

## **Physikalische Messungen an einem Kunststoff als optischem Medium**

MARGARETE LASCH, FRIEDRICH RUDOLPH, und LUDWIG  
SCHREINER, *VEB Carl Zeiss, Jena*, und HORST SCHULZE, *DAW,  
Institut für Kunststoffe, Berlin-Adlershof, Germany*

### **Synopsis**

The possibility of using polymers of diethylene glycol bisallyl carbonate as optical components is considered. The problems of material production and molding are presented. Characterization of polymer and such problems, as the control of the polymerization process or the resistance of polymer to mechanical surface damage and climatic influences are discussed. It is shown that diethylene glycol bisallylcarbonate is a valuable addition to the series of those plastics used so far in optics. It is shown that an improvement and further development in resistance to mechanical surface damage is possible; at the same time a contribution is made to the formulation and standardization of the term "wiping strength."

### **Einleitung**

Bereits die "klassische Optik" stellt sehr unterschiedliche Forderungen an die Eigenschaften solcher Materialien, aus denen sich optisch wirksame Bauelemente aufbauen.

Für ein Medium, bei dem die Lichtbrechung für die optische Wirkung ausgenutzt wird (Linsen, Prismen), sind Brechungsindex und Dispersion die charakteristischen Eigenschaften. Bei Anwendung der Beugungs- und Interferenzerscheinungen sind ausser dem Brechungsindex ganz bestimmte regelmässige Strukturen der entsprechenden Medien funktionsbestimmend; auch die Polarisierung wird durch strukturelle Eigenschaften des Mediums bestimmt (Teilchengrössen, Teilchengestalt, Teilchenanordnung, Kristallgitter usw.). Noch vielfältiger werden die funktionswichtigen Eigenschaften, wenn man auch Medien zur Erzeugung und zum Nachweis von Licht einbezieht.

Das seit Bestehen einer angewandten Optik weitaus am umfangreichsten für optische Zwecke eingesetzte Material ist Glas. Glas ist homogen, im Normalzustand optisch isotrop; Brechungsindex und Dispersion lassen sich durch unterschiedliche Zusammensetzung der Glasschmelze variieren. Die spektrale Durchlässigkeit ist je nach Zusammensetzung bzw. je nach Zusätzen in weiten Bereichen veränderlich.

Auf Grund dieser Eigenschaften ist Glas als transparenter Festkörper (einfache Fenster), als Lichtleiter (Faseroptik), für Linsen und Linsensys-

teme sowie für Prismen und Filter das geeignete Material. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des Glases haben die ständige Weiterentwicklung und Vervollkommnung der Herstellungs- und Bearbeitungs-Technologien gefördert.

### Kunststoffe als Optische Medien

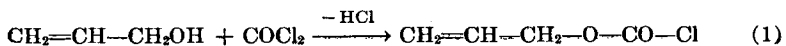
Es gab und gibt jedoch immer wieder Bemühungen, neue Werkstoffe für optische Zwecke zu erschliessen. Neben dem Bestreben, Medien mit neuen spezifischen Eigenschaften zu entwickeln (z.B. Kristalle), stehen die Versuche, Materialien mit bisher bereits bekannten Eigenschaften (z.B. Glas) durch neue und moderne zu ersetzen. So wurde im Zuge der Entwicklung der Plaste auch deren Anwendung für optische Zwecke immer wieder untersucht. Dabei hat es sich gezeigt, dass vor allem Polyacrylate und Polystyrol für eine Reihe optischer Anwendungsgebiete brauchbar sind:

Homogenität und Transparenz sind mit dem Glas vergleichbar; die Brechungsindizes beider Substanzen liegen mit  $n = 1,59$  für Polystyrol und  $n = 1,49$  für Plexiglas innerhalb der Brechungszahlskala der Gläser. Andererseits wirkten sich bisher sowohl die starke Temperaturabhängigkeit der optischen und mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen sowie die Anfälligkeit gegenüber mechanischen Beschädigungen der Oberfläche für die Anwendung von Plasten in der Optik nachteilig aus. Diese ungünstigen Eigenschaften konnten bisher auch nicht durch das gegenüber Glas geringere spezifische Gewicht und die höhere Bruchfestigkeit wettgemacht werden.

