

1, 2 und 5 (Bild 1) erörtert, von denen jedes in der Roirant-Maschine durch ein besonderes Kurvengetriebe (Bild 2 und 3) verwirklicht wird.

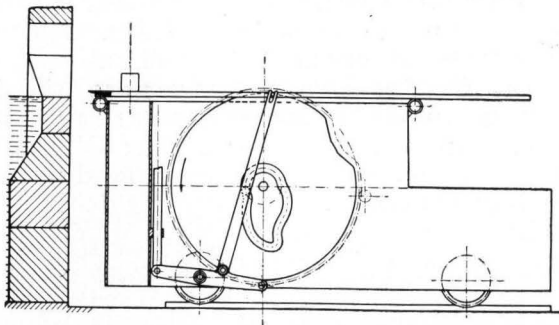


Bild 3. Antrieb des Messers durch ein Kurvengetriebe.

Die Untersuchung zeigt, daß vor allem das zum Messerantrieb benutzte Kurvengetriebe (die kleinere Kurve in Bild 3) sehr unruhig laufen und Erschütterungen der Maschine verursachen muß. Dazu kommen alle die Nachteile, die oben bereits für die Kurvengetriebe und vor allem für die Anwendung von Nutkurven bei Maschinen der Glasverarbeitung angegeben worden sind.

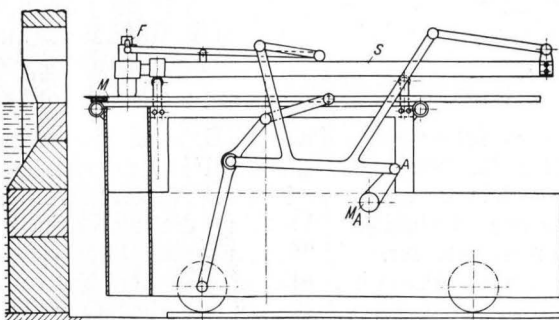


Bild 4. Antrieb des Schlittens S, des Flaschenmündungsdornes F und des Messers durch ein kombiniertes Koppelgetriebe.

Bei der Roirant-Maschine können die genannten Kurvengetriebe zum Antrieb des Schlittens, des Flaschenmündungsdornes und des Messers durch ein kombiniertes Koppelgetriebe (Bild 4) ersetzt werden, bei dem die drei Bewegungen von einer Antriebskurbel M_A abgeleitet werden. Die Abmessungen der einzelnen Glieder, bzw. die Lage der Gelenkpunkte inner-

halb dieser Glieder müssen derart ermittelt werden, daß die vorgeschriebenen Bewegungen erzielt und die sonstigen Bedingungen erfüllt werden. Ferner muß eine Justierungs- oder Verstellvorschrift aufgestellt werden, mit deren Hilfe der Monteur oder der Maschinenführer durch Verstellung der Gliedlängen oder der Lage der Gelenkpunkte innerhalb der Glieder die Getriebe justieren oder für verschiedene Flaschengrößen einstellen kann.

Auch die anderen Getriebe der Roirant-Maschine können nach den oben angegebenen Richtlinien umkonstruiert werden. Es wird sich dabei als vorteilhaft erweisen können, mehrere Getriebe zu Getriebegruppen mit gemeinsamer Antriebskurbel zusammenzufassen. Dabei wird sich vielfach ein Aufbau der Maschine ergeben, der von dem bisherigen wesentlich abweicht.

6. Zusammenfassung.

Die Maschinen der Glasverarbeitung erfordern im Hinblick auf die besonderen Eigenschaften des Rohstoffes Glas und mit Rücksicht auf die ungünstigen Betriebsverhältnisse, unter denen sie arbeiten müssen, entsprechend konstruierte Getriebe. Die bisher bei Glasverarbeitungsmaschinen vorwiegend angewendeten periodischen Getriebe sind mangelhaft. Es ist bei Glasverarbeitungsmaschinen in besonderem Maße notwendig, in jedem einzelnen Falle der Konstruktion oder Prüfung eines Getriebes zu untersuchen, welche Getriebeform die wirtschaftlich günstigste ist. Dabei ist anzustreben, Kurvengetriebe zu vermeiden und nach Möglichkeit Koppelgetriebe zu benutzen. Ist eine Getriebeform gewählt worden, so sind die Abmessungen und die Gestalt der einzelnen Glieder des Getriebes derart zu ermitteln, daß die Eigenschaften des Getriebes zur Erfüllung der praktisch gestellten Bedingungen möglichst erschöpfend nutzbar gemacht werden. Dadurch wird es möglich, die Getriebe mehr als bisher den Erfordernissen der Arbeitsvorgänge und des Betriebes anzupassen und hiermit die höchste Wirtschaftlichkeit zu erzielen, soweit diese von der Konstruktion der Getriebe abhängig ist.

