

Werk

Titel: Probleme der Glasforschung. I.

Autor: Zschimmer , E.

Ort: Berlin

Jahr: 1918

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0006 | LOG_0307

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Sechster Jahrgang.

30. August 1918.

Heft 85.

Probleme der Glasforschung. I.

Von Dr. E. Zschimmer, Jena.

Zum Begriff des technischen Glases.

Unter „Glasforschung“ verstehe ich ein besonderes Gebiet der „technischen Naturforschung“. Das Ziel dieser Wissenschaft wurde, im Zusammenhang mit der Gründung naturwissenschaftlich-technischer Forschungs-Institute, schon allgemein behandelt¹⁾ und in die Forderung kurz zusammengefaßt: „Gründliche exakt wissenschaftliche Aufklärung über die Natur der technischen Dinge und Vorgänge.“ Hierzu gehören auch die Gläser und ihre Erzeugung. Es muß eine besondere Wissenschaft geben, die sich in dem früher allgemein bezeichneten Sinne mit den Problemen befaßt, auf die der Naturforscher beim Ausbau seiner Wissenschaft schwerlich stoßen würde, wohl aber der Techniker bei der Erfindung und Anwendung neuer Gläser und ihrer Herstellung im Hüttenbetrieb.

Die Glasforschung gehört nicht zur „reinen“ Naturforschung, da sie ihre Probleme der Technik entnimmt; sie dient der wissenschaftlichen Begründung der *Technologie des Glases*, der kausalen Erklärung glastechnischer Dinge und Vorgänge. Gleichwohl ist diese Wissenschaft ihrer Methode nach doch ganz und gar *Naturwissenschaft*, denn der zu erforschende Gegenstand ist ein Stück der Natur. Der Unterschied von der „reinen“ Naturwissenschaft besteht nur in der Wahl dieses besonderen Gegenstandes, woran der reine Naturforscher kein Interesse hat. Wäre die Naturwissenschaft *unendlich* vollendet, so würde, wie früher schon bemerkt, keine besondere Aufgabe für die Glasforschung bestehen; die Erfinder würden sich aus dem unendlichen Wissen jederzeit den Teil aussuchen, den sie für ihre Zwecke brauchen. Aber dieser Idealzustand besteht niemals. Weder kann die reine Naturwissenschaft warten, bis die Forschung am Ende ist, noch kann die *Technik des Glases* bis dahin auf die Verfolgung ihres eigenen Forschungszieles verzichten: die Entdeckung und Erkenntnis desjenigen besonderen Teiles der Natur, den sie in der Herstellung und Anwendung der Gläser beherrschen will.

Problematisch ist schon der Begriff „Glas“. Der Versuch einer dem Stande und den Anforderungen der Technik entsprechenden wissenschaftlichen Bestimmung des Glasbegriffs ist keineswegs ein müßiges Beginnen; allerdings muß im voraus gesagt werden: Die Zusammenfassung der vorhandenen Industriegläser oder als „glasig“ be-

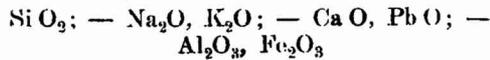
zeichneten Körper unter einen Begriff führt nicht zum Ziel. Die Aufgabe kann nur sein: auf naturwissenschaftlicher Grundlage geeignete Grenzbestimmungen *festzusetzen*, wonach gewisse Industrierzeugnisse als „normales Glas“ im *technologischen Sinne* zu bezeichnen sind. Die geschichtliche Entwicklung der Glastechnik wird die Schwierigkeit der Sache verständlich machen; auch wird sich zeigen, daß das Problem eines feststehenden Glasbegriffs schon längst ernsthaft Beachtung fand, und welche Rolle die technische Naturwissenschaft als „Glasforschung“ hierbei zu spielen hat.

