Alle, die den Gang eines Hobofens beobachten, würden einer Menge Vorurtheile über Dimensionen der Oefen, über die Nothwendigkeit der Erweiterung im Schachte und andere Gegenstände betreffend, entsagen, wenn nur die Anwendung des Windmessers ihnen geläufig wäre.

In Rußland kennt man schon hinlänglich den Nutzen dieses Instrumentes, und nur der genauen Beachtung seiner Anzeigen verdankt Hr. Fock den günstigen Erfolg seiner Schmelzung mit Holz, ein Verfahren, das wegen Nichtbeachtung dieser Anzeige noch in keinem anderen Lande mit Erfolg nachgeahmt worden ist.

Ich hoffe, daß das von mir Gesagte die Veranlassung dazu werden werde, die Versuche über Einblasen warmer Luft mit größerer Genauigkeit, als bisher geschehen ist, zu wiederholen, und einige Hüttenbesitzer von einer zu frühzeitigen Nachahmung eines theueren und unsicheren Regulierungsmittels des Gebläses abzuhalten.

XVII *Ueber den Betrieb der Eisenschmelzöfen mit heißer Luft;*

von C. Pfort, Kurfürstl. Hessischem Hütteninspector, und H. Buff, Lehrer an der höheren Gewerbschule zu Kassel.

(Entnommen aus den von den Verfassern übersandten Studien des Götting. Vereins bergm. Freunde.)

Zu den wesentlichsten Verbesserungen des Eisenschmelzprocesses in neuerer Zeit gehört das Verfahren, die Schmelzöfen mit heißer Luft zu speisen. Da alle hieüber bekannt gewordenen Versuche nicht nur eine ansehnliche Ersparung an Brennmaterial, sondern auch eine Verbesserung des Productes, besonders in Bezug auf seine Gußfähigkeit versprechen, so hat man daran gedacht dieses

Verfahren auch auf den Kurhessischen Eisenhütten einzuführen. Vorläufige Versuche, die man auf der Eisenhütte zu Weckerhagen angestellt hat, sind sehr befriedigend ausgefallen; und da sie in der doppelten Absicht unternommen wurden, sowohl den practischen Werth des neueren Verfahrens zu prüfen, als auch den wissenschaftlichen Zusammenhang desselben näher zu erforschen, so glauben wir durch Mittheilung der gemachten Erfahrungen uns einigen Dank der Eisenhüttenmänner zu erwerben.

Wegen anhaltenden Wassermangels konnte zu diesen Versuchen nur der Kupolofen in Gang gesetzt werden. Die Resultate der früheren Schmelzungen in diesem Ofen gehörten nicht zu den ausgezeichneten; auch war derselbe zum Betriebe mit Holzkohlen zu niedrig (nur 8 Fufs hoch), und anfänglich zum Coaksbrand eingerichtet, wobei aber stets, aus dem bei einer sehr leichtflüssigen Beschickung erhaltenen Roheisen, ein stark halbrirtes oder weisses, nicht besonders vergießbares Eisen erfolgte. Der in neuerer Zeit eingeführte Betrieb mit $\frac{1}{3}$ Coaks und $\frac{2}{3}$ Holzkohlen, oder wenn letztere sehr gut waren, mit reinen Holzkohlen, gab zwar ein graues Eisen, dessen Gußfähigkeit jedoch sehr mit der Güte des Brennmaterials wechselte, was bei einem so kleinen Ofen, dessen Erhöhung die Localitäten nicht erlaubten, unvermeidlich war.

Durch Anwendung von heißer Luft sind nun augenblicklich diese Hindernisse verschwunden. Der Ofen liefert das beste und gußfähigste Eisen, und arbeitet eben so vollkommen in ökonomischer Hinsicht.

Auf die Holzkoblengicht von 3 Kubikfufs (1 Fufs = 287^{mm},7) war früher der höchste Satz 35 bis 40 Pfund Eisen (1 Pfund = 484,2 Grm.), und es wurden dann täglich ungefähr 1500 Pfund Eisen umgeschmolzen. Der Abgang betrug durchschnittlich 9 Procent, der Kohlenverbrauch auf 100 Pfund Eisen 8,63 K.F. = 94,9 Pfd. harte

Kohlen, und das Windquantum 268 K.F. mit 1 Fuß oder 0,458 Pfund Pressung.

