

Es befindet sich aber jetzt ein Verfahren in Durchbildung, bei welchem die Verchromung und das Tempern in einem einzigen Arbeitsvorgang mittels schmelzflußelektrolytischer Arbeitsmethoden vorgenommen werden. Ohne bereits im jetzigen Stadium der Entwicklung das technische und wirtschaftliche Ergebnis der im Gang befindlichen Versuche voraussagen zu können, sind die bisher erzielten Wirkungen interessant genug, um noch einige Worte darüber zu rechtfertigen.

In Bild 14 ist die Randzone eines nach dem neuen Verfahren verchromten Bleches in 100facher Vergrößerung wiedergegeben. Man kann deutlich erkennen, wie die niedergeschlagene Chromschicht zahnartig in das Eisenblech hineingewachsen ist. In Bild 15, welches auch das Gefüge des Eisens im Blech in gleicher Vergrößerung wiedergibt, ist die Verwachsung der beiden Metalle noch besser zu erkennen. Besonders deutlich geht jedoch in Bild 16, welches von dem Schliff des vorigen Bildes nach dessen Aetzung aufgenommen wurde, neben der Verzahnung die Bildung der Mischkristalle an den Grenzflächen der Metalle Chrom und Eisen hervor. Tatsächlich ist die Härtung der nach dem neuen Verfahren getemperten verchromten Bleche derart intensiv, daß ein weicher, beliebig biegsamer Tiefzieh-Blechstreifen in ein federndes, hartes Material umgewandelt wurde.

In Bild 17 ist noch ein Schliff eines nach dem elektrolytischen Temper-Verchromungsverfahren behandelten Gußeisenstückes in 100facher Vergrößerung wiedergegeben. Es handelt sich also um ein Eisen mit hohem Kohlenstoffgehalt. Die weiße Schicht besteht aus Chrom. Wie jedoch weiter ersichtlich ist, sind auch noch tief im Inneren des Eisens weiße Adern und Flecke von Chrom vorhanden. Wie Untersuchungen gezeigt haben, sind dies alles Stellen, an denen vorher Kohlenstoff eingebettet war. Auf Grund der erheblichen Härtung derart behandelten Eisens, die teilweise als Ritzhärte 9,5 (Diamant = 10) bestimmt wurde, und auf Grund der vorläufigen Auswertung anderer, noch nicht völlig abgeschlossener Untersuchungen, ist anzunehmen, daß das Chrom mit dem im Eisen eingeschlossenen Kohlenstoff Chromkarbid bildet, welches ja bekanntlich eine sehr große Härte besitzt. Es erleichtert also der Kohlenstoff dem Chrom das Vordringen in die Tiefe des Eisens, während er gleichzeitig unter Chromkarbidbildung als freier Kohlenstoff verschwindet. Bisher ist bei Gußeisenverchromung nach dem neuen Verfahren bereits eine Tiefenwirkung der eben geschilderten Art von mehreren Millimetern beobachtet worden. In welchem Umfange jedoch diese Arbeitsweise technische Bedeutung erlangen kann, läßt sich vorläufig noch nicht übersehen. Jedenfalls kann ein abschließendes Urteil hierüber erst in einigen Monaten gefällt werden.

Glasströmungen in der Ziehwanneanlage.

Von Otto Stumm, Leipzig.

I. Entstehung und Zweck der Untersuchungen. — Mittel und Wege. — Anordnung.

Zu den Zeiten, da der Arbeitsraum einer Tafelglashütte noch mit Schwenkgräben durchfurcht war und die Glastafel zwangsläufig ihren Weg über den Zylinder nahm, hatte die Frage nach der Glasströmung in der Wanne keine gehobene Bedeutung. Nachdem aber die Maschine den Menschen verdrängt hatte, vergalt ihm die heißflüssige Masse mit heimtückischem Trachten und Tun die weitaus größere Freiheit. An den gezogenen Glastafeln traten Erscheinungen auf, die den Fortschrittgedanken zu hemmen schienen: die Wellen. Mögliche und unmögliche Vermutungen und auch

Behauptungen tauchten auf, um die verhaßten Gebilde erklären und ihnen mit entsprechenden Mitteln begegnen zu können. In jüngster Zeit nun wurde einem naheliegenden Zusammenhange zwischen Wellen und Glasfluß gesteigerte Beachtung geschenkt, und es entstanden die ersten ausführlichen Untersuchungen, die in einer neuzeitlichen Ziehwanenanlage in der Zeit vom 10. August bis 18. Oktober 1926 durchgeführt wurden.

Bei den vorgenommenen Untersuchungen mußte jedoch unabhängig vom Endzweck verfahren werden, da die Verlockung nahe lag, rasche Schlüsse aus mitunter recht eigenartigen Versuchsergebnissen zu ziehen. Die Untersuchungen sind darum in der Durchführung und Auswertung in sich abgeschlossen.

Für die Art der Ausführung der Versuche waren keine Entscheidungen zu treffen, da nur ein Mittel zur Verfügung stand: der Schwimkörper aus gebranntem Ton (Schamotte). Sein stereometrisches Aussehen war das einer Kugel, die in allen Fällen, wo keine besonderen Angaben gemacht sind, den Durchmesser von 4 cm hatte. Dieses Ausmaß erwies sich in Rücksicht auf die Anzahl der anzustellenden Versuche als das praktischste. Die Tauchtiefe dieser Kugeln war etwa ihrem Halbmesser gleich, betrug also etwa 2 cm. Die Strömungen in tieferen Zonen mußten unvermittelt bleiben, und es handelt sich bei allen unmittelbaren Feststellungen durch die Schwimmversuche nur um Oberflächenerscheinungen. Wohl wurden auch einzelne Untersuchungen mit Kugeln größeren Durchmessers — bis zu 12 cm — durchgeführt, die eine Tauchtiefe bis zu etwa 7 cm hatten. Beträchtliche Unterschiede traten jedoch in den Ergebnissen, im Vergleich zu den mit 4 cm-Kugeln erzielten, nicht zutage. Schwimmkörper anderer Gestalt, wie Kegel und (verunglückter) Doppelkegel erwiesen sich, abgesehen von der Unhandlichkeit, als unbrauchbar, weil der Schwerpunkt stets über die zulässige Linie gerückt war und die gehässigen Gebilde in ihrer ganzen Länge auf der Oberfläche schwammen, anstatt einzutauchen. Um alle Irrtümer auszuschließen, wurden Zahlen in die Kugeln eingeritzt, die auch nach Ueberzug mit einer Glashaut gut sichtbar blieben.

Das umfangreiche Gebiet, in welchem die Versuche angestellt wurden, erstreckte sich von der Läuterwanne bis in die einzelnen Heizkammern und Köpfe der Ziehwanen. Seine Einteilung in einzelne Versuchsfelder ergab sich aus der Anlage der Wanne (siehe Tafel I, 1).

- A ist Hauptversuchsgebiet und erstreckt sich von der Läuterwanne in die oberen Zieharme bis zu den festen Brücken der Maschinen 3 und 4, — in die parallelen kurzen Zieharme bis zu den festen Brücken der Maschinen 7 und 8, und nach vorne bis zur festen Brücke der Maschine 9. — Vor dem 13. 9. 26 war dieses Hauptgebiet durch eine im Uebergang zu den Maschinen 7 bis 9 befindliche feste Brücke in zwei engere Gebiete unterteilt. Die Versuche vor Entfernung dieser Brücke sind in den Zahlentafeln 1, Nr. 2, und 2, Nr. 3, eingetragen.
- B ist das Sonderströmungsgebiet von der Läuterwanne zu den oberen Zieharmen.
- C ist das Sonderströmungsgebiet vor den Maschinen 7 bis 9.
- D enthält die einzelnen Heizkammern und die Köpfe vor den Maschinen 1 und 6.

Weg und Zeit.

Beide Faktoren mußten beachtet werden, damit die Untersuchungen wirklichen Wert bekamen und sich über den lauernden Vorwurf der nutzlosen Zeitvergeudung emporheben konnten. Doch hier bäumten sich Schwierigkeiten. An der Feststellung des genauen Weges hinderte gar zu

Zahlentafel 1.
Durchgeführte Versuche nach Arten geordnet.

Nr.	Tag	Stunde	Art des Versuches	Versuchsfeld	Maschinenverhältnis ^{*)}	Nachweis
1	25.8./4.9.	—	Vorversuche	A, C	verschieden	Tafel I 2**)
2	27. 9.	11 ⁰⁰	Einzelversuch	A, r.	$\frac{2:3}{0:1}$	„ III 6
3	28. 9.	9 ¹⁵	„	A, l.	$\frac{1}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ III 6
4	1. 10.	9 ⁴⁵	„	B, l.	$\frac{2}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ IV 8
5	28. 9.	10 ¹⁵	„	B, r.	$\frac{2}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ IV 9
6	2. 10.	10 ⁰⁰	„	C	$\frac{2}{1:3}$ $\frac{0:1}{0:1}$	„ VI 16
7	5. 10.	8 ⁰⁰	„	D, r., l.	$\frac{2}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ IV 9
8	11. 9.	—	„	D, r.	$\frac{2}{—}$	—
9	2. 10.	11 ⁴⁵	„	D, r.	$\frac{1:3}{0:1}$	—
10	6. 9.	9 ⁴⁵	Reihenversuch	B, r., l.	$\frac{2}{3:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ IV 7**)
11	2. 10.	10 ⁰⁰	„	B, r.	$\frac{2}{1:3}$ $\frac{0:1}{0:1}$	„ IV 8
12	2. 10.	10 ⁴⁵	„	C, l.	$\frac{2}{1:3}$ $\frac{0:1}{0:1}$	„ VI 16
13	7. 9.	9 ³⁰	Gruppenversuch	A (B) r.	$\frac{2}{3:2}$ $\frac{0:1}{0:1}$	„ II 33**)
14	9. 9.	10 ⁰⁰	„	A, l.	$\frac{2}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ II 33**)
15	16. 9.	8 ³⁰	„	A, r.	$\frac{1}{1:3}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ II 4
16	20. 9.	9 ⁴⁵	„	A, l.	$\frac{1}{2:2}$ $\frac{1:0}{1:0}$	„ II 4
17	24. 9.	9 ⁴⁵	„	A, r., l.	$\frac{1}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ III 5
18	2. 10.	10 ¹⁵	„	B, l.	$\frac{2}{1:3}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ IV 8
19	16. 9.	12 ⁰⁰	„	C	$\frac{2}{2:3}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ V 10
20	18. 9.	9 ⁴⁵	„	C	$\frac{1}{1:2}$ $\frac{1:0}{1:0}$	„ V 11
21	21. 9.	8 ³⁰	„	C	$\frac{2}{3:2}$ $\frac{0:0}{0:0}$	„ V 12
22	23. 9.	10 ⁴⁵	„	C	$\frac{2}{2:3}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ VI 13
23	25. 9.	11 ⁴⁵	„	C	$\frac{1}{2:3}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ VI 14
24	28. 9.	10 ⁰⁰	„	C, l.	$\frac{2}{2:2}$ $\frac{1:1}{1:1}$	„ VI 15

