

DK 666.1.053.61:539.213.29:539.214

## Zur Materialverschiebung beim Ritzen von Glas

Von KLAUS PETER und EGON DICK, Mosbach

(Mitteilung aus dem Physikalischen Laboratorium Mosbach\*)

(Eingegangen am 16. Oktober 1967)

Durch Druck beim Ritzen wird „erweichtes“ Glas unter günstigen Bedingungen aus der Ritzspur so herausgedrängt, daß sich kleine Glasteilchen außerhalb der Spur wiederfinden. Die DOUGLASSche Theorie der Viskositätserniedrigung durch Schubspannung kann zur Beschreibung der Vorgänge angesetzt werden.

Seit Jahrzehnten ist der Ritzvorgang häufig Gegenstand physikalischer und — wegen seiner Modell-Bedeutung für Schleifen und Polieren — technologischer Untersuchungen gewesen. Die Wirkung der zur Probenoberfläche parallel gezogenen, belasteten Spitze eines Hartkörpers ist beim Glas durch Reißsysteme und bleibende Verformung (die mikroplastische Spur) gekennzeichnet.

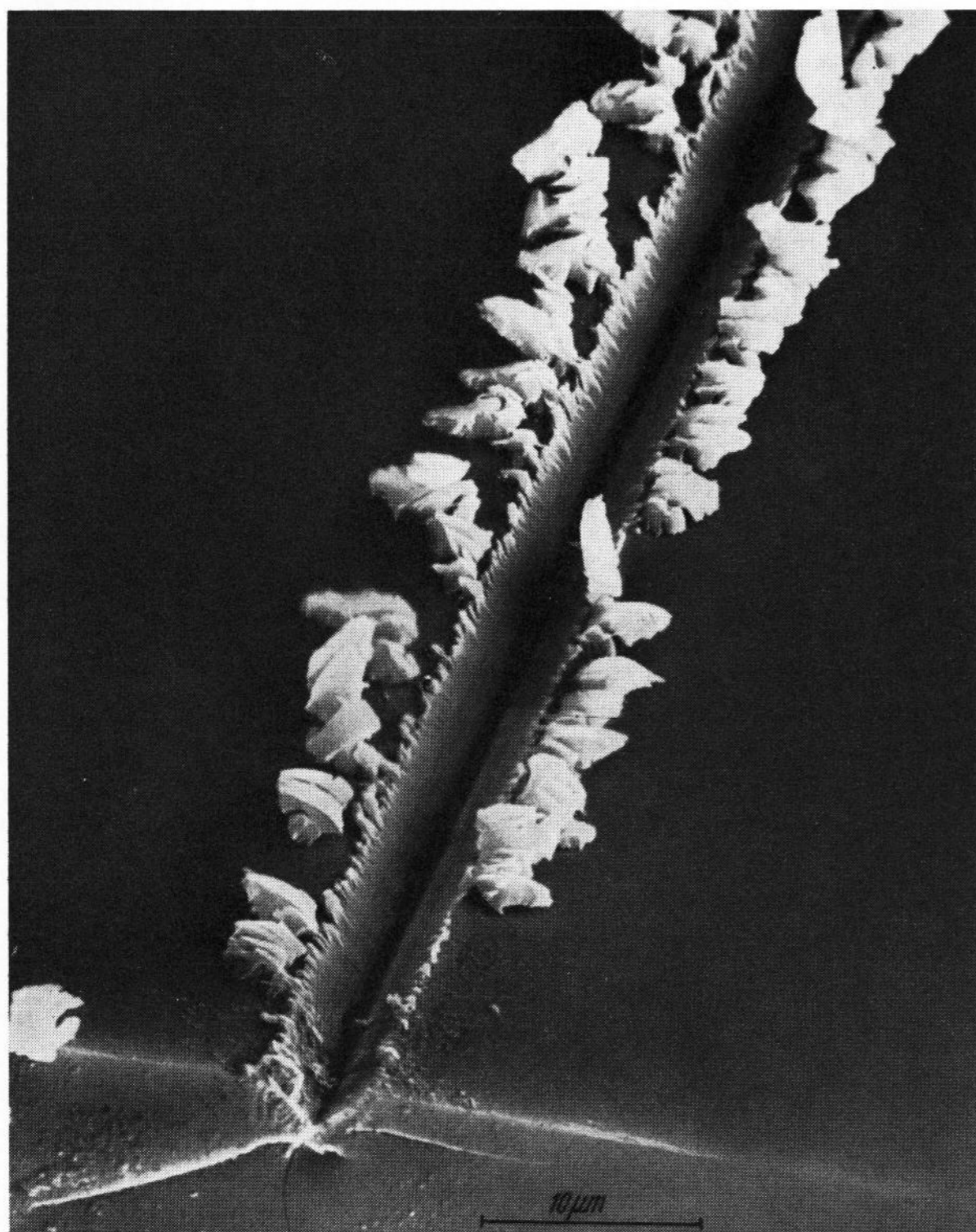
Gelegentlich wurden entlang der Ritzbahnen „Fasern“, sogenannte Ritzlocken, beobachtet. Über ihr Zustandekommen bestehen zwei Vorstellungen, die jeweils entweder Spanabhebung oder plastisches Verhalten des Glases in vermutlich düsenähnlichen Verengungen zur Erklärung benutzen [1, 2]. Eine neuere Arbeit [3] hält je nach Versuchsbedingungen die eine oder die andere Deutung für zutreffend. Mikrofotografien gaben bisher in dieser Frage keinen eindeutigen Hinweis. Aufnahmen mit dem neuerdings zur Verfügung stehenden Raster-Elektronenmikroskop „Stereo-Scan“<sup>1)</sup> brachten jedoch insofern eine Klärung, als nunmehr feststeht, daß Glas aus einer Ritzspur seitlich herausgepreßt werden kann, ohne daß damit die bekannte Wallbildung verbunden ist (Bild 1). Die Auf-

