

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 62 (1971)  
**Heft:** 15  
  
**Artikel:** Beurteilung der Lichtstreuung an lichttechnischen Werkstoffen  
**Autor:** Mäder, F. / Res, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915843>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Beurteilung der Lichtstreuung an lichttechnischen Werkstoffen

Von F. Mäder und M. Res, Wabern/Bern

535.36

Die Darlegungen enthalten eine Übersicht über Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Lichtstreuungen lichttechnischer Werkstoffe. Bei weniger anspruchsvollen, aber dennoch objektiven und reproduzierbaren Methoden wird der «Lichtweg» eines Strahlenbündels nach Durchgang durch einen Prüfling entweder in einer kolloidalen Lösung, in Rauch oder auf Lichtstreuarten beobachtet und photographisch festgehalten. Bilder verschiedener durch lichttechnische Werkstoffe hervorgerufener Streueffekte belegen die einzelnen Untersuchungsmethoden. Für die Messung des Streuvermögens  $\sigma$  und der Halbwertswinkel  $\gamma$  stark und schwach streuender lichttechnischer Werkstoffe wurde ein Goniometer konstruiert. In Verbindung mit einem Leuchtdichtemessgerät ermöglicht es genaue Messungen durchzuführen. Eine vom CIE-Komitee E.2.2<sup>1)</sup> ausgearbeitete Tabelle der lichttechnischen Klasseneinteilung von Werkstoffen wurde überprüft und als geeignet befunden.

Cet exposé donne un aperçu des méthodes de recherche en vue de l'appréciation de la diffusion de la lumière par des matériaux phototechniques. Les méthodes, simples mais néanmoins objectives et reproductibles, consistent à observer ou photographier la diffusion d'un faisceau lumineux, après son passage à travers le matériau examiné, dans une solution colloïdale, dans de la fumée ou sur des cartes de diffusion. Des images de différents effets de diffusion provoqués par des matériaux phototechniques illustrent les diverses méthodes. Un goniomètre a été construit pour la mesure du facteur de diffusion  $\sigma$  et de l'angle de mi-valeur  $\gamma$  de matériaux fortement ou faiblement diffusants. Conjointement avec un luminancemètre, ce goniomètre permet des mesures précises. Un tableau préparé par le Comité E.2.2 de la CIE<sup>1)</sup>, pour le classement des matériaux phototechniques, a été vérifié et trouvé convenable.

## 1. Einleitung

Die Ansprüche des Architekten und Lichttechnikers hinsichtlich der Eigenschaften lichttechnischer Werkstoffe richten sich nach Zweck und Ziel des konstruierten, erbauten oder zu beleuchtenden Objektes. Das grosse Sortiment an reflektierenden sowie mehr oder weniger durchlassenden Werkstoffen ermöglicht es, für die einzelnen Vorhaben das geeignetste Material zu wählen. Die Auswahl wird zwar durch physikalische und chemische Eigenschaften des lichttechnischen Werkstoffes (z. B. Gewicht, Wetterbeständigkeit, Vergilbung, Bruchfestigkeit, Tragkraft, Ultraviolett- und Infrarotdurchlässigkeit usw.) eingeengt; dennoch gelingt es meistens das richtige Material zu finden. Ohne auf die Struktur des klassischen Werkstoffes Glas oder der neueren plastischen Werkstoffe Rücksicht nehmen zu müssen, wurden Versuche unternommen, die auf breiter Grundlage eine reproduzierbare Beurteilung der erforderlichen lichttechnischen Eigenschaften anstreben. Dabei sind die Resultate der lichttechnischen Messungen nicht nur für die Architekten und Lichttechniker bedeutsam, sondern auch im primären Fertigungsprozess der lichttechnischen Werkstoffe zu beachten. Im weiteren soll eine Übersicht mehr oder weniger bekannter Messmethoden zur Bestimmung der Lichtstreuung diskutiert werden.

## 2. Vorschlag des CIE-Komitees E.2.2 zur Klasseneinteilung lichttechnischer Werkstoffe

Zur Zeit werden vom CIE-Komitee E.2.2. («Lichttechnische Stoffkennzahlen») internationale Empfehlungen für lichttechnische Stoffkennzahlen und deren Messung dem Bureau Central der CIE zur Veröffentlichung übergeben. Unter anderem enthält dieses Dokument auch eine lichttechnische Klasseneinteilung von Werkstoffen, wie sie in Tabelle I wiedergegeben ist.

Die in Tabelle I angeführte Einteilung entspricht den Anforderungen der Lichttechnik. Ein scheinbarer Widerspruch zwischen der angeführten «Struktur» und dem Beispiel Trübgas kann folgendermassen erklärt werden. Obwohl das Trübgas laut der in Tabelle I angegebenen Definition keine Struktur aufweist, wurde es trotzdem sozusagen als Normal für Vergleichszwecke in die Spalte «Beispiele» eingetragen, weil es eine beinahe ideale Streuung hervorruft. Die wirkliche Struktur eines Trübgases wird später kurz erläutert.

