

Ueber die Gasausscheidungen in Bessemergüssen.

Von Dr. Friedrich C. G. Müller in Osnabrück.

§ 1.

Ueber das Phänomen der Gasausscheidungen in Stahl- und Flusseisengüssen, unter specieller Berücksichtigung der Producte des Bessemerconverters, ist bereits sehr viel geschrieben und gesprochen worden. Man hat Theorien ausgedacht und in weiteren Kreisen zur Geltung gebracht, die sich nicht bloß auf dem Papier, sondern auch in der Praxis bewährt haben sollen, so dass die leidige Erscheinung in den Augen des fernher Stehenden als in ihren tiefsten Gründen erkannt und erklärt gelten könnte. Erst wenn man sich eingehend mit dem Bessemerprocesse befasst und auf den verschiedensten Werken Beobachtungen anstellt, fällt manches auf, was im directen Widerspruch mit denjenigen Ansichten steht, welchen man sich bislang angeschlossen hat. Bereits in meiner vor einem Jahre in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. XXII, S. 385 veröffentlichten Abhandlung über den deutschen Bessemerprocess, sind zwei Werke (Hoesch und Bochum) erwähnt, welche dichte Bessemeringots im normalen Betriebe erzielen. Dabei ist ausdrücklich hervorgehoben, dass auf beiden Werken das vor dem Zusatz von Spiegeleisen geschöpfte Metall ausserordentlich steigt. Diese Beobachtung gab den ersten Anstoss zu den Experimentaluntersuchungen über die Gasausscheidungen, deren erste Ergebnisse ich bereits in einer kurzen Mittheilung in den „Berichten der deutsch. chem. Gesellsch.“

Bd. XII, S. 93 veröffentlicht habe und welche nunmehr in abgeschlossener Form den Inhalt der nachfolgenden Abhandlung bilden.

Ich vermochte nämlich nicht einzusehen, wie durch die stürmische Entwicklung des Kohlenoxyds bei der Spiegelreaction dieses Gas, welchem man bislang die Blasenbildung zuschrieb, aus dem Bade entfernt werden sollte. Das Mangan des Spiegeleisens konnte dies nicht bewirken, da auf anderen Werken mit abnorm hohem Mangangehalt der Stahl heftig steigt. Silicium konnte gar nicht in Frage kommen, da es nicht zugesetzt wurde und ausserdem schon reichlich im Bade vorhanden war. Die Theorie, nach welcher gerade das Silicium die angeblichen Blasen von Kohlenoxydgas entfernen sollte, war übrigens nach meiner Meinung stets eine Absurdität gewesen und zwar aus wissenschaftlichen Gründen, die zu erörtern ich keine Veranlassung mehr habe. Dagegen dürfte es lehrreich sein für Jedermann, zu erfahren, wie man denn jene Kraft des Siliciums entdeckt hat. Hr. Gautier erzählt im „Journal of the Iron and Steel Institute“, 1877, I, man habe in Terre-noire Proben des berühmten Krupp'schen und Bochumer Stahls analysirt und einen erheblichen Siliciumgehalt vorgefunden. So sei man hinter das Geheimniss gekommen. Warum hat man nicht zur Controle blasigen Stahl anderer deutschen Werke untersucht? Hätte man füglich nicht stutzig werden müssen, wenn sich darin noch mehr Silicium gezeigt hätte? Ich meine, dass es für alle diejenigen, welche in Gefahr sind, ebenfalls ihren speculativen Neigungen Gestalt zu geben, ein ebenso heilsames wie unschädliches Unternehmen wäre, einmal die Theorie auszuspinnen, zu der man wol gelangt wäre, wenn man statt des Krupp'schen Stahls zufällig einen solchen analysirt hätte, der wie Hr. Hupfeld in seiner lehrreichen Abhandlung*) berichtet, bei 0,5 bis 1,5 pCt. Silicium dermassen treibt, dass man kaum Zeit hat die Coquille zu verkeilen.

Ohne diese und andere in die Luft gebaute Theorien weiter zu berühren, wenden wir uns nunmehr zu den

*) „Zeitschr. d. berg- u. hüttenm. V. f. Steiermark u. Kärnten“ X. 313.

wenigen wirklich wissenschaftlichen Untersuchungen und wohl studirten Erscheinungen, welche in den Bereich unseres Gegenstandes fallen.

Zuvörderst ist zu beachten, dass die Erscheinung des Steigens infolge einer Gasentbindung beim Uebergang aus dem flüssigen Zustande in den festen beim Eisen nicht allein dasteht, sondern sich auch beim Silber und Kupfer zeigt. Beim Silber ist es nachgewiesen, dass das Spratzen von Sauerstoff herrührt, dagegen ist noch nicht endgiltig entschieden, welches Gas in den Blasen von Kupfergüssen eingeschlossen ist; man hat Sauerstoff, Kohlenoxyd und auch Wasserstoff nachgewiesen.

Der Grund dieser Gasauscheidungen liegt nun darin, dass das Metall im geschmolzenen Zustande und bei hoher Temperatur mehr Gase aufgelöst hat, als es beim Erstarren festzuhalten vermag. Deshalb erstarren auch Kupfer und Silber ruhig, wenn man sie unter einer Decke leichtflüssiger Schlacke schmilzt, welche den Zutritt der Gase abhält. Beim Eisen ist das Verhältniss ganz analog. Es ist längst bekannt, dass das Eisen Gase aufzulösen vermag, und dass jedes Stück Eisen, sei es porös oder dicht, beim Erhitzen im Vacuum viel Gas abgibt. In dieser Hinsicht sind namentlich die Arbeiten von Troost und Hautefeuille*), sowie von Cailletet**) und Pary***) zu beachten. Die zuerst genannten Forscher fanden, dass ein Stück Gussstahl von 500 g, sowie es aus der Schmiede kam, nach 48stündigem Glühen im Vacuum 2,20 ccm Gas abgab von der Zusammensetzung $C O_2 = 2,27$, $C O = 63,85$, $H = 22,72$, $N = 11,36$ pCt. Im Schmiedeeisen war der Procentsatz des Wasserstoffs im Verhältniss zum Kohlenoxyd höher. Andererseits erhitzen dieselben zuvor evacuirte Eisenstücke in den verschiedenen Gasen und fanden, dass Wasserstoff weitaus am besten, darauf Kohlenoxyd und Stickstoff aufgenommen werden.

Wenn also nach diesen Untersuchungen, deren Ergebnisse in jedem grösseren Lehrbuch der Chemie zu finden

*) „Comptes rend.“ 74, 482 u. 562. Wagner's Jahresber. 1873, 42.

