ÜBER DISKONTINUIERLICHE UND KONTINUIERLICHE CARBIDÖFEN.

Von Dr. O. Frölich.

H. Birger Carlson hat in der Zeitschrift für Elektrochemie Nr. 32 und 33 (Zeitschrift für Calciumcarbidfabrikation, IV. Jahrgang, Nr. 1, vergleiche auch III. Jahrgang, Nr. 47 und 48) eine ausführliche Vergleichung der elektrischen Oefen, welche zur Herstellung von Calciumcarbid teils in diskontinuierlicher, teils in kontinuierlicher Arbeitsweise dienen, veröffentlicht. Diesem Aufsatz muss das Verdienst zuerkannt werden, dass durch denselben die behandelte Frage in helleres Licht gerückt wurde und dass die physikalischen Konstanten, auf welchen die Beurteilung dieser Oefen beruhen muss, wohl in sorgfältigerer Weise, als bisher, beziffert wurden. Diese Arbeit ruft jedoch andererseits bei dem Verfasser dieses, sowie gewiss auch bei anderen Carbid-technikern soviel Widerspruch hervor, dass es schwierig wird, auf dieselbe zu erwidern, ohne die Spalten dieser Zeitschrift über Gebühr in Anspruch zu nehmen.

Ich möchte mich daher im folgenden darauf beschränken, nur auf die wichtigeren Behauptungen des Herrn Carlson einzugehen, dieselben jedoch etwas eingehender zu behandeln.

Zunächst gebe ich Herrn Carlson gern zu, dass er die kontinuierlichen Oefen, namentlich diejenigen der Frankfurter Gold- und Silberscheideanstalt, aus längerer Erfahrung gründlich kennt, kann ihm jedoch den Vorwurf nicht ersparen, dass er über die kontinuierlichen Oefen, gegen welche sein Artikel eigentlich gerichtet ist, keine eigenen Erfahrungen besitzt, sondern auf Beschreibungen und Äusserungen Dritter angewiesen ist.

Nun ist es ja allerdings einem Techniker schwierig, in die Anlagen der Konkurrenten einzudringen und sich ein selbständiges Urteil zu verschaffen; dieser Umstand sollte jedoch bei der Vergleichung der eigenen und der fremden Apparate zu erhöhter Vorsicht auffordern, weil es nicht möglich ist, einen Apparat ohne eingehende Kenntnis desselben gerecht zu beurteilen. Dieser Umstand hat demnach zur Folge, dass seine Beurteilung der kontinuier-

lichen Oefen in wesentlichen Punkten ungerecht ausfällt, wie ich zeigen werde.

Andererseits möchte ich darauf hinweisen, dass die elektrometallurgische Abteilung der Firma Siemens & Halske, welche ich leite, seit einer Reihe von Jahren sowohl mit diskontinuierlichen, als mit kontinuierlichen Oefen arbeitet und nach zwei diskontinuierlichen und einem kontinuierlichen System Anlagen errichtet, so dass ich für beide Systeme ein auf eigene Arbeit gegründetes Urteil in Anspruch nehmen darf.

Was die Beobachtungen betrifft, auf welche, ausser auf Berechnungen, die Vergleichung der verschiedenen Oefen, wenigstens soweit es angängig ist, begründet werden sollte, so beschränkt sich Herr Carlson auf eine unvollständige Angabe über die Temperatur der Tiegelwand des Frankfurter Ofens.

Ferner enthält sein Artikel keine Berechnungen nach der Theorie der Wärmeleitung, obwohl solche, wie ich zeigen werde, gerade wegen des Mangels an Beobachtungen mit Vorteil herangezogen werden können. —

Um den Leser in die Frage einzuführen, möchte ich zunächst möglichst kurz, und ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu machen, einige diskontinuierliche und kontinuierliche Oefen beschreiben.

Die diskontinuierlichen Oefen bilden meist Modifikationen des elektrischen Ofens von Will. Siemens, siehe Fig. 1. Derselbe besteht im wesentlichen aus einer vertikalen, beweglichen, oberen Elektrode (Stange) *O* und einem als untere Elektrode dienenden Graphittiegel *U*. Seit Beginn der Carbidfabrikation wurden sehr starke Ströme angewendet und dementsprechend die Stangen und Tiegel viel grösser gewählt und eingehender durchkonstruiert; das Bild blieb indessen im wesentlichen dasselbe.

Bei dem Ofen der Frankfurter Gold- und Silberscheideanstalt, siehe Fig. 2, ist über den Tiegel eine eiserne Haube *h* gestülpt,

an welche sich ein in den Kamin führendes Abzugsrohr schliesst, so dass die sich bildenden

Fig. 1.

Flammen nicht, wie bei dem obigen Ofen, ins Freie, sondern in den Kamin abströmen.

Fig. 2.

