

### IMPRESSUM

**Herausgeber und Verleger:** Christoph Müller, TELI, Lichtenfels  
**Redaktion:** Hauptschriftleitung: Christoph Müller, TELI, Lichtenfels. Techn.-wissenschaftliche Beratung: Dipl.-Ing. (FH) Rosemarie Vocht-Mields, Hauptstr. 65, D-5342 Rheinbreitbach, Telefon: 02224/6301  
**Anzeigenleitung:** E.H. Müller, Coburg  
**Anzeigenpreisliste:** Es gilt die Preisliste 1986  
**Herstellung:** Ursula Zetzmann, Coburg  
**Druck:** SPRECHSAAL-DRUCKEREI, Coburg  
**Vertrieb:** Johanna Müller, Coburg  
**Verlag:** SPRECHSAAL VERLAG, Inh.: Johanna Müller-P.O.Box 401-Mauer 2, D-8630 Coburg, Western Germany  
 Telefon 09 561/77 73  
 Teletex: 9 56 18 27 sprech  
 Telex: 1 79 56 18 27 sprech  
**Erscheinungsweise:** monatlich  
**Bezugspreis:** Inland: Jährlich DM 216,- zuzüglich Versandkosten + gesetzl. MWSt. Ausland: Jährlich DM 292,- + Versandkosten. Abbestellungen jeweils zum nächsten Halbjahr.  
**Einzelhefte:** DM 30,- + Versandkosten + ges. MWSt. Bestellungen sind an den Verlag zu richten.  
**Vervielfältigungen, Fotokopien, Mikroverfilmung, Datenspeicherung, Bildschirmtext etc.:**  
 Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge und Informationen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehsendung, im Magnettonverfahren oder auf ähnlichem Wege, z.B. Bildschirmtext, bleiben vorbehalten.  
 Fotokopien für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens hergestellte oder benutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gemäß § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG WORT, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, 8000 München 2, von der die Zahlungsmodalitäten zu erfragen sind.  
**Nachlieferung:** Jede Nachlieferung wird zum Einzelheftpreis zusätzlich berechnet, zuzüglich Versandkosten und gesetzliche MWSt. Im Falle höherer Gewalt erlischt jeglicher Anspruch auf Nachlieferung oder Rückerstattung des Bezugsbetrags.  
**Manuskripte:** Zur Veröffentlichung kommende Manuskripte gehen in das uneingeschränkte Nutzungsrecht des Verlages über.  
**Gerichtsstand:** Coburg

### MANAGEMENT + MÄRKTE

Glasmaschinenbau – mit 330 Mio DM neuer Umsatzrekord	976
Glas- und Mineralfaser-Produktion nahm 1985 um 5,7 % zu	976
Wichtige Termine	986

### REPORTAGE

Glasbeschichtung ist Hochtechnologie	988
Heraeus in der Halbleiter- und Elektronikindustrie	992
Aktuelle Industrie-Mineralogie	996
Faser- und Whisker-verstärkte Werkstoffe	1000

### FIRMENPORTRAIT

Continho Glass Engineering GmbH	1003
---------------------------------	------

### FACHBERICHTE

Automobilglas – Mehr Komfort und Sicherheit durch den Einsatz einer neu entwickelten, transparenten, leitfähigen sowie wärmereflektierenden Beschichtung	1005
Anlagen zum Verarbeiten von Lichtwellenleitern zu Lichtwellenleiter-Kabeln	1009
Rückgewinnung von Quecksilber aus Leuchtstoffröhren und Lampen	1016
Energieeinsparung bei der Verarbeitung von Rohstoffen zu keramischen Schlickern	1019
Der Einfluß der gezielten Feinmahlung von Feldspatträgern auf das keramisch-technologische und Sinter-Verhalten von Porzellanmassen	1023
Experimentelle Untersuchung der Dehydration und hydrothermalen Rehydratation von Kaolinit	1028
Quantitative Auswertung hochtemperaturmikroskopischer Untersuchungen	1035

### AKTUELLES ANGEBOT

Glas '86 – Highlights	1039
-----------------------	------

### MARKTÜBERSICHT

Sichter	1063
---------	------

# Management + Märkte

## Glasmaschinenbau - mit 330 Mio. DM neuer Umsatzrekord

Die deutsche Glasmaschinenindustrie konnte - wie Paul Eirich, Vorsitzender der Fachabteilung Glasmaschinen im VDMA e.V. mitteilte - in 1985 mit einem neuen Umsatzrekord von 330 Mio. DM aufwarten. Tragende Säule war dabei wieder wie im Vorjahr die Auslandsnachfrage, die die Rückschläge aus dem Inland weiter kompensieren half. Mit einem Exportvolumen von 267 Mio. DM konnte das Vorjahresniveau um real 25 % gesteigert und erstmalig ein Exportanteil von 80 % erreicht werden. Gegenüber 1980 bedeutet dies fast eine Verdoppelung des Ausfuhrwertes.

