

## Temperaturmessung in der Oberwalze einer Gußglasmaschine

VON WOLFGANG TRIER und HELMUT BEINE<sup>1)</sup>, Frankfurt (Main)

(Mitteilung aus der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG), Frankfurt (Main))

(Vortrag auf der 39. Glastechnischen Tagung am 12. Mai 1965 in Aachen)

(Eingegangen am 15. Juni 1965)

Es wird über Temperaturmessungen an der Oberwalze einer Gußglasmaschine berichtet, die mit Thermolementen unter Verwendung eines Drehübertragers und Kompensatoren ausgeführt wurden. Großen Wert wurde auf die Erfassung der zeitlichen Temperaturschwingungen im Oberflächenbereich der Walze gelegt. Die Meßwerte zeigen Ähnlichkeit mit denen, die in Vorformen von Hohlglasmaschinen ermittelt wurden. Die räumliche Temperaturverteilung in der Walze konnte nur in radialer Richtung gemessen werden. Über die axiale können nur unverbindliche Daten genannt werden, da für eine genauere Erfassung die Anzahl der Elemente nicht ausreichte. Die Meßwerte wurden in Diagrammform ausgewertet, und es wird versucht, allgemeine Zusammenhänge über den Einfluß von Walzengeschwindigkeit und Banddicke anzugeben. Wegen einer genauen mathematischen Analyse wird auf die folgende Arbeit von TRIER und STAATSMANN [1] verwiesen.

Bei der maschinellen Gußglaserzeugung läuft das erschmolzene Glas über einen Überlauf zwischen ein Walzenpaar. Die Walzen sollen dem Glas die gewünschte Form geben und durch Wärmeentzug dafür sorgen, daß das Glas die Walzen im weitgehend formbeständigen Zustand verläßt. Da Glas die Wärme schlecht leitet und nur kurzzeitig in Kontakt mit der Walze steht, wird vor allem den unmittelbar mit den Walzen in Kontakt stehenden Oberflächenschichten des Glasbandes Wärme entzogen, während sich das Innere nur wenig abkühlt. Dies führt dazu, daß die äußeren, relativ kalten Schichten nach Verlassen der Formwalzen von innen her wieder erhitzt werden (Rückerhitzung), wodurch das zuerst relativ steife Glasband vorübergehend wieder plastisch wird. Nur wenn die Abkühlung und damit die Zunahme der Viskosität des Glases und die nachfolgende Rück-erhitzung in der richtigen Weise erfolgt, gelingt es, ein Glasband der gewünschten Dicke und Form mit hoher Produktionsleistung zu walzen.

Die enge Beziehung zwischen der Formgebung und dem Wärmeentzug des Glases zeigt, welche Bedeutung der Wärmeabgabe des Glases und damit auch der Temperatur der Walze zukommt. Während der Wärmeaustausch Glas — Form und die Temperaturverteilung in Hohlglasformen Gegenstand zahlreicher Untersuchungen waren [2 bis 4] und sich Angaben darüber in der Literatur finden, ist über die thermischen Vorgänge beim Walzen von Glas bisher nur an einer Stelle [5] veröffentlicht worden, wobei die Temperaturverteilung im Glas im Vordergrund stand.

### 1. Aufgabenstellung

Die örtliche Temperaturverteilung und die zeitlichen Änderungen der Temperaturen in der Oberwalze einer Gußglasmaschine sollten unter verschiedenen Walzbedingungen gemessen werden mit dem Ziel, aus den Meßwerten näheres über den Wärmeübergang Glas—Walze und Walze—Umgebung zu erfahren und eine Wärmebilanz der Walze zu erstellen. Besonderes Interesse ver-

dienen dabei die Temperaturen an der Walzenoberfläche und im Bereich des zentralen Kühlwasserkanals.

