

Schrifttum.

- [1] EITEL, W.: Anorganisches und Organisches „Glas“. eine Anregung zur Begriffsbestimmung und Aussprache. *Glastechn. Ber.* **14** (1936) S. 181—182; MORGAN, G. T., MEGSON, H. J. L. und HOLMES, E. L.: *Organic Glasses*. J. Soc. Glass Technol. **20** (1936) S. 19—34. [Ref. *Glastechn. Ber.* **14** (1936) S. 182.]
- [2] RÖHM, O.: *Organisches Glas*. In: *Zur Entwicklung der Chemie der Hochpolymeren*. Berlin: Verlag Chemie 1937.
- [3] BAUER, W.: *Kunststoffe zur Herstellung von Sicherheitsglas*. In: *Fortschr. d. Chemie, Physik u. Technik d. makromol. Stoffe*, hrsg. v. RÖHRS, STAUDINGER, VIEWEG, Bd. 2. München: F. J. Lehmann 1942.
- [4] z. B. MUTHREICH, H.: *Erfahrungen mit dem Austauschglas für Rohrleitungen und Innenbehälter elektrischer Heißwasserspeicher*. *Glastechn. Ber.* **15** (1937) S. 18—21.
- [5] EITEL, W.: *Die Eigenschaften von Silikatgläsern im Vergleich zu glasklaren Kunststoffen*. *Glastechn. Ber.* **15** (1937) S. 137—141.
- [6] NITSCHKE, R. und HEERING, H.: *Poly-Plaste*. *Kunststoffe* **38** (1948) S. 173—175.
- [7] z. B. BOUTRY, G. A.: *Kunststoffe als optische Gläser*. *Rev. opt. theor. instr.* **20** (1942) S. 5—25. [Ref. *Kunststoffe* **36** (1946) S. 37, ferner **39** (1949) S. 130.]
- [8] z. B. EMSLEY, H. H.: *Kunststoff-Brillengläser*. *Proc. phys. Soc.* **55** (1943) S. 314—320. [Ref. *Kunststoffe* **36** (1946) S. 7.]
- [9] *Ber. in Kunststoffe* **32** (1948) S. 242.
- [10] *nach Modern Plastics Encyclopedia*. New York: 1948.
- [11] FRÖLICH, K.: *Optische Verwendbarkeit organischer Gläser und optischer Filter*. *Kunststoffe* **30** (1940) S. 267—273.
- [12] ORT, C.: *Photo-Optik mit Antireflex-Belag*. *Feinwerktechn.* **53** (1949) S. 35—41.
- [13] VIEWEG, R.: *Neuere physikalische Verfahren zur Kunststoffprüfung*. *Kunststoffe* **27** (1937) S. 213—216.
- [14] KLINE, G. M., CROUSE, W. A. und AXILROD, B. M.: *Beschleunigte Wetterfestigkeitsprüfung von durchsichtigen Kunststoffen*. *Mod. Plastics* **17** (1940) S. 49. [Ref. *Kunststoffe* **31** (1941) S. 181—182.]
- [15] KÜCH, W.: *Die mechanischen Eigenschaften durchsichtiger Kunststoffe bei + 20°. Luftf.-Forsch.* **19** (1942) S. 111—120.
- [16] KAUTTER, C. T.: *Herstellungsverfahren und Verarbeitungstechnik für organische und Mehrschichtengläser auf Acrylbasis*. *Kunststoffe* **37** (1947) S. 141—151.
- [17] SPONSEL, K.: *Die Kunststoff-Folie als neuer Werkstoff*. In: *Fortschr. d. Chemie, Physik u. Technik d. makromol. Stoffe*, hrsg. v. RÖHRS, STAUDINGER, VIEWEG. Bd. 2. München: F. J. Lehmann 1942.
- [18] FREYTAG, H.: *Untersuchungen über geblähte Gläser*. I. *Allgemeine Betrachtungen*. *Glastechn. Ber.* **21** (1943) S. 213—228; VIEWEG, R.: *Einige Untersuchungen an Schaumstoffen*. *Kunststoffe* **38** (1948) S. 45—48.
- [19] *Durchsichtiges Automobil auf der New Yorker Weltausstellung*. *Mod. Plastics* **17** (1940) S. 38—39 u. 88. [Ref. *Kunststoffe* **30** (1940) S. 382.]
- [20] MÖNCH, E.: *Räumliche Spannungsoptik mit Phenol-Kunstharz bei Anwendung einer Schutzhülle*. *Kunststoffe* **37** (1947) S. 181—189.
- [21] EITEL, W.: *Physikalische Grundlagen unter bes. Berücksichtigung der anorganischen Isolierstoffe*. In: *Elektrotechnische Isolierstoffe*, hrsg. v. R. VIEWEG. Berlin: J. Springer, 1937.
- [22] BAUER, W.: *Herstellung und Eigenschaften des Polymethakrylsäuremethylesters und seine Anwendung als organisches Glas in der Zahnheilkunde*. *Kunststoffe* **38** (1948) S. 1—10.
- [23] VIEWEG, R.: *Die heutige Lage auf dem Kunststoffgebiet*. *Z. VDI* **90** (1948) S. 331—334. [Ref. *Glastechn. Ber.* **22** (1948/49) S. 309.]
- [24] *Sonderheft über Fluorchemie*. *Industr. Engng. Chem.* **39** (1947) H. 3.
- [25] SMEKAL, A.: *Festigkeitseigenschaften spröder Körper*. *Ergebn. exakt. Naturw.* **15** (1936); BLOM, A. V.: *Struktur und Festigkeit von Hochpolymeren*. *Kunststoffe* **30** (1940) S. 97—102; SMEKAL, A.: *Struktur der Gläser und Kunststoffe*. In: *Naturforsch. u. Medizin in Deutschl. 1939—1946*. Bd. 8, T. 1, S. 84—101.
- [26] WILEY, R. H.: *Industr. Engng. Chem.* **38** (1946) S. 959; WILEY, R. H. und BRAUER, G. M.: *J. polymer. Sci.* **3** (1948) S. 708; RICE, R. B., FIEDLER, E. F. und PYLE, J. J.: *Mod. Plastics* **24** (1927) S. 156.
- [27] SCHULZ, G. V. und HARBORTH, G.: *Die Bestimmung des Molekulargewichts und der räumlichen Ausdehnung von Fadenmolekülen nach der Streulichtmethode*. *Makromol. Chemie* **2** (1948) S. 187—200.
- [28] ORTEGA Y GASSET, J.: *Betrachtungen über die Technik*. Stuttgart: Dt. Verlags-Anstalt 1949. (18035)

DK-666.155.6 : 666.181.6 : 679.5 : 629.1-784.1 : 620.17 (045)

Versuche mit Gläsern zu Windschutzscheiben für Kraftfahrzeuge.¹⁾

Von Karl EGNER, Stuttgart.

(Eingegangen am 6. November 1948.)

