 145. Georg Agricola, „De Ortu et Causis Subterraneorum", 1546, Lib. V, S. 66; „De Natura Fossilium", 1546, Lib. V, S. 273. Auch die gleich anzuführende Stelle über den Magnetstein „De re Metallica", Lib. XII, beruht auf Plinius. Gabr. Falloppius, „Opera omnia", 1584, „De metallis et fossilibus", S. 313. Andreas Caesalpinus „De metallicis libri tres", 1602, I, cap. 20.

[29]) Richtig erkannt wurde die Natur des Braunsteins erst 1774 von Bergman, nachdem schon Pott 1740 gezeigt hatte, daß er kein Eisen enthält; vgl. H. Kopp, „Geschichte der Chemie", IV, S. 84.

[30]) Caesalpinus, „De Metallicis libri Tres", II, cap. 55. Auch was Cardanus „De Subtilitate", 1550, S. 138, zu sagen weiß, zeigt, daß er nicht einmal von der Wirkung des Braunsteins eine klare Vorstellung hat; sie färbe das Glas blau! J. Scaliger „Exotericarum Exercitationum libri XV ad Hier. Cardanum", 1557, gesteht (Ex. 104), daß er davon nichts weiß, erzählt aber weiter, in seiner Jugend sei ein ihm unbekannter Stoff ergraben und nach Venedig verfrachtet worden, mit dem das Glas weiß gemacht wurde. Sein Lehrer habe ihm gesagt, die eisenfarbigen Brocken machten das Glas naß infolge der starken Kohäsion der beiden Stoffe. (?) Daher nähmen sie nach Vermischung auch wechselseitig unter sich Farben an. Die dem Feuer nicht standhaltende eisenartige Natur verdunste und nehme die Unreinigkeit des Glases mit sich wie die Lauge, mit der man Wäsche reinigt.

[31]) G. Agricola, „De Ortu et Causis Subterraneorum", Lib. V, S. 67 f. G. Falloppio, „Opera omnia", S. 330, Caesalpinus, a. a. O., III, cap. 23.

[32]) V. Biringuccio, „De la Pirotechnia", S. 149. Johannsen übersetzt mezzi minerali mit Halbmineralien. Schon im 14. Jahrh. spricht Richardus Anglicus von minora mineralia, ohne dabei das Glas zu nennen. Th. Ch., I, S. 587.

schmelzende Masse, als ein sozusagen künstlich durch Feuerskraft geschaffenes Gestein und als eine Gedankenfrucht des reichen Erfindungsgeistes der Alchemisten, die damit einerseits die Metalle und andererseits die Durchsichtigkeit und den Glanz der Edelsteine nachahmen"[33]).

Natürlich wirken sich neben diesen humanistischen Neigungen auch Wissensdrang und Beobachtungsgabe aus und führen zu den bekannten, durch die bildende Kunst der Zeit unterstützten Darstellungen bei Biringuccio und Agricola. Aber für die Haltung der Zeit ist es doch kennzeichnend, daß Biringuccio den verschiedenen Ausfall des Brands der glasierten Stücke auf den Einfluß der Gestirne zurückführt[34]) und Piccolpasso in seiner außerordentlich klaren Darstellung der Töpferkunst empfiehlt, beim Einsetzen der Geschirre zum 2. Brand auf die Mondphasen Rücksicht zu nehmen[35]).

Aus den gleichzeitigen Schriften über Glasmacherkunst ist uns allerdings nichts derartiges überliefert, aber noch Neri schreibt vor, beim Einsammeln des zur Herstellung von Pottasche bestimmten Farnkrauts Rücksicht auf den Mond zu nehmen[36]): „Das Fahrenkraut muß gegen Ende des Monats Mai biß gegen die Helfte des Monats Junij im zunehmenden Mond, wenn er der opposition oder dem vollen Licht nahe ist, also grün abgeschnitten werden, denn zur selben Zeit ist es am besten und vollkommensten."

Auch was man über den Schmelzvorgang zu sagen wußte, führt über die Kenntnisse des Mittelalters noch nicht hinaus. Mathesius vergleicht die Entstehung der Metalle in der Erde mit der Herstellung des Glases: „Wie das fewer in der Glaßhütten ein subtile materien auß den kißlingen zeucht, darauß das Glaß wirdt. Unnd damit solche materien gleych beyeinander halten und zusammen geküttet und geleimt oder ineinander gefiltzt (!) werden, gibt die asche, so auch glasig ist, jre Fettigkeit dazu, welches hernach durch andere Zusätze vom Salpeter oder Saltzkraut geleutert und gereinigt wird, biß der meyster der informi materiae ein form und gestalt mache durch sein odem und schwingen"[37]). Danach scheinen Mathesius und die deutschen Glasmacher, von denen er seine Wissenschaft hatte, die Schmelzwirkung dem Feuer allein zugeschrieben zu haben, während die Alkalien („Asche") als Bindemittel dienen.