Um eine einfache Übersicht der üblichen Messmethoden geben zu können, wird im weiteren vorwiegend den Werkstoffen der Hauptgruppe 3 Aufmerksamkeit geschenkt.

## 3. Messmethoden zur Beurteilung lichtstreuender Werkstoffe

### 3.1 Einfache Messmethoden

Zur Beurteilung der Lichtstreuung werden Versuchsanordnungen verwendet, welche ermöglichen, ohne anspruchsvolle Anzeigegeräte den Charakter des geprüften Werkstoffes mit blossen Augen zu beurteilen oder photographisch festzuhalten. Dabei kommt das Prinzip der Sichtbarmachung von Lichtstreuungseffekten zur Geltung.

**3.1.1 Trog mit kolloidaler Flüssigkeit** [1]<sup>2)</sup>. Bei dieser Methode tritt ein paralleles Strahlenbündel durch ein Fenster aus Klarglas in eine kolloidale Flüssigkeit, in welcher der «Lichtweg» sichtbar wird. Vor dem Eintrittsfenster werden die zu prüfenden Werkstoffe befestigt. Man vergleicht die in der kolloidalen Lösung sichtbar gewordenen Lichtwege des Prüflings mit denen des Klarglases. Die Beurteilung erfolgt mit blossen Augen, oder es werden die photographischen Aufnahmen der Lichtwege verglichen.

**3.1.2 Die Rauchkammer.** Die Rauchkammer besteht aus einem aus durchsichtigen Glasscheiben zusammengesetzten Behälter. Für Versuche mit lichtlenkenden und lichtstreuenden Prüflingen bildet die eine Glaswand die Lichteintrittsfläche. Die Prüflinge bestehen aus grösseren Stücken. Für die Beurteilung der Oberflächengestaltung (Makrostruktur) von Prüflingen kann die Eintrittsscheibe so abgedeckt werden, dass eine Eintrittsfläche von 1 cm<sup>2</sup> offen bleibt. Die erste Versuchsanordnung dient Modellversuchen zur Beleuchtung von Arbeitsräumen, wobei grössere Flächen lichtstreuender Werkstoffe aktiv mitwirken [1]. Die zweite dient zur objektiven Beurteilung kleinerer Ausschnitte lichttechnischer Werkstoffe. Die Sichtbarmachung des «Lichtweges» erfolgt hier durch Einblasen von Rauch in die Rauchkammer. Fig. 1 und 2 zeigen den sichtbar gemachten «Lichtweg» typischer Gläser in der Rauchkammer. Ein «Quasiparalleles Lichtbündel» fällt auf den Prüfling. Dieser streut das Licht gemäss seiner Oberflächenstruktur in die Rauchkammer, wobei der «Lichtweg» durch Aufleuchten der Rauchpartikel sichtbar gemacht wird. Der gerichtete Anteil tritt hier deutlich zum Vorschein. Der

<sup>1)</sup> CIE = Commission Internationale de l'Eclairage.

<sup>2)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

| Hauptgruppe |                                                                           |             | Gruppe |          |            |             | Untergruppe             |                         |                                                                                                      |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|----------|------------|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nr.         | Benennung                                                                 | $\tau$<br>% | Nr.    | Streuung | $\sigma$   | $\gamma$    | Nr.                     | Struktur <sup>1)</sup>  | Beispiele                                                                                            |
| 1           | Ausschliesslich reflektierende Werkstoffe                                 | 0           | 1.1    | keine    | 0          | $\approx 0$ | —                       | keine                   | Spiegel                                                                                              |
|             |                                                                           |             | 1.2    | schwach  | $\leq 0,4$ | $\leq 270$  | 1.2.1<br>1.2.2          | Mikro<br>Makro          | Reflexstoffe, Aluminium, matt<br>Rückstrahler                                                        |
|             |                                                                           |             | 1.3    | stark    | $> 0,4$    | $> 270$     | 1.3.1<br>1.3.2<br>1.3.3 | keine<br>Mikro<br>Makro | Lackanstriche, Emaille<br>Anstrichfarben, Steine,<br>BaSO <sub>4</sub> -Tabletten<br>Raufasertapeten |
| 2           | Schwach durchlassende, vorwiegend reflektierende Werkstoffe <sup>2)</sup> | $\leq 35$   | 2.1    | keine    | 0          | $\approx 0$ | —                       | keine                   | Sonnenbrillenglas<br>Kaltlichtspiegel<br>Farbfilter                                                  |
|             |                                                                           |             | 2.2    | schwach  | $\leq 0,4$ | $\leq 270$  | 2.2.1<br>2.2.2          | Mikro<br>Makro          | mattierte Farbfilter<br>Glänzende Textilien                                                          |
|             |                                                                           |             | 2.3    | stark    | $> 0,4$    | $> 270$     | 2.3.1<br>2.3.2<br>2.3.3 | keine<br>Mikro<br>Makro | dickes Trübglass<br>Papier<br>Kleiderstoffe                                                          |
| 3           | Stark durchlassende Werkstoffe                                            | $> 35$      | 3.1    | keine    | 0          | $\approx 0$ | —                       | keine                   | Fensterglas                                                                                          |
|             |                                                                           |             | 3.2    | schwach  | $\leq 0,4$ | $\leq 270$  | 3.2.1<br>3.2.2<br>3.2.3 | keine<br>Mikro<br>Makro | Kunststoff-Folien<br>Mattglas<br>Ornamentglas, Prismenglas                                           |
|             |                                                                           |             | 3.3    | stark    | $> 0,4$    | $> 270$     | 3.3.1<br>3.3.2<br>3.3.3 | keine<br>Mikro<br>Makro | Trübglass<br>mattiertes Trübglass<br>trübes Acrylglass mit<br>Oberflächen-Muster                     |