*) „Erklärung des Zahlenausdruckes“ siehe S. 257. **) Bei Vorhandensein der festen Brücke zu 7—9.

häufig der Umstand, daß an wichtigen Teilen des Versuchsgebietes jede Möglichkeit zur Beobachtung fehlte. Scheiterte die Wegbezeichnung aber, so mußte auch die Zeitbestimmung fallen. Unerforscht blieb so die Mitte des Versuchsfeldes C, nach der keine Gemäueröffnung einen Durchblick gestattet und keine geschaffen werden konnte. Die Ortsbestimmung in den sichtbaren Teilen des Forschungsgebietes wiederum wurde wesentlich erschwert durch die geringe Höhe, in der sich die Oeffnungen über dem Glasspiegel befanden. So traten perspektivische Verzerrungen auf, die für die Genauigkeit der Ortsfestlegung mitunter ein ebenfalls beträchtliches Hemmnis bildeten. Dagegen erscheinen die geschilderten Hindernisse in milderem Lichte, wenn eine Tatsache berücksichtigt wird, die als erste Gesetzmäßigkeit aus allen Versuchen hervorgeht, — daß die Strömungen durchaus einfacher Art sind, frei von jeglicher Wirbelbildung und ähnlichen Komplikationen. Start und Ziel der einzelnen Kugeln konnten stets genau ermittelt werden. So war die Bahn der einzelnen Kugeln, so weit nicht verfolgbar, auf Grund der erwähnten Gesetzmäßigkeit leicht zu ergänzen.

Alle Versuche im Gebiet A und B gingen aus von der Startlinie A, die Versuche im Gebiet C von der Startlinie C (Tafel I, 1). Die beiden Startlinien entstanden durch Visieren der festgelegten Steingrenze der einen Einlegeöffnung zu jener der gegenüberliegenden. Das Einlegen der Kugeln selbst erfolgte durch Stangen mit Maßeinteilung, deren eine so angefertigt war, daß beliebig viele Kugeln in beliebigen Abständen gleichzeitig von der Startlinie losgelassen werden konnten. Die Ablesung des Zieles war in den engen Heizkammern durchaus einfach durch Abschätzen der Abstände von den Wänden vorzunehmen.

So war der Grad der Genauigkeit vollkommen ausreichend für die beabsichtigten Untersuchungen. Der Ablesefehler kann an Start und Ziel 5—10 cm betragen. An der Bahn gemessen, bleibt er unwesentlich.

Nachdem die technischen Schwierigkeiten umgangen waren, konnte die Anordnung für die Schwimmversuche getroffen werden. Dabei mußten zunächst die Veränderungen bedacht werden, denen der Glasfluß — außer der Beanspruchung durch die Maschinen — stets unterworfen ist. Es handelt sich um

1. Das Gemengeeinlegen,
2. Die Temperaturveränderung,
3. Das Fehlen in den Heizkammern.

Bei gröberen Eingriffen, wie großen Reinigungen, Schwimmerlegen, Entfernung von Brücken u. ä. wurden keine Versuche angesetzt, bis wieder vollkommener Ausgleich im Fluß eingetreten war. Von den bezeichneten 3 regelmäßigen Veränderungen konnte das Gemengeeinlegen unberücksichtigt bleiben, da es in immer gleichen Zeitabständen — halbstündig — und in gleichen Abwägungen erfolgte. Die Temperaturschwankungen werden in einer besonderen Aufstellung in Zusammenhang mit den Schwimmbahnen und Zeiten gebracht werden. Das Fehlen in den Heizkammern aber wurde während der Versuche in den betroffenen Gebieten unterlassen. So blieb das ausschlaggebende Moment bei den Untersuchungen lediglich das Verhältnis der ziehenden Maschinen.

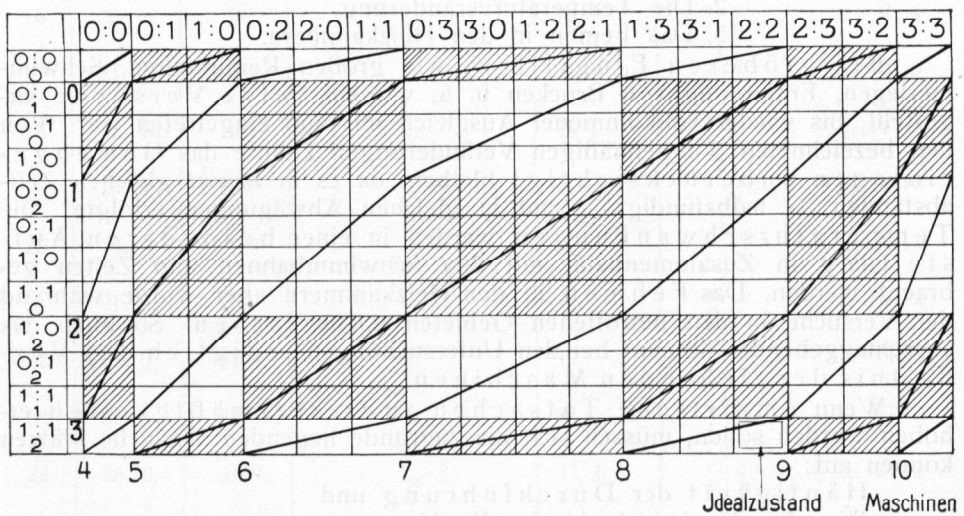
Wenn empirische Tatsachen zu Gesetzmäßigkeiten erhoben werden sollen, müssen sich die zugrunde liegenden Versuche stützen können auf:

- Häufigkeit der Durchführung und
- Wechselseitigkeit der Bedingungen.

Zahlentafel 2.
Durchgeführte Versuche nach Gebieten geordnet.

In Zahlen- tafel 1 Nr.	Tag	Versuchsfeld	Art der Versuche	Nachweis
1	25. 8.—4. 9.	A, C,	Vorversuche	Tafel I 2
13	7. 9.	A, (B), r.	Gruppenversuch	" II 3
14	9. 9.	A, l.	"	" II 3
15	16. 9.	A, r.	"	" II 4
16	20. 9.	A, l.	"	" II 4
17	24. 9.	A, r., l.	"	" III 5
2	27. 9.	A, r.	Einzelversuch	" III 6
3	28. 9.	A, l.	"	" III 6
10	6. 9.	B, r., l.	Reihenversuch	" IV 7
11	2. 10.	B, r.	"	" IV 8
4	1. 10.	B, l.	Einzelversuch	" IV 8
5	28. 9.	B, r.	"	" IV 9
18	2. 10.	B, l.	Gruppenversuch	" IV 8
19	16. 9.	C,	"	" V 10
20	18. 9.	C,	"	" V 11
21	21. 9.	C,	"	" V 12
22	23. 9.	C,	"	" VI 13
23	25. 9.	C,	"	" VI 14
24	28. 9.	C, l.	"	" VI 15
12	2. 10.	C, l.	Reihenversuch	" VI 16
6	2. 10.	C,	Einzelversuch	" VI 16
7	5. 10.	D, r., l.	"	" IV 9
8, 9	11. 9., 2. 10.	D, r.	"	—

Zahlentafel 3.
Verteilungsmöglichkeiten
bei Beanspruchung von 0—10 Maschinen.



Beiden Anforderungen wurde gerecht zu werden versucht gemäß den Möglichkeiten, die in der zur Verfügung stehenden Zeit von dem Betrieb geboten wurden.

Nach Art der Ausführung können unterschieden werden:

Einzelversuche,

Gruppenversuche, — mehrere Kugeln werden gleichzeitig in gewählten Abständen nebeneinander von der Startlinie losgelassen, — und

Reihenversuche, — mehrere Kugeln werden in gewählten Abständen hintereinander von dem gleichen Startpunkt losgelassen. (Übersicht über die durchgeführten Versuche siehe Zahlentafeln 1 und 2.)

Die Versuche wurden bei allen sich bietenden Ziehverhältnissen durchgeführt. Doch erwies sich, daß die Bedingungen sich von einer mittleren Linie nur wenig entfernen. Von den 192 Möglichkeiten, die theoretisch eintreten können (s. Zahlentafel 3) — zu jedem der 16 annehmbaren Verhältnisse in den oberen Zieharmen können sich 12 in dem Maschinenkomplex 7—10 gesellen — wurden nicht 20 zur Wirklichkeit. Bedenkt man aber, daß ein Betrieb mit 8 Maschinen angestrebt wird, und bei geordneten Zuständen durchgeführt werden kann, daß ein Verhältnis von zwei Maschinen im linken oberen Zieharm zu 2 Maschinen im rechten bei

Tätigkeit der Maschinen $7/8$ und $9/10$, also $\frac{2:2}{1:1}$, unter dem mit anderen der

größtangelegte Versuch ausgeführt wurde, ein ideales genannt wird, so ist der Wechsel der Bedingungen ausreichend gewahrt. Denn die erkannten Zusammenhänge sollen ebenfalls für einen geordneten Betrieb nutzbar gemacht werden und nicht für eine Glasherstellung mit etwa 5 oder weniger Maschinen.