Was die verschiedenen Betriebszustände anbelangt, galt es, den Einfluß der Glasbanddicke auf die Temperaturverhältnisse in der Walze zu untersuchen. Die einzelnen Betriebszustände, wie Weite der Walzenspalte, Umfangsgeschwindigkeit der Walze, Kühlwassermenge und -temperatur wurden vom Bedienungspersonal entsprechend den Erfahrungen der Praxis gewählt. Da nur eine Walze für Meßzwecke zur Verfügung stand, war es nicht möglich, den Einfluß des Walzendurchmessers unmittelbar zu untersuchen.

Auf Temperaturmessungen im Glas selbst mußte bei diesen Meßreihen ebenfalls verzichtet werden, da solche Messungen erfahrungsgemäß ohne erhebliche Störungen der Produktion nicht möglich sind. Die Messungen wurden auch nur beim Walzen einer Glasart (Weißglas) durchgeführt.

## 2. Durchführung der Messungen

### 2.1. Meßapparatur

Die äußeren Oberflächentemperaturen der Gußglaswalze wurden mit in die Walzenwandung eingelassenen Thermofühlern gemessen, wobei die Thermoschenkel durch die zentrale Walzenbohrung abgeführt wurden. Verwendet wurden die im Handel befindlichen NiCr-Ni-Miniatur-Mantelthermoelemente. Es wurden Thermo-

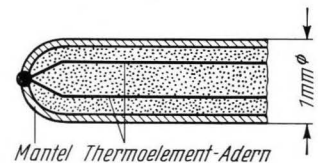


Bild 1. Meßstelle eines Miniatur-Thermoelementes.

molemente mit einem Außendurchmesser von 1,0 mm gewählt; die Thermolement-Adern von je 0,2 mm Durchmesser sind in Magnesiumoxyd-Pulver eingebettet und von einem mechanisch sehr widerstandsfähigen und wasserdichten Mantel aus Chromnickelstahl umgeben (Bild 1).

<sup>1)</sup> Die Messungen wurden von Herrn H. BEINE ausgeführt.

Zur Herstellung der Meßfühler wurden die Elementadern und der Elementmantel im Meßpunkt verschweißt; hierdurch ergab sich eine sehr geringe Ansprechzeit, die Zeitkonstante einer solchen Anordnung ist so klein, daß sie für die vorliegende Meßaufgabe nicht berücksichtigt werden muß. Voraussetzung dafür ist, daß die Meßstelle der Elemente mit dem Walzenmaterial in guten Wärmekontakt gebracht wird.

Um den zu erwartenden starken radialen Wärmestrom möglichst wenig zu stören, wurde das Thermoelement an der Meßstelle abgewinkelt und die Zuleitung längs der Erzeugenden der Walzenoberfläche angeordnet (Bild 2).

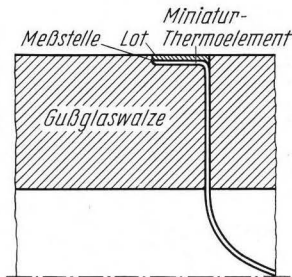


Bild 2. Eingelötetes Miniatur-Thermoelement.

Die Thermoelemente wurden von der Meßstelle aus über eine Strecke von 10 bis 15 mm dicht unter der Walzenoberfläche parallel zur Walzenachse verlegt und dann durch eine radiale Bohrung in die Walzenbohrung für die Wasserkühlung eingeführt. An die Walze wurde ein Meßstrom-Drehübertrager mit zwischengeflanschem Haltestück angebracht. Der Quecksilber-Meßstrom-Drehübertrager gestattet die elektrische Verbindung der rotierenden Thermoelemente mit dem ruhenden Kompensationsmeßgerät. In Bild 3 wird die Meßwalze in Betrieb gezeigt.

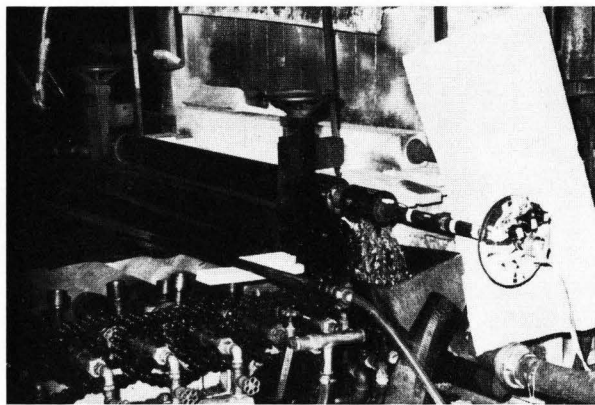


Bild 3. Gußglasmaschine während der Messung.