Im Altertum wurden Körper, die wir heute keinesfalls noch als Glas ansprechen, mit wirklichen Gläsern der Technik zusammengeworfen, weil sie sich für die Zwecke, auf die es ankam, ähnlich verhielten. Glas war Zierrat, gewissen Edelsteinen zuzuzählen, besonders den schön gefärbten oder möglichst wasserhellen, auch wohl harten Mineralien. Man scheute sich nicht, die kristallisierten mit den amorphen Stoffen unter einen Begriff zu fassen; auch auf die chemische Zusammensetzung kam es gar nicht an: Malachit (basisches Kupferkarbonat), Quarz (SiO_2) und Kalksilikatglas, z. B. ägyptisches Glas von der Zusammensetzung 72 SiO_2 , $21 \text{ Na}_2\text{O}$, 5 CaO , $2 (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ waren in gewisser Hinsicht dasselbe, da diese Kostbarkeiten denselben, nämlich kunstgewerblichen Wert hatten.

Allmählich änderte sich aber dieser Wert und damit die Auffassung vom Glase beträchtlich. Man lernte größere Mengen jener gesuchten Seltenheiten darzustellen, sie wurden zum *technischen Gebrauch* bestimmt und bald für die täglichen Bedürfnisse der Menschheit erforderlich. Einige wenige aus dem Schmelzfluß erzeugte, durch Zufall entdeckte Glasmassen erwiesen sich dazu tauglich; ihre bequeme Verarbeitung und Billigkeit galt wichtiger als mannigfaltige Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften. Ohne Bedenken leitete man daraus die feststehende chemische Vorstellung ab, wie „das“ Glas zusammengesetzt sein müsse; es trat die in der vorwissenschaftlichen Industrie übliche Erstarrung praktischer Erfahrungen zum handwerklichen Dogma ein, — der Begriff des „richtig zusammengesetzten Glases“ bildete sich heraus. Dabei blieb noch zu wählen zwischen *Bleioxyd* oder *Kalk* als Schmelzmittel und Verbesserungsmittel der Haltbarkeit, neben den Schmelzmitteln *Natron* und *Kali*; dies nämlich waren die Basen, die sich im feurigen Fluß der schwerschmelzbaren *Kieselsäure* bemächtigen sollten; um mit ihr die

¹⁾ Die Naturwissenschaften 5, S. 629 (1917).

Reihe der „richtig“ zusammengesetzten *Kalk-* oder *Bleigläser* zu bilden. Notwendige Übel waren Eisenoxyd in minderwertigen Grüngläsern (Flaschen) und Tonerde. So kamen die sieben klassischen Glasoxyde:



als die wesentlichen und selbstverständlichen Bestandteile jener Gruppe von Werkstoffen zur Geltung, die man, sofern sie in der Hütte darstellbar und praktisch brauchbar waren, unter dem Namen Glas, in seinen Hauptspielarten des Spiegelglases, Fensterglases, Weißhohlglases, Flaschenglases und des Bleikristalls zu bezeichnen pflegte.

Anstelle des ursprünglich recht oberflächlichen, auf einige Merkmale gegründeten physikalischen Begriffs hatte sich also eine im wesentlichen *chemische Auffassung* des Glases eingebürgert, an der bis in die neueste Zeit festgehalten wurde: die Gläser gehörten in die anorganische Chemie, wo man sie noch heute bei den Silikaten abgehandelt findet. Die wissenschaftliche „Glaschemie“ aber wurde von dem Gedanken beherrscht, *rationaler Formeln* zu suchen, nach denen die „richtige Zusammensetzung“ bestimmt würde. Hierbei hatte man vorzüglich die Haltbarkeit der gebrauchten Glasgegenstände unter dem Einfluß der Verwitterung im Auge. Die Methode dieser chemischen Glastheorie war immer dieselbe: Man analysierte die aus den Hütten hervorgegangenen Gläser verschiedener Art, prüfte die Beständigkeit der daraus hergestellten Gegenstände und versuchte nun, unter Trennung der guten von den schlechten Gläsern, nach bestimmten Molekularverhältnissen Formeln aufzustellen, nach denen sich die Hütten bei der Erzeugung des Glases richten sollten. Die Naturwissenschaft spielte hierbei die Rolle des Lehrmeisters, der dem unkundigen Handwerker vorschreibt, wie er seine Gläser zusammensetzen muß, um dem wissenschaftlich begründeten Begriff des Glases zu entsprechen. Und doch lernte dieser Lehrmeister erst bei der Glasindustrie die Zusammensetzung der Gläser kennen, die er in Betracht zog. — ein Weg im Kreise, der höchst charakteristisch ist für das Verfahren, wie man in früherer Zeit glas-technische Probleme naturwissenschaftlich behandelte.

