

# Zeitschrift für angewandte Chemie

34. Jahrgang S. 117—124

Aufsatzeil und Vereinsnachrichten

29. März 1921

## Die Explosion des Windkessels einer Hochofengebläsemaschine in Eisenerz.

Von Ing. HANS AUGUSTIN.

Chefchemiker der Österr.-Alp. Montangesellschaft in Donawitz.  
(Eingeg. 3/3. 1921.)

Am 15. Dezember 1916 erfolgte im Betriebe der Österr.-Alp. Montangesellschaft in Eisenerz im Windkessel einer Hochofengebläsemaschine eine heftige Explosion.

Die strafgerichtliche Untersuchung hat ergeben, daß die Ursache in der Bildung und Zündung eines Hochofengas-Luftgemisches zu suchen sei.

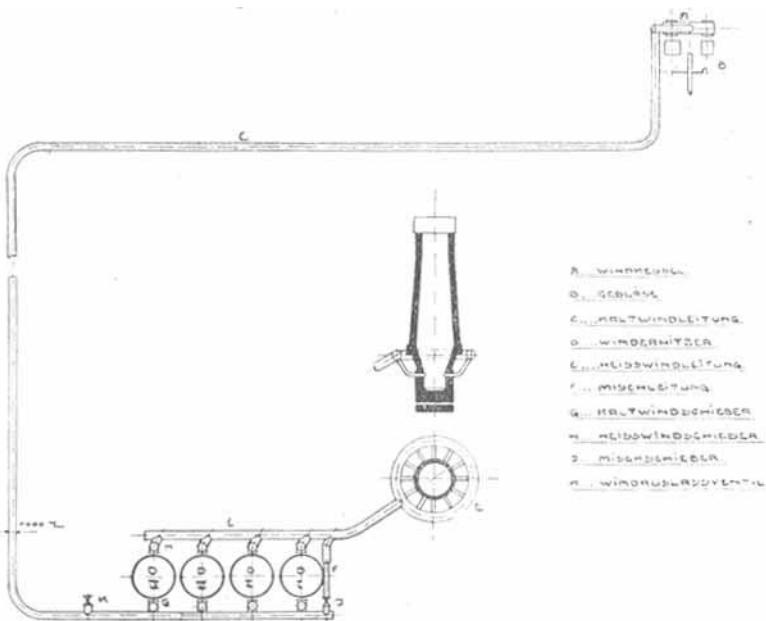
Die von mir durchgeföhrte Untersuchung hat hingegen das Ergebnis geliefert, daß nicht die Hochofengase, sondern die Ölablagerungen im Windkessel und in der Windleitung das Unglück herbeigefördert haben.

Da bei einer späteren Erörterung der Frage an Ort und Stelle in Gegenwart neu bestellter Gutachter eine Einigung nicht zu erzielen war, so hat das Revierbergamt in Leoben, dem die Anlage in Eisenerz in sicherheitspolizeilicher Hinsicht untersteht, den Verein deutscher Eisenhüttenleute um Schiedsgutachten durch die Hochofenkommission des Vereins erteilt.

Die vom Verein deutscher Eisenhüttenleute angerufenen Gutachter haben durchweg meine Erklärung abgelehnt und fast ausnahmslos die Hochofengase angenommen.

Da es für die Verhütungsmaßnahmen nicht gleichgültig ist, ob die Ursache auf Gas oder auf Öl zurückgeführt wird, so sehe ich mich veranlaßt, durch Mitteilung des Vorfallen weitere Kreise anzuregen, zu der für die Sicherheit des Hochofenbetriebes außerordentlich wichtigen Frage Stellung zu nehmen.

Zunächst eine kurze Beschreibung der Explosion unter Bezugnahme auf Abbildung 1:



Der Schmelzmeister gab Befehl zum Abstich. Das Mauerwerk des Hochofens wurde vorsichtig durchbrochen; es entstand das Stichloch, durch das das flüssige Roheisen auszurinnen begann. Während des Abstiches arbeitete die 3000pferdige Dampfgebläsemaschine mit 45 Umdrehungen und preßte Luft — „Wind“ genannt — mit einem Überdrucke von 600 mm Quecksilbersäule durch den Windkessel und die 300 m lange Kaltwindleitung einerseits durch den Winderhitzer IV<sup>1)</sup> und andererseits durch die Mischleitung in den Ofen. Dem im Winderhitzer auf 700 bis 800° erhitzten Wind wird bei der Mündung der Mischleitung in die Heißwindleitung so viel kalter Wind zugemischt, daß das in den Ofen gepreßte Gemenge von Heiß- und Kaltwind eine Temperatur von 300° aufweist. Die Regelung der Temperatur geschieht mittels des Kaltwindschiebers. Der Kaltwindschieber war nur zum Teil geöffnet, während der Heißwindschieber und der Mischschieber ganz offen standen. Zur Ermöglichung des Schließens des Stichloches wurde nach erfolgtem Abstich die Windpressung auf 50 mm herabgesetzt. Dies geschah durch Öffnen des in der Kaltwindleitung eingebauten Windauslaßventiles und durch gleichzeitige Verringerung

der Maschinendrehzahl. Dadurch fiel in kaum einer Minute die Windpressung von 600 auf 50 mm. Nunmehr konnte mühelos das Stichloch mit feuerfester Masse verschlossen werden, welche Arbeit ungefähr zwei Minuten in Anspruch nahm. Während dieser Zeit arbeitete die Gebläsemaschine nur mit 20 Umdrehungen und preßte den größten Teil der angesaugten Luft durch das offene Windauslaßventil ins Freie. Der Ofenbetrieb war wegen Koks- und Erzmangels etwas eingeschränkt, sonst aber sowohl vor wie auch während des Abstiches ganz normal. Nach Beendigung der Stichlocharbeit wurde wie gewöhnlich das Windauslaßventil geschlossen. Nach Aussage des Obermaschinisten nahm der Ofen gut Wind an, das heißt, die Beschickung im Ofen setzte der nun reichlicher eintretenden Gebläseluft nur den normalen Widerstand entgegen. Als nun die Windpressung 210 mm erreicht hatte und kurze Zeit auf dieser Höhe verblieben war, erfolgte wenige Minuten nach dem Schließen des Windauslaßventiles eine äußerst heftige Explosion.

Die größten Zerstörungen waren im Gebläsehause zu beobachten. Die Ventilkästen der Maschine wurden zertrümmert und der über der Maschine angeordnete Windkessel wurde vollständig zerrissen; einzelne Stücke, die offenbar ihren Weg durch das Dach des Maschinenhauses nahmen, fanden sich in Entferungen bis 300 m. Abbildung 2 zeigt die Gebläsemaschine nach der Explosion. Die auftretende Stichflamme und die Maschinentrümmer verletzten einen Arbeiter tödlich, zwei Arbeiter schwer und drei weitere leicht. Die 300 m lange Kaltwindleitung wurde an drei Stellen zerstört; davon befanden sich zwei in unmittelbarer Nähe der Maschine und die dritte in einer Entfernung von 90 m. Von da an bis zum Ofen blieb die Leitung unbeschädigt. In der Nähe des Ofens äußerte sich die Wirkung der Explosion lediglich in der Beschädigung eines gußeisernen Kaltwindschiebergehäuses.

Da der Hochofen in unmittelbarer Verbindung mit dem Windkessel stand, war die Vermutung naheliegend, daß die Verheerungen durch die Explosion eines Gemisches von Hochofengasen und Luft herbeigefördert worden waren.

Im allgemeinen gehen im gleichen Maße, wie Roheisen und Schlacke

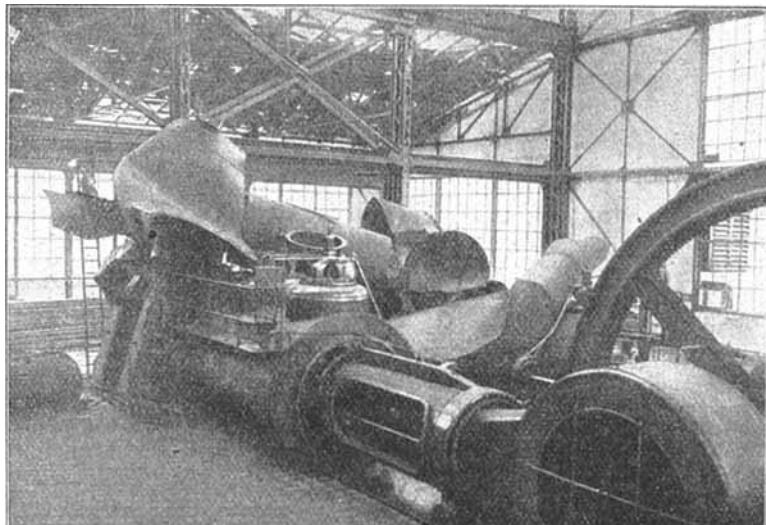


Abb. 2.

ausfließen, die gegichteten Stoffe im Ofen nach. Es kommt aber auch vor, daß die Beschickung nicht gleichmäßig nachrutscht, sondern hängen bleibt, wodurch unter ihr ein mit Gas erfüllter Raum entsteht. Geht nun die Beschickung plötzlich nieder, so kann dadurch Gas in die Windleitung gepreßt werden. Die auf diese Weise in die Windleitung gepreßte Gasmenge ist jedoch in keinem Falle ausreichend, die Heißwindleitung bis zur Mündung der Mischleitung mit Gas zu füllen.

Befinden sich im Ofen Windformen, deren Kühlungen wasser durchlässig sind, so kann, falls die Kühlwasserzuleitungen während der niedrigeren Windpressung nicht vorschriftsmäßig gedrosselt sind, Wasser in den Ofen eintreten und in Berührung mit dem weißglühenden Koks die Bildung von Wassergas veranlassen. Tritt reichlich Wasser in den Ofen und ist dabei die Beschickung so verdichtet, daß Gase durch sie nicht oder wenig entweichen können, so kann die in die Windleitung gepreßte Gasmenge sehr beträchtlich sein.

Nun ist nach der Explosion festgestellt worden, daß nach dem Abstich die Beschickung nicht wie in der Regel um 1 m, sondern um das ungewöhnliche Maß von 2 $\frac{1}{2}$  m nachgegangen war, und daß sich im Ofen schon seit längerer Zeit einige leckte Kühlungen befunden hatten, die aus Mangel an vorrätigen Kühlungen nicht ausgewechselt werden konnten.

<sup>1)</sup> Die anderen drei Winderhitzer wurden geheizt; sie waren daher von den Windleitungen abgeschlossen.

Diese Feststellungen haben nun die Hochofenpraktiker veranlaßt anzunehmen, daß infolge des plötzlichen Niedergehens der Beschickung und infolge der durch das Einströmen von Wasser bedingten stürmischen Wassergasbildung Gas aus dem Ofen in die Windleitung gepreßt worden sei. Dieses Gas habe mit der Gebläseluft ein explosives Gemenge gebildet, das nach Zündung vom Winderhitzer oder vom Ofen aus das Unglück herbeiführte.

Folgende Erwägungen sollen nun erkennen lassen, daß diese Erklärung auf eine Reihe von Annahmen aufgebaut ist, die mit den Tatsachen nicht in Einklang gebracht werden können:

Der Abstich ist beendet; das Stichloch muß wieder geschlossen werden. Zwecks Erreichung der bei dieser Arbeit erforderlichen niederen Windpressung wird das Windauslaßventil geöffnet und die Maschinendrehzahl verringert. Es strömen nunmehr beträchtliche Mengen 700 bis 800<sup>0</sup> heißer Luft aus dem Winderhitzer<sup>2)</sup> sowohl durch den Kaltwindschieber als auch durch den Heißwindschieber in die Kaltwindleitung, um durch das Windauslaßventil ins Freie zu gelangen. Durch das Aufhören des hohen Druckes im Winderhitzer sinkt auch der Druck im Ofen. Es wurde nun angenommen, daß bei der Erniedrigung der Windpressung übersehen worden war, die Kühlwasserzuleitungen zu drosseln, so daß reichlich Wasser in den Ofen strömt; infolgedessen setzte eine stürmische Wassergasbildung ein und es entstand ein beträchtlicher Überdruck. Weiter wurde angenommen: Obwohl der Ofen gut Wind annahm, war die Beschickung durch ihr plötzliches Niedergehen so verdichtet, daß Gase in großen Mengen in die Windleitung gepreßt worden sind. Die Tatsache, daß Gase nicht auch durch das offene Stichloch gepreßt wurden,<sup>3)</sup> kann nur durch die gewagte Annahme überbrückt werden, daß zufällig das Stichloch von innen mit Koksstücken verkeilt war. Unter diesen Voraussetzungen hätte man sich den weiteren Vorgang wie folgt vorzustellen: Die 1200<sup>0</sup> heißen Gase strömen in die Windleitung, in der sie zunächst mit der heißen Luft verbrennen müssen. Die Verbrennungsgerüste bilden eine trennende Schicht zwischen den Gasen und der Luft, so daß der Brand bald aufhören muß. Die nachströmenden Gase werden nun, die Verbrennungsgerüste vor sich hertreibend, die Luft aus der Windleitung durch das offene Windauslaßventil hinausschieben und, wenn sie ausreichend sind, auch aus dem Winderhitzer. Dabei werden sie überall dort verbrennen, wo sie mit frischer Luft zusammen treffen; dies ist der Fall zunächst im Winderhitzer und dann beim Kaltwindschieber, bei dem während dieser Vorgänge Luft austreten muß und schließlich, wenn der Luftvorrat des Winderhitzers erschöpft ist, beim Windauslaßventil. Die Gase können unter keinen Umständen weiter als bis zum Windauslaßventil gegen die Maschine hin vordringen, da ja die Maschine im Gange ist und in der Minute 400 cbm angesaugter Luft den Gasen entgegen durch das Windauslaßventil ins Freie preßt. Es könnte also schließlich die Kaltwindleitung bis zum Auslaßventil wohl mit Gasen, nicht aber mit einem Gas-Luftgemisch gefüllt sein. Wird nun das Windauslaßventil geschlossen, so schiebt die Gebläseluft die Gase auf demselben Wege wieder in den Ofen, wobei ebenfalls eine Mischung mit Luft nicht erfolgen kann. Aber selbst dann, wenn entgegen diesen Erwägungen die Möglichkeit einer Mischung der Gase bestanden hätte, wenn also die Kaltwindleitung bis zum Auslaßventil mit einem Gas-Luftgemisch geladen gewesen wäre, so wäre dieses von den Praktikern zur Erklärung herangezogene Gemisch keinesfalls imstande gewesen, die Maschine zu zerstören, da sie ja der an das Gemisch anschließende 260 m lange Luftpuffer vor jeder Beschädigung bewahrt hätte!

Um nun jeden Zweifel über die Druckverhältnisse bei Explosionen in Rohren, die zum Teil mit explosiblem Gemenge und zum Teil mit Luft gefüllt sind, auszuschließen, habe ich in einer 20 m langen Stahlrohrleitung mit einem lichten Durchmesser von 36 mm und einer Wandstärke von 6 mm unmittelbare Explosionsversuche ausgeführt.

Die Leitung war durch Verschrauben einzelner Rohre mittels geschmiedeter Verbindungsstücke hergestellt, und für den Abschluß an beiden Enden waren besondere Abschlußstücke vorgesehen. Statt eines der Verbindungsstücke wurde ein schwerer Messinghahn mit einem Durchgang von 36 mm Durchmesser angeordnet, der die Leitung in zwei Teile teilte und der es durch seine Einrichtung ermöglichte, nur in einem Teile die Luft durch explosibles Gemisch zu ersetzen. Die Zündung geschah elektrisch mittels einer Zündkerze, und zwar in dem Augenblicke, als das Gemisch durch Öffnen des Hahnes mit der Luft in Verbindung gebracht worden war. Die Druckmessung erfolgte mit Indikatoren, die an den Verbindungsstücken, am Hahn und an den Abschlußstücken angeordnet waren.

Zur Explosion gelangten Gemische von Benzin und Sauerstoff. Zur Herstellung dieser wesentlich heftiger als Knallgas explodierenden Gemische wurde Sauerstoff mit Benzin vom spez. Gewichte 0,65 vermischt. Durch genaue Regelung des Sauerstoffstroms und der Benzinzufluhr gelang es, bei Einhaltung gleicher Temperatur im Mischgefäß, sehr gleichmäßige Gemische zu erhalten.

Das Ergebnis der Versuche ist aus den Abbildungen 3 bis 5 zu entnehmen; die Ordinaten versinnbildlichen den Druck, die Abszissen die entsprechenden Rohrlängen. Die Leitung war von A bis C mit Gemisch und von C bis B mit Luft gefüllt. Die Zündung erfolgte bei A.

Befindet sich in der Leitung von C bis B Luft und von A bis C ein explosibles Gemenge, und kommt dieses Gemenge bei A zur Zündung, so liegt das Maximum des Explosionsdruckes zwischen A und C. Gegen B hin nimmt der Druck beträchtlich ab, erreicht eine gewisse Strecke vor B ein Minimum und steigt dann mäßig bis B an. Trotz dieses Anstieges ist der Druck bei B wesentlich kleiner als zwischen A und C. Je länger der Luftpuffer CB, desto kleiner der Druck bei A.

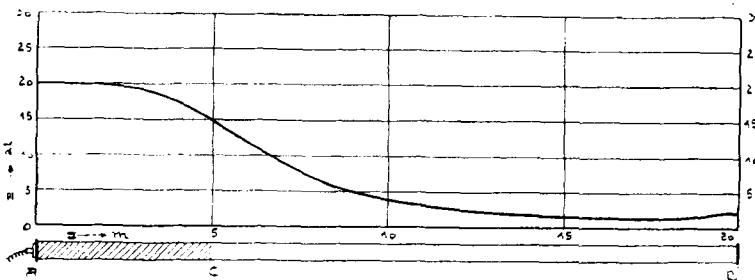


Abb. 3.

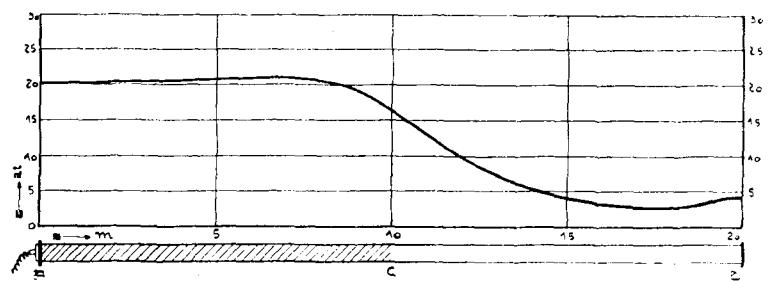


Abb. 4.

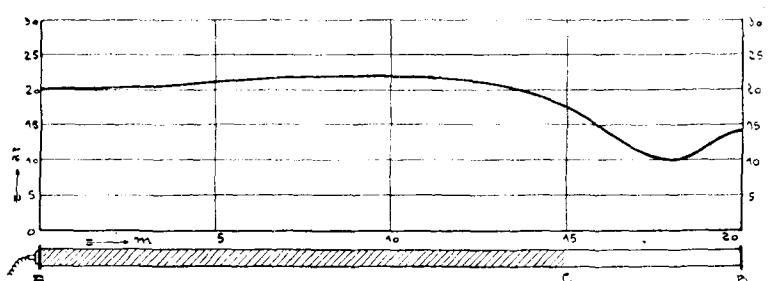


Abb. 5.

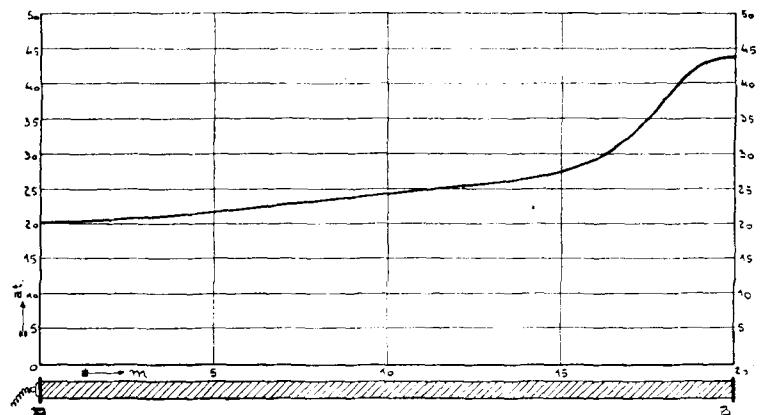


Abb. 6.

Vergegenwärtigt man sich nun die 300 m lange Kaltwindleitung, in der die Ofengase im äußersten Falle nur bis zum Windauslaßventile vordringen könnten und nimmt man an, wenn auch ohne jede Berechtigung, daß sich die Gase mit Luft gemischt hätten, so wäre die Windleitung bis zum Windauslaßventil auf eine Länge von 40 m mit einem Gas-Luftgemisch und vom Auslaßventil bis zur Maschine auf eine Länge von 260 m mit Luft gefüllt gewesen.

Unter Berücksichtigung, daß durch die Explosion des heißen, im Vergleich mit Benzin-Sauerstoff harmlosen Hochofengas-Luftgemisches innerhalb der 40 m rechnungsgemäß ein Druck von höchstens fünf Atmosphären hervorgerufen werden kann, ergibt sich bei Beachtung der Versuchsergebnisse, daß durch eine solche Explosion der Druck im Windkessel praktisch überhaupt nicht erhöht werden könnte.

<sup>2)</sup> Die Winderhitzer haben je eine Höhe von 28,5 m, einen Durchmesser von 6,5 m und einen Windfassungsraum von 500 cbm.

<sup>3)</sup> Waren Gase durch das offene Stichloch gepreßt worden, so hätte man es ja nicht ohne Mühe verschließen können.

Es ist somit vollständig ausgeschlossen, daß Hochofengase die Zertrümmerung des Windkessels, wozu rechnungsmäßig ein Druck von 25 Atmosphären erforderlich war, herbeigeführt haben.

Die Explosion kann nur dann in der eingangs geschilderten Weise erfolgen, wenn die Kaltwindleitung bis zur Maschine mit explosiblem Gemisch gefüllt ist.

Über die Druckverteilung bei Explosionen in Rohren, die ganz mit explosiblem Gemisch gefüllt sind, gibt das aus Abbildung 6 ersichtliche Versuchsergebnis Aufschluß<sup>4)</sup>.

Das Benzin-Sauerstoffgemisch reicht von A bis B. Zündung bei A.

Denkt man sich bei A den Winderhitzer oder den Ofen als Zündung und bei B die Maschine, so entspricht die Drucklinie genau den Verhältnissen in Eisenerz.

Nunmehr soll versucht werden, die Ursache des Unglücks auf ein Öldampfblutgemisch zurückzuführen.

Es besteht kein Zweifel, daß vor der Explosion die ganze Innenfläche des Windkessels und der Kaltwindleitung mit einer Ölschicht bedeckt war. Das Öl stammt aus den Windzylindern, zu deren Schmierung in einem Jahre 3000 kg Mineralöl verwendet werden. Der Wind führt fortwährend Öl in zerstäubten Zustande zunächst in den Windkessel und sodann in die Kaltwindleitung. Obwohl der Ölgehalt des Windes an und für sich sehr gering ist — er beträgt rund nur 0,001% —, so setzt sich doch im Windkessel und in der Windleitung ein Teil des Öles ab, während der Rest im Winderhitzer und im Ofen zur Verbrennung gelangt. Kleine Mengen Öl dringen durch die Undichtheiten bei den Nieten, Flanschen und Verlaschungsfugen und machen so an diesen Stellen die Kaltwindleitung auch von außen ölig. Dieses Auftreten des Öles ist entlang der ganzen Kaltwindleitung und auch entlang des nicht ausgemauerten Teiles der Mischleitung zu beobachten. Die Ölablagerungen an der Innenfläche werden im Laufe der Zeit sehr beträchtlich; ist die Ölschicht nur einen halben Millimeter dick, so beträgt ihr Gewicht bereits 400 kg. Mit 400 kg Öl können etwa 20 000 cbm Luft explosibel gemacht werden<sup>5)</sup>. Wird nun die ölige Windleitung auf irgendeine Art erhitzt, so entstehen Öldämpfe, die mit der Gebläseluft explosive Gemische bilden können.

Ich habe versucht, in öligen Rohren Explosionen herbeizuführen.

Wenngleich die Versuche in den dickwandigen, stark die Wärme ableitenden Stahlrohren nur mit Sauerstoff gelingen, so geben sie doch immerhin einige Anhaltspunkte für die Beurteilung der Vorgänge, die sich in der Kaltwindleitung abspielen können.

Ein 5 m langes öliges Rohr steht an dem einen Ende in Verbindung mit einer Sauerstoffflasche, und am anderen Ende ist die Flamme einer Lötlampe angeordnet. Während Sauerstoff durch das Rohr strömt, wird das offene Ende mit der Flamme erhitzt. Das Öl entzündet sich hier und brennt langsam dem Sauerstoffstrom entgegen bis an das Ende, wo der Sauerstoff eintritt. Während des Ölbrandes erfolgt keine Explosion, da sich ja in Berührung mit Flammen ein entsprechendes Gemisch nicht bilden kann. Wird das Gebläse abgestellt, so setzt wegen Sauerstoffmangel der Brand aus, während im erhitzten Rohr die Öldampfbildung andauert. Strömt jetzt neuerdings Sauerstoff ein, so schiebt der Sauerstoff, sich dabei mit Öldämpfen mischend, die Verbrennungserzeugnisse aus dem Rohre hinaus. Die von den Verbrennungserzeugnissen mitgeführten Öldämpfe entzünden sich an der Flamme der Lötlampe. Das ruhige Verbrennen der Öldämpfe dauert so lange an, bis das Öldampfsauerstoffgemenge die Flamme erreicht. Tritt dies ein, so schlägt die Flamme zurück, und es erfolgt eine sehr heftige Explosion. Nach dem Druckausgleich treibt der fortwährend neu eingetretene Sauerstoff die Verbrennungserzeugnisse aus dem Rohre und mischt sich dabei abermals mit Öldämpfen. Kommt das neuerdings gebildete Gemisch zur Flamme, so erfolgt eine zweite, nicht minder heftige Explosion. Ohne weiteres Zutun wiederholen sich die Gemischbildungen und die Explosionen, und zwar so lange, bis das Öl aus dem Rohre entfernt ist.

Ganz gleichartige Explosionen müssen natürlich erfolgen, wenn man das ölige Rohr nicht durch einen Ölbrand erhitzt, sondern heiße Luft oder heiße Gase oder heiße Verbrennungserzeugnisse so lange durchströmen läßt, bis eine ausreichende Öldampfbildung einsetzt.

Strömt nach dem Öffnen des Windauslaßventiles heiße Winderhitzerluft in die Kaltwindleitung, um ins Freie zu gelangen, so erhitzt sie dabei die Ölablagerungen bis zum Windauslaßventil. Ist die Luft heiß genug, das Öl auf seinen Brennpunkt zu erhitzten und die gebildeten Öldämpfe zu entzünden, so entsteht zunächst in der Kaltwindleitung beim Kaltwindschieber und allenfalls auch in der Mischleitung ein Ölbrand. Hat das Strömen der heißen Luft aufgehört, ist also die Entlastung des Winderhitzers beendet, so preßt die Maschine nicht mehr die ganze angesaugte Luft durch das Auslaßventil, sondern sie liefert vorschriftsmäßig auch so viel Luft durch die erhitzte Leitung in den Ofen, daß der Ofen etwas Wind bekommt, die Stichlocharbeit aber dabei nicht behindert wird. Die dadurch bedingte Umkehrung der Stromrichtung hat zur Folge, daß der Ölbrand fast augenblicklich dem Windstrom entgegen bis zum Auslaßventile getragen wird und hier eine weitere Erhitzung der Leitung nach sich zieht. Wird jetzt das Auslaßventil geschlossen, strömen reichliche Luftmengen

über den Brandherd und die verhältnismäßig kalte Luft<sup>6)</sup> kann nun infolge Wärmeentzuges den Brand auslöschen. Ist jedoch die Leitung bereits so erhitzt, daß die Gebläseluft nicht mehr imstande ist, die Flammen auszublasen, so wird der Brand noch heftiger werden und sich langsam über das Auslaßventil hinaus in der Richtung der Maschine fortpflanzen. Wütet ein derart heftiger Brand, so fängt die Leitung infolge Verdampfung des an der Außenfläche befindlichen Öles zu „rauchen“ an. In diesem Falle wird sie sofort durch reichliches und andauerndes Abspritzen mit Wasser gekühlt. Der Brand hört auf und mit ihm auch die Öldampfbildung. Eine Explosion ist nicht zu gewärtigen, weder während des Brandes noch na'hher.

Strömt aber nach dem Öffnen des Auslaßventiles heiße Winderhitzerluft in die Kaltwindleitung und erhitzt sie dabei das Öl bis zur Öldampfbildung, jedoch nicht bis zum Brennpunkt, ohne die Öldämpfe zu entzünden, so entsteht in der Kaltwindleitung bis zum Auslaßventil ein Öldampfblutgemenge. Kommt nun nach Umkehrung der Stromrichtung dieses Gemenge mit den Winderhitzersteinen oder mit dem Ofeninneren in Berührung, so erfolgt, falls das Gemenge rascher Verbrennung fähig ist, in der Kaltwindleitung bis zum Auslaßventil eine explosionsartige Verbrennung, die eine weitere Erhitzung der Ölablagerungen nach sich zieht. Nach dem Druckausgleich schiebt die Gebläseluft die Verbrennungserzeugnisse in den Winderhitzer und in den Ofen und mischt sich dabei mit den sich bildenden Öldämpfen, so daß neuerdings ein Öldampfblutgemenge entsteht, das ebenfalls zur Zündung und Explosion gelangt. Wiederholen sich diese Vorgänge bei offenem Auslaßventil, so wird schließlich das Öl auf seinen Brennpunkt erhitzt und es setzt beim Auslaßventil ein Ölbrand ein, der weitere Explosionen ausschließend, nach dem Schließen des Auslaßventiles entweder ausgeblasen oder sonst durch Abspritzen der Leitung gelöscht wird.

Wird hingegen während der eben geschilderten explosionsartigen Verbrennungen, also noch vor dem Einsetzen eines Ölbrandes — und das ist zu beachten — das Auslaßventil geschlossen, so können, wie folgender Versuch zeigen soll, diese an und für sich unbedeutenden Explosionen auf die weitere Kaltwindleitung übergreifen und so die Maschine gefährlich werden.

Die Versuchseinrichtung ist aus Abb. 7 zu entnehmen.

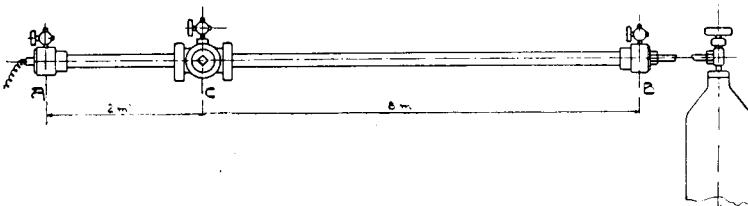


Abb. 7.

Bei A ist die Zündvorrichtung, bei C der schon beschriebene schwere Messinghahn und bei B eine Sauerstoffflasche angeordnet. Die Enden und der Hahn sind mit Indikatorhähnen versehen.

Zunächst war die Leitung von A bis C mit einem Wasserstoffluftgemenge und von C bis B mit Sauerstoff gefüllt. Die Zündung erfolgte sofort nach dem Öffnen des großen Hahnes.

Der beobachtete Druck war bei

A	...	0,7 Atm.	bei
C	...	0,4 "	und bei
B	...	0,1 "	

Nach Entfernung der Verbrennungserzeugnisse wurde das Rohr stark ölig gemacht, und im öligen Rohr die gleiche Explosion wiederholt.

Der beobachtete Druck war bei

A	...	0,7 Atm.	bei
C	...	0,5 "	und bei
B	...	1,5 "	

Der wesentlich höhere Druck bei B läßt sich nur dadurch erklären, daß die Explosion des Wasserstoffluftgemisches bereits zur Bildung und -explosion eines Öldampfsauerstoffgemenges Veranlassung gegeben hatte.

Nunmehr wurde der Indikatorhahn bei A geöffnet und gleichzeitig auch das Sauerstoffventil. Der Sauerstoff schob die Verbrennungserzeugnisse aus dem Rohre; die von den Verbrennungserzeugnissen mitgeführten Öldämpfe verbrannten ruhig nach ihrer Entzündung am Indikatorhahn. Bei diesem Hinausschieben mischte sich der strömende Sauerstoff mit Öldämpfen, und als das so gebildete Öldampfsauerstoffgemenge die Flamme erreicht hatte, schlug sie zurück, und es erfolgte eine zweite Explosion. Ein Teil der Verbrennungserzeugnisse wurde mit großer Kraft beim Indikatorhahn ins Freie geschleudert, und die Flamme am Hahn verlöschte.

Der Druck bei B stieg in bezug auf die erste Explosion im öligen Rohr auf das 26fache und in bezug auf die Explosion im ölfreien Rohr auf das 400fache; er betrug bei

C	...	12 Atm.	und bei
B	...	40 Atm.	

<sup>4)</sup> Vgl. die Theorie der Explosionswelle.  
<sup>5)</sup> Vgl. Teiwes, Kompressorenanlagen S. 143.

<sup>6)</sup> Die Gebläseluft wird infolge der Verdichtung in der Maschine auf 50–60° erwärmt; während des Strömens bis zum Auslaßventil kühlte sie sich je nach der Außentemperatur auf 25–30° ab.

Nach dem Druckausgleich trieb der fortwährend neu eintretende Sauerstoff, sich mit Öldämpfen mischend, den Rest der Verbrennungs-erzeugnisse aus dem Rohre hinaus; die von den Verbrennungserzeugnissen mitgeführten Öldämpfe verbrannten ruhig nach ihrer Entzündung am Indikatorhahn. Als das Öldampfsauerstoffgemisch die brennenden Öldämpfe erreicht hatte, erfolgte eine dritte Explosion, die bei B ungefähr den gleichen Druck auslöste wie die zweite; ein Zeichen, daß bereits die zweite Explosion ausreichend war, den ganzen restlichen Inhalt der Leitung bis B explosibel zu machen und zur Explosion zu bringen.

Es ist die Annahme berechtigt, daß sich ähnliche Vorgänge in einem ölichen Rohre mit größerem Durchmesser auch mit Luft abspielen können; nur wird es einiger Explosions bedürfen, um jene Verhältnisse herbeizuführen, die in der Versuchsleitung bereits nach der zweiten Explosion zu beobachten waren.

Nach dem Erwähnten erklärt sich die Explosion in Eisenerz wie folgt:

Nach dem Öffnen des Windauslaßventiles erhitzte die heiße Winderhitzerluft die Ölablagerungen bis zum Windauslaßventil. Es entstanden Öldämpfe, die zunächst nach Umkehrung der Stromrichtung bei offenem Auslaßventil zu belanglosen explosionsartigen Verbrennungen Veranlassung gaben. Als jedoch während dieser Explosionsen das Auslaßventil geschlossen wurde, traten die heißen Explosions-erzeugnisse auch in den noch nicht erhitzten Teil der Windleitung ein, die Gebläseluft zurückstoßend. Nunmehr wurden die Mengen der Gemische immer größer, die Explosionsen immer heftiger, wobei jedoch der Explosionsdruck infolge des Luftpuffers den Gang der Maschine so lange nicht behinderte, bis endlich einige Minuten nach dem Schließen des Windauslaßventiles jenes Öldampf-Luftgemenge entstanden war, dessen Explosion den ganzen restlichen Inhalt der Windleitung bis zur Maschine explosibel gemacht und zur Explosion gebracht hatte.

Damit ist erklärt, warum die Explosion nicht gleich nach dem Schließen des Windauslaßventiles erfolgte, sondern erst einige Minuten später, und warum die Wirkung der Explosion nicht in der Nähe der Winderhitzer am heftigsten war, sondern am Ende der 300 m langen Kaltwindleitung im Gebläsehause.

Auf die berechtigte Frage, warum die Explosion nicht schon längst stattgefunden habe, obwohl ja das Einströmen der heißen Winderhitzerluft wiederholt die Bildung eines Öldampf-Luftgemenges verursacht haben mußte, sei darauf hingewiesen, daß bisher die Gemische ruhig verbrannten oder unbedeutende Ölbrände nach sich zogen, die jedoch stets durch die stärker werdende Windströmung ausgeblasen wurden.

Zur Verhütung derartiger Explosionsen ist es vor allem geboten, jede Erhitzung der Windleitung sowohl von außen als auch von innen auszuschließen.

Das Eintreten heißer Winderhitzerluft und heißer Gase wird sich vermeiden lassen, wenn das Windauslaßventil nicht in der Kaltwindleitung angeordnet ist, sondern in der Heißwindleitung, und vor dem Öffnen des Ventiles der Kaltwindschieber geschlossen wird.

Alle Maßnahmen, die das Rückströmen der Winderhitzerluft als etwas nebensächliches betrachten und sich nur mit der Verhütung des Rückströmens der Ofengase befassen wollen — z. B. die Anordnung eines Absperrschiebers in der Heißwindleitung ohne gleichzeitige Verlegung des Windauslaßventiles eben dahin — müssen als vollkommen unzulänglich bezeichnet werden.

Das gründlichste Verhütungsmittel wäre der Einbau eines wirk-samen Windentölers nahe bei der Gebläsemaschine nach vorheriger Reinigung der Windleitung. Ganz bedeutende Ölmenge, die heute nutzlos in den Winderhitzern und in den Öfen verbrennen, könnten dabei zurückgewonnen werden.

Obwohl Explosionsen an Hochofengebläsen und auch an Stahlwerksgebläsen im Laufe der Jahre wiederholt schweres Unheil verursacht haben, so habe ich in der mir zugänglichen Literatur doch nur einen einzigen ähnlichen Fall finden können. Es war dies die Explosion des Windkessels einer Gebläsemaschine auf dem Hasper Eisen- und Stahlwerk, die in einer Veröffentlichung H. Weddings in den Verhandlungen zur Beförderung des Gewerbelebens<sup>7)</sup> ausführlich geschildert wurde.

Die Ursache aller derartigen, mir bekannten Explosionsen ist irrtümlich nicht auf Öl zurückgeführt worden.

Ein Gutachter hat versucht, die Explosion in Eisenerz mit einer Explosion im Ofen, hervorgerufen durch eine explosionsartige Gas-entwicklung bei der Reduktion von Eisenoxyd durch Kohlenstoff, in Verbindung zu bringen: Fein verteilter fester Kohlenstoff sei in die Windleitung gepreßt worden und habe hier zu einer Kohlenstaub-explosion Veranlassung gegeben. Diese Erklärung ist nicht aufrecht zu erhalten, wenn man berücksichtigt, daß bei einer Explosion im Ofen doch in erster Linie der Ofen zerstört werden müßte und nicht der 300 m weit entfernte Windkessel.

Bei den Windkessel-explosionsen der Stahlwerksgebläse hat man angenommen, daß Gase aus der Charge oder Gase, die beim Ausheizen der Birnen entstehen, in die Windleitung eingedrungen sind und mit der Gebläseluft explosible Gemische gebildet haben. Es ist jedenfalls näherliegend, auch hier die Schuld den Öldämpfen zu geben und nicht den Gasen; denn die aus der Charge entwickelten Gase oder die beim Ausheizen sich bildenden sind doch zweifellos in viel

zu geringer Menge vorhanden, als daß sie für eine zerstörende Wirkung ernstlich herangezogen werden könnten.

Schließlich möge noch darauf hingewiesen werden, daß den Bergleuten die schädliche und gefährliche Wirkung der Ölablagerungen in den Windkesseln und Leitungen der Preßluftzüger sehr wohl bekannt ist. Hier kommt eine Bildung explosibler Gemische auf andere Weise als durch Öldämpfe nicht in Betracht; die Zündungsursache ist allerdings nicht die gleiche wie in den angezogenen Fällen.

Mit diesen Erörterungen soll jedoch keineswegs behauptet werden, daß nicht auch Hochofengase unter besonderen Umständen Explosions-erscheinungen mit zerstörender Wirkung in den Nebenapparaten des Hochofens hervorrufen können; es soll hier an diesem Beispiel lediglich gezeigt werden, daß in Hochofenkaltwindleitungen verheerende Explosionsen möglich sind, die mit Hochofengasen nicht herbeigeführt werden könnten.

Nach alledem wäre es im Interesse der Betriebssicherheit gelegen, wenn jene Praktiker, die Ölablagerungen als etwas harmloses betrachten, ihre Ansicht ändern und sich der Gefahr bewußt würden, die eine ölige Windleitung in sich birgt; denn nur dann könnte für die Zukunft weiteres Unglück verhütet werden. [A. 40.]

## Die elektroanalytische Trennung von Quecksilber und Kupfer.

Von Prof. Dr. W. Böttger, Leipzig.

Nach Versuchen des Herrn cand. chem. Georg Nachod.<sup>1)</sup>

(Eingeg. 12/3. 1921.)

Die Arbeit bildet einen Abschnitt aus einer größeren Untersuchungsreihe, die von mir geplant und zum Teil bereits auch ausgeführt ist, um genau formulierte Unterlagen für die rasche und exakte Ausführung von schwierigeren Trennungen zu gewinnen.

Die Voraussetzung für die Ausführbarkeit einer Trennung ist bekanntlich, was bereits von Kiliani erkannt worden ist, die geeignete Begrenzung der Spannung. Als zahlermäßig bestimmbare Eigenschaft, die die Größe der zulässigen Spannung in einem bestimmten Falle zu beurteilen gestattet, ist dann von Le Blanc die Zersetzungsspannung eingeführt worden und von Freudenberg ist gezeigt worden, daß die aus diesen Größen gezogenen Schlüsse sich tatsächlich in der erwarteten Weise verwerten lassen.

Nachdem die Elektroanalyse durch die Bewegung des Elektrolyten und durch die damit verbundene Abkürzung der Abscheidungsdauer beträchtlich an Bedeutung für die Praxis gewonnen hatte, entstand die Frage, ob es nicht möglich sei, die nach den Werten der in Betracht kommenden Zersetzungsspannungen zulässige Elektrolyspannung zu überschreiten, um größere Stromstärken zu erzielen und demgemäß die Abscheidung des leichter füllbaren, d. h. schwächer elektroaffinen Bestandteils rascher zu beenden. Es ist klar, daß damit die Gefahr wächst, daß der schwerer abscheidbare Bestandteil mit ausfällt und es ist daher notwendig, den Verlauf der Trennung durch Messung des Kathodenpotentials zu kontrollieren in der Art, wie es zuerst von Sand ausgeführt worden ist. Der dabei leitende Gedanke ist der, daß die Kathode + Metall mit einer Hilfselektrode zu einem Element kombiniert und die Größe der E. M. K. dieses Elementes gemessen wird. Es leuchtet ein, daß die E. M. K. verschieden sein wird, je nach der Natur des auf der Elektrode befindlichen Metalls. Man hat also in der Verfolgung der E. M. K. während der Elektrolyse ein Mittel, festzustellen, ob das schwerer abscheidbare Metall, dessen Ausfallen verhindert werden soll, etwa bereits ausgefallen ist. D. h., man braucht sich nicht an die aus den Zersetzungsspannungen abgeleitete Spannung zu halten, sondern kann mit einer größeren Badspannung arbeiten. Man hat nur im weiteren Verlaufe der Trennung die Badspannung so weit zu mäßigen, daß das für das schwerer abscheidbare Metall charakteristische Kathodenpotential nicht erreicht wird. Es steht außer Frage, daß diese Arbeitsweise tatsächlich die Durchführung schwieriger Trennungen gewährleistet. Sie hat nur den Nachteil, daß die Apparatur recht kompliziert ist, so daß sie nur in der Hand geschickter und entsprechend geschulter Kräfte brauchbar ist. Zwar ist von Sand eine Anordnung konstruiert worden, deren Bedienung weniger verwickelt ist, jedoch war schon in besseren Zeiten ein derartiges Instrument so kostspielig, daß viele vor seiner Anschaffung zurückgeschreckt sein würden.

Ich habe es mir daher schon seit einer Reihe von Jahren zur Aufgabe gemacht, das Arbeiten unter Messung des K. P. entbehrlich zu machen, dadurch, daß ich für die in Betracht kommenden Fälle unter Verfolgung des K. P. während der Abscheidung der einzelnen Bestandteile die höchst zulässige Badspannung ermittelte lasse, so daß, wenn die Grenzwerte der Badspannung und ihre Regelung während der Elektrolyse erst einmal festgelegt sind, dann bei Einhaltung einer bestimmten Zusammensetzung der Lösung auf die Messung des K. P. verzichtet werden kann. Auf diese Weise ist die Durchführung einer Anzahl schwieriger Trennungen, so von Wismut und Blei (Richardson), Wismut und Kupfer und der Halogene voneinander (Kelly) bearbeitet und die ermittelten Anweisungen sind von zahlreichen Mitarbeitern erprobt worden.

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung zu Hannover, Fachgr. f. analytische Chemie.