Aussprache.

Bemerkungen zu dem Vortrag Alt s. im Juni-Heft. (7028)

DK 666.16.038.3

Eigenschaften und Anwendung vorgespannter Spiegelgläser^{*)}.

Von Direktor Dipl.-Ing. L. von Reis, Herzogenrath.

[Vortrag^{*)} bei der 16. Glastechnischen Tagung, Berlin, 20. Januar 1933.]

Mängel in den Festigkeitseigenschaften spannungsfreier Flachgläser. — Ihr Ausgleich durch Vorspannung. — Abkühlungsvorgänge und Spannungsverlauf im Spiegelglas. — Abschreckverfahren: a) „Preßhartglas-Verfahren“, b) Neues Luftkühlverfahren. — Eigenschaften der so hergestellten Gläser. — Anwendungsgebiete des Sekurit-Glases.

Für den endgültigen Spannungszustand des Glases ist es maßgebend, mit welcher Geschwindigkeit der Entspannungsraum (für Spiegelglas die Temperatur zwischen etwa 550 und

450° C) durchlaufen wird. Langsames Köhlen in diesen Grenzen führt zum normalen, dem technisch spannungsfreien, Glase. Rascher Temperaturabfall führt zum vorgespannten, fälschlich (s. u.) als „Hartglas“ bezeichneten, Glase.

Abgeschrecktes Glas hat, richtige Herstellung vorausgesetzt, vor dem langsam ge-

^{*)} Auszug aus dem Vortrag. — Ausführlich wird der Vortrag in einem der nächsten Hefte der „Z. Verein. Dtsch. Ing.“ veröffentlicht werden.

kühlten, dem ungespannten Glase, den Vorteil erheblich höherer Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und thermische Beanspruchungen. Diese Tatsache ist schon lange bekannt. Vielfach hat man versucht, sie technisch auszunutzen, wie zahlreiche Patente¹⁾ und eine umfangreiche Literatur bezeugen. Ein dauernder Erfolg blieb versagt, da es nicht gelang, das Abschrecken genügend gleichmäßig zu erzielen. Die Ergebnisse waren daher mehr oder weniger ein Spiel des Zufalls.

Erst jetzt ist es gelungen, für Spiegelglas Erwärmung und Abschrecken so zu führen, daß die gewünschten Eigenschaften mit großer Sicherheit und in hohem Maße erzielt werden. In der Literatur²⁾ wurde bereits mehrfach gezeigt, daß die verbesserten mechanischen Eigenschaften abgeschreckten Glases auf einer starken Vorspannung und nicht auf einer Härtung der Oberfläche beruhen.

Bei all seinen wertvollen Eigenschaften gilt Glas als ein mechanisch unzuverlässiger, als ein zerbrechlicher und spröder Körper. Dieser Mangel beruht auf seiner geringen Zugfestigkeit — nur 300 bis 500 kg/cm² für Spiegelglas — und dem Fehlen plastischer Verformbarkeit bei normaler Temperatur. Auf die elastische Dehnung folgt unmittelbar der Bruch ohne den vermittelnden Uebergang einer Fließzone, welche den Metallen ihr hohes Arbeitsvermögen verleiht. Geringfügige Oberflächenverletzungen, selbst Polierkratzer, verursachen daher gefährliche Kerbwirkungen, welche die an sich schon niedrige Zugfestigkeit nicht voll zur Wirkung kommen lassen.