Mit weitem Abstand größter Abnehmer waren in 1985 erstmals die USA. Sicherlich ein Ergebnis der langen Bemühungen des deutschen Glasmaschinenbaus in der Markterschließung, aber auch erleichtert durch die günstige Dollar-Entwicklung.

Die Volksrepublik China nahm in 1985 erstmals mit einem Volumen von 14 Mio. DM einen Platz unter den ersten 10 Abnehmerländern ein, zu denen traditionell die westeuropäischen Staaten, Japan und die Sowjetunion zählen.

Die Bundesrepublik Deutschland ist weltweit nicht nur einer der führenden Ausrüster der Glasindustrie, des verarbeitenden Gewerbes und des Handwerks, sondern gleichzeitig auch einer der größten Importeure von Glasmaschinen und -geräten. Hintergrund dafür ist sicherlich die internationale Verflechtung der abnehmenden Industrien, aber auch die zunehmende internationale Arbeitsteilung im Maschinen- und Anlagenbau. Die Forderung nach freierem Welthandel und Abbau bestehender Handelshemmnisse ist daher gerade für diese Industrie von besonderer Bedeutung.

Die GLAS '86 in Düsseldorf bot der Glasindustrie, den verarbeitenden Betrieben aus Industrie und Handwerk die einmalige Chance, sich umfassend über die neuesten Entwicklungen aller maßgeblichen Hersteller von Maschinen, Anlagen und Systemen in der Welt genauestens zu informieren.

Innovationen, Neukonstruktionen und wesentliche Detailverbesserungen sind auf fast allen Gebieten festzustellen. Aus der großen Zahl der Neu- und Weiterentwicklungen sind hier einige Beispiele aufgeführt:

- Qualitätsüberwachung der eingesetzten Rohstoffe und daraus resultierend Optimierung der Rezepturen, Betriebszustände,
- Reduzierung der Staubbildung durch Pelletie-

rung oder Brikettierung des Gemenges,

- Automatisierung der Sortiervorgänge von Altglas durch optische Farberkennung,
- Verlängerung der Standzeiten durch Einsatz neuer feuerfester Werkstoffe und Instandhaltung von Wannenschäden während des Betriebes,
- Energieeinsparung durch Optimierung der Regelung, Steuerung und Isolierung sowie durch qualitätsüberwachtes Gemenge,
- Weitergehende Nutzung der Abwärme zur Vorwärmung von Gemenge und Scherben,
- Verstärkter Einsatz von Mikroprozessoren für CNC-gesteuerte Preß- und Schleudermaschinen sowie Schneid-, Bohr-, Schleif- und Polierautomaten,

- Steigerung der Produktqualität durch Sensortechnik und Selbstoptimierung,
- Weitere Flexibilität der automatischen Glasverarbeitung durch verstärkten Einsatz von Robotern und Handhabungstechnik,
- Überwachung der Zwischen- und Endprodukte durch mechanische, elektronische und optische Meß- und Prüftechniken.

Die moderne Steuer- und Regeltechnik erlaubt in zunehmendem Maße eine Verkettung der verschiedenen Produktionsstufen bis hin zu kompletten Betriebsüberwachungssystemen. Computer-Integrated-Manufacturing ist somit auch für die Hohl- und Flachglasindustrie kein Fremdwort mehr.

## Glas- und Mineralfaser-Produktion nahm 1985 um 5,7 % zu

"Produktion und Ausfuhr erfüllen zur Zeit teilweise die Erwartungen nicht, die von der Glasindustrie und der Mineralfaserindustrie angesichts der überwiegend positiven Ergebnisse von 1985 mit der voraussichtlichen Entwicklung im Jahr 1986 verknüpft worden waren" erklärte Dr. Heinrich J. Klein, Präsident des Bundesverbandes Glasindustrie und Mineralfaserindustrie e.V., anlässlich des Pressegesprächs seiner Organisation in Düsseldorf. Export und Investitionsschwäche sowie die als unzureichend empfundene private Nachfrage drücken auf das Produktionsniveau der Branche.

Den Produktionsverlauf im vergangenen Jahr spiegeln die folgenden Zahlen wider:

- Die gesamte Erzeugung der Branche nahm um 5,7 % auf 9,293 Mrd. DM zu.
- Mit einem Produktionswert von 905 Mill. DM (+1,1 %) hatte die zum direkten Absatz bestimmte Basisglaserzeugung von Flachglas daran einen Anteil von 9,7%.
- Der Anteil von 23,1 % der Behälterglasindustrie entspricht einem Produktionswert von 2,140 Mrd. DM (+2,6 %).