Es wurden sechs Thermoelemente zur Messung der Oberflächentemperaturen der Walze eingesetzt, davon lagen drei Thermoelemente im Bereich der äußeren, drei im Bereich der inneren Oberfläche. Die Anordnung der Thermoelemente wurde so gewählt, daß die Temperaturverhältnisse in der Mitte und im Seitenbereich der Walze gemessen werden konnten. Die Meßstelle 2 lag 1,2 mm und die Meßstelle 3 1,3 mm unter der Oberfläche (Bild 4).

Die Enden der Thermoelemente mit der Meßstelle wurden mit Hartlot in der Walze verlötet, um einen guten Wärmekontakt sicherzustellen. Nach dem Verlöten wurde die Walze leicht überschliffen, so daß die Oberfläche auch im Bereich der Meßstelle glatt war und keine Unebenheiten aufwies.

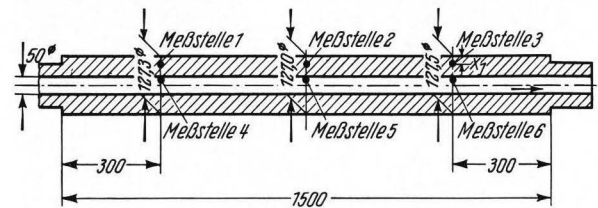


Bild 4. Gußglaswalze mit Meßstellen.

Die inneren Thermoelemente konnten nicht eingelötet werden; es wurden Klemmen gebaut, mit denen die Meßstellen der Thermoelemente gegen die Wandung gedrückt werden konnten. Die Anordnung geht aus Bild 5 hervor.

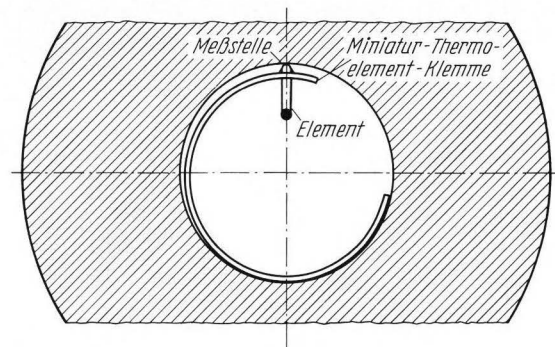


Bild 5. Thermoelementklemme.

Die Thermospannungen wurden über abgeschirmte Thermoelementleitungen, die durch die Walzenbohrung zum kühlwasserabführenden Walzenende geführt wurden, über Umschalter, Quecksilber-Meßstrom-Drehübertrager und Ausgleichsstellen-Thermostaten mit schnellanzeigenden elektronischen Kompensatoren stromlos gemessen und registriert. Die verwendeten Kompensatoren hatten eine Einstellzeit von 0,3 s/Skalenlänge und waren somit in der Lage, auch sehr schnellen zeitlichen Änderungen der Thermospannung zu folgen. Mit Meßstellenumschaltern konnten die Geräte auf die einzelnen Thermoelemente geschaltet werden (Bild 6).

