

Im Auftrage der
Deutschen Glastechnischen Gesellschaft e. V.
Arbeitskreis im NS-Bund Deutscher Technik
herausgegeben von Dr.-Ing. H. Maurach.

Nachdruck oder Vervielfältigung im ganzen oder in Teilen ausdrücklich untersagt.
Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen vorbehalten. — Copyright 1942 by DGG in Frankfurt a. M.

20. Jahrg.

Juni 1942

Heft 6

DK 535.391.5 : 539.213.1 : 666.11 (045)

Reflexverminderung und Konstitution des Glases.

Von H. SCHRÖDER, München.

(Aus dem physikalischen Laboratorium der OPTISCHEN WERKE C. A. STEINHEIL SÖHNE, München.)

(Eingegangen am 4. 6. 1942.)

1. Einleitung.

Die Möglichkeit der Erniedrigung des Reflexionsvermögens durchsichtiger Körper durch Aufbringen einer oder mehrerer Schichten von verändertem Brechungsindex ist in den letzten Jahren durch eine große Zahl von Veröffentlichungen in weiten Kreisen der Technik bekannt geworden. Da die optischen Bedingungen, denen solche Oberflächenschichten¹⁾ zur Erzielung eines bestimmten Wirkungsgrades genügen müssen, lediglich Vorschriften für den Brechungsindex \bar{n} der Schicht im Vergleich zu dem der Unterlage (n), sowie für die optische Dicke $\bar{n}d$ enthalten, kennt man heute bereits eine Reihe verschiedener Verfahren und Materialien, die jene Bedingungen erfüllen und zu einer weitgehenden Reflexverminderung von Glas geeignet sind. Soweit es sich dabei um das Aufbringen glasfremder Substanzen ohne Veränderung des Glases selbst handelt und lediglich die optischen Wirkungen in Betracht gezogen werden, sind natürlich die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Glases — abgesehen von der Brechzahl — ohne jede Bedeutung. Allein schon für die Frage der Haftfestigkeit solcher Schichten spielen diese Eigenschaften eine wichtige Rolle, in besonderem Maße aber bei den glaseigenen Vergütungsschichten, welche z. B. durch chemische Umwandlung der polierten Glasoberfläche erzeugt werden können. Im Verlaufe diesbezüglicher Untersuchungen wurde eine Fülle von Problemen angeschnitten, die auch für die Glasforschung von unmittelbarem Interesse sind. Im folgenden möge eine Auswahl der damit im Zusammenhang stehenden Versuchsergebnisse aus unserem Laboratorium mitgeteilt werden.

2. Untersuchungen an chemisch erzeugten Oberflächenschichten.

Die Kenntnis der Beeinflussung des Reflexionsvermögens von Glas durch chemischen Oberflächenangriff geht bereits auf FRAUNHOFER²⁾ zurück. Sie wurde in der Technik später durch Arbeiten von TAYLOR³⁾, KOLLMORGEN⁴⁾ und WRIGHT⁵⁾ eingeführt, geriet jedoch mangels systematischer Forschung stets wieder in Vergessenheit. Erst seitdem man in neuerer Zeit durch den

Bau komplizierter Objektive immer mehr auf die Notwendigkeit einer Verminderung der störenden Reflexionen hingewiesen wurde, trat neben der Entwicklung der glasfremden Schichten auch die chemische Methode zur Reflexverminderung von Glas wieder in den Vordergrund. Das Wesen dieses Verfahrens beruht darauf, daß man durch Einwirkung von Säuren, Lösungen oder Schmelzen von Salzen lösliche Bestandteile aus der polierten Glasoberfläche entfernt und dadurch eine mehr oder minder poröse Schicht erzeugt, die bei Anwendung von Säuren im Falle der Silikatgläser im wesentlichen aus (hydratisierter) Kieselsäure besteht und gewöhnlich optisch homogen ist, d. h. mit scharfer Grenze sich gegen das Glasinnere absetzt. Bei den weitaus meisten Glassorten, namentlich den optischen, ist heute diese Methode durchführbar. Da das Reflexionsvermögen in seiner Intensität und Farbe sehr stark auf geringste Veränderungen der Oberfläche reagiert, stellt die gewonnene Schicht, aus deren optischen Daten sich Schichtdicke sowie Größe und Verlauf ihres Brechungsquotienten bestimmen lassen⁶⁾, einen bequemen und äußerst empfindlichen Indikator für die chemische Beständigkeit des Glases gegenüber allen denjenigen Reagenzien dar, welche einen nur teilweisen Abbau der Glassubstanz bewirken. Für einen Teilbereich der sich daraus ergebenden Anwendungsmöglichkeiten, nämlich die Bestimmung der Fleckenbildungsgeschwindigkeit bei fleckenempfindlichen Gläsern aus der Schichtdicke, wurde dies schon von BERGER⁷⁾ betont. Nimmt man eine solche optische Messung der Reaktionsgeschwindigkeit v bei verschiedenen Temperaturen vor, so läßt sich daraus nach der bekannten ARRHENIUS'schen Beziehung

$$\lg v = A - \frac{Q}{RT}$$

die Aktivierungsenergie Q der Reaktion ermitteln. Diesbezügliche Messungen sind neuerdings von JONES und HOMER⁸⁾ mitgeteilt worden; aus ihnen ist eine von der Glassorte nur sehr wenig abhängige Zahl $Q = 16200$ cal/Mol abzuleiten.

Abgesehen von den Beiträgen, die sich durch quantitative Untersuchungen solcher Art für manche Gebiete der Glaschemie ergeben, konnten durch das Studium der glaseigenen Vergütungsschichten auch bereits eine Reihe

¹⁾ Wir bezeichnen im folgenden die Verminderung des Reflexionsvermögens des Glases mit „optischer Vergütung“ oder kurz „Vergütung“, die Schichten selbst als „Vergütungsschichten“.

²⁾ J. FRAUNHOFER, „Ges. Schriften“, Herausgeg. von E. LOMMEL, München 1888, S. 35.

³⁾ bis ⁵⁾ S. Schrifttumsübersicht bei A. SMAKULA, Glastechn. Ber., 19 (1941), S. 386.

⁶⁾ Der Zusammenhang zwischen Reflexionsvermögen und Lichtbrechung in der Schicht wurde kürzlich von A. SMAKULA in dieser Zeitschr. 19 (1941), S. 377—386, ausführlich erörtert und kann daher hier als bekannt vorausgesetzt werden.

⁷⁾ E. BERGER, Glastechn. Ber., 12 (1934), S. 189—198.

⁸⁾ F. L. JONES u. H. J. HOMER, J. Opt. Soc. Amer., 31 (1941), S. 34.

von Fragen angeschnitten werden, welche unmittelbar den Feinbau der Gläser selbst berühren. Indem nämlich die Messung des Reflexionsvermögens eines chemisch vergüteten Glases eine einfache und zuverlässige Bestimmung des Brechungsquotienten der Schicht ermöglicht, liefert der Vergleich desselben mit dem des unzeretzten Glases Hinweise auf die „Refraktionsinkremente“⁹⁾ der gelösten oder unlöslichen Bestandteile, welche auf diese Weise gewissermaßen isoliert bzw. in bekannter „Verdünnung“ meßbar sind. So bietet sich auch, um ein konkretes Beispiel zu nennen, die Möglichkeit etwa auf Grund der Untersuchung von durch Säure vergüteten binären Bleisilikatgläsern variabler Konzentration den Zusammenhang zwischen Refraktion und Dichte für die reine Kieselsäure experimentell festzulegen. Voraussetzung dabei ist natürlich die Kenntnis der jeweils löslichen Menge, die jedoch, wenigstens bei den einfacheren Gläsern, gewöhnlich dem Gesamtgehalt des betreffenden Metalles gleichkommt.

Vom Standpunkt der Vergütungspraxis aus läßt sich die Abhängigkeit der chemischen Reflexverminderung von der Glaszusammensetzung folgendermaßen darstellen: Tritt durch das Herauslösen von g Gewichtsprozent Glasbestandteilen in der Oberfläche eine Dichteabnahme $\Delta \rho = g \cdot \rho_0$ auf, so geht der ursprüngliche Brechungsindex n_0 des Glases bei Vernachlässigung höherer Potenzen von $\Delta \rho$ über in

$$\bar{n} = n_0 (1 - \varphi(n_0, \rho_0) \frac{\Delta \rho}{\rho_0}) = n_0 (1 - \varphi(n_0, \rho_0) \cdot g) \quad (1)$$

$\varphi(n_0, \rho_0)$ ist identisch mit dem Ausdruck $-\frac{\rho_0}{n_0} \left(\frac{\partial R}{\partial \rho} \right)_{n=n_0}$

der aus einem verallgemeinerten Refraktionsgesetz $R(n, \rho) = \text{const.}$ abzuleiten ist; diese Funktion R wird dabei mehr oder weniger von der jeweiligen Zusammensetzung des Glases abhängig sein. Da nun bei optisch homogenen Oberflächenschichten die optimale Reflexverminderung, welche für senkrecht auffallende Lichtstrahlen von der Wellenlänge λ bei einer Schichtdicke $d = \frac{\lambda}{4n}$ auftritt, gegeben ist durch

$$\tau_{\min} = \left(\frac{\bar{n}^2 - n_0^2}{\bar{n}^2 + n_0^2} \right)^2 \quad (2)$$

gelangt man zu einer übersichtlichen Darstellung, wenn man den Ausdruck für die relative optimale Vergütung, $V_r = \frac{\tau_0 - \tau_{\min}}{\tau_0}$, bildet und \bar{n} aus Gl. (1) ersetzt. Dadurch wird

$$V_r = 1 - \left\{ \frac{1 - \frac{n_0}{n_0 - 1} \varphi \cdot g (2 - \varphi g)}{1 - \frac{n_0}{n_0 + 1} \varphi \cdot g (2 - \varphi g)} \right\}^2 \quad (3)$$

Diese Funktion ist von n_0 innerhalb der praktisch vorkommenden Werte nur wenig abhängig. Bild 1 enthält zwei Kurven, die für $n_0 = 1,5$ und $n_0 = 1,7$ berechnet sind. Um eine möglichst zahlenmäßige Angleichung an die gemessenen Punkte zu erzielen, wurden die Werte für φ beispielsweise aus dem NEWTON'schen Refraktionsgesetz $\frac{n^2 - 1}{\rho} = \text{const.}$ entnommen, welches die beste größenordnungsmäßige Uebereinstimmung liefert.

⁹⁾ Vgl. dazu die Arbeiten von W. BILTZ u. Mitarbeitern (Z. anorg. allg. Chem., **234** (1937), S. 253; Glastechn. Ber., **16** (1938), S. 131–135) sowie von E. KORDES (Z. anorg. allg. Chem., **241** (1939), S. 1–38; Z. phys. Chem., B **43** (1939), S. 119 bis 152; Glastechn. Ber., **17** (1939), S. 65–76).

Die im Bild eingetragenen Meßpunkte beziehen sich auf den quantitativ übersichtlichsten Fall der Vergütung durch Säuren. Man sieht, daß die einzelnen Glassorten sich im großen ganzen gut in die durch Gl. (3) gegebene Ordnung einfügen, so daß man für die Praxis auf einfache Weise bei Kenntnis der Gesamtmenge chemisch löslicher

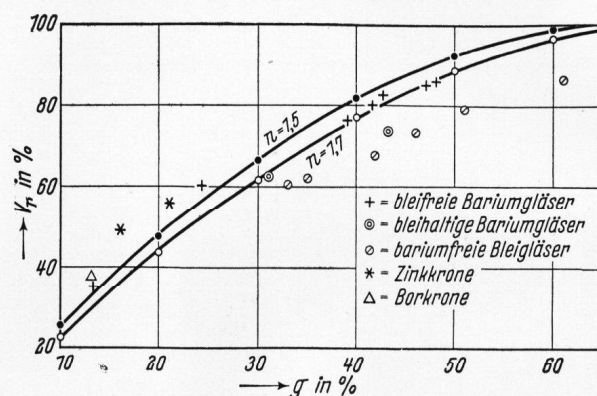


Bild 1. Vergütbarkeit als Funktion des Anteils an chemisch löslichen Glasbestandteilen.

Bestandteile eines Glases den erreichbaren Wirkungsgrad des betreffenden Vergütungsverfahrens abschätzen kann. Umgekehrt lassen sich aus den beobachteten Abweichungen von der Näherungskurve (3) Schlüsse auf Besonderheiten des jeweils maßgebenden Refraktionsgesetzes ziehen. So erweist sich z. B. die Gruppe der vorwiegend bariumhaltigen Gläser deutlich von derjenigen der reinen Bleisilikatgläser getrennt, welche sich ihrerseits durch einen charakteristischen monotonen Kurvenzug verbinden lassen.