nahme, die eine 70°-Diamantritzspur und einen zur Oberfläche senkrechten Schnitt zeigt, läßt erkennen, daß die die Spur säumenden Partikel bruchlos entstanden. Bei genauerer Betrachtung haben einige von ihnen noch Verbindung zur Spurwand. Sie stehen in engem Zusammenhang mit dem Phänomen der Ritzlocken, als deren Vorläufer man sie ansehen kann. Tatsächlich wurden auch Ritzlocken im weiteren Verlauf neben der in Bild 1 gezeigten Spur im Lichtmikroskop gefunden, wengleich sie nicht mehr bis zur Aufnahme im Rastermikroskop gerettet werden konnten.

In Anbetracht der relativen Größe der Partikel (2 bis 5  $\mu\text{m}$  Durchmesser) scheint die Frage berechtigt, weshalb sie erst jetzt identifiziert werden konnten. Natürlich sind sie auch im Lichtmikroskop wahrnehmbar; dort wurden sie jedoch meist für kleine ausgebrochene Splitter gehalten, wenn nicht gar für Verschmutzungen. Ähnliches gilt für Aufnahmen im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop. Dabei sorgte das übliche Abdruckverfahren leider dafür, daß die Partikel beim Abziehen der Matrize abgerissen und später nicht mehr erkannt wurden. Erst im Rastermikroskop mit seiner hohen Tiefenschärfe und der Möglichkeit, am Originalobjekt zu fotografieren, gelang eine einfache Identifizierung.