Bei diesen Oefen wird das sich bildende Carbid im Tiegel belassen und auf dem Tiegelboden, im Verlauf von gewöhnlich 3 bis 4 Stunden,

ein Carbidblock *C* aufgebaut, wobei das sich bildende Kohlenoxyd sich im Innern oder an der Oberfläche der Materialschicht entzündet und die Flammen *F* bildet. Nach Abstellung des Stromes lässt man entweder den ganzen Ofen, Kohlenstange mit Tiegel, oder, nachdem die Kohlenstange herausgezogen ist, den Tiegel mit Material abkühlen und nimmt alsdann den Carbidblock heraus.

Von den kontinuierlichen Oefen erwähnen wir zunächst den in mehreren schweizerischen Anlagen arbeitenden kontinuierlichen Ofen mit seitlichem Abstich. Derselbe ist ein Will. Siemensscher Ofen von möglichst grossen Dimensionen (bis 500 PS.), bei welchem, wie bei einem Giessereiofen, in der Tiegelwand eine seitliche Oeffnung angebracht ist. Während des Betriebs setzt sich vor diese Oeffnung eine dicke Kruste von festem Carbid an, während in der Mitte des Tiegels eine grössere Menge flüssigen Carbids sich sammelt. In längeren Zwischenräumen wird diese Kruste mit Gewalt durchstossen, so dass ein grosser Teil des flüssigen Carbids aus dem Loche herausströmt und aussen erstarrt. Dann wird das Abstichloch verstopft und der Betrieb fortgesetzt.

Ein anderer kontinuierlicher, in Amerika arbeitender Ofen ist derjenige von Horry, D. R.-P. Nr. 98974, siehe Fig. 3. Bei demselben rotiert langsam um eine horizontale Axe ein mit Chamotte gefütterter hohler Ring *B*, welcher in der unteren Hälfte mit festem Carbid gefüllt ist, und in welchem durch Rohre auf der Seite *A* Material zugeführt und frisches Carbid gebildet, auf der Seite *B* abgekühltes, festes Carbid entfernt wird. Die beiden Elektroden *EE* sind in schiefer Lage in einem Trichter angebracht, an dessen Wänden entlang sie bei der Regulierung gleiten; in *L* bildet sich der Lichtbogen. Während der langsamen Drehung von *A* nach *B* kühlt sich das Carbid soweit ab, dass es

in *B* durch Schlagwerkzeuge herausgehauen werden kann.

Die Anfangsgeschwindigkeit des Ringes ist gleich der Geschwindigkeit des Wachstums der sich bildenden Carbidsschicht, ist also gegeben; die Abkühlung des Carbids ist um so grösser, je grösser der Durchmesser des Ringes ist, kann also beliebig weit getrieben werden.

Das im Lichtbogen sich bildende Kohlenoxyd verbrennt zu Kohlensäure und entweicht in Flammen neben den Elektroden.

Fig. 3.

Ein dritter kontinuierlicher, in Deutschland arbeitender Ofen ist derjenige von Siemens & Halske, D. R.-P. Nr. 102241 und Nr. 106049, siehe Fig. 4, dessen Merkmale in dem die obere Elektrode bildenden Kohlenrohr *RR* und dem knieförmigen Abstichrohr *A* bestehen. Der Lichtbogen bildet sich zwischen dem unteren Ende des Kohlenrohres und dem aus Kohle bestehenden Tiegelboden *U*. Die Materialschicht *M* dichtet die Lichtbogenzone gegen die äussere Luft ab und veranlasst das sich bildende Kohlenoxyd, durch das Kohlenrohr *R* und das anschliessende Eisenrohr *E* in unverbranntem Zustand abzuführen und als Flamme *F* vor dem Mundstück zu verbrennen. Das gebildete Carbid

fliesst in das Knie des Abstichrohres, wo sich grosse Klumpen festen Carbids bilden, welche alsdann allmählich durch den horizontalen Teil des Abstichrohres nach dessen Oeffnung gezogen und dort in abgekühltem Zustande entfernt werden.

Es wird also auch hier das Carbid in kontinuierlicher Weise abgeführt; das heraus-

Fig. 4.

genommene Carbid ist ganz fest, in der Regel dunkelrot glühend; durch Verlängerung des Abstichrohres kann die Abkühlung jedoch beliebig weit getrieben werden.

Lässt man bei diesem Ofen das Abstichrohr weg und schliesst die Tiegelöffnung, so kann man in diskontinuierlichem Betrieb Carbidblöcke bilden, hat aber den Vorteil, dass die Blöcke und deren Bildungszeit viel grösser werden als

bei anderen diskontinuierlichen Oefen, und keine Flammen im Tiegel entstehen.