Wir haben bei diesen Ueberlegungen bisher stillschweigend die Voraussetzung gemacht, daß bei der Vergütungsreaktion die löslichen Glasbildner gleichmäßig aus der Oberfläche entfernt werden, ohne daß an ihre Stelle gleichzeitig oder nachträglich andere Moleküle treten. In Wirklichkeit ist diese Voraussetzung unter normalen Bedingungen ohne zusätzliche Maßnahmen überhaupt nicht erfüllbar. Bei der Verwendung von Salzschnmelzen ist die Tatsache eines Ionenaustausches durch Diffusion an der Glasoberfläche schon seit langem bekannt¹⁰⁾. Insbesondere war z. B. von G. SCHULZE¹¹⁾ festgestellt worden, daß aus geschmolzenem Silbernitrat schon bei 250° Silber in Form von Ionen in Alkaligläser hineindiffundiert, wobei die Konzentration des Silbers von der Oberfläche nach dem Glasinnern zu stetig abnimmt. Das Vorhandensein einer solchen Inhomogenität der Oberfläche gibt sich gerade im optischen Reflexionsvermögen in charakteristischer Weise zu erkennen, worauf neuerdings in einer Bemerkung von GEFFCKEN¹²⁾ hingewiesen wurde. Auch bei der Einwirkung von wässrigen Salzlösungen ist nach JONES u. HOMER³⁾ ein Austausch von Metallionen zwischen Glas und Lösung denkbar, jedoch liegen darüber noch keine quantitativen Beobachtungen vor. Handelt es sich dagegen um den Angriff einer verdünnten Säure, so ist zu erwarten, daß die Wasserstoffionen, welche an die Stelle der gelösten Metallionen treten, mit den zugehörigen Sauerstoffatomen sich zu Wasser verbinden, das als

¹⁰⁾ A. HEYDWEILER u. F. KOPFERMANN, Ann. d. Phys., (4) **32** (1910), S. 739–748. (Ref. Glastechn. Ber., **5** (1927/28), S. 432.)

¹¹⁾ Günther SCHULZE, Ann. d. Phys., (4) **40** (1913), S. 335 bis 367. (Ref. Silikat-Z., **1** (1913), S. 76.)

¹²⁾ W. GEFFCKEN, Ann. d. Phys., (5) **40** (1941), S. 385.

Hydrat der Kieselsäure in der Schicht eingebaut bleibt. Tatsächlich kann man bei gewissen Glassorten, vor allem solchen, bei denen die Vergütung auf einer Entfernung des BaO beruht, dieses Wasser schon durch mäßiges Erhitzen größtenteils vertreiben, was daraus hervorgeht, daß das Reflexionsvermögen τ_{\min} dadurch noch erheblich schwächer wird als unmittelbar nach der chemischen Behandlung. Dieser Zustand ist jedoch nach dem Abkühlen gegenüber atmosphärischer Luft nicht beständig; τ_{\min} steigt hier vielmehr in kurzer Zeit auf einen Wert, der je nach der Glasart in vielen Fällen sogar beträchtlich über dem Ausgangswert nach der Vergütung liegt. Wie in einem ausführlichen Bericht an anderer Stelle gezeigt wird¹³⁾, ist dieser Anstieg auf die Adsorption von Wasserdampf (und in geringem Maße CO₂) aus der Luft zurückzuführen, und zwar erfolgt dieselbe auch ohne vorheriges Tempern und selbst bei Schichten, welche ohne Verwendung wässriger Lösungen hergestellt sind. Die Meßpunkte von Bild 1 beziehen sich daher durchwegs auf den wasserfreien Zustand, soweit er durch Erhitzen auf 200°–300° erreicht wird. Die Tatsache, daß die bleihaltigen Gläser sämtlich gegenüber den bariumhaltigen nach rechts verschoben sind, dürfte, allerdings nur teilweise, dadurch bedingt sein, daß bei den ersteren die bei der chemischen Reaktion gebildeten Wassermoleküle zu fest an das Schichtgefüge gebunden sind, als daß sie bei vorübergehender Erwärmung wieder abgegeben würden.

Das Adsorptionsvermögen der Schichten zeigt einige auffallende Eigentümlichkeiten. Frisch vergütete Gläser bleiben z. B. in ihren optischen Werten unverändert, solange man sie in Wasser liegen läßt; sobald man sie jedoch an die freie Luft bringt, setzt innerhalb weniger Stunden, je nach dem Feuchtigkeitsgehalt, der erwähnte Anstieg von τ_{\min} infolge der Adsorptionsvorgänge ein. Die mangelnde Fähigkeit zur Adsorption der Flüssigkeit besteht übrigens auch gegenüber organischen Substanzen wie Aethylalkohol u. a. Ueberraschend ist ferner, daß beim Wiedereintauchen der Schichten das Wasser im Verlauf von einigen Stunden wieder aus ihnen herauswandert, worauf beim Trocknen von neuem die Feuchtigkeitsanlage beginnt.

Die quantitative Untersuchung des Adsorptionsmechanismus der Schichten erfolgte durch Prüfung der Abhängigkeit des Reflexionsvermögens von Druck und Temperatur in reiner Wasserdampf-atmosphäre. Die gemessenen Adsorptionsisothermen erwiesen sich in der Gestalt den LANGMUIRSchen Isothermen ähnlich, jedoch sind im Gegensatz zu diesen die im Hochvakuum gemessenen Werte temperaturabhängig. Die formale Analyse der Kurven ergibt¹³⁾, wie hier nur kurz erwähnt sei, daß die bei isothermer Druckabnahme stattfindende Desorption des Wasserdampfes energetisch nahezu gleichbedeutend mit Verdampfung ist, während die beim Druck \rightarrow 0 noch verbleibende wahrscheinlich monomolekulare Dampfschicht durch die spezifischen Oberflächenkräfte der Kieselsäureschicht gebunden wird.

Die daraus gefolgerte Fähigkeit der zersetzten Glasoberfläche, Gase in mehrfachen Moleküllagen adsorbiert zu halten, äußert sich auch in den Erscheinungen von Kapillarkondensation. Diese gibt sich durch eine Umkehr des Reflexionsvermögens bei etwa 0,7fachem Sättigungsdruck zu erkennen, welche außerordentlich temperatur-

empfindlich ist und bei weiterer Drucksteigerung in einen steilen Abfall der Reflexion übergeht. Der Versuch, aus ihrem Umkehrpunkt die Dampfdruckerniedrigung in den Kapillaren und damit deren Minstdurchmesser zu bestimmen, kann allerdings nur eine obere Grenze dafür liefern, da die tatsächliche Abweichung der gemessenen Isothermen von einer kondensationsfreien möglicherweise schon bei viel niedrigerem Druck als dem des Umkehrpunktes beginnen kann. Diese obere Grenze ergibt sich für den Minstdurchmesser der Poren zu etwa $6 \cdot 10^{-7}$ cm. Bei Annahme einer statistisch gleichmäßigen Verteilung der löslichen Glasbildner in der Glasoberfläche findet man jedoch, daß eine solche Porengröße selbst bei einem hohen prozentualen Anteil löslicher Moleküle nur sehr selten auftreten wird. Der mittlere Durchmesser der Kapillaren muß daher erheblich kleiner (etwa $0,8$ – $1,2 \cdot 10^{-7}$ cm) sein.

Die optische Beobachtung des chemischen Vergütungsprozesses selbst erbrachte einige interessante Beiträge in Bezug auf die im einzelnen sich abspielenden Vorgänge. Die einzelnen Glassorten zeigen dabei charakteristische Unterschiede, wobei besonders das Verhalten der stark bariumhaltigen Gläser bei der Vergütung in Säuren bemerkenswert ist. In

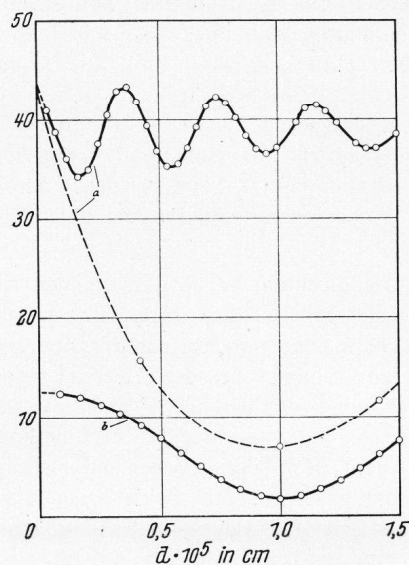


Bild 2. Verlauf des Reflexionsvermögens zweier Gläser während der Säure-Vergütung.

der Vergütungsschicht eingesetzt ist, also auf letztere umgerechnet. Die auf die Zeit null extrapolierten Ausgangswerte entsprechen innerhalb der Meßgenauigkeit dem FRESNELSchen Gesetz

$$\tau_0 = \left(\frac{n_0 - n'}{n_0 + n'} \right)^2,$$

wobei n_0 den Brechungsindex des unzersetzten Glases, n' den der Flüssigkeit bedeutet. Während nun beim Glas b das Reflexionsvermögen längs der ganzen Kurve jeweils mit demjenigen übereinstimmt, das man im gleichen Augenblick an Luft, umgerechnet auf deren Brechungsindex, messen würde, besteht bei a keine solche Beziehung zwischen den in der Flüssigkeit und beim Herausnehmen an Luft gefundenen Werten. Der Unterschied macht sich auch visuell kenntlich: Bei Betrachtung in weißem Licht stimmt der Interferenzfarbton der Oberflächenschicht beim Glas b (wie bei den meisten übrigen Glassorten) während der Vergütung in der Lösung und im getrockneten Zustand (nahezu) vollkommen überein, während bei den stark bariumhaltigen Gläsern die Farbe

in Bild 2 ist der zeitliche Verlauf des Reflexionsvermögens τ dargestellt, der an zwei Gläsern, einem bariumhaltigen (a) und einem bariumfreien (b) nach dem Einbringen in verdünnte Salpetersäure in grün gefiltertem Licht mittels Photozelle gemessen wurde (ausgezogene Kurven); der Zeitmaßstab ist so genormt, daß für beide Platten in der Figur als Abszisse die Dicke

¹³⁾ H. SCHRÖDER, Z. techn. Phys., im Druck.

des reflektierten Lichts in der Flüssigkeit nur schwach ausgeprägt ist und eine oft mehrfach größere Schichtdicke vortäuscht. Eine überschlagsmäßige Auswertung der in Bild 2 wiedergegebenen (ausgezogenen) Kurve für das Glas a führt zu dem Ergebnis, daß hier während der Ausbildung der eigentlichen Vergütungsschicht über derselben sich eine zweite Schicht wachsender Dicke ausbreitet, deren Brechungsindex ungefähr mit dem übereinstimmt, den die Vergütungsschicht bei Durchtränkung mit der Flüssigkeit besitzt¹⁴⁾. Sobald die zersetzte Glasoberfläche an der Luft zu trocknen beginnt, bricht diese Deckschicht zusammen, denn beim Wiedereintauchen in Wasser oder verdünnte Säure erscheint die Oberfläche in der der Vergütungsschicht allein zukommenden Farbe und Reflexionsintensität, welche dann durch die gestrichelte Kurve beschrieben wird. Dabei lagern sich offenbar die Bruchstücke über die Poren der unteren Schicht, da der weitere chemische Angriff nun außerordentlich verlangsamt und ungleichmäßig vonstatten geht. Bei der Entstehung besitzt die Deckschicht jedoch eine bemerkenswerte Stabilität, so daß sie z. B. durch kräftiges Bespülen nicht zerstört wird.

Die spektralanalytische Untersuchung der bei der Vergütung eines solchen Glases benutzten Säurelösung ergab, daß auch das Silikatgerüst bei der chemischen Oberflächenreaktion in beträchtlichem Maße in Lösung geht. Ob die beobachtete Deckschicht sich daher aus Resten des Kieselsäuregefüges oder etwa bestimmten Verbindungen der SiO_2 -Gruppen mit sonstigen schwerlöslichen Bestandteilen zusammensetzt, kann bei dem komplizierten Aufbau des vorliegenden Glases vorläufig nicht entschieden werden.

Diese zunächst auf indirektem Wege gewonnenen Ergebnisse konnten darüber hinaus auch durch eine unmittelbare Messung der beim Zusammenbruch der obersten Glasfläche entstehenden „Stufen“ an der Grenze gegen einen chemisch unbehandelt gebliebenen Flächenteil des Glases bestätigt werden. Die angewandte Meßmethode entsprach dem von WIENER¹⁵⁾ angegebenen Interferenzverfahren zur Bestimmung sehr kleiner Schichtdicken. Es beruht darauf, daß auf die gut planpolierte, halbförmig vergütete Glasplatte eine zweite Planplatte so aufgelegt wird, daß sie mit der Probeplatte einen dünnen keilförmigen Zwischenraum einschließt, dessen Kante senkrecht zur Trennlinie zwischen vergüteter und unvergüteter Fläche verläuft. Bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht entstehen somit zwischen den beiden Platten Interferenzstreifen parallel zur Keilkante. Setzt sich nun an der Probeplatte der vergütete Teil von dem unvergüteten infolge eines Abbaus der Glassubstanz durch eine Stufe ab, so sind die Interferenzen an der Trennlinie der beiden Glashälften mit scharfem Knick gegeneinander verschoben, dessen Ausmessung unmittelbar die Stufenhöhe liefert.

Die nach diesem Verfahren durchgeführten Messungen zeigten, daß die im Säurebad erzeugte Vergütungsschicht bei gewissen stark bariumhaltigen Gläsern nach dem Trocknen gegenüber dem unbehandelten Glas tatsächlich um eine Stufe tiefer liegt, deren Höhe mit derjenigen übereinstimmt, welche aus der Reflexionsmessung von Bild 2 für die erwähnte „Deckschicht“ abzuleiten war.