Beim Blasen mit heißer Luft trugen 3 K.F. Kohlen anhaltend 80 Pfund Eisen, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich dieser Satz bis zu 100 Pfund wird steigern lassen. Es konnte Tag und Nacht ununterbrochen gearbeitet werden, und während 24 Stunden wurden 6400 Pfund Roheisen umgeschmolzen. Der Abgang betrug 5 Procent und der Kohlenverbrauch 3,75 K.F. = 41,2 Pfund auf 100 Pfund Eisen. Bei gleicher Pressung mußte eine weitere Düse angesetzt werden.

Die günstigen Resultate der letzteren Methode lassen sich aus dem Umstande, daß ein Theil der Wärme, die der Wind zu seiner Erwärmung bedarf und welche er sonst dem Ofen entzog, jetzt diesem zu Gute kommt, nicht genügend erklären. Nachstehende einfache Berechnung zeigt dies deutlich.

Die Hitze, welche durch Verbrennung von 1 Theil Kohlen entsteht, reicht bekanntlich hin, um wenigstens 70 Th. Wasser von 0° bis 100° zu erwärmen. Nun verhält sich die specif. Wärme der Luft zu der des Wassers wie 0,267 zu 1. Die Hitze von 1 Th. Kohlen ist also vermögend $\frac{70}{0,267} = 262$ Th. Luft von 0° bis 100° zu erheben. 100 Th. Luft enthalten gerade genug Sauerstoff, um 8,42 Kohle in Kohlensäure zu verwandeln. Die 262 Theile Luft genügen demnach zur vollständigen Verbrennung von 22 Kohle. Man sieht hieraus, daß 1 Theil Kohle erforderlich ist, um die zur Verbrennung von 22 anderen Theilen nöthige Luft im Voraus auf 100° zu erheben (2 Th. wären nöthig sie auf 200°, 3 Th. sie auf 300° u. s. w. zu erheben). Dieser Antheil, oder $\frac{1}{22}$, wird gespart, wenn man zur vorläufigen Erhitzung der Luft die Gichtflamme benutzt. Die Ersparung kann durch stärkere Erhitzung des Windes allerdings gesteigert werden. Allein nach den bisherigen Erfahrungen ist

es noch nicht gelungen ihn über 400° C. zu erhitzen; die hieraus erklärbare Ersparung an Brennmaterial beträgt daher nicht über $\frac{4}{22+4} = \frac{1}{3}$ des ganzen Bedarfs.

Da nun aber zufolge unserer sowohl, wie Anderer Erfahrungen weit mehr erspart wird, so müssen hierbei offenbar noch andere Ursachen mitwirken.

Es konnte möglicherweise ein chemischer Einfluss im Spiele seyn. Hierüber suchten wir uns daher vor allen Dingen Aufklärung zu verschaffen.

Zu diesem Behufe wurde eine 4 Fufs lange und 6 Linien weite Glasröhre bis zum vierten Theile ihrer Länge mit kleinen Kohlenstücken gefüllt, ihr vorderes (von den Kohlen entferntes) Ende mit einem Blaschale, ihr hinteres aber mittelst einer Leitungsröhre mit einem Quecksilberbehälter in Verbindung gesetzt. Man umgab sodann die Glasröhre mit glühenden Kohlen, anfangs nur so weit die Kohlenstückchen reichten, nachher aber ihrer ganzen Länge nach, und liefs unter beiden Umständen Luft durchströmen. Diese in graduirten Röhren über Quecksilber aufgefangen und mit Aetzkali geprüft, enthielt in beiden Fällen 18 bis 21 Procent Kohlensäure.