- Kristall- und Wirtschaftsglasindustrie erreichten 10,7 % oder 996 Mill. DM (+3,0 %).

- Die Gebrauchs- und Spezialglasindustrie (ohne Spezialflachglas) partizipierte am Gesamtergebnis mit 10,1 % oder 941 Mill. DM (+6,2 %).

- Auf 2,964 Mrd. DM (+8,1 %) oder einen Anteil von 31,9 % kam der Sektor Glasbearbeitung und -veredelung.

- Die Erzeugung von Mineralfasern stieg auf 1,346 Mrd. DM (+10,8 %) gleich einer Relation von 14,5 % an.

Die Ausfuhr der Glas- und Mineralfaserindustrie erreichte 1985 nach einem Plus von 12,7 % den Wert von 3,703 Mrd. DM und lag damit über der Steigerungsrate, die sich für den Gesamtexport der Bundesrepublik errechnet (+10,0 %).

Das höchste Ausfuhrergebnis erzielte der Sektor Gebrauchs- und Spezialglas (einschließlich Spezialflachglas) mit 990 Mill. DM (+7,3 %); daran waren hauptsächlich die Warenarten Glasröhren, Glas für die Elektroindustrie und optisches Glas beteiligt. Auf 890 Mill. DM (+18,8 %) kamen Glasbearbeitung und -veredelung dank gewachsenen Interesses der ausländischen Kunden an Spie-

Prof. G. Duma, Budapest, Ungarn

# Quantitative Auswertung hochtemperaturmikroskopischer Untersuchungen

Aufgrund der mit den angegebenen Gleichungen durchgeführten Berechnungen wird die Gestaltveränderung des untersuchten Materials durch zahlenmäßige Daten belegt. Dies ermöglicht sogar die graphische Darstellung des Schmelzvorganges als Funktion der Temperatur. Bei der beschriebenen Methode werden die Schmelzgestalten mit solchen entsprechender theoretischer Gestalten (Idealgestalten) verglichen, welche während des Schmelzprozesses immer das gleiche Volumen haben.

Relying on the calculations based on the given relations, the deformation of silicates plotted against the variations of temperature can be defined numerically, which in turn permits the graphic representation of the process of melting. In this particular method, the specific transformations of the melts are defined through comparisons with presumed forms of melts, the volume of which remains constant throughout the process of melting.

Bei hochtemperaturmikroskopischen Untersuchungen wird die Gestaltveränderung des Probekörpers durch seine Schattenbilder in drei voneinander gut trennbare Phasen unterteilt. In der ersten Phase nähert sich die Form des Probekörpers mit allmählicher Gestaltveränderung der Kugelform, die zweite endet mit der Bildung einer Halbkugel, die dritte wird mit der vollständigen Verflachung der Halbkugelform beendet [1].

Von dem zweiten Abschnitt ausgehend werden auch die geschmolzenen Silicate als Flüssigkeiten betrachtet und bei der Untersuchung ihres Schmelzvorganges wird die Methode der liegenden Tropfen verwendet. Der Randwinkel  $\varphi$  des Schmelztropfens wird auch im Falle der Silicate mit den Cosinuswerten des Winkels bezeichnet. Der Randwinkel läßt sich – wie bekannt – auf den Schattenbildern durch unmittelbare Messung schwer bestimmen. Unsere Berechnungen wurden deshalb aufgrund der Höhe  $h$  und des Durchmessers des Basiskreises der Schmelzgestalten 2 l durchgeführt [2], da beide Maße auf den Schattenbildern immer mit entsprechender Genauigkeit feststellbar sind.

$$\operatorname{tg} \alpha = l_s / h_s \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \cos (180^\circ - 2\alpha) \quad (2)$$

In den Gleichungen sind:

$l_s$  = die halbe Länge der Basislinie des Schattenbildes,

$h_s$  = die Höhe des Schattenbildes,

$2\alpha$  = der zu der Basislinie – als Sehne – gehörige Umfangswinkel.

Es ist in vielen Fällen bei der Untersuchung künstlicher Silicate nötig, daß der Probekörper, welcher als Anfangsgestalt des Schmelzvorganges betrachtet wird, dicht ist. Da von gepulverten Glas- und Glasurmaterialien porenfreie Probekörper kaum herzustellen sind, sollten demzufolge diese nicht als Anfangsgestalt verwendet werden. Es ist allgemein bekannt, daß sich der Rauminhalt der erwähnten Mahl-

produkte bei Wärmebehandlung vermindert, und so können theoretisch durch allmähliche Sinterung ohne Gestaltsveränderung porenfreie Körper entstehen. Auf den Schattenbildern ist die Gestalt des dichten Probekörpers in den meisten der Fälle nicht feststellbar. Die Größe des porenfreien – dichten – Probekörpers bzw. des entsprechenden Schattenbildes wird deshalb aus dem Gewicht des porösen Probekörpers und der Dichte des Materials durch Berechnung festgestellt. Die theoretische Größe des porenfreien zylinderförmigen Probekörpers und die Abmessungen seines quadratischen Schattenbildes werden durch die folgenden Formeln berechnet:

$$h_p = \sqrt[3]{\frac{1,2732 \cdot m}{\rho}} \quad (3)$$

$$q_n = h_s' / h_p' \quad (4)$$

$$h_s = h_p \cdot q_n \quad (5)$$

In den Gleichungen sind:

$m$  = das Gewicht des porösen Probekörpers mit Zylinderform,

$\rho$  = die Dichte des Materials,

$q_n$  = die Vergrößerung zwischen dem porösen Probekörper und seinem Schattenbild

$h_p'$  = die Höhe des porösen Probekörpers, <sup>2,3</sup>

$h_s'$  = die Höhe des Schattenbildes von  $h_p'$ , <sup>4,5</sup>

$h_p$  = die Höhe porenfreien Probekörpers,

$h_s$  = die Höhe des Schattenbildes des porenfreien Probekörpers

Bei den üblichen Berechnungsmethoden wird die quantitative Auswertung der Veränderungen des Schmelzprozesses ausschließlich durch planimetrische Veränderungen der Schattenbilder durchgeführt. Die stetig veränderlichen Schattenbilder werden unmittelbar mit dem Probekörper ins Verhältnis gesetzt.

Die von uns zur quantitativen Auswertung der Gestaltveränderung eingeführte Methode [2, 3], weicht von den bisherigen Verfahren, grundlegend ab. Die Vorbedingung der Berechnung ist der Umstand, daß das untersuchte Material beim Schmelzen verschiedene Kugelsegmente bildet und so zu einem gegebenen Randwinkel und Volumen immer nur bestimmte geometrische Werte der Schmelzgestalten gehören, und umgekehrt. Diese Forderung kann mit entsprechenden Probekörpern und Versuchsbedingungen gesichert werden. Grundlage des Vergleichs sind in gegebenem Falle die theoretischen Raumgestalten, welche zu einem idealen Schmelzprozeß gehören. Sie gehören also nicht zu dem untersuchten Schmelzvorgang, doch stehen sie mit dem Prozeß der durch Schattenbilder beobachteten Gestaltveränderung in Zusammenhang. Bei dem idealen Schmelzvorgang ist Voraussetzung, daß der ideale Probekörper bzw. die idealen Schmelzgestalten während des ganzen Vorganges konstantes Volumen haben, die Form des Probekörpers in der ersten Phase mit allmählicher Gestaltveränderung eine Kugelform annimmt und die bei dem weiteren Schmelzen entstehenden Schmelzfiguren nur Kugelsegmente sein können. Die Gestalten der in der Praxis kaum vorkommenden Veränderungen werden als Idealgestalten, das konstante Volumen wird als Idealvolumen  $V_0$  genannt. Es ist vorteilhaft, wenn das Idealvolumen zu einer charakteristischen Form des realen Schmelzprozesses gehört. Bei unseren Berechnungen haben wir die Hälfte des Volumens einer Kugel mit einheitlichem Radius  $r = 1$  als Idealvolumen betrachtet:

$$V_0 = 2,09439 \quad (6)$$

Im Falle eines zylinderförmigen Probekörpers – mit gleicher Höhe und gleichem Durchmesser – entspricht die Anfangsgestalt des idealen Schmelzprozesses einer Zylinderform, deren Höhe  $h_{ai}$  und deren Durchmesser des Basiskreises gleich sind:

$$h_{ai} = 1,38672 \quad (7)$$

Der Quotient aus der Höhe der idealen Anfangsgestalt  $h_{ai}$  und der Höhe des Schattenbildes der scheinbaren – zu dem Schmelzvorgang gehörigen – Anfangsgestalt  $h_s$  ist der Faktor  $q$  für die lineare Vergrößerung, mit welchem die planimetrischen Merkmale der Schattenbilder des Probekörpers bzw. der Schmelzgestalten und die Maße der entsprechenden Idealgestalten verglichen werden:

$$q = h_{ai} / h_s \quad (8)$$

Zur Bestimmung der Abweichungen sind entsprechend gleich: die Höhe der Schmelzgestalten mit Kugelsegmentform, der Halbmesser des Basiskreises, der Krümmungsradius der Kugelsegmente, die Oberfläche der Kugelsegmente, oder auch alle anderen geometrischen Daten der schmelzenden Körper, die für den Vorgang der Gestaltveränderung charakteristisch sein können.