**) „Comptes rend.“ 61.

***) „American Chemist“ 1874, IV. 255. Wagner's Jahresber. 1874, 88.

sind, feststeht, dass glühendes Eisen Wasserstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff zu absorbiren vermag, so muss auch bei allen Eisenhüttenprocessen eine mehr oder weniger vollständige Sättigung des Metalls mit jenen Gasen eintreten. Denn neben dem atmosphärischen Stickstoff bildet Kohlenoxyd den Hauptbestandtheil aller Ofengase. Wasserstoff fehlt nie; er stammt einmal aus der Luftfeuchtigkeit, andererseits bei Verwendung von nicht entgasten Brennmaterialien oder Generatorgasen aus der Feuerung. Besonders bemerkenswerth ist bei allen Eisenfrischprocessen noch die im Inneren des garenden Metalls vor sich gehende Entbindung von Kohlenoxyd.

Es ist klar, dass beim Bessemerfrischprocess das Bad in erster Linie Gelegenheit hat, sich mit Kohlenoxyd zu sättigen, weil dieses Gas durch seine sozusagen intermoleculare Entwicklung mit dem Eisen in die denkbar innigste Berührung kommt. An zweiter Stelle kommt der Stickstoff in Frage, welcher in so enormen Mengen durch das flüssige Metall getrieben wird. Aber auch der Wasserstoff, obgleich die Gebläseluft nur 1 pCt. desselben in Gestalt von Wasserdampf enthält, muss wegen seiner grossen Löslichkeit begierig aufgenommen werden. Es ist also naturnothwendig, dass beim Bessemeren, wie bei allen Eisenschmelz- und Frischprocessen, ein mit den genannten Gasen mehr oder weniger gesättigtes Metall erhalten werden muss.

Wenn aus den soeben besprochenen Thatsachen indessen ein Schluss gezogen werden soll auf den Inhalt der in Stahlgüssen auftretenden Blasen, so ist dies nur halb zulässig. Die Blase ist eine Gasausscheidung; dazu ist nicht bloss erforderlich, dass sich das Gas im Bade überhaupt löse, sondern dass die Löslichkeit entweder mit der Temperatur oder auch beim Uebergange in den festen Aggregatzustand abnimmt. Um das durch eine naheliegende Analogie verständlich zu machen, sei daran erinnert, dass eine heiss gesättigte Salpeterlösung beim Erkalten die grösste Menge des Salzes ausscheidet; nicht so eine heissgesättigte Kochsalzlösung. Denn Kochsalz löst sich im heissen Wasser nicht mehr als im kalten, wohl aber der Salpeter. Wer kann nun von vorn herein wissen, ob eines der drei Gase

sich wie Salpeter oder Kochsalz verhält? Ich denke damit klargelegt zu haben, dass die Natur der Gasausscheidungen aus den besprochenen Versuchen durchaus nicht erkannt werden kann. Zu dem Zwecke müssen die Gase unmittelbar, ohne Anwendung von Wärme und Vacuum, aus den Blasenräumen des Ingots gewonnen werden und zwar in solcher Menge, dass eine genaue wissenschaftliche Untersuchung derselben möglich ist. Das ist bislang nicht geschehen, auch durch Hrn. Regnard*) nicht, welcher beobachtet haben will, dass sich auf der Bruchfläche von Gussstahl unter Wasser ein aus Wasserstoff und Ammoniak (?) zusammengesetztes Gas entwickle. Ich konnte, als ich ausgeschmiedete Stäbe sehr blasigen Stahls sofort nach dem Abbrechen unter Wasser brachte, eine Entwicklung von Gas aus der Bruchfläche nicht beobachten. Indessen sind diese Versuche, ihr Resultat mag ausfallen, wie es wolle, in der Frage nach der Natur des in den Blasen eingeschlossenen Gases ebenso wenig entscheidend wie diejenigen von Troost und Hautefeuille. Wie wäre es sonst auch denkbar, dass alle Fachmänner auf dem Gebiete der Eisenhüttenkunde sich, da keine directen Versuche vorlagen, der, wie wir zeigten, naheliegendsten Hypothese anschlossen, die Blasen in Stahlgüssen rührten von Kohlenoxyd her. Man nehme z. B. die letzten Jahrgänge des „Journal of the Iron and Steel Institute“ zur Hand, um sich zu überzeugen, welche Bedeutung man dem Kohlenoxyd beigemessen. Noch in der Pariser Sitzung vom 17. September v. J. wurde vor jenem berühmten Institut nicht bloß das Kohlenoxyddogma, sondern auch die zu Terrenoire entdeckte Kraft des Siliciums besprochen, ohne dass von irgend einer Seite sich Widerspruch erhob. In diesem Stadium befand sich also die Erkenntniss der Gasausscheidungen, als ich bereits die nachfolgende Experimentaluntersuchung begonnen hatte.

§ 2.

Um das Fundament für eine wissenschaftliche Untersuchung über die Gasausscheidungen in Stahlgüssen zu gewinnen, galt es eine Methode aufzufinden, den Gasinhalt der Blasen direct in einer zu genauen Analysen ausreichenden Menge aufzufangen. Die folgende von mir construirte

*) „Comptes rend.“ 74, 260. Wagner's Jahresber. 1877, 95.

Vorrichtung erwies sich in jeder Hinsicht als zweckentsprechend.

Auf einer runden Gusseisenplatte ist ein Bohrer mit der Spitze nach oben befestigt. Dieser geht durch den Boden eines aus Eisenblech hergestellten Gefässes. Unter den Ansatz des Bohrers ist zur Dichtung ein Kautschukring gelegt. Vermittelst einer Schraube wird die Vorrichtung auf dem Tisch einer kräftigen Bohrmaschine befestigt und das Ganze so justirt, dass die Bohrerspitze genau in die Axe der verlängerten Bohrmaschinenspindel zu liegen kommt. Darauf befestigt man in dem Bohrkopf den kleinen Ingot, an welchem zu dem Zwecke oben ein Viereck gearbeitet ist. Dies Viereck kann auch angegossen werden, dadurch dass man unter die Coquille eine gusseiserne Platte mit der entsprechenden quadratischen Vertiefung legt.

Das Gefäss ist bis 2 cm über die Bohrerspitze mit ausgekochtem Wasser (event. Oel oder Quecksilber) gefüllt. Wird nunmehr die Bohrmaschine in Gang gesetzt, so bohrt sich in den Ingot von unten eine Höhlung, in welcher sich das Gas aus den Blasen, wie in einer Glocke, ansammelt. Die starke Abkühlung durch das Wasser gestattet einen ziemlich schnellen Gang zu nehmen.

Der zu meinen Versuchen dienende Bohrer bohrt ein Loch von 42 mm Durchm. Zuerst verwandte ich runde Ingots von 50 mm, später solche von mindestens 60 mm. Zur Vorsicht wurden dieselben noch warm mit Wachs überzogen.

Nachdem in 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden die Bohrung vollendet, wird die Spindel soweit in die Höhe gestellt, bis das Viereck des eingepassten Ingots frei wird. Dann wird der letztere vorsichtig, ohne dass Luft darunter gelangt, über die Bohrerspitze weggehoben und schliesslich das Gas in bekannter Weise unter Wasser in eine Flasche gefüllt, welche man unter Wasser mit einem Kautschukpfropfen gut verschliesst. Das Fläschchen wird mit der Mündung nach unten in das Laboratorium getragen.

