GLASTECHNISCHE BERICHTE

Im Auftrage der

Deutschen Glastechnischen Gesellschaft e. V.

herausgegeben von Dr.-Ing. H. Maurach.

*

Nachdruck oder Vervielfältigung im ganzen oder in Teilen ausdrücklich untersagt.
Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen vorbehalten. — Copyright 1938 by DGG in Frankfurt a. M.

16. Jahrg. Juni 1938 Heft 6

DK 546.621 : 666.1.056.59 : 666.15/.16 : 666.181 : 666.185/.187 : 666.1.037.5 : 628.81 : 645 : 686.7 : 691.6 : 693.9 (045)

Herstellung und Anwendungen von Glas mit Aluminiumüberzügen.

Von Bernard Long,
Direktor des Zentrallaboratoriums der Glaswerke Saint-Gobain†).

Mit der Spritzpistole kann man dauerhafte Aluminiumüberzüge auf (zweckmäßig abgeschrecktes) Glas aufbringen. Ihr Reflexionsvermögen läßt sich ausnutzen zu wetterbeständigen Spiegeln und zur Vermehrung der Lichtdurchlässigkeit von Glassteinen für Bauzwecke. Der elektrische Widerstand der Al-Ueberzüge ermöglicht die Herstellung von Heizkörpern aus vorgespanntem Spiegelglas und von gläsernen Heizsteinen für Fußböden. Mit Aluminium überzogene Glassteine und Glasplatten lassen sich zusammenlöten; dadurch sind neue Möglichkeiten für das Bauwesen und die Innenarchitektur gegeben.

Herstellung von Aluminium-Ueberzügen auf Glas

Unter geeigneten Bedingungen haftet Aluminium sehr fest auf Glasoberflächen. So läßt die Spitze eines Aluminiumstabes, den man mit starkem Druck über die Glasoberfläche führt, auf dieser eine Spur zurück, die nicht mehr zu entfernen ist. Für diese Hafterscheinung, der Ch. Margot vor mehr als 40 Jahren zwei umfangreiche Veröffentlichungen in den Genfer „Archives des Sciences Physiques et Naturelles" gewidmet hat, wurde von G. Vogt folgende Erklärung gegeben: Die Haut von Aluminiumoxyd, die das Aluminium bedeckt, ritzt das Glas, setzt sich darauf fest und bindet eine geringe Menge Metall.

Ein anderes Beispiel einer äußerst festen Haftung weisen geschmolzene Aluminium-Tröpfchen auf, die mit einer Spritzpistole auf passend vorgewärmtes Glas aufgetragen werden. Hierbei spielen sich folgende Vorgänge ab: Jedes Tröpfchen, das die Mündung der Pistole verläßt, umschließt sich mit einem „Sack" von Aluminiumoxyd, den der Aufprall auf dem Glase zum Platzen bringt. Die „Sprengstücke" von Aluminiumoxyd fahren rund um den Auftreffpunkt auseinander und ritzen das Glas. Das Metall fließt über die Ritzfurchen, haftet auf ihnen und erstarrt.

Durch das Glas, das heißt von vorne gesehen, stellt sich also das vom Flachdrücken eines Tröpfchens herrührende Scheibchen als ein glänzender Fleck dar mit weißlichem Rand. Von rückwärts gesehen hat es das Aussehen eines einfachen (oxydierten) Aluminiumkörnchens. Bei fortgesetzter Spritzbehandlung setzen sich die Tröpfchen neben- und übereinander. Von der Glasseite aus zeigt sich dann ein feines Mosaik von glänzenden, in ein weißliches Netzwerk eingegliederten Flecken, von der anderen Seite eine körnige Oberfläche von oxydiertem Aluminium.

Für die technische Durchführung bietet das Herstellungsverfahren des Metallüberzugs durch Reiben zwei schwerwiegende Nachteile: es ist, wie immer man es durchführen mag, langsam, und eine regelmäßige Stärke des Ueberzugs ist schwer erzielbar. Hingegen erlaubt das Spritzverfahren mit Hilfe weniger, sehr einfacher Maßnahmen die schnelle Herstellung eines gleichmäßigen Metallüberzugs auf dem Glas.

Bevor wir einige technische Anwendungen des Verfahrens betrachten, wollen wir darauf hinweisen, daß das Glas vor Aufbringen des Metallüberzuges im allgemeinen abgeschreckt werden muß. Das Abschrecken hat ein doppeltes Ziel. Einerseits verleiht es dem Glase den nötigen Widerstand gegen die schnelle Abkühlung durch den Luftstrom der Spritzpistole. Anderseits bietet es einen wirksamen Schutz gegen die Absplitterung am Rande des überzogenen Bereiches, die infolge der unterschiedlichen Wärmeausdehnung einzutreten droht, sobald der Metallüberzug eine gewisse Dicke erreicht hat.

