



57.1702 <sup>c</sup> b mtl

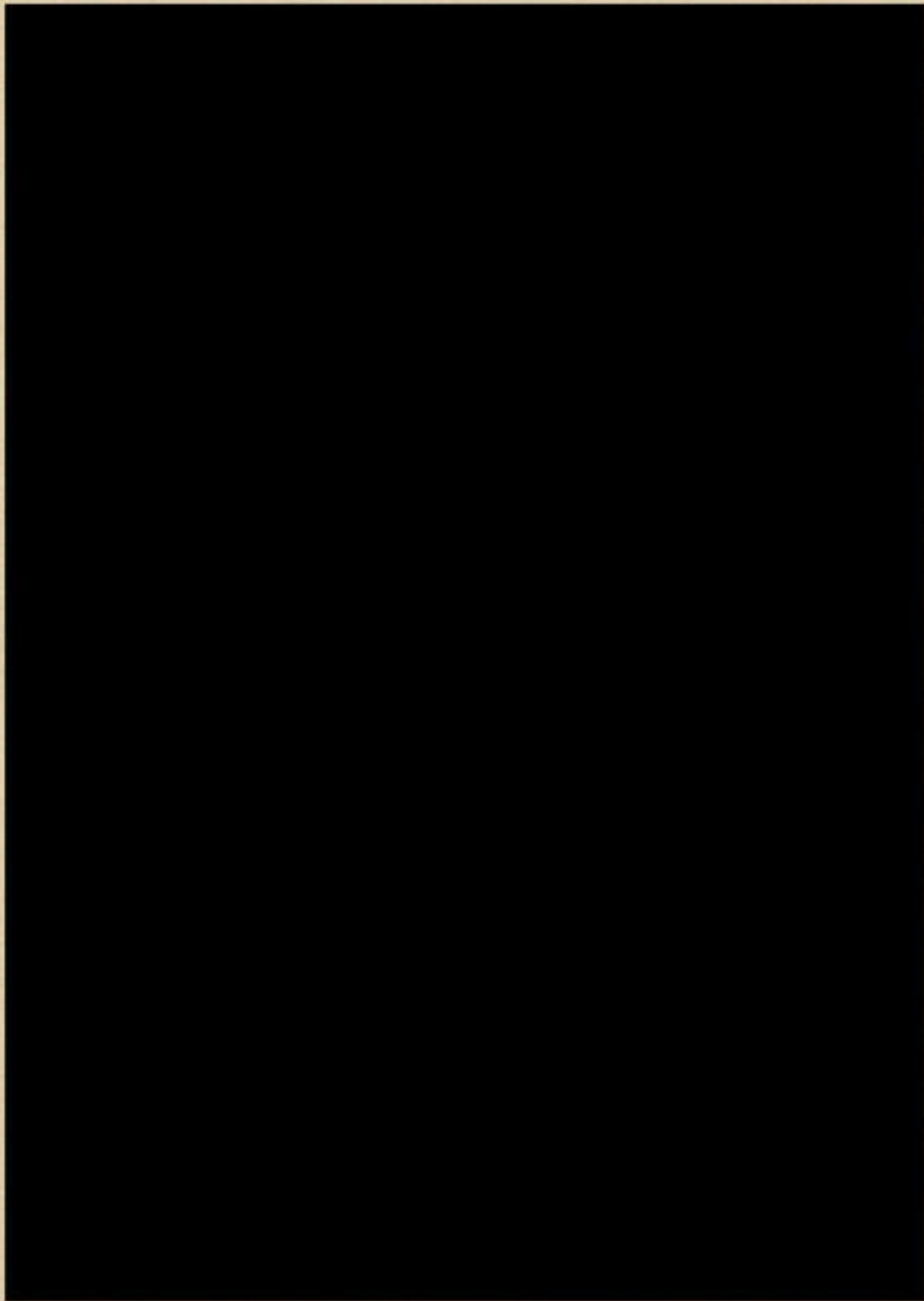


Bücherei  
Bergakademie  
Freiberg i. Sa.

TU BERGAKADEMIE FREIBERG



57.1702/344



(23 Beil.)



Anwendung  
von sauerstoffangereichertem Gebläsewind  
bei der Erzeugung von Spiegeleisen  
im Niederschachtofen

Von der Bergakademie Freiberg/Sa.  
genehmigte Dissertation  
zur  
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs  
von  
Helmut Grohmann  
aus Neugersdorf

Referent: Prof. Dr.-Ing. W. Küntscher  
1. Korreferent: Prof. Dipl.-Ing. A. Lange  
2. Korreferent: Prof. Dr.-Ing. K.-F. Lüdemann

Tag der Einreichung der Arbeit: 12. 3. 1957  
Tag der mündlichen Prüfung: 7. 6. 1957

Bücherei  
\* Bergakademie \*  
Freiberg i. Sa.

57. 1702 *h. mtl.*

## Inhaltsübersicht

	Seite
Einleitung	3
1. Wissenschaftliche Grundlagen der Sauerstoffanwendung	4
2. Ergebnisse und Erfahrungen an Hoch- und Niederschachtöfen	9
3. Perspektiven der Sauerstoffanwendung am Niederschachtöfen "Donauwörth"	13
4. Erzeugung von Spiegeleisen mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes	19
5. Erzeugung von Spiegeleisen mit sauerstoffangereichertem Wind	23
5.1 Vorversuche	24
5.2 Hauptversuche	28
5.21 Versuchsprogramm	29
5.22 Versuchsbedingungen und Ergebnisse	29
5.23 Stoffbilanzen	32
5.24 Wärmebilanzen	35
5.25 Berechnung und Diskussion von Kennwerten	37
5.26 Windmenge und Gebläsekapazität	40
5.27 Wirtschaftlichkeitsberechnung	41
6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	44
7. Schrifttum	50





## Einleitung

Die Entwicklung des Niederschachtofenverfahrens in der Deutschen Demokratischen Republik ergab sich aus der wirtschaftlichen Notwendigkeit, der Hüttenindustrie neben einheimischen Erzen vor allem Koks nutzbar zu machen, der den mechanischen Beanspruchungen im Hochofen nicht standhält.

Nachdem im ersten Niederschachtofen großtechnischen Maßstabes, dem Ofen "Donauwörth" der Forschungsstelle für Roheisen im VEB Maxhütte Unterwellenborn, die Versuche zur Erzeugung von Gießereiroheisen abgeschlossen und damit die Grundlagen für den Betrieb der Ofen im VEB Eisenwerke West Calbe/Saale geschaffen waren, wurde der Ofen "Donauwörth" im November 1951 dem VEB Maxhütte als Produktionsaggregat übergeben und ab Juni 1952 vorwiegend auf Spiegeleisen betrieben.

Neben sowjetischem Manganerz werden nur einheimische Eisenerze und Ferromanganschlacke verhüttet, die naturgemäß eine große Schlackenmenge folgen lassen. Die tägliche Leistung des Ofens lag daher anfänglich bei ca. 50 t und konnte im Jahre 1954 durch Vergrößerung der Gestellfläche auf ca. 75 t gesteigert werden. Da jedoch rohstoffbedingt mit einem Möllerausbringen unter 30 % gerechnet werden mußte, war diese Leistung für die Dauer in Frage gestellt. Um aber den wachsenden Bedarf der Stahlwerke an Spiegeleisen weiterhin aus eigener Produktion zu decken und durch höhere Erzeugung und bessere Rohstoffausnutzung die Rentabilität der Anlage zu sichern, war seitens der Forschungsstelle die Anwendung sauerstoffangereicherten Gebläsewindes vorgesehen.

Hieraus ergaben sich für den Verfasser die Aufgaben

- die im Schrifttum niedergelegten wissenschaftlichen Grundlagen der Sauerstoffanwendung zusammenzufassen und zu ergänzen,
- aus der Literatur bekannte Erfahrungen an Hoch- und Niederschachtofen in die Versuchsprogramme einzuarbeiten und in der Versuchsdurchführung anzuwenden,
- am Niederschachtofen "Donauwörth" erforderliche besondere Bedingungen für eine wirkungsvolle Sauerstoffanwendung durch Versuchsergebnisse zu belegen
- und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu untersuchen.



## 1. Wissenschaftliche Grundlagen der Sauerstoffanwendung

Nach W. Lennings und E. Karwat (1) bewirkt die Sauerstoffanreicherung des Gebläsewindes eine Veränderung der Verbrennungs- und Gasverhältnisse sowie der Temperaturverteilung im Ofen.

Mit steigender Sauerstoffkonzentration vergrößern sich das Volumenverhältnis der Rauchgas- zur Windmenge und der Kohlenoxyd-gehalt der Rauchgase. Vor den Blasformen entstehen unter der Voraussetzung, daß genügend Kohlenstoff vorhanden ist und ausschließlich zu Kohlenoxyd verbrannt, aus 1 Volumen Sauerstoff stets 2 Volumina Kohlenoxyd bzw. setzen sich  $n$  Vol.-% Sauerstoff im Wind zu  $2n$  Vol.-% Kohlenoxyd um. Es gilt daher bei jedem Anreicherungsgrad  $n$  % Sauerstoff die Beziehung:

$$(I) \quad \text{Nm}^3 \text{ Rauchgas} = \text{Nm}^3 \text{ Wind} \cdot (1 + 0,01 n)$$

Bei konstantem Sauerstoffgehalt vergrößert sich also die Rauchgasmenge proportional zur Windmenge, andererseits nimmt bei konstanter Windmenge das Verhältnis des Rauchgasvolumens zum Windvolumen für jeden Anreicherungsgrad  $n$  den Wert  $(1 + 0,01 n)$  an.

Der Kohlenoxydgehalt der Rauchgase hingegen ist von der Windmenge unabhängig und steigt nur mit der Sauerstoffkonzentration:

$$(II) \quad \% \text{ CO im Rauchgas} = \frac{0,02 n}{1 + 0,01 n} \cdot 100$$

In Tafel 1, Spalte 1, sind die Werte des für jede Windmenge gültigen Verhältnisses Rauchgas : Wind, in Spalte 2 die von der Windmenge unabhängigen Kohlenoxydgehalte der Rauchgase verzeichnet (hierzu Bild 1).

Nach den Gleichungen (I) und (II) wird das Kohlenoxydangebot im Ofen von der Windmenge und der Sauerstoffkonzentration bestimmt. Gegenüber dem Betrieb mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes, bei dem zum Zweck eines gleichmäßigen Ofenganges die Wind- und zu verbrennende Kohlenstoffmenge möglichst konstant gehalten werden sollen, läßt die Sauerstoffanreicherung mehrere Möglichkeiten zu, von denen die beiden Extremfälle erläutert werden:



Konstanthaltung des Koksdurchsatzes  
bzw. der zu verbrennenden Kohlenstoffmenge.

Nach dem Gesetz der einfachen Proportionen verbinden sich 12 g Kohlenstoff mit 1/2 Molvolumen Sauerstoff, d.h. 12 kg Kohlenstoff mit 11,2 Nm<sup>3</sup> Sauerstoff. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff sind also 0,933 Nm<sup>3</sup> Sauerstoff erforderlich. Beim Anreicherungsgrad n ist dann

$$(III) \quad \text{Nm}^3 \text{ Wind/kg C} = \frac{0,933}{0,01 n}$$

Mit steigender Sauerstoffkonzentration nimmt also der Windbedarf/kg C ab. Die entsprechenden Werte sind in Tafel 1, Spalte 3a, aufgeführt; Spalte 3 b zeigt die prozentuale Abnahme der Windmenge. Da aus 1 Volumen Sauerstoff stets 2 Volumina Kohlenoxyd entstehen, ist die Rauchgasmenge/kg C in jedem Fall um 0,933 Nm<sup>3</sup> größer als die zugehörige Windmenge. Bei abnehmendem Windbedarf sinkt folglich auch die Rauchgasmenge, wegen des steigenden Verhältnisses Rauchgas : Wind allerdings langsamer als der Windbedarf. Die Rauchgasmenge/kg C und ihre prozentuale Abnahme sind in den Spalten 4a und 4 b verzeichnet.

Konstanthaltung der Windmenge  
zur Steigerung des Koksdurchsatzes

Nach der Proportion C : 1/2 O<sub>2</sub> = 12 : 16 verbrennt 1 Nm<sup>3</sup> Sauerstoff die äquivalente Menge, d.h. 0,75 · 1,429 kg Kohlenstoff. Beim Anreicherungsgrad n ist also

$$(IV) \quad \text{kg C/Nm}^3 \text{ Wind} = 1,07175 \cdot 0,01 n$$

So verbrennt z.B.

1 Nm <sup>3</sup> Wind mit 21 % O <sub>2</sub>	1,07175 · 0,21 = 0,225 kg Kohlenstoff
1 Nm <sup>3</sup> Reinsauerstoff	1,07175 · 1,00 = 1,072 kg Kohlenstoff.

In der Tafel 1, Spalte 5a, ist die Menge verbrannten Kohlenstoffes der Genauigkeit wegen in kg/1000 Nm<sup>3</sup> angegeben. Die prozentuale Steigerung der Kohlenstoffverbrennung ist aus Spalte 5b ersichtlich, und zwar werden je % Sauerstoffanreicherung 4,76 % mehr Kohlenstoff verbrannt.



In Bild 2 sind die Verbrennungs- und Gasverhältnisse beider Verfahren einander gegenübergestellt:

Am Verlauf der Kurven im linken Feld ist zu erkennen, daß bei konstantem Angebot von 1 kg Kohlenstoff über alle Anreicherungsgrade die gleiche Menge von  $0,933 \text{ Nm}^3$  Sauerstoff benötigt wird und gleichbleibend die doppelte Menge, also  $1,866 \text{ Nm}^3$  Kohlenoxyd anfällt. Mit steigender Sauerstoffkonzentration nehmen Wind- und Rauchgasmenge stetig ab, und zwar immer im gleichen Abstand von  $0,933 \text{ Nm}^3$ . Demgegenüber ist im rechten Feld ersichtlich, daß mit zunehmendem Sauerstoffgehalt der konstanten Windmenge/kg C die Kohlenstoffverbrennung, die Rauchgasmenge und der Kohlenoxydanfall proportional zum Sauerstoffangebot vergrößert werden. In beiden Feldern deuten die sich verkürzenden Abstände zwischen Wind- und Sauerstoffkurve und zwischen Rauchgas- und Kohlenoxydkurve die Sauerstoffanreicherung des Windes bzw. die Kohlenoxydanreicherung der Rauchgase an.

#### Änderung der Temperaturverteilung im Ofen

Aus den wärmetechnischen Berechnungen von Karwat (1), R. Durrer (2) und J. R. Tischbein (3) geht hervor, daß bei Sauerstoffanreicherung des Windes der Gasstrom mit höheren Temperaturen einsetzt als beim Betrieb mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes. Nach H. Koppenberg und W. Wenzel (4) hängt die theoretische Rauchgastemperatur von der Vorwärmung des Verbrennungsmittels, der Wärmeenergie aus der Kohlenstoffverbrennung, der Menge/kg C und der spezifischen Wärme der Rauchgase ab. Die praktisch erreichbaren Flammentemperaturen liegen niedriger als die theoretische Rauchgastemperatur, wenn dreiatomige Verbrennungsprodukte entstehen, die bei Temperaturen über  $1600^\circ\text{C}$  für Dissoziation und Wärmestrahlung merkliche Wärmemengen verbrauchen. Da unter den in der Blasformenebene herrschenden Temperaturen der Kohlenstoff nach dem Boudouardschen Gleichgewicht ausschließlich zu Kohlenoxyd verbrennt, ist die Voraussetzung für eine Herabsetzung der Flammentemperatur durch Dissoziation und Wärmestrahlung von Kohlendioxyd nicht gegeben. Dagegen vermindert die Dissoziation von Wind eingebrachter Feuchtigkeit die Flammentemperatur ganz erheblich. Das Dampfzersetzungungsverfahren ist daher ein wichtiges Mittel zur Temperaturbeherrschung in den unteren Ofenzonen.





## Berechnung der Wärmeinhalte und der Temperaturen der Rauchgase

Der Wärmeinhalt der Rauchgase beim Betrieb mit absolut trockenem Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

Wärmeinhalt des Windsauerstoffs:

$$Q_{O_2} = 0,21 \text{ Nm}^3 \cdot C_{p_{mO_2}} \text{ kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot t \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wärmeinhalt des Windstickstoffs:

$$Q_{N_2} = 0,79 \text{ Nm}^3 \cdot C_{p_{mN_2}} \text{ kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot t \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wärmeenergie aus der Kohlenstoffverbrennung:

$$Q_C = 0,22507 \text{ kg C/Nm}^3 \text{ Wind} \cdot 2860 \text{ kcal/kg C}$$

Je % Sauerstoffanreicherung steigen der Wärmeinhalt des Windes um

$$\Delta Q_W = 0,01 \text{ Nm}^3 (C_{p_{mO_2}} - C_{p_{mN_2}}) \text{ kcal/Nm}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot t \text{ } ^\circ\text{C}$$

und die Wärmeenergie aus der Kohlenstoffverbrennung um

$$\Delta Q_C = 0,01 \text{ Nm}^3 \cdot 1,07175 \text{ kg/C Nm}^3 \cdot 2860 \text{ kcal/kg C}$$

Die theoretische Rauchgastemperatur ergibt sich nach der Formel

$$T_R = \frac{Q_R}{\text{Nm}^3 \cdot C_{p_m}}$$

Die spezifischen Wärmen der Gase wurden aus Tabellenwerten von E. Schmidt (5) berechnet, der Wert der Wärmeenergie/kg auf  $1400 \text{ } ^\circ\text{C}$  vorgewärmten Kohlenstoff bei Verbrennung zu Kohlenoxyd dem Bericht von Lennings (1) entnommen. Nach Bild 3 steigen die Wärmeinhalte und Temperaturen der Rauchgase sowohl mit der Vorwärmung als auch mit der Sauerstoffkonzentration des Windes an. Die Äquivalenz von Windvorwärmung und Sauerstoff ist sowohl für die Wärmeinhalte als auch für die Temperaturen der Rauchgase ablesbar.

Mit dem Anstieg des Wärmeinhaltes der Rauchgase/ $\text{Nm}^3$  Wind vergrößert sich das Angebot an nutzbarer Wärme. Obwohl infolge der Durchsatzsteigerung der Wärmebedarf für die Erhaltung der Arbeitstemperatur zunimmt, stehen darüber hinaus in steigendem Maße Wärmemengen für den Wärmeaustausch und die Reduktionen zur Verfügung. Hohe Temperaturen in den unteren Ofenzonen stellen sich durch Abnahme der Rauch-



gasmenge/kg C zwangsläufig ein. Die Verminderung der Rauchgasmenge /Gewichtseinheit Materialeinsatz führt unter der Voraussetzung genügend großer Oberfläche von Mäler und Koks zu einem Absinken der Gichtgastemperaturen.

Aus der Sauerstoffanreicherung des Gebläsewindes ergeben sich also folgende Vorteile:

Verminderung der Windmenge/kg C  
 Vergrößerung der Rauchgasmenge/ $\text{Nm}^3$  Wind  
 Anreicherung der Rauchgase mit Kohlenoxyd  
 Erhöhung des Wärmeinhaltes der Rauchgase

d.h. bei konstanter Windmenge

Steigerung der Kohlenstoffverbrennung  
 Erhöhung des Kohlenoxydangebotes  
 Erhöhung des Wärmeangebotes

ferner Steigerung der Rauchgastemperatur,

d.h. auch der Temperatur  
 in den unteren Ofenzonen

Verminderung der Rauchgasmenge/t Einsatz,

d.h. Senkung der Gichtgastemperatur

somit Vergrößerung des Temperaturgefälles.

*[Faint, illegible text in a Germanic script, possibly Gothic or similar historical hand.]*

## 2. Ergebnisse und Erfahrungen an Hoch- und Niederschachtöfen

Die Auswirkung der Vorteile der Sauerstoffanwendung auf die Produktion zeigte sich zunächst bei den für die Entwicklung der Sauerstoffanwendung grundlegenden Versuchen im Hochofen, die in Deutschland Lennings (1) in den Jahren 1932/33. auf der Gutehoffnungshütte in Oberhausen durchführte. Die Leistungssteigerung betrug bei Anreicherung des Windes auf 26 % Sauerstoffgehalt für Thomasroheisen 11,9 %, für Gießereiroheisen 15,5 % und bei Anreicherung auf 30 % Sauerstoffgehalt für Ferrromangan 14 %. Daneben wurden Kokseinsparungen von 13,3 % bzw. 15,7 % und 20,1 % erreicht. Mit der Sauerstoffanwendung stieg der Siliziumgehalt des Roheisens an, der Mangangehalt fiel jedoch ab. Bei 33 % Sauerstoff in über 930 °C heißem Wind erlaubte die Wärmekonzentration im Gestell die Führung einer hochbasischen, dem Portlandzement ähnlichen Schlacke mit 18 % Kieselsäure und 65 % Kalziumoxyd, die ein Manganausbringen von 95 % zur Folge hatte.

Auch die etwa zur gleichen Zeit in einem Hochofen der Sowjetunion laufenden Versuche brachten positive Ergebnisse. Nach E.M. Suslow (6) konnte in den Tschernoretschensker Chemischen Werken bei einer Sauerstoffkonzentration von 35,3 % Gießereiroheisen mit 3 % Kohlenstoff, 1,5 % Silizium und 1 % Mangan, bei 50,3 % Sauerstoffgehalt des Windes hingegen ein Roheisen mit 4 % Kohlenstoff, 2,7 % Silizium und 2,1 % Mangan erzeugt werden, wobei eine kalkreichere Schlacke geführt wurde. Der Erzsatz sank von 2,3 t auf 1,8 t, der Koksverbrauch von 1,62 t auf 1,5 t/t Roheisen. In denselben Werken wurden später nach M.A. Pawlow (7) auch Ferrolegierungen mit 16 % Mangan und 18 % Silizium erblasen.

Nach Durrer (8) und A.N. Ramm (9) ist allerdings die Sauerstoffanreicherung des Hochofenwindes nur beim Erblasen von solchen Roheisensorten wirtschaftlich, die einen hohen Koksverbrauch erfordern bzw. bei denen hohe Gichtgastemperaturen auftreten. Der Hochofen ist ein wärmewirtschaftlich ausgezeichnet arbeitendes Aggregat, denn in ihm werden die beiden Aufgaben des Gasstromes, seine fühlbare Wärme abzugeben und die Metalloxyde indirekt zu reduzieren, sehr gut erfüllt. Wenn aber infolge hohen Koksverbrauches/t Roheisen große Windmengen eingeblasen werden müssen, ist für die Aufheizung des Stickstoffs eine große Wärmemenge erforderlich, die den unteren Ofenzonen entzogen wird und zum größten Teil ungenutzt

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

Freiburg i. S.  
1872

mit dem Gichtgas den Ofen verläßt. In diesem Falle ist es angebracht, zur Verminderung des Stickstoffgehaltes den Wind mit Sauerstoff anzureichern und pro Gewichtseinheit Brennstoff weniger, aber heißeres Gas zu erzeugen, das durch schnellere Wärmeabgabe eine größere Senkung der Gichtgastemperatur herbeiführt. Die Möglichkeit, den Wärmeaustausch außerdem durch Verringerung der Korngrößen der Einsatzstoffe zu vergrößern und die Gichtgastemperatur unter die Grenze von  $150^{\circ}\text{C}$  zu senken, veranlaßte Durrer, den Ofenschacht zu verkürzen. Seitdem ist der Niederschachtofen das bevorzugte Aggregat für die Sauerstoffanreicherung des Windes.

Im Niederschachtofen der Süddeutschen Kalkstickstoffwerke Trostberg wurden in den Jahren 1944 bis 1948 Versuche zur Erzeugung von Ferrolegierungen und Stahleisen durchgeführt. Nach H. Hellbrügge (10) konnte bei Anreicherung von Kaltwind auf 50 - 80 % Sauerstoffgehalt Ferrochrom mit 30 % Chrom und Silikochrom mit 13 % Silizium und 47 % Chrom erblasen werden. Bei der Erzeugung von Stahleisen wurde die Eisen- und Manganreduktion erst durch Einsatz von abgeseibtem kleinstückigen Koks normalisiert und die Gichtgastemperatur von  $300 - 500^{\circ}\text{C}$  auf  $150^{\circ}\text{C}$  gesenkt. Im Vergleich zu einem dasselbe Erz verarbeitenden Hochofen wurden im Niederschachtofen pro t Roh-eisen 170 kg mehr Koks verbraucht, obwohl die indirekte Reduktion trotz der kurzen Durchsatzzeit von nur 1,25 Stunden und der außerordentlich niedrigen Möllersäule von 2 m den beachtlichen Grad von 69 % erreichte, allerdings bei hohem Feinkornanteil. Die indirekte Reduktion nahm bei steigender Sauerstoffanreicherung des Windes zu, da sich der Partialdruck des Kohlenoxyds im Verbrennungsgas erhöht.

In dem von Lennings benutzten, zum Niederschachtofen umgebauten Hochofen der Gutehoffnungshütte führte H. Schumacher (11) Versuche zur Erzeugung von 21 %igem Ferrosilizium und 45 %igem Ferromangan durch. In der Ferromanganreife wurden wegen der kurzen Durchsatzzeit von 4,2 Stunden zur Vergrößerung der Mölleroberfläche Erze und Zuschläge der Korngrößen 10 - 40 mm aufgegeben und außerdem das beim Brechen anfallende Feinerz der Kornklasse 0 - 10 mm bis zum Anteil von 50 % zugesetzt, ohne daß Störungen im Ofengang zu beobachten waren. Als Brennstoff bewährte sich Brechkoks III und IV. Bei Erhöhung der Sauerstoffkonzentration auf 30,5 % stieg die Erzeugung von 35,2 t auf 48,1 t/24 h, und zwar infolge größeren Koksdurchsatzes und günstigeren Möller-Koks-Verhältnisses. Die Leistung stieg





um 36,7 %, die Kokseinsparung betrug 22 %. Das Manganausbringen lag bei einer Schlackenbasizität von 1,61 bis 1,68 im Vergleichs- wie im Sauerstoffversuch bei ca. 83 %. Die bei gleichem Koksdurchsatz /24 h aus der Sauerstoffanreicherung erhaltene Produktionssteigerung gibt Schumacher mit ca. 29 % an. Bei konstant gehaltener Windmenge und gleicher Kokseinsparung würde sie etwa 45 % betragen.

Nach G. Bulle (12) ist bei Sauerstoffanwendung zur Erzeugung von Ferrolegierungen, die wenig Reduktion der Eisenoxyde und daher wenig Schachtarbeit erfordern, eine derartig hohe Kokseinsparung zu erwarten. Bei der Erzeugung von manganangereichertem Roheisen hingegen ist das Eisen der Hauptbestandteil der Legierung und benötigt zu seiner Reduktion eine ausgezeichnete Schachtarbeit. Unter Anwendung im Hochofen gebräuchlicher Korngrößen ist die metallurgische Arbeit des Niederschachtofens unbefriedigend, insbesondere in der Reduktion der Eisenoxyde. Die direkte Reduktion, die Zeit und Koks kostet, kann durchaus auf 70 % und mehr, der Koksverbrauch bis um 40 % ansteigen; denn die Reaktionszeit fällt im Niederschachtofen im gleichen Verhältnis, wie die Möllersäule verringert wird, weil die Beschickung genau so schnell absinkt wie im Hochofen. Es ist daher erforderlich, den Wärmeaustausch und die indirekte Reduktion im Schacht durch geeignete Korngrößen zu erhöhen.

Bei unvorbereitetem Möller gelangen nach M. Malcor (13) im Niederschachtofen die Erzstücke in ungenügend vorgewärmtem Zustand und unvollständig reduziert vor die Düsen. Das Roheisen weist zu hohe Schwefel- und zu niedrige Siliziumgehalte auf. Im Lütticher Ofen konnte dagegen bei Einsatz von Erzen der Korngröße 10 - 20 mm der Wärmeaustausch im Schacht so gesteigert werden, daß bei Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes und üblicher Möllersäule Gichtgastemperaturen zwischen 100 °C und 150 °C erreicht wurden, desgleichen bei Sauerstoffanreicherung auf 27 % trotz Verkürzung der Möllersäule. Auch bei nur geringer Erhöhung der Sauerstoffkonzentration läßt sich die Gichtgastemperatur niedrig halten, weil der Betrag der fühlbaren Wärme in Rauchgas/t Roheisen um so niedriger ist, je weiter der Stickstoffgehalt des Windes gesenkt wird.

Nach den Versuchsergebnissen und Erfahrungen an Hoch- und Niederschachtofen wirken die wärmetechnischen Vorteile der Sauerstoffanwendung sowie das erhöhte Kohlenoxydangebot auf den metallurgischen

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

Prozeß in folgender Weise günstig ein:

gesteigerte Kohlenstoffverbrennung und schnellerer Möllerdurchsatz erhöhen die Ofenleistung,

höherer Partialdruck des Kohlenoxyds im Rauchgas führt bei entsprechender Vergrößerung der Reaktionsoberfläche zu vollständigerer indirekter Reduktion,

höhere Temperaturen in den unteren Ofenzonen verbessern die direkte Reduktion und ermöglichen eine Steigerung der Schlackenbasizität,

vollständigere Reduktionen und basischere Schlacke fördern das Ausbringen der Metalle und senken den Erzverbrauch/t Roheisen,

hohe Sauerstoffkonzentrationen erlauben die Herstellung von Ferrolegierungen, wobei bedeutende Kokseinsparungen erreicht werden,

niedrige Sauerstoffanreicherungen eignen sich für die Erzeugung von mittelheißen und kalten Roheisensorten, wobei größere Kokseinsparungen nur bei hoher indirekter Reduktion der Eisenoxyde eintreten, für die im Niederschachtofen ausreichende Vorwärmung vorbereiteten Möllers Voraussetzung ist.



### 3. Perspektiven der Sauerstoffanwendung im Niederschachtofen "Donauwörth"

Konstanthaltung des Kohlenstoffangebotes oder der Windmenge?

Bei konstantem Kokadurchsatz bringt der Rückgang des Windbedarfs /kg Kohlenstoff eine zunehmend unwirtschaftliche Ausnutzung der Gebläse mit sich. Die Abnahme der Rauchgasmenge führt zu einer Verringerung der Gasgeschwindigkeit, die aber wegen des hohen Überkornanteils in den Möllern den Wärmeübergang und die indirekte Reduktion nicht in dem Maße steigert, wie es für eine wesentliche Senkung des Kokeverbrauchs erforderlich ist. Erst bei vorschriftsmäßiger Möllerverbereitung, die anlagebedingt jedoch nur für kurzfristige Versuche möglich ist, kann infolge längerer Verweilzeit der Gase an der Reaktionsoberfläche mit einer Koks-einsparung und Steigerung der Ofenleistung durch wachsendes Mölller-Koks-Verhältnis gerechnet werden; bei hohen Anreicherungsgraden besteht aber dann die Gefahr, daß der große Widerstand der Beschickungssäule wegen zu geringer Gasmenge nicht überwunden und der Ofen nicht im gesamten Lückenvolumen durchgeblasen wird.