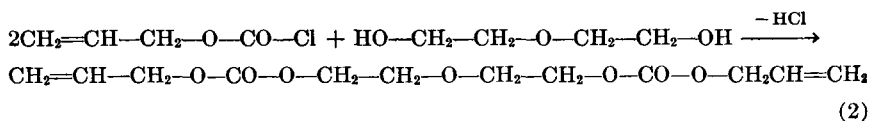
Im Zuge der Gesamtentwicklung der Kunststoffchemie wurde 1945 in den USA erstmals ein Kunststoff mit hoher Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Oberflächenbeschädigungen und dennoch hochwertigen optischen ("glasähnlichen") Eigenschaften hergestellt. Es handelt sich dabei um Polymerisate von Glykol-bis-allylcarbonaten. Von den Monomeren ist das Diäthylenglykol-bis-allylcarbonat, genannt Allymer CR 39, am bekanntesten. Das Polymere kommt in Form von optischen Gläsern unter verschiedenen Firmenbezeichnungen auf den Markt. In Frankreich wird es seit 1958 unter dem Namen Orma 1000 hergestellt. Dieser Kunststoff war Anregung für eigene Untersuchungen in Richtung auf kratzfeste, für optische Zwecke geeignete Materialien. Vom Institut für Kunststoffe der DAdW, Berlin-Adlershof wurden geeignete Ausgangsprodukte für die Herstellung analoger Polymerisate zur Verfügung gestellt.

### Herstellung des Grundmaterials

Das Diäthylenglykol-bis-allylcarbonat, das in folgenden in monomerer Form mit 01 M und in auspolymerisierter Form mit 01 P bezeichnet wird, kann in einem Zweistufen-Verfahren hergestellt werden. In der ersten Stufe (1) setzt man bei Temperaturen zwischen 15–20°C Allylalkohol mit Phosgen zum Chlorameisensäureallylester um.



In der zweiten Stufe (2) wird durch Zugabe von Chlorameisensäureallyl-ester zu Diäthylenglykol bei Temperaturen zwischen 10–15°C in oder ohne Gegenwart eines HCl-Acceptors das 01M erhalten.



Um ein völlig reines monomeres Endprodukt zu erhalten, wird das Rohprodukt nach entsprechender Vorbehandlung einer Vakuumdestillation unterzogen.

Das als Flüssigkeit vorliegende reine monomere 01 M zeigt folgende charakteristische Daten: Siedepunkt  $Kp_{2\text{ mm}} = 166^\circ\text{C}$ ; Brechungsindex  $n_D^{20} = 1.450$ ; Dichte  $d_4^{20} = 1.133\text{ g/cm}^3$ ; Viskosität = 11 cpoise.

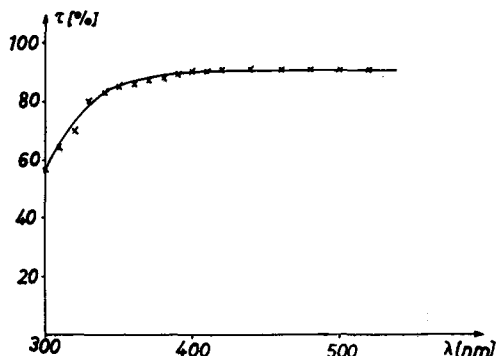


Abb. 1. Spektrale Durchlässigkeit von 01 M.

Die spektrale Durchlässigkeit ist in Abbildung 1 dargestellt.

Aus der Transmissionskurve geht hervor, dass es sich um eine farblose Flüssigkeit handelt. Aus dieser Substanz soll nun ein glasklarer Körper hergestellt, werden, der in Form und Oberfläche optische Qualität hat.

### Polymerisation

Zunächst ist es möglich, das 01 M in einer ausreichend dimensionierten Form zu polymerisieren und aus dem erhaltenen Polymerisat die optische Form nachträglich mechanisch herauszuarbeiten. Da die Polymerisation von 01 M im vorliegenden Fall in Substanz ohne Zusatz eines Lösungsmittels vor sich geht, spricht man von einer Blockpolymerisation. Diese läuft unter Zugabe von organischen Peroxiden zum 01 M und Zufuhr von Wärme nach einem Radikalmechanismus ab. Da es sich bei dem 01 M um eine doppelt ungesättigte Verbindung handelt, erhält man im Ergebnis einen unschmelzbaren und praktisch unlöslichen räumlich vernetzten, demnach also duroplastischen Stoff. Dieser ist im Gegensatz zu Polystyrol, Polymethacrylat u.a.m. nicht mehr in der Wärme verformbar. Als organische Peroxide verwendet man hauptsächlich Dibenzoylperoxid und

Isopropylpercarbonat. Die einwandfreie Durchführung der Polymerisation ist wesentlich von der Art und Menge der angewandten Peroxide und der Temperaturführung während der Polymerisation abhängig. Eine zu hohe bzw. zu niedrige Peroxidkonzentration und ungünstige Temperaturführung kann zu untervernetzten spröden nicht gebrauchsfähigen Polymerisationsprodukten führen. Bei Anwendung optimaler Polymerisationsbedingungen erhält man aber ein einwandfreies Material mit kratzfester elastischer Oberfläche. Die Polymerisation muss in jedem Falle unter Ausschluss von Luftsauerstoff stattfinden, da dieser die Polymerisation verhindert oder wenigstens stark erschwert.

