

Diplomarbeit

„Online – FeO – Messung und Koksregulierung des Sinterprozesses“



erstellt für

voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG

Vorgelegt von:

Manuel Leitner

Matrikelnummer: 9211363

Betreuer/Gutachter:

Dr. Arno Habermann

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. mont. Werner Kepplinger

Leoben, September 2005

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Leoben Juni 2006

Manuel Leitner

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen die mich bei meinem Studium und bei dieser Diplomarbeit unterstützt haben bedanken.

Insbesondere an meine Eltern, geht ein herzliches Dankeschön, da sie mich immer unterstützt haben und immer hinter mir gestanden sind, auch wenn es sicher nicht immer leicht war, und mir dadurch dieses Studium erst ermöglicht haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. Arno Habermann von der voestalpine Donawitz für die sehr kompetente Betreuung, ausgezeichnete Unterstützung und persönliches Interesse, wodurch ich einen tiefen Einblick in den Prozess des Sintern erhalten habe.

Weiters möchte ich mich besonders für die gute Zusammenarbeit bei den Herrn Albert Kionka und Kurt Burghard bedanken, die immer für mich Zeit hatten und mich bei allen Vorhaben unterstützten.

Weiters ein Dank auch an DI. Dr. Johann Zirngast, der es mir ermöglichte und auch erlaubte an „seiner“ Sinteranlage herum zu experimentieren

Mein Dank gilt auch o. Univ. Prof. DI. Dr. mont. Werner Kepplinger für die Betreuung und Ermöglichung dieser sehr interessanten Diplomarbeit, sowie an unser Institutssekretariat für die immer freundliche Bearbeitung unserer nicht immer leichten Anliegen.

Persönlicher Dank sei an dieser Stelle auch an alle Freunde und Kollegen gerichtet, die mich auf diesem doch beträchtlichen Weg des Studiums begleitet und unterstützt haben, besonders an meine Sekretärin Toni und an Michi und Ali, mit denen ich nicht nur das Studium genossen habe.

Kurzfassung

Online – FeO – Messung und Koksregulierung des Sinterprozesses

Durch die im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgten Versuche und Untersuchungen soll das mögliche Kokseinsparungspotential bei der Sintererzeugung eruiert werden. Dazu verwendete man eine Online Messmethode am laufenden Sinterförderband, die so genannte „Ramsey Coil“.

Bei Projektstart musste die Spule vorerst einmal mit den Analyseergebnissen des Labors abgestimmt werden. Dieser Vorgang war vor allem nötig, damit die Ausgangswerte der Spule, welche in mA ausgegeben werden, direkt in % FeO angezeigt werden konnten. Diese Werte wurden dann gefiltert und gedämpft und in der Sinteranlagenwarte zur Anzeige gebracht. Um die Aussagekraft dieser FeO – Anzeige zu verifizieren, wurde diese über einen längeren Zeitraum beobachtet und immer wieder mit den Laboranalysen verglichen.

Ab dem Zeitpunkt, als die Konformität der beiden Analysen gewährleistet war, wurde über dieses System die Kokszufuhr versuchsweise reguliert.

Als weiterer Schritt wurde auf der Basis eines FeO – Trend - Berechnungsmodells eine Programmoberfläche realisiert, welche den Anlagenarbeiter einen Vorschlag für die einzustellende Koksmenge liefert.

Die Komplexität der Sintererzeugung trat dabei immer wieder in den Vordergrund, was eine Vielzahl an Messungen und deren Auswertungen zufolge hatte.

Nach einem 6 monatigen Probetrieb konnte ein deutlicher Rückgang des Kokseinsatzes festgestellt werden.

Abstract

Online FeO-Measurement and Coke Regulation of the Sinter Process

This thesis evaluates the potential for coke reduction during the sinter production through the use of experiments. To accomplish this, an online measurement method is applied to the moving sinter conveyor belt called the "Ramsey Coil".

The coil was calibrated with the results from laboratory analyses at project start. This process was required as initial step to directly convert the output results of the coil, normally reported in [mA] into [%FeO]. Results were subsequently processed (filtered & dampened) and displayed in the sinter-plant's control room. To verify the displayed FeO values, they were repeatedly compared over a long time period with the results from laboratory analyses.

After the verification process was complete and the values of the display were compliant to laboratory analysis, a trial stage was established which regulated the coke supply using the proposed system.

Furthermore, based on the FeO-trend, a user interface was developed which serves as a guide for the on-site staff to estimate the quantity of coke.

The complexity of the sinter production process required numerous measurements and analyses steps during the process.

After a six-month test period, a considerable reduction of coke requirements has been observed.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Zielsetzung	3
2 GRUNDLAGEN SINTERN	4
2.1 Allgemeines	4
2.2 Geschichtliche Entwicklung	4
2.3 Aufgaben des Sinterverfahrens.....	7
2.4 Sintervorgang.....	10
2.5 Anlagenteile einer Sinteranlage	15
2.6 Sintertmischungszusammensetzung	16
3 AUTOMATISIERUNG DES SINTERPROZESSES [7]	17
3.1 Regelungen von Sinteranlagen.....	17
3.1.1 Klassisches Regelungskonzept mittels des Durchbrennpunktes	17
3.1.2 Modellbasiertes Regelungskonzept.....	18
3.1.3 Messrostwagen	21
3.1.4 Koksverbrauch [9].....	22
3.1.5 Mischgutaufgaberegulung:	23
3.1.6 Expertensystem der voestalpine AG	23
3.2 Die Durchbrennpunktregelung beim Sinterprozess.....	24
3.2.1 Temperatur-Durchbrennpunkt	25
3.2.1.1 Polynomfunktion	25
3.2.1.2 Korrelation Temperatur - Durchbrennpunkt.....	27
3.2.1.3 Korrelation Temperaturanstiegspunkt - Durchbrennpunkt.....	28
3.2.2 Modell-Durchbrennpunkt	28
3.2.2.1 Einleitung.....	28
3.2.2.2 Modellkonzept:	30
3.2.2.3 Einflussgrößen.....	31
3.2.2.4 Messdatenvorbehandlung und Modelladaptierung.....	32

3.2.2.5	Modellevaluierung	33
3.2.2.6	Zusammenfassung	35
3.3	Einsatz von Fuzzy - Reglern bei Sinteranlagen [8]	35
3.3.1	Der Sinterprozess auf Basis konventioneller Regelungstechnik	36
3.3.2	Lösungsvorschlag mit Fuzzy Control.....	37
3.3.3	Beschreibung der Versuche.....	37
3.3.4	Schlussfolgerungen.....	40
4	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	41
4.1	Systembeschreibung Ramsey Coil:	41
4.1.1	Funktionsweise:.....	41
4.1.2	Vergleich mit anderen Messmethoden	43
4.2	Kalibrierung des Systems	43
4.2.1	Nasschemische Analyse - XRD Kanal :	45
4.2.2	Kalibrierung der Spule.....	48
4.2.2.1	Ergebnis:	50
4.2.3	Schwankungen des Systems	51
4.2.3.1	Rostbelagbunker	51
4.2.3.2	Unterschiedliche Mischungen.....	54
4.3	Wartung der Spule	55
4.4	Folgerung.....	55
4.5	Erarbeiten einer Regelung für die Kokszufuhr	56
4.6	Darstellung des Rückgutanteiles.....	59
5	ERGEBNISSE / DISKUSSION	61
6	ZUSAMMENFASSUNG	74
7	VERZEICHNISSE	76
7.1	Literatur.....	76
7.2	Tabellen	76
7.3	Abbildungen	77
ANHANG		I
Benutzungsanleitung FeO- Messung und Koksregelung		I

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Einführend ist der Einfluss des Koksgehaltes auf den FeO – Gehalt von Fertigsinter und die Auswirkungen auf die Eigenschaften des Sinters zu beschreiben.

Die Methoden zur Regelung des Kokseinsatzes einer Sinteranlage sollen diskutiert werden, wobei besonderes Interesse an geschlossenen Regelkreisen besteht. Weiters ist in der Literatur nach Messtechniken zur Online – Analyse von FeO bei Sinteranlagen und der Verknüpfung dieser Messungen mit der Koksregelung zu suchen

Nach Inbetriebnahme der Online FeO – Messung mit dem Ramsey – Coil ist die Kalibrierung der Messung und elektronische Verarbeitung der Messergebnisse durchzuführen.

In Betriebsversuchen soll aufgrund des gemessenen FeO – Gehaltes des Sinters eine händische Anpassung der Koksmenge getestet werden. Ausgehend von diesen Ergebnissen ist ein Regelkreis für den FeO – Gehalt im Sinter zu entwerfen, in dem der Koksverbrauch die Stellgröße darstellt.

Der Einfluss von Änderungen der Sinter - Einsatzmischung auf Messergebnisse und Regelverhalten ist zu untersuchen.

Die verschiedenen Methoden zur Messung des Fe – Gehaltes von Sinter (Nasschemie, RFA – Analyse und Online Messung mit dem Ramsey – Coil) sind zu vergleichen.

Auswertung der Betriebsergebnisse der Sinteranlage für Zeiträume mit und ohne Einsatz der FeO – Regelung: Insbesondere ist die Auswirkung auf Rückgutanteil, Koksverbrauch, Durchgasbarkeit, Produktivität und Qualität (Korngröße) des erzeugten Sinters zu untersuchen.

2 Grundlagen Sintern

2.1 Allgemeines

Unter Sintern versteht man das Zusammenbacken von Schüttungen staubförmiger bis feinkörniger Stoffe unter Bedingungen, bei denen ein Schmelzen noch nicht stattfindet oder eine gleichzeitige Verflüssigung der gesamten Schüttung verhindert wird, weil die Erhitzung auf Schmelztemperatur nur kurzzeitig erfolgt. Für die Verfestigung der Teilchen sind Diffusionsvorgänge in festen Phasen und oder Aneinanderschweißen von Teilchen durch oberflächliche Erweichung, teilweises Schmelzen und Schlackenbildung verantwortlich. Das Zusammenwachsen von Pulverschüttungen zu Formkörpern in der Metallkeramik wird durch Festkörperdiffusion bewirkt. Dieser Vorgang wird deshalb auch Trockensintern genannt. Bei der hier beschriebene Stückigmachung feinkörniger Erze und Konzentrate durch Sintern in der Hüttenindustrie hat die Diffusionsbindung dagegen nur eine untergeordnete Bedeutung. Die Verfestigung findet hier vorwiegend durch die Bildung flüssiger Phasen statt. Man spricht aus diesem Grund von Schmelzsintern. Die Reaktionswärme wird, abgesehen von Sonderverfahren, durch Verbrennung von Kohlenstoff oder Schwefel in einem von Luft durchströmten Schüttbett erzeugt, so dass dieses Verfahren auch als oxidierendes Sintern bezeichnet worden ist. Bei der Pelletsherstellung werden im Unterschied zum Sintern Kugeln einheitlicher Größe (Pellets) aus fein aufgemahlene Erzen oder Konzentrate durch einen Abrollvorgang erzeugt und durch heiße Verbrennungsgase gehärtet. Die Verfestigung der Pellets erfolgt durch Kornwachstum, Kristallumwandlung und Bildung von Schlackenbrücken. Da diese Vorgänge zu den Sinterreaktionen zählen, werden Pellets gelegentlich Kugelsinter genannt. Der Ausdruck Sintern würde die Pelletshärtung sogar besser kennzeichnen als das größtenteils durch Schmelzen bewirkte Zusammenbacken der Erzteilchen beim Sinterverfahren.

2.2 Geschichtliche Entwicklung

1897 wurde T. Huntington und F. Heberlein ein Patent über ein Röstreaktionsverfahren für schwefelhaltige Bleierze erteilt, das die Sinterung zum ersten Mal beschreibt. Der Prozess wurde als Verblaseverfahren bezeichnet und diskontinuierlich durchgeführt. Als Sinterapparat wurden mit Sintertopf oder Konverter bezeichnete Gefäße verwendet, deren Boden als Rost ausgebildet war. Der Rost wurde vor Beginn des Arbeitsganges mit Holzkohle beschickt. Nach Zündung der Holzkohle wurde die zu sinternde brennstoffhaltige Mischung von Hand auf die glühende Kohle geschaufelt und der Verbrennungsvorgang durch Hindurchblasen von Luft in Gang gehalten bis das aufgegebenes Erz gesintert war. Die Entleerung erfolgte durch Kippen. Das Arbeiten an diesen Töpfen oder Convertern war

sehr unangenehm, da die Bedienungsmannschaft durch Staubanfall und ausströmende Verbrennungsgase stark belastet wurde.

W. Job schlug um die Jahrhundertwende vor, Kiesabbrände und feinkörnige Eisenerze unter Zusatz von Kohle als Brennstoff durch das Verblaseverfahren zu verarbeiten. Der von ihm entwickelte Kippofen wurde 1902 patentiert, so dass W. Job als Erfinder des Eisenerzsinterns zu betrachten wäre. Der erste Jobsche Kippofen wurde 1904 bei der Firma Cockerill in Lüttich zum Sintern von Gichtstaub betrieben.

E.J. Savelsberg verwendete 1905 erstmalig die Huntington-Heberlein-Töpfe zum Sintern von Eisenerzen.

Über die Patente von Huntington-Heberlein, Job und Savelsberg verfügte die Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.G., Frankfurt/Main, deren Technische Abteilung sich dem Bau dieser Anlagen widmete.

Da das Huntington-Heberlein-Verfahren den Bleihütten eine wesentliche Herabsetzung der Herstellungskosten ermöglichte, wurde es in den ersten beiden Jahrzehnten dieses Jahrhunderts auf nahezu allen Bleihütten der Welt eingeführt. Zum Sintern von Kiesabbränden und Kreislaufstoffen waren bis 1912 in Europa 15 Huntington-Heberlein-Anlagen in Betrieb, z. B. in den Werken Niederrheinische Hütte in Duisburg, Kraft in Stettin, Friedens- und Donnersmarkhütte in Oberschlesien sowie im Hochofenwerk Lübeck.

A.S. Dwight und R.L. Lloyd hatten inzwischen vorgeschlagen, die Sinterung im Saugzug durchzuführen. Sie entwickelten außerdem das kontinuierlich arbeitende Rostwagenband, das als Dwight-Lloyd-Apparat bekannt wurde. Baron von Schlippenbach meldete 1909 eine runde Maschine zur kontinuierlichen Bleiersinterung zum Patent an.

Die Dwight-Lloyd-Bänder wurden von den amerikanischen Gesellschaften Dwight-Lloyd und Ore Reclamation vertrieben. Da die Metallbank und die Metallurgische Gesellschaft A.G. durch die erwähnten Patente von Job und Savelsberg auch in den Vereinigten Staaten Rechte für die Eisenersinterung besaß, erwarb die Gesellschaft Ore Reclamation 1911 von ihr eine Lizenz. Der Metallurgischen Gesellschaft wurde dagegen zugestanden, den Dwight-Lloyd-Apparat zu verwenden und zu vertreiben.

Das erste Dwight-Lloyd-Band in einem Eisenhüttenwerk wurde 1911 in USA bei der Brooke Iron Co. in Birdboro, Pa. errichtet. In Deutschland wurde die erste Anlage 1914 beim Bochumer Verein in Betrieb genommen.

Auch chargenweiser Betrieb fand Verbreitung in der Eisenindustrie, nachdem J.E. Greenawalt 1912 den Einsatz von Pfannen vorgeschlagen hatte, bei denen im Saugzug gearbeitet wurde. Das Drehrohrofenverfahren wurde 1904 zum ersten Mal angewendet.

In den 20er Jahren wurden weitere Sinteranlagen errichtet. Zu dieser Zeit wurden bereits Erze verarbeitet, und zwar sowohl auf Sinterbändern als auch auf Pfannen und in Drehrohranlagen. Inzwischen waren zwei verschiedene Pfannenanlagen entwickelt worden: Bauart Greenawalt (Anlagen nach Torulf). Bei der letztgenannten

Ausführungsform werden die Pfannen nach Beendigung der Sinterung von einem Kran abgehoben und in einer gemeinsamen Abwurfstelle entleert. Der Betrieb dieser Anlage kann deshalb als halbkontinuierlich bezeichnet werden.

In den 30er Jahren setzte sich das Sinterverfahren weiter durch. In Deutschland wurden die ersten größeren Anlagen gebaut. Die Maschinengröße wurde in dieser Zeit bei Bandbreiten bis zu 2,5 m bis auf 75 m² Saugfläche vergrößert.

Nach 1945 wurde die Eisenerzsintererzeugung der Welt zunächst langsam, später jedoch rascher gesteigert. (Abbildung 2-1).

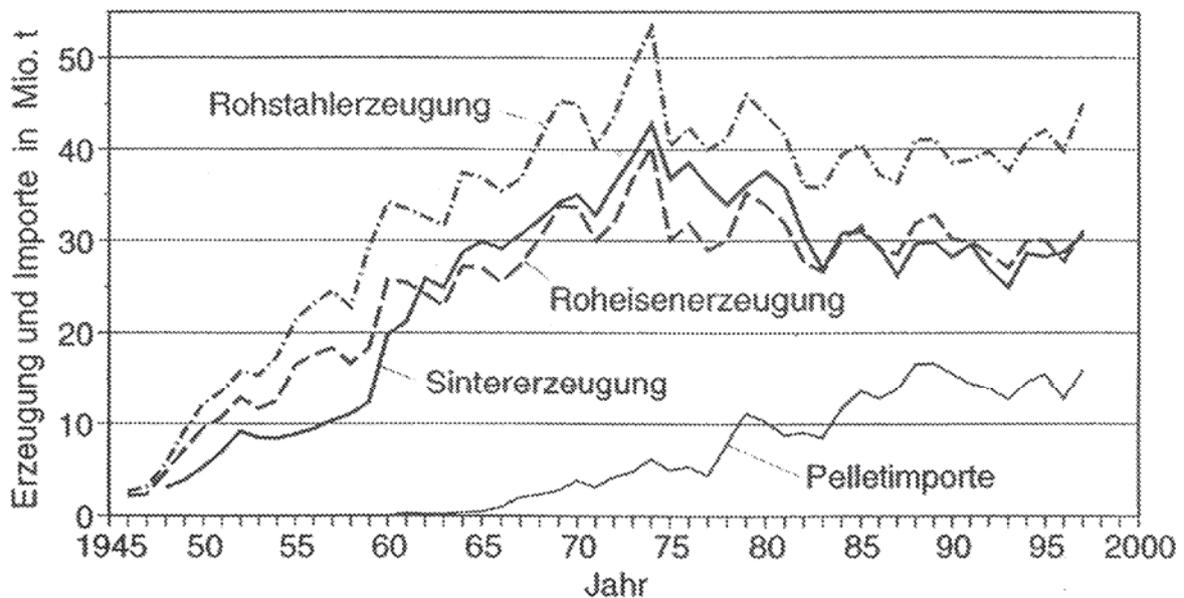


Abbildung 2-1: Entwicklung der Sinter, Roheisen, Rohstahlerzeugung in Deutschland

2.3 Aufgaben des Sinterverfahrens

Sintern ist oxidierendes Rösten verbunden mit oberflächlichem Anschmelzen von Körnern unter Temperatureinfluss.

Notwendig, weil:

- die in der Aufbereitung anfallenden Feinerze vor dem Einsatz in den Hochofen stückig gemacht werden müssen.
- Abtrennung unerwünschter Begleitelemente und -verbindungen (S zu 90-99%; As bis zu 70%; Pb bis 30%; Alkalien bis 25%; Großteil des Zn, H₂O und CO₂)
- Überführung des Fe in die höchste (am leichtesten reduzierbare) Oxidationsstufe Fe₂O₃. Sehr dichtes magnetitisches Erz wird gebrochen und dann wieder gesintert, nur um bessere Reduzierbarkeit zu erreichen.

Von den Einsatzstoffen des Hochofens werden neben Gleichmäßigkeit vor allem Feinkornfreiheit, enges Kornband und ausreichende mechanische Festigkeit verlangt, um eine gute Durchgasung der Möllersäule zu gewährleisten. Von den Eisenträgern werden weiterhin gute Reduzierbarkeit und hoher Eisengehalt erwartet, um im Hochofen einen niedrigen Koksverbrauch zu erzielen.

Diese Anforderungen können nur durch eine entsprechende Vorbereitung der Eisenträger erfüllt werden. Mineralogisch einfache eisenarme Erze werden aufbereitet. Unmittelbar verhüttbare eisenreiche Roherze werden durch Zerkleinern und Sieben in ihrem Korngrößenbereich eingengt. Die durch Aufbereitung gewonnenen feinkörnigen Konzentrate sowie der natürliche und beim Brechen entstehende Feinanteil der Erze werden durch Sintern oder Pelletieren stückig gemacht. Erze mit höheren Gehalten an Feuchtigkeit, Hydratwasser und Kohlensäure werden oft insgesamt zerkleinert und gesintert, um eine Anreicherung des Eisengehaltes durch Entfernung der flüchtigen Bestandteile zu erzielen. Erze, die schwer reduzierbar sind oder während der Reduktion zu Zerfall oder Volumszunahme neigen, können durch Sintern oder Pelletieren in gut reduzierbare und standfeste Möllerstoffe umgewandelt werden. In selteneren Fällen wird ein Erz auch deshalb gesintert, um ein unerwünschtes Begleitelement, wie beispielsweise Schwefel, auszutreiben. Im Hüttenwerk anfallende Nebenstoffe, wie Gichtstaub, Walzzunder oder Stahlwerksstäube, können beim Sinterverfahren wieder eingesetzt und somit wieder nutzbar gemacht werden. Für die Schlackenverflüssigung erforderliche Zuschlagstoffe werden den stückig zu machenden Stoffen zugegeben, um Feuchtigkeit und Anteile, die beim Glühen verloren gehen, vor der Aufgabe in den Hochofen zu entfernen, die Zahl der Möllerkomponenten zu verringern und die Eigenschaften der Agglomerate zu verbessern.

Anreicherung des Fe-Gehaltes eines Erzes durch Sintern:

Die Bedeutung des Sinterns als Verfahren zur Anreicherung des Eisengehaltes eines Erzes durch Austreibung von Feuchtigkeit und Glühverlust veranschaulicht Abbildung 2-2, in dem die Mengen an zu reduzierenden Metallen, abzubauenem Sauerstoff, Schlacken sowie Feuchtigkeit, Hydratwasser und Kohlensäure für verschiedene Erze in Abhängigkeit vom Möllerausbringen aufgetragen wurden.

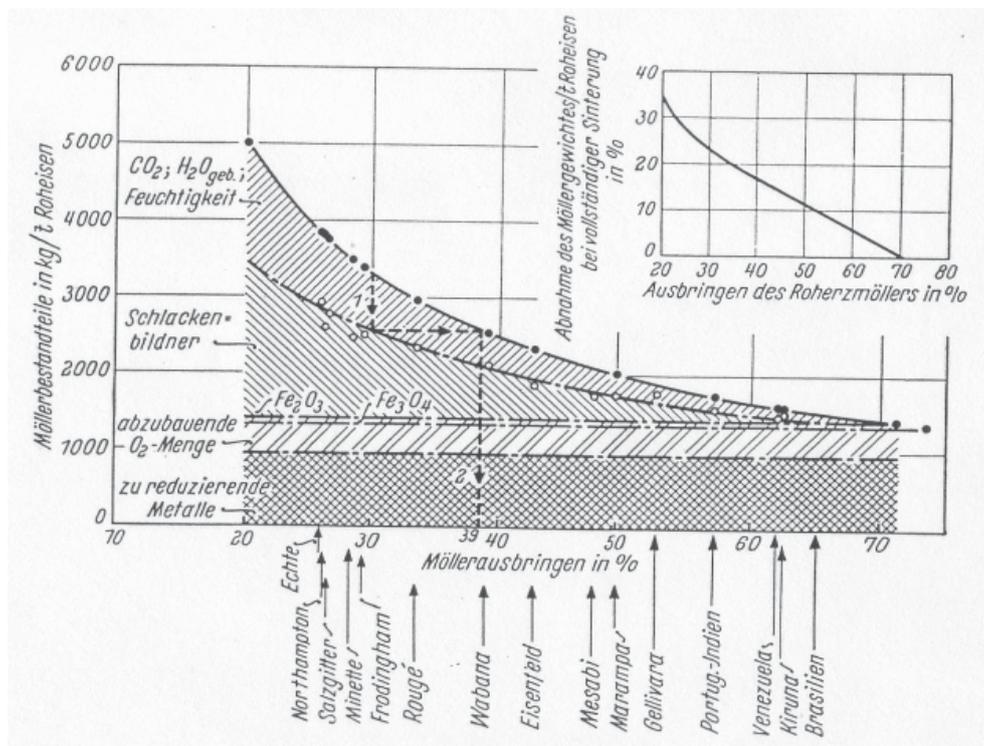


Abbildung 2-2: Aufbau verschiedener Erzmöller mit unterschiedlichem Ausbringen nach R. Mintrop

Das Bild zeigt, dass der Hochofenmüller bei niedrigem Ausbringen beachtliche Anteile an Feuchtigkeit und anderen Stoffen enthält, die durch das Glühen verloren gehen. Die durch Sintern erreichbare Erhöhung des Ausbringens kann unmittelbar abgelesen werden, wie am Beispiel der Pfeile 1 und 2 gezeigt wird.

Wärmeaufwand und Koksverbrauch sind in Abbildung 2-3 gegen Möllerausbringen und indirekte Reduktion aufgetragen. Das Bild zeigt, dass der Wärmeaufwand für die Schachtarbeit bei niedrigem Möllerausbringen beträchtlich ist. Der Koksverbrauch kann unter diesen Bedingungen durch Verlegung der Schachtarbeit außerhalb des Hochofens erheblich gesenkt werden, beispielsweise um 400 kg/t Roheisen bei 28% Ausbringen und gleich bleibender indirekter Reduktion.

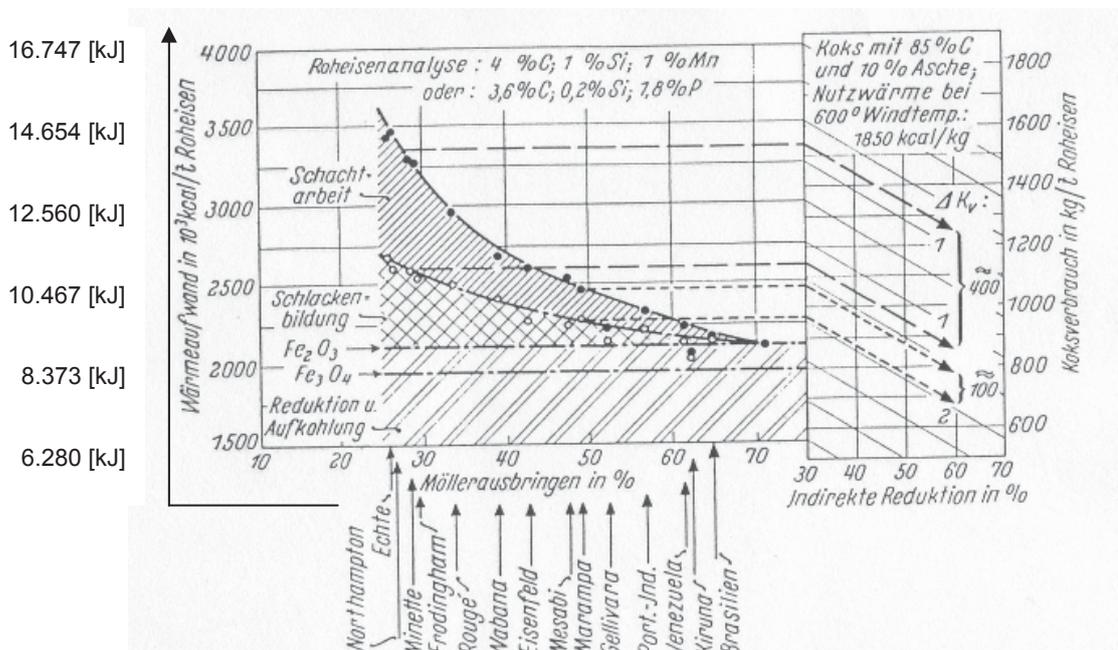


Abbildung 2-3: Wärmeaufwand und Koksverbrauch in Abhängigkeit von Möllerausbringen und indirekter Reduktion nach R. Mintrop

Die Umwandlung eisenarmer Erze zu Sinter in grubennahen Hüttenwerken war für die heute noch betriebenen Erzgruben, in denen wirtschaftlich nicht aufbereitbare Erze gewonnen werden, in den letzten Jahren Voraussetzung für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber preiswerten Fe-reichen Importerzen.

2.4 Sintervorgang

Folgende Abbildung 2-4 zeigt die Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz (inkl. einer 2-Schicht-Sinterung). Die Entstaubung erfolgt durch einen Elektro- und Tuchfilter.

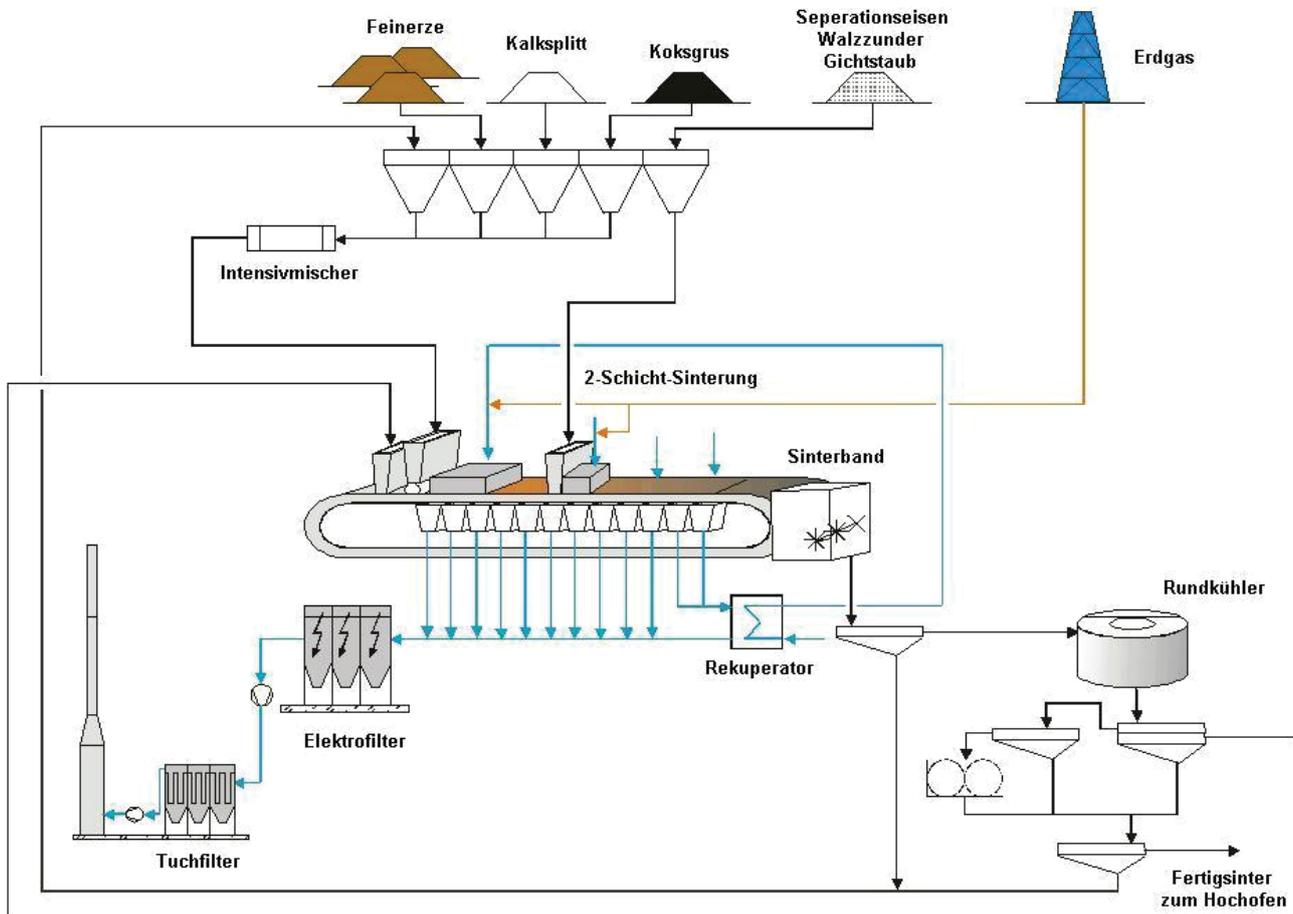


Abbildung 2-4 Fließbild der Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz GmbH

Vorgänge am Sinterband:

Nach oberflächlicher Zündung läuft eine Brandzone durch die Mischung, darüber bereits gesintertes Erz gibt Teil seiner Wärme an von oben durchgesaugte Luft ab (=Luftvorwärmung). Durch die heißen in der Brandzone erzeugten Abgase erfolgt Vorwärmung darunter liegender Zonen. Roststäbe aus hitzebeständigem Stahlguss einzeln im Rostwagen eingelegt.