Die vorstehenden, allerdings dürftigen Bemerkungen über die beiden Ofensysteme genügen hoffentlich dem Leser, um sich ein Bild der wesentlichen Vorgänge zu machen. —

Ueber die praktische Leistungsfähigkeit der Oefen bemerken wir im allgemeinen, dass dieselbe nicht nur von den Vorzügen und Mängeln des Systems, sondern auch von der Höhe der Durchbildung der Konstruktion abhängt. Beide Umstände können einander dermassen entgegenwirken, dass ein irreführendes Resultat entsteht; so kann namentlich ein an sich gutes System bei mangelhafter Ausführung ein unbrauchbares, ein an sich mangelhaftes System bei guter Durchführung ein ganz brauchbares Resultat ergeben, es ist also bei der Beurteilung Vorsicht geboten. Will man aber trotzdem eine vorläufige Vergleichung der Systeme anstellen, so darf man nicht Eigentümlichkeiten des Systems mit solchen der Durchführung verwechseln und muss die Systeme so vergleichen, wie sie durchgeführt werden könnten.

Bei den diskontinuierlichen Oefen ist einleuchtend, dass wesentliche prinzipielle Unterschiede nicht vorhanden sind; dennoch können die Durchführung und das praktische Resultat recht verschieden sein. Dagegen sind die oben beschriebenen kontinuierlichen Oefen prinzipiell wesentlich verschieden und erschweren deshalb die Fällung eines summarischen Urteils darüber, ob kontinuierliche oder diskontinuierliche Oefen besser seien.

Erörtern wir nun kurz die wesentlichen Unterschiede, welche nach der Ansicht des Herrn Carlson zwischen diskontinuierlichen und kontinuierlichen Oefen bestehen.

Temperatur des aus dem Ofen entfernten Carbid.

Die Höhe dieser Temperatur bildet nach Herrn Carlson einen Hauptunterschied der beiden Systeme; nach seiner Darstellung verlässt das Carbid den kontinuierlichen Ofen im flüssigen Zustand bei etwa 3500° C., bei dem Frankfurter Ofen dagegen nur bei etwa 1500° C.

Diese Annahme, betr. die kontinuierlichen Oefen, ist im allgemeinen ganz unrichtig; für den ersten der oben erwähnten kontinuierlichen Oefen trifft dieselbe zu, bei den anderen Oefen jedoch keineswegs. Wie wir gesehen haben, kann sowohl bei dem Horryschen Ofen, als demjenigen von Siemens & Halske die Temperatur des aus dem Ofen abgestochenen Carbid beliebig niedrig gewählt werden; die Abkühlung erfolgt beliebig lange, und der grösste Teil der bei der Abkühlung abgegebenen Wärme bleibt dem Ofen erhalten, während dieselbe bei den diskontinuierlichen Oefen grösstenteils verloren geht.

Bei den besseren kontinuierlichen Oefen (Horry, Siemens & Halske) bleibt das Carbid während des wichtigsten Teils der Abkühlung im Ofen und giebt seine Wärme grösstenteils an die Lichtbogenzone, also an das frisch sich bildende Carbid ab.

Bei den diskontinuierlichen Oefen wird nach Abstellen des Stromes entweder der ganze Ofen, Kohlenstange mit Tiegel, oder der Tiegel nach seiner Entfernung aus dem Ofen, der Abkühlung überlassen; der nachfolgenden Schmelzung kommt also höchstens die Wärme der Kohlenstange, nie diejenige des heissen Tiegels und des Carbidblocks zu gute.

Bei dem oben erwähnten schweizerischen kontinuierlichen Ofen mit flüssigem Abstich endlich geht die ganze, in dem austretenden flüssigen Carbid enthaltene Wärme für die nachfolgende Schmelzung verloren, während die Wärme des Tiegels und der Kohlenstange derselben erhalten bleibt.

In Bezug auf Wärmeökonomie stehen also die diskontinuierlichen Oefen den besseren kontinuierlichen Oefen nach, und zwar liegt dieser Mangel im System.

Temperatur des Lichtbogens.

Ein wesentliches Argument des Herrn Carlson bildet die Behauptung, dass die Temperatur des Lichtbogens oder des frisch gebildeten Carbid im kontinuierlichen Ofen wesentlich höher sei als im diskontinuierlichen, weil in dem ersteren das Carbid zum Zweck des Abstichs leicht flüssig gemacht werden müsse. Bei seinen Berechnungen setzt Herr Carlson die Schmelz-

wärme des Carbid dem kontinuierlichen Ofen in Rechnung, dem diskontinuierlichen nicht.

Hierauf ist zu erwidern, dass in allen Oefen krystallinisches Carbid erhalten wird, dass Carbid also geschmolzen wurde; es fragt sich nur, wie hoch über den Schmelzpunkt das Carbid in den verschiedenen Oefen erhitzt wird.

Verloren geht dem Ofen die Schmelzwärme und die über den Schmelzpunkt hinaus aufgewendete Wärme, der Ueberschuss, nur bei jenem schweizerischen kontinuierlichen Ofen, ist also dort ganz in Rechnung zu stellen. Bei den diskontinuierlichen Oefen ist bei Abstellung des Stromes der gebildete Carbidblock teils flüssig, teils fest; es kommt also dem Ofen oder der nachfolgenden Schmelzung nur ein Teil der Schmelzwärme und des Ueberschusses zu gute, es ist also nur ein Teil dieser Wärmemengen in Rechnung zu stellen. Bei den besseren kontinuierlichen Oefen dagegen sind diese Wärmemengen gar nicht in Rechnung zu stellen, weil kein flüssiges Carbid den Ofen verlässt.