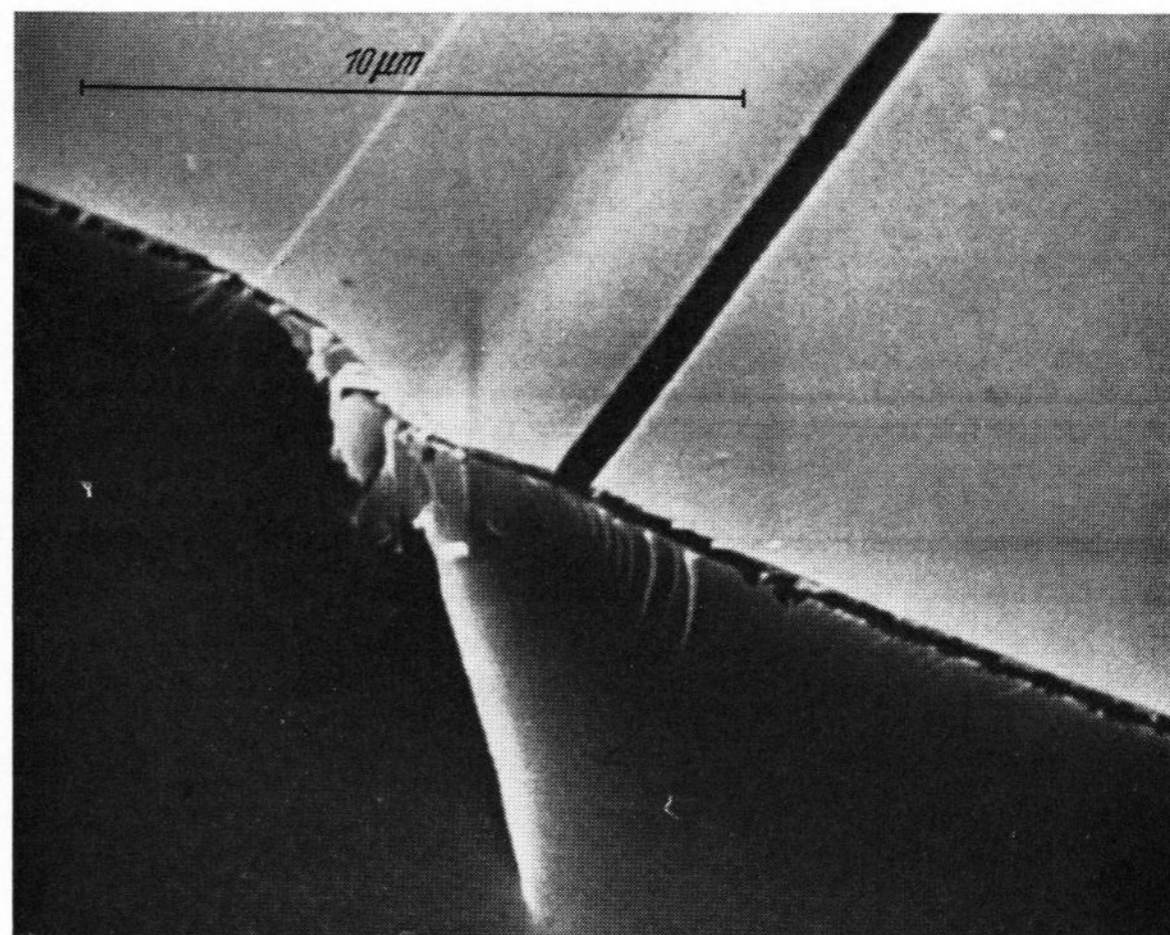
<sup>1)</sup> Dem Fraunhofer-Institut für angewandte Mikroskopie, Photographie und Kinematographie (Leitung Dr.-Ing. habil. H. REUMUTH) sei an dieser Stelle für die Möglichkeit zur Benutzung des Gerätes gedankt.

\*) Angeschlossen an die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF), Köln. V 114/67.



◀ Bild 1. Diamantritzspur auf Fensterglas (oberer Bildteil) und senkrecht zur geritzten Oberfläche liegende Bruchfläche (unterer Teil). Ritzkörper: Pyramide mit Dachflächenwinkel 70° in Richtung Dachkante mit der Geschwindigkeit 1  $\mu\text{m/s}$  gezogen. Belastung: 5 p.  
(Aufnahme: H. HUBER)  
Vergr. 1800fach.

Bild 2. Diamantritzspur auf Fensterglas. Bedingungen wie in Bild 1. Ritzkörper: Pyramide mit Dachflächenwinkel 136° (Vickers-Diamant).  
(Aufnahme: K. VOGEL)  
Vergr. 4500fach.