Im Gegensatz zur Zugfestigkeit ist die Druckfestigkeit von Glas sehr hoch. Für Spiegelglas liegt sie über 9000 kg/cm². Aber auch diesen Vorteil kann man praktisch nicht ausnutzen, da Baustoffe fast immer auf zusammengesetzte Festigkeit, fast nie auf reinen Druck, beansprucht werden.

Dieser Mangel in den Festigkeitseigenschaften des Spiegelglases wird durch zweckmäßige Vorspannung weitgehend ausgeglichen.

Es ist bekannt, daß bei raschem Abkühlen erweichten Glases in den Außenschichten zuerst Zugspannungen entstehen. Im Laufe der weiteren Abkühlung vermindert sich die Zugspannung der Außenschichten auf Null, geht dann in Druckspannung über, während dem Kern eine Zugspannung aufgezwungen wird. Der Verlauf der Abkühlungsvorgänge

im Spiegelglase ist von Herrn F. Jochim, dem ich auch an dieser Stelle für seine weitgehende Mitarbeit danken möchte, auf Grund der Größerschen Ableitungen³⁾ stufenweise verfolgt worden. Von den Zeit-Temperatur-Kurven ergeben diese Ableitungen 2 Punkte und 2 Tangenten, die den Verlauf der Kurve genügend festlegen. (Bild 1.) Maßgebend für den end-

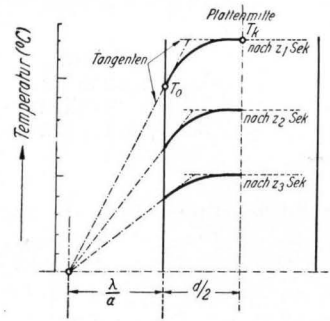


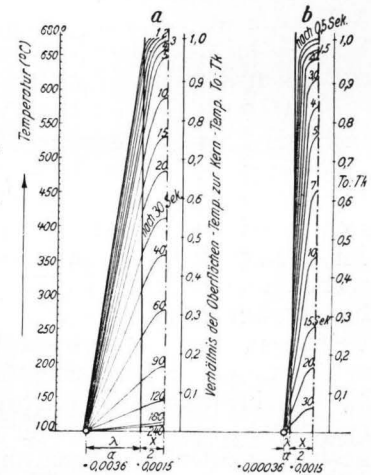
Bild 1. Temperaturverlauf durch den Querschnitt einer ebenen Platte während der Abkühlung. (Nach Gröber.)
 T_k = Kerntemperatur,
 T_o = Oberflächentemperatur.

gültigen Spannungszustand ist das Temperaturgefälle in der Platte, besonders der Unterschied zwischen Kern und Außenhaut. Langsame Abkühlung ergibt geringe Differenzen, rasche Abkühlung entsprechend größere Unterschiede (Bild 2).

Bild 2.

Stufenweise Verfolgung des Temperaturverlaufs in einer Glasplatte bei rascher und bei langsamer Abkühlung.

Links: 3 mm Platte, $a = 70 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$.
 Rechts: 3 mm Platte, $a = 700 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$.



Aus diesen Temperaturkurven wurde die endgültige Spannung im Glase berechnet. Es wurden nicht die Spannungen berücksichtigt, die im Glase sich in den Grenzschichten zwischen viskoser und fester Phase bilden, und die der Rechnung nur schwer zugänglich sind. Als Ausgang wurde vielmehr angenommen, daß das Glas im Augenblicke der Erstarrung des Kerns spannungsfrei sei und bei der weiteren Abkühlung als ein dem Hookschen Dehnungs-Spannungsgesetze gehorchender Körper von konstanter Wärmedehnungszahl betrachtet werden dürfe.

Bild 3 zeigt angenähert den Spannungsverlauf in der Glasplatte. Die Nulllinie ergibt sich aus der Bedingung, daß Zug- und Druckkräfte summengleich sein müssen. Das Vorspannungsfeld zeigt (bei a) einen den Eigenschaften des

¹⁾ de la Bastie, Nr. 3794 v. 9. 11. und 5410 v. 27. 2. 78; Siemens aus 1877; Schott, Patente aus 1890 und 1891 usw. (Literatur s. Glastechn. Ber., 9 (1931), S. 267/8.)