Werden die prozentualen Werte der Abweichungen in einem rechtwinkligen Koordinatensystem dargestellt, wo die Abszisse die Temperaturwerte und die Ordinate, vom 0-Punkt beginnend, in entgegengesetzter Richtung die Differenzwerte in Prozenten enthält, dann entstehen die für den Schmelzprozeß charakteristischen Abweichungskurven. In dieser Darstellung kommt die ideale Gestaltveränderung sinngemäß in einer zur Abszisse gleichlaufenden Geraden zum Ausdruck, von welcher die Werte in positiver und negativer Richtung abweichen. Aufgrund dieser Kurven ist quantitativ erkennbar, in welchem Maße sich die scheinbaren Schmelzgestalten des untersuchten Vorganges und die entsprechenden – durch ihren identischen Randwinkel gleichförmigen – Idealgestalten mit konstantem Volumen bei gegebener Temperatur voneinander unterscheiden [3].

Der Schmelzvorgang ist noch besser zu verfolgen, wenn die stetige Gestaltsveränderung, sowohl der Schmelzgestalten als auch der entsprechenden Idealgestalten als Funktion der Temperatur – in einem rechteckigen Koordinatensystem – parallel dargestellt wird. In diesem Falle enthält die Abszisse – wie vorher – die steigenden Temperaturwerte, auf der Ordinate werden die Werte der prozentualen Veränderungen der scheinbaren und idealen Schmelzgestalten angegeben. Es ist günstig, wenn die Ordinate vom Null-Punkt ausgehend auch die positiven und negativen Cosinuswerte des Randwinkels enthält, da mit dem Schnittpunkt der Kurve der Randwinkelveränderung und der Abszisse auch die Temperatur der Halbkugelform erkennbar wird. Zur Bestimmung der für die scheinbaren und idealen Schmelzgestalten charakteristischen Werte, die den verschiedenen Temperaturwerten entsprechen, dienen die folgenden Gleichungen.

– Bestimmung der Höhenveränderung der Kugelsegmente bei den scheinbaren  $h$  und idealen  $h_i$  Schmelzgestalten:

$$h_i = (k_1 \cdot \sqrt[3]{Q}) \quad (9)$$

$$Q = \frac{1 - \cos \varphi}{2 + \cos \varphi} \quad (10)$$

$$h \% = \left( \frac{h_s \cdot q}{h_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (11)$$

$$h_i \% = \left( \frac{h_i}{h_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (12) \quad r \% - r_i \% = \left( \frac{r_i}{r_{ai}} \cdot \pm \Delta r \% \right) \quad (24)$$

$$h \% - h_i \% = \left( \frac{h_i}{h_{ai}} \cdot \pm \Delta h \% \right) \quad (13) \quad \pm \Delta r \% = \left( \frac{(r_s \cdot q) - r_i}{r_i} \cdot 100 \right) \quad (25)$$

$$\pm \Delta h \% = \left( \frac{(h_s \cdot q) - h_i}{h_i} \cdot 100 \right) \quad (14) \quad \text{– Bestimmung der Oberflächenveränderung der Kugelsegmente ohne Basisfläche bei den scheinbaren } A \text{ und idealen } A_i \text{ Schmelzgestalten:}$$

$$\text{– Bestimmung der Veränderung des Radius – halbe Basislinie – des Basiskreises der Kugelsegmente bei den scheinbaren } l \text{ und idealen } l_i \text{ Schmelzgestalten:}$$

$$A_s = k_4 \frac{l_s^2 + h_s^2}{2} \quad (26)$$

$$l_i = \left( 2 \sqrt{k_2 \frac{1}{k_1 \sqrt[3]{Q}} - \frac{(k_1 \sqrt[3]{Q})^2}{3}} \right) \quad (15) \quad A_i = k_5 \frac{Q + 1}{\sqrt[3]{Q}} \quad (27)$$

$$Q = \frac{1 - \cos \varphi}{2 + \cos \varphi} \quad (10) \quad A \% = \left( \frac{A \cdot q^2}{A_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (28)$$

$$l \% = \left( \frac{l_s \cdot q}{l_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (16) \quad A_i \% = \left( \frac{A_i}{A_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (29)$$

$$l_i \% = \left( \frac{l_i}{l_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (17) \quad A \% - A_i \% = \left( \frac{A_i}{A_{ai}} \cdot \pm \Delta A \% \right) \quad (30)$$

$$l \% - l_i \% = \left( \frac{l_i}{l_{ai}} \cdot \pm \Delta l \% \right) \quad (18) \quad \pm \Delta A \% = \left( \frac{(A_s \cdot q^2) - A_i}{A_i} \cdot 100 \right) \quad (31)$$

$$\pm \Delta l \% = \left( \frac{(l_s \cdot q) - l_i}{l_i} \cdot 100 \right) \quad (19)$$