Es ist daher zweckmäßiger, das zweite der in Bild 2 dargestellten Verfahren anzuwenden, d.h. die beim Betrieb mit natürlichem Wind aufgenommene Windmenge, die sich bei Sauerstoffanwendung wegen Veränderung der aerodynamischen Verhältnisse durchaus verringern kann, anzustreben und anzureichern, um durch Erhöhung der Koks- und Möllerdurchsätze die Verbrennungs- und Schmelzintensität und damit die Ofenleistung zu steigern.

#### Veränderung des Wärmehaushaltes

Je  $\text{Nm}^3$  Wind von 21 % Sauerstoffgehalt und  $760^\circ\text{C}$  Temperatur werden 250,47 kcal eingebracht, die nach bisherigen Wärmebilanzen bei Betrieb des Ofens mit unverbereitetem Mölller 25,16 % der Wärmeeinnahme ausmachen. Aus der Oxydation des Kohlenstoffes durch Wind- und Erzsauerstoff werden 70,83 % und als Schlackenbildungswärme 4,01 % vereinnahmt. Mithin beträgt die Wärmeeinnahme

aus Wind	$Q_W = 250,47 \text{ kcal}$
aus Kohlenstoffoxydation	$Q_C = 705,01 \text{ kcal}$
aus Schlackenbildung	$Q_B = 39,84 \text{ kcal}$
Wärmeeinnahme/ $\text{Nm}^3$ Wind	$Q = 995,32 \text{ kcal.}$

100000  
100000  
100000

Je % Sauerstoffanreicherung steigt die Windwärme um 0,13 kcal. Der Wärmegewinn aus der Kohlenstoffoxydation wächst um 3,81 %, die Wärmeeinnahme aus der Schlackenbildung entsprechend der Steigerung des Möllerdurchsatzes, die - bei 4,76 % Steigerung der Kohlenstoffverbrennung - mit 5 % angesetzt wird. Die Gesamtwärme erhöht sich also je % Sauerstoffanreicherung um folgende Beträge:

$$\begin{aligned}\Delta Q_W &= 0,13 \text{ kcal} \\ \Delta Q_C &= 26,87 \text{ kcal} \\ \Delta Q_B &= 1,97 \text{ kcal} \\ \hline \Delta Q &= 28,97 \text{ kcal.}\end{aligned}$$

Die Wärmebilanz weist 18 % Verluste durch die fühlbare Wärme des Gichtgases aus, so daß auf alle anderen Posten des Wärmeverbrauchs 82 % der Wärmeeinnahme entfallen. Dieser Wert  $Q_P$  (Wärme für den metallurgischen Prozeß) steigt entsprechend der Zunahme des Möllerdurchsatzes um ca. 5 % je % Sauerstoffanreicherung. Es ist also

$$\begin{aligned}Q_P &= 995,32 \cdot 0,82 = 816,16 \text{ kcal} \\ \Delta Q_P &= 816,16 \cdot 0,05 = 40,81 \text{ kcal.}\end{aligned}$$

Da der Mehrverbrauch an Wärme größer ist als der Wärmezuwachs, fällt der Wärmeinhalt der Gichtgase/ $\text{Nm}^3$  Wind ( $Q_G$ ) je % Sauerstoffanreicherung um die Differenz

$$\Delta Q_G = \Delta Q - \Delta Q_P = 28,97 - 40,81 = - 11,84 \text{ kcal.}$$

Im Gegensatz zu diesem Versuch beträgt nach der Wärmebilanz eines Versuches mit vorbereitetem, aber chemisch gleichem Möller die Wärmeeinnahme aus Wind ebenfalls von 760 °C Temperatur 24,33 %, aus der Oxydation des Kohlenstoffes 71,58 % und aus der Schlackenbildung 4,09 % der Wärmeeinnahme.

Es ist also die Wärmeeinnahme

aus Wind	$Q_W = 250,47 \text{ kcal}$
aus Kohlenstoffoxydation	$Q_C = 736,90 \text{ kcal}$
aus Schlackenbildung	$Q_B = 42,11 \text{ kcal}$
	<hr/>
Wärmeeinnahme/ $\text{Nm}^3$ Wind	$Q = 1029,48 \text{ kcal.}$

Je % Sauerstoffanreicherung nimmt die Windwärme wiederum um 0,13 kcal zu, der Wärmegewinn aus Kohlenstoffoxydation steigt jedoch wegen höherer indirekter Reduktion um 3,98 %, die Wärmeeinnahme aus Schlackenbildung wegen höheren Möller-Koks-Verhältnisses um 5,7 %.

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

Freiburg i. Br.  
Verlag J. G. Cotta & Co.



Die Gesamtwärmeeinnahme erhöht sich also um folgende Beträge:

$$\Delta Q_W = 0,13 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_C = 29,33 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_B = 2,40 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q = 31,86 \text{ kcal.}$$

Die Wärmeabführung durch Gichtgas betrug in diesem Versuch mit vorbereitetem Möller 13,3 % der Wärmeeinnahme. Der Rest als Wärme für den metallurgischen Prozeß ( $Q_P$ ) steigt dem höheren Möllerdurchsatz entsprechend um 5,7 %. Es ist also

$$Q_P = 1029,48 \cdot 0,867 = 892,56 \text{ kcal}$$

$$\Delta Q_P = 892,56 \cdot 0,057 = 50,87 \text{ kcal.}$$

Je % Sauerstoffanreicherung fällt also der Wärmeinhalt der Gichtgase/ $\text{Nm}^3$  Wind um

$$\Delta Q_G = \Delta Q - \Delta Q_P = 31,86 - 50,87 = -19,01 \text{ kcal.}$$

In Tafel 2 sind für beide Versuche die bei Sauerstoffanwendung voraussichtlichen Veränderungen der einzelnen Wärmeeinnahmeposten und der gesamten Wärmeeinnahme in den Spalten 1 - 4, des Wärmeverbrauchs für den metallurgischen Prozeß in Spalte 5 und des Wärmeinhaltes der Gichtgase/ $\text{Nm}^3$  Wind in Spalte 6 in kcal verzeichnet, und zwar bei unvorbereitetem Möller bis zum Anreicherungsgrad von 37 %, bei vorbereitetem Möller bis zum Anreicherungsgrad von 29 %. Nach den prozentualen Steigerungswerten ist bei den Wärmeeinnahmeposten bezeichnend, daß die vom Wind eingebrachte Wärme ( $Q_W$ ) nur unbedeutend zunimmt, da der Wärmezugang durch Sauerstoffanreicherung den Wärmeausfall durch Stickstoffverarmung nur wenig überschreitet. Daher wird die Gesamtwärmeeinnahme ( $Q$ ) nicht in dem Maße gesteigert wie die Wärmegewinne aus der Oxydation des Kohlenstoffs und aus der Schlackenbildung. Ihr steht jedoch, besonders bei Betrieb mit vorbereitetem Möller ein schneller ansteigender Wärmeverbrauch ( $Q_P$ ) gegenüber, so daß der Wärmeinhalt der Gichtgase ( $Q_G$ ) kontinuierlich abnimmt und schließlich ein Wärmedefizit eintritt. Die Veränderung des Wärmehaushaltes wird besonders deutlich, wenn der Wärmeverbrauch und der Wärmeinhalt der Gichtgase jeweils auf die Gesamtwärmeeinnahme  $Q = 100$  % bezogen werden, wie es in den Spalten 7 und 8 geschehen ist.



In Bild 4 sind die Auswirkungen der Sauerstoffanreicherung des Windes und der Möllervorbereitung auf den Wärmehaushalt veranschaulicht. Bei Einsatz unvorbereiteten Möllers schneidet die  $Q_p$ -Kurve die  $Q$ -Kurve beim Anreicherungsgrad von ca. 37 %, bei Verwendung vorbereiteten Möllers bereits bei einer Sauerstoffkonzentration von ca. 29 %. Das bedeutet, daß schon bei diesen Sauerstoffgehalten des Windes der Wärmeverbrauch nicht mehr gedeckt wird. In diesem Falle ist eine Steigerung der Windtemperatur zweckmäßiger als eine Verkleinerung des Verhältnisses Möller: Koks durch Erhöhung des Koksatzes oder durch Möllerabzug, denn Maßnahmen in der Windführung wirken sofort, Veränderungen im Möllersatz im Laufe, Veränderungen im Koksatz erst am Ende der Durchsatzzeit.

Bei gleichbleibender Windtemperatur ist jedoch der Sauerstoffanreicherung eine Grenze gesetzt, die aber nicht durch den Schnittpunkt der  $Q$ - und  $Q_p$ -Kurven, sondern durch die Gichtgastemperatur bestimmt ist. Bekanntlich muß im Oberofen das Gichtgas noch so heiß sein, daß neben der Erwärmung der Beschickung die Austreibung der Feuchtigkeit erfolgen kann. Es ist daher ein ausreichendes Temperaturgefälle nötig, das erfahrungsgemäß bei einer Gichtgastemperatur von  $150^\circ\text{C}$  gegeben ist. Zur Berechnung der Gichtgastemperaturen wurden die Gasvolumina/ $\text{Nm}^3$  Wind mit Sauerstoffgehalten von 24 - 30 % aus Erfahrungswerten interpoliert. Der Berechnung der  $C_{p_m}$ -Werte konnte nur die voraussichtliche Zusammensetzung der Gichtgase zugrundegelegt werden, wobei - ebenfalls nach Erfahrungswerten - die Gehalte an Methan und Wasserstoff mit 0,2 % bzw. 1,2 % als konstant, der Kohlendioxydgehalt bei unvorbereitetem Möller um 0,3 %, bei vorbereitetem Möller um 0,7 % je % Sauerstoffanreicherung steigend angenommen und die Summe der Kohlenoxyd- und Stickstoffgehalte als Differenz zu 100 % ermittelt wurde. Unter Benutzung von  $C_{p_m}$ -Werten der einzelnen Komponenten nach Schmidt (5) ergaben sich im Temperaturbereich von  $410 - 140^\circ\text{C}$  für die Gichtgase  $C_{p_m}$ -Werte von 0,326 - 0,300 kcal/ $\text{Nm}^3$ . Abweichungen gegenüber der wirklichen Gaszusammensetzung beeinflussen die  $C_{p_m}$ -Werte nur in der dritten Dezimalstelle, so daß sich die Gichtgastemperaturen nur innerhalb der Fehlergrenzen ändern würden, die für Messungen mit Thermoelementen zugelassen sind. Die Gichtgasdaten sind in den Spalten 9 - 11 der Tafel 2 enthalten. Am Verlauf der Kurven der Gichtgastemperaturen in Bild 4 ist erkenntlich, daß bei Verwendung von unvorbereitetem Möller die Grenze



der Sauerstoffanreicherung bei 31 %, bei Einsatz vorbereiteter Einsatzstoffe bereits bei 25 % erreicht ist; ein weiterer Sauerstoffzusatz ist der erforderlichen Gichtgastemperaturen wegen ohne Erhöhung der Windtemperatur nicht vertretbar.

#### Einhalten der Windmenge

Der starke Temperaturanstieg der Rauchgase, die physikalischen Eigenschaften der Einsatzstoffe wie Korngröße und Porosität und die Viskosität der Schmelze können die Windaufnahme entscheidend beeinflussen.

Ist die Beschickung einheitlich sehr grob, d.h. das Lückenvolumen sehr groß und gleichmäßig, die Reaktionsoberfläche aber klein, dann durchstreichen die Gase wegen des großen Durchflußquerschnittes und des geringen Reibungswiderstandes die Koks-Möller-Säule sehr schnell, ohne daß ein großer Wärmeaustausch stattgefunden hat. Da die Gase weder temperaturbedingt noch durch große Reibung gestaut werden, ist die Windaufnahme nicht gefährdet.

Bei einem sehr breiten Kornband, das eine große Verdichtung der Beschickungssäule zur Folge hat, ist die Reaktionsoberfläche zwar größer, das Lückenvolumen jedoch kleiner und unregelmäßig. Demzufolge wird zwar ein besserer Wärmeaustausch erfolgen, so daß die Gase eine Volumenkontraktion durch Abkühlung erfahren und ein Gasstau im Unterofen nicht eintritt. Die Windmenge kann aber wegen des unregelmäßigen Lückenvolumens evtl. zurückgehen, vor allem bei der Bildung von Kanälen in der Schmelzzone.

Einheitlich kleine Körnung bewirkt einen sehr schnellen und großen Wärmeübergang und eine bedeutende Volumenverminderung der Gase; trotz gleichmäßigen Durchflußquerschnittes wird aber der in der Geschwindigkeit verminderte Gasstrom am hohen Reibungswiderstand der großen Reaktionsoberfläche gehemmt, so daß mit einem Rückgang der Windmenge gerechnet werden muß.

Die Viskosität der Primärschlacke ist außer von der Zusammensetzung vom Grad der Vorwärmung des Möllergutes und von der Temperatur in den unteren Ofenzonen abhängig. Je intensiver mit zunehmender Verfeinerung der Korngrößen sich der Wärmeaustausch im Schacht entwickelt, desto größer ist der Anteil der aus frühzeitigen Reaktionen stammenden, die Schlacke verflüssigenden Verbindungen wie Eisen-



oxydul, Manganoxydul und Kalziunsulfid, und desto eher ist die Möglichkeit der Viskositätsverminderung durch Überhitzen der Schlacke in Rast und Gestell gegeben. Durch diese Zusammenhänge wird also die Windaufnahme auch indirekt von einer einwandfreien physikalischen Möllierung begünstigt.

#### Haltbarkeit des Mauerwerks

Die Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im Wind hat eine Gefährdung des Mauerwerks im Bereich der hohen Temperaturen zur Folge, und zwar nach Beobachtungen im Versuchsniederschachtofen "Kleiner Max" um so mehr, je geringer der Tonerdegehalt der Schlacke liegt. Es wurde mehrere Wochen mit einer Schlacke von 22 % Tonerdegehalt gearbeitet, wobei Sauerstoffkonzentrationen bis zu 35 % gehalten wurden, ohne daß eine wesentliche Erweiterung der Düsenebene gemessen werden konnte. Dagegen erfolgte diese auch bei niedrigeren Sauerstoffgehalten des Windes sofort, als durch Möllerränderung der Tonerdegehalt der Schlacke auf etwa 7 % gesenkt wurde. Hierdurch wird die Behauptung von J.P. Bardin (14), wonach ein Schamottestein mit über 45 % Tonerde den erhöhten Temperaturen standhalten müßte, zwar gestützt, im Niederschachtofen "Donauwörth" werden jedoch Schlacken mit Tonerdegehalt über 10 % nicht geführt und bestenfalls Steine der Qualität A 0 mit 42 - 44 % Tonerdegehalt eingebaut. Während der Schmelzpunkt dieser Steine nach Seger 1750 °C beträgt, liegen die theoretischen Rauchgastemperaturen bei dem anzustrebenden Sauerstoffgehalt von 25 % in 760 °C heißem Wind nach Bild 3 bei etwa 2100 °C. Um das Mauerwerk zu schonen, besteht zwar die Möglichkeit, die Rauchgastemperatur durch Verminderung der Sauerstoffkonzentration oder der Temperatur des Windes zu senken. Geringeres Sauerstoffangebot bedeutet jedoch eine Einengung der Leistungssteigerung, da weniger Koks verbrannt wird und das Wärmeangebot sinkt, wodurch auch die günstigen Temperaturbedingungen für die direkte Reduktion des Mangans und Siliziums geschmälert werden. Es ist daher vorteilhafter, die maximale Steigerung des Ausnutzungskoeffizienten und des Wärmewirkungsgrades des Ofens anzustreben und der Verkürzung der Ofenhaltbarkeit durch Einbau widerstandsfähigerer Steine zu begegnen.

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

1848  
1849  
1850



#### 4. Erzeugung von Spiegeleisen mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes

Im Niederschachtofen "Donauwörth" wurden von Juni 1952 bis November 1954 an insgesamt 440 Tagen 26416 t Spiegeleisen erblasen. Als Brennstoff fand im wesentlichen Steinkohlenkoks aus dem Zwickauer Revier Verwendung. Der Erzmöller bestand aus den eisenarmen Erzen der Harzer Gruben "Büchenberg" und "Brauner Sumpf" sowie aus Schmalkaldener Mommelerz, das wegen seines geringen Mangangehaltes von 2 - 9 % als manganhaltiges Eisenerz gilt. Zur Einstellung des erforderlichen Eisen-Mangan-Verhältnisses im Möller wurden Ferro-manganschlacke und für Spiegeleisen mit mehr als 8 % Mangangehalt sowjetische Manganerze, zur Erhöhung des Möllerausbringens Späneschrott und Walzsinter zugesetzt.

Als wichtigste technische Kennziffern des Ofens und durchschnittliche Produktionsdaten wurden festgestellt:

		<u>alter Ofen</u>	<u>neuer Ofen</u>
Düsenabstand	mm	1200	1500
Gestellquerschnitt	m <sup>2</sup>	7,36	9,41
Nutzvolumen			
über Blasebene	m <sup>3</sup>	39,92	41,44
über Bodenstein	m <sup>3</sup>	47,48	49,91
Blasformen		16	16
Blasformendurchmesser	mm	100	100
Produktionstage		274	166
Produktion insgesamt	t	13931	12485
Produktion täglich	t	50,8	75,2
Koksverbrauch	t/t RE	1,88	1,75
Möllerausbringen	%	31,6	31,4
Manganausbringen	%	44,9	43,7
Schlackenziffer	p	1,25	1,23
Gestellbelastung	kg/m <sup>2</sup> · h	541	583
Durchsatzzeit	h	3,74	2,68
Ofenausnutzung	m <sup>3</sup> /t RE	0,93	0,66

Die höhere Gestellbelastung im erweiterten Ofen wurde durch Verschaltung eines größeren Gebläses, der geringere Koksverbrauch durch verminderte Wärmeverluste bei verkürzter Durchsatzzeit erreicht. Unbefriedigend blieb das Manganausbringen, vor allem im

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or header.

Main body of faint, illegible text, appearing to be several paragraphs of a document.

Continuation of faint, illegible text in the middle section of the page.

Continuation of faint, illegible text in the lower middle section of the page.

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or concluding remarks.

Handwritten or stamped text at the bottom center, possibly a signature or date.

Hinblick auf den Einsatz der hochwertigen sowjetischen Erze, die - vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus gesehen - nur auf Ferromangan verarbeitet werden sollten.

Nach A.P. Ljuban und M.M. Leibowitsch (15) und A.N. Pochwisnew (16) ist ein hohes Manganausbringen nur unter folgenden Bedingungen zu erwarten:

hohe Windtemperaturen, die den Brennstoffverbrauch senken, so daß die Temperaturen im Oberofen und infolgedessen die Manganverdampfung vermindert werden;

basische Schlacke mit einem Gehalt von 50 % Kalziumoxyd + Magnesiumoxyd, wobei das Kalziumoxyd durch Bindung von Kieselsäure und Tonerde die Reduktion des gebundenen oder in der Schlacke gelösten Manganoxyduls beschleunigt und das Magnesiumoxyd die Viskosität der Schlacke herabsetzt;

niedrige Schlackenmenge/t Roheisen, die weniger Manganoxydul abführt als eine große Schlackenmenge gleichen Mangangehaltes;

möglichst hohe indirekte Reduktion der Eisenoxyde, damit das Eisen bereits in metallischem Zustand in die Zone der Manganreduktion gelangt und das reduzierte Mangan lösen kann;

hohes Wärmeangebot in den unteren Ofenzonen, um die basische Schlacke zu schmelzen und zu erhitzen sowie die erforderliche Arbeitstemperatur für die stark endotherme Manganreduktion zu halten.

Im Niederschachtofen "Donauwörth" ist ohne Sauerstoffanreicherung des Windes kaum eine dieser Bedingungen erfüllt.

Die Frage der Manganverluste durch Verdampfung ist umstritten, da Mangan bei 2152 °C, also im Gestell, verdampft und sich im Oberofen niederschlagen müßte. Die Manganbilanz weist jedoch nicht nachweisbare Verluste aus, die unter Berücksichtigung der Temperatur von ca. 600 °C etwa 1,0 m unter der Beschickungsoberfläche auf eine Verdampfung schließen lassen.

Die Schlackenführung im Ofen "Donauwörth" hängt sehr stark von der schwankenden chemischen Zusammensetzung der Erze ab. Nach G. Brückner (17) fielen in den Jahren 1952 bis 1954 Schlacken mit folgender Durchschnittsanalyse an:



$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{CaS}$	$\text{CaO} : \text{SiO}_2$
32,28	8,19	40,15	10,11	3,5	4,1 %	1,24

Nach dem Diagramm von R. Åckerman (18) beträgt die Schmelzwärme dieser Schlacke 440 kcal/kg und liegt innerhalb der Grenzen von 400 - 460 kcal/kg, die für Schlacken bei Erzeugung von manganreichem Roheisen üblich sind. Der Schmelzpunkt wurde nach Vergleichsanalysen von N.W. Rulla (19) zu 1330 °C ermittelt. Nach den physikalischen Eigenschaften dieser Schlacke, die im Kalzium- und Magnesiumoxyidgehalt auch den Angaben Pochwiewnews (16) entspricht, ist die erforderliche Arbeitstemperatur für die Reduktion des Manganoxyduls erreichbar. Obwohl der Mangangehalt von 2,7 % noch um 0,5 % niedriger liegt als der Wert im Diagramm von Lennings (1), das die Abhängigkeit der Manganverschlackung vom Verhältnis  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$  angibt, betrug das Manganausbringen nur 45 %.

Es wurde daher eine Schlacke folgender Zusammensetzung erprobt:

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{CaS}$	$\text{CaO} : \text{SiO}_2$
30,9	7,1	45,1	10,04	3,5	3,1 %	1,46

Diese Schlacke besaß nach Messungen an vergleichbaren Schlacken von Rulla (20) bei 1500 °C eine ausreichende Viskosität von 4,5 Poise und bewirkte ein Manganausbringen von 64 %. Der Mangangehalt von 2,7 % liegt aber nach dem Diagramm von Lennings (1) um 1 % zu hoch. Bei einem Mangangehalt der Schlacke von 1,7 % müßte das Manganausbringen, selbst bei der großen Schlackenmenge von 1800 kg/t Roheisen, etwa 30 % betragen. Es ist also offensichtlich, daß im Niederschachtofen "Donauwörth" die Wirkung der basischen Schlacke auf die Manganreduktion durch fehlende Wärme eingeengt wird. Aus den hohen Gichtgastemperaturen von ca. 400 °C und dem hohen Grad der direkten Reduktion von 80 - 90 % ist eine völlig unbefriedigende Schachtarbeit zu erkennen. Die Ursache hierfür ist die unzureichende physikalische Möllierung.

Um eine gute Schachtarbeit zu erreichen, schreibt K. Säuberlich (21) für die Niederschachtofen der Deutschen Demokratischen Republik Korngrößen der Erze und Zuschläge von 5 - 40 mm vor; auch wird auf Grund von Ergebnissen am Versuchsniederschachtofen "Kleiner Max" (22) empfohlen, die manganhaltigen Schlacken in Korngrößen von max. 20 mm einzusetzen. Wohl liegen die sowjetischen Manganerze wegen des hohen Pyrolusitgehaltes zu 75 % innerhalb der Korngrößen 5 - 40 mm



und zu 20 % im Unterkornbereich, wovon ein Teil in den Gichtstaub übergeht. Mangels ausreichender Brech- und Siebanlagen beträgt jedoch der Überkornanteil der Eisenerze etwa 60 %, der Ferromanganschlacke sogar 70 % und der Zuschläge ungefähr 30 %. Daher kann im Schacht kein ausreichender Wärmeaustausch stattfinden, so daß die chemischen Reaktionen und die Schlackenbildung verzögert werden. Zu einer hohen indirekten Reduktion der Eisenoxyde fehlt außerdem die genügend große Angriffsfläche für das Kohlenoxyd. In den unteren Ofenzonen verbrauchen dann die direkte Reduktion des Eisens und das Schmelzen der Schlacke den größten Teil der für die Reduktion des Mangans erforderlichen Wärme. Das Manganausbringen wird dadurch zwangsläufig vermindert. Infolge der unzureichenden Möllerverbereitung ist aber auch die Ausnutzung der Wärmeenergie des Kohlenstoffs unbefriedigend. Bei einem Ausnutzungsgrad von 33 % ist es nicht zu vertreten, die fehlende Wärme für die Manganreduktion aus höherem Kokssatz zu decken oder zur Führung einer basischeren Schlacke eine weitere Erhöhung des Kokssatzes vorzunehmen. Bei einer Schlackenziffer von  $p = 1,45$  würden durch den Zuschlag von Kalk und Dolomit die Schlackenmenge und der Koksverbrauch etwa bei 2 t/t Roheisen liegen und das Möllerausbringen erheblich gesenkt werden. Allein die Kosten für die Erhöhung des Kokssatzes sind aber größer als die Einsparungen aus dem geringeren Manganerzverbrauch.

Am Niederschachtofen "Donauwörth" sind also die Steigerung der Brennstoffausnutzung und die Verbesserung des Manganausbringens die wichtigsten Aufgaben. Es ist daher zu untersuchen, ob die Anwendung von Sauerstoff für die Normalisierung des Wärmehaushaltes und die Manganreduktion ausgenutzt werden kann und in welchem Grade dabei der Einsatz vorbereiteter Möllers die Wärmebilanz und das Manganausbringen beeinflusst.

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

Faint, illegible text located at the bottom center of the page, possibly a signature or a small note.



## 5. Erzeugung von Spiegeleisen mit sauerstoffangereichertem Wind

Im Zeitraum von Dezember 1954 bis Oktober 1956 wurden am Niederschachtofen "Donauwörth" 44 938 t analysengerechtes Spiegeleisen abgestochen. Die Ausschußquote liegt unter 0,5 %.

Als mittlere Betriebsergebnisse aus 571 Produktionstagen ergaben sich:

Anreicherungsgrad	%	24,7
tägl. Produktion	t	78,7
Koksverbrauch	t/t RE	1,875
Möllerausbringen	%	27,3
Manganausbringen	%	46,9
Schlackenziffer	p	1,29
Gestellbelastung	kg/m <sup>2</sup> ·h	653
Ofenausnutzung	m <sup>3</sup> /t RE	0,63
Durchsatzzeit	h	2,28

Im Vergleich zu der ohne Sauerstoffanwendung erreichten Tagesleistung von 75,2 t erscheint die Leistungssteigerung gering; sie ist jedoch durch den niedrigeren Metallgehalt der Gicht bedingt. Unter gleichen chemischen Möllerverhältnissen ist mit einer täglichen Produktion von ca. 90,5 t zu rechnen, was einer Leistungssteigerung von etwa 20 % entspricht. Über den sich dann einstellenden Koksverbrauch können wegen der unzureichenden Brennstoffausnutzung keine Angaben gemacht werden. Dagegen ist festzustellen, daß die Gestellbelastung, Ofenausnutzung und Durchsatzzeit bei Sauerstoffanwendung günstiger liegen als bei Betrieb mit natürlichem Wind. Eine bedeutende Verbesserung des Manganausbringens ist aber nicht eingetreten.

Die betriebsmäßige Anwendung von Sauerstoff im Ofen "Donauwörth" hat die Ergebnisse folgender Vorversuche zur Grundlage:

- 3 Vorversuche im Dezember 1954 mit Sauerstoffkonzentrationen bis zu 24,2 % zwecks Beobachtung des Ofenganges, des Koksverbrauchs, der Windaufnahme und des Verhaltens der Legierungselemente,
- 4 Vorversuche im Juni/Juli 1955 mit vermindelter Windmenge, aber Sauerstoffgehalten bis zu 28,2 % zwecks Verbesserung des Wärmeaustauschs und der indirekten Reduktion.

Bergakademie  
-Bücherel-  
Freiberg i. Sa.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Freiburg i. Br.  
Bibliothek

Aus den Versuchsergebnissen und Betriebserfahrungen ergab sich die Notwendigkeit weiterer Versuche, und zwar

- 4 Hauptversuche im September/Oktober 1955, in denen zur besseren Ausnutzung der Wärmeenergie des Kohlenstoffs und des höheren Kohlenoxydangebotes der Überkornanteil im Möller herabgesetzt und auch kleinstückiger Koks verwendet wurde.

Für die Versuche stand Sauerstoff vom Reinheitsgrad 95 - 98 % zur Verfügung, der mit einem Druck von ca. 0,8 atü unmittelbar vor dem Winderhitzer in die Kaltwindleitung eingeführt und mit aufgeheizt wurde, um die Windtemperatur durch Sauerstoffzusatz hinter dem Cowper nicht unnötig zu senken.

#### 5.1 Vorversuche

Die chemischen Analysen der Einsatzstoffe sind in Tafel 3, die Versuchsdaten in Tafel 4 und die Berechnung der Reduktionsgrade sowie die Kennwerte der Versuche in Tafel 5 niedergelegt.

Die beiden Versuchsgruppen unterscheiden sich zunächst in der Menge und im Sauerstoffgehalt des Windes. In den Vorversuchen 1 - 3, in denen der Ofen mit dem Ventilator betrieben wurde, war nach Bild 5 mit steigender Sauerstoffkonzentration ein Rückgang der Windmenge zu beobachten. Durch die Erhöhung der Rauchgastemperaturen vergrößert sich das Gasvolumen; die Koks-Möller-Säule ist aber nach ihrem Durchflußquerschnitt und ihrer Oberfläche nur für ein bestimmtes Gasvolumen aufnahmefähig. Ist diese Grenze erreicht, so nimmt bei weiterer Ausdehnung der Gase der Druck vor den Formen zu und schränkt die Windaufnahme ein. Demgegenüber wurde in den Vorversuchen 4 - 7, in denen ein Kolbengebläse geringerer Leistung vorgeschaltet und infolgedessen auch das Windangebot geringer war, das Gasvolumen des Vorversuches 1 nicht erreicht, obwohl das Verhältnis Rauchgas : Wind und wegen höherer Temperaturen auch die Ausdehnung der Gase größer waren; die Windmenge konnte noch ansteigen. Aus Bild 5 ist weiter zu ersehen, daß in beiden Versuchsgruppen mit zunehmendem Sauerstoffangebot die Durchsatzzeit verkürzt wird, weil in der Zeiteinheit mehr Koks verbrannt wird und die zugehörige Möllermenge schneller absinkt. In den Bildern 6 und 7 ist der Einfluß der Sauerstoffmenge im Wind auf die Gestellbelastung, die Roheisenproduktion und die Durchsatzzeit je



Versuchsgruppe dargestellt. Trotz gleichartigen Kurvenverlaufs unterscheiden sich aber beide Versuchsgruppen im Ablauf des Wärmeaustauschs und den Reaktionen, da die Versuchsbedingungen jeweils andere waren.