Der Apparat wurde in der mechanischen Werkstatt des Stahlwerkes Osnabrück hergestellt und die dortige grosse Bohrmaschine zu den Versuchen benutzt. Die Direction des Werkes hat mir durch diese Liberalität die ganze Unter-

suchung erst möglich gemacht. Deshalb nehme ich auch an dieser Stelle Gelegenheit, ihr meinen Dank auszusprechen für die Selbstlosigkeit, mit der dieselbe meine metallurgischen Studien seit Jahren gefördert hat.

Die auf die beschriebene Weise aus blasigem Stahl erhaltene Gasmenge ist mehr als hinreichend zur Analyse. Es wurde jedesmal eine besondere Probe im Absorptionsrohr mit Kalilauge und Pyrogallussäure behandelt, wobei in allen Fällen keine Absorption beobachtet wurde. Das Gas ist also frei von Kohlensäure und Sauerstoff (Cyan). Darauf wurde nach der von Bunsen ausgebildeten Methode die weitere Analyse im Eudiometer ausgeführt. Nach der Verpuffung mit atmosphärischer Luft und Bestimmung der dadurch eintretenden Contraction, liess man verdünnte Kalilauge, deren Tension und Meniskus bekannt waren, hinzu; diese musste etwaige durch Verbrennung von Kohlenoxyd oder Kohlenwasserstoffen gebildete Kohlensäure absorbiren. Da die aus fertigem, rückgekohltem Bessemermetall gebohrten Gasproben nach der Explosion keine Spur von Absorption durch Kalilauge erkennen liessen, waren Kohlenoxyd oder andere kohlehaltigen Gase nicht vorhanden. Nur das Gas aus Roheisen oder todtgeblasenem Stahl zeigte eine geringe Absorption. In letzterem Falle wurde jedesmal noch ein besonderer Absorptionsversuch mit Kupferchlorür angestellt und dadurch bestätigt, dass nur Kohlenoxyd, nicht Kohlenwasserstoffe, zugegen waren. Den Stickstoff bestimmte ich bei den ersteren Analysen nur durch die Differenz, nachher aber direct dadurch, dass durch Pyrogallussäure, welche man nach dem Kali in das Eudiometer brachte, der überschüssig zugesetzte Sauerstoff entfernt und der Stickstoffrest gemessen wurde.

Dass die Gase über Wasser aufgefangen wurden, ist in unserem Falle ohne Einfluss auf das Resultat, da in Wasser leicht absorbirbare Gase nicht vorhanden sein können; speciell kann Ammoniak schon deshalb nicht in den Blasen enthalten sein, weil sich dasselbe in der Glühhitze in Stickgas und Wasserstoff zersetzt.

Neben dem Gasvolumen wurde auch das Volumen der Bohrung jedesmal gemessen. In der folgenden Zusammen-

stellung habe ich das auf normalen Druck bezogene Gasvolumen in Procenten der Bohrung ausgedrückt. Natürlich ist diese Zahl nur von relativer Bedeutung; sie gehört eben nur dem kleinen Probeingot zu. Die Spannung des Gases in den Blasen liess sich durch Wägung des Ingots vor und nach dem Bohren annähernd finden. Aus der Differenz in Grammen dividirt durch 7,8 wird das Volumen des Metalls und durch Subtraction desselben von dem Volumen der Bohrung das Volumen der Poren bestimmt. Das Porenvolumen dividirt in das Gasvolumen giebt die Spannung in Atmosphären.

Nach diesen kurzen Angaben über die befolgten Methoden mögen nunmehr die Ergebnisse meiner Versuche in der nämlichen Reihenfolge Platz finden, wie sie erhalten wurden:

1) Bei der ersten Gasbohrung aus porösem Bessemer-schienenstahl hatte ich in der Voraussetzung, dass nur etwa 8 ccm Gas erhalten würden, ein entsprechend kleines Auffanggefässchen genommen. Die Bohrhöhlung enthielt aber eine bedeutend grössere Gasmenge. An der erhaltenen Probe constatirte ich Abwesenheit von Kohlensäure, Kohlenoxyd und Sauerstoff. Nichtsdestoweniger zeigte sich das Gas brennbar.

2) Bessemer-schienenstahl.

Zusammensetzung: H = 90,3

N = 9,7

CO = 0,0

100,0

Gasmenge 48 pCt.

3) Bessemer-Federstahl. Derselbe schäumte beim Giessen. Der Ingot zeigte verhältnissmässig wenige und kleine Blasen. Die Bohrung wurde unter Rüböl vorgenommen.

Zusammensetzung: H = 81,9

N = 18,1

CO = 0,0

100,0

Gasmenge 21 pCt.

4) Bessemermetall vor Spiegelzusatz. Wegen nicht gehöriger Verschliessung der Coquille zeigten sich viele sehr grosse Blasen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 88,8 \\ \text{N} = 10,5 \\ \text{CO} = 0,7 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 60 pCt.

Gasdruck 3,5 Atm.

5) Bessemerstahlschienen derselben Charge nach Zusatz von Spiegeleisen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 77,0 \\ \text{N} = 23,0 \\ \text{CO} = 0,0 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 45 pCt.

Gasdruck 7 Atm.

6) Bessemerroheisen vom Cupolofen. Das Eisen bildet beim Erstarren kleine Höcker, hat eine dünne weissstrahlige Kruste aber keine Blasen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 86,5 \\ \text{N} = 9,2 \\ \text{CO} = 4,3 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 15 pCt.

7) Bessemerroheisen vom Cupolofen. Wie bei 6.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 83,3 \\ \text{N} = 14,2 \\ \text{CO} = 2,5 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 35 pCt.

8) Eine Massel Solway I. Keine Blasen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 52,1 \\ \text{N} = 44,0 \\ \text{CO} = 3,9 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 3,5 pCt.

9) Martinmetall von Bochum vor Zusatz von Spiegeleisen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 67,0 \\ \text{N} = 30,8 \\ \text{CO} = 2,2 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 25 pCt.

Der fertige Stahl nach Zusatz von Spiegeleisen erstarrt homogen.

10) Bessemerschienenstahl.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 76,7 \\ \text{N} = 26,3 \\ \text{CO} = 0,0 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 29 pCt.

Gasdruck 8 Atm.

11) Zu dem vorigen Stahl gehöriges Roheisen aus dem Converter nach schnellem Auf- und Niederkippen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 81,1 \\ \text{N} = 14,8 \\ \text{CO} = 4,1 \\ \hline 100,0 \end{array}$$

Gasmenge 28 pCt.

12) Eine Massel Georg-Marien-Hütte No. I. Blasenfrei.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 62,2 \\ \text{N} = 35,5 \\ \text{CO} = 2,8 \\ \hline 100,5 \end{array}$$

Gasmenge 10 pCt.