Wenn jedoch das Carbid weit über den Schmelzpunkt erhitzt wird, so kann unter dem Einfluss des Kohlenoxydes eine Rückbildung von Carbid eintreten; deshalb muss dieser Punkt, abgesehen von der Wärmeökonomie, näher erwogen werden.

Bloss wegen des Abstichs ist es nicht nötig, das Carbid leichter flüssig zu machen als beim Blockbetrieb; denn für den ersteren kommt es mehr darauf an, die Abstichöffnung genügend heiss zu halten.

Wenn aber die Temperatur des Lichtbogens beim Abstich höher ist, als beim Blockbetrieb, so müsste dieser Unterschied sich aus den Temperaturen der Tiegelwand ergeben, wenn man bei derselben elektrischen Energie, mit denselben Elektroden und demselben Tiegel einmal diskontinuierlich, mit Blockbildung, das andere Mal kontinuierlich, mit Abstich, arbeitet.

Solche vergleichende Versuche sind nun bei Siemens & Halske mehrfach angestellt worden an einem Ofen mit Kohlenrohr und einer elektrischen Energie von ca. 150 Kilowatt.

Bei diesen Versuchen wurde derselbe Tiegel benutzt. Bei kontinuierlichem Betriebe befand sich im Tiegelboden eine dem Hohlraum des Kohlenrohrs entsprechende Oeffnung, darunter

das oben beschriebene Abstichrohr. Bei diskontinuierlichem Betriebe wurde das letztere entfernt, das Loch im Tiegelboden durch Kohle geschlossen und auf dieser der Carbidblock aufgebaut. Elektrischer Strom und elektrische Spannung waren in beiden Fällen beinahe genau dieselben.

Eine Verschiedenheit der Versuchsbedingungen bestand nur in Bezug auf den Querschnitt des Kohlenrohrs, welcher bei diskontinuierlichem Betriebe um 29% grösser war, als bei kontinuierlichem Betriebe.

Das Thermometer befand sich in der Chamottefütterung der Tiegelwand, nahe am Rande.

Das Kalk-Kohle-Material war in beiden Fällen dasselbe, ebenso die Höhe der Materialschicht.

In Fig. 5 ist der in den beiden Fällen erhaltene Verlauf der Temperatur der Tiegelwand dargestellt.

Die abkühlende Fläche bestand beim diskontinuierlichen Betriebe in der mit Chamotte gefütterten, eisernen Tiegelwand. Bei dem kontinuierlichen Betriebe kam zu der Tiegelwand noch die Oberfläche des Abstichrohres hinzu, welches ebenfalls aus mit Chamotte gefüttertem Eisenblech besteht, so dass in diesem Falle die abkühlende Fläche um 53% grösser war.

Sucht man nun aus den beobachteten Tiegelwandtemperaturen den Verlauf der ausgestrahlten Wärmemengen aufzuzeichnen, so hat man jene Temperaturen mit dem bezeichneten Wert der abkühlenden Fläche zu multiplizieren; denn die an irgend einer Stelle der Tiegelwand herrschende Temperatur steht stets in einem festen Verhältnis zu der in dem betreffenden Augenblick herrschenden mittleren Temperatur der Tiegelwand. Oder man kann, wenn es nur auf den Vergleich der in beiden Versuchen ausgestrahlten Wärmemengen ankommt, die Temperaturen bei kontinuierlichem Betriebe mit dem Verhältnis der beiden Oberflächen, 1,53, multiplizieren.

Man erhält auf diese Weise die in Fig. 6 aufgezeichneten beiden Kurven; dieselben fallen nahe zusammen.

Es ergibt sich also aus dem Verlauf der Temperaturen und ausgestrahlten Wärmemengen: dass bei diskontinuierlichem Betriebe die Temperatur der Tiegelwand bedeutend

höher war als bei kontinuierlichem Betriebe, dass aber die ausgestrahlten

Fig. 5.

Wärmemengen in beiden Fällen im wesentlichen gleich waren.

Es zeigte sich ferner bei mehreren Versuchen dieser Art, dass, nach einigen Stunden, das Kohlenrohr bei diskontinuierlichem Betriebe bis

an die eiserne Fassung hell glühte, während dasselbe bei kontinuierlichem Betriebe nur soweit glühte, als es mit Kalk-Kohle-Material umgeben war.

Um nun aus den Beobachtungen der Tiegelwandtemperatur auf die Temperatur des Lichtbogens zu schliessen, muss die Theorie der Wärmevorgänge im elektrischen Ofen entwickelt werden; dazu ist aber nötig, die Momente, welche diese Vorgänge bedingen, möglichst einfach, aber doch das Wesentliche wiedergebend, anzunehmen.