### Formgebung

Die mechanische Bearbeitung des so polymerisierten festen Körpers ist möglich, man kann ihn schleifen und drehen. Es ist jedoch schwierig, den Körper so zu polieren, dass eine optisch einwandfreie brillante Fläche entsteht, so wie sie vom Glas bekannt ist. Die von Plexiglas oder Polystyrol bekannten Polierverfahren sind auf diesen Stoff nicht übertragbar, da es sich hier im Gegensatz zu Plexiglas und Polystyrol um einen duroplastischen, räumlich vernetzten Stoff handelt. Das Polierverfahren von Thermoplasten (Plexiglas und Polystyrol) beruht zu einem wesentlichen Teil darauf, dass der Stoff an der zu polierenden Fläche durch das Poliermittel oberflächlich angelöst wird. Das aber ist bei einem räumlich vernetzten Stoff nicht möglich. Andererseits sind die Poliermethoden für Glas für die Anwendung auf 01 P zu grob.

Man erreicht eine gute Oberflächenqualität, wenn man das Polieren am Kunststoff selbst vermeidet, indem man in optisch polierten Glasformen polymerisiert und dem Polymerisat damit gleich die endgültige, für die optische Wirkung notwendige Form verleiht. Für Linsen z.B. wird die Giessform, in der polymerisiert wird, aus zwei Glaskörpern  $S_1$  und  $S_2$  bestehen, die durch ein elastisches Element  $E$  getrennt sind (Abb. 2). Der durch eine solche Form gebildete Hohlraum wird mit der polymerisationsfähigen Substanz (in Abb. 2 01 M) gefüllt. Die polymerisationsfähige Substanz besteht in diesem Falle aus dem monomeren 01 M, dem ein bestimmter Prozentsatz Peroxid beigelegt ist. Grundsätzlich kann man auch andere polymerisationsfähige Systeme in solchen Formen polymerisieren. Die gefüllte und geschlossene Form wird dann der Polymerisationstemperatur ausgesetzt.

Die fertig polymerisierte Linse erhält ihre Flächen- und Oberflächenform von den sie während der Polymerisation begrenzenden Flächen der Glas-

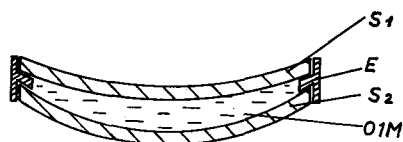
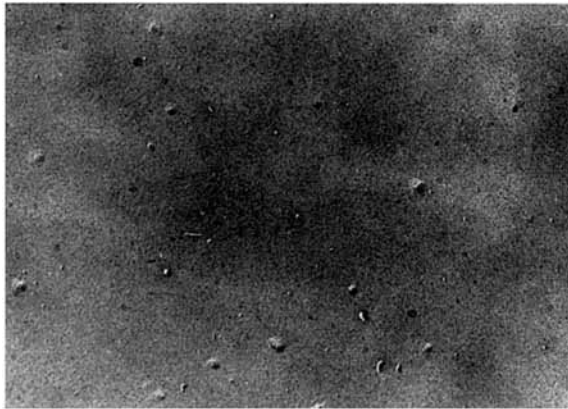
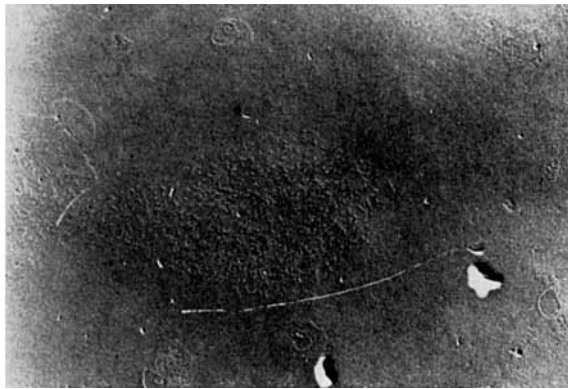


Abb. 2. Schematische Darstellung einer Giessform.



(a)



(b)

Abb. 3. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von der Oberflächenstruktur der polierten Glasform (a) und (b) der Oberflächenstruktur der polymerisierten Linse. Vergrößerung:  $\times 11500$ .

form. Die Güte der Oberflächenabbildung wird durch die beiden elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abb. 3) veranschaulicht. Die obere Aufnahme zeigt die Oberflächenstruktur der polierten Glasform, die untere die Oberflächenstruktur der in dieser Form polymerisierten Linse. Prinzipielle Unterschiede sind nicht feststellbar.