Bald darauf heißt es aber: „Auß sand, kißling, asche zeucht das fewer die gläserne materie, das es fließe, das sich aber solches dehnen, biegen, formen und arbeiten lasse, gibt asche, salpeter und saltzkraut". Hier ist also von Läuterung nicht mehr die Rede, sondern Asche und Salpeter werden gleichermaßen als die Ursache der Viskosität betrachtet. Auch von der Glasgalle hat Mathesius eine unrichtige Vorstellung: „Die schlacken oder Schaum, so auffm Glaß schwimmt, kommen von sandt oder kißlingen oder quertzen"[38]). Andere scheinen sich über das Wesen der Glasgalle überhaupt keine Gedanken gemacht zu haben. Sie wird sonst nur noch bei Agricola erwähnt, der bloß von ihrer Verwendung als Probierzuschlag der Goldschmiede spricht[39]).

Noch weniger war Erkenntnis über das Wesen des Glases zu gewinnen aus Spekulationen, die die Zusammensetzung des Glases aus den vier aristotelischen Elementen als Ausgangspunkt nahmen[40]) oder sich mit der Frage beschäftigten, warum flüssiges Glas, das sich ziehen läßt, undurchsichtig ist, durchsichtiges aber zerbrechlich[41]). In beiden Fällen wurde mit abstrakten Begriffen gearbeitet, noch ganz in der Weise der Scholastik.

### Die mathematisch-mechanische Betrachtungsweise der beginnenden Neuzeit.

Eine wesentliche Aenderung in den Anschauungen vom Wesen des Glases tritt ein, als im ersten Viertel des 17. Jahrhunderts der Uebergang von der organischen Auffassung der Naturvorgänge zur mathematisch-mechachanischen sich vollzieht[41a]). Descartes Korpuskulartheorie gewann große Bedeutung und wurde von ihm selbst zur Erklärung bestimmter Vorgänge am Glas angewendet. Der Philosoph nimmt drei Elemente an, ein Feuer-, ein Luft- und ein Erdelement, alle drei aus kleinsten Teilchen bestehend, die sich durch ihre Gestalt unterscheiden. Die Teilchen des Feuerelements sind äußerst fein, in endloser Zersplitterung begriffen und daher geeignet, jeden Raum zwischen den Korpuskeln der anderen Elemente auszufüllen. Die Körperchen des Luftelements haben Kugelgestalt, und bewegen sich in Wirbeln. Die Korpuskeln des dritten Elements endlich sind von ganz verschiedener Gestalt. Allen drei Arten von Korpuskeln kommen keine Qualitäten zu außer Größe, Gestalt und Bewegung. Daß Descartes ein besonderes Interesse am Glas und seiner Entstehung nahm, sagt er selbst[42]). Der Vorgang der Verglasung erklärt sich ihm auf rein mechanischem Weg: Durch die Gewalt des Feuers werden die feineren Teile der verwendeten Materie weggerissen, die festen und dicken, Kalk und Asche, können sich nicht erheben und legen sich aufeinander. Wegen ihrer unregelmäßigen Gestalt berühren sie sich aber nur in einzelnen Punkten, während die Zwischenräume durch die Kügelchen des zweiten Elements ausgefüllt werden, die eine Vereinigung verhindern. Erst wenn unter längerer Einwirkung des Feuers die Ecken der Kalk- und der Ascheteilchen sich aufeinander abgeschliffen haben, so daß sie sich nicht nur in einzelnen Punkten, sondern in Flächen berühren, tritt die Vereinigung zu Glas ein. Zur besseren Verdeutlichung stellt Descartes den Vorgang auch noch bildlich dar (Bild 1). B und C bedeuten die noch getrennten Teilchen Kalk und Asche, G und H die nach der Linie EF sich berührenden; zwischen beiden sind Kügelchen des zweiten Elements[43]). Und wie die Entstehung, so erklären

[33]) s. Biringuccio (28).

[34]) V. Biringuccio, „De la Pirotechnia", S. 467.

[35]) I tre libri del Arte del Vasajo del Cav. Cipriano Piccolpasso, Durantino (1548), hrsg. von G. Vanzolini, Pesaro 1879, S. 47.

[36]) A. Neri, „L'Arte vetraria", 1612, I, cap. 5, deutsch bei J. Kunckel, „Ars Vitraria", 1679, S. 17.