Das Wesen des elektrischen Ofens besteht darin, dass zwei Elektroden C_1 , C_2 (Fig. 7) aufeinander stossen und an ihrer Berührungsstelle auf elektrischem Wege eine konstante Wärmemenge stetig zugeführt wird. An der Oberfläche der Elektroden findet eine Wärmeabgabe an das umgebende Kalk-Kohle-Material statt — wir setzen statt dessen voraus, dass die Oberfläche der Elektroden eine gewisse Ausstrahlungsfähigkeit (h) besitzt. Die äusseren Enden der Elektroden geben Wärme teils durch Strahlung an die Luft, teils durch Leitung an die Kupferleitungen, die Eisenkörper, ab; dies geben wir durch die Annahme wieder, dass die Endflächen der Elektroden besondere Ausstrahlungsfähigkeiten (h_1 , h_2) besitzen.

Fig. 7.

Ich habe diese Theorie entwickelt und gebe als Resultat derselben hier nur die folgenden Sätze wieder, welche die Abhängigkeit der Lichtbogentemperatur von den verschiedenen Einflüssen darstellen. Die Lichtbogentemperatur ist um so höher:

- je kleiner die seitliche Ausstrahlung h der Elektroden ist,
- je kleiner die Ausstrahlungen h_1 , h_2 der Elektrodenenden sind,
- je grösser die Längen der Elektroden sind.

Die Ausstrahlung h bedeutet aber die Wärmeabgabe durch die umgebende Materialsicht

und die Tiegelwand hindurch. Je dicker und höher also die Materialschicht, je dicker die Tiegelwand ist, und je weniger Oberfläche die Tiegelwand besitzt, desto höher ist die Lichtbogentemperatur.

Das Abstichrohr des Ofens von Siemens & Halske ist gleichsam eine Ausbauchung des Tiegelbodens nach unten; dasselbe vergrößert also die Ausstrahlung h_1 , verringert also die Lichtbogentemperatur.

Der Carbidblock im diskontinuierlichen Ofen bedeutet eine Verlängerung der unteren Elektrode; dessen Bildung und Wachstum erhöht also die Lichtbogentemperatur.

Wir haben oben das Resultat unseres vergleichenden Versuchs für die Tiegelwandtemperatur und die ausgestrahlten Wärmemengen angegeben. Mit Hilfe der oben skizzierten Theorie ergibt sich nun ferner für die Lichtbogentemperatur, dass dieselbe bei dem diskontinuierlichen Betriebe bedeutend höher war als bei dem kontinuierlichen Betriebe.

Da aber ferner bei diesen Versuchen für die Tiegelkonstruktion, die elektrische Energie u. s. w. dieselben Verhältnisse gewählt waren wie bei den diskontinuierlichen und kontinuierlichen Carbidanlagen von Siemens & Halske, so ergibt sich ferner, dass der kontinuierliche Abstichbetrieb noch bei einer erheblich niedrigeren Lichtbogentemperatur möglich ist, als bei den diskontinuierlichen Oefen gewöhnlich angewendet wird.

Dieses Ergebnis wird noch verschärft durch den Umstand, dass bei dem diskontinuierlichen Versuche ein Kohlenrohr von erheblich grösserem Querschnitt angewendet wurde als bei dem kontinuierlichen Versuche. Dieser Umstand musste auf die Lichtbogentemperatur bei dem diskontinuierlichen Versuche erniedrigend wirken; trotzdem war diese Temperatur höher als bei dem kontinuierlichen Versuche.

Der Umstand, dass bei den diskontinuierlichen Versuchen das Kohlenrohr stets stärker glühte als bei den kontinuierlichen Versuchen, bildet einen fernerer Beweis unseres Ergebnisses.

Die Annahme des Herrn Carlson, dass im kontinuierlichen Betriebe die Lichtbogentemperatur erheblich höher sein müsse als im diskontinuierlichen Betriebe,

ist also unrichtig. Die Rückbildung von Carbid wegen zu hoher Temperatur kann also im kontinuierlichen Ofen in demselben Maasse vermieden werden, wie im diskontinuierlichen Ofen.

Berechnungen des Herrn Carlson, betreffend die in beiden Ofensystemen für die Bildung von Carbid verbrauchte elektrische Energie.

Bei diesen Berechnungen ist als wichtigster Unterschied der beiden Ofensysteme angenommen, dass bei den kontinuierlichen Oefen das Carbid bei 3500° , bei den diskontinuierlichen Oefen bei 1500° herausgenommen werde. Wie wir gesehen haben, trifft diese Annahme bei den besseren kontinuierlichen Oefen nicht zu. Bei einer allgemeinen Vergleichung beider Ofensysteme muss die Austrittstemperatur als gleich angenommen werden.