In den Vorversuchen 1 - 3 war entgegen dem Prinzip, über alle Versuche den Erzmöller nicht zu verändern, eine zweimalige Erhöhung des Manganträgersatzes notwendig, um den geforderten Mangangehalt des Roheisens einzuhalten. Wegen des überwiegenden Kieselsäuregehaltes der Ferromanganschlacke mußte auch der Anteil der Zuschläge erhöht werden, wodurch das Möllerausbringen vermindert wurde. Trotz steigenden Manganangebotes gelang es nicht, die Qualität des Roheisens zu halten; der Mangangehalt und, dadurch bedingt, der Kohlenstoffgehalt fallen ab. Obwohl die Schlackenbasizität annähernd konstant bleibt, steigen die Mangangehalte der Schlacke beträchtlich an; mit der Vergrößerung der Schlackenmenge/t Roheisen ist daher ein schneller Rückgang der Manganausnutzung verbunden. Wie beim Betrieb des Ofens mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes liegt die Ursache in dem hohen Überkornanteil der Metallträger, der bei den Eisenerzen 66 %, bei der Ferromanganschlacke 56,3 % beträgt. Bei Sauerstoffanwendung wirkt überdies noch die erhöhte Durchsatzgeschwindigkeit auf die Manganreduktion ungünstig ein, die nach Ljuban (15) selbst bei hohen Arbeitstemperaturen Zeit erfordert. Nach Tafel 5 steigt die gesamte direkte Reduktion mit zunehmender Sauerstoffkonzentration im Wind bis über 94 % an, womit einer Verminderung der Kohlenoxydausnutzung verbunden ist. Aus dem gleichartigen Verlauf der Kurven der direkten Reduktion des Eisens und des Kohlenoxydangebotes in Bild 3 - linkes Feld - ist eine unzureichende Schachtarbeit abzuleiten. Die mangelhafte indirekte Reduktion des Eisens führt im Zusammenwirken mit der Verkürzung der Durchsatzzeit schließlich im Vorversuch 3 zu dem Sturz des Manganausbringens. Daraus ist zu folgern, daß die Sauerstoffanreicherung des Windes ohne entsprechende physikalische Möllierung eine Verbesserung der Manganausnutzung nicht nur nicht herbeiführen, sondern sogar das Gegenteil bewirken kann.

Bei größeren Sauerstoffzusätzen wären die positiven Ergebnisse der Vorversuche 1 - 3, die Leistungssteigerung des Ofens und das Eisenausbringen, wie auch die negativen Ergebnisse, der Rückgang der Windmenge und das Manganausbringen, noch eindeutiger weiterentwickelt worden. Die Anwendung höherer Sauerstoffkonzentrationen war jedoch nicht möglich, da die Begichtungsrichtung für derartig hohe Durchsatz-



steigerungen nicht ausreichte. Lediglich auf Grund der Leistungssteigerung wurde der Ofen in der Folgezeit mit 24 - 25 % Sauerstoff enthaltendem Wind weiterbetrieben, wobei täglich bis zu 104 t Roheisen erzeugt wurden, allerdings bei zeitweilig besserer physikalischer Mällierung und einem Mällerausbringen von 32 %, so daß der Koksverbrauch mitunter auf 1,7 t/t Roheisen sank.

Mit Beginn der Vorversuche 4 - 7 verminderte sich durch Benutzung des Kolbengebläses die Windmenge von 16 500 Nm<sup>3</sup> auf 11 000 Nm<sup>3</sup>/h. Die Sauerstoffkonzentration wurde zunächst für einen Vergleichsversuch belassen, sodann aber von 24,7 % auf 26,1 %, 27 % und 28,2 % erhöht. Die Windtemperaturen lagen bei ca. 780 °C über alle Versuche sehr gleichmäßig, so daß das steigende Wärmeangebot/Nm<sup>3</sup> Wind nur vom Wärmegewinn aus der Kohlenstoffverbrennung bestimmt wurde. In Anpassung an die Windverhältnisse wurden die Gichten leichter gehalten; geringe Veränderungen in ihrer Zusammensetzung ergaben sich nur durch Koksabzug und entsprechende Verminderung der Zuschläge. Die Gichtvolumina wurden durch mehrere Parallelmessungen bestimmt, um Streuungen infolge verschieden ausfallender Durchdringung der Komponenten zu berücksichtigen und einen guten Mittelwert für die Berechnung der Durchsabbzeiten zu erhalten. Im Gegensatz zu den Vorversuchen 1 - 3 liegt nach den Kennwerten in Tafel 5 die Leistungssteigerung in der Produktion in jedem Falle über der Zunahme des Mällerdurchsatzes, weil das Mällerausbringen angestiegen ist. Nach der Erfahrung aus den Vorversuchen 1 - 3, daß die Manganausnutzung bei unzureichender physikalischer Mällierung auch durch höheres Manganangebot nicht gefördert werden kann, wurde hier von einer Erhöhung der Manganträgersätze und entsprechendem Kalk- bzw. Dolomitzuschlag abgesehen, um den Metallgehalt der Gicht über alle Versuche gleichzuhalten.

Gegenüber den Vorversuchen 1 - 3 hat nach den niedrigeren Gichtgas-temperaturen ein besserer Wärmeaustausch stattgefunden, obwohl durch höhere indirekte Reduktion den Gasen mehr Wärme zugeführt wurde. Die Eisenerze enthalten zwar noch 62,5 % Überkorn, die Verringerung der Gasgeschwindigkeit bewirkt jedoch eine bessere Vorwärmung der Erze und eine größere Ausnutzung des Kohlenoxyds. Nach Bild 8 - rechtes Feld - liegt die direkte Reduktion des Eisens allgemein niedriger als in den vorhergehenden Versuchen und fällt bei steigendem Kohlenoxydangebot ab. Auch die Reduktion des Mangans hat sich verbessert. Durch Verwendung von sowjetischem Manganerz wurden 62 % des Mangans





als Pyrolusit eingebracht, der bereits im Schacht unter Wärmeentwicklung zu Manganoxydul reduziert wird; die indirekte Reduktion des Mangans wurde daher zu 57,5 - 61,3 % berechnet. Außerdem liegen die Mangantträger mit nur 23,4 % Überkorn und etwa 20 % Unterkorn vor, so daß sie für die direkte Reduktion des Mangans besser vorgewärmt wurden. Auch schlackenseitig waren die Bedingungen günstiger, indem die Schlackenmenge fast konstant blieb und die Schlackenbasizität höher lag. Trotz längerer Durchsatzzeit, welche die Manganreduktion fördert, konnte aber nach Bild 8 statt einer Steigerung des Manganausbringens nur ein geringerer Abfall desselben erreicht werden; denn die in der Darlegung der Vorversuche 1 - 3 erwähnte Hauptursache des geringen Manganausbringens, die mangelhafte indirekte Reduktion des Eisens, wurde bei dem fast ebenso hohen Überkornanteil der Eisenerze durch die Verringerung der Gasgeschwindigkeit nur teilweise behoben.

Nach den Versuchsdaten in Tafel 4 und den Kennwerten in Tafel 5 zeigt aber die gesamte Versuchsgruppe eine sehr gleichmäßige Entwicklung der Versuchsergebnisse. Da es aus betrieblichen Gründen im damaligen Versuchsstadium nicht möglich war, von einem Versuch mit Wind natürlicher Sauerstoffkonzentration auszugehen, wird zum Vergleich ein Produktionsabschnitt von 11 Tagen aus dem Jahre 1956 herangezogen, in dem unter gleichen Möllerbedingungen mit einer Windmenge von 11 000 Nm<sup>3</sup>/h gearbeitet wurde; dabei ergaben sich folgende Durchschnittsergebnisse:

Koksdurchsatz	t/24 h	91,2
Mölldurchsatz	t/24 h	171,9
Roheisenproduktion	t/24 h	48,5
Koksverbrauch	t/t RE	1,83

Die auf diese Werte bezogenen prozentualen Steigerungen in den Vorversuchen 4 - 7 sind folgende:

Vorversuch	4	5	6	7
Sauerstoffgehalt des Windes	24,7	26,1	27,0	28,2
Koksdurchsatz	19,5	27,1	32,3	38,6
Mölldurchsatz	22,4	31,4	37,1	44,1
Roheisenproduktion	24,6	34,4	40,9	48,8
Kokseinsparung	1,6	2,7	3,3	4,3

Nach den theoretischen Betrachtungen im Abschnitt 1 dürfte der maximale Koksdurchsatz im Versuch 4 nur  $7,2 \cdot 4,76 = 34,3$  % betragen.

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

Berücksichtigt man jedoch den durch Verstaubung, direkte Reduktion und Aufkohlung des Eisens nicht zur Verbrennung kommenden Kohlenstoff, so ist die Steigerung des Koksdurchsatzes auf 38,6 % als real anzusehen.

Die Ergebnisse der Vorversuche 1 - 3 werden durch die der Vorversuche 4 - 7 insofern bestätigt, als die positiven Ergebnisse, Durchsatz- und Produktionssteigerung sowie Kokseinsparung stärker, die negativen Ergebnisse, Rückgang der Windmenge und des Manganausbringens, aufgehoben bzw. schwächer ausgeprägt sind. Geringere Gasgeschwindigkeiten fördern zwar den Wärmeaustausch und die indirekte Reduktion; für die Steigerung der Manganausnutzung ist jedoch die Vorbereitung des Möllers auf die vorgeschriebenen Korngrößen unbedingte Voraussetzung.

Nach beendeter Reparatur des Ventilators wurde der Ofen wieder mit voller Windmenge beblasen. Dabei stellten sich folgende Produktionsdaten ein:

Anreicherungsgrad	%	24,2
tägl. Produktion	t	83,9
Koksverbrauch	t/t RE	1,93
Möllerausbringen	%	28,2
Manganausbringen	%	41,8
Schlackenziffer	p	1,20

Hieraus sind wiederum ungenügende Brennstoff- und Manganausnutzung zu erkennen.

## 5.2 Hauptversuche

Bei der Planung dieser Versuchsreihe waren die Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Vorversuchen zu berücksichtigen, insbesondere die Ursachen des hohen Koksverbrauches und des geringen Manganausbringens. Da der Ofen während der Versuche in die Produktion eingepplant war, mußten auch betriebliche Belange berücksichtigt werden.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Freiburg i. Br.  
Bergakademie

### 5.21 Versuchsprogramm

Zunächst wurden unter Beachtung der Leistungsfähigkeit der Møller- und Begiechtungseinrichtungen nur Sauerstoffkonzentrationen im Wind von max. 24,5 % vorgesehen. Zur Förderung des Wärmeaustausches und der Kohlenoxydausnutzung bzw. der indirekten Reduktion des Eisens und des Manganausbringens war die physikalische Møllierung durch Vorbereitung der Einsatzstoffe auf kleinere Korngrößen zu verbessern. Um den durch höheren Reibungswiderstand der größeren Reaktionsoberfläche zu erwartenden Rückgang der Windmenge nicht noch durch unregelmäßiges Lückenvolumen zu vergrößern, sollte eine gute Gasdurchlässigkeit der Beschickung durch möglichst gleichmäßig gehaltene Korngrößen angestrebt werden. Schließlich war auch die Ausfüllung der großen Lücken zwischen groben Koksstücken mit kleineren Møllerteilen auszuschalten; dies wurde durch Einsatz eines Koks erreicht, dessen Korngrößen denen der Møllerteile angeglichen waren. Da auch durch die Verwendung eines anderen Eisenerzes die Versuchsbedingungen andere waren als in den Vorversuchen, mußten zu Vergleichszwecken je ein Versuch ohne und mit Sauerstoffanreicherung des Windes bei unvorbereitetem Møller angesetzt werden. Das Versuchsprogramm hatte also folgenden Aufbau:

Versuch Nr.	Sauerstoffgehalt des Windes	Korngrößen	
		des Møllers	des Koks
1	21,0	unvorbereitet	40 - 80 mm
2	24,5	unvorbereitet	40 - 80 mm
3	24,5	5 - 40 mm	40 - 80 mm
4	24,5	5 - 40 mm	20 - 40 mm

### 5.22 Versuchsbedingungen und Ergebnisse

Nach Bild 9, das die Körnungskennlinien der Einsatzstoffe aus einer großen Zahl von Proben zeigt, konnte mangels ausreichender Brech- und Siebanlagen die geforderte physikalische Møllierung für die Versuche 3 und 4 zwar nicht vollständig erreicht werden; die Senkung der Überkornanteile von 61,1 % in unvorbereitetem Møller auf 26,1 % in vorbereitetem Gut bedeutet aber schon eine entscheidende Änderung der Møllerbedingungen, die



sich auf die indirekte Reduktion fördernd auswirken muß. Die Verbesserung des Lückenvolumens ergibt sich durch Angleichung der Korngrößen innerhalb der gesamten Gicht. Während nach Bild 13 in der Gicht für die Versuche 1 und 2 etwa 70 % Überkorn eine große Verdichtung der Beschickungssäule verursachen, ist die Zusetzung der großen Zwischenräume in der Gicht für Versuch 3 bei etwa 50 % Überkorn geringer und in der Gicht für Versuch 4 bei ca. 16 % Überkorn unbedeutend. Die gemessenen Gichtvolumina von  $0,923 \text{ m}^3$ ,  $0,921 \text{ m}^3$ ,  $0,962 \text{ m}^3$  und  $0,997 \text{ m}^3$  bestätigen dies, wobei für den letzten Wert noch das niedrigere Schüttvolumen des kleinstückigen Kokeses zu beachten ist. Die Versuchsdaten in Tafel 6 entsprechen einerseits in den Versuchen 1 und 2 den Erfahrungen aus den Vorversuchen 1 - 3, andererseits in den Versuchen 3 und 4 den mit der Veränderung der Versuchsbedingungen beabsichtigten und erwarteten Ergebnissen. Die Vorversuche 4 - 7 können wegen der geringen Windmenge und höheren Sauerstoffkonzentration zu Vergleichen nicht herangezogen werden. Die geringen Schwankungen in den Stillstandszeiten sind betriebsbedingt und nicht auf irgendwelche Schwierigkeiten durch Sauerstoffanwendung zurückzuführen.

Die vor den Cowpern gemessene Gesamtmenge an Wind und zusätzlichem Sauerstoff gelangte, da die Trennwand zwischen beiden in einem Panzer vereinigten Winderhitzern undicht war, nicht restlos in den Ofen. Die effektiven Windmengen wurden daher wie in Tafel 5 über die Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen berechnet. Die Windtemperaturen und Sauerstoffkonzentrationen konnten über alle Versuche fast gleichmäßig gehalten werden. Im Versuch 2 steigt die Windaufnahme zunächst an, so daß bei der gegebenen Voraussetzung gleicher physikalischer Möllierung wie im Versuch 1 eine Beschleunigung des Ofenganges eintritt. Es muß daher angenommen werden, daß der Reibungswiderstand an der kleinen Oberfläche des Möllers gering und die Gasdurchlässigkeit noch groß genug waren, um das größere Gasvolumen die Beschickungssäule genügend schnell durchstreichen zu lassen. In den Versuchen 3 und 4 hingegen ist ein Rückgang der Windmenge festzustellen, obwohl das Lückenvolumen im Versuch 3 durch Senkung der Überkornanteile im Möller und im Versuch 4 durch zusätzliche Angleichung der Korngrößen des Kokeses gleichmäßiger gestaltet wurde. Durch die





Verteilnerung der Möller- und sodann der Koksstücke sind jedoch die Reaktionsoberfläche und dadurch der Reibungswiderstand zweimal vergrößert worden. Außerdem wurde in Versuch 4 die Zone der primären vollständigen Kohlenstoffverbrennung mit der größten Wärmeentwicklung auf einen engeren Raum vor den Blasformen zusammengezogen und hier das Gasvolumen und der Gasdruck stark erhöht. Die Werte der effektiven Windmenge entsprechen also den Versuchsbedingungen; auch die Windpressungen an den Blasformen stellen sich in normalen Verhältnissen auf die Windmenge ein. Die Zahl der täglichen Gichten stieg trotz Rückganges der Windaufnahme auch im Versuch 3 noch an, konnte allerdings im Versuch 4 nicht mehr gehalten werden. Die Gichtenzahl ist abhängig von der Menge verbrannten Kokes und vom Verhältnis Möller : Koks. Gegenüber Versuch 1 nehmen Koks- und Möllerdurchsatz im Versuch 2 infolge höheren Sauerstoffangebotes zu. Im Versuch 3 wurde mit der geringeren Menge Wind unbedeutend höherer Sauerstoffkonzentration auch weniger Sauerstoff in den Ofen geblasen, so daß der Koks-durchsatz etwas fällt. Da aber die Gicht 10 kg weniger Koks enthält als diejenige des Versuches 2, ist eine höhere Gichtenzahl zum Einbringen des zu verbrennenden Kokes erforderlich, so daß wegen des größeren Verhältnisses Möller : Koks der Möllerdurchsatz steigt. Im Versuch 4 wurde das Sauerstoffangebot nochmals verringert, weshalb der geringere Koks-durchsatz bei gleichem Verhältnis Möller : Koks auch eine Senkung des Möllerdurchsatzes bewirkt. An den Verhältnissen der Koks- und Möllermengen : erzeugtem Roheisen sind die Tendenzen des Koksverbrauchs/t Roheisen und des Möllerausbringens bereits sichtbar. Die Abhängigkeit der Roheisenproduktion und des Möllerausbringens vom Sauerstoffangebot und von der physikalischen Möllierung ist in Bild 10 dargestellt.

Die Entwicklung der Roheisenqualität deckt sich - mit Ausnahme des Verhaltens des Mangans im Versuch 2 - mit den erreichten Gestelltemperaturen und den durch Änderung der physikalischen Möllierung verbesserten Reduktionsbedingungen. Die ansteigenden Gestelltemperaturen, erkenntlich an den Roheisen- und Schlacken-temperaturen, bewirken eine höhere Siliziumreduktion und Entschwefelung. Der Abfall des Mangangehaltes ist wie in den Versuchen 2 und 3 auf zu geringe indirekte Reduktion des Eisens



zurückzuführen. Mit der Verkleinerung der Korngrößen tritt dann aber im Hauptversuch 3 eine vollständigere Manganreduktion ein, die im Versuch 4 durch größere Hitze im Gestell noch gefördert wird. Die Kohlenstoffgehalte zeigen eindeutige Abhängigkeit von der Manganreduktion. Auch in den Eisen- und Mangangehalten der Schlacken, deren Basizitäten nur wenig schwanken, ist die verbesserte Reduktion in den Versuchen 3 und 4 erkennbar, zumal die Schlackenmengen/t Roheisen wesentlich abnehmen.

Der Grad des Wärmeaustausches erfährt nach den Gichtgastemperaturen erst bei Einsatz vorbereiteter Möllers im Versuch 3 eine erhebliche Steigerung. Daß er im Versuch 4 abermals bedeutend zunimmt, entspricht der Erfahrung, daß bei Konzentration der Hitze in den unteren Ofenzonen die Gichtgastemperaturen sehr stark abnehmen, weil der Weg der Abkühlung der heißen Gase bis zur Gicht länger ist. Allerdings wurden die niedrigeren Gichtgastemperaturen der Vorversuche 4 - 7 nicht wieder erreicht, weil die Verweilzeit größerer Gasmengen im Ofen kürzer war. Wie aus den ansteigenden Kohlendioxydgehalten der Gichtgase ersichtlich ist, hat der Grad der indirekten Reduktion von Versuch zu Versuch zugenommen. Die größere Kohlenoxydausnutzung in den Versuchen 3 und 4 geht auch daraus hervor, daß die Kohlenoxydgehalte der Gichtgase gegenüber denen in Versuch 2 zurückgegangen sind. So haben schon nach den Versuchsdaten in Tafel 6 die Versuche 3 und 4 den Beweis erbracht, daß mit kleineren Korngrößen des Möllers bzw. zusätzlich des Kokes der Wärmeaustausch und die Reduktionen trotz der bei Sauerstoffanwendung größeren Gasvolumina und Gasgeschwindigkeiten außerordentlich gefördert werden können. Die Stoff- und Wärmebilanzen belegen die Ergebnisse eindeutig.

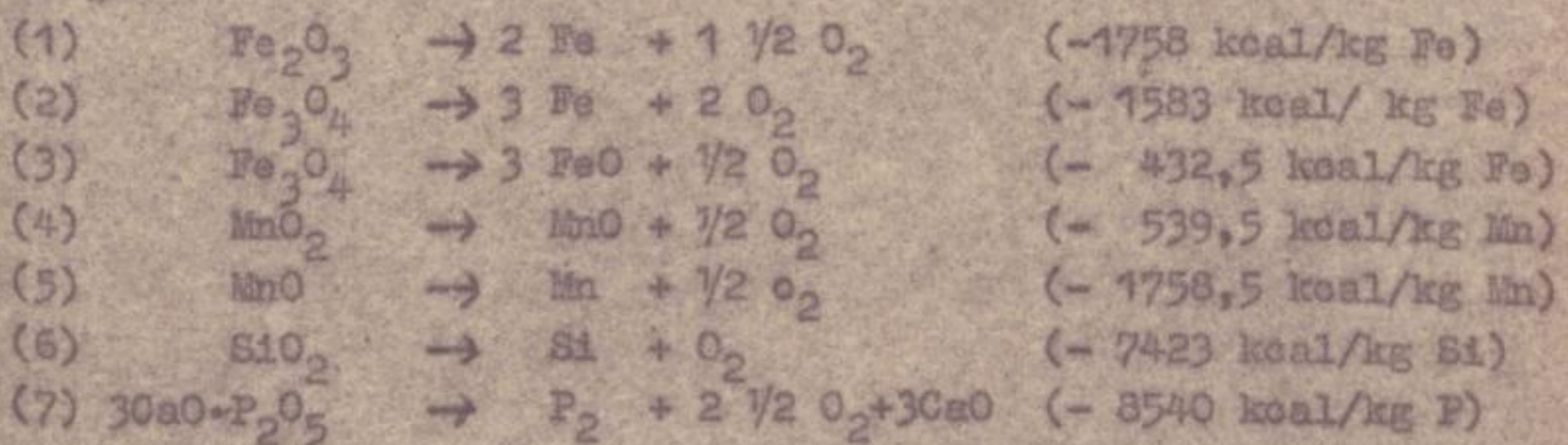
### 5.23 Stoffbilanzen

Um trotz starker Schwankungen in der Zusammensetzung der Einsatzstoffe reale Durchschnittsanalysen für die Berechnung des Stoffeinbringens zu erhalten, wurden von allen Stoffen laufend Proben genommen und Siebanalysen angefertigt, die einzelnen Kornklassen in Parallelbestimmungen analysiert und die Durchschnittsanalysen unter Berücksichtigung der Siebanalysen be-

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

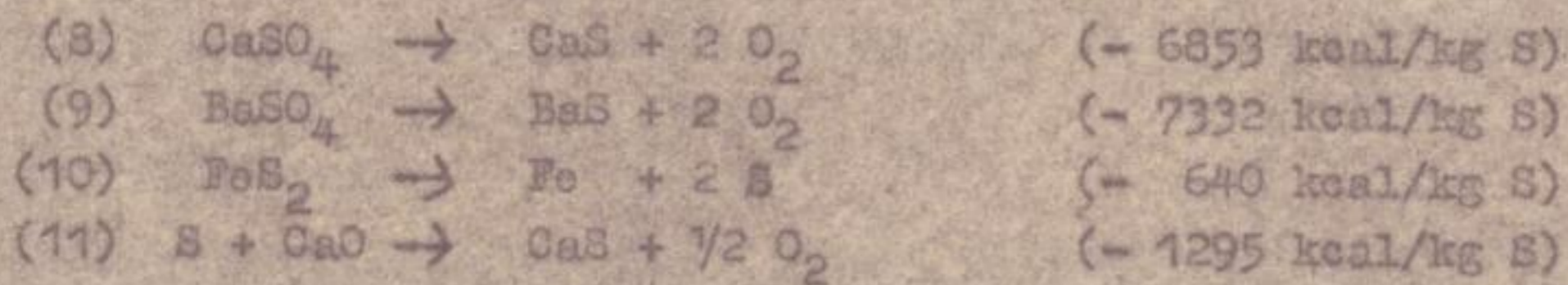
rechnet. Aus der chemischen Analyse ergaben sich auch die Anteile an verschiedenwertigem Eisen und Mangan sowie die Konstitution der Anionen auf der Basis von Phosphor und Schwefel. Mit Hilfe der Anionen und des Sauerstoffanteils als Differenz zu 100 % wurden sodann die Gehalte an Eisen- und Manganoxiden, Pyrit, Kalziumphosphat und Sulfaten der Einsatzstoffe berechnet. Die Gesamtkonstitution der Mälerstoffe, Kokssorten und der Gichten ist aus Tabelle 7 ersichtlich. Außer im Kohlenstoffgehalt stimmen diese in allen Komponenten, vor allem im Gesamtgehalt an Eisen und Mangan, sehr gut überein, womit eine der wichtigsten Bedingungen für eine vergleichende Auswertung der Versuche gegeben ist. Außerdem werden durch Schwankungen der Rohstoffanalysen hervorgerufene Abweichungen von der durchschnittlichen Gichtzusammensetzung erfahrungsgemäß durch hohe Gichtenzahlen je Versuch ausgeglichen.

In Tafel 8 werden zunächst die Stoffbilanzen auf der Grundlage der Versuchsdaten in Tafel 6 wiedergegeben. Aus den geringen Differenzen zwischen Ein- und Austragen kann einerseits gefolgert werden, daß die Probenahme für die Bestimmung realer Durchschnittsanalysen der Einsatzstoffe ausreichend war, andererseits muß berücksichtigt werden, daß die Schlacken am Ofen "Donauwörth" wegen des Abzugs in Kübeln trotz laufender Probenahme weder mengenmäßig noch in der Durchschnittsanalyse genau erfassbar sind, desgleichen die Änderungen der Feuchtigkeitsgehalte geprobten Gutes durch atmosphärische Einflüsse auf dem Transport zum Ofen. Daher werden den effektiven Stoffbilanzen theoretische Berechnungen des quantitativen Reaktionsablaufes gegenübergestellt, welche die Roheisenanalyse und die Zusammensetzung des trockenen Gichtgases zur Grundlage haben. Zunächst werden die Oxyde der Legierungselemente in die für das Roheisen erforderliche Menge an Elementen und in Sauerstoff nach folgenden Reaktionen zerlegt:

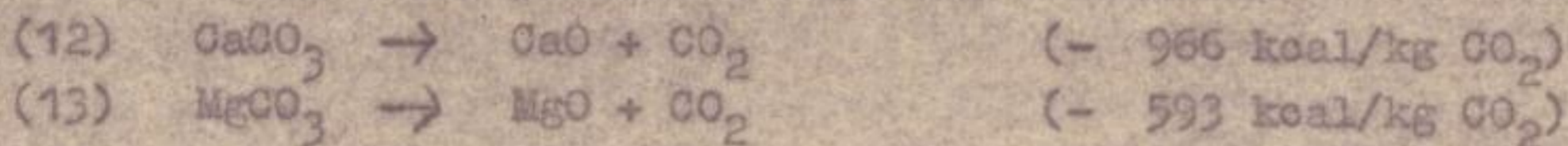




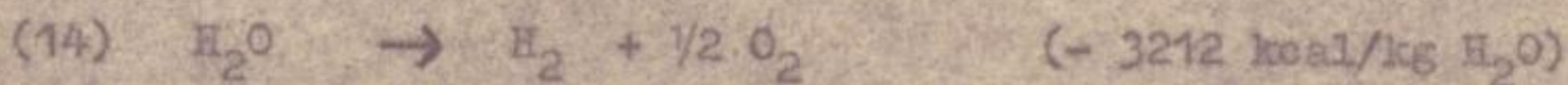
Als dann werden die aus der Dissoziation der Schwefelverbindungen anfallenden und bei der Entschwefelung reagierenden und entstehenden Stoffe nach folgenden Reaktionen berechnet:



Die Dissoziation der Karbonate nach den Reaktionen

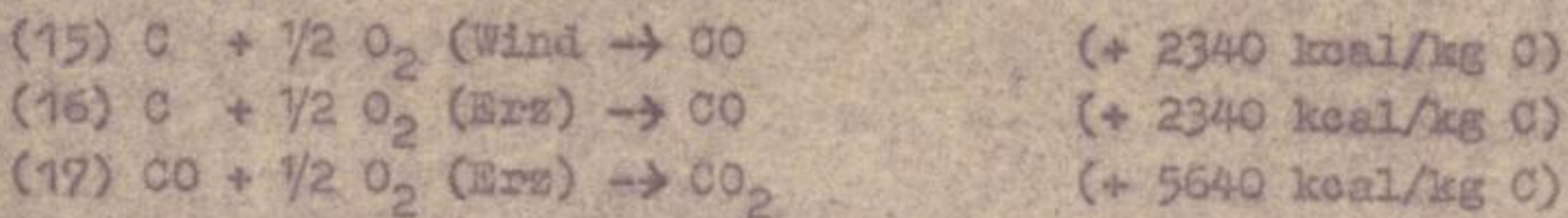


verläuft vollständig. Hingegen wird Wasserdampf nach der Reaktion

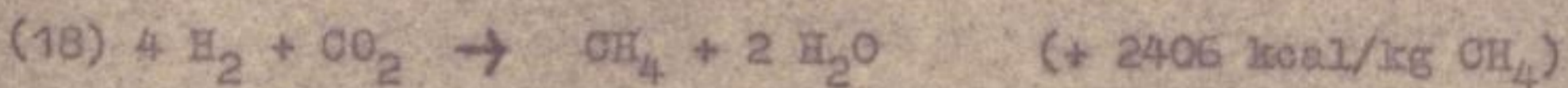


nur in derjenigen Menge zerlegt, die für den Gehalt an elementarem und gebundenem Wasserstoff in den Gichtgasen erforderlich ist.