[37]) Johann Mathesius, „Sarepta oder Bergpostill", 1562, 3. Predigt S, XLVI r. Falls unter Salpeter hier dasselbe verstanden wird, wie heute (was bei der schwankenden Namensgebung der Zeit nicht unbedingt sicher ist), hätten wir hier wohl eine der frühesten Erwähnungen des Salpeters als Läuterungsmittel.

[38]) Ebda., S. CLII.

[39]) G. Agricola, „De Re metallica", VII, S. 200.

[40]) Scaliger, Exerc. 93: „Vitrum ex aere multo, non pauca, aqua, paucissima terra conflatum. lapsis tamen est".

[41]) Cardanus, „De Varietate", III, cap. 14.

[41a]) Kurd Lasswitz, „Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton". Hamburg und Leipzig 1890, II, S. 9, 65 ff.

[42]) René Descartes, „Discours de la Méthode". Oeuvres, publ. par Ch. Adam und P. Tannery. Paris 1902, VI, S. 44.

[43]) Ebda., VIII, S. 270—275.

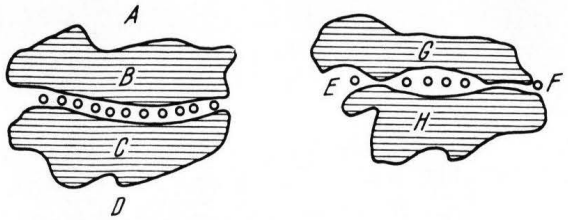


Bild 1. Vorgang der Verglasung nach Descartes.

sich auch die Eigenschaften des Glases: Die Härte folgt aus der Tatsache, daß die Teilchen sich unmittelbar berühren, so daß sich keine Luftteilchen dazwischen schieben können. Die Zerbrechlichkeit kommt daher, daß diese Berührung doch nur an wenigen und kleinen Flächen stattfindet. Sie ist größer, wenn das Glas rasch gekühlt worden ist, weil dann die Zwischenräume, durch die im feuerflüssigen Zustand die Körperchen des ersten und zweiten zusammen mit kleinsten Teilchen des dritten Elements sich hindurchbewegt haben, sich nicht mehr zusammenziehen können und Raum frei bleibt, so daß die (stets in Bewegung befindlichen) Luftkügelchen durch fortwährenden Stoß die Teile des Glases voneinander trennen können. Wird kaltes Glas plötzlich ans Feuer gebracht und an einer Stelle mehr erhitzt als an den anderen, so springt es, weil einzelne Gänge sich zu rasch erweitern, wodurch eine Trennung der Masse erfolgt. Die Durchsichtigkeit des Glases wird dadurch hervorgerufen, daß die Feuermaterie seine Teile überall umfließt und zahllose Gänge darin aushöhlt, durch die dann die Kügelchen des zweiten Elements freien Durchgang finden und so die Wirkung des Lichts überall in gerader Linie hintragen können. Werden der Materie des Glases Metalle oder andere Körper beigemengt, deren Teilchen dem Feuer besser widerstehen und daher nicht so leicht geglättet werden, so wird es weniger durchsichtig und nimmt verschiedene Farben an, je nachdem diese harten Teilchen seine Gänge mehr oder weniger verstopfen. Auch die Starrheit des Glases wird schließlich mit Hilfe der Korpuskulartheorie erklärt: durch Biegen würden die Gänge im Glas verändert, die durch das Glas sich bewegenden Luftteilchen finden ihren früheren Weg nicht mehr und werfen sich mit Gewalt gegen die Wände, bis sie die Gänge wieder in ihrer früheren Gestalt hergestellt haben.