In zwei den vorhergehenden ähnlichen Glasröhren brachte man hierauf abgewogene Mengen von frisch ausgeglühter und in verschlossenen Gefäfsen abgekühlter Kohle, setzte sie nach einander mit einem Gasometer in Verbindung, der zu einem gleichförmigen Luftstrom eingerichtet war, und erhitzte beide Röhren bis zum Rothglühen; die eine nur so weit die Kohlenstücke gingen, die andere ihrer ganzen Länge nach, so dafs die durchgehende Luft, bevor sie mit den Kohlen in Berührung kommen konnte, ebenfalls sich erhitzen mufste. Beide Versuche wurden rasch nach einander angestellt, und in beiden Fällen 14000 C.C. Luft bei 20° (bei 0° entsprechend 13023 C.C.) durchgetrieben. Bei Anwendung von kalter Luft verbrannten 1,451 Grm., bei Anwendung
von

von heißer Luft 1,466 Grm. Kohle; 13023 Luft enthalten 3,729 Grm. Sauerstoff, welche hinreichen, um 1,425 Kohle in Kohlensäure zu verwandeln.

Diese Versuche beweisen zur Genüge, daß durch die Verbrennung mit kalter Luft die Erzeugung von Kohlenoxyd wenigstens nicht unmittelbar begünstigt wird. Gleichwohl darf nicht unbemerkt bleiben, daß, so wie der Kupolofen mit heißer Luft gespeist wurde, über der Gicht die charakteristische blaue Flamme des Kohlenoxydgases sich in eine mehr gelbe verwandelte, was eine Abnahme der Kohlenoxydbildung anzudeuten scheint.

Dieselben Glasröhren, welche schon zu den vorher beschriebenen Versuchen gedient hatten, wurden, wie vorher, mit abgewogenen Mengen Kohle gefüllt, und in geneigter Lage mit einem gut ziehenden Schornstein in Verbindung gesetzt. Nachdem die eine wieder der ganzen Länge nach, die andere aber nur am oberen Ende bis zum Glühen erhitzt war, wurden beide zu gleicher Zeit dem Luftzuge geöffnet, und nach Verlauf einer Stunde beide auch wieder gleichzeitig verschlossen. So oft dieser Versuch wiederholt wurde, fand es sich immer, daß durch die kalte Luft weit (selbst bis zur Hälfte) mehr Kohle, als durch die heiße Luft verbrannt war. Eine Erscheinung, welche, verglichen mit den vorübergehenden Beobachtungen, sich auf keine andere Art erklären läßt, als daß durch die Erhitzung das Quantum der einströmenden Luft vermindert wird. — Zugleich konnte man bemerken, daß sich in beiden Röhren, so wie sie dem Zuge geöffnet wurden, die Kohlen zwar mit gleicher Schnelligkeit entzündeten, daß sich aber die Entzündung in der mit kalter Luft gespeisten Röhre rasch über den größeren Theil der Kohlenstücke verbreitete, während in der anderen Röhre immer nur die vordersten Stückchen, jedoch mit auffallend größerer Lichtentwicklung, verbrannten.

Wir glauben hieraus folgenden Schluß ziehen zu können
Poggendorff's Annal. Bd. XXXIV.

dürfen: Kalte Luft kann bei ihrem Zutritt zu den Kohlen nicht unmittelbar zur Verbrennung dienen, sondern muß zuvor zu ihrer Entzündungstemperatur erhoben werden. Hierzu ist aber eine gewisse Zeit erforderlich, während welcher die bewegte Luft ihren Weg fortsetzt. Ihr Sauerstoff kommt daher nicht nur mit einer größeren Kohlenmasse in Berührung, als geschehen würde, wenn er gleich bei seinem Zusammentreffen mit dem Brennstoffe demselben zur Nahrung dienen könnte, sondern es kann selbst ein Theil davon unbenutzt wieder entweichen, wie dies bei den gewöhnlichen Heitzapparaten beinahe ohne Ausnahme der Fall ist.

Heiße Luft dagegen, welche unmittelbar bei ihrem Eintritt in den Ofen die zur Entzündung nöthige Temperatur besitzt, nährt augenblicklich mit ganzer Intensität die Verbrennung, wird daher vollständig verzehrt, und concentrirt die dabei entstehende Hitze nicht nur in einem engeren Kreise, sondern steigert sie auch noch bedeutend, indem der zur Verbrennung gänzlich nutzlose Stickstoff weniger davon absorbiert.

Ist daher die Bedingung eines Heitzapparats, eine möglichst hohe Temperatur zu erzeugen, so eignet sich hierzu heiße Luft offenbar besser als kalte; und dies ist bei Hohöfen um so mehr der Fall, weil aller Sauerstoff, welcher unten unbenutzt entweicht, während seines Aufsteigens beständig mit heißer Kohle in Berührung bleibt, und also einen gewiß nicht unbeträchtlichen Theil derselben unnützer Weise verzehrt.

Diese theoretischen Ansichten werden durch die Versuche im Großen bestätigt. — Als der Kupolofen mit heißer Luft betrieben wurde, zeigte sich in der Form ein ungewöhnlicher Lichtglanz; sie brauchte nicht geputzt zu werden, und nie sah man breiartige Eisenstücke vor derselben, was früher öfter der Fall war, vielmehr strömte das schmelzende Metall in dünnen weißglühenden Tropfen herab. Das gewonnene Roheisen war von grauem,

feinkörnigem Bruche und äußerst gussfähig, der Abgang kaum halb so stark als früher. Alles dies deutet darauf hin, daß durch das neue Verfahren die Temperatur im Ofen bedeutend gestiegen ist, und die Luft gleich bei ihrem Zutritte vollständiger verbrennt.

Ueberdies wird durch das heisse Blasen die Bildung von Graphit ungemein befördert, dergestalt, daß während des Eisenschöpfens, oder wenn nur die Schlackendecke des Vorherdes gelüftet wurde, der durchblasende Wind einen Regen von Graphitblättchen hervortrieb, welcher alle nah gelegenen Gegenstände bedeckte. Dieser Graphit setzte sich, wie man deutlich sehen konnte, nur aus der geschmolzenen Eisenmasse ab. Es scheint also, daß in der größeren Hitze, welche durch den heissen Wind hervorgebracht wird, das Eisen mit einer sehr bedeutenden Menge Kohle zusamenschmilzt, die es bei wieder abnehmender Temperatur nicht zurückhalten kann und welche sich krystallinisch daraus abscheidet, wie ein Salz aus seiner Auflösung in Wasser.

Bei allen mit heißer Luft betriebenen Hoh- und Kupolöfen hat man übereinstimmend wahrgenommen, daß die Gichten langsamer niedergehen, oder mit anderen Worten, daß in gleicher Zeit weniger Kohlen verzehrt werden, als früher der Fall war, unerachtet der bedeutenden Temperaturerhöhung, und obschon die Luft mit derselben Pressung wie früher in den Ofen geblasen wurde. Dieselbe Bemerkung haben wir nicht nur bei den Versuchen im Kupolofen, sondern, wie schon oben erwähnt wurde, auch bei den Versuchen im Kleinen gemacht. Der wesentlichste, wenn auch nicht einzige Grund dieses sonderbaren Verhaltens liegt darin, weil die Gewichtsmenge der in gleicher Zeit zuströmenden heißen Luft um ein beträchtliches geringer ist.

Um sich hiervon eine deutliche Vorstellung zu machen, muß man bedenken, daß die Geschwindigkeit bewegter Gase wesentlich von ihrer Dichtigkeit und Elasti-

cität abhängig ist; z. B. Wasserstoffgas, welches bei gleicher Elasticität 14 Mal leichter ist als atmosphärische Luft, wird unter übrigens gleichen Umständen mit einer Geschwindigkeit ausfließen, welche sich zu der der Luft verhält wie $\sqrt{14} : \sqrt{1}$. Auf ähnliche Weise, wie der Wasserstoff, muß sich erwärmte Luft verhalten, indem sie bei gleicher Elasticität eine geringere Dichtigkeit als die kalte besitzt. Die Ausflugs- oder Ausflugs-geschwindigkeiten kalter und warmer Luft verhalten sich also umgekehrt, wie die Wurzeln ihrer Dichtigkeiten.

Wird z. B. die Luft während ihres Durchgangs durch glühende Röhren bis zu 267° C. erwärmt (bei welcher Temperatur sich ihr Volum bekanntlich verdoppelt), so entsteht gleichsam ein Reservoir, dem ein doppelt so leichtes Gas entströmt, dessen Geschwindigkeit sich also zu der von Luft bei 0° verhält wie $\sqrt{2} : \sqrt{1}$, oder wie 1,4 : 1. Da nun die Ausflussmengen bei gleichen Oeffnungen sich wie die Geschwindigkeiten verhalten, so folgt, daß von der erwärmten und leichteren Luft, dem kubischen Inhalt nach allerdings mehr, dagegen dem Sauerstoffgehalte nach, weniger ausfließt, als von der kalten Luft. Um also ein dem früheren gleiches Quantum Sauerstoff in den Ofen treiben zu können, muß man entweder den Druck verhältnismässig erhöhen, in unserem Beispiel verdoppeln, oder die Düsenöffnung weiter machen, und zwar so, daß die Durchmesser der Oeffnungen sich umgekehrt verhalten, wie die vierten Wurzeln aus den Dichtigkeiten der warmen und kalten Luft.

Die gewöhnlichen Formeln, wonach man das Luftvolum berechnet, welches während einer Minute durch die Mündung der Düse strömt, sind, wenn auf Reibung keine Rücksicht genommen zu werden braucht:

$$c = \sqrt{\frac{4g \cdot 770hb}{b' + h}} \quad \text{und} \quad M = \frac{60\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{4g \cdot 770hb}{b' + h}}$$

wö c die Geschwindigkeit, M den Kubikinhalt der Luft,

h den Wasserdruck, d den Durchmesser der Düsenmündung, b den Barometerstand von 28" in Fußsen Wasserhöhe, b' den mittleren Barometerstand des Ortes in Wasserhöhe ausgedrückt, und endlich m den durch Erfahrung bestimmten Zusammenziehungs-Coëfficienten bedeutet.

In diesen Formeln ist auf die Temperatur keine Rücksicht genommen, um sie daher zur Berechnung der Menge ausströmender heißer Luft benutzen zu können, hat man noch innerhalb des Wurzelzeichens den Factor $(1+0,00375 t)$ zuzusetzen, wo t die Temperatur der heißen Luft bedeutet. Hierdurch erhält man:

$$c = \sqrt{\frac{4g \cdot 770 h b (1+0,00375 t)}{b' + h}}$$

$$\text{und } M = \frac{60 m \pi d^2}{4} \sqrt{\frac{4g \cdot 770 h b (1+0,00375 t)}{b' + h}}$$

Die letztere Formel giebt aber den Kubikinhalt des Windquantums für die Temperatur t und die Pressung $b' + h$. Folglich muß man, um ein allgemein vergleichbares Resultat zu gewinnen, noch mit dem Ausdrücke

$\frac{b' + h}{b(1+0,00375 t)}$ multipliciren; wodurch sich obige Formel nach den nöthigen Reductionen verwandelt in:

$$\begin{aligned} \mathfrak{M} &= \frac{M(b' + h)}{(1+0,00375 t)b} \\ &= \frac{60 m \pi \sqrt{4 \cdot 770 \cdot g}}{4 \sqrt{b}} d^2 \sqrt{\frac{h(b' + h)}{1+0,00375 t}} \end{aligned}$$

$\mathfrak{M}$ giebt dann den kubischen Inhalt der Luft bei 0° und 28" Quecksilber oder 31,7 Wasser. Wird nun $b = 31,7$ Pariser Fußs, $g = 15,095$, $\pi = 3,14$, und m , zufolge d'Aubisson's Beobachtungen für kurze konische Ansatzröhren $= 0,94$ gesetzt, so ergiebt sich:

$$\mathfrak{M} = 1700 d^2 \sqrt{\frac{h(b' + h)}{1+0,00375 t}}$$

eine Formel, woraus sich für ein bestimmtes Windquan-

tum, das während einer Minute ausströmen soll, der Durchmesser der Düsenmündung leicht berechnen läßt, und welche zugleich das Verhältniß zeigt, nach welchem bei unveränderter Düse, aber steigender Temperatur, das Windquantum, und folglich auch die Schnelligkeit des Niedergangs der Gichten abnimmt. Erhebt man z. B. die Temperatur des Windes auf 100° , ohne eine andere Düse anzusetzen, so können statt 100 nur 85, erhebt man die Temperatur des Windes auf 200° , so können nur 75,5 Gichten eingehen u. s. w.