<sup>1)</sup> Unter «Struktur» soll die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstoffes verstanden werden. Werkstoffe mit Makrostruktur sind dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Oberflächenelemente, die das lichttechnische Verhalten dieser Stoffe bestimmen, nicht mehr mikroskopisch klein sind, so dass sie vom Auge noch unterschieden werden können. Durch die Oberflächenstruktur allein wird im allgemeinen nur eine schwache Streuung erreicht.

<sup>2)</sup> Schlecht durchlassende Werkstoffe mit kleinem Lichtreflexionsgrad sind ausser Betracht gelassen.

obere und untere Lichtstrahl begrenzen das Streufeld mit einem Winkel von etwa  $32^\circ$ .

Obzwar diese Methode vor allem zur Prüfung von Werkstoffen mit merkbarer Oberflächenstruktur (Ornament- und Kathedralgläser, anorganische und organische Gläser mit einer Makrostruktur) geeignet ist, soll an Hand von Fig. 2 nachgewiesen werden, dass das charakteristische Streuungsbild eines Mattglases (Mikrostruktur) für Vergleichszwecke mit anderen Werkstoffen gut geeignet ist.

Eine Begrenzung des Streufeldes mit einer Winkelangabe ist hier nicht so einfach zu bestimmen wie in Fig. 1. Das aufgehellte Feld weist eine homogenere Durchleuchtung auf. Der

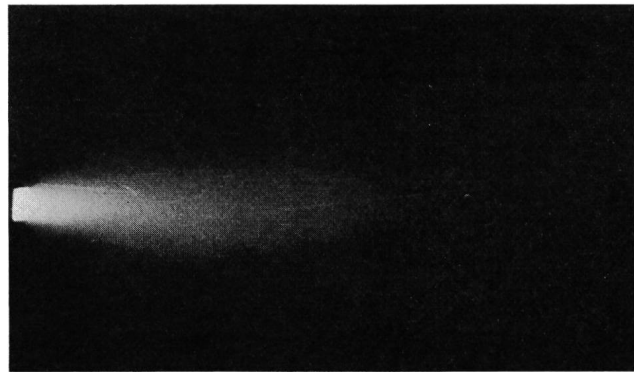


Fig. 2  
Streuwirkung eines Mattglases in der Rauchkammer  
(Mikrostruktur)

Hell-Dunkelübergang besitzt aber keine scharfe Begrenzung. Aus der Tiefenwirkung (Fig. 2 von links nach rechts) ist ein merklich gerichteter Anteil zu erkennen. Fig. 1 und Fig. 2 sollen den unterschiedlichen Charakter der geprüften Werkstoffe zum Vorschein bringen.

**3.1.3 Lichtstreukarten (Rastermethode).** In der Literatur findet man häufig Angaben über eine weitere einfache Methode zur Beurteilung der Streuwirkung lichttechnischer Werkstoffe [1]. Es ist die Methode, welche mit Hilfe von Lichtstreukarten die Bewertung von Prüflingen mit Makrostruktur ermöglicht. Ein quasiparalleles Lichtbündel tritt durch eine quadratische Öffnung. Der Prüfling wird in den Weg des Lichtbündels