¹⁴⁾ Ueber eine eingehendere quantitative Untersuchung dieser Erscheinung soll später berichtet werden.

¹⁵⁾ O. WIENER, Ann. d. Physik, 31 (1887), S. 629.

In Bild 3 ist der Zusammenhang zwischen der Dicke d_0 der eigentlichen Vergütungsschicht und der Stufenhöhe Δh für ein Bariumglas durch Kurve 1 und für ein Bleiglas durch Kurve 3 dargestellt. Die Steilheit der Kurven ist naturgemäß etwas temperaturabhängig wegen der verschiedenen Einwirkung der Temperatur auf die beiden Reaktionsgeschwindigkeiten, sie wird außerdem in geringem Maße durch die Konzentration der Lösung beeinflusst.

Die Abbruchstellen des Kiesel säuregerüsts zeichnen sich durch eine beträchtliche Erhöhung der nicht abgesättigten Nebenvalenzkräfte aus, die sich in einer Verstärkung des Adsorptionsvermögens z. B. gegenüber Wasserdampf kundgibt. Auch diese Erscheinung konnte auf rein optischem Wege festgestellt werden. Bei der Prüfung der Wellenlängenabhängigkeit der durch Desorption verursachten Aenderung des Reflexionsvermögens zeigte sich nämlich, daß diese nicht dem für eine homogene Brechzahländerung zu erwartenden Verlauf entsprach, sondern eindeutig auf die Ausbildung einer optischen Inhomogenität hinwies; dabei war zu folgern, daß während der Desorption des Wasserdampfes der Brechungsindex des Schichtinneren eine stärkere Abnahme erfährt als an der Oberfläche, was wieder darauf schließen läßt, daß an letzterer die adsorbierten Moleküle fester gebunden sind.

Besonders auffallend ist das Verhalten der Schichten, wenn sie erstmalig höherer Temperatur ausgesetzt werden. Man kann meist schon bei visueller Beobachtung erkennen, daß nach dem Abkühlen eines wärmebehandelten vergüteten Glases die Interferenzfarbe des reflektierten weißen Lichts sich im Sinne einer Verkleinerung der optischen Schichtdicke $\bar{n}d$ geändert hat¹⁶⁾. Da man aus den Werten des Reflexionsvermögens ersehen kann, daß der Brechungsindex \bar{n} der Schicht nach dem Tempern praktisch unverändert ist, muß also die geometrische Dicke d sich irreversibel vermindert haben. Diese thermische Schrumpfung der Schichten ist insofern überraschend, als sie schon bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen (100–200°C) einsetzt und bei manchen Glasarten selbst bei Zimmertemperatur nach längerer Zeit, wenn auch in geringerem Maße, zu beobachten ist. Sie tritt prinzipiell bei allen chemisch vergüteten Gläsern auf, wobei der Grad des Schrumpfungsvermögens im allgemeinen mit dem Gehalt an löslicher Substanz steigt.

Die quantitative Untersuchung des Effekts wurde wieder mit Hilfe des WIENER'schen Interferenzverfahrens vorgenommen. Bild 3 zeigt für ein Bariumglas in Kurve 2

Die quantitative Untersuchung des Effekts wurde wieder mit Hilfe des WIENER'schen Interferenzverfahrens vorgenommen. Bild 3 zeigt für ein Bariumglas in Kurve 2

¹⁶⁾ Eine Beobachtung dieses Effekts ist auch in der Arbeit von JONES und HOMER (s. Anm. 8)) erwähnt, ferner in einer gleichzeitig erschienenen Arbeit von K. B. BLODGETT, Rev. Sci. Instr., 12 (1941), S. 10.

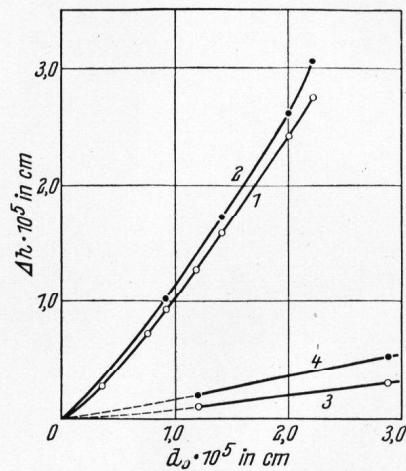


Bild 3. Zusammenhang zwischen Dicke und „Stufenhöhe“ der Schichten zweier Gläser.

die Stufenhöhe, welche gegenüber dem Ausgangszustand (Kurve 1) nach mehrstündigem Tempern auf 250° gemessen wurde; man ersieht daraus, daß die Wärmebehandlung eine irreversible Schrumpfung der Schichtdicke um etwa 9% bewirkt hat. Kurve 2 stellt bereits den bei 250° erreichbaren Endzustand dar, der sich auch bei höherer Temperatur nicht mehr wesentlich verändert.

Bei den nicht bariumhaltigen Blei-Silikatgläsern ist die thermische Schichtdickenänderung nach den bisher vorliegenden Meßergebnissen durchwegs von etwas geringerem Grad als bei Gläsern von gleichem molarem Bariumgehalt. Für ein solches Glas wird die thermische Umwandlung der Schicht in Bild 3 durch den Uebergang von Kurve 3 in Kurve 4 veranschaulicht. Eine Untersuchung der Abhängigkeit des Schrumpfungsvermögens von der Glaszusammensetzung dürfte einige beachtenswerte Hinweise für die Erkenntnis des Aufbaus der Gläser liefern.

Die Fähigkeit der vergüteten Glasoberfläche, ihre Struktur schon bei geringer Temperaturerhöhung so stark zu verändern, daß dabei eine lineare Schrumpfung bis zu 10% auftritt, ist insofern besonders bemerkenswert, als einerseits der glasige Zustand der Schichten beim Tempern im Bereich der angegebenen Schichtdicken nicht zerstört wird und andererseits ihre mechanische Festigkeit vor der Wärmebehandlung im allgemeinen kaum hinter der der unzersetzten Glasoberfläche zurücksteht. Allerdings ist nach dem Tempern gewöhnlich eine deutliche Zunahme der Härte festzustellen, welche dann die des normalen Glases häufig übertrifft¹⁷⁾. Die Umwandlungsfähigkeit der Schichten unter Beibehaltung des Glaszustands hat jedoch bei Schichtdicken, welche nicht weit jenseits der Kurvenendpunkte in Bild 3 liegen, eine Grenze: Bei diesen dickeren Schichten bilden sich nämlich durch das Tempern unzählige mikroskopisch feine Risse in der Oberfläche, welche dieselbe schließlich völlig trüb werden lassen und sogar, was auch JONES und HOMER⁸⁾ beobachteten, zu einem Absplintern der Schicht führen können. Diese Erscheinung dürfte indessen weniger in einem abweichenden Verhalten der Schicht selbst als vielmehr in dem Auftreten von Spannungen begründet sein, welche an ihrer Grenze gegen das Glasinnere infolge des verschiedenen thermischen Ausdehnungsvermögens auftreten; allerdings wäre zu erwarten, daß die Rissebildung schon bei viel kleineren Schichtdicken einsetzen würde. Hier scheinen außerdem Einflüsse noch unbekannter Art mitzuwirken, da sich selbst Proben von gleicher Glasart trotz scheinbar gleicher chemischer und thermischer Behandlung nicht ganz einheitlich in Bezug auf die Schichtdickengrenze der thermischen Stabilität verhalten.

Die gesinterten Schichten zeichnen sich ferner durch wesentliche Veränderungen in der chemischen Reaktionsfähigkeit gegenüber den nicht gesinterten aus. Diese erweist sich nämlich, wie auch JONES und HOMER⁸⁾ sowie BLODGETT¹⁶⁾ berichten, so stark herabgesetzt, daß man solche Schichten als idealen Korrosionsschutz des Glases gegen chemische Angriffe aller Art verwenden kann, so daß z. B. auch die Fleckenempfindlichkeit optischer Gläser dadurch restlos beseitigt werden kann. Die Wirksamkeit der getemperten Schichten sei durch folgende

Beispiele erläutert: Gläser, welche ungeschützt schon in wenigen Minuten von Säuren merklich zersetzt werden, zeigen mit der gesinterten Vergütungsschicht versehen, selbst nach tagelangem Liegen im gleichen Säurebad keine Spur einer weiteren Einwirkung. Auch alkalische und Verwitterungseinflüsse werden in beträchtlichem Maße abgeschwächt; so war z. B. an einem Glas, dessen polierte Oberfläche in kaltem Wasser nach 15 Stunden stark verwittert war, nach Herstellung der Schutzschicht bei 5mal längerer Behandlung in Wasser keine Veränderung zu bemerken; in kochender Sodalösung wurde für gleichen Verätzungsgrad etwa die 10fache Zeit gegenüber dem ungeschützten Glas gemessen.

Diese außerordentliche Steigerung der chemischen Passivität mag bis zu einem gewissen Grade eine Folge der Oberflächenverkleinerung der Schicht beim Tempern durch Schließung und Verengung der Poren sein, das Wesen des Vorgangs wird damit aber zweifellos nicht ausgedrückt. Ueberdies konnte aus Messungen der Wasserdampfadsorption an gesinterten Schichten entnommen werden, daß ihre effektive Oberfläche durch die Wärmebehandlung nur um einen verhältnismäßig geringen Bruchteil reduziert wird. Immerhin dürfte dieser ausreichend sein, um die Tatsache zu begründen, daß die getemperten Schichten trotz der starken Dichtezunahme keine wesentlichen Veränderungen im optimalen Reflexionsvermögen τ_{\min} (vgl. Gleichung (2)) erkennen lassen. Die dichtere Schicht besitzt eben zusammen mit der geringeren Menge adsorbierter Fremdmoleküle im Normalzustand ungefähr den gleichen Brechzahlwert wie vor dem Sintern.

3. Das Problem der Haftfestigkeit glasfremder Schichten.

Die hier auftretenden Fragen mögen an dieser Stelle nur andeutungsweise Erwähnung finden und sollen in einem späteren Bericht eingehender behandelt werden. Bei allen glasfremden Schichten ist für die Anwendbarkeit in der Praxis die Frage der mechanischen Festigkeit von ausschlaggebender Bedeutung. Sie erfordert erstens eine genügende Festigkeit der Schichten in sich, zweitens eine entsprechende Haftfestigkeit auf dem Glas. Letztere setzt das Vorhandensein chemischer oder VAN DER WAALS'scher Bindungskräfte zwischen Glasoberfläche und Schichtsubstanz voraus. Da eine rein chemische Bindung die Möglichkeit einer Oberflächenreaktion zur Bedingung hat, wird man im allgemeinen zur Einleitung derselben bei geeigneten Partnern während oder nach dem Aufbringen der Schicht zusätzlich eine gewisse Aktivierungsenergie zuführen müssen, z. B. durch Erhitzen des Glases. Ueber die so ermöglichten Oberflächenreaktionen ist bisher nur in einzelnen Fällen Genaueres bekannt geworden. So konnte z. B. DE BOER¹⁸⁾ nachweisen, daß beim Erhitzen von vakuumsublimierten CaF_2 -Schichten auf Glas durch die anhaftende Wasserhaut Flußsäure sich bildet, wodurch die Schicht eine alkalische Reaktion annimmt. Ob hierbei sich außerdem noch eine chemische Reaktion mit den eigentlichen Glasbildnern abspielt, ist ungewiß, wird aber durch manche Beobachtungen wahrscheinlich gemacht. In den weitaus häufigsten Fällen jedoch wird die Haftfestigkeit der glasfremden Schichten lediglich durch Adsorptionskräfte bewirkt, die sich beim Vorhandensein von Dipol-Molekülen in der Schicht besonders stark geltend machen können. Man kann daher gegebenenfalls die Festigkeit einer Schicht dadurch er-

¹⁷⁾ Unsere diesbezüglichen Messungen beziehen sich auf die Ritzhärte der Oberfläche. Vgl. auch K. B. BLODGETT a. a. O. (Anm. ¹⁶⁾).

¹⁸⁾ J. H. DE BOER, Z. phys. Chem., (B) 25 (1934), S. 399.