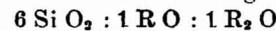
Im besonderen interessiert uns hier das Verfahren, wodurch man zu einer Festlegung des Glasbegriffs auf chemischer Grundlage zu gelangen suchte. Die Naturforschung bediente sich der Technik gegenüber sozusagen der induktiven Methode: Was die Technik fertiggebracht hatte, war das Gegebene. Man setzte anscheinend voraus, daß die Technik andere, als die in zahlreichen Analysen vorliegenden Glasarten doch nicht herstellen könne und diese mithin den möglichen Umfang der Veränderlichkeit der Bestandteile darstellen. Unter solcher Voraussetzung gingen die Physiker darauf aus, die guten und schlechten *Handelsgläser* auf ihre Eigenschaften zu prüfen; sie stell-

ten fest, welche von den gegebenen Analysen den besten Eigenschaften entsprechen; wobei wieder die *praktische Erfahrung* lehrte, was denn „gut“ und „schlecht“ im wirklichen Gebrauch der Gläser als Fensterscheiben, Spiegelscheiben, Kochgefäßen usw. zu bedeuten hat. Hieraus ergab sich die Regel, wie ein „normales Glas“ im technischen Sinne zusammengesetzt sein müsse, — die gesuchte Begriffsbestimmung war gewonnen, das normale Glas im Gegensatz zu allen Pseudogläsern erkannt, die nur bei oberflächlicher Betrachtung gutes, d. h. zweckmäßig zusammengesetztes Glas zu sein scheinen.

Einen gewissen Abschluß erreichte die chemische Glastheorie durch die mit großer Sorgfalt ausgeführte umfangreiche Arbeit des bekannten Physikers *R. Weber*¹⁾. Seine Untersuchungen haben lange Zeit als maßgebend für die Glasindustrie gegolten; ihr Ergebnis läßt sich dahin zusammenfassen: Bei guten *Alkali-Kalksilikatgläsern* besteht zwar eine gewisse gesetzmäßige Abhängigkeit der Haltbarkeit von der Molekularzusammensetzung, doch bedingt nicht nur ein einziges Mischungsverhältnis der Bestandteile die Güte; auch bei mannigfach wechselnder Zusammensetzung können Gläser von guter Beschaffenheit entstehen. Betrachtet man das Molekularverhältnis



so entspricht ein bewährtes, also *normales Fensterglas* nahezu der Zusammensetzung



wobei R O im wesentlichen = Ca O (mit geringfügigen Mengen Mg O) und R₂ O = Na₂ O mit mehr oder weniger großen Mengen von K₂ O bedeutet. Bei widerstandsfähigen, d. h. *normalen Schleifgläsern* (z. B. dem sogenannten böhmischen Kristallglas) zeigt sich zwar der Alkaligehalt erheblich größer als dem Verhältnis 1 R O : 1 R₂ O entspricht, dafür beträgt aber der Kieselsäuregehalt in Molekülen das Drei- bis Vierfache der Summe (R O + R₂ O); der bei kieselsäureärmeren Sorten als Mißverhältnis zu betrachtende Wert R₂ O : R O wird also durch den größeren Kieselsäuregehalt unschädlich gemacht. *Bleigläser* hat *Weber* nur in geringer Zahl untersucht. Sie enthalten durchschnittlich weniger Alkali als die Kalkgläser; ein gutes Bleiglas (optisches Flintglas) ergab das Molekularverhältnis 3.5 Si O₂ : 1 R O : 0.33 R₂ O. In der folgenden Tabelle sind einige Analysen aus der Reihe der von *Weber* untersuchten Handelsgläser mit den zugehörigen Molekularverhältnissen zusammengestellt.

Später hat *E. Tscheuschner*²⁾ für *Alkali-Kalksilikatgläser* normaler Zusammensetzung die Formel

$$z = 3 \left(\frac{x^2}{y} + y \right)$$

aufgestellt, worin *x* die Moleküle Alkali, *y* die

¹⁾ Ann. d. Physik 6, S. 431 (1879).

²⁾ Handbuch d. Glasfabrikation S. 38. Weimar, B. F. Voigt (1885).

	Fenster-Glas	Spiegel-Glas	Böhm. Schleif-Glas	Hohl-Glas	Opt. Kron-Glas	Blei-Kristall	Opt. Flint-Glas
Si O ₂ ..	72,68	70,58	75,81	72,13	70,07	53,70	45,24
Al ₂ O ₃ ..	1,06	1,01	1,01	1,41	1,02	1,07	0,82
Ca O ..	12,76	16,07	7,38	11,51	12,13	0,59	0,36
Mg O ..	0,26	0,80	0,10	—	0,32	—	—
Pb O ..	—	—	—	—	—	34,91	47,06
K ₂ O ..	—	—	11,39	5,66	15,03	9,12	6,80
Na ₂ O ..	13,24	11,77	4,84	10,06	2,00	0,30	—
Moleküle	100,00	100,23	100,53	100,77	100,57	99,69	100,28
Si O ₂ ..	5,2	3,8	9,6	5,8	5,2	5,3	3,5
RO ..	1	1	1	1	1	1	1
R ₂ O ..	0,9	0,6	1,5	1	0,85	0,6	0,33

Moleküle Kalk und z die erforderlichen Kieselsäuremoleküle bedeuten. Da jedoch das Kali in bezug auf die Haltbarkeit des Glases durchaus nicht gleich mit einer äquivalenten Menge Natron zu betrachten ist, so verbesserte G. Keppeler¹⁾ die Normalformel für die Kali-Gläser, indem er

$$z = \pm \left(\frac{x^2}{y} + y \right)$$

annahm.

J. Koerner²⁾ hat neuerdings in einer zusammenfassenden Arbeit die sämtlichen in der Literatur bekannt gewordenen Analysen von Alkali-Kalk-Silikatgläsern mit den zugehörigen Beobachtungen über die Haltbarkeit mit der Theorie verglichen, indem er die Gläser in einem Dreiecksdiagramm Si O₂ — Ca O — R₂ O eintrug und die Kurven einzeichnete, die den Normalformeln von Tscheuschner und Keppeler entsprechen. Koerner schließt mit dem Ergebnis, „daß der erweiterten Tscheuschnerschen Formel bei der Beurteilung von Alkali-Kalk-Gläsern eine weitgehende Gültigkeit zukommt. Wenngleich in ihr versucht ist, ein bestimmtes molekulares Verhältnis zwischen Alkali, Kalk und Kieselsäure zum Ausdruck zu bringen, so bedeutet dies für die Zusammensetzung von Gläsern doch keine Einzwängung in ein bestimmtes Schema, da sich, wenn man die möglichen Formelwerte für Natron- und Kalium-Kalk-Gläser graphisch aufzeichnet und die Kurven als untere Grenzen betrachtet, ein weiter Bereich der Glaszusammensetzung ergibt, in dem letztere die verschiedensten Verhältnisse zwischen Alkali, Kalk und Kieselsäure durchlaufen kann. Allerdings sind unsere Kenntnisse über „Glasbildung“ im allgemeinen und bei reinen Alkali-Kalk-Gläsern im besonderen noch recht dürftig, doch eröffnet die vervollkommnete Feuerungstechnik mit der Möglichkeit der Erzielung hoher und höchster Temperaturen neue und günstige

¹⁾ In: R. Dralle, Die Glasfabrikation S. 100. Oldenburg. München (1911).

²⁾ Die Beurteilung d. Alkali-Kalk-Gläser nach d. Tscheuschnerschen Formel. Müller & Schmidt, Coburg (1915).

Aussichten zur Lösung der für die Glaswissenschaft und -Technik so wichtigen Frage.“

Die chemische Bestimmung des Glasbegriffs, bei der man gehofft hatte, eine bestimmte Formel zu finden, um sagen zu können: „das ist normales Glas im technischen Sinne“ wurde vollkommen erschüttert, als O. Schott¹⁾ den engen Kreis der sieben klassischen Glasoxyde durchbrach, um Erzeugnisse zu schmelzen, die chemisch nur wenig, zum Teil gar nichts mehr mit den alten Kalksilikat- und Bleisilikat-Gläsern zu tun hatten. An Stelle der Kieselsäure erschienen jetzt Borsäure und Phosphorsäure; die Tonerde, die man früher ängstlich vermieden hatte, trat als Haupt-Glasbestandteil auf; Lithium und Rubidium vertraten die Stelle von Natrium und Kalium; Kalk wurde verdrängt durch Baryt, Zinkoxyd und Magnesia, die Schott zum Teil in Mengen bis über 50 % in seine Schmelzen brachte; andere Fremdlinge aus dem periodischen System fanden Zutritt zur Gesellschaft der chemischen Elemente, die ein mehrtausendjähriges Recht besaßen, als „die“ Bestandteile des Glases zu gelten. — Die Gründung des Jenaer Glaswerks im Jahre 1884 bedeutete eine förmliche Revolution der alten Glaschemie und hiermit eine Änderung der Begriffe von Grund auf, denn nun hieß es: „Glas“ kann chemisch alles Mögliche sein, wenn es nur leistet, was vom Glase verlangt wird.

Technologisch ist klar, daß der Glasbegriff nicht aus den zufällig von der Industrie erzeugten Gläsern gewonnen werden kann, — sind doch täglich neue Überraschungen möglich. Was Glas als technischer Werkstoff heißen darf, muß unter Berücksichtigung des geschichtlich Gewordenen nach den für die Technik wichtigen Eigenschaften durch Übereinkunft festgesetzt werden. Eine solche Übereinkunft besteht ja auch, von altersher, hinsichtlich der allgemeinen Merkmale des Glases, — und diese sind ohne Zweifel für den Begriff im technischen Sinne als wesentlich zu betrachten, — nämlich: 1. amorpher Zustand, im Gegensatz zu Kristallen, wie Glimmer; 2. chemische Homogenität im Sinne der „physikalischen Gemische“ (Nernst), im Gegensatz zu mechanischen Gemengen wie Granit, Porzellan, Schamotte; 3. Starrheit bei den Gebrauchstemperaturen der Glasgegenstände, im Gegensatz zu plastischen Werkstoffen wie Wachs, Pech; 4. Feuerbeständigkeit²⁾, im Gegensatz zu brennbaren oder flüchtigen Stoffen wie Zelluloid, Schellack; 5. Lichtdurchlässigkeit, im Gegensatz zu Metallen; 6. Haltbarkeit gegenüber Luft und Wasser, im Gegensatz zu den verwitternden und löslichen Stoffen wie Gips, Steinsalz.

Aber bei näherer Betrachtung dieser Merkmale ergibt sich, daß eine ganz allgemeine Bestimmung des technischen Glases viel mehr ein ungelöstes

¹⁾ Vgl. Zschimmer, Die Glasindustrie in Jena. Diedrichs. Jena (1909).

²⁾ Nicht zu verwechseln mit „Feuerfestigkeit“, d. h. Starrheit bei hohen Temperaturen.

Problem, als ein feststehender Begriff ist. Eine scharfe Grenze zwischen Glas und Nichtglas besteht wohl in bezug auf das erste Merkmal; findet man doch häufig in *naturwissenschaftlichem* Sinne den amorphen und den „glasigen“ Zustand gleichgesetzt (indem man stillschweigend eine gewisse chemische Zusammensetzung und Beschaffenheit in bezug auf die übrigen Eigenschaften voraussetzt). Man spricht von glasiger Borsäure, glasiger Phosphorsäure, überhaupt von glasig erstarrten, geschmolzenen Stoffen, wenn diese ohne Kristallisation „erstarren“, nachdem sie auf gewöhnliche Temperatur abgekühlt worden sind. Für die *Technik* aber wäre eine so allgemeine Bestimmung des Glasbegriffs unter keinen Umständen genügend, wie nicht näher ausgeführt zu werden braucht.

Zieht man nun die übrigen allgemeinen Merkmale zur näheren Umgrenzung des *technischen Werkstoffes Glas* herbei, so wird die Bestimmung schon beim zweiten — der chemischen Homogenität — zweifelhaft. Denn würde man diese Bedingung im strengen Sinne stellen, so entfielen mehr als 99 % der sogenannten technischen Gläser, da jedes Glas — mit Ausnahme der besten optischen Gläser — bekanntlich „Schlieren“ enthält, d. h. Fäden, Schichten oder andere Gebilde von abweichender chemischer Zusammensetzung gegenüber der Grundmasse, in der sie eingebettet sind. Doch hierüber kommt man noch leicht hinweg (und so geschieht es unbewußt), wenn man zuläßt, daß auch diejenigen Körper unter die „Gläser“ fallen, deren Masse ein *mechanisches Gemenge* von Bestandteilen bildet, welche für sich betrachtet, das Merkmal der chemischen Homogenität im strengen Sinne erfüllen. Man spricht in diesen Fällen — sobald man darauf achtet — von „schlierigem“ Glas. Im allgemeinen sind also alle Gläser schlierig, mit Ausnahme des besten optischen Glases, bei dem die Freiheit von Schlieren gerade das wesentlichste Merkmal der technischen Begriffsbestimmung bildet.

Daß die beiden ersten Merkmale — amorphe und homogene Beschaffenheit — zur Abgrenzung für technische Gläser nicht genügen, zeigen die beim dritten (Starrheit) angeführten Gegenbeispiele. Werkstoffe, wie Wachs, Pech, Kolophonium usw. wird niemand als „Glas“ bezeichnen, sonst hätte der verbreitete Ausdruck „glashart“ ja keinen Sinn. Dennoch liegt in der Bestimmung der Starrheit innerhalb der üblichen Gebrauchstemperaturen eine begriffliche Schwierigkeit. Wie *Schott*¹⁾ zuerst gezeigt hat, tritt in gewöhnlichem optischen Flintglas (47 % PbO) schon bei 355° ein dauernder Ausgleich der in der Glasmasse vorhandenen, an der Doppelbrechung erkennbaren Spannungen ein. *R. Reiger*²⁾ konnte, sogar bei bedeutend härteren Gläsern, schon bei 250° den Beginn der Entspannung nachweisen, und das bekannte Verhalten der Thermometer be-

weist, daß bereits bei 100° C dauernde Verschiebungen der Glasmoleküle stattfinden (Depression des Nullpunkts). Es handelt sich also bei der geforderten „Starrheit“ des Glases genauer um die Festsetzung eines Grenzwertes für den *inneren Reibungskoeffizienten* im Gegensatz zu anderen Stoffen, bei denen dieser Grenzwert bei einer gewissen Höchsttemperatur unterschritten wird.

Schon hier erkennt man, daß *in der Natur der Dinge* kein Anhaltspunkt zu finden ist, um den Glasbegriff zu bestimmen; man muß eine *Festsetzung des Begriffs nach Übereinkunft* treffen. Soll das Verfahren nun nicht rein willkürlich sein, so muß man sich dem *Gesichtspunkt technischer Zweckmäßigkeit* unterordnen, also die Lösung der Aufgabe der *Technologie* überweisen. Zugleich aber zeigt sich schon bei dieser einen Eigenschaft, daß die *Technologie* wiederum angewiesen ist auf die *technische Naturforschung*, wenn sie eine exakte Begriffsbestimmung des für technische Zwecke festzusetzenden Grenzwertes der „Starrheit“ treffen will.

Als viertes wesentliches Merkmal des Glases wurde die „Feuerbeständigkeit“ angegeben. Ein Stoff wie Schellack — selbst wenn er glashart wäre — würde sicherlich als „Imitation“ des wirklichen Glases angesprochen werden, denn vom Glas verlangt man, daß es in Berührung mit der Flamme nicht verbrennt. Zur Feuerbeständigkeit gehört aber nicht bloß Unverbrennlichkeit, sondern auch Beständigkeit gegenüber hohen Temperaturen in *anderen* Hinsichten, sei es mit oder ohne Berührung durch Flammen. Es kommt hier nicht auf die sogenannte thermische Widerstandsfähigkeit bei rascher Erhitzung oder Abkühlung an — wobei das gewöhnliche Glas leicht springt — auch nicht auf die Schwerschmelzbarkeit, die bereits in der Starrheit eingeschlossen ist; man denke bei der Feuerbeständigkeit nur daran, daß der *Stoff* Glas seine ursprüngliche Beschaffenheit unter der Wirkung höherer Temperaturen, wie z. B. beim Glasblasen, nicht wesentlich ändert. Das Glas soll sich glühen und schmelzen lassen, ohne zu verbrennen, zu verdampfen, sich chemisch zu zersetzen, oder zu „entglasen“. Das bedeutet wiederum die Festsetzung *naturwissenschaftlicher* Grenzbestimmungen unter ganz besonderen *technologischen Gesichtspunkten*. — eine Aufgabe, die erheblich schwieriger ist als die vorhergehende.

Über die Lichtdurchlässigkeit — das fünfte der wesentlichen Merkmale — denkt man gewöhnlich schnell hinweg. Nun gibt es aber auf der einen Seite sehr stark gefärbte Gläser, wie Kupferrubin, Neutralschwarz, Kobaltblau; auf der anderen Seite lichtdurchlässige Metalle, wie Gold und Silber; — hat man doch, nach einem Vorschlag von *R. Straubel*¹⁾, die Sonne photographiert durch ein Objektiv aus Jenaer ultraviolett durchlässigen Gläsern mit versilberten.

¹⁾ Zeitschr. f. Instrumentenkunde 11, S. 330 (1891).

²⁾ Dissert. Erlangen (1901).

¹⁾ Erwähnt bei *K. Schwarzschild* u. *W. Villiger*, Physik. Z. 6, S. 737 (1905).

für sichtbares Licht also völlig undurchlässigen Oberflächen! Man sieht, daß die Frage einer exakten Begrenzung des Merkmals der Lichtdurchlässigkeit der Gläser gegenüber metallischen Stoffen keineswegs einfach zu beantworten ist.

Das Gleiche gilt in gesteigertem Maße für das zuletzt genannte Merkmal der „Haltbarkeit“. Haltbarkeit gegenüber Luft und Wasser ist bei allen technischen Werkstoffen das Wichtigste, da fast jeder gebrauchte Gegenstand dauernd oder vorübergehend damit in Berührung kommt; die Brauchbarkeit eines technischen Gegenstandes hängt also wesentlich von dem Verhalten seines Stoffes unter dem Einfluß der Kohlensäure, des Wasserdampfes und flüssigen Wassers ab. So erklärt sich, warum die Bemühungen, den Begriff des „normalen Glases“ unter technologischem Gesichtspunkt abzugrenzen, zuerst auf die Haltbarkeit, und zwar im besonderen auf die Haltbarkeit an der Luft und beim Kochen von Wasser gerichtet waren. Eben diese Versuche führten zur Aufstellung jener Formeln für das „normale Glas“. Was die älteren Physiker und Chemiker oder die hinter ihnen stehenden Glastechniker dabei im Auge hatten, war jedoch ein *beschränktes Anwendungsgebiet der Gläser von bestimmtem chemischem Charakter*; mit der Veränderung der chemischen Zusammensetzung und dem Umfang der technischen Anwendung des Glases wachsen verständlicherweise die Schwierigkeiten, dieses wichtigste allgemeine Merkmal exakt und technologisch richtig zu fassen. Man kann sich heute nicht festklammern an den *aus der ältesten Zeit der Kulturgeschichte* stammenden Begriff der „Haltbarkeit“ oder „Güte“, wobei an nichts anderes gedacht wurde als an Fensterscheiben, Spiegelscheiben, Flaschen und Trinkgefäße, nebenbei wohl auch an Schmucksachen und einfache optische Geräte, wie Brillen, — kurz an die im bürgerlichen Leben gestellten Ansprüche.

Wie sich seit Krupp der allgemeine Begriff „Stahl“ gleichsam entfaltet hat zu einem vollkommenen System technologischer Sonderbegriffe einzelner Stahlarten, auf die sich die Formeln der älteren Stahlkunde nicht mehr anwenden lassen, so führte die Begründung einer neuen Glas-schmelzkunst durch O. Schott, auf allgemeinsten chemischer Grundlage und abzielend auf die größtmögliche Mannigfaltigkeit technischer Zwecke, in dem gleichen Sinne zur Gliederung des „Glases“ in ein System von besonderen technischen Glasarten, dessen zukünftige Entfaltung heute noch nicht abzusehen ist. Nur so viel ist gewiß: Die technologischen Grenzen eines allgemeinen Begriffs können nicht aus theoretischen Gesichtspunkten im voraus festgelegt werden, wenn der Glasbegriff, entsprechend dem geschichtlichen Stande der Technik, praktisch gültig sein soll; wertvoll, daher auch von der technischen Naturforschung bereits beschritten, ist nur der umgekehrte Weg: *Normalgläser für besondere Zwecke durch exakte Grenz-*

werte zweckmäßig zu kennzeichnen und in Übereinkunft mit den staatlichen Prüfungsanstalten, Forschungsinstituten und Fachgruppen der Wissenschaft und Industrie eindeutig zu benennen.

Im allgemeinen Sinne kann also, bei zeitgemäßer Auffassung, unter „Glas“ nichts anderes mehr verstanden werden, als der Inbegriff der jeweils feststehenden, durch Übereinkunft begrenzten *Normalgläser der Technik*; was für diese gemeinsam gilt, im Gegensatz zu allen anderen Stoffen, bestimmt den allgemeinen Begriff. Also: *Technisches Glas ist ein amorpher Werkstoff, dessen chemische Homogenität, innere Reibung, Feuerbeständigkeit, Lichtdurchlässigkeit und Haltbarkeit in die Grenzwerte eingeschlossen sind, welche zurzeit für die Normalgläser zu besonderen Zwecken festgelegt worden sind, zu denen dieser Werkstoff in seinen verschiedenen Arten zweckmäßig gebraucht werden kann.*

Diese Begriffsbestimmung klingt äußerst schwülstig, sie läßt sich aber, wohl kaum vereinfachen; eher könnte sie in Zukunft noch umständlicher werden. Doch es kommt hier nicht auf elegante Schönheit an, sondern auf Genauigkeit und auf die Erfassung des eigentümlich *problematischen Charakters*, den der Glasbegriff nun einmal angenommen hat, nachdem die Jenaer Hütte durch ihre neuen Gläser den einfachen und „schönen“ alten Glasbegriff gesprengt hat. Für die *technische Naturforschung* sind gerade hierdurch die Gläser erst recht interessant geworden, wie die zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten über die Schottischen Gläser gezeigt haben. Immer deutlicher und wichtiger erscheint uns also das durch genaue Bestimmung des Glasbegriffs aufgegebene Problem: die darin genannten wesentlichen Merkmale der Gläser *naturwissenschaftlich zu studieren*, und auf Grund der gewonnenen exakten Aufklärung die dem technischen Verwendungszwecke *rationell entsprechenden Grenzwerte* zu bestimmen.

Wollte man nochmals versuchen, einen allgemeinen *chemischen* Begriff des Glases aufzustellen, so käme nicht nur fast das ganze periodische System der Elemente in Betracht, sondern auch die ungeheuer zahlreichen Möglichkeiten ihrer Kombination; die chemische Zusammensetzung ist eben bedeutungslos. Ebensowenig läßt sich ein allgemeiner Glasbegriff etwa *physikalisch* bilden; denn bei allen wesentlichen physikalischen Eigenschaften sind fließende Übergänge von den Gläsern zu den Nichtgläsern vorhanden. Auch lassen sich *physikalisch-chemische* Angaben, was Glas „ist“, nicht aufrecht erhalten; wie z. B.: „Glas ist eine unterkühlte Flüssigkeit“, oder: „Glas gehört zu den physikalischen Gemischen“. Man muß sich vielmehr darüber klar sein — der eben aufgestellte allgemeine Begriff bringt es zum Ausdruck —, daß „Glas“ kein Naturbegriff, sondern ein *Kulturbegriff* ist.

Im *technologischen System* der Werkstoffe findet das „technische Glas“ den einzig sinn-