²⁾ Paul H. Prausnitz, Sprechsaal Keramik usw., 64 (1931), Nr. 22, S. 413—417. (Ref. Glastechn. Ber., 9 (1931), S. 520.) — Vgl. ferner den Vortrag von P. H. Prausnitz und E. Berger bei der 16. Glastechn. Tagung, Berlin 1933 (Veröff. demnächst in den „Glastechn. Ber.“), sowie die Aussprache im FA I der DGG über die Bezeichnung „Hartglas“, s. Glastechn. Ber., 11 (1933), H. 3, S. 96.

³⁾ H. Gröber: „Wärmeübertragung“. Berlin 1926, Verlag Jul. Springer.

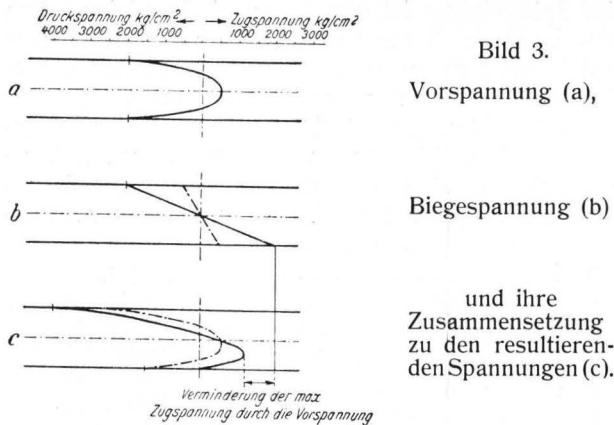


Bild 3.

Vorspannung (a),

Biegespannung (b)

und ihre Zusammensetzung zu den resultierenden Spannungen (c).

Glases äußerst günstig angepaßten Verlauf. Es zeigt ein breites, niedriges Feld der Zugspannung, entsprechend der geringen Zugfestigkeit, und ein schmales, hohes Druckfeld, das die hohe Druckfestigkeit des Glases gut ausnutzt. Weiter zeigt Bild 3 (bei b und c), wie dieses Vorspannungsfeld die Hinzufügung einer erheblichen (geradlinigen) Biegungsspannung erlaubt, ehe die zulässige Zugbeanspruchung in der Platte überschritten wird. Besonders günstig wirkt es, daß die Zugbeanspruchung in den gefährdeten Außenschichten niedrig gehalten wird, daß also Kerben durch Kratzer usw. sich nicht schädlich auswirken können.

Zur Klärung der Frage, ob die Druckvorspannung der Außenschichten gleichzeitig eine Erhöhung der Oberflächenhärte verursacht*), wurden eingehende Versuche angestellt; sie sollten zeigen, ob Härteunterschiede in der Oberfläche von spannungsfreiem und von vorgespanntem Spiegelglas festzustellen seien. Es wurden hierbei benutzt: das Kugelsprungverfahren, der Vorlasthärteprüfer nach Rockwell und der Pendelhärteprüfer nach Herbert. Nach keinem dieser Verfahren konnte am vorgespannten Spiegelglas eine größere Härte festgestellt werden als beim ungespannten Glase; vorhandene Abweichungen blieben innerhalb der üblichen Fehlergrenzen. Es sei besonders auf die Versuche mit dem Herbertschen Pendelhärteprüfer hingewiesen, da dieser eine ungespannte Spiegelglasplatte zum Eichen benutzt, so daß irgendwelche Unterschiede in der Oberflächenhärte sich bei diesem Verfahren wohl am besten hätten zeigen müssen. Ritzversuche, die ausgeführt wurden, zeigten auch keinen Unterschied. Der Schnitt mit dem Diamanten ist der gleiche bei ungespanntem wie bei vorgespanntem Glas. Auch ist es möglich, vorgespanntes Glas mit einer Scherbe ungespannten Glases zu zerkratzen, also zu ritzen.

