

Zeitschrift für angewandte Chemie

I. Band, Seite 281—296

Aufsatzteil

22. Juni 1915

Über das Verhalten der Glasgemenge beim Schmelzprozeß.

Von HUGO KNOBLAUCH, Ingenieur, Freiberg i. S.

(Eingeg. 28.4. 1915.)

Die Vorgänge beim Schmelzen des Glases und sonstiger Silicate weisen gewisse Eigentümlichkeiten auf, die sich beim Schmelzen der Metalle und Erze nicht immer wieder finden lassen. Es erscheint deshalb wohl nicht überflüssig, wenn in folgendem der Glasschmelzprozeß aus der Praxis heraus beleuchtet wird, vornehmlich in der Absicht, dadurch einen weiteren Meinungsaustausch über die verschiedenartigen metallurgischen Schmelzprozesse anzuregen.

Bekanntlich ist ja in der chemischen Zusammensetzung der Gläser ein ziemlich weiter Spielraum vorhanden. Ganz allgemein behandelt, bilden die meisten Gläser eine amorphe Masse, bestehend aus Verbindungen der Kieselsäure mit mindestens zwei Basen.

In diesem Sinne seien hier nur die Natron-Kalksilicate und die Kali-Bleisilicate erwähnt.

Die Kieselsäure wird in Gestalt von Sand, die Alkalien werden als Salze und die alkalischen Erden meistens als Carbonate in den Glassatz eingeführt. Unter dem Glassatz versteht man ein in der Praxis erprobtes Mischungsverhältnis, unter welchem die gentigend zerkleinerten Rohmaterialien zu dem sog. Glasgemenge zusammengemischt werden.

Obwohl die Gläser, je nach den Mischungsverhältnissen, unter denen die Rohmaterialien zueinander stehen, gewisse Unterschiede in den daraus zu erschmelzenden Massen zeigen, sich jedenfalls auch als mehr oder weniger leicht schmelzbar erweisen, kann für die vorliegenden Betrachtungen von speziellen Gemengesätzen abgesehen werden, weil alle Gläser der Praxis das in der Folge zu schildernde gleiche Verhalten bei der Schmelze zeigen.

Als Richtschnur dienend, seien hier einige typische Gemengenvorschriften mitgeteilt, wonach beispielsweise für Fensterglas ein Gemenge von 165 Teilen Sand, 80 Teilen Glaubersalz mit 4 Teilen Kohle als Reduktionsmittel und 50 Teilen Kalkspat verschmolzen wird; für weißes Hohlglas verwendet man eine Mischung von 100 Teilen Sand, 18 Teilen Kalkspat und 32 Teilen Soda.

Das Erschmelzen dieser Glasgemenge erfolgt entweder in einzelnen Gefäßen, aus besten hochfeuerfesten Schamottemassen, den sog. Glashäfen, oder in Wannenöfen.

Zur genauen Beobachtung des Verhaltens der Glasmassen bzw. der Gemenge beim Schmelzen empfiehlt es sich, die einzelnen Schmelzphasen in einem solchen Schmelzhafen zu verfolgen, denn nur hier bietet sich Gelegenheit, die Natur der Glasschmelze genau kennen zu lernen.

Je nach der Natur der Betriebe schwanken die Größen der Schmelzgefäße zwischen 100 bis 1500 kg Inhalt.

Die mit größter Sorgfalt hergestellten Häfen müssen bei Ingebrauchnahme vom trockenen rohen Zustande ganz allmählich bis auf helle Rotglut erbrannt werden, um in den ebenfalls dauernd glühend heißen Schmelzöfen eingestellt werden zu können.

Die Glasschmelzöfen werden in fast allen Fällen mit Gas nach dem Regenerationssystem von Siemens beheizt. Als das meist angewandte Ofensystem sei eine Schmelzanlage nach der nebenstehenden Fig. I in den Schnitten A—A bis G—G gezeigt.

Unter der Voraussetzung, daß die Regenerativfeuerung allgemein bekannt ist, sei hier nur noch auf spezielle Neuerungen der gezeigten Anlage hingewiesen.

Der Schnitt A—A schneidet den Ofen senkrecht längs, die Schnitte B—B und C—C schneiden ihn senkrecht quer.

Die Schnitte D—D und E—E schneiden den Schmelzraum horizontal; der Schnitt F—F trifft die Kammer und Feuerzüge wagerecht, und der Grundriß der Anlage wird in Schnitt G—G gezeigt. Die für das Regenerativsystem charakteristischen Regeneratoren für das Gas und die Luft sind mit *rg* und *rl* bezeichnet.

Wie aus dem Grundriß und Schnitt F—F zu ersehen ist, weist die vorliegende Anlage die Eigentümlichkeit auf, daß die Regeneratoren *rg* bzw. *rl* durch Scheidewände getrennt sind, so daß jeder Regenerator dadurch in zwei Hälften *ag*—*bg* und *al*—*bl* geteilt wird, welche je durch Schamottesschieber *sp* für sich abgeschlossen werden können. Diese Kammerhälften sind nun wieder, wie in Schnitt A—A gezeigt wird, je mit einem Flammenzug *a* und *b* in Kommunikation, so daß im Bedarfsfalle die Flamme im Zu- und Abzug durch die Schieberplatten *sp* für jeden Feuerzug reguliert werden kann.

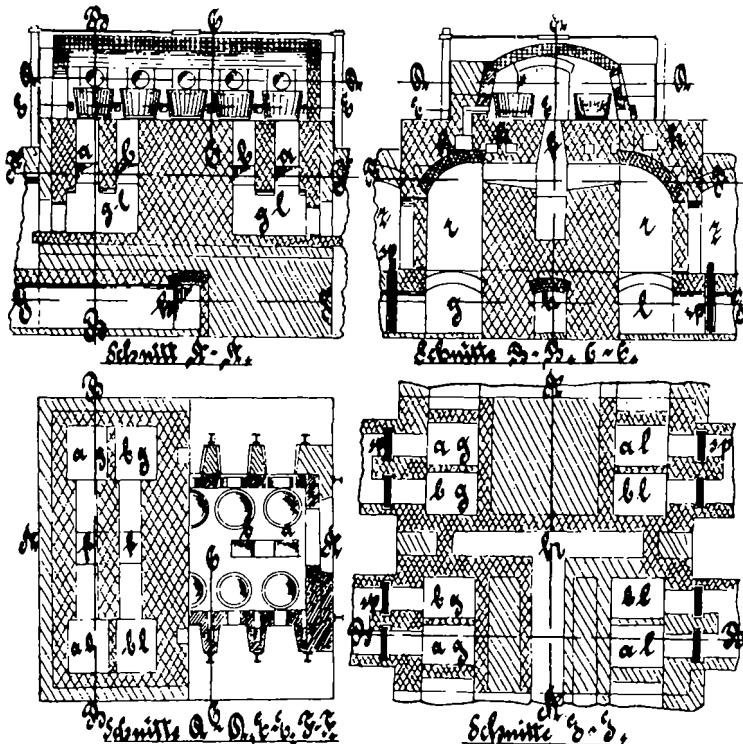


Fig. 1. Glasschmelzofen. Regenerativsystem.