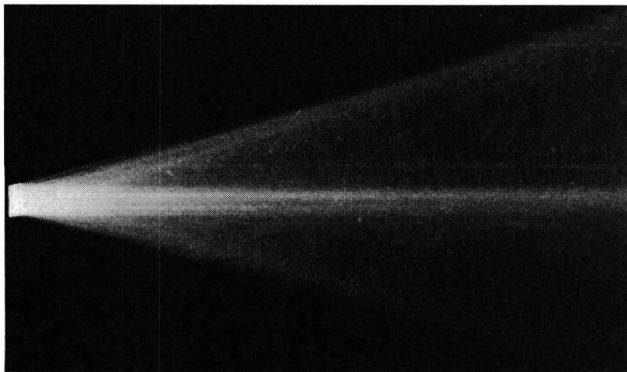


Fig. 1  
Streuwirkung eines Ornamentglases in der Rauchkammer  
(Rippenglas-Strié, mit Makrostruktur)

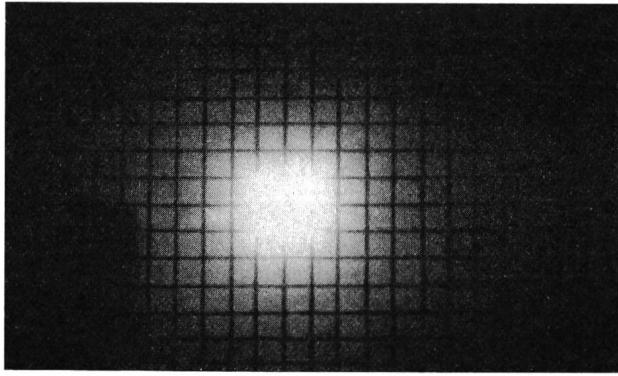


Fig. 3  
Lichtstreuarte ohne Prüfling-Normal  
(etwa 6 Quadrate aufgehellte)

gesetzt. In einer gewählten Entfernung (hier 6,8 cm) vom Prüfling stellt man ein transparentes Material mit Raster. Der Raster nimmt z. B. eine Fläche von  $12,5 \times 12,5$  cm ein und ist in Quadrate von  $5 \times 5$  mm eingeteilt. Der Vergleich von Charakterbildern des quasiparallelen Lichtbündels mit und ohne Prüfling gestattet eine objektive Bewertung der Lichtstreuung des jeweiligen Werkstoffes. Dabei kann die Anzahl der erhellen Quadrate summiert oder die abgebildete Lichtstreuung photographiert werden. Die Fig. 3, 4, 5, 6 zeigen eine willkürliche Auswahl von Lichtstreuarten.

In der Fig. 4 ist die Lichtstreuarte eines «Rippenglases» in der gleichen Lage wie in Fig. 1 wiedergegeben. Das Rasterbild ohne Prüfling (Fig. 3) wird durch die optische Oberfläche (Makrostruktur) des Rippenglases in der senkrechten Bild-

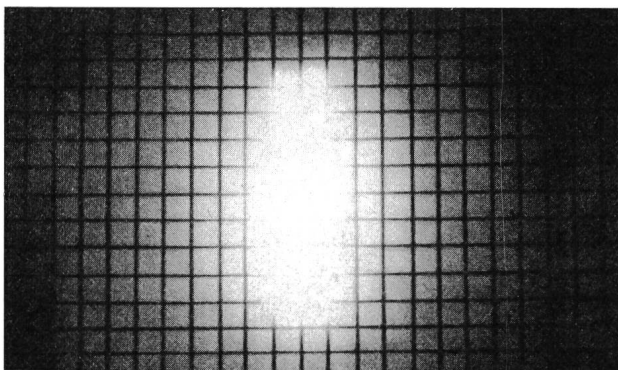


Fig. 4  
Lichtstreuarte eines «Rippenglases»  
(etwa 25 Quadrate aufgehellte)

achse in die Länge gezogen. Die waagrechte Bildachse bleibt fast unverändert.

Weitere Oberflächengestaltungen von Ornamentgläsern sind auch in den folgenden Fig. 5 und Fig. 6 dargestellt. Im Vergleich zur Normalfläche aus Fig. 3 sind beide Bildachsen der Fig. 5 in die Länge gezogen, ausserdem wird das Licht auch in Richtung der Diagonalen gestreut. In Fig. 6 ist die Lichtstreuarte des Glases mit «Wassertropfen»-Muster wiedergegeben. Der Charakter dieses Bildes beweist die unzähligen Möglichkeiten, wie mit Hilfe der Oberflächengestaltung lichttechnischer Werkstoffe verschiedenartige Licht-Lenkungen und -Streuungen konstruiert und gewählt werden können.