Wie schon erwähnt, wurde diese gesteigerte Festigkeit des Flachglases bereits technisch ausgenutzt. Es sei an die Bullaugen und die Wasserstandsgläser (Klingergläser) aus so-

*) Vgl. die Versuche von W. Priewe, die im vorliegenden Hefte, Abt. 11, referiert werden. [Anm. d. Schriftl.]

nanntem „Preßhartglas“ erinnert, das aber noch gewisse, in seiner Herstellungsweise begründete Mängel aufweist. Bei diesem Verfahren werden die Glasplatten, auf einer Schamotteplatte ruhend, erhitzt und dann in die Abschreckvorrichtung gebracht. Diese besteht aus zwei wassergekühlten Metallplatten, deren obere bewegbar ist wie die Oberplatte einer Presse, daher der Name Preßhartglas. Sowohl beim Erhitzen wie auch beim Abschrecken kommt die Glasplatte im erweichten Zustande mit festen Körpern in Berührung, wird in der Politur beschädigt und muß wieder geschliffen und poliert werden. Hierdurch werden gerade die Schichten höchster Vorspannung entfernt und die Biegefestigkeit erheblich vermindert. — Ein weiterer Nachteil des Verfahrens besteht in der Ungleichmäßigkeit der Erwärmung und der Abkühlung. Es ist kaum möglich, eine Glasplatte gleichmäßig zu erwärmen, die nur mit der Oberseite den Heizgasen ausgesetzt wird. Bei der Abkühlung sind die Ungleichmäßigkeiten noch schwerwiegender: Die Unterseite der erweichten Platte kommt zuerst mit dem Kühlmittel in Berührung, eilt also in der Abkühlung vor. Es ist weiterhin schwierig, eine gleichmäßige Flächenberührung zwischen der Glasplatte und den Kühlplatten zu erreichen, was wieder Gleichmäßigkeit und Güte des Erzeugnisses ungünstig beeinflusst.

Diese Mängel vermeidet das neue Luftkühlverfahren nach DRP. 541 006 und DRP. 564 701†). Bei diesen Verfahren wird die Platte an zwei Zangen, die das Glas nur an je zwei Punkten berühren, freihängend erhitzt. Die erweichte Platte wird dann, immer in den Zangen hängend, rasch zwischen zwei aus Rohren gebildete Rahmen oder zwischen flache Kästen gebracht, die eine große Zahl gleichmäßig verteilter düsenförmiger Öffnungen besitzen, aus denen

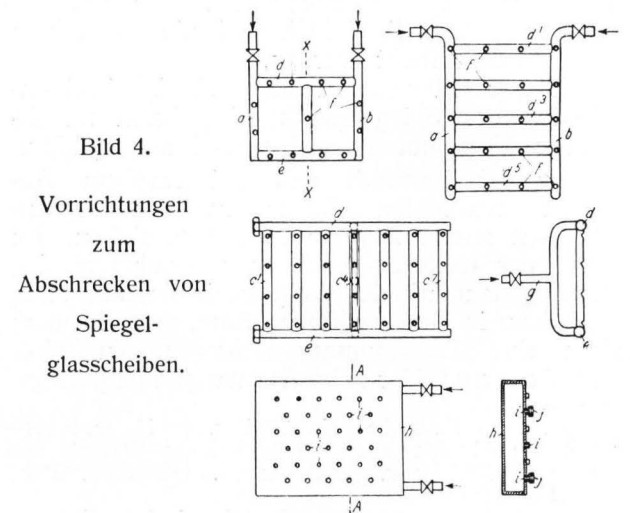


Bild 4.

Vorrichtungen zum Abschrecken von Spiegelglasscheiben.

†) Kurze Referate und genauere patentbibliographische Angaben s. Glastechn. Ber., 10 (1932), S. 299, bzw. 11 (1933), H. 3, S. 110. — Man vergleiche ferner das DRP 530 154 (Ref. Glastechn. Ber., 9 (1931), S. 681) und eine Besprechung dieser Patente in „Glas u. App.“, 14 (1933), H. 7, S. 51. [Anm. d. Schriftl.]

Druckluft zur Abschreckung der Glasplatte strömt (Bild 4). Die Gleichmäßigkeit der Abkühlung wird noch dadurch erhöht, daß man den Rahmen eine Kreisbewegung erteilt. Die Glasplatte kommt weder beim Erhitzen noch beim Abkühlen mit festen Gegenständen in Berührung. Ebenheit und Politur bleiben erhalten, Nachschleifen und Nachpolieren wie beim Preßhartglas sind daher nicht erforderlich, und die erzielten Vorspannungen bleiben infolgedessen in voller Höhe erhalten.