Descartes betrachtet also auch das Schmelzen und das Färben des Glases als rein physikalische, auf mechanischem Weg zu erklärende Vorgänge und seine Auffassung blieb zunächst die herrschende. Auch Boyle war ein Vertreter der Korpuskulartheorie, lehnte es aber ab, sich ganz an Descartes anzuschließen. Nicht kühne Spekulationen, sondern nüchterne Tatsachen sind das Ziel, Experimente das Mittel seiner Forschungen. Seine Auseinandersetzungen über das Wesen des Glases atmen daher eine viel größere Lebensnähe, wie er ja auch stets mit Männern der Praxis Fühlung hielt und ihre Erfahrungen zu Rate zog. Er kennt aus eigener Erfahrung die Schwierigkeiten, mit denen der Glasmacher zu kämpfen hat: Kein Gewerbe braucht eine größere Vertrautheit mit seinen Stoffen, und doch stoßen auch dem erfahrensten Glasbläser gelegentlich unerklärliche Unfälle zu[44]). Auch bei Boyle führt die Korpuskulartheorie dazu, daß sein Interesse hauptsächlich den physikalischen Eigenschaften des Glases gilt. Wiederholt hat er sich mit der Frage beschäftigt, wie sich das oft erst nach Monaten oder sogar Jahren eintretende Zerspringen von gut gekühlten Glasplatten oder Linsen erklärt. Er führt es auf Bewegungen zurück, die auch im Innern des erstarrten Glases noch stattfinden und stellt gleich zwei Hypothesen auf, ohne sich für eine bestimmte zu entscheiden. Nach der Atomtheorie könne man annehmen, daß die Atome sich dem durch die innere Bewegung auf sie ausgeübten Druck zu entziehen suchen und dabei das Glas an einer brüchigen Stelle zerbrechen. Dazu stimme sehr wohl seine Beobachtung, daß Glasgefäße bei chemischen oder mechanischen Versuchen leichter brechen, wenn ein Sandkorn ins Glas eingeschlossen ist. Der Sprung beginnt an der fehlerhaften Stelle, die gewöhnlich eine andere Struktur besitzt als das übrige Glas. Diese Ungleichheit der Struktur erzeugt eine Bewegung, die vielleicht in einem starken Mißverhältnis zu der der benachbarten Teile steht, wodurch ein Zerreißen des Glases eintritt.

Dieser rein physikalischen Hypothese fügt aber Boyle die Vermutung hinzu, es könnten einige Salzkörperchen, die zahlreicher vorhanden seien, als die Natur des Glases erfordert, allmählich sich der Oberfläche des Glases nähern und entweder aus den Poren heraustreten oder beim Versuch dazu das Glas sprengen. Daß auf der Oberfläche des Glases, besonders im Winter, sich eine Art Auswitterung von salzigem Geschmack zeigt, wurde ihm von den Männern der Praxis bestätigt. Zu dieser Beobachtung stimme weiter die Tatsache, daß ein großes Glasgefäß, bei dessen Herstellung zur Erzielung größerer Durchsichtigkeit wahrscheinlich eine große Menge „Salz" (gemeint ist natürlich Alkali) gebraucht wurde, bald von einer Menge kleinerer Sprünge überzogen war. Boyle wirft dann die Frage auf, ob die Bewegung der inneren Teile etwa wirksamer werde durch Eindringen von feuchter Materie in die Poren des Glases, die durch Aufschwellen der Salzkörper das Glas zum Bersten bringen, lehnt aber eine weitere Untersuchung der Frage ab. Statt dessen gibt er eine zweite Hypothese: Im Lauf der Zeit treten Aenderungen in der „Textur" in einigen Teilen des Glases auf, die dem freien Durchgang des Aethers oder einer anderen feinen Substanz stärkeren Widerstand leisten als vorher. Beim Versuch, ihre gewohnte Bewegung fortzusetzen, dehnt die durchströmende Materie die Poren des Glases so aus oder vergewaltigt sonst die Textur des Körpers, daß ein Zerreißen des Glases eintritt[45]).

Boyle zieht also bei seiner ersten Hypothese zwei ganz verschiedene Erscheinungen zur Erklärung heran. Hauptsächlich arbeitet er mit einer physikalischen Erklärungsweise, indem er innere Spannungen für das Zerbrechen des Glases verantwortlich macht; daneben aber macht der Chemiker sich bemerklich mit der wertvollen Beobachtung, daß die Haltbarkeit des Glases durch zu starken Zusatz von Alkali in Frage gestellt wird. Mit der Frage der Spannung im Glas hat allerdings der Alkaligehalt nichts zu tun, hier eröffnete sich der Ausblick auf ein Problem, das erst im folgenden Jahrhundert näher untersucht wurde.

Einen interessanten Beitrag zur Frage der Spannungen im Glase lieferte Boyle ferner dadurch, daß er Glasstücke, „die beschaffen sind wie das scharfe Ende

[44]) R. Boyle, „Of Unsucceeding Experiments". (The Works of R. Boyle in VI Vol.) I, S. 339. London 1772.

[45]) R. Boyle, „An Essay of the intestine Motions of Particles of quiescent Solids". Works I, S. 454 ff; dazu V, S. 24.

eines Retortenhalses", auf der Innenseite mit einer Nadelspitze kratzte, wodurch sie in viele Stücke sprangen. Auch hier nimmt Boyle an, daß die Materie des Glases etwas zu dem seltsamen Ergebnis beitrug, aber doch viel weniger als die Textur oder Spannung, die es durch die besondere Art seiner Herstellung in Feuer und Luft erhielt[46]). Um was für eine Art Glas es sich handelt, erfahren wir nicht, offenbar um ein solches mit sehr starker Zugspannung.