Durch diese Einrichtung soll also eine ganz beliebige Verteilung der Wärme besonders in großen Schmelzöfen herbeigeführt werden.

Im Schmelzraum sind die Schmelzgefäße, in diesem Falle zehn Stück, untergebracht. Man setzt in einen Schmelzofen mindestens sechs, oftmals aber bis 16 Stück Häfen ein, so daß der innere lichte wagerechte Schnitt der modernen Glasschmelzöfen zwischen 2 × 3 und 4 × 14 m schwankt.

Wir gehen nun zur Beobachtung der Schmelzvorgänge über, wobei darauf aufmerksam gemacht sei, daß, wenn ganz neue Häfen in Gebrauch genommen werden, diese das erstmal nicht mit Gemenge, sondern meistens mit reinen Glasbrocken gefüllt werden, weil reines, bereits fertiggeschmolzenes Glas die Innenwände der Schmelzgefäße nicht so stark angreift, wie die rohen Gemengebestandteile.

Nach der ersten Schmelze ist das Glasschmelzgefäß gewissermaßen glasiert; die Gemengeschmelze beginnt, nachdem der Hafen leer gearbeitet worden ist. Hierbei verbleibt immer ein Glasrest im Schmelzgefäß, welcher in

der Fig. 2 und in den folgenden Bildern immer mit *a* bezeichnet ist.

Bevor der Hafen mit Gemenge beschickt wird, muß er bis auf helle Weißglut erhitzt werden, weil die Temperatur des Ofens beim Ausarbeiten des Glases immer so weit zurückgeht, daß eine normale Schmelze nicht stattfinden kann.

In den hocherhitzten Schmelzhäfen wird nun das Gemenge mittels eiserner Schaufeln derart eingelegt, daß man die Schaufel oder Kelle bis über die Mitte des Hafens in den Ofen einführt; in dieser Stellung kippt man die Schaufel um, so daß das Gemenge einen spitzen Haufen im Hafen bildet und das nachgelegte Gemenge langsam über den Haufen hinwegrollt.

Wie in Fig. 2 gezeigt wird, bildet die erste Gemengeeinlage den mit *b* bezeichneten Haufen; man sieht hier, wie das Gemenge in der Mitte des Hafens etwas tiefer eingesunken ist, so daß die heiße flüssige Glasmasse seitwärts an den Hafenwänden hoch gedrängt wird.

Dies ist von Wichtigkeit, weil durch die heiße Glasmasse die Hafenwände von allzu starker Abkühlung durch das Gemenge beschützt bleiben.

Je nach der Größe des Hafens, ungefähr nach Verlauf einer Stunde, ist bereits so viel Gemenge abgeschmolzen, daß mit der zweiten Einlage, welche mit *c* bezeichnet ist, begonnen werden kann.

Fig. 3 zeigt das weitere Fortschreiten der Schmelze, wobei die weiteren Gemengeeinlagen mit *d* und *e* bezeichnet

tatsächlich noch von dem zuerst eingelegten Gemengehaufen *b* zurückgeblieben ist.

Es muß aber zunächst darauf hingewiesen werden, daß der Schmelzprozeß hauptsächlich von der Oberfläche des Gemenges aus, soweit dieses der direkten Einwirkung der Flammen ausgesetzt ist, erfolgt, und daß das Abschmelzen von Gemenge, soweit dieses vom Glasfluß umgeben ist, nur gering einzuschätzen ist. Im Innern bleiben direkte Gemengehaufen vollständig unverändert; dies geht daraus hervor, daß man das Gemenge, nachdem es bereits mehrere Stunden lang im Schmelzofen der Schmelzhitze ausgesetzt war, mit einem Eisen bequem auflockern kann; nicht einmal die leichtflüssige Soda hatte die Masse verkittet, sondern man kann mittels einer Schaufel das unveränderte sandige Gemenge aus dem Hafen nehmen.

Die auf das Gemenge einwirkende hohe Schmelzhitze wird also lediglich dazu verbraucht, den Schmelzprozeß ganz oberflächlich herbeizuführen, bis ins Innere des Hafens dringt die Wärme infolge der geringen Wärmeleitungsfähigkeit der Masse nicht.

Hierbei muß noch erwähnt werden, daß man nicht immer das Gemenge Haufen auf Haufen einlegt und so den Hafen hintereinander füllt, sondern vielerorts ist man dazu gezwungen, jede Einlage erst vollständig niederschmelzen zu lassen, ehe man mit der neuen Einlage beginnt. Dies ist der Fall, wenn der Ofengang zu wünschen übrig läßt; man erzielt dann immer und noch eher ein brauchbares Glas, allerdings aber nur unter Aufwand von mehr Zeit.

Das Haufen- auf-Haufenlegen ermöglicht also eine flottere Schmelze, weil das Gemenge infolge seiner höheren Lage im Hafen mehr mit der Flamme in Berührung kommt.

In der Fig. 5 soll gezeigt werden, wie nicht eingelegt werden soll. Man sieht hier, wie der Hafen mit einer Ration Gemenge voll gelegt worden ist, wodurch der Glasrest *a* auf die Seite gedrängt worden ist, und das Gemenge zum Teil

fast auf dem Hafenboden liegt. Erstens wird dadurch der Hafen sehr stark abgekühlt, zumal wenn das Gemenge nicht ganz trocken ist, was in der Praxis recht oft vorkommt, so daß in der inneren Hafenwandung feine Sprünge entstehen, an denen der Hafen dann in der höchsten Schmelzhitze aufbricht. Auch lösen sich solche am Hafenboden lagernde Gemengepartikeln schwer auf, so daß der fertige Glasfluß oft mit unverschmolzenen, aus Sand und Kalk bestehenden Steinchen durchsetzt ist.

