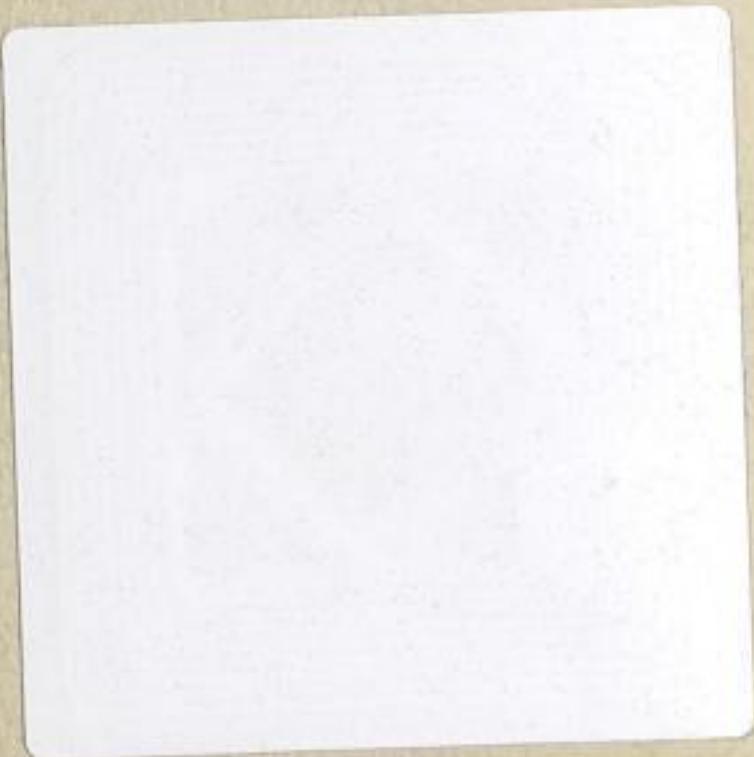


12

**DISSERTATION**

**M. Drodowsky**



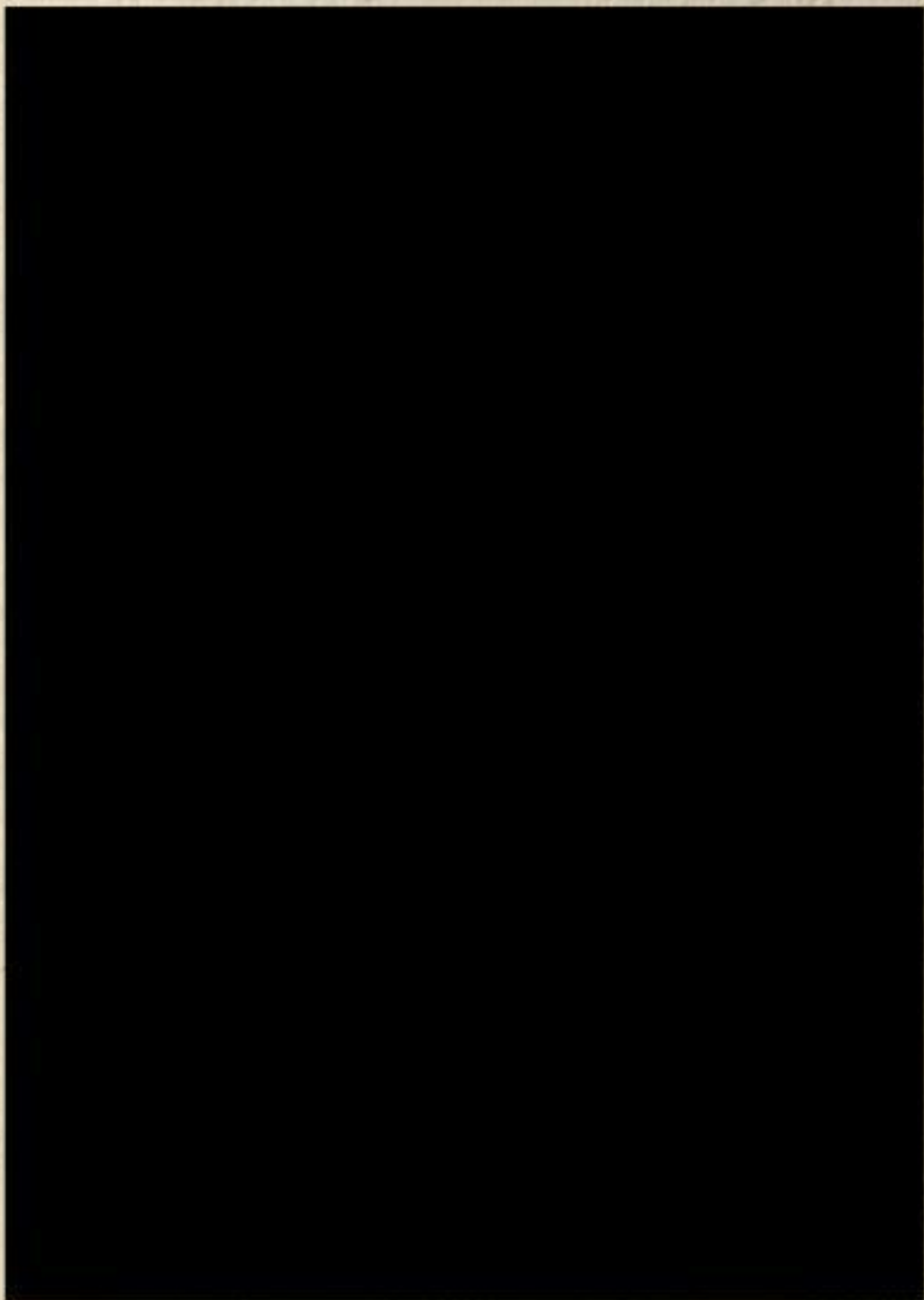




TU BERGAKADEMIE FREIBERG



63 . 1996 / 24 .









Aufbau und Inbetriebnahme einer Schachtofenversuchsanlage  
zur metallurgischen Beurteilung von Eisenerzen und Industrie-  
rückständen

Band I - Text

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktor - Ingenieurs  
an der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen  
der Bergakademie Freiberg / Sa.

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Manfred Drodowsky

Freiberg/Sa., im November 1962

Mit vorliegender Fassung einverstanden! *L. Hübner, 5.8.63*

*Manfred Drodowsky, 26.11.63*





63. 1996 b

4°



Es ist mir ein Bedürfnis, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr.-Ing.Lüdemann, der mir sowohl beim Aufbau der Schachtofenanlage als auch bei der Durchführung der Versuche selbst jederzeit seine volle Unterstützung zuteil werden ließ, meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Weiterhin gilt mein Dank den Kollegen des Schachtofenkollektivs und den Kolleginnen und Kollegen des Laboratoriums des Eisenhütten-Institutes, die durch vorbildlichen Einsatz zum Gelingen dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben.

Nicht zuletzt sei den Studenten der Fachrichtung Eisenhüttenkunde gedankt, die durch Anfertigung von Studienarbeiten oder durch ihre Mitarbeit an der Versuchsanlage dem Verfasser wertvolle Hilfe zuteil werden ließen.

Freiberg/Sa., im November 1962



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

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a signature or date.



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                      | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung . . . . .                                                                                                                                                                              | 1     |
| 2. Abmessungen, Aufgabenstellung und Ergebnisse in-<br>und ausländischer Versuchsschachtöfen. . . . .                                                                                                | 3     |
| 2.1 Die Modellgesetze und ihre Anwendung . . . . .                                                                                                                                                   | 3     |
| 2.2 Aufgabenstellung und Ergebnisse in-und ausländischer<br>Versuchsschachtöfen. . . . .                                                                                                             | 5     |
| 2.3 Schlußfolgerungen für den Aufbau der eigenen Ver-<br>suchsschachtofenanlage . . . . .                                                                                                            | 10    |
| 3. Die Schachtofenversuchsanlage. . . . .                                                                                                                                                            | 13    |
| 3.1 Der Gebläsestand . . . . .                                                                                                                                                                       | 13    |
| 3.2 Die Regenerativwinderhitzer. . . . .                                                                                                                                                             | 13    |
| 3.3 Heißwindleitungen und Heißwindarmaturen. . . . .                                                                                                                                                 | 14    |
| 3.4 Der Versuchsschachtofen. . . . .                                                                                                                                                                 | 15    |
| 3.5 Der Meßgeräteraum der Versuchsschachtofenanlage. . . . .                                                                                                                                         | 16    |
| 4. Aufgabenstellung, Versuchsprogramm und Charakteristik<br>der Einsatzstoffe. . . . .                                                                                                               | 17    |
| 5. Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung. . . . .                                                                                                                                              | 20    |
| 5.1 Zu einigen technologischen Fragen des Versuchs-<br>schachtofenbetriebes . . . . .                                                                                                                | 20    |
| 5.2 Die metallurgischen Bedingungen der Versuchsreihen<br>II und III und der Öfen II und IV des EKO. . . . .                                                                                         | 21    |
| 5.3 Die Untersuchungsmethoden. . . . .                                                                                                                                                               | 25    |
| 5.31 Die Reaktionskennzahlen $K_{S,Si}$ und $K_{Mn,Si}$ . . . . .                                                                                                                                    | 26    |
| 5.32 Stoffprobenentnahme aus dem Schacht des Versuchs-<br>ofens. . . . .                                                                                                                             | 27    |
| 5.33 Untersuchungen im Laboratorium. . . . .                                                                                                                                                         | 29    |
| 6. Die Beziehungen zwischen Silizium-und Manganreduk-<br>tion bei Einsatz verschiedener Einsatzstoffe. . . . .                                                                                       | 31    |
| 6.1 Die Silizium - und Manganreduktion . . . . .                                                                                                                                                     | 31    |
| 6.2 Der Einfluß der Korngröße und Erzart auf das Aus-<br>maß der Siliziumreduktion . . . . .                                                                                                         | 33    |
| 6.3 Der Einfluß der Korngröße und Erzart auf das Aus-<br>maß der Silizium-und Manganreduktion bei Unter-<br>suchungen im Versuchsschachtofen im Vergleich<br>zum Laboratorium und Hochofen . . . . . | 35    |



1. Einleitung . . . . . 1

2. Aussagen, Aufgabenstellung und Ergebnisse in-  
und ausländischer Versuchsanstalten . . . . . 2

3.1 Die Modellgesetze und ihre Anwendung . . . . . 3

3.2 Aufgabenteilung und Ergebnisse in- und ausländischer  
Versuchsanstalten . . . . . 4

3.3 Zusammenfassende Bemerkungen für den Aufbau der eigenen Vor-  
versuchsanstalt . . . . . 5

4. Die Beobachtungsverhältnisse . . . . . 6

4.1 Der Gefäßzustand . . . . . 7

4.2 Die Eigenschaften der Flüssigkeit . . . . . 8

4.3 Die Beobachtungen der Flüssigkeitsbewegung . . . . . 9

4.4 Der Versuchsaufbau . . . . . 10

4.5 Die Ergebnisse der Versuchsanstalten . . . . . 11

5. Aufgabenstellung, Versuchsaufbau und Ergebnisse  
der Versuchsanstalt . . . . . 12

5.1 Die Aufgabenstellung und Versuchsaufbau . . . . . 13

5.2 Die Ergebnisse der Versuchsanstalt . . . . . 14

5.3 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 15

5.4 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 16

5.5 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 17

5.6 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 18

5.7 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 19

5.8 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 20

5.9 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 21

5.10 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 22

5.11 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 23

5.12 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 24

5.13 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 25

5.14 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 26

5.15 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 27

5.16 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 28

5.17 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 29

5.18 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 30

5.19 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 31

5.20 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 32

5.21 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 33

5.22 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 34

5.23 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 35

5.24 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 36

5.25 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 37

5.26 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 38

5.27 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 39

5.28 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 40

5.29 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 41

5.30 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 42

5.31 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 43

5.32 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 44

5.33 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 45

5.34 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 46

5.35 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 47

5.36 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 48

5.37 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 49

5.38 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 50

5.39 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 51

5.40 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 52

5.41 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 53

5.42 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 54

5.43 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 55

5.44 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 56

5.45 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 57

5.46 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 58

5.47 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 59

5.48 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 60

5.49 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 61

5.50 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 62

5.51 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 63

5.52 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 64

5.53 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 65

5.54 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 66

5.55 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 67

5.56 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 68

5.57 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 69

5.58 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 70

5.59 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 71

5.60 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 72

5.61 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 73

5.62 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 74

5.63 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 75

5.64 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 76

5.65 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 77

5.66 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 78

5.67 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 79

5.68 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 80

5.69 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 81

5.70 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 82

5.71 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 83

5.72 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 84

5.73 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 85

5.74 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 86

5.75 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 87

5.76 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 88

5.77 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 89

5.78 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 90

5.79 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 91

5.80 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 92

5.81 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 93

5.82 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 94

5.83 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 95

5.84 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 96

5.85 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 97

5.86 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 98

5.87 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 99

5.88 Die Zusammenfassenden Bemerkungen . . . . . 100



|                                                                                                                                                                                   | Seite |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 6.4 Zu einigen Fragen der Verhüttung von Braunkohlen-<br>filteraschen . . . . .                                                                                                   | 42    |
| 6.41 Die Braunkohlenfilteraschen als Eisenträger - ihre<br>Vorteile gegenüber einheimischen sauren Erzen. . .                                                                     | 43    |
| 6.42 Stückigmachen der Braunkohlenfilteraschen durch<br>Pelletisieren . . . . .                                                                                                   | 45    |
| 6.43 Die wichtigsten Betriebskennwerte und die Ergebnis-<br>se der Versuchsreihe IV. . . . .                                                                                      | 46    |
| 6.5 Einflußgrößen, die von der Erzart und Korngröße her<br>den Verlauf der Silizium- und Manganreduktion be-<br>stimmen . . . . .                                                 | 48    |
| 6.51 Der Einfluß des Erweichungsbeginns und des Erwei-<br>chungsverhaltens des Kriwoi Rog - Erzes und der<br>Pellets auf die Siliziumreduktion . . . . .                          | 53    |
| 6.52 Der Verlauf der Reduktion der Eisenoxyde und der<br>Kieselsäure im Schacht des Versuchsofens . . . . .                                                                       | 56    |
| 6.53 Die Bedeutung der mechanischen Eigenschaften der<br>Einsatzstoffe für die Silizium - und Manganreduk-<br>tion und ihre Auswirkungen auf den Hochofen. . . .                  | 61    |
| 7. Der Einfluß der Silizium- und Manganreduktion auf<br>den Schwefelgehalt im Roheisen bei Einsatz ver-<br>schiedenartiger Einsatzstoffe unterschiedlicher<br>Korngröße . . . . . | 65    |
| 7.1 Der Einfluß der untersuchten Stoffe und ihrer Korn-<br>größen auf den Schwefelgehalt im Roheisen . . . . .                                                                    | 66    |
| 8. Zusammenfassung . . . . .                                                                                                                                                      | 71    |
| 9. Literaturverzeichnis . . . . .                                                                                                                                                 | 73    |

Band II

Versuchsauswertung:            Bilder 1 bis 73

Band III

Versuchswerte:                Tafeln 1 bis 35



1. Die Einleitung . . . . . 1

2. Die Einleitung . . . . . 1

3. Die Einleitung . . . . . 1

4. Die Einleitung . . . . . 1

5. Die Einleitung . . . . . 1

6. Die Einleitung . . . . . 1

7. Die Einleitung . . . . . 1

8. Die Einleitung . . . . . 1

9. Die Einleitung . . . . . 1

10. Die Einleitung . . . . . 1

11. Die Einleitung . . . . . 1

12. Die Einleitung . . . . . 1

13. Die Einleitung . . . . . 1

14. Die Einleitung . . . . . 1

15. Die Einleitung . . . . . 1

16. Die Einleitung . . . . . 1

17. Die Einleitung . . . . . 1

18. Die Einleitung . . . . . 1

19. Die Einleitung . . . . . 1

20. Die Einleitung . . . . . 1

21. Die Einleitung . . . . . 1

22. Die Einleitung . . . . . 1

23. Die Einleitung . . . . . 1

24. Die Einleitung . . . . . 1

25. Die Einleitung . . . . . 1

26. Die Einleitung . . . . . 1

27. Die Einleitung . . . . . 1

28. Die Einleitung . . . . . 1

29. Die Einleitung . . . . . 1

30. Die Einleitung . . . . . 1

31. Die Einleitung . . . . . 1

32. Die Einleitung . . . . . 1

33. Die Einleitung . . . . . 1

34. Die Einleitung . . . . . 1

35. Die Einleitung . . . . . 1

36. Die Einleitung . . . . . 1

37. Die Einleitung . . . . . 1

38. Die Einleitung . . . . . 1

39. Die Einleitung . . . . . 1

40. Die Einleitung . . . . . 1

41. Die Einleitung . . . . . 1

42. Die Einleitung . . . . . 1

43. Die Einleitung . . . . . 1

44. Die Einleitung . . . . . 1

45. Die Einleitung . . . . . 1

46. Die Einleitung . . . . . 1

47. Die Einleitung . . . . . 1

48. Die Einleitung . . . . . 1

49. Die Einleitung . . . . . 1

50. Die Einleitung . . . . . 1

51. Die Einleitung . . . . . 1

52. Die Einleitung . . . . . 1

53. Die Einleitung . . . . . 1

54. Die Einleitung . . . . . 1

55. Die Einleitung . . . . . 1

56. Die Einleitung . . . . . 1

57. Die Einleitung . . . . . 1

58. Die Einleitung . . . . . 1

59. Die Einleitung . . . . . 1

60. Die Einleitung . . . . . 1

61. Die Einleitung . . . . . 1

62. Die Einleitung . . . . . 1

63. Die Einleitung . . . . . 1

64. Die Einleitung . . . . . 1

65. Die Einleitung . . . . . 1

66. Die Einleitung . . . . . 1

67. Die Einleitung . . . . . 1

68. Die Einleitung . . . . . 1

69. Die Einleitung . . . . . 1

70. Die Einleitung . . . . . 1

71. Die Einleitung . . . . . 1

72. Die Einleitung . . . . . 1

73. Die Einleitung . . . . . 1

74. Die Einleitung . . . . . 1

75. Die Einleitung . . . . . 1

76. Die Einleitung . . . . . 1

77. Die Einleitung . . . . . 1

78. Die Einleitung . . . . . 1

79. Die Einleitung . . . . . 1

80. Die Einleitung . . . . . 1

81. Die Einleitung . . . . . 1

82. Die Einleitung . . . . . 1

83. Die Einleitung . . . . . 1

84. Die Einleitung . . . . . 1

85. Die Einleitung . . . . . 1

86. Die Einleitung . . . . . 1

87. Die Einleitung . . . . . 1

88. Die Einleitung . . . . . 1

89. Die Einleitung . . . . . 1

90. Die Einleitung . . . . . 1

91. Die Einleitung . . . . . 1

92. Die Einleitung . . . . . 1

93. Die Einleitung . . . . . 1

94. Die Einleitung . . . . . 1

95. Die Einleitung . . . . . 1

96. Die Einleitung . . . . . 1

97. Die Einleitung . . . . . 1

98. Die Einleitung . . . . . 1

99. Die Einleitung . . . . . 1

100. Die Einleitung . . . . . 1

Band II  
 Teil I bis 75  
 Band III  
 Teil I bis 25



## 1. Einleitung

"Ziel der Technik ist es, in den Methoden der Produktion sich jeweils dem Höchststand der naturwissenschaftlichen Kenntnisse anzupassen. Ausgehend von der Tatsache, daß Forschung und Technik als gleichberechtigte Teile der Wissenschaft anzusehen sind, verdient die Technik in allen ihren Zweigen der Produktion größere Berücksichtigung als bisher" [1].

Etwa fünf Jahrtausende sind vergangen, seit erstmals in der heutigen Steiermark und im mitteldeutschen Raum freiliegendes Erz unter Verwendung von Holzkohle in Rennfeuern verarbeitet wurde. Generationen von Forschern und Ingenieuren, von denen viele zu ihrer Zeit und mit ihren zeitgebundenen Erfahrungen große Leistungen hervorbrachten, haben mitgeholfen, die heutige Stellung des Hochofenverfahrens zu begründen.

Die Wirtschaftlichkeit der Roheisenerzeugung im Hochofen ist bisher noch von keinem anderen Verfahren der Eisenerzverhüttung, deren es in der Patentliteratur viele hundert gibt, erreicht worden. Ausgenommen sei hier das Elektro - Hochofen - Verfahren, das sich in Gebieten durchgesetzt hat, wo Strom billig und Koks teuer ist.

Obwohl der Hochofen günstiger arbeitet als die bisher vorgeschlagenen Ersatzanlagen, darf man daraus nicht schließen, daß der Prozeß schon auf den höchsten Stand der Wirtschaftlichkeit gebracht worden ist. Der Umstand, daß man alle Stoffe aus dem Auge verliert, wenn sie durch den Gichtverschluß gerutscht sind und daß man erst am Enderfolg feststellen kann, ob man richtig oder falsch gearbeitet hat, bereitet der wissenschaftlichen Durchdringung auch heute noch erhebliche Schwierigkeiten [2].

Unter der Voraussicht, daß die vorgesehene Leistungssteigerung in der Roheisenerzeugung künftig weitestgehend auf der Grundlage der einheimischen Rohstoffbasis erfolgen muß, verdient die Untersuchung der Verhüttungseigenschaften der zum Einsatz kommenden Erze besondere Beachtung. Ziel dieser Untersuchungen muß es sein, den Einfluß der chemischen Zusammensetzung und physikalischen Beschaffenheit der Rohstoffe auf die metallurgischen Vorgänge im Hochofen, also vornehmlich in ihrer Auswirkung auf die Zusammensetzung und Eigenschaften des anfallenden Roheisens zu untersuchen. Diese Forschung ist zu einer unerläßlichen Notwendigkeit geworden, um die Ökonomie des Hochofenprozesses in seiner Gesamtheit weiter verbessern zu können.







Der Produktionsbetrieb selbst, der bis zu Beginn dieses Jahrhunderts als "Laboratorium des hüttenmännischen Fortschritts" angesehen werden kann, scheidet weitgehend aus, da hier die Forschung zur Minderung der Produktion führen kann. Andererseits sind wir auch heute noch nicht so weit fortgeschritten, daß wir uns auf den Laboratoriumsversuch unbedingt verlassen könnten. Auf das "experimentum crucis" des Versuchs, zumindest im halbtechnischen Maßstab, kann nicht verzichtet werden, um die Spanne zwischen den verhältnismäßig beschränkten Laboratoriumserfahrungen und den Bedürfnissen des Großbetriebes zu überbrücken [1].

Ausgehend von diesen Gesichtspunkten wurde vom Verfasser eine Versuchsschachtanlage entwickelt und im Eisenhütteninstitut der Bergakademie Freiberg aufgebaut. Hier sollten die im Laboratorium gewonnenen Ergebnisse unmittelbar im halbtechnischen Maßstab überprüft werden. Der Aufbau der Anlage wurde nicht zuletzt deshalb durchgeführt, um dem Institut weitere Möglichkeiten zu schaffen, durch Forschungsarbeiten zur Lösung der der Roheisen erzeugenden Industrie der DDR gestellte Aufgabe, mit einem Minimum an Investitionsmitteln die Technologie selbst dem Höchststand der wissenschaftlichen Erkenntnisse anzupassen und damit die Wirtschaftlichkeit des Prozesses zu verbessern, beizutragen. Die vorliegende Arbeit soll dazu einen ersten Beitrag liefern.



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



## 2. Abmessungen, Aufgabenstellung und Ergebnisse in - und ausländischer Versuchsschachtöfen.

### 2.1 Die Modellgesetze und ihre Anwendung

Es hat an Versuchen bisher nicht gefehlt, die Ähnlichkeitslehre der Hüttenkunde zugänglich und dienstbar zu machen.

Der Verhüttungsprozeß ist durch eine Vielzahl von Einflußgrößen gekennzeichnet, die chemischer oder physikalischer oder chemisch und physikalischer Natur sein können. Es ist nicht möglich, eine dieser Größen betrachten und untersuchen zu wollen, ohne sie im Zusammenspiel mit den anderen zu sehen. Die chemischen und physikalischen Einflußgrößen sind also füreinander Ursache und Folge zugleich; sie sind aneinander gebunden und aufeinander abgestimmt. Es ist also offensichtlich nicht möglich, allein das Modell der Hauptausführung geometrisch nachzubilden, ohne dabei nicht gleichzeitig die chemischen und physikalischen Teilerscheinungen zu beachten. Aus den Ähnlichkeitsbeziehungen ergeben sich demnach für den Aufbau von Versuchsanlagen folgende Schlußfolgerungen [5] :

- 1.) Das Modell, in dem ein Vorgang nachgebildet werden soll, der in allen Grundrichtungen verläuft, muß der Hauptausführung vollkommen ähnlich sein.
- 2.) Beim Modellieren eines chemischen oder eines aus chemischen und physikalischen Teilerscheinungen zusammengesetzten Vorganges muß jede Temperatur, jeder Druck, jede Gaszusammensetzung im Modell gleich der entsprechenden Zustandsgröße der Hauptausführung sein, d.h., daß alle Temperaturen, Drücke und Gaszusammensetzungen mit dem Maßstab 1 übertragen werden müssen.
- 3.) Eine Ähnlichkeit der chemischen Vorgänge ohne Ähnlichkeit der mit ihnen gekoppelten physikalischen Vorgänge ist nicht möglich. Es müssen also auch die Ähnlichkeitsbeziehungen der physikalischen Teilerscheinungen, wie Stoff - und Energieumwandlungen, Durchlässigkeit der Schüttung, Reduzierbarkeit des Erzes usw. berücksichtigt werden.

Die Herstellung eines dem Großhochofen ähnlichen Modells bereitet technisch keine Schwierigkeiten. Sehr schwierig dagegen sind die zeitabhängigen metallurgischen Vorgänge und die sie beeinflussenden Zustandsgrößen zu modellieren. Es ist dem Hüttenmann noch nicht möglich, die Zahl der Einflußgrößen in ihrer Abhängig-



2.4. Lösung der Aufgabe 1.1.1. Die Aufgabe ist in zwei Teile unterteilt. In Teil a) ist die Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  zu erfordern, die ein Körper benötigt, um in einer Höhe  $h$  über dem Boden zu fliegen. In Teil b) ist die Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  zu erfordern, die ein Körper benötigt, um in einer Höhe  $h$  über dem Boden zu fliegen.

Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $v = \omega r$  gegeben, wobei  $v$  die Bahngeschwindigkeit und  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{2gh}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{gh}$  gegeben.

Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $\omega = \frac{v}{r}$  gegeben, wobei  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $\omega$  durch die Gleichung  $\omega = \frac{\sqrt{2gh}}{r}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $\omega$  durch die Gleichung  $\omega = \frac{\sqrt{gh}}{r}$  gegeben.

1.) Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $\omega = \frac{v}{r}$  gegeben, wobei  $v$  die Bahngeschwindigkeit und  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{2gh}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{gh}$  gegeben.

2.) Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $\omega = \frac{v}{r}$  gegeben, wobei  $v$  die Bahngeschwindigkeit und  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{2gh}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{gh}$  gegeben.

3.) Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $\omega = \frac{v}{r}$  gegeben, wobei  $v$  die Bahngeschwindigkeit und  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{2gh}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{gh}$  gegeben.

Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ist durch die Gleichung  $\omega = \frac{v}{r}$  gegeben, wobei  $v$  die Bahngeschwindigkeit und  $r$  der Radius der Kreisbewegung ist. In Teil a) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{2gh}$  gegeben, wobei  $g$  die Erdbeschleunigung ist. In Teil b) ist  $v$  durch die Gleichung  $v = \sqrt{gh}$  gegeben.



keit in ein mathematisch und theoretisch gesichertes System zu zwingen, weil nicht zuletzt die Anfallsbedingungen der Ausgangsprodukte sich stetig verändern. Aus diesem Grunde können die aus der mathematischen Herleitung der Modellgesetze erhaltenen Werte nicht kritiklos auf einen Versuchsschachtofen übertragen werden. H.-J. TISCHENDORF [4] weist nach, daß entsprechend den Modellgesetzen, bei einem Übertragungsmaßstab  $m_1 = 15$ , einer besseren Reduzierbarkeit kleinstückiger Erze und einer maximalen Durchsatzzeit von 2 Stunden, die mittlere Erzkorngröße im Versuchsschachtofen 3 bis 7 mal kleiner sein müßte, als diejenige im Großhochofen. Die Korngröße des Koks mußte dann 15 mal kleiner sein als diejenige im Großhochofen und die Gestellbelastung im gleichen Maße höher liegen, wie die Reaktionsfähigkeit kleinerer Koksstücke angestiegen ist. Die eigenen Versuche zeigen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von H.-J. TISCHENDORF, daß bei Einsatz modellgerechter Korngrößen sich als Folge zu hoher Gasgeschwindigkeiten zu hohe Staubverluste ergeben. Besonders dann ist das der Fall, wenn die Gasmengen eines Versuchsschachtofens einer Querschnittsbelastung entsprechen, die in der gleichen Größenordnung wie beim Großhochofen liegt. Die mit einer kleineren Korngröße betriebenen Versuchsschachtofen lassen aus diesem Grunde nur niedrige Gestellbelastungen zu; denn die Gestellbelastung wird unter anderem von der Größe des Ofens, der Stückigkeit und Gasdurchlässigkeit des Möllers und Koks und der Förderhöhe der Gebläse bestimmt, Bild 2 und Bild 3 (Tafel 1 und Tafel 2).

Es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, die Gültigkeit der Modellgesetze in ihrer Anwendung auf Versuchsanlagen im einzelnen zu untersuchen. Andererseits bleibt aber nach wie vor die Frage zu beantworten: wie muß eine Versuchsanlage gestaltet werden, um aus den Ergebnissen Schlußfolgerungen für den großtechnischen Betrieb ziehen zu können. R. SPOLDERS und W. WENZEL [5] vertreten die Ansicht, daß die günstigste Versuchsschachtofengröße sich lediglich aus der radialen Verkleinerung des Großofens ergibt. Von Vorteil wäre dann, daß der physikalische Zustand der Beschickung, insbesondere die Korngröße, gegenüber dem Großofen nicht verändert werden muß. Die Verfasser müssen aber ebenso wie R. C. DUEHL [6] eingestehen, daß aus mechanischen Gründen bei einem Ofen von 0,6 m Gestelldurchmesser und 20 m Höhe ein kontinuierlicher Niedergang der Beschickung nicht mehr gewährleistet ist. R. SPOLDERS und W. WENZEL sehen beim Betrieb eines



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



dem Hochofen geometrisch ähnlichen Versuchsofens das Erreichen vergleichbarer Bedingungen dann als gesichert an, wenn die Möllerkorngröße so verändert wird, daß der Grad der indirekten Reduktion des Versuchsofens dem des Großofens entspricht. Der für die Hattinger Untersuchungen zum Vergleich herangezogene Grad der indirekten Reduktion des Ofens III der Heinrichs - Hütte betrug 56%. Dieser Wert wurde beim Versuchsschachtofen erreicht, wenn die Korngröße des Kokes 20 - 40 mm und die des Erzes 0 - 20 mm betrug. R.C.BUEHL empfiehlt ebenfalls, die Möllerkorngröße nicht proportional der Versuchsschachtofengröße zu verringern, da die günstigsten Betriebswerte bei einer mittleren Möllerkorngröße liegen.

Für den Betrieb eines dem Großofen geometrisch ähnlichen Versuchsofens ergeben sich also zunächst folgende Schlußfolgerungen:

- 1.) Die Modellierung der zeitabhängigen metallurgischen Vorgänge bereitet erhebliche Schwierigkeiten. Aus diesen Gründe können die aus den Ähnlichkeitsbeziehungen hergeleiteten Werte nicht kritiklos auf den Betrieb des Versuchsofens übertragen werden.
- 2.) Der verringerten Möllerkorngröße muß bei Betrieb eines Versuchsofens die Windmenge angepaßt werden, um zu große Staubverluste zu vermeiden.

## 2.2 Aufgabenstellung und Ergebnisse in - und ausländischer Versuchsofen.

Es ist kein Zufall, daß, wie eine Literaturrecherche zeigt, gerade in den letzten 15 Jahren im verstärkten Maße Versuchsschachtofen gebaut und in Betrieb genommen wurden. Im Bild 1 sind die Profile einer Reihe in - und ausländischer Versuchsschachtofen dargestellt. Das Bild ist unvollständig, da für einige Versuchsofen die für Darstellung notwendigen Angaben in der Literatur fehlen.

Aus der Aufgabenstellung und Zielsetzung der bisher an Versuchsschachtofen durchgeführten Untersuchungen lassen sich grundsätzlich drei Richtungen erkennen:

- 1.) Untersuchung der Reduktionsvorgänge und des Verhaltens einiger Elemente im Schachtofen.
- 2.) Verhüttung eisenarmer und physikalisch ungünstiger Möllersubstanzen und minderwertiger Brennstoffe.



Das Institut für Bergbau und Hüttenwesen der TU Bergakademie Freiberg  
wurde am 1. Oktober 1990 gegründet und ist seitdem ein zentraler  
Anlaufpunkt für alle bergbau- und hüttenwissenschaftlichen  
Arbeiten der TU Bergakademie Freiberg. Das Institut ist  
als Lehr- und Forschungsanstalt für die Ausbildung der  
Ingenieure der TU Bergakademie Freiberg tätig. Die  
Aufgaben des Instituts sind die Vermittlung der  
berufswissenschaftlichen Kenntnisse der Bergbau- und  
Hüttenwissenschaften an die Studierenden der TU Bergakademie  
Freiberg sowie die Durchführung von wissenschaftlichen  
Forschungsarbeiten im Bereich der Bergbau- und Hüttenwissenschaften.