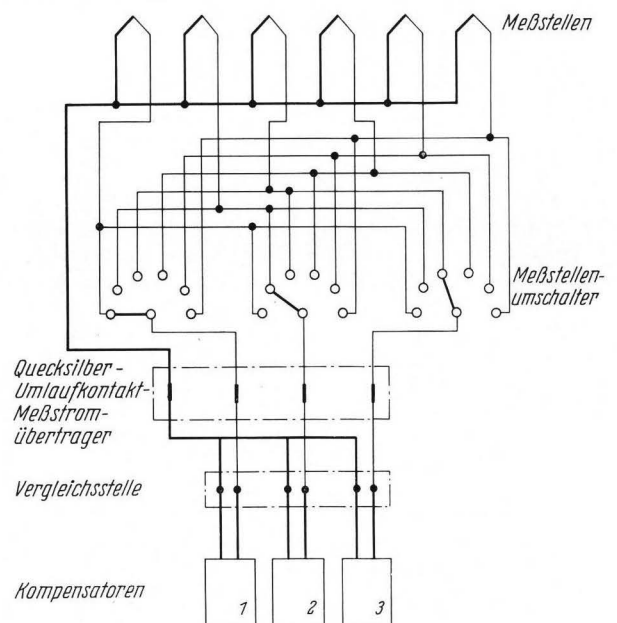


Bild 6. Schaltplan der Meßleitungen.

2.2. Walzmaschine

Das in die Walzmaschine einlaufende Gußglas hatte eine Temperatur von 1140 °C. Die als Meßwalze dienende Oberwalze war glatt, die Unterwalze wies eine Ornamentierung auf. Bild 7 zeigt im Seitenschnitt sche-

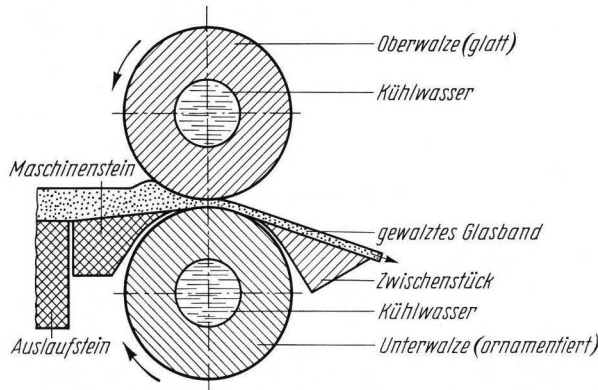


Bild 7. Schematischer Schnitt durch die Gußglasmaschine.

matisch die Walzmaschine und den Walzvorgang. Die Walze bestand aus Chromstahl. Die Wärmeleitzahl, die spezifische Wärme und das Raumgewicht des Walzenmaterials sind nach Angaben des Herstellers für verschiedene Temperaturen zwischen 20 und 600 °C in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Wärmeleitzahl, spezifische Wärme und Raumgewicht für Chromstahl (Oberwalze)

Temperatur in °C	Wärmeleitzahl in kcal/m h grd	spez. Wärme in kcal/kg grd	Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>
20	21,6	0,11	7720
100	22,7	0,12	7700
200	23,4	0,13	7670
300	23,8	0,14	7650
400	23,8	0,16	7620
500	23,4	0,18	7590
600	23,0	0,21	7560

2.3. Walzentemperaturen

Es wurden sieben Versuche durchgeführt; gemessen wurden die Oberflächentemperaturen<sup>2)</sup> in Abhängigkeit von der Glasdicke und Walzengeschwindigkeit. Bild 8 zeigt den gemessenen Temperaturverlauf für die Meßstellen 2, 3, 5 und 6. Die Thermoelemente der Meßstellen 1 und 4 fielen leider während der Messung aus.

Die äußeren Oberflächentemperaturen steigen nach dem Kontakt mit dem heißen Glas zunächst stark an, der Temperaturanstieg nimmt jedoch während des Kontaktes ab. Die Oberflächentemperatur hat beim Abheben der Walze von dem Glasband ihr Maximum erreicht und fällt zuerst rascher, dann langsamer auf den Ausgangswert zurück; vor dem erneuten Glaskontakt ist im Oberflächenbereich ein Temperaturausgleich festzustellen. Die Temperaturen im Bereich der äußeren Oberfläche der Walze zeigen einen zeitlichen Temperaturverlauf ähnlich wie er bei Vor- und Fertigformen von

<sup>2)</sup> Im folgenden soll von Oberflächentemperaturen die Rede sein, obwohl die außen gemessenen Temperaturen nicht die wahren Oberflächentemperaturen, sondern Temperaturen dicht unter der Oberfläche (in 1,2 bzw. 1,3 mm Abstand) darstellen.