Nach den Reaktionen



werden schließlich die Kohlenstoffverbrennung vor den Formen und die Oxydation des restlichen Kohlenstoffs durch Erzsauerstoff zu Kohlenoxyd sowie die Bindung des restlichen Sauerstoffs aus Oxyden durch Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd berechnet. Die Bildung von Methan in der nach der Gichtgasanalyse erforderlichen Menge vollzieht sich nach der Reaktion



Den in Tafel 8 durchgeführten Rechnungen und theoretischen Stoffbilanzen folgt eine Gegenüberstellung der theoretischen und praktischen Schlackenanalysen und Wasserdampfgehalte im Gichtgas. Die Differenzen in den Schlackenanalysen sind größenordnungsmäßig vertretbar. Die Unterschiede in den Wasserdampfgehalten der Gichtgase sind jedoch recht erheblich und offensichtlich durch Änderung der Feuchtigkeitsgehalte der Einsatzstoffe nach der

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.

Faint text at the bottom center, possibly a library stamp or page number.



Probenahme hervorgerufen. Da der Wärmeverbrauch für das Verdampfen der Koks- und Möllerfeuchtigkeit und für das Wärmeabführen durch Wasserdampf in den Wärmebilanzen erscheint, werden in diesen die gemessenen Feuchtigkeiten der Gichtgase berücksichtigt.

#### 5.24 Wärmebilanzen

Die Wärmebilanzen in Tafel 9 sind in Anlehnung an das von Ramm (23,24) entwickelte Schema aufgestellt. Danach wird die Wärmeaufnahme aus Kohlenstoff nicht nach den klassischen Verfahren, d.h. aus dem Gehalt der Gichtgase an Kohlenoxyd und durch Oxydation von Kohlenoxyd entstandenem Kohlendioxyd berechnet, sondern nach den Reaktionen 15 - 17 der theoretischen Stoffbilanzen aus der Verbrennung des Kohlenstoffs durch Windsauerstoff vor den Ferren, der Oxydation von Kohlenstoff durch Möllersauerstoff auf dem Wege der direkten Reduktion und aus der Oxydation von Kohlenoxyd durch Möllersauerstoff auf dem Wege der indirekten Reduktion. Diese Art der Berechnung setzt voraus, daß der aus Möllersauerstoffen abgespaltene Sauerstoff, wie es bei den Reaktionen 6 - 9, 11 und 14 geschehen ist, in der Stoffbilanz gesondert erfaßt wird. Sie erleichtert daher die Berechnung der direkten und indirekten Reduktion von Eisen und Mangan; und besonders für die Untersuchung der metallurgischen Vorgänge im Niederschachtofen, in dem wegen der Zusammendrängung der Reaktionen auf einen niedrigen Raum das Reduktions- und Wärmegechehen schwieriger zu erfassen ist als in dem langen Hochofenschacht, ist es zweckmäßig, in der Wärmebilanz die Wärmetönungen der Reduktionsvorgänge in Wärmeinnahmen aus der Oxydation von Kohlenstoff und Kohlenoxyd einerseits und Dissoziationswärmen, d.h. negative Bildungswärmen der Sauerstoffabspalter andererseits aufzugliedern und jene in die Wärmeaufnahme, diese in den Wärmeverbrauch aufzunehmen. Diese Methode gestattet eine theoretische Analyse des Einflusses der Sauerstoffanwendung auf die Reduktionsvorgänge.

Bei der Berechnung der Wärmeaufnahme ergibt sich der Wärmeinhalt des trockenen Windes jeweils nach der Formel

$$Q_W = (0,210-0,245) \cdot 0,343 + (0,790-0,755) \cdot 0,326 \text{ kcal/Nm}^3 \cdot \text{Nm}^3 \cdot \text{t}^\circ\text{C},$$

wobei wegen der geringen Abweichung der spezifischen Wärmen bei verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen vom Durchschnittswert

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

der Klammerwert  $C_{p_m}$  mit  $0,330 \text{ kcal/Nm}^3$  angesetzt wird. In die Wärmeeinnahme werden ferner der Wärmehalt der Windfeuchte und die Bildungswärme von Methan und Schlacke mit aufgenommen, letztere deshalb, weil Kalsium als Oxyd, Karbonat und Phosphat in den Einsatzstoffen vorliegt und der Wärmeverbrauch für deren Zersetzung in den Wärmeverbrauchsposten geführt wird.

Die Entwicklung der Wärmeeinnahme/t Roheisen über alle 4 Versuche zeigt folgende Merkmale:

Die absoluten und prozentualen Beträge der Wärmehalte des trockenen Windes und der Windfeuchte nehmen ab, da im Versuch 2 wegen der Sauerstoffanreicherung weniger Wind/kg Koks erforderlich ist und in den Versuchen 3 und 4 bei Senkung der Überkornanteile im Möller bzw. bei Einsatz kleinstückigen Kokes der Koksverbrauch sinkt. Der Wärmegewinn aus der Kohlenstoffverbrennung vor den Formen vergrößert sich im Versuch 2 infolge des höheren Koksverbrauches, sinkt aber dann entsprechend dem verminderten Koksverbrauch wieder ab. Dagegen steigen die Summen der Wärmeeinnahmen aus der Oxydation von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd und von Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd ständig an, da der Grad der indirekten Reduktion zunimmt und der Wärmeeffekt aus der Kohlendioxydbildung größer ist als der aus der Kohlenoxydbildung bei direkter Reduktion. Der positive Einfluß der kleinen Korngrößen von Möller bzw. Koks wirkt sich vor allem darin aus, daß im Versuch 3 der Wärmegewinn aus indirekter Reduktion überwiegt, im Versuch 4 noch ansteigt und daß der prozentuale Anteil des gesamten Wärmegewinns aus Kohlenstoff an der Gesamtwärmeeinnahme noch zunimmt. Hingegen haben die Methan- und Schlackenbildungswärme, rein prozentual gesehen, auf die Gesamtwärmeeinnahme keinen entscheidenden Einfluß. Bezeichnend ist, daß bis zum Versuch 4 die Wärmeeinnahme/t Roheisen um ca.  $300 \times 10^3 \text{ kcal}$  abnimmt, da der Wind- bzw. der Koksverbrauch/t Roheisen sinken.

Für die Entwicklung des Wärmeverbrauchs sind vor allem der ansteigende Wärmebedarf für die Dissoziation der Oxyde und die sinkende Wärmeabführung durch Gichtgas ausschlaggebend. Bei Einsatz vorbereiteter Möllers im Versuch 3 und sodann kleinstückigen Kokes im Versuch 4 ist zwar die Abnahme der Wärmeabführung durch Gichtgas wegen der abnehmenden Gichtgasmenge

5.2

am größten; die abgeführte Wärmemenge liegt aber noch sehr hoch. Die Wärmeverluste durch Kühlwasser und Abstrahlung steigen erheblich an, da die Beschickung durch größere Wärmeaufnahme aus den Gasen und aus erhöhter indirekter Reduktion heißer geworden ist und die Wärmeverluste nach den Gesetzen des Wärmeüberganges um so höher sind, je größer die Differenz zwischen der Temperatur im Ofen und der Außentemperatur bzw. der Anfangstemperatur des Kühlwassers ist. Es muß auch berücksichtigt werden, daß der Ofen bis zum Beginn der Versuche bereits 15 Monate, davon 9 Monate mit sauerstoffangereicherterem Wind, also bei höheren Gastemperaturen, in Betrieb und daher in der Zone der Formenkapellen fast vollständig von Mauerwerk entblößt war. Daß obendrein die Wärmeverluste durch Kühlwasser und Abstrahlung bei einem rechteckigen Ofen höher liegen als bei einem runden Ofen, ist auf die größere Panzerfläche zurückzuführen. Die Peripherie der Blasebene beträgt beim Ofen "Donauwörth" 15,4 m, bei einem runden Ofen gleichgroßer Blasebene hingegen nur 10,8 m, weshalb der runde Niederschachtofen, wärmetechnisch gesehen, dem rechteckigen vorzuziehen ist. Die ansteigenden Wärmeverluste bedeuten Entzug von Wärme aus dem metallurgischen Prozeß, die zur Verbesserung der Reduktionsbedingungen beitragen könnte, und verhindern eine weitere Koksersparung. Sie liegen beispielsweise im Versuch 4 um  $205,2 \cdot 10^3$  kcal/t Roheisen, d.h. um 5,5 % des gesamten Wärmegewinnes aus Kohlenstoff, höher als im Versuch 1; bei Vermeidung höherer Wärmeverluste hätte demnach der Koksverbrauch um etwa 100 kg niedriger gelegen.

#### 5.25 Berechnung und Diskussion von Kennwerten

In Tafel 10 werden zunächst die anteilmäßige Herkunft des indirekt und direkt gebundenen Sauerstoffs und die Reduktionsgrade bestimmt. Da die Überführung von Mangandioxyd in Manganoxydul schon im Schacht sehr leicht vonstattengeht, kann der hierbei dissoziierende vom gesamten an Kohlenoxyd gebundenen Sauerstoff abgesetzt werden. An den Werten für den aus Eisenoxyden stammenden Sauerstoff ist der Anstieg der indirekten Reduktion bereits erkennbar. Der aus Eisenoxyden direkt gebundene Sauerstoff ergibt sich als Differenz zwischen gesamtem und aus Manganoxydul, Siliziumdioxyd, Phosphat, Wasserdampf und Sulfaten stammendem Sauerstoff und nimmt von Versuch zu Versuch ab. An den Prozent-

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

werten der gesamten indirekten Reduktion ist eindeutig zu erkennen, daß die Sauerstoffanwendung ohne Veränderung der physikalischen Mällierung im Versuch 2 keine wesentliche Steigerung, bei Vorbereitung des Möllers im Versuch 3 eine spürbare und bei Einsatz kleinstückigen Kokes im Versuch 4 eine nochmalige Erhöhung der indirekten Reduktion bewirkt. Da das Mangan zu einem großen Teil als Mangandioxyd vorliegt, bewegen sich die Werte der indirekten Manganreduktion entsprechend den in Tafel 8 verzeichneten Einsätzen an Mangandioxyd ohne bedeutende Änderungen. Hingegen wird die anfänglich recht niedrige indirekte Reduktion der Eisenoxyde durch die Veränderung der physikalischen Möllier- und Koksbedingungen bedeutend gesteigert und dadurch die Kohlenoxydausnutzung verbessert. Nach der Kohlenstoffbilanz vermindern sich mit der Zunahme der indirekten Reduktion die prozentualen Anteile des Reduktionskohlenstoffs zugunsten der des Heizkohlenstoffs.

In Tafel 10 sind des weiteren die wichtigsten Versuchsergebnisse als Kennwerte zusammengestellt. Die Werte der Gestellbelastung, Durchsatzzeit und Ofenausnutzung können nur als Vergleichswerte angesehen werden, weil ihrer Berechnung die Ofendaten bei Neuzustellung zugrundegelegt wurden. Da die Innenmaße des Ofens nach 15 Monaten Betrieb größer geworden sind, liegen die wirklichen Werte der Gestellbelastung etwas tiefer, die der Durchsatzzeit und Ofenausnutzung etwas höher. Die Entwicklung der Leistungssteigerung zeigt im Kokeinsatz die Abhängigkeit vom Sauerstoffangebot, das in den letzten beiden Versuchen mit der Windmenge zurückging. Dagegen konnte der Möllereinsatz im Versuch 3 wegen des größeren Möllier-Koks-Verhältnisses nochmals gesteigert werden, so daß auch die Roheisenproduktion erhöht wurde. Im Versuch 4 wirkte sich dann der Rückgang der Windmenge Leistungsmindernd aus. Das Möllerausbringen zeigt über alle Versuche klare Abhängigkeiten vom Eisen- und Manganausbringen; daß es im Versuch 2 trotz besserer indirekter Reduktion abfällt, ist auf die geringere Reduktion von Eisen und Mangan bei schlechterem Wärmeübergang zurückzuführen, während die höhere indirekte Reduktion - auch im Gegensatz zum Vorversuch 2 - durch den Einsatz von Mangandioxyd bedingt ist. Durch Zusammenwirken von besserem Wärmeaustausch und höherer indirekter Reduktion sind denn in den Versuchen 3 und 4 die Ausnutzung

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.

UNIVERSITÄT FREIBERG  
BIBLIOTHEK



von Eisen und Mangan und das Möllerausbringen wieder gesteigert und der Koksverbrauch gesenkt worden.

Die Abhängigkeiten der Manganausnutzung sind in Bild 11 dargestellt. Bei Einsatz unvorbereiteter Eisenerze mit einem Anteil an Korngrößen bis 40 mm von nur 34,7 % bewirkt eine Erhöhung des Kohlenoxydangebotes von 6800 auf 8160 Nm<sup>3</sup>/h mangels genügenden Wärmeaustausches nur eine unbedeutende Senkung der noch vorwiegend direkten Eisenreduktion von 74,2 % auf 70,7 %. Die Verlagerung der Erhitzung der Eisenerze und der direkten Reduktion des Eisens in die unteren Ofenzonen erfordert dann hier große Wärmemengen, so daß die für eine gute Manganreduktion erforderliche Arbeitstemperatur nicht erreicht wird und bei Verkürzung der Durchsatzzeit von 2,82 auf 2,38 Stunden eine Verminderung des Manganausbringens von 51,0 % auf 47,4 % eintritt. Demgegenüber vollzieht sich beim Anteil an vorschriftsmäßigen Korngrößen der Eisenerze von 64,7 % in den Versuchen 3 und 4 eine wesentlich bessere Schachtarbeit, die trotz Absinkens des Kohlenoxydangebotes auf 8080 bzw. 7820 Nm<sup>3</sup>/h eine bedeutende Verminderung der direkten Eisenreduktion auf 53,0 % bzw. 46,8 % zur Folge hat. Für die direkte Reduktion des Mangans steht dann in Rast und Gestell, vor allem bei Einsatz von Brechkoks III, mehr Wärme zur Verfügung; das Manganausbringen erreicht trotz weiterer Verkürzung der Durchsatzzeit auf 2,27 bzw. 2,20 Stunden Werte von 52,6 % und 55,6 %. Somit ist nachgewiesen, daß das in den Vorversuchen 2 und 3 ständige und im Hauptversuch 2 bereits wieder eingetretene Absinken des Manganausbringens auf ungenügende Reduktion von Eisen im Schacht zurückzuführen ist und daß die Manganausnutzung durch Verbesserung der physikalischen Möllierung gesteigert werden kann.

Mit Ausnahme der Nutzwärme/kg C im Versuch 2 zeigen die Kennwerte der Wärmebilanzen mit zunehmender gesamter indirekter Reduktion einen allgemeinen Anstieg. Besonders in den Versuchen 3 und 4 nehmen der Wärmewert, die Ausnutzung der Wärmeenergie des Kohlenstoffs und auch die Nutzwärme/kg C entsprechend der Erhöhung der Kohlenoxydausnutzung und vor allem der indirekten Reduktion der Eisenoxyde um größere Beträge zu, woraus Ansätze einer positiven Einwirkung vorbereiteter Möller- und Brennstoffe auf die chemischen Reaktionen und den Wärmehaushalt des Ofens



abgeleitet werden können. Der Einfluß der Korngrößenzusammensetzung der Gichten auf die Brennstoffausnutzung ist in Bild 12 dargestellt. Infolge des geringen Anteils der Korngrößen bis 40 mm von 30,7 % beträgt die Nutzwärme/kg C beim Blasen mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes nur 2209 kcal, bei Sauerstoffanwendung sogar nur 2137 kcal. Die Ausnutzungsgrade des Kohlenoxyds liegen bei 5,2 % bzw. 5,5 %. Durch Möllervorbereitung und Verwendung von Brechkoks III, wodurch Anteile vorschriftsmäßiger Korngrößen in der Gicht von 49,6 % bzw. 83,9 % erreicht werden, ergeben sich Nutzwärmen von 2274 kcal bzw. 2322 kcal/kg C und Kohlenoxydausnutzungen von 8,2 % bzw. 9,3 %. Obwohl der Koksverbrauch bis um 130 kg/t Roheisen gesenkt wird, liegen die Ausnutzungsgrade der Wärmeenergien des Kohlenstoffes und die Wärmewirkungsgrade des Ofens, gemessen an Kennwerten von Hochöfen, um ca. 15 % zu niedrig, da noch zuviel Wärme durch das Gichtgas abgeführt wird und die Wärmeverluste durch Abstrahlung und Kühlwasser zu hoch sind. Der Wärmeaustausch und die indirekte Reduktion können zwar durch weitere Verringerung der Korngrößen noch gefördert werden, jedoch ist dann wegen größerer Reibung der Gase an der Reaktionsoberfläche mit einem weiteren Rückgang der Windmenge zu rechnen.

### 5.26 Windmenge und Gebläsekapazität

In Bild 13 ist die Abhängigkeit der Windpressung und der Windmenge vom Anteil der vorschriftsmäßigen Kornklassen in den Gichten dargestellt. Zunächst wurden die bei den Versuchen gemessenen Werte der Windpressung jeweils über den Anteilen der Korngrößen bis 40 mm im Koks, im Möller und in der Gicht aufgetragen. Aus den Kurven geht hervor, daß der Winddruck vor den Blasformen im Versuch 2, also bei Sauerstoffanwendung ohne vorbereiteten Möller und Koks, infolge besserer Windaufnahme und schnelleren Ofenganges zunächst abnimmt, daß er aber in den Versuchen 3 und 4 mit wachsendem Anteil der Korngrößen bis 40 mm ansteigt, weil sich der Reibungswiderstand durch Oberflächenvergrößerung erhöht; und zwar übt, wie aus der Lage der Kurven zueinander ersichtlich ist, die Vorbereitung des Möllers einen stärkeren Einfluß auf die Windpressung aus als der Einsatz von Brechkoks III. Dem Niederschachtofen "Donauwörth" ist ein Ventilator vorgeschaltet, dessen Drehzahl im allgemeinen konstant gehalten wird. Er

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

50

arbeitet dann mit einem Förderdruck und einem Fördervolumen, deren Koordinaten dem Schnittpunkt der Drosselkurve für diese Drehzahl mit der entsprechenden Kennlinie der Rohrleitung zugeordnet sind. Wächst bei Anwendung kleinerer Korngrößen der Widerstand der Rohrleitung, in die ja der Ofen mit einzubeziehen ist, so verläuft ihre Kennlinie nach der Bernoullischen Gleichung steiler und schneidet die Drosselkurve in einem Punkt, dessen Koordinaten höheren Förderdruck, aber geringeres Fördervolumen, d.h. höhere Windpressung und geringere Windmenge anzeigen. In Bild 13 sind dann die in den Hauptversuchen 1 - 4 gemessenen Werte des Winddrucks vor den Blasformen und der Windmenge in Abhängigkeit voneinander aufgetragen und der Verlauf der Drosselkurve des Ventilators bei konstanter Drehzahl ermittelt worden. Würden Gichten ohne Überkornanteile, aber mit stetig ansteigender Körnungskennlinie eingesetzt, so kann nach der Gichtkurve mit einer Windpressung von 139,7 mm Hg gerechnet werden. Nach der Drosselkurve wird dann nur eine Windmenge von 21 890 Nm<sup>3</sup>/h gefördert. Der Gefahr, daß dadurch die Ausnutzung des Ofenraumes erheblich absinkt, kann nur durch Vorschaltung eines Gebläses begegnet werden, das für höhere Förderdrücke ausgelegt ist. Hierfür kommt bis zu 18 000 Nm<sup>3</sup> Fördermenge ein Kapselgebläse, darüber hinaus ein mehrstufiger Verdichter in Frage.

Eine Abhängigkeit des Rückganges der Windaufnahme vom erhöhten Gasdruck im Unterofen konnte nicht bestimmt werden, weil der Energieverbrauch für die Turbulenz der Gase vor den Formen nicht bekannt war. Auch von der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten wurde abgesehen, da nur in ganz seltenen Fällen über den gesamten Ofenquerschnitt gleiche Gasgeschwindigkeit herrscht und der Druckabfall temperaturbedingt nicht linear verläuft. Außerdem wird der Gichtgasdruck im Niederschachtofen "Donauwörth" bei 240 mm WS etwa konstant gehalten.

#### 5.27 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Winderhitzer des Niederschachtofens "Donauwörth" arbeiteten zur Zeit der Versuche mit 31 - 33 % Windverlusten; außerdem wird mangels Gasreinigungsanlage das wertvolle Gichtgas abgeblasen. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ist jedoch nur dann sinnvoll wenn ihr normale Betriebsverhältnisse zugrundegelegt werden. Sie



wird daher unter den Voraussetzungen von 3 % Windverlusten, wie sie maximal im Hochofenbetrieb liegen, und einer Gichtgasverwertung durchgeführt. Die Verbrauchszahlen für Mällerstoffe und Koks wurden nach der Gichtenzahl/t Roheisen und der Gichtenzusammensetzung berechnet, die Heißwindmenge den Stoffbilanzen entnommen, gegebenenfalls in die Anteile an Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes und Sauerstoff vom Reinheitsgrad 98 % zerlegt und jedem Anteil 8 % zugeschlagen. Als Preise für die Einsatzstoffe sind die im Jahre 1956 gültigen Verrechnungspreise (einschließlich Frachtkosten) angesetzt worden. Die von der Abteilung Wirtschaftskontrolle angegebenen Verarbeitungskosten/t Roheisen wurden als Durchschnittswert des Zeitraumes April - September 1956 ermittelt und betragen - nach Abzug der Kosten für Heißwind und Sauerstoff sowie für Gichtgas aus der Ferngasleitung zu den Wind erhitzern - 103,95 DM bei einer durchschnittlichen Tagesproduktion von 82 t. Die täglichen Verarbeitungskosten von durchschnittlich 8523,90 DM wurden dann jeweils durch die in den einzelnen Versuchen täglich erzeugte Roheisenmenge dividiert und der Quotient als Verarbeitungskosten/t Roheisen in die Tafel 11 übernommen. Die Berechnung der Gasgutschrift erfolgte, da Gichtgase sehr unterschiedlichen Heizwertes vorliegen und die Höhe der Gasreinigungskosten noch nicht abzuschätzen sind, auf der Basis von Wärmeeinheiten im Rohgas. Dazu wurden zunächst die Differenzen zwischen den Gesamtwärmeeinheiten der Gichtgase ( $\text{Nm}^3/\text{t}$  Roheisen  $\cdot$  kcal/ $\text{Nm}^3$ ) und den Wärmebedarfen für die Aufheizung des Windes ( $\text{Nm}^3/\text{t}$  Roheisen  $\cdot$  330 kcal/ $\text{Nm}^3$ ) gebildet, wobei der Wärmebedarf von 330 kcal/ $\text{Nm}^3$  Wind, ein Erfahrungswert an den Hochofen-Cowpern, zumindest auch für den Doppelcowper des Niederschachtofens anwendbar ist; denn beim durchschnittlichen Wärmehalt von 253 kcal/ $\text{Nm}^3$  Wind ergibt sich der durchaus reale Wärmewirkungsgrad von 77,8 %. Die nicht für Aufheizung des Windes verwendeten Wärmeeinheiten im Gichtgas wurden, entsprechend dem auf der Maxhütte gültigen Preis von 4,12 DM für ca.  $10^6$  kcal, als Gasgutschrift verrechnet.

Zur Auswertung der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden zunächst die Kosten für die eingebrachten Stoffe herangezogen. Entsprechend den beschriebenen, in den Stoffbilanzen quantitativ erfaßten Abläufen der einzelnen Versuche ist im Versuch 2 eine Erhöhung der Ausgaben für Mällerstoffe und Koks eingetreten, während

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side of the leaf.



sich in den Versuchen 3 und 4 die vorteilhafte kleinere Mällung bzw. der kleinstückige Koks auch kostenmäßig positiv auswirken. Die Ausgaben für Heißwind sind hier durch geringeren Windbedarf bei niedrigerem Koksverbrauch/t Roheisen zwar zurückgegangen, aber der Sauerstoff belastet die gesamten Kosten so erheblich, daß der Aufwand für alle eingebrachten Stoffe den Wert des Vergleichsversuches 1 nicht mehr erreicht, was als Beweis für den viel zu hohen Sauerstoffpreis angesehen werden muß. Daß trotzdem in den letzten beiden Versuchen die Gesamtkosten gesunken sind, ist lediglich auf die Verteilung der Verarbeitungskosten auf eine höhere Produktion zurückzuführen. Bemerkenswert ist ferner, daß die Ausgaben für Wind und Sauerstoff durch die Gasgutschrift völlig gedeckt werden, obwohl diese in den Versuchen 3 und 4 wegen der durch höhere Kohlenoxydausnutzung sinkenden Heizwerte des Gichtgases geringer wird. Unter der Voraussetzung, daß bei höheren Gebläsedrücken die Windmenge konstant gehalten und die Produktion noch erhöht würde, könnten die spezifischen Verarbeitungskosten noch gesenkt und eine weitere Verbilligung des Endproduktes erreicht werden, sofern die Einsparung an Kosten für Mällerstoffe und Koks mindestens die gleichen bleiben, was bei entsprechender physikalischer Mällung angenommen werden kann. Für eine Regulierung des Sauerstoffpreises sei der Hinweis gegeben, daß zur Beibehaltung der Gesamtkosten für eingebrachte Stoffe im Versuch 4 die Ausgabe für Sauerstoff nur 11,47 DM betragen, d.h. 1 Nm<sup>3</sup> Sauerstoff nur 5,4 Pfennige kosten dürfte. Die Produktionskosten/t Roheisen lägen dann bei 303,63 DM, die Einsparungen gegenüber dem Betrieb ohne Sauerstoff bei ca. 5,3 %. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist nicht berücksichtigt, daß die Vorbereitung der Mällerstoffe zusätzliche Kosten verursacht, die aber durch eine finanziell vorteilhafte Verwertung der bisher auf die Halde gefahrenen Schlacken, z.B. durch Herstellung von Hüttenbims, gedeckt würden.



## 6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Sauerstoffanwendung werden dargelegt und durch Bildmaterial ergänzt.

Nach Bild 1 erhöht sich mit steigender Sauerstoffanreicherung des Windes die Rauchgasmenge/kg C im Verhältnis Wind : Rauchgas  $= 1 : (1 + 0,01 n)$  und der Kohlenoxydgehalt der Rauchgase nach dem Quotienten  $2 n : (1 + 0,01 n)$ , wobei  $n$  der Anreicherungsgrad in % ist. Nach Bild 2 - linke Seite - sinken bei gleichhaltener Gestellbelastung der Windbedarf und die Rauchgasmenge/kg C, so daß infolge geringerer Gasgeschwindigkeit der Wärmeübergang und die indirekte Reduktion zunehmen; daher ist, falls der Ofen nicht wegen zu stark vermindelter Gasmenge zur Kanal- und Ansatzbildung neigt, eine wesentliche Kokseinsparung und bei wachsendem Verhältnis M $\ddot{u}$ ller : Koks auch eine Leistungssteigerung zu erwarten. Andererseits wird nach Bild 2 - rechte Seite - je % Sauerstoffanreicherung einer gleichbleibenden Windmenge der Kohlenstoff- bzw. Koks-durchsatz um 4,76 % gesteigert; wegen der sich vergrößernden Gasmenge bzw. Gasgeschwindigkeit läßt sich aber eine bedeutende Koks-einsparung nur durch größtmögliche Ausnützung des Wärmeinhaltes und der Reduktionskraft der Gase bei geeigneter physikalischer M $\ddot{u}$ llierung erreichen. In jedem Falle tritt eine Verbesserung der Ofenausnützung ein. Nach Bild 3 steigen mit zunehmendem Sauerstoffgehalt des Windes die Temperaturen der Rauchgase, weil die Wärmeenergie/kg C von kleineren Gasmengen aufgenommen wird. Gegenüber dem Betrieb mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes wird Heizkohlenstoff eingespart. Infolge höherer Arbeitstemperatur kann mit basischerer Schlacke gearbeitet werden, wodurch das Metallausbringen gesteigert wird. Höhere Arbeitstemperaturen fördern die chemischen Reaktionen, insbesondere die direkte Reduktion, weshalb Sauerstoffanreicherung des Windes allgemein bei der Erzeugung von Ferrolegierungen zweckmäßig ist.

Die Vorteile der Sauerstoffanwendung werden durch Ergebnisse und Erfahrungen an Hoch- und Niederschachtofen belegt. Hohe Sauerstoffkonzentrationen ermöglichen die Erzeugung von Roheisensorten, die eine hohe direkte Reduktion erfordern, mit beträchtlicher Kokseinsparung; niedrige Sauerstoffanreicherungen führen bei der Herstellung von mittelheißen und kalten Roheisensorten, vor allem in Niederschachtofen, nur dann zu großer Kokseinsparung, wenn

simb...  
18 J. grad...

du  
de  
In  
Br  
s  
Gl  
ch  
vo  
re  
Re  
Re  
Ka  
"T  
de  
st  
K  
t  
de  
S  
u  
E  
o  
s  
d  
E  
H  
V  
V  
H  
C  
C  
H  
A  
e  
d

durch Einsatz vorbereiteten Möllers eine hohe indirekte Reduktion des Eisens und schnelle Abkühlung der Rauchgase gewährleistet ist.

In der Darlegung der Perspektiven der Sauerstoffanwendung bei der Erzeugung von Spiegeleisen im Niederschachtofen "Donauwörth" ergibt sich auf Grund einer Vergleichsrechnung, daß - nach Bild 4 - die Gichtgastemperatur von  $150^{\circ}\text{C}$ , d.h. die Grenze der Sauerstoffanreicherung bei Einsatz unverbeiteten Möllers bei 31 %, bei Verwendung von vorschrittmäßig zerkleinertem Einsatzgut bereits bei 25 % erreicht wird. Ohne Erhöhung des Gebläsedruckes ist dann wegen großen Reibungswiderstandes der Gase an der Reaktionsoberfläche mit einem Rückgang der Windaufnahme zu rechnen. Nach Erfahrungen mit Schlacken verschiedenen Tonerdegehaltes im Versuchsniederschachtofen "Kleiner Max" wird ein frühzeitiger Verschleiß des Mauerwerks in der Blasebene eintreten, da die Schlacke am Ofen "Donauwörth" höchstens 6 % Tonerde enthält.

Beim Betrieb des Ofens mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes beträgt die Manganausnützung nur 45 %, die Ausnützung der Wärmeenergie des Kohlenstoffs sogar nur 32 %, weil die Schachtarbeit infolge mangelhafter Möllervorbereitung unbefriedigend ist. Die Wirkung basischerer Schlacken auf das Manganausbringen wird eingengt, da in den unteren Ofenzonen zuviel Wärme für die hohe direkte Reduktion des Eisens verbraucht wird. Die geringe Brennstoffausnützung verbietet ohnehin eine Erhöhung der Schlackenmenge durch Steigerung der Basizität. Aus den Betriebswerten ergibt sich also zwecks Verbesserung des Manganausbringens und des Wärmehaushaltes die Notwendigkeit der Sauerstoffanwendung und der Möllervorbereitung.