In Fig. 6 ist ein weiterer interessanter Fall der Schmelzpraxis zur Sprache gebracht. Es handelt sich hier um einen Hafen, der etwa halb mit der Glasmasse *a* angefüllt ist. Auf der flüssigen Glasmasse schwimmt ein Gemengerest *b*. Weiter wurde auf diesen Gemengerest eine größere Ration reines Brockenglas, gleichgültig ob Tafelglasschnittscherben oder Hohlglasbrocken gelegt. Man kann dann beobachten, daß die obere Glaseinlage verhältnismäßig schnell breit fließt. Der Scherbenhaufen bildet dann bald eine sehr zähflüssige mit vielen blasenähnlichen Hohlräumen durchsetzte Masse. Die Blasen röhren bei Scherben von der zwischen denselben eingeschlossenen Luft her.

Nach Verlauf von etwa einer Stunde ist diese Glasmasse vollständig erweicht, und kann man dann beobachten, wie der Gemengerest *b* ganz unverändert in der Glasmasse emporsteigt, so daß sich dann das Bild 7 ergibt.

Es hat aber gar keinen Sinn, oben auf das Gemenge Brocken zu legen, um etwa den Schmelzprozeß zu fördern; denn das Gemenge bleibt, wenn es oben mit Glas bedeckt ist, fast unverändert; es nimmt erst wieder wesentlich am Schmelzprozeß teil, wenn es mit der Flamme direkt in Be-

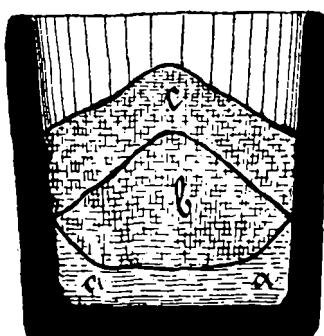


Fig. 2.

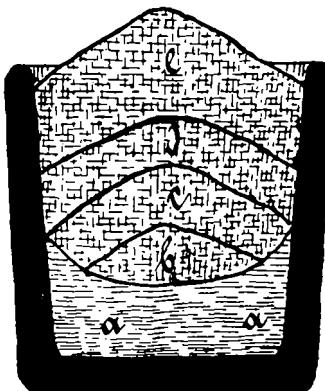


Fig. 3.

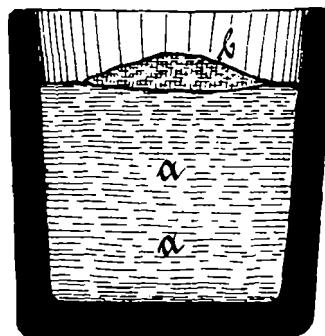


Fig. 4.

sind. Die Glasmasse *a* nimmt unten im Hafen bereits zu, und zwar in dem Maße, wie das Gemenge von oben abschmilzt. Nach Verlauf von ungefähr zwei Dritteln der zur Verfügung stehenden Schmelzzeit, je nach der Größe der Häfen, nach 8 bis 12 Stunden, sind die Einlagen durchgeschmolzen, so daß sich noch ein Rest von Gemenge, auf der Masse schwimmend vorfindet. Das Gemenge verbleibt unter normalen Verhältnissen immer schwimmend auf der feuerflüssigen Glasmasse, weil es spezifisch leichter ist als die Masse, welche daraus erschmolzen wird.

Es geht praktisch nicht gut an, den Hafen vollständig mit Gemenge zu füllen, weil bei dem den Schmelzprozeß begleitenden starken Schäumen der Masse zuviel Glas verloren gehen würde; man füllt also den Hafen zuletzt gewöhnlich mit Glasbrocken.

Der Schmelzvorgang verläuft ungefähr in der Weise, daß zunächst die Alkalien in den feurigen Fluß geraten, in den geschmolzenen Alkalien lösen sich dann die Erdalkalien, welche bereits ihre Kohlensäure verloren hatten, und in diesem Schmelzfluß löst sich die Kieselsäure. Die Kieselsäure treibt dann aus den geschmolzenen Alkalien die Kohlensäure aus und verbindet sich nunmehr mit diesen Stoffen zu einem Doppelsilicat.

Diese Vorgänge sind infolge des Entweichens der gasförmigen Säuren von einem lebhaften Brodeln und Pfeifen der aufschäumenden Masse begleitet.

In Fig. 4 wurde der obenauf schwimmende Glasrest nicht ohne Grund mit *b* bezeichnet. Es sollte damit ausdrücklich angedeutet werden, daß dieser Rest nicht etwa die zuletzt eingelegte Gemengerest *e* darstellt, sondern

rührung kommt. Es ist also richtiger, die Brocken unten in den Hafen einzulegen, wenn man die Schmelze fördern will; wird dann das Gemenge oben darauf gelegt, so können durch die unten im Hafen fühlbare Wärme die Brocken doch langsam ausgasen.

In Fig. 8 ist ein weiterer Fall der Praxis aufgeführt. Auf den Glasrest, der hier wieder mit *a* bezeichnet wurde, sind Glasbrocken *f* eingelegt worden. Diese Brocken waren aber nicht rein, sondern es befindet sich darin Gemenge in kleinen Komplexen verteilt.

Es seien beispielsweise Brocken mit ungefähr 10% Gemenge gemischt. Dies ist jedenfalls als ein großer Fehler zu betrachten; denn die Glasbrocken schmelzen zwar verhältnismäßig bald durch, aber die Gemengereste steigen in diesem Falle nicht an die Oberfläche des Glases, wo sie unter der Einwirkung der Flamme leicht zerschmelzen könnten, sondern diese kleinen Komplexe bleiben in der Glasmasse mechanisch eingeschlossen.

Die selbst bei einer Temperatur von 1600° noch sehr zähflüssige viscose Glasmasse gestattet zwar einem größeren kompakten Gemengehaufen, wie bei den Bildern 6 und 7, im Schmelzfluß noch zu steigen, aber bei kleineren Gemengerationen genügt der hydrostatische Auftrieb nicht, um die große innere Reibung der viscosen Glasmasse zu überwinden.

Das Gemenge bleibt also in der Masse verteilt, ungefähr wie in Fig. 9 gezeigt wird. Mit der Zeit löst sich dann zwar das Gemenge noch auf; auch wenn es in der Glasmasse eingeschlossen ist; die in der Praxis dazu gegebene Zeit reicht aber zu dieser Auflösung nicht aus, und deshalb resultiert hier ein mit unerschmolzenen Gemengepartikeln, den sog. Schmelzsteinen durchsetztes Glas.

Als Vergleich sei hier der Fall angeführt, den man beobachtet, wenn man Holzsägemehl in Sirup, geschmolzenes Kolophonium oder Leim einröhrt. Auch in solchen Massen steigt zwar ein kompaktes Holzstück leicht empor, ein gemischtes Holzsägemehl bleibt aber lange darin verteilt.

Es muß mit allem Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß sich Schmelzsteine auch noch aus vielen anderen teils chemischen, teils thermischen Gründen bilden können; hier soll aber vornehmlich mehr die mechanische Seite des Schmelzvorganges betrachtet werden.

Nach den vorausgegangenen Erklärungen wird es leicht sein, die Wirkungsweise des Schmelzgefäßes Fig. 10 zu verstehen. Es handelt sich hier um einen Hafen für kontinuierlichen Betrieb, aus dem gleichzeitig gearbeitet und geschmolzen werden kann. Wie sich leicht aus der Skizze erkennen läßt, weist das Schmelzgefäß ein mit einer Haube überdecktes Rohr auf, in welches von unten aus die ausgeschmolzene Glasmasse eintritt. Außerhalb des Rohres wird das Gemenge *b* eingelegt, so daß es unter der direkten Einwirkung der Flamme zu Glas erschmilzt. Das am besten durchgeschmolzene blasenreinste Glas tritt von unten aus in das Rohr ein und wird oben aus der Haube vom Glasarbeiter ausgearbeitet. Diese Haube hat erstens den Zweck, erschmolzenes Gemenge und Gemengestaub vom reinen Glasfluß fernzuhalten; ferner bedingt sie eine zum Verarbeiten des Glases geeignete niedrigere Temperatur im Rohre.

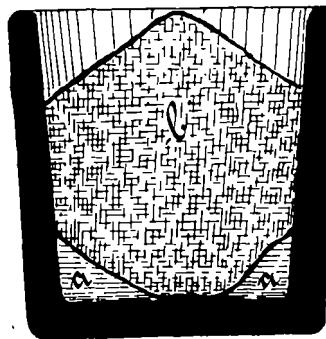


Fig. 5.

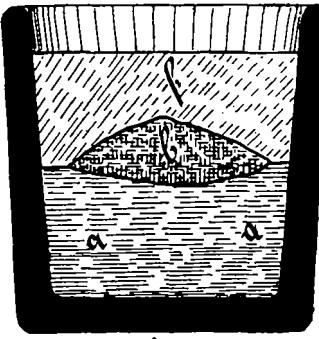


Fig. 6.

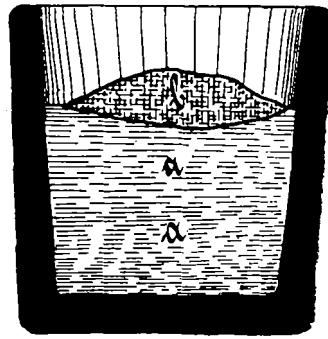


Fig. 7.

jedenfalls aber auch nur wenig nützen; sie hätte nur einen Zweck gehabt, wenn man das erste, also leichter schmelzende Gemenge vollständig durchgeschmolzen hätte, bevor neues Material eingelegt wurde.

Mit Hilfe der Figg. 11 u. 12 (S. 284) sollen nun die soeben gegebenen Erklärungen bewiesen werden. Legt man auf den Glasrest *a* wieder eine Gemengeration *b* und mischt in dieses Gemenge massive, etwa faustgroße Glasklumpen (in Bild 11 mit *g* bezeichnet) und legt dann später die Rationen *c* und *d*, welche des Versuches wegen kein Glas enthalten dürfen, oben darauf, so wird man sich nach Verlauf mehrerer

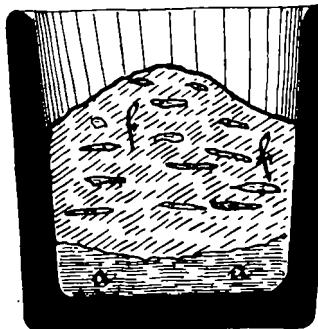


Fig. 8.

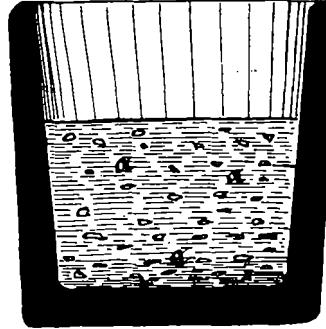


Fig. 9.

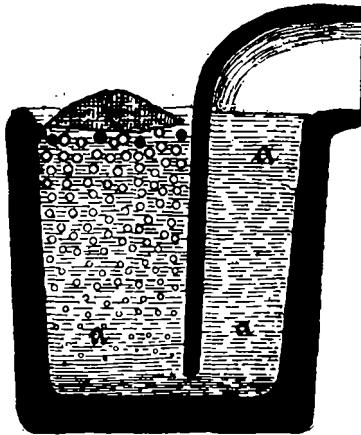


Fig. 10.

Stunden Schmelzdauer schon überzeugen können, daß tatsächlich das zuerst eingelegte Gemenge *b* erst zuletzt zur vollständigen Auflösung kommt, denn wenn man jetzt mit einem Eisenstab den obenauf schwimmenden Gemengerest (Fig. 12) durchwühlt, so kann man jederzeit die kompakten Glasklumpen ganz unverändert aus dem Gemenge herauswählen. Die Glasklumpen sind dann zwar schwach rotglühend, so daß sie im Dunkeln schwach leuchten, die im Innern des Gemengehaufens vorhandene Wärme ist aber nicht einmal hinreichend, die Glasklumpen schwach zu erweichen oder zum Zerfließen zu bringen.

In Fig. 13 soll ein Schmelzgefäß dargestellt sein, in welchem auf die Glasmasse *a* das hier mit *h* bezeichnete Glasgemenge in Gestalt von Würfelbriketts eingelegt wurde. Dieser Behelf ist von mir bereits früher an anderer Stelle in Vorschlag gebracht worden, wohl aber praktisch noch nicht in nennenswerter Weise zur Anwendung gelangt.

Ich verspreche mir vom brikettierten Gemenge eine wesentliche Beschleunigung der Schmelzvorgänge, indem

sich in dem dichtgepreßten Gemengebrikett die Schmelzwärme viel leichter fortleitet als in dem locker gelagerten Haufen. Auch wird die Wirkung der Feuergase infolge der viel größeren Angriffsfläche eine günstigere sein, wie auch die entweichenden Gase durch die Zwischenräume der Briketts leichter austreten können.

Allerdings bedingt das Brikettieren des Gemenges einen Mehrkostenaufwand, welcher vielleicht nicht unter den gewöhnlichen Verhältnissen durch Brennmaterialersparnisse aufgewogen werden kann; immerhin dürften sich aber Spezialfälle genug finden, wo man sich dieses Behelfes mit großem Vorteil bedienen könnte, und zwar, wenn es sich

diesen mechanischen Wirkungen kommen der arsenigen Säure auch noch chemische Einflüsse auf den Glasfluß zu; auf diese einzugehen, gehört jedoch nicht in den Rahmen dieser heutigen Betrachtung.

In Fig. 14 sind die eingeworfenen Arsenikstücke mit *k* bezeichnet. Es wurde in dieser Figur ferner versucht anzudeuten, wie die Arsenikgase vom Boden des Hafens aufsteigen und mit der Abnahme des Glasdruckes nach oben zu die Blasen immer weiter aufzählen, bis sie an der Oberfläche des Glases entweichen, indem die mächtigen Blasen unter polterndem Geräusch zerplatzen.

Läßt der Schmelzer das Glas nicht allzu dünnflüssig

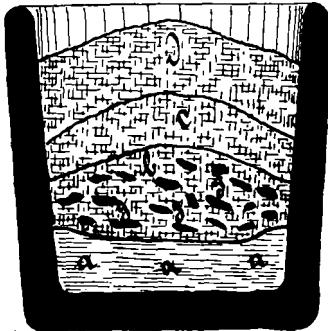


Fig. 11.

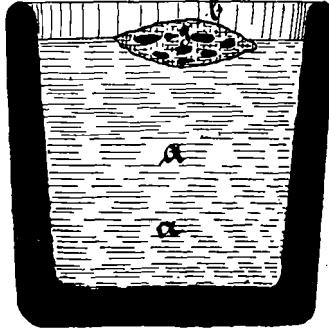


Fig. 12.

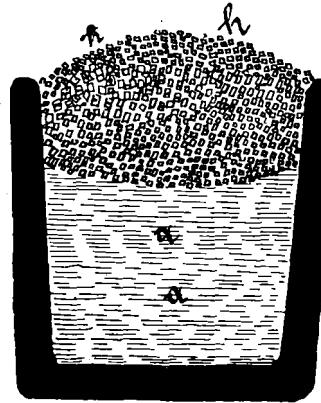


Fig. 13.

um ein recht schwerschmelzbares Spezialgemenge handelt, oder in Fällen, wo die Kraft billig, ein genügend gutes Brennmaterial aber schwer zu haben ist.

Mit dem Einschmelzen des Gemenges ist jedoch der Schmelzprozeß noch nicht beendet. Unmittelbar nach dem Niederschmelzen des letzten Gemengerestes erweist sich das Glas noch stark schaumig und mit vielen mehr oder minder verglasten Knoten durchsetzt. Der Schmelzer prüft das Glas, indem er mit einem Eisen eine Probe entnimmt und diese zu einem langen Faden auszieht.

Nachdem das Gemenge restlos niedergeschmolzen ist, nimmt die Temperatur im Schmelzofen verhältnismäßig schnell zu, weil von jetzt ab weniger Wärme von der Masse absorbiert wird. Das Glas wird hierbei bald dünnflüssiger,

rund 1 kg vollzieht sich ungefähr in einer Zeit von anderthalb bis zwei Minuten.

Wenn man von der chemischen Wirkung des Arseniks absieht, so wird der Effekt der Bewegung auch durch das sog. „Blasenlassen“ mit einem Holzklötzchen, welches man nach Fig. 15 mittels einer Eisenstange bis auf den Boden stößt, erreicht.

Zu diesem Zwecke muß das Klötzchen genügend mit Wasser durchtränkt sein und wird an das Eisen angespießt. Bei der Schmelze gewöhnlicher Gläser genügt das Blasenlassen mit dem Klötzchen vollständig, ja es bietet sogar den Vorteil, daß der Arbeiter mit dem Eisen das Klötzchen auf dem ganzen Boden herumbewegen, also die Wirkung der Bewegung steigern kann, während die Arsenikstücke ruhig auf einer Stelle liegen bleiben, also lokaler wirken.

Außerdem bietet das Blasen mit dem Klötzchen insofern gewisse Sicherheiten, als man das Blasenlassen sofort einstellen kann, wenn man beim Einführen des Klötzchens in die heiße Masse merkt, daß dieselbe heißer als erwartet wurde. Hätte man in diesem Falle ein entsprechend großes Stück Arsenik verwendet, so

müßte man ruhig zusehen, wie die flüssige Masse durch zu energisches Aufschäumen verloren geht.

Braust ein Hafen allzu stark, so daß der Glasschaum über den Rand des Hafens steigt und somit verloren gehen müßte, so kann man sich noch damit helfen, daß man eiligst die Ofenhitze reduziert und mittels einer Brause Wasser auf den Glasschaum spritzt. Ist das Glas nicht allzu wild, so kann man auf diese Weise die Masse abschrecken; bei sehr heißem Ofengang kann es jedoch vorkommen, daß das Glas bis auf einen ganz kleinen Rest aus den Häfen ausbraust.

Erfolgt das Blasenlassen rechtzeitig und in zweckmäßigen Intervallen, so trägt es viel zur Homogenisierung der Masse bei und fördert sehr den Läuterungsprozeß; unterläßt man hingegen diese Manipulation, so erscheint

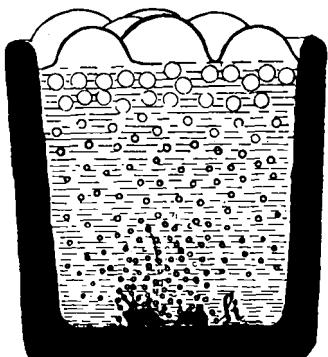


Fig. 14.

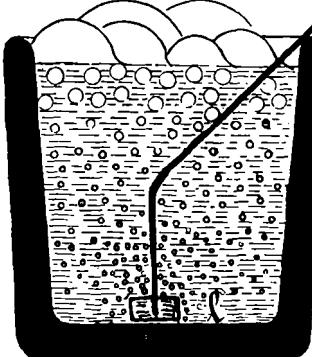


Fig. 15.

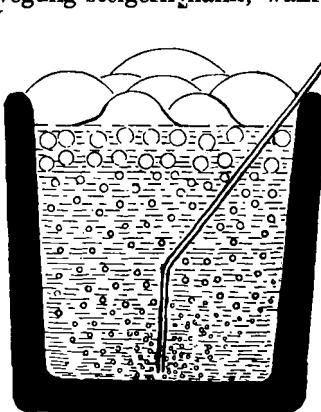


Fig. 16.

so daß die eingeschlossenen Gase leichter entweichen können, und auch etwaige feste Bestandteile noch gelöst werden.

Diese Läuterungsperiode nimmt ungefähr das letzte Drittel oder Viertel der Gesamtschmelzzeit in Anspruch, wobei es sich als zweckmäßig erwiesen hat, von Zeit zu Zeit für genügende Bewegung in der Masse zu sorgen. Man führt diese Bewegungen herbei, indem man in den feurigen Schmelzfluß einige Klumpen Arsenik wirft. Bei einem spez. Gewicht von 3,7 sinkt Arsenik leicht in der Glasmasse, welche bekanntlich nur eine Dichte von 2,5 bis 2,6 hat, unter und gerät, am Boden des Hafens angelangt, sofort in Sublimation, wobei die resultierenden Dämpfe den Glasfluß je nach dem Grade seiner Dünnglüssigkeit und nach der angewandten Menge in heftige Wallungen versetzen. Neben

das Glas während der Schmelze zwar bald „blank“, also blasenrein, aber dies ist nur scheinbar der Fall, denn bei der Verarbeitung erweist es sich immer mit vielen Bläschen und Fäden und Knötchen durchsetzt und ist stets stark windig.

Je nach dem Ofengang und der Größe des Hafens macht sich ein drei- bis viermaliges Blasenlassen der Masse nötig. In Fig. 16 ist noch eine andere Art des Blasenlassens gezeigt, indem man ein zum Teil mit Wasser gefülltes eisernes Rohr *m* in die flüssige Masse einführt. Wenn man das Rohr am anderen Ende zuhält, so macht sich sofort die blasende Wirkung des Wasserdampfes im Glasfluß bemerkbar. Diesen Behelf wendet man manchmal in sehr großen Häfen oder in Wannen an, solange das Glas noch steif ist.

Ungefähr zwei Stunden vor Beendigung der Schmelze muß das Blasenlassen eingestellt werden, weil das Glas eine Zeit der Ruhe braucht, um alle noch eingeschlossenen Bläschen entweichen lassen zu können.

Diese letzte ist die schwierigste Periode des Schmelzprozesses; denn nicht selten wird dem Schmelzer die Freude an seinem Tagewerk noch in letzter Stunde dadurch verbittert, daß er in dem Bestreben, das Glas recht dünnflüssig zu machen, um es möglichst blasenrein zu erhalten, die Ofentemperatur zu hoch treibt.

Sehr leicht erwacht dann die feuerfeste Masse der Schmelzgefäße so sehr, daß sie dem hydrostatischen Drucke der Glasmasse nicht standzuhalten vermag. Die Hafewände geben dem Drucke der flüssigen Masse nach, und diese ergießt sich in die zu diesem Zwecke im Schmelzofen stets vorgesehenen Herdglasfänge, von wo sie dann nur als fast nutzloses Abfallprodukt entfernt werden kann.

Diese Herdglasfänge befinden sich stets unter den Feuerzügen der Schmelzöfen und sind in der Fig. 1 des Regenerationsgasofens in Schnitt *A* mit *gl* bezeichnet.

Der Bruch der Glasschmelzgefäße durch Überhitzung ist ein altes Übel, welches fast untrennbar mit dem Hafenoftnenbetrieb verbunden ist; denn die Temperatur, welche zur Erzielung einer gut ausgeschmolzenen Glasmasse nötig ist, liegt der Erweichungstemperatur unserer besten hochfeuerfesten Tone immer sehr nahe.

Wohl stehen dem Schmelzer in modernen Hüttenbetrieben verschiedene Systeme bewährter Pyrometer zur Seite; bei der mitunter sehr unregelmäßigen Verteilung der Wärme im Schmelzofen wird aber selbst dem erfahrenen Schmelzer mitunter der Verlust eines Hafens widerfahren. Erweist sich eine mittels des Schmelzeisens aus dem Hafen genommene Probe als blasenrein, und weisen lang ausgezogene Fäden davon keine festen Bestandteile mehr auf, so ist der Schmelzprozeß als beendet anzuschen.

Je nach den zu erzeugenden Artikeln muß der Schmelzfluß mehr oder weniger abstarren, zu welchem Zwecke das Feuer des Schmelzofens eine Zeitlang vollständig abgestellt wird.

Während des Vorarbeitens wird die Glasmasse wieder je nach Bedarf unter Feuer in einem entsprechend zähflüssigen Zustande erhalten.

Hierbei bleibt noch die Frage zu erörtern, wie sich massive Glasklumpen im Glasfluß verhalten. Ich berühre diese Frage deshalb, weil darüber in der Fachpresso schon mehrmals polemisiert wurde, ohne daß dieselbe befriedigend beantwortet wurde. Es handelt sich hierbei um den Streitpunkt, ob massives, also blasenfreies feuerflüssiges Glas schwerer oder leichter ist, als kaltes Glas in Klumpen.

Die endgültige Beantwortung dieser Frage ist insofern nicht ganz leicht, weil sich oft nicht die passende Gelegenheit dazu bietet, mit Erfolg experimentieren zu können.

Wie ja allgemein bekannt, sind Glasflüsse immer mehr oder weniger viscos, so daß selbst Glasklumpen von ziemlich hohem spez. Gewicht, z. B. Klumpen von Bleiglas in gewöhnlichem Glas nur äußerst träge zu Boden sinken.

Ja, man wird es in den weitaus meisten Fällen antreffen, daß z. B. Fensterglas- oder Flaschenglasklumpen mit dem spez. Gewicht von 2,6 in dieser feuerflüssigen Masse nicht untersinken, sondern ruhig auf der Oberfläche des

Schmelzflusses liegen bleiben und, obenauf schwimmend, bald in der Schmelzwärme erweichen.

Man hat deshalb den fast überzeugenden Eindruck, daß das Glas im starren Zustande leichter sein muß, als im flüssigen, denn sonst würde es doch sofort untersinken, wenn es in das flüssige Glas geworfen wird. Wie sich nun aus der gesamten Polemik ergibt, sind auch tatsächlich viele Glasfachleute dieser Ansicht.

Demgegenüber kann man jedoch wahrnehmen, daß starre Glasklumpen in der flüssigen Masse von ganz gleicher Zusammensetzung rasch untersinken, wenn sich das Glas in einer außergewöhnlich hohen Temperatur, also in einem genügend hohen Stadium der Dünnglüssigkeit befindet. Einen derartig hohen Grad der Dünnglüssigkeit erzielt man in der Praxis relativ selten, wie ja auch die Viscosität der Glasflüsse nicht nur von der Temperatur, sondern von der chemischen Beschaffenheit der Glasflüsse abhängig ist.

Bei kleineren Experimenten wird es wohl schwerlich gelingen, den angeführten Nachweis zu erbringen; denn schon bei einem ganz geringen Rückgang der Wärme wird das Glas oberflächlich nur so viel starrer, daß solche Klumpen nicht mehr darin untersinken können. So genügt beispielsweise ein ganz kurzes Öffnen der Arbeitsöffnungen von dem betreffenden Schmelzgefäß oder das Einwerfen einiger Klumpen in das Glas, um den Fluß so viel starrer zu machen, daß eben das Untersinken des starren Klumpen nicht mehr stattfinden kann.

Neben dem Hafenoftnen bedient man sich in der Glasindustrie zum Schmelzen des Glases noch der Wannenöfen.

Eine Schmelzwanne stellt gewissermaßen einen großen Hafen dar. Nachdem an Hand der vorausgegangenen Skizzen die Eigentümlichkeiten des Schmelzprozesses klargelegt wurden, wird es leicht sein, sich über den Verlauf des Schmelzvorganges in einem solchen Wannenofen, wie er umstehend gezeigt wird, klar zu werden.

Solche Wannenöfen gestatten die Herstellung des Glases im größten Maßstabe; im vorliegenden Falle faßt das Schmelzbassin ca. 500 000 kg feuerflüssiges Glas. Wannenöfen werden in fast allen Fällen mit regenerativer Gasfeuerung beheizt.

In der umstehenden Zeichnung (Fig. 17) ist der Wannenofen, der Gas-Luftumsteuerapparat und der Gaserzeuger längs senkrecht geschnitten. Der Schnitt *B* schneidet die Schmelzwanne horizontal, und der Schnitt *C* schneidet die Anlage quer senkrecht.

Nachdem das Regenerativgasfeuerungssystem bereits geschildert wurde, sollen hier nur einige charakteristische Merkmale der Anlage im Zusammenhang mit dem Schmelzvorgang erläutert werden.

Die im Gaserzeuger produzierten Gase gelangen über den kombinierten Umsteuerapparat *f*, welcher genauer in „Stahl u. Eisen“ 1912, Nr. 38 beschrieben ist, in den Schmelzraum. Das Umsteuern der Gase kann von der Kurbel *k* aus durchgeführt werden.

Um eine zweckmäßige Verteilung der Wärme in dem großen Schmelzraum herbeizuführen, sind an jeder Längsseite des Schmelzbassins je fünf Brenner *s* vorgesehen. Im Querschnitt *C* ist ein gegenüberliegendes Brennerpaar senkrecht durchschnitten, wobei auch die Wärmespeicher *V* sichtbar werden.

Der Schnitt *C* läßt unzweideutig erkennen, daß sich die Flammen von einer Längssseite zur anderen abwechselnd bewegen.

Das Gemenge wird mittels einer fahrbaren Kippmulde *l* in den Wannenofen eingelegt, wobei *p* einen auf dem Schmelzfluß *r* schwimmenden Gemengebau auf darstellt. Die ganze Wanne ist mit der Glasmasse *r* angefüllt und erreicht einen Glasstand von ca. 130 cm.

In dem Maße, wie das Glas abschmilzt, wird es von der vorderen Schmalseite des Bassins aus abgearbeitet. Zu diesem Zwecke sind vorn im Wannenofen 11 Arbeitsöffnungen, mit *t* bezeichnet, vorgesehen. An jeder Arbeitsöffnung befindet sich im flüssigen Glas ein Kranz *u* aus Schamotte-masse. Da Schamotte leichter ist als das feuerflüssige

Glas, so schwimmen die Schamotteringe frei in der Glasmasse.

Diese Kränze haben den Zweck, das Glas beim Aufnehmen auf die Glasmacherpfeife reiner zu erhalten.

Die vor dem Längsschnitt eingezzeichnete Arbeiterfigur soll den Vorgang des Glasaufnehmens auf die Glasmacherpfeife zeigen; es handelt sich in diesem Falle um einen Tafelglasmacher, welcher bis 25 kg Glas auf die Pfeife aufnimmt.

Auf dem Schmelzspiegel schwimmen ferner noch zwei über die ganze Breite der Wanne reichende Brücken *q*, welche ebenfalls aus Schamotte sind und frei auf der feuerflüssigen Masse schwimmen.

Durch diese Brücken wird der Wannenraum gewissermaßen in drei Zonen getrennt, ohne daß in Wirklichkeit entsprechende Abteilungen vorhanden sind. So spricht man von einer Schmelzzone, wo das Gemenge eingelegt wird; den Raum in der Mitte, also zwischen beiden Brücken,

fortwährende Einlegen von großen Mengen kalten Gemenges und durch das ununterbrochene Verarbeiten des fertiggeschmolzenen Glases dauernd starke Abkühlungen des Raumes stattfinden.

Die Temperatur würde also viel höher steigen, wenn man nach erfolgtem Vollschmelzen der Wanne das Glas weiter erhitzten und dann schließlich auf einmal abstechen würde, wie dies in Martinöfen bei der Stahlschmelze der Fall ist.

Ein solcher Wannenofen würde innerhalb 24 Stunden ca. 20 000 kg Fensterglas liefern, was einer Produktion von 4000 qm 2 mm starkes Fensterglas gleichkommt.

Diese Produktionsziffer gestattet auch einen sehr interessanten Einblick in die Natur des Schmelzvorganges in Wannenöfen, denn sie läßt erkennen, daß die täglich aus dem Bassin entnommene Masse nur ungefähr den zwölften Teil von der Glasmenge beträgt, welche tatsächlich von dem Bassin aufgenommen wird.

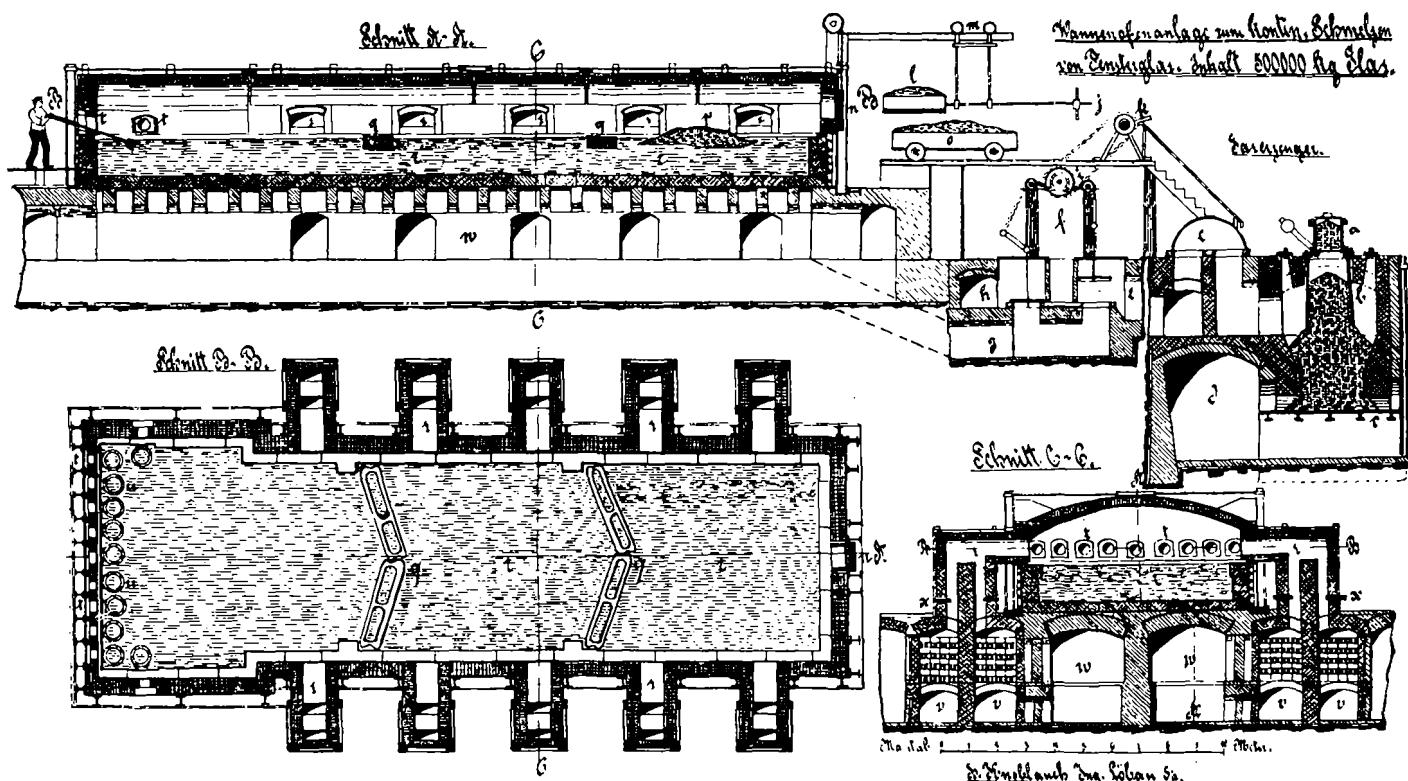


Fig. 17.

nennt man den Läuterungsraum und den vorderen Raum den Arbeitsraum.

Diese Brücken haben den Zweck, das Fortschwimmen von Gemenge nach dem Arbeitsraum zu hindern, denn falls sich Gemengereste bis vor in den Arbeitsraum verirren, so finden sie hier die zur Auflösung nötige Wärme nicht mehr vor, das Glas ist dann mit Steinen durchsetzt.

Die große Länge im Verhältnis zur Breite des Ofens ist deshalb notwendig, weil das Fensterglas in einem verhältnismäßig starren Zustande verarbeitet werden muß; deshalb findet man auch vorn im Arbeitsraum eine um ca. 150 bis 200° niedrigere Temperatur vor als wie Läuterungs- und Schmelzraum, wo eine Durchschnittstemperatur von ca. 1300° herrscht.

Um die Temperatur im Schmelzraum genügend regulieren zu können, sind an den Brennern s noch Schieberplatten x vorgesehen, durch welche der Zu- und Abzug der Gase an jedem einzelnen Brenner genau geregelt werden kann.

Die Temperatur könnte in einem solchen Wannenofen mit der Regenerativgasfeuerung allerdings noch viel höher gesteigert werden, aber im täglichen Verlauf der Schmelze tritt deshalb eine höhere Wärme nicht auf, weil durch das

Der Schmelzverlauf erfolgt nun natürlich nicht in der Weise, daß das heute eingelegte Gemenge erst nach zwölf Schmelztagen zur Verarbeitung gelangt, so daß nach und nach der ganze Wanneninhalt verbraucht und neu ersetzt würde, sondern die Schmelze vollzieht sich nur ungefähr im obersten Drittel der Glastiefe.

Die Glasmasse im mittelsten Drittel des Glasstandes verhält sich gewissermaßen passiv, indem sie fast still steht und nicht mehr an der Bewegung der Masse nach vorn teilnimmt.

Das unterste Drittel der Glasmasse befindet sich meistens in einem mehr oder weniger krystallisierten Zustande, und zwar in der Weise, daß bei dunkler gefärbten Glassmassen die Krystallisation noch mehr auftritt als bei helleren Gläsern, so daß bei dunkelgrünen, strengflüssigen Flaschengläsern das Glas am Wannenboden in eine vollständige Anhäufung von Krystallen übergeht, aus denen man den Charakter der Glasmasse mitunter nicht mehr erkennen kann. [A. 49.]

[A. 49.]