Hohlglasmaschinen gemessen wurde [2]. Die Amplitude liegt in der gleichen Größenordnung.

Die inneren Oberflächentemperaturen zeigen mehr oder weniger definierte Schwankungen, die wohl vornehmlich von lokalen Schwankungen der Walzenkühlung abhängig sein dürften.

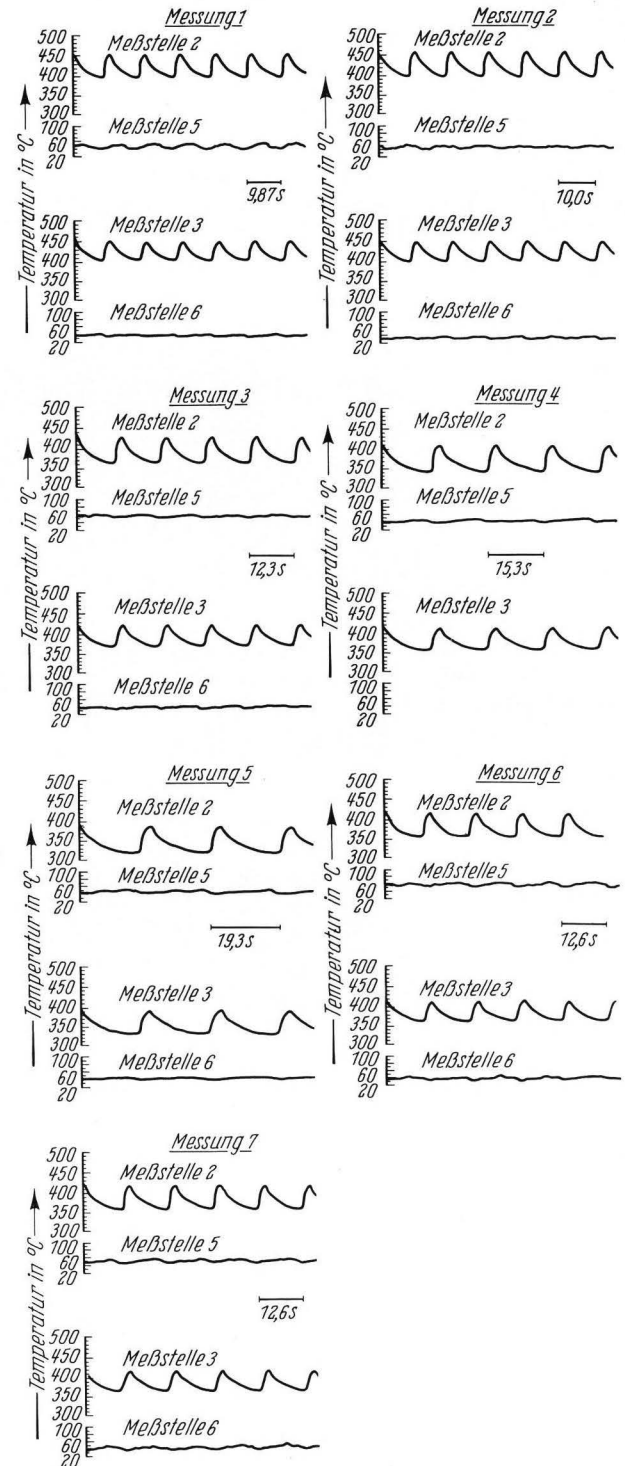


Bild 8. Temperaturverlauf bei den Messungen 1 bis 7 für die Meßstellen 2, 3, 5 und 6 an verschiedenen Stellen der Walzenoberfläche: in Walzenmitte in 1,2 mm Tiefe (Meßstelle 2), am Walzenende in 1,3 mm Tiefe (Meßstelle 3), an der inneren Walzenoberfläche in Walzenmitte (Meßstelle 5) und an der inneren Walzenoberfläche am Walzenende (Meßstelle 6).