Ferner wird in obigen Berechnungen die Schmelzwärme des Carbids bei dem kontinuierlichen Ofen in Rechnung gestellt, bei dem diskontinuierlichen Ofen nicht. Wir haben oben gesehen, dass dieselbe bei den besseren kontinuierlichen Oefen ebenso wenig in Rechnung kommt, wie bei den diskontinuierlichen Oefen.

Bringt man diese beiden Korrekturen bei den Carlsonschen Berechnungen an, so ergeben sich, abgesehen von dem geringfügigen Werte der Erhitzung von 30% Material im diskontinuierlichen Ofen, für beide Ofenarten dieselben Zahlen in allen Fällen.

Berücksichtigt man jedoch ferner den oben hervorgehobenen Umstand, dass die Abkühlungswärme des Carbids, zwischen Austritt aus dem Lichtbogen und Herausnahme aus dem Ofen, den besseren kontinuierlichen Oefen zu gute kommt, den diskontinuierlichen Oefen dagegen nicht, so ergibt sich, dass die besseren kontinuierlichen Oefen zur Carbidbildung weniger elektrische Energie brauchen, als die diskontinuierlichen Oefen.

Dieses Resultat indessen in Zahlen zu fassen in ähnlicher Weise, wie bei Herrn Carlson, widerstrebt mir, weil mir diese Rechnungen noch zu summarischen Charakter zu besitzen scheinen.

Verlauf der Lichtbogentemperatur bei beiden Ofenarten.

Wenn man bei ganz gleichen Verhältnissen, d. h. gleichen Elektroden, gleichen elektrischen

Werten, gleichen Tiegelwänden und -Fütterungen und gleichen Materialschichten einmal einen kontinuierlichen Betrieb mit regelmässiger Fortschaffung des gebildeten Carbids, dann einen diskontinuierlichen Betrieb, mit Bildung und Entfernung von Carbidblöcken, ausführen würde, so würde sich der Verlauf der Lichtbogentemperatur folgendermassen gestalten (siehe Fig. 8):

Bei dem kontinuierlichen Betrieb würde die Temperatur, von dem Minimalwert o , der einer kalten Umgebung entspricht, anfangend, zuerst rascher, dann immer langsamer ansteigen, bis zu dem stationären Wert w , der dann beliebig lange konstant bleibt, so lange die Temperaturen der Luft und der weiteren Umgebung konstant bleiben.

Fig. 8.

Bei dem diskontinuierlichen Betrieb würde die Lichtbogentemperatur bei demselben Minimalwert o anfangen, wie oben, aber schneller ansteigen, weil die Wärme des wachsenden Carbidblocks hinzukommt, bis zum Punkt 1, bei welchem der Strom abgestellt wird. Wird dann der ganze Ofen einige Zeit der Abkühlung überlassen, dann der Block herausgenommen und wieder Strom gegeben, so setzt die Lichtbogentemperatur bei einem Punkt 2 ein, der höher ist als o , und steigt wieder bis zum Punkt 3, der höher ist als 1. Wiederholt man ferner dieselbe Operation immerfort, so erhöhen sich die Temperaturkurven 4 bis 5 u. s. w., stets weniger, so dass schliesslich die Kurve dieselbe bleibt.

Man hat aber auch bei beliebiger Fortsetzung des diskontinuierlichen Betriebs ein ganz erhebliches Ansteigen der Lichtbogentemperatur

während des Betriebs, während dieselbe im kontinuierlichen Betrieb, nach Erreichung des stationären Zustandes, konstant bleibt.

Dieser Unterschied ist aber für die chemischen Reaktionen, die im Lichtbogen ausgeführt werden, wichtig.

Im allgemeinen sollen die chemischen Reaktionen innerhalb eines gewissen Temperaturbereichs stattfinden, welcher weder nach unten, noch nach oben erheblich überschritten werden soll — meist wegen schädlicher Nebenreaktionen — welcher aber, je nach den Eigenschaften dieser Reaktion, ein enger oder weiter sein kann.

Sieht man nun vom Anfangsstadium ab, in welchem bei beiden Ofenarten noch nicht normale

Verhältnisse herrschen, so lässt sich beim kontinuierlichen Ofen, da dessen stationäre Temperatur im wesentlichen konstant ist, der gewünschte Temperaturbereich leicht inne halten, eventuell durch leichte Regulierung der elektrischen Verhältnisse. Beim diskontinuierlichen Ofen dagegen, der periodisch abgekühlt wird und bei welchem während des Arbeitens eine neue Wärmequelle, durch das gebildete Produkt, hinzutritt, kann der Bereich, in welchem die Lichtbogentemperatur schwankt, leicht erheblich grösser sein, als der für die betreffende Reaktion zulässige Bereich. Will man also den letzteren festhalten, so müssen die Arbeitszeiten des Ofens kürzer gewählt werden, als wegen des Herausnehmens des gebildeten Produkts nötig wäre, oder man muss gegen Ende der Arbeitszeit nicht mit voller elektrischer Energie arbeiten u. s. w.