Ritzspuraufnahmen mit einer weniger spitzen Diamantpyramide ( $136^\circ$ -Dachflächenwinkel) zeigen die gewohnten glatten Wälle als Spurbegrenzung (Bild 2). Da unter sonst gleichen Bedingungen wie in Bild 1 gearbeitet worden war und auch allgemein der für sehr kleine Ritzgeschwindigkeiten ( $1 \mu\text{m/s}$ ) beherrschende Einfluß der Form des Eindruckskörpers bekannt ist [4, 5], werden sich weitere Überlegungen vor allem mit den geometrischen Verhältnissen beschäftigen müssen. Die in den Bildern 1 und 2 erkennbare unterschiedliche Rißbildung unter der Oberfläche ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Nachdem die Mikroplastizität des Glases schon von SMEKAL [6] als Erscheinung beschrieben wurde, bei der „keine wesentliche Temperaturänderung“ eintritt, soll im folgenden kurz versucht werden, zur Diskussion des obigen Ergebnisses die Viskositätsniedrigung unter Schubspannung nach DOUGLAS [7] heranzuziehen. Besonders interessieren die Spannungen, die auf die Kontaktfläche zwischen Eindruckskörper und Glas wirken, wobei ein Flächenelement mit Neigung  $45^\circ$  zur Glasoberfläche ein Maximum an Schubspannung erfährt und somit dort die größte Viskositätsniedrigung stattfinden soll. Versuche mit statischen Kugeleindrücken bestätigen diese Ansicht [8]. Bei den hier im quasistatischen Ritzversuch zu vergleichenden Diamantpyramiden mit  $70^\circ$ - bzw.  $136^\circ$ -Dachflächenwinkel errechnen sich auf den Mantelflächen Schubspannungen von  $4 \cdot 10^7 \text{ p} \cdot \text{cm}^{-2}$  ( $70^\circ$ -Diamant) bzw.  $2,3 \cdot 10^7 \text{ p} \cdot \text{cm}^{-2}$  ( $136^\circ$ -Diamant). Dabei sind die — auf die Pyramidengrundfläche bezogen — unterschiedlichen Aufdrucke berücksichtigt, die sich aus statischen Messungen ergeben haben. Der  $70^\circ$ -Diamant sollte danach höhere Beweglichkeit und

damit leichteren Materialtransport nach der Seite bewirken. In Bild 1 wird sogar eine nicht bzw. sehr schwach am Spurrand haftende Verdrängung des Glases beobachtet, während beim  $136^\circ$ -Diamant nur eine mit der Glasmatrix fest verbundene Verdrängung auftritt.

Fraglich bleibt zunächst, ob die nach der DOUGLASschen Theorie zu erwartende Größenordnung der Viskositätsniedrigung für plastische Effekte bei Glas verantwortlich gemacht werden kann. Entscheidend dabei ist, welche Annahme man über die Größe der unter dem Einfluß der Schubspannung sich bewegenden Elementarheiten macht. Von DOUGLAS selbst wurde dafür probierhalber ein Atomdurchmesser ( $10^{-8} \text{ cm}$ ) eingesetzt. Man erhält jedoch damit eine nur unbedeutende Abnahme der Viskosität unter Schub [9]. Nun ergaben sich aber bei der Messung hoher Viskositäten unter starker Verformung sehr große Relaxationszeiten [10], die notwendigerweise die Bewegung größerer Einheiten voraussetzen. Darauf spricht die in [7] angegebene Formel für die Abhängigkeit der Viskosität  $\eta$  von der Schubspannung  $\tau$  sehr empfindlich an und liefert z. B. bei einer Vervielfachung der Längsdimensionen der bewegten Einheit ( $4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ ) für  $\tau = 2,3 \cdot 10^7 \text{ p} \cdot \text{cm}^{-2}$  eine Viskositätsabnahme um den Faktor  $3 \cdot 10^{-8}$  und für  $\tau = 4 \cdot 10^7 \text{ p} \cdot \text{cm}^{-2}$  eine solche um etwa  $10^{-12}$ . Das entspricht Viskositäten, wie sie beim Glas normalerweise (d. h. ohne Schubeinwirkung) um  $560$  bzw.  $670^\circ\text{C}$  vorliegen. Damit scheint ein Weg aufgezeigt, das unterschiedliche Verhalten beider Diamanten zu verstehen, obwohl in der vorliegenden Darstellung einige Parameter (Orientierung der Diamantflächen zur Ritzrichtung, Kanteneinflüsse u. a.) unberücksichtigt blieben.