Außer den das Spiegelglas stets auszeichnenden Eigenschaften, z. B. Reinheit, Ebenheit, Verwitterungsfestigkeit und Gewähr unverzerrter Durchsicht, besitzt das nach diesen neuen Verfahren abgeschreckte Spiegelglas („Sekurit-Glas“) noch folgende weiteren wertvollen Eigenschaften:

1. hohe Biegefestigkeit,
2. hohes Formänderungsvermögen,
3. hohe Temperaturwechselfestigkeit,
4. Splittersicherheit,
5. gleichmäßigen Ausfall,
6. Beständigkeit.

1. Biegefestigkeit: Durch die Vorspannung wird die Biegefestigkeit des Spiegelglases auf das fünf- bis achtfache erhöht (auf 2000 bis 2900 kg/cm²), gemäß dem in Tafel 1 angeführten Auszug aus einem Prüfungsbericht des Staatlichen Material-Prüfungsamtes, Berlin-Dahlem.

Tafel 1. Biegefestigkeiten mehrerer Sekurit- und Spiegelglas-Platten.

Glasart	Länge cm	Breite der Biegeproben cm	Dicke mm	statische Festigkeit kg/cm ²
Sekuritglas	20,0	10,0	6,1	2400
„	20,0	10,0	8,2	2550
„	20,0	10,0	10,5	2900
„	40,0	20,0	6,3	2010
„	40,0	20,0	8,1	2360
„	40,0	20,0	10,2	2850
Spiegelglas	20,0	10,0	6,3	571
„	40,0	20,0	6,2	300

2. Formänderungsvermögen: Ebenso wie die Härte wird auch die Elastizitätszahl des Glases durch das Abschrecken nicht verändert. Gemäß dem Prüfungsbericht des Staatlichen Material-Prüfungsamtes, Berlin-Dahlem, beträgt die Elastizitätszahl 750 000, ist also die gleiche wie die des normalen Glases; wohl erlaubt die erhöhte Festigkeit des vorgespannten Glases eine erheblich höhere, etwa fünf- bis achtfache Federung; zum Beispiel: eine 6 mm dicke Scheibe, etwa 30 cm breit, läßt auf 1 m freitragend eine Durchbiegung von mehr als 10 cm zu. Die Sprödigkeit des üblichen Glases ist also einem außerordentlich hohen Formänderungsvermögen gewichen.

3. Hohe Temperaturwechselfestigkeit: Vorgespanntes Spiegelglas ist sowohl gegen schroffes Abschrecken wie auch gegen rasches Erhitzen weitgehend unempfindlich. Versuche des Staatlichen Material-Prüfungsamtes mit Abschreckungen von +60° auf -80° C, eigene

Versuche von +280° auf -8° C, Aufgießen von flüssigem Blei auf die vorgespannte Scheibe usw. wurden ohne Schaden überstanden. Diese Fähigkeit zum Ertragen großer Temperaturwechsel beruht wieder auf der Vorspannung, besonders auf der Druckspannung der Außenschichten.

Bei Glas im Normalzustand führt rasches Abkühlen zum Bruch, da die Außenschichten sich zuerst abkühlen, wodurch gefährliche Zugspannungen entstehen. Ebenso erzeugt rasche und ungleichmäßige Erwärmung Zugspannung in der Außenhaut. Die Druckvorspannung der Außenhaut verhindert weitgehend das Auftreten dieser gefährlichen Zugspannungen.

4. Splittersicherheit und damit die Eignung zum Sicherheitsglas beruht wieder auf der Vorspannung, auf der durch sie bewirkten Eigenart des Zerfalles bei Ueberbeanspruchung. Sekurit zerspringt nicht in scharfe, schnittgefährliche Scherben, wie gewöhnliches Spiegelglas, sondern in kleine, ungefährliche Stückchen, wie das Staatliche Material-Prüfungsamtes es bezeichnet: „Viele meist viereckige Bruchstücke bis etwa 20 cm² Größe. Die Bruchstücke sind von vielen Sprüngen durchzogen, die ein feinmaschiges Netz bilden, und bestehen aus vielen, etwa erbsengroßen, fast rechteckigen Teilchen, die miteinander verzahnt und verhältnismäßig stumpfkantig sind. Die Bruchstücke lassen sich zwischen den Fingern zerbröckeln“ (Bild 5).