Nach den Ergebnissen der Vorversuche führt die Sauerstoffanreicherung des Windes ohne Vorbereitung der Einsatzstoffe weder zu höherer Manganausnützung noch zu bedeutender Brennstoffeinsparung. In den Vorversuchen 1 - 3 verursacht die unzureichende physikalische Möllerrückung in Verbindung mit hohen Gasgeschwindigkeiten und der Verkürzung der Durchsatzzeit einen Anstieg der direkten Reduktion des Eisens, der eine rapide Abnahme des Manganausbringens und, trotz Zunahme der Rauchgastemperaturen, nur eine geringe Kokseinsparung zur Folge hat. Auch in den Vorversuchen 4 - 7 werden maximal nur 2,8 % Brennstoff eingespart, obwohl die Temperaturen der Rauchgase höher liegen und die Bedingungen für die indirekte Reduktion infolge geringerer Gas-



geschwindigkeiten, längerer Durchsatzzeiten, Einsatzes von Pyrolusit und etwas größeren Anteils vorschriftsmäßiger Korngrößen bessere sind. Mit steigender indirekter Reduktion des Eisens ist jedoch ein weniger starkes Absinken des Manganausbringens zu beobachten. Die den Anreicherungsgraden entsprechende Steigerung der Ofenleistung wird in den Vorversuchen 1 - 3 nicht erreicht, weil der Ofen bei gleichbleibendem Gebläsedruck nur ein begrenztes Gasvolumen aufnimmt, bei dessen Überschreiten die Windmenge um 3,9 % abgenommen hat. Dagegen ist in den Vorversuchen 4 - 7 eine Erhöhung der Windmenge um 5,2 % und, gemessen an einem vergleichbaren Produktionsabschnitt ohne Sauerstoffanwendung, eine Leistungssteigerung von 48,8 % und eine Koksersparung von 4,3 % eingetreten.

In den Hauptversuchen wird nachgewiesen, daß Menge und Qualität des erzeugten Roheisens sowohl vom Sauerstoffangebot als auch von der Korngröße der Einsatzstoffe abhängen. Bei Sauerstoffanwendung ohne Einsatz vorbereiteter Möllers steigt die Produktion zwar bedeutend an, das Ausbringen der Metalle ist aber gesunken, die maximale Produktion also nicht erreicht worden. Bei Verwendung vorbereiteter Möllers hingegen ist die Roheisenmenge trotz geringeren Sauerstoffangebotes weiter angestiegen, da das Eisen- und Manganausbringen sogar höher liegen als im Vergleichsversuch. Bei zusätzlichem Einsatz von Brechkoks III ist, obwohl das Sauerstoffangebot erheblich abnimmt, die Produktion durch nochmalige Steigerung des Metallausbringens nur unwesentlich verringert worden. Bis auf den Kohlenstoff- und Mangangehalt des Roheisens im Sauerstoffversuch ohne vorbereiteten Möllers zeigen alle Elemente eine sehr gleichmäßige, den Möllersbedingungen und Roheisentemperaturen entsprechende Entwicklung. Nach den Temperaturen und Kohlendioxydgehalten der Gichtgase setzt erhöhter Wärmeübergang und indirekte Reduktion, die bessere Kohlenoxydausnützung und Senkung des Koksverbrauchs bewirken, erst bei Verwendung vorbereiteter Möllers ein. Die Steigerung der indirekten Reduktion betrifft ausschließlich Eisenoxyde, womit sich die Bedingungen für die erhöhte direkte Manganreduktion verbessern; das Manganausbringen nimmt auch mit Verwendung vorbereiteter Einsatzstoffe zu. Die Kennwerte der Wärmebilanzen zeigen hier ebenfalls größeren Anstieg, liegen jedoch wegen noch vorhandener Überkornanteile im Möllers gegenüber Hochofenwerten zu niedrig.

In  
sa  
ti  
de  
ka  
d  
ge  
fe  
st  
Ko  
be  
ej  
Pr  
al  
ne  
Re  
da  
Sa  
1  
2  
3  
4  
5



In den beiden letzten Versuchen mit physikalisch verbesserten Einsatzgut wird trotz steigenden Möllerausbringens die maximale Produktion nicht erreicht, weil die Gebläsedrücke für die Konstanthaltung der Windmenge nicht ausreichen. Trotzdem ergibt die Wirtschaftlichkeitsberechnung hier die größten Einsparungen. Die Sauerstoffanwendung ohne Möllervorbereitung ist deshalb unwirtschaftlich, weil wegen Verminderung des Metallausbringens der Verbrauch an Möllersstoffen, wegen hoher direkter Reduktion der Koksverbrauch/t Roheisen ansteigt. Würde bei Einsatz von vorbereitetem Möller und kleinstückigem Koks die anfängliche Windmenge durch Vorschaltung eines Verdichters beibehalten, so könnte unter gleichen Möller- und Koksbedingungen eine Produktion von ca. 90 t/24 Stunden erzeugt werden. Die gesamten Produktionskosten lägen dann bei 309,80 DM, d.h. um 3,4 % niedriger als im Versuch mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes, jedoch immer noch unter der Voraussetzung des hohen Sauerstoffpreises. Bei einer Regulierung desselben auf 5,4 Pfennige/Nm<sup>3</sup> kostet eine t Roheisen dann 291,86 DM, was einer Einsparung von 9 % entspricht.

#### Schlußfolgerungen:

1. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird das Hauptziel der Sauerstoffanreicherung des Windes immer die maximale Ausnutzung der Ofenkapazität sein, die mit größtmöglichem Koksübersatz beginnt.
2. Es ist also durch Anreicherung einer konstanten Windmenge in der Höhe, wie sie beim Betrieb mit Wind natürlichen Sauerstoffgehaltes eingeblasen wird, für hohes Sauerstoffangebot zu sorgen und zur Vergrößerung der Reaktionsoberfläche Koks kleiner Kornklassen zu setzen.
3. Die mit der Sauerstoffanreicherung des Windes zunehmende Rauchgasmenge/Nm<sup>3</sup> Wind bedarf zur gleichmäßigen Durchströmung des gesamten Ofenquerschnitts zwecks Vermeidung von Kanal- und Ansatzbildung sowie von Hängeerscheinungen eines gleichmäßigen Lückenvolumens.
4. In die physikalische Möllierung, die durch enge Korngrenzen gekennzeichnet sein muß, ist der Koks mit einzubeziehen, da er etwa 50 Vol.-% der gesamten Beschickung ausmacht.
5. Die infolge höherer Temperaturen in den unteren Ofenzonen größere Ausdehnung der Rauchgase/Nm<sup>3</sup> Wind bedingt eine geringere Verweilzeit der Gase im Ofen; dazu kann durch schnelle Koksverbrennung



- eine erhebliche Verkürzung der Durchsatzzeit eintreten, die im Niederschachtofen an sich schon niedrig liegt.
6. Sowohl die hohe Gasgeschwindigkeit als auch die verkürzte Durchsatzzeit machen es erforderlich, den Wärmeübergang und die Reduktionsgeschwindigkeit durch entsprechend größere Oberfläche der Mälerstoffe und des Kokes zu verbessern.
  7. Nur durch kleine, weitestgehend angegliche Korngrößen von Koks und Mäler kann die Reduktionskraft und der Wärmehalt der größeren Gasmenge so ausgenutzt werden, daß das Mälerausbringen erhöht und Koks eingespart wird.
  8. Hierdurch ist es möglich, bei höheren Durchsätzen zu einer Leistungssteigerung zu gelangen.
  9. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß bei dem Einsatz der kleinen Korngrößen von Mäler und Koks und der Entwicklung hoher Temperaturen im Unterofen der Widerstand gegen die Gebläsewindmenge ansteigen und diese bei Ventilatoren sinken wird.
  10. Mit der Überwindung dieser Schwierigkeiten durch Anwendung hoher Gebläse drücke würden dann aber auch die Voraussetzungen für die Entwicklung eines mit sauerstoffangereichertem Wind betriebenen Hochdruckgichtgas-Niederschachtofens gegeben sein.
  11. Aus der Erfahrung, daß bei längerem Betrieb rechteckiger Öfen Deformationen des Ofenmantels eintreten, und zur Verhinderung derartiger Deformationen bei Hochdruckbetrieb wird vorgeschlagen, ein solches Aggregat auf rundem Querschnitt zu errichten.
  12. Gegenüber dem rechteckigen Niederschachtofen bringt diese Bauweise außerdem die Vorteile der kürzeren Zustellzeit und der besten Wärmehaltung mit sich, da der runde Ofen das günstigste Verhältnis Mantelfläche : Gestellfläche besitzt.
  13. Auf Grund bisheriger Erfahrungen aus Schüttversuchen an nachgebildeten Oberteilen der zurzeit betriebenen Öfen, die zur gleichmäßigen Ausbildung der Beschickungsoberfläche komplizierte Konstruktionen der Gichtglocken erfordern, würde auch die Gestaltung der Begichtungseinrichtung eines runden Aggregates einfacher zu lösen sein.
  14. Wahrscheinlich besteht auch die Möglichkeit, zur gleichmäßigen Windverteilung im Gestell mit einer geringeren Blasformanzahl



auszukommen, wodurch die Windverluste und die durch Formenschwierigkeiten hervorgerufenen Störzeiten auf normale Werte reduziert werden könnten.

15. Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens müßte ein solcher Ofen für eine Kapazität von ca. 500 t Roheisen/24 Stunden ausgelegt werden, was bei einem voraussichtlichen Koksverbrauch von 1,4 t/t Roheisen und einer Gestellbelastung von  $1000 \text{ kg/m}^2$  und h einen Durchmesser von 6 m erfordert.
16. Zur Schonung des Mauerwerks in den unteren Ofenzonen ist gleichzeitig der Zusatz von Wasserdampf vorzusehen.
17. Die mehr oder minder große Sauerstoff- bzw. Wasserdampfanreicherung des Windes läßt dann die Möglichkeit zu, alle Roheisensorten - von den Ferrolegierungen bis zum Thomasroheisen - im Niederschachtofen zu erschmelzen. Während die produktionssteigernde Wirkung des Sauerstoffzusatzes erhalten bleibt, fällt dem Wasserdampf nach Koppenberg und Wenzel (4) die Regulierung der Temperaturen in den unteren Ofenzonen zu. Besonders bei siliziumarmen Roheisensorten ist es zweckmäßig, mit wasserdampfanreichertem Wind zu arbeiten. Da 1 g Dampf/ $\text{Nm}^3$  Wind weniger Zersetzungswärme erfordert, als 1 % Sauerstoff/ $\text{Nm}^3$  Wind an Wärmeenergie aus Kohlenstoff den Rauchgasen zuführt, kann mit der Wasserdampfanreicherung des Windes eine Feinregulierung der Siliziumgehalte im Roheisen vorgenommen werden. Zu diesem Zweck sind jedoch häufige Messungen der Schlackentemperatur erforderlich. Die erhöhte Oxydationswirkung des Sauerstoffgehaltes im Dampf und die Dissoziationswärme sind bei der Regulierung zu berücksichtigen.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in approximately 25 horizontal lines across the page.

1. Lennings, W.: Die Verwendung von sauerstoffangereichertem Gebläsewind im Hochofenbetrieb. Stahl und Eisen 55 (1935), S. 533 - 544 und 565 - 572.
2. Durrer, R., Lwowycz, P. und Marincek, B.: Zur Verbrennung von Koks mit sauerstoffreichem Wind und ihre Auswirkung auf die Verhüttung. Arch. Eisenhüttenwes. 16 (1942/43), S. 329 - 332; vgl. Stahl und Eisen 63 (1943), S. 243.
3. Tischbain, J.R.: Einfluß der Anreicherung des Gebläsewindes mit Sauerstoff auf die Temperaturverteilung im Hochofen. Mitt.d. Akad.d.Wiss.d.UdSSR, techn. Abt., 1939, Nr. 1, S. 65 - 86.
4. Koppenberg, H. und Wenzel, W.: Die Sauerstoffmetallurgie der Schachtofenprozesse, Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1953.
5. Schmidt, E.: Einführung in die technische Thermodynamik, 5. Aufl. Springer-Verlag 1953.
6. Suslow, B.M.: Running iron blast furnace for ammonia manufacture. Iron Age 134 (1934) Nr. 4, S. 22 - 24; Metal Progr. 25 (1934), S. 40/41; vgl. Stahl und Eisen 55 (1935), S. 164/65.
7. Pawlow, M.A.: Anwendung sauerstoffangereichertem Gebläsewindes bei der Hochofenschmelze. Mitt.d.Akad.d.Wiss.d.UdSSR, techn. Abt., 1938, Nr. 7, S. 3 - 7.
8. Durrer, R.: Sauerstoff als Hilfsmittel bei den metallurgischen Verfahren. Stahl und Eisen 57 (1937), S. 1118/19 und 1201.
9. Ramm, A.N.: Einfluß der Sauerstoffkonzentration im Gebläsewind auf den Brennstoffverbrauch bei der Erschmelzung von Roheisen. Mitt.d.Akad.d.Wiss.d.UdSSR, techn. Abt., 1938, Nr. 7, S. 23 - 40
10. Hellbrügge, H.: Verhütten mit sauerstoffangereichertem Wind. Stahl und Eisen 69 (1949), S. 256 - 258.
11. Schumacher, H.: Aus dem Niederschachtofenbetrieb. Stahl und Eisen 73 (1953), S. 257 - 266.
12. Bulle, G.: Niederschachtofen. Blast Furnace and Steel Plant, XII/1953, S. 1429 - 1433.
13. Maloor, H.: The Low-Shaft Furnace. Iron and Coal Trades Review 1953, S. 253 - 258.





14. Bardin, I.P.: Die zukünftige Anwendung von Sauerstoff am Hochofen. Mitt.d.Akad.d.Wiss.d.UdSSR, techn.Abt., 1946.
15. Ljuban, A.P. und Leibowitsch, M.M.: Untersuchung der Bedingungen für die Reduktion von Mangan und Silizium. Mitt.d.Akad.d.Wiss.d.UdSSR, techn. Abt., 1938, Nr. 1, S. 53 ff.
16. Pechwisnew, N.N.: Der Hochofenbetrieb. VEB Verlag Technik Berlin 1954, S. 292/93.
17. Brückner, G.: Schlackenführung bei der Erzeugung von manganreichem Roheisen im Niederschachtofen. Neue Hütte 8 (1956), S. 449 - 456.
18. Pawlow, M.A.: Metallurgie des Roheisens, Band II, Der Hochofenprozess. VEB Verlag Technik Berlin 1952, S. 188 - 190.
19. a.a.O. S. 191.
20. a.a.O. S. 204.
21. Säuberlich, K.: Über die Verhüttung von Eisenerzen im Niederschachtofen. Metall. und Gießereitechn. 2 (1952), S. 139/40.
22. Säuberlich, K. und Baake, R.: Probleme der Roheisenerzeugung im Niederschachtofen. Metall. und Gießereitechn. 4 (1954), S. 55 - 60.
23. Ramm, A.N.: Komplexmethode zur Berechnung der Material- und Wärmebilanz der Hochofenschmelze. Arbeiten des Gipromes, staatl. Inst.f.die Proj. von Hüttenwerken, Bd. III, 1941, S. 38 - 47; vgl. M.A. Pawlow: Metallurgie des Roheisens, Bd. II, S. 523/24.
24. Ramm, A.N.: Stoff- und Wärmebilanzen des Hochofenprozesses, Verl.d.Lenigr. Techn. Hochschule, 1950; vgl. Pechwisnew: Der Hochofenbetrieb, S. 400 - 407.

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Verzeichnis der Anlagen

- |         |   |
|---------|---|
| Tafel 1 | Änderung der Verbrennungs- und Gasverhältnisse  |
| 2       | Änderung des Wärmehaushaltes  |
| 3       | Chemische Analysen der Einsatzstoffe  |
| 4       | Vorversuche:            Versuchsdaten   |
| 5       | "            :            Reduktionsgrade, CO-Ausnützung,<br>Kennwerte  |
| 6       | Hauptversuche:        Versuchsdaten   |
| 7       | "            :            chemische Konstitution der Einsatz-<br>stoffe und der Gichten   |
| 8       | "            :            effektive Stoffbilanzen, theoretische<br>Reaktionen und Stoffbilanzen,<br>theoretische und effektive Schlacken-<br>analysen und Feuchtigkeitsgehalte der<br>Gichtgase |
| 9       | "            :            Wärmebilanzen/t Roheisen  |
| 10      | "            :            Berechnung und Zusammenstellung von<br>Kennwerten   |
| 11      | "            :            Wirtschaftlichkeitsberechnung   |
- 
- |        |   |
|--------|---|
| Bild 1 | 1 Abhängigkeit des Verhältnisses Rauchgas : Wind und des<br>Kohlenoxydgehaltes der Rauchgase von der Sauerstoffkon-<br>zentration des Windes                      |
| 2      | Veränderung der Verbrennungs- und Gasverhältnisse bei<br>konstanter Kohlenstoffmenge und bei konstanter Windmenge   |
| 3      | Wärmeinhalte und Verbrennungstemperaturen der Rauchgase<br>/Nm <sup>3</sup> Wind in Abhängigkeit von der Vorwärmung und der<br>Sauerstoffkonzentration des Windes |
| 4      | Abhängigkeit des Wärmeverbrauches und der Gichtgastempe-<br>ratur vom Sauerstoffgehalt des Windes bei unvorbereitetem<br>und vorbereitetem Möller                 |

Bergakademie  
-Bücherl-  
Freiberg i. Sa.

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*

*[Faint, illegible text at the bottom of the page]*

## Vorversuche:

- Bild 5 Abhängigkeit der Durchsatzzeit von der Menge und dem Sauerstoffgehalt des Windes bzw. vom Sauerstoffangebot/h
- 6 Abhängigkeit der Gestellbelastung, der Roheisenproduktion und der Durchsatzzeit vom Sauerstoffangebot in den Vorversuchen 1 bis 3
- 7 Abhängigkeit der Gestellbelastung, der Roheisenproduktion und der Durchsatzzeit vom Sauerstoffangebot in den Vorversuchen 4 bis 7
- 8 Beziehungen zwischen Kohlenoxydangebot, direkter Eisenreduktion und Manganausbringen bei veränderter Durchsatzzeit

## Hauptversuche:

- 9 Körnungskennlinien der Einsatzstoffe
- 10 Beziehungen zwischen Roheisenproduktion, Möllerausbringen und Sauerstoffangebot bei verschiedener Kornverteilung im Møller
- 11 Einfluß des Kohlenoxydangebotes und der Korngrößen der Eisenerze auf die Reduktion des Eisens und Abhängigkeit des Manganausbringens von der Eisenreduktion bei verschiedener Durchsatzzeit
- 12 Abhängigkeit des Koksverbrauches, der Kohlenoxydausnützung und der Nutzwärme/kg C vom Anteil der Korngrößen  $< 40$  mm in der Gicht
- 13 Abhängigkeit der Windpressung und der Windmenge von der Kornverteilung im Møller









Tafel 1

Aenderung der Verbrennungs- und Gasverhältnisse

% Sauerstoff im Wind	Rauchgas		Gebläsewind		Rauchgas		Kohlenstoffverbrennung	
	: Wind	% CO	Nm <sup>3</sup> /kgC	%	Nm <sup>3</sup> /kg C	%	kg/1000 Nm <sup>3</sup>	%
	1	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b
21	1,21:1	34,71	4,443	100,00	5,376	100,00	225,07	100,00
22	1,22:1	36,07	4,241	95,45	5,174	98,24	235,79	104,76
23	1,23:1	37,40	4,056	91,29	4,989	92,80	246,50	109,52
24	1,24:1	38,71	3,883	87,51	4,821	89,68	257,22	114,29
25	1,25:1	40,00	3,714	83,59	4,674	86,94	267,94	119,05
26	1,26:1	41,27	3,589	80,78	4,522	84,11	278,66	123,81
27	1,27:1	42,52	3,456	77,79	4,389	81,64	289,37	128,57
28	1,28:1	43,75	3,332	74,99	4,265	79,33	300,09	133,33
29	1,29:1	44,96	3,217	72,41	4,150	77,19	310,81	138,09
30	1,30:1	46,15	3,110	70,09	4,043	75,20	321,53	142,86
31	1,31:1	47,33	3,010	67,75	3,943	73,34	332,24	147,62
32	1,32:1	48,48	2,916	65,63	3,849	71,60	342,96	152,38
33	1,33:1	49,62	2,827	63,63	3,760	69,94	353,68	157,14
34	1,34:1	50,75	2,744	61,76	3,677	68,40	364,40	161,90
35	1,35:1	51,85	2,666	60,00	3,595	66,87	375,11	166,67
36	1,36:1	52,94	2,592	58,34	3,525	65,57	385,83	171,43
37	1,37:1	54,01	2,522	56,76	3,455	64,27	396,55	176,19
38	1,38:1	55,07	2,455	55,26	3,388	63,02	407,27	180,95
39	1,39:1	56,12	2,392	53,84	3,325	61,85	417,98	185,71
40	1,40:1	57,14	2,333	52,51	3,266	60,75	428,70	190,47
45	1,45:1	62,07	2,073	46,66	3,006	55,92	482,29	214,28
50	1,50:1	66,66	1,866	42,00	2,799	52,06	535,88	238,09
55	1,55:1	70,97	1,696	38,17	2,629	48,90	589,46	261,90
60	1,60:1	75,00	1,555	35,00	2,488	46,28	643,05	285,71
65	1,65:1	78,79	1,434	32,28	2,368	44,05	696,64	309,52
70	1,70:1	82,35	1,333	30,00	2,266	42,15	750,23	333,33
75	1,75:1	85,71	1,244	28,00	2,177	40,49	803,81	357,14
80	1,80:1	88,89	1,166	26,24	2,099	39,04	857,40	380,95
85	1,85:1	91,89	1,098	24,71	2,031	37,78	910,99	404,76
90	1,90:1	94,74	1,037	23,34	1,970	36,64	964,58	428,56
95	1,95:1	97,44	0,982	22,10	1,915	35,62	1018,16	452,37
100	2,00:1	100,00	0,933	21,00	1,866	34,71	1071,75	476,18

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.Zu:  
59. 1702/13  
40

Universitätsbibliothek  
Freiberg

Tafel 2  
Änderung des Wärmehaushalts

% Sauerstoff	Änderung des Wärmehaushalts						%	%	m <sup>3</sup>	Stickgas g/m <sup>3</sup>	°C	
	Q <sub>1</sub> kcal	Q <sub>2</sub> kcal	Q <sub>3</sub> kcal	Q <sub>4</sub> kcal	Q <sub>5</sub> kcal	Q <sub>6</sub> kcal						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
unvorbereiteter Möllor	21	250,47	705,01	39,84	995,32	816,16	179,16	82,0	18,0	0,326	1,350	407
	22	250,60	721,56	41,31	1024,29	856,57	167,72	83,6	16,4	0,324	1,367	379
	23	250,73	758,75	43,78	1053,26	896,98	156,28	85,2	14,8	0,322	1,384	351
	24	250,86	785,62	45,75	1082,23	937,39	144,84	86,6	13,4	0,320	1,401	331
	25	250,99	812,49	47,72	1111,20	977,80	133,40	88,0	12,0	0,318	1,418	296
	26	251,12	839,36	49,69	1140,17	1018,21	121,96	89,3	10,7	0,316	1,435	269
	27	251,25	866,23	51,66	1169,14	1058,62	110,52	90,5	9,5	0,314	1,452	242
	28	251,38	893,10	53,63	1198,11	1099,03	99,08	91,7	8,3	0,312	1,469	216
	29	251,51	919,97	55,60	1227,08	1139,44	87,64	92,8	7,2	0,310	1,486	190
	30	251,64	946,84	57,57	1256,05	1179,85	76,20	93,9	6,1	0,308	1,503	165
	31	251,77	973,71	59,54	1285,02	1220,26	64,76	95,0	5,0	0,306	1,520	139
	32	251,90	1000,58	61,51	1313,99	1260,67	53,32	96,0	4,0			
	33	252,03	1027,45	63,48	1342,96	1301,08	41,88	96,9	3,1			
	34	252,16	1054,32	65,45	1371,93	1341,49	30,44	97,8	2,2			
	35	252,29	1081,19	67,42	1400,90	1381,90	19,00	98,7	1,3			
	36	252,42	1108,06	69,39	1429,87	1422,31	7,56	99,5	0,5			
	37	252,55	1134,93	71,36	1458,84	1462,72	- 3,88	100,3	- 0,3			
% von Anfangswert		100,8	161,0	179,1	199,6	179,2	- 2,2					
vorbereiteter Möllor	21	250,47	736,90	42,11	1029,48	892,56	136,92	86,7	13,3	1,350	0,311	326
	22	250,60	766,23	44,51	1061,34	943,43	117,91	86,9	11,1	1,367	0,310	279
	23	250,73	795,56	46,91	1093,20	994,30	98,90	91,0	9,0	1,384	0,309	231
	24	250,86	824,89	49,31	1125,06	1045,17	79,89	92,9	7,1	1,401	0,308	185
	25	250,99	854,22	51,71	1156,92	1096,04	60,88	94,7	5,3	1,418	0,307	140
	26	251,12	883,55	54,11	1188,78	1146,91	41,87	96,5	3,5			
	27	251,25	912,88	56,51	1220,64	1197,78	22,86	98,1	1,9			
	28	251,38	942,21	58,91	1252,50	1248,65	3,85	99,7	0,3			
	29	251,51	971,54	61,31	1284,36	1299,52	- 15,16	101,2	- 1,2			
% von Anfangswert		100,4	131,8	145,6	124,8	145,6	- 11,07					

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa. 20:  
57. 1702/3

4<sup>a</sup>



**SLUB**

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



Tafel 3  
Chemische Analysen der Einsatzstoffe

	% Feuchtigkeit		Asche	flüssige Bestandteile						C	S	Hinweis in	
												Vorversuch Nr.	Hauptversuch Nr.
Steinkohlens кокс von Zwickau	10,90		11,79							74,78	1,83	1 - 3	
	6,45		12,32							78,37	1,34	4 - 7	
	6,53		12,80							79,17	0,67		1 - 3
	8,60		11,81							77,57	0,80		4
	% Fe	Mn	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	NaSO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O			
Ers von Büchenberg	22,82	0,36	0,09	29,77	3,42	13,70	1,38		14,38	1,2	1 - 3		
	24,05	0,30	0,15	20,33	1,60	19,83	1,04		13,05	0,9	4 - 7		
Braunesumpf-Ers	20,50	0,48	0,12	25,09	2,50	21,52	1,71		16,63	0,4		1 - 4	
Schmalkaldener Marmelers	28,45	4,09	0,03	8,92	1,45	3,22	1,77	20,39	8,76	7,3	1 - 3		
	28,66	3,72	0,02	10,59	0,97	4,42	1,57	23,60	9,15	8,2	4 - 7		
	27,06	4,03	0,02	6,61	0,95	4,54	1,08	31,18	6,25	5,7		1 - 4	
Ferromanganschlacke	0,47	28,57	0,04	30,01	5,39	24,80	2,10			0,6	1 - 3		
	1,10	27,26	0,05	27,16	2,78	26,97	1,87			0,2	4 - 7		
	2,07	23,59	0,06	29,50	3,01	30,93	1,99			0,3		1 - 4	
Mangners Nikopol II Tschilatory IV	2,26	43,13	0,13	20,12	2,30	3,31	1,82		1,27	16,8	4 - 7		
	3,32	32,65	0,04	20,70	1,83	4,39	0,35		3,73	12,5		1 - 4	
Kalkstein von Opitz				0,59	0,60	48,28	6,86		43,07	0,4	1 - 3		
				0,93	0,34	48,82	3,33		45,87	0,8	4 - 7		
				1,31	0,55	47,24	3,08		40,38	0,6		1 - 4	
Dolomit von Wilschardorf				2,64	0,20	28,73	20,94		45,51	0,3	1 - 3		
				2,08	1,05	28,32	21,45		45,69	0,7	4 - 7		
				2,17	0,81	32,82	17,60		46,95	0,4		1 - 4	
Kalksinter	70,54	0,77	0,04								1 - 3		
	70,12	0,52	0,04								4 - 7		
	68,28	0,99	0,05									1 - 4	
Späseschrott	97,16	0,81	0,60								1 - 3		
	90,42	0,50	0,29								4 - 7		
	93,50	0,75	0,37									1 - 4	
Koksasche	23,23	0,42	0,30	35,20	21,55	5,72	2,25				1 - 3		
	22,09	0,41	0,21	32,78	20,04	5,43	1,11				4 - 7		
	22,95	0,42	0,28	33,44	19,51	5,39	2,89					1 - 3	
	22,27	0,33	0,16	36,33	19,39	5,69	2,03					4	

Bergakademie  
Bücherei  
Freiberg i. Sa.

Bergakademie  
Bücherei  
Freiberg i. Sa.