Der Sinter fällt am Ende des Bandes in Form von Schollen vom Sinterband (Sinterabwurf) und wird durch Stachelbrecher zerkleinert.

Heißabsiebung: erforderlich, um nachfolgenden Kühler zu entlasten. Feinanteil = Rückgut

Sinterkühler: Kaltluft durchgedrückt; kann als vorgewärmte Luft für Brenner der Zündhaube verwendet werden.

Kaltabsiebung: liefert fertigen Sinter (auch für Rostbelag) und Rückgut

Staub: Der bei Reinigung der Abgase im Elektrofilter entsteht, geht wieder in das Mischgut.

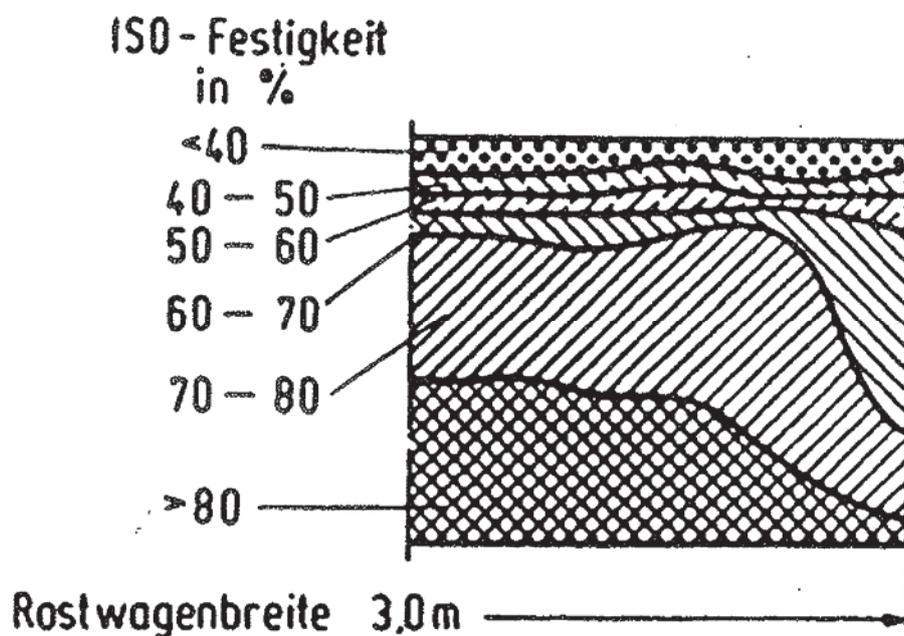
Die Korngröße des fertigen Sinters sollte nicht zu fein sein, sonst sinkt die Durchgasbarkeit im Hochofen (5 bis 50 mm)

> 50 mm: wird gebrochen und gesiebt

< 5 mm: Rückgut

Festigkeitsverteilung der Sinterschicht:

Die unterste Schicht hat die höchste Festigkeit, infolge der Luftvorwärmung durch bereits gesintertes Gut. Am Rand und in der obersten Schicht geringere Festigkeit, d.h. Rückgut vor allem aus diesen Bereichen.



Abbildung

2-5:

Festigkeitsverteilung

der

Sinterschicht

Anforderungen an den Sinter:

- Sturzfestigkeit
- Abriebfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Unempfindlichkeit gegen Zerfall in reduzierender Atmosphäre bei 400 - 600 °C
- gute Reduzierbarkeit (geringer FeO-Gehalt)
- hohe Erweichungstemperatur
- kleines Erweichungsintervall
- Korngröße 5 bis 50 mm

Beispiel für die Zusammensetzung und Eigenschaften von Sinter:

Tabelle 1: Sintereigenschaften

Konzentratanteil	kg/t	Versuchsreihe	
		A 106	B 320
Fe (gesamt)	%	58,1	58,6
Fe ²⁺	%	4,5	4,5
SiO ₂	%	5,0	4,9
Al ₂ O ₃	%	1,1	1,0
CaO	%	9,5	9,3
MgO	%	1,7	1,7
CaO/SiO ₂	–	1,9	1,9
Kornaufbau			
< 6,3 mm	%	4,3	3,9
< 10,0 mm	%	22,2	22,6
< 16,0 mm	%	38,1	39,3
< 31,5 mm	%	77,1	77,0
< 50,0 mm	%	95,4	95,3
Festigkeit > 6,3 mm	%	78,8	78,5
RDI < 2,83 mm	%	25,0	22,6

Abhängigkeit des Wärmeverbrauchs vom FeO-Gehalt:

Mit steigendem FeO-Gehalt steigt auch der Wärmeverbrauch da Eisen nicht voll aufoxidiert ist. Ein Richtwert dafür liegt ca. bei 1,5 GJ/t (Sinter). Das FeO ist unter anderem notwendig für Festigkeit im Sinter, jedoch über ca. 8% unerwünscht. Das würde zeigen, dass die höchste Oxidationsstufe nicht erreicht wurde (Fe_2O_3 am leichtesten reduzierbar).

Auswirkungen verschiedener MgO-Gehalte und MgO-Träger beim Sintern:

Mit steigendem MgO-Gehalt aus Dolomit nimmt der Energiebedarf zu (Spalten des Karbonates); Sinterleistung und Trommelfestigkeit sinken. Bei zunehmendem Ersatz von Dolomit durch Olivin (Magnesiumeisen-silikat), jedoch konstantem MgO-Gehalt, steigen die Trommelfestigkeit und die Sinterleistung, während der Wärmeverbrauch sinkt (keine CO_2 -Abspaltung erforderlich).

Bei der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs von 1970 bis 1995 (Abbildung 2-6) zeigt sich, dass eine Reihe von Verbesserungen zu einer deutlichen Senkung führten. Durch Einsatz von Branntkalk und Olivin entfallen die endothermen Reaktionen der Kalzinierung (Austreiben von CO_2). Durch die Warmluftückführung kann der physikalische Wärmeinhalt im Prozess genutzt werden.

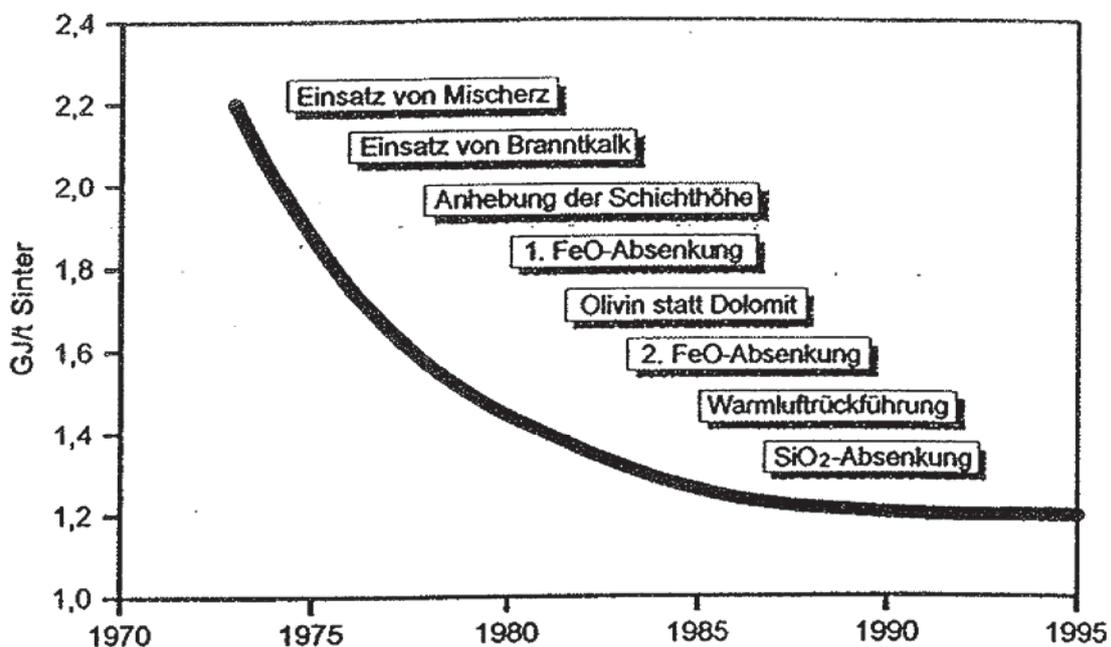


Abbildung 2-6: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs von 1970 bis 1995

Abbildung 2-7 zeigt das Funktionsschema, sowie die zugesetzten Einsatzstoffe der Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz GmbH

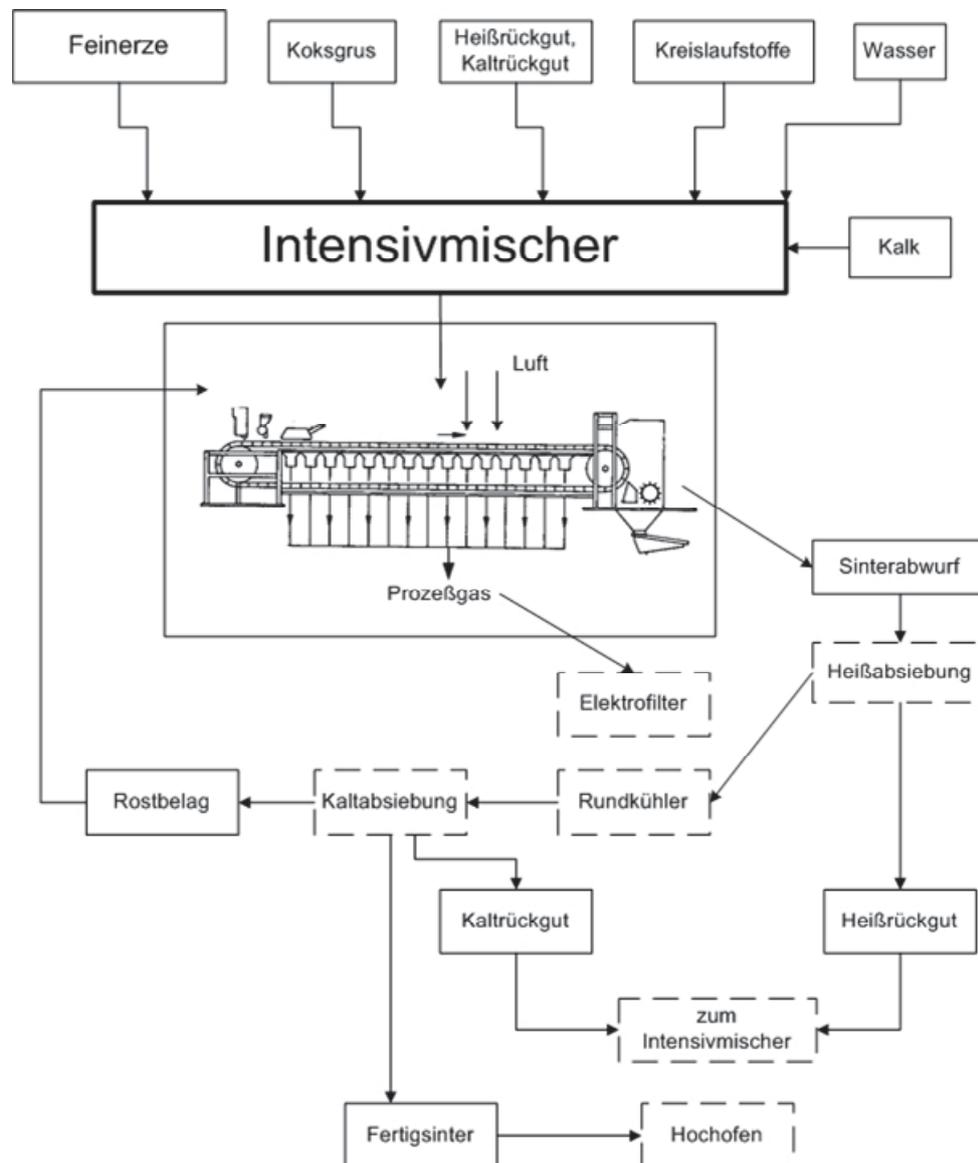


Abbildung 2-7: Funktionsschema der Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz GmbH

2.5 Anlagenteile einer Sinteranlage

Mischbetten

Um Ungleichmäßigkeiten und Unterschiede der einzelnen Erze auszugleichen; Grundmischung aus Erzen, Kreislauf- und Zuschlagstoffen, bisweilen auch Brennstoff hergestellt. Mischbetten werden zur besseren Homogenisierung stirnseitig angeschnitten und abgetragen.

Es werden zwei Arten von Mischbetten unterschieden:

1) First- oder Schleierhalde: (Chevronmethode)

einfach; nach oben hin geringere Schüttzeilendicke; teilweise Entmischung. Zeilendicke mit Zeilenzahl abnehmend

2) Reihen- oder Kleinzeilenschüttung: (Windrowmethode)

Genauere Steuerung erforderlich. Zeilendicke zwischen einem Maximum und Minimum schwankend

Bunker: (verschiedene) für das vom Mischbett kommende Gut

- Zuschläge
- Koksgrus
- Rückgut

Bandwaagen: um die aus den Bunkern entnommenen Stoffe im richtigen Verhältnis der Mischtrommel zuzuführen

Intensivmischer (statt Mischtrommel): innen mit Schaufeln bestückt

Mischgutbunker: das aus der Mischtrommel kommende Mischgut wird hier zwischengelagert, dient als Puffer

Rolltrommel: Wasserzusatz 2 - 5 %, damit krümelig (bessere Durchgasbarkeit) Feuchtigkeit mit Neutronenabsorption gemessen

Rostbelagbunker: Pufferspeicher für den Rostbelag der immer zwischen 70%-90% befüllt ist

Rostbelagaufgabe: Der Rostbelag wird aus dem. Rostbelagbunker 30 bis 50 mm dick auf die Roststäbe aufgetragen, möglichst gleichmäßig über die Sinterbandbreite. Sinter mit 6-25 mm Durchmesser (ca. 87% in diesem Bereich)

Aufgabetrommel: soll zusammen mit dem Rollbrett entmischungsarme und über die Sinterbandbreite gleichmäßige Aufgabe des aus der Rolltrommel kommenden Mischgutes mit einer Schütthöhe von bis zu 600 mm ermöglichen.

Zündhaube: Brenneranordnung entweder vertikal oder horizontal, zum Zünden des Brennstoffs in der Mischung, wobei sich die vertikalen Brenner mittlerweile durchgesetzt haben

Beruhigungshaube: damit nach dem Zündvorgang die Oberflächentemperatur nicht sofort wieder absinkt (sonst größerer Rückgutanteil)

2.6 Sintermischungszusammensetzung

Feinerze: von verschiedenen Lagerstätten (Korngröße: 0,1 bis 10 mm)

Brennstoff: Koksgrus, Anthrazit

Kreislaufstoffe: Gichtstaub, LD-Staub, Sinterstaub, Walzzunder

Zuschlagstoffe: meist Basenträger (CaCO_3 , $(\text{CaMg})\text{CO}_3$, CaO), weil die meisten Erze sowieso sauer sind => überselbstgängiger (überbasischer) Sinter.

Olivin ($2(\text{MgFe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) -> saurer/neutraler Sinter.

Rückgut: jener Anteil, der bei der Heiß- u. Kaltabsiebung anfällt.

3 Automatisierung des Sinterprozesses [7]

3.1 Regelungen von Sinteranlagen

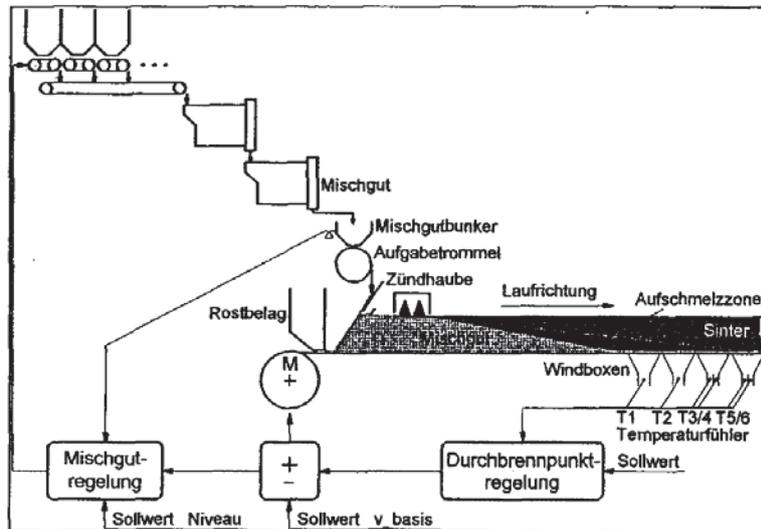


Abbildung 3-1: Schema einer Sinterprozessesregelung

3.1.1 Klassisches Regelungskonzept mittels des Durchbrennpunktes

Zur Regelung des Durchbrennpunktes mit Hilfe der Sinterbandgeschwindigkeit wird die Abweichung zwischen berechnetem und gewünschtem Durchbrennpunkt verwendet. Dieses Konzept entspricht dem Entwurf eines Regelkreises mit dem Durchbrennpunkt als Regelgröße und der Bandgeschwindigkeit als Stellgröße. Der Regler selbst ist ein entsprechend zu entwickelnder Algorithmus (PID, Fuzzy-Regler, etc.), dessen Parameter während einer Einstellphase direkt an der Anlage optimiert werden.

Die Verwendung des mit Hilfe der Korrelation der Saugkastentemperaturen berechneten Durchbrennpunktes bringt gegenüber der Polynomfunktion leichte Vorteile. Der Durchbrennpunkt wird nämlich für jenes Material, welches den für die Korrelation verwendeten Saugkasten passiert, berechnet. Erst einige Minuten später wird dieser Durchbrennpunkt tatsächlich erreicht. Damit ergibt sich ein für die Regelung des Durchbrennpunktes positiver Zeitgewinn.

Manche Regelungskonzepte verzichten sogar auf die Korrelation und die Berechnung des Durchbrennpunktes und verwenden anstatt dessen die Temperatur im Bereich des stärksten Temperaturanstieges oder den Temperaturanstiegspunkt als Regelgröße.

Andere Konzepte wiederum inkludieren auch oder nur die Abgastemperatur im Regelalgorithmus.

All diese Regelungskonzepte basieren auf den Saugkastentemperaturen und/oder der Abgastemperatur und verwenden keine weiteren Einflussgrößen des Sinterprozesses. Daraus werden die Nachteile dieser Methoden offensichtlich:

- Die Parameter-Einstellphase ist wegen fehlender Simulationsmöglichkeiten langwierig.
- Es treten immer wieder Situationen im Normalbetrieb auf, in denen die Stabilisierung des Durchbrennpunktes nicht gelingt und das Eingreifen eines Anlagenarbeiters notwendig wird.
- Eine Korrektur der Bandgeschwindigkeit beeinflusst nicht nur den Durchbrennpunkt, sondern den Sinterprozess entlang der gesamten Bandlänge, wodurch nachfolgende Störungen ausgelöst werden können.
- Die notwendige Korrektur der Bandgeschwindigkeit erfolgt zu spät.
- Simulationen zeigen, dass klassische Regler zwar ein brauchbares stationäres Verhalten, jedoch ein sehr schlechtes Übergangsverhalten haben.

3.1.2 Modellbasiertes Regelungskonzept

Die Anwendung des Prozessmodells reicht, vom Anzeigen des berechneten Durchbrennpunktes als Zusatzinformation für den Anlagenarbeiter bis hin zur Optimierung einer automatischen Geschwindigkeitssteuerung.

Der erste Schritt zum Entwurf einer modellbasierten Durchbrennpunkt-Regelung ist es, die aus dem evaluierten Modell gezogenen Erkenntnisse mit einfließen zu lassen. Im gegenständlichen Fall ist es hilfreich, das dynamische Verhalten des Sinterprozesses, sowie die Reaktion auf die genannten variierenden Einflussgrößen zu berücksichtigen. Weiters kann dann der entworfene Regelalgorithmus durch Einsatz des Modells simuliert werden.

Eine besondere Rolle spielt dabei die Sinterbandgeschwindigkeit, die als Steuergröße die momentane Lage des Durchbrennpunktes verändert und andererseits Einfluss auf das zukünftige Prozessverhalten hat, welches ohne Simulationsmodell nicht vorhersehbar ist.

Die im Regelalgorithmus einstellbaren Parameter können durch systematische numerische und visuelle Evaluierung verschiedener Störszenarien abgeschätzt werden. Der Einsatz formaler Optimierungsmethoden nach Definition eines geeigneten Gütekriteriums für das Regelverhalten ist ebenfalls nur mit Hilfe eines Modells möglich.

Das folgende Beispiel zeigt, dass bereits mit einem ganz einfachen Regelalgorithmus, welcher den Widerstand in geeigneter Weise berücksichtigt, bessere Ergebnisse erzielbar sind als mit klassischen Regelungen.

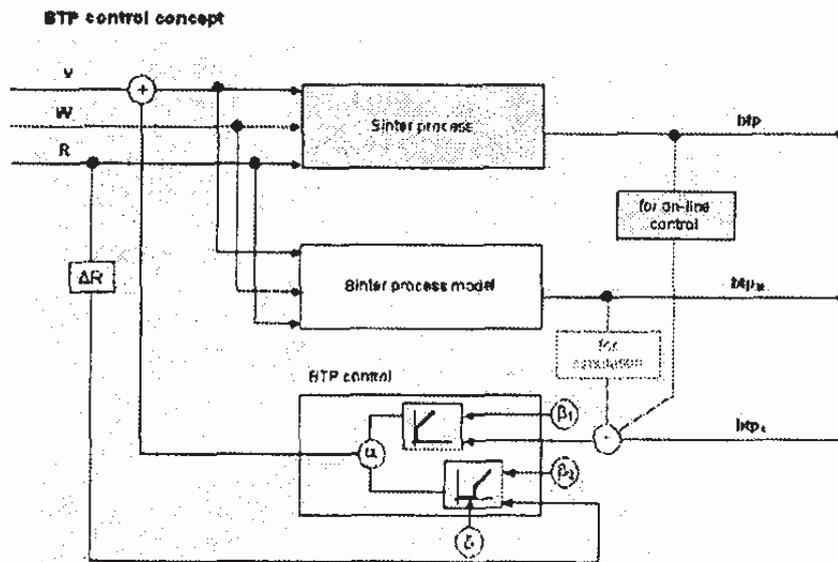


Abbildung 3-2: Regelungskonzept mit Einbindung des Widerstandes

Der hier abgebildete Regler ist eine mit dem Faktor a gewichtete Kombination aus zwei Komponenten, nämlich einer Komponente, welche die Abweichung des Durchbrennpunktes vom Sollwert beinhaltet, und einer zweiten Komponente, welche die zeitliche Änderung des Widerstandes enthält, die um den Wert S zeitverzögert zur Regelung übernommen wird.

Der Widerstand ist ab der Aufgabe das Materials auf das Sinterband bekannt und der daraus berechnete Anteil für die Sinterbandgeschwindigkeit (Steuergröße) beinhaltet damit eine frühzeitige Reaktionskomponente. Optimierungen zeigen, dass dieser Anteil erst zeitverzögert aktiviert werden sollte, um eine bestmögliche Regelung des Durchbrennpunktes zu erzielen. Mit Hilfe des Modells können die Regelungsparameter durch Simulation optimiert werden. Beim Test unterschiedlicher Störszenarien zeigt sich, dass der so optimierte Regler, welcher den Materialwiderstand als Information nutzt, dem klassischen Regler überlegen ist.

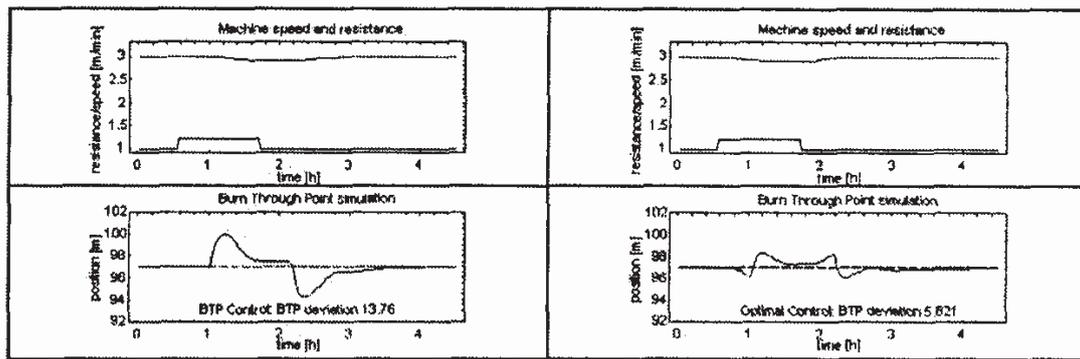


Abbildung 3-3: Vergleich zwischen klassischer- und modellbasierter Regelung

Die Abbildung zeigt das Regelverhalten zweier Regler bei einer 100 m Sintermaschine für den Fall einer pulsformigen Störung des Materialwiderstandes für die Dauer von zwei Durchläufen. Dem Vergleich entnimmt man, dass die durch die Störung verursachte Abweichung des Durchbrennpunktes vom Sollwert durch das modellbasierte Verfahren (rechts) wesentlich besser bewältigt werden kann als durch einen klassischen Regler (links).

Erkenntnisse:

Die Wahl von nur drei Einflussgrößen ist eine grobe Vereinfachung der beim Sinterprozess bekannten komplexen Wechselwirkungen. Insbesondere fehlt bei dem Modell der Einfluss des dem Sintermischgut zugegebenen Brennstoffes und Sinterrückgutes. Die Einbeziehung des Brennstoffes wäre eine nützliche Erweiterung des hier vorgestellten Modells.

Eine weitere Vereinfachung entsteht durch die Konzentration aller Materialeigenschaften auf den Materialwiderstand, welcher durch eine Reihe von Einflussgrößen, wie Feuchte, Kornverteilung, Temperatur, etc. bestimmt wird.

Das berechnete Ergebnis ist ausschließlich auf die Bewegung der Brennzonen und die Feststellung des Durchbrennpunktes ausgerichtet und gibt keine Auskunft über die inneren Zustände, sowie der physikalischen und chemischen Abläufe. Dadurch beinhaltet das Modell keine weiteren Erkenntnisse über den Sinterprozess. Zum Entwurf einer Regelung der Sinterbandgeschwindigkeit bietet das Modell jedoch eine wertvolle Simulationshilfe.

Die verwendeten Einflussgrößen werden aus bestehenden Messungen ermittelt und müssen entsprechend vorbehandelt werden. Die Einstellung der Modellparameter, sowie die Wahl und Vorbehandlung von Messdaten muss für jede Sinteranlage separat durchgeführt

werden. Die Sorgfalt bei Durchführung dieser Aufgabe bestimmt letztlich die Güte des Modells, sowie der darauf begründeten Regelung.

3.1.3 Messrostwagen [10]

Zur falschluffreien Messung von Prozessgastemperatur und Permeabilität direkt am Sinterband wird ein regulärer Rostwagen mit Messwertaufnehmern und kontinuierlicher Funk-Datenübertragung ausgerüstet. Die Messdaten waren konsistent mit den Betriebsmessungen, lieferten aber erheblich tiefere Einblicke in den Prozess. Insbesondere war erstmals die direkte Messung des Permeabilitätsprofils auf dem Sinterband möglich. Ein Simulationsmodell für die Lage des Durchbrennpunktes wurde genutzt, um eine Durchbrennpunkt-Regelung zu entwerfen. Diese konnte durch die Integration von Originalbetriebsdaten für die Sinteranlage der Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH (HKM) optimiert werden. Auf Basis des Modells wurde weiterhin eine optimierte Anfahrstrategie nach Stillständen entwickelt. Sowohl Regelung als auch Anfahrstrategie zeigten im betrieblichen Einsatz deutliche Verbesserungen von Produktion und Sinterqualität. Zur Optimierung der Qualitätsüberwachung wurde ein Quality Prediction Tool entwickelt, das die relevanten Qualitätsparameter in übersichtlicher Form anzeigt. Darüber hinaus wurden Vorhersagefunktionen für den Einfluss von Kokssatz, Schichthöhe und Feuchte integriert, die die Optimierung des Betriebspunktes ermöglichen

Die konventionelle Messtechnik an Sinteranlagen ist erprobt und bewährt. Trotzdem gibt es noch einiges an Verbesserungspotential. Um eine weitere Optimierung der Sinteranlagen zu ermöglichen, muss ein tieferer Einblick gewonnen werden, als die konventionellen Messtechniken bieten. Deren Messergebnisse sind häufig auf Grund großer Messflächen und langer Messintervalle ungenau oder werden durch eintretende Falschluff verfälscht. Wichtige betriebliche Größen wie das Permeabilitätsprofil der Sinterschüttung auf dem Band können bisher überhaupt nicht betrieblich gemessen werden.

Auch im Hinblick auf die Regelung bzw. Steuerung des Prozesses gibt es noch deutliches Verbesserungspotential. So werden Bandgeschwindigkeit und Durchbrennpunkt in vielen Anlagen noch manuell oder nur auf Basis von einfachen Modellen geregelt. Beim Start des Sinterbandes nach Stillständen dauert es häufig weit über eine Stunde, bis die Anlage wieder im optimalen Betriebsbereich läuft, sodass hohe Einbußen bei Leistung und Sinterqualität entstehen. Die Qualitätsführung des Sinterprozesses wird in den meisten Fällen manuell vorgenommen, obwohl dies auf Grund der vielen totzeitbehafteten Ein- und Ausgangsparameter einen hohen Aufwand bedingt. Besonders in diesen Bereichen ist also eine gezielte Unterstützung des Bedienpersonals und erweiterte, verbesserte Regelung erforderlich. So kann nicht nur das Betriebspersonal entlastet werden, sondern auch eine

Homogenisierung des Prozesses und eine Optimierung des Betriebspunktes erreicht werden, die sich in Form von Leistungs- und Qualitätsgewinnen bezahlt machen.