Bei Hohöfen und beim Betriebe mit heißer Luft ist es allerdings denkbar, daß auch durch einen größeren Erzsatz der Niedergang der Gichten beschleunigt werden kann.

Der während des Betriebs des Kupolofens immer sichtbarer werdende Wassermangel veranlaßte uns noch eine andere Frage zu untersuchen: ob nämlich bei Anwendung von heißem Winde man detsungeachtet genöthigt sey, mit derselben Pressung wie früher zu blasen, oder ob diese jetzt vermindert werden dürfe, indem, wie

aus der Formel $c = \sqrt{\frac{770 \cdot 4gb}{b' + h}} h \cdot (1 + 0,00375t)$

hervorgeht, die Geschwindigkeit des heißen Windes nicht bloß von dem Wasserdrucke, sondern auch wesentlich von der Temperatur abhängig ist, in der Art, daß man eine gewisse Geschwindigkeit c eben sowohl durch verhältnißmäßige Temperaturerhöhung, als durch Vermehrung des Wasserdrucks hervorbringen kann. Z. B. zu derjenigen Geschwindigkeit, welcher bei 0° die Pressungshöhe von 1 Fuß entspricht, hat man bei 267° nur $\frac{1}{4}$ Fuß Wasserdruck nöthig. Wäre man nun im Stande bei einer solchen verhältnißmäßig verringerten Pressungshöhe, aber unveränderter Geschwindigkeit, mit demselben Effect wie früher zu blasen, so ließe sich der hiedurch gesparte Kraftaufwand mit Vortheil benutzen, um dem Ofen ein größeres Luftquantum zuzuführen. Um hierüber Auf-

schluß zu erhalten, wurde der im besten Gange befindliche Kupolofen, statt mit 1 Fufs Pressung, wie es gewöhnlich geschah, allmählig nur mit 0,7, 0,5 und endlich selbst mit 0,4 Fufs Wasserdruck betrieben. Der Gang des Ofens blieb unverändert, und der stets zunehmende Wassermangel störte nicht nur nicht den vortheilhaften Betrieb desselben, sondern man konnte sogar mit der allmählichen Vermehrung des Eisensatzes fortfahren, den man zuletzt bis zu 90 Pfund auf 3 K.F. Kohle brachte. Erst als man die Wasserdruckhöhe bis zu 0,17 Fufs erniedrigt hatte, hörte der regelmässige Gang auf.

Bei allen diesen Versuchen konnte die Temperatur nicht genau beobachtet werden, weil es an einem hinreichend weit gehenden Thermometer fehlte.

Wir schliessen mit der Bemerkung, daß der Kupolofenschacht, seit dem Betrieb mit heißer Luft, sich so ausbläst, wie es die Figur andeutet. Dieser Umstand, so wie die auffallend gelbere Farbe der Gichtflamme beweisen augenscheinlich, daß die Hitze sich mehr in der Nähe der Form concentrirt hat, während weiter nach oben die Kohlen entweder gar nicht, d. h. nur wenig in Brand geriethen, denn sonst hätte sich der Schacht (so wie es früher der Fall war) nach der punktirten Linie ausblasen müssen.

XVIII. *Notiz, die Wanderungen der Zugvögel betreffend.*

Im letzten Jahrgange dieser Annalen (Bd. XXXI S. 576) theilten wir eine von Hrn. Prof. Ehrenberg in John Madox's *Excursions in the Holy Land* aufgefundene Nachricht mit, der zufolge im Juni 1825 zu Damascus ein habichtartiger Vogel erlegt wurde, welcher an sei-