Das Institut für Bergbau und Hüttenwesen der TU Bergakademie Freiberg  
wurde am 1. Oktober 1990 gegründet und ist seitdem ein zentraler  
Anlaufpunkt für alle bergbau- und hüttenwissenschaftlichen  
Arbeiten der TU Bergakademie Freiberg. Das Institut ist  
als Lehr- und Forschungsanstalt für die Ausbildung der  
Ingenieure der TU Bergakademie Freiberg tätig. Die  
Aufgaben des Instituts sind die Vermittlung der  
berufswissenschaftlichen Kenntnisse der Bergbau- und  
Hüttenwissenschaften an die Studierenden der TU Bergakademie  
Freiberg sowie die Durchführung von wissenschaftlichen  
Forschungsarbeiten im Bereich der Bergbau- und Hüttenwissenschaften.

Das Institut für Bergbau und Hüttenwesen der TU Bergakademie Freiberg  
wurde am 1. Oktober 1990 gegründet und ist seitdem ein zentraler  
Anlaufpunkt für alle bergbau- und hüttenwissenschaftlichen  
Arbeiten der TU Bergakademie Freiberg. Das Institut ist  
als Lehr- und Forschungsanstalt für die Ausbildung der  
Ingenieure der TU Bergakademie Freiberg tätig. Die  
Aufgaben des Instituts sind die Vermittlung der  
berufswissenschaftlichen Kenntnisse der Bergbau- und  
Hüttenwissenschaften an die Studierenden der TU Bergakademie  
Freiberg sowie die Durchführung von wissenschaftlichen  
Forschungsarbeiten im Bereich der Bergbau- und Hüttenwissenschaften.

Das Institut für Bergbau und Hüttenwesen der TU Bergakademie Freiberg  
wurde am 1. Oktober 1990 gegründet und ist seitdem ein zentraler  
Anlaufpunkt für alle bergbau- und hüttenwissenschaftlichen  
Arbeiten der TU Bergakademie Freiberg. Das Institut ist  
als Lehr- und Forschungsanstalt für die Ausbildung der  
Ingenieure der TU Bergakademie Freiberg tätig. Die  
Aufgaben des Instituts sind die Vermittlung der  
berufswissenschaftlichen Kenntnisse der Bergbau- und  
Hüttenwissenschaften an die Studierenden der TU Bergakademie  
Freiberg sowie die Durchführung von wissenschaftlichen  
Forschungsarbeiten im Bereich der Bergbau- und Hüttenwissenschaften.

Das Institut für Bergbau und Hüttenwesen der TU Bergakademie Freiberg  
wurde am 1. Oktober 1990 gegründet und ist seitdem ein zentraler  
Anlaufpunkt für alle bergbau- und hüttenwissenschaftlichen  
Arbeiten der TU Bergakademie Freiberg. Das Institut ist  
als Lehr- und Forschungsanstalt für die Ausbildung der  
Ingenieure der TU Bergakademie Freiberg tätig. Die  
Aufgaben des Instituts sind die Vermittlung der  
berufswissenschaftlichen Kenntnisse der Bergbau- und  
Hüttenwissenschaften an die Studierenden der TU Bergakademie  
Freiberg sowie die Durchführung von wissenschaftlichen  
Forschungsarbeiten im Bereich der Bergbau- und Hüttenwissenschaften.



3.) Steigerung der Leistung des Hochofens durch Sauerstoffanreicherung des Gebläsewindes, Zusatz von reduzierenden Gasen oder Hochdruck an der Gicht.

Der erste in der Literatur beschriebene Versuchsschachtofen mit 0,76 m Gestelldurchmesser und 6 m Höhe wurde bereits um die Jahrhundertwende in Buffalo betrieben [7].

Aufgabe der Untersuchung war es, festzustellen, ob der hohe Titangehalt einiger amerikanischer Erze deren Verhüttung erschwert. Nachdem durch Vorversuche festgestellt worden war, daß Schlacken aus Titanaten und Titansilikaten dann leicht schmelzbar sind, wenn das Verhältnis von Säuresauerstoff zu Basensauerstoff 4 zu 5 beträgt, bereitete die Verhüttung selbst keine Schwierigkeiten mehr.

Das Versuchsprogramm des im Jahr 1924 in Minneapolis in den USA [8] in Betrieb genommenen Versuchsschachtofens sah vor, die Reduzierbarkeit von Eisenerzen zu untersuchen und die im Gestell des Versuchsofens herrschenden Temperaturen festzustellen. Die Korngröße des Kokes betrug 10 - 50 mm, die des Erzes 3 - 19 mm. Es konnte nachgewiesen werden, daß die Temperatur der Schlacke gleich ihrer Verflüssigungstemperatur ist und die Windvorwärmung keinen Einfluß auf die Schlackentemperatur ausübt.

Der in der Stockholmer Bergbauschule [9] betriebene Versuchsschachtofen wurde, nachdem der Ofengang regelmäßig war, gedämpft und der erkaltete Ofeninhalt von der Gicht aus schichtenweise abgetragen. Die chemisch, mikro- und makroskopisch untersuchten Proben vermittelten ein klares Bild über die Vorgänge, die sich bei der Erzreduktion und Schlackenbildung vollziehen.

Von Bureau of Mines [10] wurden im Jahre 1957 ähnliche Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß die Reduktion der Erze in Versuchsofen nicht nach der Reduktionskurve verläuft, die im Laboratoriumsversuch ermittelt wurde. Prozeßtemperatur, Gaskomposition und Korngröße des Erzes oder Sinters des großtechnischen Betriebes unterscheiden sich wesentlich von den Bedingungen des Laboratoriums [13]. Die im Versuchsbetrieb gewonnenen Ergebnisse dürften deshalb den großtechnischen Werten wesentlich näher kommen.



(a) ...

... in der ...

... die ...

... das ...

... die ...



In der Sowjetunion wurden 1934 an einem Versuchsschachtofen Untersuchungen durchgeführt, die darüber Aufschluß geben sollten, ob im Hochofen ein für die Ammoniaksynthese verwendbares Gichtgas bei gleichzeitiger Herstellung von Roheisen gewonnen werden kann [11]. Um das Volumenverhältnis von Stickstoff und Wasserstoff von 1 : 3 im Gichtgas zu gewährleisten, wurde am Übergang von Rast zu Schacht Wasserdampf eingeblasen. Durch Erhöhung des Kokssatzes wurde die Wärmebilanz wieder ausgeglichen. Hinweise, die eine großtechnische Anwendung des Verfahrens bestätigen, fehlen in der Literatur.

Seit 1946 wird von der British Iron and Steel Research Association im Stahlwerk Shelton ein Versuchsschachtofen betrieben. Neben der Untersuchung der Reduzierbarkeit verschiedener Erze wurde der Klärung der Zusammenhänge zwischen Erzverteilung, Gasströmung und Ofengang besondere Aufmerksamkeit gewidmet [12].

Am Metallurgischen Institut in Ljubljana wurden 1949 an einem kleinen Versuchsschachtofen Untersuchungen durchgeführt, um die Reduzierbarkeit verschiedener Erze zu ermitteln [13], [14].

Die Versuche des Bureau of Mines in Pittsburgh [15] verfolgten das Ziel, ein Verfahren der Manganrückgewinnung aus Hochofenschlacke zu entwickeln. Es gelang, ein Spiegeleisen mit 14 - 23% Mangan herzustellen. Bis zu 60% des in der Schlacke enthaltenen Mangans konnten zurückgewonnen werden.

J.J.BOSLEY, N.B.MELCHER und M.M.HARRIS sowie H.WEIDENMÜLLER haben an Versuchsofen umfangreiche Untersuchungen über das Verhalten des Schwefels durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen darin überein, daß der Koksschwefel bis zur Verbrennung des Kokses vor den Formen nicht verändert wird. Eine merkliche Entschwefelung setzt erst dann ein, wenn sich der Kalk in der sauren Primärschlacke zu lösen beginnt. [10], [16].

Die Roheisen erzeugende Industrie aller Industrieländer sieht sich in zunehmendem Maße vor die Aufgabe gestellt, Feinerze und Koks minderer Qualität zu verarbeiten. Umfangreiche Untersuchungen sind notwendig, um unter den durch die Rohstoffbasis bedingten Gegebenheiten, die günstigsten technologischen und wirtschaftlichen Kennziffern erreichen zu können.

Die in einer Gemeinschaftsarbeit der Allegheny - Ludlum Steel



In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der  
Versuche dargestellt, die in der Tabelle  
aufgeführt sind. Die Tabelle zeigt die  
Ergebnisse der Versuche, die in der  
Tabelle aufgeführt sind. Die Tabelle zeigt  
die Ergebnisse der Versuche, die in der  
Tabelle aufgeführt sind.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind. Die  
Tabelle zeigt die Ergebnisse der Versuche,  
die in der Tabelle aufgeführt sind.



Corporation und der Pittsburgh Consolidation Coal Corporation in Brackenridge (USA) in einem Kupolofen durchgeführten Untersuchungen hatten das Ziel, die Möglichkeiten der Verhüttung von Feinerz zu untersuchen [23]. Der Koksverbrauch bei Einsatz von Mesabi - Erz, kubanischen Lateriterz, Taconit - Pellets und Sinter wurde von R.C.BUEHL untersucht [24].

Die von Bureau of Mines an einem Versuchsschachtofen durchgeführten Arbeiten waren darauf gerichtet, einen Teil des metallurgischen Kokes durch Anthrazit zu ersetzen [25]. Es wurde festgestellt, daß bei Anthrazitanteile bis zu 50%, bei steigender Heißwindtemperatur, eine Leistungssteigerung verbunden mit einer Senkung des Koksverbrauches zu erwarten ist. Anthrazitanteile über 50% heben diese Vorteile wieder auf.

Untersuchungen, die in den Jahren 1954 und 1955 in Versuchsöfen in Jugoslawien stattfanden, sollten darüber Aufschluß geben, ob eine Reihe einheimischer Brennstoffe für die Roheisengewinnung geeignet ist. Die Versuchsergebnisse zeigten, daß ungeschwelte Briketts, Braunkohlen und Lignite den Anforderungen nicht entsprechen [14].

Allgemein werden die aus Feinerzen hergestellten Grünpellets gebrannt, um die für die Verhüttung notwendigen Festigkeitseigenschaften zu bekommen. Ein unmittelbarer Einsatz von Grünpellets dagegen würde zu wesentlichen wirtschaftlichen Vorteilen führen. Versuche des Bureau of Mines im Jahre 1959 mit ungebrannten Taconit - Pellets führten zu befriedigenden Ergebnissen. Der Gichtstaubanfall steigt mit zunehmenden Pelletanteil im Møller zwar stark an, bleibt aber mit 1,5% der eingesetzten Pelletmenge noch in vertretbaren Grenzen [26].

In Deutschland machte sich besonders in den 30-iger Jahren durch Verwendung eines größeren Anteils armer, saurer Inlanderze ein Rückgang in der Roheisenproduktion bemerkbar. Größere Schlackenmengen und höhere Kalksteinzuschläge führten zur Erhöhung des Koksverbrauches. Die von W.LENNINGS in den Jahren 1938 und 1939 angestrebten Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß bei einer Sauerstoffanreicherung des Gebläsewindes auf 25% eine Leistungssteigerung von 20% zu erwarten ist [18]. Durch einen höheren Sauerstoffgehalt im Gebläsewind werden die Verbrennung des Kohlenstoffs vor den Formen wesentlich intensiviert, die



Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der von dem Verfasser im Jahre 1891 veröffentlichten Arbeit über die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen. In der vorliegenden Arbeit wird die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1918 dargestellt. Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der erste Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1891 bis 1900. Der zweite Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1900 bis 1910. Der dritte Teil behandelt die Geschichte der Bergbauverwaltung in Preussen von 1910 bis 1918.



Durchsatzzeit verkürzt und die Wärmeverluste, die ja zeitabhängig sind, gesenkt. Der Anteil des reaktionsfähigen Gases wird erhöht und die indirekte Reduktion damit verbessert. Neben der Leistungssteigerung, die nach A.DECKER [21] vom Verhältnis Sauerstoff des angereicherten Windes zu Sauerstoff des normalen Windes abhängt, kann eine bedeutende Koksersparung erzielt werden. Ähnliche Untersuchungen wurden von K.SÄUBERLICH und Mitarbeitern [19] für den Niederschachtofen durchgeführt.

Die Bemühungen, Eisenerze durch Zusatz gasförmiger oder flüssiger Brennstoffe zu reduzieren, werden in erster Linie durch die Tatsache bestimmt, daß rund ein Viertel bis ein Drittel der Selbstkosten des Roheisens durch die Kosten für den Koks entstehen.

H.-J.TISCHENDORF [4] hat umfangreiche Untersuchungen mit Braunkohlen-Kokereigas durchgeführt. Bei Verbesserung der Hüllerverhältnisse, einer Windvorwärmung auf  $1000^{\circ}\text{C}$  und einer Anreicherung des Gebläsewindes mit Sauerstoff auf 32%, sollte es möglich sein, bis zu 50% des metallurgischen Kokes durch Lauchhammerkokereigas zu ersetzen. Dabei wäre eine Leistungssteigerung bis zu 50% zu erwarten.

Versuche, die von A.DECKER [21] am Versuchsniederschachtofen in Ougrée mit Wasserdampf und Kohlenwasserstoffen durchgeführt wurden, führten ebenfalls zu günstigen Ergebnissen.

E.BONNAURE [22] wies am gleichen Ofen nach, daß bei Anwendung von Hochdruck an der Gicht sich ähnliche Betriebswerte erreichen lassen, wie sie im großtechnischen Ofenbetrieb verzeichnet werden können.

Wenn zunächst von der Beantwortung der Frage abgesehen wird, inwieweit sich die Ergebnisse des Versuchsschachtofenbetriebes auf den Großhochofen übertragen lassen, ergeben sich aus den Untersuchungen, die im In- und Ausland an Versuchsschachtofen durchgeführt wurden, folgende Schlußfolgerungen:

- 1.) Der Eisenhüttenmann sieht sich durch die Rohstoffbasis in zunehmendem Maße vor die Aufgabe gestellt, neue Technologien und Verhüttungsverfahren zu erarbeiten, um die Produktion in ihrem bisherigen Umfang aufrecht zu erhalten und die im Rahmen der Wirtschaftspläne vorgesehene Steigerung zu erreichen. Andererseits steht die Aufgabe, die Selbstkosten zu senken und die Qualität der anfallenden Produkte zu erhöhen.







- 2.) Der Versuchsschachtofen bietet die Möglichkeit, in kurzer Zeit mit geringstem Kostenaufwand ein wesentlich genaueres Bild über die zu erwartenden Vorgänge im Hochofen zu erhalten, als das unter den verhältnismäßig beschränkten Bedingungen des Laboratoriums möglich ist.
- 3.) Einschränkungen in der Aufgabenstellung und Zielsetzung des Versuchsprogramms bei Untersuchungen am Großhochofen, die mit Rücksicht auf die Produktion vorgenommen werden müssen, entfallen.

### 2.5 Schlußfolgerungen für den Aufbau der eigenen Versuchsschacht-ofenanlage.

Die Ansichten der Autoren über die Gestaltung der Versuchsanlagen sind recht unterschiedlich. Verbindliche Richtlinien für die Berechnung und Konstruktion können der Literatur nicht entnommen werden. Mit Recht darf daher gesagt werden, daß die Erfahrung und Voraussicht des einzelnen Konstrukteurs mitbestimmend für Erfolg oder Mißerfolg waren. Es kam zunächst darauf an, durch Überlegung und durch Auswertung der Konstruktionsdaten von Versuchs- und Großöfen die Schwerpunkte für Berechnung und Konstruktion festzulegen. Vorausgesetzt wurde dabei, daß aus den Ergebnissen der im Versuchsschachtofen durchgeführten Untersuchungen für den Großhochofen nur dann gültige und sachlich verbindliche Schlußfolgerungen abgeleitet werden können, wenn es gelingt, ohne Verwendung von Hilfsmitteln, wie zusätzliche Gestellbeheizung, Anreicherung des Gebläsewindes mit Sauerstoff usw., ein dem Großhochofen chemisch und physikalisch ähnliches Roheisen zu erzeugen. Es müssen dann auch die gleichen metallurgischen Reaktionen ablaufen, wobei Ort und Zeit durchaus gegenüber dem großtechnischen Betrieb verschieden sein können. Um dieser Forderung gerecht zu werden, ist, wie überhaupt bei allen metallurgischen Arbeitsverfahren, die Frage nach dem Wärmehaushalt, d.h. die Frage nach dem Energiebedarf und der Energiendeckung von erstrangiger und entscheidender Bedeutung. H. BANSSEN schreibt dazu [27]:

"Die Führung des Hochofens ist ein ständiges Wiegen von Wärmebedarf und Wärmeangebot und die Herstellung eines gewissen Roheisens aus einem gegebenen Hölzer so fest mit einem bestimmten Wärmebedarf verknüpft, daß die ständige Übersetzung von Kokssatz in "für metallurgische Zwecke verfügbare Wärme" und des Ersatzes in "metallurgi-







schon Wärmebedarf" ebenso notwendig ist, wie die Feststellung der Sauerstoffmenge, die man zur Herstellung des Eisens mit dem Koks binden kann."

Der Koks dient nun im Hochofen zwei verschiedenen Zwecken, einmal als Kohlenstoffträger für die Reduktion und zur Aufkohlung des Roheisens (Reduktionskoks), ferner zur Deckung des Wärmebedarfs (Heizkoks). Der mit Heizkoks gekennzeichnete Anteil des Kokses am Gesamtkoksverbrauch setzt sich aus der Stoffwärme und den Wandverlusten zusammen, wenn unter Stoffwärme die Koksmenge verstanden wird, die die zum Erwärmen des Möllers auf die für die Schmelz- und Reduktionsvorgänge benötigte Temperatur und die für die Reduktion benötigte Energie liefert. Beim Versuchsschachtofen sind die Wandverluste von besonderer Bedeutung. Sie sind zeitproportional und richten sich daher nach Bau und Größe des Ofens. Ihr Anteil je Tonne Roheisen verändert sich also mit der Leistung des Ofens [28].

In Bild 4 (Tafel 2) ist für 40 Großhochöfen der Gesamtkoksverbrauch je Tonne Roheisen in Abhängigkeit des Verhältnisses von Nutzvolumen zu Nutzhöhe dargestellt. An Stelle der Oberfläche des Ofens wurde die Nutzhöhe eingeführt, da die für die Berechnung der Oberfläche notwendigen Angaben in der Literatur fehlen. Obwohl der Gesamtkoksverbrauch keine feste Größe darstellt, zeigt das Bild, daß mit kleiner werdendem Verhältnis von Nutzvolumen zu Nutzhöhe, was mit einer größer werdenden Oberfläche gleichzusetzen wäre, der Koksverbrauch je Tonne Roheisen erheblich ansteigt.

Um wieviel ungünstiger die Verhältnisse beim Versuchsofen noch werden, zeigt folgende Überlegung: Bei geometrisch ähnlicher Verkleinerung des Großhochofens ergibt sich, bei einem Übertragungsmaßstab der linearen Abmessungen von  $m_1 = 10$ , eine Verkleinerung des Volumens von  $\frac{1}{1000}$ , der nur eine Verkleinerung der Oberfläche der Ofeninnenseite von  $\frac{1}{100}$  gegenübersteht. Das gegenüber dem Großhochofen wesentlich ungünstigere Verhältnis von Volumen zu Oberfläche hat wesentlich größere Wandverluste zur Folge, die entweder durch einen erhöhten Kokssatz je Tonne Roheisen oder durch eine hohe Windvorwärmung ausgeglichen werden müssen.



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



Für den Bau einer Versuchsschachtofenanlage läßt sich demzufolge folgender Schwerpunkt formulieren:

Die Wärmezufuhr im Koks und Heißwind muß den Wärmebedarf sämtlicher metallurgischer Reaktionen, die Außenverluste durch natürliche und künstliche Kühlung und alle Wärmeverluste der Abgase decken. Um den relativen Koksverbrauch in noch vertretbaren Grenzen zu halten, müssen die Anlagen der Windvorwärmung so ausgelegt sein, daß die sehr hohen Wandverluste zu einem Teil vom Heißwind ausgeglichen werden können.

Zur Bestimmung der Abmessungen des Versuchsofens war vor allem folgende Frage zu lösen: Welche Höhe muß der Ofen bei einem bestimmten Nutzvolumen erhalten? Im großtechnischen Betrieb hat sich die Erfahrung durchgesetzt, daß eine viel zu kleine Höhe einen Hochofen mit kleinerer Leistungsfähigkeit als die günstigste ergibt, was eine Verteuerung der Produktion zur Folge hat. Eine viel zu große Höhe führt zu öfteren Betriebsstörungen, die die durchschnittliche Produktivität heruntersdrücken und eine große Menge minderwertigen Produktes liefern [29]. Im Bild 5 (Tafel 1 und Bild 1) ist für eine Anzahl von Großhochöfen und Versuchsschachtöfen der Nutzinhalt in Abhängigkeit vom Verhältnis der Nutzhöhe zu Gestelldurchmesser aufgetragen. Das Bild zeigt für Großhochöfen, daß der Nutzinhalt nicht in erster Linie durch die Höhe, sondern durch den Gestelldurchmesser bestimmt wird, während bei den Versuchsschachtöfen die Beziehungen sich umkehren, d.h., daß eine Mindesthöhe sowohl beim Groß- als auch beim Versuchsschachtofen eingehalten werden muß. Sie wird bestimmt durch die mechanischen Eigenschaften der Erze, also ihre Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb, Druck, Zerplatzen usw. Die Ofenhöhe muß weiterhin so bemessen sein, daß den aufsteigenden Gasen die Zeit verbleibt, also ein genügend langer Weg zur Verfügung steht, ihre physikalische und chemische Wärmeenergie an den entgegenkommenden Mäler abgeben zu können, um abgekühlt und mit einem hohen  $\text{CO}_2$ - und niedrigen  $\text{CO}$ -Gehalt den Ofen zu verlassen.

Diese Überlegungen und die dem Verfasser vom Institut für Roheisenerzeugung in Unterwellenborn freundlicher Weise mitgeteilten Erfahrungen bei Betrieb des Versuchsofens "Benjamin", bildeten die Grundlage für die Berechnung und Konstruktion der eigenen Anlage. Wie sich durch den späteren Versuchsbetrieb erweisen sollte,



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



waren diese Voraussetzungen richtig.

### 3. Die Schachtofenversuchsanlage

Die Schachtofenversuchsanlage wurde im August 1961 nach einer Bauzeit von 14 Monaten in Betrieb genommen. Bild 6 gibt als Schema den Aufbau der gesamten Anlage wieder. Dem Betrachter des Bildes wird auffallen, daß die Anlage in sehr gedrängter Form ausgeführt wurde und die Anordnung der Nebenanlage zum Schachtofen manchmal nicht günstig erscheint. Die Festlegung des Standortes der einzelnen Anlagenteile mußte sich aber in erster Linie nach den Möglichkeiten richten, die sich aus der bereits bestehenden Halle und der Lage der elektrischen Installation ergaben.

#### 3.1 Der Gebläsestand.

Der Gebläsestand ist mit 4 Gebläsen ausgerüstet, die über eine Leistung von insgesamt  $1314,4 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einer Förderhöhe von 5000 mm WS verfügen. Über die Kaltwindsammelleitung wird der Gebläsewind den Regeneratoren zugeführt.

#### 3.2 Die Regenerativwinderhitzer.

Für die Vorwärmung des Gebläsewindes wurden 2 Regenerativwinderhitzer (Cowper) gebaut. Bei der Berechnung und Konstruktion der Regenerativwinderhitzer mußte in erster Linie berücksichtigt werden, daß die für den Standort zur Verfügung stehende Fläche sehr begrenzt ist und die betrieblichen Forderungen mit minimalen Materialaufwand zu verwirklichen sind. Dipl.-Ing. Brendel, Institut für Energetik, Leipzig, hat daraufhin vorgeschlagen, die Regeneratoren in liegender Form zu bauen und es übernommen, den ersten Entwurf auszuführen. Schwierigkeiten in der Materialbeschaffung und aus dem Aufbau der Gesamtanlage notwendig gewordene Konstruktionsänderungen veranlaßten den Verfasser, die Regenerativwinderhitzer neu zu berechnen, wobei die von Herrn Brendel vorgeschlagene Form der konstruktiven Ausführung im wesentlichen beibehalten wurde. Aus den Bildern 7, 8, 9 und 11 ist sowohl der Aufbau als auch die Anordnung der Regeneratoren zu ersehen.

Der Brennschacht wurde, wie Bild 8 zeigt, oben angeordnet und durch eine sich anschließende Ausbrandzone, die mit 5 Lagen Einlochsteinen (1/200) besetzt wurde, abgeschlossen.



3. Die ...

Die ...

3.1 Die ...

Die ...

3.2 Die ...

Die ...

Die ...



Die Ausbrandzone wurde eingebaut, um eine vollständige Verbrennung des Gas - Luft - Gemisches zu sichern und eine gute Durchwirbelung der Rauchgase zu erzielen. Beheizt wurden die Winderhitzer mit Braunkohlenkokereigas (Lauchhammergas) folgender Zusammensetzung:

$\text{CO}_2$  18,3% ;  $\text{Cm Hn}$  0,8% ;  $\text{O}_2$  0,2% ;  $\text{CO}$  20,0% ;

$\text{H}_2$  33,6% ;  $\text{CH}_4$  15,1% ;  $\text{N}_2$  12,0%.

Der Heizwert dieses Gases liegt bei  $2840 \text{ kcal/Nm}^3$ .

Die wärmetechnische Berechnung der Regeneratoren wurde nach den Angaben von W. HEILIGENSTAEDT durchgeführt [30]. In Tafel 3 sind die der Berechnung zu Grunde liegenden betrieblichen Forderungen und die Konstruktionsmaße zusammengestellt. Die wichtigsten Kennziffern des Gitters werden durch Tafel 4 wiedergegeben. Der nach der Gitterberechnung zu erwartende Temperaturverlauf ist im Bild 10 (Tafel 5) dargestellt.

In Versuchsbetrieb wurde eine durchschnittliche Heißwindbetriebsstemperatur von  $627^\circ\text{C}$  erzielt. Die Ursachen für die günstigeren Betriebswerte sind in folgendem zu sehen:

- 1.) Die Heizfläche der Ausbrandzone wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt.
- 2.) Der Wirkungsgrad der Regenerativwinderhitzer wurde bei der Berechnung mit 70% angenommen. Dieser Wert erscheint auf Grund der Betriebswerte zu niedrig.

Die Regenerativwinderhitzer haben während der bisher durchgeführten Versuchsreihen den Nachweis ihrer einwandfreien Funktionsfähigkeit erbracht. Bei kürzeren Umstellzeiten und größerer Heißgasbelastung der Brenner ist es möglich, die Heißwindbetriebsstemperaturen noch erheblich zu steigern.

### 3.3 Heißwindleitungen und Heißwindarmaturen.

Die Heißwindleitungen besitzen einen freien Durchgangsquerschnitt von  $118,7 \text{ cm}^2$ . Sie wurden auf eine Wandstärke von 80 mm mit feuerfesten Beton ausgegossen. Die auf diese Weise zugestellten Heißwindleitungen besitzen gegenüber Sieromal - Rohr - Leitungen den Vorteil, daß der Tempera-



Die Arbeit ist eine ...  
Vorbereitung der ...  
in der ...  
...

...

Die ...  
...

...

1.) Die ...  
...

...

2.) ...  
...



turabfall über die Rohrleitungslänge wesentlich geringer ist, sie unempfindlicher gegen mechanische Beanspruchungen sind und die Herstellungskosten wesentlich unter den Anschaffungskosten des Sicromal - Rohres liegen.

Schwieriger dagegen war das Problem zu lösen, geeignete Armaturen für die heißwindführenden Anlagenteile zu bekommen. Industriell werden Armaturen dieser kleinen Abmessungen für derartige Beanspruchungen nicht gefertigt. Um die Inbetriebnahme der Anlage nicht noch weiterhin zu verzögern und zusätzliche Entwicklungskosten einzusparen, wurden die Heißwindschieber (Bild 12 und Bild 13) vom Verfasser konstruiert und in der Werkstatt des Eisenhütten-Institutes gebaut. Bei Heißwindaustrittstemperaturen von  $900 - 1000^{\circ}\text{C}$  zeigten die Schieber noch keinerlei Störungen.

#### 3.4 Der Versuchsschachtofen.

Im Bild 14 ist der Versuchsschachtofen im Schnitt dargestellt. Bild 15 zeigt den Ofen vor der Inbetriebnahme.

Das Profil des Versuchsschachtofens wurde nicht der Hauptausführung nachgestaltet, sondern in zylindrischer Form ausgeführt. Bestimmend für die zylindrische Profilgestaltung waren rein kostenmäßige Gesichtspunkte. Aus der Fertigung der Feuerfest-Industrie waren Steine in den Abmessungen, wie sie bei geometrisch ähnlicher Nachbildung des Profils des Versuchsofens benötigt wurden, nicht zu beziehen. Eine Sonderanfertigung schied wegen der zusätzlich erwachsenden Kosten aus, ganz abgesehen davon, daß ein derartiger Auftrag nicht untergebracht werden konnte. Es verblieb nur die Möglichkeit, die Steine von Hand zu bearbeiten, da Trennscheiben ebenfalls nicht in ausreichender Zahl zur Verfügung standen. Andererseits war die den Ofenmaurern für die Zustellung der Regenerativwinderhitzer und des Versuchsofens zur Verfügung stehende Zeit vertraglich festgelegt, so daß jeglicher zusätzliche Arbeitsaufwand vermieden werden mußte.

Der Nutzinhalt des Versuchsofens beträgt  $0,74 \text{ m}^3$ . Das Volumen des Gestells errechnet sich zu  $0,076 \text{ m}^3$ . Der Heißwind wird dem Ofen über 6 wassergekühlte Kupferblasformen zugeführt (Bild 16).

Bodenstein und Gestell sind mit Schamottesteinen der Qualität



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

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



K 50 (  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  50% ;  $\text{SiO}_2$  43% ) zugestellt. Der Schacht wurde mit Schamottesteinen der Qualität

A<sub>1</sub> (  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  43%,  $\text{SiO}_2$  50% ) ausgemauert. Die Stärke der Zustellung beträgt 0,20 m.

Das Gestell wird durch Berieselung des Ofenpanzers gekühlt. Aus Sicherheitsgründen wurde eine zusätzliche Beheizung des Bodensteines vorgesehen, um einem eventuellen Einfrieren des Gestells begegnen zu können. Die bisher durchgeführten Versuchsreihen haben gezeigt, daß eine zusätzliche Beheizung des Bodensteines nicht erforderlich ist.

Um die Temperaturverteilung im Ofenschacht verfolgen zu können, wurden, wie aus Bild 14 zu ersehen ist, 7 Thermoelemente eingebaut, die 150 mm in die Beschickung hineinragen. Eine gleiche Anzahl von Probeentnahmestellen wurde den Thermoelementen gegenüberliegend eingebaut. Die Entnahme von Stoffproben aus dem Ofenschacht bietet die Möglichkeit, den Reduktionsgrad der Eisensauerstoffverbindungen, der Kieselsäure usw. in den einzelnen Ebenen des Ofens zu bestimmen und die Reduktionsfolge der einzelnen Elemente festzustellen. In dem Ofenschacht wurden weiterhin 3 um  $120^\circ$  versetzte Schrägstützen eingebaut. Neben der Entnahme von Stoffproben dienen sie speziellen Untersuchungen im Gestell des Ofens.

Die Beschickung des Ofens erfolgt mit einem Skip. Der Neigungswinkel zwischen der Horizontalen und der Skipbahn beträgt  $64^\circ$ .

Durch zwei Abgasrohre, die sich zu einer Sammelleitung vereinigen, gelangt das Gichtgas in den Staubsack. Nach Verlassen des Staubsackes wird das Gichtgas abgefackelt.

### 3.5 Der Meßgeräte Raum der Versuchsschachtofenanlage.

Die Bilder 17 und 18 vermitteln einen Einblick in die messtechnische Ausrüstung der Versuchsschachtofenanlage. Die für den Betrieb und die Kontrolle der gesamten Anlage erforderlichen Daten werden durch Fernübertragung von schreibenden Temperatur-, Druck- und Mengenmeßgeräten registriert. Durch 2 Mono-Geräte ist die Möglichkeit gegeben, die Gichtgaszusammensetzung kontinuierlich zu verfolgen.



Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...

Die ...  
...  
...



#### 4. Aufgabenstellung, Versuchsprogramm und Charakteristik der Einsatzstoffe.

Durch eine notwendig gewordene Generalreparatur des Sinterkastenbandes im September 1961 im Eisenhüttenkombinat Ost war der Hochofenbetrieb gezwungen, den Anteil an Agglomerat im Möller durch Stückerz zu ersetzen. Es zeigte sich, daß bei scheinbar gleicher Zusammensetzung des Möllers durch entsprechende Zuschläge, doch erhebliche Schwankungen in der Abstichanalyse des Roheisens auftraten. Einzelne Abstiche wichen so erheblich von der Richtanalyse ab, daß das Roheisen für den ihm zgedachten Zweck unbrauchbar war bzw. der Hochofenbetrieb durch entsprechende Abwertungen finanzielle Verluste erlitt. Der Silizium- und Schwefelgehalt ist für die Bewertung des Roheisens (Stahleisen) von erstrangiger Bedeutung. Während der Schwefelgehalt durch Zugabe von Soda in die Abstichrinne oder Roheisenpfanne noch herabgemindert werden kann, hat der Hochöfner keine Möglichkeit mehr, den Siliziumgehalt des Roheisens nach Verlassen des Hochofens in irgend einer Weise zu beeinflussen, wenn man vom Mischverfahren und der bis heute noch keine technische Bedeutung erlangten Schüttelpfanne absieht. Ein zu hoher Siliziumgehalt des Roheisens kann andererseits im Stahlwerk bei den in der DDR üblichen hohen Roheisenanteilen im Einsatz erhebliche Schwierigkeiten verursachen.