Die gemessenen Walzentemperaturen (maximale und minimale Temperatur, Differenztemperatur) an den vier Meßstellen bei der gefahrenen Glasdicke und Walzenumfangsgeschwindigkeit sind für die sieben Versuche in Tabelle 2 aufgeführt.

zu, da der Glasdurchsatz mit der Dicke steigt (Bild 9). Zu jeder Glasdicke (Walzenspalt) wurde eine bestimmte Walzendrehzahl gefahren. Dadurch war es nicht möglich, den Einfluß von Drehzahl und Glasdicke (Walzenspalt) auf die Walzentemperatur getrennt zu erfassen.

Tabelle 2. Zusammenfassung der Versuchsdaten

	Dim.	Messung						
		1	2	3	4	5	6	7
Glasdicke (fertiges Glas)	mm	3—4	3—4	4—6	6—7	7—9	4—5	4—5
Walzendrehzahl	min <sup>-1</sup>	6,09	5,99	4,86	3,94	3,12	4,76	4,76
Walzenumfangsgeschwindigkeit	m/min	2,44	2,40	1,95	1,58	1,25	1,91	1,91
Glasbandgeschwindigkeit	m/min	3,08	3,19	2,54	2,14	1,60	2,40	2,40
Meßstelle 2								
max./min. Oberflächentemperatur	°C	455/395	458/400	430/365	410/343	390/320	417/355	420/360
Temperaturdifferenz	grd	60	58	65	67	70	62	60
Meßstelle 5								
max./min. Oberflächentemperatur	°C	55/40	52/40	62/56	48/42	53/44	63/52	59/48
Temperaturdifferenz	grd	15	12	6	6	9	11	11
Meßstelle 3								
max./min. Oberflächentemperatur	°C	453/408	452/413	425/370	415/358	393/330	415/360	417/365
Temperaturdifferenz	grd	45	39	55	57	63	55	52
Meßstelle 6								
max./min. Oberflächentemperatur	°C	45/38	38/30	44/36		48/40	45/33	50/35
Temperaturdifferenz	grd	7	8	8		8	12	15

### 2.3.1. Abhängigkeit der gewalzten Glasmasse von der Glasdicke (Walzenspalt)

Die dem Schmelzofen entnommene Glasmasse nimmt mit der Glasdicke im allgemeinen zu; die Meßpunkte der einzelnen Messungen streuen jedoch sehr (Bild 9).

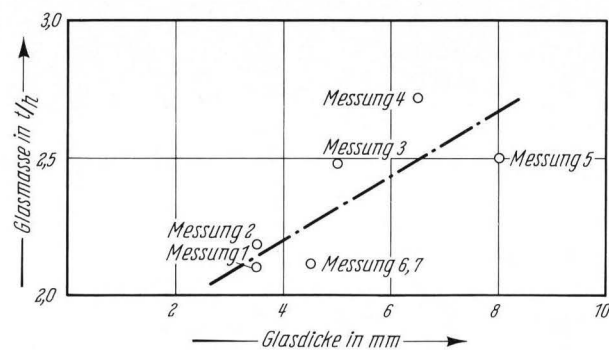


Bild 9. Zusammenhang zwischen Glasdurchsatz und Glasdicke.

Die starke Streuung läßt eine Unsicherheit bei der Einstellung der Walzgeschwindigkeit der Maschine in Abhängigkeit von der Glasdicke vermuten.

### 2.3.2. Abhängigkeit der Walzenumfangsgeschwindigkeit und der Glasbandgeschwindigkeit von der Glasdicke (Walzenspalt)

Mit zunehmender Glasdicke (Walzenspalt) nimmt die Umfangsgeschwindigkeit der Walze stark ab. Nach dem Walzen wird das Glasband um etwa 30% gestreckt (Bild 10).