Die Frage der Spannungsverhältnisse hat Boyle immer wieder beschäftigt. So erwähnt er den bekannten Bericht Morhoffs über einen gewissen Petter, der es fertig brachte, Gläser durch den Laut seiner Stimme zum Springen zu bringen. Boyle selbst hat das Experiment, das Morhoff ihm vorführen wollte, nicht gesehen, weil das dazu nötige Römerglas damals nicht aufzutreiben war. Er führt die Tatsache ebenfalls als einen Beweis für die im Glas vorhandene innere Bewegung an und betont, daß die Wirkung nicht einfach durch die Stärke, sondern durch die Höhe des Tons hervorgerufen wird[47]). Und schließlich hat Boyle sich auch mit dem Problem der 1661 von Prinz Rupprecht nach England gebrachten Glasträne befaßt. Die Frage wurde damals vielfach behandelt. Durch einen geschickt angeordneten Versuch bewies Boyle, daß das plötzliche Zerfallen des Körpers nach Abbrechen des dünnen Endes auch im luftleeren Rezipienten der Luftpumpe eintritt, wodurch die von anderer Seite aufgestellte Behauptung widerlegt wurde, die Ursache des Zerfalls sei die plötzlich einströmende Luft, die an der im Körper der Träne enthaltenen verdünnten Luft zu wenig Widerstand finde[48]).

Auch in die vielerörterte Frage nach der Porosität des Glases hat Boyle eingegriffen. Nach ihm besitzen alle Körper, auch die festen, zahlreiche Poren, in welche die sogen. Effluvien, die aus kleinsten Teilen bestehenden Ausdünstungen der Körper, einzudringen vermögen. Für das Glas im besonderen hat er das durch mehrere Versuche nachgewiesen. Wenn auch Glas im allgemeinen für chemische Flüssigkeiten wie für sicht- oder riechbare Ausdünstungen von Körpern undurchdringlich ist, so gibt es doch Ausnahmen, die auf die Textur des Glases zurückzuführen sind, oder darauf, daß die durchdringenden Körper stark durch Hitze bewegt werden, oder darauf, daß die eindringenden Teilchen der Größe der Poren des Glases besonders angepaßt sind. Jedenfalls ist das Glas durchlässig „für die Atome oder Körperchen von Kälte und Hitze, wie das Steigen und Fallen der im Thermometer enthaltenen Flüssigkeit beweist." Auch der Magnet wirkt, wie Boyle nachgewiesen hat, anziehend auf ein in hermetisch verschlossenem Glas befindliches Stahlstück. Dasselbe gilt für das Licht, das „wahrscheinlich ein feiner, sich rasch bewegender Körper ist oder eines solchen als eines Trägers bedarf"[49]).

Auch die chemischen Vorgänge bei der Glasfärbung betrachtet Boyle vom Standpunkt der Korpuskulartheorie aus. So behandelt er sie z. B. in seiner Abhandlung über die Porosität fester Körper in unmittelbarem Anschluß an die Frage nach der Porosität des Glases. Die auch von ihm beklagte Geheimnistuerei der Glasmacher hat es freilich verschuldet, daß er keine klare Vorstellung von der Herstellung des Ueberfangglases hat. Er kann nur feststellen, daß bei alten Kirchenfenstern die tiefrote Farbe keineswegs tief ins Glas eindringt, sondern durch eine an der Oberfläche des Glases haftende, dünne, durchscheinende Pigmentschicht hervorgerufen wird, während in anderen Fällen das Pigment tiefer geht[50]). Seine mit Silbergelb angestellten Versuche schlugen anfangs fehl[51]), später gelang ihm Gelbfärbung durch kalziniertes Silber. Die gelbe Farbe, die nicht die des Silbers ist, erklärt er dadurch, daß etliche Silberpartikel in das Glas eingedrungen sind und von dem fixen Salz (Alkali) bearbeitet werden. Auch hier ergänzt er also die Korpuskulartheorie durch eine chemische Betrachtungsweise[52]).