### 3.2 Bemerkungen zum Trübglass

Wie angeführt, besitzt das Trübglass eine andere Struktur als jene, welche im Text zur Tabelle I definiert ist. Trotzdem haben

Trübgläser eine fast ideale Streuung. Um die Beschaffenheit dieses Werkstoffes zu umschreiben, genügen folgende Bemerkungen aus der Literatur und der Praxis:

In [2; 3; 4] sind die Technologie und das Verhalten von Trübgläsern ausführlich beschrieben. Hier wird auch den lichttechnischen Eigenschaften Beachtung geschenkt. Die Lichtstreuung von Trübgläsern wird am besten durch kugelförmige Teilchen hervorgerufen, die selbst klar oder transparent und in ein Mutterglas eingelagert sind. Lichtstreuende Teilchen und Mutterglas müssen einen unterschiedlichen Brechungsindex aufweisen. Das einfallende Licht wird von den einzelnen Teilchen gebeugt oder gebrochen. Die trübenden Teilchen bestehen aus NaF, zuweilen aber auch aus KF,  $\text{ZnF}_2$  und  $\text{CaF}_2$ . Der Durchmesser dieser Kügelchen liegt zwischen  $0,5$  und  $10 \mu\text{m}$ . Ihre Anzahl beträgt laut Angaben  $6000 \dots 200000$  Teilchen/ $\text{mm}^2$ .

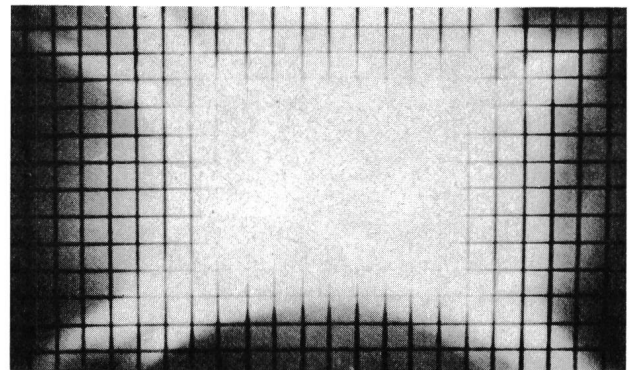


Fig. 5  
Lichtstreuarte des Glases mit Oberflächenstruktur «Neuer Rhombus»  
(etwa 80 + etwa 50 Quadrate aufgehellte)

Grösse und Anzahl sind abhängig von Fluorgehalt, Schmelzvorgängen, Verarbeitungsdauer, Kühlen, Anlaufen und chemischer Zusammensetzung der Trübgäser. Die im Mutterglas eingebetteten Teilchen vergrössern die mittlere Weglänge des Lichtstrahles auf das 4...5fache der Wandstärke.

Trübgäser besitzen ein nahezu ideales Streuvermögen. Eine durch senkrecht auffallendes Licht beleuchtete Trübglassplatte zeigt bis zu einer Ausstrahlungsrichtung von rund  $60^\circ$  praktisch eine konstante Leuchtdichte. Bis zu dieser Ausstrahlungsrichtung befolgt somit das austretende Licht praktisch das Lambertsche Cosinusetz. In Fig. 7 ist die Struktur eines Trübglasses mit Hilfe eines Elektronenmikroskopes sichtbar gemacht worden. Hier entfallen auf eine Fläche von  $1 \text{ mm}^2$  etwa 132000 solcher abgebildeten Kügelchen. Diese Zahl steht mit den Literaturangaben ebenso wie die Teilchengrösse von etwa  $0,5 \dots 1,2 \mu\text{m}$  in gutem Einklang.

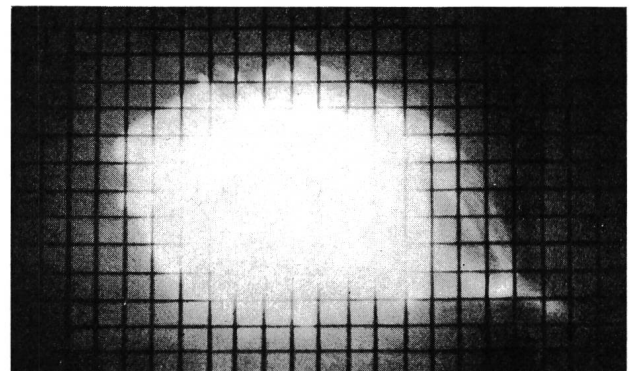


Fig. 6  
Lichtstreuarte des Glases mit «Wassertropfen»-Muster  
(etwa 49 + 26 Quadrate aufgehellte)