Zu:  
61. 1702/3

4





**SLUB**

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



Tafel 4

Vorversuch: Versuchsdaten

Vorversuch Nr.		1	2	3	4	5	6	7
Ausgewertete Tage		7	6	5	5	5	6	6
Stillstandszeit	%	0,2	1,1	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8
Heißwind	$\text{Nm}^3 \cdot 10^3 / \text{h}$	17,17	16,77	16,52	10,97	11,14	11,25	11,54
Druck an den Formen	mm Hg	115	118	127	78	79	81	82
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	732	716	764	780	784	781	776
freier Sauerstoff	Vol.-%	21,0	23,1	24,2	24,7	26,1	27,0	28,2
Windfeuchtigkeit	$\text{g}/\text{Nm}^3$	6,2	5,6	6,0	12,6	13,4	13,2	14,0
Gesamtsauerstoff	$\text{g}/\text{Nm}^3$	305,6	335,1	351,2	364,2	384,9	397,6	415,4
Gichtgewicht	kg	1160	1173	1201	1014	1008	1004	1003
Zwickauer Koks	kg	410	400	411	346	342	340	339
Möller	kg	750	773	790	668	666	664	664
Erz von Büchenberg	kg	310	310	310	240	240	240	240
Moumlers	kg	50	50	50	44	44	44	44
Ferromanganschlacke	kg	110	117	132	52	52	52	52
Manganerz	kg				60	60	60	60
Kalkstein	kg	51	61	63	62	61	60	60
Dolomit	kg	94	100	100	94	93	92	92
Walzsinter	kg	50	50	50	56	56	56	56
Späneschrott	kg	85	85	85	60	60	60	60
Fe-Gehalt	kg	214,6	214,3	214,7	174,3	174,2	174,1	174,1
Mn-Gehalt	kg	35,9	37,9	42,2	43,2	43,2	43,2	43,2
Verhältnis Mn:Fe	1:	5,98	5,65	5,09	4,03	4,03	4,03	4,03
CO <sub>2</sub> -Gehalt	kg	113,7	120,7	121,6	119,2	118,3	117,4	117,4
Verhältnis Koks : Möller	1:	1,829	1,932	1,922	1,931	1,947	1,953	1,959
Gichtvolumen	$\text{m}^3$	1,06	1,06	1,07	0,91	0,90	0,90	0,90
Gichten	/24 h	369	416	423	315	339	355	373
Kokseinsatz	t/24 h	151,3	166,4	173,6	109,0	115,9	120,7	126,4
Möllereinsatz	t/24 h	277,8	321,6	334,2	210,4	225,8	235,7	247,7
Roheisenproduktion	t/24 h	84,69	95,20	97,73	60,41	65,16	68,32	72,45
Roheisenanalyse								
C	%	4,13	4,13	4,00	4,28	4,18	4,22	4,11
Si	%	1,32	1,02	0,90	0,74	0,85	0,86	0,96
Mn	%	7,74	7,10	6,25	10,58	9,77	9,14	8,98
P	%	0,23	0,24	0,33	0,25	0,26	0,23	0,27
S	%	0,018	0,021	0,024	0,014	0,013	0,014	0,011
Schlacke (theoretisch)	t/tRE	1,69	1,75	1,80	1,61	1,61	1,61	1,60
Fe-Gehalt	%	0,62	0,82	0,81	0,74	0,56	0,51	0,47
Mn-Gehalt	%	4,32	4,98	5,99	5,71	5,66	5,98	6,12
Basisität	p	1,22	1,18	1,20	1,29	1,33	1,30	1,35
Gichtgastemperatur	$^{\circ}\text{C}$	494	423	370	362	311	263	250
Gichtgasanalyse								
CO <sub>2</sub>	%	4,5	5,0	5,0	6,1	6,4	6,8	7,0
CO	%	35,7	38,9	40,6	39,8	41,1	41,7	42,5
CH <sub>4</sub>	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
H <sub>2</sub>	%	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	1,2
Heizwert	kcal/ $\text{Nm}^3$ tr.	1124	1151	1274	1254	1279	1305	1328
Korngrößenanteile	mm	0-5	5-40	40-80		0-5	5-40	40-80
Erz von Büchenberg	Gew.-%	1,9	29,7	68,4		2,8	31,5	65,7
Moumlers	"	7,4	41,5	51,1		9,7	45,0	45,3
Ferromanganschlacke	"	2,4	41,3	56,3		1,7	52,3	46,0
Manganerz Nitopol	"					36,6	59,6	3,8
Kalkstein	"	2,0	66,0	32,0		5,3	28,7	66,0
Dolomit	"	2,5	64,4	33,1		2,6	79,2	18,2
Walzsinter	"	51,4	48,6	-		43,1	56,9	-
Zwickauer Koks	"	-	-	100,0		-	-	100,0

Zu:  
57. 1102/3  
4°  
Bergakademie  
Freiberg i. Sa.

LIBRARY  
UNIVERSITY OF  
FREIBERG





Zu:  
 57.7102/3  
 4.  
 Bergakademie  
 -Bücherei-  
 Freiberg i. Sa.

Tafel 5

Vorversuche: Reduktionsgrade, CO-Ausnützung, Kennwerte

Vorversuch Nr.		1	2	3	4	5	6	7
<u>Berechnung der Reduktionsgrade</u>								
Koksdurchsatz	t	149,79	164,74	171,86	107,91	114,74	119,49	125,14
C-Gehalt	t	112,01	123,19	128,52	84,57	89,92	93,64	98,07
- C im Roheisen	t	3,50	3,93	3,91	2,59	2,72	2,88	2,97
= C für Verbrennung und indirekte Reduktion	t	108,51	119,26	124,61	81,98	87,20	90,76	95,10
+ C aus Karbonaten	t	11,44	13,69	14,03	10,24	10,94	11,37	11,94
= C im Gichtgas	t	119,95	132,95	138,64	92,22	98,14	102,13	107,04
: C-Gehalt des Gichtgas	g/Nm <sup>3</sup>	215,61	235,45	244,57	246,21	254,79	260,16	264,99
= Gichtgas	Nm <sup>3</sup>	556,33	564,66	566,86	374,56	385,18	392,56	403,93
: Verhältnis Heißwind:Gichtgas	1:	1,35	1,403	1,430	1,423	1,441	1,454	1,459
= Heißwind	Nm <sup>3</sup>	412,10	402,46	396,41	263,22	267,30	269,99	276,85
x O <sub>2</sub> -Gehalt des Heißwindes	g/Nm <sup>3</sup>	305,6	335,1	351,2	364,2	384,9	397,6	415,4
= " " "	t	125,94	134,87	139,22	95,87	102,89	107,35	115,01
CO <sub>2</sub> -Gehalt des Gichtgases	g/Nm <sup>3</sup>	88,97	99,09	98,85	120,60	126,53	134,44	138,39
= " " "	t	49,50	55,95	56,04	45,17	48,74	52,77	55,90
- CO <sub>2</sub> aus Karbonaten	t	41,96	50,21	51,44	37,55	40,10	41,63	43,79
= CO <sub>2</sub> aus indirekter Reduktion	t	7,54	5,74	4,60	7,62	8,64	11,09	12,11
O <sub>2</sub> -Gehalt des Gichtgases	g/Nm <sup>3</sup>	319,61	349,65	361,79	371,89	384,49	395,33	403,40
= " " "	t	177,81	197,44	205,09	139,30	148,10	155,27	162,95
- O <sub>2</sub> aus Heißwind	t	125,94	134,87	139,22	95,87	102,89	107,35	115,01
- O <sub>2</sub> aus Karbonaten	t	30,52	36,52	37,41	27,31	29,16	30,31	31,85
= O <sub>2</sub> aus Erzen	t	21,35	26,05	28,36	16,12	16,05	17,61	16,09
- O <sub>2</sub> aus indirekter Reduktion	t	2,74	2,09	1,67	2,77	3,14	4,03	4,40
= O <sub>2</sub> aus direkter Reduktion	t	18,61	23,96	26,69	13,35	12,91	13,58	11,69
Indirekte Reduktion	%	12,83	8,02	5,89	17,18	19,56	22,88	27,35
direkte Reduktion	%	87,17	91,98	94,11	82,82	80,44	77,12	72,65
<u>Berechnung der CO-Ausnützung</u>								
CO für indirekte Reduktion (7/4 x O <sub>2</sub> aus ind.Red.)	t	4,795	3,658	2,923	4,848	5,495	7,053	7,700
x 100								
: CO im Verbrennungsgas (7/4 x O <sub>2</sub> im Heißwind)	t	220,40	236,02	243,63	167,77	180,06	187,86	201,27
= CO-Ausnützung	%	2,18	1,55	1,20	2,89	3,05	3,75	3,83
<u>Kennwerte</u>								
Sauerstoffangebot	Nm <sup>3</sup> /h	3672	3932	4059	2795	3000	3130	3354
Gestellbelastung	kg/m <sup>2</sup> .h	670	737	769	494	513	535	560
Durchsatzzeit	h	2,54	2,25	2,19	3,47	3,26	3,11	2,96
Ofenausnützung	m <sup>3</sup> /tRE	1.24h 0,59	0,52	0,51	0,83	0,77	0,73	0,69
<u>Leistungssteigerung</u>								
Kokseinsatz	%	-	10,0	14,7	-	6,3	10,7	16,0
Möllereinsatz	%	-	15,8	20,3	-	7,3	12,0	17,7
Roheisenproduktion	%	-	12,4	15,4	-	7,9	13,1	19,4
Möllerausbringen	%	30,5	29,6	29,2	28,7	28,9	29,0	29,1
Fe-Ausbringen	%	92,6	93,4	95,2	92,6	93,7	94,5	95,3
Mn-Ausbringen	%	49,5	42,9	34,2	48,7	45,0	42,2	41,7
Indirekte Reduktion	%	12,8	8,0	5,9	17,2	19,6	22,9	27,4
CO-Ausnützung	%	2,18	1,55	1,20	2,89	3,05	3,75	3,83
Koksverbrauch	t/GRE	1,79	1,75	1,78	1,80	1,78	1,77	1,75
Kokseinsparung	%	-	2,2	0,6	-	1,1	1,7	2,8

Bergakademie  
 -Bücherei-  
 Freiberg i. Sa.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG  
TU BERGAKADEMIE

Tafel 6

Hauptversuche: Versuchsdaten

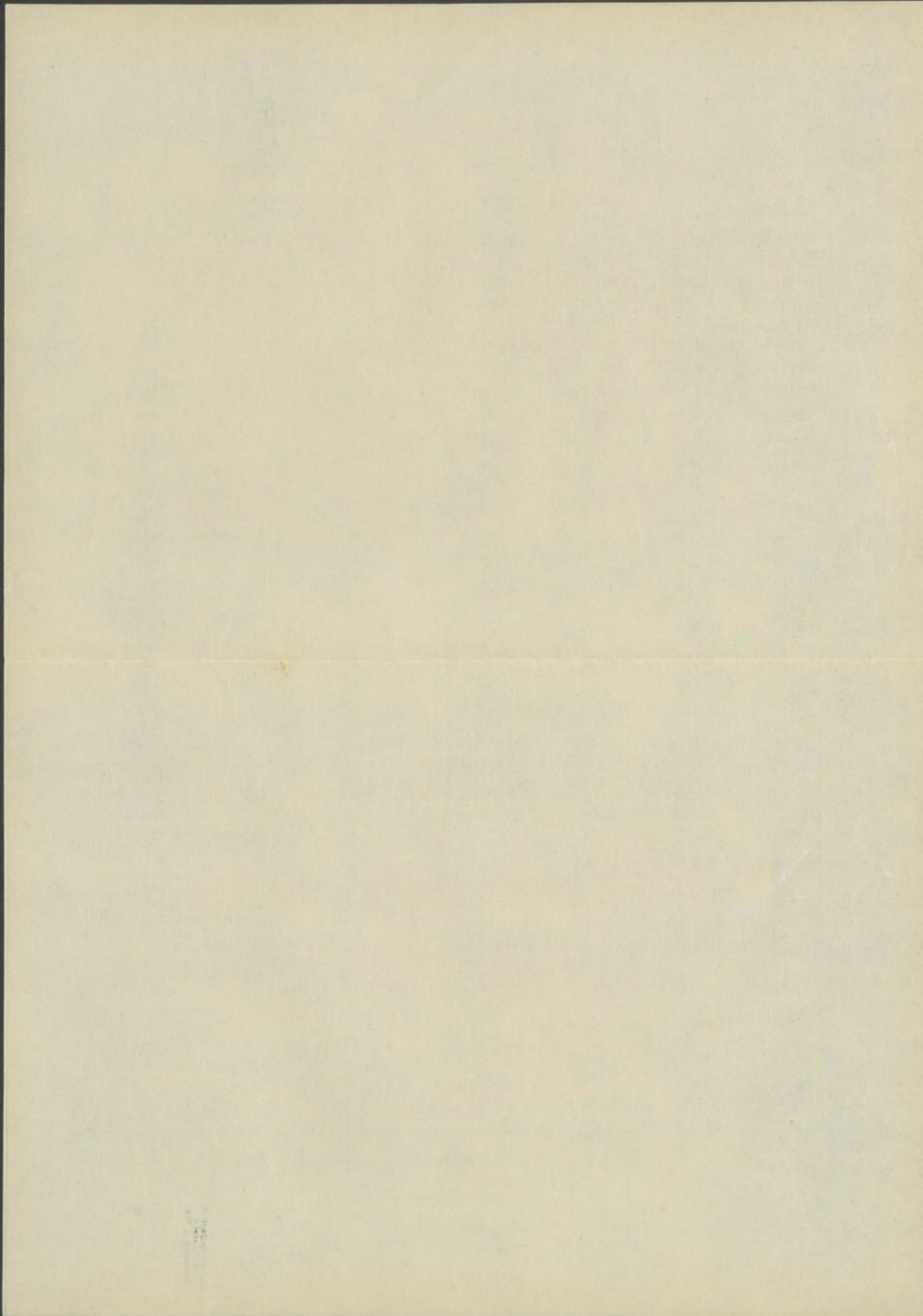
Hauptversuch Nr.		1	2	3	4
Auswertete Tage		5	11	3	6
Stillstandszeit	%	1,2	1,3	1,2	1,2
Heißwind	$\text{Nm}^3 \cdot 10^3 / \text{h}$	15,85	16,46	16,35	15,76
Druck vor den Formen	mm Hg	131	122	120	136
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	764	765	759	751
freier Sauerstoff	%	21,0	24,3	24,4	24,5
Windfeuchtigkeit	$\text{g}/\text{Nm}^3$	7,4	7,8	5,0	4,7
Gesamtsauerstoff	$\text{g}/\text{Nm}^3$	306,7	354,2	353,1	354,3
Gichtgewicht	kg	1014	1013	998	998
Zwickauer Koks	kg	354	353	343	343
Möller	kg	660	660	655	655
Braunesumpferz	kg	280	280	280	280
Moemelierz	kg	40	40	40	40
Ferromanganschlacke	kg	60	60	60	60
Manganoers	kg	42	42	42	42
Kalkstein	kg	50	50	47	47
Dolomit	kg	86	86	84	84
Walsinter	kg	38	38	38	38
Späneschrott	kg	64	64	64	64
Verhältnis Koks:Möller	1:	1,864	1,870	1,910	1,910
Gichtvolumen	$\text{m}^3$	0,923	0,921	0,962	0,997
Gichten	/24h	381,7	454,3	460,2	453,5
Kokseinsatz	t/24h	135,1	160,4	157,8	155,6
Möllereinsatz	t/24h	251,9	299,8	301,4	297,0
Roheisenproduktion	t/24h	72,13	83,86	87,73	87,49
Roheisenanalyse					
C	%	4,23	4,20	4,38	4,58
Si	%	0,59	0,75	0,86	1,01
Mn	%	8,60	8,20	8,79	9,17
P	%	0,32	0,36	0,37	0,35
S	%	0,019	0,017	0,014	0,014
Roheisentemperatur	$^{\circ}\text{C}$	1264	1270	1283	1297
Schlacke (gewogen)	t/t RE	1,720	1,845	1,690	1,635
Fe-Gehalt	%	1,06	2,00	0,99	0,64
Mn-Gehalt	%	4,79	4,86	4,51	4,25
Basizität	p	1,25	1,26	1,26	1,27
	p	1,19	1,21	1,20	1,20
Schlackentemperatur	$^{\circ}\text{C}$	1464	1481	1490	1498
Gichtgastemperatur	$^{\circ}\text{C}$	414	409	362	305
Gichtgasanalyse					
CO <sub>2</sub>	%	5,6	6,3	7,3	7,8
CO	%	35,4	39,0	37,8	37,4
CH <sub>4</sub>	%	0,2	0,2	0,2	0,2
H <sub>2</sub>	%	1,3	1,4	1,4	1,3
H <sub>2</sub> O	$\text{g}/\text{Nm}^3$	18,7	16,5	15,8	18,9
Heizwert	kcal/ $\text{Nm}^3$ tr.	1120	1227	1195	1180
Gichtstaub	kg/t RE	67,9	76,0	67,9	66,7
Gichtstaubanalyse					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	12,52	14,74	14,88	14,24
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	%	36,67	31,84	32,84	31,63
MnO <sub>2</sub>	%	2,36	2,10	2,50	2,25
SiO <sub>2</sub>	%	8,39	9,61	8,69	8,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,21	2,34	2,06	2,25
CaCO <sub>3</sub>	%	7,36	8,16	7,51	6,45
3 CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,59	0,13	0,29	0,75
BaSO <sub>4</sub>	%	8,69	9,08	10,02	9,60
MgCO <sub>3</sub>	%	3,24	3,42	3,09	2,39
C	%	17,97	18,68	18,12	21,89

Bergakademie  
Freiberg i. Sa.

Zu:

57. 7702/3

4



Tafel 7

## Hauptversuche: chemische Konstitution der Einsatzstoffe und der Gichten

	Braun- spat-Erz	Mangal- erz	Mangan- erz	Feld- schlacke	Wals- sinter	Späne- schrott	Kalk- stein	Dolo- mit	Koks Vers. 1-3	Koks Vers. 4	Gichtanzusammensetzung in Versuch			
											1	2	3	4
FeB <sub>2</sub>	0,91										2,55	2,55	2,55	2,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,49	38,69	4,75			2,02	6,72	1,19	4,20	3,76	117,73	117,75	117,11	115,60
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>					94,36						35,86	35,86	35,86	35,86
FeO				2,66							1,59	1,59	1,59	1,59
MnO <sub>2</sub>		6,38	51,66								24,25	24,25	24,25	24,25
MnO	0,62			30,46					0,07	0,05	20,27	20,26	20,26	20,19
SiO <sub>2</sub>	25,09	6,61	20,70	29,50	0,35		1,31	2,17	4,28	4,29	117,08	117,04	116,52	116,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,50	0,95	1,83	3,01			0,55	0,61	2,51	2,29	19,83	19,82	19,51	18,76
CaCO <sub>3</sub>	37,82	8,10	7,63				84,16	58,51			204,74	204,74	201,05	201,18
CaO				24,88					0,85	0,70	17,93	17,93	17,84	17,33
CaSO <sub>4</sub>							0,21	0,09	0,45	0,40	1,77	1,77	1,71	1,54
CaS				7,20							4,32	4,32	4,32	4,32
3CaO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,60	0,12	0,20	0,30					0,07	0,08	2,24	2,23	2,23	2,26
BaSO <sub>4</sub>		31,18									12,47	12,47	12,47	12,47
HgCO <sub>3</sub>	3,57	2,27	0,73				6,45	36,83			45,11	46,11	45,18	45,18
MgO				1,95					0,37	0,24	2,50	2,49	2,46	2,01
H <sub>2</sub> O	0,40	5,70	12,50				0,60	0,40	6,53	6,60	32,41	32,34	31,67	38,77
Fe					4,25	92,15					60,59	60,59	60,59	60,59
Mn					0,99	0,75					0,86	0,86	0,86	0,86
Si						0,74					0,47	0,47	0,47	0,47
P					0,05	0,37					0,26	0,26	0,26	0,26
S						0,04			0,67	0,80	2,10	2,39	2,33	2,77
C						3,93			79,17	77,57	282,77	281,98	274,06	268,58
O <sub>2</sub>									0,36	0,54	1,27	1,27	1,24	1,85
H <sub>2</sub>									0,42	0,62	1,49	1,48	1,44	2,13
H <sub>2</sub>									0,05	0,06	0,18	0,18	0,17	0,20

Bergakademie  
- Bucherei -  
Freiberg i. Sa.

zu:

St. 1702/3

4<sup>2</sup>Bergakademie  
- Bucherei -  
Freiberg i. Sa.

SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



**SLUB**

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



Effektive Stoffbilanzen

Menge in kg	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Einbringen: Mäller	3493	3375	3436	3396
Koks	1873	1912	1799	1778
Wind (feucht)	6829	6129	5810	5912
Insgesamt	12195	11616	11045	10786
Ausbringen: Roheisen	1000	1000	1000	1000
Schlacke	1720	1945	1690	1635
Gichtgas (trocken) (Nm <sup>3</sup> )	9238 (7246)	8587 (6715)	8159 (6344)	7901 (6122)
Wasserdampf	136	111	100	116
Gichtstaub	68	76	68	67
Insgesamt	12162	11619	11017	10721
Differenz	- 0,27	+ 0,03	- 0,25	- 0,60

24:  
57.1702/3  
4

Theoretische Reaktionen und Stoffbilanzen

	Versuch 1			Versuch 2			Versuch 3			Versuch 4			Reaktion Nr.
	Einsetz	Staub	Reaktion	Einsetz	Staub	Reaktion	Einsetz	Staub	Reaktion	Einsetz	Staub	Reaktion	
Gichtgas	5,292			5,417			5,246			5,184			
Nm <sup>3</sup> Wind	3274			4210			4473			4322			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	623,3	8,5	- 614,8	637,9	11,2	- 626,7	619,4	10,1	- 604,3	599,3	9,5	- 589,8	1
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	189,8	24,9	- 145,8	194,3	24,2	- 128,3	188,1	22,3	- 150,8	185,9	21,1	- 160,3	2
			- 19,1			- 43,2			- 15,0			- 4,5	3
FeO	8,4		+ 17,8	8,6		+ 40,2	8,3		+ 14,0	8,2		+ 4,2	3
MnO <sub>2</sub>	128,3	1,6	- 126,7	131,4	1,6	- 129,8	127,2	1,7	- 125,5	125,7	1,5	- 124,2	4
MnO	107,3		+ 101,4	109,7		+ 105,8	106,3		+ 102,4	104,7		+ 101,3	4
			- 105,1			- 99,8			- 107,7			- 112,7	5
SiO <sub>2</sub>	619,6	5,7	- 7,3	634,0	7,3	- 10,7	611,3	9,9	- 13,2	604,2	9,7	- 16,5	6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	104,9	1,5		107,4	1,7		102,3	1,4		97,3	1,5		
3CaO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,8	0,4	- 9,0	12,1	0,1	- 11,0	11,7	0,2	- 11,5	11,7	0,5	- 10,5	7
CaSO <sub>4</sub>	9,4		- 9,4	9,6		- 9,6	9,0		- 9,0	8,0		- 8,0	8
CaS	22,9		+ 5,0	23,4		+ 5,1	22,7		+ 4,8	22,4		+ 4,2	8
			+ 44,3			+ 45,2			+ 43,4			+ 47,9	11
BaSO <sub>4</sub>	66,0	5,9	- 60,1	67,5	6,9	- 60,6	65,4	6,8	- 58,6	64,7	6,4	- 58,3	9
BaS			+ 43,6			+ 44,0			+ 42,5			+ 42,3	9
FeS <sub>2</sub>	13,5		- 13,5	13,8		- 13,8	13,4		- 13,4	13,2		- 13,2	10
S	12,7		+ 7,2	12,9		+ 7,4	12,2		+ 7,2	14,4		+ 7,0	10
			- 19,7			- 20,1			- 19,5			- 21,3	11
CaCO <sub>3</sub>	1083,5	5,0	- 1078,5	1109,1	6,2	- 1102,9	1054,7	5,1	- 1049,6	1042,2	4,3	- 1037,9	12
CaO	94,9		+ 604,3	97,1		+ 618,0	93,6		+ 588,1	89,8		+ 581,5	12
			+ 4,9			+ 6,0			+ 6,2			+ 5,7	7
			- 34,4			- 35,1			- 33,8			- 37,2	11
MgCO <sub>3</sub>	244,0	2,2	- 241,8	249,8	2,6	- 247,2	237,0	2,1	- 234,9	234,2	1,6	- 232,6	13
MgO	13,2		+ 115,6	13,5		+ 118,2	12,9		+ 112,3	10,4		+ 111,2	13
H <sub>2</sub> O	210,5		- 116,2	211,9		- 107,2	188,4		- 102,8	221,3		- 91,2	14
			+ 24,2			+ 20,3			+ 19,2			+ 18,0	16
Fe	320,6		+ 430,0	328,2		+ 433,3	317,3		+ 422,7	314,1		+ 412,5	1
			+ 105,5			+ 91,8			+ 109,1			+ 116,0	2
			+ 6,3			+ 6,4			+ 6,2			+ 6,2	10
Mn	4,5		+ 81,4	4,7		+ 77,3	4,5		+ 83,4	4,5		+ 87,2	5
Si	2,5		+ 3,4	2,5		+ 5,0	2,5		+ 6,1	2,4		+ 7,7	6
P	1,4		+ 1,8	1,4		+ 2,2	1,4		+ 2,3	1,4		+ 2,1	7
C	1496,4	12,2	- 1192,3	1507,5	14,2	- 1232,9	1437,7	12,3	- 1175,5	1392,3	14,6	- 1143,0	15
		in III 42,3	- 249,0		in III 42,0	- 233,4		in III 43,8	- 206,1		in III 45,8	- 188,9	16
O <sub>2</sub>	1589,3		+ 226,4	1642,5		+ 226,5	1566,1		+ 224,3	1522,7		+ 221,9	1-3
			+ 23,3			+ 23,9			+ 23,1			+ 22,9	4
			+ 23,7			+ 22,5			+ 24,3			+ 25,5	5
			+ 140,1			+ 134,8			+ 131,3			+ 122,9	6-9, 11, 14
			- 1589,3			- 1642,5			- 1566,1			- 1522,7	15
			- 331,7			- 317,5			- 274,6			- 251,7	16
			- 81,8			- 90,2			- 128,4			- 140,5	17
N <sub>2</sub>	5215,4			4454,3			4235,0			4089,8			
H <sub>2</sub>	1,0		+ 13,0	1,0		+ 12,0	0,9		+ 11,5	1,0		+ 10,2	14
			- 5,4			- 4,7			- 4,3			- 4,0	16
CO			+ 3362,9			+ 3431,3			+ 3222,3			+ 3106,3	15, 16
			- 143,2			- 157,9			- 224,8			- 247,7	17
CO <sub>2</sub>			+ 600,4			+ 613,9			+ 584,1			+ 577,8	12, 13
			+ 225,0			+ 249,1			+ 353,2			+ 389,2	17
			- 29,6			- 25,5			- 23,6			- 21,9	18
OH <sub>2</sub>			+ 10,8			+ 9,3			+ 8,6			+ 7,9	18
Einbringen:	12 195,2			11 616,1			11 044,9			10 785,8			
Ausbringen:													
Roheisen			1000,0			1000,0			1000,0			1000,0	
Schlacke			1758,5			1822,7			1709,2			1662,4	
Gichtgas (trocken)			9250,3			8591,8			8162,9			7908,6	
Nm <sup>3</sup>			(7250)			(6717)			(6349)			(6122)	
Wasserdampf			118,5			125,6			104,9			148,1	
Gichtstaub			67,3			76,0			67,9			66,7	
Insgesamt	12 195,2			11 616,1			11 044,9			10 785,8			

Theoretische und effektive Schlackenanalysen und Feuchtigkeitsgehalte der Gichtgase

Schlackenanalysen	theoretisch		effektiv		theoretisch		effektiv		theoretisch		effektiv			
FeO	1,49		1,36		2,68		2,57		1,31		1,27		0,75	0,82
MnA	6,01		6,18		6,35		6,28		5,91		5,83		5,61	5,49
SiO <sub>2</sub>	34,90		34,65		33,80		33,91		34,65		34,57		35,01	34,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,88		5,80		5,80		5,93		5,90		6,01		5,76	5,67
CaO	38,08		37,92		37,64		37,75		38,27		38,18		38,49	38,67
CaS	4,11		4,16		4,04		4,01		4,14		4,11		4,48	4,36
3CaO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13		0,16		0,05		0,07		-		0,02		0,04	0,05
BaS	2,48		2,35		2,41		2,26		2,49		2,56		2,55	2,61
MgO	7,32		7,40		7,23		7,20		7,33		7,45		7,31	7,36
Feuchtigkeitsgehalte der Gichtgase in g/Nm <sup>3</sup>	16,3		18,7		18,7		16,5		16,5		15,8		24,2	18,9





Tafel 9

## Hauptversuche: Wärmebilanzen/e. Roheisen

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

Reaktion Nr.	Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3		Versuch 4	
	kkal·10 <sup>3</sup>	%	kkal·10 <sup>3</sup>	%	kkal·10 <sup>3</sup>	%	kkal·10 <sup>3</sup>	%
<u>Wärmeaufnahme</u>								
Wärmeinhalt des Windes	1329,7	25,0	1189,0	22,6	1120,3	21,8	1071,1	21,3
Wärmeinhalt der Windfeuchte	14,7	0,3	17,8	0,3	8,3	0,2	7,5	0,2
Wärmegewinn aus								
Kohlenstoffverbrennung	2791,4	52,6	2885,0	54,7	2750,7	53,6	2674,7	53,3
Kohlenstoffverbrennung	582,7	11,0	557,9	10,6	482,3	9,4	442,0	8,8
Kohlenoxydverbrennung	346,3	6,5	361,8	7,2	543,6	10,5	599,0	11,9
Methanbildung	23,0	0,5	22,4	0,4	20,7	0,4	19,0	0,4
Schlackenbildung	215,6	4,1	220,8	4,2	210,4	4,1	205,6	4,1
<u>Inputwert</u>	<u>5306,4</u>	<u>100,0</u>	<u>5220,7</u>	<u>100,0</u>	<u>5126,3</u>	<u>100,0</u>	<u>5018,9</u>	<u>100,0</u>
<u>Wärmeverbrauch</u>								
Dissociation der Oxide								
Eisenoxyd	755,9		770,5		743,1		725,2	
Eisenoxyduloxyd	167,0		145,3		172,7		183,6	
Eisenoxydul	6,0		13,0		1,7		1,4	
Mangandioxyd	43,9		45,0		43,5		43,0	
Manganoxydul	142,0		135,3		148,9		152,7	
Bismutoxyd	25,0		37,1		45,3		57,2	
Kaliumphosphat	15,8		18,8		19,6		17,9	
	<u>1755,9</u>	21,8	<u>1765,4</u>	22,1	<u>1774,8</u>	22,9	<u>1781,0</u>	23,5
Dissociation von Kaliumsulfat								
Kaliumsulfat	15,2		15,9		14,5		12,9	
Natriumsulfat	60,0		61,0		59,0		58,7	
Sesquiesulfid	4,8		4,7		6,6		4,5	
Überführen des Schwefels								
in die Schlacke	25,5		26,0		25,0		27,6	
Zersetzen der Carbonate								
Kaliumcarbonat	105,8	2,0	107,2	2,0	103,1	2,0	103,7	2,1
Magnesiumcarbonat	458,1		468,4		445,6		440,9	
	<u>74,8</u>		<u>76,3</u>		<u>72,7</u>		<u>72,0</u>	
Zersetzen von Wasserdampf								
Wasserdampf	532,9	10,0	544,9	10,3	518,5	10,1	512,9	10,2
Wärmeabführen durch Roheisen								
Schlacke	262,5	4,9	253,5	5,0	265,9	5,2	268,5	5,4
Gichtgas	754,6	14,2	792,7	15,0	749,5	14,6	736,1	14,5
Gichtstaub	994,9	18,8	909,4	17,3	756,0	14,7	611,0	12,2
	<u>5,1</u>	0,1	<u>5,6</u>	0,1	<u>4,4</u>	0,1	<u>3,7</u>	0,1
Verdampfen der Mäler- und Koksfeuchtigkeit und Wärmeabführen durch Wasserdampf								
Wasserdampf	85,6	1,6	69,3	1,3	60,9	1,2	70,8	1,4
Wärmeabführen durch Kühlwasser und								
<u>Wärmeverluste (Differenz)</u>	<u>1034,9</u>	<u>19,8</u>	<u>1067,6</u>	<u>20,1</u>	<u>1123,0</u>	<u>22,8</u>	<u>1240,1</u>	<u>24,2</u>
<u>Gesamtwärmeverbrauch</u>	<u>5306,4</u>	<u>100,0</u>	<u>5220,2</u>	<u>100,0</u>	<u>5126,3</u>	<u>100,0</u>	<u>5018,9</u>	<u>100,0</u>

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa. 201  
57. 1702/13

4°



SLUB

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



**SLUB**

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



57.1702/3  
 Zu:  
 v.  
 Bergakademie  
 Freiberg i. Sa.