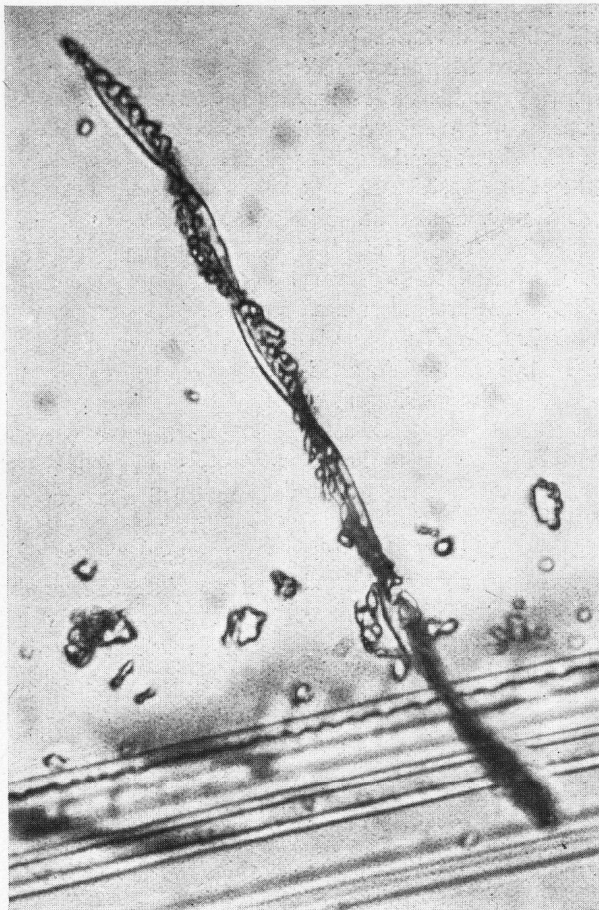
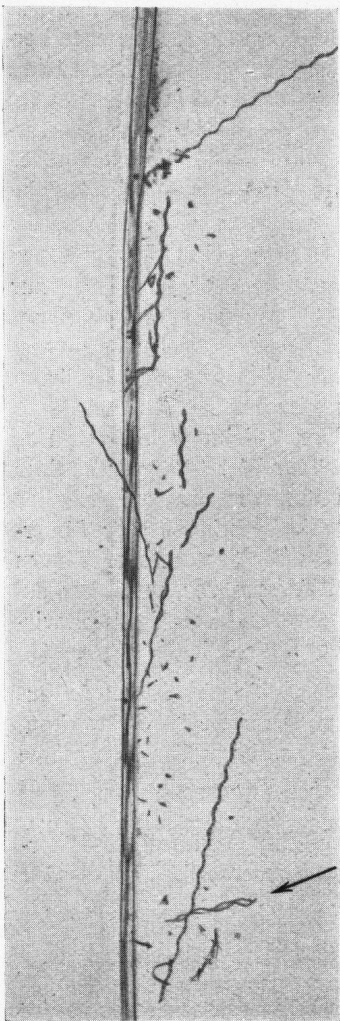


Bild 2 (links). Spanlocke aus Glas, geritzt mit Diamant.
Vergr. 220 \times , durchfallendes, gewöhnliches Licht.

Bild 3 (rechts). Spanlocke aus Glas, geschnitten mit Diamant.
Vergr. 1350 \times , gewöhnliches, durchfallendes Licht.

sich jedoch sowohl am Glas als auch an anderen spröden Schleifobjekten feststellen. Je härter das Schleifmittel ist, eine umso geringere Kraftbeanspruchung ist zur Erzielung einer gewissen Ritzspur auf der gegebenen Oberfläche erforderlich. Das äußert sich mit besonderer Deutlichkeit in den Fällen, bei denen die Unterschiede der Härte des ritzenden und des geritzten Körpers nur gering sind, wie z. B. beim Ritzen des weißen Saphirs mit dem roten (Sinter) Rubin. Man merkt es auch beim Ritzen von Siliciumcarbid einmal mit Diamant und das andere Mal mit Borcarbid usw.

Da das einzige Schleifkorn beim Ritzen grundsätzlich die gleiche Bearbeitung ausführt wie z. B. der Drehmeißel bei der spanabhebenden Bearbeitung des Metalls, so war es auf den ersten Blick zwar überraschend, aber doch nicht verwunderlich, bei passender Führung des Schleifkorns auf Glas formvollendete Spanlocken aus Glas zu erhalten. Sie sind zwar mikroskopisch klein, erreichen aber immerhin zuweilen Längen von über 1 mm. Einige Mikroaufnahmen geben eine anschauliche Vorstellung davon.

Das Bild 1⁹⁾ gibt eine deutlich gewendelt erscheinende Spanlocke aus Glas, geritzt mit der Diamant-Oktaeder Spitze, im Maßstab 150:1 wieder. Die Locke hat sich von der Ritzspur im Glase gerade gelöst, ohne sich weit

⁹⁾ Die Mikroaufnahmen wurden mit dem großen Polarisationsmikroskop von R. FUESS, Berlin-Steglitz, angefertigt. Für die Aufnahmen in auffallendem Licht wurden der Universal-Opak-Illuminator und die Epilum-Objektive von C. REICHERT, Wien, mitbenutzt.

davon entfernt zu haben. Die Breite der Spanlocke bewegt sich im Bereich von wenigen μ .

Daß die Spanlocken kein „Zufallsprodukt“ beim Ritzen von Glas darstellen, ersieht man deutlich aus dem folgenden Bild 2 (220facher Maßstab), an dem zahlreiche Spanlocken, alle ausgezeichnet gewendelt, wahrnehmbar sind. Wie auch bei dem Abdrehen des Metalls, entstehen die Späne auf der einen Seite der Ritzspur. Die Richtung des Ritzens im Bild 2 war von oben nach unten.

Auf dem Bild erkennt man eine (mit Pfeil gekennzeichnete) Spanlocke von besonderer Breite, welche die plastische Deformierbarkeit des Glases in eindrucksvoller Weise darlegt.

Eine derartige Spanlocke (Maßstab 1350) ist im Bild 3 dargestellt. An ihr erkennt man einige charakteristische Merkmale der normalen Metalldrehspäne, deren eine

Seite meist glatt, die andere dagegen ausgefranst ist. Vielfach treten nur ganz kurze, einfach gebogene, mit feinstem Staub bedeckte Späne auf, wie z. B. auf dem Bild 4 (Dunkelfeld, Maßstab 1000 \times) erkennbar ist. Die geraden horizontalen Linien sind die Eindrucksspuren von Rubineinkristall im Glas. Das Bild 5 zeigt eine schön gewendelte Spanlocke aus Glas, geritzt mit Sinter-Rubin im Maßstab 1000 \times , bei Auflicht, im Dunkelfeld. Die Abtrennbarkeit der Späne aus dem Glas, die Verdrehung derselben zu den schönst gewendelten Gebilden, ihr zuweilen massenhaftes Auftreten bei einer einzigen Ritzspur führen uns die plastische Deformierbarkeit des Glases

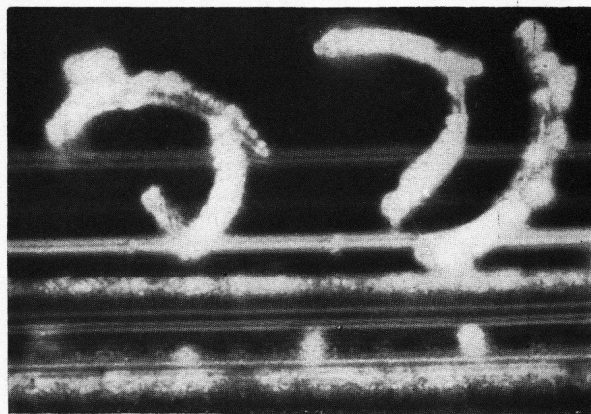


Bild 4.

Kurze Spanlocken aus Glas, geschnitten mit Rubin-Einkristall.
Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

E. O. BERHARDT⁵⁾ wesentliche Beiträge geliefert hatte.

Bekanntlich besteht die Prüfmethode darin, daß eine sehr kleine, im besonderen ZEISS'schen Mikroskopobjektiv eingebaute, geschliffene Diamantpyramide unter einer bekannten Last einen mikroskopisch gut sichtbaren und ausmeßbaren plastischen Eindruck auf glatter Oberfläche verschiedener, selbst noch so spröder Körper, wie Glas, Korund, Siliciumcarbid usw. hinterläßt. Die Größe des Eindrucks mißt einige μ im Quadrat. Die ursprüngliche Ansicht von E. O. BERNHARDT war, daß es sich hierbei in jedem Fall der Mikrospuren eines derartigen Abdrucks um wirklich bruchfreie, völlig plastische Deformation handelt. W. KLEMM und A. SMEKAL⁶⁾ konnten jedoch zeigen, daß es dem nicht ganz so ist und daß nur bei verhältnismäßig geringen Lasten und bei sehr kleinen Spurabmessungen wirklich bruchfreie, echt plastische Deformation derartiger spröder Körper, wie z. B. Glas, stattfindet. G. TAMMANN und H. E. v. GRONOW⁷⁾ untersuchten s. Zt. mikroskopische Ritzspuren mit Diamant auf Glas, kamen aber auf Grund ihrer Beobachtungen zu dem Ergebnis, daß hierbei überhaupt keine plastische Verformung des Glases stattfindet. Somit muß die entstandene Ritzspur nur auf das Ausbrechen des Glases unter der Diamantspitze zurückzuführen sein.

Die mikrophotographischen Aufnahmen von W. KLEMM und A. SMEKAL⁸⁾ (nach der Phasenkontrastmethode) der übereinandergekreuzten Ritzspuren mit Stahlnadel auf polierter Glasoberfläche sprechen überzeugender als eine jede Wortbeschreibung für die echte plastische Deformierbarkeit der Glas-Substanz bei gewöhnlicher Temperatur. Bei Gelegenheit dieser Beobachtungen äußert SMEKAL die Ansicht, daß der Poliervorgang in einer plastischen Deformation der Oberflächenanteile des Körpers bis zur Erlangung der erforderlichen Glätte besteht.

Das Schleifen und Polieren wären demnach grundverschiedene Vorgänge, im Gegensatz zur oft vertretenen Meinung, wonach die Politur eigentlich nur das Feinstschleifen bedeutet. Nach der letzteren Meinung ist zum Polieren eine plastische Deformation des zu bearbeitenden Werkstoffes weder erforderlich, noch u. U. möglich; daß sie beim Schleifen nicht erforderlich ist, scheint unbestreitbar zu sein.

Da das Schleifen und Polieren nicht nur am Metall und Glas, sondern neuerdings auch an den anderen spröden, keramischen Werkstoffen, z. B. insbesondere an der Sintertonerde und ihren Abarten, ein steigendes Interesse gewinnt, wurde in Anlehnung an die eingangs erwähnten Beobachtungen an oxydkeramischen Werkstoffen bei den Festigkeitsuntersuchungen eine Reihe von Beobachtungen über ihr grundsätzliches Verhalten beim elementaren Schleif-Vorgang angestellt.

Während man beim praktischen Schleifen immer von rauhen Oberflächen ausgeht, die durch Bearbeitung allmählich glatt gemacht werden, und hierbei mit viel Schleifmaterial — ob lose oder gebunden ist gleichgültig — daran geht, so daß man die „Geschichte“ einer einzelnen

Schleifspur garnicht verfolgen und auswerten kann, wurde der Elementarvorgang des Schleifens in den eigenen Versuchen an bereits möglichst glatt polierten Oberflächen mit einer einzigen Schleifspur, also mit einem einzigen Schleifkorn mikroskopisch verfolgt. Als Schleifmittel wurden herangezogen Diamant, Borcarbid, Siliciumcarbīd, Rubin (und Sinter-Rubin) und weißer Saphir (bzw. Sinter-tonerde).

Der Diamant kam in Form eines gefaßten natürlichen Kristalls mit freier Oktaeder-Spitze als Schleifinstrument zur Anwendung. Das Stück Borcarbid wurde in Form eines vorhandenen Parallelepipedes mit geraden Winkeln (von der Firma NORTON, VStA.) angewandt. Die eine Dreikant-ecke (mit feinem Diamantstaub nachgeschliffen) wurde als Ritz-Instrument verwendet. Das Siliciumcarbid stand in Form von großen Kristallen zur Verfügung, mit einer scharfen Spitze wurden die Ritzspuren erzeugt. Ähnlich verhielt es sich mit dem Rubin-Einkristall. Der Sinter-Rubin und -Saphir (als Abarten der Sintertonerde) lagen in verschiedenen zugespitzten Formen vor, was aber auf die Ausgestaltung der Ritzspuren und sonstiger Einwirkungen keinen grundsätzlichen Einfluß hatte.

Als das einfachste spröde Schleifobjekt wurde zunächst Glas, und zwar in Form von normalen Mikroskop-Objektträgern, genommen. Gegenüber allen genannten Schleifmitteln ist das Glas recht weich. Sie ritzen das Glas in grundsätzlich gleicher Weise, man beobachtet dabei die gleichen Phänomene. Ein quantitativer Unterschied in der Wirkung verschiedener Schleifmittel läßt

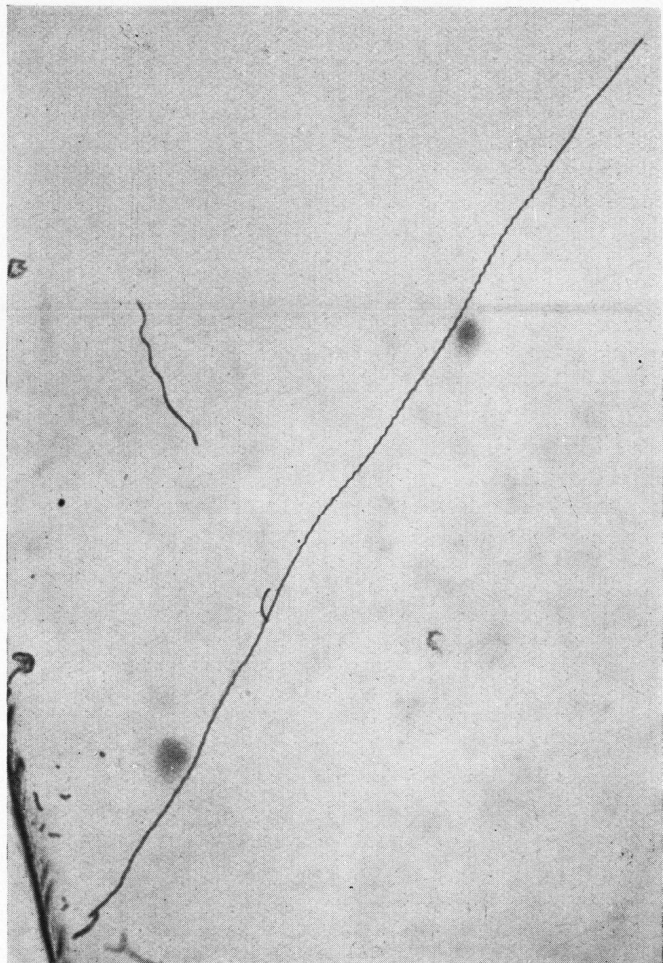


Bild 1. Spanlocke aus Glas, geritzt mit Diamant. Vergr. 150 \times , durchfallendes, gewöhnliches Licht.