Über die Eigenschaften der Sicherheitsgläser, die als Windschutzscheiben für Kraftfahrzeuge in Betracht kommen, liegen zahlreiche Einzeluntersuchungen vor. Unter gleichen Verhältnissen durchgeführte, also vergleichbare Feststellungen der wichtigsten Sicherheitsgläser verschiedenen Aufbaus und verschiedener Herkunft sind vor einigen Jahren im Institut für Bauforschung und Materialprüfungen des Bauwesens der Technischen Hochschule Stuttgart durchgeführt worden, deren wichtigste Ergebnisse mitgeteilt werden.

Zu den Versuchen sind vier Schichtgläser (im folgenden S 1 bis S 4 bezeichnet), drei Hartgläser (Bezeichnungen H 1 bis H 3) und ein auf synthetischem Wege erzeugtes Kunstglas²⁾ (Bezeichnung K 1) herangezogen worden.

¹⁾ Auszugsweise Wiedergabe des von Otto GRAF und Karl EGNER verfaßten Technischen Forschungsberichtes Nr. 102/1941 der Deutschen Kraftfahrtforschung.

²⁾ Diese Bezeichnung ist der Einfachheit halber in diesem Bericht verwendet. Von anderer Seite werden solche Stoffe „glasklare Kunststoffe“ oder „glasige Kunststoffe“ genannt. Vgl. EITEL in *Glastechn. Ber.* **14** (1936) S. 181.

Von jeder Glasart haben die Lieferwerke Scheiben mit den Abmessungen 30 × 30 cm, solche mit den Abmessungen 12 × 70 cm (bei H 2 rd 12 × 60 cm) und Scheiben mit den Abmessungen 30 × 100 cm bereitgestellt. Die Proben hatten in der Regel abgerundete, geschliffene Kanten; lediglich die Proben S 2 und K 1 waren scharfkantig geschnitten.

1. Verhalten bei Biegebelastung.

(Gewicht, Elastizität, Festigkeit, Bruchstücke.)

Zu den Biegeversuchen sind die Proben mit den Abmessungen 12 × 70 cm (Dicke zwischen 0,46 und

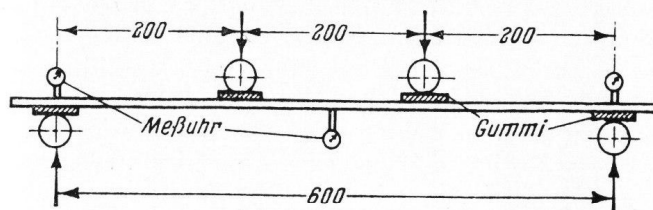


Bild 1. Belastungsanordnung bei den Biegeversuchen zu 1.

0,57 cm) verwendet worden. Die Belastung durch zwei Einzellasten nach Bild 1 wurde gewählt, um im

mittleren Drittel der Proben ein gleichbleibendes Biegemoment und damit eine gleichbleibende Biegeanstrengung zu erhalten. Die Versuchsergebnisse hängen damit in geringerem Maße von Zufälligkeiten der Probenbeschaffenheit ab als bei Belastung in der Mitte.

Die Versuchsergebnisse, vgl. Zahlentafel 1, lassen erkennen, daß die Schichtgläser S 1 und S 4 und die Hartgläser H 1 bis H 3 sich nur wenig in ihrem Elastizitätsmodul unterscheiden. Die Schichtgläser S 2 und S 3 hatten eine viel nachgiebigere Zwischenschicht als die Schichtgläser S 1 und S 4. Das Kunstglas K 1 war weitaus am nachgiebigsten.

wie Steine usw.; damit ist der erhöhte Schutz der Insassen vor solchen Gegenständen verbunden. Wichtiger ist der Schutz der Insassen des Kraftwagens bei Unfällen im Fahrverkehr, wenn die Insassen auf die Scheiben geworfen werden. Hierbei sind Scheiben mit kleiner Festigkeit, besser mit hoher Nachgiebigkeit erwünscht. Hinzu kommt, daß eine Befreiung aus dem Wagen bei Unglücksfällen durch Zertrümmerung der Scheiben bei Hartgläsern nur mit bereitgestellten Werkzeugen (Hammer) möglich ist, während Scheiben geringer Festigkeit mit dem Ellbogen oder sonstwie aus dem Rahmen gedrückt werden können.

Zahlentafel 1.
Ergebnisse der Biegeversuche zu 1.

Glasart	Bezeichnung	Raumgewicht ³⁾ g/cm ³	Biegefestigkeit ³⁾ kg/cm ²	Elastizitätsmodul ³⁾⁴⁾ kg/cm ²
Schichtglas	S 1	2,33... 2,35 ... 2,36	299... 389 ... 487	719 000... 723 300 ... 731 000
	S 2	2,29... 2,31 ... 2,32	149... 168 ... 200	131 200... 152 200 ... 180 500
	S 3	2,30... 2,31 ... 2,32	155... 189 ... 244	169 300... 174 700 ... 179 300
	S 4	2,32... 2,33 ... 2,34	201... 378 ... 518	708 000... 714 000 ... 721 000
Kunstglas	K 1	1,19... 1,19 ... 1,20	98... 124 ⁵⁾ ... 174	37 000... 38 700 ... 40 000
Hartglas	H 1	2,50... 2,52 ... 2,53	1779... 1961 ... 2129	722 000... 730 000 ... 737 000
	H 2	2,49... 2,50 ... 2,50	1364... 1492 ... 1670	722 000... 730 000 ... 737 000
	H 3	2,49... 2,49 ... 2,49	1505... 1676 ... 1891	708 000... 711 000 ... 714 000

Die Biegefestigkeit war bei Kunstglas K 1 (124 kg/cm² im Mittel) am kleinsten⁶⁾. Dann folgen die Schichtgläser S 2 und S 3 (im Mittel 168 bzw. 189 kg/cm²), hierauf die Schichtgläser S 1 und S 4 (im Mittel 389 bzw. 378 kg/cm²) und schließlich die Hartgläser H 1 bis H 3 mit Biegefestigkeiten von rd. 1500 bis 2000 kg/cm².

Bei Unfällen in Kraftfahrzeugen, besonders wenn die Insassen mit dem Kopf gegen die Windschutzscheiben geschleudert werden, ist im allgemeinen eine große Nachgiebigkeit der Scheiben erwünscht, um Knochenbrüche zu vermeiden. Dementsprechend sind in dieser Hinsicht Gläser mit kleinem Elastizitätsmodul vorzuziehen.

Die Beurteilung der in den Windschutzscheiben der Kraftwagen nötigen Festigkeit muß unter gleichzeitiger Beachtung der Nachgiebigkeit erfolgen. Die hohe Festigkeit schützt die Windschutzscheiben vor der Zerstörung durch aufgeschleuderte oder mit großer Geschwindigkeit heranfliegende Gegenstände

2. Einfluß der Einspannung der Scheiben auf ihre Nachgiebigkeit, Festigkeit und auf den Bruchvorgang.

Die Einspannung der Scheiben (Abmessungen 12 × 70 cm) geschah an den Schmalseiten mittels

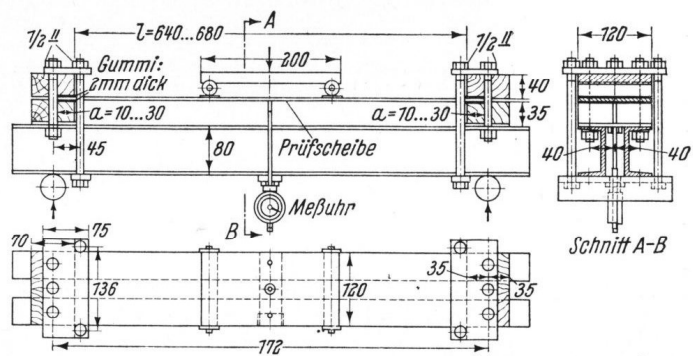


Bild 2. Einspannvorrichtung für die Biegeversuche zu 2.