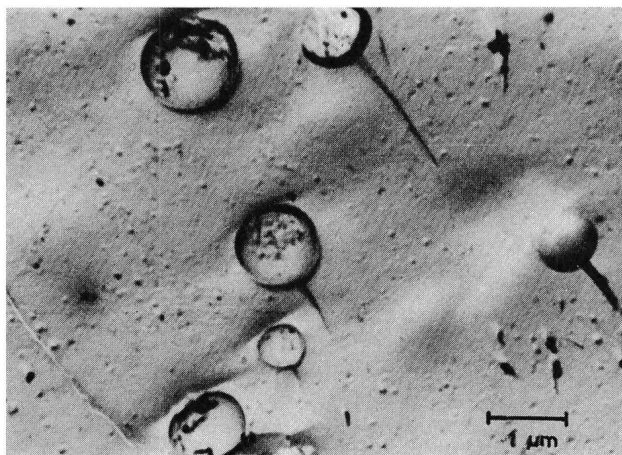


Fig. 7

Elektronenmikroskopische Aufnahme der Trübglassstruktur

### 3.3 Methode zur Messung des Streuvermögens $\sigma$ und des Halbwertswinkels $\gamma$

Beide Methoden erfordern ein Goniometer mit präziser Winkelablesung. Die Arbeit mit der im folgenden beschriebenen Einrichtung ist unkompliziert. Es muss nur ein handelsübliches Leuchtdichtemessgerät zur Verfügung stehen.

**3.3.1 Das Streuvermögen.** Das Streuvermögen  $\sigma$  ist das Verhältnis des arithmetischen Mittelwertes der Leuchtdichten bei den Abstrahlungswinkeln  $20^\circ$  ( $L_{20}$ ) und  $70^\circ$  ( $L_{70}$ ) zur Leuchtdichte beim Abstrahlungswinkel  $5^\circ$  ( $L_5$ ) bei senkrechtem Strahlungseinfall:

$$\sigma = \frac{L_{20} + L_{70}}{2 L_5}$$

**3.3.2 Der Halbwertswinkel.** Der Halbwertswinkel  $\gamma$  ist derjenige Abstrahlungswinkel, bei dem die Leuchtdichte ( $L_\gamma$ ) den halben Wert der Leuchtdichte ( $L_0$ ) des gestreut abgestrahlten Lichtes beim Abstrahlungswinkel  $0^\circ$  bei senkrechtem Strahlungseinfall aufweist.

Zu den Methoden unter 3.3 wird empfohlen, zur Kennzeichnung der Indikatrixform bei stark streuenden Werkstoffen das Streuvermögen  $\sigma$ , bei schwach streuenden den Halbwertswinkel  $\gamma$  zu verwenden.

**3.3.3 Die Messvorrichtung.** Die Werte für  $\sigma$  und  $\gamma$  können grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten gemessen werden. Der Strahlungseinfall erfolgt immer senkrecht auf den zu untersuchenden Werkstoff. Man kann Lichtquelle, optische Blenden sowie Kondensoren stabil aufbauen und das Photometer in einer horizontalen Ebene an einem Arm um den durchleuchteten Prüfling schwenken. Oder es kann eine Aufstellung gewählt werden, bei welcher Lichtquelle sowie die Blenden und die übrige Ausstattung auf einem stabilen Element (optische Bank) montiert sind, welches um die Achse des Prüflings drehbar ist. Die Leuchtdichten der von einer Glühlampe beleuchteten Werkstoffe werden mit einem stationär aufgestellten Leuchtdichtemessgerät gemessen.

In Fig. 8 ist die zweitgenannte Aufstellung eines Goniometers, welches hier benützt wurde, zu sehen. Die einzelnen Bestandteile, Halterung der Prüflinge, Glühlampe, Blenden usw. sind auf einer optischen Bank montiert. Diese ist mit Hilfe von 2 Rädern und einem festen Drehpunkt über einem Winkelbereich von  $180^\circ$  drehbar. In Tabelle II sind Werte des Streuvermögens  $\sigma$  und der Halbwertswinkel  $\gamma$  einiger lichttechnischer Werkstoffe zusammengefasst. Gleichzeitig wurde eine Eingliederung des jeweiligen Prüflings in die Klasseneinteilung laut Tabelle I vorgenommen.

Die von der CIE (Komitee E.2.2.) vorgeschlagenen Methoden zur Bestimmung des Streuvermögens  $\sigma$  und des Halbwertswinkels  $\gamma$  gestatten eine vielseitige Beurteilung der geprüften und in der Tabelle II angegebenen Werkstoffe. Innerhalb der einzelnen Gruppen, z. B. der Gruppe von Ornamentgläsern, die als schwach streuend bezeichnet werden, fand man Halbwertswinkel  $\gamma$  zwischen  $0,5$  und  $13^\circ$ . Trotz der Empfehlung schwach streuende Werkstoffe mit Hilfe des Halbwertswinkels  $\gamma$  zu beurteilen, wurde auch das der Beurteilung stark streuender Werkstoffe dienende Streuvermögen  $\sigma$  gemessen. Die Messmethode ist sehr empfindlich. Es wurden z. B. an schwach streuenden Werkstoffen Werte zwischen  $0,0005$  und  $0,30$  gemessen.