Bringt es die Korpuskulartheorie mit sich, daß Boyles Neigung hauptsächlich den physikalischen Eigenschaften des Glases gilt, ja daß er auch chemische Vorgänge als physikalische zu erklären versucht, so trägt umgekehrt einer der letzten Vertreter der iatrochemischen Auffassung manches zur Aufklärung der bei der Glasschmelze stattfindenden chemischen Vorgänge bei. Es ist Otto Tachenius, der als erster den Begriff Salz schärfer gefaßt und als eine Verbindung von Säuren und Alkalien betrachtet hat. So erklärt er auch die Entstehung des Glases als einen durch das Feuer herbeigeführten chemischen Vorgang: Ein Teil des Alkali absorbiert die Säure, die der Kieselstein statt Kalk enthält, schwimmt auf dem geschmolzenen Kiesel und wird Glasgalle genannt, der andere Teil des Alkali verbindet sich mit dem Kiesel und sättigt sich an ihm[53]). Noch be-

[46]) R. Boyle, „Of the great Effect of even languid motion". Works V, S. 35.

[47]) Ebda., V, S. 8 und Supplement S. 34. Der Bericht Morhoffs in D. G. Morhofi Dissertationes Academicae et Epistolares 1699: „De scypho vitreo per certum humanae vocis sonum fracto". Morhof erörtert hier die Frage der Porosität des Glases, bespricht die Erscheinung der Glastränen und kommt zu dem Ergebnis, es sei in den Poren des Glases Luft oder eine andere feinere ätherische Materie enthalten, die gewaltsam zurückgehalten, bei ihrem Durchbruch das Glas zerstört, wenn sie nicht durch allmähliche Kühlung in einen Zustand der Ruhe gebracht worden ist.

[48]) Ebda., Works III, S. 262, „New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air".

[49]) Ebda., Works IV, S. 780 ff., „An Essay on the Porousness of solid Bodies". Die zahlreichen Untersuchungen, die damals über die Porosität des Glases angestellt wurden, gelangten zu widersprechenden Ergebnissen. Eine Zusammenstellung gab der Leipziger Professor Joh. Bohn in seinen Dissertationes Chymico-Physicae 1696, S. 359 ff., § 4. Dabei wies er als erster darauf hin, daß die Widersprüche in den einzelnen Beobachtungen sich aus der verschiedenen Beschaffenheit des Glases erklären: Glas, das zuviel „Salz" (Alkali) enthält oder nicht lang genug geschmolzen ist, zersetzt sich nicht nur bei Berührung mit „scharfen Geistern", sondern schwitzt auch an feuchten Orten Salz aus. Außerdem wird die Durchlässigkeit des Glases durch Hitze gefördert, die seine Poren erweitert oder den flüssigen Inhalt verdünnt und ihm unwiderstehliche Stoßkraft verleiht, wie Boyles Experimente gezeigt haben.

[50]) Ebda., S. 791.

[51]) R. Boyle, „Experimental History of Colours", I, S. 778, Exp. XLVIII.

[52]) R. Boyle berichtet bei dieser Gelegenheit von der Destillation eines besonders feinen, von ihm hergestellten Goldamalgams, wobei der Boden des Glasgefäßes eine etwa zollgroße gefärbte Stelle aufwies, die im auffallenden Licht blau, im durchscheinenden golden erschien. Das ist genau das Gegenteil von dem, was Faraday bei seinen Versuchen mit rubinroten Goldhydrosolen festgestellt hat (vgl. Philos. Transact. Royal Soc., **147** (1857), S. 145).

[53]) O. Tachenius, „Hippocrates Chymicus", 1666, cap. 5. J. Fr. Helvetius, „Diribitorium Medicum", 1670, cap. IX, S. 48 schließt sich dieser Auffassung an.

zeichnender für die der mechanischen Betrachtungsweise noch ganz fernstehende, mit dem alchemistischen Begriff der Beseelung arbeitende Anschauungsweise des Tachenius ist folgende Stelle: „Die für sich schwer schmelzbare Säure des Kiesels beseelt das leichtschmelzende leere Alkali (wenn es nämlich nicht leer wäre, könnte es die Säure des Kiesels nicht in sich ziehen) und diese beiden verschmelzen zu einer dunklen Masse, die mittels einer Gärung einen salzigen Schaum aus sich auswirft, der von den Kennern Glasgalle genannt wird: die Masse klärt sich dann zu durchsichtigem Glas, so daß, was gestern pflanzlich war, heute durch die Seele des Kiesels in eine mineralische und steinige Beschaffenheit, das Glas, übergegangen ist..."[54]) So seltsam und unklar uns diese Ausdrucksweise anmutet, so darf doch nicht verkannt werden, daß hier beachtliche Ansätze zu einer Pyrochemie des Glases liegen, von denen die Folgezeit zunächst keinen Gebrauch zu machen wußte.