⁶⁾ W. KLEMM u. A. SMEKAL, Naturwiss., 29 (1941), S. 710—11. (Ref. Glastechn. Ber., 20 (1942), H. 2, S. 51.)

⁷⁾ G. TAMMANN u. H. E. v. GRONOW, Z. anorg. allg. Chem., 201 (1931), S. 37—40; (Ref. Glastechn. Ber., 11 (1933), S. 33.)

⁸⁾ W. KLEMM u. A. SMEKAL, Naturwiss., 29 (1941), S. 688—690. (Ref. Glastechn. Ber., 20 (1942), H. 1, S. 22.)

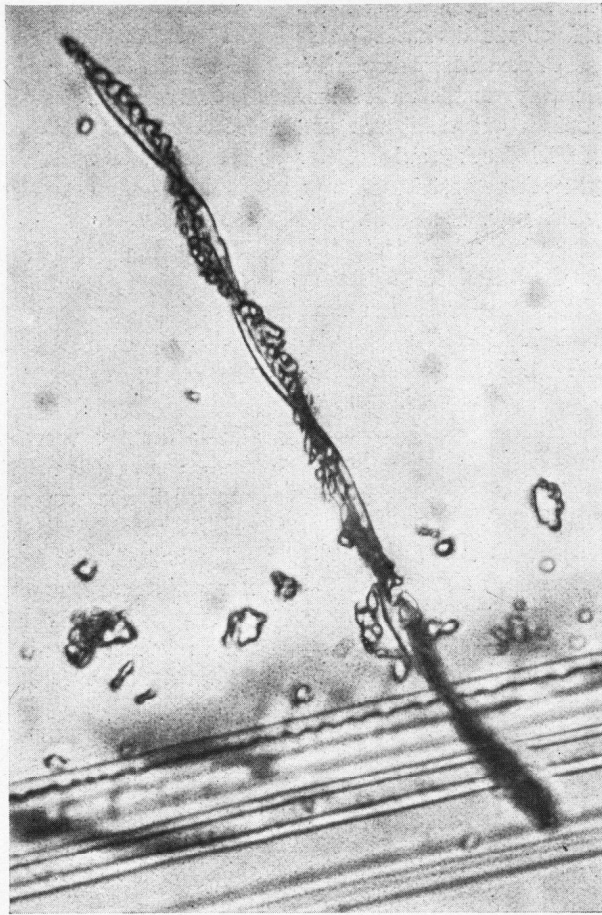
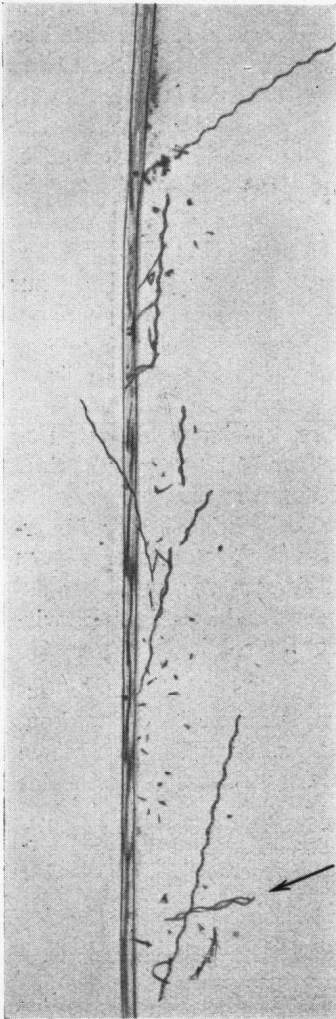


Bild 2 (links). Spanlocke aus Glas, geritzt mit Diamant.
Vergr. 220 \times , durchfallendes, gewöhnliches Licht.

Bild 3 (rechts). Spanlocke aus Glas, geschnitten mit Diamant.
Vergr. 1350 \times , gewöhnliches, durchfallendes Licht.

sich jedoch sowohl am Glas als auch an anderen spröden Schleifobjekten feststellen. Je härter das Schleifmittel ist, eine umso geringere Kraftbeanspruchung ist zur Erzielung einer gewissen Ritzspur auf der gegebenen Oberfläche erforderlich. Das äußert sich mit besonderer Deutlichkeit in den Fällen, bei denen die Unterschiede der Härte des ritzenden und des geritzten Körpers nur gering sind, wie z. B. beim Ritzen des weißen Saphirs mit dem roten (Sinter) Rubin. Man merkt es auch beim Ritzen von Siliciumcarbid einmal mit Diamant und das andere Mal mit Borcarbid usw.

Da das einzige Schleifkorn beim Ritzen grundsätzlich die gleiche Bearbeitung ausführt wie z. B. der Drehmeißel bei der spanabhebenden Bearbeitung des Metalls, so war es auf den ersten Blick zwar überraschend, aber doch nicht verwunderlich, bei passender Führung des Schleifkorns auf Glas formvollendete Spanlocken aus Glas zu erhalten. Sie sind zwar mikroskopisch klein, erreichen aber immerhin zuweilen Längen von über 1 mm. Einige Mikroaufnahmen geben eine anschauliche Vorstellung davon.

Das Bild 1⁹⁾ gibt eine deutlich gewandelt erscheinende Spanlocke aus Glas, geritzt mit der Diamant-Oktaeder Spitze, im Maßstab 150:1 wieder. Die Locke hat sich von der Ritzspur im Glase gerade gelöst, ohne sich weit

⁹⁾ Die Mikroaufnahmen wurden mit dem großen Polarisationsmikroskop von R. FUESS, Berlin-Steglitz, angefertigt. Für die Aufnahmen in auffallendem Licht wurden der Universal-Opak-Illuminator und die Epilum-Objektive von C. REICHERT, Wien, mitbenutzt.

davon entfernt zu haben. Die Breite der Spanlocke bewegt sich im Bereich von wenigen μ .

Daß die Spanlocken kein „Zufallsprodukt“ beim Ritzen von Glas darstellen, ersieht man deutlich aus dem folgenden Bild 2 (220facher Maßstab), an dem zahlreiche Spanlocken, alle ausgezeichnet gewandelt, wahrnehmbar sind. Wie auch bei dem Abdrehen des Metalls, entstehen die Späne auf der einen Seite der Ritzspur. Die Richtung des Ritzens im Bild 2 war von oben nach unten.

Auf dem Bild erkennt man eine (mit Pfeil gekennzeichnete) Spanlocke von besonderer Breite, welche die plastische Deformierbarkeit des Glases in eindrucksvoller Weise darlegt.

Eine derartige Spanlocke (Maßstab 1350) ist im Bild 3 dargestellt. An ihr erkennt man einige charakteristische Merkmale der normalen Metalldrehspäne, deren eine

Seite meist glatt, die andere dagegen ausgefranst ist. Vielfach treten nur ganz kurze, einfach gebogene, mit feinstem Staub bedeckte Späne auf, wie z. B. auf dem Bild 4 (Dunkelfeld, Maßstab 1000 \times) erkennbar ist. Die geraden horizontalen Linien sind die Eindrucksspuren von Rubineinkristall im Glas. Das Bild 5 zeigt eine schön gewandelte Spanlocke aus Glas, geritzt mit Sinter-Rubin im Maßstab 1000 \times , bei Auflicht, im Dunkelfeld. Die Abtrennbarkeit der Späne aus dem Glas, die Verdrehung derselben zu den schönst gewandelten Gebilden, ihr zuweilen massenhaftes Auftreten bei einer einzigen Ritzspur führen uns die plastische Deformierbarkeit des Glases

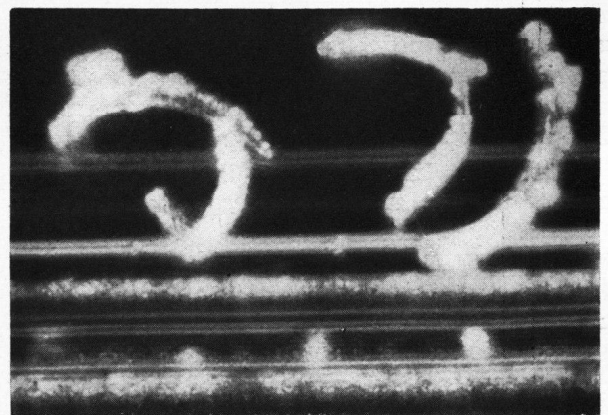


Bild 4.

Kurze Spanlocken aus Glas, geschnitten mit Rubin-Einkristall.
Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.



Bild 5. Spanlocke aus Glas, geschnitten mit Sinter-Rubin.
Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

bei gewöhnlicher Temperatur in der eindringlichsten Form vor Augen.

Die Plastizität des Glases ist aber vielleicht noch deutlicher aus den Eindrucksspuren des Schleifkorns an der Oberfläche zu erkennen.

Das Bild 6 stellt eine derartige Kreuzungs-Spur auf Glas mit Sinter-Rubin dar und bildet eine Analogie zu entsprechenden Kreuzungs-Spur-Aufnahmen von A. SMEKAL. Zur Sichtbarmachung der plastischen Deformation der eingedrückten und verschmierten Glasoberfläche wurde im vorliegenden Fall normales, stark schief durchfallendes Licht verwendet. Der Maßstab ist 460 \times . Mit aller nur wünschenswerten Deutlichkeit erkennt man

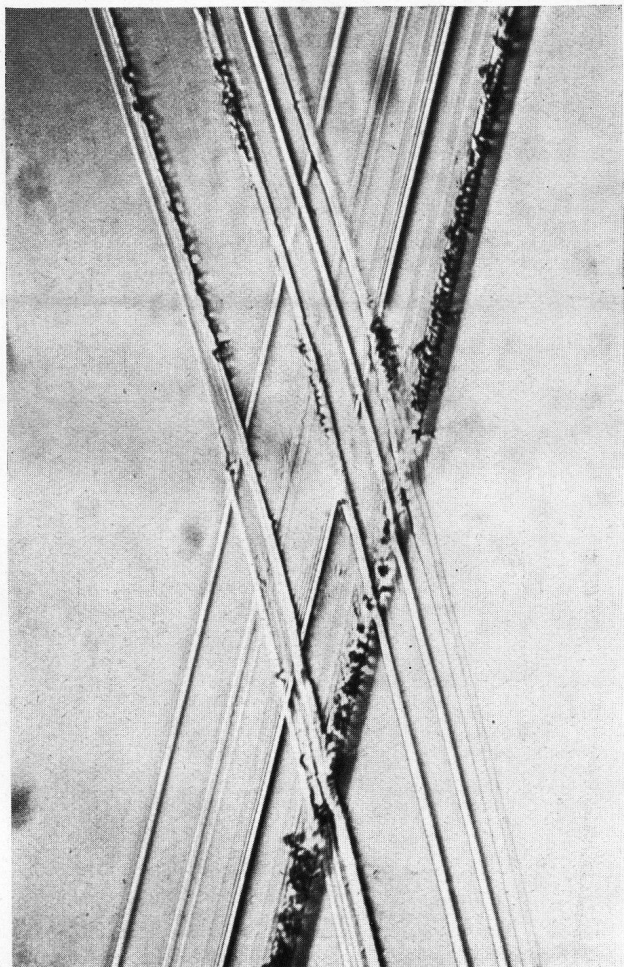


Bild 6. Kreuz-Eindruckspuren auf Glas mit Sinter-Rubin.
Vergr. 460 \times . Schiefes, durchfallendes Licht.

auch hier, daß z. B. der Strich von oben links nach unten rechts über dem Strich von oben rechts nach unten links ausgeführt wurde. Man möchte glauben, hier einen ausgesprochen plastischen Körper vor sich zu haben. Die Spurtiefe kann man nur annähernd schätzen. Sie dürfte hier nur Bruchteile eines μ betragen oder höchstens etwa 1 μ erreichen.