Man sieht, dass sich der diskontinuierliche Ofen mehr nur für solche chemischen Reaktionen eignet, bei welchen der zulässige Bereich der Lichtbogentemperatur ein ziemlich weiter ist, während den kontinuierlichen Oefen durch diesen Umstand keine Beschränkung erwächst.

Nachbildung von Carbid.

Herr Carlson bespricht auch die Nachbildung von Carbid, welche an der Oberfläche von Carbidstücken entsteht, wenn dieselben nach der Bildung sich abkühlen und dabei von Kalk-Kohle-Material umgeben sind. Wieviel diese Nachbildung in der Praxis beträgt, sucht Herr Carlson nicht durch direkten, experimentellen Beweis, sondern durch die Differenz zweier theoretischer Berechnungen zu ermitteln. Er berechnet: 1. die im diskontinuierlichen Ofen beim Abstellen des Stromes enthaltene Wärmemenge, 2. die nach der Abkühlung dem Ofen durch Herausnehmen des Carbids und des unverschmolzenen Materials entnommene Wärmemenge, 3. die während derselben Zeit durch Strahlung und Leitung verlorene Wärme; er findet 1 und 3 bedeutend grösser als 2 und folgert daraus, dass eine bedeutende Wärmemenge zur Nachbildung von Carbid während der Abkühlung verwendet werde. Diese Nachbildung bildet nach Herrn Carlsons Ansicht einen fernerer Vorzug des diskontinuierlichen Ofens, da dieselbe bei dem kontinuierlichen Ofen nicht eintrete.

Die einzige Beobachtung, auf welcher diese Rechnung beruht, ist diejenige einer Art Mitteltemperatur der Tiegelwand; alle anderen Temperaturen sind „nach freiem Ermessen“ geschätzt.

Hiergegen erheben wir folgende Einwendungen:

1. Die mittlere Temperatur des Carbidblockes muss, nach dem Abstellen des Stroms, erheblich niedriger sein, als 3000° ; denn flüssiges Carbid befindet sich alsdann nur oben und im Inneren des Blocks; ein grosser Teil des Carbids ist bereits fest.

2. Die mittlere, ganz ungenügend beobachtete Temperatur der Tiegelwand ist vermutlich zu niedrig angesetzt; der Tiegelboden und das Abzugsrohr sind wahrscheinlich viel heisser, als angenommen.

3. Bei der Berechnung sind nicht berücksichtigt: die Wärmemenge in der Steinfütterung des Tiegels, der Wärmeverlust durch Leitung

in der oberen Elektrode und das während der Abkühlung entweichende Kohlenoxyd.

Nimmt man, beim Abstellen des Stroms, als mittlere Temperatur des Carbidblocks 2500° statt 3000° , des Materials 1500° statt 2000° an und rechnet im übrigen ganz wie Herr Carlson, so erhält man als Wärmemenge beim Stromabstellen 86640 statt 109527, und als Differenz nach dem Herausnehmen des Tiegelinhaltes 31306 statt 54193, also wenig mehr als die Hälfte. Zieht man hiervon den von Herrn Carlson auf 12296 Kal. berechneten Verlust durch Strahlung ab, so bleiben 19010 Kal. unerklärt, statt 41897 Kal., und diese 19010 Kal. dürften sich durch den zu niedrig angenommenen Strahlungsverlust, den Verlust durch entweichendes Kohlenoxyd, den Verlust durch Leitung durch die obere Elektrode und Abgabe von Wärme vom Block an die Tiegelfütterung, endlich durch die Ungenauigkeit der Koeffizienten und, zu einem kleinen Teil, durch Nachbildung von Carbid erklären.

Eine Beweiskraft kann ich solchen summarischen und willkürlichen Rechnungen nicht zuerkennen; soll der Betrag dieser Nachbildung bestimmt werden, so muss dies auf direktem, experimentellem Wege geschehen, nicht auf diesem so unsicheren, indirekten Wege.

Als Argument gegen die kontinuierlichen Oefen kann ferner diese Nachbildung nur verwendet werden bei dem schweizerischen kontinuierlichen Ofen; bei den kontinuierlichen Oefen von Horry und Siemens & Halske wirkt diese Nachbildung gerade so mit, wie bei dem Frankfurter Ofen.

Nach den Versuchen übrigens, die bei Siemens & Halske hierüber angestellt wurden, scheint der Betrag dieser Nachbildung nicht erheblich zu sein, vermutlich, weil dieselbe nur an der Oberfläche, nicht im Innern der Carbidstücke erfolgt.

Quantitative Ausbeute.

Herr Carlson führt auch einige mit dem Frankfurter Ofen erhaltene Ausbeutezahlen an, welche er für besonders hoch zu halten scheint.

An hohen Ausbeutezahlen leidet die Carbidliteratur keinen Mangel; ein Carbidfabrikant, welcher von seiner Anlage auch nur eine mittelmässige Ausbeute zugiebt, muss noch gefunden werden. Man darf wohl verlangen, dass solche Zahlen nicht nur vom Fabrikanten angeführt,

sondern auch von fachkundiger Seite geprüft werden sollten.