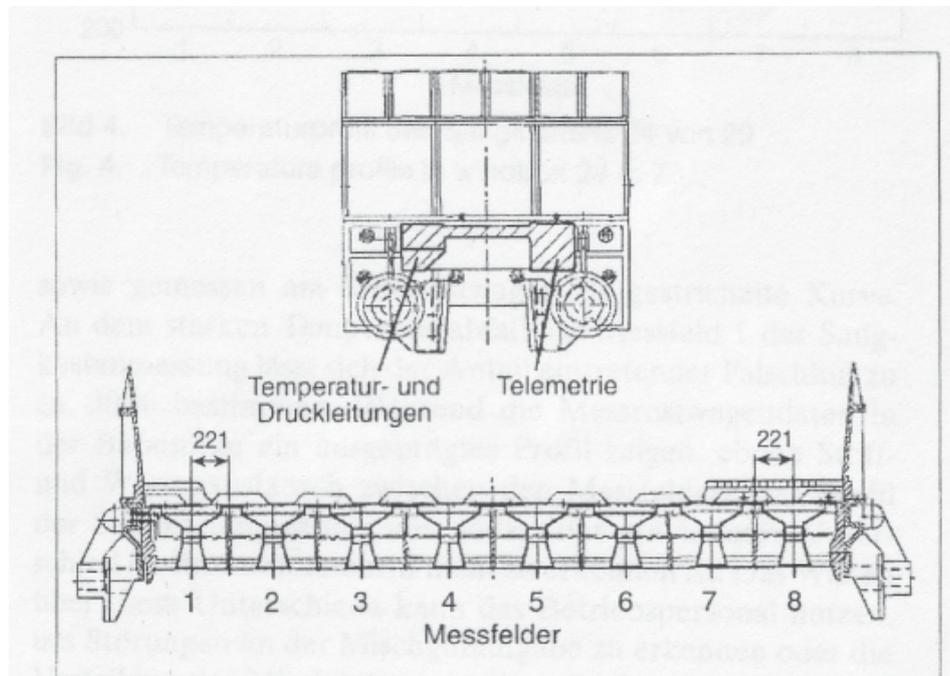


Abbildung 3-4: Technischer Aufbau eines Messrostwagens

Mit dem Ziel einer prozessnahen und falschluffreien Permeabilitäts- und Prozessgastemperaturmessung wurde ein regulärer Rostwagen über die Breite mit acht Düsen ausgerüstet. Abbildung 3-4 zeigt den Aufbau des Messrostwagens. In den Düsen werden die Temperatur und der Druckabfall gemessen, sodass der Volumenstrom und damit die Permeabilität bestimmt werden können. Die gesamte Messtechnik ist gut erreichbar in der Rostwagenwange angebracht und gewährleistet eine einfache Wartung. Von dort werden die Messdaten kontinuierlich per Funk an das Prozessleitsystem übermittelt, wo sie ausgewertet und angezeigt werden

3.1.4 Koksverbrauch [9]

Eine Methode, eine Sinteranlage zu regeln, ist, den Koksverbrauch in die Regelung einzubeziehen. Die Firma Redcar Sinterplant hat im Jahr 1996 damit begonnen den magnetisierbaren Anteil (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) im Fertigsinter mit Hilfe einer Spule zu messen. Der Zusammenhang zwischen dem magnetisierbarem Anteil und dem FeO – Gehalt gesamt, ist

linear, so konnte man Rückschlüsse auf den Koksersatz ziehen. Diese Daten wurden in ihren Prozessrechner eingespeist und dann ein für die Produktion von Redcar Sinterplant geeigneter FeO – Gehalt eingestellt

Ergebnisse bei Redcar Sinterplant:

Der Sinter FeO - Gehalt wird über die Einsatzmenge Koksgruß in den Sinterprozess gesteuert. Die Reduzierung des Sinter FeO hatte zur Folge das der Gesamteinsatz verringert wurde ohne dabei die Minimum Anforderung von 6,5% zu unterschreiten. Mit dem Einsatz der Spule konnte der Sinter FeO Gehalt von 7,5% auf 7% reduziert werden. Diese durchschnittliche Abnahme hatte zur Folge das der Koksverbrauch um 1kg/t Sinter reduziert werden konnte

3.1.5 Mischgutaufgaberegung:

Aufgabe einer optimierten Mischgutaufgaberegung ist es, das Bunkervolumen weitest gehend konstant zu halten, um einen gleichmäßigen Verdichtungsgrad des Mischgutes im Bunker zu gewährleisten. Diese Verhältnisse sind von der Mischgutaufgaberegung über den gesamten Änderungsbereich der Sinterbandgeschwindigkeit sicherzustellen.

Dabei sind folgende Gegebenheiten zu berücksichtigen:

Die Totzeit von der gravimetrischen Mischung bis zur Aufgabe des Mischgutbunkers beträgt ca. 10-15 Minuten.

Das Volumen des Mischgutbunkers ist relativ klein (ca. 10-20 m³), wovon nur 30 % genutzt werden.

Der Austrag aus dem Mischgutbunker erfolgt volumetrisch, während die Mischgutaufgabe nach gravimetrischem Prinzip geregelt wird.

Die äußersten Füllstandsgrenzwerte (Max-max bzw. Min-min) des Mischgutbunkers sollen im kontinuierlichen Prozess nicht erreicht werden, da dies einen Stopp der Mischgutstrecke bzw. einen Stopp des Sinterbandes zur Folge hätte

3.1.6 Expertensystem der voestalpine AG

Dieses Hochofenautomatisierung System kann in einzelnen Paketen eingesetzt werden. Es beruht auf einer expandierbaren Wissensbasis des Benutzers. Es arbeitet mittels Vorschlagswesen, wobei alle notwendigen Parameter dafür erfasst werden und mit einbezogen werden. Dieses System arbeitet bei wichtigen Prozessparameter in einem geschlossenem Regelkreis, wo kein Eingreifen der Anlagenarbeiter notwendig ist. Auf diese

Weise wird gewährleistet das bei allen Aktionen oder Änderungen die Produktion nicht beeinträchtigt wird. Diese Steuerung über einen geschlossenen Regelkreis ist ein wichtiger Schritt in die Zukunft und zielt auf ein völlig automatisches Hochofensteuersystem das auch auf die Sinteranlagen übernommen werden kann.

3.2 Die Durchbrennpunktregelung beim Sinterprozess

Die Oberfläche des auf die Sintermaschine aufgegebenen Mischgutes wird in der Zündhaube gezündet und die Brennzzone wandert langsam nach unten. Gleichzeitig bewegt sich das Mischgut in Richtung Abwurf. Die Position, an der die gesamte Schütthöhe durchgesintert ist, heißt Durchbrennpunkt. Gemessen wird der Durchbrennpunkt mit Hilfe des Temperaturverlaufes im Bereich vor dem Abwurf

Der Durchbrennpunkt definiert die Lage der Glühzone am Boden des Rostes. Die Form der Glühzone ist idealerweise ein schmales Rechteck, welches sich von einer Seite des Sinterbandes zur anderen erstreckt. Tatsächlich wird durch das Auftreten von Inhomogenitäten in der Mischung und Unregelmäßigkeiten beim Prozess die Glühzone von der idealen Form abweichen. Der Durchbrennpunkt ist somit eine Hilfsgröße zur Feststellung des Prozessfortschrittes, die keine Rückschlüsse auf die Form der Glühzone zulässt.

Die Feststellung des Durchbrennpunktes kann auf verschiedene Arten erfolgen, nämlich direkt aus den Temperaturmessungen in den Saugkästen oder mit Hilfe eines Sinterprozessmodells. Letztere Methode stützt sich auf Einflussgrößen, die den Prozessverlauf mitbestimmen und verwendet Temperaturmessungen nur zum Zwecke der Modelladaptierung.

Der Inhalt dieser Abhandlung ist die Beschreibung unterschiedlicher Berechnungsarten des Durchbrennpunktes, sowie ein Vergleich anhand realer Messdaten zwischen Temperatur und Modell-Durchbrennpunkt. Weiters werden Regelungskonzepte zur Stabilisierung des Durchbrennpunktes mit Hilfe der Sinterbandgeschwindigkeit erläutert

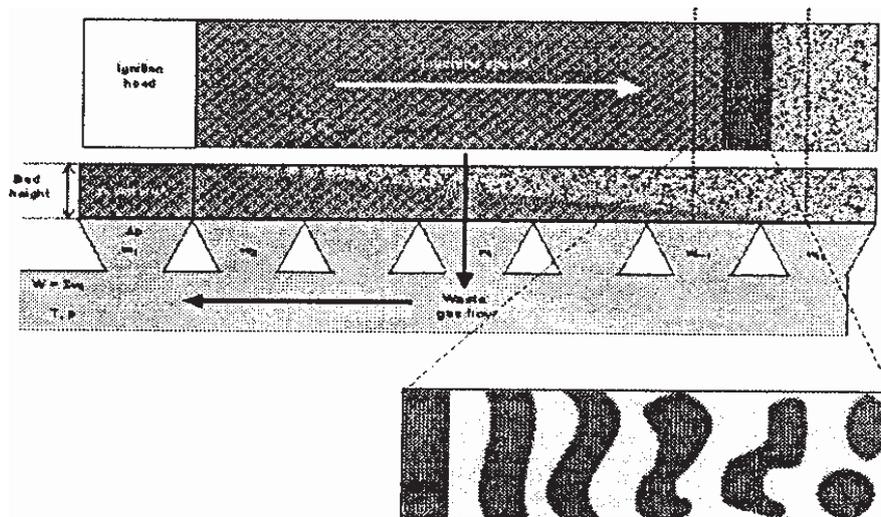


Abbildung 3-5: Von der Glühzone zum Durchbrennpunkt

Die schematische Darstellung zeigt die Schritte durch das Sinterbett, die den Rost passierende Glühzone am rechten Ende des Sinterbandes, sowie unterschiedliche Formen dieser Glühzone. Zerfällt diese in mehrere nicht zusammenhängende Gebiete, wie rechts außen dargestellt, dann bedeutet das eine geringere Homogenität des Sinters.

3.2.1 Temperatur-Durchbrennpunkt

Die Temperaturen in den Saugkästen am Ende des Sinterbandes lassen Rückschlüsse auf den Prozessverlauf zu. Deren grafische Visualisierung gehört daher zur Standardausstattung einer Steuerwarte. Da die Lage des Durchbrennpunktes bzw. der Glühzone am Rost die Temperaturwerte der Abgase in den Saugkästen wesentlich mitbestimmt, liegt es nahe, den Durchbrennpunkt aus diesen Temperaturwerten rechnerisch zu ermitteln.

3.2.1.1 Polynomfunktion

Üblicherweise erfolgt die Berechnung aus Abgastemperaturen, welche in den Saugkästen gemessen werden. Jede Messung liefert einen durchschnittlichen Temperaturwert je Saugkasten, bzw. Saugkastenhälfte. Die maximale Temperatur wird erreicht, wenn die Glühzone den Rost erreicht hat. Die Lage der maximalen Temperatur ist dann definitionsgemäß der Durchbrennpunkt. Die Berechnung kann mit Hilfe einer Polynomapproximation durchgeführt werden. Die verwendeten Temperaturwerte können aktuelle Messwerte sein oder die mit dem Sinter entsprechend der Bandgeschwindigkeit mitgeführten Temperaturen sein. Es zeigt sich, dass der Unterschied zwischen den

Ergebnissen beider Methoden gering ist. Ein Problem stellt erfahrungsgemäß die Temperaturmessung im letzten Saugkasten dar. Da Falschluff diesen Wert vom realen Wert abweichen lassen kann.

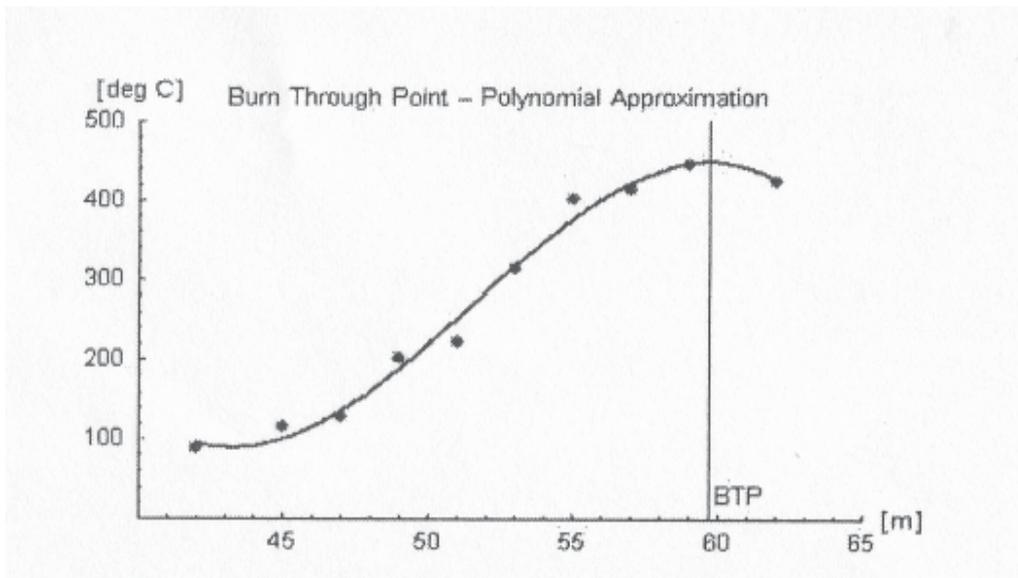


Abbildung 3-6: Durchbrennpunkt

Die Nachteile dieser Durchbrennpunkt Berechnung sind:

- Am Ende des Sinterbandes im Bereich des letzten Saugkastens ist kein klares Temperaturmaximum mehr feststellbar, d.h. das Ergebnis der Rechnung muss nicht mit dem realen Durchbrennpunkt übereinstimmen.
- Die Temperaturen in den vorderen Saugkästen bestimmen das Ergebnis mit, was zur Folge hat, dass Temperaturänderungen, die sich zuerst in den vorderen Saugkästen zeigen, vorübergehend den rechnerischen Durchbrennpunkt in die falsche Richtung wandern lassen.
- Der Durchbrennpunkt ändert sich ständig und unregelmäßig infolge von Temperaturschwankungen, die durch variierende Glühzonenformen oder andere Störeinflüsse bewirkt werden.

Eine Alternative zum Durchbrennpunkt ist der Temperaturanstiegspunkt (Burn Raising Point). Bei diesem Konzept wird der Schnittpunkt der Temperaturkurve mit einer bestimmten vorgegebenen Temperatur (z.B. 200 °C) im Bereich des stärksten

Temperaturanstieges berechnet. Gegenüber dem Durchbrennpunkt steht diese Information einige Minuten vor dem Erreichen des Sinterbandendes zur Verfügung. Zwischen Temperaturanstiegspunkt und Durchbrennpunkt besteht eine enge Korrelation.

3.2.1.2 Korrelation Temperatur - Durchbrennpunkt

Im Normalbetrieb zeigt sich eine starke Korrelation zwischen dem oben berechneten Durchbrennpunkt und der Temperatur eines bestimmten Saugkastens. Ist die Korrelationsfunktion einmal ermittelt, dann kann aus der genannten Saugkastentemperatur mit Hilfe der Korrelationsfunktion der Durchbrennpunkt berechnet werden. Es zeigt sich, dass jene Abgastemperatur mit dem Durchbrennpunkt die stärkste Korrelation aufweist, welche sich im Bereich des größten Temperaturanstieges befindet.

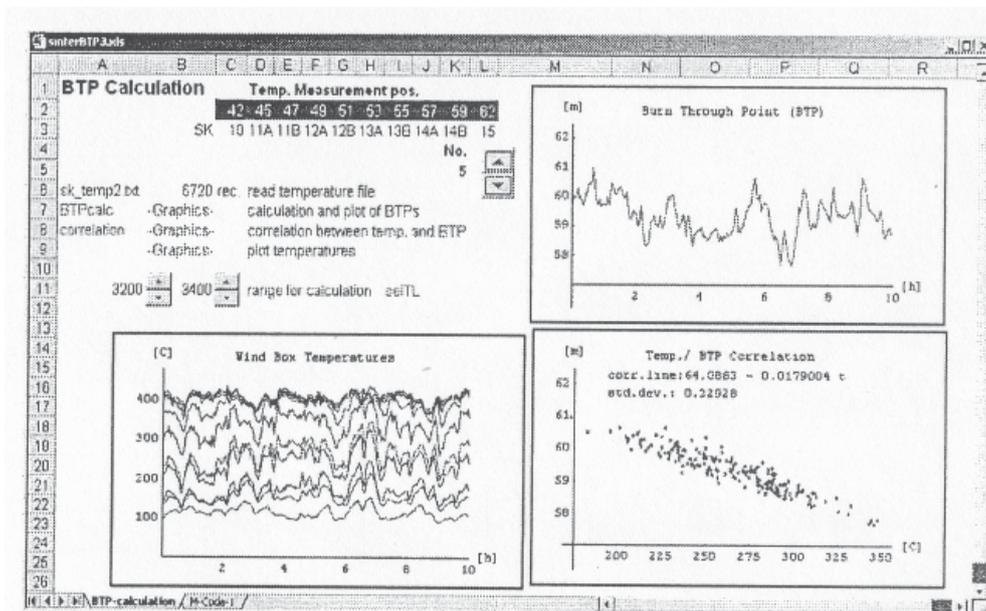


Abbildung 3-7: Korrelation Temperatur - Durchbrennpunkt

Die Korrelation zwischen der Temperatur im Saugkasten 12B und dem berechneten Durchbrennpunkt ist graphisch und rechnerisch im rechten unteren Diagramm dargestellt.

3.2.1.3 Korrelation Temperaturanstiegspunkt - Durchbrennpunkt

Neben der Korrelation Durchbrennpunkt und Temperatur in einem bestimmten Saugkasten kann auch die Korrelation zwischen Temperaturanstiegspunkt (BRP) und Durchbrennpunkt (BTP) anhand von Messserien ermittelt werden

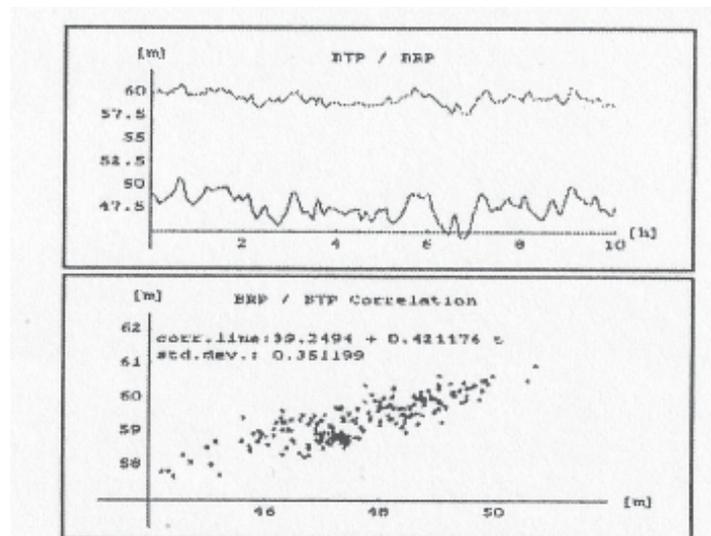


Abbildung 3-8: Korrelation Temperaturanstiegspunkt – Durchbrennpunkt

Die Abbildung zeigt die berechnete Korrelationsfunktion zwischen BRP (oberes Diagramm und obere Linie), welche für die Temperatur von 200 °C berechnet wurde, und BTP.

3.2.2 Modell-Durchbrennpunkt

3.2.2.1 Einleitung

Existierende Sinterprozessmodelle dienen der Berechnung der Prozesszustände (Temperatur, Feuchte, Chemie, etc.) im Inneren der Schüttung. Diese Modelle basieren auf physikalischen und chemischen Gleichungen, die mittels geeigneter Diskretisierung numerisch gelöst werden. Sie verwenden eine Vielzahl von Parametern zur Charakterisierung von Materialeigenschaften und Schüttstruktur, sowie Wärmeübergängen und chemischen Reaktionen. Solche Modelle eignen sich für offline Simulationen und liefern wertvolle Hinweise auf das Prozessverhalten bei unterschiedlichen Materialmischungen, Brennstoffeinsätzen und anderen Randbedingungen.

Für die Berechnung des BTP im laufenden Betrieb wird hier ein einfacheres dynamisches Modell, welches zumindest drei der wesentlichen Einflussgrößen berücksichtigt, vorgestellt. Dieses Modell verzichtet auf die Berechnung innerer Zustände, sondern es bestimmt den Verlauf der Brennzonen vom Anfang bis zum Ende des Sinterbandes in Abhängigkeit von Sinterbandgeschwindigkeit, Abgasstrom und Widerstand des Sintermischgutes gegen den Abgasstrom. Die drei Einflussgrößen sind entweder direkt messbar oder können aus bestehenden Messungen abgeleitet werden.

Das Modell ist normiert und kann auf jede Sinteranlage adaptiert werden, indem die Anlagenparameter, wie Bandlänge, Schichthöhe, Zahl der Saugkästen, sowie durchschnittliche Werte für Sinterbandgeschwindigkeit und Gesamtabgasmenge vorgegeben werden. Weiters gibt es Modellparameter, welche einerseits der Anpassung der Ergebnisse an den realen Sinterprozess dienen und andererseits die Reaktionen auf Störeinflüsse verstärken können.

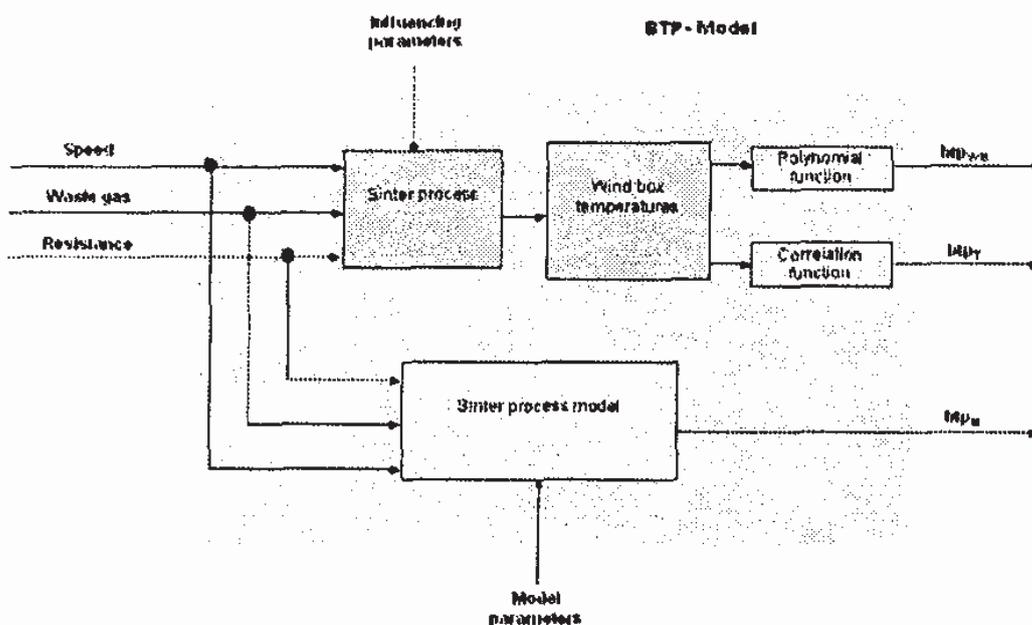


Abbildung 3-9: Berechnungsmethoden des Durchbrennpunktes

Die Gegenüberstellung der drei Berechnungsarten zeigt die unterschiedlichen Ausgangsdaten zur Durchbrennpunktbestimmung. btp_{WB} und btp_T werden aus Temperaturmessungen berechnet und btp_M ausschließlich aus den genannten Einflussgrößen.

3.2.2.2 Modellkonzept:

Das hier vorgeschlagene Modell berechnet die vertikale Bewegung der Glühzone in Bandlaufrichtung und berücksichtigt dabei variable Abgasströme in den Saugkästen. Diese werden in jedem Zeitschritt neu berechnet. In einer Initialisierungsphase wird ein aus Messungen bekannter typischer Verlauf des Abgasstromes entlang des Sinterbandes angenommen.

Die vertikale Position der Glühzone, von oben nach unten gemessen, ändert sich während der Zeit, in der die Zone einen Saugkasten vom Anfang bis zum Ende überquert. Diese Zeitfunktion $x(t)$ wird mit Hilfe folgender Differentialgleichung berechnet:

$$x''(t) = a * W - R (H - x(t))$$

a ... Modellparameter

$$x(0) = h_0 * x'(0) = v_0$$

W ... Abgasstrom [m^3/h]

R ... Widerstand

H ... Schichthöhe [m]

h_0 ... Anfangshöhe [m]

v_0 ...Anfangsgeschwindigkeit [m/s]

Die resultierende Glühzonenfunktion wird auf jeden einzelnen Saugkasten angewandt. Neben den Anfangsbedingungen bestimmen der Abgasstrom durch den Saugkasten, der vom ungesinterten Material entgegengesetzte Widerstand und die Schichthöhe das Ergebnis. In einem Zeitschritt wird die Position und die Geschwindigkeit der Glühzone am Ende eines jeden Saugkasten berechnet.

Ein Zeitschritt ist durch die Sinterbandgeschwindigkeit und die Saugkastenlänge festgelegt. Unterschreitet die Geschwindigkeit einen minimalen Wert, dann muss auf ein anderes Berechnungsverfahren mit reiner Zeitdiskretisierung umgeschaltet werden.

Eine Änderung der Glühzonentiefe beeinflusst im Gegenzug den Abgasstrom in einem Saugkasten. Diese gegenseitige Abhängigkeit erfordert die Durchführung einer Iteration in jedem Zeitschritt. Bei Verwendung einer linearen rückwirkenden Funktion kann durch geeignete Wahl des Verstärkungsfaktors ein stabiles Iterationsverhalten erzielt werden. Die so erzielten Ergebnisse der vertikalen Glühzonenbewegung werden an die jeweils folgenden Saugkästen im nächsten Zeitschritt übergeben. Die Ergebnisse sind also die Anfangsbedingungen für die Berechnungen im nächsten Zeitschritt.

Die Abgasströme durch die einzelnen Saugkästen sind in Summe der gemessene Gesamtabgasstrom, der auf diese Weise als Einflussgröße im Modell berücksichtigt wird.

Die vollständige Bewegung der idealisierten Glühzone beginnt im ersten Saugkasten an der Sinteroberfläche tangential ($h_0 = 0$ und $v_0 = 0$) und schreitet mit der Zeit nach unten fort, bis sie den Boden des Rostes erreicht. Dieser Punkt ist der Modell-Durchbrennpunkt, welcher nach dem Ende der Iteration in jedem Zeitschritt ermittelt wird.

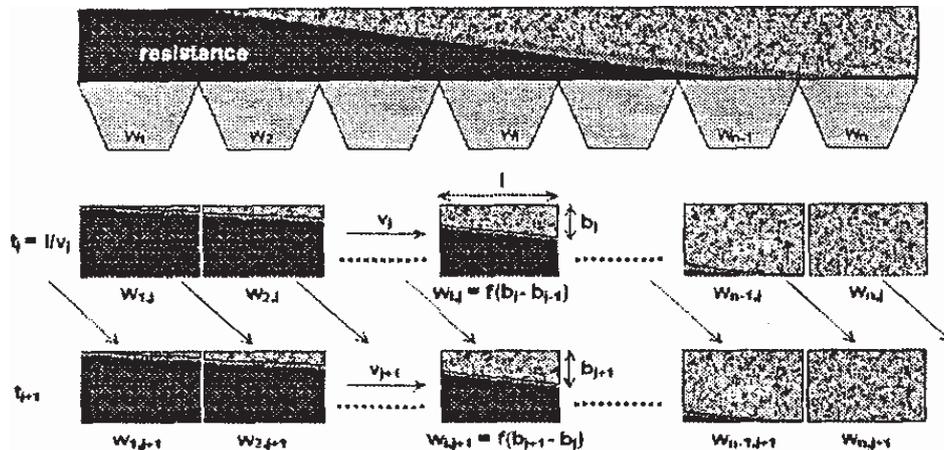


Abbildung 3-10: Berechnungsstruktur auf Basis variabler Zeitschritte

Die Berechnungsstruktur stellt sicher, dass die Momentanwerte der verwendeten Einflussgrößen die Glühzonenbewegung entlang des gesamten Sinterbandes mitbestimmen. Ihre Wirkung dauert also die ganze Banddurchlaufzeit an, wodurch das dynamische Verhalten des Prozesses reproduziert wird.

3.2.2.3 Einflussgrößen

Die Sintermaschinengeschwindigkeit liegt als Messgröße vor und wird unvorbehandelt in das Modell übernommen.

Der Widerstand, den die noch rohe, ungesinterte Mischung dem Gasstrom entgegensetzt, kann am Beginn des Sinterbandes unter der Zündhaube unter Annahme turbulenter Strömung aus folgender Beziehung ermittelt werden:

$$R = \frac{f_N(p_1 * p_2) * A^2}{Q^2 * H}$$

f_N ... Normierungsfaktor

p ... Druck [pa]

A ... Saugfläche [m²]

Q ... Abgasstrom [m³/h]

H ... Schichthöhe [m]

Je nach Qualität der verwendeten Messungen ist eine Vorbehandlung durch Filter oder Begrenzungsfunktionen ratsam. Alternativ kann auch der Unterdruck p_2 alleine als Ersatzgröße verwendet werden, wenn bei normalem Betrieb der Abgasstrom Q von der Zündhaube durch die Schüttung, sowie der Unterdruck p_1 in der Zündhaube nur geringfügig schwanken. Der vorbehandelte Widerstand ist auf den Mittelwert 1 normiert und in seiner Schwankungsbreite begrenzt.

Der reale Abgasstrom ergibt sich aus der Gesamtabgasmessung inklusive Temperatur und Druck des Abgases vor dem elektrostatischen Filter. Bei Nichtverfügbarkeit einer Abgasdurchflussmessung kann die Gebläseleistung nach entsprechender Transformation ersatzweise verwendet werden. Die hier gewählte Vorbehandlung filtert kurzfristige Schwankungen aus, so dass ein ruhiger Verlauf des Modell-Durchbrennpunktes gewährleistet ist.

Die Schichthöhe beeinflusst ebenfalls das Ergebnis, wird aber nicht als variable, sondern als konstante Größe betrachtet.

3.2.2.4 Messdatenvorbehandlung und Modelladaptierung

Die Anpassung des Modells an reale Verhältnisse erfordert einerseits eine Vorbehandlung von Messwerten und andererseits die Einstellung von geeigneten Modell-Parametern.

Methoden der Vorbehandlung

Eine kritiklose Übernahme von Messdaten aus Messgeräten bzw. Automationssystemen für die Modellrechnung kann verantwortlich sein für schlechte Ergebnisse. Bevor eine Entscheidung darüber, welche Datenvorbehandlung günstig ist, getroffen wird, sollte man die verfügbaren Messreihen nach Genauigkeit, Schwankungsfrequenzen und -breiten untersuchen. Insbesondere ist zu entscheiden, ob eine Messung aufgrund ihrer Position und Umgebung repräsentative Werte liefern kann.

Eine Reihe möglicher Vorbehandlungsmethoden, die zur Evaluierung des Modells durch Messdaten einer realen Sinteranlage verwendet werden können, sind im Folgenden aufgezählt:

- Ersatz fehlerhafter Werte durch plausiblere Werte (Fehlmessungen)
- Verwendung sigmoider (s-förmiger) Begrenzungsfunktionen
- Diskrete Signalfilter zur Unterdrückung hoher Frequenzen
- Unterdrückung sehr niedriger Frequenzen durch Anpassung der Werte an einen langsam sich verändernden Mittelwert

- Normierung auf Mittelwert 1 und Veränderung der Schwankungsbreite durch Potenzierung

Parameteradaptierung

Die Adaptierung der Parameter erfolgt durch visuellen und rechnerischen Vergleich zwischen Temperatur- und Modell-Durchbrennpunkt.

Folgende Modell-Parameter stehen dabei zur Verfügung:

- Steigung (P1) der Abgasstromfunktion - die Initialisierung des Verlaufs der Abgasströme in den Saugkästen wird durch eine Annahme, welche sich aus verschiedenen Quellen ergeben hat, so festgelegt, dass ein konstanter Verlauf in der ersten Hälfte der Saugkästen und dann ein leichter konstanter Anstieg P1 erfolgt
- Verstärkungsfaktor (P2) zur Umrechnung von Änderungen der Glühzontentiefe auf Abgasstromänderungen in den einzelnen Saugkästen
- Verstärkung (P3) des Abgasstromes bei der Berechnung der Glühzontentiefe

Die einzelnen Parameter haben folgende Wirkung auf das Modellergebnis:

- P1: vergrößert man diesen Wert, dann wird die Glühzone in der ersten Hälfte des Bandes langsamer und in der zweiten Hälfte schneller nach unten wandern
- P2: vergrößert man diesen Wert, dann erhöht sich die Schwingungsneigung des Durchbrennpunktes nach Störungen
- P3: mit diesem Parameter kann der Durchbrennpunkt parallel nach hinten bzw. vorne verschoben werden¹

3.2.2.5 Modellevaluierung

Allgemeines

Nach Anpassung des Modells und Vorbehandlung der verwendeten Messdaten wird ein Vergleich zwischen dem mit der Polynommethode und dem mit dem Prozessmodell berechneten Durchbrennpunkt durchgeführt.