Tafel 10

Hauptversuche: Berechnung und Zusammenstellung von Kennwerten

Reaktion Nr.		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
<b>Reduktionsgrade</b>					
Sauerstoff aus Reduktion	16, 17	kg 413,5	407,7	403,0	392,2
an Kohlenoxyd gebunden	17	kg 81,8	90,2	128,4	140,5
davon aus Mangandioxyd	4	kg 23,3	23,9	23,1	22,9
daher aus Eisenoxyden		kg 58,5	66,3	105,3	117,6
an Kohlenstoff gebunden	16	kg 331,7	317,5	274,6	251,7
davon aus Manganoxydul	5	kg 23,7	22,5	24,3	25,5
aus Reaktionen	6-9, 11, 14	kg 140,1	134,8	131,3	122,9
daher aus Eisenoxyden		kg 167,9	160,2	119,0	103,3
Indirekte Reduktion insgesamt		% 19,8	22,1	31,9	35,8
der Manganoxyde		% 49,6	51,5	48,7	47,3
der Eisenoxyde		% 25,8	29,3	47,0	53,2
<b>Kohlenoxydausnützung</b>					
Kohlenoxyd im Rauchgas	15	kg 2782,2	2875,4	2741,6	2665,7
für indirekte Reduktion	17	kg 143,2	157,9	224,8	247,7
Ausnützung		% 5,2	5,5	8,2	9,3
<b>Kohlenstoffbilanz</b>					
Kohlenstoffeinsatz		kg 1496,4	1527,5	1437,7	1392,3
verstaubt		kg 12,2	14,2	12,3	14,6
Verlust		% 0,8	0,9	0,9	1,0
im Roheisen		kg 42,3	42,0	43,8	45,8
Kohlungskohlenstoff		% 2,8	2,8	3,0	3,3
für direkte Reduktion		kg 249,0	238,4	206,1	188,9
Reduktionskohlenstoff		% 16,7	15,6	14,3	13,6
vor den Formen verbrannt		kg 1192,9	1232,9	1175,5	1143,0
Hohekohlenstoff		% 79,7	80,7	81,8	82,1
<b>Kennwerte</b>					
Sauerstoffangebot	m <sup>3</sup> /h	3400	4080	4040	3910
Gestellbelastung	kg/m <sup>2</sup> ·h	598	710	699	689
Durchsatzzeit	h	2,82	2,38	2,27	2,20
Ofenausnützung	m <sup>3</sup> /tRS in 24h	0,69	0,60	0,57	0,57
Leistungssteigerung					
Kokseinsatz	%	-	18,7	16,8	15,1
Möllereinsatz	%	-	19,0	19,7	17,9
Roheisenproduktion	%	-	16,3	21,6	21,3
Möllerausbringen	%	28,6	28,0	29,1	29,5
Fe-Ausbringen	%	95,1	93,4	95,5	96,4
Mn-Ausbringen	%	51,0	47,4	52,6	55,6
Koksverbrauch	t/t RS	1,873	1,912	1,799	1,778
Kokseinsparung	%	-	2,1	4,0	5,1
Wärnewert/kg C	kcal	2598	2615	2748	2804
Ausnützung der Wärmeenergie					
des Kohlenstoffs	%	32,6	32,8	34,4	35,1
Nutzwärme/kg C	kcal	2209	2187	2274	2322
Wärnewirkungsgrad	%	60,0	61,1	61,2	61,6

Bergakademie  
 Freiberg i. Sa.



## Hauptversuche: Wirtschaftlichkeitsberechnung

	Verrechnungs- preis	Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3		Versuch 4	
		Menge /t Ro	DM	Menge /t Ro	DM	Menge /t Ro	DM	Menge /t Ro	DM
Brauneschwefel-Erz	22,86 DM/t	1,482 t	33,88	1,516 t	34,66	1,469 t	33,58	1,552 t	35,19
Kornelers	19,76 "	0,212 t	4,11	0,217 t	4,29	0,210 t	4,15	0,207 t	4,09
Kangahert	59,00 "	0,222 t	13,10	0,227 t	13,39	0,220 t	12,98	0,218 t	12,86
Ferroschwefelschlacke	37,00 "	0,318 t	11,77	0,325 t	12,03	0,315 t	11,66	0,311 t	11,51
Walzmehl	19,00 "	0,201 t	3,82	0,206 t	3,91	0,199 t	3,78	0,197 t	3,74
Spätschrott	29,40 "	0,339 t	9,97	0,347 t	10,20	0,336 t	9,88	0,332 t	9,76
Kalkstein	6,90 "	0,265 t	1,83	0,271 t	1,87	0,247 t	1,70	0,244 t	1,68
Dolomit	20,00 "	0,454 t	9,08	0,466 t	9,32	0,441 t	8,82	0,435 t	8,70
Müllerkosten			87,64		89,67		86,55		85,55
Erwickener Koks	73,25 DM/t	1,873 t	137,20	1,912 t	140,05	1,799 t	131,76	1,778 t	130,24
Kalkwind	194,50 DM/10 <sup>5</sup> Nm <sup>3</sup>	5733 Nm <sup>3</sup>	11,15	4901 Nm <sup>3</sup>	9,53	4697 Nm <sup>3</sup>	9,04	4486 Nm <sup>3</sup>	8,73
Sauerstoff	95,03 DM/10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup>			219 Nm <sup>3</sup>	20,82	215 Nm <sup>3</sup>	20,44	214 Nm <sup>3</sup>	20,35
übrige Verarbeitungskosten	103,95 DM/t Ro bei 32,0 tato	bei 72,130 tato	118,17	bei 53,850 tato	101,65	bei 87,730 tato	97,16	bei 87,490 tato	97,43
Fertigungskosten abzüglich Gangutschrift	4,12 DM/10 <sup>6</sup> kcal	8,13 · 10 <sup>6</sup> kcal	33,50	8,24 · 10 <sup>6</sup> kcal	33,95	7,59 · 10 <sup>6</sup> kcal	31,27	7,23 · 10 <sup>6</sup> kcal	29,79
			320,66		322,77		313,20		312,51

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.Z. 4:  
57.1702/3

Faint, illegible text or markings in the upper left corner of the page.

Faint, illegible text or markings in the lower right area of the page.



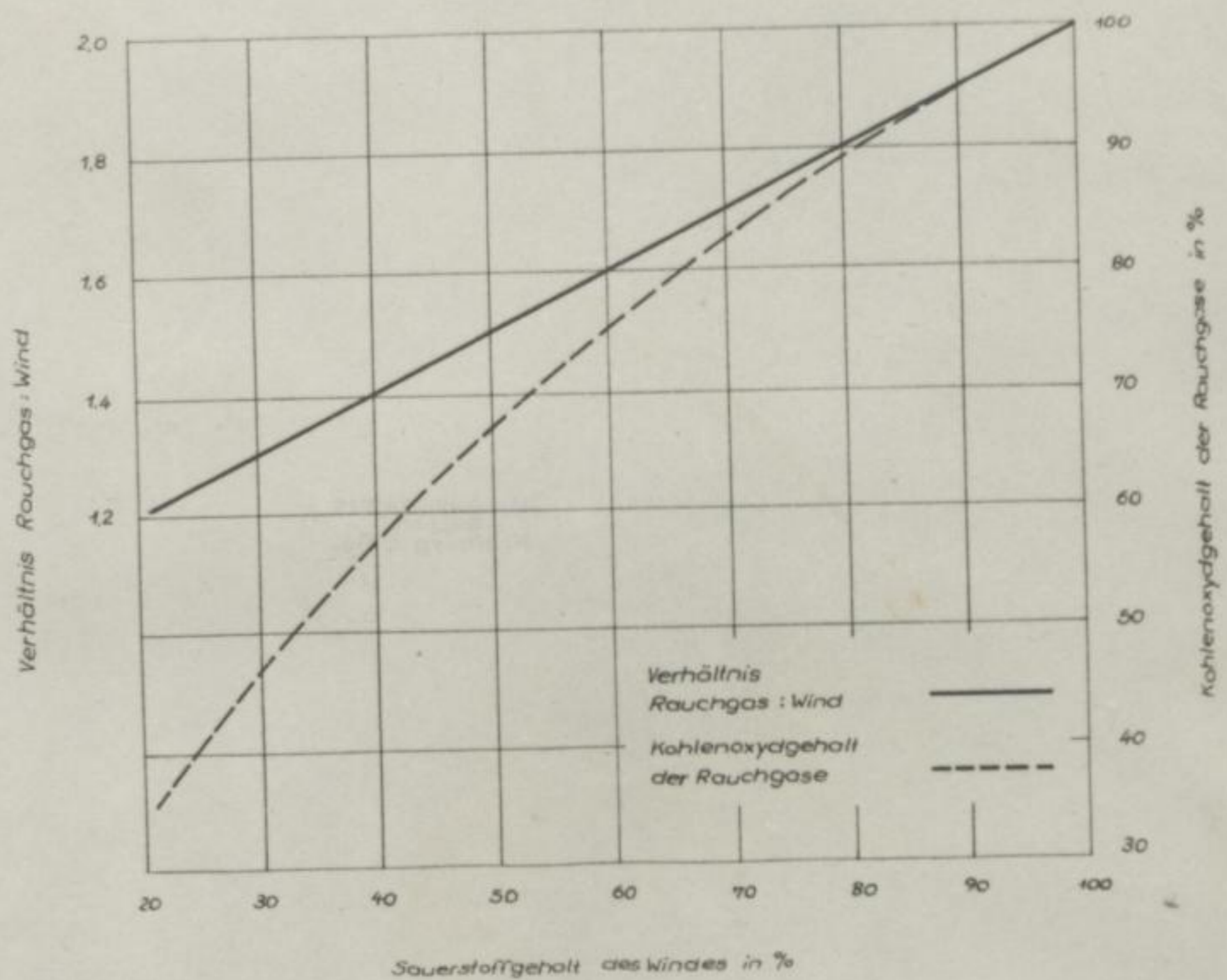


Bild 1  
 Abhängigkeit des Verhältnisses Rauchgas:Wind und des Kohlenoxydgehaltes der Rauchgase von der Sauerstoffkonzentration des Windes

Bergakademie  
 - Bücherei -  
 Freiberg i. Sa.

ZU:  
 57. 1702/3

4<sup>8</sup>

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.



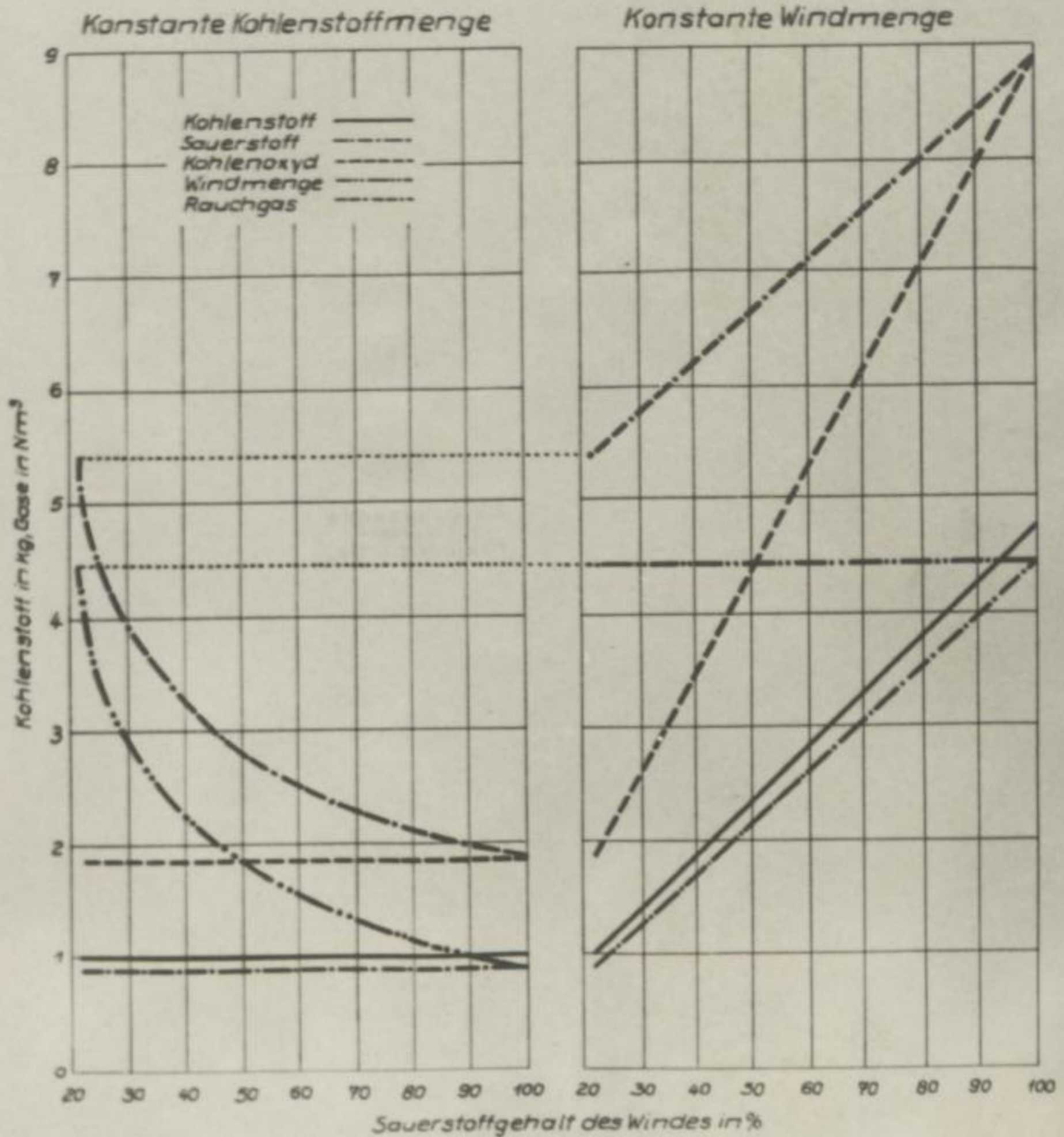


Bild 2

Veränderung der Verbrennungs- und Gasverhältnisse bei konstanter Kohlenstoffmenge und bei konstanter Windmenge

Bergakademie  
Bücherei  
Freiberg i. Sa.

200 57.1702/3

4°

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.



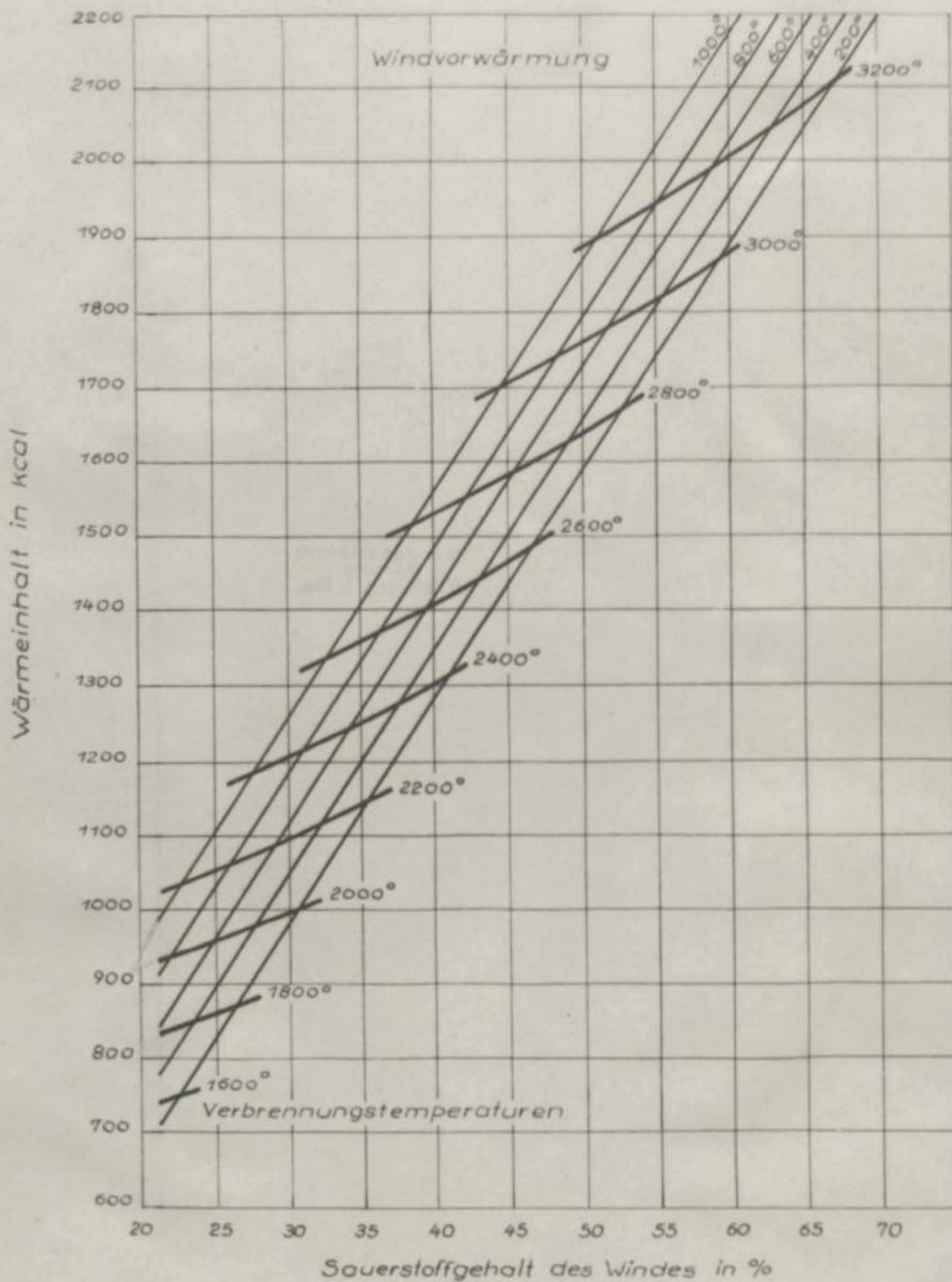


Bild 3  
 Wärmeinhalte und Verbrennungstemperaturen der Rauchgase  $1 \text{ Nm}^3$  Wind in Abhängigkeit von der Vorwärmung und der Sauerstoffkonzentration des Windes

Bergakademie  
 Freiberg i. Sa.

Zu:  
 57. 1702/3  
 4<sup>o</sup>

Bergakademie  
- Bücherei -  
Freiberg i. Sa.

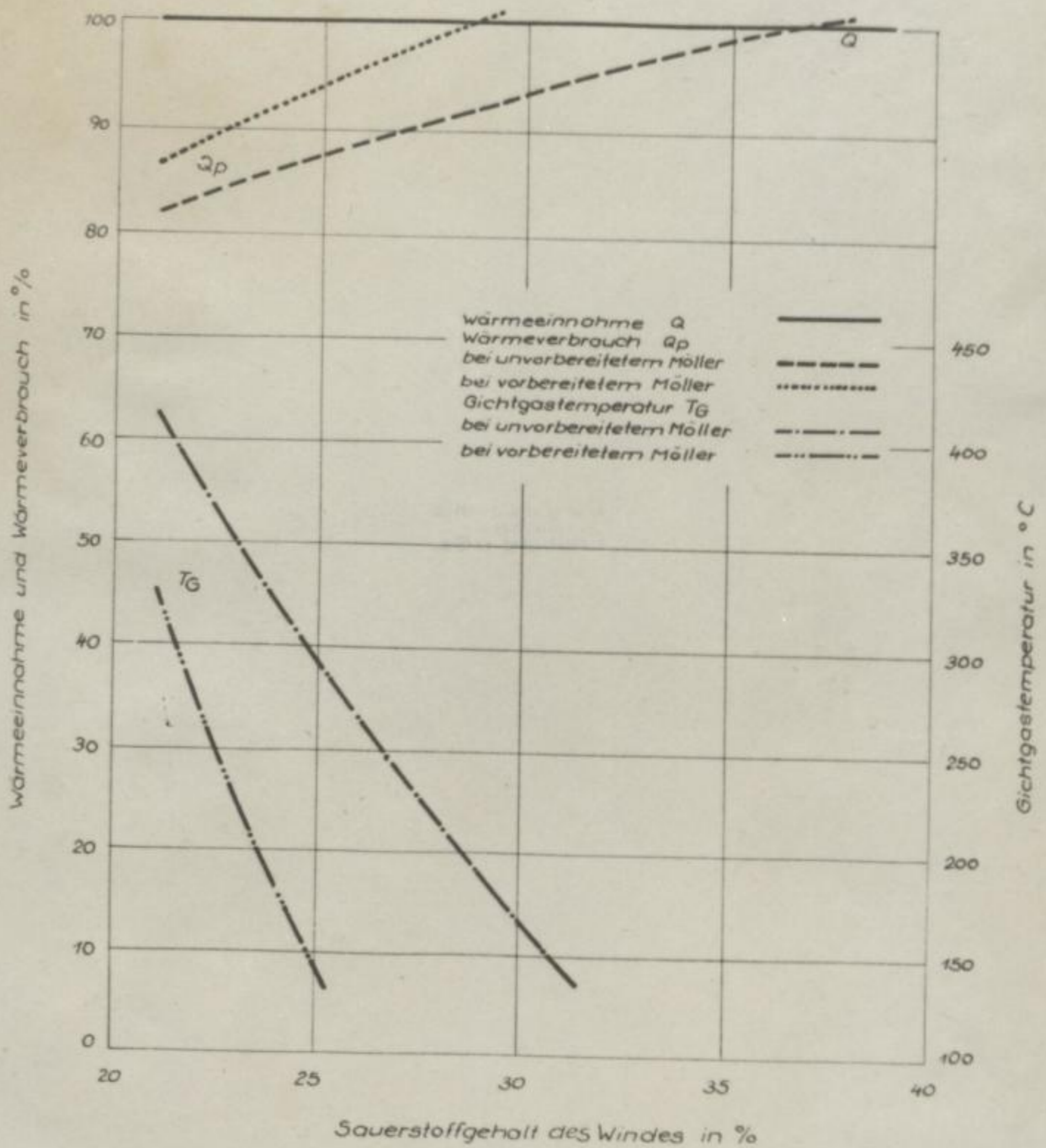
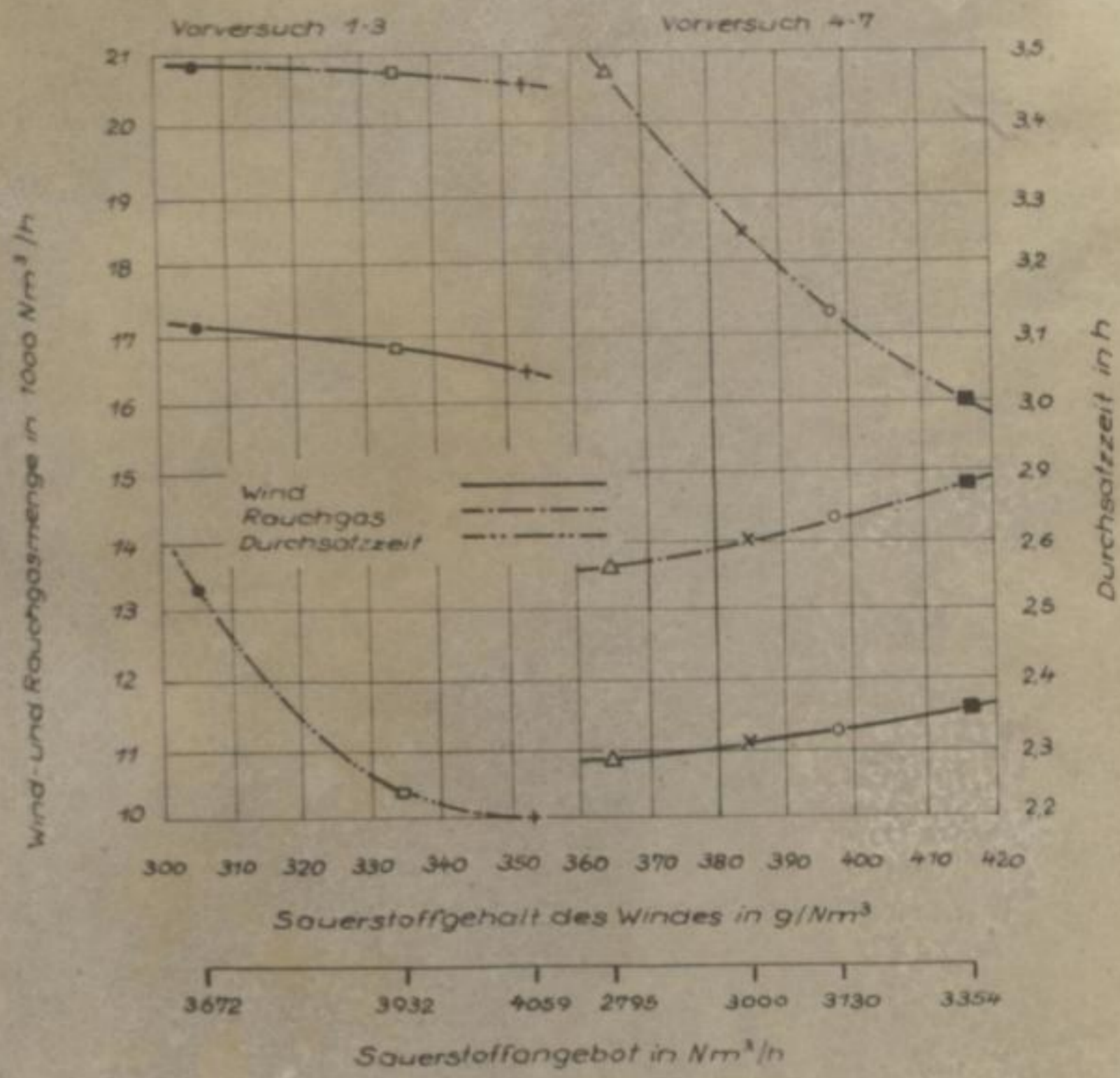


Bild 4  
 Abhängigkeit des Wärmeverbrauches und der Gichtgas-  
 temperatur vom Sauerstoffgehalt des Windes bei un-  
 vorbereitetem und vorbereitetem Moller

Bergakademie  
 Freiberg i. Sa.

Zu:  
 57. 1702/3  
 4°

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.



**Bild 5**  
 Abhängigkeit der Durchsatzzeit von der Menge und dem Sauerstoffgehalt des Windes bzw. vom Sauerstoffangebot/h

Bergakademie Freiberg i. Sa.  
 zu:  
 59.1702/3  
 4°

Bergakademie  
- Bücherel -  
Freiberg i. Sa.



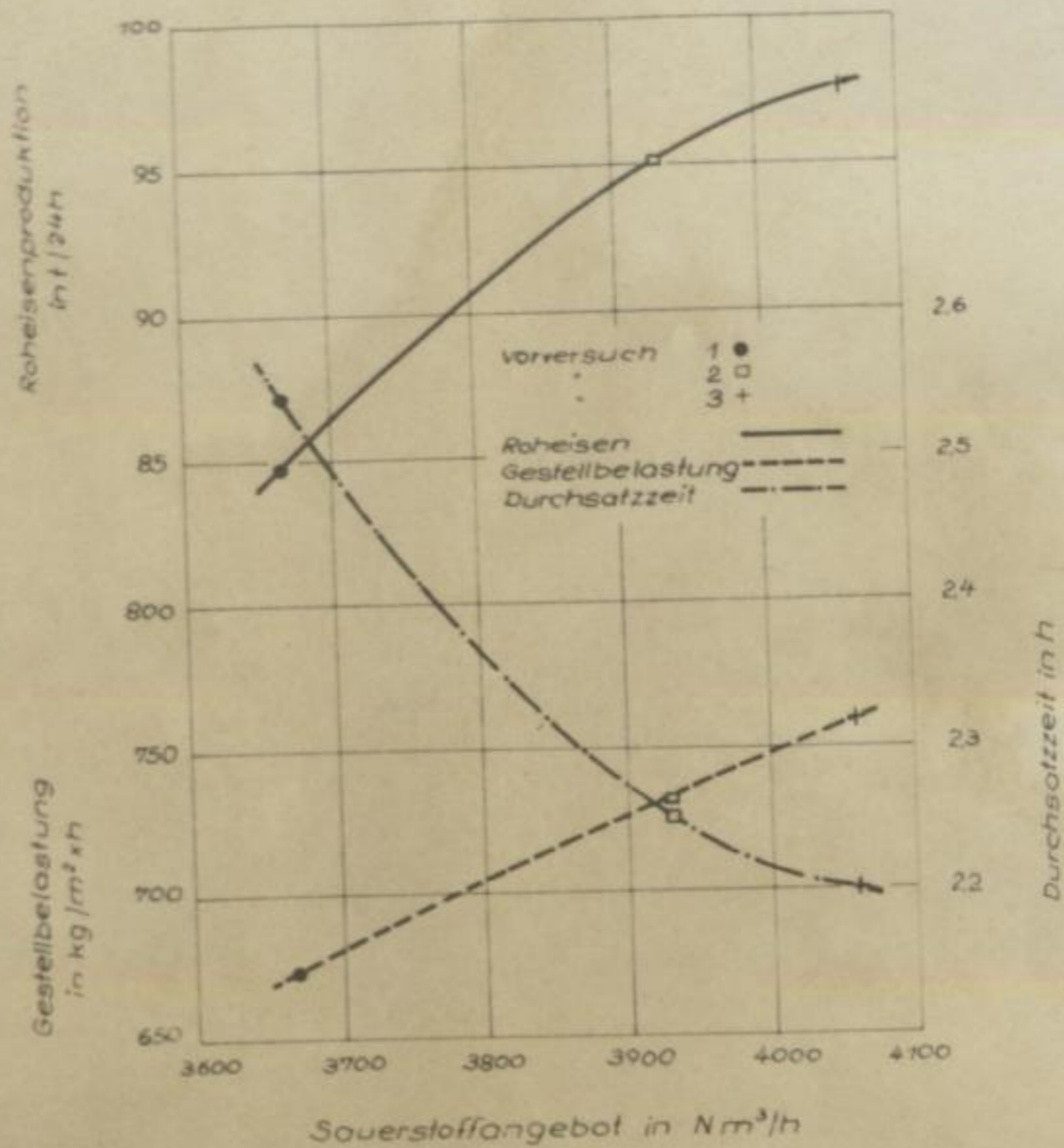


Bild 6  
 Abhängigkeit der Gestellbelastung  
 der Roheisenproduktion und der  
 Durchsatzzeit vom Sauerstoffan-  
 gebot in den Vorversuchen 1 bis 3

Bergakademie  
 -Bücherei-  
 Freiberg i. Sa.