Hartholzprismen, die an jeder Einspannstelle durch 5 Stück 1/2"-Schrauben zusammengehalten waren, vgl. Bild 2. Zwischen die Prüfscheiben und die Hartholzstücke waren entsprechend den Verhältnissen in der Praxis Gummistreifen von 2 mm Dicke eingelegt. Die Tiefe a der Einspannung konnte zwischen 10 und 30 mm gewählt werden; die freie Einspannlänge lag damit zwischen 640 und 680 mm.

Da in der Praxis die völlig starre Einspannung der Scheiben selten zu erwarten ist, andererseits der

3) Mittelwerte fett.

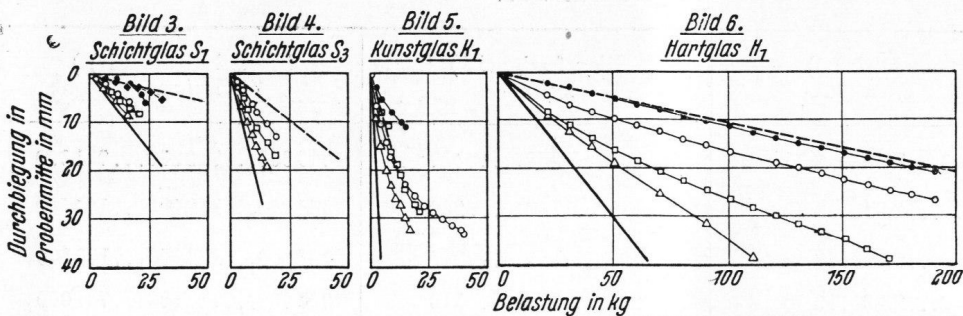
4) Ermittelt aus den federnden Durchbiegungen.

5) Eine Bruchlast konnte nicht ermittelt werden, da die Durchbiegungen außerordentlich groß waren.

6) Die Proben aus Kunstglas K 1 sind nicht gebrochen. Die Versuche wurden nach weitgehender Formänderung beendet. Die dabei wirksam gewesene Belastung entspricht bei üblicher Rechnung einem Biege widerstand von mindestens 124 kg/cm².

jeweilige Grad der Einspannung nicht bekannt und sehr verschieden ist, wurden bei den Versuchen verschiedene Einspannungen gewählt. Zu diesem Zweck ist neben der Tiefe a der Einspannung auch der Anpreßdruck an der Einspannstelle verändert worden.

Mit zunehmender Tiefe der Einspannfläche und mit zunehmender Einspannlast wurden erwartungsgemäß die Durchbiegungen kleiner, wie aus den Bildern 3 bis 6 an kennzeichnenden Probenarten hervorgeht. Weiterhin zeigen die Linienzüge, daß die gemessenen Durchbiegungen in dem Bereich liegen, den die Rechnung voraussetzt, nämlich zwischen der rechnerischen Durchbiegung der frei aufliegenden Platte und der rechnerischen Durchbiegung der an den Enden vollkommen eingespannten Platte⁷⁾.



	Art und Größe der Einspannung	Freie Probenlänge in mm ¹⁾	Tiefe a der Einspannung in mm	
○	Schrauben leicht von Hand angezogen	640 (540)	30	Rechnerischer Verlauf für frei aufliegende Stücke mit 600 mm Auflagerentfernung (580 mm bei Hartglas H_2).
		660 (560)	20	
		680 (580)	10	
●	Belastung am Auflager ²⁾	640	30	Rechnerischer Verlauf für beiderseits eingespannte Stücke mit 640 mm freier Probenlänge (540 mm bei Hartglas H_2).
●	Belastung am Auflager ³⁾	640	30	

²⁾ Bei Beginn des Versuchs 62 kg/cm^2 ; ³⁾ Bei Beginn des Versuchs 725 kg/cm^2 .

Bild 3 bis 6. Zusammenhang zwischen Belastung und Durchbiegung bei den unter Einspannung geprüften Biegeproben.

Durch die Einspannung erfolgte eine Steigerung der Bruchlast bis zum 2,6fachen der ohne Einspannung erzielten Werte. Da praktisch eine Erhöhung der Bruchlast nicht nötig und nicht erwünscht ist, erscheint es zweckmäßig, wie bisher eine schmale lose Fassung der Windschutzscheibe zu verlangen, die eben die Scheibe noch zuverlässig zu halten vermag, jedoch eine möglichst kleine Einspannung bringt.

Hinsichtlich der Ribbildung waren unter den Schichtgläsern Unterschiede im Verhalten der Gläser S 2 und S 3 mit nachgiebiger Zwischenschicht und den Gläsern S 1 und S 4 mit starrer Zwischenschicht festzustellen. Wenn die Scheiben S 1 spezifische Pressungen in der Einspannung von rd. 62 bis 125 kg/cm^2 erhielten, traten bei Lasten, die zum Teil weit unterhalb der jeweiligen Bruchlasten lagen, Zerstörungen (Risse) an der inneren Begrenzung einer oder beider Einspannstellen ein. Gegen un-

⁷⁾ Eine Ausnahme bilden die Feststellungen an den Proben aus dem Kunstglas K 1, da deren Durchbiegungen viel größer sind als bei den anderen Gläsern und da sich mit zunehmender Durchbiegung ein neuer Körper (eine gewölbte Platte) bildete, der mit der üblichen Rechnung nicht beurteilt werden kann. Damit hängt es auch zusammen, daß die Durchbiegung der Proben aus dem Kunstglas K 1 langsamer gewachsen ist als die Belastung.

sachgemäßes Einspannen bzw. starke Pressungen in der Einspannung sind hiernach diese Scheiben empfindlich.

Bei der Gruppe der Schichtgläser mit nachgiebiger Zwischenschicht (S 2 und S 3) zeigte sich, daß hier fast durchweg schon vor Erreichen der Höchstlasten irgendwelche Schäden der Scheiben auftraten. Diese Schäden (Risse) gingen z. T. von den Einspannstellen, z. T. von den Laststellen aus. Über die Empfindlichkeit dieser Scheiben gegen unsachgemäße Einspannung bzw. starke Pressungen in der Einspannung gilt hiernach dasselbe wie bei den Schichtgläsern mit starrer Zwischenschicht. Darüber hinaus sind diese Scheiben weniger widerstandsfähig gegen Belastung; bei unsachgemäßer Behandlung bzw. Aufbringen geringer Stöße ist daher bei den Gläsern mit nachgiebiger Zwischenschicht die Gefahr der Bildung von Schäden und damit eine Verkürzung der Lebensdauer wahrscheinlicher als bei den Scheiben mit starrer Zwischenschicht.