13) Roheisen direct vom Hohofen (Bochum). Der Bruch sehr dicht und dunkel.

Gasmenge 20 pCt.

Das Gas bestand wesentlich aus Wasserstoff. Die eigentliche Untersuchung verunglückte.

14) Daraus direct geblasenes Bessemermetall vor Spiegelzusatz.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 80,4 \\ \text{N} = 17,9 \\ \text{CO} = \underline{1,3} \\ 99,6 \end{array}$$

Gasmenge 44 pCt.

Der nach Spiegelzusatz resultierende Schienenstahl war absolut dicht.

15) Bessemerflusseisen von einem westfälischen Werke. Der Ingot war weder gelunkert noch gestiegen und zeigte nur wenige Blasen.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 68,8 \\ \text{N} = 30,5 \\ \text{CO} = \underline{0,0} \\ 99,3 \end{array}$$

Gasmenge 16,5 pCt.

16) Schienenstahl von Prevali in Kärnten. Durch directe Unterbrechung erhalten.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 78,1 \\ \text{N} = 20,7 \\ \text{CO} = \underline{0,9} \\ 99,7 \end{array}$$

Gasmenge 51 pCt.

Gasspannung 4,5 Atm.

17) Ein ausgeschmiedetes auf dem Bruche völlig dichtes Stück von blasigem Schienenstahl.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 52,2 \\ \text{N} = 48,1 \\ \underline{100,3} \end{array}$$

Gasmenge 5 pCt.

18) Ein sehr blasiger Block Schienenstahl von 150 mm zu einem quadratischen Stabe von 50 mm ausgewalzt. Bruch völlig dicht.

$$\begin{array}{r} \text{Zusammensetzung: H} = 54,9 \\ \text{N} = 45,5 \\ \text{CO} = \underline{0,0} \\ 100,4 \end{array}$$

Gasmenge 7,3 pCt.

19) Dichter Stahl von Bochum.

Hr. Wasum liess aus ein und demselben grösseren Ingot vier Proben für meinen Bohrrapparat herstellen, von denen zwei geschmiedet wurden. Das spec. Gewicht des nicht geschmiedeten Stahls betrug 7,821, das des geschmiedeten 7,824; Fehlergrenze 0,002.

a) Nicht geschmiedet.

1) Zusammensetzung:	H =	92,4
	N =	5,9
	CO =	1,4
		99,7

Gasmenge 17 pCt.

2) Gasmenge 14 pCt.

b) Geschmiedet.

Zusammensetzung:	H =	73,4
	N =	25,3
	CO =	1,3
		100,0

Gasmenge 5,5 pCt.

§ 3.

Das Hauptergebniss der mitgetheilten Versuche ist, dass das in den Blasen enthaltene Gas aus Wasserstoff mit geringer Beimengung von Stickstoff besteht, dass hingegen Kohlenoxyd bei fertigem Stahl gar nicht und im todteblasenen Eisen vor Spiegelzusatz nur in kaum nachweisbaren Spuren vorhanden ist. Dieses Factum ist nicht nur völlig neu, sondern muss auch die bisherigen Theorien der Gasausscheidungen, welche von der Annahme ausgingen, das Gas sei Kohlenoxyd, zu Falle bringen. Allerdings liess sich a priori gerade für das Bessemerfrischproduct wegen der äusserst innigen Berührung des geschmolzenen Metalls mit gewaltigen Mengen von Kohlenoxyd, das Vorwiegen dieses Gases in den Blasen für wahrscheinlich halten. Dass trotzdem gerade dieses Gas fehlt und dafür dasjenige vorwiegt, an welches man am wenigsten gedacht, zeigt auf das Schlagendste, dass eine Gasausscheidung etwas anderes ist als eine Gasabsorption. Die Löslichkeit des Kohlenoxyds

ist danach in niedrigeren Temperaturen und beim Erstarren nicht geringer als bei den höchsten Hitzegraden; der Stickstoff und noch mehr der Wasserstoff verhalten sich entgegengesetzt.

Da der gefundene Wasserstoff nur aus dem zersetzten Wasserdampfe der Luft stammen konnte, lag die Idee nahe, durch Trocknen der Gebläseluft die Blasen zu beseitigen. Freilich konnte dies nur unter der Voraussetzung als Erfolg versprechend erscheinen, wenn nicht bereits das Roheisen, welches ja im Hohofen wie im Cupolofen mit feuchter Luft in Berührung kommt, mit Gas gesättigt wäre. Obgleich eine grössere Anzahl in Coquillen gegossene Proben dunklen Bessemerroheisens blasenfrei erstarrte, war wegen der wenig dichten Structur dieses Metalls doch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass eine Menge freien Gases darin enthalten sei. Ferner zeigte schlechtes Bessemerroheisen, welches in der Coquille weissstrahlig erstarrte, die Erscheinung des Treibens und viele Blasen. Deshalb wurden die Versuche 6, 7, 11 und 13 vorgenommen. In der That erhielt ich in meinem Bohrapparate fast dieselbe Gasmenge aus dem in den Converter fliessenden Roheisen wie aus dem fertigen Stahl. Auch die Zusammensetzung des Gases war annähernd die nämliche, nur dass auch eine geringe Menge Kohlenoxyd gefunden wurde. Auch das direct vom Hohofen entnommene und in eine Coquille gegossene Bessemerroheisen enthielt 20 pCt. Gas (Versuch 11). Dagegen zeigten Masseln von deutschem und englischem Bessemerroheisen nur 10 bzw. 3,5 pCt. Gas, welches ausserdem relativ reicher an Stickgas war.

Wenn demnach schon das Roheisen eine Menge Gas enthält, so lässt sich daraus gleichwohl kein zwingender Schluss auf den Gasgehalt des gefrischten Metalls ziehen. Es kommen ausser den Löslichkeitsverhältnissen noch ganz andere Umstände in Frage. Dies geht vor allem aus der auf den ersten Blick paradoxen Thatsache hervor, dass nach kurzem Blasen und die ganze Eruptionsperiode hindurch die Schöpfproben blasenfrei erstarren, und erst ganz am Ende des Processes das Metall Gase ausscheidet. Diese Thatsache zwingt uns, die Aufmerksamkeit auf ein für das