Nun ist es selbstverständlich, daß im normalen Schleifprozeß alle derartigen Effekte völlig verlorengehen. Aus den zahlreichen Spanlocken werden sofort nur Pulverkörnchen, die wirt durcheinanderkreuzenden Schleifspuren lassen die Rillen, die durch Entfernen der Späne, durch Ausbrechen der Glasteilchen oder durch die pla-

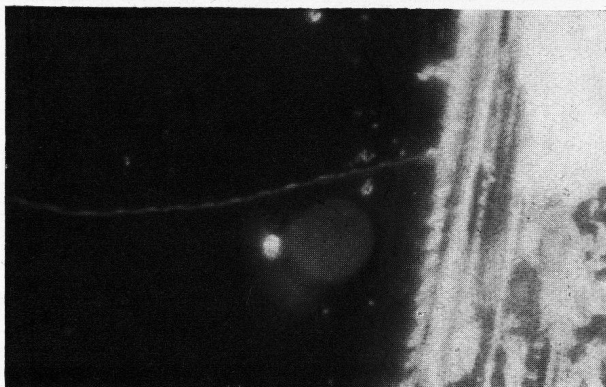


Bild 7. Ritzspur, Risse und Spanlocke am Quarzglas,
erzeugt mit Diamant.
Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

stische Deformation der Oberfläche entstehen, nicht mehr unterscheiden¹⁰⁾.

Es war natürlich interessant, diese Einkorn-,„Schleif“-versuche auch auf andere spröde Materialien auszu-dehnen.

Das Quarzglas erweist sich erwartungsgemäß bei den Ritzversuchen als erheblich spröder als gewöhnliches Glas. Es ist jedoch auch hier das Auftreten von verhältnismäßig langen, allerdings nur etwa 0,5 μ oder weniger breiten Spanlocken zu beobachten, wie das Bild 7 zeigt. Das Bild der mit Diamant geritzten Quarzglasoberfläche ist der deutlicheren Sichtbarkeit wegen im auffallenden Licht bei Dunkelfeld-Beleuchtung (Maßstab 1000 \times) aufgenommen.

Zahlreiche Bruchstellen, die an der Ritzspur beginnen, sowie das feinste Quarzpulver, überstrahlen einen Teil des Gesichtsfeldes.

Das Auftreten der plastischen Eindrücke auf der Oberfläche, ähnlich dem Bild 6, ist auch bei Quarzglas gut zu beobachten.

Verschiedene Versuche, an einem Bergkristall durch Ritzen mit Diamant, Borcarbid, Rubin und Sinter-Saphir gewendelte Spanlocken zu erhalten, glückten nicht. Das Bild 8 stellt bei auffallendem Licht in Dunkelfeldbeleuchtung im Maßstab 225 \times aufgenommene Ritzspur und Späne, hervorgerufen am Bergkristall mit Diamant, dar.

Als Späne erscheinen gerade, nicht gewundene, höchstens gewinkelte Bruchstücke aus der angeritzten Schicht des Quarzkristalls. Wird nicht die natürliche Kristall-

¹⁰⁾ Wie schwierig die Verfolgung des normalen Schleifvorganges am Glas und seine Deutung ist, ersieht man z. B. aus einer Arbeit von N. I. POLJAKOW, „Untersuchung des Glasschleifprozesses“. Opt. mechan. Ind., 10 (1941), Nr. 12, S. 7–12. (Ref. in Glastechn. Ber., demnächst.)

oberfläche selbst angeritzt, sondern eine geschliffene und polierte Oberfläche des Bergkristalls, bleibt das Ergebnis unverändert. Das Quarzglas und der Quarzkristall verhalten sich also der plastischen Deformation im mikroskopischen Maßstabe gegenüber verschieden, und zwar weist das Quarzglas eine höhere plastische Deformierbarkeit bei normaler Temperatur auf.

Selbst so spröder Körper wie der kristalline Beryll ($3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) weist, mit Diamant geritzt, eine Spanbildung auf, wie man aus dem Bild 9 im 1500fachen Maßstab erkennt. Die polierte Oberfläche des geritzten Beryllkristalls (man beachte die sich kreuzenden Politurspuren im rechten Teil des Bildes, ähnlich dem Bild 6) ist im auffallenden Licht bei Hellfeld-Beleuchtung aufgenommen. Der Span ist aus der Ritzspur noch nicht herausgerissen und hängt wie ein Ast am Stamm fest. Wie man aus dem Bild 10 ersieht (auffallendes Licht, Dunkelfeld, Maßstab $1000\times$), können sich aus Beryll auch dünne gewendelte regelrechte Spanlocken bilden, wie wir sie an Glas und an Quarzglas kennen gelernt hatten. — Da das freie Ende der Spanlocke von der angeritzten Oberfläche weg in die Höhe gerichtet ist, konnte die Scharfeinstellung des sehr kurzbrennweitigen Objektivs hoher Apertur nicht gleichzeitig auf die ganze Locke erfolgen, das freie Ende erscheint daher verschwommen.

Die Spur an polierter Periklas-Oberfläche, (geschmolzene Magnesia) mit Diamant geritzt, ist bei auffallender Dunkelfeldbeleuchtung im Bild 11 (Maßstab $1000\times$) dargestellt. Man sieht 3 parallel zueinander liegende kurze

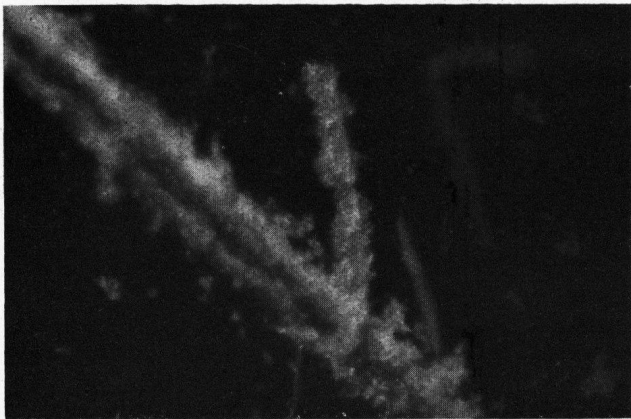


Bild 8.

Ritzspur und Späne am Bergkrystall, erzeugt mit Diamant. Vergr. $225\times$. Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

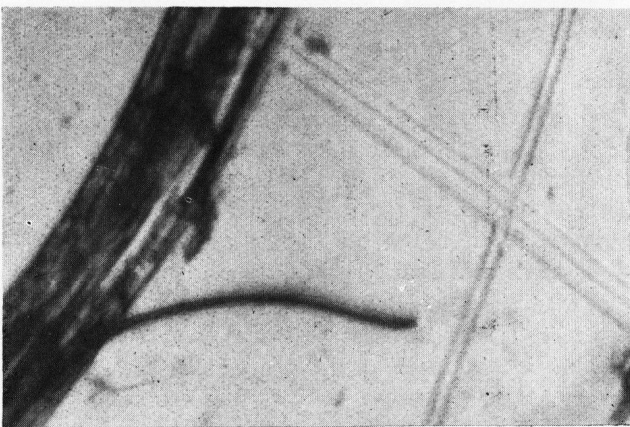


Bild 9. Ritzspur und Span an polierter Beryll-Oberfläche mit Polier-Riefen, erzeugt mit Diamant. Vergr. $1500\times$. Auffallende Hellfeld-Beleuchtung.

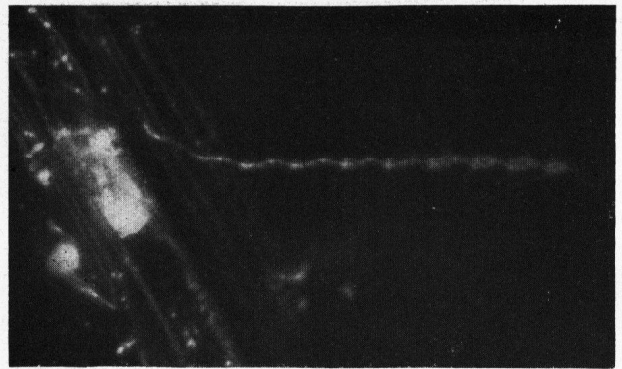


Bild 10. Ritzspur und gewendelte Spanlocke aus Beryll, erzeugt mit Diamant.

Vergr. $1000\times$. Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

Spanlocken, die in schwacher einfacher Biegung von einem Rand der Ritzspur zum anderen verlaufen. Im übrigen besteht die Ritzwirkung in der Bildung zahlreicher feinsten Staubteilchen, die in der Nähe der Furche abgelagert sind.

Der farblose Saphireinkristall (synthetisch) ergibt, mit Diamant geritzt, schön ausgebildete gewendelte Spanlocken, wie man z. B. aus dem Bild 12 ersieht, das eine Dunkelfeld-Auflichtaufnahme im Maßstab $1000\times$ darstellt.

Eine besonders schöne und lange Spanlocke, die noch in Verbindung mit ihrer Ursprungsstelle an der Ritzfurche steht, ist im Bild 13, ebenfalls in auffallender Dunkelfeldbeleuchtung, bei 1000 fachem Maßstab dargestellt.

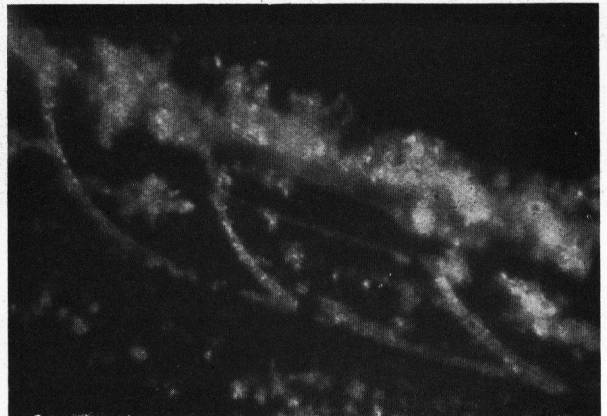


Bild 11.

Ritzspur und Spanlocken an Periklas, erzeugt mit Diamant. Vergr. $1000\times$. Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

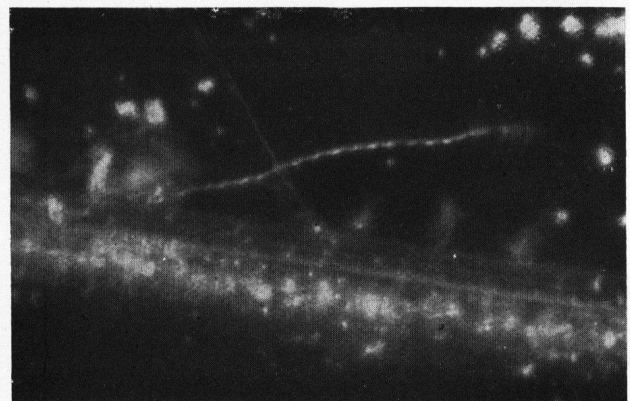


Bild 12.

Ritzspur und Spanlocke auf Saphir, geritzt mit Diamant. Vergr. $1000\times$. Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

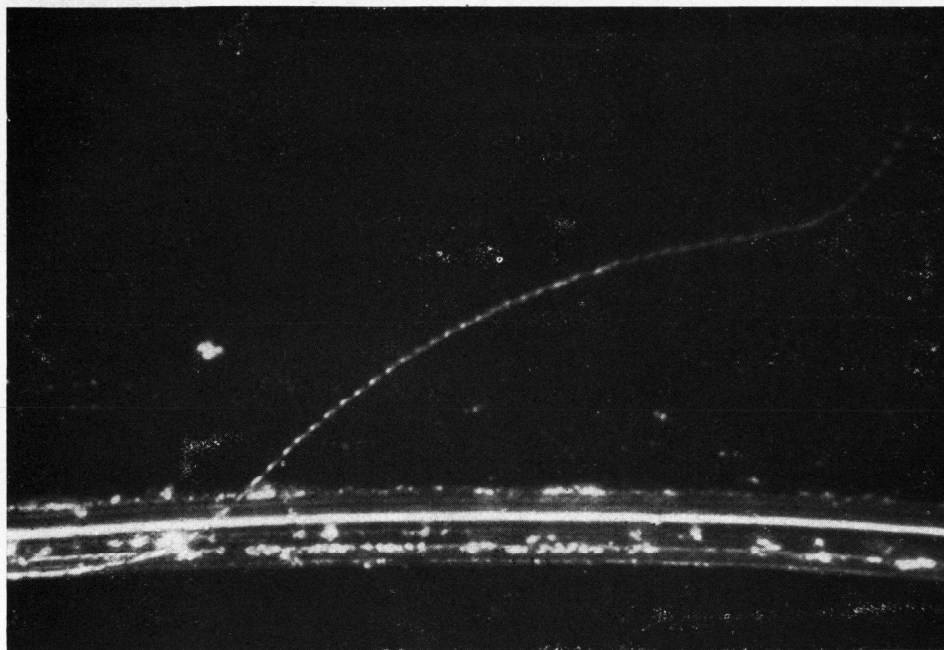


Bild 13. Ritzspur und Spanlocke auf Rubin, geritzt mit Diamant. Vergr. 1000×. Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

Sie ist beim Ritzen eines polierten Rubin-Einkristalls (synth.) mit der Oktaederspitze des Diamantkristalls erzielt worden.