Bei den Hartgläsern und dem Kunstglas war ein Einfluß der Einspannung auf die Widerstandsfähigkeit nicht zu erkennen.

Die Hartgläser sind hiernach gegen Zusatzspannungen, die durch das Einspannen der Scheiben entstehen können, wesentlich unempfindlicher als die Schichtgläser.

3. Widerstand der Scheiben beim Verwinden.

Mit einer aus einer Drehbank entwickelten Versuchseinrichtung wurden Proben der Abmessungen $30 \times 100 \text{ cm}$ (abgerundete Kanten) untersucht.

Der Zusammenhang zwischen den bei der Prüfung aufgewendeten Drehmomenten und den jeweils eingetretenen Drehungswinkeln (gemessen über die freie Einspannlänge von 93 cm) geht aus Bild 7 hervor⁸⁾. Hiernach haben die Schichtgläser S 1 und S 4 (Gruppe mit starrer Zwischenschicht) und die Hartgläser die kleinsten Formänderungen gezeigt. Deutlich größer waren die Formänderungen der Schichtgläser S 2 und S 3 mit nachgiebiger Zwischenschicht. Besonders große Formänderungen haben erwartungsgemäß die Kunstgläser K 1 aufgewiesen.

Die unmittelbar vor dem jeweiligen Bruch gemessenen größten Drehungswinkel sind zusammen mit den dabei wirksamen größten Dreh-

⁸⁾ Bei den Hartgläsern und auch bei den Schichtgläsern sind die Drehungswinkel erst von einer bestimmten Vorspannung aus aufgetragen, nachdem genügend sattes Anliegen in der Einspannung erzielt war. Beim Kunstglas war infolge dessen großer Nachgiebigkeit diese Maßnahme nicht erforderlich.

momenten in Zahlentafel 2 aufgeführt. Kennzeichnende Unterschiede im Bruchbild waren bei den Schichtgläsern nicht zu erkennen. Die Risse sind als typische Verdrehungsrisse unter rd. 45° zur Scheibenachse aufgetreten. Die Zwischenschichten sind nur bei den Schichtgläsern S 1 durchgerissen. Bei den Hartgläsern trat die Zerstörung wiederum schlagartig ein unter Bildung erbsengroßer Krümel. Dabei ist auch die Bildung von feinem Glasstaub beobachtet worden.

lagert, ein Stahlblechhebel d, an dessen vorderem Ende die zum Ritzen dienende Widia-Spitze e mittels Klemmschrauben befestigt ist. Durch Anhängen von Gewichten g kann die Spitze (rd. 90° Spitzenwinkel) belastet werden. Mit Hilfe des Hebels f läßt sich die belastete Widia-Spitze durch Drehen einer Schraube nach vorn bzw. rückwärts bewegen und so die Glasscheibe ritzen.

Das Ritzen begann mit einer kleinen Belastung, dann folgte Steigerung der Last in Stufen von 10 g,

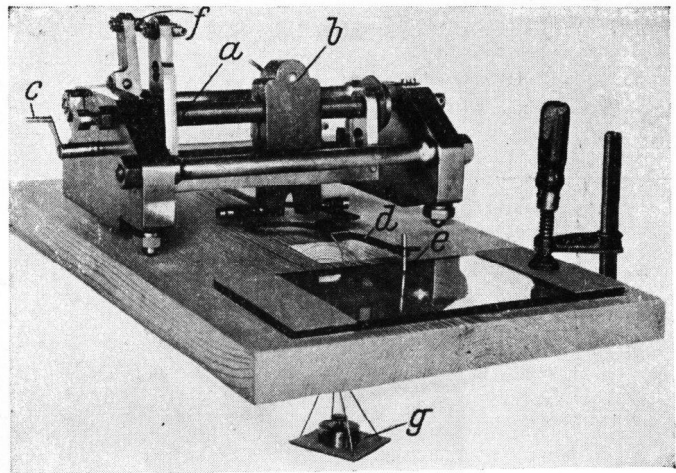
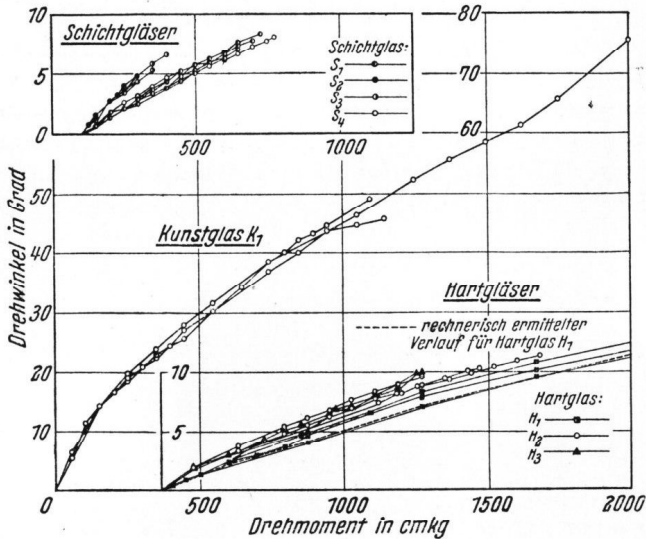


Bild 7. Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehwinkel.

Bild 8. Ritzgerät mit Widiaspitze (90° Spitzenwinkel).

Zahlentafel 2.
Ergebnisse der Verwindungsversuche⁹⁾.

Glasart	Glas-sort	Größter Drehungs-winkel in ° auf 93 cm freie Einspannlänge	Drehmoment beim Bruch cmkg	E-Modul aus den Biegeversuchen, vgl. Zahlentaf. 1 kg/cm ²	Größte Schubspannung nach der Rechnung kg/cm ²
Schichtglas	S 1	6,4... 9,5 ...11,4	600... 771 ...887	723 300	—
	S 2	9,1... 11,2 ...14,0	250... 308 ...375	152 200	—
	S 3	12,2... 12,9 ...14,0	375... 425 ...475	174 700	—
	S 4	7,5... 9,2 ...10,4	500... 712 ...862	714 000	—
Kunstglas ¹⁰⁾	K 1	(43,3)... ... (86)	(600)...(2050)	47 700	—
Hartglas	H 1	25,2... 25,4 ... 25,6	6480... 7840 ...8698	730 000	720... 756 ...790
	H 2	15,9... 16,1 ...16,3	1275... 1478 ...1685	711 000	393... 406 ...418
	H 3	11,4... 13,9 ...15,5	915... 1209 ...1440	730 000	299... 377 ...436

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Hartgläser größere Verwindungsbeanspruchungen, auch größere Verformungen bei der Verwindung ertragen als die Schichtgläser. Kunstglas K 1 ist bei sehr großen, praktisch kaum zu erwartenden Verwindungen nicht zu Bruch gegangen.