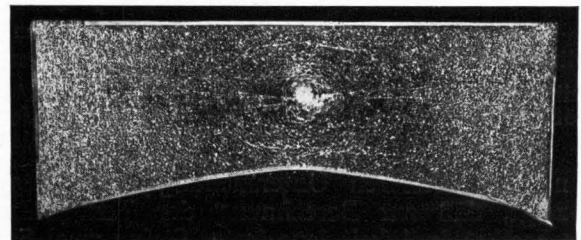


Bild 5. Sekurit bei -10° C mit Spiralbohrer aus 4 m Höhe zerstört.

Hohe und gleichmäßige Vorspannung sind Vorbedingungen für diesen günstigen Zerfall, der jede gefährliche Schnittverletzung ausschließt.

5. Gleichmäßiger Ausfall: Alle diese vorzüglichen Eigenschaften wären nur von beschränktem Werte, wenn sie nicht mit ausreichender Sicherheit erzielt werden könnten. In der Gleichmäßigkeit des Ausfalls liegt jedoch ein Hauptvorteil des Luftkühlverfahrens. Bewiesen wird diese Gleichmäßigkeit durch zahlreiche Festigkeitsversuche, durch die Ergebnisse der Biege-, Druck- und Kugelfallproben, die alle eine nur geringe (bei Glas bisher unbekannt günstige) Streuung zeigen.

6. Beständigkeit: Ein zuverlässiger Baustoff muß beständig sein sowohl in dem Temperaturbereich seiner Verwendung, als auch über lange Zeiträume hinweg. Sekurit erfüllt diese Forderungen. Festigkeit und Schutzigenschaften erwiesen sich unveränderlich in einem

weiten Temperaturbereich von etwa +200° bis -50° C. Versuche des Staatlichen Material-Prüfungsamtes erstreckten sich auf den Verwendungsraum des Sicherheitsglases, also von +40° bis -20° C, mit dem gleichen günstigen Ergebnis. Auch ein allmähliches Nachlassen der Vorspannung ist nicht zu befürchten. Erfahrungen mit vorgespannten Wasserstandsgläsern, den sogenannten Klinger gläsern, zeigten, daß nach 10 und 12 Jahren noch keine Minderung der Vorspannung eingetreten war. Auch aus den Untersuchungen von Adams und Williamson⁴⁾ läßt sich entnehmen, daß der Verlust der Vorspannung, also das Entspannen von Glas, bei normaler Temperatur praktisch unendliche Zeiträume erfordert, selbst bei 400° C beträgt die Entspannungszeit noch 4 Monate. Auch unter starker Dauerbelastung tritt kein Nachlassen ein: Dauerversuche mit 1500 kg/cm² Biegebeanspruchung ergaben nach 3/4 Jahr weder Bruch noch dauernde Durchbiegung.

⁴⁾ L. H. Adams und E. D. Williamson, J. opt. Soc. Amer., 4 (1920), S. 213—233. (Ref. Glastechn. Ber., 3 (1925/26), S. 340. — Weitere Abhandlungen derselben Verf. s. in dem Literatur-Auszug „Spannungen im Glas und ihr Nachweis“, Glastechn. Ber., 9 (1931), S. 48—49.

Infolge dieser wertvollen Eigenschaften eignet sich vorgespanntes Spiegelglas für alle Zwecke, die an die Verglasung außerordentlich hohe Anforderungen stellen, besonders für die Scheiben solcher Fahrzeuge, deren leichte Bauart starke Formänderungen des Aufbaues begünstigt, wie z. B. Flugzeuge und Autos. Während, selbst bei leichten Unfällen, die Scheiben aus Normalglas zu Bruch gehen und die Insassen gefährden, halten vorgespannte Gläser größere Formänderungen aus als selbst die Karosserie. Mehrfaches Ueberschlagen verbeulte den Wagenkasten, zerbrach aber nicht eine Sekuritscheibe; bei gewaltsamer Zerstörung tritt dann die Schutzwirkung durch Zerkrümelung ein. — Ferner fand Sekurit raschen Eingang im Schiffbau, und zwar für Bullaugen, Kommandobrücken- und Promenadendeckfenster, bei der Handels- wie auch bei der Kriegsmarine.