Die plastischen Eigenschaften des Korunds kommen womöglich in noch anschaulicherer Weise zur Geltung bei der Betrachtung des Bildes 14. — Hier haben wir eine Kreuzspur von zwei übereingeführten Ritzfurchen, die auf polierter Einkristall-Saphir-Oberfläche mit polykristallem Sinter-Rubin erzeugt sind. Ähnlich wie auf dem Bild 6 (Kreuzspuren auf Glas mit Diamant) sieht man mit aller Deutlichkeit die Vertiefungen und Erhöhungen der plastisch deformierten Saphir-Oberfläche. Aus der Möglichkeit, Saphir mit (Sinter-)Rubin deutlich einzudrücken und zu ritzen, ersieht man übrigens eine höhere Härte des Mischkristalls über dem Einstoff-Kristall.

Im Bild 15, aufgenommen in auffallendem Licht, bei Dunkelfeldbeleuchtung in 450fachem Maßstab, sind kurze leicht gebogene Spanlocken an der Furche des Siliciumcarbid-Kristalls, geritzt mit Borcarbid, wiedergegeben. Also selbst ein derartig spröder Körper wie SiC bei normaler Zimmertemperatur besitzt Plastizität genug, um verbogene Spanlocken in mikroskopisch sichtbarem Maßstabe zu zeigen.

Vergleicht man diese Bilder mit dem Bild 16, einer Spanlocke (Auflicht, Hellfeld, Maßstab 520×), so ist man geneigt, zu glauben, die abgetrennte Spanlocke aus einem ähnlichen Material wie die vorigen vor sich zu haben. Es handelt sich hier jedoch um einen unlegierten gehärteten Stahl, geritzt mit Diamant.

Bemerkenswerterweise gelingt es mit den gleichen Maßnahmen im allgemeinen nicht, derartige Spanlocken beim Ritzen polierter Oberfläche polykristalliner Sintererden, z. B. Sintertonerde (Sinterkorund) und auch Widia zu erhalten.

Ein typisches Beispiel kann hierfür z. B. die Sinterthorerde (ThO₂) liefern. In Bild 17 ist die Ritzspur, erzeugt mit Diamant, auf polierter Oberfläche eines Stückes Sinterthorerde bei auffallender Dunkelfeldbeleuchtung im Maßstab 375× dargestellt. Man findet hier keine Andeu-

tung von Spanlocken, nur z. T. überaus feinen Staub, der aus den aufgeritzten ThO₂-Kristalliten stammt. Die Kristallite selbst haben hier im Mittel einen Durchmesser von 20 bis 25 μ.

Nur bei der durch ihre Zähigkeit bemerkenswerten Sinterzirkonerde (ZrO₂) konnte beim Ritzen mit Diamanten neben dem üblichen Feinpulver auch das Auftreten von regelrechten Spanlocken bisher beobachtet werden. Das Bild 18 stellt die Dunkelfeld-Auflicht-Aufnahme einer derartigen Ritzspur mit Spanlocken im Maßstab 460× dar. Normalerweise besteht die Wirkung des Schleifkorns auf die Sintererden in der Zerstörung der Kristallite, die an dem Rand der Ritzspur zahlreiche Sprünge aufweisen

oder sogar gänzlich aus dem Kristallitenverband herausgerissen werden. Natürlich schließt der bisherige Befund nicht die Möglichkeit aus, auch an den anderen polykristallinen Sintererden Spanlocken zu erhalten. Jeden-

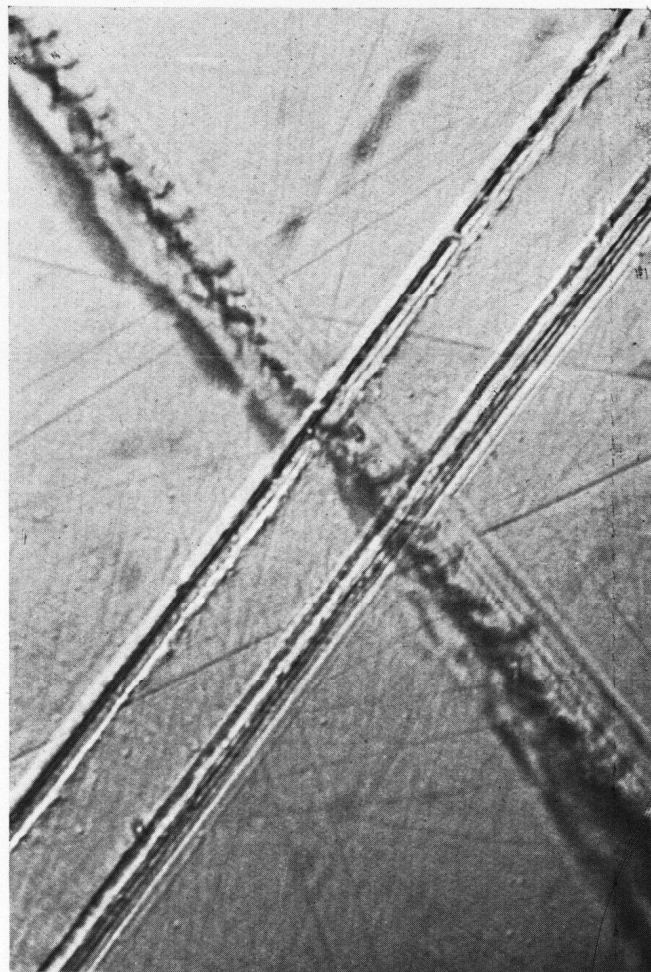


Bild 14. Eindruck-Spuren auf polierter Saphir-Oberfläche mit Sinter-Rubin. Vergr. 700×. Schiefes, durchfallendes Licht.



Bild 15. Ritzspur und Spanlocken auf Siliciumcarbid, geritzt mit Borcarbid.

Vergr. 450 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

falls erweisen sich aber die polykristallinen Körper als spröder im Vergleich mit den Einkristallen des gleichen Stoffes.

Die geritzten Stellen offenbaren außer der plastischen Deformierbarkeit auch einen gewissen Spannungszustand. Die Ritzspur am Glas zeigt im Polarisationsmikroskop eine deutliche Spannungs-Doppelbrechung. Der Charakter dieser Doppelbrechung ist meist negativ, wobei die „Hauptachse“ in der Längsrichtung der Ritzspur zu

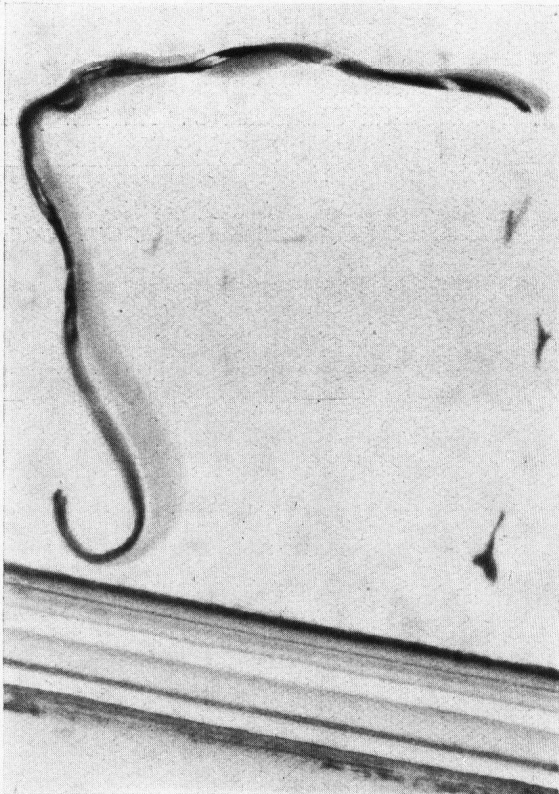


Bild 16. Ritzspur und Spanlocke aus gehärtetem, unlegiertem Stahl, geritzt mit Diamant.

Vergr. 520 \times . Auffallende Hellfeld-Beleuchtung.

denken ist. Beim Quarzglas ist die Ritzspur ebenfalls doppelbrechend, ihr Charakter ist jedoch meist positiv.

Natürlich erweisen sich auch die Ritzspuren der Kristalloberflächen als spannungs-doppelbrechend. Diese Doppelbrechung ist nicht von der Kristallorientierung, sondern von der Ritz-Orientierung abhängig. So z. B. sieht man die Ritzspuren an der Saphir-Oberfläche hell aufleuchten, wenn die Saphir-Kristallplatte zwischen gekreuzten Nikols in der Lage der vollständigen Auslöschung sich befindet. Es handelt sich also in allen diesen Fällen um innere Spannungen im Material, die sich offenbar aus

den amikroskopischen Verschiebungen der Feinbauteile desselben ergeben.

Bemerkenswert ist, daß die Aehnlichkeit im Verhalten der ausgesprochen spröden Körper einerseits und der duktilen metallischen Körper andererseits gegenüber der Ritzwirkung sich nicht auf die mikroskopisch sichtbare plastische Deformierbarkeit beider beschränkt. Es zeigt sich, daß bei sehr hoher spezifischer mechanischer Beanspruchung, wie sie im Ritzvorgang verwirklicht ist,

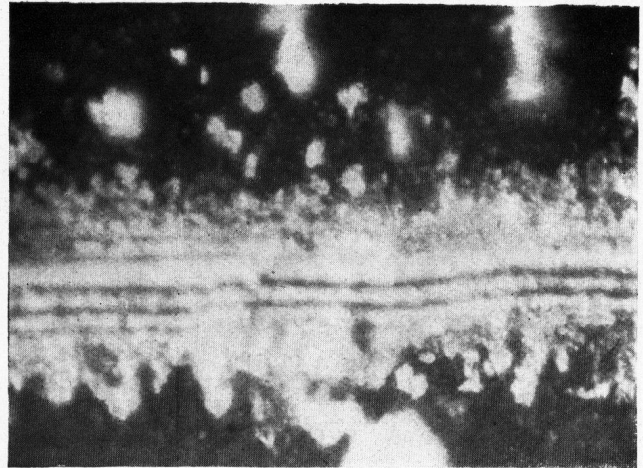


Bild 17. Ritzspur und Staub an polierter Oberfläche der Sinterthorerde (ThO_2), erzeugt mit Diamant.

Vergr. 375 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

die Metallkristalle u. U. ebenso reißen und springen, wie auch die nichtmetallischen spröden Körper.

Das Bild 19 gibt eine diesbezügliche anschauliche Vorstellung. Es stellt die mikrographische Aufnahme im auffallenden Hellfeld einer Diamant-Ritzspur an der polierten Oberfläche einer nichtlegierten gehärteten Stahlprobe in 460fachem Maßstab dar. An den beiden Seitenrändern der Ritzspur sieht man deutlich die Bruch- und Reiß-Stellen der Metallkristallite, die unter dem stauenden Druck der plastischen deformierten Nachbarkristallite geplatzt sind.

Interessanterweise kommt das Reißen der Kristall- bzw. der Glas-Substanz nach Ueberschreiten der elastischen und plastischen Deformationsgrenzen nicht immer während des Ritzens selbst. Oft genug kann man, insbesondere bei der Dunkelfeldbeleuchtung, beobachten, daß



Bild 18. Ritzspur und Spanlocke an Sinterzirkonerde (ZrO_2), erzeugt mit Diamant.

Vergr. 460 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

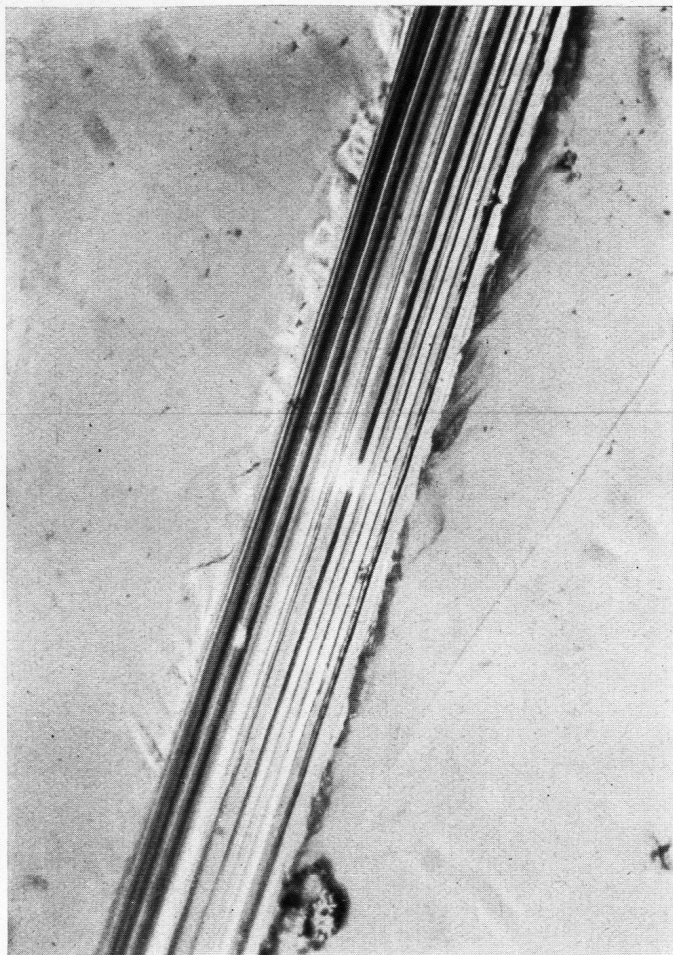


Bild 19. Ritzspur und Kristallit-Risse an polierter Stahloberfläche, erzeugt mit Diamant. Vergr. 460 \times . Auffallende Hellfeld-Beleuchtung.

innerhalb oder außerhalb der Ritzspur das Aufleuchten der Reiß-Stellen ganz plötzlich mehrere Minuten nach dem Ritzen auftritt. Hierbei sieht man entweder ein planmäßiges Fortschreiten des Kristallreißens in einer Richtung oder auch manchmal unregelmäßiges Aufreißen an verschiedensten Stellen. Dabei fliegen zuweilen feinste Bruchstückchen von 1–2 μ im Durchmesser im Gesichtsfeld des Mikroskops wie helle Sternschnuppen am dunklen Nachthimmel. Das bereits vollzogene Ritzen der glatten Oberfläche eines festen Körpers bedeutet also noch nicht einen fertigen Zustand des Körpers; es kann darin noch Vorgänge des Auslösens von eingepprägten Spannungen herbeiführen. Diese Vorgänge spielen sich amikroskopisch wohl sofort nach dem Ritzen ab, werden aber erst nach der Erreichung einer gewissen Größe auch mikroskopisch sichtbar.