4. Oberflächenhärte.

Zur Ermittlung der Oberflächenhärte diente das in Bild 8 dargestellte Ritzgerät. An der Stahlplatte b, die mittels der Spindel a seitlich versetzt werden kann, sitzt unten, in 2 Spitzen drehbar ge-

bis Strichstärken von mehr als 1/100 mm erreicht waren. In Zahlentafel 3 sind die Mittelwerte der Be-

Zahlentafel 3.
Ergebnisse der Ritzversuche
(Widiaspitze mit rd. 90° Spitzenwinkel)

Glasart	Glassorte	mittleres Belastungsgewicht am Hebel bei 0,01 mm Strichstärke, g
Schichtglas	S 1	140
	S 2	138
	S 3	134
	S 4	133
Kunstglas	K 1	17
Hartglas	H 1	147
	H 2	147
	H 3	130

⁹⁾ Mittelwerte fett.

¹⁰⁾ Die Proben aus Kunstglas K 1 konnten nicht zu Bruch gebracht werden; die in Klammern angegebenen Werte stellen den Zustand beim Abbruch der Belastung dar.

lastungsgewichte angegeben, unter denen sich eine Strichbreite von 0,01 mm der geritzten Gläser ergab.

Hieraus erhellt, daß die Härte der Hart-¹¹⁾ und Schichtgläser nur unerheblich verschieden war. Das Kunstglas K 1 hatte die kleinste Härte. Die Gebrauchsdauer des Kunstglases ist erfahrungsgemäß in erster Linie durch seine geringe Härte beschränkt, die leicht Oberflächenverletzungen wie Kratzer, Schrammen usw. entstehen läßt¹²⁾.

5. Widerstand der Scheiben unter punktartiger Beanspruchung beim Pfeilfallversuch.

Die Abmessungen der geprüften Scheiben betragen 30 × 30 cm; die Auflagerung bei der Prüfung geschah in dem für den Kugelfallversuch genormten Stahlkasten nach Bild 9 (Gewicht des

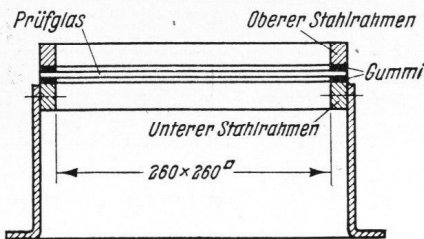


Bild 9. Auflagerung der Prüfscheiben bei den Kugel- und Pfeilfallversuchen.

oberen Kastens rd. 3 kg) unter Zwischenlegen von 1 mm dicken Gummistreifen an den Rändern. Der Fallkörper war ein kleiner stählerner Bohrkopf mit zylindrischem Schaft; als Spitze dienten handelsübliche Schallplattennadeln. Das Fallgewicht (Bohrkopf + Nadel) betrug 209 g. Die Härte der verwendeten Nadeln war derart, daß alle Scheiben, auch die Hartgläser, mit den Nadeln geritzt werden konnten.

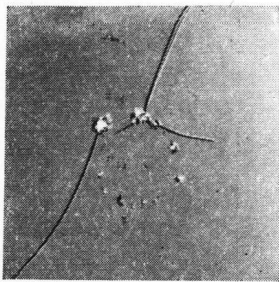


Bild 10. Probe aus Schichtglas S 4 nach Vornahme des Pfeilfallversuchs.

Zu Beginn jedes Versuchs betrug die Fallhöhe 20 cm; sie wurde dann jeweils um 5 cm gesteigert, bis deutliche Sprünge eintraten. Nach jeder Steigerung der Fallhöhe ist Vorsorge getroffen worden, daß die Spitze des Fallkörpers auf eine andere Stelle am Umfang eines Kreises von rd. 5 cm Durchmesser traf. Für jeden Fall wurde eine neue Nadel verwendet. Prüftemperatur $20 \pm 2^\circ \text{C}$.

An den Schichtgläsern S 1 bis S 4 entstanden beim Auftreffen der Nadelspitze kleine muschelförmige Absprengungen, die mit zunehmender Fallhöhe an Ausdehnung wuchsen, vgl. Bild 10. Der Auftreffpunkt der Spitze war am Grund der Absprengung von feinem Glasstaub bedeckt.

Die Proben aus dem Kunstglas K 1 wurden meist in 2 Stücke geteilt. Die Auftreffstelle der

¹¹⁾ Hartglas trägt seinen Namen zu Unrecht und sollte zweckmäßiger „vorgespanntes Glas“ heißen.

¹²⁾ Deshalb muß solches Glas von Zeit zu Zeit nachpoliert werden.

Nadel auf das Kunstglas zeigte das Aussehen eines kleinen kegelförmigen Trichters mit bis zu 1 mm Durchmesser.

Bei den Hartgläsern H 1 bis H 3 traten keine Absprengungen ein; die Proben gingen meist nach 7 bis 10 Schlägen zu Bruch. Die Bruchstücke zeigten die auch beim Kugelfallversuch festgestellte Krümmelform und waren teils quader-, teils dolchförmig.

Die bei den Versuchen jeweils erzielte Fallhöhe und die Zahl der auf jede Scheibe aufgebrachtten Schläge sind in Zahlentafel 4 angegeben.

Hiernach hat das Kunstglas K 1 die größten Fallhöhen wegen seiner großen Nachgiebigkeit ertragen. Die Schichtgläser ertrugen mittlere Fallhöhen zwischen rd. 42 und 83 cm, während bei den Hartgläsern die Werte im Durchschnitt etwas niedriger waren; sie lagen hier zwischen 52 und 65 cm.

Zahlentafel 4.

Punktartige Beanspruchung der Sicherheitsgläser (Pfeilfallversuch)

Glasart	Glas-sort	Fallhöhe ¹³⁾ in cm, bei der die Scheibe zerstört wurde	Zahl ¹³⁾ der Schläge bis zum Bruch
Schichtglas	S 1	75... 83 ...90	12... 14 ...15
	S 2	30... 42 ...50	3... 5 ...7
	S 3	55... 72 ...85	8... 11 ...14
	S 4	70... 78 ...85	11... 13 ...14
Kunstglas	K 1	140... 162 ...190	25... 29 ...35
Hartglas	H 1	40... 52 ...65	5... 7 ...10
	H 2	60... 65 ...70	9... 7 ...11
	H 3	60... 62 ...65	9... 9 ...10

Das Hartglas erscheint hiernach im Durchschnitt etwas empfindlicher gegenüber punktartiger Beanspruchung als Schichtglas und Kunstglas.

6. Lichtbeständigkeit und Lichtdurchlässigkeit.

Da die Verringerung der Lichtdurchlässigkeit in erster Linie durch die hoch wirksamen kurzwelligeren Strahlen des Sonnenspektrums, besonders die ultraviolett Strahlen hervorgerufen wird, ist zur Prüfung der Lichtbeständigkeit und Lichtdurchlässigkeit der Scheiben eine Quarzglas-Quecksilberlampe, G 6 der Firma Heraeus, Quarzglas GmbH., Hanau (Main), mit einer von der Lieferfirma angegebenen Lichtintensität von 3000 Hefnerkerzen bei 12 cm Lichtbogenlänge verwendet worden. Die Abmessungen der untersuchten Scheiben betragen 12 × 70 cm. Da Quarzglas-Quecksilberlampen mit zunehmender Betriebsdauer an Lichtintensität nachlassen, bestand bei serienmäßiger Prüfung der Proben die Gefahr verschieden starker Lichteinwirkung. Zur Schaffung völlig gleicher Beanspruchung der Prüflinge wurde die in Bild 11 wiedergegebene Einrichtung gebaut, bei der die Scheiben am Umfang einer sich langsam drehenden Trommel befestigt und die Quarzglas-Quecksilberlampe im Innern dieser Trommel (Brenner parallel zu den Ebenen der Prüfscheiben) angeordnet war. Es waren 12 Versuchsfelder vorhanden; jeweils 8 Proben (von jeder Glassorte 1 Scheibe) waren derart eingebaut, daß

¹³⁾ Mittelwerte fett.

neben jeder Scheibe in leeres Feld war, um unerwünschte Temperaturerhöhungen im Innern der Trommel zu verhindern.