Ferner zeigen Radienmessungen (Abb. 4) dass die Abweichungen des Linsenradius vom Radius der Form nicht unerheblich sind, aber auf beiden Seiten gleich, so dass sie sich kompensieren und die optische Wirkung gleich der errechneten ist. Das elastische Formelement zwischen den beiden Formschalen (Kunststoffring E) ist notwendig, da während der Polymerisation ein ca. 12% iger Volumenschwund der polymerisierenden Substanz eintritt. Die dadurch auftretenden Kräfte werden zum Teil durch das elastische Abstandselement aufgenommen. Trotzdem werden auch hohe Anforderungen an die Glasschalen gestellt. Es ist deshalb

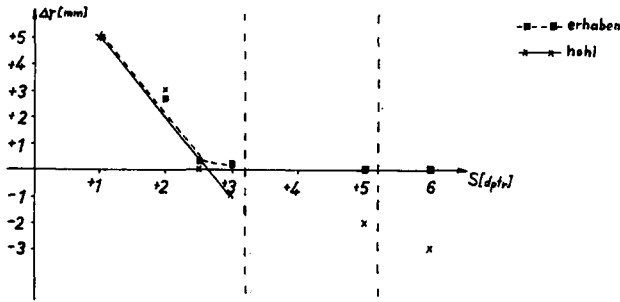


Abb. 4. Abweichung der Radien der Linse vom Radius der Form in Abhängigkeit von der optischen Wirkung der Linse.

notwendig, die Formschalen einem besonderen Härtingsprozess zu unterziehen, da sie sonst der Belastung während der Polymerisation nicht standhalten und zerspringen. Ausserdem hat es sich als zweckmässig erwiesen, das 01 M bis zu einem gewissen Grad vorzupolymerisieren, um einen Teil des Volumenschwundes bereits vorwegzunehmen. Diese beiden Prozesse, das Härten der Formschalen und das Vorpolymerisieren der Substanz sollen im folgenden kurz erläutert werden.

### Die Härtung von Glas

Die Härtung von Glas unterscheidet sich grundsätzlich von der bekannten Härtung von Stahl. Gehärteter und nicht gehärteter Stahl weisen im Gefüge deutliche Unterschiede auf, die an geätzten Anschliffen leicht festzustellen sind. Gehärtetes Glas dagegen ist in der chemischen Zusammensetzung und wahrscheinlich auch im Gefüge nicht von ungehärtetem Glas zu unterscheiden. Die Härtung des Glases wird durch die Erzeugung einer bestimmten Spannungsverteilung an der Oberfläche des Glases erreicht. Biegt man ungehärtetes, also gewöhnliches Glas, so tritt an der konkaven Seite Druckspannung, an der konvexen Seite Zugspannung auf. Schon bei geringer Durchbiegung wird die Grenze der Zugfestigkeit an der Oberfläche der konvexen Seite überschritten und das Glas geht zu Bruch. Das Erreichen der Grenze der Zugfestigkeit auf der Oberfläche der konvexen Seite lässt sich hinausschieben, wenn man dem Glas eine Spannungsverteilung gibt, bei der auf der konvexen Seite bei Beginn des Biegens eine Druckspannung vorhanden ist. Während des Biegevorganges schwächt sich durch die entstehende Zugbeanspruchung die vorhandene Druckspannung erst ab, geht dann durch Null und schliesslich zu einem sehr viel späteren Zeitpunkt in Zugspannung über, so dass der Grenzwert der Zugspannung erst bei stärkerer Durchbiegung erreicht wird. Die für das gehärtete Glas typische Spannungsverteilung kann man u.a. dadurch erzeugen, dass man die Oberflächen beim Abkühlen des Glases stark voreilen lässt. Das Glas muss vor dem Abschrecken eine Temperatur oberhalb der Entspannungstemperatur, fast in der Nähe des Erweichungspunktes, haben. Kühlt man die Oberflächen stark ab, so wollen sie sich

zusammenziehen, wobei das Innere des Glases diesem Zusammenziehen Widerstand entgegensetzt. Die Oberflächen geraten so unter Zugspannung. Beim weiteren gleichmässigen Abkühlen zieht sich dann das Innere des Glases wegen seiner im Vergleich zu den abgeschreckten Oberflächen höheren Temperatur stärker zusammen. Dadurch durchläuft das Glas einen praktisch spannungsfreien Zustand. Bei weiterer Abkühlung zieht sich das Innere des Glases weiter zusammen, so dass dann bei normaler Temperatur von 20°C Druckspannung an den Oberflächen entsteht. Das ist dann die Spannungsverteilung, die das Glas thermischer und mechanischer Beanspruchung besser standhalten lässt.<sup>1</sup>

### Die Vorpolymerisation

Das Polymerisieren in einer geschlossenen Form macht eine besondere Führung des Polymerisationsverlaufes notwendig, um den Volumenschwund möglichst günstig abzufangen und um zu gewährleisten, dass die Glasformen bis zum vollständigen Aushärten der polymerisierenden Substanz fest anliegen. Anderenfalls erhält man Unebenheiten auf der Oberfläche der polymerisierten Linse oder es wird Luft in die Form gesaugt, die dann die Polymerisation an der Oberfläche beeinflusst, die Linse bleibt klebrig. Deshalb ist es zweckmässig, die Substanz bis zu einem gewissen Grade vorzupolymerisieren und erst dann in die Form zu füllen. Man hat dann einen gewissen Prozentsatz des Volumenschwundes bereits vorweggenommen: die Beanspruchung der Form wird geringer. Ausserdem wird die Durchlaufzeit für die Form für einen einzelnen Polymerisationsprozess verkürzt.

Für die Überwachung des Prozesses der Vorpolymerisation sind verschiedene Verfahren möglich. Man kann die Zunahme der Viskosität messend verfolgen. Die Änderung des Brechungsindex von 1,45 des monomeren 01 (01 M) auf 1,50 der ausgehärteten Substanz (01 P) kann

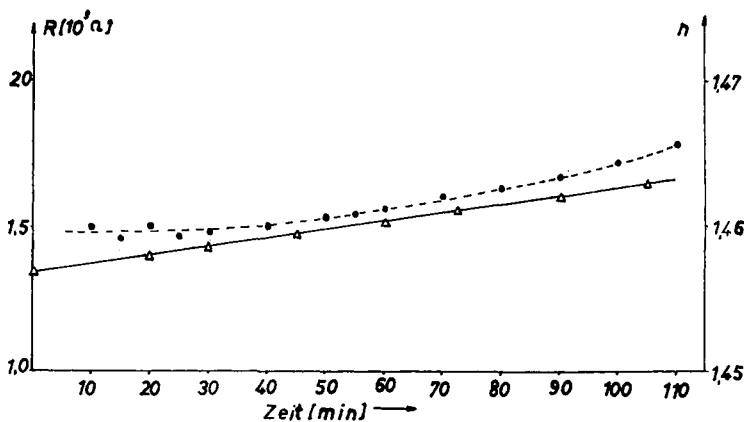


Abb. 5. Änderung des Brechwertes  $n$  und des elektrischen Widerstandes  $R$  in Abhängigkeit von der Zeit bei einer bestimmten Temperatur: (●)  $n$ ; (△)  $R$ .

ein Mass für den Grad der Polymerisation liefern. Auch die elektrischen Werte, insbesondere der spezifische Widerstand, sind vom Polymerisationszustand abhängig und können zur Kontrolle des Polymerisationsverlaufes herangezogen werden. Die Messung der Widerstandsänderung (Abb. 5) ist auch zur Verfolgung anderer Polymerisationsvorgänge herangezogen worden.<sup>2</sup>

### Die Eigenschaften des Polymerisates

Ist die Polymerisation beendet, wird die Form geöffnet und die fertige Linse entnommen. Die Giessform wird gesäubert und ist für einen neuen Polymerisationsprozess einsatzbereit. Abbildung 6 vermittelt einen Eindruck von Kunststofflinsen, die im Giessverfahren hergestellt wurden.

Um einen Vergleich in der spektralen Durchlässigkeit zu ermöglichen, sind in Abbildung 7 die Durchlässigkeitskurven von Mineralglas K13 (K13 ist ein gewöhnliches Glas, aber von hoher Sauberkeit und Blasenfreiheit), 01 P und PMMA dargestellt. Daraus geht die Gleichwertigkeit des neuen Materials gegenüber den bisher gebräuchlichen für den sichtbaren Spektralbereich hervor.

Die UV-Beständigkeit des reinen 01 P ist schlecht. Sie kann wesentlich verbessert werden durch Zusatz von Stabilisatoren, wofür die bekannten

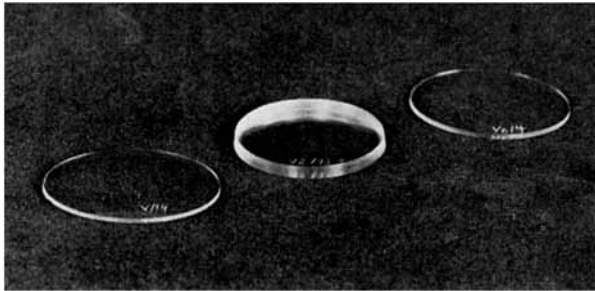


Abb. 6. Im Giessverfahren hergestellte Kunststoff-Linsen.

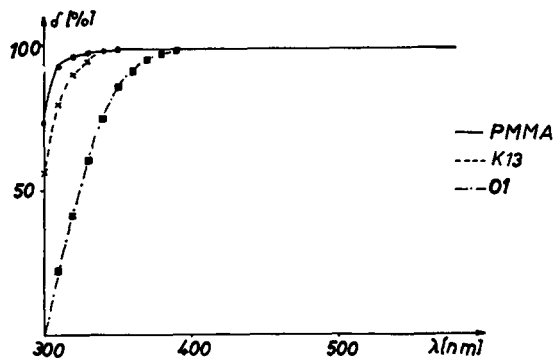


Abb. 7. Reintransmission von K13, 01P und PMMA.



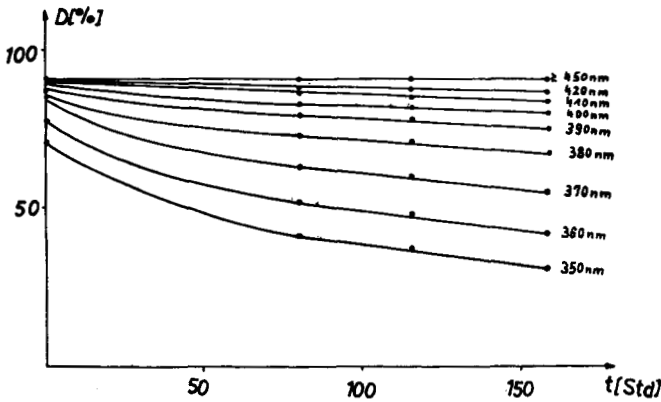


Abb. 8. Änderung der Durchlässigkeit von O1P in Abhängigkeit von der Belichtungsdauer für das Wellenlängengebiet 350 bis 450 nm.

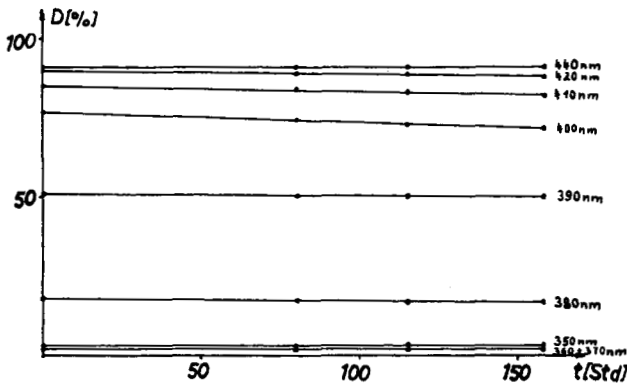


Abb. 9. Wie Bild 8, jedoch nach Zusatz von UV-Stabilisator.

Oxybenzophenonderivate verwendet wurden. Den Erfolg zeigen die Abbildungen 8 und 9.

Ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften der drei Substanzen ist schwieriger. Die Eigenschaften "kratzfest" und "unzerbrechlich" sind nicht als physikalische Grundgrößen messbar. Sie werden mit Methoden geprüft, die der jeweiligen Anwendung des Materials angepasst sind, und können nur als Relativmasse für den jeweiligen Anwendungszweck verglichen werden.

Die Herstellerfirma der Orma 1000-Brillengläser Lentilles Ophthalmiques Rationelles (LOR) gibt zur Prüfung der Abriebfestigkeit eine Methode an, bei der ein Tuch drehend gegen eine zu untersuchende Linse gedrückt wird, und verwendet zur Prüfung der Kratzfestigkeit eine Sandrieselmaschine, wobei die Gewichtsmenge Sand gemessen wird, die nötig ist, um eine Linse total unbrauchbar zu machen. Sie erhielten die Relation PMMA: Glas: Orma 1000 = 230:430:4400.<sup>3,4</sup>

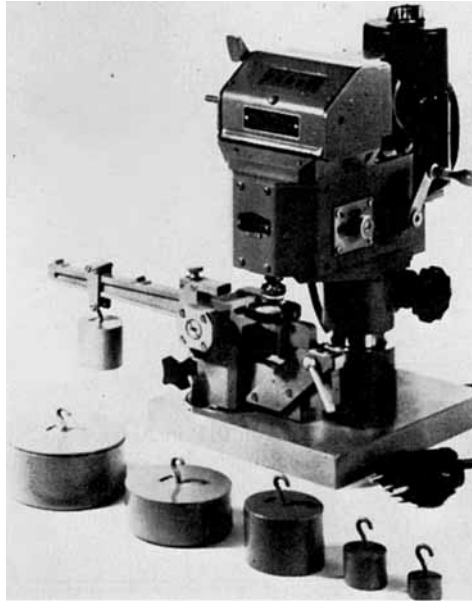


Abb. 10. Ansicht der Apparatur zur Bestimmung der Wischfestigkeit.

Um für die von uns hergestellten Kunststofflinsen eine Vergleichsmöglichkeit zu den bisher üblichen Materialien zu erhalten, wurde eine Prüfmethode angewandt, die für die Prüfung der Haltbarkeit dünner Schichten auf Mineralglas ausgearbeitet wurde. Sie ist der Prüfmethode ähnlich, die LOR zur Prüfung auf Abriebfestigkeit verwendet.

Ein sich drehender Filzstempel von 1 cm<sup>2</sup> Fläche wird mit unterschiedlichem Druck gegen die zu untersuchende Linse gedrückt (Abb. 10). Der Filzstempel vollführt 10 Umdrehungen bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 45 U/min. Die Kraft, mit der der Stempel gegen die zu untersuchende Probe drückt, ist veränderlich. Es wird diejenige Kraft in Pond als Mass für die Wischfestigkeit angegeben, bei der unter den definierten Bedingungen erstmalig eine Verletzung der Oberfläche sichtbar wird. Mit dieser Methode wurden folgende Wischfestigkeiten gefunden: Methylmethacrylat, 170–180 p; Orma 1000, 1500 p; 01 P, 16000 p. Nach dieser Methode ist also die Wischfestigkeit des 01 P 10 mal grösser als die Wischfestigkeit von Orma 1000 und 100 mal grösser als die von Polymethylmethacrylat.

Aus diesen Werten wird aber auch die Problematik solcher Angaben sichtbar. Mit zwei einander ähnlichen Methoden erhält man für das Verhältnis der Abrieb- oder Wischfestigkeit von Orma 1000 zu der von PMMA einmal das Verhältnis 40:1 und einmal das Verhältnis 10:1. Man kann in solchen Angaben lediglich eine Tendenz ("abrieb- oder wischfester") deutlich machen, niemals aber losgelöst von der Methode einen Betrag angeben, "um wieviel besser oder schlechter" die eine oder andere Substanz bezüglich dieser Eigenschaft ist,

Ausserdem ist die Relation 1:10 zwischen Orma 1000 und 01 P anfechtbar, weil es sich bei Orma 1000 bereits um eine Routinefertigung mit jahrelanger Bewährung handelt, bei 01 P aber um Laborversuche. Um solche

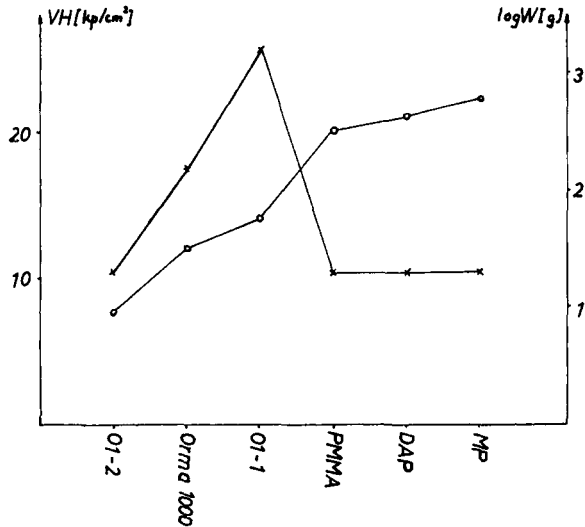


Abb. 11. Vickershärte (○) und Wischfestigkeit (×) für verschiedene Substanzen: (01-1, 01-2) nach verschiedenen Verfahren polymerisiertes Diäthylenglycol-bis-allylcarbonat; Orma 1000; (PMMA) Polymethylmethacrylat; (DPA) Diallylphthalat; (MP) Mischpolymerisat aus 01 M und Triallylcyanurat.



Abb. 12. Versuchsaufbau zur Bestimmung der Bruchsicherheit.

