

stellten Gleichungen berechnet wird. In vielen Fällen kann der elektrische Widerstand nach Gleichung (8) berechnet werden. Der sich hieraus ergebende Fehler ist von der Entfernung der Elektroden voneinander und der Entfernung der Elektroden von den Begrenzungsflächen abhängig. Gleichung (8) kann benutzt werden, wenn  $w_1 > b$ ,  $w_2 > b$ ,  $w > 4b$ ,  $c_1 > 0,25b$ ,  $c_2 > 0,25b$  (Bild 17). Befinden sich in einer Wanne mehrere Elektroden, muß die Entfernung der anderen Elektroden von den beiden Elektroden mindestens  $2b$  betragen. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann der elektrische Widerstand nach Gleichung (8) berechnet werden. Der Fehler beträgt dann nicht mehr als 5%.

Die Daten von Bild 18 wurden an Hand der aufgeführten Formeln berechnet. Die Angaben gelten für den Fall, daß die Leistung der elektrischen Energie bei jeder Elektrodenanordnung gleich bleiben soll. Als Vergleichsgröße dient die Elektrodenanordnung a.

Bei Drehstrom können auch die Begrenzungsflächen berücksichtigt werden. In diesem Fall wird der elek-

trische Widerstand nach dem Gleichungssystem (2) berechnet, wobei die Potentialfaktoren aus den Gleichungen (26) und (27) erhalten werden. Ist  $a_{ij} = a_{kk}$  und  $a_{ik} = a_{ki}$ , was in der Praxis häufig vorkommt, kann der Widerstand nach den angegebenen Formeln berechnet werden. In diesem Fall sollen nur die Gleichungen verwendet werden, bei denen auf der rechten Seite nur die Potentialkoeffizienten  $a$  vorkommen.

## 6. Zusammenfassung

Es wurde eine allgemeine Berechnungsmethode für die Bestimmung des elektrischen Widerstandes von elektrischen Glasschmelzöfen angegeben. Die nach der angegebenen Methode berechneten Widerstände wurden in vielen Fällen an einem Modell und einer Laborglasschmelzwanne überprüft. Die Ergebnisse der Berechnungen wichen maximal 5% von den Ergebnissen der Modellversuche und 10% von Meßwerten am Laborofen ab.

## 7. Literatur

- [1] BOREL, E.: Die Praxis der elektrischen Glasschmelze. Glastechn. Ber. **23** (1950) S. 213—219.
- [2] HOROWITZ, J. und OLTEN, E.: Die Grundlagen der Elektroglasschmelze. Glas-Email-Keramo-Techn. **7** (1956) S. 409—415, 453—462.
- [3] LIWINSKI, W.: Über die Berechnung des Widerstandes in Salzbad-Elektroöfen. Vortrag auf dem IV. Elektrowärme-Kongreß in Stresa 1959.
- [4] ANDRUSIECZKO, A.: Elektrischer Widerstand von geschmolzenem Glas. (Orig. poln.) Szkło i Ceram. **18** (1967) Nr. 2, S. 44—49. [Ref. Glastechn. Ber. **41** (1968) S. 24.]
- [5] ANDRUSIECZKO, A.: Der Einfluß von Temperaturschwankungen und Inhomogenität von geschmolzenem Glas auf den Betrieb eines elektrisch beheizten Schmelzofens. (Orig. poln.) Szkło i Ceram. **18** (1967) Nr. 3, S. 70—73. (48867)

## Kurzbeitrag

DK 66.012.37:662.66:666.753:621.31:662.762  
666.1(430.1)

### Entwicklung des Energieverbrauchs in der Glasindustrie

VON WOLFGANG TRIER, Frankfurt (Main)

(Eingegangen am 2. Mai 1969)

Die Glashüttenindustrie zählt neben der Eisenhüttenindustrie, der NE-Metallerzeugung, der Industrie der Steine und Erden und der Chemie zu den am stärksten mit Energiekosten belasteten Industrien. Es ist aufschlußreich, sich an Hand der verfügbaren statistischen Zahlen einen Überblick über die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs in den zurückliegenden Jahren zu verschaffen und aufgetretenen Verschiebungen zwischen den einzelnen Energieträgern nachzugehen.