Bemerkenswert sind Messungen an Mattgläsern. Hier tritt besonders das Verhältnis der einseitig geätzten Gläser zu den beiderseitig geätzten zum Vorschein. Die unterschiedlichen Werte lassen sich sowohl durch das Verhältnis der Halbwertswinkel  $\gamma$   $8^\circ : 16,3^\circ$  als auch durch das Verhältnis des Streuvermögens  $\sigma$   $0,08 : 0,22$  darstellen.

Ausser diesen Vergleichen sei darauf hingewiesen, dass die Fertigung der lichttechnischen Werkstoffe auf verschiedene technologische Weise sowie durch Wahl verschiedener Materiale dieselben lichtstreuenden Effekte erreichen kann, wie sie am Beispiel der Trübgäser und der Polystyrol- sowie Celluloseacetobutyrate-Werkstoffe lichttechnisch zu erkennen sind. Diese drei Werkstoffe weisen ein gegenseitig nahes Verhalten für Lichtdurchlässigkeit, Streuvermögen und Halbwertswinkel auf. Zur Beurteilung der lichttechnischen Werkstoffe sowie zu Vergleichszwecken sollte man zudem eine Ergänzungsmethode anwenden, wie sie unter 3.1.1, 3.1.2 und 3.1.3 erwähnt wurde. All diese Methoden gestatten eine komplexe Beurteilung des geprüften Werkstoffes.

Auf Grund der in Tabelle II angeführten Messergebnisse scheint die lichttechnische Klasseneinteilung von Werkstoffen gemäss Tabelle I für die Hauptgruppen 2 und 3 zweckmässig zu sein.

## 4. Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Lichtstreuung lichttechnischer Werkstoffe steht eine Auswahl objektiver Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Es können unter anderem einfache Methoden mit und ohne photographischer Wiedergabe gewählt werden,

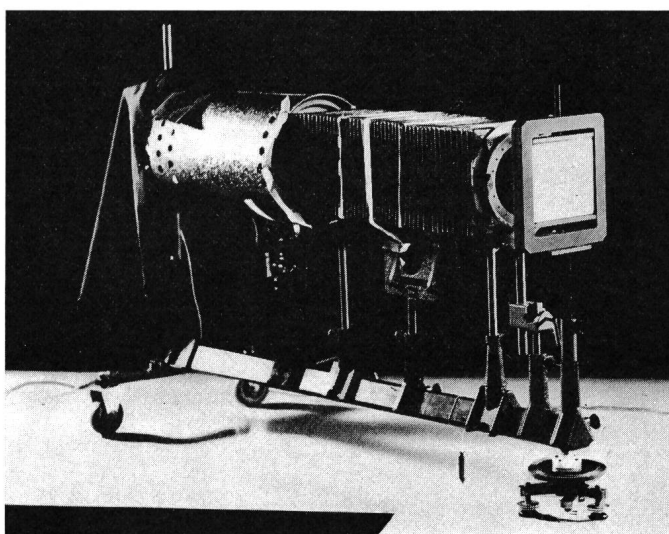


Fig. 8

Provisorische Vorrichtung (Goniometer) zur Messung von Streuvermögen  $\sigma$  und Halbwertswinkel  $\gamma$

| Hauptgruppe 2, schwach durchlassende Werkstoffe                                                                            | Gruppe | Streuung              | Untergruppe | Struktur                    | $\tau$<br>dif. dif.<br>% | $\sigma$     | $\gamma$<br>Grad |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|--------------|------------------|
| 4 Stück dicke Trübgeläser<br>Wandungsdicke 2,9...6,1 mm                                                                    | 2.3    | stark                 | 2.3.1       | keine                       | 13...23                  | 0,85...0,92  | >81...>82        |
| <i>Hauptgruppe 3,<br/>stark durchlassende Werkstoffe</i>                                                                   |        |                       |             |                             |                          |              |                  |
| 17 Stück Polystyren, mehrschichtig,<br>Wandungsdicke 5...13 mm<br>(Klar, Schaum, Blasen)                                   | 3.2    | vorwiegend<br>schwach | 3.2.1       | Makro                       | 56...84                  | 0,009...0,67 | 0,5...30         |
| 4 Stück Doppel-Polyvinylchlorid-<br>plättchen, wenig getrübt                                                               | 3.2    | vorwiegend<br>schwach | 3.2.1       | keine                       | 43...79                  | 0,04...0,74  | 2...>72          |
| 4 Stück Plättchen aus opakem<br>Polycarbonat, Wandungsdicke<br>3...3,15 mm                                                 | 3.2    | vorwiegend<br>schwach | 3.2.1       | keine                       | 56...57                  | 0,32...0,35  | 11               |
| Mit Glasteilen verstärkter Kunst-<br>stoff, einseitig matt, Wandungsdicke<br>1 mm                                          | 3.2    | schwach               | 3.2.1       | Mikro                       | 83                       | 0,02         | 5,5              |
| 4 Stück Mattgläser einseitig geätzt                                                                                        | 3.2    | schwach               | 3.2.2       | Mikro                       | 73...76                  | 0,07...0,08  | 7,4...9          |
| 1 Stück Mattglas beiderseitig geätzt,<br>Wandungsdicke aller Mattgläser<br>1,7...1,85 mm                                   | 3.2    | schwach               | 3.2.2       | Mikro                       | 79                       | 0,22         | 16,3             |
| 27 Stück Ornamentgläser,<br>Wandungsdicke 3...8 mm                                                                         | 3.2    | schwach               | 3.2.3       | Makro                       | 75...90                  | 0,0005...0,3 | 0,5...13         |
| 3 Stück Trübgeläser, Wandungsdicke<br>1,2...4,4 mm                                                                         | 3.3    | stark                 | 3.3.1       | keine                       | 35...42                  | 0,92...0,99  | >75...>81,5      |
| 1 Stück Polystyrol, Wandungsdicke<br>2 mm, getrübt                                                                         | 3.3    | stark                 | 3.3.1       | keine                       | 48                       | 0,91         | 82               |
| 10 Stück Plättchen Cellulose-<br>acetobutyrat, Wandungsdicke 2 mm,<br>getrübt                                              | 3.3    | stark                 | 3.3.1       | keine                       | 50                       | 0,91         | 82               |
| 6 Stück mehrschichtige Kunststoff-<br>platten, Wandungsdicke 5,4...8,33<br>mm, Polystyren getrübt und<br>strukturgestaltet | 3.3    | stark                 | 3.3.3       | Ober-<br>flächen-<br>muster | 41...60                  | 0,92         | >40...>81        |

wie z. B. die Methode der Beobachtung eines «Lichtweges» in kolloidalen Flüssigkeiten oder im Rauch. Auch die Methode der Lichtstreuarten liefert reproduzierbare Ergebnisse. Die Benützung dieser einfachen Methoden ist vor allem bei Ornament- und Kathedralgläsern (auch Gussgläsern) sowie bei entsprechenden Kunststoffen vorteilhaft. Für die Bewertung von Trübgeläsern und getrühten Kunststoffen sowie von Mattgläsern und Kunststoffen mit matter Oberfläche ist die Messung des Streuvermögens oder der Halbwertswinkel vorzuziehen. Zur Bewertung einzelner Werkstoffgruppen sollte man alle Methoden heranziehen, um eine feinere Einteilung innerhalb der Gruppe zu ermöglichen. Das verschiedenartige Material, welches hier überprüft wurde, kann in die von der CIE (Komitee E.2.2.) vorgeschlagene lichttechnische Klasseneinteilung von Werkstoffen gut eingereiht werden. Diese Methoden sind so präzise, dass sie es ermöglichen, auch die innerhalb der einzelnen Werkstoffgruppen vorhandenen verhältnismässig geringen Unterschiede im Streuverhalten (z. B. Trübgeläser) nachzuweisen.

Die Autoren danken E. Pfeuti, H. Dudli und E. Müller, alle am Eidg. Amt für Mass und Gewicht für die Mitarbeit. Ferner

sind die Autoren folgenden belgischen, westdeutschen und schweizerischen Firmen für die bereitwillig zur Verfügung gestellten Prüflinge und Informationen zu Dank verpflichtet: Aktiengesellschaft vorm. Vogel, Badische Anilin & Soda Fabrik AG, Cristallux-Werk Wolfgang Arnold KG, Farbenfabriken Bayer AG, Farbwerk Hoechst AG, Glaverbel S/A, Gebrüder Kömmerling GmbH, Jean Müller Biel, kfV Eckardt GmbH, Organchemie AG, Sager & Cie, Scobalit AG, Siegwart Glas, E. Traber + Co., W. Wegmann.

#### Literatur

- [1] O. Knapp: Die Beleuchtungsgeläser. Budapest, Verlag der ungarischen Akademie der Wissenschaften, 1963.
- [2] H. Saltnang: Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Glasfabrikation. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1957.
- [3] H. Schönborn: Einfluss der Grösse der trübenden Teilchen auf die Form der Lichtverteilungskurven von Trübgeläsern. Glastechnische Berichte 8(1930)5, S. 280...283.
- [4] G. Gehlhoff, H. Kalsing und M. Thomas: Die physikalischen Eigenschaften der Gläser in Abhängigkeit von der Zusammensetzung. V. Der Einfluss von wichtigsten Glasbildnern auf die Trübung von Silikatgläsern durch Fluoridzusätze. Zeitschrift für technische Physik 12(1931)7, S. 323...344.

#### Adresse der Autoren:

Dr. F. Mäder und Dipl.-Ing. M. Res, Eidg. Amt für Mass und Gewicht, 3084 Wabern/Bern.