Verständniss der Gasausscheidungen äusserst wichtiges Gesetz zu richten, dessen Wesen aus dem analogen Verhalten wässeriger Gaslösungen am besten verständlich wird. Wir meinen das Gesetz der Fortführung aufgelöster Gase durch einen starken Strom eines anderen Gases. Wenn man Wasser mit Gasen sättigt und einen Luftstrom hindurchtreibt, so werden die gelösten Gase mechanisch mitgerissen und zwar die schwer löslichen bis auf Spuren. Chlor- oder Bromwasser z. B. wird, wenn man eine Zeitlang Luft hindurchbläst, farblos, concentrirtes Ammoniak wird bald verdünnt. Je feiner vertheilt der Gasstrom ist, um so schneller und gründlicher führt er andere aufgelöste Gase fort. Das Metallbad im Converter wird aber ebenfalls von einem Gasstrome stürmisch durchsetzt. Deshalb wird auch dort eine mechanische Fortführung der gelösten Gase eintreten müssen. Natürlich müssen gleichzeitig auch wieder Absorptionen stattfinden, so dass jedesmal der Gasgehalt bedingt ist durch das Verhältniss der Zufuhr und Abfuhr. Da nun die hindurchgetriebene Menge des Stickgases und Wasserdampfes während der ganzen Dauer des Processes constant ist, so können diese Gase nicht weiter in Frage kommen. Ganz anders verhält sich das Kohlenoxyd. Dasselbe entwickelt sich vorwiegend in der Eruptionsperiode und verschwindet am Ende des Processes. Ausserdem entwickelt sich dieses Gas nicht allein in gewaltiger Menge, sondern steigt, wie wiederholt hervorgehoben, in der denkbar feinsten Vertheilung durch das Bad. Deshalb muss gerade dieses Gas, welches sich beim Erstarren nicht ausscheidet und auch nach Versuch 19 wahrscheinlich wenig aufgelöst wird, so lange die Kohlenstoffverbrennung währt, andere aufgelöste Gase fortführen. Erst wenn die Entwicklung desselben am Ende des Processes schwächer wird und aufhört, kann eine Sättigung mit Stickstoff und Wasserstoff stattfinden.

Das Verschwinden der Gase während der Eruptionsperiode hat somit eine einfache Erklärung gefunden. Ja noch mehr! In der entgasenden Wirkung des sich im Bade entbindenden Kohlenoxyds liegt die Möglichkeit, blasenfreien Guss zu erzielen, wie der folgende Paragraph beweisen wird.

§ 4.

Bereits in der Einleitung ist hervorgehoben worden, dass zwei der von mir besuchten Stahlwerke (Hoesch und Bochum) absolut dichte Ingots erzielen, dass aber vor Spiegeleisenzusatz das todtgeblasene Eisen heftig steigt und porös erstarrt. Ein vor Spiegelzusatz gegossener Ingot von Bochum gab im Bohrapparat 54 pCt. Gas von derselben Zusammensetzung wie alle analogen Versuche (Versuch 14). Auf beiden Werken ist die Spiegelreaction ausserordentlich heftig. Da nun nach dieser Reaction der Stahl kein überschüssiges Gas mehr enthält, muss dasselbe auch während derselben fortgeführt sein. Die Reaction besteht aber wesentlich in einer heftigen Entwicklung höchst fein vertheilten Kohlenoxyds innerhalb des Metallbades. Somit bietet diese Erscheinung den schlagendsten Beweis für die im vorigen Paragraphen klargelegte entgasende Wirkung des Kohlenoxyds. Was aber gerade der Spiegelreaction ein grosses wissenschaftliches Interesse verleiht, ist die Möglichkeit, derselben mit der Gasanalyse beikommen zu können. Wenn es gelänge, in dem Reactions-gase den fortgeführten Wasserstoff wiederzufinden, so wäre damit die sicherste Stütze der neuen Theorie gewonnen. Deshalb richtete ich mein Augenmerk darauf, das sich bei der Spiegelreaction entbindende Gas aufzufangen. Nach mehreren erfolglosen Versuchen, dasselbe an der Convertermündung zu fassen, kam ich schliesslich zu folgendem ebenso einfachen wie sicheren Verfahren. Nach Beendigung des Blasens lässt man vor dem Zufließen des Spiegeleisens den Windkasten des Converters öffnen. Bei einer wirklich kräftigen Reaction werden dann aus allen Pfeifen brennende Gasstrahlen lebhaft hervorgetrieben. Man hat deshalb nur nöthig, ein mit mehreren Kugeln versehenes Glasrohr mittelst eines Korkes in einer Pfeife zu befestigen, worauf das Gas mit Heftigkeit durchgetrieben wird, so dass es am vorderen Ende entzündet eine lange Flamme bildet und alle Luft aus dem Rohre verdrängt. Nachdem die Reaction ihr Ende erreicht, verschliesst man das Rohr mit bereit gehaltenen Wachsstopfen. Ich wählte die Kugeln so gross, dass der Inhalt einer jeden zu einer Gasanalyse genügte. Die Beschreibung der Mani-

pulationen behufs Ueberführung des Gases in das Eudiometer unterlasse ich als nicht hierher gehörend, zumal ein jeder, welcher sich mit eudiometrischen Gasanalysen befasst, sich selber wird zu rathen wissen.

Auf die beschriebene Weise habe ich selber in Bochum bei zwei verschiedenen Chargen die fraglichen Gasproben aufgefangen. Beim ersten Versuche war die Röhre in eine hochgelegene Pfeife gesteckt, weshalb sie sich durch die Flammen der unteren erhitzt hatte; die zweite, in der tiefsten, blieb kalt. Letztere zeigte im Inneren einen erheblichen Wasserbeschlag. Später hat Hr. Ingenieur Wasum in Bochum für mich noch drei Proben aufgefangen, dabei die Röhren mit nassen Tüchern gekühlt; eine dieser Röhren zeigte ebenfalls Wasserbeschlag. Leider erwies sich nur bei zweien der fünf Röhren, und zwar bei solchen ohne Wasserbeschlag, der Wachsverschluss völlig dicht. Ihr Inhalt wurde mit der grössten Sorgfalt analysirt. Es wurde folgende Zusammensetzung gefunden.

	I	II
CO	82,6	78,55
CO ₂	0,0	0,86
N	14,3	16,38
H	2,8	2,52
O	0,0	1,32
	<hr/> 99,7	<hr/> 99,63

Demnach ist in dem Reactionsgase der Wasserstoff wirklich vorhanden. Ausser diesen Analysen zeigt der in zwei Fällen gebildete Wasserbeschlag auf das Unzweideutigste, dass Wasserstoff vorhanden war, welcher durch den Sauerstoff der im Converter stehenden Luft eine theilweise Verbrennung erlitten. Die gefundene Menge 2,8 pCt. entspricht fast genau der Voraussetzung. Das Metallvolumen einer Charge beträgt nahezu 1 cbm. Rechnen wir nach den Versuchen des § 2 40 pCt. überschüssiges Gas, so macht das 0,4 cbm, worin 0,35 cbm Wasserstoff. Da bei der Bochumer Reaction, wie in meiner Abhandlung über den deutschen Bessemerprocess nachgewiesen ist, etwa 15 cbm Kohlenoxyd entwickelt werden, so muss mit Rücksicht darauf, dass auch

noch Stickstoff im Converter steht, der Wasserstoffgehalt etwa 2,5 pCt. betragen. Der gefundene Stickstoffgehalt erscheint etwas höher, als ich erwartet hatte. Abgesehen davon, dass es nur annähernd möglich ist, die Temperatur der vor der Reaction im Converter stehenden Luft- bzw. Stickstoffmasse anzugeben, würde aus einem Plus an Stickstoff nur folgen, dass das Bad mehr Stickstoff gelöst enthält, als sich beim Erstarren ausscheidet.