Mit Hilfe von Daten aus der Sinteranlage von voestalpine Stahl Linz über einen 14-tägigen Zeitraum wurde ein Vergleich des Modell-Durchbrennpunktes, berechnet aus vorbehandelten Messdaten, mit dem mit Hilfe der Polynomfunktion berechneten Temperatur-Durchbrennpunkt angestellt. Verwendet wurden Messdatenrekords mit 3-minütigen Durchschnittswerten.

Bei der visuellen Evaluierung zwischen Temperatur- und Modell-Durchbrennpunkt ergaben sich folgende Beobachtungen:

- Bei störungsfreiem Betrieb bewegen sich beide Durchbrennpunkte weitgehend innerhalb enger Grenzen, es gibt auch unerklärliche Ausnahmen
- Viele unмотivierte kurzfristige Schwankungen des Temperatur-Durchbrennpunktes verschwinden meist ohne erkennbare Gegenmaßnahme
- Schwankungen des Modell-Durchbrennpunktes werden ausschließlich von den Einflussgrößen bestimmt und sind in diesem Kontext erklärbar
- Der Modelldurchbrennpunkt zeigt über lange Phasen einen eher ruhigen Verlauf
- Die Reaktion des Modells auf Abweichungen und Störungen beim Widerstand, sowie
- Änderungen der Sinterbandgeschwindigkeit, ist qualitativ richtig; die Größenordnung wird durch die Vorbehandlung und die Modellparameter bestimmt

Beispiel:

Ein 6-Stunden Ausschnitt der Gesamtsimulation zeigt die typische Reaktion des Durchbrennpunktes auf einen kurzen Einbruch bei der Sinterbandgeschwindigkeit. Die Gesamtgasmenge war in dem betrachteten Zeitabschnitt praktisch konstant und wird daher nicht dargestellt.

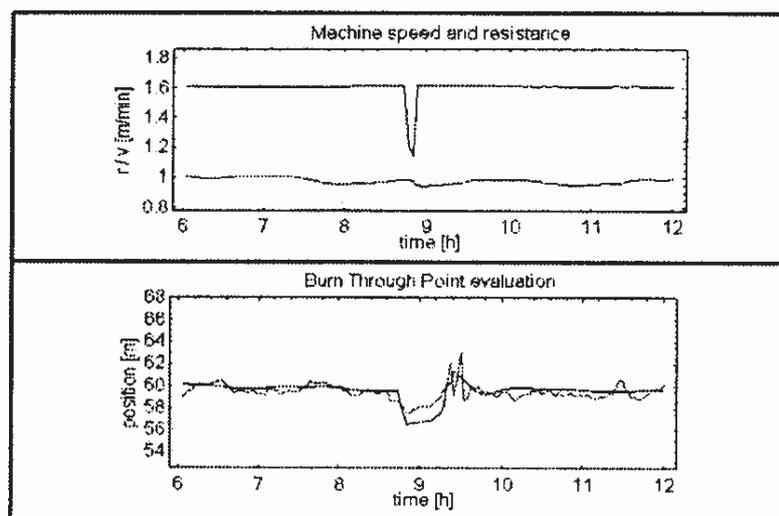


Abbildung 3-11: Vergleich Temperatur und Modell-Durchbrennpunkt

Der Temperatur-Durchbrennpunkt (oberes Diagramm) zeigt im störungsfreien Betrieb Schwankungen, die beim Modell-Durchbrennpunkt (unteres Diagramm) nicht auftreten. Hingegen sieht man im Falle einer Störung bei der Sinterbandgeschwindigkeit (blaue Linie) eine ausgeprägte Reaktion der Modelllinie.

3.2.2.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man sagen, dass das Prozessmodell die tatsächliche Bewegung des Durchbrennpunktes besser beschreibt als die Temperaturmessungen in den Saugkästen. Letztere sind aber zur Modellanpassung, sowie zur laufenden Überwachung unverzichtbar. Folgender Nutzen kann aus dem Modell-Durchbrennpunkt gezogen werden:

Zusatzinformation für den Operator im laufenden Betrieb

Erkenntnisse über die Auswirkung von Störeinflüssen auf den Durchbrennpunkt

Simulationsmöglichkeiten des Durchbrennpunktes bei verschiedenen Fahrweisen

Optimierung von Regelalgorithmen zur Geschwindigkeitssteuerung

Insbesondere der letztgenannte Punkt verdient Beachtung, da bislang keine wirklich zufrieden stellende Durchbrennpunktregelung existiert.

3.3 Einsatz von Fuzzy - Reglern bei Sinteranlagen [8]

Der Regelung des Durchbrennpunktes und der Einstellung eines konstanten Niveaus im Mischgutaufgabebunker kommen beim Sinterprozess besondere Bedeutung zu. Im folgenden wird ein auf Fuzzy Logic beruhendes Regelungssystem beschrieben. Es sichert eine an der Durchbrennpunktkurve orientierte rasche und folgerichtige Einstellung der Sintermaschinengeschwindigkeit sowie eine optimale Materialanforderung an den Mischgutaufgabebunker.

Das an Sinterband Nr. 5 der voestalpine AG in Linz erprobte neue Regelungsprinzip hat bereits zu Einsparungen geführt. Diese sind vor allem auf die verbesserte Kontrolle des Durchbrennpunktes zurückzuführen.

Trotz konstanter Mischungsbedingungen kommt es in der Sinteranlage zu einem Wandern des Durchbrennpunktes. Diesem Wandern soll die Sinterbandgeschwindigkeit mit Hilfe der Durchbrennpunktregelung und Mischgutaufgaberegelung angepasst werden. Eine wesentliche Aufgabe besteht darin, die auf diese Regelkreise wirkenden Störgrößen in ihrer Wirkung einzuschränken. Eine wesentliche Verbesserung zu der konventionellen Regelung ist der Einsatz von Fuzzy Control. Die Abb. 3-11 zeigt schematisch den Zusammenhang dieser beiden Regelungskreise Mischgut- und Durchbrennpunktregelung und die Temperaturmessstellen in den Saugkästen.

3.3.1 Der Sinterprozess auf Basis konventioneller Regelungstechnik

Abbildung 3-12 zeigt typische Temperaturverläufe in der Durchbrennzone, wobei die beiden Hüllkurven wiedergegeben werden, welche für eine gegebene Sinteranlage spezifisch und als Grenzkurven zu interpretieren sind.

Es gilt:

Obere Hüllkurve: Sie stellt den Übergang zum Abkühlen des Sinters auf dem Sinterband dar.

Untere Hüllkurve: Ein Durchsintern der gesamten Schichthöhe ist gerade noch sichergestellt

Die bisherigen Durchbrennpunkt-Regelungen (DBP-Regelungen) arbeiten nach folgendem Prinzip: Aus den aktuellen Temperatur-Istwerten wird ein Polynom (2. oder 3. Grades) berechnet, das dem konventionellen Regelalgorithmus zugrunde gelegt wird:

$$\sum(T_{n_{ist}} - T_{n_{calc}})^2 = \text{Minimum}$$

Damit lässt sich die Position des Temperaturmaximums am Sinterband bestimmen und auch die Entfernung (m) des Temperaturmaximums zur Abwurfposition.

Beide Berechnungsvarianten (Polynom 2. oder 3. Grades) liefern zwar eine gute Anpassung an die tatsächlichen Temperatur-Istwerte, haben aber auch Nachteile. Die Regelung, basierend auf diesen beiden Berechnungsvarianten, arbeitet nur dann zufrieden stellend, wenn lediglich geringe Temperaturänderungen an der Mess-Stelle T1 auftreten.

Störungen, die zu großen oder raschen Temperaturänderungen an der Mess-Stelle T1 führen, bewirken, dass der Regler, bedingt durch die Berechnungsmethode des Durchbrennpunktes, mit umgekehrtem Regelsinn reagiert. Erst wenn diese Temperaturänderungen am Ort der Mess-Stelle T3 auftreten, reagiert der Regler richtig, d. h. für einen Zeitraum von ca. 5 min (Laufzeit des Sinterbandes von Mess-Stelle T1 bis T3) wird die aufgetretene Störung durch den Regler noch verstärkt.

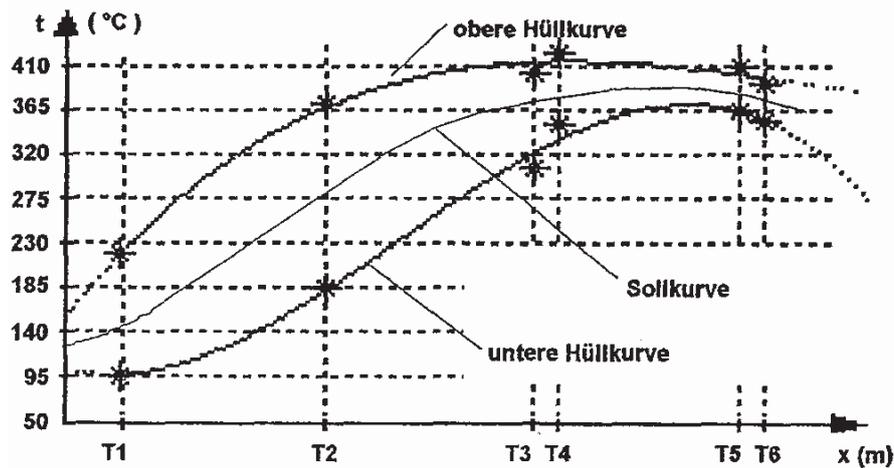


Abbildung 3-12: Temperaturverlauf am Ende des Sinterbandes

3.3.2 Lösungsvorschlag mit Fuzzy Control

Da die konventionelle Durchbrennpunktregelung viele Störgrößen schlecht ausregelt, wurde die Regelsynthese mittels Fuzzy Control durchgeführt.

Zur hierfür erforderlichen Interpretation der Durchbrennpunktkurve wurde folgende Beobachtung zugrunde gelegt: Wenn an einem bestimmten Messpunkt die erforderliche Temperatur ansteht, dann ergibt sich auch automatisch der richtige Kurvenverlauf mit der richtigen Temperatur im Abgasfilter. Weitere Beobachtungen für die Interpretation der Durchbrennpunktkurve bezogen sich auf die Minimierung der Instandsetzungskosten, auf Erhöhung der Sinterqualität und die Optimierung der Produktion.

Die linguistische Interpretation führte zu einer Ausführung mit Fuzzy Control, welche den vorhin aufgezeigten Nachteil der konventionellen Regelung eliminiert.

3.3.3 Beschreibung der Versuche.

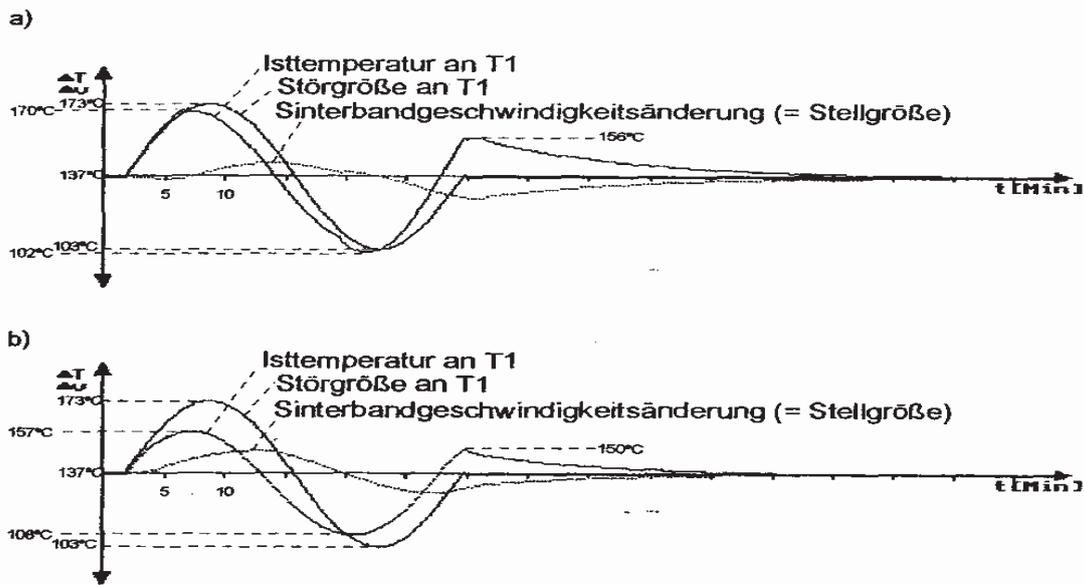
Der Regler wurde am Sinterband 5 der voestalpine AG in Linz eingebaut und arbeitet seither zur vollsten Zufriedenheit des Betriebspersonals. Nachstehende Betriebsbedingungen hinsichtlich Temperaturprofil und Sinterbandgeschwindigkeit wurden für den Reglerentwurf zugrunde gelegt:

- Bunkerinhalt Mischgutbunker 10 m^3 ($1,7 \text{ t/m}^3$,
- Förderzeit (Totzeit) von den Erzbunkern zum Mischgutbunker 15 Minuten,
- Grenztemperaturen obere Hüllkurve T1—T6 in °C:
(219/371.2/403.8/422.9/410.9/392.1),
- Grenztemperaturen untere Hüllkurve T1—T6 in °C:
(96.4/184.4/304.9/451.2/364.7/355.3),
- Entfernungen der Temperaturmessstellen T1—T6 zum Abwurf in m:
(17.5/13.5/9.5/5.5/5.0),
- eine Geschwindigkeitsänderung dv von $\pm 0,05 \text{ m/min}$ bewirkt eine Temperaturänderung an der Temperaturmessstelle $dT1$ von $\pm 50 \text{ °C}$,
- 374 t/h Mischgut entsprechen einer Basisgeschwindigkeit des Sinterbandes von $1,7 \text{ m/min.}$,
- Solltemperatur an T1 = 137 °C .

Versuch 1: Ziel des 1. Versuches war die Ausregelung von Kurzzeitstörungen (Schwankung der Permeabilität), (Abbildung 3-13). Die konventionelle Regelung zeigt trotz Versuches der Ausregelung über die Sinterbandgeschwindigkeit einen annähernd gleichen Temperaturverlauf an T1 wie die Störgröße. Auch sieht man, dass der Regler in den ersten 6 Minuten mit umgekehrtem Regelsinn die Störung *sogar noch verstärkt*.

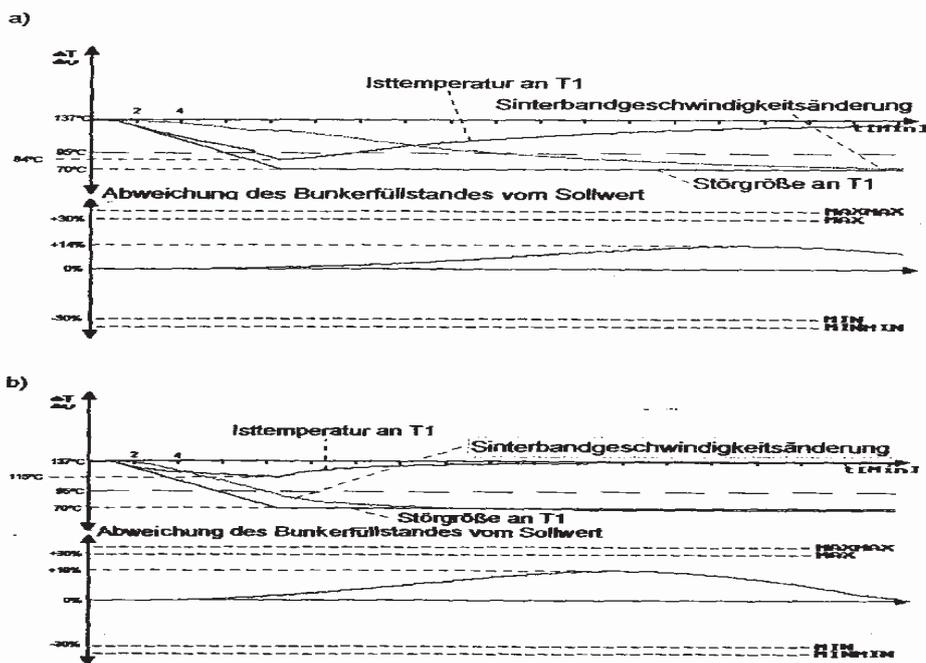
Versuch 2: Gegenstand dieses Versuches war die Ausregelung einer Langzeitstörung mit Unterschreitung der unteren Grenztemperatur (Veränderung der Mischgutzusammensetzung), (Abbildung 3-14). Hier ist die Überlegenheit der Fuzzy-Regelung klar erkennbar. Mit der konventionellen Regelung nähert sich die Temperatur an T1 bis auf 7 °C der Grenztemperatur von 95 °C . Mit der Fuzzy-Regelung hingegen beträgt der Temperaturabstand 29 °C .

Versuch 3: Im Rahmen des 3. Versuches sollte ein Extremfall betrachtet werden, und zwar eine rasch auftretende bleibende Störung mit Unterschreitung der unteren Grenztemperatur an T1 um 25 °C , (Abbildung 3-15). Bei der konventionellen Regelung ergibt sich eine Unterschreitung der unteren Grenztemperaturen an T1 über eine Zeitdauer von 5 Minuten trotz der raschen Reaktion der vorgegebenen Grenzen. Außerdem wird das Soll-Niveau des Mischgutbunkers bereits nach 32 Minuten wieder erreicht. Im Gegensatz zur konventionellen Regelung werden bei Fuzzy Control die unteren Grenzwerte an T1 nicht unterschritten, es wird sogar ein Sicherheitsabstand von 20 °C eingehalten.



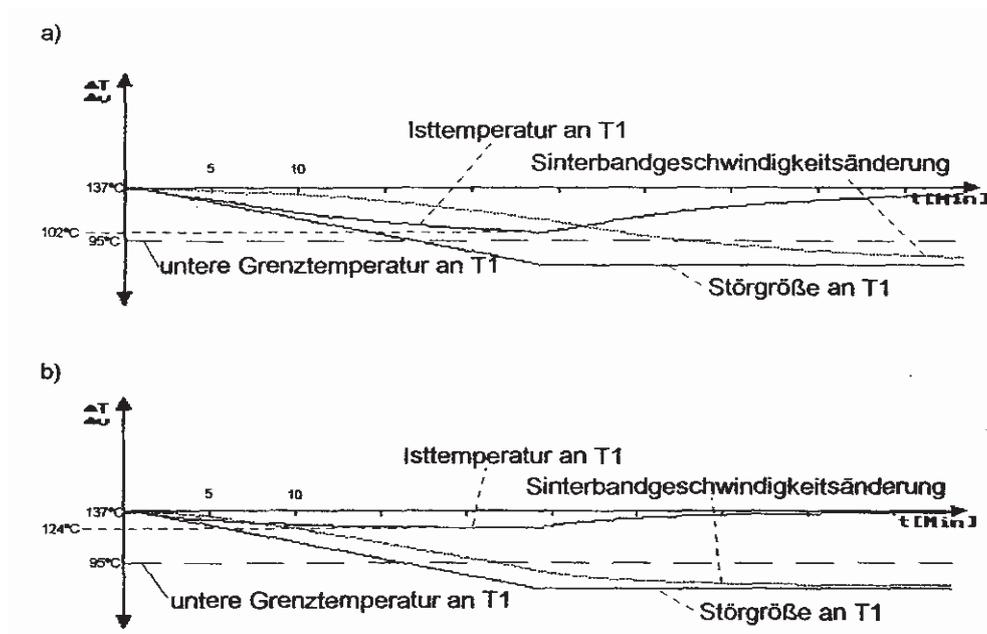
a) Konventionelle Regelung, b) Fuzzy- Regelung

Abbildung 3-13: Versuch 1



a) Konventionelle Regelung, b) Fuzzy- Regelung

Abbildung 3-14: Versuch 2



a) Konventionelle Regelung, b) Fuzzy-Regelung

Abbildung 3-15: Versuch 3

3.3.4 Schlussfolgerungen

Mit dem Fuzzy-Regler konnte bei den verschiedenen Störgrößenaufschaltungen eine wesentliche Verbesserung gegenüber der konventionellen Regelung erzielt werden. Im wesentlichen ist eine konstant hohe Sinterqualität und erhöhte Produktivität gewährleistet. Insbesondere ergab sich eine wesentliche Entlastung des Bedienpersonals bei der Überwachung des Mischgutbunkers sowie dem Verlaufes des Durchbrennpunktes

4 Experimentelle Untersuchungen

Es gibt 2 unterschiedliche Methoden mit Hilfe einer Spule den magnetisierbaren Anteil im Sinter zu messen:

- 1.) Permagnag
- 2.) Ramsey Coil

Permagnag:

Ist eine Methode die sich die magnetischen Eigenschaften des Magnetits zu nutze macht. Dabei werden periodisch Proben aus dem Fertigsinter genommen und diese dann durch eine Spule geführt. Dabei wird eben dieser magnetisierbare Anteil (Magnetit) im Sinter gemessen. Diese Spulen haben aber wegen dem dauerhaften Abrieb durch den Sinter nur eine Lebensdauer von ca. 6 Monaten, das heißt sie müssen ständig in diesen Abständen neu kalibriert und gewartet werden.

4.1 Systembeschreibung Ramsey Coil:

Die „Belt Coil“ (Abbildung 4-1) ist eine wetterfeste Fiberglaseinheit, die mit ihrer Form genau für die Messung an Förderbändern geeignet ist.

Die Einheit besteht aus 2 Spulen, einer Generatorspule und einer Empfängerspule, welche innerhalb des Gehäuses untergebracht und zueinander parallel geschaltet sind.

4.1.1 Funktionsweise:

Allgemein:

Methoden zur Messung des FeO – Gehalts machen sich das lineare Verhältnis zwischen der Menge des vorhandenen magnetisierbaren Materials (Magnetit Fe_3O_4) und dem FeO – Gesamt zu nutze. Der Sinter wird durch ein Magnetfeld geführt, dabei wird Strom in das

magnetisierbare Material induziert. Der FeO - Gehalt ist ein direkter Parameter für die Höhe dieses Stromes.

Detaildarstellung:

Die Generatorspule erzeugt ein pulsierendes magnetisches Feld. Dieses Feld induziert in das vorhandene FeO - Wirbelströme die nach dem Abschalten des Feldes abnehmen. Ein zweites magnetisches Feld ist mit diesen Wirbelströmen verbunden und nimmt zusammen mit ihnen ab.

Diese Abnahmezeit ist ein Maßstab für den FeO - Gehalt im Sinter. Die zweite Spule misst genau diese Abnahmezeit des zweiten Feldes. Diese Zeit ist proportional zu dem magnetischen Anteil im Sinter.

Um den Prozentanteil des Magnetits (Fe_3O_4) zu berechnen ist es notwendig den Massenstrom an der Spule zu messen. Dazu wurden die Daten der Bandrollen Waage zur Kalibrierung der Spule herangezogen und mit den mA Werten in Beziehung gebracht.



Abbildung 4-1: Belt Coil

4.1.2 Vergleich mit anderen Messmethoden

Vorteile gegenüber Permagnag:

- Leichte Installation
- Reduzierung der laufenden Wartungen
- Unter normalen Umständen keine Verschlechterung des Zustandes der Ringspule
- Kontinuierliche FeO Messung ist gegeben
- Es wird das Endprodukt gemessen
- Geringe Kosten

Nachteile:

Da dieses System erst einmal an einer Sinteranlage (Redcar Sinterplant ehem. British Steel) eingesetzt wurde, gibt es nur sehr wenige Erfahrungswerte und Daten auf die man zurück greifen könnte

Es wurde nur allgemein in den USA sehr intensiv in der Eisen und Minen Industrie eingesetzt.

4.2 Kalibrierung des Systems

Um die Spule zu kalibrieren musste zuerst der Massenstrom des Sinterförderbandes und der Output der Spule in Verbindung gebracht werden.

Die Aufzeichnung der Daten in die Datenbanken erfolgt bei der voestalpine Donawitz im 30 Sekunden Takt.

Bei Nullförderung oder Stillstand des Sinterbandes liegt der Output der Spule bei 4 mA, und der maximal erreichte Wert lag bei 11 mA. Um prozesstechnisch bedingten Fehlmessungen, die das System möglicherweise zum Schwingen gebracht hätten vorzubeugen, wurden nach mehreren Messreihen, die die Aussagekräftigkeit der Outputwerte überprüfen sollten, folgende Grenzwerte festgelegt:

➤ Spule: 6 – 9,5 [mA]

➤ Massenstrom (Bandwaage) : 1 – 2,5 [t]

Alle Werte außerhalb dieser Bereiche wurden über die SPS- Steuerung vorweg heraus gefiltert.

Die Verbindung der beiden Werten wurde über die nachstehende Formel erreicht und in der Abbildung 4-2 als „I' (gelb)“ dargestellt.

$$I \approx \dot{m}_{\text{sint}} * X_{\text{FeO}}$$

I.....Induzierter Strom [A]

$$\rightarrow X_{\text{FeO}} \approx \frac{I}{\dot{m}_{\text{sin}}} = I'$$

\dot{m}_{sin} Massenstrom Sinter [t/h]

X_{FeO} prognostizierter FeO Gehalt im Sinter

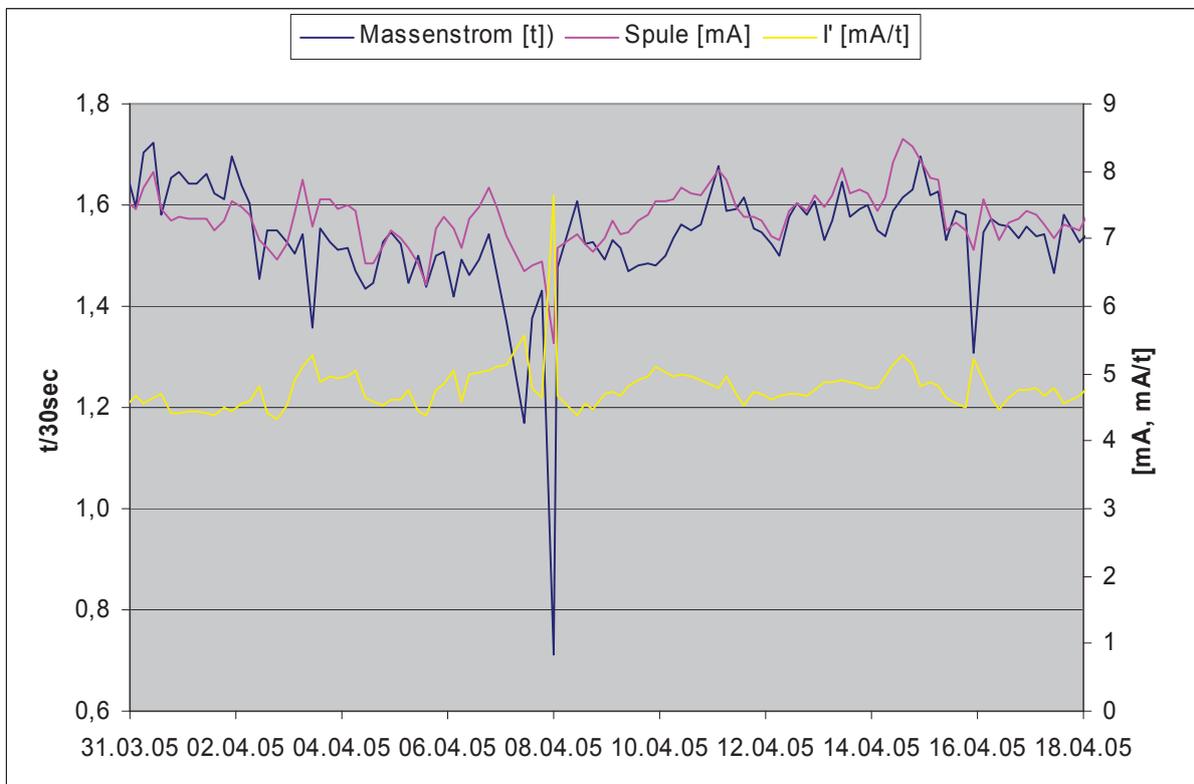


Abbildung 4-2: Zusammenhang zwischen Spulenwert und Massenstrom^

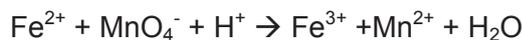
Um die Spule auf den richtigen FeO – Wert einzustellen, mussten in Folge die FeO Laboranalysen und dieser „Normierte Wert“ auf einander kalibriert werden.

4.2.1 Nasschemische Analyse - XRD Kanal :

Aus den folgenden Diagrammen können wir entnehmen, das bei den beiden Analysenmethoden teilweise große Unterschiede im Ergebnis herrschen.

Nasschemische Analyse:

Wird nach Zimmermann Reinhard durchgeführt

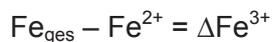


Vor dem Ditrieren gibt man die Zimmermann Reinhard – Lösung dazu um nur 2-wertiges Eisen zu oxidieren.



Dabei wird noch ein Trick angewandt:

SnCl_2 reduziert Fe^{3+} zu Fe^{2+} (farblos) Zugabe von Hg_2Cl_2 notwendig damit die Reste von SnCl_2 zerstört werden.



Vorteil dieser Betriebsmethode:

Sehr genaues Ergebnis

Nachteil:

Sehr umfangreich in der Durchführung (Zeit ca. 1,5 Std)

XRD (Röntgenfluoreszenz):

Fluoreszenz deswegen da ich eine andere Wellenlänge im Ergebnis erhalte als jene mit der angeregt wurde.

Die Probe wird mit Röntgenstrahlen (x-Ray) beschossen, dadurch werden Elektronen in höhere Energiebahnen gebracht (angeregter Zustand). Beim Zurückfallen dieser Elektronen in ihre ursprünglichen Energiebahnen wird UV- Licht freigesetzt. Dieses wird detektiert und dargestellt. Anhand der „Peaks“ wird festgestellt um welches Element es sich handelt.

Vorteil gegenüber Nasschemie:

Die raschere und automatisierbare Durchführung der Analyse

Nachteil:

Es werden bei dieser Methode nur die Netzebenenabstände in den Atomgittern der Kristalle gemessen. Bei den verschiedenen Erzmischungen kann es durch den unterschiedlichen Kristallanteil aber ähnlichen Abständen, zu Fehlern in den Auswertungen kommen

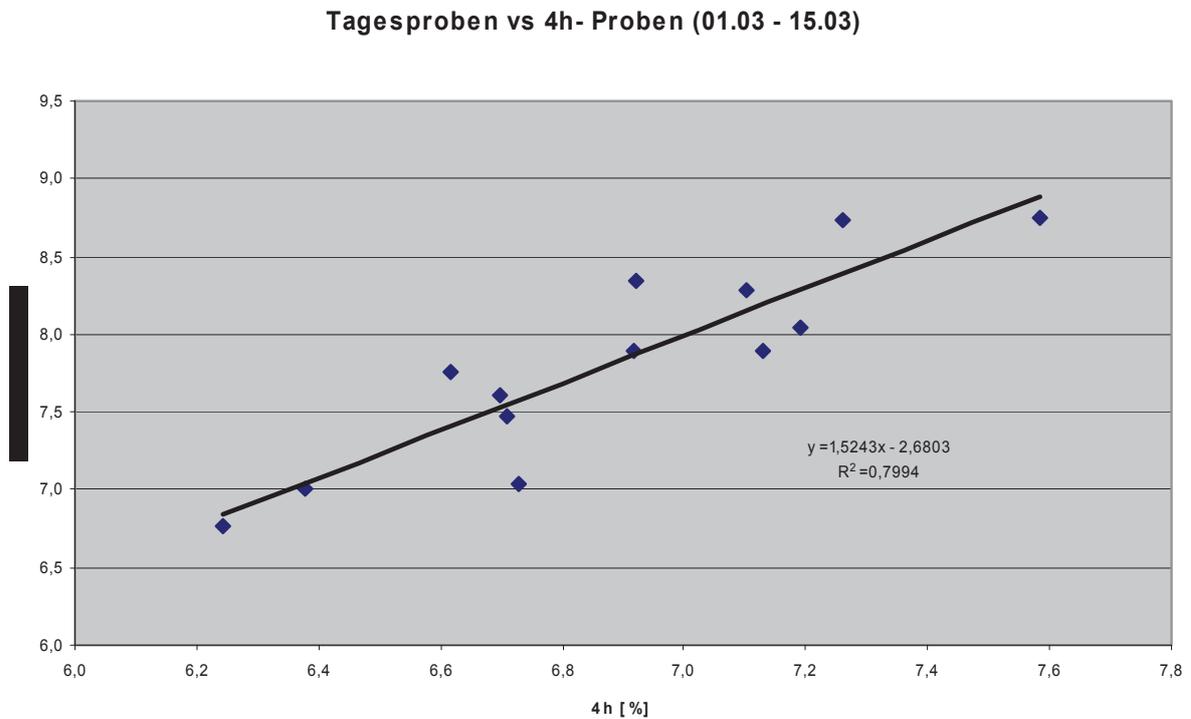


Abbildung 4-3: Gegenüberstellung Nasschemischer und XRF Analyse

Tagesproben vs 4 h Proben Jänner 05

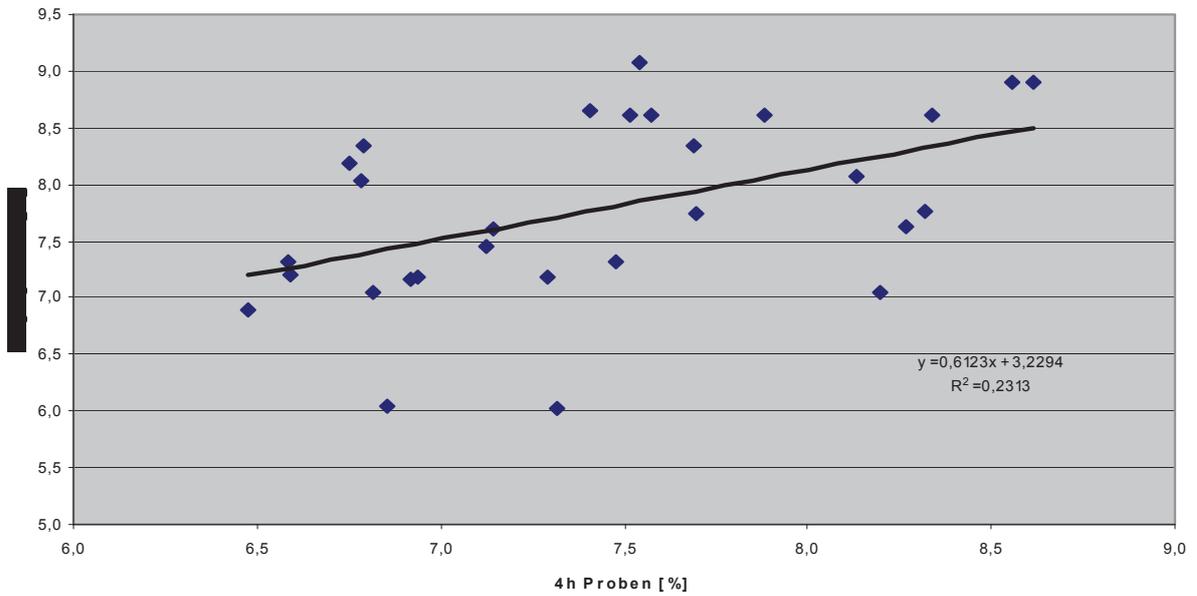


Abbildung4-4: Gegenüberstellung Nasschemischer und XRD Analyse

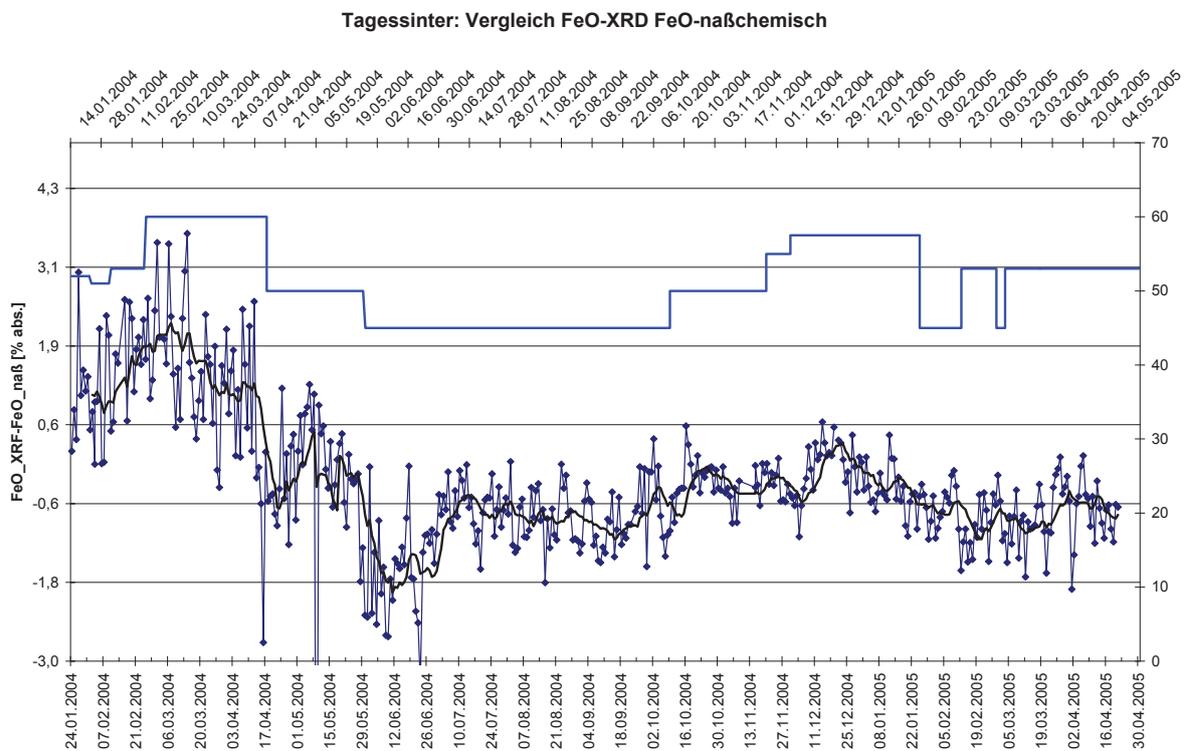


Abbildung 4-5: Abweichung der beiden Analysenmethoden von einander

In Abb.4.5 ist gut erkennbar das die XRD - Methode, bei einem höheren Anteil (siehe oben rote Kurve) an heimischen Erz in der Erzmischung, weiter von der Nasschemischen Analyse abweicht, als bei niedrigerem Anteil. Der Grund ist, das das heimische Erz einen höheren kristallinen Anteil hat als andere eingesetzte Erze und die XRD – Methode wie schon erwähnt, den Netzgitterabstand im Kristall misst.

4.2.2 Kalibrierung der Spule

Aufgrund der häufigeren und dadurch aussagekräftigeren 4 Stundenproben, wurden diese als Referenzwert für die Kalibrierung der Spule herangezogen.

Um einen genauen Vergleich zwischen der Laboranalyse mittels XRF und der Messung mittels der Spule zu erhalten, musste eine Arbeitsanweisung an die Anlagenarbeiter ausgegeben werden, das der genaue Probenahmezeitpunkt minutengenau dokumentiert wird. So konnten in weiterer Folge diese Werte einander gegenüber gestellt werden. (Abbildung 4-6, Abbildung 4-7)

Erklärung: 1 min bedeutet es wurden die Spulen und Waagen Werte plus minus 1 Minute vom genauen Probenahmezeitpunkt für die Auswertung herangezogen. Daraus wurde dann nach wochenlangen Auswertungen die Geradengleichung definiert. Genauso wurde bei den 5 Minuten und 30 Minuten Werten verfahren.

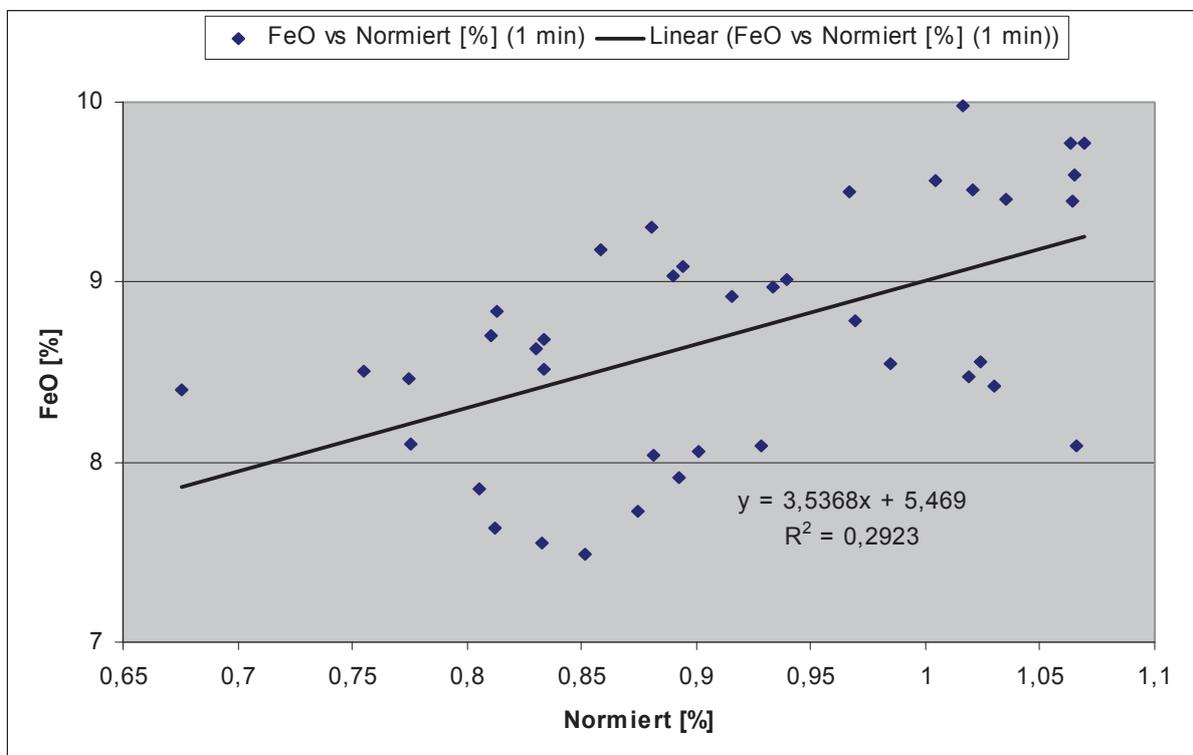


Abbildung 4-6: 1 min Werte

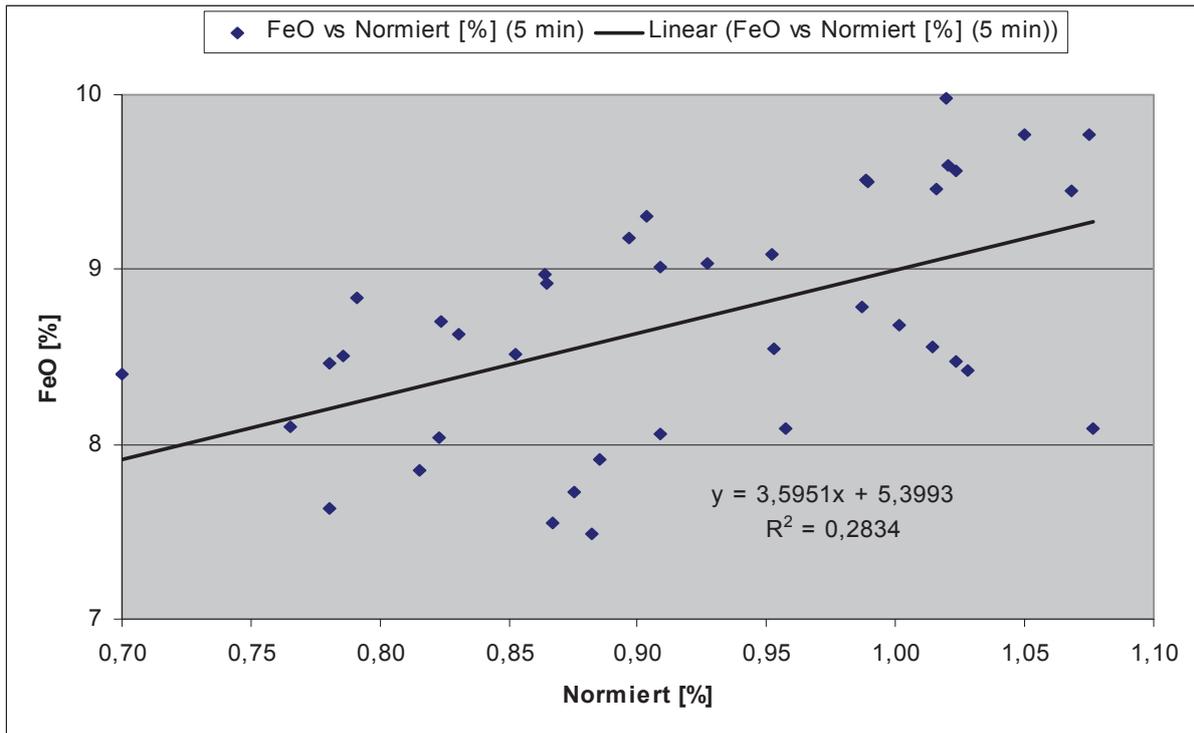


Abbildung 4-7: 5 min Werte

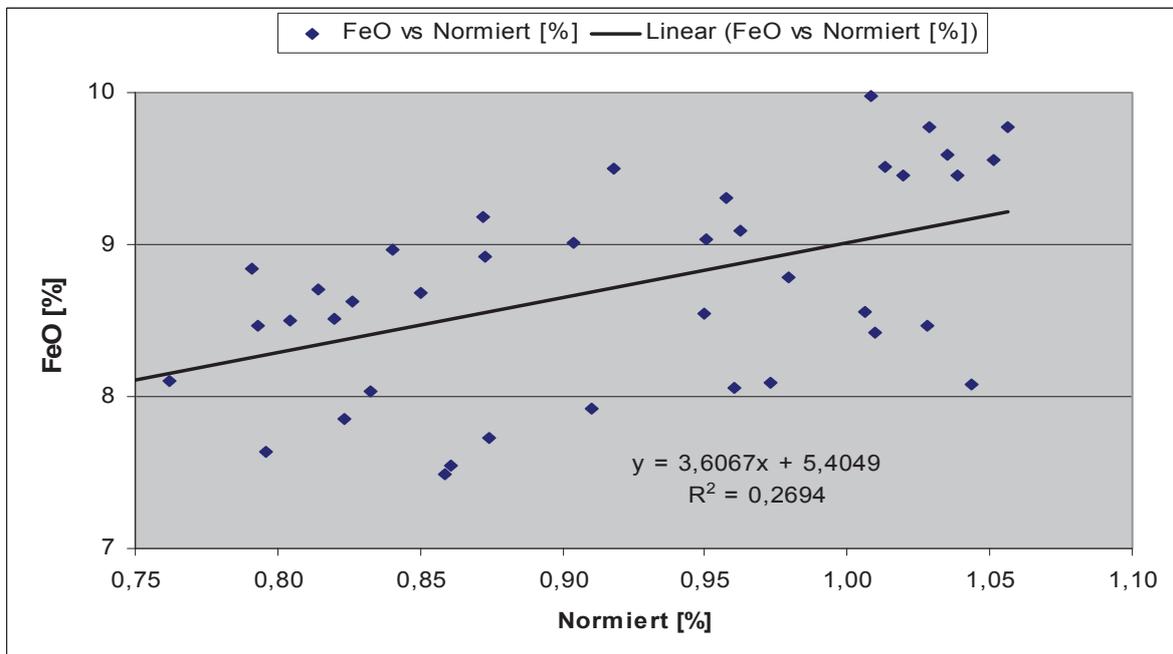


Abbildung 4-8: 30 min Werte

4.2.2.1 Ergebnis:

Die 1 Minuten – Werte stellten sich als diejenigen heraus, die mit den 4 Stunden Laboranalysen am besten übereingestimmt und daher wurden sie auch als Grundlage für die erste Geradengleichung herangezogen

$$y=1,326x+2,2884$$

Da bei den beiden Werten, Spulenoutput und Waagensignal unterschiedliche Bereiche vorhanden sind (4 mA – 10,5 mA und 0t – 2,8t) wurden diese Bereiche normiert.

$$\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} * 100 \rightarrow \text{Normierung}$$

$$\frac{(x-4)}{6,5} * 100 \rightarrow \text{Spule}$$

und

$$\frac{x}{2,8} * 100 \rightarrow \text{Waage}$$

Daraus ergab sich eine neue Geradengleichung, die Aufgrund dieser Normierung viel kleineren Schwankungen unterliegt (Abbildung 4-9)

$$y=3,5368x + 5,469$$

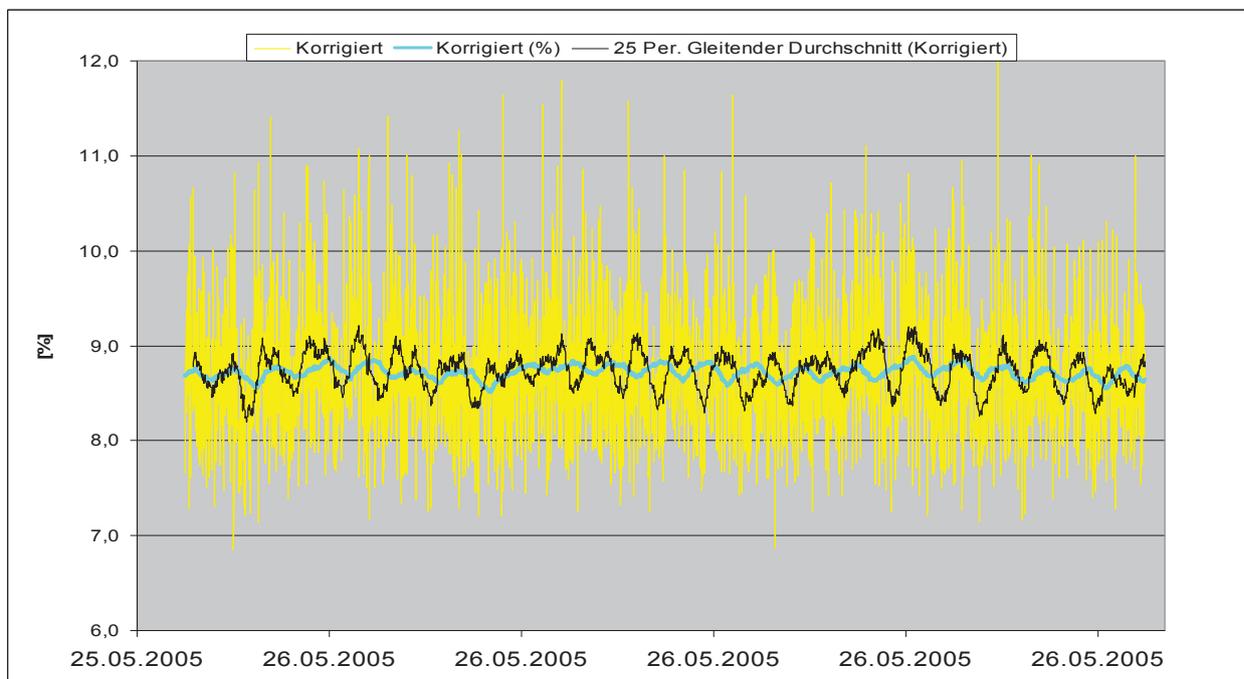


Abbildung 4-9: Türkise Kurve zeigt die Verbesserung durch neue Geradengleichung

Die sich daraus ergebende Verbesserung, der mittels gleitenden Durchschnitt geglättenden Anzeige in der Anlagenwarte, ist aus dem nachfolgendem Diagramm ersichtlich.

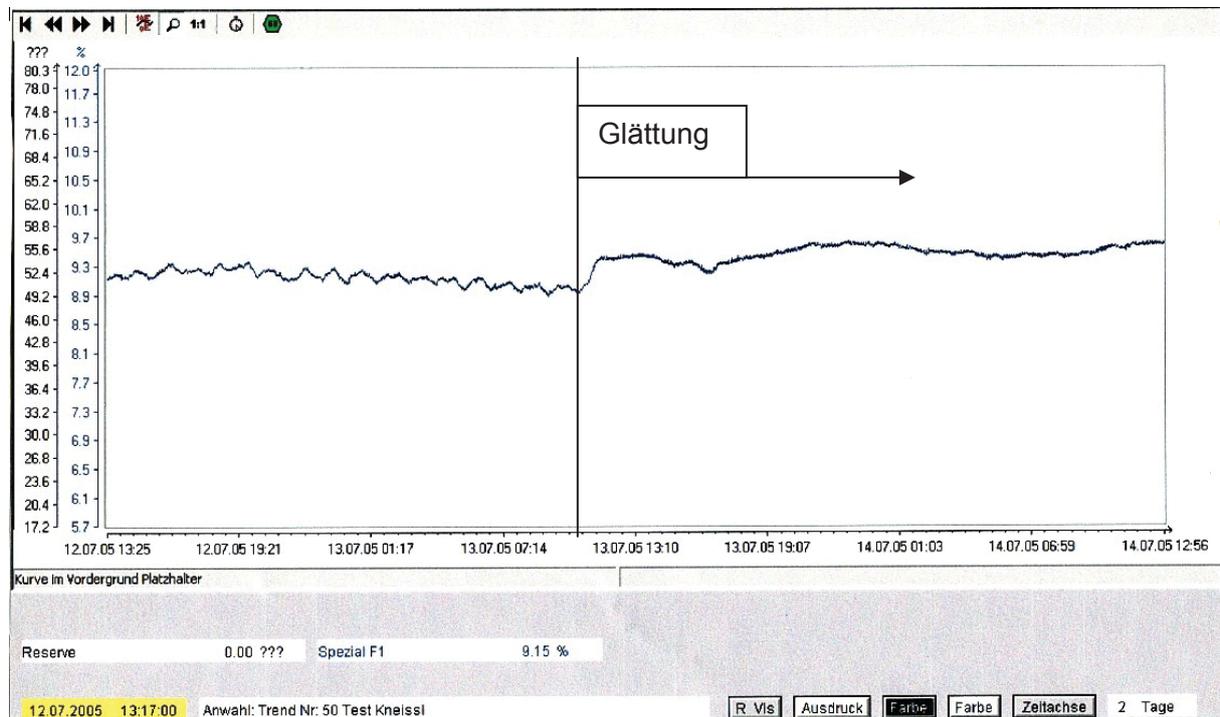


Abbildung 4-10: Glättung der Anzeige

4.2.3 Schwankungen des Systems

Das System im Allgemeinen unterliegt auch noch prozesstechnischen Schwankungen die unter anderem von der Befüllung des Rostbelagbunker herrühren

4.2.3.1 Rostbelagbunker

Erklärung:

Der Rostbelag (Fertigsinter ausgesiebt) wird auf den Rost aufgetragen um das Durchfallen und das Anpacken des Mischgutes am Rost zu verhindern

Die systematische Befüllung dieses Bunkers (siehe Abbildung 4-11) ergibt eine periodische Schwankung des FeO – Gehaltes bei der Messung durch die Spule (siehe Abbildung 4-12, Abbildung 4-13), die natürlich in Hinblick auf eine Steuerung berücksichtigt werden musste.

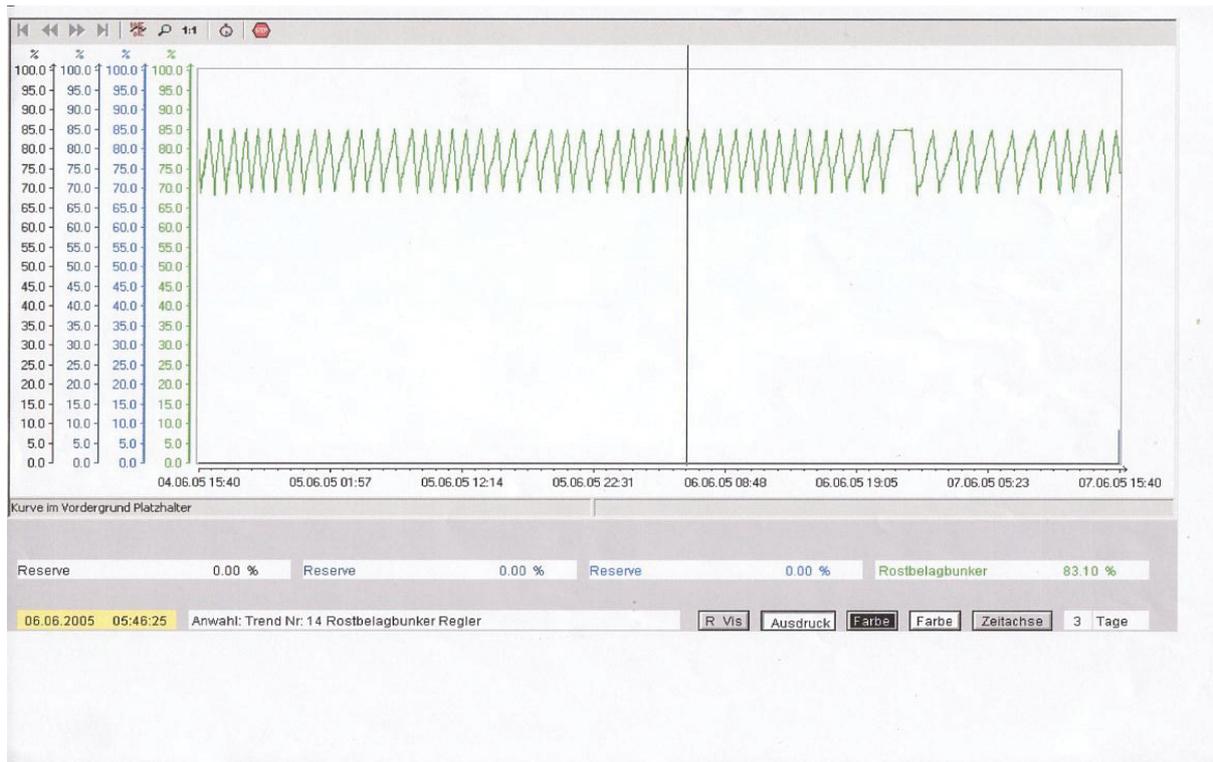


Abbildung 4-11: Befüllung des Rostbelagbunker

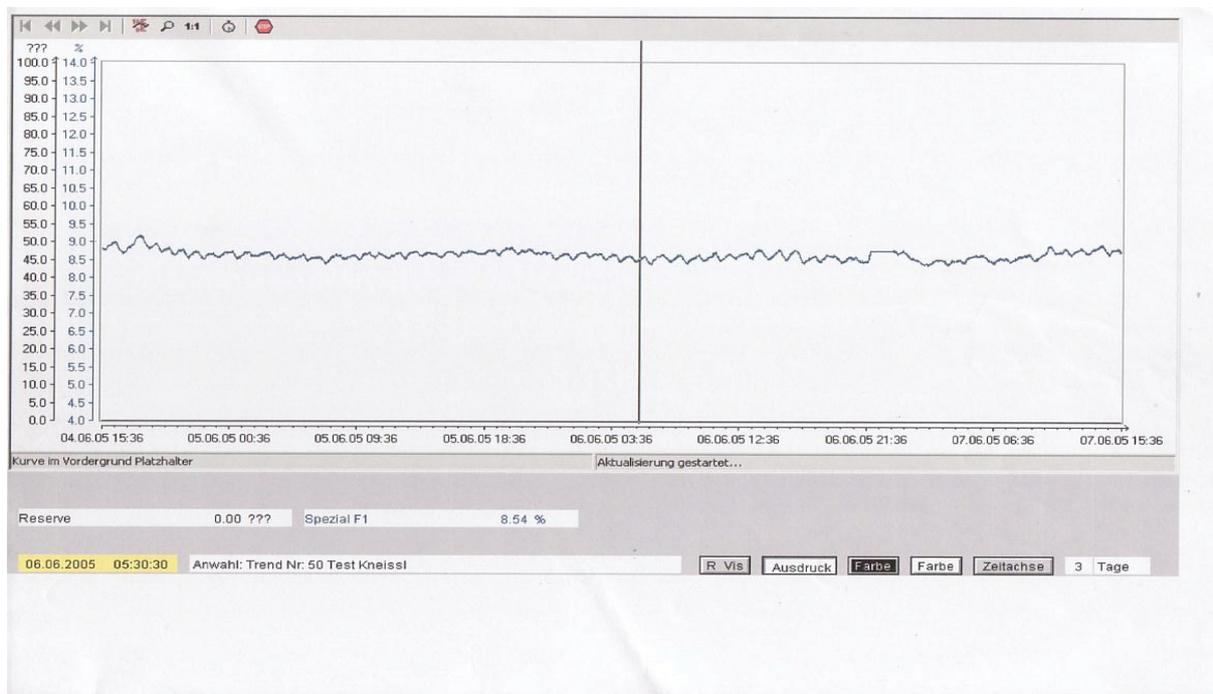


Abbildung 4-12: Zyklische Schwankung der FeO Messung

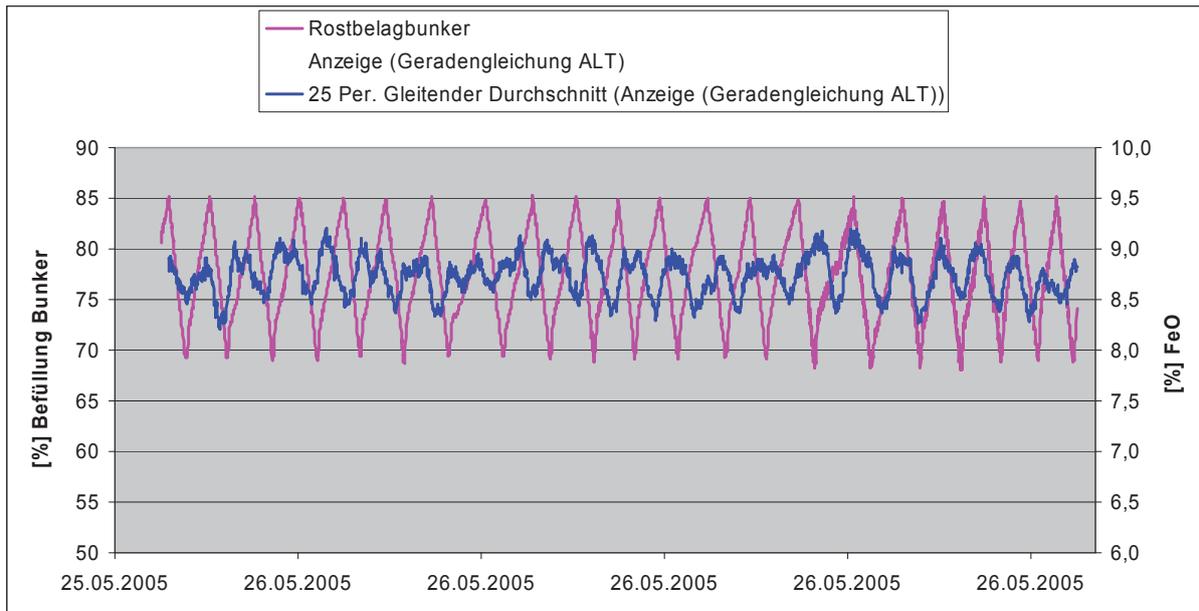


Abbildung 4-13: Zusammenhang Befüllung Rostbelagbunker u. FeO-Messung

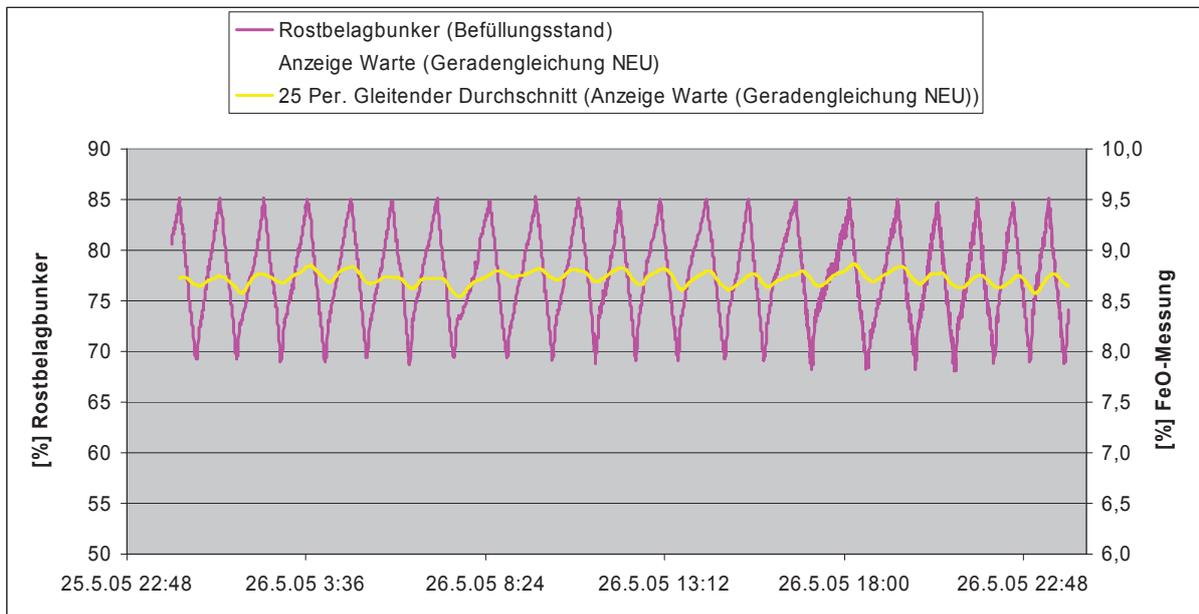


Abbildung 4-14: Signal Warte (normiert und gedämpft)

4.2.3.2 Unterschiedliche Mischungen

Ein weiterer Punkt für Schwankungen im Prozess, ist der Einsatz von unterschiedlichen Erzen und Koksgrußqualitäten. Je nach Preis und Verfügbarkeit der Rohstoffe kommen unterschiedliche Mischungen zum Einsatz.

Tabelle 2: Chemische Analyse der verwendeten Erzarten in Gewichts.-%:

	H ₂ O	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Mn	P	S	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
Domestic Ore	2	33.55	5.45	6.06	3.92	1.06	2.06	0.015	0.036	0.055	0.380	0.033
Sishen Ore	3	65.56	3.48	0.1	0.04	1.37	0.03	0.049	0.015	0.050	0.160	0.020
Carajas Ore	6.5	67.2	0.6	0.01	0.02	0.94	0.38	0.037	0.010	0.030	0.010	0.010

Durch Veränderungen der Mischungsverhältnisse kommt es trotz gleich bleibender Kokszufuhr zu größeren Schwankungen des FeO – Gehaltes im Fertigsinter.

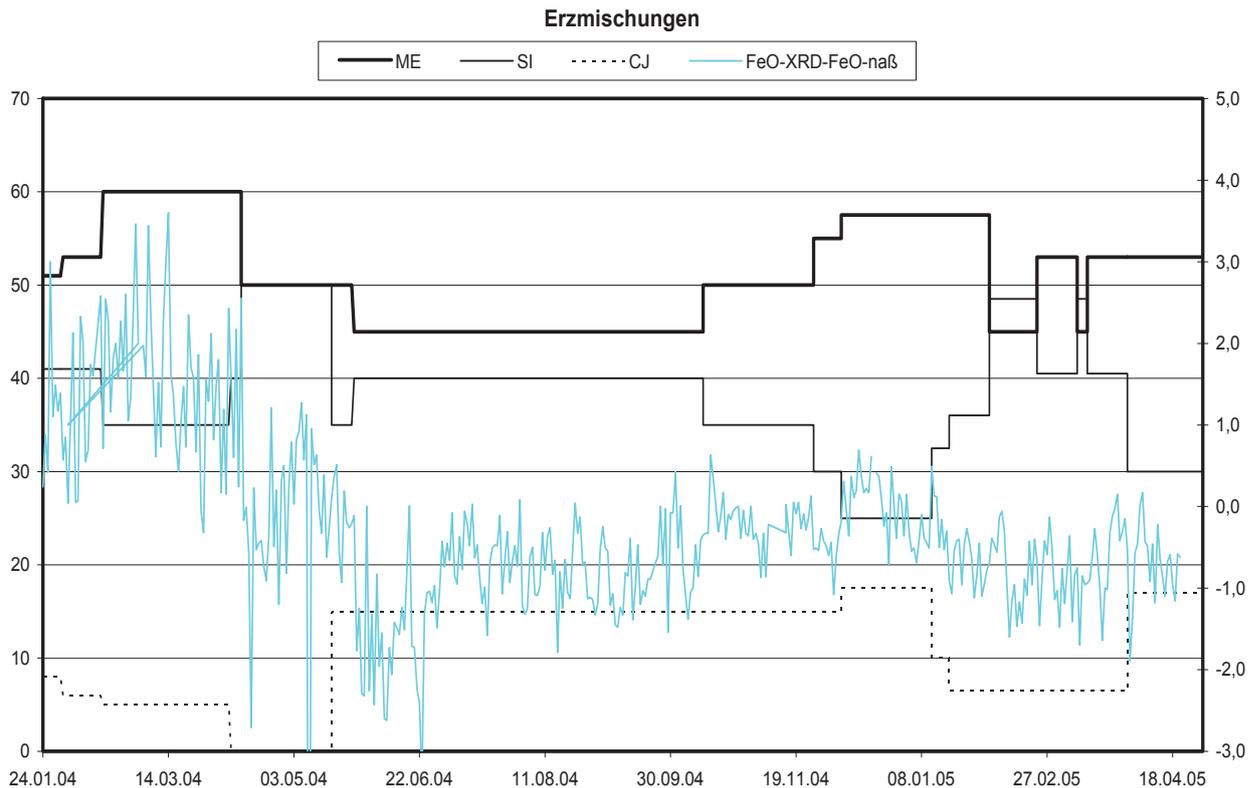


Abbildung 4-15: Erzmischungen

4.3 Wartung der Spule

In der Spule lagert sich im Lauf der Zeit einiges an Sinter an. Nach einer gründlichen Reinigung durch das Personal der Sinteranlage nach cirka 3 Monaten Betrieb, wurden keine nennenswerten Auswirkungen auf das Messergebnis festgestellt. Daher wurden keine fixen Reinigungsintervalle festgelegt. Man sollte aber in längeren Abständen die Reinigung der Spule durchführen und dabei das Niveau des Ausgangssignales beobachten, da es zu einer parallelen Verschiebung kommen kann.

4.4 Folgerung

Da bei der Produktion in der voestalpine Donawitz Koksgas mit unterschiedlichen Qualitäten zum Einsatz kommt, konnte im Vergleich zu Redcar Sinterplant keine Regulierung auf einen konstanten FeO- Gehalt angestrebt werden. Da dieser von der eingesetzten Erzmischung

und der Qualität der Koksgruses abhängig ist. Das Ziel war vielmehr sich in einem optimalen Bereich zu bewegen und diesen immer wieder nach unten auszuloten um somit eine Ersparnis in kleinen Schritten über das ganze Jahr hinweg zu erreichen

4.5 Erarbeiten einer Regelung für die Kokszufuhr

Die Schwierigkeit der Einbindung einer automatischen Koksregelung in den Sinterprozess liegt darin, eine Verbindung zwischen SPS – Steuerung und dem Betriebssystem herzustellen.

Dazu kommen die zahlreichen Faktoren die Einfluss auf den FeO – Gehalt und den Kokeinsatz haben.

Die Regelung der Kokszufuhr hängt unter anderem ab, von:

- der Rückgutmenge
- der Sinterqualität beim Abwurf
- der Produktionsmenge (max. Auslastung des Siebes)
- den physikalischen Eigenschaften des Fertigsinters
- der Koksgrusqualität
- dem FeO - Gehalt

Die Voraussetzung für eine voll automatisierte Kokszufuhrregelung wäre, bei der Prozesstechnik das Expertensystem einzuführen. Für die Zukunft auf jeden Fall ein Ziel auf das man hin arbeiten muss, aber im Zuge dieser Diplomarbeit aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht realisierbar. Dieses Expertensystem der voestalpine, das auch bei den Hochöfen in Donawitz und Linz zum Einsatz kommt und alle relevanten Daten erfasst und so aufbereitet das sie alle in den Regelprozess eingebunden werden können.

Aus diesem Grund wurde der Entschluss gefasst, das man eine manuelle Steuerung, die durch die Anlagenarbeiter ausgeführt und von einer Software (siehe Anhang: Benutzungsanleitung FeO- Messung und Koksregelung) unterstützt wird, installiert.

Da man beim Sinterprozess in der voestalpine Donawitz keinen fixen FeO - Gehalt einstellen kann, was auf den Einsatz von unterschiedlichen Koksgrusqualitäten und den 3 verschiedenen Erze zurück zu führen ist, musste man einen Weg finden, um das in der Koksregelung liegende Einsparungspotential ausschöpfen zu können.

Die optimalen FeO – Werte des Sinters erstrecken sich über einen breiteren Bereich, was natürlich auch direkten Einfluss auf die Kokszufuhr hat. Sie sind von mehreren Parametern abhängig, wie z.B. von der Höhe des Rückguts, der Qualität des Sinters am Abwurf. Bei einer stufenweisen Verringerung der Kokszufuhr, verändern sich diese beiden Parameter nur langsam und die Qualität des Sinters wird nicht beeinträchtigt. Erst nach dem Unterschreiten eines kritischen Koksgelhalts im Sinter, verschlechtert sich die Qualität des Fertigsinters, und die Anlagenarbeiter müssen reagieren und erhöhen wieder die Kokszufuhr.

In Ausloten dieser Grenzen liegt das Einsparungspotential dieser manuellen Regelung, die dem Anlagenarbeiter über ein Vorschlagswesen, aufgrund des von der Spule gemessenen FeO – Gehalts im Sinter, mittels Software auf den Bildschirm gebracht wird und er nach den Parametern Sinterqualität und Rückgut entscheidet ob man die Kokszufuhr verringert, gleich lässt oder wieder erhöhen muss. Zum Unterschied, der letzten Jahren, wo man wenn alle Parameter in Ordnung waren die Kokszufuhr bei dem jeweiligen Wert belassen hat.

Als Grundlage für die Berechnung wurden die Änderung der Steigungen der FeO - Anzeige herangezogen. Im Abstand von 4, 8 und 12 Stunden wurden immer die Anfangs und Endwerte betrachtet und aus ihnen die jeweilige Steigung berechnet. Dies wurde über einen längeren Zeitraum durchgeführt und dann ein Grenzwert für den 4 Stunden Bereich von $z = -0,12$ festgelegt. Dieser Grenzwert ist so zu verstehen, dass wenn die Steigung der FeO-Anzeige über die letzten 4 Stunden einen größeren Wert als $-0,12$ beträgt, wird von der Software dem Anlagenarbeiter der Vorschlag auf Reduzierung der Kokszufuhr um 0,05% vorgeschlagen. Bei den 8 und 12 Stunden Grenzwerten wurde auf eine Gewichtung Wert gelegt, was bedeutet das die Grenzwerte für die längeren Zeiträume niedriger ausfallen, da ja ein Trend mehr Aussagekraft hat als Schwankungen über einen kurzen Zeitraum. So wird auch bei 8 Stunden Werten die größer als $-0,085$ und bei 12 Stunden Werten die größer als $-0,069$ sind, der Vorschlag auf Koksreduzierung gebracht.

Tabelle 3: Grenzwerte für Steigungsberechnung

Grenzwerte	Z	Z
4h	-0,12	-0,12
8h	$Z = -0,12/\sqrt{2}$	-0,084853
12h	$Z = -0,12/\sqrt{3}$	-0,069282

Die endgültige Entscheidung die Kokszufuhr zu verändern liegt schlussendlich beim erfahrenen Anlagenarbeiter, daher wurden sie über die Wichtigkeit und die Einsparungsmöglichkeiten dieser Methode aufgeklärt und unterrichtet. Ziel für die

Anlagenarbeiter soll sein, den Prozess mit Hilfe dieses Programms immer an den unteren Bereich des möglichen FeO – Gehalts zu führen.

Die Software wurde von den Anlagenarbeiter positiv angenommen, da sie es als Erleichterung ihrer täglichen Arbeit ansehen.

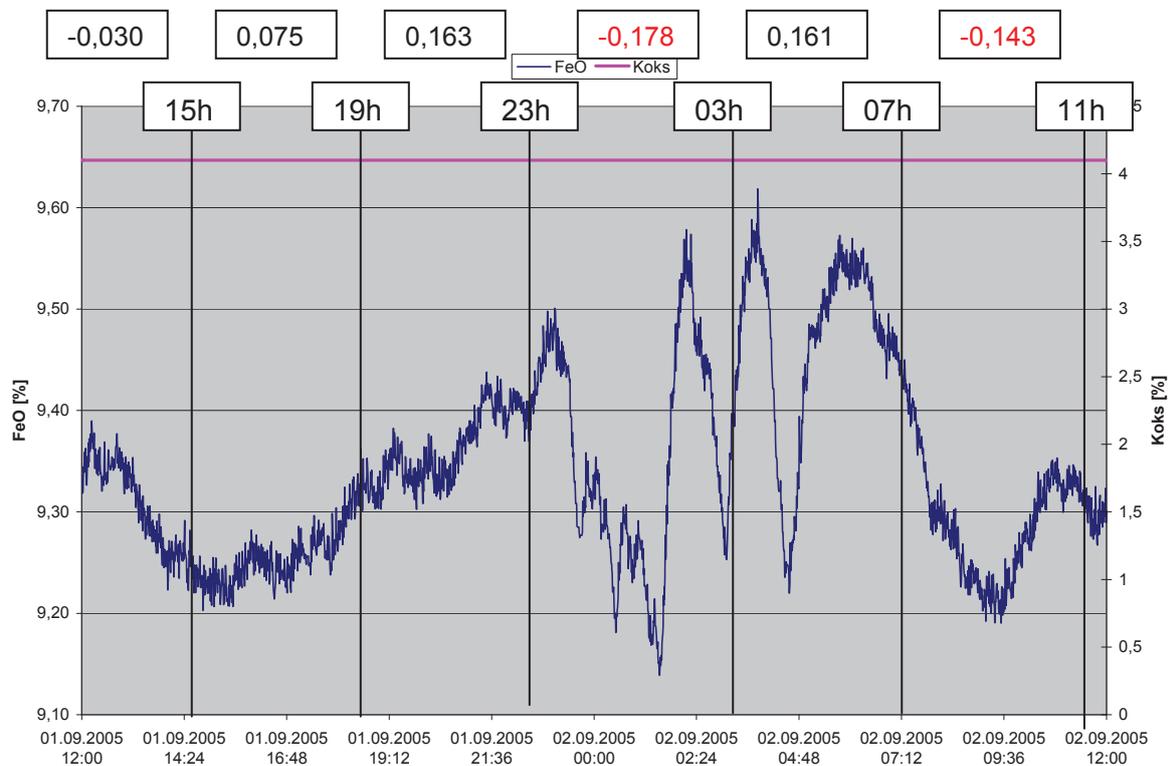


Abbildung 4-16: Ausarbeitung der Steigungen

In dem Diagramm kann man gut erkennen, dass obwohl der FeO – Gehalt sehr großen Schwankungen unterlegen ist, die Kokszufuhr (rosa Gerade am oberen Rand) nie verändert wurde.

Die Zahlen am oberen Rand des Diagramms, stellen die berechneten Steigungen dar, wobei die schwarzen Zahlen für das nicht Erreichen der festgelegten Grenzwerte und die roten Zahlen für das überschreiten der Grenzwerte stehen. Bei nicht Erreichen des Grenzwertes bekommt der Anlagenarbeiten den Vorschlag, den Koks zu verringern und bei überschreiten des Grenzwertes kommt der Vorschlag die Kokszufuhr zu erhöhen.

Zahl schwarz → Abfrage Kokszufuhr verringern

Zahl rot → Abfrage Kokszufuhr erhöhen

4.6 Darstellung des Rückgutanteiles

Im Zuge der Beobachtungen des Systems wurde auch eine Verbesserung in der Prozessführung durchgeführt.

Eine wichtige Größe bei der manuellen Regelung der Kokszufuhr durch die Anlagenarbeiter, ist das Rückgut pro erzeugtem Sinter (Rückgut zu hoch bedeutet Koks zu niedrig bedeutet gleichzeitig niedriger FeO - Gehalt). Da die Kokszufuhr in direktem Zusammenhang mit der FeO – Messung steht, war dieser Schritt ein wichtiger zu Beruhigung des Prozesses und ein weiterer in Hinblick auf die geplante Steuerung

Der Prozessrechner war so eingestellt das er bei jedem Schichtbeginn die Berechnung des Rückgutes neu startete. Aufgrund der etwas schwachen Dämpfung des Signals kam es immer wieder zu sehr großen Schwankungen bei der Anzeige des Rückgutes, die teilweise den Anlagenarbeiter sogar die falsche Richtung vorgaben (siehe Abbildung 4-17). Da die Anlagenarbeiter bei Schichtbeginn die Kokszufuhr nach den Rückgutwerten regelten, kam es häufig zu Erhöhungen die sich wenig später als verfrüht heraus stellten. Dadurch ergab sich im Zuge dieser Diplomarbeit ein weiteres Einsparungspotential an mittlerweile sehr teurem Koksgros.

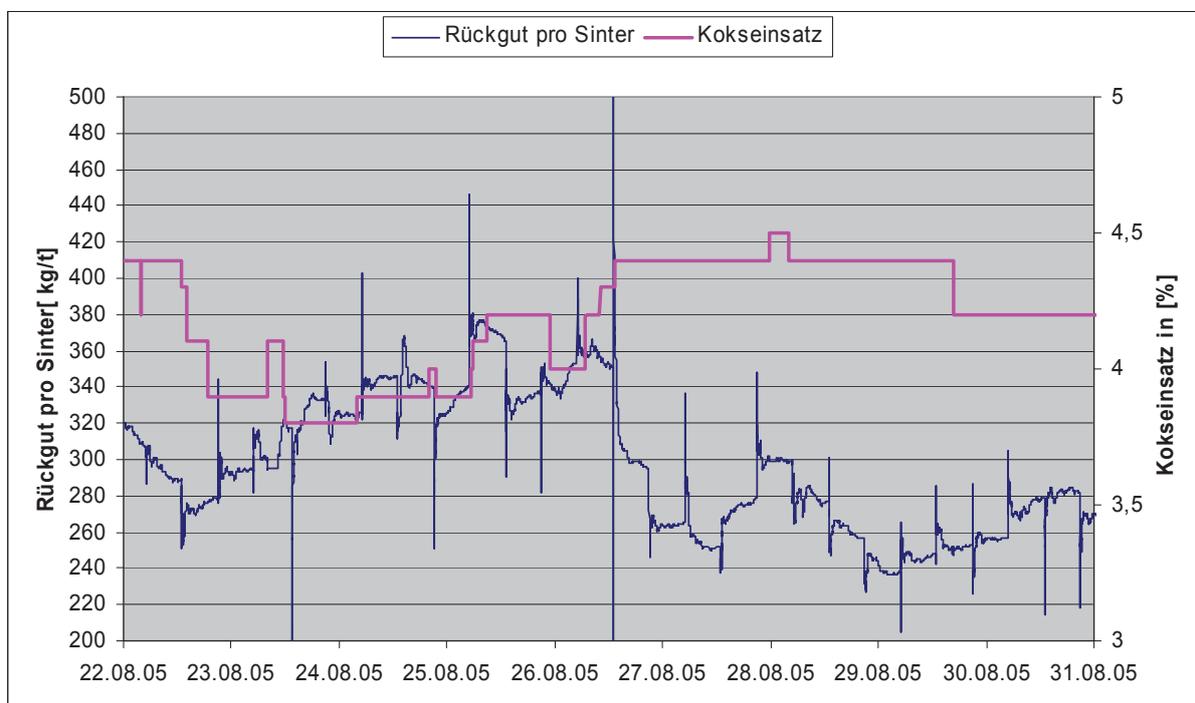


Abbildung 4-17: Rückgutberechnung „ALT“

Nachdem das Programm umgestellt wurde und die Berechnung für das Rückgut über einen gleitenden Mittelwert läuft, hat sich die Anzeige in der Warte als konstant erwiesen und die Anlagenarbeiter werden nicht mehr zu Erhöhungen der Kokszufuhr wegen überhöhter Rückgutwerte verleitet. Der Erfolg dieser Maßnahme (siehe Abbildung 4-18) zeichnet sich in der Beruhigung des ganzen Prozessverlaufes aus, was wiederum eine gute Grundlage für eine weiterführende Regelung über den FeO – Gehalt im Fertigsinter ist.

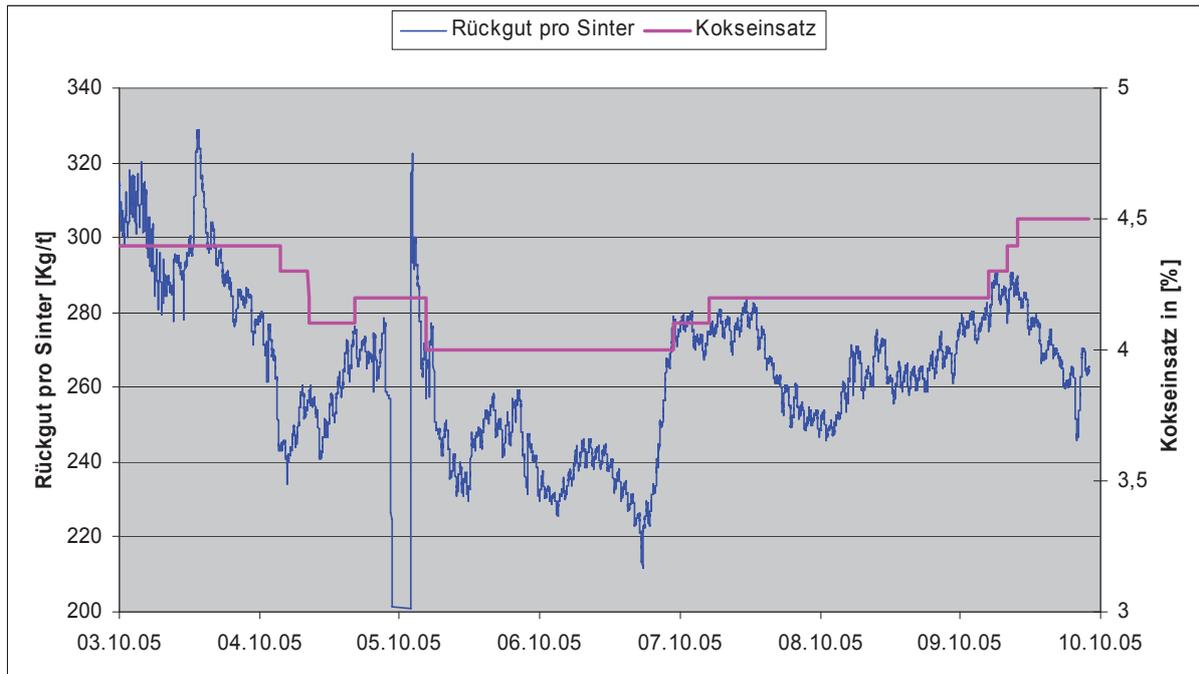


Abbildung 4-18: Rückgutberechnung „NEU“

5 Ergebnisse / Diskussion

Nachdem das Programm für das Vorschlagwesen zur Koksregulierung 6 Monate in Verwendung war, wurden die Ergebnisse ausgewertet.

Unter Berücksichtigung aller wichtigen Parameter die Einfluss auf den Prozess der Sintererzeugung haben, wurde bei den Auswertungen ein sehr positives Ergebnis festgestellt.

Spezifische Leistung:

Diese Kennzahl wird aus der Tagesproduktion brutto (exkl. internes Rückgut) bezogen auf 24 Stunden und der Saugfläche (120m²) berechnet.

$$\frac{\text{Produktion brutto [t]}}{\text{Saugfläche [m}^2\text{]}} = \text{spezifische Leistung}$$

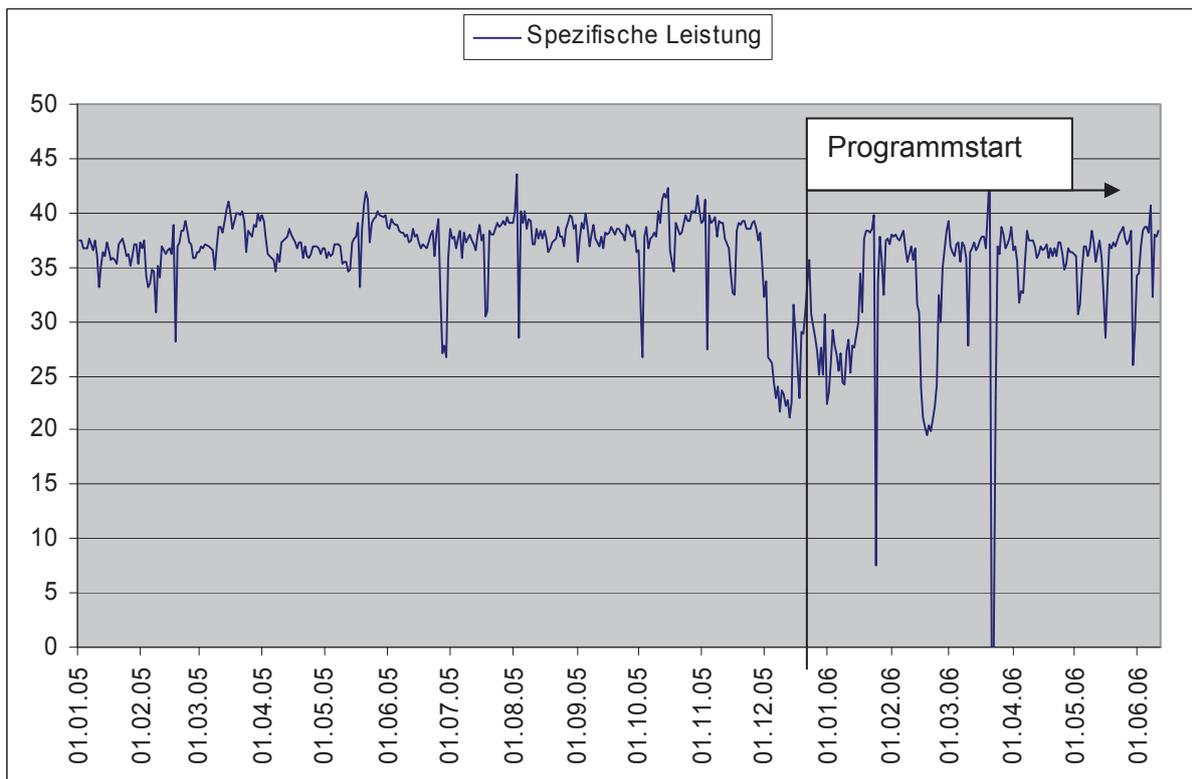


Abbildung 5-1: Spezifische Leistung

Aus dem Diagramm kann man ersehen das die spezifische Leistung beibehalten werden konnte und die Koksregelung keinen negativen Einfluss auf die Produktion nimmt. Die niedrigeren Bereiche ab Dez 2006, ruhen auf einer verminderten Produktion, wegen des Einofenbetriebes während einer Zwischenreperatur des Hochofen 1.

Festigkeit und Basizität des Sinters:

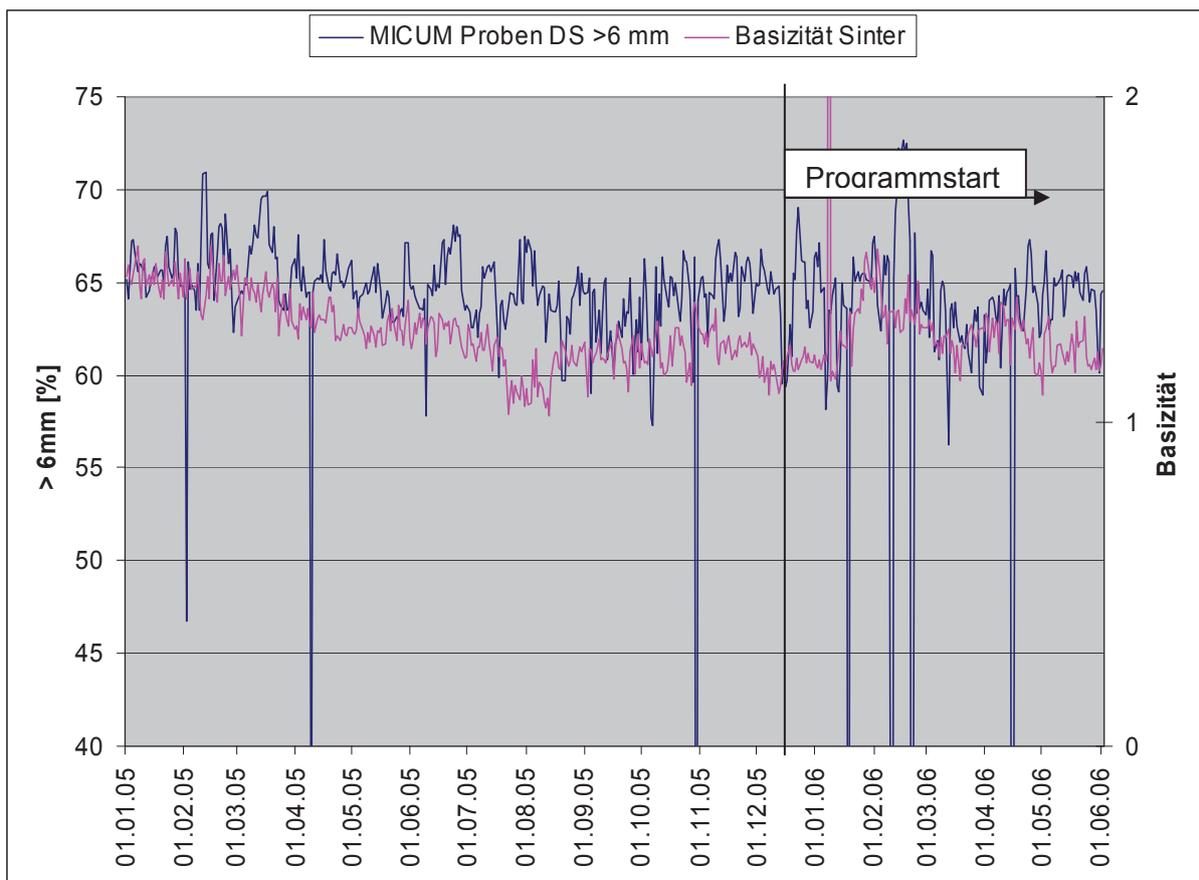


Abbildung 5-2: Festigkeit und Basizität

Die Kaltfestigkeit (MICUM) des Sinters hat für die Produktivität der Sinteranlage große Bedeutung. Wenn die Festigkeit zu gering ist, entsteht beim Transport des Sinters zum Hochofen zu viel Feinanteil, der ausgesiebt wird und als Rückgut wieder zur Sinteranlage zurück kommt.

Die Basizität ist ein direkter Parameter der Festigkeit des Sinters. Je höher die Basizität desto höher die Festigkeit.

Wie man an dem Diagramm Abbildung 5-2 sehen kann, hat sich der Verlauf der Sinterfestigkeit in Bezug auf den Programmstart 27.12.2005 in keiner Weise verändert, und hat dadurch auf die Regelung keinen limitierenden Einfluss.

FeO – Gehalt im Sinter : (Tagesproben mittels Nass-Chemie ermittelt)

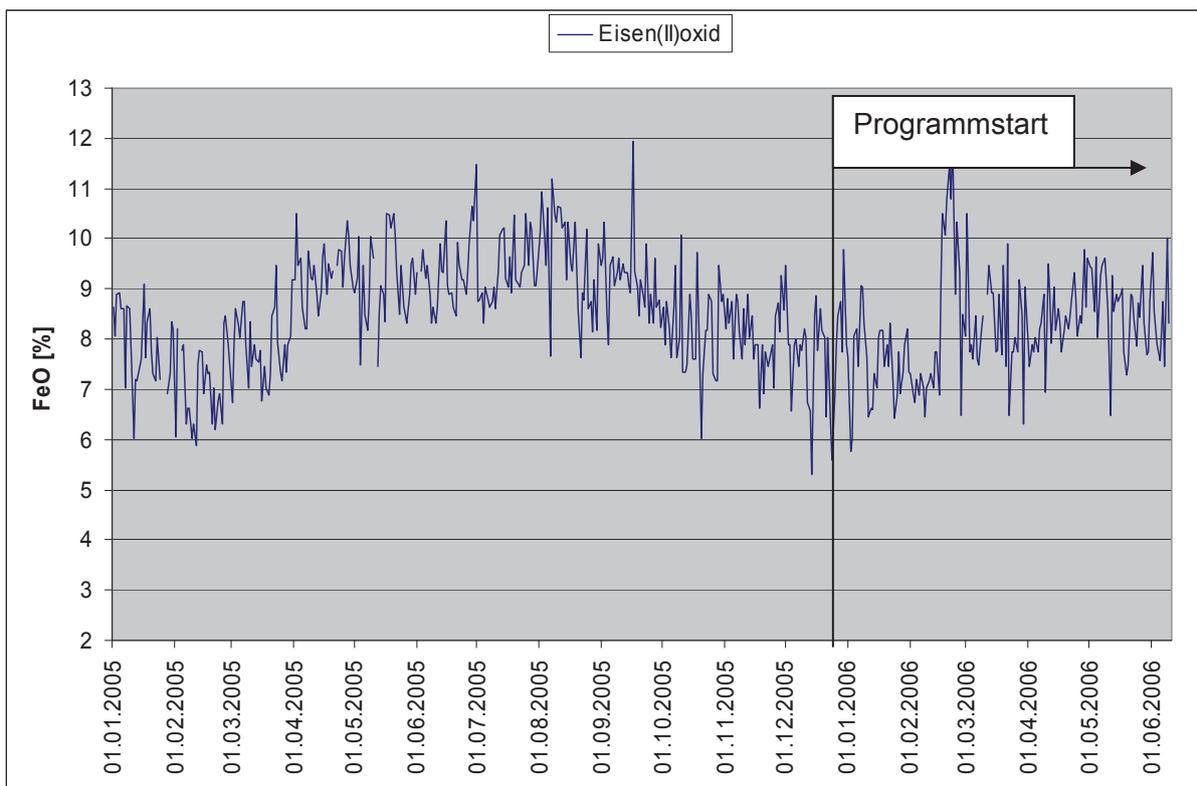


Abbildung 5-3: FeO – Gehalt im Sinter

Obiges Diagramm zeigt den Verlauf des FeO – Gehaltes im Fertigsinter. Da durch die Koksregelung, die ja als Ziel hat Koks einzusparen, und der Koks aber ein Indikator für den FeO- Gehalt ist, ist es bemerkenswert das der Anteil im Fertigsinter nicht rückgängig ist. Das heißt das die Regelung den Bereich in dem der Prozess optimal ablaufen kann, richtig auslotet.

Rückgut:

Dabei sprechen wir von zwei unterschiedlichen Arten von Rückgut, dem „Internen Rückgut“ sowie dem „Externen Rückgut“.

Das interne Rückgut wird schon an der Sinteranlage abgesiebt und wieder in den Prozess zurück geführt und ist ein Indikator für die Qualität (Festigkeit) des Sinters und des Sinterprozesses. Das interne Rückgut entsteht bei der Heißabsiebung direkt nach dem Abwurf und bei der Kaltabsiebung nach der Kühlung und dem Brechen des Sinters. Daher wird der interne Rückgutanteil direkt beim Vorschlagswesen für den Kokseinsatz berücksichtigt.

Das externe Rückgut das beim Hochofen nochmals ausgesiebt wird, kommt zeitverzögert retour zum Sinterprozess und wird nicht direkt in der Kokskorrektur berücksichtigt.

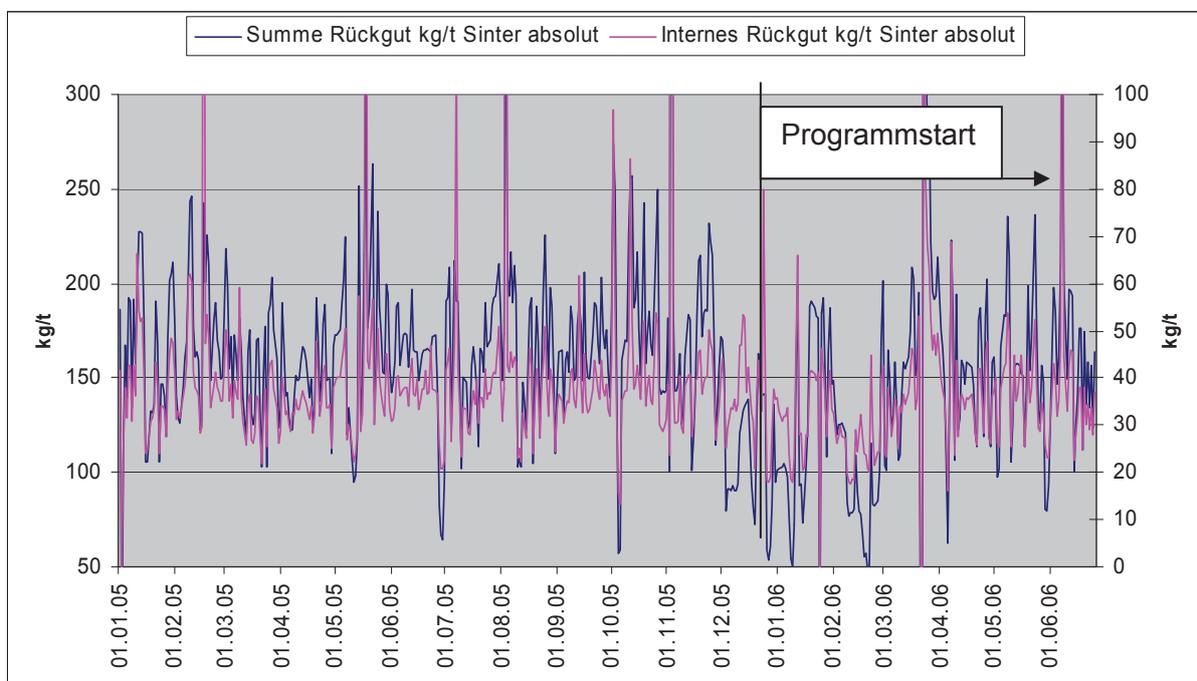


Abbildung 5-4: Summe Rückgut [kg/t]

Da das interne Rückgut bis jetzt schon ein Kriterium für die Kokszugabe war, wurde es auch in das Vorschlagswesen einbezogen. Wie man sieht kam es durch die kleinen aber stetigen Änderungsschritte ($\pm 0,05\%$) in der Kokszufuhr, zu keinem Schwingen des Systems.

Bei der Betrachtung des Rückgutverlaufs (siehe Abbildung 5-5) fällt ab Ende März ein Anstieg des internen Rückguts auf. Das ruht daher das bei einem Stillstand ein neuer Siebbelag in der Heißabsiebung eingebaut wurde, und man dadurch eine bessere

Siebleistung erzielt hat. Das externe Rückgut blieb im Gegenzug auf niedrigem Niveau, da eine bessere Siebleistung in der Sinteranlage weniger Aussiebung beim Hochofen nach sich zieht.

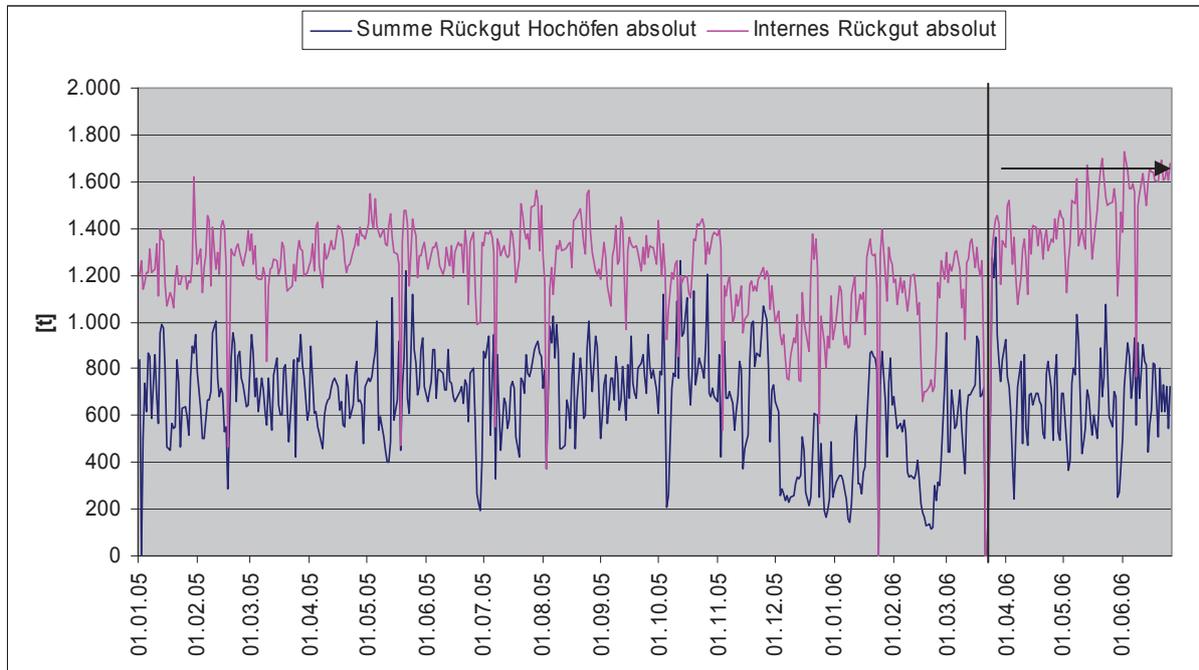


Abbildung 5-5: Rückgut Absolut

Erzmischungen:

Bei den Erzmischungen kommt es dann durch die unterschiedlichen Zusammensetzungen der einzelnen Erzarten zu Schwankungen im Prozess und auch im FeO – Gehalt. Da die XRD- Kanal Laboranalyse den Raumgitterabstand der Kristalle misst, kommt es bei Erzarten mit höherem Kristallanteil zum einem größeren relativen Fehler (Abbildung 4-15). Die Einstellung der Erzmischungen werden zum Großteil durch die Transportlogistik und dem Angebot auf dem Weltmarkt bestimmt und können daher nicht fix eingestellt werden.

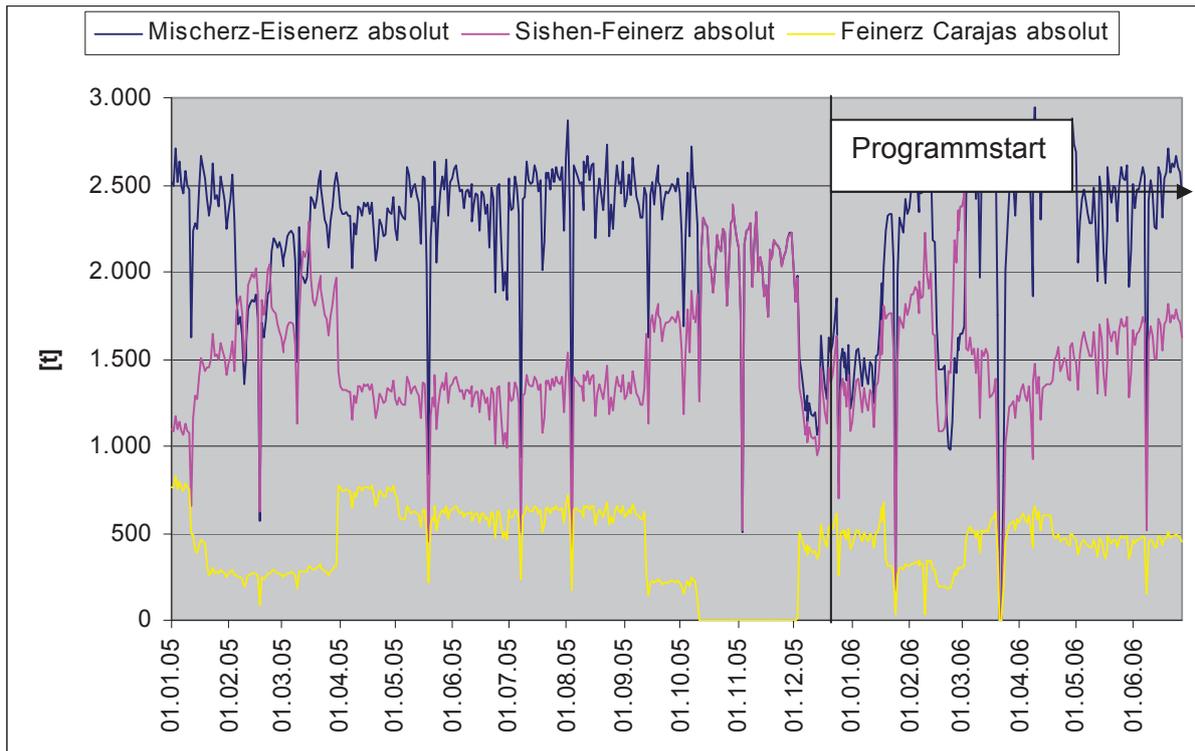


Abbildung 5-6: Erzmischungen Absolut

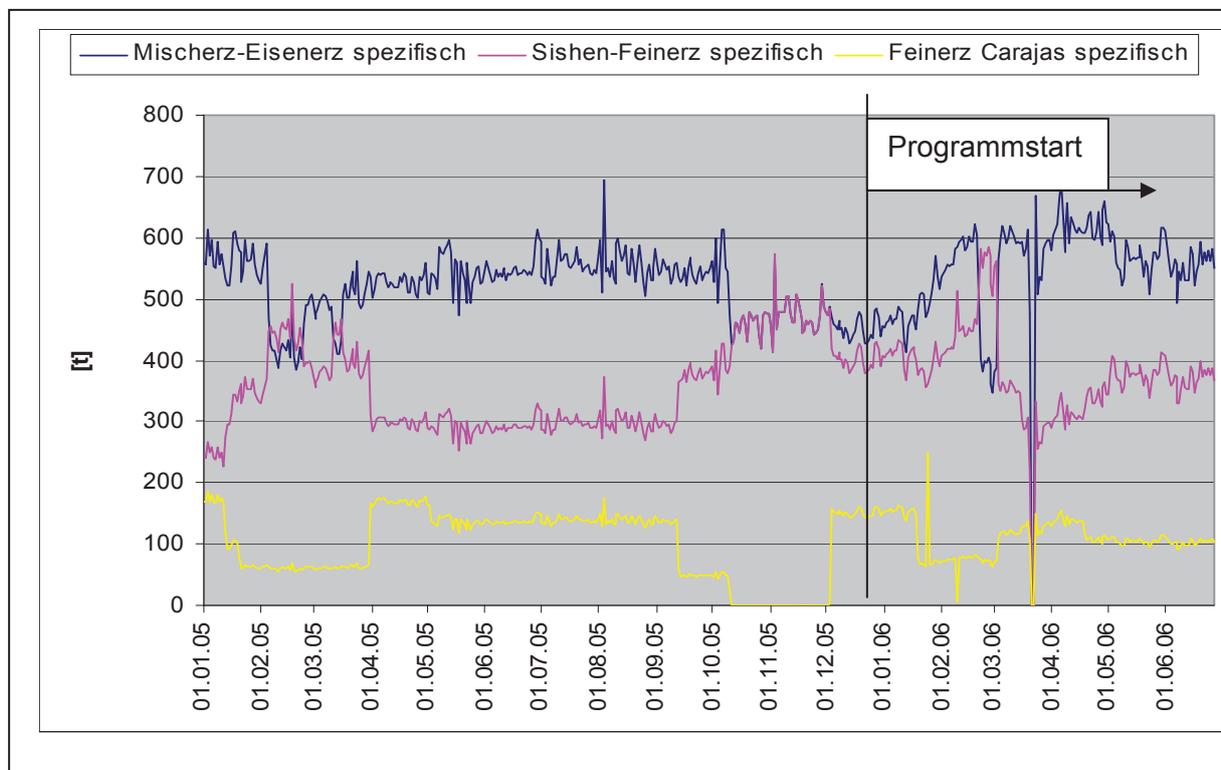


Abbildung 5-7: Erzmischung Spezifisch

Koksgruseinsatz:

Ziel dieser Diplomarbeit war es, den Einsatz an Koksgrus zu reduzieren. In den folgenden Diagrammen wird das Ergebnis dargestellt und auch das Programm beleuchtet, mit dem die Anlagen Arbeiter dieses Ergebnis erzielt haben.

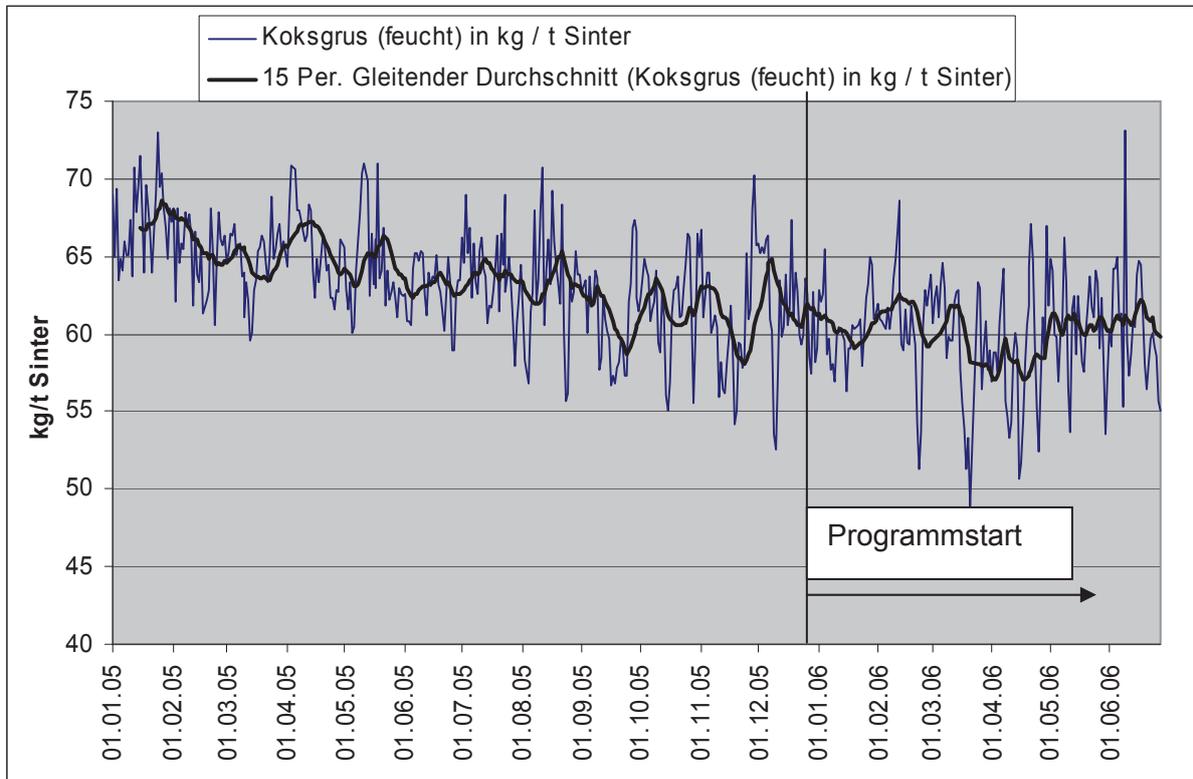


Abbildung 5-8: Koksgrus Einsatz

Die Linie zeigt den Start des Programms und man sieht das von diesem Zeitpunkt an der Kokseinsatz nachhaltig auf einem Niveau um ca. 60kg/t Sinter geblieben ist. Die Produktionsmenge erreichte gegen Ende Juni wieder ein Höchstmass, das mit den Werten des vergangenen Jahres verglichen werden kann und da wurde eine beachtliche Reduktion des Koksgruses erzielt.

Dieser Vergleich ist in folgenden Diagrammen dargestellt

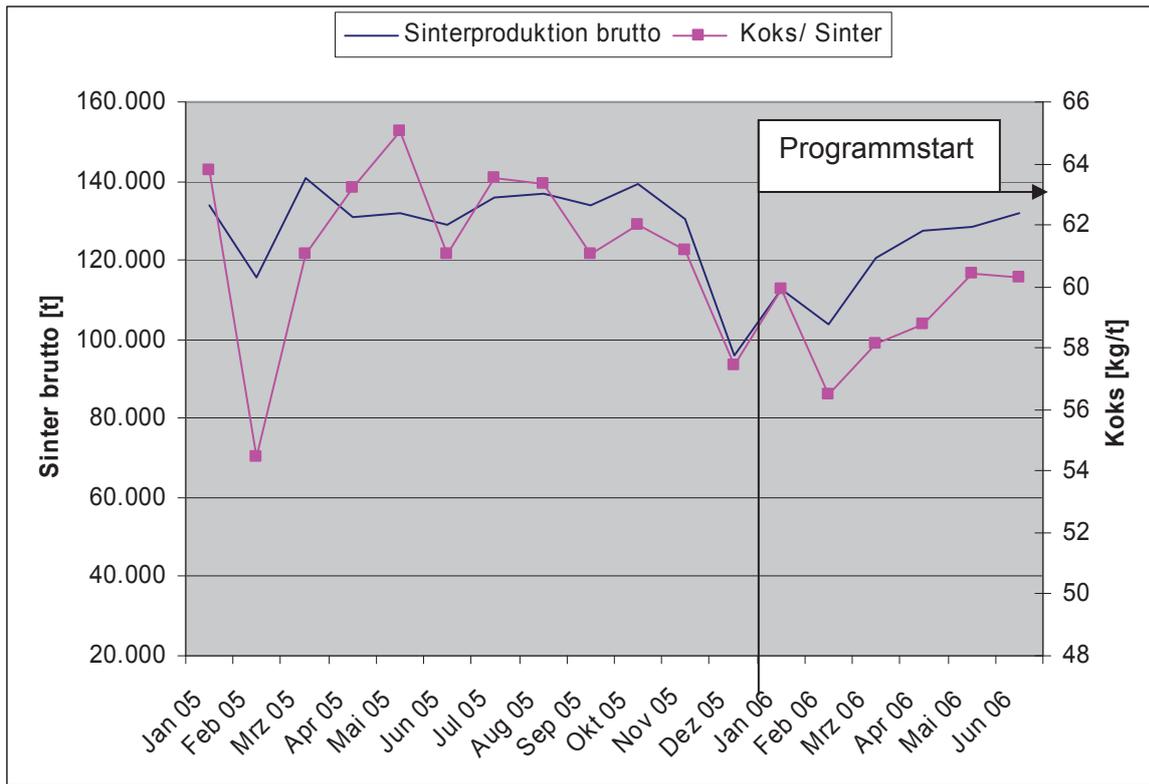


Abbildung 5-9: Sinterproduktion brutto- Kokseinsatz

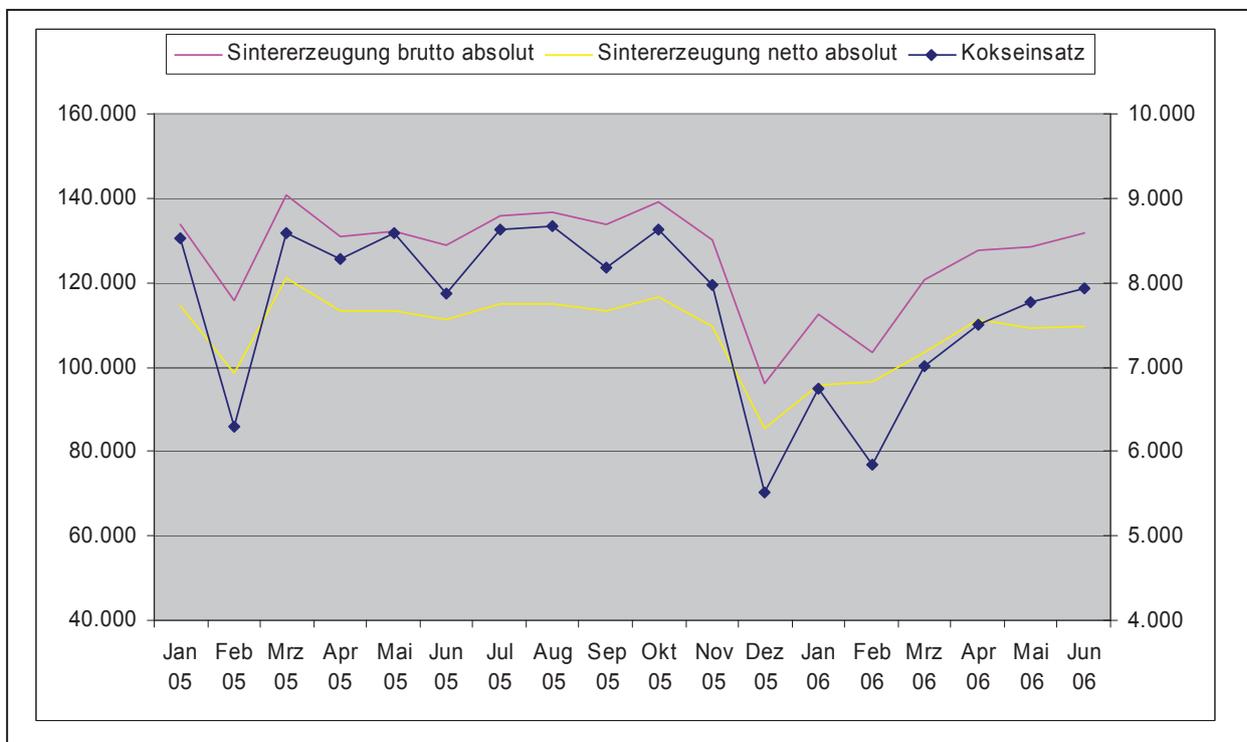


Abbildung 5-10: Sintererzeugung Absolut - Kokseinsatz

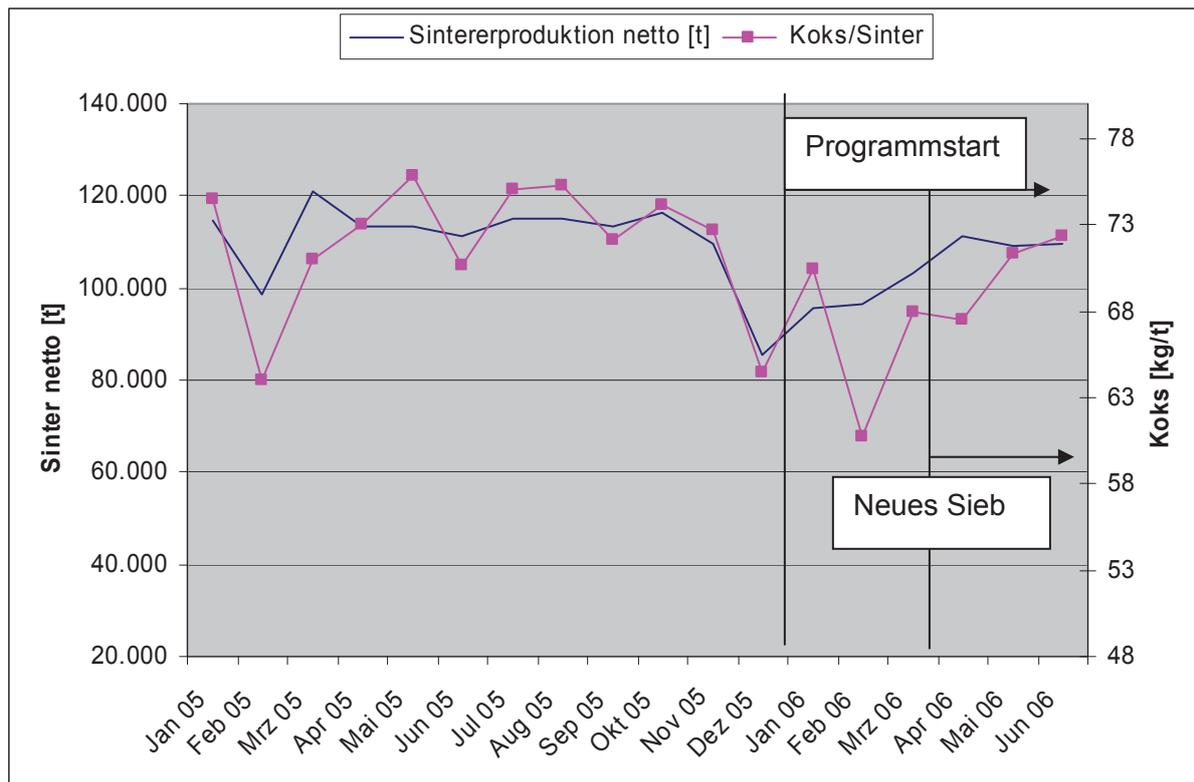


Abbildung 5-11: Sinterproduktion netto - Kokeinsatz

Der Vergleich Sinterproduktion netto und Kokeinsatz ist etwas verfälscht da ab Ende März eines neues Sieb zum Einsatz gekommen ist. Dadurch ist die Netto Leistung nicht im gleichen Maß angestiegen wie die Brutto Leistung, da mehr Sinter ausgesiebt werden konnte. (siehe Abbildung 5-5). Dadurch ist bei dieser Betrachtung die Einsparung an Koks nicht so deutlich ersichtlich.

In Tabelle 4 sind die Verbrauchs – und Produktionszahlen monatsweise aufgelistet. Die gleichfarbig unterlegten Zeilen markieren Monate mit annähernd gleicher Produktion. Der Koksverbrauch liegt mit der Regelung ab Dezember 2005, teilweise deutlich unter den Vergleichswerten ohne dieser Regelung.

Tabelle 4: Verbrauchs – und Produktionszahlen

	Kokseinsatz	Sintererzeugung brutto absolut	Sintererzeugung netto absolut	kg Koks/t Sinter brutto	kg Koks/t Sinter netto
01.01.05	8.532,3180	133.737,21	114.518,00	63,80	74,51
01.02.05	6.300,3640	115.700,74	98.489,00	54,45	63,97
01.03.05	8.587,2880	140.699,99	120.913,50	61,03	71,02
01.04.05	8.276,1340	130.887,07	113.357,51	63,23	73,01
01.05.05	8.588,8480	132.100,00	113.232,00	65,02	75,85
01.06.05	7.864,1030	128.781,45	111.366,77	61,07	70,61
01.07.05	8.624,5200	135.766,54	114.976,35	63,52	75,01
01.08.05	8.663,6250	136.794,31	115.028,32	63,33	75,32
01.09.05	8.178,4700	133.958,46	113.379,02	61,05	72,13
01.10.05	8.626,8420	139.068,26	116.385,10	62,03	74,12
01.11.05	7.971,1880	130.284,65	109.696,51	61,18	72,67
01.12.05	5.518,4040	96.093,03	85.640,00	57,43	64,44
01.01.06	6.741,5280	112.536,43	95.686,20	59,91	70,45
01.02.06	5.852,9830	103.652,52	96.350,43	56,47	60,75
01.03.06	7.013,3920	120.609,74	103.296,27	58,15	67,90
01.04.06	7.497,6630	127.538,54	111.123,61	58,79	67,47
01.05.06	7.775,5100	128.648,99	109.071,09	60,44	71,29
01.06.06	7.934,7300	131.660,74	109.752,68	60,27	72,30

Noch deutlicher wird die Einsparung in Tabelle 5 sichtbar. Sie zeigt Produktionstage mit sehr ähnlichen Mischungsverhältnissen, Produktivitäten und Spezifischen Leistungen. Bei teilweise höheren spezifischen Leistungen liegen die Koksverbrauchszahlen mitunter 8 kg pro Tonne erzeugtem Sinter unten den Werten des vergangenen Jahres. Der Bereich mit Beginn 28.10.05 ist ein Beispiel für eine Erzmischung ohne Carajas Erz, und auch hier liegen die Koksverbrauchszahlen deutlich über denen mit der Regelung.

Da der Prozess der Sintererzeugung ein sehr komplexer ist, und teilweise großen Schwankungen unterliegt, muss ein längerer Zeitraum beobachtet werden, was dann nach dieser Diplomarbeit weiter durchgeführt wird, um langfristige absolute Zahlen zu erhalten.

Das bisherigen Ergebnisse zeigen eine Einsparung von 1 – 3 kg Koks pro Tonne erzeugtem Sinter.

Tabelle 5: Vergleichsdaten

	Sintererzeugung absolut	Mischerz- Eisenerz absolut	Sishen Feinerz absolut	Feinerz Carajas absolut	Summe Brennstoffe absolut	Koksgrus kg/t Sinter	Spezifische Leistung
01.01.05	4.491,61	2.511,56	1.091,86	764,35	309,80	68,97	37,43
02.01.05	4.491,00	2.496,00	1.086,00	760,00	285,10	65,02	37,43
03.01.05	4.397,85	2.704,80	1.175,93	823,25	304,87	69,32	36,70
04.01.05	4.411,25	2.513,25	1.100,00	750,00	280,10	63,50	36,76
05.01.05	4.410,11	2.631,50	1.144,27	800,97	286,00	64,85	36,75
MW	4.440,36	2.571,42	1.119,61	779,71	293,17	66,33	37,01
28.10.05	4.798,79	2.302,26	2.302,18	0,00	266,70	55,58	39,99
29.10.05	4.998,94	2.391,72	2.391,59	0,00	298,19	59,65	41,66
30.10.05	4.802,54	2.281,60	2.281,50	0,00	319,00	66,42	40,22
31.10.05	4.618,40	2.192,64	2.192,53	0,00	300,00	64,96	39,11
01.11.05	4.717,64	2.144,21	2.144,17	0,00	315,00	66,77	39,31
MW	4.787,26	2.262,48	2.262,39	0,00	299,78	62,68	40,06
17.06.06	4.659,42	2.541,29	1.694,32	470,59	286,29	61,44	38,83
18.06.06	4.624,65	2.572,76	1.715,19	476,39	268,60	58,08	38,59
19.06.06	4.565,84	2.708,84	1.813,45	503,66	257,40	56,38	38,10
20.06.06	4.603,66	2.565,58	1.710,36	475,09	267,28	58,06	38,39
21.06.06	4.545,50	2.621,47	1.747,66	485,44	271,18	59,66	38,04
MW	4.599,81	2.601,99	1.736,20	482,23	270,15	58,72	38,39

Auswertungen des Programms:

Das Programm arbeitet nach dem Prinzip des Vorschlagwesens. Das heißt, die Änderungen werden nicht automatisch durchgeführt sondern werden dem Anlagenarbeiter als Vorschlag angeboten und er entscheidet ob er eine Änderung durchführt oder nicht.

Tabelle 6: Auswertung Programm

Zeitraum: 27.12.05 - 03.05.06				
Ereignisse				
799		Gesamt		
51		Programm durch Anwender geschlossen		
5		Zeitüberschreitung bei Antwortgabe		
421		Vorschlag Koks verringern		
	2	keine Antwort da Zeitüberschreitung		
	106	Vorschlag angenommen		
	315	Vorschlag abgelehnt	Grund	
		108	111	Rückgut zu hoch
		137	112	Sinterabwurf nicht in Ordnung
		70	113	wurde bereits geändert
322		Vorschlag Koks erhöhen		
	2	keine Antwort da Zeitüberschreitung		
	66	Vorschlag angenommen	Grund	
		26	211	Rückgut zu hoch
		38	212	Sinterabwurf nicht in Ordnung
	256	Vorschlag abgelehnt		

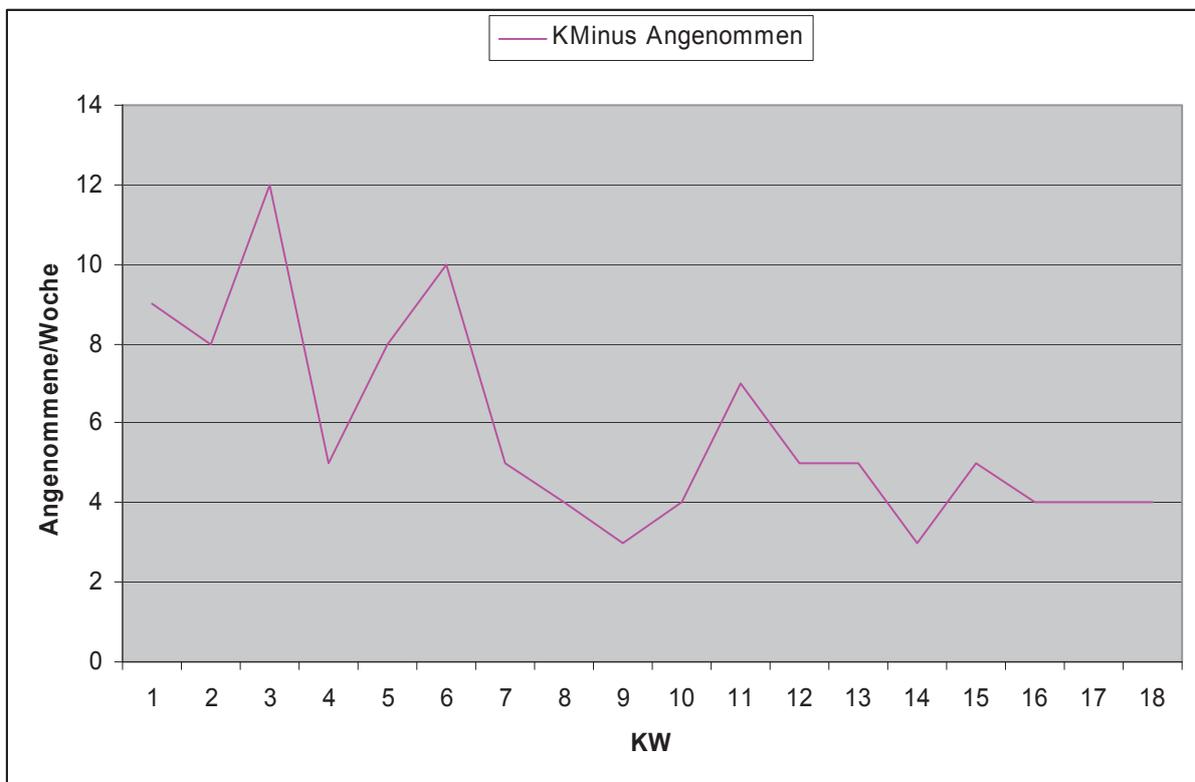


Abbildung 5-12: Häufigkeit angenommener Vorschläge Koks zu verringern

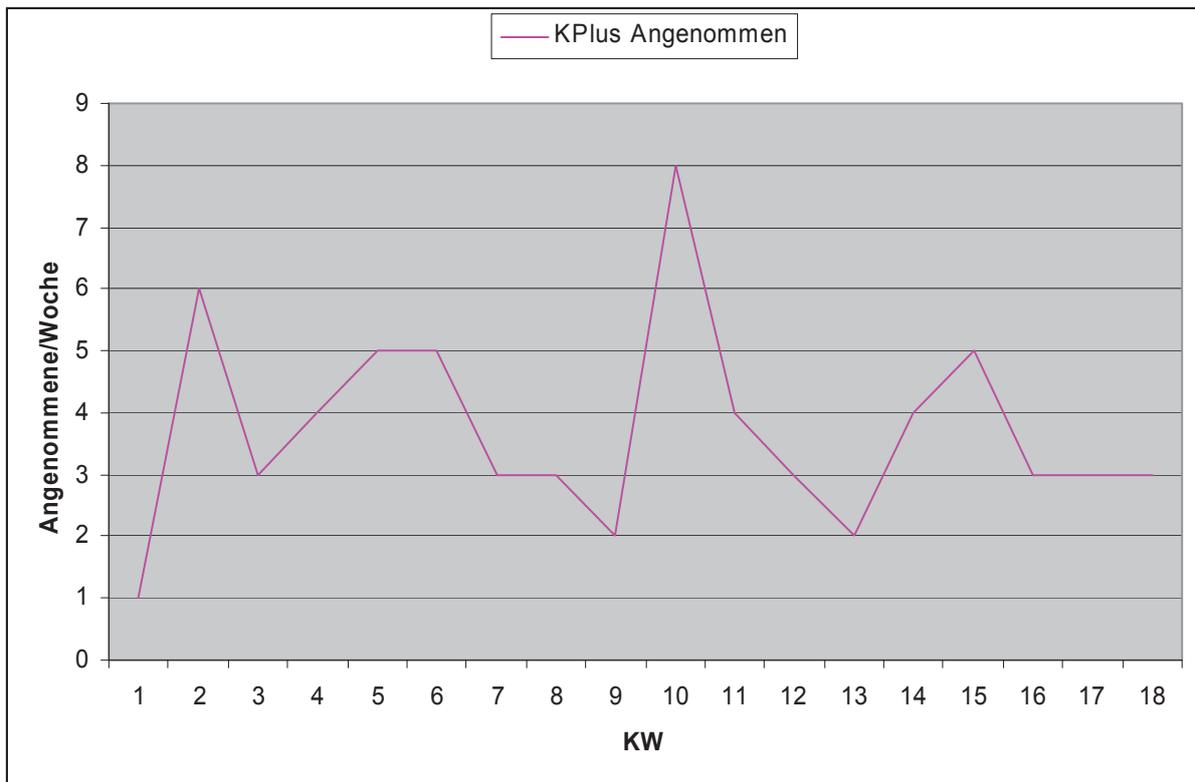


Abbildung 5-13: Häufigkeit angenommener Vorschläge Koks zu erhöhen

Es ist bei den angenommenen Vorschlägen eine leichte Tendenz der Abnahme zu erkennen. Das kann entweder die Folge des Gewöhnungseffektes an das neue Programm nach einer gewissen Zeit sein oder man bewegt sich jetzt so wie so immer an der unteren Grenze des optimalen Bereichs und muss nicht mehr so oft reagieren.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, mittels einer on line FeO – Messung des Fertigsinters den Koksersatz bei der Sinterproduktion zu optimieren.

Dies erfolgte in mehreren Schritten beginnend mit der Montage und Installation der Spule „Ramsey Coil“ am Sinterförderband. Diese Spule hat als Ausgangssignal die Einheit mA, welche dann mit Hilfe der Laboranalysen, wobei die Nasschemische- und Röntgendiffraktometrie (XRD)- Methode verwendet wurden, in wochenlangen Auswertungen auf das benötigte Ausgangssignal „% FeO“ im Fertigsinter kalibriert wurde.

Dabei musste die Komplexität des Prozesses immer beachtet werden. Zum Beispiel kam es nur durch die Änderung des Koksgrusherstellers, ohne jeglicher Veränderung des Mischungsverhältnisses, zu einer Veränderung des FeO - Gehaltes im Fertigsinter.

Diese Schwankungen stellten das Vorhaben eine automatisierte Koksregelung zu installieren vor eine schwierige Aufgabe. Noch dazu kam, dass die Datenaufbereitung in der Sinteranlage nur auf Basis der SPS – Steuerung basiert und sehr wenig Datenbankkapazität vorhanden ist. Um eine softwarebasierende Lösung zu installieren, wäre es notwendig gewesen, die Sinteranlage auf das Expertensystem des Hochofens aufzurüsten. Das wurde aber aus zeitlichen und finanziellen Gründen im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht realisiert, ist aber ein Punkt der für die Zukunft angedacht wird.

Nach mehreren Gesprächen mit den Anlagenarbeitern, dem Schichtmeister und der Betriebsleitung stellte sich heraus, dass ein Vorschlagswesen, ähnlich dem des Expertensystem, für diesen Zweck die ideale Lösung wäre.

Der große Vorteil dieses Vorschlagswesens besteht darin, dass das Wissen der Anlagenarbeiter benötigt wird und sie dabei auch aktiv in den Einsparungsprozess eingebunden werden. Dies erfolgt über eine Abfrage am Bildschirm des Prozessrechners, welche alle 4 Stunden automatisch erscheint und welche die endgültige Entscheidung und auch die Durchführung der Änderung der Kokszufuhr durch den Anlagenarbeiter unterstützen soll. Dadurch soll die Eigenverantwortung gefördert und das Bewusstsein aktiv am Sparprozess mithelfen zu können gesteigert werden, Im Zuge dieser Arbeit wurde auch festgestellt, dass der Prozessrechner, der die Rückgutwerte ermittelt, so eingestellt war, dass er jedes Mal bei Schichtbeginn mit der Neuberechnung startete. Durch die schwache Dämpfung des Signals kam es zu großen Schwankungen und überhöhten Werten in der Anzeige des Rückgutes. Dies hatte zur Folge, dass die Anlagenarbeiter, da das Rückgut ein wesentlicher Parameter für die Kokszufuhr ist, reagierten und den Koks erhöhten. Nach einigen Stunden stellte sich dieses Handeln dann häufig als nicht notwendig heraus, was einen Prozessbetrieb mit nicht benötigter erhöhter Kokszufuhr über diesen Zeitraum zufolge hatte. Nach Änderung der Neuberechnung, die nun einen längeren Zeitraum einbezieht,

stellte sich eine deutliche Beruhigung des Prozesses ein, was natürlich in Hinsicht auf die Regelung ein großes Plus bedeutet und auch den Koksverbrauch verringert.

Das Programm des Vorschlagswesen wurde nach sechsmonatiger Betriebsdauer ausgewertet und die Ergebnisse dargestellt. Dabei stellte sich heraus, dass mit dieser Methode die Möglichkeit besteht 1 – 3 kg Koks pro t erzeugtem Sinter einzusparen.

7 Verzeichnisse

7.1 Literatur

- [1] Cappel, Fred; Wendeborn, Helmut: Sintern von Eisenerzen, Düsseldorf: .-Verlag Stahleisen m.b.H, 1973.- ISBN 3514001316
- [2] Hague M.J., European Commission.(Hrsg.) Technical Steel Research – Improved process control of a sinter plant; Luxembourg 2003.- ISBN 9289447699
- [3] A. Kumar, A. K. Dey: Ironmaking Conference Proceederings, 60,2001, 973-983
- [4] N. Ohyama, K. Hushiro, Y. Konishi, K. Igawa, and K. Sorimachi: Kawaski Steel Report No. 38, 1998. CAMP-ISIJ, 8(1995), 845
- [5] E. Bäck, H. Hiebler: Eisenhüttenkunde I, Skriptum, Institut für Eisenhüttenkunde SS 1996, Montanuniversität Leoben
- [6] K. Hamada et. al.: An advanced total control system for the sintering process. Sumitomo Search No. 54 , (1993) Oct.
- [7] G. Straka: Betriebsbeschreibung der voestalpine AG Linz
- [8] DI. Harald Fürnschuß: Stahl und Eisen 115 (1995), Heft 6, Seite 75 – 77, Verlag Stahl Eisen mbH, Düsseldorf
- [9] D.J. Fisher, B. Coulston: Ironmaking Conference Proceedings, 1997, Seite 383 ff
- [10] T. Hauck, R. Klima: Stahl und Eisen 123, (2003) Seite 69-73, Verlag Stahl Eisen mbH, Düsseldorf

7.2 Tabellen

Tabelle 1: Sintereigenschaften.....	12
Tabelle 2: Chemische Analyse der verwendeten Erzarten in Gewichts.-%:	54
Tabelle 3: Grenzwerte für Steigungsberechnung.....	57
Tabelle 4: Verbrauchs – und Produktionszahlen.....	70
Tabelle 5: Vergleichsdaten.....	71
Tabelle 6: Auswertung Programm.....	72

7.3 Abbildungen

Abbildung 2-1: Entwicklung der Sinter, Roheisen, Rohstahlerzeugung in Deutschland	6
Abbildung 2-2: Aufbau verschiedener Erzmöller mit unterschiedlichem Ausbringen nach R. Mintrop	8
Abbildung 2-3: Wärmeaufwand und Koksverbrauch in Abhängigkeit von Möllerausbringen und indirekter Reduktion nach R. Mintrop	9
Abbildung 2-4 Fließbild der Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz GmbH	10
Abbildung 2-5: Festigkeitsverteilung der Sinterschicht.....	11
Abbildung 2-6: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs von 1970 bis 1995.....	13
Abbildung 2-7: Funktionsschema der Sinteranlage der voestalpine Stahl Donawitz GmbH ..	14
Abbildung 3-1: Schema einer Sinterprozessesregelung	17
Abbildung 3-2: Regelungskonzept mit Einbindung des Widerstandes.....	19
Abbildung 3-3: Vergleich zwischen klassischer- und modellbasierter Regelung	20
Abbildung 3-4: Technischer Aufbau eines Messrostwagen	22
Abbildung 3-5: Von der Glühzone zum Durchbrennpunkt.....	25
Abbildung 3-6: Durchbrennpunkt.....	26
Abbildung 3-7: Korrelation Temperatur - Durchbrennpunkt	27
Abbildung 3-8: Korrelation Temperaturanstiegspunkt – Durchbrennpunkt	28
Abbildung 3-9: Berechnungsmethoden des Durchbrennpunktes.....	29
Abbildung 3-10: Berechnungsstruktur auf Basis variabler Zeitschritte	31
Abbildung 3-11: Vergleich Temperatur und Modell-Durchbrennpunkt	34
Abbildung 3-12: Temperaturverlauf am Ende des Sinterbandes	37
Abbildung 3-13: Versuch 1	39
Abbildung 3-14: Versuch 2	39
Abbildung 3-15: Versuch 3	40
Abbildung 4-1: Belt Coil.....	42
Abbildung 4-2: Zusammenhang zwischen Spulenwert und Massenstrom [^]	44
Abbildung 4-3: Gegenüberstellung Nasschemischer und XRF Analyse	46
Abbildung 4-4: Gegenüberstellung Nasschemischer und XRD Analyse	47
Abbildung 4-5: Abweichung der beiden Analysenmethoden von einander	47
Abbildung 4-6: 1 min Werte.....	48

Abbildung 4-7: 5 min Werte	49
Abbildung 4-8: 30 min Werte	49
Abbildung 4-9: Türkise Kurve zeigt die Verbesserung durch neue Geradengleichung	50
Abbildung 4-10: Glättung der Anzeige	51
Abbildung 4-11: Befüllung des Rostbelagbunker	52
Abbildung 4-12: Zyklische Schwankung der FeO Messung	52
Abbildung 4-13: Zusammenhang Befüllung Rostbelagbunker u. FeO-Messung	53
Abbildung 4-14: Signal Werte (normiert und gedämpft)	53
Abbildung 4-15: Erzmischungen	55
Abbildung 4-16: Ausarbeitung der Steigungen	58
Abbildung 4-17: Rückgutberechnung „ALT“	59
Abbildung 4-18: Rückgutberechnung „NEU“	60
Abbildung 5-1: Spezifische Leistung	61
Abbildung 5-2: Festigkeit und Basizität	62
Abbildung 5-3: FeO – Gehalt im Sinter	63
Abbildung 5-4: Summe Rückgut [kg/t]	64
Abbildung 5-5: Rückgut Absolut	65
Abbildung 5-6: Erzmischungen Absolut	66
Abbildung 5-7: Erzmischung Spezifisch	66
Abbildung 5-8: Koksgrus Einsatz	67
Abbildung 5-9: Sinterproduktion brutto- Kokseinsatz	68
Abbildung 5-10: Sintererzeugung Absolut - Kokseinsatz	68
Abbildung 5-11: Sinterproduktion netto - Kokseinsatz	69
Abbildung 5-12: Häufigkeit angenommener Vorschläge Koks zu verringern	72
Abbildung 5-13: Häufigkeit angenommener Vorschläge Koks zu erhöhen	73

Anhang

Benutzungsanleitung FeO- Messung und Koksregelung

1. Aufgabe:

Berechnung

Aus den FeO- Messdaten wird alle 4 Stunden, beginnend mit 03:00 Uhr, die Steigung der Messwerte für die letzten 4 Stunden, die letzten 8 Stunden und die letzten 12 Stunden berechnet.

Abfrage

Als Regelungsvorschlag für den Kokseinsatz wird in der Warte nach jeder Berechnung eine Abfrage nach Koksverringern (K-) oder Kokserhöhung (K+) ausgegeben, je nach dem, ob die berechneten Steigungen die vorgegebenen Grenzwerte über- oder unterschreiten.

Speicherung

Alle berechneten Ergebnisse sowie die Antworten auf die Abfrage werden für spätere Auswertungen gespeichert.

2. Starten:

Das Programm wird ausschließlich durch Doppelklick auf das Symbol 'FeO-Koks' auf dem Windows- Desktop gestartet.

In der Standardeinstellung ist das Hauptfenster des Programms ausgeblendet (minimiert) und auf einen Eintrag in der Task- Leiste reduziert. Nur nach den Berechnungen (alle 4 Stunden) wird ein Abfragefenster geöffnet.

3. Beenden

Ist das Hauptfenster ausgeblendet (minimiert), so ist es durch Klick auf den Taskleisten- Eintrag 'FK: Online ...' zu öffnen. Vom Hauptfenster aus kann das Programm über die

Schaltfläche 'Programmende' und der Antwort 'Ja' in der Sicherheitsabfrage beendet werden (siehe 5.1. und 5.2.).

4. Betrieb

Programm Hauptfenster



Anzeigen und Schaltflächen

Im Programm- Hauptfenster wird der Zeitpunkt der letzten Aktualisierung des programm-internen Zeitgebers und das letzte Berechnungsergebnis angezeigt.

Es sind zwei Schaltflächen, 'Programmende' (rot) und 'Ausblenden' (gelb), vorhanden. Ihre Aufgaben sind:

'Programmende' Reguläres Beenden des Programms (siehe Kap. 4.).

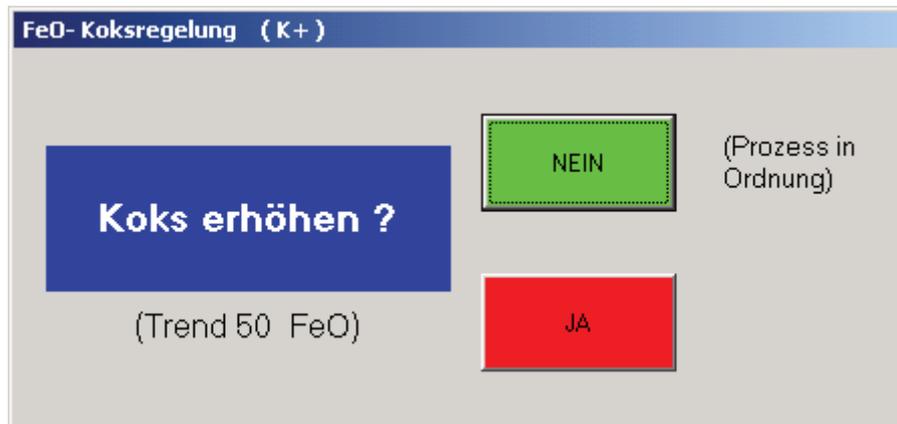
Als Sicherheit gegen unbeabsichtigtes Betätigen dieser Schaltfläche wird mit dem Fenster 'FK: Abbruch ?' noch einmal nachgefragt. Mit 'Nein' kann der Abbruch des Programms vermieden werden



'Ausblenden' Ausblenden des Hauptfensters (minimieren); nur ein Eintrag in der Taskleiste erinnert an das laufende Programm. Durch einen Klick auf diesen Eintrag kann das Hauptfenster wieder eingeblendet werden.

Abfrage Koks erhöhen (K+)

Wenn bei der Berechnung die Bedingungen für eine Erhöhung des Kokseinsatzes erfüllt sind, wird das Abfragefenster 'FeO- Koksregelung (K+)' geöffnet.



Die Abfrage ist mit einem Mausklick auf 'NEIN' oder 'JA' zu beantworten. Wird keine Maus verwendet, so ist der punktierte Rahmen der aktiven Schaltfläche mit der <Tab> - oder den Pfeiltasten (Cursortasten) der Antwort entsprechend zu verschieben und danach mit <Enter, Return> die Antwort zu wählen.

Die Antwort 'NEIN' beendet die Abfrage, während 'JA' noch weitere Angaben verlangt.

Zusatzfrage bei K+ und 'JA'

Es wird noch nach dem Grund der Kokserhöhung gefragt. Die Auswahl ist mit der 'OK'-Taste abzuschließen. Bis dahin kann sie verändert werden.

FeO- Koksregelung (K+)

warum erhöhen ?

- Rückgut zu hoch
- Abwurf nicht in Ordnung

Koksänderung Vorschlag

+ 0,05 %

OK

Aus einer Liste mit vorgegeben Antworten muss eine Zeile entweder mit Mausklick auf den Text oder das Kästchen ausgewählt werden. Bei reinem Tastaturbetrieb sind dafür die Pfeiltasten (Cursortasten) zu verwenden. Nach dem Öffnen des Fensters ist noch kein Kästchen markiert. In diesem Zustand kann die Abfrage mit der 'OK'- Taste **nicht** verlassen werden; erst wenn eine Zeile der Liste markiert ist (Haken im Kästchen), ist dies möglich.

Abfrage Koks verringern (K-)

Wenn bei der Berechnung die Bedingungen für eine Verringerung des Kokseinsatzes erfüllt sind, so wird das Abfragefenster 'FeO- Koksregelung (K-)' geöffnet.

FeO- Koksregelung (K-)

Koks verringern ?

(Trend 50 FeO)

JA

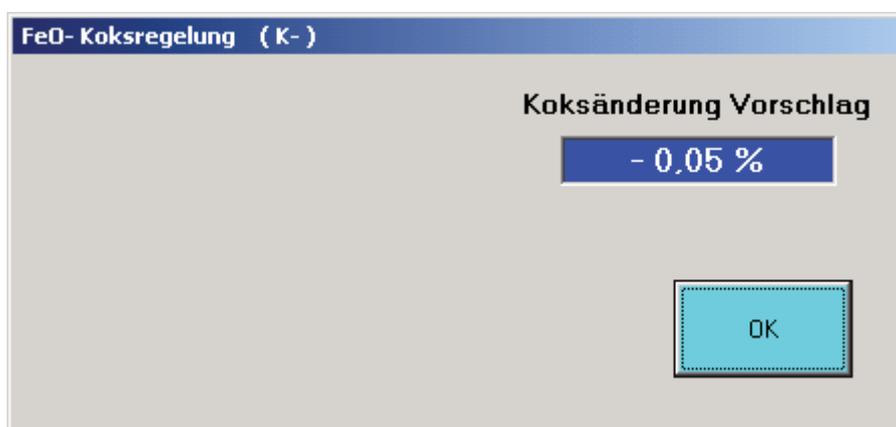
NEIN

(Prozess in Ordnung)

Die Abfrage ist mit einem Mausklick auf 'JA' oder 'NEIN' zu beantworten. Wird keine Maus verwendet, so ist der punktierte Rahmen der aktiven Schaltfläche mit der <Tab> - oder den Pfeiltasten (Cursortasten) der Antwort entsprechend zu verschieben und danach mit <Enter, Return> die Antwort zu wählen. Beide Antworten, 'JA' als auch 'NEIN', verlangen noch weitere Angaben oder Bestätigungen.

Zusatz bei K- und 'JA'

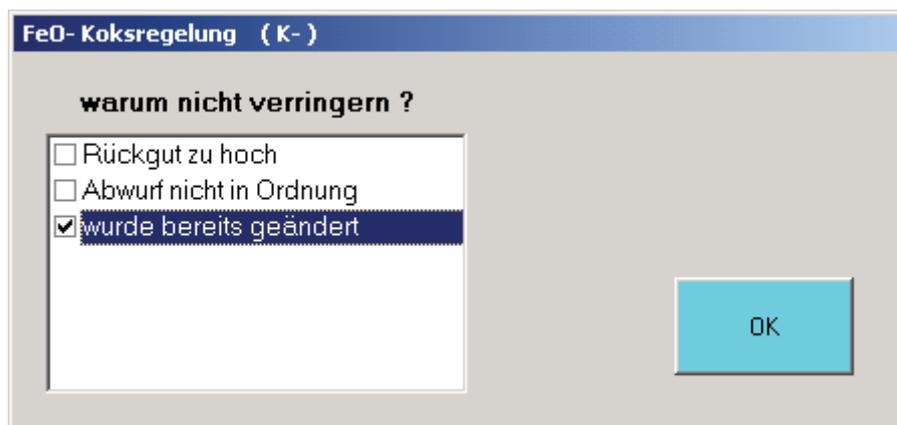
Es wird noch ein Vorschlag (im dunkelblauen Feld) für das Ausmaß der Koks-Verringerung angegeben.



Dieser Vorschlag ist mit der 'OK'- Taste zu quittieren

Zusatzfrage bei K- und 'NEIN'

Es wird noch nach dem Grund gefragt, warum der Kokeinsatz nicht verringert wird. Es muss eine der vorgegebenen Antworten ausgewählt werden. Die Wahl ist mit der 'OK'- Taste abzuschließen.



Aus der Liste muss eine Zeile entweder mit Mausklick auf den Text oder das Kästchen ausgewählt werden. Bei reinem Tastaturbetrieb sind dafür die Pfeiltasten (Cursortasten) zu verwenden. Nach dem Öffnen des Fensters ist noch kein Kästchen markiert. In diesem Zustand kann die Abfrage mit der 'OK'- Taste **nicht** verlassen werden; erst wenn eine Zeile der Liste markiert ist (Haken im Kästchen), ist dies möglich.

Wiederholung unbeantworteter Abfragen

Wird eine der periodischen Abfragen nicht beantwortet, so setzt sich nach 5 Minuten das Abfragefenster als vorderstes Fenster in die Mitte des Bildschirms. Nach weiteren 5 Minuten Wartezeit wiederholt sich dieser Vorgang, diesmal aber begleitet von einem Signalton. Nach einer Stunde ohne Antwort verschwindet die Abfrage vom Bildschirm.

5. Konfiguration

Viele Parameter und Einstellungen des Programms, wie zum Beispiel der Ort der Datenquelle, der Speicherort der Ergebnisse, die Grenzwerte für die Meßwertsteigungen und die Abfrage-Texte sind über Einträge in einer Konfigurationstabelle veränderbar.

Diese Einträge sind vom Systemadministrator (Burghard) vorzunehmen.