Eine Verdoppelung der Glasdicke bei konstantem Glasdurchsatz entspricht einer Halbierung der Umfangsgeschwindigkeit und damit einer Verdoppelung der Kontaktzeit Glas—Walze. Dieses trifft, wie Bild 10 zeigt, jedoch für die hier beschriebenen Messungen nicht

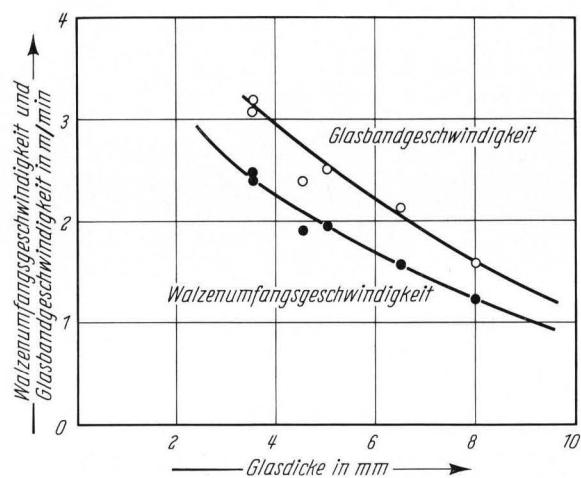


Bild 10. Zusammenhang zwischen Glasdicke, Walzenumfangsgeschwindigkeit und Glasbandgeschwindigkeit.

### 2.3.3. Walzenoberflächentemperatur in Abhängigkeit von Walzenumfangsgeschwindigkeit und Glasdicke

Die Walzentemperaturen steigen mit der Walzendrehzahl annähernd linear an, fallen jedoch mit der Glasdicke, obwohl bei steigender Glasdicke nach Abschnitt 2.3.1. die durchgesetzte Glasmasse ebenfalls steigt (Bild 11).

Daraus ist zu entnehmen, daß die Walzenoberflächentemperatur vornehmlich von der Walzendrehzahl abhängig ist, was auf Grund der bisher bekannten theoretischen Zusammenhänge über den Wärmeübergang Glas—Metalloberflächen auch zu erwarten ist. Aus betrieblichen Gründen konnten leider keine Messungen angestellt werden, die diese Beobachtung auch quantitativ belegen.

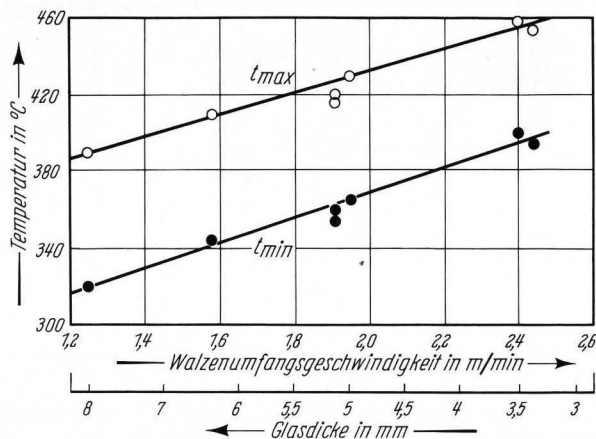


Bild 11. Maximale und minimale Walzenoberflächentemperatur in Abhängigkeit von Walzenumfangsgeschwindigkeit und Glasdicke.

Trägt man die Amplitude der Temperaturschwingungen über die mittlere Oberflächentemperatur auf, so sieht man, daß die Temperaturschwingung mit steigender mittlerer Walzenoberflächentemperatur abnimmt (Bild 12). Diese Erscheinung konnte auch bei Messungen in Glasformen von Hohlglasmaschinen beobachtet werden.

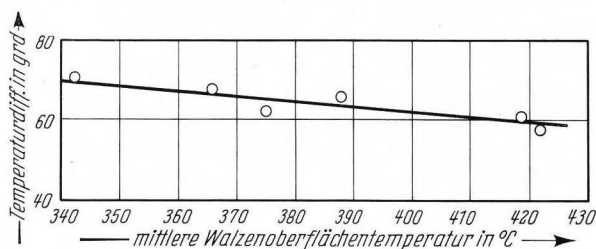


Bild 12. Temperaturdifferenz zwischen maximaler und minimaler Walzenoberflächentemperatur in Abhängigkeit von der mittleren Walzenoberflächentemperatur.