Zwar beschäftigen sich die chemischen Lehrbücher der Zeit vielfach mit der „Vitrificatio"; aber einmal fassen sie den Begriff Glas viel weiter und verstehen darunter z. B. auch das „Vitrum Antimonii" (Spießglanzglas, Antimonoxysulfid), und dann begnügen sie sich mit recht allgemein gehaltenen Begriffsbestimmungen, die über das Wesen des Vorgangs nichts genaueres aussagen[55]).

[54]) O. Tachenius, „Antiquissimae Hippocratis Medicinae Clavis", 1669, cap. 3.

[55]) Daniel Sennert, „De Chymicorum cum Aristotelicis et Galenicis Consensu et dissensu", 3. Aufl., 1655, cap. 19: „Vitrificatio, quae est ultimus transmutationis terminus corporum naturalium, corporibus per ignem fortissimum fusis". Die 1. Auflage von 1619 enthält die Stelle nicht. — W. Rolfincius, „Chimia in artis formam redacta", 1676, S. 88: „Vitrificatio est combustio, calces et cineres in vitrum convertens".

# Referate.

(Einteilung s. in Heft 1 dieses Jahrgangs, S. 21. — Das Zeichen □ bedeutet, daß die betr. Veröffentlichung in einem der nächsten Hefte der „Glastechn. Ber." besprochen werden wird.) — Die halbfetten Zahlen rechts über jedem Referat bzw. Zitat geben die Einteilung nach der Dezimalklassifikation (DK) an; Näheres s. in Heft 1 des 13. Jg. 1935, S. 16—17, und in den Inhaltsverzeichnissen der letzten Jahrgänge.

## 1. Geschichte des Glases.

**DK 666.22 (43-2.696) (091)**

**Die optischen Glaswerke in Benediktbeuern.** (The optical glassworks at Benediktbeuern.) W. H. S. Chance. Proc. Phys. Soc., **49** (1937), S. 433—443. — Die Angaben über die Gründung und den Betrieb der optischen Glaswerke in Benediktbeuern stützen sich großenteils auf frühere Angaben M. v. Rohrs*) und auf die Ausführungen von Seitz*) in seinem Buche „Joseph Frauenhofer und sein optisches Institut". Darüber hinaus sind noch eigene Beobachtungen wiedergegeben, so einige Betrachtungen über die noch jetzt erhaltenen Glasöfen, die in Abbildungen gezeigt werden. — Erwähnt werden die Verhandlungen und Vereinbarungen zwischen dem Reichenbach-Utzschneider-Liebherrschen Institut und Guinand, die zur Gründung der Glasschmelze in Benediktbeuern führten. Im August 1809 wurde Fraunhofer von Guinand in seinen Glasschmelzmethoden unterrichtet; 1811 übernahm Fraunhofer die Leitung in Benediktbeuern. Die beiden noch jetzt erhaltenen Oefen, die wahrscheinlich erst nach dem Tode Fraunhofers gebaut worden sind, sind in einem Holzschuppen von 62 Fuß Länge und 18 Fuß Breite untergebracht, zur Hafenherstellung und Aufbewahrung diente vermutlich das Hauptgebäude des alten Klosters, das im 8. Jahrhundert gebaut, 985 von den Ungarn zerstört und 1031 von den Benediktinern aus Tegernsee neu errichtet wurde. Der Bericht über die Tätigkeit Fraunhofers kann unberücksichtigt bleiben, weil er nur Bekanntes enthält. Abschließend wird bemerkt, daß zunächst Utzschneider nach Fraunhofers Tode die Herstellung des Glases überwachte, während die optische Fabrikation dem Georg Merz übertragen wurde. In der Familie Merz blieb das Unternehmen bis 1903. In diesem Jahre wurde es an Paul Zschokke verkauft. Im Jahre 1936 veräußerten die Zschokkeschen Erben das stillgelegte Werk an Prof. Küchler, der die wesentlichsten Teile der Stätte unverändert gelassen hat. H. Schulz. (12 048/1)