#### Schrifttum

- [1] RYSCHKEWITSCH, E.: Die plastische Deformierbarkeit spröder Körper. Glastechn. Ber. **20** (1942) S. 166—174.  
 [2] KLEMM, W.: Die Entstehung von Ritzlocken auf Glas. (Fachauschußvortrag.) [Ref. Glastechn. Ber. **27** (1954) S. 140.]  
 [3] BONEFF, S. und SCHWIETE, H.-E.: Zur Bildung von Spanlocken beim Ritzzen von Glasoberflächen. Glastechn. Ber. **34** (1961) S. 216—219.  
 [4] PETER, K.: Spröbruch und Mikroplastizität von Glas in Eindruckversuchen. Glastechn. Ber. **37** (1964) S. 333 bis 345.  
 [5] WAGNER, J. und ZINKO, H.: Das mikroelastische Verhalten beim Ritzvorgang auf Glas und Plexiglas. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 44—52.  
 [6] SMEKAL, A. G.: Die Mikroplastizität der Hartstoffe. In: BENESOVSKY, F.: Warmfeste und korrosionsbeständige Sinterstoffe. 2. Plansee-Seminar v. 19. bis 23. 6. 1955 in Reutte (Tirol). Reutte (Tirol): Metallwerk Plansee GmbH 1956. S. 28—40.  
 [7] DOUGLAS, R. W.: Some comments on indentation tests on glass. J. Soc. Glass Technol. **42** (1958) S. 145 T bis 157 T. [Ref. Glastechn. Ber. **33** (1960) S. 340.]  
 [8] PETER, K.: Schubspannungseinfluß im Kugeldruckversuch bei Glas und einigen Vergleichssubstanzen. (Fachauschußvortrag.) [Ref. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 329.]  
 [9] MARSH, D. M.: Plastic flow in glass. Proc. Roy. Soc. **A 279** (1964) S. 420—435.  
 [10] OEL, H. J.: Das Verhalten der Zähigkeit von technischen Gläsern zwischen  $10^9$  und  $10^{14}$  Poise. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 56—60. (46 655)

DK 666.172.46(492):748''18''

## Zur Form des Kelchglases auf niedrigem Balusterfuß im 17. Jahrhundert mit besonderer Berücksichtigung der Niederlande\*)

VON ANNA-ELISABETH THEUERKAUFF-LIEDERWALD, Buderich

(Eingegangen am 12. Januar 1967)

An Hand eines relativ einfachen Trinkglastyps mit seinen Varianten wird die Glasherstellung und -bearbeitung sowie die stilistische Entwicklung speziell in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts in den Niederlanden mit kurzer Erwähnung der englischen, französischen und deutschen Verhältnisse dargestellt. Die starken Einflüsse der venezianischen Glaskunst schon des 16. Jahrhunderts werden verdeutlicht und unter anderem Gläser gezeigt, die direkt aus Venedig importiert wurden. Auf dieser Basis entwickelte sich unter Assimilation des vorbildhaften Formenguts ein neues, typisches Glas, dessen diamantgerissene Dekorationen besonders individuell ausgeführt wurden und oft auf das Engste mit der Person des Auftraggebers oder Eigentümers verbunden waren.

In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurde in den nördlichen Niederlanden ein besonderer Typ des Kelchglases sehr häufig benutzt. Es ist die einfache Form eines Weinglases, dessen konischer, trichterförmiger oder zylindrischer Kelch auf einem hohlgeblasenen Baluster ruht; die Fußplatte ist meist ziemlich groß, ihr Durch-

messer erreicht oder überschreitet den der oberen Kuppöffnung.

\*) Diesem Aufsatz liegt ein Kapitel aus der Dissertation „Niederländische Glasformen des 17. Jahrhunderts“ der Autorin an der Philosophischen Fakultät der Albert Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg. 1962 (Fotodruck des MS 1964) zu Grunde.