Anwendungen, die auf dem Reflexionsvermögen beruhen.

Glas, das nach dem Spritzverfahren mit Aluminium überzogen ist, besitzt ein ziemlich hohes Reflexionsvermögen. Um dieses zu kennzeichnen, erinnern wir daran, daß die nach diesem Verfahren hergestellten Spiegel ein Reflexionsvermögen haben, welches für 45° Einfallswinkel 60% von demjenigen eines versilberten Spiegels ausmacht. Diese Zahl stellt einen Mittelwert dar, da je nach den Spritzbedingungen merkliche Aenderungen zu erwarten sind (Glastemperatur, Beschaffenheit der Schmelzflamme, Zerstäubungsgrad des geschmolzenen Metalls usw.).

Wohl sind die Spiegelbilder infolge der Oxydränder etwas verschwommen, jedoch wird dieser Nachteil reichlich aufgewogen durch eine außerordentliche Widerstandsfähigkeit gegen Verwitterung. So haben Konvexspiegel an Straßenecken ohne jeden Schutzüberzug drei Jahre lang ohne die geringste Veränderung standgehalten.

Unter vielen Anwendungen, die auf dem Reflexionsvermögen beruhen, verdient besonders Interesse die Erhöhung des Durchlässigkeitsfaktors bei Glassteinen, die in lichtdurchlässigen Eisenbeton

†) Vorgetragen in Sheffield am 10. November 1937 bei Anlaß des 21. Gründungstages der „Soc. of Glass Technology". — Die englische Fassung des Vortrages erschien im J. Soc. Glass Technol., **21** (1937), Nr. 88, S. 428—435, eine französische in Céram., Verr., Emaill., **6** (1938), Nr. 1, S. 5—11, und in Verre et Silic. ind., **9** (1938), Nr. 15, S. 169—174.

Die Society of Glass Technology lieh dankenswerterweise die Druckstöcke zu den Bildern 1 bis 7, 10 bis 15.

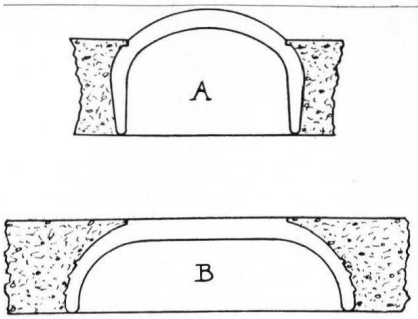
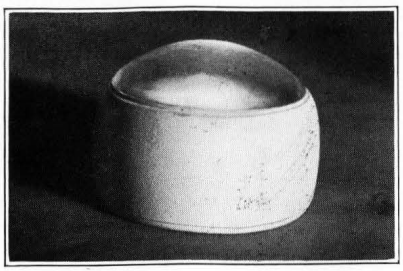


Bild 1. Querschnitte durch zwei Glaseisenbetonsteine aus abgeschrecktem Glase.



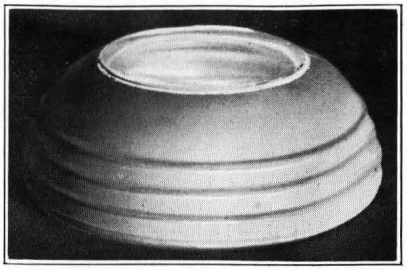


Bild 2 u. 3. Die Steine des Bildes 1 mit Aluminiumüberzügen.

eingebaut werden. Ein erheblicher Teil des Lichtes, das durch die obere Fläche des Glassteins eintritt, geht durch Austritt an den Seitenflächen verloren; bedeckt man diese mit einer Aluminiumschicht, so wird der größere Teil der sonst verlorenen Lichtmenge zurückgewonnen. Bei runden Glassteinen (vergleiche die Querschnitte in Bild 1; Näheres über diese Steine s. Glastechn. Ber., 11 (1935), S. 9 ff.) ist die Erhöhung der Lichtausbeute durch Anbringung des Metallüberzuges auf der Seitenfläche besonders auffallend. Der Durchlässigkeitsfaktor für diffuses Licht steigt für den Glasstein A von 0,40 ohne Metallüberzug auf 0,70 mit Metallüberzug, für den Glasstein B von 0,64 ohne Metallüberzug auf 0,76 mit Metallüberzug. Die Bilder 2 und 3 zeigen die beiden Al-überzogenen Glassteine. — Selbstredend wird die Seitenfläche der Glassteine vor dem Einbau in Beton mit einem besonderen Anstrich versehen, der das Aluminium gegen die Einwirkung des alkalischen Zementes schützt.

Es ist bekannt, daß das Aluminium für ultrarote Strahlen ein hohes Reflexionsvermögen und infolgedessen bei Zimmertemperatur ein geringes Ausstrahlungsvermögen besitzt. Diese Eigenschaft ist mit Vorteil benutzt worden, um die Strahlungsverluste der Glashohlsteine für Außenwände herabzusetzen. Vor dem Zusammenlöten zweier Halbsteine, die vereinigt einen Glashohlstein bilden, werden auf den Innenflächen Aluminiumspritzer aufgebracht. Durch diesen unvollständigen Metallüberzug gelingt es, die Wärmedurchlässigkeit des gewöhnlichen Glashohlsteines um 60% herabzusetzen, während der Durchlässigkeitsfaktor für diffuses Licht auf dem Betrage von 0,10 (10%)

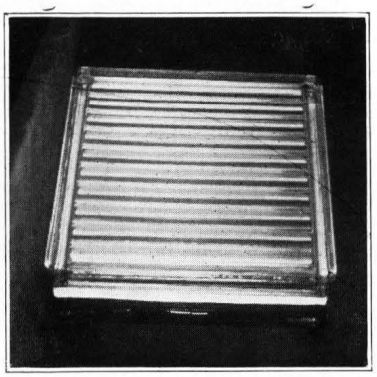


Bild 4: Lichtdurchlässiger Glashohlstein mit Aluminiumspritzern zum Wärmeschutz.

bleibt. So verwirklicht der Glashohlstein mit Aluminiumspritzern (Bild 4) einen wohlabgewogenen Ausgleich zwischen Lichtdurchlässigkeit und Wärmeisolierung, der ihn zu einem idealen Baustoff für Außenwände macht.

Anwendungen, die auf dem elektrischen Widerstande beruhen.

In den dünnen Metallschichten, die durch das Aufspritzen geschmolzenen Aluminiums auf abgeschrecktes Glas erhalten werden, sind die Metallkörner voneinander durch feine Oxydhäute getrennt, und man konnte in ihnen einen weit höheren elektrischen Widerstand erwarten als in Aluminiumfolien. In der Tat ergeben die Widerstandsmessungen — wenn man für die Dicke der rauhen und ungleichförmig zusammengesetzten Ueberzüge den aus der Gewichtszunahme bestimmten Mittelwert annimmt — eine Widerstandserhöhung auf mehr als das Zehnfache.

Unter diesen Umständen war es nicht allzu gewagt, für die übliche Spannung von 110 oder 220 Volt Heizbänder auf Glas von angemessener Fläche herzustellen, deren Joulesche Wärme einer Leistung von 500 bis 1000 Watt entspricht, ohne daß eine Glastemperatur von 150° überschritten wird.

Heizkörper auf Spiegelglas.

Eine Ausführungsform der dunklen elektrischen Heizung mittelst Al-Ueberzuges auf Glas ist in Bild 5 dar-

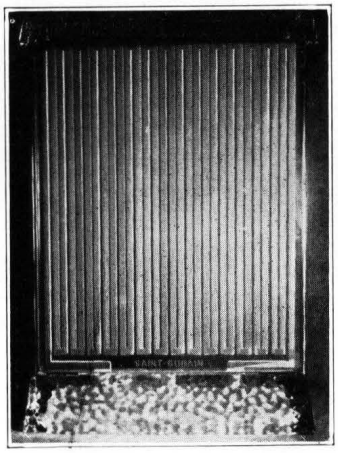


Bild 5. Gläserner Heizkörper mit Glassockel.

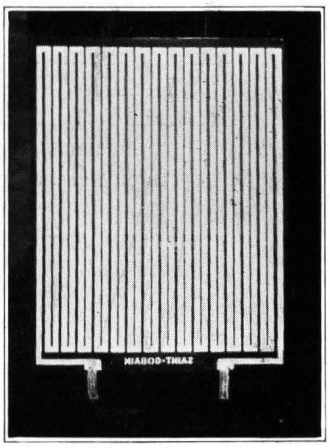


Bild 6. Einzelplatte des Heizkörpers Bild 5.

gestellt. Hier wird die Verwandlung der elektrischen Energie in Wärme durch zwei aufrechtstehende Platten aus abgeschrecktem „Sekurit"-Glas von 50×40 cm² besorgt; jede trägt eine Mäander-Zeichnung von 30 Streifen, die je 45 cm lang und 10 mm breit sind. Jeder von diesen beiden Widerständen liegt an einer Spannung von 110 Volt. Bild 6 zeigt im Lichtbild eine Heizplatte von der Seite des Metallüberzuges aus gesehen. Man sieht darauf die beiden Stromzuführungsbänder, die an die Enden des bandförmigen Al-Ueberzuges angelötet sind. Um den Stromkreis der Berührung zu entziehen, sind die beiden Platten in wenigen Millimetern Entfernung parallel aufgestellt, die überzogene Seite nach innen gekehrt. Dies hat zugleich den Vorteil, die Mäander von ihrer glänzenden Seite zu zeigen.

Im stationären Zustande verbraucht die Heizvorrichtung etwa 1000 Watt, und die Temperatur auf der Außenseite der Glasplatten steigt an den heißesten Stellen nicht über 130°. Die erwähnte Heizvorrichtung kann für 110 oder 220 Volt eingerichtet werden; im ersten Falle werden die beiden Heizplatten nebeneinander geschaltet, im zweiten Falle hintereinander. — Um die Aufzählung der technischen Eigenschaften der Glasplatten-Strahler zu vervollständigen, sei noch hinzugefügt, daß der Widerstand der Aluminiumstreifen mit der Heizdauer leicht abnimmt. So sind bei einer Anzahl von Bändern bei annähernd 110°C folgende Ziffern beobachtet worden: nach 1000 Heizstunden Widerstandsverringerung um 10%, nach 3000 Heizstunden um 12%.

Die Herstellungsweise des Metallüberzugs bedingt die Verwendung abgeschreckter Glasplatten. Diese verhindert zugleich jedes Absplittern der Widerstandsschicht, sowie jede Gefahr des Springens der Glasplatten bei dem schnellen Temperaturwechsel, der mit dem Ein- und Ausschalten des Stromes verbunden ist.

Durch ihre vorzügliche Isolierung (Widerstand auf Glas aufgetragen, auf Glassockel aufgebaut), durch kräftige Bauweise (Sekuritplatten auf dickem gepreßten Glassockel) sowie durch gefällige Form (einfache Linien, leichte Fassung) entspricht diese Heizvorrichtung zugleich den technischen und den künstlerischen Anforderungen.

Die oben beschriebenen Heizkörper mit Heizplatten geben die Wärme an die Zimmerluft hauptsächlich durch Wärmeleitung ab; ihre Strahlung ist indessen nicht zu vernachlässigen, obgleich die Glastemperatur im allgemeinen zwischen 120° und 150° liegt. Man fühlt die strahlende Wärme der Glasplatten bei Annäherung auf etwa 50 cm, was um so angenehmer wirkt, als sie sich auf eine verhältnismäßig große strahlende Oberfläche verteilt. Dieses Verhalten ist leicht erklärlich mit Rücksicht auf das Strahlungsvermögen des Glases, das bei den oben erwähnten Temperaturen demjenigen des schwarzen Körpers nahe kommt.

Heizbare Fußböden.

In den vorstehend beschriebenen Vorrichtungen wird je 1 dm² metallisierter Oberfläche zwischen 30 und 40 Watt elektrischer Energie verbraucht, die Glastemperatur liegt nahe an 130°C. Geht man auf den Wert von wenigen Watt auf je 1 dm² herunter, so erzielt man auf der nicht metallisierten Fläche eine Temperatur, die zwischen 30 und 40°C liegt, je nach den Bedingungen der Wärmeabgabe durch das Glas hindurch und an seiner Oberfläche. Man gelangt so zur elektrischen Heizung bei tiefer Temperatur und mit sehr großer strahlender Oberfläche.

Um von den Möglichkeiten dieser neuen Beheizungsart eine Vorstellung zu geben, genügt es, die Eigenschaften der abgeschreckten Glassteine mit Metallüberzug zu beschreiben, die zum Bau von heizbaren Fußböden dienen.

Die Bilder 7a und 7b zeigen (von oben und von unten) einen heizbaren Glasstein von 14×14 cm², der im Mittelteil 15 mm Stärke besitzt. Er trägt auf der Unterseite einen streifenförmigen Metallüberzug von 9 cm Breite, desgleichen auf den beiden halbzylindrischen Hohlkehlen der Seitenflächen, in denen der Streifen am Rande endet (vgl. Aufriß in Bild 8). An den Ecken der Unterseite besitzt der Stein vier gerillte Füße, die dem Heizwiderstand einen Abstand von 4 mm von der Unterlage erteilen.

Zum Bau eines heizbaren Fußbodens mit 1200 Watt Heizleistung für 110 Volt und etwa 30°C Oberflächentemperatur verwendet man ungefähr 400 Glassteine, die mit Hilfe von zylindrischen Messingdrahtbürsten hintereinander geschaltet sind. In Bild 8 ist die Setzweise, die

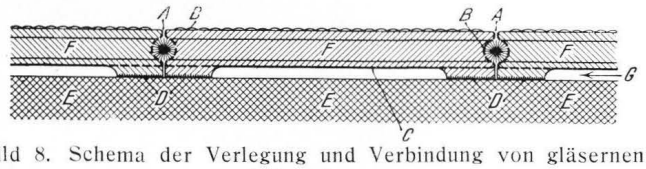


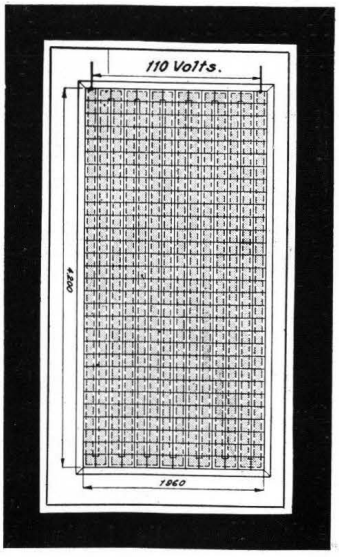
Bild 8. Schema der Verlegung und Verbindung von gläsernen Heizsteinen.

A Verbindungen aus Spezialkitt (mit undurchlässigem Anstrich)
B stromleitende Bürsten
C bandförmiger Heizwiderstand
D Füße der Glassteine (mit Kitt-Unterlage)
E Zementfußboden
F Glassteine
G Luftzwischenraum.

Stromverbindung und die Aneinanderfügung der Glassteine ersichtlich gemacht. In Bild 9 ist ein Heizfußboden mit 420 Glassteinen schematisch dargestellt. Der Heizwiderstand (in punktierten Linien gezeichnet) bildet ein Mäander mit ungefähr 55 Meter Gesamtlänge. Für die Richtungsänderung im rechten Winkel braucht man offenbar Glassteine mit besonders (rechtwinklig) geformtem Metallüberzug; es ist leicht, sich diese vorzustellen, und ihre Ausführung bietet keinerlei Schwierigkeit.

Bei Dauer-Heizung (11 Amp., 110 Volt) stellt ein solcher Fußboden eine strahlende Oberfläche von etwa 8 m² dar, dessen Temperatur (für eine Raumtemperatur von 18 bis 20° C) annähernd 30° beträgt.

Bild 9. Heizfußboden aus 420 Glassteinen.



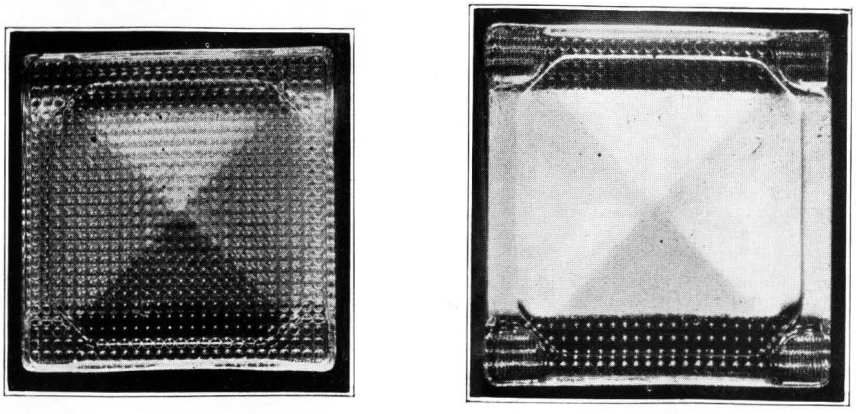


Bild 7a und b. Vorder- und Rückseite eines heizbaren Glassteines mit aufgespritztem Aluminiumband.

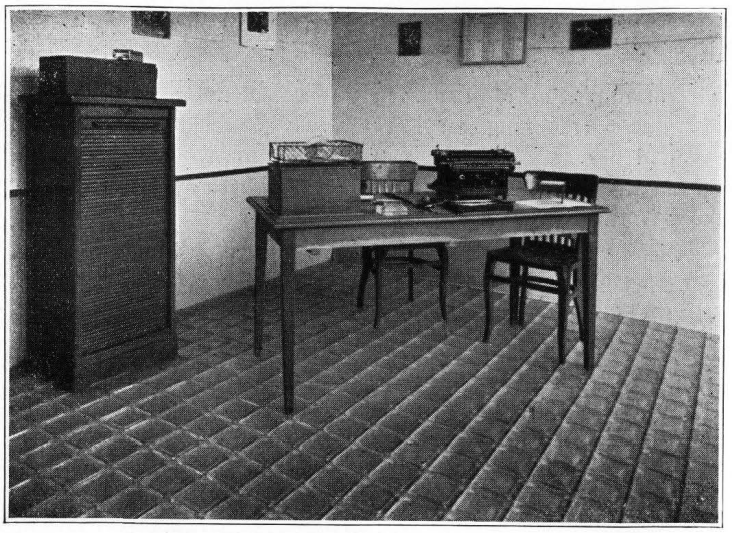


Bild 10. Heizfußboden in einem Schreibzimmer.

Bild 10 bringt das Lichtbild eines Heizfußbodens, der in ein Schreibzimmer eingebaut ist.

Anwendungen, die auf der Haftfestigkeit beruhen.

Aluminium, mit der Spritzpistole aufgetragen, haftet so fest auf dem Glase, daß es natürlich erscheint, zwei Stücke abgeschreckten Glases zu vereinigen, indem man sie zunächst mit einem Metallüberzug versieht und hierauf die beiden Metallüberzüge aneinanderlötet.

Die zweckmäßigste und sicherste Ausführungsweise dieses Verfahrens scheint darin zu bestehen, daß man die zu verlötenden Aluminiumflächen mit einer Schicht eines leicht lötbaren Metalls, z. B. Kupfer, überzieht (vorzugsweise mit der Spritzpistole). Im Falle der Kupferaufbringung kann man die Vereinigung zweier Stücke mit gewöhnlichem Lötzinn ausführen.

Zur Ermittlung der besten Arbeitsbedingungen durch Messung der Haftfestigkeit der Lötung kann ein Zerreißapparat dienen, den Bild 11 und 12 zeigt.

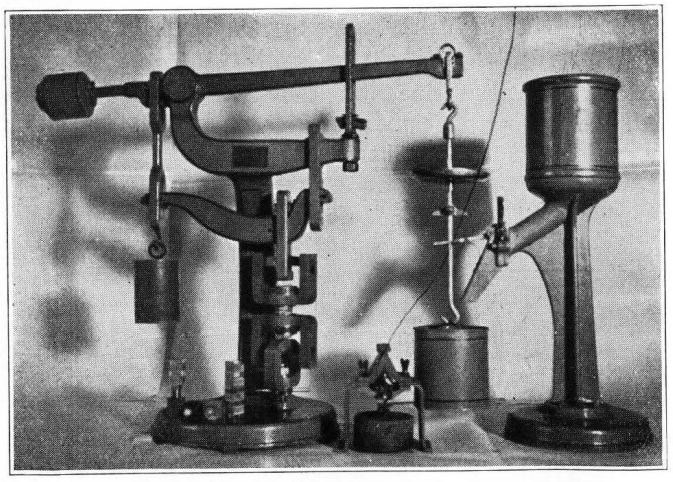


Bild 11: Zerreißapparat zur Messung der Haftfestigkeit der Glaslötung.

Man benutzt vierkantige Glasprismen von 2×2 cm² Querschnitt und 4 cm Höhe, deren Endflächen man innerhalb eines kreisförmigen, zentral gelegenen Bereiches von 1 cm² Oberfläche zusammenlötet. Dieses geschieht in einem elektrischen Ofen, wobei man sorgfältig darauf achtet, daß die beiden Prismen richtig übereinander liegen, während die Lötstellen mit mäßigem Druck aufeinander gepreßt werden. Bild 13 zeigt den Prüfstab, der durch Zusammenfügen zweier Prismen entstanden ist, an einem Ende in einen der beiden Greifer des Zerreißapparates eingespannt. Um jedes Gleiten, sowie jede Absplitterung auf den eingespannten Prismenflächen während des Zugversuches zu verhüten, sind auch die Seitenflächen in breiter Zone mit Metall überzogen.

Um von der Haftfestigkeit der Lötung einen Begriff zu geben, sei angeführt, daß die Trennung der beiden Prismen im allgemeinen eine Zugkraft von mehr als 150 kg erfordert. Die Betrachtung der Lötflächen nach dem Zugversuch lehrt, daß im allgemeinen das Kupfer vom Aluminium abgelöst wird, nicht dieses vom Glase. Durch Vervollkommnung der wechselseitigen Durchdringung des Kupfers und des Aluminiums kann man hoffen, die obige Ziffer zu verdoppeln und vielleicht zu verdreifachen.

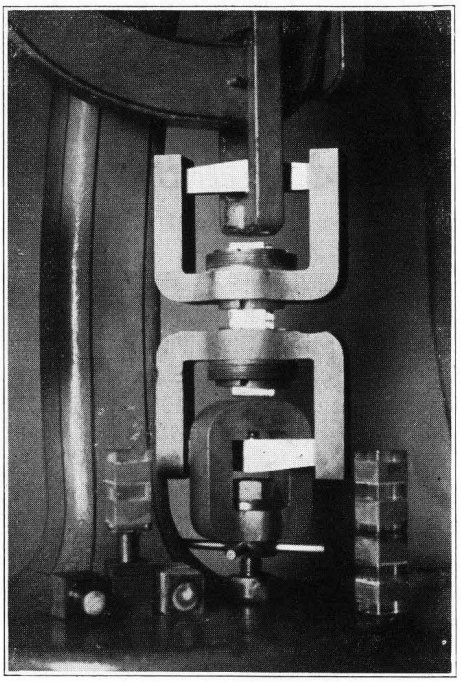


Bild 12. Greifer des Zerreißapparates.

Der Zusammenbau von Stücken abgeschreckten Glases mit Hilfe von Metall ohne Aenderung des Abschreckungszustandes hat zahlreiche wichtige Anwendungen.

Als erstes Beispiel sei die Herstellung von abgeschreckten Glas-Hohlsteinen genannt — z. B. mit den Abmessungen 30×30×10 cm³ —, die zum Aufbau

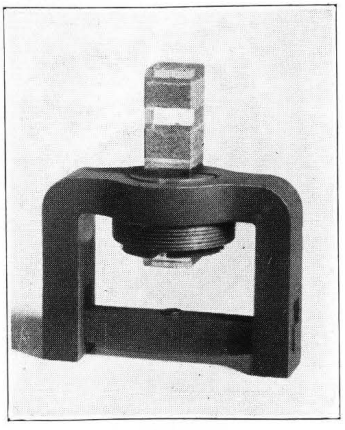


Bild 13.
Eingespannter Prüfstab.

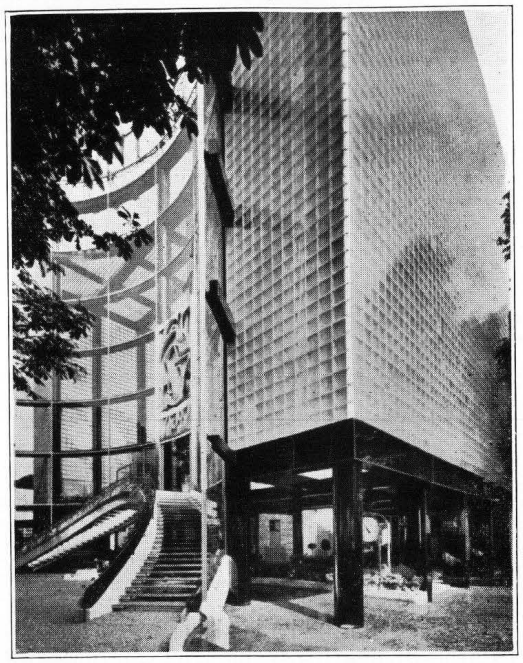


Bild 14. 15 m hohe Mauer aus zusammengelöteten Glashohlsteinen. (Haus von St. Gobain auf der Internationalen Ausstellung Paris 1937.)

von mehr als 15 m hohen Wänden gedient haben (vergl. das Gebäude in Bild 14). Sie werden durch Zusammenlöten zweier abgeschreckter Halbsteine entlang der Ränder erhalten. Das Abschrecken der Bauelemente verleiht ihnen einen außerordentlich hohen Druckwiderstand auf den Randflächen; man darf wohl sagen, daß sie infolge dieser Tatsache ähnlichen, nicht abgeschreckten Glassteinen weit überlegen sind.

Ein anderes schönes Beispiel dieser Technik des Zusammenbaues zeigt der parallelepipedische Glastrog (Bild 15), der zur Aufnahme von ätzenden Flüssigkeiten oder zum Schutze zerbrechlicher Gegenstände dienen kann.

Wenn es schließlich gestattet sein mag, kommende Ergebnisse vorwegzunehmen, so müssen wir auf die weiten Zukunftsmöglichkeiten aufmerksam machen, die sich dem Glasmöbel öffnen, wenn dieses von seinen Metalleinfassungen befreit sein wird, die es stets beschweren und oft seine Formschönheit beeinträchtigen.