Der Energieverbrauch der westdeutschen Glasindustrie ist in den vergangenen 7 Jahren durch eine laufende starke Abnahme des Kohleverbrauches und eine laufende annähernd

lineare Zunahme des Strom- und Heizölverbrauches gekennzeichnet. Der Ölverbrauch hat dabei, auf 1 kcal bezogen, stärker zugenommen, als der Kohleverbrauch abgenommen hat. Der Gasverbrauch (Stadtgas oder Ferngas) hat geringfügig abgenommen. Es sind stärkere Schwankungen zu beobachten, die keine besonderen strukturellen Verschiebungen bedeuten, sondern von lokalen vorübergehenden Umständen abhängen (Bild 1). Bemerkenswert ist die starke Abnahme des Gasverbrauchs und die, wenn auch geringfügige Abnahme des Öl- und Stromverbrauchs 1967 gegenüber 1966. Ursache für diese Erscheinung ist der Produktionsrückgang 1967.

Die Verschiebung des Energieverbrauches von der Kohle zum Heizöl hängt von dem weitgehenden Übergang vom Generatorgasbetrieb zum Heizölbetrieb zusammen. Es gibt heute in Westdeutschland nur mehr kleine Glashütten (vornämlich Mundblashütten), die noch mit Generatorgas arbeiten.

Die Zunahme des Stromverbrauchs geht mit dem des Heizöls praktisch parallel. Die zunehmende Mechanisierung

