# Kurzbeitrag.

DK 612.843.63:666.11.019.2:666.151

## Das Wahrnehmungsvermögen des menschlichen Auges und seine Beziehungen zur optischen Qualität des Glases.

Von Hans Jebsen-Marwedel, Gelsenkirchen, Frank Kerkhof, Freiburg (Brsg.) und Friedrich Wefer, Gelsenkirchen.

(Eingegangen am 26. September 1952.)

Jede Kennzeichnung der charakteristischen Eigenschaft eines Gegenstandes als „fehlerhaft" ist in irgendeiner Weise mit dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen verknüpft; die optische Qualität eines (Tafel-)Glases muß also auch mit dem Auflösungsvermögen des Auges in Verbindung stehen. Hierzu mag folgende Überschlagsrechnung in Anlehnung an R. W. Pohl[1]) einen Begriff vermitteln:

Ein Bildpunkt ist in Wahrheit die Beugungsfigur einer Linsenbegrenzung. Ihr erstes Minimum erscheint von der Linse aus gesehen beiderseits von der Bildmitte unter dem Winkel $\alpha$, definiert durch die Gleichung:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{p} \text{ für rechteckige Begrenzung (Spalt)}$$

(p = Spaltbreite),

$$\sin \alpha \sim 1{,}2 \frac{\lambda}{p} \text{ für runde Begrenzung der Linse}$$

(p = Linsendurchmesser).

Für die Trennung zweier Dingpunkte muß man so weit gehen, daß das zentrale Maximum des einen Punktes in das Minimum des anderen fällt. Das heißt der Winkelabstand w der Dingpunkte soll ungefähr gleich dem Winkel $\alpha$ sein.

$$\sin w_{min} \sim \frac{\lambda}{p}$$

Beim menschlichen Auge ist die Linsenbegrenzung nun durch den Pupillendurchmesser gegeben, der bei gewöhnlichem Tageslicht etwa p = 3 mm beträgt. Nimmt man ferner als mittlere Wellenlänge des Tageslichts an:

$$\lambda = 0{,}6\,\mu = 6 \cdot 10^{-4} \text{ mm},$$

so erhalten wir

$$\sin w_{min} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{3} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$w_{min} = 40 \text{ Bogensek.} \approx 1 \text{ Bogenminute.}$$

Das bedeutet, daß ein Beschauer in 10 m Entfernung einen Strichabstand von 3 mm noch unterscheiden kann oder in 25 cm Entfernung noch $\frac{3}{40}$ mm $\sim \frac{1}{10}$ mm zu unterscheiden vermag.

Man darf überzeugt sein, daß die Auflösungsgrenze des Normalauges von etwa 1 min zugleich der Grund dafür ist, daß wir Gläser, deren Ablenkungswinkel bei dieser Größe liegen, noch als „optisch leer" empfinden.

Es ist interessant, sich noch die Frage vorzulegen, welcher kleinster, gerade noch wahrnehmbarer „Schwellenwert der Brechkraft" zu dieser Auflösungsgrenze des Auges gehört[2]). Hierzu läßt sich die folgende Abschätzung machen: Zwei Lichtstrahlen mögen erst eine optische Störung nahezu einheitlicher Brechkraft $\frac{1}{f}$ einer Flachglasscheibe durchsetzt haben, wobei sie relativ zueinander um 1′ abgelenkt worden seien; danach mögen sie gerade als zwei gegenüberliegende Randstrahlen in die Pupille des Auges eintreten. Dann kann man den zwischen den beiden Strahlen liegenden Bereich der optischen Störung unter gewissen Umständen als eine schwache Linse auffassen, deren Brechkraft gegeben ist durch

$$\frac{1}{f} = \frac{\text{arc } 1'}{p} \approx \frac{3 \cdot 10^{-4}}{p}$$

wobei die Pupillenweite wieder mit p bezeichnet worden ist. Wenn man (s. oben) für p = 3 mm setzt, erhält man für $\frac{1}{f}$ = 0,1 Dioptrien. Diese Größe stimmt etwa überein mit den Angaben, die Augenärzte über die kleinste (also im günstigsten Falle!) wahrnehmbare Brechkraft einer Brillenlinse machen.

In diesem Sinne wirkt eine weitere an sich erstaunliche Tatsache nur noch als Bestätigung: Die Netzhaut des Auges verfügt (abgesehen von allen Beugungserscheinungen an der Pupille) infolge ihrer anatomischen Struktur auch nur über ein Auflösungsvermögen von etwa 1 min und ist damit dem physikalisch gegebenen Auflösungsvermögen harmonisch angepaßt.

Sie kann allerdings[3]), aber nur gewissermaßen durch eine „Überlistung", nach dem Noniusprinzip, also nur unter ungewöhnlichen Verhältnissen im Rahmen eines vergleichenden Bezugssystems, verschärft werden bis zu 5—13 Bogensekunden.

Man erkennt also aus unabhängig voneinander gewonnenen Leistungswerten des menschlichen Auges und systematisch ermittelten Gebrauchswerten des Glases, daß der Begriff einsetzender Fehlerhaftigkeit unmittelbar mit jener verknüpft ist. Wenn man bedenkt, daß 1′ die äußerste (d. h. nur unter günstigsten Voraussetzungen) erreichbare Leistung des unbewaffneten Auges darstellt, so erscheint für die technologischen Ansprüche an das für den freien unbehinderten Durchblick benötigte (Tafel-)Glas für besondere Beanspruchungen eine Ablenkung unter 2′ als angemessene und sehr scharfe Begrenzung seiner optischen Qualität. (21718)

[1]) Pohl, R. W.: Einführung in die Optik. Berlin: Springer 1940.

[2]) Vgl. auch Kerkhof, F.: Optische Wirkungen von Flachglas mit unebenen Oberflächen. Glastechn. Ber. **25** (1952) Nr. 3, S. 71—83.

[3]) Vgl. z. B. v. Tschermak-Seysenegg: „Einführung in die physiologische Optik". Berlin: Springer 1947.

# Referate.

## 1b. Physikalische Chemie, Mineralogie, Glasstruktur.

DK 539.213.1

**Der Glaszustand.** P. Beyersdorfer. — Chemiker-Ztg. **76** (1952) Nr. 6, S. 109—112.

Glas nimmt unter den festen Stoffen eine Sonderstellung ein. Die Struktur des (anorganischen) Glases ist ein räumliches Netzwerk von $SiO_4$-Tetraedern, die über die Ecken miteinander verbunden sind. Dabei kann $SiO_4$ durch $PO_4$, $AlO_4$ oder die ebene Baugruppe $BO_3$ ersetzt sein. Kühlt man flüssiges Glas ab, so werden die bei hohen Temperaturen aufgerissenen Bindungen vereinigt, ohne daß die größer werdenden Bauteile sich zu einem dichten Gitter ordnen. Extrem langsame Abkühlung dagegen führt zu den Entglasungserscheinungen. (Übergang in kristallines Gefüge). Der glasige Zustand hat keinen Schmelzpunkt wie kristallisierte Körper, sondern einen Erweichungsbereich, in dem sich die Eigenschaften kontinuierlich ändern (Transformationsbereich). Besonders auffallend ist die Änderung der Zähigkeit beim Erhitzen. Glas ist eine nichtthermodynamische Phase, d. h. es befindet sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht. Es hat die Tendenz, sich vom Gleichgewicht bei der Temperatur des Transformationsintervalles zu einer Struktur hinzubewegen, die dem Gleichgewicht bei der Temperatur der Umgebung entspräche. — Ein Glasfaden ist durch rasche Abkühlung aus dem flüssigen Zustand stark verspannt: außen Druck-, innen Zugspannungen. Daher hat er hervorragende elastische Eigenschaften. Erhitzt man ihn mehrere Stunden auf hohe Temperatur und kühlt gut, so wird er homogen. Er verliert seine Elastizität völlig. In Analogie zur Glasfaser ist die Glasphase der keramischen Körper aufzufassen.

K. Heldt. 21453/1b)