Ich möchte in dieser Beziehung vor allem darauf aufmerksam machen, dass die Bestimmung der Ausbeute viel schwieriger ist, als man gewöhnlich annimmt, und zwar wegen der elektrischen Messungen.

Diese Messungen beziehen sich auf die Spannung, die Stromstärke und die Phasenverschiebung bei Wechselstrom. Die Spannung ist leicht zu bestimmen, die Stromstärke und Phasenverschiebung dagegen werden auch von Instrumenten, die aus bewährten Fabriken stammen, oft mit ganz bedeutenden Fehlern angegeben, wahrscheinlich, weil das Gebiet der starken Wechselströme noch zu neu und die Einrichtung der Prüfungslaboratorien noch nicht genügend entwickelt ist. So z. B. ist auch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt für die Messung starker Wechselströme noch nicht eingerichtet.

Die Diskussion dieser Messungen würde mich hier zu weit führen; ich bemerke nur, dass Fehler bis 20% bei elektrischen Messungen in Carbidanlagen, trotz sonst sorgfältiger Ausführung, konstatiert worden sind. Ausbeutezahlen verdienen nur dann Zutrauen, wenn die Richtigkeit der elektrischen Messung nachgewiesen ist.

Schlussätze.

Ich fasse zur Uebersicht die wichtigeren Resultate der vorstehenden Betrachtungen in einigen Sätzen zusammen:

1. Das dem Ofen entnommene Carbid ist bei kontinuierlichen Oefen nicht allgemein, wie Herr Carlson annimmt, flüssig, sondern bei den besseren kontinuierlichen Oefen fest, und es kann dessen Austrittstemperatur beliebig niedrig gewählt werden.

2. Die Temperatur des Lichtbogens oder des sich bildenden Carbids ist unter gleichen Umständen im diskontinuierlichen Ofen erheblich höher, als im kontinuierlichen Ofen, weil bei ersterem das Carbid im Ofen bleibt. Die Möglichkeit des Abstichs bedingt keineswegs eine höhere Temperatur des Carbids, als bei diskontinuierlichem Betrieb.

3. Die Grenzen, innerhalb welcher die Temperatur des sich bildenden Carbids schwankt, sind bei den diskontinuierlichen Oefen bedeutend grösser, als bei dem kontinuierlichen Ofen.

4. Die Nachbildung von Carbid während der Abkühlung ist bei weitem nicht so bedeutend, als Herr Carlson annimmt, und kommt den besseren kontinuierlichen Oefen ebenso zu Gute, wie den diskontinuierlichen Oefen.

5. Zahlen für die Carbidausbeute sind nur dann gültig, wenn sie von unparteiischen Sachverständigen festgestellt und die elektrischen Messungen als richtig nachgewiesen sind.

6. Die Aeusserungen des Herrn Carlson über den Betrieb der kontinuierlichen Oefen sind nicht maassgebend, da Herr Carlson diesen Betrieb nicht aus eigener Erfahrung kennt.

Zukunft der diskontinuierlichen und kontinuierlichen elektrischen Oefen.

Es seien mir noch einige Bemerkungen über die zukünftige Entwicklung der elektrischen Ofensysteme gestattet.

Die diskontinuierlichen Carbidöfen haben sich rasch eingebürgert, weil ihre Ausbildung verhältnismässig leicht war und weil hierbei die grosse Schwierigkeit der Carbidfabrikation — der kontinuierliche Abstich des Carbids — umgangen wurde. Die kontinuierlichen Oefen dagegen bedurften langer, harter Arbeit, um die entgegenstehenden technischen Schwierigkeiten zu überwinden und fangen daher erst jetzt an, sich einzubürgern.

Bei der Carbidfabrikation leisten auch diskontinuierliche Oefen gute Dienste, trotz des grossen Temperaturintervalls, mit welchem sie arbeiten, weil bei dieser Fabrikation der zulässige Bereich der Temperatur ziemlich gross zu sein scheint. Wenn aber weitere grosse Aufgaben an die elektrischen Oefen gestellt werden — und dieselben liegen schon vor — so müssen die Vorzüge der kontinuierlichen Oefen immer mehr zur Geltung kommen, namentlich bei chemischen Reaktionen, welche nur innerhalb eines engen Temperaturbereichs vorzunehmen sind.

Ausserdem werden die praktischen Vorzüge der kontinuierlichen Oefen, namentlich die Möglichkeit, ohne Aenderung mit demselben Ofen eine Reihe von Tagen zu arbeiten, gegenüber dem fortwährenden Tiegelwechsel der diskontinuierlichen Oefen, sich immer mehr Geltung verschaffen.

Meine Ueberzeugung geht daher dahin, dass sich die kontinuierlichen Oefen immer mehr verbreiten werden.