Zu:  
 57. 1702/3  
 4<sup>o</sup>

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.



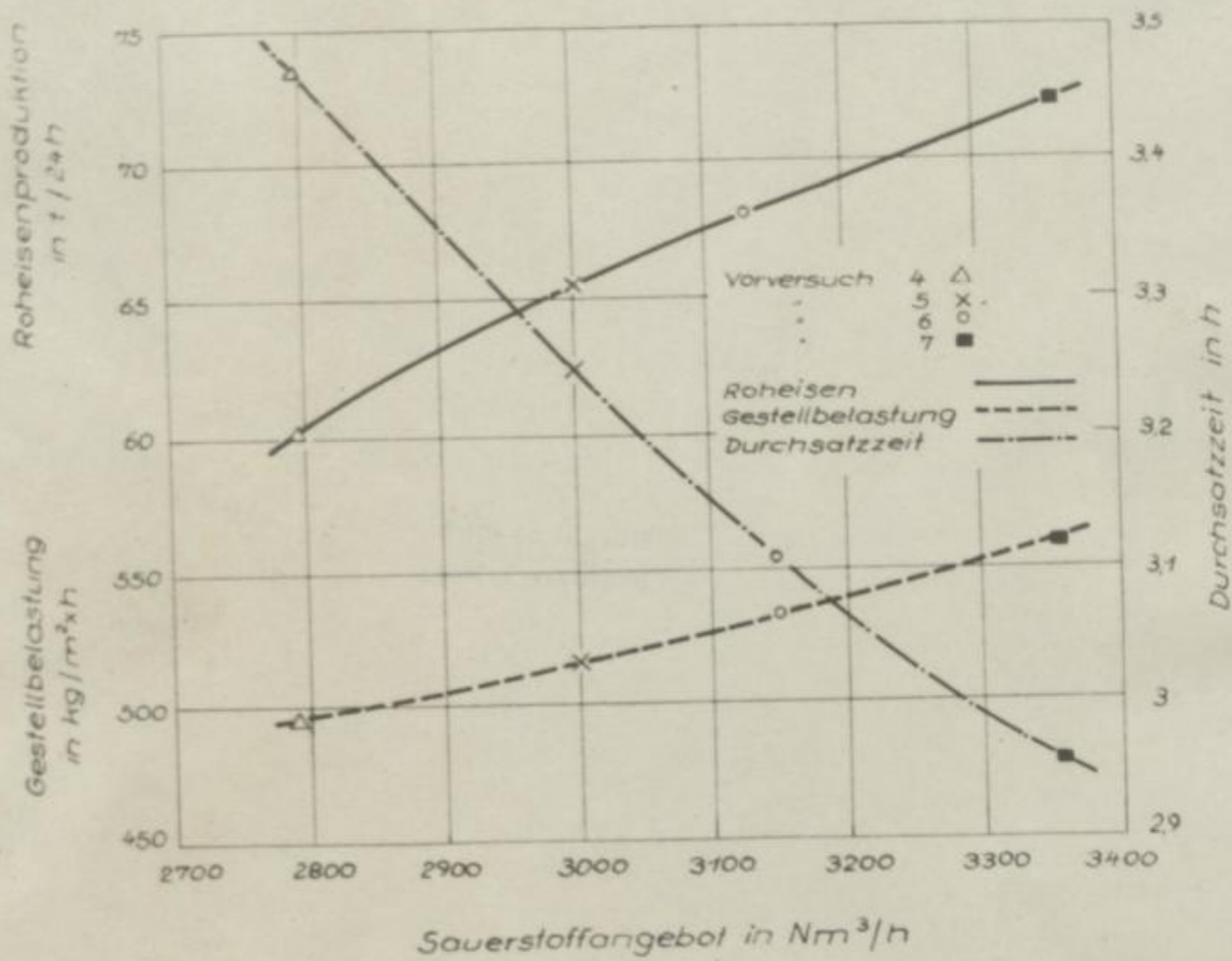


Bild 7  
 Abhängigkeit der Gestellbelastung, der Roheisenproduktion und der Durchsatzzeit vom Sauerstoffangebot in den Vorversuchen 4 bis 7

Bergakademie Freiberg  
 Zu:  
 58. 170213  
 4<sup>o</sup>

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

TU Bergakademie  
 Freiberg  
 57.7702/3  
 43

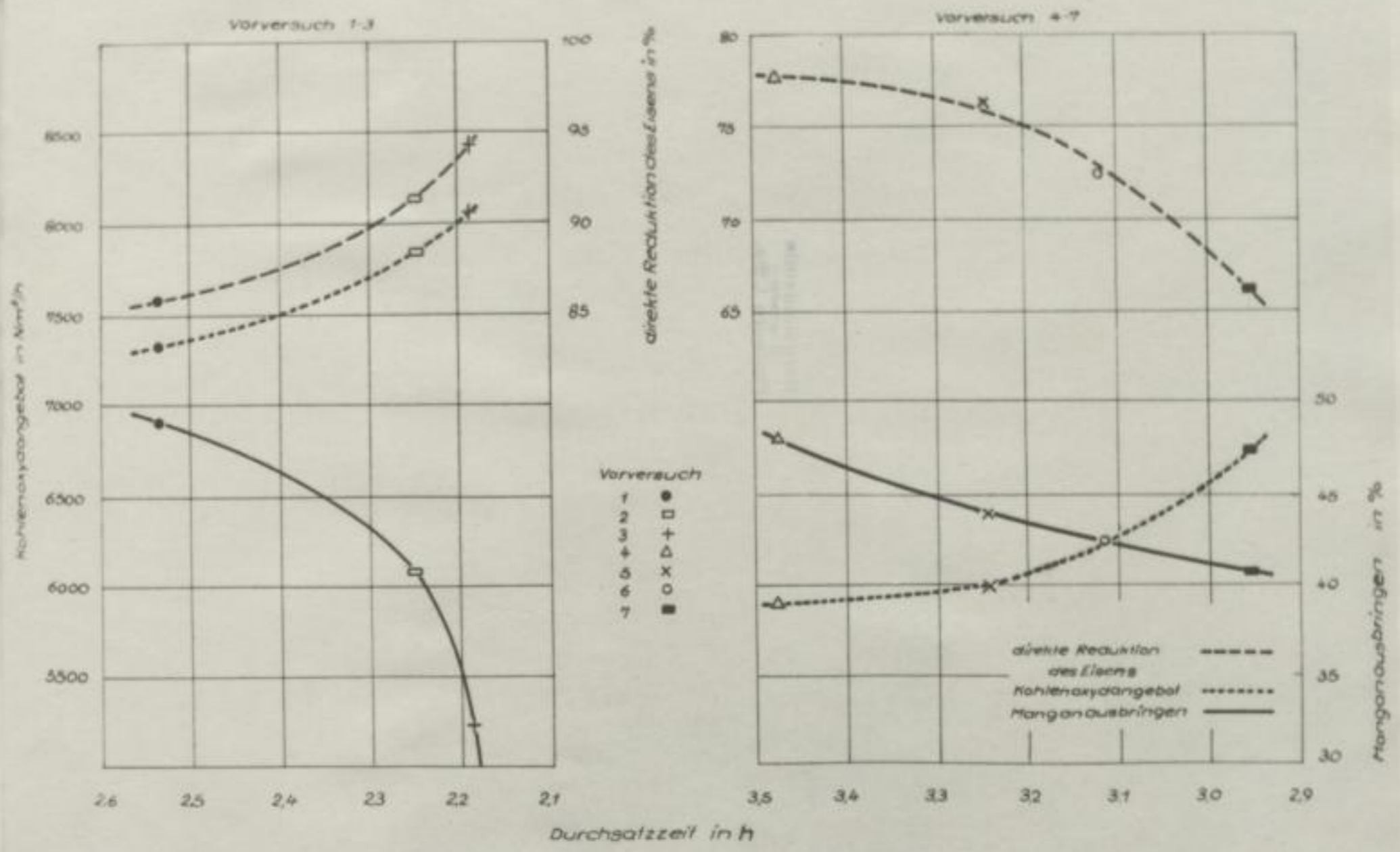


Bild 8  
 Beziehungen zwischen Kohlenoxydangebot, direkter Eisenreduktion  
 und Manganausbringung bei veränderter Durchsatzzeit

Bergakademie  
- Bucherei -  
Freiberg i. Sa.



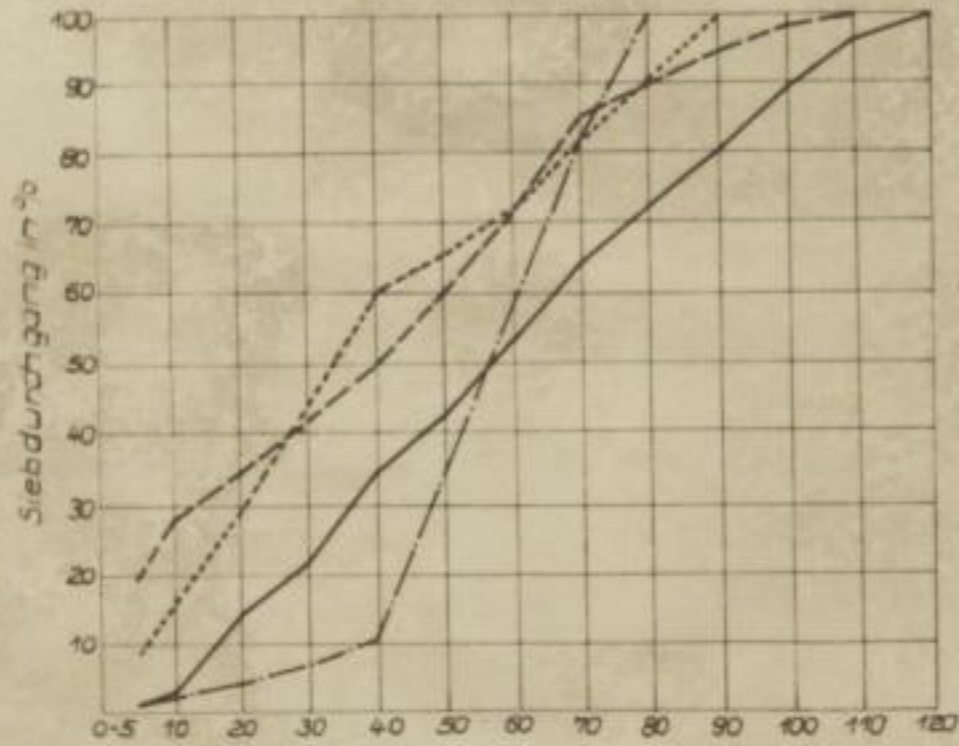
**SLUB**

Wir führen Wissen.

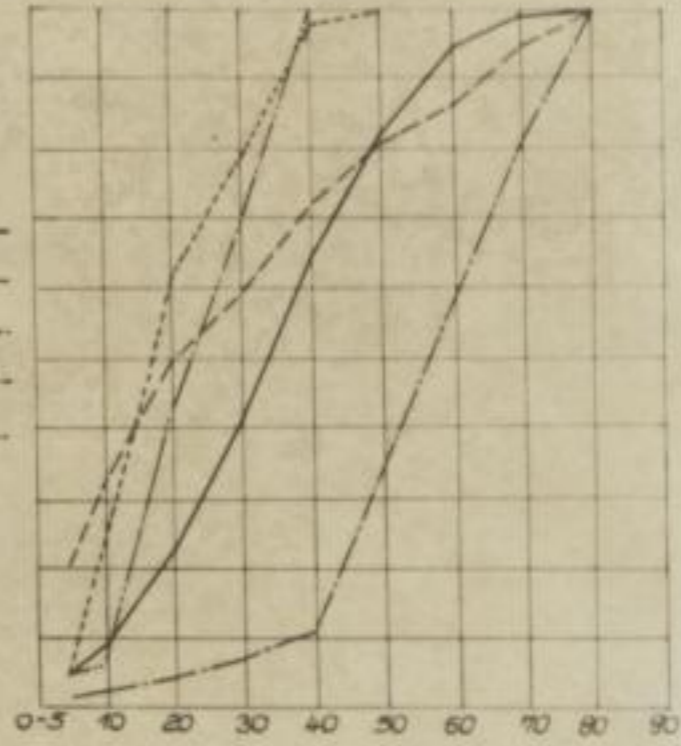
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG



Hauptversuche 1u2



Hauptversuche 3u4



Eisenerze ———  
 Manganträger - - -  
 Zuschläge - · - ·  
 Koks(Vers 1-3) ·····  
 Koks(Vers 4) - - - -

Korngrößen in mm

Bild 9  
Körnungskennlinien der Einsatzstoffe

ZU:  
 57.1702/3  
 4<sup>o</sup>

Bergakademie  
- Bucherei -  
Freiberg i. Sa.



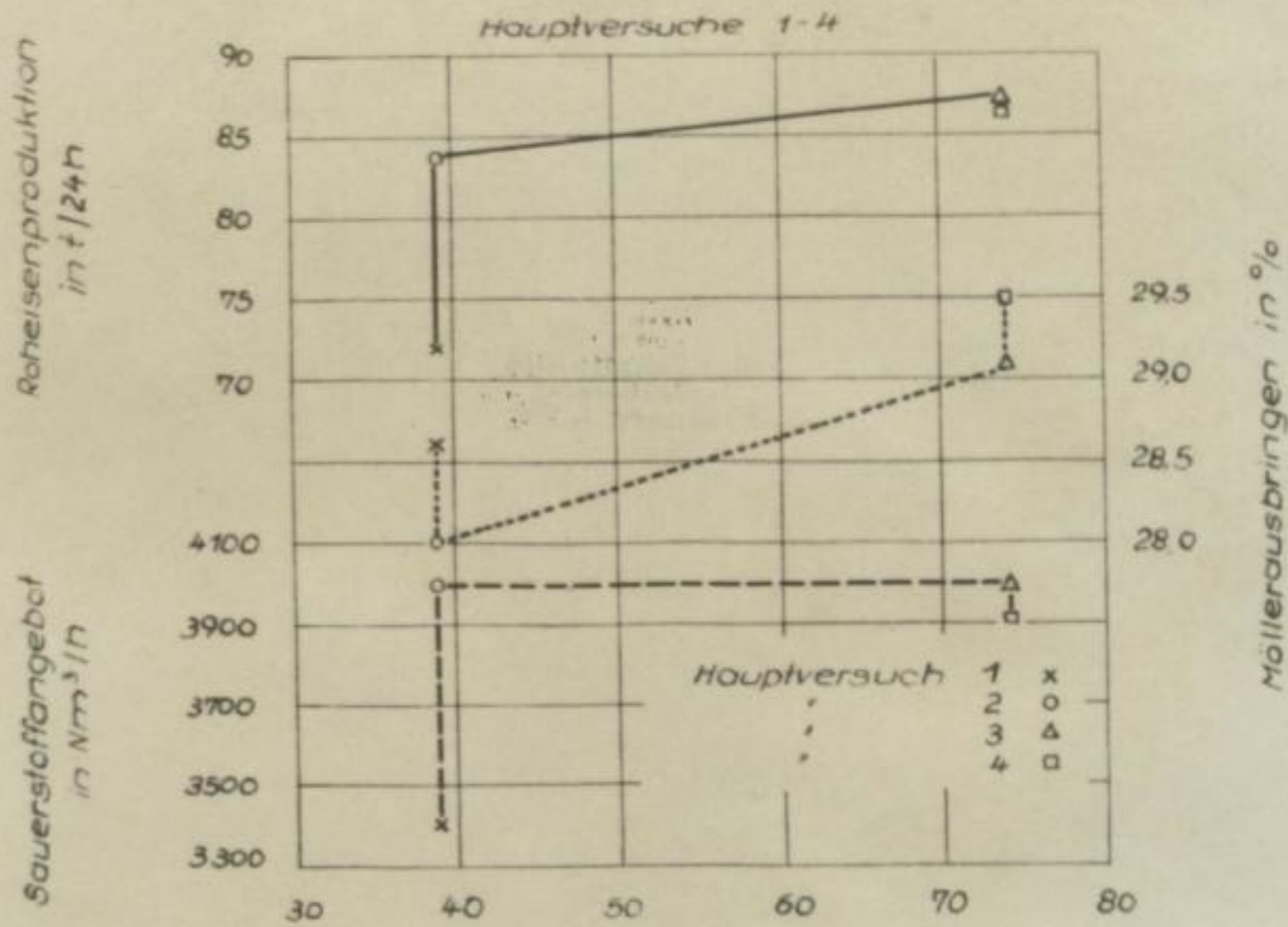
**SLUB**

Wir führen Wissen.

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK  
FREIBERG







Prozentualer Anteil der Korngrößen bis 40mm im Moller

Bild 10

Beziehungen zwischen Roheisenproduktion, Möllerausbringen und Sauerstoffangebot bei verschiedener Kornverteilung im Moller

Bergakademie  
Freiberg & Sz.

Zu:  
57.170213

4°

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

1855  
19  
Bergakademie Freiberg  
1855

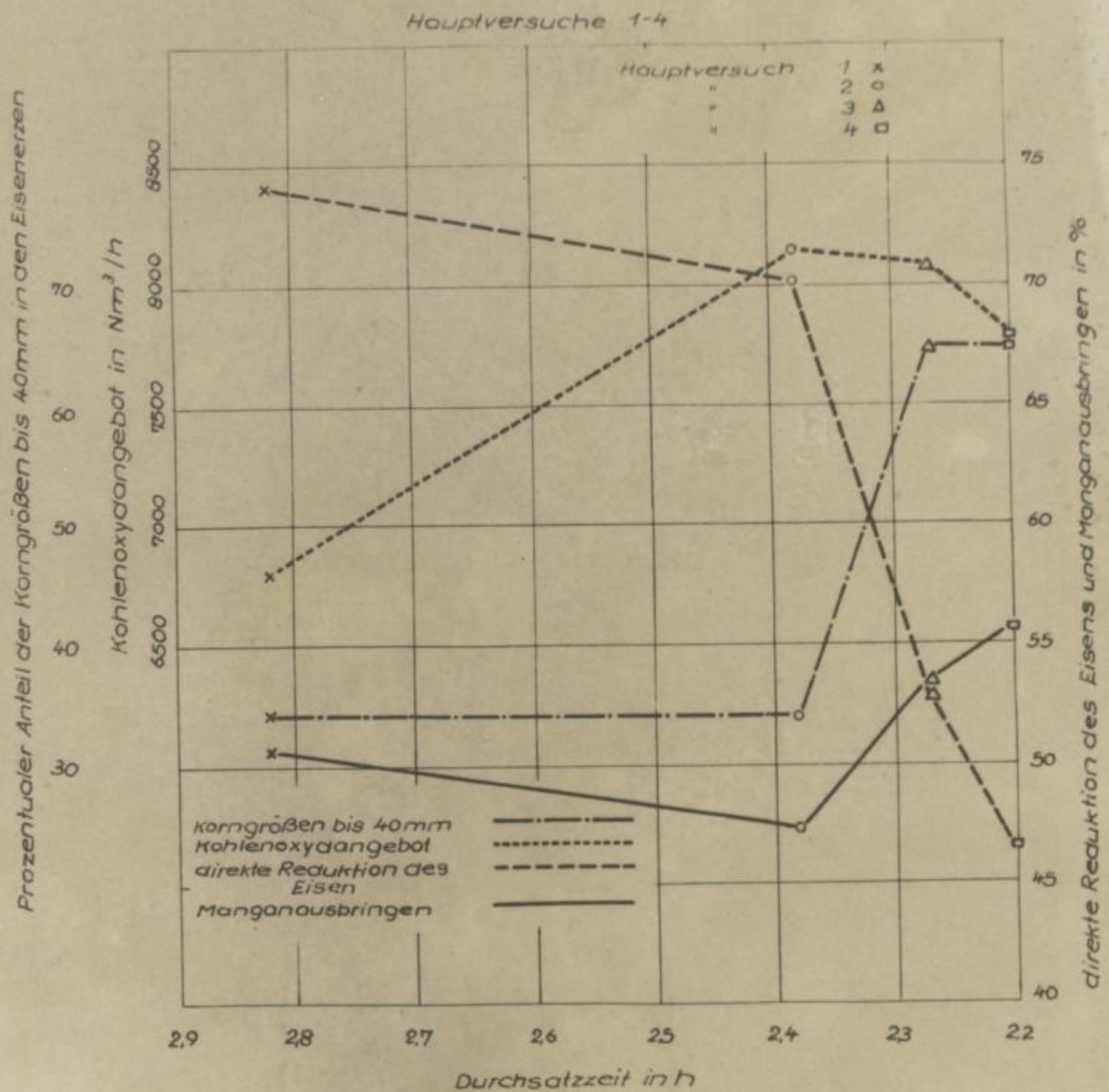


Bild 11

Einfluß des Kohlenoxydangebotes und der Korngrößen der Eisenerze auf die Reduktion des Eisens und Abhängigkeit des Manganausbringens von der Eisenreduktion bei verschiedener Durchsatzzeit

Bergakademie  
- Bücherei -  
Freiberg i. Sa.

III: 57. 1702/3

40

Bergakademie  
-Bücherei-  
Freiberg i. Sa.

Hauptversuch 1-4

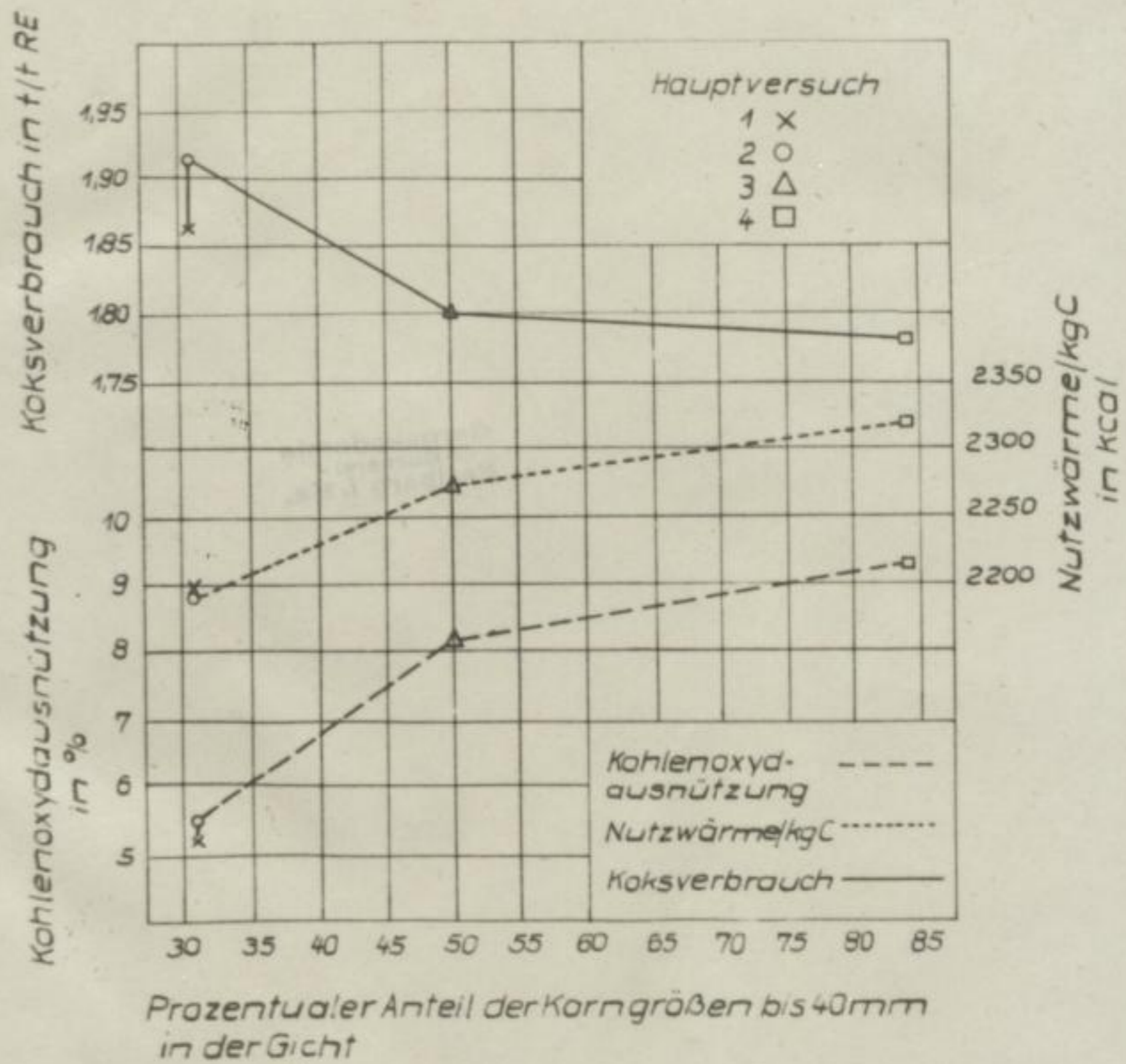


Bild 12

Abhängigkeit des Koksverbrauches, der Kohlenoxydausnützung und der Nutzwärme/kgC vom Anteil der Korngrößen <40mm in der Gicht

Bergakademie  
Freiberg Sa.

Zu:

54.1702/3

40

Bergakademie  
- Bücherei -  
Freiberg i. Sa.

Bergakademie  
Freiberg  
Zu:  
57.1702/3  
4

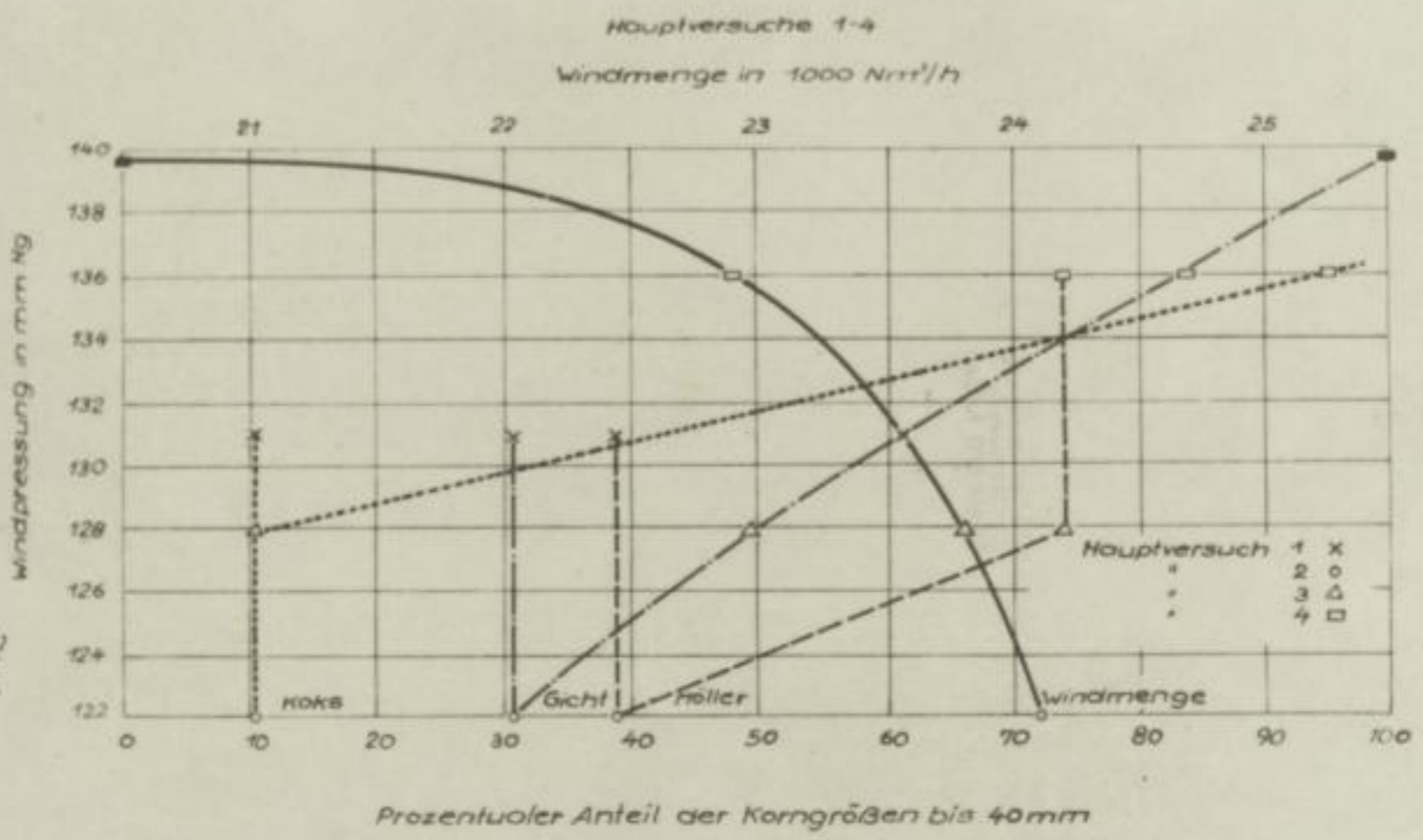


Bild 13  
Abhängigkeit der Windpressung und der Windmenge von  
der Kornverteilung im Mäler

Bergakademie  
- Bucherei -  
Freiberg i. Sa.



Bücherei  
• Bergakademie •  
Freiberg i. Sa.

✓