– Bestimmung der Veränderung der Krümmungsradien der Kugelsegmente bei den scheinbaren  $r$  und den idealen  $r_i$  Schmelzgestalten:

$$r_s = \frac{l_s^2 + h_s^2}{2 h_s} \quad (20)$$

$$r_i = \left( k_3 \frac{1}{(k_1 \sqrt[3]{Q})^2} + \frac{k_1 \sqrt[3]{Q}}{3} \right) \quad (21)$$

$$Q = \frac{1 - \cos \varphi}{2 + \cos \varphi} \quad (10)$$

$$r \% = \left( \frac{r_s \cdot q}{r_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (22)$$

$$r_i \% = \left( \frac{r_i}{r_{ai}} \cdot 100 \right) \quad (23)$$

In den Gleichungen sind:

$h_{ai}$  = die Höhe der zylinderförmigen Anfangsgestalt mit Idealvolumen  $V_o = 2,09439$ ,

$l_{ai}$  = der Radius des Basiskreises der zylinderförmigen Anfangsgestalt mit Idealvolumen  $V_o$ ,

$r_{ai}$  = der Krümmungsradius der Kugelsegmente mit Idealvolumen  $V_o$ ,

$A_{ai}$  = die Oberfläche der Kugelform mit Idealvolumen  $V_o$ ,

$h_s$  = die Höhe der Schattenbilder,

$l_s$  = die halbe Länge der Basislinie der Schattenbilder,

$r_s$  = die Krümmungsradien der Schmelzgestalten – als Kugelsegmente – an den Schattenbildern,

$A_s$  = den Schattenbildern entsprechende Oberfläche der Schmelzgestalten als Kugelsegmente, ohne Basisfläche,

$$h_{ai} = 1,38672 \quad (7)$$

$$l_{ai} = 0,69336 \quad (32)$$

$$r_{ai} = 0,79359 \quad (33)$$

$$A_{ai} = 7,91631 \quad (34)$$

Die Größe von  $h_s$  und  $l_s$  wird auf den Schattenbildern durch unmittelbares Messen bestimmt, die Werte von  $r_s$  und  $A_s$  werden aufgrund der gegebenen Gleichungen durch Berechnung festgestellt.

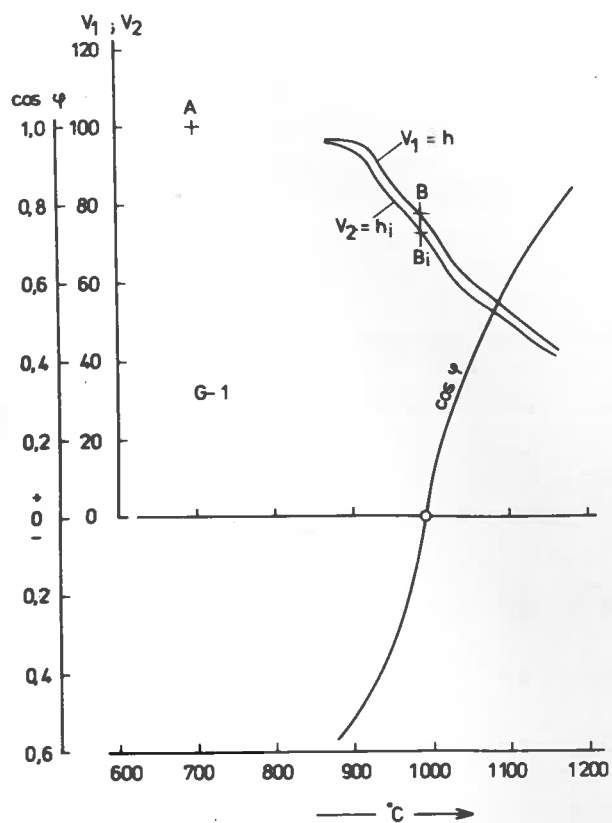


Tabelle 1: Schmelzvorgang des Glases G-1, gekennzeichnet mit numerischen Werten

°C	h <sub>s</sub>	cos φ	h <sub>i</sub>	±Δh%	h%	h <sub>i</sub> %
20	70,0	—	—	—	—	—
700	58,9 <sup>+) </sup>	—	1,387	0,00	100,00	100,00
880	56,5	-0,6149	1,326	0,13	95,75	95,62
920	56,0	-0,5262	1,275	3,21	94,90	91,94
940	53,0	-0,3710	1,189	4,75	89,81	85,24
1000	44,0	+0,0225	0,989	4,55	74,56	71,32
1040	37,0	+0,3513	0,820	6,03	62,70	59,14
1080	33,0	+0,5061	0,733	5,79	55,92	52,87
1140	27,4	+0,7021	0,604	6,60	46,43	43,56