### 2.3.4. Temperaturen an der Innenwand der Walze

Die Temperaturen an der Innenwandung sind fast ausschließlich von den Kühlbedingungen abhängig. Sie

betragen bei der Messung im Bereich des Wasserauslaufs 35 bis 45 °C, in Walzenmitte 45 bis 65 °C. Durch die Messung mit dem angedrückten Thermoelement kann die Wandungstemperatur nicht exakt bestimmt werden; vielmehr stellt das Meßergebnis eine zwischen der wahren Wandungstemperatur und der Kühlwassertemperatur liegende Bezugstemperatur dar, die aber durch die Ausführung der Meßstelle der Wandungstemperatur sehr nahe kommen dürfte.

### 2.3.5. Örtliche Temperaturverteilung

Unter Berücksichtigung des um 0,1 mm tiefer in die Walzenoberfläche eingebauten seitlichen Thermoelements lagen die Temperaturen in der äußeren oberflächennahen Schicht 300 mm vom Walzenende entfernt und in der Walzenmitte gleich hoch. Die minimalen Temperaturen waren an der seitlichen Meßstelle um 8 bis 18 grad höher als die in der Walzenmitte. Damit ist auch die mittlere Temperatur an der Meßstelle 3 höher als an der Meßstelle 2. Eine Deutung für die höhere äußere Temperatur im Oberflächenbereich soll wegen der geringen Anzahl der Meßpunkte, insbesondere durch den Ausfall der Thermolemente 1 und 4, nicht gegeben werden.

Die Innenwandungstemperaturen lagen, wie zu erwarten war, an der seitlichen Meßstelle niedriger als in der Walzenmitte. Die maximalen Temperaturen am Walzenende waren um 4 bis 19 grad, die minimalen Temperaturen 2 bis 20 grad niedriger als in der Walzenmitte.

## 3. Zusammenfassung

Die äußeren Oberflächentemperaturen steigen nahezu linear mit der Walzendrehzahl, während die Temperaturdifferenz (Amplitude) mit zunehmender mittlerer Walzenoberflächentemperatur abnimmt. Die gemessenen Temperaturen lagen zwischen 320 und 458 °C mit Amplituden zwischen 58 und 70 grad in Walzenmitte. Die Temperaturen an der inneren Walzenoberfläche wurden zwischen 45 und 65 °C gemessen und sind fast ausschließlich von den Kühlbedingungen abhängig.

Thermisch stellt der Walzvorgang für die Gußglaswalze eine erzwungene Wärmeschwingung dar, die durch die Wärmekapazität und den Wärmeleitwiderstand der Walze gedämpft wird.

## 4. Schrifttum

- [1] TRIER, W. und STAATSMANN, H.: Berechnung der Temperaturverteilung und der Wärmeströme in der Oberwalze einer Gußglasmaschine. Glastechn. Ber. 38 (1965) H. 11, S. 438—450.
- [2] TRIER, W.: Temperaturmessungen in Glasformen. Glastechn. Ber. 28 (1955) S. 336—351.
- [3] BABCOCK, C. L. und MCGRAW, D. A.: Application of glass properties data to forming operations. I. Temperature distribution in glass and mold during forming. Glass Ind. 38 (1957) Nr. 3, S. 137—142, 144—146, 148—151, 161. (Siehe auch: Travaux du IV<sup>e</sup> Congrès International du Verre Paris 1956, S. 164—176). [Ref. Glastechn. Ber. 31 (1958) S. 67.]
- [4] HOLSCHER, H. H., COLEMAN, J. C. und COOKE, C. C.: Study of glass and mold temperatures in commercial glass. Glastechn. Ber. 32 K (1959) S. II/1—II/17.
- [5] EIGENSON, L. S.: Thermische Vorgänge bei der Formgebung von Glas. (Orig. russ.) Moskau: Gostrojissdat 1959. (42503)