Die Notwendigkeit, stark saure Inlanderze zu verhütten, führt, abgesehen von der Verarmung des Möllers an Eisen, zu einem Überangebot an Kieselsäure. Der gegenwärtige Stand der Aufbereitungsanlagen, insbesondere ihre Zahl und ihre Leistungsfähigkeit, machen es verständlich, daß die unmittelbare Verhüttung dieser Erze den Vorrang hatte und auch bis heute noch hat. Unter derartigen Möllerverhältnissen ist es aber im Niederschachtofenwerk Calbe bisher nicht gelungen, Stahleisen zu erzeugen, da die Siliziumgehalte im anfallenden Roheisen auch nicht annähernd die für Stahleisen gültige Richtanalyse erreichen, sondern viel zu hoch liegen. Dem Hochöfner ist andererseits aber auch bekannt, daß bei vergleichsweise guter Manganreduktion in der Regel auch die Siliziumgehalte höher und die Schwefelgehalte niedriger liegen.

Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ergibt sich aber für Silizium und Mangan ein genereller Unterschied: Silizium stellt in Form von Kieselsäure die wichtigste Komponente der Gangart nahezu sämtlicher Eisenerze dar, die heute in der DDR verhüttet wer-







den. Mangan ist dagegen nur in sehr geringem Anteil in der für die zu erblasenden Roheisensorte geforderten Höhe im Einsatz vorhanden und muß dem Mäller in Form von Manganerzen zugeschlagen werden. Da Manganerz mit zu den teuren Importrohstoffen zählt, ist der Hochöfner bestrebt, eine maximale Ausnutzung des Manganeinsatzes zu erreichen.

Diese sich aus der Betriebspraxis ergebenden Fragen haben den Verfasser veranlaßt, das Versuchsprogramm auf die Untersuchung folgender Probleme auszurichten:

- 1.) Untersuchung der Bedingungen, die den Umfang und das Ausmaß der Siliziumreduktion bestimmen.
- 2.) Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der Silizium- und Manganreduktion.
- 3.) Vergleich der Ergebnisse des Versuchsschachtofenbetriebes mit Ergebnissen des Großbetriebes.

Der Einfluß der Siliziumreduktion auf den Schwefelgehalt im Roheisen soll in dieser Arbeit nur soweit mit erwähnt werden, wie es für die Klärung bestimmter Zusammenhänge erforderlich erscheint.

Auffallend ist, daß bisher die Gesetzmäßigkeiten zwischen der mechanischen Beschaffenheit sowie dem mineralischen Aufbau der Einsatzstoffe und der Zusammensetzung von Roheisen und Schlacke verhältnismäßig wenig untersucht wurden. Die Betriebserfahrung zeigt aber, daß die physikalische Beschaffenheit und der mineralogische Aufbau der Einsatzstoffe die Vorgänge im Hochofen, von der Gicht bis herab zum Gestell, weitestgehend bestimmen. Allein die Tatsache, daß z.B. ein körnungsmäßig inhomogener Mäller zu dichten und aufgelockerten Zonen im Hochofen führt, hat zur Folge, daß die Gasgeschwindigkeit und damit die Gasmenge und die in ihr enthaltene Wärmemenge, in den dichten Zonen gering und in den aufgelockerten Zonen groß ist, so daß sich in den dichteren Zonen eine niedrigere und in den aufgelockerten eine höhere Temperatur einstellt. Aus diesem Grunde wurde für die Untersuchungen folgende Mällerstoffe ausgewählt:

|                |                   |                   |            |
|----------------|-------------------|-------------------|------------|
| Kriwoi Rog-Erz | Körnung 0 - 25 mm | ohne Manganträger | im Einsatz |
| Kriwoi Rog-Erz | Körnung 0 - 25 mm | mit Manganträger  | im Einsatz |
| Kriwoi Rog-Erz | Körnung 5 - 10 mm | mit Manganträger  | im Einsatz |
| Kriwoi Rog-Erz | Körnung 10- 25 mm | mit Manganträger  | im Einsatz |
| Agglomerat     |                   | mit Manganträger  | im Einsatz |
| Pellets        |                   | mit Manganträger  | im Einsatz |



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



Tafel 6 gibt die chemische Analyse und die körnungsmäßige Zusammensetzung des Kriwoi Rog - Erzes 0 - 25 mm wieder.

Kriwoi Rog - Erz ist ein sehr dichtes und deshalb schwer reduzierbares Roteisenerz [31], [32]. Der Schwefel - und Phosphorgehalt sind gering. Das Eisen liegt hauptsächlich als  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vor. Die Gangart besteht, neben unbedeutenden Mengen an  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{MgO}$ , vorwiegend aus Kieselsäure, die in Form von makroskopisch sichtbaren Adern das Erz durchsetzt. Tafel 6 zeigt, daß der Gehalt an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und Kieselsäure im Erz bei den einzelnen Kornfraktionen unterschiedlich ist. Der  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - Gehalt schwankt zwischen 64,14% bei der Korngröße >25 mm und 77,20% bei der Korngröße 5 - 10 mm, während der Gehalt an Kieselsäure bei der Kornfraktion >25 mm 30,91% beträgt, sinkt ihr Gehalt bei der Korngröße 5 - 10 mm auf 21,92% ab. Die Basizität der Körnung 0-25 mm, ausgedrückt im Verhältnis  $\frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}$ , beträgt 0,02.

Das für die Untersuchungen eingesetzte Agglomerat stammt aus der laufenden Produktion des Eisenhüttenkombinates-Ost. Aus Tafel 7 ist die chemische Zusammensetzung des Agglomerats zu ersehen. Die Sintermischung besteht, neben Kalkstein, Koksabrieb, Gichtstaub und Manganerz, zum überwiegenden Teil aus Kriwoi Rog-Feinerz und einem gewissen Anteil Mischerz. Im Vergleich zum Kriwoi Rog-Erz liegt die Basizität des Agglomerats mit 0,45 wesentlich höher. Da in der Sinterschicht Temperaturen zwischen 1150 und 1300°C erreicht werden, ergibt sich als wesentlichstes Kriterium des Agglomerats im Vergleich zum Kriwoi Rog-Erz, daß ein erheblicher Anteil der Kieselsäure als Kalksilikat vorliegt und demzufolge aus der Verbindung viel schwerer zu reduzieren ist als die in Form von Quarzadern im Erzkorn eingebettete Kieselsäure.

Die chemische Analyse des Ausgangsmaterials für die Herstellung der Pellets ist aus Tafel 7 zu ersehen. Es handelt sich hierbei um Filterstäube, die bei der Verbrennung ostelbischer Braunkohle in den Kraftwerken durch Elektrofilter abgeschieden werden. Der  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - Gehalt beträgt im vorliegenden Fall 26,21%. Mit 0,88 haben die Pellets von den untersuchten Einsatzstoffen die höchste Basizität. Hergestellt werden die Pellets auf einem Pelletisiersteller von 1,10 m Durchmesser. Der Zusatz von Bindemitteln ist nicht erforder-



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



lich. Bei einer Zugabe von Wasser zwischen 10 und 20% als Benetzungsmittel erreichen die Pellets nach mehrtägiger Lagerung bei Raumtemperatur die erforderlichen Festigkeitswerte. Untersuchungen über die Bindungsform der Kieselsäure, die in den Braunkohlenfilteraschen enthalten ist, liegen nicht vor. Es ist anzunehmen, daß sie gleichmäßig verteilt, als freie Kieselsäure im Filterstaub eingelagert ist.

Die chemische Zusammensetzung der Zuschlagstoffe und des Kokes sind aus den Tafeln 6 und 7 zu ersehen.

Zusammenfassend lassen sich die zur Untersuchung gelangten Einsatzstoffe wie folgt charakterisieren:

Ausgehend vom Kriwoi Rog-Erz über das Agglomerat bis zu den Pellets steigt die Basizität der Gangart von 0,02 über 0,45 auf 0,88 an, d.h., je niedriger die Basizität der Gangart ist, um so mehr Kalkstein muß für die Herstellung einer Möllermischung für eine basische Schlackenführung zugesetzt werden, um so ungleichmäßiger ist die Kalksteinverteilung im Möller.

## 5. Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden in 2 Versuchsreihen am Versuchsschachtofen durchgeführt. Bei den in der Auswertung mit Versuchsreihe II bezeichneten Untersuchungen wurde Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm ohne Manganträger im Möller eingesetzt, während bei der Versuchsreihe III nacheinander Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm, Agglomerat, Kriwoi Rog-Erz der Körnungen 5 - 10 und 10 - 25 mm und Pellets mit Manganerz als Manganträger in Einsatz untersucht wurden.

### 5.1 Zu einigen technologischen Fragen des Versuchsschachtofenbetriebes.

Die Arbeitsweise hinsichtlich der Ofenführung am Versuchsschachtofen unterscheidet sich gegenüber dem Betrieb eines Hochofens nicht wesentlich.

Der Versuchsschachtofen wurde kontinuierlich über die für die einzelnen Versuchsreihen vorgesehene Zeitdauer betrieben. Die Eisenabstiche erfolgten im Zeitraum von 3 Stunden, während jeweils 2 Stunden nach erfolgtem Eisenabstich die Laufschlacke abgelassen wurde. Einen Einblick in die Tech-



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

### 2. Technische Beschreibung des Verfahrens

Das Verfahren zur Herstellung von ...  
Zunächst wird ...  
Die ...  
...

#### 2.1 Die einzelnen Schritte des Verfahrens

Die einzelnen Schritte des Verfahrens sind ...  
...



nologie des Abstichvorganges vermitteln die Bilder 19 und 20. Das Öffnen der Abstichlöcher bereitete keine Schwierigkeiten. Während der Schlackenabstich mit dem Meißel geöffnet werden konnte, mußte der Eisenabstich mitunter aufgebraut werden, weil durch eine gewisse Nachlässigkeit beim Schließen des Stichloches Eisen nachlaufen konnte und im Stichloch erkaltete. Die vom Betrieb eines Großhochofens her bekannten Ofenstörungen, wie Hängeerscheinungen, Vollaufen der Blasformen und Düsenstöcke mit Eisen und Schlacke, Stichdurchbrüche usw. traten auch während des Betriebes des Versuchsschachtofens auf. Besondere Sorgfalt mußte auf die Einhaltung der gewichtsmäßigen Zusammensetzung des vorgegebenen Möllersatzes verwandt werden. Nachlässigkeiten des Begleichungspersonals waren wenig später am Ofengang zu erkennen. Die Gicht, bestehend aus Koks (K), Erz (E) und Zuschlägen (Z-Manganerz und Kalkstein) wurde dem Ofen in der Skipfolge KKKZKKK aufgegeben.

#### 5.2 Die metallurgischen Bedingungen der Versuchsreihen II und III und der Öfen II und IV des EKO

Die Versuchsreihe II diente ausschließlich der Untersuchung von Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm ohne Einsatz von Manganträger. Die Betriebszahlen des Versuchsofens sind in Tafel 8 als 8-Stundenmittelwerte zusammengestellt. Der Versuchsofen wurde über die Zeit dieser Versuchsreihe mit einem Heißwinddruck von  $0,13 \text{ kp/cm}^2$ , einer Heißwindtemperatur von  $596^\circ\text{C}$  und einer Rohgastemperatur von  $451^\circ\text{C}$  betrieben. Die Roheisen-, Abstich- und Lauschlackenanalysen sind aus den Tafeln 9 und 10 zu ersehen.

In der Versuchsreihe III wurden Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm unter Zusatz von Manganerz zum Möller, Agglomerat, klassiertes Kriwoi Rog-Erz der Körnung 5 - 10 mm und 10 - 25 mm und die aus Braunkohlenfilterstäuben hergestellten Pellets untersucht. In der Tafel 11 sind die Betriebszahlen des Versuchsschachtofens als Mittelwerte von acht Stunden zusammengestellt. Die Roheisen-, Abstich- und Lauschlackenanalysen sind aus den Tafeln 12, 13, 14, 15 und 16 zu ersehen. Ein Vergleich der Betriebszahlen des Versuchsschachtofens bei der Untersuchung der genannten Stoffe führt zu der Schlussfolgerung, daß die Versuchsbedingungen seitens der Betriebs-



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

II. Die Entwicklung der ...

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

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



weise des Ofens nur unwesentlich schwankten und demzufolge auch keinen entscheidenden Einfluß auf die Versuchsergebnisse ausüben können. Für die Versuchsdauer der einzelnen untersuchten Stoffe ergibt sich für Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm bei einem Heißwinddruck von  $0,13 \text{ kp/cm}^2$ , einer Heißwindtemperatur von  $650^\circ\text{C}$ , eine Gichtgastemperatur von  $253^\circ\text{C}$ . Bei Einsatz von Agglomerat wurde der Versuchsofen mit einem Heißwinddruck von  $0,17 \text{ kp/cm}^2$ , bei einer Heißwindtemperatur von  $661^\circ\text{C}$  und einer Rohgastemperatur von  $221^\circ\text{C}$  betrieben. Das klassierte Kriwoi Rog-Erz der Körnungen 5 - 10 und 10 - 25 mm und die Pellets, bei denen ein Heißwinddruck von  $0,21 \text{ kp/cm}^2$  als Mittelwert zu verzeichnen ist, wurden mit Heißwindtemperaturen von  $666^\circ\text{C}$  bei Stückerz und  $654^\circ\text{C}$  bei Pellets, bei Gichtgastemperaturen für Stückerz von  $293^\circ\text{C}$  und für Pellets von  $271^\circ\text{C}$ , im Versuchsschachtofen verhüttet. Ein Vergleich des jeweils über die Versuchszeit des betreffenden untersuchten Stoffes gebildeten Mittelwerte gibt also mit einer maximalen Differenz für den Heißwinddruck von  $0,04 \text{ kp/cm}^2$ , für die Heißwindtemperatur von  $16^\circ\text{C}$  und der Gichtgastemperatur von  $72^\circ\text{C}$  die Größe der Abweichungen in den Versuchsbedingungen seitens der Betriebsweise des Ofens wieder.

Größere Schwankungen in den 8 Stundenmittelwerten, die bei einzelnen Tagen auftragen, sind ursächlich in Störungen des gesamten Versuchsbetriebes, wie Stromausfall, mechanische Störungen usw. zu sehen. Aus diesem Grunde werden auch die Versuchsergebnisse des 18.11.1961 in die Auswertung nicht miteinbezogen, weil Störungen größeren Ausmaßes einen kontinuierlichen Ofenbetrieb unmöglich machten.

Der Einsatz von Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm im Versuchsschachtofen ist in seiner metallurgischen Charakteristik durch ein Möllerausbringen von 36,57%, einem Koksverbrauch von 2,86 kg/kg Roheisen, einer Schlackenmenge von 1,28 kg/kg Roheisen und einer Gestellbelastung von  $294 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$  festgelegt. Agglomerat weist dagegen bei einem Möllerausbringen von 35,85% einen Koksverbrauch von 3,17 kg/kg Roheisen bei einer Schlackenmenge von 1,33 kg/kg Roheisen auf. Die Gestellbelastung beträgt  $291 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$ . Während Kriwoi Rog-Stückerz der Körnung 5 - 10 und 10 - 25 mm bei einem Möllerausbringen von 29,51% einen Koksverbrauch von 3,69 kg/kg Roheisen bei einer Schlackenmenge von 1,59 kg/kg RE zeigt, werden die Verhältnisse bei den Pellets mit einem Möllerausbringen von 20,67% und einem Koksverbrauch von 5,55 kg/kg Roh-



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



eisen bei einer Schlackenmenge von 3,40 kg/kg Roheisen noch wesentlich ungünstiger. Der VersuchsschachtOfen wurde bei Einsatz von Kriwoi Rog-Stückerz mit einer Gestellbelastung von  $354 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ , bei Einsatz von Pellets mit  $391 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  betrieben. Die aus dem Hochofenbetrieb bekannte Tatsache, daß mit sinkendem Möllerausbringen, also mit größer werdender Schlackenmenge der Koksverbrauch ansteigt, hat auch für den VersuchsschachtOfenbetrieb Gültigkeit, obwohl der Koksverbrauch je kg Roheisen gegenüber dem Hochofenbetrieb um das zwei - bis dreifache höher liegt. Die graphischen Darstellungen finden sich in den Bildern 21 und 22.

Um die mit dem Möller in den Ofen eingebrachten Komponenten in ihrer mengenmäßigen Abhängigkeit erfassen zu können, wurden täglich Stoffbilanzen aufgestellt. Tafel 17 gibt die Gesamtbilanz der Versuchsreihe III wieder. Die Bilanz beruht auf dem von F. WESEMANN und K. KESSELS angegebenen Berechnungsverfahren [62]. Sie wird durch einen Fehlbetrag von 0,07% ausgewiesen. Ein derartig guter Abschluß der Bilanz ist auf die im VersuchsschachtOfenbetrieb bestehenden Möglichkeiten einer ständigen Kontrolle der Waagen und des Personals zurückzuführen.

Im Bild 23 sind die je Schicht mit dem Möller und dem Koks eingebrachten Mengen an Silizium und Kohlenstoff aufgetragen. Die beiden Linienzüge verlaufen annähernd parallel, d.h., daß die eingebrachten Mengen an Silizium und Kohlenstoff eine gleichlaufende Tendenz besitzen. Der Abstand der beiden Linienzüge voneinander verweist auf die bereits beim Vergleich des Möllerausbringens der untersuchten Stoffe beobachtete Tatsache, daß das Erz - Koks - Verhältnis, ausgehend vom Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm über das Agglomerat, das Kriwoi Rog-Stückerz bis zu den Pellets abnimmt. Die Abweichungen im Verlauf der beiden Linienzüge zwischen der II.Schicht vom 20.11.61 und der II.Schicht vom 21.11.1961 sind auf erforderlich gewordene Korrekturen des Koksatzes zurückzuführen, da der Kalksteinzuschlag infolge der höheren Basizität der Pellets verringert und der mit den Pellets eingebrachte Kohlenstoff berücksichtigt werden mußte.

Bei den Hochöfen II und IV des EKO, deren Betriebsaufzeichnungen zum Vergleich der Versuchsergebnisse des VersuchsschachtOfens herangezogen wurden, handelt es sich bei dem Ofen II um einen Ofen mit 6,7 m Gestell Durchmesser und einem Nutzinhalt von



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



778 m<sup>3</sup>. Ofen IV dagegen hat einen Gestelldurchmesser von 6,1 m und einen Nutzinhalt von 733 m<sup>3</sup>. Für die Auswertung wurden 7 Betriebstage mit Stückerz und 7 Betriebstage mit Agglomerat im Einsatz ausgewählt. Die Betriebszahlen und die Roheisen- und Abstichschlackenanalysen sind für Ofen II aus den Tafeln 18, 19 und 20 und für Ofen IV aus den Tafeln 21, 22 und 23 zu ersehen. In den Tafeln 24 und 25 sind die Analysen der Einsatzstoffe aufgeführt.

Für die Betriebsüberwachung werden nur bestimmte Komponenten der Abstichschlacke untersucht. Aus diesem Grunde ist eine Auswertung des Einflusses von Stückerz und Agglomerat auf den Schwefelgehalt im Roheisen nicht möglich, da die Angaben für den Schwefelgehalt der Abstichschlacke fehlen.

Hochofen II, der mit einem Heißwinddruck von 0,94 kp/cm<sup>2</sup> bei Stückerz und von 1,02 kp/cm<sup>2</sup> bei Agglomerat betrieben wurde, unterscheidet sich vom Hochofen IV, der bei Stückerz einen Heißwinddruck von 0,90 kp/cm<sup>2</sup> und bei Agglomerat von 0,95 kp/cm<sup>2</sup> aufwies, nur unwesentlich. Dagegen lassen die Heißwindtemperaturen, die bei Hochofen II für Stückerz 799°C und für Agglomerat 729°C betragen, im Vergleich mit dem Hochofen IV, bei dem für Stückerz 626°C und für Agglomerat 665°C erreicht wurden, deutliche Unterschiede erkennbar werden, die aber zu einem bestimmten Teil durch den höheren Wasserdampfzusatz bei Ofen II (Stückerz 20,07 g/Nm<sup>3</sup>, Agglomerat 22,35 g/Nm<sup>3</sup> gegenüber Ofen IV bei Stückerz 12,05 g/Nm<sup>3</sup>, und 21,45 g bei Agglomerat) verringert werden. Während die Gichtgastemperaturen für Stückerz und Agglomerat bei Ofen II mit 177°C und 180°C nur unwesentlich voneinander abweichen, zeigt Ofen IV mit 196°C für Stückerz und 223°C für Agglomerat eine größere Differenz. Der Einsatz von Stückerz ist bei Ofen II durch ein Möllerausbringen von 30,95%, einen Koksverbrauch von 1189 kg/t Roheisen und eine Gestellbelastung von 1044 kg/m<sup>2</sup>·h gekennzeichnet, während bei Einsatz von Agglomerat das Möllerausbringen 31,69%, der Koksverbrauch 1182 kg/t Roheisen und die Gestellbelastung 1043 kg/m<sup>2</sup>·h betragen, d.h., daß bei geringem Anstieg des Möllerausbringens die Gestellbelastung und der Koksverbrauch etwas zurückgehen. Ofen IV zeigt die gleiche Tendenz. Gegenüber von Stückerz, mit einem Möllerausbringen von 29,29%, einem Koksverbrauch von 1301 kg/t Roheisen und einer Gestellbelastung von 1235 kg/m<sup>2</sup>·h, steigt bei Einsatz von Agglomerat das Möllerausbringen auf 32,17% an, während der Koksverbrauch auf 1136 kg/t Roheisen und die Gestellbelastung auf 1044 kg/m<sup>2</sup>·h absinken.



Die IV. Klasse ist eine der ältesten Klassen des Reiches, die seit dem 11. Jahrhundert existiert. Sie bestand ursprünglich aus den Erbknechten der Bischöfe und den Rittern der weltlichen Fürsten. In der Folgezeit wurde die Klasse erweitert und umfassen nun auch die Lehnritter der weltlichen Fürsten. Die IV. Klasse ist die zweitgrößte Klasse des Reiches und hat die meisten Mitglieder. Die IV. Klasse ist in 12 Provinzen unterteilt, die jeweils einen Landeshauptmann haben. Die IV. Klasse ist die zweitgrößte Klasse des Reiches und hat die meisten Mitglieder. Die IV. Klasse ist in 12 Provinzen unterteilt, die jeweils einen Landeshauptmann haben.



Bild 24 gibt für die Öfen II und IV die Abhängigkeit des Koksverbrauches vom Möllerausbringen wieder.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit denen des Versuchsofens zeigt, daß eine Änderung der metallurgischen Kenngrößen des Versuchsschachtofens sich in der gleichen Richtung vollzieht wie die der Hoehöfen. Mit steigendem Möllerausbringen sinken der Koksverbrauch und die Gestellbelastung. Die Klärung der Frage, inwieweit ein Übertragungsmaßstab für die metallurgischen Kennzahlen des Versuchsschachtofens zur Vorausermittlung im Hoehofen gefunden werden kann, muß späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

### 5.3 Die Untersuchungsmethoden.

Die Methoden, den metallurgischen Vorgängen in einem Schachtofen nachzugehen, sind von vornherein durch die Untersuchungsmöglichkeiten, die ein in Betrieb befindlicher Versuchsschachtofen bietet, auf folgende Punkte festgelegt:

- 1.) Erfassung der Veränderungen in der Zusammensetzung von Roheisen und Schlacke
- 2.) Entnahme von Materialproben aus den einzelnen Zonen des Versuchsofens
- 3.) Untersuchungen im Laboratorium zur Klärung von Teilvorgängen.

Es kam also vor allem darauf an, den Einfluß der Erzart auf die Roheisenbeschaffenheit durch solche Kennzahlen zu erfassen, die den erzielten Reduktionsgrad und damit die metallurgische Leistung des Versuchsschachtofens und die zum Vergleich der Gültigkeit der Versuchsschachtofenergebnisse herangezogenen Hoehöfen II und IV des EKO aus der Roheisen- und Schlackenanalyse anzeigen. Die  $K_{S,Si}$ - und  $K_{Mn,Si}$ -Werte, die eine Verknüpfung der Silizium- und Manganreduktion und der Entschwefelung darstellen, werden dieser Forderung gerecht. Dabei sind die Vorgänge im Schacht nicht weniger von Bedeutung, da sie schließlich die Vorgänge in der Rast, vor den Formen und im Gestell mitbestimmen. Die Entnahme von Stoffproben durch die am Versuchsschachtofen vorgesehenen Stützen sollte zur Klärung dieser Frage beitragen.

Im Laboratorium wurden Untersuchungen über den Verlauf der Siliziumreduktion bei den einzelnen im Versuchsschachtofen eingesetzten Stoffen, das Bruckerweichungsverhalten und die Wi-



Die Aufgabe der Technik ist es, die menschliche Arbeit zu erleichtern und zu verbessern. Sie soll die körperliche Belastung reduzieren und die Effizienz steigern. Dies geschieht durch die Entwicklung von Werkzeugen, Maschinen und Arbeitsverfahren. Die Technik ist ein integraler Bestandteil der Produktion und des Dienstleistungssektors. Sie ermöglicht die Automatisierung von Prozessen und die Erzeugung von Mehrwert. Die Verantwortung der Technik liegt in der Schaffung von sicheren und gesunden Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technik ist notwendig, um den Anforderungen der modernen Wirtschaft gerecht zu werden.

2.3 Die Untersuchungsgegenstände

Die Untersuchung der Arbeitsbedingungen umfasst verschiedene Bereiche. Dazu gehören die Arbeitsumgebung, die Arbeitsinhalte, die Arbeitszeiten und die Arbeitsorganisation. Die Arbeitsumgebung bezieht sich auf die physischen und psychischen Faktoren, die die Arbeit beeinflussen. Die Arbeitsinhalte betreffen die Aufgabenstellung und die Anforderungen an die Mitarbeiter. Die Arbeitszeiten regeln die Dauer und den Rhythmus der Arbeit. Die Arbeitsorganisation beschreibt die Struktur der Arbeitsaufträge und die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern.

- 1.) Untersuchung der Arbeitsumgebung
- 2.) Untersuchung der Arbeitsinhalte
- 3.) Untersuchung der Arbeitszeiten
- 4.) Untersuchung der Arbeitsorganisation

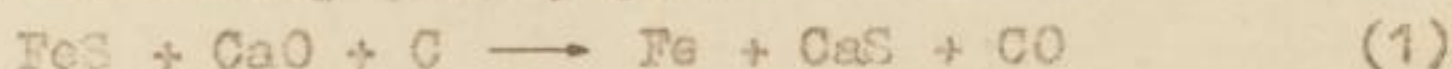
Die Untersuchung der Arbeitsbedingungen ist ein komplexer Prozess, der eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordert. Die beteiligten Disziplinen sind die Arbeitswissenschaft, die Ergonomie, die Psychologie und die Medizin. Die Arbeitswissenschaft untersucht die Zusammenhänge zwischen der Arbeit und der Gesundheit. Die Ergonomie bezieht sich auf die Anpassung der Arbeitsumgebung an die menschlichen Fähigkeiten. Die Psychologie erforscht die Auswirkungen der Arbeitsbedingungen auf die mentale Gesundheit. Die Medizin untersucht die gesundheitlichen Folgen von Arbeitsbelastungen. Die Untersuchung der Arbeitsbedingungen ist ein kontinuierlicher Prozess, der regelmäßige Bewertungen und Anpassungen erfordert. Die Ergebnisse der Untersuchung dienen als Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Disziplinen ist entscheidend für den Erfolg dieser Maßnahmen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Arbeitswissenschaft ist notwendig, um den Herausforderungen der modernen Arbeitswelt gerecht zu werden.



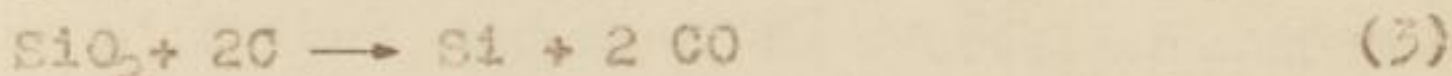
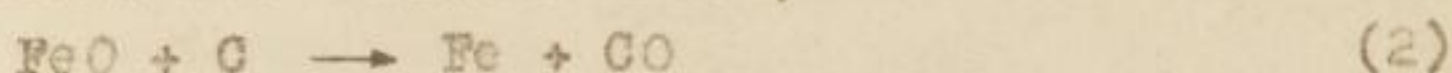
derstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen geprüft, um Hinweise für das Verhalten im Versuchsschachteln zu bekommen, bzw. die aus den Versuchsergebnissen des Ofenbetriebes offen gebliebenen Fragen zu klären.

### 5.31 Die Reaktionskennzahlen $K_{S, Si}$ und $K_{Mn, Si}$

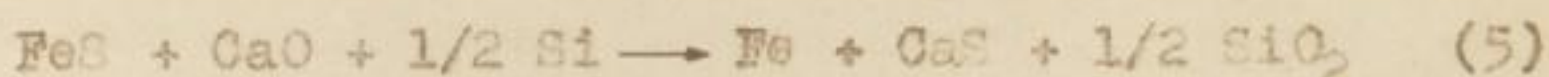
Nach der bisher üblichen Auffassung verläuft die Grundreaktion der Entschwefelung des Roheisens durch Hochofenschlacken nach folgender Gleichung [51], [59]:



Da die Reduktionswirkung des Kohlenstoffs nicht allein auf die Umwandlung des Kalziumoxyds in Kalziumsulfid beschränkt bleibt, sondern gleichzeitig auch auf die anderen reduzierbaren Bestandteile der Schlacke wirkt,



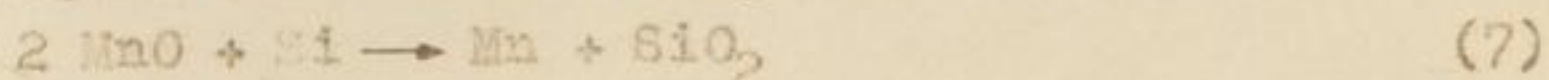
ist zu erwarten, daß das Fortschreiten der Reaktionen (1) bis (4) in enger gegenseitiger Verknüpfung erfolgt, d.h., daß das Fortschreiten einer Reaktion den Ablauf der anderen nach sich zieht. Die augenblickliche Lage eine der Reaktionen (1) bis (4) sollte deshalb einen Anhalt für die zugehörigen Gehalte der übrigen Reaktionen geben [51]. Da die Schlacken im Gegensatz zu den Eisen- und Manganoxydulgehalten stets sehr hohe Gehalte an Kieselsäure (mehr als 30%) enthalten, kann die Kieselsäure-Reduktion als Schrittmacher angesehen werden. Aus diesem Grunde wird, um den Reduktionsgrad der Gleichung (1) zu kennzeichnen, der durch die Reaktion (3) erzielte Siliziumgehalt des Roheisens in die Gleichung (1) eingeführt:



Unter der Voraussetzung, daß Kalziumoxyd, Kieselsäure und Eisen bei unveränderter Temperatur und Schlackenzusammensetzung als Festwerte angesehen und in die Konstante einbezogen werden können, führt die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes zu folgender Beziehung:

$$K_{S, Si} = \frac{(\% S)}{[\% S] \cdot \sqrt{[\% Si]}} = f \left( \frac{CaO}{SiO_2} \right) \quad (6)$$

Entsprechend ergibt sich für die Manganreduktion



folgende Beziehung:



Handwritten text at the top of the page, likely a title or introductory paragraph.

Handwritten text in the upper middle section of the page.

Handwritten text in the middle section of the page.

Handwritten text in the lower middle section of the page.

Handwritten text in the lower section of the page.

Handwritten text in the lower section of the page.

Handwritten text in the lower section of the page.

Handwritten text in the lower section of the page.

Handwritten text at the bottom of the page.



$$K_{\text{Mn,Si}} = \frac{(\text{Mn}) \cdot \sqrt{[\text{Si}]}}{[\text{Mn}]} = f \left( \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right) \quad (8)$$

Durch Tiegelversuche haben W. OELSEN und H. MAETZ die Normalwerte der Reaktionskennzahlen  $K_{\text{S,Si}}$  und  $K_{\text{Mn,Si}}$  in Abhängigkeit von der Basizität ermittelt, die sich in erster Annäherung durch folgende Beziehungen ausdrücken lassen:

$$\log K_{\text{S,Si}} = 2.60 \left( \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right) - 1.64 \quad (9)$$

$$\log K_{\text{Mn,Si}} = 1.388 \left( \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right) + 1.498 \quad (10)$$

Die prozentuale Abweichung der  $K_{\text{S,Si}}$ - und  $K_{\text{Mn,Si}}$ -Werte von ihren eigentlichen Normalwerten erlaubt somit, die Reduktionsverhältnisse des einzelnen Hochofens zu beurteilen und sie mit anderen zu vergleichen.

$$\% K_{\text{S,Si}} = \frac{K_{\text{S,Si}} \text{ erreicht}}{K_{\text{S,Si}} \text{ normal}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

$$\% K_{\text{Mn,Si}} = \frac{K_{\text{Mn,Si}} \text{ erreicht}}{K_{\text{Mn,Si}} \text{ normal}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

### 5.32 Stoffprobenentnahme aus dem Schacht des Versuchsofens.

Besonders in den Jahren zwischen 1925 und 1930 sind eine große Anzahl Untersuchungen dieser Art durchgeführt worden [35], [36], [37], [38], [39].