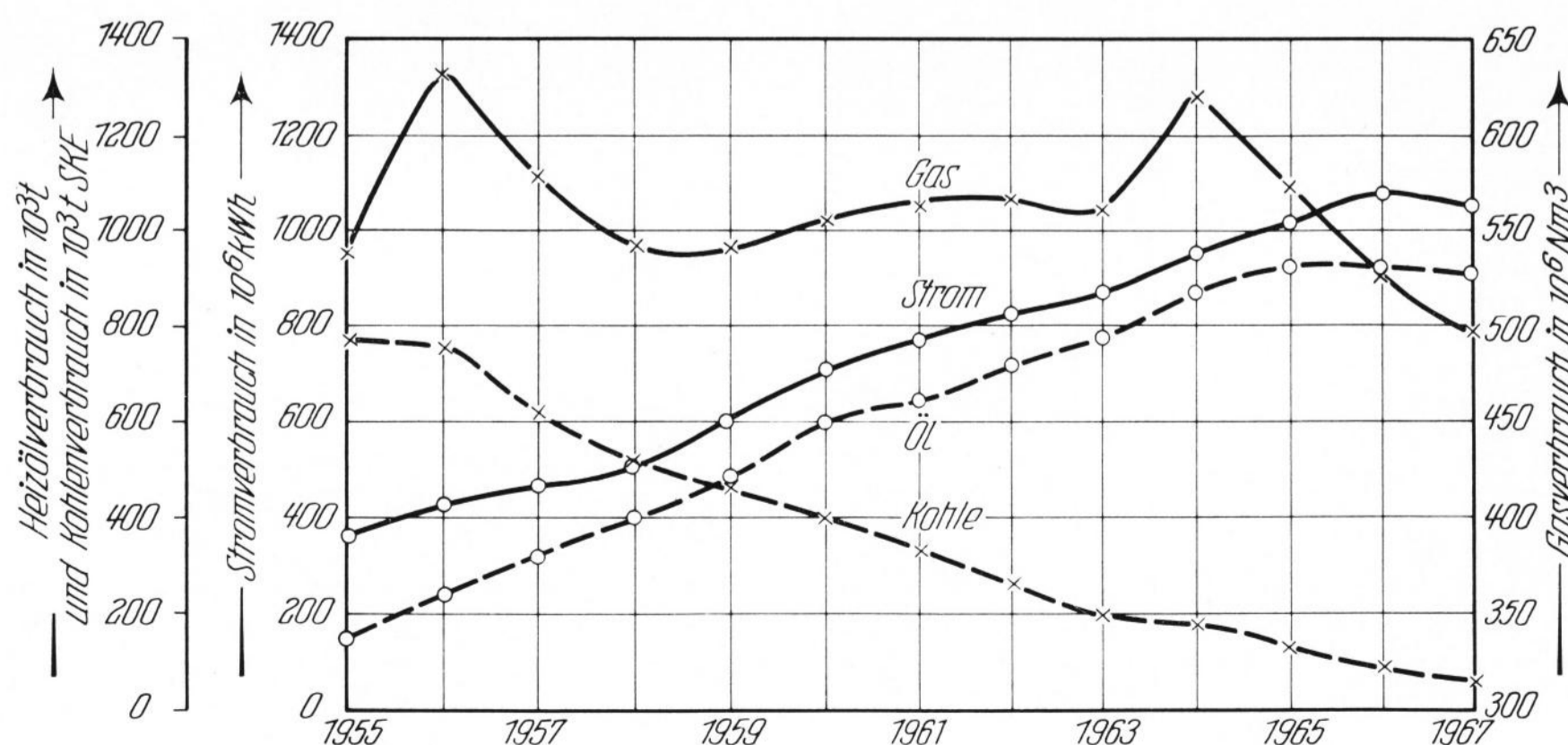


Bild 1. Entwicklung des Kohle-, Heizöl-, Gas- und Stromverbrauchs der deutschen Glasindustrie in den Jahren 1953—1967.