An Versuchen wurden insgesamt durchgeführt:

Die Vorversuche,

8 Einzelversuche,

3 Reihenversuche und

12 Gruppenversuche.

II. Vorversuche.

Den Auftakt zu den planmäßigen Untersuchungen bildete eine Reihe von Versuchen, die Aufschluß geben sollten über die allgemeinen Strömungsverhältnisse, Bahnen und Wegzeiten. Es sei hervorgehoben, daß im Uebergang zu den Maschinen 7—10 noch eine feste Brücke die Oberfläche des Hauptversuchsgebietes A abschloß. Gewertet wurde bei den Vorversuchen das Verhältnis der ziehenden Maschinen, unberücksichtigt blieben Temperaturschwankungen und -gefälle. Die unmittelbaren Folgerungen, die aus den ersten Versuchsergebnissen im Gebiet A

Erklärung des Zahlenausdrucks $\frac{a : a^1}{b : b^1}$

c

Die Zahlen bedeuten die Anzahl der arbeitenden Maschinen.

Beispiel: Im linken, oberen Arm ziehen 3 : 2 Maschinen im rechten

Maschine 7 zieht 1 : 0 Maschine 8 liegt.

1

eine der Maschinen 9 und 10 zieht

oder: Maschine 7 liegt 0 : 1 Maschine 8 zieht

2

Maschinen 9 und 10 ziehen.

+ 1 (— 1) bedeutet: Eine Maschine wird während des Versuches hochgezogen (stürzt).

(s. Tafel I, 2) gezogen werden können, entsprechen zum großen Teil den Erwartungen. Der Glasfluß wendet sich in einer Geschwindigkeit, die sich bis in die Randströmungsgebiete im wesentlichen gleichbleibt und in keinem auffallenden Verhältnis zu der Zahl der tätigen Maschinen steht, den einzelnen Armen zu. Die Breite der Flußstreifen entspricht der Breite der zugehörigen Zieharme bzw. des Ueberganges zu 7—10. Auffallend ist die Wegzeit der Kugel X, die ungleich größer ist als die der übrigen Mittenkugeln. Die Ursache dieser Ausnahmeerscheinung ist darin zu suchen, daß die Kugel einer toten Zone zugetrieben wurde, die vor der Uebergangsecke bewegungslos zwischen zwei Strömungen eingeschlossen liegt (s. Tafel I, 1). — Bei 75 cm Wandferne von der Startlinie losgelassen, begrenzen die Kugeln in ihrer Bahn die Randströmungsgebiete, die sich in bezeichnetem Abstand bis zu den Ecken der Zieharme in fast gerader Linie erstrecken. In den Uebergängen bewegt sich das Randglas parallel zu dem Gemäuer. Die Geschwindigkeit des Flusses nimmt in diesen Zonen nach den Wänden zu rasch ab. Doch müssen die Zeitangaben, die sich hier auf Stunden belaufen, mit größter Vorsicht genossen werden, da die Kugeln, die sich in ständiger Berührung mit der Wand fortbewegen, die Ursache ihrer außerordentlich geringen Geschwindigkeit weit mehr in der hindernenden Kraft der Adhäsion, als in der Trägheit des Flusses haben (s. Abschnitt IV).

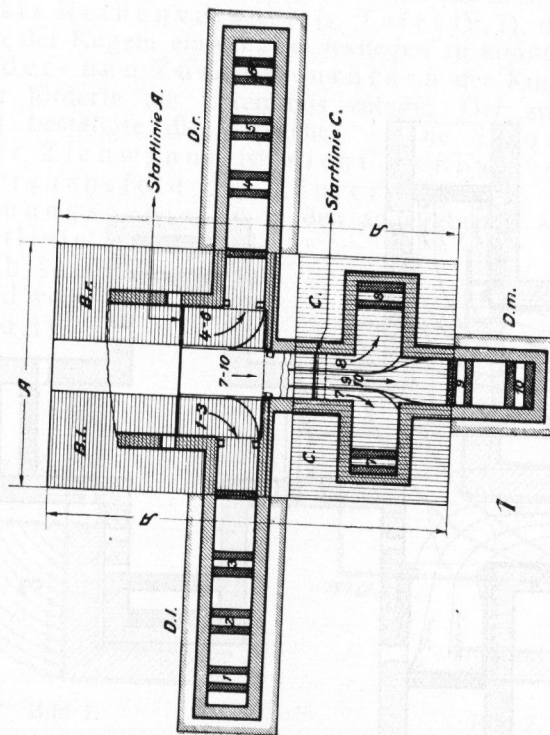
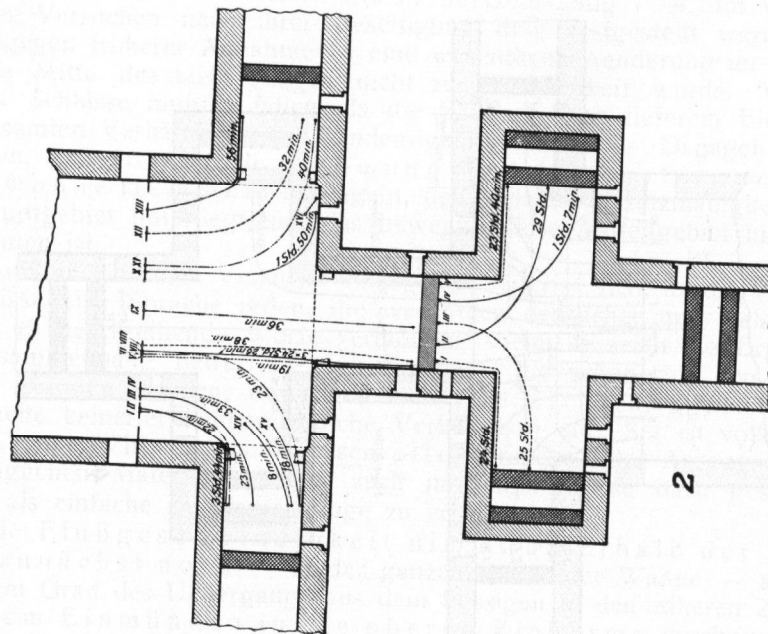
Ein unverhofftes Ergebnis zeitigten die Vorversuche im Sondergebiet C. Zunächst sind die Wege der Schwimmkugeln recht seltsam im Vergleich zu dem Zugverhältnis der im Betrieb befindlichen Maschinen. Kugel II landete vor Maschine 8 anstatt vor M. 7, Kugel III vor M. 7 anstatt vor M. 9. Geheimnisvoller noch als die Wege sind die Zeiten, in denen die Körper ihre Strecken zurücklegten.

Sieht man von den Randbewegungen der Kugeln I und V ab, so bleiben noch II und III mit den Wegzeiten von 29 und 25 Stunden. Die Kugel IV hingegen benötigt für einen nahezu gleichen Weg die kurze Zeit von 1 Stunde 7 Min. Die Erklärung für die wunderlichen Tatsachen muß darin gesucht werden, daß in der Mitte zwischen Uebergang und Maschinen 7, 8 und 9 ein Gleichgewichtsfeld vorhanden war, in dem die Kugeln, sobald hineingeraten, verharren mußten, bis sie nach vielen Stunden wieder in den Bereich einer Strömung gelangten. Das besagt aber, daß es vom Uebergang her an einem kräftigen Zustrom an der Oberfläche völlig fehlte.

Es mußte bei diesen wenigen Versuchen in diesem lehrreichen Gebiete bleiben, da — unerwartet — wenige Tage später die Brücke entfernt wurde aus Gründen der Unzweckmäßigkeit. Mit auf Grund der behandelten Versuchsergebnisse war das Glas zwischen den Maschinen 7, 8 und 9 der Zähigkeit verdächtigt worden, — ein Zustand, der mit Ursache der an den Maschinen 7/10 besonders stark auftretenden Wellen sein konnte. Nach dem Eingriff zeigte sich in der Tat eine Herabminderung dieses Uebels, während sich andererseits ein Nachteil bisher nicht bemerkbar machte.

III. Hauptversuche.

Nach Beendigung der Vorversuche konnten die Hauptversuche mit Berechnung durchgeführt werden. An die Stelle des Einzelversuchs trat der großangelegte Gruppenversuch (s. Tafel II, 3 u. 4, III, 5). Nur durch gleichzeitiges Eindringen in die Gesamtströmung zu verschiedensten Zeiten und bei wechselnden Maschinenver-



hältnissen konnte ein einwandfreies Bild entstehen. Die ersten beiden Gruppenversuche (Tafel II, 3) im Feld A standen noch — wie die Vorversuche — im Zeichen der festen Brücke im Übergang 7—9. Im Vergleich zu den Versuchen nach ihrer Beseitigung muß festgestellt werden, daß — entgegen früherer Annahme — eine wesentliche Änderung im Gebiet A bis zur Mitte des Überganges nicht zur Wirklichkeit wurde. Vorzeitig gefaßte Schlüsse mußten fallen, da die Beweise nach tieferem Einblick in die gesamten Verhältnisse ihre Eindeutigkeit verloren. — Dagegen ist festzustellen, daß fortan die Strömung von der Läuterwanne bis zu M. 9 ohne Hemmnis durchgeht, den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie im Hauptgebiet unterliegt und das bewegungslose Mittengebiet in Fortfall gekommen ist.

Auf die einzelnen Versuche einzugehen erübrigt sich, da die Versuchsergebnisse eine Sprache reden, die wesentlich deutlicher und vielsagender ist, als es beschreibende Worte vermögen. Vielmehr seien die Ergebnisse im Zusammenhang betrachtet. Die Schlüsse, die schon aus den Vorversuchen gezogen wurden, bestätigen sich. Die Strömung weist an der Oberfläche keinerlei unübersichtliche Verhältnisse auf. Sie ist vollkommen einfach, ohne Wirbel. Das beweisen alle Versuche. Der Aggregatzustand der fraglichen Materie erscheint auch in keiner Weise dazu geschaffen, andere als einfache Zusammenhänge zu ermöglichen.

Die Flußgeschwindigkeit nimmt unterhalb der Startlinie zunächst noch — in der ganzen Breite der Wanne — ab, gemäß dem Grad des Überganges aus dem flüssigen in den zäheren Zustand. Vor dem Einmünden in die oberen Zieharme durchqueren die diesen zukommenden Massen — Streifen in Breite der Arme — bei der Wendung um die Wannenecken Zonen zu- und abnehmender Geschwindigkeit. Einen eindeutigen Beweis für diese Behauptung bildete u. a. der erste Reihenversuch (s. Tafel IV, 7), der angestellt wurde, um die Bahn der Kugeln einwandfrei festlegen zu können. Das unerwartete Auseinander- und Zusammenrücken der Kugeln in den bezeichneten Zonen förderte die Erkenntnis zutage. Der zweite Reihenversuch (Tafel IV, 8) bestätigte die Tatsache. — Die Stromgeschwindigkeit in der Ziehwanne ist nicht meßbar verschieden von der im Versuchsfeld der Läuterwanne. — Das Bestehen von Randströmungsgebieten in den angegebenen Ausmaßen — etwa 75 cm Startlinie in fast gerader Abgrenzung bis zur Wannenecke — wird von jedem Versuch bestätigt (Bild 1).

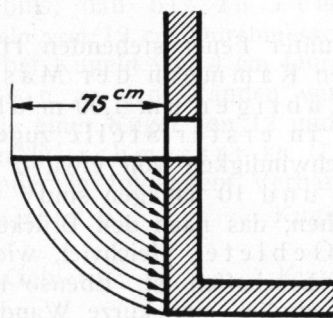


Bild 1.

Randströmungsgebiet.

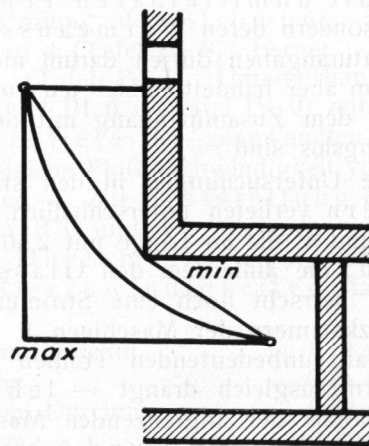


Bild 2.

Schema der Wegstreckemessung.

Auch die toten Eckzonen an der Mündungsstelle des Hauptflusses in den Uebergang zu den vorderen Maschinen machen sich weiterhin bemerkbar (s. Tafel II, 4 u. Tafel I, 1). — Die Verhältnisse im Sondergebiet C haben sich nach Entfernung der Brücke im Uebergang sehr klar und übersichtlich gestaltet. Die Geschwindigkeit des Flusses ist zwar wesentlich geringer als in dem Gebiet A, doch völlig gleichmäßig und auch gleichbleibend (Tafeln V u. VI). Die Verteilung des Zustromes auf die einzelnen Maschinen erfolgt allerdings in einem wesentlich anderen Verhältnis als in den Gebieten B, — nur in je einem Drittel der Eigenbreite erhalten die kurzen Arme Zufluß (s. Tafel I, 1! Tafeln V u. VI).

Aus den Versuchen wurde eine Reihe einwandfreier Bahnen, deren Zeiten unzweifelhaft feststehen, zu Vergleichszwecken zusammengestellt (Zahlentafel 4—5). Die Wegstrecken, die sich durch die Versuche nicht in dem Grad von Genauigkeit ermitteln ließen, der für eine Berechnung der Geschwindigkeiten notwendig war, wurde nach einheitlichem Verfahren als mittlere Weglänge bestimmt. Zwischen den theoretisch möglichen kürzesten und längsten Bahnen wurde der Mittelwert benutzt, der — gemäß durchgeführten Vergleichsmessungen — dem wirklichen Wert am nächsten kommt (Bild 2). Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt demnach (i. M. i. d. Stunde):

In A . . . 10 m/st. In B . . . 10,5 m/st. In C . . . 5,5 m/st.

Die Ermittlung einer wichtigen Beziehung drängt sich hier auf, — des Zusammenhanges zwischen Glasfluß und Anzahl der tätigen Maschinen. In den Zahlentafeln 4 und 5 sind neben den Geschwindigkeitsangaben die Zahlen der zugfähigen, arbeitenden Maschinen eingetragen. Es erweist sich, daß Glasströmung und im Betrieb befindliche Maschinen praktisch völlig unabhängig voneinander sind. Besonders aus Zahlentafel 5, mit den recht gut übereinstimmenden Geschwindigkeiten im Feld C, geht diese Erscheinung als unumstößliche Tatsache hervor. — Eine weitere Frage legt sich nahe: besteht eine Beziehung zwischen Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit? Aus Zahlentafel 4 ist auch ein solcher Zusammenhang nicht zu erkennen. Hier muß jedoch eingewandt werden, daß die benutzten Thermoelemente nicht die unmittelbaren Temperaturen der Glasmasse anzeigen, sondern deren Wärmeausstrahlungen in 10 cm Höhe. Die Temperaturangaben dürfen darum nicht ohne weiteres übertragen werden. Vor allem aber handelt es sich nur um Oberflächentemperaturen, die, aus dem Zusammenhang mit den Tiefentemperaturen herausgerissen, bedeutungslos sind.

Die Untersuchungen in den ständig unter Feuer stehenden Heizkammern verliefen unterschiedlich. In den Kammern der Maschinen 3 und 4, die an Länge mit 2,50 m die übrigen um 1,00 m übertreffen, die außerdem den Glasstrom in erster Stelle zugeführt erhalten, herrscht noch eine Strömungsgeschwindigkeit von etwa 6 m/st. Die Heizkammern der Maschinen 1, 2, 5, 6 und 10 dagegen sind — von einem ganz unbedeutenden Treiben abgesehen, das nach den Brücken zu auf Wärmeausgleich drängt — leblose Gebiete, gleichviel, wie das Ziehverhältnis der angrenzenden Maschinen beschaffen ist. Ebenso ist es in der Köpfen von 1 und 6 bestellt. Lediglich eine kurze Wandwanderung, ersichtlich aus Tafel IV, 9, unternahmen die Kugeln in einer Zeit von 24 Stunden, um dann unverändert liegen zu bleiben.

Zahlentafel 4.
 Flußgeschwindigkeiten, ziehende Maschinen und
 Temperaturgefälle.
 Versuchsfeld A.

Nr.	Tafel	Bahn	Start	Ziel	Wirksame Masch.	Temperatur am Start	Temp.-Gefälle bis Ziel	Berechnete Weglänge	Mittl. Geschw. m/st.
1	II 3	IV	1,00 m	U. 4; 0,45	2	1180°	180°	5,35 m	13
2	III 5	III	1,00 m	U. 3; 15,50	2	1180°	135°	5,30 m	11
3	III 5	VII	1,00 m	U. 4; 15,50	2	1180°	150°	5,30 m	10
4	II 4	V	1,00 m	U. 4; 15,70	3	1200°	205°	5,40 m	13
5	II 3	IV	1,00 m	U. 3; 45,80	2	1180°	190°	5,15 m	11
6	II 4	II	1,00 m	U. 3; 10,100	2	1205°	145°	5,65 m	12
7	II 3	V	1,25 m	U. 3; 0,0	2	1180°	109°	6,60 m	11
8	III 5	VI	1,25 m	U. 4; 5,35	2	1180°	150°	6,30 m	10
9	II 3	V	1,25 m	U. 4; 0,50	2	1180°	180°	6,25 m	14
10	III 5	IV	1,25 m	U. 3; 0,50	2	1180°	135°	6,25 m	10
11	II 4	III	1,50 m	U. 3; 165,0	2	1205°	145°	5,45 m	8
12	III 5	V	1,50 m	U. 3; 45,5	2	1180°	135°	6,40 m	8
13	III 5	V	1,50 m	U. 4; 20,10	2	1180°	150°	6,55 m	9
14	II 3	VI	1,50 m	U. 4; 30,15	2	1180°	180°	6,45 m	10
15	II 4	IV	1,50 m	U. 4; 50,15	3	1200°	200°	6,25 m	10
16	II 3	VIII	3,05 m	U. 7/9, 110	3	1180°	160°	6,60 m	11
17	II 4	VI	3,00 m	U. 7/9, 100	2	1200°	180°	6,60 m	12
18	I 2	IX	3,05 m	U. 7/9, 95	2	—	—	6,60 m	11
19	III 5	I	2,95 m	U. 7/9, 80	4	1185°	165°	6,60 m	9
20	III 6	I	3,00 m	U. 7/9, 50	4	1190°	160°	6,60 m	9

Anmerkungen siehe Zahlentafel 5.

IV. Einzelversuche.

Im Anschluß an die Hauptversuche wurden noch eine Reihe Einzeluntersuchungen vorgenommen zur Prüfung der Strömung an den Ecken der Uebergänge zu 3 und 4 (Tafel IV, 8). Ferner — wie bereits angeführt — der Bahnlinie (Tafel IV, 7). Untersuchungen mit größeren Schwimmkugeln (Tafel III, 6 u. Tafel IV, 9) zeitigten das Ergebnis, daß bis zu 7 cm Tauchtiefe der angewandten größten Kugeln von 12 cm Durchmesser die gleiche Flußgeschwindigkeit vorherrscht wie bei Kugeln von 4 cm Durchmesser. — Zur Feststellung der Adhäsion an den Wänden wurden in B I. und C. Versuche ausgeführt mit je einer Kugel von 12 und 4 cm Durchmesser in B, und 10 und 4 cm Durchmesser in C. Die Geschwindigkeiten standen zueinander in folgendem Verhältnis:

Gebiet B Kugel 12 cm Durchm. 1,10 m/st.
 „ 4 cm „ 0,45 m/st.
 Gebiet C Kugel 10 cm Durchm. 0,80 m/st.
 „ 4 cm „ 0,35 m/st.
 also in B 1:2,4 und in C 1:2,3.

Die Adhäsion ist demnach recht bedeutend.

Einige Versuche wurden in eigener Weise durchgeführt. 5 Kugeln geringen Durchmessers (4 cm), in lückenloser Reihe nebeneinander eingelegt, haften so fest aneinander, daß gegen ihren Zusammenhalt die Strömung wenig vermag. Durch Loslassen mehrerer solcher innigen Gruppen konnten die Bewegungen, welche die sie tragenden Flußstreifen machten, eingehend verfolgt werden. Einen besonders lehrreichen Versuch dieser Art zeigt Tafel VI, 13. — Mitunter erweckten Versuche den Verdacht, daß im Fluß inhomogene Verhältnisse vorherrschten, so bei 2 Reihenversuchen (Tafel IV, 7 und Tafel VI, 16), wo die Tonkugeln ohne erkennbare Ursache auseinandergezerrt wurden. Selbstredend kann der Schwimmversuch Vermutungen in dieser Hinsicht nie zu Behauptungen erheben.

V. Auswertung.

Als erste und oberste Gesetzmäßigkeit leitet sich aus allen Versuchen die Einfachheit der Strömungsverhältnisse an der Oberfläche her. Gegen diese Behauptung mag ins Feld geführt werden, daß im Verlaufe der vorliegenden Untersuchungen Erscheinungen darauf hindeuteten, daß verborgene Vorgänge mitspielten. Gewiß wird diese Vermutung der Grundlage nicht entbehren, sie darf sogar kühn als Behauptung aufgestellt werden, wenn berücksichtigt wird, daß innerhalb der Glasmasse, wenn nicht Temperaturschwankungen, so doch Intervalle ständig zu einem Ausgleich drängen. Diese Mischungskräfte wirken sich jedoch auf den Fluß an der Oberfläche nicht störend aus, — beeinträchtigen weder die Strömungswege noch die -zeiten. —

Zahlentafel 5.

Flußgeschwindigkeiten und ziehende Maschinen. Versuchsfeld C.

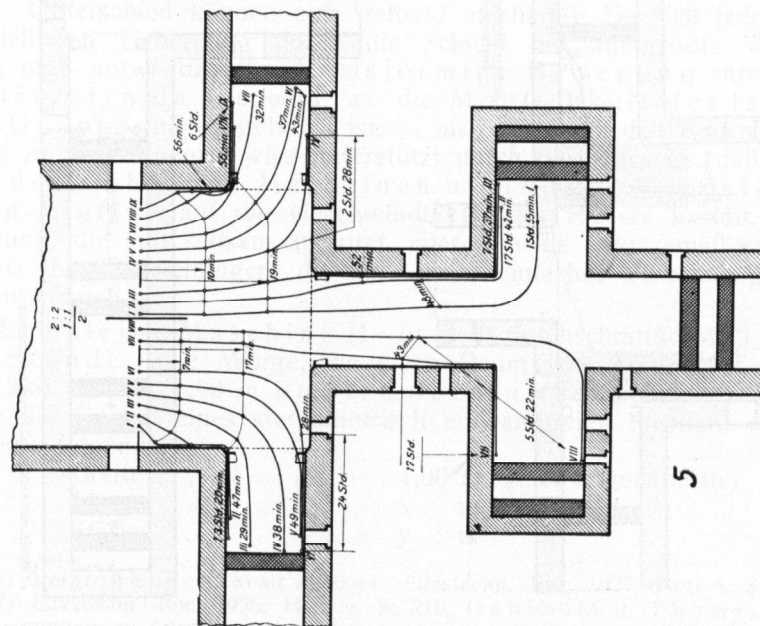
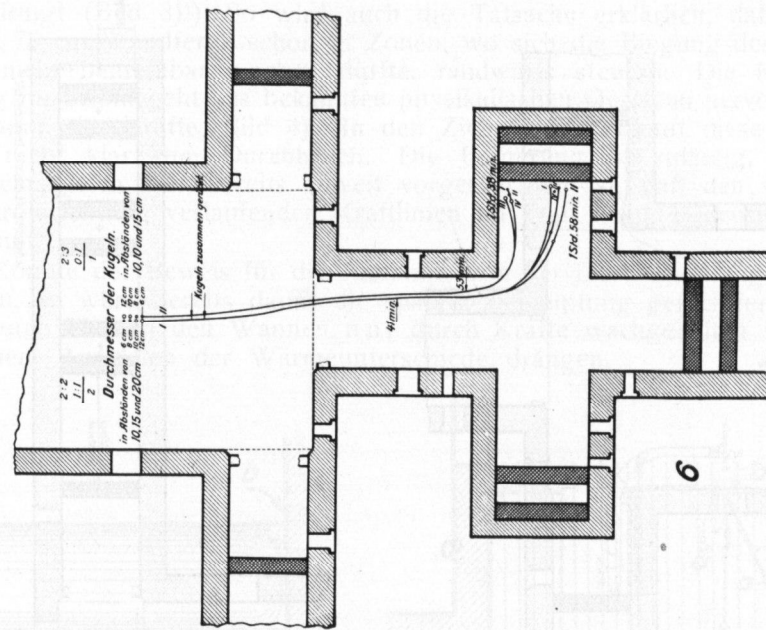
Nr.	Tafel	Bahn	Start	Ziel	Wirksame Maschinen	Berechnete Weglänge	Mittl. Geschw. m/st.
1	V 12	1	50 cm	H. K. 7,105,15	0	3,60 m	6
2	VI 14	4	50 cm	H. K. 8, 25,85	1	4,90 m	5
3	VI 14	1	50 cm	H. K. 7, 20,85	1	4,85 m	5
4	V 10	2	50 cm	H. K. 7, 10,95	1	5,05 m	5,5
5	V 11	5	75 cm	H. K. 8, 15,15	0	6,10 m	5,5
6	VI 16	2	75 cm	H. K. 7, 10,15	0	6,15 m	5
7	V 12	5	75 cm	H. K. 8, 10,25	0	6,05 m	6
8	V 11	2	75 cm	H. K. 7, 5,30	1	6,05 m	6
9	VI 16	3	75 cm	H. K. 8, 10,95	1	5,25 m	5

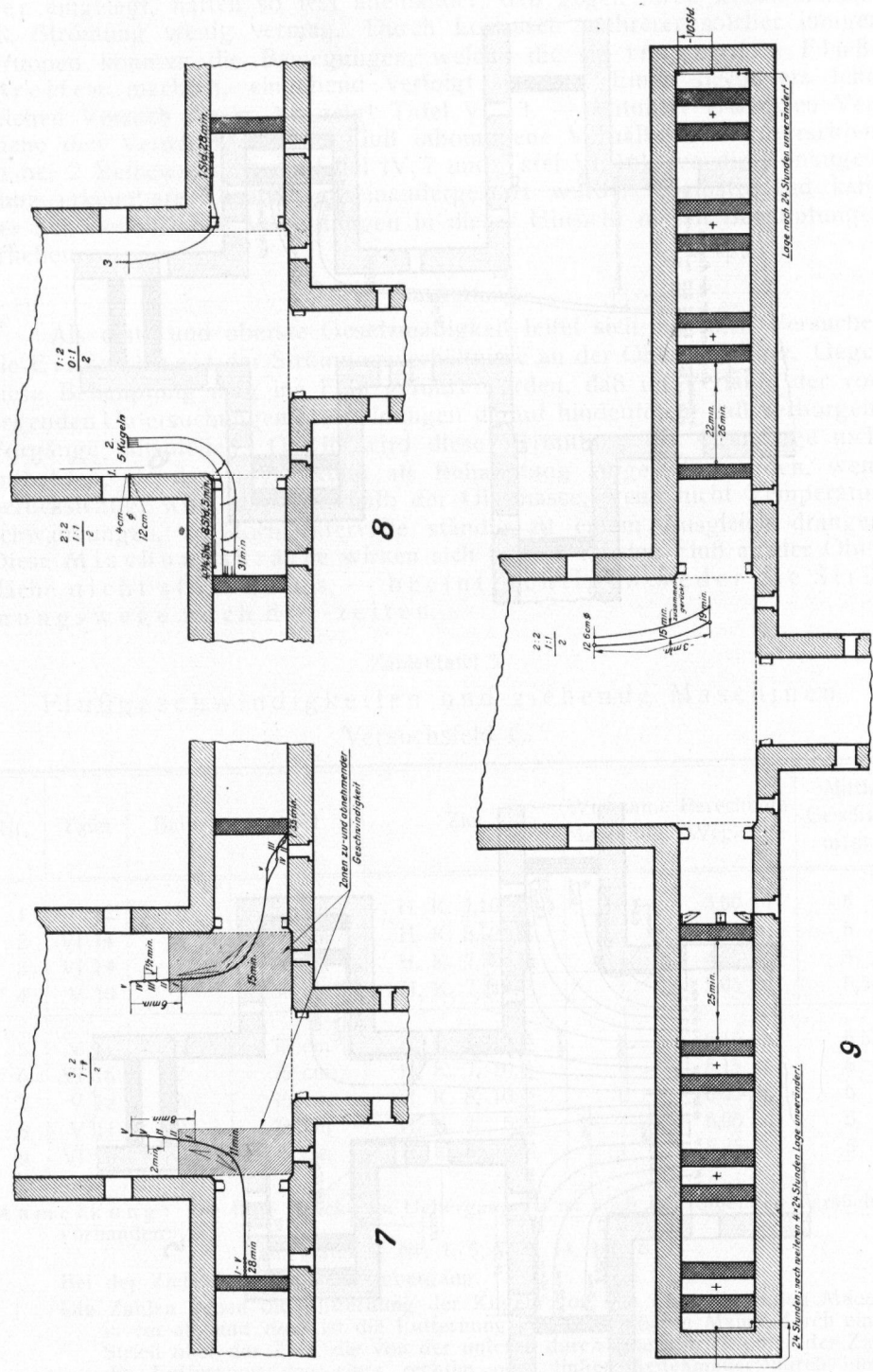
Anmerkung: Die feste Brücke im Uebergang 7/9 ist noch bei folgenden Versuchen vorhanden:

Zahlentafel 4, Nr. 1, 5, 7, 9, 14, 16, 18.

Bei der Zielangabe ist U = Uebergang.

Die Zahlen geben die Entfernung der Kugeln von den nächstliegenden Mauern in cm an, und zwar ist die Entfernung von einer oberen Mauer durch einen Strich über der Zahl, die von der unteren durch einen Strich unter der Zahl, die Entfernung von einer rechten oder linken Seitenmauer durch einen Strich rechts bzw. links von der Zahl gekennzeichnet.





Welche Bedeutung der Randströmung zukommt (Bild 1) ist aus den Versuchen nicht klar ersichtlich. Es ist anzunehmen, daß hier das Bestreben zu einer Durchmischung der oberen und unteren Wärmeschichten durchdringt (Bild 3)¹⁾ So wird auch die Tatsache erklärlich, daß Kugeln bis zu 75 cm Wandferne schon in Zonen, wo sich die Biegung des Flusses noch nicht bemerkbar machen dürfte, randwärts steuern. Die Kräfteverteilung im Strom geht aus bekannten physikalischen Gesetzen hervor (Parallelogramm der Kräfte, Bild 4). In den Ziehwanne kommt diese Erscheinung nicht klar zum Durchbruch. Die Folgerung ist zulässig, daß der Wärmeausgleich hier bereits soweit vorgeschritten ist, daß den senkrecht zur Stromrichtung verlaufenden Kraftlinien im Fluß keine Bedeutung mehr zukommt.

Könnte der Beweis für die Annahme von der Durchmischung erbracht werden, so wäre bereits damit die spätere Behauptung gerechtfertigt, daß der ganze Fluß in den Wannen nur durch Kräfte wachgehalten wird, die zu einem Ausgleich der Wärmeunterschiede drängen.

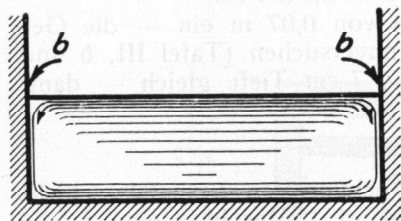


Bild 3.

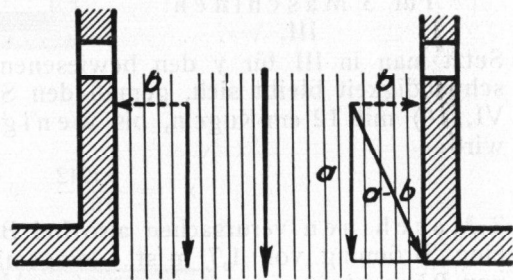


Bild 4.

Die Randströmung (a—b) als Resultierende aus Fluß (a) und der zu ihm senkrecht verlaufenden thermischen Ausgleichsbewegung (b).

Die größten Intervalle liegen zwischen Oberfläche und Tiefe, bis zu 500° C Unterschied können sich geltend machen.²⁾ Da sich jedoch einem unmittelbaren Uebergang durch die Schicht der allergrößte Widerstand bietet, muß notwendig eine kreisförmige Bewegung entstehen, die am stärksten da sein wird, wo die Möglichkeit des langsamsten Ueberganges geboten ist, — also hier nach den Enden der Ziehwanne zu. Die Theorie wird unterstützt durch die Tatsache, daß die Anzahl der ziehenden Maschinen nicht den geringsten meßbaren Einfluß auf die Geschwindigkeit des Flusses ausübt, eine Erscheinung, die erst seltsam anmutet, aber sich als naturgemäß erweist angesichts der Feststellungen, die auf Grund einfacher Berechnung gemacht werden können.

Eine kleine Maschine (1—6) zieht durchschnittlich 200 kg Glas in 1 Stunde, eine Menge, die einen Raum von 0,077 m³ beansprucht (D = 2,6). In der 1,90 m breiten oberen Ziehwanne nehme diese Masse die Gestalt eines stereometrisch einwandfreien Streifens an, dessen Ausmaße folgende seien:

Breite	1,90 m (Ziehwannebreite)
Länge	x m
Stärke	y m

¹⁾ Vergl. J e b s e n - M a r w e d e l, Glastechn. Ber. 1927, Heft 5, S. 203.

²⁾ Glastechn. Ber. 1926, Heft 6, S. 210, G e h l h o f f u. T h o m a s, „Temperaturmessungen an Glasöfen“.

Der ganze Streifen wird im Verlaufe einer Stunde von der Maschine „aufgezehrt“, seine Länge x ist also im Werte gleich der Stundengeschwindigkeit, die eine kleine Maschine in der nunmehr stilliegend gedachten Glasmasse erzeugt.

Die Beziehungen zwischen Stundengeschwindigkeit und Stärke des durch eine ziehende Maschine beanspruchten Flußstreifens ergeben sich nun — bei Vernachlässigung des geringen Ausdehnungskoeffizienten des Glases — aus den Gleichungen:

$$1.) \quad x = \frac{0,077}{1,90} y \qquad 2.) \quad y = \frac{0,077}{1,90} x$$

als Funktion geschrieben:

$$I. \quad \dots \dots \dots x \cdot y = 0,0404$$

worin x die Stundengeschwindigkeit in m/st. und y die Dicke des Flußstreifens in m bedeuten.

Für 2 Maschinen gilt:

$$II. \quad \dots \dots \dots x \cdot y = 0,0404 \cdot 2.$$

Für 3 Maschinen:

$$III. \quad \dots \dots \dots x \cdot y = 0,0404 \cdot 3.$$

Setzt man in III für y den bewiesenen Wert von 0,07 m ein — die Geschwindigkeit bleibt sich, gemäß den Schwimmversuchen (Tafel III, 6 und VI, 16) mit 12 cm-Kugeln, bis wenigstens 7 cm Tiefe gleich — dann wird:

$$x = \frac{0,1212}{0,07} = 1,73 \text{ m/st.}$$

3 Maschinen verursachen also bei Beanspruchung von 7 cm Glasschicht eine Strömung von 1,7 m/st., demgemäß erzeugt 1 Maschine eine solche von 0,5 m/st.

Diesen Werten steht eine tatsächliche mittlere Geschwindigkeit von 10 m/st. gegenüber. Die bewegliche Glasschicht dürfte bei Einsatz dieses Wertes bei Betrieb von 3 Maschinen nur 12 mm, beim Arbeiten einer Maschine nur 4 mm stark sein, was den Tatsachen widerspricht. — Im Gebiet C sind die Verhältnisse ähnlich. Die Grundfunktion lautet da:

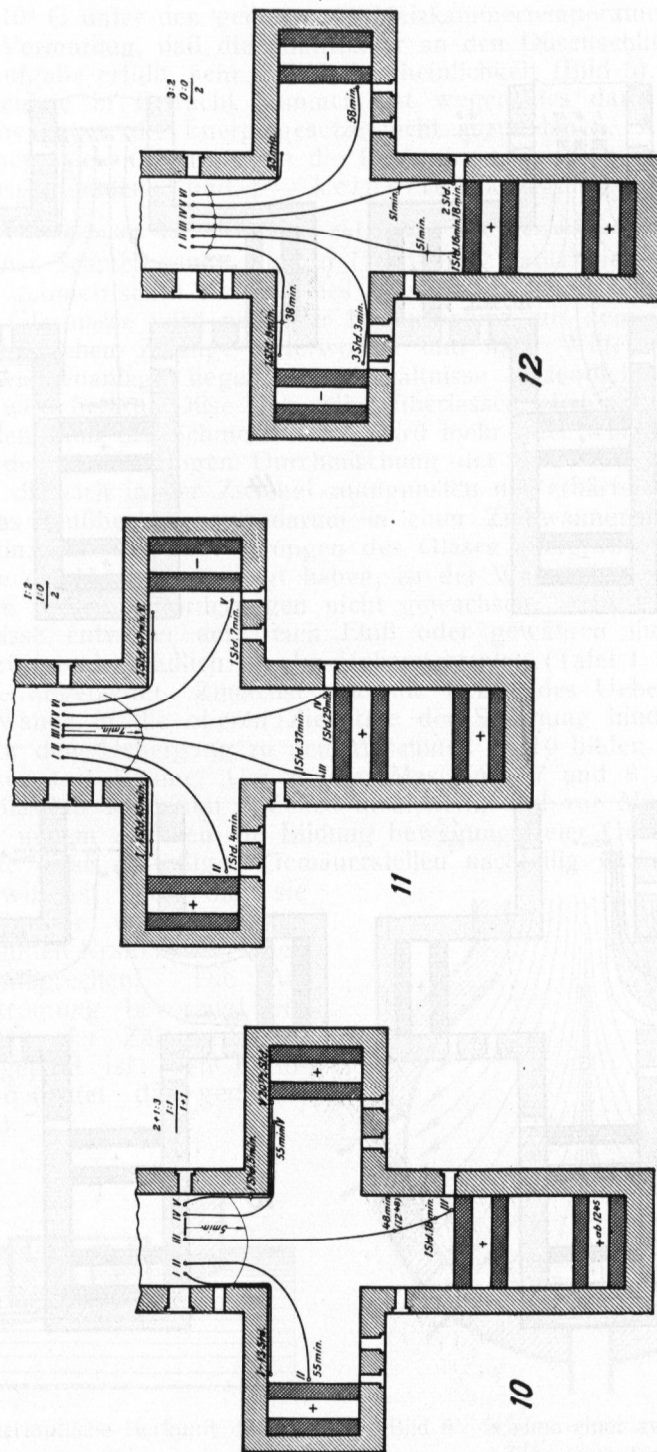
$$x \cdot y = \frac{0,077}{2,20} = 0,035.$$

Bei wiederum 7 cm Flußtiefe beträgt die Stundengeschwindigkeit, welche die einzelne Maschine verursachen könnte, 0,5 m/st., gegenüber dem gefundenen Wert von 5,5 m/st. Die maximale Stromtiefe dürfte danach nur 6 mm betragen, anstatt wie festgestellt, wenigstens 70 mm. — Die Strömung steht also in keiner Abhängigkeit zu den ziehenden Maschinen (vgl. Zahlentafeln 4 und 5!).

Es gibt keine fabrikatorische Verschiebung des Glases in der Schmelze, sondern die gesamte Bewegung des Flusses ist nur auf thermische Ursachen zurückzuführen.

Mit dieser Behauptung deckt sich u. a. die Erscheinung, daß selbst nach tagelangem Stilliegen einer der Maschinen 3 und 4 nicht die geringste Aenderung der Flußgeschwindigkeit in deren Heizkammern festzustellen ist. Und wenn mit einem Schlage sämtliche Glasbänder stürzen, so wird dennoch — die weitere Beheizung der Schmelzwanne vorausgesetzt — die Masse an der Oberfläche mit der gleichen Geschwindigkeit ungestört weiter fließen.

Dieses merkwürdigste Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen mit den physikalischen Gesetzen in Einklang zu bringen, ist eine der Lösung harrende Aufgabe, die Tatsache muß vorläufig hingenommen werden.



Die Frage, aus welchen Zonen der Wanne die Maschinen das Glas ziehen, läßt sich auf Grund der Untersuchungen nicht ohne weiteres beantworten. Da sich jedoch die gemessenen Zwiebeltemperaturen nur etwa 80—110° C unter den gemessenen Heizkammertemperaturen befinden, besitzt die Vermutung, daß die unmittelbar an den Düsenschlitz grenzende Zone die Aufgabe erfüllt, sehr viel Wahrscheinlichkeit (Bild 5). Daß höher liegende Gebiete in Betracht kommen, ist wegen des darin enthaltenen Widerspruchs gegen die Energiegesetze nicht anzunehmen. Auch verträgt sich mit einer solchen Lehre nicht die Beobachtung, daß in den Heizkammern — ausgenommen 3 und 4 — keinerlei Bewegung festzustellen ist.

VI. Formgebung der Ziehwanne auf Grund der Versuchsergebnisse.

Bei einer Schmelzwanne, die zur Herstellung geblasenen Glases dient, spielen die geometrischen Formen des Grundrisses keine sehr bedeutende Rolle. Die Glasmasse wird nach der Herausnahme aus dem Ofengebäude einem mechanischen Zwange unterworfen und nach Willen gebildet. In einer Ziehwanneanlage liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Die Glasmasse wird bis zur Düse sich selbst überlassen. Jeder äußere Einfluß aber, der den Fluß der Schmelze stört, wird mehr oder weniger dazu beitragen, in der gleichmäßigen Durchmischung der Schichten Unebenheiten zu fördern, die sich in der Zwiebel zuungunsten der erhärteten Tafel auswirken. Das Flußbecken muß darum in einer Ziehwanneanlage so beschaffen sein, daß es den Neigungen des Glases allergrößte Freiheit gewährt. Wie die Versuche gezeigt haben, ist der Wannenbau schon in seinem System diesen Anforderungen nicht gewachsen. Acht Ecken hindern die Glasmasse entweder am freien Fluß oder gewähren ihr Raum, wo solcher unnütz und schädlich ist. Im Uebersichtsplan (Tafel I, 1) sind diese Verhältnisse angedeutet. Zunächst sind die Ecken des Ueberganges von der Läuterwanne in die oberen Zieharme der Strömung hinderlich (siehe Bild 1). Vor dem Uebergang zu den Maschinen 7—10 bilden sich vor den beiden Ecken tote Räume. Um zu den Maschinen 7 und 8 zu gelangen, muß der Glasfluß wiederum 2 Ecken umsteuern, und vor Maschine 9 gestalten von neuem 2 Ecken die Bildung bewegungsfreier Gebiete. In welchem Grade diese anstößigen Gemäuerstellen nachteilig wirken, steht dahin — gewiß ist aber, daß sie in einer Summe von erkannten und unerkannten Krankheitserscheinungen mitsprechen. Die Art der Glasströmung bevorzugt ein System, das der Zähigkeit des Stoffes angepaßt ist: den Rundbau (Bild 6 deutet das gedachte System an).

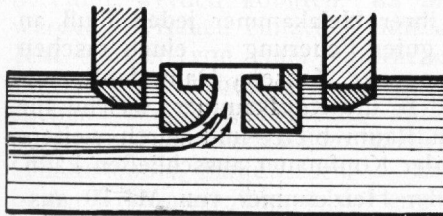


Bild 5. Vermutliche Herkunft des gezogenen Glases.

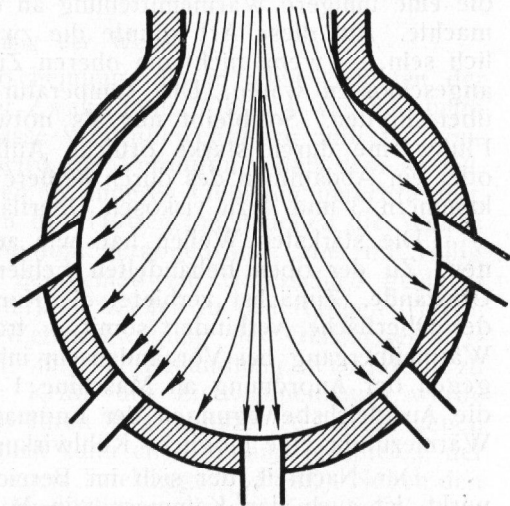


Bild 6. Schema einer zweckmäßigen Ziehwanneform.

Neben den Nachteilen des Systems bestehen noch eine Reihe von Erscheinungen, die dem vorliegenden Wannenbau eigen sind. Die Uebergänge zu den Maschinen 3 und 4 und 7—10 stehen zu dem ungeteilten Strom in dem Verhältnis:

Uebergang	3	190	}	: 610
„	4	190		
„	7/10	220		
			600 : 610	

d. h., jedem Zieharm kommt mehr als die Flußbreite zu, die seiner Eigenbreite entspricht. Anders gestaltet sich die Verteilung im Sondergebiet C. Das Verhältnis der Strombreiten lautet hier:

Maschine	7	220	}	: 220
„	9/10	220		
„	8	220		
			660 : 220	

Es ist lehrreich, zu diesem mißdeutigen Zahlenverhältnis, das immerhin als graue Theorie anmuten mag, die Versuchsaufzeichnungen zu betrachten (Tafel V, 10—12 u. Tafel VI, 13—15). Sieht man davon ab, daß den Maschinen 7 und 8 nicht die ganze Breite des ihnen zustehenden Flusses von $\frac{1}{3} \times 2,20 \text{ m} = 75 \text{ cm}$ unverändert zukommen kann, da er teilweise den durch die Ecken erzeugten Randströmungsgebieten verfällt, so besteht immer die Tatsache, daß die 3 Zuflüsse ihre Oberfläche bis zu den Maschinen nahezu verdreifachen müssen (s. insbes. Tafel VI, 15 und Bild 7). Die Versuche zeigen, wie die schmalen Stromstreifen bei der Einmündung in die offenen Kammern stark auseinandergezerrt werden. Tiefere Schichten müssen darum herangezogen werden, um die entstehenden oberflächigen Lücken auszufüllen. Nun hängt es von den vorhandenen Temperaturunterschieden ab, ob die zwangsläufige Durchmischung inhomogene Zustände zutage fördert. Das häufige Auftreten außergewöhnlich starker Wellen eben an dem Glase der Maschinen 7—9, in höchstem Maße an M. 10, bestätigt den geschöpften Verdacht. Dem Uebel könnte naturgemäß dadurch begegnet werden, daß dem Glasfluß eine höhere Temperatur zugewiesen würde, die eine innigere Wärmemitteilung an die tieferliegenden Schichten möglich machte. Auf diese Art könnte die zwangsweise Durchmischung gar nützlich sein, — wenn nicht die oberen Zieharme zu hart an die Läuterwanne angeschlossen wären. Die Temperaturen würden hier die oberen Grenzen überschreiten. So bleibt nur als notwendiges Uebel eine Ergänzung der Flußwärme durch starke örtliche Aufheizung in den Kammern 7—9, — oder ein Abdämmen des durch heißere Hauptwannenführung vor den Heizkammern 3 und 4 zu viskosen Oberflächen-Glases mittels tieferer Brücken.

Die stärksten Wellen hat, wie angedeutet, Maschine 10 zu verzeichnen. Zu der oben behandelten Fehlerquelle gesellen sich hier noch zwei Umstände. Zunächst verbietet die Kürze ihrer Heizkammer jeden Fluß an der Oberfläche, verhindert somit — trotz guter Feuerung — einen raschen Wärmeübergang bei Vorhandensein inhomogener Massen. Dann fehlt, entgegen der Anordnung an Maschine 1 und 6, die Kopfkammer, welche für die Ausgleichsbewegungen der Endmassen Raum bietet und durch weitere Wärmezufuhr eine mögliche Kühlwirkung der Kopfmauer ausschließen kann.