<sup>+)</sup>  berechnete porenfreie Anfangsgestalt, Höhe des Schattenbildes

Bild 1: Erweichungskurven der scheinbaren h und idealen h, Höhenveränderung der Schmelzgestalten des Glases G-1. Höhe der Anfangsgestalt = A, der Halbkugelpunkte B; B<sub>i</sub>

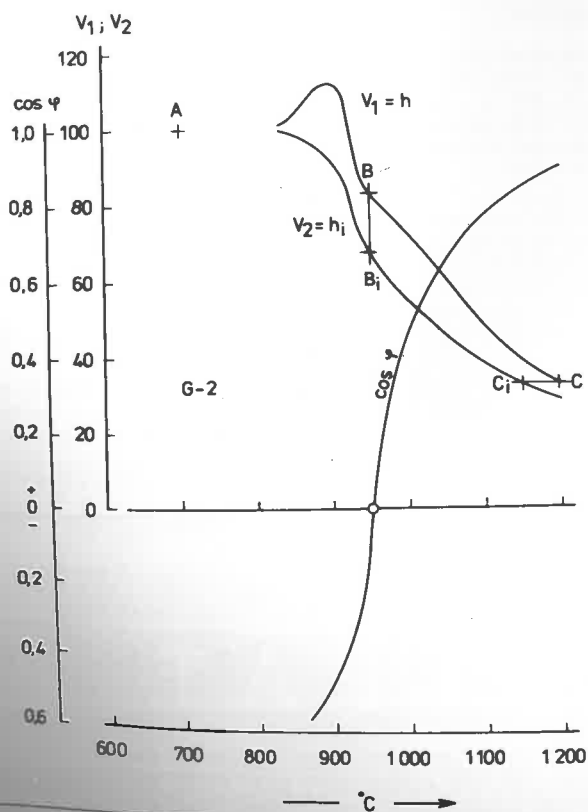


Tabelle 2: Schmelzvorgang des Glases G-2, gekennzeichnet mit numerischen Werten

°C	h <sub>s</sub>	cos φ	h <sub>i</sub>	±Δh%	h%	h <sub>i</sub> %
20	69,2	—	—	—	—	—
700	63,5 <sup>+) </sup>	—	1,387	00,00	100,00	100,00
840	64,4	-0,6820	1,367	27,00	101,24	98,57
920	72,0	-0,4247	1,218	28,86	113,16	87,83
940	55,0	-0,0128	1,000	19,90	86,46	72,11
1000	46,3	+0,4534	0,764	32,11	72,78	55,09
1040	39,0	+0,6418	0,647	31,40	61,31	46,66
1180	34,5	+0,7413	0,574	31,03	54,23	41,39
1200	21,5	+0,9069	0,401	16,88	33,79	28,91

<sup>+)</sup>  berechnete porenfreie Anfangsgestalt, Höhe des Schattenbildes

Bild 2: Erweichungskurven der scheinbaren h und idealen h, Höhenveränderung der Schmelzgestalten des Glases G-2. Höhe der Anfangsgestalt = A, der Halbkugelpunkte = B; B<sub>i</sub>, Fließgrenzen = C; C<sub>i</sub> nach DIN 5170

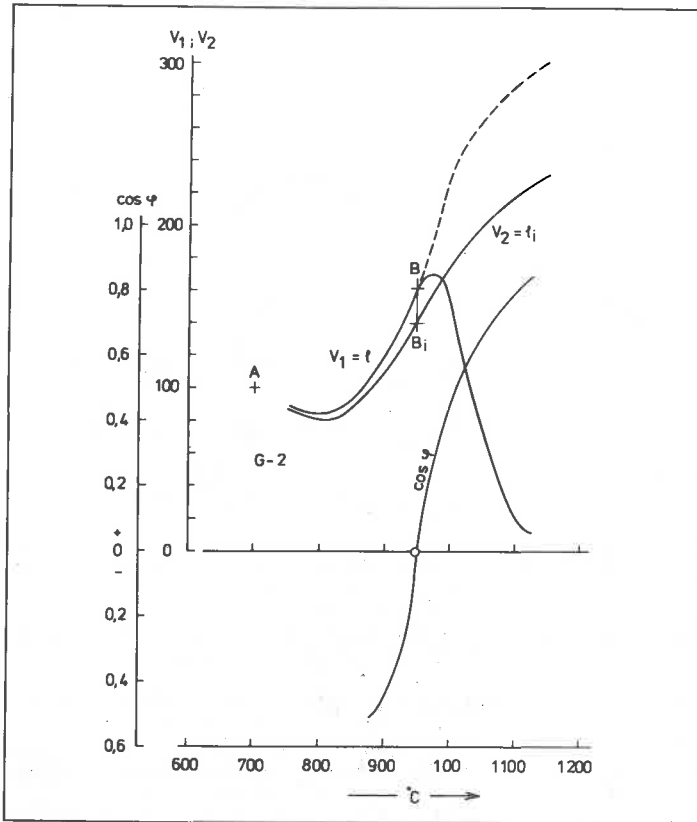


Bild 3: Erweichungskurven der scheinbaren  $I$  und idealen  $I_i$ , Veränderungen der halben Basislinie der Schmelzgestalten des Glases G-2. Die Länge der halben Basislinie der Anfangsgestalt = A, Halbkugelpunkte = B;  $B_i$