Die Prüfscheiben sind insgesamt 100 Stunden bestrahlt worden. Unmittelbar vor Beginn und zu verschiedenen Zeiten während der Dauer der Untersuchungen ist die Durchsichtigkeit der Scheiben mit der unter 7 genannten Einrichtung geprüft worden.

Eine Verringerung des Lichtdurchgangs durch die Gläser während der 100stündigen Bestrahlung mit einer Quarzglas-Quecksilberlampe ist nach Zahlentafel 5 praktisch nicht eingetreten.

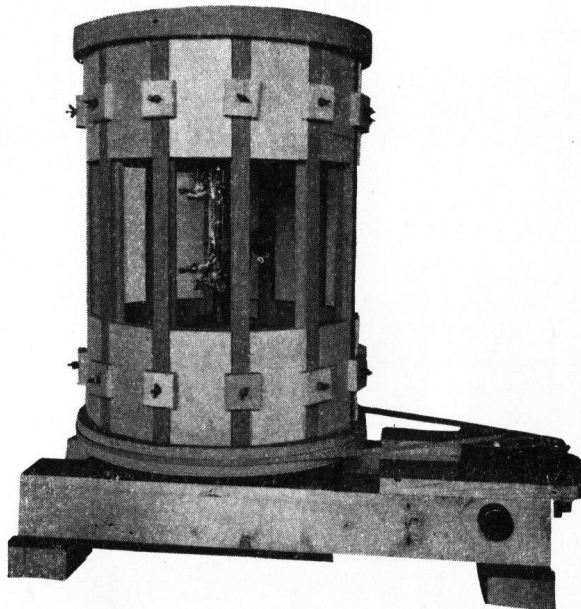


Bild 11. Einrichtung zur Ermittlung der Lichtbeständigkeit von Sicherheitsgläsern (im Innern der drehbaren Trommel ist der Brenner der Quarzglas-Quecksilberlampe sichtbar).

Zahlentafel 5.

Lichtdurchgang durch die mit einer Quarzglas-Quecksilberlampe bestrahlten Sicherheitsgläser.

Glasart	Glas-sorte	Lichtdurchgang durch die Prüfscheiben in % des ungehemmten Lichtdurchgangs ¹⁴⁾ nach einer Belichtungszeit in Stunden					
		0 (unbelichtet)	2,5	11	31	39	100
Schicht-glas	S 1	78	78	78	78	78	78
	S 2	82	82	82	82	82	82
	S 3	83	83	83	83	83	83
	S 4	84	83	83	84	84	84
Kunstglas	K 1	92	92	91	91	91	90
Hartglas	H 1	79	78	79	79	79	78
	H 2	73	73	73	73	73	73
	H 3	84	84	83	83	84	83

7. Witterungsbeständigkeit.

Proben mit den Abmessungen 30 × 30 cm wurden, 45° gegen die Waagerechte geneigt, mit Richtung nach Süden auf dem Dach des Instituts auf-

¹⁴⁾ Reflexionsverluste sind dabei nicht berücksichtigt.

gestellt. Sie sind im Jahr 1940 jeden Monat, im Jahr 1941 jeden 2. Monat auf ihre Durchsicht geprüft worden mit Hilfe einer Vorrichtung, die Dr.-Ing. habil. M. NACKEN, Technische Hochschule Aachen, entworfen hat.

Hinsichtlich des allgemeinen Zustands der Probescheiben konnten in der Zeit vom Februar 1940 bis Juni 1941 keine wesentlichen Änderungen festgestellt werden. Bei 11 von 12 Proben aus Schichtglas S 2 (nachgiebige Zwischenschicht) ist anfangs Juli 1941 nach mehrtägiger starker Sonnenbestrahlung Blasenbildung in den Zwischenschichten beobachtet worden; bei einigen Scheiben sind bis zu 10 Blasen mit Durchmessern bis zu 11 mm festgestellt worden, vgl. Bild 12. Zur gleichen Zeit traten bei fast sämtlichen Proben aus Schichtglas S 4 (starre Zwischenschicht) in den Randzonen mit bis zu 15 mm Breite ähnliche Vorgänge ein, vgl. Bild 13.

Auf Grund der Lichtdurchlässigkeitsprüfung erfolgten innerhalb der rd. 1 1/2 Jahre Beob-

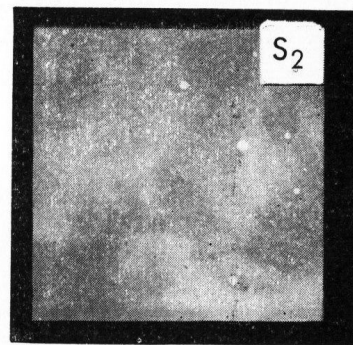


Bild 12. Während 1 1/2 Jahren bewitterte Probe aus Schichtglas S 2 mit Blasenbildung in der Zwischenschicht (Aufnahme gegen den Himmel).

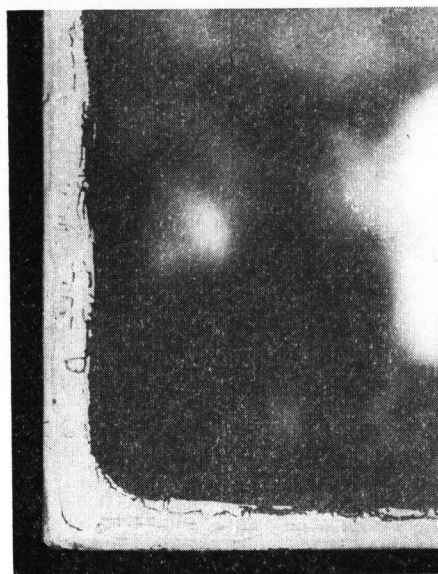


Bild 13. Teilausschnitt aus einer während 1 1/2 Jahren bewitterten Probe aus Schichtglas S 4 mit Mängeln in der Zwischenschicht der Randzone (Aufnahme gegen den Himmel).

achtungszeit nur unbedeutende Änderungen der Lichtdurchlässigkeit; dabei darf die Witterungsbeständigkeit der Hartgläser als unbegrenzt angenommen werden. Bei Kunstglas K 1 schien eine geringe Abnahme der Lichtdurchlässigkeit vorzuliegen; die Scheiben waren an den oberen Flächen mit vielen feinen Kratzern versehen, die für den kleinen Rückgang der Lichtdurchlässigkeit vermutlich verantwortlich sind.