Die Versuche, feste und flüssige Stoffe aus einem sich in Betrieb befindlichem Hochofen zu entnehmen, galten der Untersuchung und Klärung der im Hochofen ablaufenden Vorgänge. Die in den einzelnen Arbeiten abgehandelte Problematik läßt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- 1.) Veränderung des Möllers beim Durchgang durch den Hochofen
- 2.) Untersuchung der Reduktionsverhältnisse
- 3.) Reduktion und Übergang der Roheisenbegleitelemente in das Eisen
- 4.) Rolle des Kokes im Hochofen
- 5.) Schlackenbildung.



$$(1) \quad \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Die Eigenschaft der ...  
...  
...

$$(2) \quad \log \frac{1}{\sqrt{2}} = \log \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \log \sqrt{2} - \log 2 = \frac{1}{2} \log 2 - \log 2 = -\frac{1}{2} \log 2$$

$$(3) \quad \log \frac{1}{\sqrt{2}} = \log \left( \frac{2}{\sqrt{2}} \right) = \log 2 - \log \sqrt{2} = \log 2 - \frac{1}{2} \log 2 = \frac{1}{2} \log 2$$

Die allgemeine Ableitung der ...  
...  
...

$$(4) \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$(5) \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Die Eigenschaft der ...  
...  
...

Die Eigenschaft der ...  
...  
...

Die Eigenschaft der ...  
...  
...

Die Eigenschaft der ...  
...  
...



Für die eigenen Untersuchungen bestand die Aufgabe, durch die Entnahme von Stoffproben aus dem Versuchsschacht-Ofen bei den einzelnen zum Einsatz kommenden Stoffen das Ausmaß der Silizium- u. Manganreduktion in den einzelnen Zonen des Ofens festzustellen.

Die Proben wurden mit einem Rohr durch die im Versuchsschacht-Ofen vorgesehenen Probestützen entnommen. Um die Stoffproben vor einer Oxydation zu schützen, wurde im Entnahmerohr durch Einleiten von gereinigtem Stickstoff eine neutrale Atmosphäre eingestellt. Das Probegut wurde aus dem Entnahmerohr in ein bereitstehendes Gefäß entleert und im Stickstoffstrom abgekühlt. Obwohl versucht wurde, durch eine große Anzahl von Proben den Streubereich der Werte möglichst einzuengen, bleibt die Aussagekraft der Werte von vornherein auf die sich zum Zeitpunkt der Probeentnahme vor dem Probestützen befindliche Möllerschicht beschränkt, d.h. auf die spezifische physikalische, chemische und mineralogische Zusammensetzung dieser Möllerschicht. Abgesehen davon, daß es ohne radioaktive Indikatoren nicht möglich ist, die gleiche Möllerschicht bei der Probeentnahme an senkrecht darunterliegenden Stützen zu erfassen wird die betreffende Möllerschicht beim Niedergang im Hochofen durch Entmischung, Zerplatzen usw. stetig verändert. Dadurch ist es wider Erwarten durchaus möglich, daß die Proben, die aus einem der Blasformenebene näherliegendem Stützen gezogen werden, niedrigere Gehalte z.B. an Silizium und metallischem Eisen aufweisen, also einen kleineren Reduktionsgrad besitzen, als das bei den Proben der Fall ist, die aus dem senkrecht darüberliegenden Stützen gezogen werden, dessen Abstand zur Blasformenebene wesentlich größer ist.

Der Forderung nach einer möglichst großen Anzahl von Proben steht die Schwierigkeit entgegen, das Probenmaterial für die chemische Analyse aufzubereiten. Die magnetische Trennung von Gangart und Eisen ist unvollkommen, weil kleinste Tröpfchen metallischen Eisens in der Gangart eingeschlossen sind und zurückbleiben. Es wurde der Versuch unternommen, 40 Proben nach folgender Methode zu analysieren:

Das Gesamtgewicht der Probe wurde zunächst festgestellt und anschließend das metallische Eisen von der Gangart mit einem Magneten getrennt. Entsprechend den gewichtsmäßigen Anteilen von Gangart und Schlacke am Gesamtgewicht wurden für die Probemenge der chemischen Analyse Gangart und metallisches Eisen getrennt



The text on this page is extremely faint and illegible, appearing as a series of light grey smudges and ghosting of characters. It seems to be a dense paragraph of text, possibly a technical or scientific description, but the specific words and sentences cannot be discerned.



eingewogen und in Lösung gebracht. Die beiden Lösungen wurden dann vereinigt und in einen Meßkolben auf 100 ml aufgefüllt. 50% der Analysenergebnisse waren wegen des zu großen Fehlers nicht zu verwerten. Aus diesem Grunde mußte darauf verzichtet werden, die Stoffproben, die aus Zonen niedriger Temperatur gezogen wurden, wo zwar schon metallisches Eisen vorlag, von der Gangart sich aber noch nicht getrennt hatte, in die Auswertung einzubeziehen.

### 5.33 Untersuchungen im Laboratorium.

Die im Laboratorium durchgeführten Untersuchungen galten folgenden Fragen:

- 1.) Erweichungsverhalten von Eisenerzen und Pellets und Einfluß des Vorreduktionsgrades auf das Erweichungsverhalten.
- 2.) Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Eisenerzen.
- 3.) Einfluß von Temperatur und Korngröße auf die Reduktion der Kieselsäure.

Für die Prüfung der Druckerweichung wurde die bereits am Eisenhütten-Institut vorhandene Versuchsapparatur verwendet. Aus Bild 25 ist der Aufbau der Druckerweichungsapparatur zu ersehen. Die Meßeinrichtung wurde umgebaut, um die Meßwertgenauigkeit zu erhöhen. Das Meßprinzip beruht auf der Änderung der Induktivität einer Spule beim Eintauchen eines Weicheisenkernes. Senkt oder hebt sich der die Probe belastende Stahlstempel, so verändert sich mit ihm die Lage des Weicheisenkernes im Spuleninnern und damit die Größe des durchfließenden Stromes. Über eine Brückenschaltung kann die Stromänderung an einem Multizet abgelesen werden. Für die Ausdehnung der Apparatur wurde in Abhängigkeit von der Temperatur, entsprechend der Aufheizkurve ( bis  $700^{\circ}\text{C}$  betrug die Aufheizgeschwindigkeit  $14^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , von  $700 - 1200^{\circ}\text{C}$   $9^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ), eine Eichkurve aufgenommen. Die Ausdehnung bzw. Schrumpfung des Probekörpers in Millimeter ergibt sich aus dem Wert der in Millimeter geeichten Skala des Multizets und dem zugehörigen Wert der Eichkurve der Apparatur.

Als Prüfkörper wurden Preßlinge aus Feinerz der Körnung 0-3 mm hergestellt. Der Preßdruck betrug  $300 \text{ kp/cm}^2$ . Für die Herstellung der Probekörper bieten sich 2 Möglichkeiten an:

- 1.) Schneiden des Probekörpers aus dem Erzstück
- 2.) Herstellung von Preßlingen aus bestimmten Korngrößen.

Die Untersuchungsergebnisse von J. WILLEMS und Mitarbeitern [40] und von G. von STRUVE [31] lassen keine wesentlichen Unterschiede in Erweichungsverhalten zwischen beiden Probeformen erkennen.







bar werden. Da andererseits weniger die absoluten Werte interessieren, sondern vielmehr ein Vergleich der unter gleichen Bedingungen geprüften Erze benötigt wird, ist die weniger aufwendige Form der Herstellung von Preßlingen zu bevorzugen. Reduziert wurden die Probekörper in einem dafür ausgestalteten waagrecht stehenden Silitstabofen (Bild 26). Als Reduktionsmittel diente Wasserstoff. Die Erzpreßlinge wurden in der Reduktionsapparatur nach Abstellen des Wasserstoffstromes mit gereinigtem Stickstoff bis auf Raumtemperatur abgekühlt.

Den mechanischen Eigenschaften der Erze wurde seltsamerweise bisher wenig Beachtung geschenkt. Es sind aus der Literatur zwar eine Reihe von Prüfverfahren bekannt, die auch nur qualitative Aussagen ermöglichen, für einen Vergleich der einzelnen Erze miteinander aber durchaus geeignet erscheinen [42], [43]. Es ist hinreichend bekannt, daß der Widerstand der Beschickungssäule gegenüber dem aufsteigenden Gasstrom in dem Maße größer wird, wie die Stückgröße der Einsatzstoffe sich vermindert. Nach Angaben von J.L. JOSEPH [41] verändert sich im allgemeinen der Widerstand entgegengesetzt der 1,2 fachen Potenz des Korndurchmessers. Allein dieses Beispiel unterstreicht die Bedeutung, die den mechanischen Eigenschaften der Eisenerze zukommt. Eine ungenügende mechanische Festigkeit der Einsatzstoffe kann die mit der Aufbereitung erzielten Ergebnisse auf dem Transport zum und in den Hochofen weitestgehend wieder zunichte machen. Die Erze wurden auf Kaltabrieb-, Sturz- und Druckabriebfestigkeit untersucht. Entsprechend dem Versuchsprogramm war das Verhalten der Kornfraktionen 5 - 10 mm, 10 - 25 mm und >25 mm gegenüber mechanischer Beanspruchung von besonderem Interesse. Die Kaltabriebfestigkeit wurde in einer Micum-Trommel von 990 mm Durchmesser und 250 mm Länge an 5 kg Erz der betreffenden Kornfraktion bei 25 Umdr./min und einer Trommelzeit von 4 min untersucht. Anschließend wurde der Abrieb <1 mm festgestellt.

Die Sturzfestigkeit wurde aus Fallhöhen von 3,6 und 9 m geprüft. Der Anteil <1 mm wurde abgesiebt.

Für die Prüfung der Druckabriebfestigkeit fand ein Gerät Verwendung, das dem von W. WOLF [43] entwickelten ähnlich war. Eingesetzt wurden Probemengen von 6 kg.

Die Untersuchungen über den Verlauf und das Ausmaß der Kieselsäurereduktion in Abhängigkeit von Temperatur und Korn-







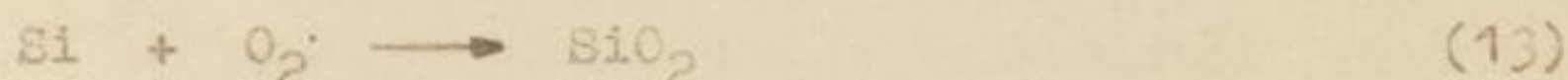
größe wurden an Badelebener- und Kriwoi Rog-Erz sowie an Pellets und Agglomerat der Körnungen 0 - 5, 5 - 10 und 10 - 25 mm bei Temperaturen von 900, 1100, 1300 und 1500° C im Tammannofen durchgeführt. 100 g des betreffenden Stoffes wurden mit 4 g Aktivkohle vermischt und im Kohletiegel in 90 min auf die entsprechende Versuchstemperatur erhitzt und bei dieser 20 min gehalten, d.h. die Aufheizgeschwindigkeit wurde entsprechend der einzustellenden Versuchstemperatur verändert. Die Temperaturen wurden mit einem Thermoelement gemessen. Versuchsdauer, Temperaturführung und das Erz - Koks - Verhältnis wurden konstant gehalten. Zugaben von Kalkstein erfolgten nicht.

#### 6. Die Beziehungen zwischen Silizium- und Manganreduktion bei Einsatz verschiedener Einsatzstoffe.

Die Reduktionsvorgänge werden von vielen Faktoren beeinflusst. Die Reaktionen im Hochofen laufen auf direktem und indirektem Wege ab. Dabei ist die Anwesenheit von metallischem Eisen als Katalysator oft von entscheidender Bedeutung.

Silizium kommt im Hochofenmüller normalerweise als freie Kieselsäure und als Eisen- und Mangansilikat vor. In den meisten Fällen wird das Silizium aus der freien Kieselsäure reduziert.

Da die Wärmetönung der Reaktion



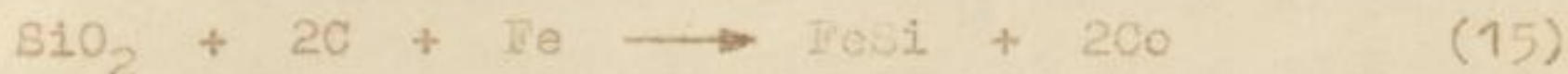
außerordentlich hoch ist, gilt die Kieselsäure als ein schwer reduzierbares Oxyd [32].

#### 6.1 Die Silizium- und Manganreduktion

Im allgemeinen wird für die Reduktion der Kieselsäure folgende Reduktionsgleichung angegeben:



Bei Abwesenheit von metallischem Eisen verläuft diese Reaktion erst oberhalb 1500 - 1600° C [32], [44]. Aber schon BERZELIUS wies im Jahre 1843 darauf hin, daß bei Anwesenheit von metallischem Eisen die Reduktion der Kieselsäure bei wesentlich tieferen Temperaturen vor sich geht. M.A. PANLOW [29] nennt als Beginn der Kieselsäure-Reduktion bei Anwesenheit von Eisen 1050° C. Ursache der wesentlich niedrigeren Reaktionstemperaturen ist die Bildung von Eisen - Silizium - Verbindungen [32], [45].





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

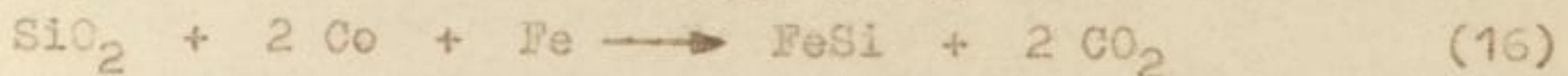
3. Die Fortsetzung...  
Faint, illegible text in the middle section of the page.

4. Die...  
Faint, illegible text in the lower middle section of the page.

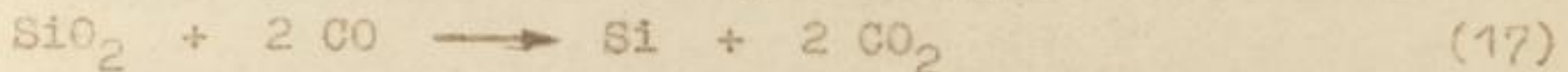
5. Die...  
Faint, illegible text at the bottom of the page.



Die wesentlich niedrigere Anfangstemperatur der Siliziumreduktion bei Anwesenheit von Eisen beruht darauf, daß bei der Verbindung von Silizium und Eisen zu einem sogenannten Silizid beträchtliche Wärmemengen freiwerden. Dadurch sinkt der Gesamtwärmebedarf und dementsprechend auch die Temperatur zu Beginn der Reaktion. O. MAYER [46] dagegen führt die bei Anwesenheit von Eisen bei niedrigeren Temperaturen verlaufende Reduktion der Kieselsäure auf die Bildung des stärker reduzierend wirkenden  $\text{Fe}_3\text{C}$  und die Löslichkeit des Siliziums im Eisen zurück. Ob die Reduktion der Kieselsäure nun tatsächlich nach der einfachen Reduktionsgleichung (14) verläuft, ist nicht endgültig geklärt. Während H. SCHENCK [45] die Möglichkeit einräumt, daß bei Anwesenheit von Eisen auch eine indirekte Reduktion der Kieselsäure entsprechend der Reduktionsgleichung



möglich ist und H.H. MEYER [48] bei Versuchen in strömendem Kohlenoxyd bei Anwesenheit von Eisen bis 0,08 % Silizium im Metall nachweisen konnte, ist nach W.P. ELJUTIN und Mitarbeitern [47] eine Reduktion nach der Reduktionsgleichung



bei normalen Hochofentemperaturen wenig wahrscheinlich. Bei Temperaturen um  $2000^\circ \text{C}$  genügen schon einige tausendstel Prozent  $\text{CO}_2$ , um das gebildete Silizium wieder zu oxydieren.

In neueren Untersuchungen wird die Auffassung vertreten, daß bei der Reduktion der Kieselsäure mit festem Kohlenstoff  $\text{SiO}$  als Zwischenprodukt auftritt [47], [49]. Die von Th. KOOTZ und W. OELSEN [50] vertretene Auffassung, daß die Reduktion des Phosphors und Siliziums im unteren Teil des Schachtes und in der Rast bei Vorhandensein einer ausreichenden Menge indirekt reduzierten Eisens allein durch den Spaltungskohlenstoff bewirkt wird, erscheint durch neuere Erkenntnisse zweifelhaft. Obwohl das Ausmaß der Kohlenoxydspaltung noch nicht restlos geklärt ist, wird heute die Auffassung vertreten, daß die Menge des Spaltungskohlenstoffs wesentlich geringer ist, als früher angenommen wurde.

Diese kurze Übersicht über die wichtigsten Arbeiten zeigt, daß die Ansichten der Autoren über die Reduktion der Kieselsäure unterschiedlich sind, diese Frage also noch nicht vollständig geklärt ist. Sie stimmen aber darin überein, daß die Anwesenheit von metallischem Eisen den Reduktionsbeginn zu tieferen Tempe-



The following are the results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...

Fig. 1. The results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...

The following are the results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...

The following are the results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...

The following are the results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...

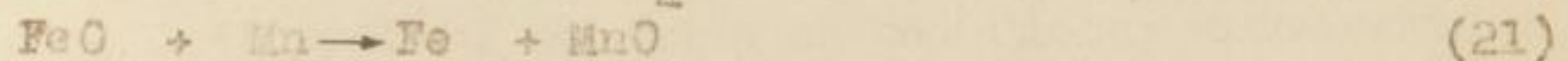
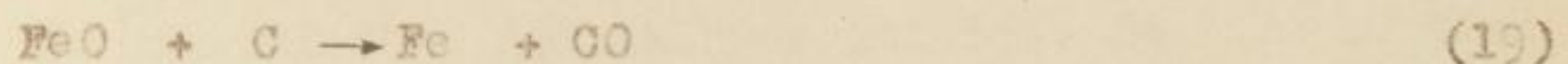
The following are the results of the investigation...  
The first result is that the...  
The second result is that the...  
The third result is that the...  
The fourth result is that the...  
The fifth result is that the...  
The sixth result is that the...  
The seventh result is that the...  
The eighth result is that the...  
The ninth result is that the...  
The tenth result is that the...



raturen hin verschiebt. Auf die Verhältnisse des Hochofenbetriebes übertragen bedeutet das, daß Eisen (II) - oxyd bei Temperaturen unter  $900^{\circ}\text{C}$  durch Kohlenoxyd, entsprechend der Reduktionsgleichung



reduziert wird, daß ein erheblicher Teil des Siliziums aus der Kieselsäure über der Formenebene, also im Schacht und in der Rast reduziert wird. Das ist auch tatsächlich der Fall, wie die nachfolgenden Auswertungen der eigenen Untersuchungen zeigen. Nach Ansicht von W. OELSEN und H. MAETZ [51] und F. KÖRBER und W. OELSEN [52] verläuft die Reduktion des Eisen (II)-oxyds oberhalb  $1000^{\circ}\text{C}$  direkt über Kohlenstoff, Silizium und Mangan:



Die Manganreduktion ist, wie die des Siliziums, im starken Maße von der Anwesenheit des Eisens abhängig. Die Reduktion der höheren Manganoxyde zu Mangan(II)-oxyd, die im Möller als  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , als Mangankarbonat  $\text{MnCO}_3$  oder Mangansilikat vorliegen können, verläuft bei mäßigen Temperaturen ähnlich wie die der Eisenoxyde. Jedoch erfordert die Reduktion des Mangans aus dem Mangan(II)-oxyd entsprechend der Reduktionsgleichung



eine erhebliche Wärmezufuhr. Bei Gegenwart von metallischen Eisen liegt der Beginn der Reduktion bei  $800 - 900^{\circ}\text{C}$ , während bei Abwesenheit von Eisen die Manganreduktion zwischen  $1100$  und  $1200^{\circ}\text{C}$  beginnt und Temperaturen zwischen  $1200^{\circ}\text{C}$  und  $1400^{\circ}\text{C}$  erforderlich sind, um einen nennenswerten Ablauf der Reduktion zu erzielen. Die Ursachen für den früheren Reduktionsbeginn sind darin zu sehen, daß das reduzierte Mangan sich im Eisen lösen kann und mit dem Eisen Legierungen jeder beliebigen Konzentration bildet. Der Reduktionsgrad des Mangans beträgt unter Hochofenbedingungen  $30 - 70\%$ .

Die Beziehungen zwischen der Mangan - und Siliziumreduktion herzustellen und die für die Beziehung maßgebenden Einflußgrößen aufzuzeigen, ist Aufgabe eines gesonderten Abschnittes.

## 6.2 Der Einfluß der Korngröße und der Erzart auf das Ausmaß der Siliziumreduktion.

Zur Vorausermittlung des Einflusses der Korngröße und der Erz-



Die ... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...

... (II) ...



art auf die Siliziumreduktion im Hochofen wurden Untersuchungen im Laboratorium durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Bildern 27, 28 und 29 (Tafel 28) wiedergegeben. Übereinstimmend zeigen die Untersuchungen, daß bei Kriwoi Rog-Erz, dem Badelebener-Erz, den Pellets und dem Agglomerat die Reduktion der Kieselsäure bei der Körnung 0 - 5 mm am weitesten fortschreitet und bei der Körnung 10 - 25 mm die niedrigsten Werte erreicht. Ferner ist der Einfluß der Erzart auf das Ausmaß der Kieselsäurereduktion unverkennbar (Bild 27). Bei einer Reaktionstemperatur von  $1300^{\circ}\text{C}$  wird bei den aus Lausitzer Filteraschen hergestellten Pellets der größte Reduktionsgrad der Kieselsäure erzielt, während von den untersuchten Stoffen das Agglomerat die niedrigsten Siliziumgehalte im metallischen Bodenkörper aufwies. Im Bild 28 sind die Ergebnisse, die bei Reaktionstemperaturen von  $1500^{\circ}\text{C}$  erzielt wurden, dargestellt. Obwohl auch bei dieser Temperatur noch die größte Kieselsäurereduktion bei der Körnung 0 - 5 mm zu verzeichnen ist, kann nicht verkannt werden, daß bei den Kornfraktionen 5 - 10 und 10 - 25 mm die Reduktion der Kieselsäure im verstärkten Maße einsetzt. Es ist anzunehmen, daß der bei der Körnung 5 - 10 mm des Kriwoi Rog-Erzes herausfallende Wert auf einen Analysenfehler zurückzuführen ist. Während der beim Badelebener Erz bei  $1500^{\circ}\text{C}$  erzielte Reduktionsgrad der Kieselsäure dem der Pellets sehr nahe kommt, zeigen Kriwoi Rog-Erz und Agglomerat noch einen deutlichen Abstand dazu. Aus diesen Untersuchungen ergibt sich für die technische Betriebsweise des Versuchs- und Hochofens, daß der Umfang der Kieselsäurereduktion bei konstanten Reduktionsbedingungen, wie Reduktionstemperatur, Menge des Reduktionskohlenstoffs usw., sowohl durch die Art des Einsatzstoffes als auch durch die Korngröße ein- und desselben Stoffes bestimmt wird, (Bild 29).

Es erhebt sich nun die Frage, worin die Ursachen zu sehen sind, daß verschiedene Kornfraktionen des gleichen Stoffes und die untersuchten Stoffe insgesamt so verschieden das Ausmaß der Siliziumreduktion bestimmen. Ohne die Frage an dieser Stelle im einzelnen beantworten zu wollen, soll auf die von R. EBERT [53] gefundene Abhängigkeit des Silizium-Gehaltes im Eisen vom Verhältnis Kieselsäure zu Eisen im Möller noch eingegangen werden. R. EBERT fand bei Tiegelversuchen, die bei  $1600^{\circ}\text{C}$  durchgeführt wurden, daß mit größer werdendem Verhältnis von Kieselsäure zu Eisen im Möller auch der Siliziumgehalt im Roheisen ansteigt. Die eigenen Versuchsergebnisse bestätigen diese Aussage nicht.



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



Nach den Feststellungen von R. EBERT, angewandt auf die eigenen Untersuchungen, müßte das Badelebener - Erz mit einem Verhältnis von  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}} = 1,74$  im Durchschnitt der drei untersuchten Kornfraktionen den höchsten Gehalt an Silizium im Eisen erbringen. Unter der Annahme, daß die Summe der Eisenbegleiter 10% ist und das Eisenausbringen 100% beträgt, ergibt sich ein Kieselsäure-Einsatz je Tonne Eisen beim Badelebener - Erz von 1563 kg, der bei gleichen Voraussetzungen gegenüber des Pellets um fast ein Drittel höher liegt. Tatsächlich sind aber die höchsten Siliziumgehalte im Eisen bei den Pellets mit einem Verhältnis von Kieselsäure zu Eisen von 1,17, entsprechend einem Kieselsäureangebot von 1048 kg je Tonne Eisen, zu verzeichnen. Außerdem kann der geringe Unterschied im Verhältnis Kieselsäure zu Eisen bei Kriwoi Rog-Erz im Mittel von 0,50 zu Agglomerat von 0,48, gleichbedeutend einem Kieselsäureeinsatz je Tonne Eisen bei Kriwoi Rog-Erz von 441 kg und bei Agglomerat von 430 kg nicht als Ursache des großen Unterschiedes im Siliziumgehalt des Eisens angesehen werden. Wie die eigenen Untersuchungen zeigen, läßt sich nicht schlechthin eine Abhängigkeit des Siliziumgehaltes im Eisen vom Verhältnis Kieselsäure zu Eisen im Möller feststellen. Es müssen also andere Faktoren für die Reduktion der Kieselsäure maßgebend sein. Da bei R. EBERT keine Angaben über die Zusammensetzung der zugesetzten Gußspäne zu finden sind, liegt die Vermutung nahe, daß mit den Gußspänen auch Mangan in die Schmelze eingebracht wurde. Da die Veränderung des Verhältnisses von Kieselsäure zu Eisen durch entsprechende Zugaben von Gußspänen erfolgte, muß mit kleiner werdendem Verhältnis von  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}}$  der Mangangehalt größer

und, wie im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert wird, auch der Siliziumgehalt im Eisen geringer werden.

Andererseits erhebt sich noch die Frage, ob den im Laboratorium erhaltenen Werten die Eigenart des Tiegelversuches anhaftet und inwieweit die Ergebnisse in ihrer Aussage sich verallgemeinern lassen und zu bestimmten Voraussagen für den großtechnischen Betrieb berechtigen. Die Untersuchungen am Versuchsschachtofen sollen darauf eine Antwort geben.

### 6.3 Der Einfluß der Korngröße und Erzart auf das Ausmaß der Silizium- und Manganreduktion bei Untersuchungen im Versuchsschachtofen im Vergleich zum Laboratorium und Hochofen.

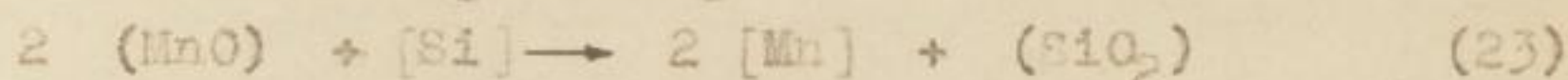
Der Verlauf der Kieselsäurereduktion unter technischen Verhält-



Nach dem Bestehen der Prüfung, welche am 1. April 1905 stattfand,
 wurde den Kandidaten, welche die Prüfung bestanden, die Erlaubnis
 erteilt, an der Universität zu studieren. Die Zahl der Studierenden
 betrug zu diesem Zeitpunkt 120. In den folgenden Jahren stieg die
 Zahl der Studierenden stetig an. Im Jahre 1910 betrug sie 150, im
 Jahre 1915 180, im Jahre 1920 210, im Jahre 1925 240, im Jahre
 1930 270, im Jahre 1935 300, im Jahre 1940 330, im Jahre 1945
 360, im Jahre 1950 390, im Jahre 1955 420, im Jahre 1960 450,
 im Jahre 1965 480, im Jahre 1970 510, im Jahre 1975 540, im
 Jahre 1980 570, im Jahre 1985 600, im Jahre 1990 630, im Jahre
 1995 660, im Jahre 2000 690, im Jahre 2005 720, im Jahre 2010
 750, im Jahre 2015 780, im Jahre 2020 810, im Jahre 2025 840,
 im Jahre 2030 870, im Jahre 2035 900, im Jahre 2040 930, im
 Jahre 2045 960, im Jahre 2050 990, im Jahre 2055 1020, im Jahre
 2060 1050, im Jahre 2065 1080, im Jahre 2070 1110, im Jahre
 2075 1140, im Jahre 2080 1170, im Jahre 2085 1200, im Jahre
 2090 1230, im Jahre 2095 1260, im Jahre 2100 1290.



nissen wurde in der Versuchsreihe II an Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm ohne Zusatz von Mangan im Möller an Versuchsschachtofen untersucht. Das Kriwoi Rog-Erz enthielt 0,07% Mn. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind im Bild 30 (Tafel 26) dargestellt. Dieses Bild erfüllt zunächst die dem Hochöfner bekannte Beziehung, daß ein hoher Siliziumgehalt im Roheisen mit einem hohen Manganausbringen verbunden ist. Da im Einsatz dem Mangangehalt von 0,07% ein Kieselsäuregehalt von 25,81% gegenübersteht, ist anzunehmen, daß die Siliziumreduktion für den Verlauf der Manganreduktion bestimmend ist, d.h., daß die jeweilige Lage der Siliziumreduktion den Reduktionsgrad des Mangans kennzeichnet. Der Beginn der Siliziumreduktion muß demnach vor dem der Manganreduktion liegen. Wenn das der Fall ist, dann ist die von TH.KOOTZ und W.GELSEN aufgestellte Behauptung [50], daß das Silizium an die Stelle des Kohlenstoffs tritt und entsprechend der Reduktionsgleichung



seinerseits zum wirksamen Reduktionsmittel für das Mangan wird, richtig. Das bedeutet, daß beim Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm, bei Zusatz von Manganträgern zum Möller, unter sonst gleichen Bedingungen, die Siliziumgehalte im Roheisen zu niedrigeren Werten hin verschoben werden. Im Bild 31 (Tafel 27) findet sich die Voraussage durch die Lage der Graden 2 zur Grad 1 bestätigt. Das Verteilungsverhältnis  $\frac{[\text{Mn}]}{[\text{Mn}]}$  von 1,0 ist z.B. bei Zugabe von Manganerz zum Möller ein Siliziumgehalt im Roheisen von 4,6% zugehörig, während bei dem gleichen Erz ohne Zuschlag eines Manganträgers mit 6,8% ein um 2,2% höherer Siliziumgehalt im Roheisen zu verzeichnen ist. Im Bild 31 sind ferner die Ergebnisse bei Einsatz eines Agglomerat-Möllers mit dem gleichen Manganzuschlag in Möller wie beim Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm durch Grade 3 wiedergegeben. Bei dem als Beispiel ausgewählten Manganverteilungsverhältnis  $\frac{[\text{Mn}]}{[\text{Mn}]} = 1,0$  liegt der Siliziumgehalt im Roheisen gegenüber dem Kriwoi Rog-Erz mit Manganzuschlag in Möller mit 2,4% um 2,2% niedriger. Um die Gültigkeit der an Versuchsschachtofen gewonnenen Ergebnisse nachzuweisen, sind in den Bildern 32 und 33 die aus laufenden Betriebsaufschreibungen errechneten Werte für die Öfen II und IV des EKO dargestellt. Analog den Ergebnissen des Versuchsschachtofenbetriebes zeigen die Darstellungen, daß der Betrieb eines Hochofens mit einem Agglomerat-Anteil im Möller im Vergleich zum Stückerz-Möller durch ein günstigeres Manganausbringen gekennzeichnet ist. Noch eindeutiger ver-



Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.



den die Verhältnisse durch Bild 34 wiedergegeben, in dem der Reduktionsgrad des Mangans über dem des Siliziums aufgetragen ist. Um z.B. einen Reduktionsgrad des Mangans von 20 % zu erreichen, wäre bei Agglomerat ein Reduktionsgrad des Siliziums von 4,8 %, bei klassiertem Kriwoi Rog-Erz (Körnung 5-10 und 10-25 mm) von 9,8 % und Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0-25 mm von 14,4 % erforderlich. Die für Pellets eingetragenen Werte lassen keine eindeutige Aussage zu, weil die Anzahl der Versuchswerte zu klein ist. Es scheint aber die qualitative Aussage gerechtfertigt zu sein, daß die Ergebnisse der Verhüttung von Filteraschen sich in den Bereich der des Agglomerats und des klassierten Kriwoi Rog-Erzes einordnen. Andererseits unterstreicht diese Darstellung die Aussage der Laboratoriumsuntersuchungen, daß die Silizium- und damit auch die Manganreduktion bei dem gleichen Erz wesentlich durch die Korngröße der Einsatzstoffe bestimmt wird. Die Lage der Ergebnisse bei Einsatz eines Agglomerat-Möllers zu denen des klassierten Kriwoi Rog-Erz-Möllers bzw. eines Kriwoi Rog-Erz-Möllers der Körnung 0-25 mm entspricht der aus den Laboratoriumsuntersuchungen her bekannten Tatsache, daß nicht nur die Korngröße, sondern auch die Erzart den Umfang und das Ausmaß der Siliziumreduktion bestimmt. In Bild 35 ist der Reduktionsgrad des Siliziums in Abhängigkeit vom Verhältnis Kohlenstoff zu Kieselsäure im Einsatz aufgetragen. Entsprechend der aus Bild 34 sich ergebenden Abhängigkeit der Siliziumreduktion von der Korngröße und der Erzart weist auch das Bild 35 drei Bereiche auf. Bei kleineren Verhältnissen von Kohlenstoff zu Kieselsäure im Einsatz, d.h. bei kleinerem Kohlenstoffangebot je Kieselsäureeinheit ist der Anteil des aus der Kieselsäure reduzierten Siliziums wesentlich größer, als das bei Kriwoi Rog-Erz der Körnungen 5-10 und 10-25 mm und bei Agglomerat der Fall ist.

Es wurde bereits eingangs betont, daß der  $K_{Mn, Si}$ -Wert in starkem Maße von der Schlackenbasizität abhängig ist. In Bild 36 ist das Manganverteilungsverhältnis in Abhängigkeit von der Basizität für die am Versuchsschachtofen durchgeführten Untersuchungen aufgetragen. Das Bild verweist darauf, daß mit fallender Basizität das Manganverteilungsverhältnis erheblich ansteigt. Besonders im Basizitätsbereich um 0,9 wird ein verstärkter Einfluß sichtbar. Auf die Ursachen wird im Abschnitt 7 eingegangen.



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



Im Bild 37 sind dazu die Verhältnisse für die Öfen II und IV des EKO bei Einsatz eines Stückerz - und Agglomeratmöllers dargestellt. Ein Vergleich der beiden Mittelgraden für den Stückerz - und Agglomerat - Möller führt zu der Aussage, daß für eine gleiche Schlackenbasizität das Manganverteilungsverhältnis für Stückerz-Möller wesentlich größer ist als das des Agglomerat - Möllers, d.h., daß die Verhüttung eines Agglomerat - Möllers gegenüber eines Stückerz - Möllers durch ein wesentlich günstigeres Manganausbringen gekennzeichnet ist.

Bevor auf die von der Korngröße und Erzart her den unterschiedlichen Verlauf der Siliziumreduktion bedingenden Faktoren eingegangen wird, soll zunächst noch untersucht werden, wie die  $K_{Mn, Si}$ -Werte der untersuchten Stoffe sich der von OELSEN und MAETZ angegebenen Normalkurve zuordnen. In Bild 38 sind für den Versuchsschachtofen die  $K_{Mn, Si}$  - Werte in Abhängigkeit von der Basizität dargestellt. Bild 39 gibt in gleicher Darstellung die Verhältnisse für die Öfen II und IV des EKO wieder. Die Normalkurve, die nach Gleichung (8) errechnet wurde, stellt etwa die untere Begrenzung der  $K_{Mn, Si}$  - Werte sowohl für den Versuchsschachtofen als auch für die Öfen II und IV des EKO dar. Dabei ist zunächst offensichtlich, daß die Basizität und die Art der untersuchten Stoffe von erheblichem Einfluß sind. Obwohl die Werte erheblich schwanken, wird trotzdem die bereits aus Bild 31 gewonnene Erkenntnis, daß sich bei Einsatz von Agglomerat das günstigste Manganausbringen erzielen läßt, bestätigt.

Die  $K_{Mn, Si}$  - Werte bei Verhüttung von Agglomerat sind der Oelsen'schen Normalkurve am nächsten gelegen, während sich bei gleichbleibender Basizität der Abstand der  $K_{Mn, Si}$  - Werte bei Verhüttung von Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0-25 mm mit und ohne Manganzuschlag im Einsatz entsprechend der genannten Reihenfolge von der Oelsen'schen Normalkurve vergrößert. Während die  $K_{Mn, Si}$ -Werte bei Verhüttung von Pellets sich ebenfalls nur in einem geringen Abstand zur Normalkurve anordnen, streuen sie bei Einsatz von Kriwoi Rog-Erz der Körnung 5-10 und 10-25 mm in einem breiten Bereich und erheblichem Abstand und erreichen mit 15,54 und 12,34 extrem hohe Werte (Tafel 27). Zu berücksichtigen ist allerdings dabei, daß die  $K_{Mn, Si}$  - Werte für das Kriwoi Rog-Stückerz als Einzelwerte, die der anderen Stoffe als 8 - Stunden - Mittelwerte eingetragen wurden. Auch die Betriebsverhältnisse, dargestellt im Bild 39 für die Öfen II und IV des EKO, sind ebenfalls durch



The text on this page is extremely faint and illegible, appearing as a series of light grey smudges and ghosting of characters. It seems to be a dense block of text, possibly a list or a detailed report, but the specific content cannot be discerned.



eine deutliche Gliederung der  $K_{Mn,Si}$  - Werte für Agglomerat und Stückertz gekennzeichnet. Aus den Bildern 38 und 39 ist ferner unverkennbar, daß mit abnehmender Schlackenbasizität der Abstand der  $K_{Mn,Si}$  - Werte von der Normalkurve größer wird. Besonders tritt diese Erscheinung beim Kriwoi Rog-Stückertz auf. Gleichermäßen zeichnet sich auch der Einfluß der Basizität bei den Hochöfen des EKO ab. In den Bildern 40 und 41 sind die  $K_{Mn,Si}$  - Werte in Abhängigkeit vom Basengrad  $\frac{(CaO + Mn)}{(SiO_2)}$  für den Versuchsschachtöfen und die Hochöfen II und IV dargestellt. Entsprechend den Untersuchungsergebnissen von TH.KOOTZ und W.OEISEN [54], daß alle diejenigen Roheisensorten mit hohen Mangangehalten in der Schlacke für die gleiche Einstellung von Mangan und Silizium viel niedrigere Basizitätswerte als solche mit niedrigen Mangangehalten zeigten, weil besonders bei niedrigen Kalkgehalten das Manganoxydul als starke Base angesprochen werden muß, wurde hier entsprechend ihrem Vorschlag zur Bestimmung der Schlackenbasizität das Mangan in seiner molaren Konzentration eingesetzt. In Bild 40 sind die  $K_{Mn,Si}$ -Werte für den Versuchsschachtöfen als Tagesmittelwerte eingezeichnet, ohne dabei die den untersuchten Stoffen zugehörigen  $K_{Mn,Si}$ -Werte zu kennzeichnen. Dagegen sind in Bild 41 wiederum die  $K_{Mn,Si}$  - Werte für Agglomerat und Stückertz durch deutlichen Abstand zueinander gekennzeichnet. Die Einbeziehung des Manganoxyduls der Schlacke in den Basengrad läßt die Abhängigkeit des  $K_{Mn,Si}$  - Wertes von der Basizität noch anschaulicher werden. Entsprechend der durch den  $K_{Mn,Si}$  - Wert ausgedrückten Beziehung  $\frac{(Mn)}{[Mn]} \cdot \sqrt{\frac{[Si]}{[Mn]}}$  muß mit fortschreitender Siliziumreduktion der  $K_{Mn,Si}$  - Wert kleiner werden und der Oelsen'schen Normalkurve um so näher liegen, je günstiger die Reduktionsbedingungen also sind, weil mit steigendem Siliziumgehalt auch der Mangangehalt im Roheisen zunimmt. Nach den Bildern 38, 39, 40 und 41 nimmt also mit steigender Basizität die Kennzahl  $K_{Mn,Si}$  erheblich ab, weil das Mangan leichter, das Silizium dagegen schwerer reduzierbar wird [51]. Demnach muß also, denn das folgt aus der Abhängigkeit von der Basizität, je saurer die Schlacke ist, um so mehr Silizium reduziert werden, wenn der gleiche Mangangehalt im Roheisen erreicht werden soll. Daraus erklärt sich nun auch der große



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



Streubereich der dem Kriwoi Rog-Stückerz zugehörigen  $K_{Mn, Si}$  - Werte und ihre Lage zur Normalkurve von Oelsen. Die vorwiegend im stark sauren Bereich durchgeführte Verhüttung hat demnach eine ungenügende Manganreduktion zur Folge. Diese, durch die Basizität verursachte Tendenz wird noch dadurch verstärkt, daß, wie bereits festgestellt, die Siliziumreduktion beim Kriwoi Rog-Stückerz gegenüber dem Kriwoi Rog-Erz von 0-25 mm erheblich zurückbleibt. Der in sauren Bereich erforderlich gewordenen größeren Siliziumreduktion für ein dem basischen Bereich gleiches Manganverteilungsverhältnis, stehen die der Stückgröße eigenen und den Verlauf und das Ausmaß der Siliziumreduktion bestimmenden Faktoren entgegen. Bei gleicher Basizität ergibt sich aber noch, wie die Bilder 38, 39 und 41 zeigen, eine Gliederung der  $K_{Mn, Si}$  - Werte derart, daß bei Agglomerat gegenüber den anderen untersuchten Stoffen wesentlich kleinere  $K_{Mn, Si}$  - Werte erreicht werden, d.h., daß einem Agglomerat - Møller ein höheres Manganausbringen zuzuordnen ist. Die Größe des Unterschiedes für technische Verhältnisse gibt Bild 42 wieder. Die bei Einsatz von Agglomerat und Stückerz für eine bestimmte Basizität zugehörigen  $K_{Mn, Si}$  - Werte wurden gegeneinander aufgetragen. Wäre die Silizium - und Manganreduktion bei beiden Møllerarten gleich, so müßten die für eine gleiche Basizität aufgetragenen Werte einem linearen Anstieg einer Geraden unter  $45^\circ$  folgen. Bild 42 zeigt aber, daß das nicht der Fall ist. Es ist also offensichtlich, daß die Silizium - und Manganreduktion nicht nur durch die Basizität, sondern auch durch die Eigenschaften des betreffenden Einsatzstoffes selbst bestimmt werden. Unterstrichen wird diese Tatsache ferner durch die Bilder 43 und 44, in denen die  $K_{Mn, Si}$  - Werte in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt im Roheisen aufgetragen wurden. Der Einfluß der Eigenschaften der zur Untersuchung gelangten Einsatzstoffe und der betreffenden Korngrößen auf den Verlauf der Silizium - und Manganreduktion ist unverkennbar. Die durch die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe und ihrer Korngrößen gegebenen Reduktionsbedingungen zeigen sich im Bild 43 durch die Gruppierung der dem betreffenden Stoff zugehörigen  $K_{Mn, Si}$  - Werte in einem bestimmten Bereich und der Anordnung der Bereiche zueinander. Für Bild 44 gilt die gleiche Aussage. Es liegt nahe, den Kohlenstoff-Gehalt des Roheisens, der sicherlich, je nach dem Reduktionsgeschehen







im Verlauf des Schmelzens, unterschiedlich ist, in Beziehung zum  $K_{Mn, Si}$ -Wert zu setzen. Bild 45 gibt die Abhängigkeit der  $K_{Mn, Si}$ -Werte vom Kohlenstoff-Gehalt im Roheisen für den Versuchsschachtöfen, den Niederschachtöfen IX in Calbe und den Hochofen IV im EKO wieder. Th. KOOTZ und W. OELSEN [54] weisen darauf hin, daß zwischen dem Kohlenstoffgehalt und dem Schlacken-zustand eine Beziehung besteht. Bild 46 zeigt die Abhängigkeit des Kohlenstoffgehaltes im Roheisen von der Schlackenbasizität auf. Demzufolge wird der Kohlenstoffgehalt im Roheisen umso niedriger, je saurer die Schlacke wird. Ohne diese Frage einer näheren Betrachtung unterziehen zu wollen, denn mit der Bedeutung des Kohlenstoffs und seines Einflusses auf die Reduktionsvorgänge beschäftigt sich die im Eisenhütten-Institut zur Zeit von W. WENZEL angefertigte Dissertation, geht aus Bild 45 hervor, daß der Kohlenstoffgehalt des Roheisens auch durch die Größe des Ofens bestimmt wird. Die Tagesmittelwerte des Versuchsschachtöfenbetriebes, denen eine Schlackenführung im Basizitätsbereich von 0,8 - 1,3 zugrunde liegt, unterscheiden sich durch einen geringeren Kohlenstoffgehalt und größere  $K_{Mn, Si}$ -Werte von Niederschacht- und Hochofen. Der Kohlenstoff im Roheisen kann also als Maßstab der durch den  $K_{Mn, Si}$ -Wert ausgedrückten Reduktionsbedingungen gelten; er ist von den Reduktionsbedingungen im Ofen selbst abhängig. Andererseits lassen die  $K_{Mn, Si}$ -Werte und die dazugehörigen Werte der indirekten Reduktion, Bild 47, keinen Zusammenhang erkennen. Dagegen ist, zweifellos nur in erster Annäherung, ein Zusammenhang zwischen den  $K_{Mn, Si}$ -Werten und der Gichtgastemperatur nach Bild 48 vorhanden. Bei Einsatz von Stückerz sind in der Mehrzahl den niedrigeren Gichtgastemperaturen höhere  $K_{Mn, Si}$ -Werte zugeordnet, während den kleineren  $K_{Mn, Si}$ -Werten bei Verhüttung von Agglomerat höhere Gichtgastemperaturen entsprechen. Die Gichtgastemperaturen lassen sich demnach also mittelbar zur Kennzeichnung der Reduktionsbedingungen heranziehen. Demnach deuten niedrigere Gichtgastemperaturen auf ein schlechtes, höhere Gichtgastemperaturen dagegen auf ein besseres Manganausbringen hin. Diese Feststellung ist nicht zuletzt wiederum Ausdruck der spezifischen Reduktionsbedingungen der eingebrachten Møllerstoffe. Die Gichtgastemperaturen sind als Ausdruck der wechselseitigen Wirkung zwischen Rohstoffen und Gasen



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



zu werten. Sie vermitteln ebenfalls einen Einblick in die durch den betreffenden Mäler sich einstellenden Reduktionsverhältnisse. Die Reduktionsgeschwindigkeit wird durch den langsamsten Vorgang bestimmt [61]. Es ist in den meisten Fällen die Diffusion. Da bekanntlich die Diffusion von der Oberfläche eines festen Körpers ausgeht, verläuft die indirekte Reduktion um so intensiver, je feinkörniger und poriger die Eisenerze sind. Demnach sind die Zonen, in denen vorwiegend Feinmaterial abgelagert wurde, durch niedrige Gasgeschwindigkeiten, damit niedrigere Temperaturen, aber hohe  $\text{CO}_2$  - Gehalte gekennzeichnet [41]. Die Verteilung des Mälergutes in seiner Körnung über den Ofenquerschnitt sowie seine Reduzierbarkeit wird durch die Höhe der Gichtgastemperaturen wiedergegeben. Deshalb können die Gichtgastemperaturen als Maßstab der sich einstellenden  $K_{\text{Mn, Si}}$  - Werte angesehen werden.

#### 6.4 Zu einigen Fragen der Verhüttung von Braunkohlenfilteraschen.

Die Braunkohle stellt in der Deutschen Demokratischen Republik die Hauptgrundlage der Energieerzeugung dar. Große abbauwürdige Vorkommen in der Niederlausitz (im sogenannten ostelbischen Raum) bewogen dazu, in diesem Gebiet eine Reihe leistungsfähiger Kraftwerke aufzubauen.

Bei der Verbrennung der Braunkohle in den Kesseln der Kraftwerke fallen erhebliche Mengen an Flugaschen an. Sie werden in Elektrofiltern abgeschieden. Bis heute bleiben sie ungenutzt und werden neben den Kraftwerken abgelagert. Abgesehen davon, daß über größere Zeiträume gesehen, der Landwirtschaft dadurch wertvolle Nutzfläche verloren geht, erhalten die Filteraschen zudem beträchtliche Mengen an Eisen. Da die Gangart mit einem Basizitätsverhältnis  $\frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}$  von rund 1,0 als selbstgänglich anzusehen ist,

kommt der Gewinnung der Filteraschen im Hinblick auf die spezifische Rohstoffgrundlage der Roheisen erzeugenden Industrie der DDR besondere Bedeutung zu.

Es ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, die vorliegenden Ergebnisse vollständig darzulegen. Die Ausführungen müssen sich deshalb darauf beschränken, zusammenfassend einige Schwerpunkte aufzuzeigen. Eine ausführliche Diskussion muß einer gesonderten Veröffentlichung zu einem späteren Zeitpunkt vorbehalten bleiben.



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



6.41 Die Braunkohlenfilteraschen als Eisenträger - ihre Vorteile gegenüber einheimischen sauren Erzen.

Die Bedeutung der Braunkohlenfilteraschen als Rohstoff für die Roheisenerzeugung wird anschaulich durch eine Bilanz für den Zeitraum von 1961 - 1980 charakterisiert [91]. Der Bilanz liegt die durch Versuche belegte Annahme zu-grunde, daß annähernd 2% der eingesetzten Rohkohle als verhüttbare Filterasche mit 18% Eisen anfällt.

Im Lausitzer Raum fallen neben den Filteraschen noch erhebliche Mengen an Kessel - und Generatorschlacke, Druckvergasungsaschen, Aluminiumoxyd- und Eisenhydroxydschlamm an. Der Gehalt an reinem Eisen dieser, als Industrierückstände bezeichneter Stoffe, betrug 1961 160400 t. Die Menge an gewinnbarem Eisen aus diesen Industrierückständen wird 1968 445.700 t und 1974 643.000 t betragen. Diese beträchtliche Steigerung geht hauptsächlich auf die Filteraschen zurück. 1961 fielen bei der Verbrennung von 20.998.000 t Rohkohle im ostelbischen Raum 420.000 t Elektrofilterasche mit einem Gehalt an reinem Eisen von 75.600 t an. 1968 werden es rund 1.390.000 t Elektrofilterasche mit einem Eiseninhalt von 269.000 t sein. Infolge der Steigerung der Energieerzeugung ist 1974 mit einer Flugaschenmenge von 2.199.000 t, entsprechend einem reinen Eisenanfall von 395.000 t zu rechnen. Allein der Eiseninhalt der im Jahre 1974 zu erwartenden Mengen an Filterasche erreicht annähernd die Höhe der im Jahre 1960 geförderten inländischen Erze von insgesamt 406.500 t reinen Eisens [92]. Daraus ist zu erschen, daß die Elektrofilteraschen einen nicht zu überschenden Eisenträger darstellen. Bei dem vorausberechneten Zuwachs wäre es 1974 möglich, unter Berücksichtigung der Entwicklung der Roheisen erzeugenden Industrie der DDR, den gesamten Bedarf des NOV Calbe an Eisenträgern zu decken.

Von Interesse ist die Frage, welche wirtschaftlichen Vorteile sich durch den Einsatz der Braunkohlenfilteraschen im NOV Calbe gegenüber dem heute zum Einsatz kommenden stark sauren Bodelebener Erz ergeben.

Das Bodelebener Erz ist ein saures, oolithisches Brauneisenerz, dessen saure Gangart durch Aufbereitung nicht abgetrennt werden kann. Ein hoher Kalksteinzusatz ist erforderlich, um die erforderliche basische Schlackenführung zu erzielen. Demgegenüber ist die Gangart der Elektrofilteraschen größtenteils selbstgängig. Die sich im Vergleich der beiden Einsatzstoffe



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



ergebende Kalksteineinsparung bei der Verhüttung von Braunkohlenfilteraschen ergibt zudem ein Ansteigen des Möllerausbringens gegenüber dem sauren Erz gleichen Eisengehalts. Eine überschlägige Berechnung der Erzwertzahl  $W_E$  nach W. ZIMMER [93] läßt diese Feststellung deutlich werden. Wird die Wertzahl, die das Metallausbringen charakterisiert, vereinfacht wie folgt angenommen:

$$W_E = \frac{\text{Fe} + 0,5 \text{ Mn}}{1 + \frac{2 (p' \cdot \text{SiO}_2 - \text{CaO})}{100}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$p' = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

dann ergibt sich für Badelebener Erz mit 19,79% Fe, 0,31% Mn, 39,08%  $\text{SiO}_2$  und 1,10% CaO ein Metallausbringen von 10,85% bei einer Schlackenbasizität von 1,1. Dieser Wert beträgt bei der Verhüttung von Elektrofilterasche (Versuchsreihe IV, Tafel 29) mit annähernd gleichem Eisengehalt 20,86%. Um dennoch das Badelebener Erz wirtschaftlich tragbar zu verhütten, wird im NOV Calbe eine Schrottmenge von rund 300 kg/t RE eingesetzt. Dadurch steigt das Möllerausbringen auf 22% an. Es stellt nach W. WENZEL und R. EBERT [94] die untere wirtschaftliche Grenze dar.

Der Einsatz von Filteraschenpellets an Stelle des Badelebener Erzes läßt eine erhebliche Senkung des spezifischen Koksverbrauches erwarten. Die Wärmebilanz eines Niederschachtofens, der die inländischen Erze Badeleben, Büchenberg und Braune Sumpf verarbeitet, ist durch einen hohen Wärmeverbrauch zur Ausscheidung und Zersetzung der Karbonatkohlensäure und zum Schmelzen und Überhitzen der Schlacke gekennzeichnet. G. JAKOB [95] gibt für einen Niederschachtofen, dessen Erzmöller zu 40% aus Badelebener Erz besteht, an, daß der Wärmebedarf für die Ausscheidung der Karbonatkohlensäure und teilweisen Zersetzung derselben 15,1% beträgt, während zum Schmelzen und Überhitzen der Schlacke 15,3% des gesamten Wärmeverbrauches des Ofens aufgewandt werden müssen. Die sich mit dem Einsatz der selbstgängigen Filteraschenpellets ergebenden Vorteile für den Wärmehaushalt des Niederschachtofens sind offensichtlich. Hinzu kommt, daß die Filteraschenpellets noch einen bestimmten Prozentsatz Kohlenstoff enthalten, der sich infolge seiner günstigen Verteilung fördernd auf die Reduktion auswirken könnte.

Als nachteilig ist der hohe Schwefelgehalt (1 - 2%) der Filter-



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

No. 100  
1871 - 1872

First main paragraph of faint, illegible text.

Second main paragraph of faint, illegible text.

Third main paragraph of faint, illegible text.

Final line of faint, illegible text at the bottom of the page.



6.43 Die wichtigsten Betriebskennwerte und die Ergebnisse der Versuchsreihe IV.

Die Versuchsreihe IV wurde in der Zeit von 31.3.1962 bis zum 9.9.1962 durchgeführt. Die eingesetzten Rohstoffmengen, die Roheisen - und Schlackenanalysen und die metallurgischen Kennzahlen sind aus Tafel 29 zu ersehen.

In den ersten vier Versuchsschichten wurde ein Erzmöller, bestehend aus 100% Agglomerat, eingesetzt. Das Möllerausbringen lag bei 29,6%. Der Koksverbrauch lag mit 2,9 kg/kg RE gegenüber der Versuchsreihe III wesentlich niedriger. Um ein Basizitätsverhältnis der Abstichschlacke von 1,15 einzuhalten, mußten 0,92 kg Kalkstein/kg RE zugesetzt werden. Die Schlackemenge betrug 1,74 kg/kg RE. In den Schichten 5 bis 18 wurde ein Erzmöller, bestehend aus 100% Pellets, verhüttet. Bei einem Koksverbrauch von 5,77 kg/kg RE, einem Kalksteinzusatz von 0,49 kg/kg RE und einem Schlackenanfall von 4,04 kg/kg RE wurde ein Möllerausbringen von 15,80% erzielt. Das Möllerausbringen von 15,80% liegt sehr niedrig. Die Erklärung dafür ist vor allem in dem sehr hohen Wassergehalt der Pellets (12 - 16%) zu sehen. Dieser wiederum beruht auf der Tatsache, daß die Pellets über längere Zeit den Witterungseinflüssen ausgesetzt waren. Hinzu kommt, daß mit dem für Versuchsofen charakteristisch hohen Koksatz auch erhebliche Mengen Kieselsäure mitgebracht werden, die zusätzliche Kalksteinzuschläge verlangen und schließlich das Möllerausbringen senken. Die Basizität der Abstichschlacke lag bei 1,05.

Beachtenswert erscheint in diesem Zusammenhang die Schwefelbelastung des Versuchsofens. Mit 115 kg S/t RE liegt sie gegenüber der Verhüttung des Agglomerat-Möllers von 35 kg S/t RE um mehr als das dreifache höher. Dabei gingen bei der Verhüttung des Pellet-Möllers 3,8% des Schwefelesatzes in das Roheisen und 76,5% in die Schlacke. Der Rest von 19,7% konnte nicht nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, daß der flüchtige Anteil und der Bilanzfehler diesen Fehlbetrag ausmachen.

In den Schichten 19 bis 27 wurde der Versuchsofen mit einem Möller, bestehend zu zwei Drittel aus Pellets und einem Drittel aus Agglomerat, beschickt. Bei einem Koksverbrauch von 4,87 kg/kg RE, einem Kalksteinzuschlag von 1,44 kg/kg RE und einem Schlackenanfall von 3,72 kg/kg RE wurde ein Möllerausbringen von 17,34% erzielt. Die Basizität der Abstichschlacke lag



Die Versammlung vom 17. März 1892 ist die erste, die sich seit der Gründung der Gesellschaft am 1. März 1891 abgehalten hat. In dieser Versammlung wurde die Tagesordnung für die ersten drei Sitzungen beschlossen. Die erste Sitzung fand am 17. März 1892 statt, die zweite am 24. März 1892 und die dritte am 31. März 1892. In diesen Sitzungen wurden die Statuten der Gesellschaft genehmigt und die ersten Mitglieder gewählt. Die Versammlung vom 17. März 1892 ist also die erste, die sich seit der Gründung der Gesellschaft abgehalten hat. In dieser Versammlung wurde die Tagesordnung für die ersten drei Sitzungen beschlossen. Die erste Sitzung fand am 17. März 1892 statt, die zweite am 24. März 1892 und die dritte am 31. März 1892. In diesen Sitzungen wurden die Statuten der Gesellschaft genehmigt und die ersten Mitglieder gewählt.



bei 1,09, während die Schwefelbelastung des Versuchsofens 87 kg/t RE betrug.

In den Bildern 50 und 51 wurden die  $K_{Mn,Si}$  - und  $K_{S,Si}$  - Werte der Versuchsreihe IV in Abhängigkeit von der Basizität zur Normalkurve von W. CELSEN und H. MAETZ eingetragen. Bild 50 zeigt, daß die  $K_{Mn,Si}$  - Werte der Versuchsreihe IV insgesamt, besonders auffallend aber diejenigen bei Einsatz von 100% Pellets im Mølller, zur Normalkurve sehr ungünstig liegen. Dagegen verweist die Darstellung der  $K_{S,Si}$  - Werte der Versuchsreihe IV im Bild 51 bei der entsprechenden Basizität auf eine gute Entschwefelung. Die  $K_{S,Si}$  - Werte bei Einsatz des Pellet - und Pellet - Agglomerat - Møllers liegen teilweise sogar über der Normalkurve. Die die Entschwefelung kennzeichnenden Werte für den Agglomerateinsatz liegen demgegenüber ungünstiger. Als Ursache hierfür ist der kalte Ofengang anzusehen.

Zum Vergleich wurden in den Bildern 50 und 51 die  $K_{Mn,Si}$  - und  $K_{S,Si}$  - Werte der Versuchsreihe III eingetragen. Während die  $K_{Mn,Si}$  - Werte der Versuchsreihe III sich bedeutend besser der Normalkurve von W. CELSEN und H. MAETZ zuordnen, sind die  $K_{S,Si}$  - Werte nicht so günstig wie die der Versuchsreihe IV.

Ein Vergleich der Betriebsbedingungen beider Versuchsreihen, in denen ein Pelletmøller gefahren wurde, zeigt, daß die Heißwindtemperatur der Versuchsreihe IV gegenüber der Versuchsreihe III um  $120^{\circ}\text{C}$  höher lag. Bemerkenswert sei noch, daß eine Steigerung der Heißwindtemperatur über  $720$  bis  $750^{\circ}\text{C}$  hinaus zu schwerem Ofengang und Hängeerscheinungen führte. Ferner wurde der Roheisenabstichzyklus von jeweils 3 Stunden bei der Versuchsreihe III auf 4 Stunden bei der Versuchsreihe IV geändert.

Es wäre nun die Frage zu beantworten, worauf die schlechte Manganreduktion bei der Versuchsreihe IV zurückzuführen ist. Die chemische Zusammensetzung des Roheisens, das während des Pelleteinsatzes in der Versuchsreihe IV abgestochen wurde, zeigt hinsichtlich des Kohlenstoff - und Siliziumgehaltes für den VersuchsschachtOfen normale Werte. Der Schwefelgehalt des Roheisens mit 0,29% S ist angesichts der hohen Schwefelbelastung des Versuchsofens von 115 kg/t RE als gut anzusehen. Diese Faktoren und die relativ niedrigen FeO - Gehalte der Schlacke weisen auf eine gute Arbeit des Oberofens hin.



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



In den Bildern 50 und 51 bezeichnen die den einzelnen Punkten zugeordneten Zahlen die jeweilige Schichtnummer. Ein Vergleich der  $K_{Mn, Si}$  - und  $K_{S, Si}$  - Werte der Versuchsreihe IV, insbesondere derjenigen bei Einsatz von 100% Pellets im Möller, zeigt, daß einem hohen  $K_{Mn, Si}$  - Wert ein befriedigender  $K_{S, Si}$  - Wert zugeordnet ist, obwohl, wie bereits dargelegt wurde, unter normalen Verhältnissen die Entschwefelung und die Manganreduktion einen Gleichlauf zeigen. Eine Ausnahme bilden die 10. und die 13. Schicht. Ofenstillstande, bedingt durch mechanische Störungen, führten zur Abkühlung des Ofens und hatten sowohl eine schlechte Manganreduktion als auch eine schlechte Entschwefelung zur Folge. Auf Grund der Aussagen der Bilder 50 und 51 scheint die Annahme zutreffend zu sein, daß bei der Versuchsreihe IV die Temperaturen im Gestell des Versuchsofens in das Temperaturgebiet um  $1200^{\circ}C$  abgesunken sind und damit den Ablauf der exothermen Mischerreaktion, also die Umsetzung des Schwefels des Roheisens mit dem Mangan des Roheisens, begünstigten. Zurückzuführen ist diese Erscheinung vor allem auf die vierstündige Abstichfolge des Roheisens. Die gegenüber der Versuchsreihe III um 1 Stunde verlängerte Abstichfolge des Roheisens hat gezeigt, daß der Wärmehaushalt des Gestells des Versuchsofens für eine vierstündige Speicherung des Roheisens im Gestell nicht ausreichend ist. Bild 52 zeigt die Abhängigkeit des Manganverteilungsverhaltnisses vom Siliziumgehalt des Roheisens. Die bereits aufgezeigten Faktoren bedingen schließlich auch den Streubereich dieser Werte.

#### 6.5 Einflußgrößen, die von der Erzart und Korngröße her den Verlauf der Silizium - und Manganreduktion bestimmen.

Der Verlauf der Silizium - und Manganreduktion wird, so kann aus den bisherigen Untersuchungen und an die Untersuchungen angeknüpften Überlegungen geschlußfolgert werden, in erster Linie durch die dem betreffenden Erz eigene Charakteristik bestimmt. Nicht anders ist es sonst zu erklären, daß bei Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm und dem aus dieser Körnung abgeseibten Stückerz der Körnungen 5 - 10 und 10 - 25 mm, die Silizium - und Manganreduktion in ihrem Verlauf zwar die gleiche Tendenz zeigen, die Reduktionsgrade aber doch wesentlich voneinander sich unterscheiden (Bild 34). Es liegt also nahe, da die untersuchten Stoffe sich zudem noch wesentlich in der Basizität der Gangart



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



(Kriwoi Rog-Erz 0,02, Agglomerat 0,45, Pellets 0,88) unterscheiden, ihr Verhalten gegenüber der Temperatur zu untersuchen.

Einer der wichtigsten Faktoren, die die Arbeit der Hochöfen beeinflussen, ist die Temperatur zu Beginn der Erweichung von Erzen und Sinter, bzw. die Temperatur der primären Schlackenbildung, die die Eigenschaften der Primärschlacke bestimmt. Der Verlauf des Prozesses der primären Schlackenbildung ist wiederum erheblich von der mineralogischen Zusammensetzung der Erze und des Sinters abhängig [63]. Erze und Sinter sind nun aber mehr oder weniger inhomogene Gemische von Mineralien. Es ist daher zu erwarten, daß das Erz sich nicht durch einen bestimmten Schmelzpunkt kennzeichnen läßt, sondern in einem von seinem mineralischen Aufbau abhängigen Temperaturintervall vom festen in den flüssigen Zustand übergeht, d.h., daß einzelne Bestandteile des Mineralgemisches, begünstigt durch die Reduktion und durch chemische Umsetzungen, schon bei niedrigerer Temperatur schmelzen, während die Hauptbestandteile des Erzes noch fest bleiben. Dieses Gebiet, in dem die Verschlackung beginnt, wird als plastischer Zustand bezeichnet. Die bei dem Übergang in das Gebiet der beginnenden Verschlackung auftretenden physikalischen Veränderungen, wie Änderung der Form, Nachlassen der Standfestigkeit und Verkleben benachbarter Stücke nennt G. von SERUVE [31] das Erweichen. Da die Bildung der Primärschlacken bei einem Temperaturanstieg über die Erweichung hinaus eine Folge der Erweichung ist, werden ihre physikalischen Eigenschaften und der mineralische Aufbau durch den Aufbau der Gangart des Möllers bestimmt. F. DICKENS und Mitarbeiter [64] fanden bei Erzproben mit Quarzeinlagerungen, daß der Erweichungsbeginn zu niedrigeren Temperaturen hin verschoben wird. Die Bildung von Eisensilikaten, die einen niedrigen Schmelzpunkt haben, führt zur frühzeitigeren Erweichung des Erzes. Zu analogen Ergebnissen kam A. GRIEVE [65].

Umfangreiche sowjetische Untersuchungen der Schlackenbildungsprozesse führten zu dem Ergebnis, daß schon im Gebiet der festen Phase zwischen Temperaturen von  $650^{\circ}\text{C}$  und  $850^{\circ}\text{C}$  Oberflächenreaktionen verlaufen, die zur Bildung von Fayalit führen, während der Kalkstein sich in der Regel noch nicht an der Schlackenbildung beteiligt [63], [66]. In bevorzugt sowjetischen Arbeiten wird weiterhin nachgewiesen, daß die Metalloxyde  $\text{FeO}$  und  $\text{MnO}$  die wichtigsten primären Schlackenbildner sind [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69].



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



Die Angaben von J.P.BARDIN [67] lassen erkennen, daß die Zusammensetzung der Primärschlacke erheblich schwanken kann. Primärschlackenproben aus dem unteren Teil des Schachtes wiesen FeO - Gehalte zwischen 1,74 und 25% auf. Bei der weiteren Abwärtsbewegung der Schlacken in Gebiete höherer Temperaturen zwischen 1000 und 1150°C, also im Kohlensack und in der Rast, werden Kalziumoxyd, Kieselsäure und Tonerde aufgelöst und die Zusammensetzung der Schlacke verändert. Der Kalk verdrängt das Eisen - und Manganoxydul aus seinen Verbindungen mit der Kieselsäure. FeO und MnO werden hierauf durch den festen Kohlenstoff reduziert. Die Schlacken werden so allmählich mit Kalziumoxyd angereichert und ihre Basizität nimmt in stärkerem Maße zu. Diese Untersuchungen bedeuten in ihrer Anwendung auf die technischen Verhältnisse, daß die Reduzierbarkeit der Erze und Agglomerate eng mit der Bildung der primären Hochofenschlacke verbunden ist. Der Reduktionsvorgang und die Art der Eisenausbildung, werden neben der Reduktionsfähigkeit des Reduktionsmittels, wie Zusammensetzung, Menge, Strömungsgeschwindigkeit sowie Temperatur des Reduktionsgases, wiederum vom mineralogischen Aufbau der Erze bestimmt. So wird bei einem hämatitisch - sedimentären Erz, das in seinem Kornaufbau wenig dicht ist, das entstehende metallische Eisen infolge der großen Porigkeit überall im Innern des Stückes verteilt sein. Dagegen zeigt ein dichter, magmatischer Magnetit bei gleichen Reduktionsbedingungen eine feste Eisenschale an den Korngrenzen und Rissen, während das Innere des Erzstückes noch vollkommen frei von metallischem Eisen ist [70]. Da heute allgemein die Diffusion der Reduktionsgase als der geschwindigkeitsbestimmende Faktor der Reduktion angesehen wird, ist das sedimentäre Erz leichter zu reduzieren als das magmatische. Ferner sollte die Menge der Gangart nicht ohne Einfluß auf die Reduzierbarkeit sein. Die Reduktion der von der Gangart umhüllten Eisenpartikeln ist gleichbedeutend mit einer Verlängerung der Diffusionswege des Reduktionsgases und bedeutet eine Verminderung der Reduktionsfähigkeit [31]. Außerdem nimmt neben der verringerten, reduzierten Eisenmenge durch die schlechtere Reduzierbarkeit des gangartreicheren Erzes auch die absolute Eisenmenge, die in metallischer Form vorliegt, ab. Die Reduzierbarkeit der Eisenerze wird also einerseits durch die Porigkeit, zum anderen aber auch durch die Verteilung der einzelnen mineralogischen Komponenten in den Erzen und Agglomeraten selbst beeinflusst, d.h., daß bei einem aufgelockerten Erz, in dem die an mineralischen Auf-



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



bau beteiligten Komponenten gleichmäßig verteilt sind, leicht reduzierbar ist, frühzeitig zu erweichen beginnt und sich durch ein enges Erweichungsintervall auszeichnet. Eine wesentlich gleichmäßigere Verteilung der Mineralkomponenten ist nun aber bei ein und demselben Erz bei kleinen Korngrößen viel eher gesichert, als das bei größeren Körnungen der Fall ist, wo die einzelnen Bestandteile (z.B. Quarz) in bestimmten Zonen angeordnet sind. Es ist daher zu erwarten, daß ein Feinerz gegenüber einem Stückerz unter gleichen Bedingungen wesentlich früher erweicht. Die Erweichungstemperaturen liegen gegenüber Stückerz bis zu  $200^{\circ}\text{C}$  niedriger [31]. Neben der gleichmäßigeren Verteilung der einzelnen Komponenten ist für die Reduzierbarkeit und die Erweichung die gegenüber Stückerz vielfach größere Oberfläche der Feinerze entscheidend [64].

Die Korngröße des in den Ofen eingebrachten Möllers ist aber vor allem für die in fester Phase ablaufenden Reaktionen von bestimmendem Einfluß. Sie werden umso aktiver verlaufen, je vollständiger die einzelnen Komponenten miteinander vermischt sind. Eine pulverförmige Aufbereitung des Möllers würde den Idealfall darstellen. Die in fester Phase unter technischen Bedingungen verlaufenden Reaktionen werden also mehr oder weniger davon abweichen. Es ist zu erwarten, da der dem Hochofen aufgegebenen Möller in seiner Körnung sehr inhomogen ist und durch den Transport sich Entmischungen nicht vermeiden lassen, daß der Reduktionsgrad über den Ofenquerschnitt unterschiedlich ist. Der Ablauf der Reaktionen in fester Phase wird dort begünstigt, wo, entsprechend den konstruktiven Abmessungen des Oberofens, wie z.B. des Verhältnisses von Glocken- zu Gichtdurchmesser, der Ofentiefe usw. vorzugsweise das Feinerz abgelagert wird. Bei sowjetischen Untersuchungen [69], die der Festlegung des Reduktionsgrades in verschiedenen Ofenhöhen galten, wurde schon kurz unterhalb der Beschickungsoberfläche eine Erzreduktion festgestellt. In 3,8 m Entfernung von der Trichterhöhe konnte an der Ofenwand, die intensiver beaufschlagt war, bei einer Temperatur von  $620^{\circ}\text{C}$  und 10 %  $\text{CO}_2$  im Gas die größte Menge an Eisenoxydul und geringere Mengen an metallischem Eisen festgestellt werden, während 1,0 m vom Mauerwerk entfernt auf dem Erzkeim ein Minimum an Eisenoxydul und ein Maximum an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gefunden wurde. Der durchschnittliche Gehalt an metallischem



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



Eisen über dem Ofenquerschnitt betrug 2,7 %. 5,2 m über der Formenebene betrug der Reduktionsgrad des Eisens schon 70 - 90 %. Die Materialproben bestanden nur noch aus Metall und Schlacke.

Im Vergleich zum Einsatz von Roherz sind die Schwankungen in der Primärschlackenzusammensetzung bei Einsatz von selbstgängigem Agglomerat wesentlich geringer [71], [72]. Die Einengung der Schlackenbildungszone gegenüber dem Einsatz von Roherz ist darauf zurückzuführen, daß auf Grund des geringeren Eisenoxydulgehaltes die Schlackenbildung erst in einer größeren Ofentiefe beginnt. Der eingesinterte Kalk bewirkt die gegenüber Roherz wesentlich niedrigeren Eisenoxydulgehalte der Primärschlacke und macht diese, da die Primärschlacken bei Verhüttung von selbstgängigem Agglomerat durch ihren wesentlich höheren Kalziumoxydgehalt schwerer schmelzbar sind, unempfindlicher gegen Temperaturschwankungen im Schlackenbildungsgebiet. Die Zusammensetzung der bei Einsatz von selbstgängigem Agglomerat auftretenden Primärschlacken kommt der der Endschlacke sehr nahe.

Die von der Erzart und Korngröße her für die Siliziumreduktion maßgebenden Einflußfaktoren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1.) Die Intensität der in fester Phase verlaufenden Reaktionen wird durch die Korngröße des Möllergutes und dem daraus resultierenden Grad der Vermischung der einzelnen an der Zusammensetzung des Möllers beteiligten Komponenten bestimmt.
- 2.) Die Temperatur des Erweichungsbeginns eines Erzes wird ferner hauptsächlich durch die chemische Zusammensetzung, den mineralischen Aufbau sowie durch die Bildung neuer Phasen und Verbindungen bestimmt. Je gleichmäßiger die Verteilung der einzelnen mineralischen Bestandteile im Erz ist, d.h. kleiner die Korngröße des Erzes ist, umso tiefer wird die Temperatur des Erweichungsbeginns und ermöglicht die intensive Bildung leichtschmelzender Eutektika.
- 3.) Die Bildung der primären Hochofenschlacke ist demnach eng mit der Reduzierbarkeit der Erze und Agglomerate verbunden. Um die Beweglichkeit der Primärschlacken zu gewährleisten, muß sie beginnen, wenn ein Teil des Eisenoxyduls noch unreduziert ist [63].
- 4.) Die zuerst auftretende Schlacke hat stark sauren Charakter. Sie ist durch einen optimalen Gehalt an Eisen- und Mangan-







oxydul gekennzeichnet. Erst mit dem Absinken der Schlacke in Bereiche höherer Temperaturen werden  $\text{FeO}$  und  $\text{MnO}$  aus ihrer Verbindung mit der Kieselsäure durch das von der Schlacke gelöste Kalziumoxyd verdrängt, wobei die Basizität der Schlacke ansteigt. Die Kieselsäure-Reduktion findet also die günstigsten Bedingungen bei der zuerst auftretenden Schlacke vor und muß mit dem Absinken der Beschickung in höhere Temperaturbereiche zurückgehen.

5.) Die Untersuchungen über die Primärschlackenbildung bei Einsatz von Roherz und selbstgängigem Agglomerat heben hervor, daß es offensichtlich nicht allein damit getan ist, die gleiche Mölllerzusammensetzung durch entsprechende Zuschläge zu wählen, um das gleiche Roheisen zu erzeugen. Die Versuche haben gezeigt, daß ein saures Eisenerz unter Zuschlag von Kalkstein nicht die gleiche Roheisenzusammensetzung ergibt, wie das Agglomerat, das durch eingesinterten Kalk mit einer Basizität von 0,45 verhüttet wurde. Die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Kornfraktionen des Kriwoi Rog-Erzes, des Agglomerats und der Pellets sind darauf zurückzuführen, daß die Vermengung der Eisenoxyde mehr oder weniger innig mit der sauren Gangart ist bzw. die Eisenoxyde mit einer weniger sauren Gangart innig vermenget sind. Die sich daraus für den Hochofen bei der Umstellung von einem auf den anderen Möller ergebenden Aufgaben sind offensichtlich.

6.) Die Konstanz der Zusammensetzung der Primärschlacken ist unter gleichen Bedingungen von der Konstanz der Zusammensetzung der Rohstoffe abhängig. Daraus ergibt sich die Forderung, die Rohstoffe so aufzubereiten, daß sie in ihrer physikalischen Beschaffenheit und in ihrer chemischen Zusammensetzung möglichst konstant bleiben.

6.51 Der Einfluß des Erweichungsbeginns und des Erweichungsverhaltens des Kriwoi Rog-Erzes und der Pellets auf die Siliziumreduktion.

Es wäre nun die Frage zu beantworten, in welchem Temperaturintervall die zur Untersuchung gelangten Stoffe erweichen. Da bei der Verhüttung von selbstgängigem Agglomerat im Gegensatz zum Roherz die Erweichung von nicht so entscheidender Bedeutung ist, weil das Erweichungsverhalten annähernd konstant ist, auch wenn die Sintermischung aus Erzen unterschiedlichen Erweichungsverhaltens besteht, wurden für diese Untersuchung







Kriwoi Rog-Erz und der für die Herstellung der Pellets verwandte Braunkohlenfilterstaub der Versuchsreihe III ausgewählt.

Für die Beurteilung der Erweichungskurven hat sich bis heute noch kein einheitlicher Bewertungsmaßstab durchgesetzt. Während F.HARTMANN [74] als Erweichungsbereich die Temperatur, bei der nach einer anfänglich geringen Ausdehnung die Volumenkontraktion beginnt und die Temperatur, bei der die Probe unter Druck völlig erweicht, ansieht, wählt A.GRIEVE [65] als Charakteristikum des Erweichungsbeginns die Temperatur, bei der nach einer anfänglichen Erweichung eine krasse Abweichung von der Linearität der Kurven festzustellen ist. L.M.ZILJEW [63] und W.LUYKEN und L.KRAEBER [75] bezeichnen als Erweichungsbeginn die Temperatur, bei der sich die erste stärkere Deformation des Probematerials bemerkbar macht. Die eigenen Untersuchungen wurden nach der von G.von STRUVE [31] angegebenen Methode ausgewertet. G.von STRUVE stellte fest, daß die Erweichung bei einer Höhenabnahme von ungefähr 1% je 10°C Temperaturerhöhung beginnt. Durch Anlegen einer Tangente der Steigung - 0,1 an die Druckerweichungskurve läßt sich der Punkt des Erweichungsbeginns annähernd genau ermitteln. Das Erweichungsende wurde bei einer Schrumpfung von 20% festgelegt, weil die Druckerweichungskurven nach einer 20 prozentigen Schrumpfung annähernd parallel verlaufen.

Im Bild 53 (Tafel 30) sind die Druckerweichungskurven für Kriwoi Rog-Erz und Filterstaub dargestellt. Der Erweichungsbeginn der Filteraschen liegt im Vergleich zu dem des Kriwoi Rog-Erzes um 105°C niedriger, während das Erweichungsintervall mit 100°C bei Filterasche gegenüber 125°C bei Kriwoi Rog-Erz um 25°C kleiner ist.

Die Unterschiede im Erweichungsverhalten dieser beiden Stoffe sind hauptsächlich wohl darauf zurückzuführen, daß die Verteilung der an der Zusammensetzung der Filterasche beteiligten Komponenten wesentlich günstiger als bei Kriwoi Rog-Erz ist, da die Korngröße des Filterstaubes zu einem Hauptanteil im Bereich zwischen 0,015 und 0,025 mm liegt, während die Kriwoi Rog-Erz-Preßlinge aus Körnungen von 1 - 3 mm hergestellt wurden. Aus Bild 54 ist der Erweichungsvorgang beim Kriwoi Rog-Erz-Preßling zu ersehen. Da der Filterstaub noch 3,23% Kohlenstoff feinverteilt enthält, läßt sich eine mit der Druckerweichung einhergehende Reduktion nicht verhindern, sodaß die Druckerweichungswerte noch







etwas günstiger ausfallen. Welchen Einfluß der Reduktionsgrad auf den Beginn der Druckerweichung ausübt, geht aus den Bildern 55 und 56 hervor. Der Erweichungsbeginn wird mit zunehmendem Reduktionsgrad zu niedrigen Temperaturen hin verschoben, während gleichzeitig das Erweichungsintervall kleiner wird. Allgemein läßt sich die frühere Erweichung bei teilweise reduzierten Erzen gegenüber unreduzierten Erzen auf das bereits in der festen Phase bei der Reduktion entstehende Eisen- und Manganoxydul zurückführen.  $\text{FeO}$  und  $\text{MnO}$  bilden mit den in der Gangart enthaltenen Kieselsäure-Bestandteilen die niedrigschmelzenden Verbindungen Fayalit und Monticellit. Bild 57, in dem das Erweichungsverhalten vom Kriwoi Rog-Erz und Filteraschen bei verschiedenen Reduktionsgraden zum Vergleich aufgetragen wurde, zeigt, daß der Einfluß des Vorreduktionsgrades auf das Erweichungsverhalten bei Kriwoi Rog-Erz wesentlich größer ist als bei der Filterasche. Die Erklärung dafür ist in folgenden Punkten zu sehen:

- 1.) Die reduzierte absolute Eisenmenge ist bei dem wesentlich eisenreicheren Kriwoi Rog-Erz gegenüber der gangartreicheren Filterasche wesentlich größer.
- 2.) Bei gleichen Bedingungen, wie Reduktionszeit, Menge des Reduktionsmittels usw. ist der bei der Filterasche erzielte Reduktionsgrad gegenüber dem des Kriwoi Rog-Erzes wesentlich kleiner, weil die gegenüber Kriwoi Rog-Erz erheblich größere Gangart, wie bereits dargelegt, die Reduktionsfähigkeit herabsetzt. Aus diesem Grunde sollte für die frühere Erweichung der Filterasche gegenüber Kriwoi Rog-Erz die Verteilung der einzelnen Komponenten von entscheidendem Einfluß sein und die mit der Untersuchung einhergehende Reduktion durch den eingelagerten Kohlenstoff in ihrer Auswirkung auf das Erweichungsverhalten nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Ein Vergleich der Ergebnisse des Erweichungsverhaltens von Kriwoi-Rog-Erz und Braunkohlenfilterstaub mit denen des Verlaufs der Reduktion der Kieselsäure bei verschiedenen Temperaturen und den Untersuchungsergebnissen am Versuchsschachtofen führt zu folgenden Aussagen:

- 1.) Die Siliziumreduktion beginnt bei einem feinkörnigen Erz, im Vergleich zu dem gleichen Erz größerer Körnung, schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen. Das Maximum der Siliziumreduktion liegt bei einem feinkörnigen Erz im Hochofen







zeitlich als auch örtlich vor dem des gleichen Erzes größerer Körnung. Bei einem Vergleich der Bilder 27 und 28 mit dem Bild 53 zeigt sich, daß bei einem frühzeitigeren Beginn der Siliziumreduktion auch der Erweichungsbeginn des Erzes bei niedrigeren Temperaturen liegt.

2.) Die Abhängigkeit des Silizium-Gehaltes im Roheisen vom Verhältnis  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}}$  im Möller nach R. EBERT [53] wird durch die eigenen Untersuchungen nicht bestätigt. Entscheidend ist, wie die eigenen Untersuchungen im Laboratorium und im halotechnischen Maßstab zeigen, die Reduktionsfähigkeit und der mineralische Aufbau der Eisenerze und das davon abhängige Erweichungsverhalten. Diese Schlußfolgerung wird durch die in Versuchsschachtofen verhütteten Stoffe bestätigt. Eine Differenz von 0,02 im Verhältnis  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}}$  zwischen Agglomerat und Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm kann nicht einen Unterschied im Reduktionsgrad des Siliziums von 9,8 % zur Folge haben. Außerdem müßte, da das Verhältnis von  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}}$  bei Kriwoi Rog-Erz der Körnung 5 - 10 mm mit 0,41 um 0,07 unter dem des Agglomerats liegt, der Siliziumgehalt im Roheisen, nach Bild 34 der Reduktionsgrad des Siliziums noch kleiner als beim Agglomerat sein.

3.) Die Versuchsergebnisse zeigen, daß der Charakter des Einsatzstoffes, seine chemische Zusammensetzung, seine physikalische Beschaffenheit und sein mineralischer Aufbau auf die Silizium- und damit auch die Manganreduktion bestimmenden Einfluß ausübt. Die Silizium-Reduktion bleibt beim Agglomerat-Möller im Vergleich zum Kriwoi Rog-Erz-Möller absolut gesehen zurück und das Manganausbringen sinkt. Da aber der Hochöfner, entsprechend der Richtanalyse für Stahleisen, einen maximalen Siliziumgehalt von 1,0 % einhalten muß, sind unter diesem Gesichtspunkt bei einem Agglomerat-Möller die günstigeren Reduktionsbedingungen gegeben.

4.) Die Erschmelzung eines hochsiliziumhaltigen Roheisens (Gießereieisen, Hochofen-Ferrosilizium usw.) ist, nach den Versuchsergebnissen zu urteilen, mit einem Erzmöller (Feinerzmöller) unter günstigeren Bedingungen, wie Koksverbrauch usw. möglich, als das bei einem Agglomerat-Möller der Fall ist.

6.52 Der Verlaufs der Reduktion der Eisenoxide und der Kieselsäure im Schacht des Versuchsofens.

Es wäre nun zu prüfen, inwieweit die Beobachtungen des Labora-



...  
...  
...  
...  
...

5.1 Die ...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...  
...  
...

...  
...  
...



toriums auf die Vorgänge im Hochofen zutreffen. Da die Temperaturen, bei denen die Laboratoriumsversuche durchgeführt wurden, bereits oberhalb der Formenebene erreicht werden, galt das Interesse den Vorgängen im Schacht. Den Analysenwerten der Schachtofenproben liegen 12 - 16 Proben aus den betreffenden Probeentnahmestützen zu Grunde. Es wurde bereits betont, welche Schwierigkeiten sich bei der Aufbereitung der Proben für die chemische Analyse ergaben. Als weitere Schwierigkeit kam hinzu, daß die Probeentnahme selbst aus einem sich in Betrieb befindlichen Ofen für das ausführende Personal nicht ungefährlich ist und eine große Belastung darstellt.

Im Bild 53 sind der Anteil des metallischen Eisengehaltes am Gesamteisengehalt und der Reduktionsgrad des Eisens für die betreffenden Proben (Tafel 31), die in bestimmten Abstand zur Blasformenebene aus dem Schacht entnommen wurden, aufgetragen. Das Bild zeigt zunächst, daß der Reduktionsgrad mit geringer werdendem Abstand zur Blasformenebene für alle untersuchten Stoffe größer wird, wobei der Reduktionsgrad deutlich erkennbar der Charakteristik des betreffenden Stoffes folgt. Der metallische Eisengehalt erreicht bei den Pellets, dem Kriwoi Rog-Erz 5 - 10 mm und 10 - 25 mm bereits am Probestützen 5 seinen Höchstwert und sinkt zu dem der Blasformenebene nähergelegenen Probestützen 6, also dem Gebiet höherer Temperaturen, wieder ab, während der des Agglomerats noch ansteigt. Diese Erscheinung kann nur so erklärt werden, daß sich das Eisen bei den dort herrschenden Temperaturen schon soweit von der Gangart getrennt hat, daß es nach dem Gestell abtropfen kann, d.h., daß in diesem Gebiet eine Verarmung der Beschickung an Eisen auftritt. Agglomerat wird also erst, aus Gründen, die an anderer Stelle bereits dargelegt sind, bei noch höheren Temperaturen dieser Tendenz folgen. Es erhebt sich nun die Frage, in welchem Umfang die Reduktion der Kieselsäure mit der Reduktion der Eisenoxyde einhergeht. Von Interesse wäre in diesem Zusammenhang die Kenntnis der an den einzelnen Probeentnahmestützen herrschenden Temperaturen. In den Bildern 59 bis 63 sind die Temperaturen, die vor dem Abstich an den einzelnen Meßstellen registriert wurden als drei Stundenmittelwerte (in Zyklus von 3 Stunden wurde der Eisenabstich geöffnet) über der jeweiligen Abstichzeit aufgetragen. Dazu wurde der Siliziumgehalt des Roheisens des betreffenden Eisenab-



Die Arbeit ist im Vergleich zu den anderen Arbeiten, die in diesem  
Bande veröffentlicht sind, eine der wichtigsten. Sie enthält die  
Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung der  
Kohlensäure auf die Entwicklung der Pflanzen. Die  
Ergebnisse sind in der Tabelle auf Seite 123  
zusammengefasst. Die Tabelle zeigt die  
Wirkung der Kohlensäure auf die  
Entwicklung der Pflanzen in den  
verschiedenen Stadien der  
Entwicklung. Die Tabelle ist in  
zwei Spalten unterteilt. Die  
linke Spalte zeigt die  
Wirkung der Kohlensäure auf  
die Entwicklung der Pflanzen  
in den verschiedenen Stadien  
der Entwicklung. Die rechte  
Spalte zeigt die Wirkung der  
Kohlensäure auf die  
Entwicklung der Pflanzen in  
den verschiedenen Stadien der  
Entwicklung.

Die Arbeit ist im Vergleich zu den anderen Arbeiten, die in diesem  
Bande veröffentlicht sind, eine der wichtigsten. Sie enthält die  
Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung der  
Kohlensäure auf die Entwicklung der Pflanzen. Die  
Ergebnisse sind in der Tabelle auf Seite 123  
zusammengefasst. Die Tabelle zeigt die  
Wirkung der Kohlensäure auf die  
Entwicklung der Pflanzen in den  
verschiedenen Stadien der  
Entwicklung. Die Tabelle ist in  
zwei Spalten unterteilt. Die  
linke Spalte zeigt die  
Wirkung der Kohlensäure auf  
die Entwicklung der Pflanzen  
in den verschiedenen Stadien  
der Entwicklung. Die rechte  
Spalte zeigt die Wirkung der  
Kohlensäure auf die  
Entwicklung der Pflanzen in  
den verschiedenen Stadien der  
Entwicklung.



stisches eingetragen. Während die Bilder 59 - 61 noch eine gewisse Tendenz zwischen den Temperaturen der Meßstelle I, den Gichtgastemperaturen und dem Siliziumgehalt im Roheisen erkennen lassen, trifft das für die Bilder 62 und 63 schon nicht mehr zu. Außerdem zeigen die an den Meßstellen 2 - 6 gemessenen Temperaturen einen fast parallelen Verlauf. Es ist offensichtlich, daß die von den Thermoelementen angezeigten Temperaturen nicht den tatsächlich herrschenden entsprachen. Nachmessungen mit der Temperatursonde, die 20 cm in die Beschickung hineinragte, ergaben bei Einsatz von Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 um für Meßstelle 1  $590^{\circ}\text{C}$ , für Meßstelle 2  $800^{\circ}\text{C}$ , für Meßstelle 3  $1055^{\circ}\text{C}$ , für Meßstelle 4  $1160^{\circ}\text{C}$ , für Meßstelle 5  $1220^{\circ}\text{C}$  und für die Meßstelle 6  $1300^{\circ}\text{C}$ . Laufende Messungen mit der Temperatursonde waren wegen Mangel an Arbeitskräften nicht möglich. Wie sich nach dem Niederblasen des Ofens herausstellte, hatten sich um die Thermoelemente herum Ansätze gebildet, die die Temperaturmeßwerte verfälschten.

Die aus dem Ofenschacht kurz unterhalb der Beschickungsoberfläche entnommenen Proben enthielten schon metallisches Eisen, das zwar mit dem bloßen Auge schon erkennbar war, sich aber von der Gangart noch nicht soweit getrennt hatte, daß es für die chemische Analyse hätte aufbereitet werden können. An den Probeentnahmestellen 5 und 6 schied sich das Eisen in den Proben in Form kleiner Granalien ab. Die Zusammensetzung der Granalien aus den Probeentnahmestützen 5 und 6 zeigen, daß die Kohlenstoffgehalte durchweg sehr niedrig sind, während die Mangangehalte die Normalwerte des im Roheisen enthaltenen Mangans nur gering übersteigen. Auffallend hoch sind die Siliziumgehalte der Granalien. Die Schwefelgehalte zeigen an, daß eine wesentliche Entschwefelung bis zu den betreffenden Probeentnahmestützen noch nicht stattgefunden hat. Dagegen unterscheiden sich die Phosphorgehalte von denen des Roheisens nur unwesentlich. Die Annahme, daß die hohen Siliziumgehalte der Eisengranalien durch Schlackeneinschlüsse vorgetäuscht werden, fand keine Bestätigung. In einigen Fällen wurde zur Kontrolle neben dem Siliziumgehalt auch der Gehalt an Kieselsäure bestimmt. Der Kieselsäuregehalt lag übereinstimmend im Bereich zwischen 0,15 und 0,60%. Bei derartig hohen Gesamtsiliziumgehalten ist der sich aus dem geringen Kieselsäuregehalt ergebende Fehler von untergeordneter Bedeutung und kann das Analyseresultat in seiner grundsätzlichen Aussage nicht beein-



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



trächtigen.

Die bei den Laboratoriumsuntersuchungen herausgestellten spezifischen Merkmale der untersuchten Stoffe kommen auch in der Zusammensetzung der Eisengranalien an den einzelnen Probeentnahmestützen zum Ausdruck. Während der Siliziumgehalt der Eisengranalien bei der Verhüttung von Agglomerat und Kriwoi Rog-Stückerz vom Probestützen 5 zu 6 noch ansteigt, wird bei der Verhüttung der Pellets schon am Probestützen 5 das Maximum der Silizium-Reduktion erreicht. Außerdem unterscheiden sich die Siliziumgehalte in ihrer absoluten Höhe bei den untersuchten Stoffen. Auffallend ist, daß dem höheren Siliziumgehalt auch ein höherer Kohlenstoffgehalt zugeordnet ist, während über die Mangangehalte keine einheitliche Aussage möglich ist, weil die Werte in ihrer Größenordnung zueinander wechseln. Der Anstieg des Kohlenstoffgehaltes in den Granalien mit steigender Siliziumreduktion läßt sich damit erklären, daß mit steigender Siliziumreduktion auch die Basizität der Schlacke ansteigt und demzufolge, wie im Bild 46 gezeigt wird, auch der Kohlenstoffgehalt ansteigen muß. Entsprechend müßte mit steigender Basizität auch der Mangangehalt in den Granalien ansteigen. Daß das nicht bei jeder Probe der Fall ist, muß den besonderen Bedingungen dieser Untersuchungen zugeschrieben werden. Es ist an anderer Stelle bereits hervorgehoben worden, daß die einzelnen Proben in ihrer Zusammensetzung große Unterschiede aufweisen können. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß es sehr schwierig ist, Proben zu erhalten, die in ihrer Zusammensetzung an einem Probestützen bei der Verhüttung eines bestimmten Erzes auch nur annähernd konstant sind. Die unterschiedliche physikalische und chemische Beschaffenheit ein und desselben Erzes und die sich daraus ergebenden Folgen für den Ofengang verursachen nicht zuletzt das sehr wechselnde Bild. Obwohl also diese Versuche noch nicht durchweg ein klares Bild vermitteln, was zum Teil der Beschaffenheit der Einsatzstoffe, der zu geringen Probenzahl oder dem eventuellen Zutritt von Luft bei der Probeentnahme aus dem Ofen zugeschrieben werden muß, können aus diesen Untersuchungen doch mit einiger Sicherheit folgende Schlußfolgerungen gezogen werden.

- 1.) Das auf Grund der Laboratoriumsversuche vorausgesagte Verhalten der verschiedenen Arten der zum Einsatz gelangten Stoffe wird durch die Untersuchungen am VersuchsschachtOfen







bestätigt.

2.) Aus der mittleren Zusammensetzung der Eisengranalien bei Verhüttung der einzelnen Erzarten geht hervor, daß der Silizium-, Mangan- und Schwefelgehalt des oberhalb der Formenebene gebildeten Eisens höher ist als der des abgestochenen Roheisens. Damit ist nachgewiesen, daß das Eisen über der Blasformenebene mehr Silizium enthält als unterhalb dieser und daß dieser Überschuß des Siliziums entweder beim Durchgang der Eisentröpfchen durch die Oxydationszone vor den Blasformen oder im Gestell oxydiert wird. Es ist anzunehmen, daß beide Vorgänge zutreffend sind. Da der Gehalt an Silizium den des Mangans weit übersteigt, kann vermutet werden, daß der vor den Formen oxydierte Teil des Siliziums prozentual wesentlich geringer ist als der des Mangans und das Silizium seinerseits zum Reduktionsmittel für das Manganoxydul wird. Es ist nicht wahrscheinlich, daß die vor den Formen gebildeten Oxyde  $\text{FeO}$  und auch das  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sofort unterhalb derselben wieder vollständig reduziert werden. Die Möglichkeit, einer weitgehenden Reduktion der Oxydule ist durch die laufende Wiederoxydation vor den Blasformen nicht gegeben und ein nicht näher zu bestimmender Teil des Eisen- und Manganoxyduls gelangt in die das Roheisen bedeckende Schlacke.

Der wesentlich niedrigere Schwefelgehalt im Roheisen verweist darauf, daß die Entschwefelung hauptsächlich zwischen Schlacke und Roheisen im Gestell stattfindet.

3.) Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Aufnahme dieser großen Mengen an Eisenbegleitern vom Eisen nicht in der kurzen Zeitspanne, die zwischen der zwischen den Probestützen 4 und 5 eintretenden Verflüssigung (am Probestützen 4 wurden noch keine flüssigen Bestandteile beobachtet) und der Ankunft vor dem Probestützen 5 liegt, möglich ist. Daraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Roheisenbegleiter zum weitaus überwiegenden Teil in das Roheisen gelangen, solange dieses noch nicht vollständig verflüssigt ist. Damit ist also die Bedeutung des Oberofens für die Zusammensetzung und Qualität des anfallenden Roheisens klar waris-

sen.

Auf Grund dieser Überlegungen dürfte die von TH. KOOTZ und Mitarbeitern [55] erarbeitete Vorstellung zutreffend sein, daß das Silizium vorwiegend in der Erweichungszone, oberhalb der For-



1844

1) Die erste Aufgabe ist die Bestimmung der...  
2) Die zweite Aufgabe ist die Bestimmung der...  
3) Die dritte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
4) Die vierte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
5) Die fünfte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
6) Die sechste Aufgabe ist die Bestimmung der...  
7) Die siebte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
8) Die achte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
9) Die neunte Aufgabe ist die Bestimmung der...  
10) Die zehnte Aufgabe ist die Bestimmung der...



menebene aus den zuerst aufschmelzenden sauren Bestandteilen bevorzugt reduziert wird. Dabei ist die von W. OELSEN und H. MAETZ [51] vermerkte Beobachtung des Ablaufs der Reaktionen im festen und teigigen Zustande von entscheidender Bedeutung. Sie stellten fest, daß bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, bei denen sich gewisse niedrig schmelzende Schlacken schon bilden können, jedoch die Mehrzahl der Bestandteile fest ist, die Reaktionen in kürzerer Zeit erheblich weiter fortschreiten können, als das zwischen Schlacke und Roheisen auf Grund ihrer wesentlich kleineren Berührungsfläche möglich ist. Der Ablauf der Reaktionen im festen und teigigen Zustande hängt in starkem Maße von der Durchmischung, der Berührung der einzelnen Komponenten und der Größe der Oberfläche ab. Wie sehr die Zusammensetzung des Roheisens von den physikalischen Bedingungen und den Reaktionswegen abhängt, haben die Versuchsergebnisse der Untersuchungen im Schachtofen gezeigt. Die Frage nach den physikalischen Eigenschaften der Einsatzstoffe ist in diesem Zusammenhang somit von besonderem Interesse.

#### 6.53 Die Bedeutung der mechanischen Eigenschaften der Einsatzstoffe für die Silizium- und Manganreduktion und ihre Auswirkungen auf den Hochofen.

Die physikalische Beschaffenheit der Einsatzstoffe und ihr Einfluß auf die Reduktionsverhältnisse im Hochofen und damit auf die Güte des anfallenden Roheisens wurde in den vergangenen Abschnitten bereits dargelegt. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Reduktionszustand des Roheisens, abgesehen von den Vorgängen im Gestell, weitestgehend von der ungestörten Durchgasung des Möllers im Oberofen abhängig ist. Die einwandfreie Durchgasung des Möllers wird aber bestimmt durch den innerhalb der Beschickung vorhandenen freien Durchfluß-Querschnitt. Sie ist damit von Erz - Koks - Verhältnis, der Stückigkeit des Möllers und der durch die Beschickung in der Zeiteinheit strömende Gasmenge, also den Koksdurchsatz je  $m^2 \cdot h$  abhängig [56].

J. WILHELM, W. OELSEN und H. GENZ [58] kamen bei der Untersuchung zweier in ihrer Stückigkeit und Reduzierbarkeit unterschiedlicher Möller ebenfalls zu dem Ergebnis, daß der Möller mit einem besseren Stückigkeitsgrad bei einer Verminderung der leichtreduzierbaren Bestandteile und einer Erhöhung des Sinteranteiles im Möller, wesentlich bessere  $K_{Mn, Si}$  - Werte aufwies,



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



wobei der Streubereich der Werte wesentlich eingeengt wurde. W. WOLF [78] stellte zu dem bei Untersuchungen mit stark verringertem Ofenfüllung bei feinkörnigen Möllern eine Verbindung zwischen den  $K_{S, Si}$  - Werten und  $K_{Mn, Si}$  - Werten und der Durchgasung fest. Er fand, daß die  $K_{S, Si}$  - Werte, die bei einem gutdurchgasteten, mit feinkörnigem Möllern betriebenen Ofen erzielt werden, sich den bei Laboratoriumsversuchen von W. GELSEN für das gleiche Verhältnis von Kalk zu Kieselsäure gefundenen Werten weitestgehend nähern. Ohne darauf näher eingehen zu wollen, ist die direkte Verhüttung von ausschließlich Feinerzen im Hochofen bis heute nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen. Die Beschickung des Hochofens mit Stückerz steht nach wie vor, wenn man von den Bemühungen des Einsatzes von 100% Sinter im Möllern absieht, im Vordergrund. Aus diesem Grunde ist die Frage nach den mechanischen Eigenschaften der Einsatzstoffe von besonderem Interesse. Das im Brech- und Siebhaus auf eine bestimmte Kornfraktion abgeseibte Erz ist auf dem Transport zum Hochofen, durch die Übergabestationen der Transportbänder, des Abwurfs in den Hochofenbunker, beim Abzug aus dem Hochofenbunker in den Möllernwagen usw. den verschiedenartigsten Beanspruchungen ausgesetzt. Es ist vorauszusehen, daß das in der Erzaufbereitung auf eine bestimmte Kornfraktion abgeseibte Erz in den Hochofen mit einem erheblichen Teil an Unterkorn zum Einsatz kommt und die infolge der Inhomogenität der Körnung eintretende Entmischung im Hochofen Zonen bevorzugter Entgasung schafft, die andererseits die Reduktionsverhältnisse bestimmend beeinflussen, sich auf den Hochofengang auswirken und nicht ohne Auswirkung auf die Roheisengüte bleiben.

In den Bildern 64 und 65 (Tafel 32 und Tafel 33) sind die Prüfergebnisse der in den Versuchsschachtofen zum Einsatz gelangten Stoffe aufgetragen. Es wurde an anderer Stelle bereits erwähnt, daß es bis heute kein Prüfverfahren gibt, das die Beanspruchungsarten, denen die Stoffe auf ihrem Transport zum Hochofen ausgesetzt sind, in sich vereinigt, nicht zuletzt deshalb, weil in jedem Hochofenwerk andere Bedingungen anzutreffen sind. Die zur Prüfung herangezogenen Verfahren haben insofern Bedeutung, daß sie einen Vergleich zwischen den einzelnen Erzen ermöglichen. Allgemein darf festgestellt werden, daß die Größe des Abriebes von der Art des Prüfverfahrens ab-



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



hängig ist. In Bild 64 sind für die Korngröße 10 - 25 mm der untersuchten Erze Kriwoi Rog, Büchenberg, Wittmannsgeroeth und Kamsdorf der <sup>Abrieb</sup> <1 mm der Trommelprüfung und der Abrieb <1 mm der Druckabriebprüfung gegeneinander aufgetragen. Das Bild läßt erkennen, daß der Abrieb beim Trommelversuch wesentlich größer ist; das Büchenberger Erz den kleinsten, das Kamsdorfer Erz den größten Abrieb zeigt. In Bild 65 sind die Prüfergebnisse der Kornfraktionen 5-10, 10-25 und >25 mm der genannten Erze für die Trommel - und Sturzprobe miteinander aufgetragen. Die Erze zeigen hinsichtlich des Abriebes die gleiche Tendenz. Nach der Art des Prüfverfahrens unterscheidet sich die Größe des Abriebes bei den einzelnen Kornfraktionen. Während die Sturzprüfung bei der Kornfraktion 5-10 mm den größten Abrieb zeigt, weist die Kornfraktion >25 mm bei der Trommelprüfung den größten Abrieb aus. Wie aus Tafel 53 zu ersehen ist, nimmt mit steigender Fallhöhe der Unterschied des Abriebes der einzelnen Kornfraktionen zu. Die Erklärung des gegensätzlichen Verhaltens der Trommel - und Sturzprobe hinsichtlich des Abriebes findet sich in der Tatsache, daß die Oberfläche mit kleiner werdender Korngröße in Verhältnis zur Masse ansteigt. Der größer werdende Abrieb wird dadurch bewirkt, daß die der Beanspruchung beim Auftreffen auf die Stahlplatte ausgesetzte Oberfläche wesentlich größer ist. Dagegen nimmt bei der Trommelprüfung bei gleichem Einsatzgewicht die Anzahl der eingesetzten Erzstücke zwar ebenfalls zu, d.h. die Oberfläche wird auch im gleichen Maße größer, aber bei einer kleineren Anzahl von Erzstücken fallen mehr von den Schlagleisten direkt auf die Trommelwand, während bei größerer Erzstückzahl mehr Erzstücke von den vorher gefallenen abgebremst werden. Bei konstantem Einsatzgewicht ist bei diesem Prüfverfahren eine größere Korngröße einer stärkeren Beanspruchung unterworfen, als das bei einer kleineren der Fall ist. Dieser Einfluß wird umso größer sein, je weicher das zu prüfende Erz ist.

Welche Bedeutung einerseits den mechanischen Eigenschaften der Einsatzstoffe zu kommt und zu welchen Auswirkungen eine Vernachlässigung derselben im Großbetrieb führt, wurde von Verfasser [76], [79] bereits 1958 unter den Betriebsverhältnissen des Eisenhüttenkombinats Ost nachgewiesen. Bild 66, das in Hochofenbunker abgelagertes Kriwoi Rog-Erz zeigt, läßt deutlich erkennen, daß die an Körnungsmäßigen Aufbau beteiligten Korngrößen sich in bestimmten Zonen zueinander abgelagert haben.







Da der Bunker über 4 bzw. 6 Klappen entleert wird, wird mit jedem Skip dem Ofen ein Gut anderer körnungsmäßiger Zusammensetzung aufgegeben. Die Untersuchungsergebnisse von Agglomerat, dargestellt in den Bildern 67 und 68 (Tafel 34 und Tafel 35), geben einerseits Auskunft darüber, wie das Agglomerat in seiner körnungsmäßigen Zusammensetzung von der Übergabestation des Bandes 19<sup>c</sup>/d bis zu den Bunkerklappen verändert wird (Bild 67) und wie die körnungsmäßige Zusammensetzung an den einzelnen Bunkerklappen schwankt. Da die Angaben der Siebanalyse Monatsdurchschnittswerte darstellen, läßt sich ermesen, wie groß die Schwankungen an jeder Bunkerklappe von einem Öffnen zum anderen sind, da über einen gewissen Zeitraum doch ein Ausgleich in der Siebanalyse der einzelnen Bunkerklappen erzielt wird. Es dürfte den Ausnahmefall darstellen, daß bei der Beschickung des Bunkers durch die Stellung des Abwurfwagens die betreffenden Kornfraktionen wieder am gleichen Ort, wie diejenigen zuvor, abgelagert werden. Vielmehr werden sich auch mit jeder neuen Beschickung des Hochofenbunkers die Zusammensetzungen in der Siebanalyse vor den Bunkerklappen ändern und geben als Monatsdurchschnittsanalyse nicht die wahren Verhältnisse wieder. Für den Einsatz von Kriwoi Rog-Erz sind ähnliche Verhältnisse zutreffend. Das Erz, bei dem der unter 25 mm liegende Anteil in der Erzaufbereitung abgeseibt wurde, kam im Mittel des Monats September 1961 am Hochofen mit folgender Siebanalyse zum Einsatz: >25 mm 31,8%, >12 mm 24,1% und <12 mm 44,1%.

Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden:

- 1.) Das mechanische Verhalten der Eisenerze, d.h. die Widerstandsfähigkeit gegen Druck, Abrieb und Sturz ist für den Hochofenbetrieb von großer Bedeutung.
- 2.) Unter Betriebsbedingungen führt eine ungenügende mechanische Festigkeit der Einsatzstoffe, ergänzt durch eine unvollkommene Absiebung, durch die durch den Transportvorgang auftretende Transport-, Abstrich-, Abroll- und Wurfentmischung [39] dazu, daß das Beschickungsmaterial schon in seine Kornfraktionen geschieden ist, bevor es überhaupt in die Beschickungseinrichtungen des Hochofens gelangt.
- 3.) Durch die Körnungsentmischung wird die Beschaffenheit des Gutes und damit wiederum sein Verhalten bei nachgeschalteten Vorgängen geändert. Die Entmischung, die nur durch den in-



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



folge ungenügender mechanischer Festigkeit der Einsatzstoffe entstehenden Abrieb in diesem Umfang möglich ist, beeinflusst also den Ablauf und das Ergebnis der nachfolgenden Arbeitsvorgänge und erschwert wegen des mangelnden Beharrungszustandes, denn Entschwefungsvorgänge sind nur selten stationär, ihre Regelung.

Die Untersuchungen zeigen, daß die von DE VATHAJRE [77] bereits im Jahre 1884 getroffene Feststellung, "wenn alles Material den Hochofen gleichmäßig füllen würde, und wenn die aufsteigende Gassäule die absinkende Materialsäule gleichmäßig durchdringt, würde es genügen, um einen regelmäßigen Ofengang zu erzielen und um ein Roheisen mit dem theoretischen Brennstoffverbrauch zu erzeugen, den Wind beim Betrieb gleichmäßig zu verteilen und die abgekühlten Gase an der Gicht zu sammeln," in ihrer Aktualität nichts verloren hat. Damit wird nochmals unterstrichen, daß die im Rahmen des Metallurgieprogrammes der eisenerzeugenden Industrie zur Verfügung gestellten Investitionen in erster Linie für den Bau bzw. die Komplettierung der bereits bestehenden Aufbereitungsanlagen verwendet werden müssen. Maßnahmen, die z.B. darauf gerichtet sind, durch Investitionen einige Kubikmeter Ofennutzinhalt im Eisenhüttenkombinat - Ost zu gewinnen, solange die Einsatzstoffe vollkommen unvorbereitet den Niederschachtöfen in Calbe aufgegeben werden, tragen nicht dem gesamtwirtschaftlichen Interesse Rechnung und sind nicht anders als verantwortungslos zu werten. Unter der Voraussicht, daß künftig in immer stärkerem Maße ärmere, saure Erze verhüttet werden müssen, wird der Stand der Aufbereitungstechnik und die daraus resultierende Qualität des Hochofenschlacks weitestgehend das Niveau der Technologie des Hochofenprozesses bestimmen.

7. Der Einfluß der Silizium - und Manganreduktion auf den Schwefelgehalt des Roheisens bei Einsatz verschiedenartiger Einsatzstoffe unterschiedlicher Korngröße.

Obwohl aus den zahlreichen Beiträgen in der Fachliteratur sich bis heute noch kein einheitliches Bild über die Zusammenhänge zwischen der Entschwefelung einerseits und der Siliziumreduktion andererseits ableiten läßt, muß W.OELSEN und H.MAETZ das große Verdienst zugeschrieben werden, durch systematische Untersuchungen diese Frage ihrer Klärung wesentlich näher ge-



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



bracht zu haben [51], [54], [59], [80], [81], [82], [83].

Der Schwefel wird zur Hauptsache mit dem Koks in den Hochofen eingebracht. Die Höhe des Koxschwefels richtet sich nach der für die Koksherstellung verwendeten Kohlequalität und wird heute mit 0,8 bis 1,8 % beziffert. Der verbleibende Teil gliedert sich zu 9 % auf das Erz und zu 1 % auf die Zuschläge auf, die den Schwefel in Form von  $\text{FeS}$ ,  $\text{Fe-}$ ,  $\text{Ca-}$  oder  $\text{BaSO}_4$  in den Hochofen einbringen. Nach den Angaben von G.A. WOLOWIK [33] sinkt der Schwefelgehalt im Koks von 1,75 % an der Gicht auf 0,85 % in Höhe des Schlackenabstiches ab. Das Gas enthält demgegenüber 1 % Schwefel in der Formenebene und erreicht mit 0,1 % an der Gicht seinen niedrigsten Wert.

Über die Bindungsform des Schwefels in der Schlacke besteht heute noch keine Klarheit. Die Annahme, daß der Schwefel als  $\text{CaS}$  vorliegt, hat ihre Berechtigung darin, daß das Kalziumoxyd die mengenmäßig überwiegende Komponente darstellt und die Schwefelaffinität des Kalziums größer ist als die der übrigen Komponenten.

Das Schwefelverteilungsverhältnis  $\frac{[\text{S}]}{[\text{S}]}$  wird in der Literatur für normalgehende Hochofen mit 30 - 60 angegeben und kann bis auf 100 ansteigen.

#### 7.1 Der Einfluß der untersuchten Stoffe und ihrer Korngrößen auf den Schwefelgehalt des Roheisens

In Bild 69 (Tafel 26 und Tafel 27) sind für die untersuchten Stoffe und ihre Korngrößen für den Versuchsschachtöfen die  $K_{\text{S, Si}}$  - Werte in Abhängigkeit von der Basizität zur OMISEN'schen Normalkurve aufgetragen. Aus dieser Darstellung läßt sich zunächst ganz allgemein die Schlußfolgerung ziehen, daß mit steigender Basizität die  $K_{\text{S, Si}}$  - Werte größer werden, also der Schwefelgehalt im Roheisen abnimmt. Diese Tatsache wird durch die Aussage der Gleichung (5) erklärt, daß mit steigendem Kalziumoxydgehalt in der Schlacke, unter stark reduzierenden Bedingungen, die Entschwefelung erheblich verbessert wird. Für die Entschwefelung ist nach H. SCHENCK [45] besonders der noch reaktionsfähige Anteil des Kalziumoxyds  $\text{CaO}^+$  von



Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.





Bedeutung, da das Kalziumoxyd überwiegend in der Schlacke als Komplexverbindung in Form des Kalziumsilikats  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  oder Kalktonerdesilikat  $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot z\text{SiO}_2$  vorliegt und in dieser Form für die Entschwefelung nicht wirksam wird. Da das  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$  - Verhältnis des Kalziummeta-silikats 0,93 beträgt, muß demnach eine merkliche Entschwefelung durch den Kalk einsetzen, der zusätzlich zum stöchiometrischen Verhältnis von 0,93 in der Schlacke enthalten ist. Dieser Anteil des Kalkes ist reaktionsfreudiger. Außerdem steigt die Löslichkeit der Kalk-Tonerde-Silikatschlacke für Schwefel an. Hinzu kommt, daß das  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ -Verhältnis mit fortschreitender Siliziumreduktion ansteigt, d.h., daß die Schlacke basischer und der Anteil an freiem Kalk größer wird. Wenn mehr Kalk mit dem Schwefel reagieren kann, steigt damit auch die Sulfidkapazität der Schlacke. Die Lage der  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte des Kriwoi Rog-Erzes der Körnung 0 - 25 mm ohne Manganträger im Einsatz zur Normalkurve unterstreicht diese Feststellung. Während im sauren Bereich die  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte in einem deutlichen Abstand gelegen sind, ordnen sie sich im basischen Bereich im geringeren Abstand zur Normalkurve an. Ein Vergleich der  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte des Kriwoi Rog-Erzes der Körnung 0 - 25 mm ohne Manganträger im Einsatz mit denen des Kriwoi Rog-Erzes der gleichen Körnung mit Manganträger im Einsatz und dem Agglomerat läßt im basischen Bereich in der Größenordnung der  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte keine merklichen Unterschiede erkennbar werden. Daraus läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß das Mangan selbst auf die Entschwefelung im Hochofen kaum Einfluß hat. Es ist also grundsätzlich möglich, ohne Manganzusatz zum Möller ein Roheisen zu erzeugen, das hinsichtlich des Schwefelgehaltes den Abnahmeanforderungen gerecht wird. Aus dem bereits an anderer Stelle erläuterten Verlauf der Silizium-Reduktion bei den einzelnen Erzarten folgt, daß das Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm die höchsten, Agglomerat dagegen die niedrigsten  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte, also höhere Schwefelgehalte im Roheisen aufweisen müßte. Bild 69 bestätigt diese Überlegung nicht. Bei einer Basizität von 1,1 ist das bei Einsatz von Braunkohlenfilteraschen erzeugte Roheisen am schlechtesten entschwefelt, während die  $K_{\text{S,Si}}$ -Werte des bei Verhüttung von Agglomerat und Kriwoi Rog-Erz der Körnung von 0 - 25 mm erschmolzenen



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



Roheisens gleichen Abstand zur Normalkurve zeigen. Die Erklärung für die der vorangestellten Überlegung widersprechenden Versuchsergebnisse findet sich darin, daß der Schwefel im Agglomerat, je nach dem Verhältnis von  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ , zu einem entsprechenden Teil schon als CaS gebunden vorliegt.

B.F. GONTSCHAROW [86] kam an einem Hochofen mit  $1386 \text{ m}^3$  Nutzinhalt bei Untersuchungen über die Beschickung dieses Hochofens mit Stückerz und Agglomerat bei Einsatz des gleichen Kokes mit einem mittleren Schwefelgehalt von 1,79 % zu dem Ergebnis, daß bei einer Erzmischung von 75 - 85 % Agglomerat-Anteil der Koksverbrauch gegenüber dem Einsatz von Stückerz um 198 kg Koks/t RE niedriger lag. Damit verringerte sich die Schwefelbelastung allein durch die Kokeinsparung um 3,5 kg Schwefel je Tonne Roheisen.

Der überragende Einfluß der Basizität auf die Entschwefelung wird offensichtlich, wenn man die Schwefelbelastung je kg Roheisen bei der Verhüttung der einzelnen Stoffe im Versuchsschachtofen miteinander vergleicht. Als Mittelwerte über die Versuchsdauer des jeweils untersuchten Stoffes geben folgende Zahlen Auskunft: Klassiertes Kriwoi Rog-Erz, verhüttet mit einer Basizität von 0,97 und einer Schwefelbelastung von 0,039 kg Schwefel je kg Roheisen, hatte einen Schwefelgehalt von 0,314 % bei einem Siliziumgehalt von 3,63 % und einem Mangangehalt von 0,46 % zur Folge. Das Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 mm mit Manganzuschlag, verhüttet bei einem CaO-SiO<sub>2</sub>-Verhältnis von 1,03 und einer Schwefelbelastung von 0,028 kg S/kg RE zeigt mit 0,065 % Schwefel im Roheisen bei einem Siliziumgehalt von 4,95 % und einem Mangangehalt von 1,97 % gegenüber dem im sauren Bereich verhütteten klassierten Kriwoi Rog-Erz wesentlich günstigere Werte. Noch deutlicher werden die Unterschiede, wenn diesen Vergleich die bei Verhüttung von Agglomerat und den Filteraschen erzielten Werte hinzugefügt werden. Das CaO-SiO<sub>2</sub>-Verhältnis bei Einsatz von Agglomerat beträgt 1,14, das der Pellets 1,38. Die Schwefelbelastung bei Einsatz von Pellets liegt mit 0,135 kg Schwefel/kg Roheisen um mehr als dreimal höher als die bei Einsatz von Agglomerat mit







0,043 kg Schwefel/kg Roheisen.

Den Mittelwert des bei der Verhüttung von Agglomerat angefallenen Roheisens mit 0,112% S, 1,88% Si und 1,94% Mn stehen die wesentlich günstigeren Werte von 0,049 % S, 4,30% Si und 3,26% Mn des bei der Verhüttung der Braunkohlenfilteraschen erhaltenen Roheisens gegenüber, wobei die Schwefelbelastung je kg Roheisen um mehr als das Dreifache der des Agglomerats überstieg. Zu berücksichtigen gilt es dabei ferner, daß neben der wesentlich höheren Basizität auch die zwei - bis dreifach höhere Schlackenmenge gegenüber den anderen Stoffen nicht ohne Einfluß bleibt. Mit zunehmender Schlackenmenge wird eine stärkere Entschwefelung möglich, weil sich bei gleicher Schwefelmenge, die Schwefelkonzentration, d.h. das Verhältnis des vorhandenen Schwefels zum Sättigungsgrad der Schlacke ändert [59]. Es ist erklärlich, daß die Zeit für die Reaktion der absinkenden Eisentropfen mit der Schlackenmenge größer wird, der Reaktionsweg sich also verlängert. Die Reduktionsreaktionen können wesentlich besser ablaufen [58]. Diese Reaktionen machen sich z.B. bei der Silizium-Reduktion aus basischen Schlacken stärker bemerkbar, als das bei Reaktionen aus sauren Schlacken der Fall ist. W.OELSEN und H.MAEPZ fanden, daß sich bei konstantem Endsiliziumgehalt die Basizität um so mehr verändert, je geringer die Anfangsschlackenmenge und je höher die Anfangsbasizität war [59].

Die Basizität bleibt nun aber nicht allein auf die Entschwefelung beschränkt, sondern beeinflusst auch das Reaktionsverhalten der anderen Oxyde. Mit ansteigendem Basengrad wird die Bindung des Kalziumsilikates fester [59], [84]. Die Siliziumreduktion geht zurück und das MnO in seiner Bindung des Mangansilikates wird durch das CaO ersetzt und kann demzufolge leichter reduziert werden. Da, wie bereits dargelegt wurde, die Herstellung eines Roheisens mit einem analysengerechten Schwefelgehalt ohne Manganeinsatz möglich ist und andererseits, wie die angeführten Analysenwerte der untersuchten Stoffe zeigen, einem niedrigem Schwefelgehalt ein hoher Siliziumgehalt im Roheisen zugeordnet ist, übt die Siliziumreduktion einen entscheidenden Einfluß auf die Entschwefelung aus. Mit zunehmenden Siliziumgehalt im Roheisen wird der Schwefel aktiviert und damit der Übergang in die Schlacke erleichtert [90]. Als Schlußfolgerung ergibt sich



0,04% kg Sauerstoff zu Sauerstoff.  
 Den Mittelwert des bei der Verbrennung von Sauerstoff ausfall-  
 lichen Sauerstoffs mit 0,112% Sauerstoff und 1,04% Wasser  
 die wesentlich günstigere Werte von 0,04% Sauerstoff und 0,112%  
 Sauerstoff im Fall der Verbrennung der Sauerstoffmischungen  
 erhaltenen Sauerstoffgehalt, wobei die Sauerstoffmischung  
 0,04% Sauerstoff im Fall der Verbrennung der Sauerstoffmischung  
 übersteigt. In betrachtlichen Fällen es dabei festzuhalten, daß neben  
 dem wesentlich höheren Sauerstoffgehalt auch die zwei - die drei -  
 fach höhere Sauerstoffmenge gegenüber den anderen Stellen  
 nicht ohne Wirkung bleibt. Mit zunehmender Sauerstoffmenge  
 wird eine stärkere Sauerstoffmischung möglich, weil sich bei  
 gleicher Sauerstoffmenge, die Sauerstoffmischung, d.h. das  
 Verhältnis des vorliegenden Sauerstoffs zur Sauerstoffmenge der  
 Sauerstoffmischung ändert (Sauerstoff ist erhöht), das die Zeit für  
 die Reaktion der Sauerstoffmischung kürzer ist als bei Sauerstoff-  
 mangel größer wird, der Sauerstoffgehalt sich also verändert.  
 Die Sauerstoffmischungen können wesentlich besser erhalten  
 [Sauerstoffmischungen werden sich z.B. bei der Bildung -  
 Reaktion aus Sauerstoffmischungen bilden können, die das  
 bei Reaktion aus Sauerstoffmischungen der Fall ist. W. D. B. 1911  
 und H. K. 1911, das sich bei Sauerstoffmischungen  
 bei der Reaktion um so mehr verändert, je größer die an-  
 fangs Sauerstoffmenge und je höher die Sauerstoffmischung war

(23)

Die Reaktion bleibt nur noch allein auf die Sauerstoff-  
 menge beschränkt, sondern bestimmt auch die Reaktion-  
 verhalten der anderen Körper. Mit zunehmender Sauerstoffmenge  
 die Bildung der Sauerstoffmischung (Sauerstoff) die Bildung der  
 Sauerstoffmischung gibt an und das in seiner Bildung der  
 Sauerstoffmischung wird durch die Sauerstoffmenge und durch die  
 Folge leichter reduziert werden. Da die Sauerstoffmischung  
 wurde, die Sauerstoffmischung eines Sauerstoffmischungen mit einer Sauerstoff-  
 gemischten Sauerstoffmischung eine Sauerstoffmischung möglich ist und  
 andererseits, die die Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung der Sauerstoff-  
 mischung Sauerstoffmischung, eine Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung ein  
 hoher Sauerstoffmischung in Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung ist, die die  
 Sauerstoffmischung einer Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung und die Sauerstoff-  
 mischung Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung in Sauerstoffmischung  
 wird an Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung in die  
 Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung Sauerstoffmischung





dann, daß der Zusammenhang zwischen dem Mangan - und Schwefelverteilungsverhältnis (Bild 72) nicht in direkter Abhängigkeit besteht. Da die Siliziumreduktion sowohl das Mangan- als auch das Schwefelverteilungsverhältnis entscheidend beeinflusst, gibt diese Darstellung nur die mittelbaren Verhältnisse wieder. Damit ist der Einfluß der Erzart, die, wie nachgewiesen wurde, den Verlauf der Siliziumreduktion bestimmt, auf die Entschwefelung festgelegt. Die Entschwefelungsreaktion (5) läßt ferner erkennen, daß die Entschwefelung um so vollständiger verlaufen wird, je weniger Eisen (II) - oxyd in der Schlacke vorhanden ist. Bild 70, das das Schwefelverteilungsverhältnis in Abhängigkeit vom Eisen (II) - oxydgehalt der Abstichschlacke für den Versuchsschachtoven, den Niederschachtoven IX in Calbe und den Hochofen IV des EKO wiedergibt, bestätigt diese Aussage. Nach B.F.GONTSCHAROW [86] steigt beim Erschmelzen eines Erzmölers der Schwefelgehalt in der Schlacke um 0,3% an, wenn der FeO - Gehalt unter 4,5% liegt und um 1% abnimmt. Das Bild läßt ferner erkennen, daß die beim Versuchsschachtovenbetrieb erzielten Schwefelverteilungsverhältnisse sich in den Bereich des Niederschachtovens einordnen und der Hochofen die beste Entschwefelung des Roheisens aufweist. Worin sind nun die Ursachen für die wesentlich schlechtere Entschwefelung beim Versuchs- und Niederschachtoven gegenüber dem Hochofen zu suchen? Der FeO - Gehalt der Schlacke stammt entweder aus unvollkommen reduzierten Erz, das in das Gestell gelangt ist oder wurde in der Oxydationszone vor den Formen gebildet [87]. Da beim Versuchsschachtoven die FeO - Gehalte der Schlacke der untersuchten Stoffe (Kriwoi Rog-Erz der Körnung 0 - 25 1,69% FeO, Kriwoi Rog-Erz klassiert 2,05% FeO, Agglomerat 2,21% FeO und Pellets 2,28% FeO) die stark voneinander abweichenden Schwefelgehalte im Roheisen nicht erklären, müssen die Ursachen in anderen Einflußgrößen zu suchen sein. Eine Antwort darauf geben die Bilder 71 und 73. Bild 71 zeigt, daß einerseits mit steigendem Kohlenstoffgehalt im Roheisen der Schwefelgehalt im Roheisen selbst abnimmt und zum anderen der Kohlenstoffgehalt im Roheisen seinerseits von der Größe des Ofens abhängig ist. K.M.GOLDMAN G.DERGE und W.O.PHILBROOK [90] haben Geschwindigkeitskonstanten für den Schwefelübergang in Abhängigkeit von der chemischen Konzentration der Roheisenbegleitelemente aufgestellt und sind zu dem Ergebnis gelangt, daß der Einfluß des Kohlen-



dann, daß der Konsum... (Bild 25) nicht in dieser Ab-  
 hängigkeit besteht. In die...  
 Hängen die auch die...  
 hängt bestimmt, gibt diese...  
 Verhältnis wieder. Längs...  
 als nachgewiesen wurde, den...  
 bestimmt, und die...  
 Leistungsfähigkeit (3) läßt...  
 Leistung um so...  
 Eisen (II) - oxyd in der...  
 das die...  
 Eisen (II) - oxyd...  
 auszuscheiden, der...  
 Hohlkörper IV der...  
 E. P. GÖTTSCHEW (86) zeigt...  
 Imit der...  
 Bild 186 zeigt...  
 Betrieb...  
 den Bereich...  
 oder die...  
 sind von...  
 Behandlung...  
 der...  
 erstreckt...  
 gelangt...  
 gelöst...  
 der...  
 Lösung...  
 20, Agitation...  
 voneinander...  
 existieren...  
 neben...  
 Bild 21 zeigt...  
 gelöst...  
 nicht...  
 gewaschen...  
 O. JENSEN und...  
 den...  
 sehr...  
 und...  
 und...



stoffs den des Siliziums noch wesentlich überwiegt. Nach neuesten Ansichten ist der Sauerstoffgehalt im Metall an der Grenzschicht Eisen - Schlacke entscheidend, da dieser mit dem gelösten Kohlenstoff reagieren kann und somit die Näherung der Schwefelreaktion zum Gleichgewicht beschleunigt [88]. Da die reduzierende Wirkung des Siliziums weit hinter die des Kohlenstoffs zurücktritt, bewirkt der Kohlenstoff die Reduktion des FeO und trägt dadurch zur Entschwefelung bei. Auf die Ursachen des mit abnehmender Ofengröße einhergehenden Absinkens der Kohlenstoffgehalte im Roheisen wird die Arbeit von W. WENZEL, Eisenhütten-Institut, Antwort geben. Die FeO-Gehalte in der Schlacke, die sich bei der Verhüttung der verschiedenen Stoffe und ihrer Korngrößen im Versuchsschachtofen einstellten, lassen vermuten, daß die schlechte Entschwefelung im Niederschachtofen, bedingt durch die hohen FeO-Gehalte in der Schlacke, bei einer bestimmten Basizität einzig und allein als Folge der ungenügenden Kohlhung des Eisens anzusehen ist.

### 8. Zusammenfassung

Entsprechend der Aufgabenstellung, die Verhüttungseigenschaften von Eisenerzen und Industrierückständen in einem Versuchsschachtofen zu untersuchen und die Gültigkeit dieser Versuchsergebnisse für den großtechnischen Betrieb nachzuweisen, wurde eine Versuchsschachtofenanlage, bestehend aus dem Gebläsestand, den Regenerativwinderhitzern, dem Versuchsschachtofen und dem Meßgerätestand entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Ausgehend von den Betriebserfahrungen des EKO, daß der im Möller durch Stückerz ersetzte Anteil an Agglomerat bei scheinbar gleicher Zusammensetzung des Möllers durch entsprechende Zuschläge, erhebliche Schwankungen in den Abstichanalysen des Roheisens auftraten, wurde nacheinander Kriwoi Rog-Erz verschiedener Kornfraktionen mit und ohne Zuschlag von Manganerz im Möller, Agglomerat und aus Braunkohlenfilteraschen hergestellte Pellets im Versuchsschachtofen untersucht. Die Ergebnisse der Versuchsreihen II und III des Versuchsschachtofens wurden den Betriebswerten der Öfen II und IV des EKO gegenübergestellt und mit denen von Laboratoriums-







untersuchungen verglichen. Es hat sich gezeigt, daß die Ergebnisse des Versuchsschachtofenbetriebes in ihrer Aussage denen des Großbetriebes gleichen, d.h., daß der Versuchsschachtofen die Möglichkeit bietet, die sich aus dem Hochofenbetrieb ergebenden Fragen im Versuchsschachtofen zu untersuchen.

Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß der Charakter der Einsatzstoffe, d.h. ihre chemische Zusammensetzung, ihre physikalische Beschaffenheit und ihr mineralischer Aufbau von entscheidendem Einfluß auf die Silizium- und damit auf die Manganreduktion sind. Die Silizium-Reduktion bleibt beim Agglomerat-Möller im Vergleich zum Kriwoi Rog-Erz-Möller absolut gesehen zurück und das Manganausbringen sinkt. Da aber der Hochöfner die Richtanalyse z.B. für Stahleisen einhalten muß, sind unter diesem Gesichtspunkt für die Erschmelzung von Stahleisen bei Einsatz eines Agglomerat-Möllers die günstigsten Reduktionsbedingungen gegeben. Demgegenüber ist für die Erschmelzung eines hochsilizierten Roheisens der Einsatz eines kleinstückigen Erzmöllers wesentlich geeigneter und wirtschaftlich günstiger. Aus den Laboratoriumsergebnissen, die ihre Bestätigung durch die Entnahme von Proben aus dem Schacht des Versuchsofens fanden, kann abgeleitet werden, daß das Maximum der Siliziumreduktion allgemein bei Erzen sowohl zeitlich als auch örtlich vor dem des Agglomerates liegt. In diesem Zusammenhang sind die mechanischen Eigenschaften der Einsatzstoffe, insbesondere der Eisenerze, von besonderem Interesse. Die Entmischung der Einsatzstoffe, die, wie nachgewiesen wurde, in diesem Umfang nur durch eine ungenügende mechanische Festigkeit möglich ist, beeinflusst den Ablauf und das Ergebnis der nachfolgenden Vorgänge und erschwert ihre Regelung.

Die Bedeutung der Braunkohlenfilteraschen für die Roheisen erzeugende Industrie, insbesondere für das NOW Calbe, wurde aufgezeigt. Die Ergebnisse der Versuchsreihe IV haben bewiesen, daß die Verhüttung der Braunkohlenfilteraschen in pelletisierter Form keine besonderen Schwierigkeiten erwarten läßt.

Die Arbeit schließt mit einer Betrachtung des Einflusses der untersuchten Stoffe und ihrer Korngößen auf den Schwefelgehalt des Roheisens.







Literaturverzeichnis

- [1] Thießen, F.-A.  
Forschung und Technik als gleichberechtigte Glieder der  
Wissenschaft  
Neue Hütte 5 (1960) 12 Seite 709 - 712
- [2] Schenck, H.  
Emperie und Wissenschaft im Eisenhüttenwesen  
Berg-u.hüttenm.Mh. 105 (1960) 11 Seite 242 - 250
- [3] Traustel, S.  
Modellgesetze der Vergasung und Verhüttung  
Akademie-Verlag Berlin 1949
- [4] Tischendorf, H.J.  
Der Zusatz von reduzierenden Gasen bei der Roheisenerzeugung  
Dissertation an der Bergakademie Freiberg/Sa 1961
- [5] Spolders, R. und W. Wenzel  
Steigerung der Leistung eines Versuchshochofens durch Zusätze  
von Sauerstoff und Kohlendioxyd zum Wind  
Stahl u. Eisen 81 (1961) Seite 149 - 154
- [6] Buehl, R.C.  
Design of Pyrometallurgical Pilot Plants  
J.Metals 9 (1957) Seite 1359 - 1362
- [7] Rossi, A.J.  
Zur Ehrenrettung titanhaltiger Erze  
Iron Age 57 (1896) Seite 354 - 356 und 464 - 469  
vgl.Umschau Stahl u.Eisen 16 (1896) Seite 310 - 313
- [8] Royster, F.H., Joseph, T.L. und S.P. Kinney  
Die Reduktion von Eisenerz im Hochofen  
Blast Furn.Steel Plant 12 (1924) Seite 35-37, 98-100,  
154-158 und 200-204  
vgl.Umschau Stahl u.Eisen 44 (1924) Seite 793-795 und  
986-988
- [9] Bohm, J.  
Der Reduktionsvorgang im Hochofen  
Jerkont Ann.111 (1927) Seite 145 - 208  
vgl.Umschau Stahl u.Eisen 47 (1927) Seite 1955-1956



- [1] Tietze, F.-A.  
 Forschung und Technik im gleichberechtigten Miteinander der  
 Wissenschaft  
 Neue Hefen 2 (1960) S. 241-248
- [2] Schanz, H.  
 Industrie und Wissenschaft im Maschinenbau  
 Berg- und Hüttenmänn. 107 (1960) S. 241-248
- [3] Franke, G.  
 Möglichkeiten der Fertigung und Verfertigung  
 Akademie-Verlag Berlin 1967
- [4] Flöschner, H.L.  
 Der Einsatz von Katalysatoren beim Stahlherstellen  
 Dissertation an der Bergakademie Freiberg 1961
- [5] Spolner, H. und W. Kappel  
 Entwicklung der Leistung eines Formstahlherstellers durch Einsatz  
 von Sauerstoff und Kohlenstoff  
 Stahl u. Eisen 81 (1961) Seite 189 - 192
- [6] Becht, H.G.  
 Beitrag zur Formstahlherstellung  
 Jahrbuch 9 (1957) Seite 122 - 125
- [7] Roser, A.J.  
 Zur Entwicklung des Formstahls  
 Iron Age 57 (1966) Seite 374 - 377 und 384 - 387  
 vgl. Jahrbuch Stahl u. Eisen 16 (1966) Seite 310 - 313
- [8] Rojater, F.R., Joseph, T.L. und G.L. Kline  
 Die Reduktion von Eisen im Hochofen  
 Basic Iron Steel Plant 15 (1954) Seite 37-39, 40-42  
 124-126 und 100-102  
 vgl. Jahrbuch Stahl u. Eisen 16 (1966) Seite 377-380 und  
 38-39
- [9] Bohn, J.  
 Der Reduktionsvergang im Hochofen  
 Jahrbuch 11 (1957) Seite 189 - 202  
 vgl. Jahrbuch Stahl u. Eisen 7 (1957) Seite 122-125



- [10] Bosley, J.J., Melcher, N.B. und M.M.Harris  
Nitrogen Quench of Experimental Blast Furnace  
J.Metals 11 (1959) Seite 610 - 615
- [11] Lennings, W. (Umschau)  
Hochofenbetrieb mit sauerstoffangereicherterem Wind und  
Ammoniakgewinnung  
Stahl u.Eisen 55 (1935) Seite 164 - 165
- [12] Sounders, H.L., Butler, G.B. und J.M. Tweedy  
Investigations on an Experimental Blast Furnace  
J.Iron Steel Inst.Vol. 163 (1949) Seite 173 - 206
- [13] Rekar, C.  
Versuch zur Bestimmung der Reduzierbarkeit  
Stahl u.Eisen 73 (1953) Seite 1094 - 1101
- [14] Rekar, C.  
Über die Arbeit des metallurgischen Institutes am Nieder-  
schachtofen in den Jahren 1950 - 1960  
Unveröffentlichter Bericht
- [15] Russel, C.B. und M.B. Royer  
Operation of an Experimental Blast Furnace  
Blast Furn. Coke Oven Raw Mater. Proc. 11 (1955) Seite 111-  
124
- [16] Weidenmüller, H.  
Die Bewegung des Schwefels und Bleies im Hochofen  
Dr.-Ing.-Dissertation Technische Hochschule Aachen 1960
- [17] Lennings, W.  
Die Verwendung von sauerstoffangereicherterem Gebläsewind im  
Hochofenbetrieb  
Stahl u.Eisen 55 (1935) Seite 533 - 544
- [18] Lennings, W.  
Versuche mit sauerstoffangereicherterem Wind bei eisenreichen  
und eisenarmen Erzmöllern.  
Stahl u.Eisen 63 (1943) Seite 757 - 767
- [19] Säuberlich, K., Grohmann, H. und G.Richter  
Anwendung von Sauerstoff bei der Erzeugung von Roheisen  
im Niederschachtofen  
Neue Hütte 3 (1958) Seite 225 - 232
- [20] Sindelar, G.  
Die Bedeutung der Kohlenoxydspaltung an Eisenerzen für  
den Reduktionsschachtofen.  
Dr.-Ing.-Dissertation an der Technischen Hochschule Aachen  
1960



- [10] Böhler, H., ...  
Investigation of experimental blast furnace  
7. Jahrgang 11 (1955) Seite 101 - 112
- [11] Hennings, E. (Gedruckte)  
Vorbereitung des Eisens mit saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [12] Böhler, H., ...  
Investigation of an experimental blast furnace  
7. Jahrgang 11 (1955) Seite 113 - 120
- [13] Böhler, H.  
Vorbereitung des Eisens mit saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [14] Böhler, H.  
Über die Arbeit des saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [15] Böhler, H. und W. B. ...  
Operation of an experimental blast furnace  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 113 - 120
- [16] Böhler, H.  
Die Bedeutung des saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [17] Hennings, E.  
Die Vorbereitung des saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [18] Hennings, E.  
Versuche mit saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [19] Böhler, H., ...  
Anwendung von saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112
- [20] Böhler, H.  
Die Bedeutung des saurem Schlacken  
Stahl u. Eisen 25 (1955) Seite 104 - 112



- [21] Decker, A.  
Einblasen von Reduktionsmitteln in die Windformen eines  
Hochofens  
Stahl u. Eisen 81 (1961) Seite 1264 - 1270
- [22] Bonnaure, E.  
Der Niederschachtofen in Ougreé als kleiner Versuchs-  
hochofen  
Stahl u. Eisen 79 (1959) 1105 - 1119
- [23] Kay, H. und E. Gorin  
Experimental Smelting of Char-ore Agglomerates in a Low-  
shaft Blast Furnace  
Blast Furn. Coke Oven Raw Mater. Proc.
- [24] Buehl, R.C.  
Operating Experience with a two-Foot Diameter Blast Furnace  
J. Metals Vol. 6 (1954) Seite 814 - 816
- [25] Buehl, R.C. und M.B. Royer  
Low Fuel Rates with Coke - Anthracite Mixtures in Three-Foot  
Blast Furnace  
J. Metals Vol. 8 (1956) Seite 432 - 433
- [26] Melcher, N.B. und M.B. Royer  
Smelting unfired Iron Ore Pellets in an Experimental  
Blast Furnace.  
Blast Furn. Steel Plant 48 (1960) Seite 1265 - 1270  
vgl. Umschau Neue Hütte 6 (1961) Seite 732 - 733
- [27] Bansen, H.  
Die Beurteilung der Stoff- und Wärmebilanz des Hochofens  
nach der Gichtgasanalyse und der Windmenge  
Arch. Eisenhüttenwes. 1 (1927) Seite 245 - 266
- [28] Senfter, E.  
Leistungssteigerung des Hochofens bei gleichzeitiger  
Kokseinsparung  
Stahl u. Eisen 62 (1942) Seite 1041 - 1053
- [29] Pawlow, M.A.  
Metallurgie des Roheisens  
Verlag Technik, Berlin 1952, Band 3
- [30] Heiligenstaedt, W.  
Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen  
Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1951



- [21] Becker, A.  
 Abhandlung von den Eigenschaften des ...  
 Stahl u. Eisen 51 (1901) Seite 100 - 105
- [22] Borsch, A.  
 Die Eigenschaften des ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [23] Kay, R. und K. G.  
 Experimental Study of ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [24] Stahl, E.O.  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [25] Stahl, E.O. und E.H. Meyer  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [26] Meyer, W.B. und E.H. Meyer  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [27] Bann, R.  
 Die Bedeutung der ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [28] ...  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [29] ...  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115
- [30] ...  
 ...  
 Stahl u. Eisen 79 (1909) Seite 110 - 115



- [31] von Struve, G.  
Ein Beitrag zur metallurgischen Beurteilung der wichtigsten in der DDR verhütteten Eisenerze  
Freiberg.Forsch.-H. Reihe B 19 (1957)
- [32] Pochwisnew, A.N. und Mitarbeiter  
Der Hochofenbetrieb  
VEB Verlag Technik Berlin 1954
- [33] Wolowik, G.A.  
Verteilung des Schwefels zwischen dem Möller und den Schmelzprodukten im Hochofen  
Stal 21 (1961) Seite 967 - 971
- [34] Grant, N.J., Kalling, U. und J.Chipmann  
Effects of Manganese und Jts Oxide On Desulphurization by Blast - Furnace Type Slags.  
J.Metals Vol. 3 (1951) Seite 666 bis 671
- [35] Mund, A., Stoecker, J. und W.Eilender  
Vorgänge in Rast und Gestell des Hochofens  
Stahl u.Eisen 51 (1931) 48 Seite 1449 - 1462
- [36] Bansen, H.  
Stoffprobeentnahme aus Rast und Gestell eines Hochofens  
Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1929) Seite 242 - 248
- [37] Eichenberg, G.  
Entnahme von Stoffproben aus der Blasform-Ebene eines Hochofens  
Arch.Eisenhüttenwes. 3 (1929) Seite 325 - 330
- [38] Bulle, G.  
Entnahme von festen und flüssigen Proben aus dem Hochofen  
Arch.Eisenhüttenwes. 3 (1929) Seite 169 - 172
- [39] Wüst, F.  
Eine neue Theorie des Hochofenverfahrens  
Stahl u.Eisen 48 (1928) Seite 1273 - 1287
- [40] Dickens, P., v.d.Esche, W. und J.Willems  
Beitrag zur Beurteilung der Verhüttungseigenschaften von Eisenerzen und Sinter  
Stahl u.Eisen 79 (1959) Seite 905 - 917



[31] von Struve, G.  
Ein Beitrag zur metallurgischen Bearbeitung der Metalle  
von in der 18. vermehrte Ausgabe  
Freiberg, Verh.-H. Reihe 2 19 (1927)

[32] Pechmann, A.W. und Mitarbeiter  
Der Hochdruckaufbau  
VEB Verlag Technik Berlin 1954

[33] Klotz, G.A.  
Verteilung des Sauerstoffs zwischen den Metallen und den  
Sauerstoffgasen in Hochdruck  
Stahl u. Eisen 51 (1951) Seite 967 - 971

[34] Grant, H.L., Kelling, H. und J. C. G. G.  
Effects of hydrogen and its effect on desulfurization  
by blast - furnace type blast  
J. Metals Vol. 3 (1951) Seite 604 bis 611

[35] Klotz, G., Grottel, J. und J. Klotz  
Vorträge in West und Ostteil der Hochdruck  
Stahl u. Eisen 51 (1951) 48 Seite 1449 - 1453

[36] Pechmann, A.  
Eigenschaften des aus Eisen und Sauerstoff eines Hochdruck  
Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1953) Seite 245 - 248

[37] Klotz, G.  
Eigenschaften von Sauerstoffgasen aus der Hochdruck-  
Hochdruck  
Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1953) Seite 255 - 258

[38] Klotz, G.  
Eigenschaften von Sauerstoffgasen aus der Hochdruck-  
Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1953) Seite 165 - 172

[39] Klotz, G.  
Eine neue Theorie der Hochdruckverfahren  
Stahl u. Eisen 49 (1949) Seite 1275 - 1287

[40] Klotz, G., v. d. Linde, H. und J. Klotz  
Beitrag zur Beschreibung der Hochdruckverfahren  
von Eisen und Stahl  
Stahl u. Eisen 79 (1959) Seite 305 - 312



- [41] Joseph, J.L.  
Importance of Gas Solid Contact in the Production of Pig Iron  
Blast Furn.Steel Plant 45 (1957) Seite 379 - 384 und  
489 - 493
- [42] Birnbaum, H., v.Bogdandy, L. und W. Janke  
Prüfung von Stückerzen auf ihr Verhalten im Hochofen  
Stahl u.Eisen 80 (1960) Seite 781 - 788
- [43] Wolf, W.  
Verfahren zum Prüfen des Hochofenkokes auf seine Festigkeit.  
Stahl u.Eisen 48 (1928) Seite 33 - 38
- [44] Pokryschkin, W.L.  
Der Einfluß des erhöhten Druckes auf die chemische Zusammensetzung des Roheisens  
Stal 16 (1956) Seite 487 - 492
- [45] Schenck, H.  
Physikalische Chemie der Eisenhüttenprozesse  
Springer - Verlag Berlin 1932 Band 1
- [46] Mayer, O.  
Über den Verlauf der Reaktionen zwischen Graphit und Oxyden sowie zwischen Schwermetallkarbiden und Oxyden.  
Arch.Eisenhüttenwes. 4 (1930) Seite 193 - 198
- [47] Eljutin, W.P., Pawlow, J.A. und B.E.Lewin  
Ferrolegierungen  
VEB Verlag Technik Berlin 1953
- [48] Meyer, H.H.  
Über die Reduktion von Manganoxydul, Kieselsäure und Phosphorsäure im Hochofen  
Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. 9 (1927) Seite 273 - 277
- [49] Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie  
Silizium - System 15 B  
Verlag Chemie Einheim/Bergstraße
- [50] Kootz, Th. und W. Oelsen  
Beitrag zur Metallurgie des Hochofens  
Arch.Eisenhüttenwes. 22 (1951) Seite 1 - 4
- [51] Oelsen, W. und H. Maetz  
Beiträge zur Metallurgie des Hochofens  
Stahl u.Eisen 69 (1949) Seite 147 - 153



- [41] Joseph, J.L. Importance of low solid content in the production of thin films. *Thin Solid Films* 45 (1977) Seite 284-288
- [42] Blumhagen, H., v. Börsch, L. und W. Janz. Wirkung von Zinkoxiden auf die Verwitterung in hochtemperaturer Umgebung. *Angewandte Chemie* 80 (1968) Seite 281-283
- [43] ... Verfahren zur Herstellung von ...
- [44] ...
- [45] ...
- [46] ...
- [47] ...
- [48] ...
- [49] ...
- [50] ...
- [51] ...



- [52] Körber, F. und W. Oelsen  
Die Auswirkungen der Silizid-, Phosphid- und Karbidbildung  
in Eisenschmelzen auf ihre Gleichgewichte mit Oxyden.  
Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. 18 (1936) Seite 109 - 130
- [53] Ebert, R.  
Die metallurgischen Vorgänge im Gestell des Niederschacht-  
ofens unter Berücksichtigung der Betriebsverhältnisse des  
Werkes Calbe  
Dr.-Ing. Dissertation an der Bergakademie Freiberg/Sa. 1961
- [54] Kootz, Th. und W. Oelsen  
Beitrag zur Metallurgie des Hochofens  
Arch. Eisenhüttenwes. 21 (1950) Seite 77 - 88
- [55] Kootz, Th., Michel, A. und H. Rellermeyer  
Zur Metallurgie des Hochofens  
Arch. Eisenhüttenwes. 25 (1954) Seite 299 - 306
- [56] Hummel, H., Looz, W. und W. Oelsen  
Die Beziehungen zwischen Hochofenführung und Roheisenbe-  
schaffenheit und deren Einfluß auf die Güte des Thomas-  
stahles.  
Stahl u. Eisen 75 (1955) Seite 885 - 900
- [57] Wenntrup, H.  
Die Entschwefelung des Roheisens durch Mangan  
Arch. Eisenhüttenwes. 9 (1936) Seite 535 - 542
- [58] Willems, J., Oelsen, W. und H. Genz  
Untersuchungen über die Reduktionsverhältnisse im Hochofen  
Stahl u. Eisen 75 (1955) Seite 618 - 624
- [59] Oelsen, W. und H. Maetz  
Zur Entschwefelung des Roheisens mit sauren Schlacken  
Arch. Eisenhüttenwes. 16 (1943) Seite 283 - 298
- [60] Faust, E.  
Gesetzmäßigkeiten bei der Reduktion von Silizium und Titan  
im Hochofen  
Arch. Eisenhüttenwes. 12 (1939) Seite 301 - 304
- [61] Baukloh, W.  
Die Roheisenerzeugung durch den Hochofenprozeß  
Fotokopien in der Bücherei des Eisenhütten-Institutes.



- [52] Köber, V. und W. Geisen  
Die Auswirkung der Bildung, -inophil- und -katalytischen  
in Eisenkatalysen auf ihre Eigenschaften als Oxidant.  
Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 102 - 110
- [53] Köber, W.  
Die katalytischen Eigenschaften im Gasfeld der Eisenkatalyse  
in Abhängigkeit von der Katalysatorkonzentration und  
von der Temperatur. Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 111 - 118
- [54] Köber, W. und A. Geisen  
Beitrag zur Kinetik der Oxidation von Kohlenmonoxid  
an Eisenkatalysen. Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 119 - 126
- [55] Köber, W., Michael, A. und A. Geisen  
Zur Kinetik der Oxidation von Kohlenmonoxid  
an Eisenkatalysen. Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 127 - 134
- [56] Hummel, H., Jander, G. und W. Geisen  
Die Beziehungen zwischen Katalysatorkonzentration und Katalyse-  
geschwindigkeit und deren Abhängigkeit von der Temperatur.  
Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 135 - 142
- [57] Geisinger, H.  
Die Katalyse der Oxidation von Kohlenmonoxid durch Wasser  
an Eisenkatalysen. Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 143 - 150
- [58] Köber, W., Geisen, W. und A. Geisen  
Untersuchungen über die Reduktionsverhältnisse im Kohlen-  
monoxid. Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 151 - 158
- [59] Geisen, W. und H. Geisen  
Zur Katalyse der Oxidation von Kohlenmonoxid an Eisenkatalysen.  
Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 159 - 166
- [60] Geisen, W.  
Gesamtkinetik der Oxidation von Kohlenmonoxid an Eisenkatalysen  
in Abhängigkeit von der Katalysatorkonzentration und der Temperatur.  
Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 167 - 174
- [61] Geisen, W.  
Die Katalyse der Oxidation von Kohlenmonoxid an Eisenkatalysen.  
Z. Naturforsch. 18 (1953) Seite 175 - 182



- [62] Wesemann, F. und K. Kessels  
Berechnungsverfahren zur Überprüfung von Fehlerquellen  
in den Betriebsergebnissen von Hochöfen.  
Arch.Eisenhüttenwes. 20 (1949) Seite 211 - 218
- [63] Ziljew, L.M.  
Über primäre Schlackenbildung im Hochofen  
Freiberg, Forsch.-H., Reihe B 9
- [64] Dickens, P., v.d.Esche, W. und J. Willems  
Untersuchung zur Prüfung des Verhaltens von Erzen  
im Hochofen.  
Stahl u.Eisen 76 (1956) Seite 1404 - 1409
- [65] Grieve, A.  
Softening of Iron Ores at High Temperatures  
J.Iron Steel Inst. Vol. 175 (1953) Seite 1 - 4
- [66] Bardin, J.P., Rudnewa, A.B. und L.M. Ziljew  
Über die Phasenumwandlungen im Hochofen  
Iswestija Akademii Nauk SSSR, Otdelenije technitschesskich  
Nauk (1955) Seite 123 - 128
- [67] Bardin, J.P., Ziljew, L.M., Rudnewa, A.B. und  
A.M. Tschernischew  
Zähigkeit und mineralogischer Aufbau primärer Hochofen-  
schlacke.  
Iswestija Akademii Nauk SSSR, Otdelenije technitschesskich  
Nauk (1951)
- [68] Loginow, W.J.  
Die Viskosität saurer Schlacken und die Möglichkeit ihrer  
Anwendung im Hochofen  
aus: Untersuchung des Hochofenprozesses  
Verlag d.Akad.d.Wiss.d.UDSSR, Moskau 1957, Seite 148 - 166
- [69] Pawlow, M.A.  
Metallurgie des Roheisens  
Verlag Technik 1952, Band II
- [70] Willems, J.  
Verfahren zur Gewinnung von Eisen außerhalb des Hochofens  
Stahl u.Eisen 79 (1959) Seite 74 - 80
- [71] Potebnja, J.M. und T.J. Litwinowa  
Die Bildung der Primärschlacke im Hochofen bei Einsatz  
von selbstgängigem Sinter  
Stal 19 (1959) Seite 485 - 494



[62] Wenzel, V. und K. Lenzel  
Berechnungsverfahren zur Überprüfung von Fehlerquellen  
in den Betriebszuständen von Hochöfen.  
Arch. Eisenhüttenwes. 30 (1949) Seite 211 - 218

[63] Sijew, I.M.  
Über primäre Schmelzbehandlung im Hochöfen  
Tscheljabinsk-Höfen, Heft 8

[64] Niekam, P., v.d. Hagen, J. und J. Wilmann  
Untersuchung zur Wirkung des Verhältnisses von Eisen  
im Hochöfen.  
Stahl u. Eisen 70 (1950) Seite 1407 - 1409

[65] Gröwe, A.  
Gottschau of iron ores at high temperatures  
J. Iron Steel Inst. Vol. 175 (1957) Seite 1 - 4

[66] Gardin, J.P., Kohnen, A.B. und I.M. Sijew  
Über die Phosphorverbindungen im Hochöfen  
Jahrbuch für wissenschaftliche Eisenhüttenkunde  
Heft (1957) Seite 157 - 158

[67] Gardin, J.P., Sijew, I.M., Kohnen, A.B. und  
A.M. Tschernyschew  
Einkauf und mineralogischer Aufbau von  
Hochöfen.  
Jahrbuch für wissenschaftliche Eisenhüttenkunde  
Heft (1951)

[68] Kostov, W.G.  
Die Wirkung von Eisenpulver auf die Löslichkeit von  
Mangan im Hochöfen  
Arch. Eisenhüttenwes. 30 (1949) Seite 152 - 153

[69] Pawlow, B.A.  
Metallurgie des Hochöfens  
Verlag Technik 1954, Band II

[70] Wilmann, J.  
Verfahren zur Gewinnung von Eisen aus dem  
Hochöfen.  
Stahl u. Eisen 70 (1950) Seite 79 - 80

[71] Potemkin, J.A. und J.L. Litwinow  
Die Wirkung der Phosphorverbindungen im Hochöfen bei  
von unterschiedlichen  
Stahl 19 (1957) Seite 457 - 458



- [72] Starschinow, B.N. u.a.  
Die Schlackenbildung bei der Verhüttung von selbstgängigem Sinter im Hochofen  
Stal 20 (1960) Seite 673 - 680
- [73] Feldmann, W., Stoecker, J. und W. Eilender  
Reduktionsversuche mit Eisenerzen und Sinter unmittelbar im Hochofen.  
Stahl u. Eisen 53 (1933) Seite 289 - 300
- [74] Hartmann, F.  
Physikalische und chemische Vorgänge beim Sintern von Eisenerzen  
Stahl u. Eisen 63 (1943) Seite 393 - 398
- [75] Luyken, W. und L. Kraeber  
Untersuchungen über die Saugzugsinterung von Eisenerzen  
Mitt. Kaiser-Wilhelm-Inst. 13 (1931) Seite 247 - 260
- [76] Drodowsky, M.  
Einfluß der Beschickungsverteilung auf den Gang und die Betriebsweise der Hochöfen im Eisenhüttenkombinat Stalin-  
stadt.  
Diplom-Arbeit am Eisenhütten-Institut Bergakademie Freiberg
- [77] Vibrac, J.  
Beitrag zur Untersuchung der Bedingungen für eine gute Materialverteilung im Hochofen.  
La Metallurgie et la Mecanique 9 (1953) Seite 685 - 693
- [78] Wolf, W.  
Hochofen-Betriebsergebnisse mit stark verringerter Ofen-  
füllung mit feinkörnigem Möller  
Stahl u. Eisen 71 (1951) Seite 922 - 925
- [79] Drodowsky, M.  
Bestimmung des Schüttwinkels von Eisenerzen, Koks und Zu-  
schlagstoffen, sowie beliebigen Gemischen daraus in einem  
offenen runden Gefäß in Abhängigkeit von dessen Durchmesser  
Studienarbeit am Eisenhütten-Institut der Bergakademie  
Freiberg
- [80] Oelsen, W. und H. Maetz  
Beiträge zur Kenntnis der Reaktionen der Entschwefelung  
im Hochofen  
Arch. Eisenhüttenwes. 13 (1939/40) Seite 465 - 474







- [81] Oelsen, W. und H. Maetz  
Entschwefelung des Roheisens über gasförmiges SiS  
Arch.Eisenhüttenwes. 20 (1949) Seite 53 - 58
- [82] Oelsen, W. und H. Maetz  
Untersuchung des FeS mit Oxyden, Karbonaten, Silikaten  
und Phosphaten  
Mitt.Kaiser-Wilhelm-Inst. 21 (1939) Seite 339 - 351
- [83] Oelsen, W.  
Physikalisch - chemische Grundlagen der Verfahren der  
Eisen - und Stahlerzeugung  
Stahl u.Eisen 68 (1948) Seite 175 - 186
- [84] Weilandt, B., Maetz, H. und W. Oelsen  
Die Wirkung bas.Oxyde bei der Entschwefelung im Hochofen  
Arch.Eisenhüttenwes. 23 (1952) Seite 163 - 172
- [85] Bannijch, A.M. und A.G. Njejasow  
Der Einfluß der Reduzierbarkeit des selbstgängigen Sinters  
auf den Hochofenbetrieb  
Stal 15 (1955) Seite 963 - 968
- [86] Gontscharow, B.F.  
Entschwefelung des Roheisens im Hochofen  
Stal 20 (1960) Seite 204 - 207
- [87] Mahan, J.S.  
Experience With Self-Fluxing Sinter of the Steel Company  
of Canada, Limited  
Blast Furn.Steel Plant 47 (1959) Seite 695 - 705
- [88] Taylor, J. und J.J. Stobo  
The Sulphur Distribution Reaktion between Blast-Furnace  
Slag and Metal  
J.Iron Steel Inst. Vol.178 (1954) Seite 360 - 367
- [89] Rammler, E.  
Das Braunkohlenarchiv  
Heft 58 (1951) Seite 27 - 30
- [90] Goldman, K.M., Derge, G. und W.O. Philbrook  
Effekt of Si, Mn, P, Al, C, Ni and Cu on the Mechanism  
of Sulphur Transfer Across a Slag - Metal - Interface  
J.Metals 6 (1954) Seite 534 - 540
- [91] Zusammenfassender Bericht über die Arbeiten der Forschungs-  
gemeinschaft "Eisen in der Lausitz".  
Bericht der Gruppe I. Vertrauliche Dienstsache Nr.11/62



- [81] Göttsch, W. and H. Koster  
 Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 20 (1907) Seite 25 - 33
- [82] Göttsch, W. and H. Koster  
 Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 21 (1908) Seite 33 - 37
- [83] Göttsch, W.  
 Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 22 (1909) Seite 17 - 22
- [84] Göttsch, W., Koster, H. and H. Göttsch  
 Die Wirkung des Oxyds bei der arch. Eisenbestimmung in  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 23 (1910) Seite 123 - 133
- [85] Göttsch, W. and H. Göttsch  
 Die Wirkung des Oxyds bei der arch. Eisenbestimmung in  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 24 (1911) Seite 123 - 133
- [86] Göttsch, W.  
 Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 25 (1912) Seite 23 - 27
- [87] Göttsch, W.  
 Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die  
 arch. Eisenbestimmung. Z. anorg. Chem. 26 (1913) Seite 23 - 27
- [88] Taylor, J. and J. W. Taylor  
 The alpha radiation spectrum between alpha and beta  
 rays. Phys. Rev. 12 (1917) Seite 20 - 27
- [89] Taylor, J.  
 The alpha radiation spectrum between alpha and beta  
 rays. Phys. Rev. 13 (1918) Seite 20 - 27
- [90] Taylor, J. and J. W. Taylor  
 The alpha radiation spectrum between alpha and beta  
 rays. Phys. Rev. 14 (1919) Seite 20 - 27
- [91] Taylor, J.  
 The alpha radiation spectrum between alpha and beta  
 rays. Phys. Rev. 15 (1920) Seite 20 - 27



[92] Richter, K.-H.

Die Bedeutung der Industrierückstände der Niederlausitz  
als Rohstoffbasis für die Roheisenerzeugung

Neueste Technik auf dem Gebiet der Roheisenerzeugung  
II.Vortragsreihe, Seite 94 - 103

[93] Zimmer, W.

Ein Beitrag zur metallurgischen Beurteilung von Eisenerzen  
Neue Hütte 3 (1958) Seite 233 - 235

[94] Wenzel, W. und R.Ebert

Herstellung und Einsatzmöglichkeiten von Pellets aus  
Braunkohlenfilterstoffen

Neue Hütte 6 (1961) 7, Seite 439 - 441

[95] Jacob, G.

Wärmehaushalt des Niederschachtofens beim gegenwärtigen  
Stand des Verfahrens in der DDR.

Neue Hütte 4 (1959) Seite 75 - 84



[92] Klotz, E.-E.

Die Bedeutung der Industriehygiene der Arbeiter  
als Gesundheitsfaktor bei der Arbeit  
Kern der Technik auf dem Gebiet der Arbeitshygiene  
II. Vorträge, Seite 7 - 10

[93] Klotz, E.

Die Bedeutung der industriehygienischen Arbeitshygiene  
für die Gesundheit der Arbeiter  
Seite 10 - 15 (1922) Seite 10 - 15

[94] Klotz, E. und E. Klotz

Die Bedeutung der industriehygienischen Arbeitshygiene  
für die Gesundheit der Arbeiter  
Seite 15 - 20 (1921) Seite 15 - 20

[95] Klotz, E.

Die Bedeutung der industriehygienischen Arbeitshygiene  
für die Gesundheit der Arbeiter  
Seite 20 - 25 (1920) Seite 20 - 25











✓



6  
7