Durch die vorstehenden Ergebnisse hat die ganze Experimentaluntersuchung einen schönen Abschluss gefunden. Es ist ein ironischer Zufall, dass damit die bisherige Theorie geradezu auf den Kopf gestellt wird: Das Kohlenoxyd ist nicht nur nicht in den Blasen vorhanden, sondern es ist auch die Kraft, welche der Praxis dichte Güsse schafft.

Man fragt, ob die Praxis unter allen Umständen sich diese Erkenntniss wird zu Nutzen machen können. Thatsache ist, dass die Mehrzahl der deutschen Werke blasige Blöcke producirt. Die Spiegelreaction ist dann immer nur schwach. Eine kräftige Reaction muss derart sein, dass das Gas mit derselben Heftigkeit aus dem Converterhalse entweicht wie während des Blasens. Vorbedingung einer solchen ist die, dass die Charge auch wirklich todtgeblasen und das Bad mit oxydirtem Eisen gesättigt ist. (Vergl. § 6 meiner Abhdl. über den deutschen Bessemerprocess.) Es bleibt zu überlegen, ob dies in jedem Falle zu erreichen ist. Was zuvörderst das Silicium anbetrifft, so ist bereits in der Einleitung constatirt, dass es auf die Gasausscheidungen keinen directen Einfluss hat. Dass es auch die Spiegelreaction nicht verhindert, ist namentlich in Bochum aufs Sicherste constatirt. Es kann das Bad mehr als 1 pCt. Silicium enthalten, dabei doch todtgeblasen sein und eine heftige Spiegelreaction geben. Daraus folgt, dass bei Verwendung von Hämatiteisen, welches ausser Kohlenstoff wesentlich nur Silicium enthält, der Erzielung dichten Gusses nichts im Wege steht. Anders steht es mit manganreichem Bessemerisen. Mangan wirkt ja kräftig reducirend, und verwendet man in der Praxis auch Ferromangan, um den Sauerstoff aus dem Bade zu entfernen. Wenn also ein Bad noch 0,5

bis 1 pCt. *) Mangan enthält, so kann es füglich nicht todt geblasen sein. In diesem Falle tritt auch nur schwache oder gar keine Spiegelreaction ein. Liesse sich aber der Manganrest nicht durch Weiterblasen, event. nach Zusatz kalten Stahlschrotts, beseitigen und dadurch eine starke Reaction erzielen? Mir ist auf diese Frage stets geantwortet worden, dass dann die Charge verloren sei. Ohne zu bezweifeln, dass diese Meinung einer thatsächlichen Beobachtung entsprungen, glaube ich doch, dass man die Sache in keinem Fall ernstlich verfolgt hat. Ein Abweichen vom gewohnten Betriebe bringt anfangs immer Misserfolge. Deshalb wird man sich dazu nur im Nothfalle entschliessen und die Blasen sind in der Regel kein Nothstand. Meines Erachtens ist also vorläufig der Beweis noch nicht erbracht, ob nicht jedes Roheisen ohne Misserfolg todtgeblasen werden kann, um eine zur Entgasung des Bades ausreichende Spiegelreaction hervorzurufen.

Daran knüpft sich noch eine andere Bemerkung. Der Zusatz des Spiegeleisens hat bekanntlich einen doppelten Zweck, erstens die Entfernung des Sauerstoffs, zweitens die Rückkohlung. Die eigentliche Reaction erfüllt nur den ersteren Zweck. An dieser Reaction betheiligen sich bei manganreichem Spiegeleisen Kohlenstoff und Mangan, wie aus dem Diagramm 5 meiner früheren Abhandlung zu ersehen, etwa in gleichem Masse. Es ist somit klar, dass ohne das Mangan die Kohlenoxydentwicklung doppelt so stark sein müsste, wodurch auch die Chancen für die Entgasung doppelt günstig geworden wären. Demnach erscheint es angezeigt, die Desoxydation mit Hilfe manganarmen Roheisens vorzunehmen und darauf den gewünschten Gehalt an Kohlenstoff und Mangan in Gestalt von Spiegeleisen oder Ferromangan zuzusetzen.

§ 5.

In den vorhergehenden Paragraphen hat der metallurgische Theil unserer Aufgabe seine Erledigung gefunden, indem wir an der Hand der Beobachtung und des Experi-

*) Die Grenze des Mangangehaltes, bei der eine Sättigung des Bades mit Sauerstoff noch möglich ist, bedarf noch einer genaueren Feststellung.

menten die Stoffe und Umstände kennen lernten, welche im Bessemerconverter eine Uebersättigung des Bades mit Gasen befördern oder verhindern. Der eigentliche Mechanismus der Blasenbildung innerhalb des Gusstückes ist noch nicht eingehender berücksichtigt worden. Wir haben uns eben damit begnügt, die Blasenbildung als eine Ausscheidung des Gasüberschusses zu kennzeichnen, welchen das Metall beim Erstarren nicht mehr aufgelöst zu halten vermag; die für die Praxis wichtigste Frage, wie dieser Ueberschuss zu vermeiden oder zu entfernen, nahm dabei unser ganzes Interesse in Anspruch.

Indem wir nunmehr auch den Vorgängen in der Coquille unsere Aufmerksamkeit schenken, bemerken wir, dass es unerlässlich ist, erst die einfachen Erscheinungen, welche das Eisen für sich, also ohne die Gasausscheidungen, darbietet, zu studiren.

Wenn eine Coquille mit gasfreiem Flusseisen, Stahl oder weissem Roheisen gefüllt wird, so zeigt der Block nach dem Erstarren die unter dem Namen Lunker bekannte Contractionserscheinung. Dieser Lunker ist in der Regel eine trichterförmige Vertiefung am Kopfe des Blockes, deren Spitze oft die ganze Länge desselben durchsetzt. Wenn man unmittelbar nach dem Giessen den Kopf des Blockes durch Abkühlung erstarren macht, während das Innere noch flüssig ist, bildet sich im Inneren des Blockes ein Hohlraum. Aus diesen bekannten Thatsachen ergiebt sich nichts anderes, als dass das Eisen mit vielen Körpern die Eigenschaft gemeinsam hat, beim Erstarren eine Volumenabnahme zu erfahren; andere Körper, namentlich das Wasser beim Gefrieren, verhalten sich bekanntlich entgegengesetzt. Das Lunkern ist keineswegs zu verwechseln mit dem Schwinden infolge der Abkühlung. Durch die Abkühlung der in der Coquille gebildeten äusseren Erstarrungsschale müsste der flüssige Inhalt ja herausgetrieben werden, weshalb die Contraction beim Erstarren in Wahrheit noch grösser ist, als sie sich im Lunker darstellt.