Tabelle 3: Schmelzvorgang des Glases G-2, gekennzeichnet mit numerischen Werten

°C	$I_s$	cos $\varphi$	$I_i$	$\pm \Delta 1\%$	$I\%$	$I_i\%$
20	34,6	—	—	—	—	—
700	31,7 <sup>+) </sup>	—	0,693	00,00	100,00	100,00
840	28,0	-0,6820	0,593	2,93	88,08	85,57
920	44,1	-0,4247	0,774	24,21	138,72	111,68
940	54,3	-0,0128	0,994	19,08	170,81	143,35
950	52,8	0,0000	1,000	15,10	166,09	144,30
1000	46,7	+0,4546	1,264	-18,29	146,90	179,79
1040	6,8	+0,6411	1,385	-89,30	21,39	199,85
1080	5,9	+0,7408	1,488	-91,35	18,55	214,71

<sup>+)</sup>  berechnete porenfreie Anfangsgestalt, halbe Basislinie des Schattenbildes

In den Gleichungen sind konstante Werte:

- $k_1 = 1,25992$  (35)
- $k_2 = 1,33333$  (36)
- $k_3 = 0,66667$  (37)
- $k_4 = 6,28318$  (38)
- $k_5 = 3,32464$  (39)

Um die Berechnungen verständlicher zu machen, haben wir aufgrund der Gleichungen für die Gestaltveränderung charakteristische Werte von zwei Gläsern, teils in Tabellen zusammengefaßt, teils in rechteckigem Koordinatensystem dargestellt. Die untersuchten Materialien hatten die chemische Zusammensetzung des eutektischen Glases (725 °C) in dem System:  $SiO_2 - CaO - Na_2O$ . Das Glas G-1 ist auch als Bindemittel der Quarzkörner in den Kieselkeramiken bzw. »Ägyptischen Fayencen« bekannt. Mit 2 % Kupferoxid gefärbt bildet dieses Glas – innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen – an der Oberfläche der Fayencen in dünner Schicht eine lebhaft

türkisblaue Glasur G-2, welche aus dem ägyptischen Fundmaterial wohlbekannt ist.

Das farblose Glas G-1 erweicht allmählich in Abhängigkeit von der Temperatur auf dichten keramischen Unterlagen. Auch die für die scheinbare und ideale Gestaltveränderung charakteristischen Kurven laufen mit kleinen Abweichungen parallel (Tabelle 1, Bild 1).

Das türkisblaue Glas G-2 erweicht ebenfalls allmählich auf derselben dichten keramischen Unterlage. Der Vorgang ist aber mit einer kaum zu vernachlässigenden Volumenvermehrung verbunden. Diese Erscheinung ist mit der Bildung von Kupfersilicaten gut zu erklären (Tabelle 2, Bild 2).

Dasselbe Glas G-2 verläuft dagegen nicht auf den quarzreichen Fayencematerialien. Nach der Halbkugelform – über 950 °C – ohne die Glattbrandtemperatur zu erreichen, dringt das Glas bzw. die Glasur mit großer Geschwindigkeit in das poröse Grundmaterial ein, ein Be-

weis für die raue Oberfläche einiger ägyptischer Fayencen (Tabelle 3, Bild 3).

Für die Untersuchungen waren die Probekörper aus gepulvertem Material in einer Metallform durch Stanzen hergestellt worden. Sie hatten Zylinderform von 0,3 cm x 0,3 cm. Der lineare Temperaturanstieg – die Grundbedingung für quantitative Bestimmungen – war 20 K/min.

Literatur

- [1] DIN 51730: Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens (1976)
- [2] Duma, G.: Szilikátok hevitömikroszkópi vizsgálatának mennyiségi kiértékelése az ideális alakváltozás alapján. Építőanyag 23 (1980) S. 325 – 334
- [3] Duma, G.: Zur Darstellung und Auswertung erhitzungsmikroskopischer Schmelzkurven. Kerami.Z. 1983 Nr. 5, S. 239 – 242

**BARIIUMSULFAT**  
**SPECKSTEIN / TALK**

Spezialsorten für Glas und Keramik



SCHERUHN TALKUM-BERGBAU

POB 1329 • D-8670 Hof • Tlx 643 746