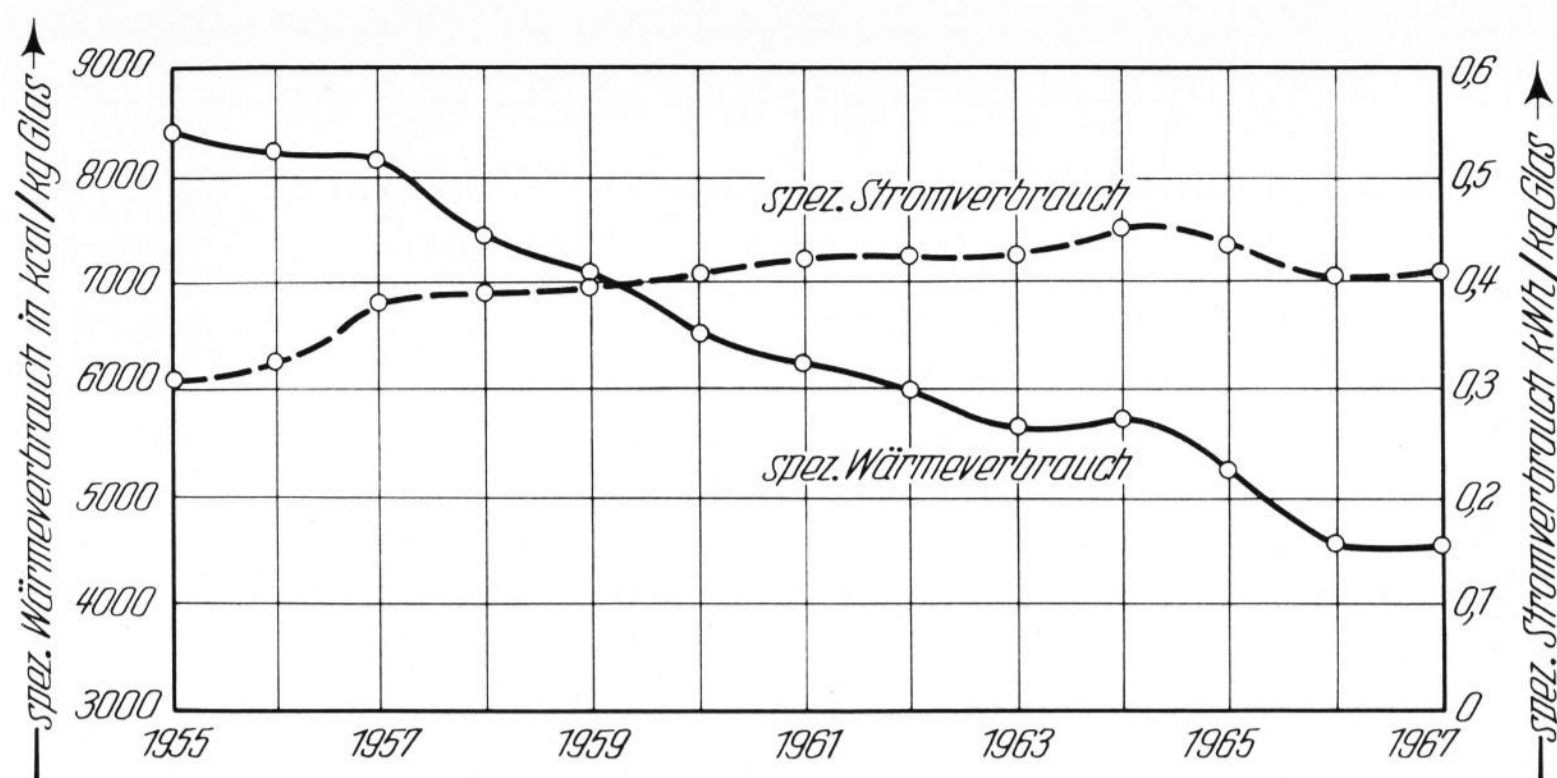


Bild 2. Entwicklung des spezifischen Wärme- und Stromverbrauchs in den Jahren 1953—1967.

der Betriebe und die sich einführende elektrische Zusatzheizung der Schmelzöfen sind die Ursachen.

Von Interesse ist der auf die produzierte Glasmenge bezogene Energieverbrauch. Der spezifische Wärmeverbrauch ist in den vergangenen 17 Jahren auf fast die Hälfte gesunken und liegt heute bei etwa 4580 kcal/kg Glas (Bild 2). In diesen Zahlen steckt nicht nur der Wärmeverbrauch der Schmelzöfen, sondern sie umfassen den gesamten Wärmeverbrauch der Hütten, einschließlich der Nebenöfen und der Gebäudebeheizung. Die starke Abnahme dieses Wertes spiegelt die technischen Verbesserungen, die erzielt worden sind, deutlich wider. Sie ist in erster Linie bedingt durch die konstruktiven und betrieblichen Verbesserungen der Schmelzöfen, welche vor allem die Umstellung von Generatorgas auf Öl gebracht hat. So fiel, von allen anderen Dingen abgesehen, der Verlust, den die Vergasung der Kohle mit sich bringt (etwa 20%), weg. Hinzu kommt, daß die Ölflamme eine starke Verbesserung des Wärmeüberganges Flamme-Gemenge und Flamme-Glasbad mit sich bringt und die Abgasverluste vermindert werden. Der Produktionsrückgang 1967 gegenüber 1966 wirkt sich auch hier in einer geringfügigen Zunahme des spezifischen Wärme- und Stromverbrauches aus.

Der Stromverbrauch läßt im Mittel über die vergangenen Jahre eine geringfügige Zunahme erkennen. Er liegt heute bei 0,42 kWh/kg Glas.

Bei den genannten Zahlen gilt es allerdings zu bedenken, daß innerhalb der einzelnen Gruppen der Glasindustrie, was

den Energieverbrauch anbelangt, große Unterschiede bestehen. Mit Abstand am meisten Energie benötigen die Schmelzöfen, und zwar in Form von Brennstoffenergie. Nur in Ausnahmefällen werden rein elektrisch betriebene Anlagen verwendet.

Bezieht man die für die Schmelze benötigte Brennstoffenergie auf 1 kg erschmolzenes Glas, dann kann im Mittel der Wärmeverbrauch bei Flaschen- und Behälterglas mit 1300 kcal/kg Glas, beim Flachglas mit 2200 kcal/kg Glas und beim mundgeblasenen Glas mit 6000 kcal/kg Glas angesetzt werden. Beim Spezialglas hängt der Wert sehr stark von der Art des Glases und den benötigten Mengen ab, so daß sich hier kein für die gesamte Gruppe gültiger Wert angeben läßt. Die mit Abstand stärkste Verminderung des Brennstoffverbrauchs hat die Flaschen- und Behälterglasindustrie in den letzten 17 Jahren erzielen können. Ohne grundsätzliche Änderung des Schmelzverfahrens und der Schmelzöfen gelang es, den Brennstoffverbrauch durch bessere Isolierung der Öfen, Verfeinerung des Schmelzablaufes und konstruktive Verbesserung der Öfen auf rund die Hälfte zu vermindern.

Es gilt zu beachten, daß der auf die Gewichtseinheit erschmolzenen Glases bezogene Brennstoffenergiebedarf nur bedingt ein Maß für die Energiekostenbelastung der einzelnen Glasgegenstände bildet. Die starken preislichen Unterschiede zwischen den einzelnen Glasgegenständen (z. B. Glasflasche und Kelch aus Bleikristallglas) verschieben die Maßstäbe und führen zu anderen Relationen. (49814)

DK 666.1.002.237:666.1(047.1)

## Fortschritte auf dem Glasgebiet

Die Expansion des Wissensstandes und die damit verbundene fortschreitende Spezialisierung bringt es mit sich, daß auch der Fachmann nur mehr wenige, eng abgegrenzte Spezialgebiete überblickt und die neue Literatur auf diesen Gebieten nur noch schwer genau genug verfolgen kann. Aus deutscher Sicht heraus kommt noch hinzu, daß viele wichtige Arbeiten im ausländischen Schrifttum erscheinen, das für viele in der Praxis Stehende entweder überhaupt nicht, oder wegen sprachlichen Schwierigkeiten nur schwer verfolgt und ausgewertet werden kann. Eine wertvolle Hilfe bietet hier ohne Zweifel der Referatenteil der Glastechnischen Berichte. Eine sorgfältige Auswertung erfordert jedoch die Anlage einer Kartei; aber auch dann ist die Erarbeitung des Standes des Wissens noch eine mühevoll und zeitraubende Aufgabe.

Die geschilderte Situation führt dazu, daß besonders für den mit laufenden betrieblichen Arbeiten Belasteten der Gesamtüberblick leicht verlorengeht. Eine gewisse Hilfestellung in dieser Situation verspricht die Herausgabe von zusammenfassenden kritischen Darstellungen des Standes des Wissens an Hand der neueren Literatur. Diese Darstellungen greifen bestimmte eng abgegrenzte Gebiete heraus und geben die in den vergangenen Jahren in diesem Bereich erzielten Fortschritte wieder.

Es ist vorgesehen, solche „Fortschrittsberichte“ künftig neben den Aufsätzen in den Glastechnischen Berichten zu bringen. Das Gesamtgebiet der Glastechnik und Glaswissenschaft soll in einzelne überschaubare Teilgebiete aufgegliedert werden. Jedes Teilgebiet soll etwa alle drei Jahre unter Anziehung des in der Zwischenzeit angefallenen Schrifttums behandelt werden, wobei die eigene kritische Stellungnahme des Autors nicht fehlen darf. Im Laufe der Jahre können auf diese Weise Schriftenreihen über Spezialbereiche entstehen, die das Einarbeiten in Teilbereiche erleichtern und in der Gesamtheit auch einen geschlossenen Überblick ermöglichen.

Im vorliegenden Heft soll die Reihe der „Fortschritte auf dem Glasgebiet“ mit einer Literaturzusammenstellung über die Bildung von Reaktionsprodukten beim Aufheizen von Glasgemengen begonnen werden. In folgenden Heften sind Berichte über Konstruktion, feuerfeste Baustoffe und Meß- und Regeltechnik von Glasschmelzöfen und weiter über Rohstoffe und Gemengebereitung vorgesehen. Weitere Berichte sollen sich dann mit der Glasverarbeitung, der Glasprüfung, Glasfaserherstellung und Verarbeitung, Hohlglasanwendung, Flachglasanwendung, Glasgestaltung und -veredelung, Glasanalyse und den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Glases befassen.

Die Schriftleitung hofft auf diese Weise, die Glastechnischen Berichte noch attraktiver als bisher zu gestalten.