Ueber die Grösse des Lunkers hat Hr. Wasum in Bochum Versuche angestellt, indem er die Höhlung aus

einem calibrirten Cylinder mit Wasser füllte. Er erhielt folgende Resultate:

	Blockvolumen	Lunker	Lunker in pCt.
Bessemerstahl	f 34,96 cdm	0,676	2,4
(Schienenstahl)	l 35,30	0,673	1,9
Martinstahl	j 36,80	0,80	2,2
(Schienenstahl)	k 36,80	0,68	1,8
Tiegelguss (Werkzeugstahl)	15,92	0,254	1,6
Tiegelguss (Bandagenstahl)	55,54	0,670	1,2

Wir dürfen nach diesen Versuchen annehmen, dass sich das Eisen beim Erstarren mindestens um 2 pCt. zusammenzieht. Es ist einleuchtend, dass dieser Umstand der Stahlgusstechnik nichts weniger als willkommen ist. Es ist stets Sorge zu tragen, dass der Lunker nicht in das Innere des Gussstückes gelangt. Zu diesem Zwecke versieht man die Form mit möglichst langem und weitem Einguss, in welchem sich dann der Trichter ausbildet; dieser Einguss muss womöglich aus schlechten Wärmeleitern hergestellt sein, damit darin das Metall nicht eher erstarrt als in der Form. Um in gewöhnlichen Coquillen Blöcke ohne Lunker zu erhalten, füttert man sie oben mit feuerfester Masse, giesst voll, streut Holzkohlen auf und giesst mehrmals nach. Eine andere Methode besteht darin, dass man die Coquille sehr langsam mittelst eines Trichters mit enger Oeffnung füllt, wobei der Block schon während des Giessens fest wird. Letzteres Verfahren verlangt indessen viel Zeit und sehr heissen Stahl.

Wenn es nach dem Mitgetheilten in der Natur des Eisens liegt, beim Erstarren eine Contraction zu erfahren, so muss in allen Fällen, wo Eisen- oder Stahlguss nicht lunkert oder gar steigt, ein dehnendes Princip vorhanden sein. Diese Dehnung fällt fast ausschliesslich den Gasen zu. Nur beim grauen Gusseisen erscheint es zweifelhaft, ob nicht auch die ausgeschiedenen Graphitblättchen in demselben Sinne wirken, wie in unsichtbaren Poren ausgeschiedene Gase; jedenfalls zeigen die Versuche des § 2, dass graues Roheisen unter Umständen 30 pCt. Gas beim

Bohren abgeben kann. Indessen geht aus dem überraschenden Versuche 19 hervor, dass selbst 17 pCt. Gase den Lunker nicht beseitigen, weil dieselben erst nach dem Festwerden, sozusagen intermolecular, ausgeschieden werden.*)

Damit also bei Flusseisen und Stahl infolge der Gase ein Auftreiben des Gussstückes stattfinden kann, müssen dieselben sich auch in Gestalt sichtbarer Blasen ausscheiden. Die Grenze für den Gasgehalt, unter welcher eine Ausscheidung erst nach dem Festwerden eintritt, dürfte in der Nähe von 20 pCt. liegen. Denn nach Versuch 19 ergab dichter und lunkernder Stahl 17 pCt. Gas, während für 15) bei 16,5 pCt. Gas bereits eine geringe Ausscheidung, aber kein Steigen, beobachtet wurde. Dabei ist wohl zu beachten, dass bei 19) das Gas fast gar keinen Stickstoff enthält, während bei 15) 30,5 pCt. gefunden wurden. Dies erinnert an die in der Einleitung erwähnten Versuche von Troost und Hautefeuille, nach denen festes Eisen ungleich mehr Wasserstoff aufzunehmen vermag als Stickgas. Die Grenze für die Ausscheidung liegt demnach um so höher, je weniger Stickstoff vorhanden ist. Wird diese Grenze aber überschritten, so findet auch Ausscheidung statt.

*) Der Versuch 19 giebt noch mancherlei zu denken. Es ist namentlich überraschend, dass nach dem Aus Schmieden das spec. Gewicht nicht höher geworden, trotzdem über 10 pCt. Gase ausgetrieben wurden. Daraus folgt, dass im dichten, gegossenen Stahl der eingeschlossene Wasserstoff eine über alle Massen hohe Spannung haben muss und dabei vielleicht mit dem Metalle geradezu legirt ist. Im Bohrapparat wird das Metall in Schichten von weniger als $\frac{1}{10}$ mm Dicke abgetragen, wodurch das Gas einen Weg ins Freie findet. Ob die Späne noch Gas enthalten, werde ich noch durch Behandlung derselben mit Kupferchlorür festzustellen suchen. — Ich halte es für nicht unwahrscheinlich, dass das physikalische Verhalten des Gussstahls in der Hitze und Kälte von diesem Wasserstoff beeinflusst wird. Z. B. glaube ich, dass die Veränderung des gegossenen Stahls durch blosses Ausglühen mit dem Entweichen des Wasserstoffs zusammenhängt; sehr schwere Stücke müssten sich natürlich wesentlich anders verhalten als dünne. Dieser Vermuthung ist selbstverständlich nicht eher eine Bedeutung beizumessen, bis sie mit Hilfe des Bohrapparats experimentell begründet ist. Es ist hier noch ein ausgiebiges Feld für interessante und wichtige Untersuchungen, welches ich wegen meines baldigen Fortganges von Osnabrück leider nicht mehr in Angriff nehmen kann. Hoffentlich wird sich ein anderer Bearbeiter finden.

Die Art der Ausscheidung ist je nach der Grösse des Gasüberschusses verschieden. Bei völliger Sättigung des Bades entweicht ein Theil des Gases bereits, während das Metall noch völlig flüssig ist. Das Metall schäumt beim Giessen und macht den Eindruck, wie wenn ein stark moussirendes Getränk in ein Glas gegossen wird. Es ist klar, dass dieses Gas, ohne den Block zu alteriren, in die Luft entweicht. Gefährlich, d. h. blasenbildend, ist nur derjenige Theil des Gasüberschusses, welcher während des halbfesten Uebergangszustandes austritt, welcher letztere gerade für das Eisen charakteristisch ist und bekanntlich dessen Schweissbarkeit bedingt.

Bei sehr geringem Gasüberschusse, wobei das Volumen der Blasen etwa 2 pCt. beträgt, wird der Lunker gerade ausgeglichen, die Blöcke erstarren mit ebenen Köpfen und enthalten bis in ihre Mitte sporadische Blasen. Bei grösserem Ueberschuss bezw. nach der Beruhigung schäumenden Stahls zeigt sich das Phänomen des Steigens, das Metall bläht sich während des Festwerdens auf und würde, falls man ihm Freiheit liesse, zu einem wahren Schwamme werden. Deshalb wird sofort nach dem Giessen ein Blech auf den Kopf des Ingots gelegt, der Rest der Coquille mit Sand gefüllt und das Ganze fest verkeilt. Es ist nun selbstverständlich, dass die Gase in so verschlossenen Coquillen eine hohe Spannung annehmen müssen. Wir fanden in § 2, dass der Druck im kalten Block 3 bis 8 Atm. betragen kann, mithin muss derselbe beim Erstarren, also bei etwa 1400°, 15 bis 40 Atm. erreichen. Infolge dieses Druckes sind in der That mehrere Unglücksfälle vorgekommen; die Hauptgefahr liegt in dem zu frühen Oeffnen der Coquille.