Weitere Verwendungsgebiete sind Aquarien, Gerinne der Wasserbaulaboratorien, Schaugläser für hohe Temperaturen und Drücke, usw.

So ist in dem vorgespannten Spiegelglas ein neuer Baustoff geschaffen worden, der dem Spiegelglas weitere Verwendungsgebiete eröffnet. (7241)

DK 620.179(033.3) : 666.76

Zur Berechnung der Temperaturwechselbeständigkeit feuerfester Steine aus ihren physikalischen Konstanten.¹⁾

Von K. Endell.

(Mitteilung aus dem Laboratorium für bauwissenschaftliche Technologie der Technischen Hochschule Berlin.) Aeltere Gleichungen zur Berechnung der TWB (Winkelmann und Schott; Norton). — Ersatz der größten Verdrehung durch die verhältnismäßige Verdrehung bei geringer Spannung. — Uebereinstimmung der nach dieser neuen Formel errechneten Werte der TWB mit denen der Erfahrung.

In einer früheren Untersuchung²⁾ wurde gezeigt, daß zur Berechnung der Temperaturwechselbeständigkeit feuerfester Steine zwei Formeln vorliegen, obwohl freilich eine eindeutige physikalische Definition dieser gerade für feuerfeste Steine wichtigen Eigenschaften heute leider noch aussteht.

1. Die Formel von Winkelmann und Schott³⁾, die von Gläsern, also homogenen Stoffen mit recht hoher Zug- und Druckfestigkeit, ausgeht, lautet folgendermaßen:

$$F = \text{Konst.} \frac{P \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{d \cdot c_p}}}{E \cdot \beta} \quad (1)$$

oder, da $\sqrt{\frac{\lambda}{d \cdot c_p}} = a$ ist, $F = \text{Konst.} \frac{a \cdot P}{E \cdot \beta}$ (1a)

Darin bedeutet:

- F = thermischer Widerstandskoeffizient (= Temperaturwechselbeständigkeit),
- β = mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient,
- a = Temperaturleitfähigkeit = $\sqrt{\frac{\lambda}{d \cdot c_p}}$
- λ = Wärmeleitvermögen,
- d = Raumgewicht,
- c_p = mittlere spezifische Wärme,
- P = Zugfestigkeit,
- E = Elastizitätsmodul.

2. Die zweite Formel, die bei ähnlicher Ableitung in gleicher Weise auch von der theoretischen Voraussetzung eines homogenen Stoffes ausgeht, ist die Formel von F. H. Norton⁴⁾

$$S \left(\begin{smallmatrix} \text{Temperatur-} \\ \text{empfindlichkeit} \end{smallmatrix} \right) = \frac{1}{F} = \text{Konst.} \frac{\beta}{\varphi \cdot a} \quad (2a)$$

Hierin wird φ von Norton definiert als größte Verdrehung bei Bruch. Definitionsgemäß entspricht φ , d. h. das maximale Torsionsvermögen (größte Verdrehung), dem Ausdruck $\frac{P}{E}$, d. h. der Torsionsfestigkeit dividiert durch den

¹⁾ Vorgetragen im Fachausschuß II (Unterausschuß für feuerfeste Baustoffe) der DGG bei der 16. Glastechnischen Tagung in Berlin, 19. Januar 1933.

²⁾ K. Endell und W. Steger: „Ueber die Temperaturempfindlichkeit der feuerfesten Steine in der Glasindustrie“. Glastechn. Ber., 4 (1926/27), S. 43—45.

³⁾ Winkelmann und Schott: „Ueber die thermischen Widerstandskoeffizienten verschiedener Gläser in ihrer Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung“. Ann. d. Physik u. Chemie, Jg. 1894, S. 370 ff.

⁴⁾ F. H. Norton: „Eine allgemeine Theorie der Temperaturempfindlichkeit“. J. Amer. ceram. Soc., 8 (1925), S. 29—39.