Angaben vergleichbar zu machen, wurde versucht, die Wischfestigkeit auf besser definierte Prüfmethode wie Ritzhärte oder Vickershärte zurückzuführen. Es wurden deshalb verschiedene Substanzen nach allen drei Methoden geprüft und ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen gesucht. In Abbildung 11 sind einige Substanzen nach steigender Vickershärte geordnet und die Wischfestigkeit als zweiter Ordinatenwert aufgetragen. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass die grösste Wischfestigkeit bei einer mittleren Härte erreicht wird. Man darf aber daraus nicht schliessen, dass Stoffe mit dieser mittleren Härte zwangsläufig eine hohe Wischfestigkeit aufweisen. Durch gezielte Polymerisationsversuche wurden mit Diallylphthalat Proben mit dieser Härte hergestellt, die Wischfestigkeit erreichte dabei keineswegs einen mit 01 P vergleichbaren Wert. So kann man aus den bisherigen Erfahrungen lediglich den Schluss ziehen, dass es keinen einfachen Zusammenhang zwischen Wischfestigkeit und Härte gibt.

Um den Vorteil der Bruchsicherheit der Plastlinse gegenüber dem Mineralbrillenglas zu demonstrieren, wurden Bruchversuche mit einer aus bestimmter Höhe auf die Linse fallenden Stahlkugel durchgeführt. Die Versuche ergaben: Ein Mineralbrillenglas zersplittert, wenn eine Kugel von 5 g aus einer Höhe von 50 cm darauffällt, eine Plastlinse mit vergleichbaren Abmessungen zersplittert, wenn eine Kugel von 60 g aus einer Höhe von 50 cm darauffällt, d.h. die Bruchsicherheit des Plastglases ist etwa 12 mal so gross wie die eines Mineralglases. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 12 gezeigt.

Mit der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften wird ein wesentlicher Mangel wenigstens teilweise beseitigt, der einer Anwendung von Kunststoffen als optische Bauelemente bisher im Wege stand. Es ergeben sich dadurch neue Perspektiven für die Anwendung von Kunststoffen. Es lassen sich nicht nur Brillenlinsen mit genügender Kratz- bzw. Wischfestigkeit herstellen. Durch das Giessverfahren würde es möglich sein, komplizierte Formen in grossen Stückzahlen rentabel zu fertigen. Durch Anfärben oder Einpolymerisieren farbiger Folien lassen sich Filter für die verschiedensten Anwendungen herstellen.

Chemie-Ing. Ursula Herrmann, wird für die sorgfältige Ausführung der Polymerisationsversuche der herzlichste Dank ausgesprochen.

### Literatur

1. K. Neuland, Veröffentlichungsmanuskript, "Gehärtetes Glas."
2. Warfield und Petree, *J. Polymer Sci.*, **37**, 305 (1959).
3. R. Grandperret, vorgesehener Vortrag für DGO-Kongress, Berlin, September 1959.
4. P. Rocher, Vortrag auf der 7. Fachtagung der Augenoptik, Leipzig, November 1962.

### Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Möglichkeit, Diäthylenglycol-bisallylcarbonat Polymerisate als optisch wirksame Bauelemente zu verwenden. Es wird die Problema-

tik der Herstellung des Materials und der Formgebung dargestellt. Bei der Diskussion der Eigenschaften des Polymerisates werden Messmethoden und -probleme erörtert, z.B. hinsichtlich der Steuerung des Polymerisationsvorganges, der Widerstandsfähigkeit des Polymerisates gegenüber mechanischen Oberflächenbeschädigungen und Klimaeinflüssen. Die Arbeit zeigt, dass Diäthylenglycol-bisallylcarbonat die Reihe der bisher in der Optik verwendeten Kunststoffe in wertvoller Weise ergänzt. Bezüglich der Beständigkeit gegen mechanische Oberflächenbeschädigungen wird gezeigt, dass eine Steigerung und Weiterentwicklung möglich ist; das ist gleichzeitig ein Beitrag zur Formulierung und Standardisierung des Begriffes Wischfestigkeit.

### Résumé

La possibilité d'utiliser le carbonate de diéthylène-glycol-bis-allyle comme composant optique est considérée dans le présent travail. Les problèmes de production du matériel et de moulage sont présentés. Au rapport avec les propriétés de polymérisats, on discute des méthodes de mesure et des problèmes tel par exemple le contrôle du processus de polymérisation, ou la résistance du polymérisat au dommage de la mécanique de surface et des influences climatiques. On montre que le carbonate de diéthylène-glycol-bis-allyle est un additif intéressant à la série des plastiques utilisés jusqu'ici on optique. Etant donné la résistance au dommage mécanique en surface on croit qu'une amélioration et un développement ultérieur est possible. Cet article est en même temps une contribution à la formulation et à la standardisation du terme "wiping strength."

Received March 21, 1966

Prod. No. 1463