Dieser Druck hat aber noch eine andere Folge. So wie das Wasser vermag auch das Eisen unter starkem Druck mehr Gase zu lösen; weshalb man unter Anwendung starken Druckes selbst aus solchem Stahl, welcher sonst blasig geworden wäre, dichte Blöcke erzielen kann. Im Einklang mit dieser Thatsache ist die Gruppierung der Blasen im Inneren zugekeilter Ingots. Dieselben haben eine mehr oder weniger dicke blasenfreie Schale, darauf folgt eine Schicht, so zellig wie ein Wespennest; weiter nach innen

werden die Blasen spärlicher und verschwinden schliesslich ganz. Bei der Bildung der äusseren Kruste findet eine Concentration der Gase in dem flüssigen Reste statt, bis eine völlige Sättigung erreicht ist. Infolge der dann beginnenden starken Gasausscheidung steigert sich der Druck und die obere Erstarrungskruste wird gehoben. Weil aber die Verkeilung ein namhaftes Steigen verhindert, tritt alsbald eine derartige Spannung ein, dass eine weitere Gasausscheidung unterdrückt wird und somit ein blasenfreier Kern entsteht. Die Dicke der äusseren Kruste ist von grosser Bedeutung. Dieselbe muss hinreichend sein, um nicht in dem Stahlwärmofen durchzubrennen und Luft und Schlacke in die Porenschicht eintreten zu lassen. Im andern Falle würde das Walzstück die bekannte schuppige Oberfläche erhalten. Das Volumen der äusseren Schicht dürfen wir wol dem Gasüberschuss umgekehrt proportional setzen, wonach sich deren Dicke umgekehrt wie die Cubikwurzel aus dem Gasüberschusse verhalten würde.

Die nicht mit der äusseren Luft communicirenden Blasen verschwinden beim Schmieden und Walzen vollständig, falls die Blöcke warm genug gemacht waren. Man fragt zuerst, wo das Gas bleibt. Ich stehe nicht an, meine Versuche dahin zu interpretiren, dass dasselbe durch den ungeheuren Druck einfach ausgetrieben wird. Der Versuch 18 beweist, dass der Walzprocess in dieser Hinsicht nicht ganz so wirksam ist wie der Schmiedeprocess. Eine wichtigere Frage ist die, ob, trotzdem der gewalzte blasige Stahl dicht erscheint, nicht dennoch sein Gefüge weniger homogen ist als bei dichten Ingots. Dies würde nicht der Fall sein, wenn die Blasenwandungen nur eine scheinbare Schweissung erfahren hätten. Nach meiner Beobachtung an den verschiedensten Proben deutschen und österreichischen Bessemerstahls habe ich gerechte Zweifel, ob dieses Metall sich überhaupt schweissen lässt. Geschickte Schmiede haben in meiner Gegenwart niemals zwei Stücke so verschweissen können, dass dieselben nicht mit Hilfe eines Meissels wieder zu trennen gewesen; mir erschien die Hitze nicht hoch genug. Statt wahrer Schweissung wurde eine oft sehr innige Adhäsion zuwege gebracht. Nur wenn man

eine Lamelle Schweisseisen zwischen gelegt, gelingt der Versuch.

Sobald es sich übrigens um langgestreckte Walzproducte handelt, ist es völlig gleichgiltig, ob die Poren wahrhaft zugeschweisst sind oder nicht. Denn dieselben werden ja durch das Walzen in äusserst feine Fäden gestreckt, die ausserdem dicht unter die Oberfläche zu liegen kommen, so dass eine Auflockerung nur denkbar wäre, wenn das Stück stark auf Torsion beansprucht würde.

Die Verarbeitung dichter Ingots bietet im Gegensatz zu porösen natürlich mancherlei Vortheile, da man ja nur auf die Formgebung, nicht auf die Dichtung und Veredelung des Materials Bedacht zu nehmen hat. Ausgeglühte Proben gegossenen Schienenstahls von Bochum zeigten neben 55 Festigkeit bereits eine Contraction von über 35 pCt. Ein solcher Stahl, noch mehr die härteren Nummern, würde sich meines Erachtens dem Tiegelstahl völlig ebenbürtig erweisen. Merkwürdig und durchaus nicht aufgeklärt ist der Umstand, dass nach dem Walzprocess derartiger Stahl in Bezug auf Contraction oft ungünstigere Resultate giebt als im gegossenen und ausgeglühten Zustande. Andererseits giebt es Werke, die, falls einmal eine Charge dichten Stahls fällt, die Blöcke sofort zum Ausschuss werfen, weil dieselben beim Schmieden und Vorwalzen grossrissig werden. Jedenfalls kommen beim Walzprocess noch viele räthselhafte Umstände in Wirkung, deren Auffindung und Verständniss noch lange Jahre fleissigen Studiums erfordern dürfte.

Schluss.

Die vorliegende Abhandlung beschränkt sich fast ausschliesslich auf die Gasausscheidungen in Bessemergüssen. Tiegelstahl ist nicht untersucht, weil das Bochumer Werk, welches meine Arbeit auf das Bereitwilligste unterstützte, nur dichten Tiegelguss producirt. Indessen müssen die gefundenen allgemeinen Gesetze auf jeden Flussstahl Anwendung finden, mag derselbe entstanden sein, wie er wolle. Gasfreier Tiegelstahl wird lunkern, andererseits muss er

blasig werden, falls er im geschmolzenen Zustande Gelegenheit hatte, sich mit Wasserstoff und Stickgas zu sättigen, abgesehen von dem Gasgehalt des Einsatzes. Meines Erachtens hängt, soweit der Gasgehalt in Frage kommt, die Güte des Tiegelgusses wesentlich von der Tiegelmasse ab. Sobald letztere porös ist, müssen die Ofengase zu dem Metall dringen, und zwar vorwiegend der Wasserstoff, weil er am schnellsten diffundirt. Mit Hilfe meines Bohrapparates wird man sich über die Menge des Gases leicht Aufschluss verschaffen und somit die Fabrikation wissenschaftlich controliren können.

Mir selber wird es nicht möglich sein, die Versuche noch weiter auszudehnen. Auch glaube ich, in dieser Sache bereits meine Schuldigkeit gethan zu haben. Das schwere Stück Arbeit, welches in meinen Versuchen und Analysen steckt, dürfte für die Theorie der Gasausscheidungen eine sichere wissenschaftliche Grundlage bilden.