**DK 666.1 (43-2.798) (091)**

**Beiträge zur Geschichte sächsischer Glashütten. Die Glashütte zu Steindöbra.** Albert Schröder. Sprechsaal Keramik usw., **71** (1938), Nr. 34, S. 418/19. — Der Aufsatz enthält bemerkenswerte Feststellungen, die der Verf. über den Betrieb und die Erzeugnisse der von 1639 bis gegen 1724 im Betrieb gewesenen Glashütte Steindöbra b. Klingenthal im sächsischen Vogtland gemacht hat. — Nach dem von ihm in dem Sächs. Hauptstaatsarchiv Dresden (Loc. 39 670) vorgefundenen Aktenbestand wurde am 23. 1. 1639 von Kurfürst Johann Georg zu Sachsen in Dresden den 3 Männern Hans Heroldt, Bürgermeister zu Falkenstein, dem Floßmeister Hans Abel Ficker und dem Schönecker Oberförster Georg Geyer die Erlaubnis erteilt, innerhalb eines näher bezeichneten Reviers auf den sog. Schöneckischen Wäldern des Amts Voigtsberg eine Glashütte mit Wohnhäusern, Schneide- und Mahlmühle, Erbgericht, Back-, Schlacht-, Brau- und Schankfreiheit und weiteren auf Viehweide, Rodung von Wiesen und Aeckern, Holzbezug, Aescherung bezüglichen Rechten auf ihre Kosten zu bauen. Der jährliche Erbzins betrug 20 fl. oder eine entsprechende Naturalleistung in Scheiben oder Gläsern. — Die Hütte kam mit dem Amt Voigtsberg 1657 an Sachsen-Zeitz und fiel später wieder an Kursachsen zurück. Als Besitzer wird am 25. 2. 1701 der Kurf. Sächs. Vize-Berghauptmann Hans Carl von Carlowitz genannt. Nachdem zwischen ihm und der Landesherrschaft ein Prozeß betr. das Eigentumsrecht am Hüttenrevier entstanden war, ging die Hütte am 3. 12. 1725 durch Kauf an den Kurfürsten über, der das Gebäude am 10. 10. 1727 abbrechen ließ und das ehemalige Glasmeisterhaus zur Dienstwohnung seines Flößknechts bestimmte. — Nach der ersten Belehnung erfolgten weitere Belehnungen am 21. 10. 1658, am 21. 12. 1692 und am 25. 2. 1658. Als auf der Hütte befindliche Schichtmeister werden genannt Christoph Reichel (1713) und Joh. Friedr. Strauß (1725, vielleicht vorher auf der Glashütte Heidelbach). — Als wahrscheinliches Erzeugnis der Hütte nimmt Schröder an den ehemals in der Sammlung Borgeois-Köln, heute in amerikanischem Privatbesitz befindlichen großen Humpen mit der Festung Voigtsberg aus dem Jahre 1701[1]), dann eine weitere Anzahl von Emailgläsern von ähnlichem Typ, z. B. im Vogtländischen Kreismuseum zu Plauen. Meist handelt es sich um Gläser mit den Wappen vogtländischer Adelsgeschlechter z. B. der Reibold, der Metsch auf Reichenbach), über die Schröder noch weitere Veröffentlichungen in Aussicht stellt. Sie stammen meist aus der Zeit kurz nach 1701, also aus der v. Carlowitzischen Besitzperiode an der Hütte. Ueber die Namen in Betracht kommender Maler war aus den Akten bisher nichts zu ermitteln. Das Reibold-Glas (vom Jahre 1705) befindet sich im Kunstgewerbe-Museum Leipzig und ist von Schröder abgebildet in seinem Aufsatz „Vogtländische Emailgläser?"[2]). H. Kühnert. (12 476/1)

**DK 381.823.64 : 666.227.3 (091)**

**Das Kalabubuglas.** Mindt. Dtsch. opt. Wschr., **59** (1938), Nr. 21, S. 302. (12 398/1)

**DK 92 Abbe, E.**

**Das wissenschaftliche Werk Ernst Abbe's.** H. Lünstedt. Dtsch. optsch. Wschr., **59** (1938), Nr. 21, S. 302. (12 599/1)

**DK 666.17 (43-312.8)**

**Das gläserne Herz Deutschlands. Die Lausitz als Mittelpunkt der Hohlglasindustrie.** J. Moeren. Hausgerät, **38** (1938), Nr. 19, S. 365—367; 6 Abb. (12 603/1)

*) M. von Rohr, „Joseph Fraunhofers Leben, Leistungen und Wirksamkeit", Leipzig 1929, Akadem. Verlagsges. — A. Seitz, „Joseph Fraunhofer und sein optisches Institut". Berlin 1926, Verl. Jul. Springer. — Weiteres Schrifttum s. Kühnert, H., „Joseph Fraunhofer", Glastechn. Ber., **15** (1937), H. 2, S. 49—56.

[1]) Abbildung bei Ludw. F. Fuchs-München, „Emailgläser aus dem Vogtlande", Sprechsaal Keramik usw., **63** (1930), Nr. 39, S. 741. (Ref. Glastechn. Ber., **8** (1930), S. 539.)

[2]) Schröder, A., Sprechsaal, **70** (1937), Nr. 10, S. 132.