Bemerkenswerterweise ergibt die Ritzspur auf verschiedenen spröden Werkstoffen nicht immer eine glatte und zusammenhängende Linie, sondern ist oft genug feinst-periodisch unterbrochen.

Das Bild 20 gibt eine Vorstellung von der Art dieser periodischen Struktur der Spur auf Glas, geritzt mit Siliciumcarbid.

Das Bild 21 veranschaulicht eine derartige „Perlschur“-Struktur einer Spur nach dem Ritzen von Rubin mit Diamant. Möglicherweise handelt es sich auch hier, wie bei Metallen¹¹⁾ um die Mosaikstruktur. Die Struktur-

¹¹⁾ Vgl. insbesondere L. GRAF, „Zum Aufbau der Metallkristalle“, Z. Elektrochem., 48 (1942), S. 181–210, mit ausgezeichneten Mikroaufnahmen der Mosaikstruktur der Metalle.

abstände der Bilder 19 und 20 sind verschieden und betragen im Bild 19 bis 1,3 μ , im Bild 20 bis 0,7 μ herunter. Man kann hier natürlich nicht sagen, daß diese Spuren den Elementen der Mosaik-Zellen entsprechen.

Ihre Entstehung könnte man sich jedoch zunächst dadurch recht plausibel machen, daß der spanabhebende Vorgang in folgender Weise abläuft: Das Schleifkorn ruft innerhalb einer Mosaik-Zelle die plastische Deformation des Werkstoffes hervor, wonach beim Weitervorrücken des Schleifkorns das ganze Mosaik-Element aus dem Verband des Körpers herausgerissen wird. Darauf wird das nächste Mosaik-Element plastisch deformiert usw.¹²⁾ Die Spuren der von der Oberfläche abgerissenen Mosaik-Zellen machen sich nun im mikroskopischen Bild bemerkbar.

Der Elementarvorgang des Schleifens setzt sich also

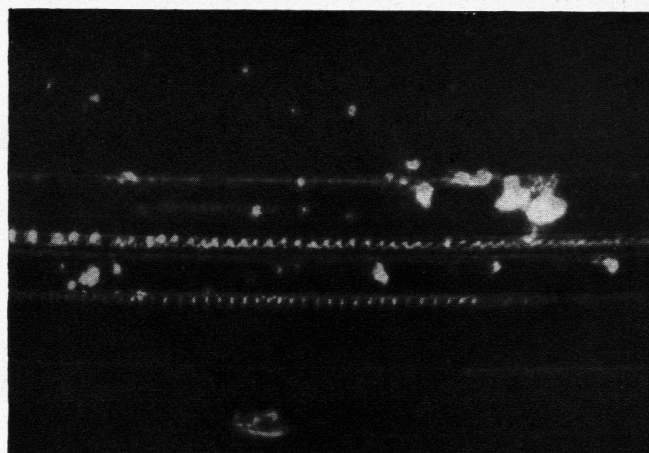


Bild 20. Ritzspur mit periodischer Struktur auf Glas, geritzt mit SiC-Kristall. Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

nach den geschilderten Beobachtungen aus mindestens drei Bestandteilen zusammen:

1. Spanabhebende Wirkung,
2. Plastische Verformung ohne Abtrennung der Materialteilchen,
3. Aufreißen und Zersprengen des Werkstoffes (mit oder ohne örtliche Abtrennung der Teilchen).

Diese drei Bestandteile finden sich bei allen untersuchten Werkstoffen vertreten, wenn auch in verschiedenem Maße.

Der eigentliche Schleifvorgang steht also in der nächsten Beziehung sowohl mit dem Polieren als auch mit dem Spanabheben, aber auch mit dem Feinzerkleinern und ist davon garnicht zu trennen.

Auch der Vorgang des Feinziehschleifens der Oberfläche („Superfinish“¹³⁾) fällt in das betrachtete Gebiet hinein. Es handelt sich hier nicht um die Politur, sondern nur um spanabhebende Wirkung, möglichst ohne Zerdrücken und Zerreißen der (Metall-)Kristallite.

Bei der systematischen Weiterentwicklung der geschilderten „Einkornmethode“ könnte u. U. der passende Charakter und der angewandte Druck des bearbeitenden Schleifwerkzeugs, die Geschwindigkeit und Art der Be-

¹²⁾ Vgl. damit die Arbeit: A. WOROBEWA u. W. KUSNETZOW, J. techn. Phys., (russ.) 11 (1941), S. 184–96, wonach das Schneiden der Metalle wie Sn, Al nachweisbar auf plastische Deformation zurückgeführt wird.

¹³⁾ Vgl. H. MOLL, Schleif- u. Poliertechn., 18 (1941), S. 210.

wegungen, die etwaige Anwendung von Schmiermitteln usw. nunmehr nicht allein empirisch und zufällig, sondern von einem einheitlichen Standpunkte aus und planmäßig übersehen und aufgefunden werden.

Auch für den Poliervorgang kann man unter dem Gesichtswinkel der geschilderten Beobachtungen einige Zusammenhänge finden, die bisher höchstens geahnt, aber kaum klar erkennbar waren. So z. B. stellt es sich in der Praxis heraus, daß beim Polieren von harten und spröden Körpern mit feinem Diamantstaub die Unterlagscheiben, die den Staub tragen, von größter Bedeutung für die Polierwirkung sind. Es kommt z. B. nicht nur darauf an, ob die Scheiben aus Holz oder bestimmtem Metall sind, es kommt noch auf die Holzart, ja auf ihre

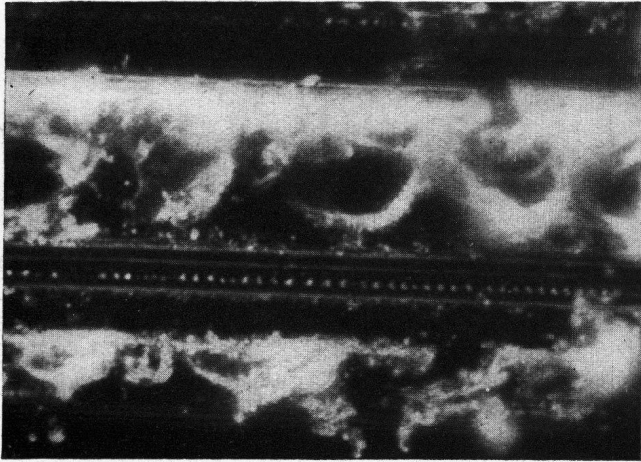


Bild 21. Ritzspur mit periodischer Struktur auf Rubin, geritzt mit Diamant.
Vergr. 1000 \times . Auffallende Dunkelfeld-Beleuchtung.

Faserung usw. an. Will man das Zerschneiden und das Herausreißen der Kristallite aus einem polykristallinen spröden Material verhindern oder will man die spanabhebende Wirkung der Schleifkörner hintanhaltend und nur

die plastische Deformation der Oberflächenteilchen allein erzielen, so muß man dafür sorgen, daß der spezifische Druck eines jeden angreifenden Kornes eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Das hängt offenbar nicht nur von der Größe und Form der Polierkörner allein, sondern auch von der sie tragenden Polierscheibe ab. Sie soll so beschaffen sein, daß der Druck der Kornspitze die molekulare Druckfestigkeit des zu polierenden Materials (sie dürfte weit höher als etwa 30–40 000 kg/cm² liegen, wie sie z. B. bei der Sintertonerde im Makro-Maßstab ermittelt worden ist) nicht überschreitet, und daß das Korn selbst an seiner dicksten Stelle eher in die Polierscheibe eindringt.

Die weitere Ueberlegung zeigt, daß der Poliervorgang in einem hohen Maße von der Temperatur der Oberfläche abhängig sein muß, und zwar so, daß die heiße Oberfläche sich leichter polieren lassen muß als die kalte. Beim Schleifvorgang kann es dagegen u. U. vorteilhaft sein, die Oberfläche zu kühlen. Die passendste Arbeitsgeschwindigkeit der Werkzeuge, die zweckmäßigste Art der Bewegung derselben relativ zum Werkstück, usw. kann durch systematische Beobachtungen nach der „Einkornmethode“ in verhältnismäßig kurzer Zeit und an wenig Material ermittelt werden. Die Weiterverfolgung der Einkornmethode dürfte nicht nur für das Schleifen, Spanabheben und Polieren, sondern auch für das Feinstzerkleinern von Werkstoffen hoher Festigkeit und verschiedener Sprödigkeit von Interesse sein.

Das Bemerkenswerte ist allenfalls, daß die plastische Verformbarkeit selbst der härtesten und sprödesten Werkstoffe bis zur Bildung von gewendelten langen Spanlocken und bis zur deutlichen Verschmierung der Oberflächenschichten nicht nur im submikroskopischen, sondern auch im gut beobachtbaren optisch-mikroskopischen Ausmaße bei der normalen Zimmertemperatur stattfindet. Eine noch weitere Vertiefung der Beobachtungen kann natürlich das Elektronen-Mikroskop ermöglichen. (15 549)

DK 061.4 (43-2.1) „1942“ : 666.1. : 666.3 : 748

Leistungsschau der staatlichen Fachschulen für Keramik und Glas.

Von Wilhelm WAGENFELD, Weißwasser, O./L.

(Eingegangen am 9. 6. 1942.)

Eine Ausstellung der Keramischen Fachschulen von Bunzlau, Höhr-Grenzhausen, Karlsbad, Landshut, Selb und Teplitz-Schönau und der Glasfachschulen von Haida, Steinschönau und Zwiesel wurde am 3. Mai dieses Jahres in Berlin im Kaufhaus am Leipziger Platz eröffnet. Die regelmäßig große Besucherzahl in den zuerst geplanten vier Wochen ihrer Dauer ließ ein Hinausziehen des Schlußtags um weitere zwei Wochen angeraten sein. Zu diesem schönen Erfolg können wir die Leitung der Schau und ihre Förderer umso mehr beglückwünschen, als geschlossene Führungen von höheren Schulklassen, Berufsschulen und anderen interessierten Gruppen dabei an der Tagesordnung gewesen sind.

Die Ausstellung verdiente diesen Erfolg. Sie gab nicht nur ein Bild von den Leistungen der Fachschulen, sondern darüber hinaus hatte man daran gedacht, dem Besucher zugleich die volkswirtschaftliche Bedeutung der in den Schulen gepflegten Gewerbe aufzuzeigen, indem ihm der ganze Umfang dieser Handwerke und Industrien vor Augen geführt wurde.

Schon am Eingangsplatz sah man eine Töpferscheibe, ein Schleifwerkzeug und ein Gravierwerkzeug, an denen

Schülerinnen ihr Handwerk übten. Wenn auch diesem Zurschaustellen immer das Verspielte anhaftet, so ist es doch ein gutes Hilfsmittel, um der Materie unkundigen Besuchern einen anschaulichen Ausschnitt vom Werden der Töpfe und Gläser zu geben.

So führte der Weg dann in einen Raum, welcher der Darstellung der verschiedenen Techniken, ihrer Mittel und Materialien gehörte. Gründlich und übersichtlich geordnet war in dieser kleinen technischen Schau alles zusammengetragen von den Rohstoffen über die Modelle von Schmelz- und Brennöfen und Modelle von Maschinen der keramischen Industrie bis zu den einzelnen Werkzeugen. Aus der Glasindustrie war allerdings nur das Modell eines Hafen-Ofens zu sehen. Ueber die Rohstofflager in unserem Reiche und ihre Nutzbarmachung gaben Karten und Bilder an den Wänden Auskunft, während Diagramme auf niederen Postamenten die für den Werkstoff jeweils notwendigen Gemenge dieser Schätze unserer Erde erklärten.

Allerdings konnte man die als Fertigbeispiele gewählten Schleif- und Preßgläser nicht gerade als Vorbilder für die sinnvolle Verwendung der Rohstoffe ansehen. Auch für die Entstehung des Kelches hätte man ein besseres