Der Nachteil, der sich im Bereich der Heizkammer von M. 10 auswirkt, ist auch den Kammern von M. 1, 2, 5 und 6 eigen. Während die Heizräume der M. 3 und 4 bei 2,50 m Länge noch eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 6 m/st. zulassen, sind die Räume der benannten

Maschinen mit je 1,50 m Länge an der Oberfläche tot. Das Glas steht zwischen ihren Mauern und gibt — als schlechter Wärmeleiter — die zugeführte Hitze nur langsam nach der Tiefe zu weiter (s. Bild 8). Ein Ausgleich könnte lediglich durch Beseitigung der losen Brücken geschaffen werden. Damit würde das Verhältnis von Sperrtiefe zu Kammerlänge dem von H. K. 3 und 4 angepaßt.

Bei einer idealen Ziehwanneanlage müßte auf jedes Heizkammersystem Verzicht geleistet werden. Denn jede örtliche Erhitzung bedeutet eine Störung des Flusses, ein Hemmnis für die flußbildende, starke Neigung der Masse zum Temperaturengleich in sich und durch sich selbst. So wäre das Höchstmaß an Homogenität zu erreichen durch Schaffung einer großen Wärmequelle, — in einem Gebäude ohne Ecken, Winkel und Kühlflächen, d. h. in einem Rundbau.

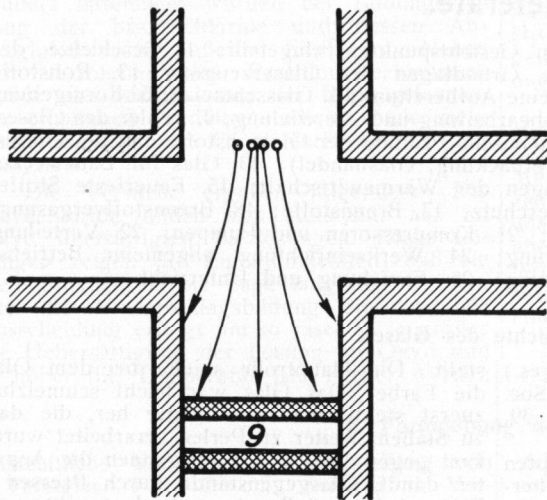


Bild 7. Zerreißen des Zustromes im Gebiet C.

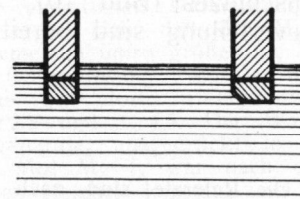


Bild 8. Ungünstiges Verhältnis von Kammerlänge zu Sperrtiefe.

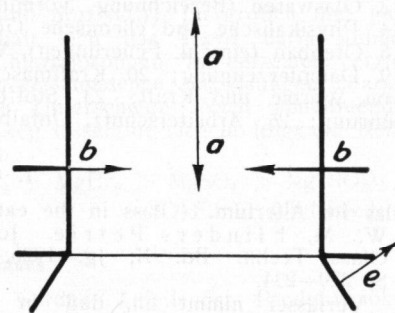


Bild 9. Im Ziehvorgang wirkende Kräfte.

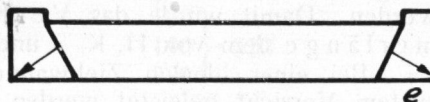
VII. Die Deutung der Wellen.

Wellen sind eine natürliche Erscheinung, die in allen Gebieten der Physik da zutage tritt, wo ein äußerer Zwang fehlt. Ob und wie weit beim Aggregatzustand der flüssigen Glasmasse Wellenbewegungen auftreten können, ist nicht nachgewiesen. Doch wird die Vermutung, daß dem so sei, nicht nur von ähnlichen Erscheinungen in anderen Gebieten gerechtfertigt, sondern auch von den Erfahrungen in den Hütten, nach denen die Wellen im erhärteten Glas wohl auf ein Minimum herabgedrückt, aber nie völlig beseitigt werden konnten. Es muß demgemäß ein Unterschied gemacht werden, zwischen einfachen und verstärkten Wellen in den fertigen Tafeln. Jene können von einer natürlichen Wellenbewegung des Glasflusses herühren, diese haben ihren Ursprung in falscher Behandlung der Materie zu suchen. Im Zusammenhang mit der Kritik des Ziehwannebaues wurde bereits auf die verstärkten Wellen in ihren Beziehungen zu inhomogenen Glaszuständen hingewiesen. — Erheblich kann ein Umstand mitspielen, der in der Kräfteverteilung in der entstehenden Tafel liegt (s. Bild 9). Neben den senkrecht zur Düse verlaufenden Hauptkräftelinien, die aus Zug und Gegenzug (Widerstand) bestehen (a, a') sucht ein Kräftepaar, das von den Borden nach der Mitte der Tafel verläuft, eine innere Spannung auszugleichen (b).

Diese Krafrichtungen wirken mit größter Wahrscheinlichkeit wellenbildend. Eine fast entgegengesetzt gerichtete Kraft ist in der Adhäsion der Schlitzränder festzustellen (c). Unter der Annahme, daß die Adhäsionskraft c

Bild 10.

Der Entspannungskraft entgegenwirkende Schlitzanordnung.



größer ist als die Entspannungskraft b, vermag c dennoch b nicht so günstig entgegen zu wirken wie bei einer umgekehrten Anordnung des Düsen Schlitzes (Bild 10). Beweise für die Richtigkeit der angenommenen Kräfteverteilung sind bereits erbracht.

Referate.

Die Referate sind nach folgenden Gesichtspunkten eingeteilt: 1. Geschichte des Glases; 2. Physikalische und chemische Grundlagen der Glaserzeugung; 3. Rohstoffe für die Glaserzeugung; 4. Gemenge und seine Aufbereitung; 5. Glasschmelze; 6. Formgebung des Glases; 7. Kühlung des Glases; 8. Glasbearbeitung und -Veredelung; 9. Fehler des Glases; 10. Bruchursachen; 11. Physikalische und chemische Prüfung der Glasrohstoffe und des Glases; 12. Glaswaren (Bezeichnung, Normung, Verpackung, Glashandel); 13. Glas für Bauzwecke; 14. Physikalische und chemische Grundlagen der Wärmewirtschaft; 15. Feuerfeste Stoffe; 16. Ofenbau (einschl. Feuerungen), Wärmeschutz; 17. Brennstoffe; 18. Brennstoffvergasung; 19. Dampferzeugung; 20. Kraftmaschinen; 21. Kompressoren und Pumpen; 22. Verteilung von Wärme und Kraft; 23. Stoffbewegung; 24. Werkseinrichtung, allgemeine Betriebsführung; 25. Arbeiterschutz, Unfallverhütung; 26. Forschung und Unterricht.

1. Geschichte des Glases.

Glas im Altertum. (Glass in the early ages.)
W. M. Flinders Petrie. Journ. Soc. Glass Techn. Bd. X, Jg. 1926, Nr. 39, S. 229—234.

Verfasser nimmt an, daß in Aegypten kein einziges Glasstück vor 1500 v. Chr. hergestellt worden ist. Von älteren Gläsern nimmt er an, daß sie nach Aegypten eingeführt worden sind. Bis 1500 waren die Syrier den Aegyptern weit voraus in Kunst und Industrie, und sie haben wahrscheinlich die Glasherstellung nach Aegypten übertragen. In Syrien gefundene Glasgegenstände können auf 2500 v. Chr. geschätzt werden. Der Ursprung der Glasfabrikation ist wahrscheinlich nach dem nördlichen Mesopotamien oder nach dem Kaukasus zu verlegen. Auf jeden Fall scheint in Aegypten innerhalb von 50 Jahren nach Einführung der Fabrikation aus dem anfangs seltenen Glas eine allgemein verbreitete Ware geworden zu sein. Die erste Verwendung von Glas war die als Edelsteinimitation. Es ist anzunehmen, daß das allererste Glas in Aegypten nicht klar geschmolzen wurde und daß nur ein Glasbrei in plastischem Zustande geformt werden konnte; bis zum christlichen Zeitalter wurde kein geblasenes Glas herge-

stellt. Die Hauptrolle spielte bei dem Glase die Farbe. Das Glas war leicht schmelzbar; zuerst stellte man eine Fritte her, die dann zu Stäben, weiter zu Perlen verarbeitet wurde. Erst gegen 1200 v. Chr. begannen die Aegypten damit, Glasgegenstände durch Pressen in Formen herzustellen; zugleich tauchte das Glasmosaik auf, das unter Verwendung dünner Stäbchen hergestellt wurde. Die Fabrikation des geblasenen Glases scheint erst im christlichen Zeitalter begonnen zu haben. Die Glasfärbemittel, wie Braunstein und Kupfer sind vermutlich schon um 1500 v. Chr. verwendet worden. Interessant ist die Herstellung von äußerst genauen Gewichten aus Glas, die ungefähr 350 n. Chr. aufkamen und viele Jahrhunderte in Gebrauch waren. Etwa 1400 v. Chr. (? Der Ref.) kam die Verwendung von Gläsern und Glasuren als Deckmittel, besonders für Ziegel, auf, wobei wieder die Farben eine große Rolle spielten und schöne farbige Wirkungen erzielt wurden. Auf jeden Fall läßt sich über das erste Auftreten von Glas nichts Sicheres sagen, man muß seine erstmalige Herstellung wahrscheinlich einem anderen Volke als den Aegyptern zuschreiben.
Späte.

2. Physikalische und chemische Grundlagen der Glaserzeugung.

Ueber das Verhalten von schwer löslichen Metalloxyden in den Lösungen ihrer Salze. Zur Kenntnis der Magnesiumoxyd-Zemente.

W. Feitknecht. Helv. chim. acta. Bd. 9, Jg. 1926, S. 1018—49.

Wie bekannt, reagieren sehr schwer lös-