Am Ende dieses Ausblicks auf die Anwendungen, die auf Haftfestigkeit beruhen, kann man noch darauf hinweisen, daß das oben beschriebene Verfahren des Zusammenbauens offenbar gleichfalls eine sehr feste Verbindung zwischen einem Metallstück und einem Stücke abgeschreckten Glases herzustellen erlaubt. (12015)

Nachwort der Schriftleitung: Auf unsere Anfrage, ob und zu welchem Preis die im obigen Aufsatz beschriebenen Erzeugnisse im Handel zu haben sind, teilte uns Herr Dr. Long freundlicherweise folgendes mit:

Die Heizplatten (Bild 5) sind seit November 1937 im Handel und kosten je 475 franz. Frs.; bis Mitte April 1938 wurden etwa 1000 Stück verkauft. Die metallisierten Glassteine (Bild 2 und 3) für Einbau in Beton werden seit 4 Jahren verkauft; mehr als 50 000 sind bereits in Gebrauch.

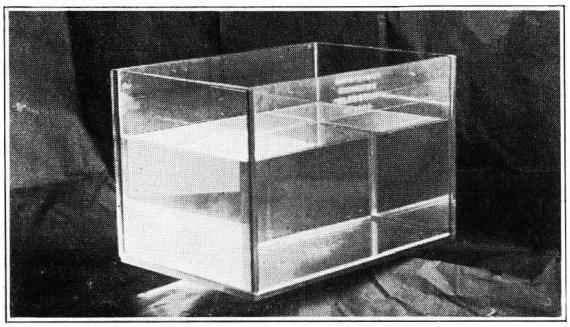


Bild 15. Trog aus zusammengelöteten Glasplatten.

DK 536.42 : 666.11 : 539.213 (045)

Das Wesen des Transformationspunktes.

Von Ernst Jenckel.

(Mitteilung aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische und Elektrochemie, Berlin-Dahlem; vorgetragen bei der 21. Glastechnischen Tagung, Berlin, 17. II. 1938.)

Bestimmung der Viskosität und des Volumens nach hinreichend langem Warten an glasigem Selen und Kolophonium. Fehlen eines Knicks für den Transformationspunkt. Geschwindigkeit der Volumenänderung bei verschiedenen Temperaturen. Der Transformationspunkt ist eine Einfriertemperatur. Atomistische Vorstellungen. Das Volumen der Schrumpfungsrisse. Bemerkungen über die Verbindungsbildung in Gläsern und über ihren Nachweis.

Einleitung.

Kühlt man ein Glas ab, so beobachtet man bekanntlich in einem ziemlich engen Temperaturintervall eine Abnahme des Ausdehnungskoeffizienten, also einen mehr oder weniger scharf ausgeprägten Knick auf der Volumen-Temperatur-Kurve. Dem Knick der Volumenkurve entspricht ein Knick auf der Kurve des Logarithmus der Viskosität oder der elektrischen Leitfähigkeit und schließlich auch auf den Kurven mancher anderer Eigenschaften, z. B. des Wärmeinhalts, die für die Untersuchung der Silikatgläser weniger in Betracht kommen. Die Temperatur dieses Knickes bezeichnet man meist als den Transformationspunkt eines Glases.

Der so beobachtete Transformationspunkt hat alsbald allgemeines Interesse gefunden, da sich hier ein Weg zu bieten schien, um den festen spröden Glaszustand vom Zustand der hochviskosen Schmelze zu unterscheiden. Namentlich von Berger (1) wurde die Ansicht verfochten, daß dem Transformationspunkt eine reelle physikalische Bedeutung zukomme, und daß er mit dem im übrigen unbestrittenen Vorgang des Einfrierens nicht ursächlich verknüpft sei. Eine andere Deutung, nämlich die als Einfriertemperatur, ist zuerst vor längerer Zeit von F. Simon (2) wegen der Ungültigkeit des Nernstschen Wärmetheorems für den Uebergang Glas in Kristall ausgesprochen worden. Diese Ansicht ist durch Versuche von Lillie (3) stark gestützt worden. Wie Lillie zeigte, ändert sich die Viskosität bis zu Werten $\eta = 10^{16}$ abs. Einh. ganz gleichmäßig, ohne den Transformationspunkt hervortreten zu lassen, wenn man nur hinreichend lange wartet. Dieser Befund ist von Hänlein und Thomas (4) durch Messung des elektrischen Widerstandes bestätigt worden. Auf eine entgegenstehende Ausdeutung dieser Versuche durch Berger (8) wird weiter unten noch einzugehen sein.

Es lag nahe, die eben erwähnten Untersuchungen auf das Volumen auszudehnen. Das ist in der Tat von