8. Splitterbildung beim Kugelfallversuch.

Die Untersuchung der Proben mit den Abmessungen 30×30 cm geschah nach DIN Vornorm DVM 2302 (Sicherheitsglas für Fahrzeugverglasung, Prüfverfahren). Als Fallkörper diente eine handelsübliche Stahlkugel mit $2\frac{1}{4}$ " Durchmesser und rd. 770 g Gewicht; Fallhöhe 1500 mm.

Je 3 Scheiben jeder Glassorte sind normgemäß auf -21° , -11° , 0° , $+20^{\circ}$ und $+40^{\circ}$ C Temperatur gebracht worden. Zwischen dem Herausnehmen der Scheiben aus den Kühl- bzw. Heizschränken und dem Auslösen der Fallkugel nach Einlegen der Scheiben in die Prüfvorrichtung sind die im Normblatt angegebenen, zwischen 1 und 2 Minuten liegenden Zeiten eingehalten worden.

a) Schichtgläser S 1 bis S 4.

Während die Proben der Gläser S 4 nicht durchgeschlagen worden sind, hat bei den Gläsern S 1 bis S 3 die Zahl der Durchschläge mit abnehmender Probentemperatur zugenommen. In der folgenden Zahlentafel 6 sind die mittleren Splittermengen von 3 zusammengehörigen Proben jeder Glasart und jeder Temperatur eingetragen.

Zahlentafel 6
Mittlere Splittermenge bei den Schichtgläsern S 1 bis S 4

Prüf- tem- peratur °C	Glassorte S 1		Glassorte S 2		Glassorte S 3		Glassorte S 4	
	Ge- sam- menge	Splitter- menge in Schlag- richtung	Ge- sam- menge	Splitter- menge in Schlag- richtung	Ge- sam- menge	Splitter- menge in Schlag- richtung	Ge- sam- menge	Splitter- menge in Schlag- richtung
	g	g	g	g	g	g	g	g
+ 40	1,07	0,58	1,67	1,14	2,18	1,42	8,37	5,31
+ 20	3,18	0,25	1,24	0,78	2,51	0,32	11,16	7,33
0	2,27	1,42	0,97	0,36	0,77	0,08	0,56	0,48
- 11	1,86	0,01	0,99	0,31	3,29	0,05	3,97	2,58
- 21	2,40	—	8,03	0,33	7,07	—	22,64	10,71

Hiernach sind weitaus die größten Splittermengen bei den Proben S 4 abgelöst worden. Diese Splitter hatten zum Teil beträchtliche Größe und dolchartiges Aussehen. Außerdem sind wesentliche Anteile mittelgroßer und staubförmiger Splitter entstanden. Große Unterschiede der Splittermengen sowie der Art und Größe der Splitter bei den Proben S 1 bis S 3 waren nicht feststellbar.

Nach Zahl und Verlauf der Risse sind kennzeichnende Unterschiede zwischen den untersuchten Schichtgläsern im allgemeinen nicht erkennbar. In erster Linie traten Risse auf, die radial von der Bruchstelle aus verliefen; hinzu kamen zahlreiche senkrecht zu diesen verlaufende Nebenrisse. Die Schichtgläser mit starrer Zwischenschicht zerfielen dabei auch bei Temperaturen oberhalb 0° teilweise in mehrere größere Teilstücke unter völligem Durchreißen der Zwischenschicht längs der Grenzen dieser Teilstücke; bei Temperaturen unterhalb 0° ist diese Zerstörungsart die vorwiegende. Durch die Kanten dieser Teilstücke sind Schnittverletzungen ohne weiteres möglich; immerhin ist die Gefährdung durch derart zerstörte Scheiben geringer als diejenige durch übliches Spiegel- oder Maschinenglas. Bei den Schichtgläsern mit nachgiebiger Zwischenschicht war die Bildung getrennter Teil-

stücke bei Temperaturen oberhalb 0° nicht beobachtet worden; die Zwischenschicht war (mit Ausnahme der Durchschlagstellen der Kugel beim Kugelfallversuch) nach der Zerstörung noch zusammenhängend, so daß die zerbrochenen Scheiben noch weit durchgedrückt werden konnten, ehe ein Durchreißen der Zwischenschicht und damit die Bildung freiliegender Schnittkanten eintrat. Bei Temperaturen oberhalb 0° ist anzunehmen, daß sich die Scheiben beim Auftreffen eines Kopfes zunächst müthenförmig um den Körper spannen, so daß die Verletzungsmöglichkeit gering ist. Bei Temperaturen unterhalb 0° verhalten sich jedoch auch die Scheiben mit nachgiebiger Zwischenschicht ähnlich wie die Scheiben mit starrer Zwischenschicht. Bei der Zerstörung sämtlicher Schichtgläser ist außerdem das Loslösen kleiner Splitter und geringer Mengen von Glasstaub beobachtet worden. Die Durchsicht durch die zerstörten Schichtgläser war durchweg nur teilweise beschränkt. Nirgends ist eine Beeinträchtigung der Durchsicht der Schichtgläser in solchem Umfang eingetreten, daß hierdurch die Führung von Fahrzeugen über die Dauer des Bremsens unmittelbar nach Eintritt der Zerstörung deutlich gefährdet sein müßte.

b) Hartgläser H 1 bis H 3.

Sämtliche Hartgläser H 1 bis H 3 sind bei den Kugelfallversuchen in Bruchstücke zerfallen. Ein Zusammenhang zwischen Art und Größe der Bruchstücke einerseits und der Temperatur der Scheiben bei der Prüfung andererseits war nicht feststellbar. Fast sämtliche Bruchstücke, die in verschiedenen Größen anfielen, waren von einem Netz von Rissen durchzogen und ließen sich wieder ohne großen Kraftaufwand in sogenannte „Krümel“ (durch die Risse vorgezeichnet) mit Längen- und Breitenmessungen von wenigen Millimetern zerlegen. Diese Krümel hatten verschiedene Form: teils quader-, teils dolchförmig. Durch Ritzen auf der Hand konnte festgestellt werden, daß Schnittverletzungen durch diese Krümel wohl möglich sind, allerdings nur solche harmloser Art. Außer den Krümeln entstanden bei der Zerstörung eine Menge ganz feiner, teilweise staubförmiger Splitter, die wiederum z. T. scharfe Kanten oder feine Spitzen besaßen. Unter besonders gelagerten Verhältnissen scheinen Augenverletzungen durch solchen Glasstaub möglich.

c) Kunstglas K 1.

Die Proben aus Kunstglas K 1 sind bei der Prüfung durchweg in 4 oder mehr Teilstücke zer-

schlagen worden. Ein Einfluß der Probentemperatur auf die Bruchart war nicht erkennbar. Schnittverletzungen durch die Kanten der entstandenen Probestücke sind nicht zu befürchten. Wohl scheinbar Verletzungen durch die spitzen Enden mancher Teilstücke möglich. Diese Gefahr ist jedoch viel kleiner als bei Stücken aus gewöhnlichem Glas.

d) Durchsicht.

Die Durchsicht der zerstörten Schichtgläser war nur teilweise beschränkt, die Führung von Fahrzeugen über den Bremsweg erscheint hierdurch nicht ernstlich gefährdet. Notfalls können mit gebrochener Windschutzscheibe aus Schichtglas noch große Wegstrecken zurückgelegt werden.

Wenn die Bruchebenen der Hartgläser praktisch senkrecht zur Scheibenebene lagen, war der Umriß der außerhalb liegenden Gegenstände im allgemeinen noch gut erkennbar. Wenn die Bruchebenen der Hartgläser aber deutlich schräg zur Scheibenebene lagen, erschien die Durchsicht ganz behindert.

Das zerstörte Kunstglas zeigte keine Behinderung der Durchsicht.

e) Wetterschutz.

Der Schutz vor Regen und Wind hört nach Zerstörung der Hartgläser im allgemeinen auf. Wohl fällt die zerstörte Hartglasscheibe meist nicht sofort aus dem Rahmen heraus, doch muß sie zur Wiedererlangung der Durchsicht entfernt werden. Die Schichtgläser halten den Schutz gegen Regen und Wind meist aufrecht, wenn die Gläser gesprungen sind; sie können verbleiben, weil die Durchsicht ausreicht. Das Kunstglas K 1 wird viel seltener brechen als die anderen Gläser.

9. Schlußbemerkung. Weiterentwicklung der Sicherheitsgläser.

Jedes der geprüften Gläser hat technische Mängel. Die wichtigsten Eigenschaften (hohe Nachgiebigkeit im gesamten praktischen Temperaturbereich, Beständigkeit, hoher Abnutzungswiderstand, Sicherheit gegen ernste Verletzungen beim Bruch der Scheiben) sind bei keinem Sicherheitsglas gleichzeitig hochwertig vorhanden.

Bei den Schichtgläsern und Hartgläsern ist die Nachgiebigkeit zu klein. Weiter ist die Beständigkeit der Schichtgläser nicht immer ausreichend. Wenn hohe Festigkeiten bei Sicherheitsgläsern als unbedenklich betrachtet werden, so sind ernstliche Verletzungen durch die Bruchstücke der Hartgläser nicht zu befürchten. Bei den weniger widerstandsfähigen Schichtgläsern bildeten sich wiederholt Bruchstücke, die nicht ungefährlich sind.

Seit der Vornahme der in dieser Arbeit geschilderten Untersuchungen sind Verbesserungen der Sicherheitsgläser bekannt geworden. So können Hartgläser hergestellt werden, die derart vorgespannt sind, daß nach ihrer Zerstörung kreisrunde, nicht vorgespannte Gefügestücke als sogenannte „Sichtinseln“ in dem bekannten Rißnetz verbleiben; auf diese Weise kann auch bei den Hartgläsern genügende Durchsichtsmöglichkeit gewährleistet werden.

Die Schichtglashersteller haben sich bemüht, Erzeugnisse mit besonders kältebeständigen Zwischenschichten herauszubringen. Damit würde die splitterbindende Eigenschaft auch bei Temperaturen unter 0° weitgehend erhalten bleiben.

(17952)

Referate.

I. Physik und Chemie des Glases.

DK 666.189.2:539.371

Elastizitätsuntersuchungen an Glasfäden — Verfahrensmöglichkeiten und Ergebnisse. Wolfgang BOBETH. — Meliand Textilber. 28 (1947) S. 409—413; 4 Abb., 7 Tab.

Im Gegensatz zu den normalen Textilfasern aus Zellulose, Eiweiß u. ä. gilt bei den Glasfäden in weitem Maße das HOOKEsche Gesetz. Die zunächst in Anlehnung an genormte Textilprüfungen durchgeführten Untersuchungen von Glaseinzelfäden, sowie Glasfasergarnen und Glasseidengarnen auf den üblichen textilen Zerreißapparaten ergeben infolge ihrer sehr geringen Bruchdehnung (2—4%) und ihrer hohen Elastizität, sowie infolge der Schwierigkeit der Einspannung keine einwandfrei auszuwertenden Ergebnisse, wenn auch z. B. bei den Einzelfadenprüfungen eine Elastizität von praktisch 100% festgestellt werden konnte. — Bei Untersuchungen am laufenden Faden mittels der sog. Universalgarnprüfmaschine von FRENZEL-HAHN bestehen zur Vermeidung von Schäden die Preßwalzen aus Weichgummi oder Kork; um das Gleiten der zu prüfenden Garne zu vermeiden, ist ein mehrfacher Durchgang durch die Preßwalzen erforderlich. Bei 15 kg Walzendruck ergeben sich in der Nähe der Bruchdehnung für Glasseidengarne und -Einfachzwirne (Nm = 180/1, 200/1; 60/2, 80/2, 180/2) Elastizitätsgrade zwischen 80 und 90%, für Mehrfachzwirne (180/2 × 2) um 72%. (Im Gegensatz dazu zeigt ein Viskose-Kunstseidengarn Nm = 30 im gleichen Prüfbereich nur 31,8% Elastizität.) Die Untersuchung eines Glasseidenzwirnes (80/2) ergab mit 97% Elastizität einen auffallend hohen Wert, wobei die Bruchdehnung sehr niedrig lag, während die Festigkeit im Gegensatz zu Naßzerreißversuchen weniger stark abnimmt. Glasfasergarne ließen sich dagegen an der genannten Universalgarnprüfmaschine wegen

der starken Schädigung an den Einzelfasern (Abscheren und Wegbrechen) nicht prüfen. — Völlig einwandfreie Ergebnisse können trotz der zeitraubenden und umständlichen Arbeitsweise durch Aufhängen von 4 m langen Garnstücken und Belasten derselben mit $\frac{2}{3}$ Bruchlast erzielt werden, bei einer Lasteinwirkzeit und einer anschließenden Erholungszeit von je 1 min. Die jeweilige Längenänderung wird durch Projektion einer Kennmarke mittels eines Scheinwerfers festgelegt. Die Glasseidengarne und -zwirne weisen einen Elastizitätsgrad von 92—97%, die Glasfasergarne (Nm = 10/1, 16/1) einen solchen von 81—84% auf, während Glasfasergarne mit 12% Textilgehalt nur mehr einen Elastizitätsgrad von 40—50% zeigen. Da innerhalb der Garne und Zwirne, bedingt durch Drehungsgrad und Haftfähigkeit der Einzelfasern — insbesondere bei Glasfasergarnen —, irreversible Dehnungsanteile vorhanden sind, kann die Substanz (Glas-Einzelfaden bzw. -faser) als solche als vollelastisch angesehen werden. — Der Elastizitätsmodul wurde zu $E = 5930$ berechnet.

G. Sa. (17659/1)

DK 539.433.2

Das Kerbproblem bei schwingender Beanspruchung. E. SIEBEL und K. H. BUSSMANN. — Technik 3 (1948) S. 249—252; 10 Abb. (17354/1)

DK 539.42:666.115

Bruchvorgang bei Glas und ähnlich spröden Körpern. (Mechanism of Fracture of Glass and Similar Brittle Solids.) N. W. TAYLOR. — J. appl. Phys. 18 (1947) Nr. 943, S. 13; 3 Abb., 5 Tab.

Von GLATHART und PRESTON¹⁾ wurde eine empirisch gewonnene Gleichung angegeben, die die Abhängigkeit der zum Bruch führenden Spannung f bei reiner Zugbelastung von der Zeitdauer der Einwirkung dieser Spannung zeigt: