



Untersuchung von Bindersystemen zur Agglomeration von Feinsteisenerzen und deren Anwendung in Wirbelschichtprozessen

Masterarbeit

eingereicht von

Daniel Köpplmayr, BSc.

am Lehrstuhl für Metallurgie an der Montanuniversität Leoben
zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

in der Studienrichtung Metallurgie

Leoben, Oktober 2012



Kurzfassung

Diese Arbeit beschreibt das Verhalten unterschiedlicher Bindersysteme zur Agglomeration von Feinsteisenerzen. Es wird dabei das Reduktionsverhalten der produzierten Mikroagglomerate sowie deren Festigkeiten vor und nach dem Reduktionsprozess mittels Druck-Thermogravimetrischer Analyse (PTGA) untersucht. Weiters wird auf die Grundlagen der Aufbereitung, Agglomerationstechnik, Reduktion und Wirbelschichttechnologie eingegangen. Die grundlegenden Methodiken der Versuchsdurchführung und Auswertung werden beschrieben, um die unterschiedlichen Bindersysteme für den Einsatz von Mikroagglomeraten im Wirbelschichtprozess zu evaluieren. Es konnte ein Bindersystem gefunden werden, welches einen erfolgreichen Einsatz dieser Mikroagglomerate gewährleistet. Dies konnte durch Tests am 160 mm Wirbelschichtreaktor am Lehrstuhl für Metallurgie bestätigt werden. Abschließend ist ein Ausblick auf die zukünftige Forschung auf diesem Themengebiet angeführt.

Abstract

This thesis describes the behavior of different binder systems for the agglomeration of ultra fine iron ores. Therefore the reduction behavior of the produced micro agglomerates as well as their strength before and after the reduction process is investigated by means of the Pressure-Thermogravimetric-Analysis (PTGA). The fundamentals of beneficiation, agglomeration techniques, reduction and fluidized bed technology are discussed. The methodology of test procedure and analysis is described to evaluate various binder systems for the application of micro agglomerates in the fluidized bed process. A binder system for the successful application of these micro agglomerates was found. This could be confirmed with tests on the 160 mm fluidized bed reactor at the Chair of Metallurgy. Finally an outlook on the future research regarding this topic is given.

Danksagung

Die Masterarbeit ist der Abschluss eines langen Studiums, daher möchte ich an dieser Stelle einige Worte an jene Personen richten, die mich während meines Studiums begleitet haben.

Für die Betreuung der Masterarbeit sei vor allem meinen beiden internen Betreuern Dipl.-Ing Michael Skorianz und Dipl.-Ing Lukas Schmidt gedankt. Sie haben mich bei Fragen und Problemen immer bestens beraten und somit zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen.

Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Metallurgie, die auch zur erfolgreichen Abwicklung der Versuche im Zuge der Masterarbeit beigetragen haben.

Meinem Hauptbetreuer der Masterarbeit Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Schenk sowie dem Industriepartner Siemens VAI, besonders Dipl.-Ing. Dr. MBA Jan Friedemann Plaul, die mir diese Arbeit erst ermöglicht haben und auch bestens mit Informationen versorgt haben danke ich für ihre Unterstützung.

Ein großer Dank gilt meiner Familie und Partnerin die mich während meiner Studienzeit in allen Belangen unterstützt und zu einem zügigen Studienabschluss geführt haben.

Letztendlich danke ich allen Studienkollegen und Freunden die wesentlich zur angenehmen Zeitgestaltung abseits des Studiums beigetragen haben.

Eidesstattliche Erklärung

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

.....
Daniel Köpplmayr

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Danksagung	III
Eidesstattliche Erklärung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Allgemeine Formelzeichen	VII
Akronyme	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Aufbereitung der Rohstoffe	3
2.1.1 Eigenschaften des Rohhaufwerkes und Maßnahmen zur Aufbereitung	3
2.1.2 Aufbereitung von Eisenerz	4
2.2 Grundlagen des Agglomerierens in der Hüttenindustrie, Binder und Bindersysteme	11
2.2.1 Binder und Bindersysteme	11
2.2.2 Agglomeration	18
2.3 Grundlagen der Reduktion von Eisenerz	20
2.4 Grundlagen des Wirbelschichtverfahrens	25

2.4.1	Partikelkollektive im Strömungsfeld.....	26
2.4.2	Durchströmen von Wirbelschichten.....	28
2.4.3	Darstellung der Bewegungszustände im Zustandsdiagramm.....	29
2.4.4	Wärme und Stoffaustausch	30
3	Praktische Durchführung	32
3.1	Vorgangsweise.....	32
3.2	Herstellen von Granulaten mit verschiedenen Bindertypen	33
3.3	Bestimmung der Festigkeit der Granulate und statistische Auswertung.....	37
3.3.1	Versuchsapparatur und Durchführung der Messung	37
3.4	Erprobung des Reduktionsverhaltens der Mikrogranulate mittels Druck-Thermogravimetrischer-Apparatur	44
3.4.1	PTGA- Versuchsapparatur	44
3.4.2	PTGA- Versuchsbedingungen.....	47
3.4.3	Versuchsdurchführung der PTGA- Tests	50
3.4.4	Versuchsauswertung	51
3.5	Erprobung des Reduktions- und Zerfallsverhalten der Mikrogranulate im Fluidatbett	54
3.5.1	Testbedingungen und Auswertung.....	54
3.6	Auswertung der Ergebnisse	55
3.6.1	Probenvorauswahl.....	55
3.6.2	Auswertungen der PTGA- Versuche	56
3.6.3	Test am 160 mm Wirbelschicht-Aggregat	66
4	Zusammenfassung	69
5	Ausblick.....	72
	Literaturverzeichnis	73
A	Auswertungen Anhang A.....	A-1
A.1	PTGA Auswertungen.....	A-1
A.2	Auswertungen zum Versuch an der WS 160 mm	A-36

Allgemeine Formelzeichen

Zeichen	Beschreibung	Einheit
D	Durchmesser Rohr	[m]
d_p	Durchmesser Kugeln	[m]
Fr	Froude Zahl für Partikel	[-]
Fr*	Modifizierte Froude Zahl	[-]
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
H	Höhe der Schüttschicht	[m]
n	Lastvielfaches	[-]
p	Druck	[Pa]
Re	Reynoldszahl	[-]
z	Anzahl Kugeln	[-]
α	Widerstandsbeiwert der Einzelkugel	[-]
ε	Porosität	[-]
ρ	Dichte	[kg/m ³]
ρ_F	Fluiddichte	[kg/m ³]
ρ_P	Partikeldichte	[kg/m ³]
φ	Partikelvolumenkonzentration	[-]

Akronyme

BE	Bentonit
BK	Branntkalk
BS	Bentonitersatzstoff C
FX	Finexschlamm
GOD	Gasoxidationsgrad
HS	Hirschhornsalz
KH	Kalkhydrat
KM	Kalksteinmehl
LS	Ligninsulfonat
OB	Organischer Binder
PTGA	Druck Thermogravimetrische Apparatur
R	Reduktionsmittel
R1	Reduktionsschritt 1
R2	Reduktionsschritt 2
R3	Reduktionsschritt 3
SA	Säureansatz
SB	Schnellbinder
TGA	Thermogravimetrische Apparatur
W	Wasser
WG	Wasserglas
WS	Wirbelschicht
ZE	Zement
ZU	Zucker

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schema der Eisenerzaufbereitung [2]	5
Abbildung 2-2: Kegelbrecher zur Zerkleinerung von Eisenerz [3]	6
Abbildung 2-3: Mahlkörperbewegung durch a) Kaskadenwirkung und b) Kataraktwirkung [4]	6
Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Siebklassierung [1].....	7
Abbildung 2-5: Hydrozyklon [1].....	8
Abbildung 2-6: Wirkprinzipien der Magnetscheidung [1]	9
Abbildung 2-7: Abhängigkeit der Festigkeit von der Partikelgröße für verschiedene Bindungsmechanismen [7,8]	13
Abbildung 2-8: Struktur von Montmorillonit [7],[10].....	14
Abbildung 2-9: Bindemechanismus von Bentonit [8].....	15
Abbildung 2-10: Apparate für die Aufbauagglomeration [12].....	19
Abbildung 2-11: Verdichtungs Vorgänge beim Pressagglomerieren [12].....	20
Abbildung 2-12: Hämatit [14]	21
Abbildung 2-13: Limonit [14].....	21
Abbildung 2-14: Magnetit [14].....	21
Abbildung 2-15: Siderit [14].....	21
Abbildung 2-16: Baur Glässner Diagramm [17].....	23

Abbildung 2-17: Baur Glässner Diagramm mit Boudouard Gleichgewicht [17]	24
Abbildung 2-18: Schema der Reduktion eines porösen Gasteilchens [13]	25
Abbildung 2-19: Zustände der Wirbelschicht [12]	26
Abbildung 2-20: Konzentration an Partikeln in Gas- Feststoff- Reaktoren [12]	27
Abbildung 2-21: Gegenseitige Beeinflussung der Partikel in der Wirbelschicht [12]	28
Abbildung 2-22: Allgemeines Zustandsdiagramm durchströmter Partikel nach Reh [20]	30
Abbildung 2-23: Kinetische Vorgänge bei Gas-Feststoff- Reaktionen [12]	31
Abbildung 3-1: Charakterisierung der Probenbezeichnung	34
Abbildung 3-2: Messphysik Microstrain, Messprinzip und Apparatur	38
Abbildung 3-3: Testprogramm	38
Abbildung 3-4: Festigkeiten der Proben von Hersteller und Montanuniversität gemessen ..	40
Abbildung 3-5: Festigkeiten der Kalkproben (Branntkalk, Kalkhydrat, Kalksteinmehl)	41
Abbildung 3-6: Festigkeiten Zementproben	42
Abbildung 3-7: Festigkeiten Säureansatz, Bentonit, Finexschlamm	43
Abbildung 3-8: Aufbau der Druck- Thermogravimetrische Apparatur (PTGA)	45
Abbildung 3-9: Reaktor mit Glasrohr und Thermoelement	45
Abbildung 3-10: Anlagenfließbild PTGA	46
Abbildung 3-11: Baur Glaessner Diagramm für die PTGA- Versuche	49
Abbildung 3-12: Versuchsbedingungen für die PTGA- Versuche	49
Abbildung 3-13: Flussdiagramm für einen PTGA- Versuch	51
Abbildung 3-14: Vorlage für die Auswertung der PTGA- Versuche	53
Abbildung 3-15: Baur-Glaessner-Diagramm für Prozessbedingungen WS 160 mm	54
Abbildung 3-16: Festigkeiten der ausgewählten Proben vor den PTGA- Versuchen	56
Abbildung 3-17: Auswertung PTGA- Versuche, Kalkhydrat	58
Abbildung 3-18: Auswertung PTGA- Versuche, Bentonit	58
Abbildung 3-19: Auswertung PTGA- Versuch, Säureansatz, Kalkhydrat	59
Abbildung 3-20: Auswertung PTGA- Versuch, Finexschlamm, Bentonit	59
Abbildung 3-21: Auswertung PTGA- Versuche ARP17	61

Abbildung 3-22: Auswertung PTGA- Versuche ARP19	61
Abbildung 3-23: Auswertung PTGA- Versuche ARP20	62
Abbildung 3-24: Auswertung PTGA- Versuche ARP16 und ARP23	62
Abbildung 3-25: Auswertung der PTGA- Versuche für ARP26 (Wasserglasprobe)	63
Abbildung 3-26: Auswertung der PTGA- Versuche für ARP27 (Wasserglasprobe)	63
Abbildung 3-27: Auswertung der Festigkeiten vor den PTGA- Versuchen der ausgewählten Proben	64
Abbildung 3-28: Auswertung der Festigkeiten nach den PTGA- Versuchen der ausgewählten Proben	65
Abbildung 3-29: Auswertung der einzelnen Reduktionsstufen der WS 160 mm	66
Abbildung 3-30: Klassenhäufigkeit vor und nach dem WS 160mm Versuch	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Verfahren der Flüssigkeitsabtrennung [6].....	10
Tabelle 2-2: Binder der unterschiedlichen Bindergruppen [7].....	12
Tabelle 2-3: Hersteller und Verhalten organischer Binder [7]	16
Tabelle 2-4: Einteilung der Partikelkollektive nach dem Bewegungszustand [12].....	27
Tabelle 3-1: Verwendete Binder.....	33
Tabelle 3-2: Binderkonzentration und Probenbezeichnung	35
Tabelle 3-3: Bezeichnung der unterschiedlichen Behandlungszustände	39
Tabelle 3-4: Gaszusammensetzung der Prüfgase	48
Tabelle 3-5: Gaszusammensetzung der einzelnen Reduktionsstufen der PTGA- Versuche	48
Tabelle 3-6: Gaszusammensetzung der einzelnen Reduktionsstufen für die WS 160 mm ...	55
Tabelle 3-7: Festigkeitswerte vor und nach den PTGA- Versuchen und Gewichtsverlust	60
Tabelle 3-8: Festigkeiten und Gewichtsverlust der weiteren PTGA- Versuche.....	64
Tabelle 3-9: Korngrößenverteilung Einsatzmaterial WS 160 mm- Versuch	67
Tabelle 3-10: Korngrößenverteilung nach der Auswaage des WS 160 mm- Versuch	67

1 Einleitung

Für die Herstellung von Eisen über die Hochofenroute sowie Schmelz- oder Direktreduktionsverfahren wird als Einsatzmaterial Eisenerz benötigt. Bei der Aufbereitung fallen dabei auch feinste Eisenerzpartikel an, welche wegen ihrer hohen Feinheit schwierig weiterverwendet werden können. Teilweise erfolgt der Einsatz in Sinter- oder Pelletieranlagen. Eine technologische Zielsetzung ist eine günstige Verwendung dieser Feinsteisenerze zu entwickeln und zu erproben. Ein direkter Einsatz in Reduktionsaggregate kann auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und dem damit verbundenen Austrag nicht erfolgen. Eine Möglichkeit bietet die Agglomeration bzw. Pelletierung der Feinsteisenerze zu sogenannten Mikroagglomeraten oder Mikropellets mit Durchmesser kleiner als 4 mm. Dadurch ist es möglich, diese Agglomerate bzw. Pellets in einer Wirbelschicht als Reduktionsaggregat einzusetzen (Anmerkung: die Pelletierung ist eine Form der Agglomeration, wird aber in dieser Arbeit als Synonym verwendet). Wichtig bei der Pelletierung ist die Verwendung eines geeigneten Binders, der sowohl ausreichend Festigkeit als auch eine hohe Reduzierbarkeit gewährleistet. Eine vorrangige Zielsetzung ist dabei, dass die notwendige Festigkeit der Mikroagglomerate ohne den bei konventionellen Eisenerzpellets üblichen Brennschritt erreicht werden soll. Dadurch kann gegenüber der konventionellen Pelletherstellung der Energieeinsatz für die Agglomeration wesentlich reduziert werden.

Diese Arbeit soll einen Überblick über die verwendbaren Binder für die Agglomeration geben. Dazu werden ausgewählte Mikroagglomerate vor und nach einem Reduktionsversuch auf ihre Festigkeit getestet. Diese Messungen geben Informationen über das Verhalten der Agglomerate welche einer Reduktionsumgebung ausgesetzt werden. Somit kann eine

Reihung der Binder über die Beständigkeit bei diesen Bedingungen erfolgen. Den Abschluss bildet ein Versuch in einer 160mm WS, welcher das Zerfallsverhalten der Agglomerate beschreibt.

Eine Methode für die experimentelle Durchführung ist die Thermogravimetrie, welche eine Aussage über den Gewichtsverlust in Reduktionsatmosphäre zulässt. Ein Reduktionsversuch auf dem Wirbelschichtreaktor des Lehrstuhls für Metallurgie stellt den ersten Schritt für eine spätere industrielle Umsetzung dar. Spezielles Augenmerk wurde auch hier auf die Festigkeit der Mikroagglomerate sowie deren Reduzierbarkeit gelegt.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird auf die Aufbereitung der Erze, die Agglomeration, die Reduktion der Erze sowie auf die Wirbelschichttechnik eingegangen. Dabei werden allgemeine technische Standards und dann im Speziellen die Techniken für die Eisenerzeugung angeführt.

2.1 Aufbereitung der Rohstoffe

Aufbereitung umfasst eine Kombination von Prozessen und Verfahrensstufen, um in diesem Fall aus festen mineralischen Rohstoffen körnige Einsatzprodukte zu erzeugen, deren stoffliche Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften vorgegeben sind. Diese aufbereiteten Stoffe werden in der Hüttenindustrie weiteren Verarbeitungsstufen zugeführt. Auch die Aufbereitung von insbesondere metallischen Sekundärrohstoffen ist heute von wesentlicher Bedeutung. Ziel der Aufbereitung ist es, aus den zusammengesetzten Ausgangsmaterialien ein Produkt zu erzeugen, welches für die nachfolgenden Schritte zur Weiterverarbeitung geeignet ist. Dies erfolgt durch Ausnutzung der unterschiedlichen Eigenschaften der Bestandteile des Rohstoffes. Allgemein können die festen mineralischen Rohstoffe in Erze, anorganisch- nichtmetallische Rohstoffe und feste Brennstoffe unterteilt werden. Dieses Kapitel beschäftigt sich im Speziellen mit der Aufbereitung von Erzen.

2.1.1 Eigenschaften des Rohhaufwerkes und Maßnahmen zur Aufbereitung

Die Rohhaufwerke bestehen nicht nur aus dem Wertmineral, sondern enthalten auch noch andere Mineralien, welche nicht für die weitere Verarbeitung erwünscht sind. Durch eine

unterschiedliche Entstehungsgeschichte ist dadurch auch der Verwachsungsgrad eine wichtige Kenngröße. Aus diesen Rohhaufwerken sind bei der Aufbereitung vor allem zwei Aufgaben zu lösen:

- Eine Anreicherung des Wertminerals bzw. der nutzbaren Komponenten, im Zusammenhang steht somit die Abtrennung von unerwünschten Begleitelementen. Der Begriff Anreicherung beschreibt dabei das erforderliche Ausbringen der Wertkomponente.
- Zusätzliche Anforderungen hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften, insbesondere der Körnung.

Um diese Aufgaben lösen zu können, gibt es unterschiedliche Aufbereitungsverfahren. Meistens ist es eine Kombination verschiedener Verfahrensstufen, die für ein ausreichendes Ausbringen der Wertkomponente erforderlich ist. Zuerst werden Anreicherungsprozesse durch Ausnutzen von unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften wie Dichte, elektrische Eigenschaften, Grenzflächeneigenschaften durchgeführt. Diese Prozesse werden unter dem Begriff Sortieren zusammengefasst. Diese Prozesse verändern das Mineral nicht, sondern ermöglichen nur eine Aufkonzentration der Wertkomponente. Andere Anreicherungs-schritte bedienen sich der Löse- und Laugungsverfahren, durch die der Wertstoff gelöst und anschließend wieder kristallisiert wird. Um eine ausreichende Sortierung durchführen zu können, ist eine vorherige Zerkleinerung notwendig, um den Verwachsungsgrad positiv zu beeinflussen. Die Auswahl des Verfahrens wird auch durch den Gehalt im Rohhaufwerk und der Korngröße beeinflusst. Um die erforderlichen Korngrößen zu erhalten, sind entweder eine Klassierung oder Agglomerationsprozesse erforderlich. Zusätzlich gehören zur Aufbereitungstechnik weitere Prozesse zur Flüssigkeitsabtrennung, Mischen, Brennen oder Entstauben. Weiters kommen noch die Förderung und Lagerung hinzu. Auch eine geeignete Probenahme und somit die Überprüfung der durchgeführten Verfahrensschritte ist unerlässlich für eine erfolgreiche Aufbereitung [1].

2.1.2 Aufbereitung von Eisenerz

Die Aufbereitung von Eisenerz ist in **Abbildung 2-1** schematisch dargestellt. Es zeigt die einzelnen Schritte vom Roherz zum fertigen Sinterfeed bzw. Pelletfeed. Das Roherz wird dabei durch eine Reihe nacheinander geschalteter Aufbereitungsschritte bis zum Sinterfeed bearbeitet.

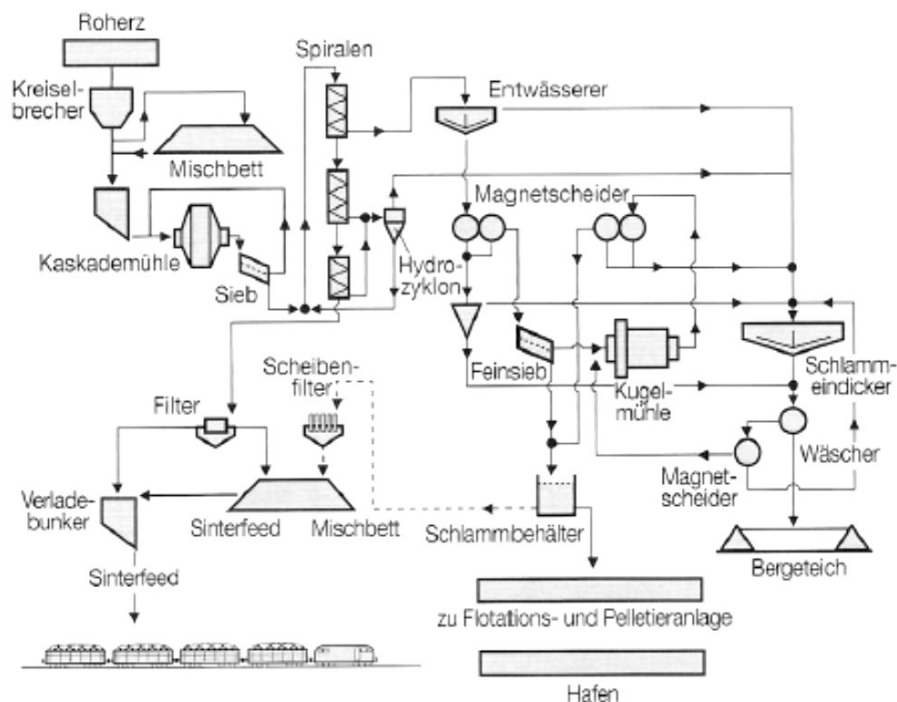


Abbildung 2-1: Schema der Eisenerzaufbereitung [2]

Zerkleinerung

Zu Beginn steht die Zerkleinerung, welche meist mit Brechern durchgeführt wird. Es sind die Inneren Bindungskräfte des Körpers zu überwinden um Körnerkollektive zu zerkleinern. Weiters werden durch die Zerkleinerung eine Korngrößenverteilung, eine Oberflächenvergrößerung, das Aufschließen des Wertstoffes und eine Strukturänderung hervorgerufen. Durch Spaltung oder Abscherung erfolgt die Zerkleinerung über das Einwirken von Normal- und Scherspannungen. Für die Zerkleinerung von Eisenerz werden überwiegend Kegel- bzw. Kreiselbrecher verwendet. In **Abbildung 2-2** ist ein Kegelbrecher und dessen Bestandteile dargestellt. Durch den kreisrunden Brechspalt und den bewegten Kegel, welcher exzentrisch gelagert ist, erfolgt das Brechen kontinuierlich. Weitere Aggregate zur Zerkleinerung sind Backenbrecher, Walzenbrecher, Prallbrecher und unterschiedliche Mühlen. Dem Kegelbrecher folgt ein weiterer Zerkleinerungsschritt durch Trommelmühlen. Dadurch wird eine höhere Mahlfineinheit für die weitere Verarbeitung des Erzes erreicht. Trommelmühlen sind Zerkleinerungsmaschinen, die durch einen horizontal gelagerten, zylindrischen Mahlhohlraum charakterisiert sind. Das Aufgabegut wird durch die Stirnwände den kontinuierlichen Mahltrommeln zu- und abgeführt. Durch Mahlkörper, meist aus Stahl, wird die Wirkung der Zerkleinerung verbessert. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Bewegungen der Mahlkörper. Einerseits kann die Zerkleinerung durch Kataraktwirkung und andererseits durch Kaskadenwirkung erfolgen. In **Abbildung 2-3** sind die unterschiedlichen

Bewegungsformen dargestellt. Die Kataraktwirkung zeichnet sich durch eine zusätzliche Schlagbeanspruchung aus [1].

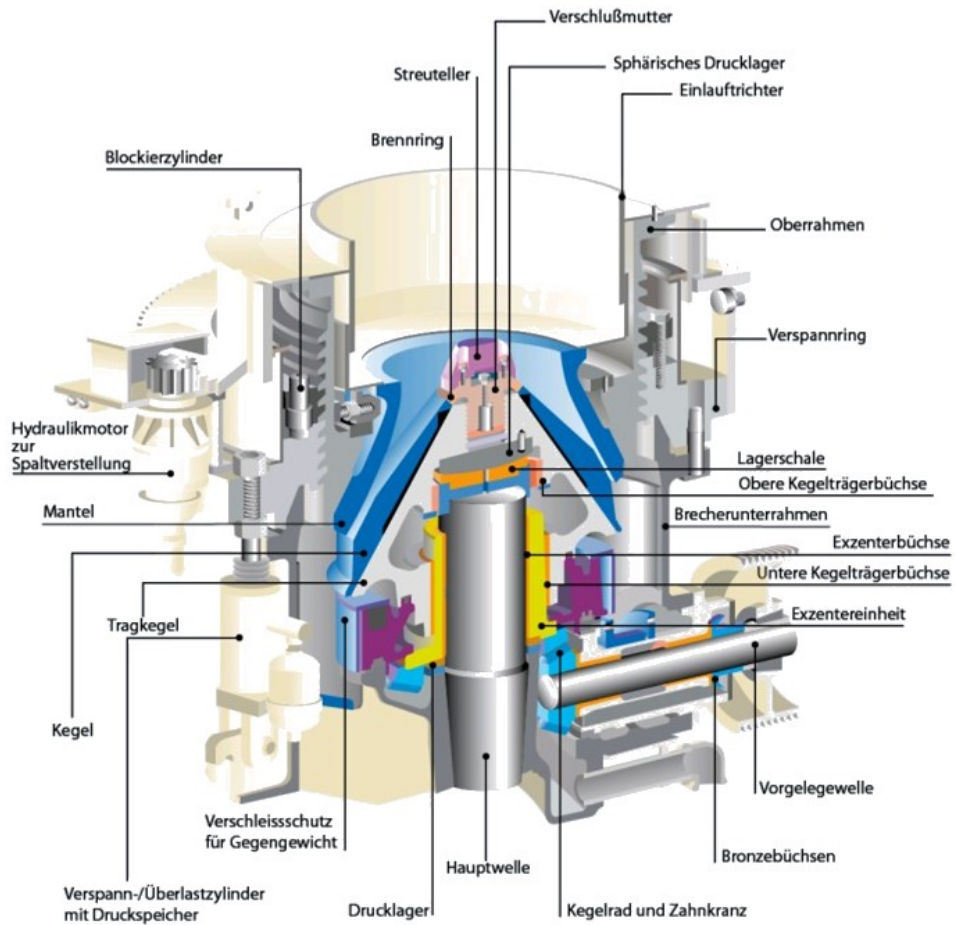


Abbildung 2-2: Kegelbrecher zur Zerkleinerung von Eisenerz [3]

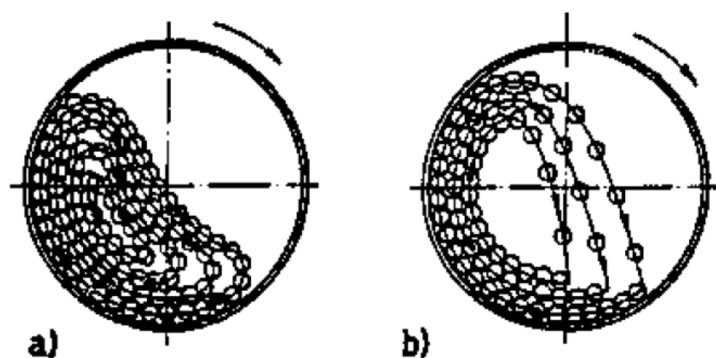


Abbildung 2-3: Mahlkörperbewegung durch a) Kaskadenwirkung und b) Kataraktwirkung [4]

Klassierung

Im Allgemeinen dienen Klassierprozesse zur Trennung von Körnerkollektiven in Korngrößenbereiche. Grundsätzlich kann zwischen Sieb- und Stromklassierung unterschieden werden, wobei die Siebklassierung für größere Korngrößen und die Stromklassierung für feinere Trennungen angewendet wird. Die Siebklassierung trennt die Körner mit Hilfe einer Trennfläche und der geometrischen Größe der einzelnen Körner. Die Stromklassierung nutzt Kräfte aus, die auf einzelne Körner im strömenden Fluid wirken.

Eine erfolgreiche Siebklassierung erfolgt durch einhalten folgender Bedingungen:

- Das Unterkorn benötigt ausreichend Weg und Zeit, um durch den Siebboden zu gelangen.
- Eine ausreichend hohe Kraft wird benötigt, um das Unterkorn durch den Siebboden zu befördern.

Zusätzlich erfordert eine kontinuierliche Absiebung eine Förderung des Siebgutes über den Boden hinweg. Dabei bestimmen die Transportgeschwindigkeit und die Verweilzeit hauptsächlich den Sieberfolg. Eine kontinuierliche Siebung ist in **Abbildung 2-4** dargestellt. Das Aufgabegut mit unterschiedlichen Korngrößenklassen wird in definierter Schichtdicke aufgegeben und durch die Bewegung über den Boden wird das Unterkorn abgetrennt.

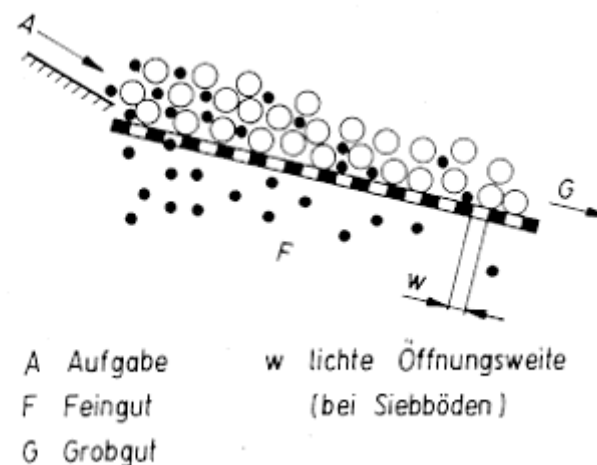


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Siebklassierung [1]

Die Stromklassierung nutzt die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Bewegungsbahnen durch die Wirkung des Fluids für die Korngrößentrennung aus. Als fluide Medien werden Wasser und Luft (Sichtung) verwendet. Die Stromklassierung für Eisenerze erfolgt durch das Beschleunigungsfeld der rotierenden Flüssigkeitsströmung in einem Hydrozyklon (**Abbildung 2-5**). Dieser besteht aus einem konischen und einem zylindrischen Teil. Die

Klassiertrübe wird durch die Aufgabeeüse dem Zyklon zugeführt und in eine abwärts gerichtete Umfangsströmung gebracht. Dabei werden infolge der Drosselwirkung des konischen Teils vom abwärts gerichteten Außenwirbel laufend Teile zu einer inneren, aufwärts gerichteten Wirbelströmung umgelenkt. Die gröbere Fraktion wird mit dem Außenwirbel durch den Unterlauf und die feiner Fraktion mit dem Innenwirbel durch den Überlauf ausgetragen [1].

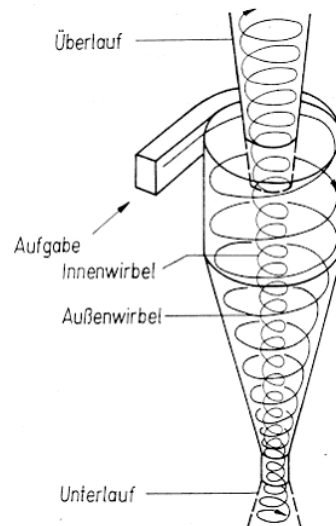


Abbildung 2-5: Hydrozyklon [1]

Sortierung

Grundsätzlich wird bei der Sortierung zwischen Dichte-, Magnet-, oder Elektrosortierung unterschieden. Zur Sortierung von Eisenerz wird vor allem die Magnetfeldsortierung angewendet.

Um eine Auftrennung durch Magnetscheidung zu erzwingen, ist ein definierter Unterschied der magnetischen Eigenschaften der zu trennenden Stoffe notwendig. Im inhomogenen magnetischen Feld wirken auf die zu sortierenden Körner unterschiedlich hohe magnetische Kräfte, welche verschiedene Bewegungsbahnen hervorrufen und somit eine Trennung ermöglichen. In **Abbildung 2-6** sind die Wirkprinzipien der Magnetsortierung schematisch dargestellt. Es wird dabei zwischen Auslenk-, Aushebe-, und Rückhaltescheidung unterschieden. Dabei basiert die Auslenkscheidung (a) auf dem Prinzip der Ablenkung der magnetischen Teilchen von ihrer ursprünglichen Bahn. Die Aushebescheidung (b) nimmt die magnetischen Teilchen aus dem Stoffstrom heraus und transportiert diese quer aus dem Strom ab. Die Rückhaltescheidung (c) entnimmt dem Stoffstrom die magnetischen Anteile und hält diese fest [1].

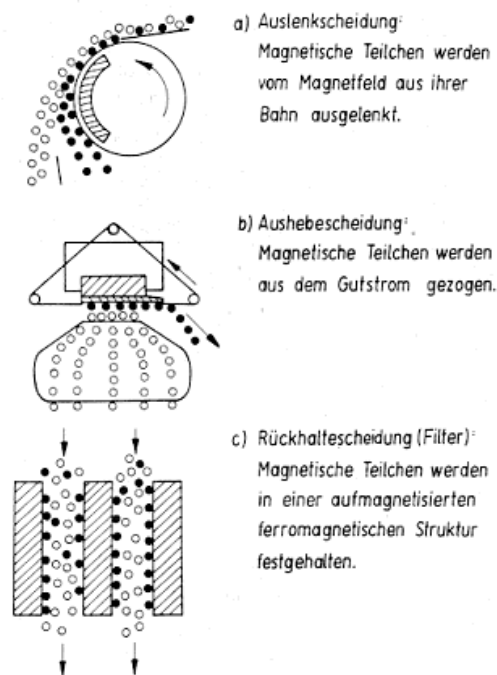


Abbildung 2-6: Wirkprinzipien der Magnetscheidung [1]

Flotation

Die Flotation dient zur Abtrennung der gewünschten Körner durch Ankoppeln an ein Fluidteilchen. Das Wertmineral kann einerseits als Schwimmprodukt bei der direkten Flotation oder umgekehrt als Sinkprodukt durch die indirekte Flotation gewonnen werden. Für die Prozessführung der Flotation lassen sich daher zwei Komplexe unterscheiden:

- Die Gestaltung des Reagenzregimes, die die selektive Hydrophobierung mit Hilfe von Sammlern und modifizierten Reagenzien sowie die Steuerung der Schaumeigenschaften zum Ziel hat.
- Die Gestaltung der Hydrodynamik. Um folgende Teilprozesse zu ermöglichen:
 - Suspendieren der Körner
 - Zuführen und Zerteilen der Flotationsluft
 - Durchmischen der Trübe
 - Aufsteigen der beladenen Blasen und Schaumabzug

Die Flotation ist einer der wichtigsten Prozesse zur Gewinnung von Fein- und Feinsterzen, da dadurch die Nutzung von fein verwachsenen Stoffen möglich ist [5].

Für die Flotation von oxidischen Eisenerzen kommen folgende Trennmöglichkeiten in Frage:

- Direkte Flotation mit anionaktiven Sammlern (Alkansulfonate und Ölzusatz, Carboxylaten, Alkanhydroxamaten)

- Indirekte Flotation mit anionaktiven Sammlern (Carboxylate)
- Indirekte Flotation mit kationaktiven Sammlern (n-Alkylammoniumsalzen und Alkyletheraminen) [5]

Flüssigkeitsabtrennung

Da durch die vorangegangenen Aufbereitungsschritte die Produkte als Trüben oder feuchte Stoffe anfallen, ist es für den weiteren Prozessverlauf notwendig, das Wasser abzutrennen. Dabei kann die mechanische Flüssigkeitsabtrennung oder eine Trocknung durchgeführt werden. Im Regelfall reicht eine mechanische Abtrennung aus, wobei wiederum in Filtration und Sedimentation unterteilt werden kann.

Die Filtration wird dadurch charakterisiert, dass ein poröses Medium das zu entwässernde Gut zurückhält, während das Wasser durch die Poren hindurch bewegt wird. Es kann dabei durch die Schwerkraft filtriert werden, oder auch durch Hilfe der Zentrifugalkraft in Siebzentrifugen. Auch durch einen Druckunterschied kann eine Entwässerung in Saugfilter und Druckfilter erfolgen.

Bei der Sedimentation werden durch einen Dichteunterschied die Feststoffteilchen am Boden abgesetzt. Die geklärte Flüssigkeit und der gewonnene Feststoff werden kontinuierlich oder diskontinuierlich abgezogen [6].

Einen Überblick über die Verfahren der Flüssigkeitsabtrennung und die dazugehörigen Apparate gibt **Tabelle 2-1**.

Tabelle 2-1: Verfahren der Flüssigkeitsabtrennung [6]

	Filtration				Sedimentation	
Treibende Kraft	Schwerkraft	Zentrifugalkräfte	Unterdruck	Überdruck	Schwerkraft	Zentrifugalkräfte
Apparate	Bunker	Siebzentrifugen	Saugfilter	Druckfilter	Eindicker	Hydrozyklone
	Siebe		Trommelfilter	Filterpressen	Klärer	Tellerzentrifugen

2.2 Grundlagen des Agglomerierens in der Hüttenindustrie, Binder und Bindersysteme

Zuerst werden in diesem Kapitel die unterschiedlichen Binder und die Bindersysteme erläutert. Danach wird auf die verschiedenen Möglichkeiten der Agglomeration von Eisenerzen eingegangen.

2.2.1 Binder und Bindersysteme

Ein Binder wird verwendet, um die Agglomeration der Partikel zu einer einheitlichen Masse zu ermöglichen. Da es einige unterschiedliche Binder gibt, werden sie in fünf verschiedene Bindergruppen eingeteilt [7].

- **Inaktiver Film:** Der Binder formt eine klebrige Schicht auf den Partikeln, welche sie zusammenbindet. Der Film bindet durch Kapillarkräfte oder Adhäsions- bzw. Kohäsionskräfte. Die Bindung ist reversibel.
- **Chemischer Film:** Es bildet sich ein Film an der Partikeloberfläche, welcher durch eine chemische Reaktion härtet. Diese Bindung ist irreversibel.
- **Inaktive Matrix:** Der Binder formt eine mehr oder minder kontinuierliche Matrix in welche das Partikel eingebettet ist. Diese Binderarten benötigen hohe Verdichtungskräfte und höhere Bindermengen. Durch Erhitzen kann diese Bindung aufgelöst werden.
- **Chemische Matrix:** Es wird eine kontinuierliche Matrix vom Binder gebildet, welche durch eine chemische Reaktion härtet. Dies ist normalerweise eine irreversible Bindung.
- **Chemische Reaktion:** Der Binder geht eine chemische Reaktion mit dem zu bindenden Material ein, dies resultiert in einer sehr starken Bindung. Binder für chemische Reaktionen wurden nicht für die Eisenerzpelletierung entwickelt.

Ein einzelner Binder kann dabei nach Art der Bindung in Gruppen eingeteilt werden, abhängig von Menge und Anwendung. Für die Eisenerzpelletierung wird aktuell die Gruppe der „Inaktiven Film Binder“ verwendet, da diese Binder bei einer vergleichsweise niedrigen Menge schnell binden. In **Tabelle 2-2** sind einige Vertreter der verschiedenen Bindergruppen angeführt [7].

Tabelle 2-2: Binder der unterschiedlichen Bindergruppen [7]

Inaktiver Film	Chemischer Film	Inaktive Matrix	Chemische Matrix	Chemische Reaktion
Wasser	Natriumsilikat+CO ₂	Paraffin	Hydratisierter Kalk+CO ₂	Schwefelsäure
Alkohol	Natriumsilikat+Säure	Bentonit	Kalk+Melasse	Phosphorsäure
Öle	Natriumsilikat+Kalk	Kolloidale Al	Portlandzement+Wasser	Magnesiumchlorid und Wasser
Bentonit		Zucker		Magnetit und Wasser
Natriumsilikat		Metall Stearate		
Salze		Teer		
Sulfate		Bitumen		
Glucose				
Dextrin				
Molassen				

Es gibt verschiedene Arten von Bindern für die Verwendung in Eisenerzpellets. Ziel ist dabei, die höchst mögliche Qualität zum niedrigsten möglichen Preis zu erreichen. Die verschiedenen Arten können folgendermaßen eingeteilt werden:

- Tone und kolloidale Minerale
- Organische Polymere
- Zemente und zementartige Materialien
- Salze
- Anorganische Polymere

Jede der angeführten Arten besitzt gewisse Vor- und Nachteile und wurde bereits zur Agglomeration von Eisenerzen verwendet. Die Festigkeit eines Pellet ist abhängig von der Bindung, die durch den Binder bestimmt wird [7].

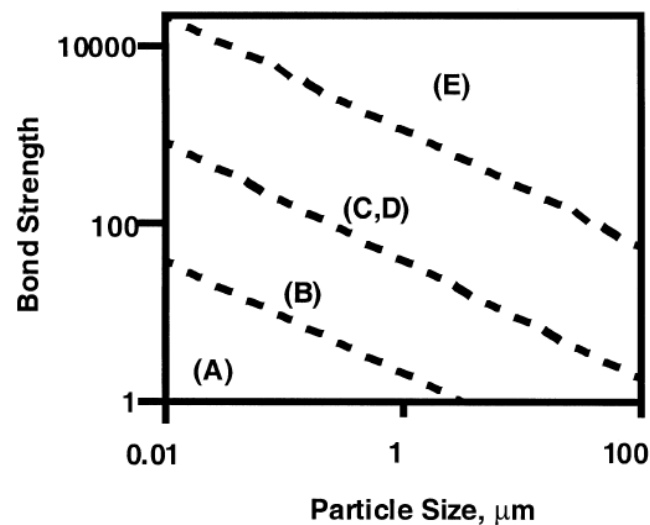


Abbildung 2-7: Abhängigkeit der Festigkeit von der Partikelgröße für verschiedene Bindungsmechanismen [7,8]

In **Abbildung 2-7** ist die Abhängigkeit der Bindungsstärke von der Partikelgröße dargestellt. Im unteren Bereich (A) ist hauptsächlich die Van-der-Waals-Kraft für die Bindung verantwortlich. Bereich (B) ist durch Kapillarkräfte, Bereich (C) durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte, Bereich (D) durch mechanische Verspannungen und Bereich (E) durch Sinterbrücken charakterisiert [8,7,9].

Bentonit, Tone und kolloidale Mineralien

Tone gehören wegen der kristallinen Struktur, welche es ermöglicht in eine Richtung abzugleiten, zu der Klasse der Phyllosilikat-Mineralen. Die Struktur der Tone besteht aus SiO_4 - Tetraeder, die in verschiedene Richtungen angeordnet sind. Die Schichten sind schwach gebunden und können durch Wassereinwirkung leicht getrennt werden. Die getrockneten Platten lagern sich elektrostatisch an den Oberflächen an und wirken dort als Binder. Aus der Gruppe der Tone eignet sich Bentonit besonders gut als Binder. Bentonit entsteht durch die hydrothermale Alterung von Vulkanascheablagerungen. Es ist eine Mischung unterschiedlicher Tonminerale, wobei der Montmorillonit (**Abbildung 2-8**) das Hauptmineral ist [7,8].

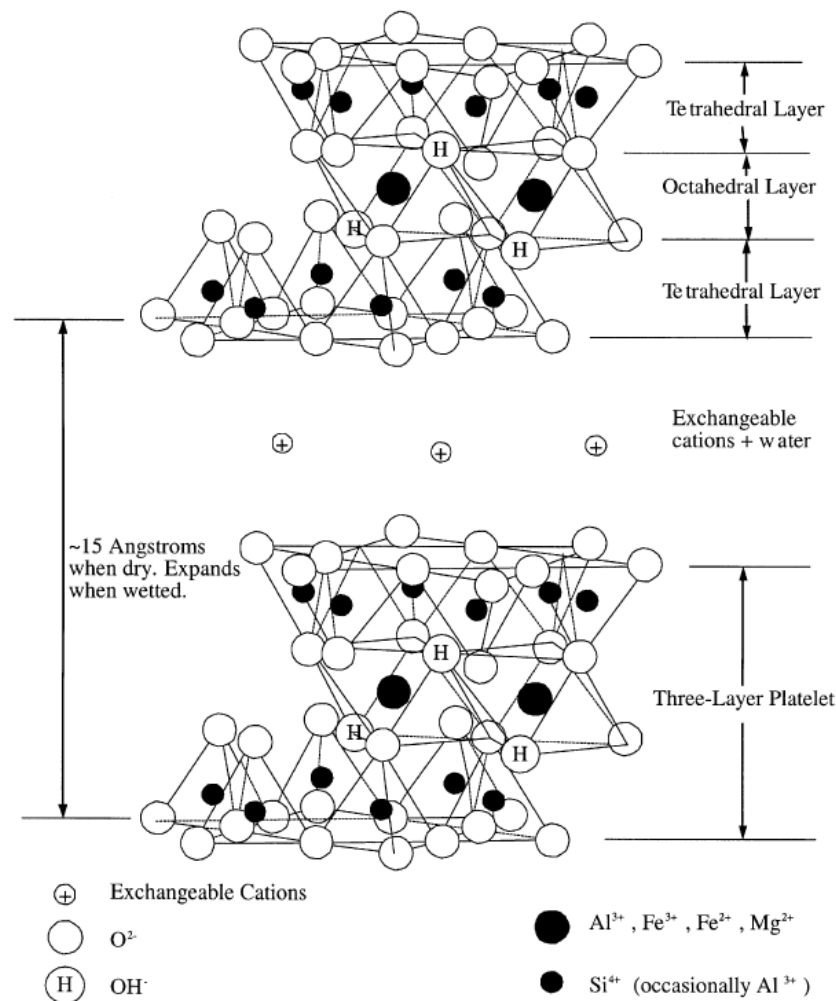


Abbildung 2-8: Struktur von Montmorillonit [7],[10]

Jedes der Plättchen von Montmorillonit besteht aus drei Schichten. Zwei Schichten sind aus Si-Tetraeder und eine aus Al/Mg-Oktaedern. Die Plättchen sind durch Gegenionen (Kalzium oder Natrium) gebunden. Durch die Anwesenheit von Wasser hydrieren diese Ionen und es erfolgt eine Ausdehnung des Tons. Drei Effekte sind für die Ausdehnung des Tonminerals in Bentonit verantwortlich:

- Zuerst wird Wasser absorbiert, dadurch kann der Feuchtigkeitsgehalt der fertigen Pellets kontrolliert werden. Zusätzlich erhöht sich die Viskosität zwischen den Mineralkörnern in den Pellets, dies führt zu einem runden Pellet und erleichtert somit den Transport und die Klassierung im Werk.
- Durch das Vermischen verteilt sich der ausgedehnte Ton gleichmäßig im Eisenerz. Während der Trocknung binden sich der Ton und die Mineralkörner und bilden Pellet mit hoher Festigkeit. Dies ist der Haupteffekt des Binders, da ohne Binder das Pellet nach

dem Trocknen zerfallen würde. In **Abbildung 2-9** ist dieser Mechanismus anhand von Bentonit dargestellt.

- Während des Sinterns wirken Natrium und Kalzium des Bentonits als Flussmittel, diese senken den Schmelzpunkt einiger Minerale und steigern somit die Festigkeit der Pellets in der Vorheizphase [7,9].

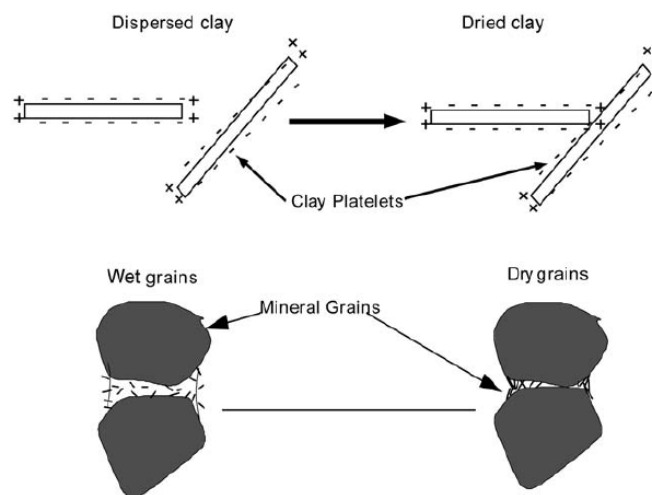


Abbildung 2-9: Bindemechanismus von Bentonit [8]

Die unterschiedlichen Lagerstätten liefern Bentonit mit variierenden Eigenschaften. Durch die unterschiedliche Ausbildung eignet sich Bentonit mit einer höheren Ausdehnung besser für die Agglomeration von Eisenerzen. Die wichtigsten Eigenschaften zur Charakterisierung von Bentonit sind Wasserabsorptionskapazität, Korngrößenverteilung, Gehalt an Kalzium, Natrium oder Kalium, chemisches Verhalten und die Effekte während des Mischens. Guter Bentonit kann bis zu 900 % seines Gewichtes an Wasser absorbieren und dehnt sich bis zum 14-fachen seines Trockengewichtes aus. Feinere Partikel erhöhen die Oberfläche und erleichtern somit die Bindung an das Erz. Ein höherer Gehalt an austauschbaren Ionen garantiert eine bessere Absorption von Wasser und dadurch ist ein hohes Natrium zu Kalzium Verhältnis für guten Bentonit notwendig. Die Zusammensetzung des angewendeten Wassers hat ebenfalls einen hohen Einfluss auf das Verhalten des Binders. Eine Erhöhung der Mischzeit wirkt sich zusätzlich positiv auf die Festigkeit der Pellets aus [7,9].

Organische Binder

Der Nachteil von silikathältigen Bindern ist das Einbringen von Silizium in das fertige Eisenerzpellet. Da bei der Aufbereitung von Eisenerz Silikate entfernt werden, ist das Einbringen von Silikaten durch den Binder kontraproduktiv. Dadurch zielt die Forschung auf

die Anwendung anderer Binder ohne Silikatanteil ab, insbesondere organische Binder. In **Tabelle 2-3** sind unterschiedliche organische Binder von verschiedenen Herstellern und ihr Verhalten dargestellt. Es gibt eine Vielzahl organischer Binder und einige sind nur durch ihren Namen bekannt und geben daher keine Informationen über ihre Struktur [7].

Tabelle 2-3: Hersteller und Verhalten organischer Binder [7]

Hersteller	Binder	Ergebnis
Akzo	Peridur 330	Erfolgreich anstatt Bentonit, bessere Reduzierbarkeit, keine Staubbildung
Union Carbide	Carbinder 498	Als teilweiser Bentonitersatz, schlechtere Pelletierqualität
Grain Processing Corp.	GPC-4, GPC-46, GPC-49	Alle drei Binder ergeben gute Ergebnisse als Bentonitersatz
Glenn Chemical	Mackquadt I-O	Gute Qualität der befeuerten Pellets, jedoch schlechter bei Grünpellets
Aqualon	AQU-D3217-B	Guter Ersatz zu Bentonit im Hinblick auf Pelletierung und Feuerung

Die organischen Binder werden folgendermaßen unterschieden:

- Synthetisch hergestellte organische Binder:
Diese Binder sind hocheffektiv und können gezielt auf die zu bindenden Partikel abgestimmt werden. Weiters sind sie gut reproduzierbar. Ein Nachteil ergibt sich durch die hohen Kosten im Vergleich zu anderen Bindern. Die synthetischen Binder können auf Basis von Cellulose-Derivaten, Stärke-Derivaten, Holzprodukten und synthetischer Polymere hergestellt werden.
- Natürlich vorkommende organische Binder:
Im Vergleich zu den synthetischen Bindern sind die natürlichen günstiger, da sie weniger Bearbeitung erfordern. Durch geringe Ressourcen können jedoch auch die natürlichen Binder hohe Preise erreichen, vor allem Gummiharz. Weitere natürliche Binder sind Teer und Bitumen.

- Organische Abfallprodukte

Die kostengünstigste Variante für organische Binder ist die Verwendung von Abfallprodukten von anderen Typen. Ein Nachteil ist dabei die schwierige Kontrolle der Zusammensetzung des Materials. Die Binder können aus Essens- und Milchresten, Torf und Schlamm aus der Papierherstellung gewonnen werden. Je nach Herkunft und Zusätze können bestimmte geforderte Eigenschaften eingestellt werden [7].

Zementartige Binder

Anders als Tone oder organische Binder, reagieren die zementartigen Binder chemisch mit Wasser und es entsteht ein harter, hydratisierter Zement. Diese Bindung ist nicht reversibel und ein Nachteil ist die Dauer der Aushärtung. Der am häufigsten verwendete zementartige Binder ist der Portlandzement. Die typische Zusammensetzung des Typ 1 ist 67 % CaO, 22 % SiO₂, 5 % Al₂O₃ und 3 % Fe₂O₃. Von zusätzlichem Interesse sind Kalziumaluminat-Zemente, da diese wenig SiO₂ enthalten. Es wird bereits nach 24 h die Festigkeit erreicht, wofür Portlandzement 28 Tagen benötigt.

Hydratisierter Kalk Ca(OH)₂ härtet durch Mischen mit Wasser wie Zement. Folgende Vorteile besitzt Kalk als Binder für das Pelletieren:

- Kalk beinhaltet kein Silizium
 - Die Reduzierbarkeit des Pellet wird verbessert
 - Durch die weitverbreiteten Vorkommen ist Kalk leicht zugänglich und somit gut erhältlich
- Werden Pellets mit Zusätzen wie CaO oder MgO produziert eignet sich Kalk besonders gut als Binder.

Der Nachteil der zementhaltigen Binder ist die Zeit bis zur Ausbildung der vollständigen Härte. Es ist daher vorteilhaft durch Zusätze dieses Verhalten zu beschleunigen. Durch Zusatz von Kalziumchlorid kann die Härtungsdauer von Portlandzement signifikant verkürzt werden. Kalziumchlorid erhöht die Rate der Hydrationsreaktionen und verringert somit die Zeit für das Erreichen der minimal erforderlichen Festigkeit [7].

Andere Binder

Einige Binder wurden für die Verwendung in der Agglomeration von Eisenerzen getestet, jedoch wegen schlechten Versuchsergebnissen oder zu hohen Kosten nicht weiter verfolgt. Dazu zählen Salze, Ausscheidungsprodukte oder anorganische Polymere.

Grundsätzlich schließt sich dem Pelletierprozess ein energieintensiver Sintervorgang der Pellets an. Um diesen Energieeintrag einzusparen ist auch eine Kaltbindung möglich. Dafür

eignen sich besonders die zementartigen Binder, da die Reaktionen bei Raumtemperatur ablaufen und Festigkeiten ähnlich der gesinterten Pellets erreicht werden. Der Nachteil dieser Variante sind die notwendigen Lager und die daraus resultierenden Kosten [7].

2.2.2 Agglomeration

Unter Agglomerieren versteht man das Zusammenfügen von dispersen Stoffen zu größeren Stoffgebilden. Eine andere Bezeichnung ist Granulieren, jedoch wird darunter auch die Zerkleinerung von Feststoffen verstanden. Agglomerate können sowohl aus festen als auch aus flüssigen Stoffen bestehen. Grundlegendes Ziel der Agglomeration ist die Herstellung von Agglomeraten mit definierten Eigenschaften. Diese Eigenschaften sind vor allem Staubfreiheit, gute Rieselfähigkeit, geringer Durchströmungswiderstand und günstiges Packungsverhalten. Bei der Agglomeration wird zwischen der Aufbau- und Pressagglomeration unterschieden. Sind die Haftkräfte stärker als die Trennkräfte, ist es Aufbauagglomeration. Hingegen werden bei der Pressagglomeration Kräfte von außen aufgebracht. Die Haftung der Partikel erfolgt durch verschiedene Mechanismen. Sie kann durch Anziehungskräfte wie Van-der-Waals, elektrostatisch, magnetisch oder Wasserstoffbrücken erfolgen. Eine formschlüssige Bindung ist durch faseriges Material oder eine raue Oberfläche möglich. Weiters könne Brücken als Bindemechanismus zwischen Flüssigkeiten, Bindemitteln oder Festkörpern wirken. [11],[12]

Aufbauagglomeration

Der Aufbau zu den Agglomeraten erfolgt durch Abrollbewegungen der Ausgangspartikel. Um kugelförmige Partikel zu erhalten, wird die Agglomeration in Tellern oder Trommeln durchgeführt. Wichtig ist dabei die Zugabe von Bindern und Flüssigkeiten, um die erforderlichen Haftkräfte zu erzielen. Während des Pelletiervorgangs stellt sich ein Wechselspiel von Aufbauvorgängen und Zerfalls- oder Zerkleinerungsvorgängen ein. Dadurch wird die Pelletgrößenverteilung am Ende des Prozesses bestimmt. Sind Pellets zu klein, werden sie dem Prozess erneut zugeführt. Die Verfahren der Aufbauagglomeration sind Rollgranulierung, Mischgranulierung, Fließbettgranulierung und Granulierung in Flüssigkeiten. Die dazugehörigen Apparate sind in **Abbildung 2-10** abgebildet: Rollagglomeration (a), Wirbelschichtagglomeration (b), Mischagglomeration (c), Strahlagglomeration (d), Streuscheibe (e) und Agglomeration in Flüssigkeiten (f) [11,12].

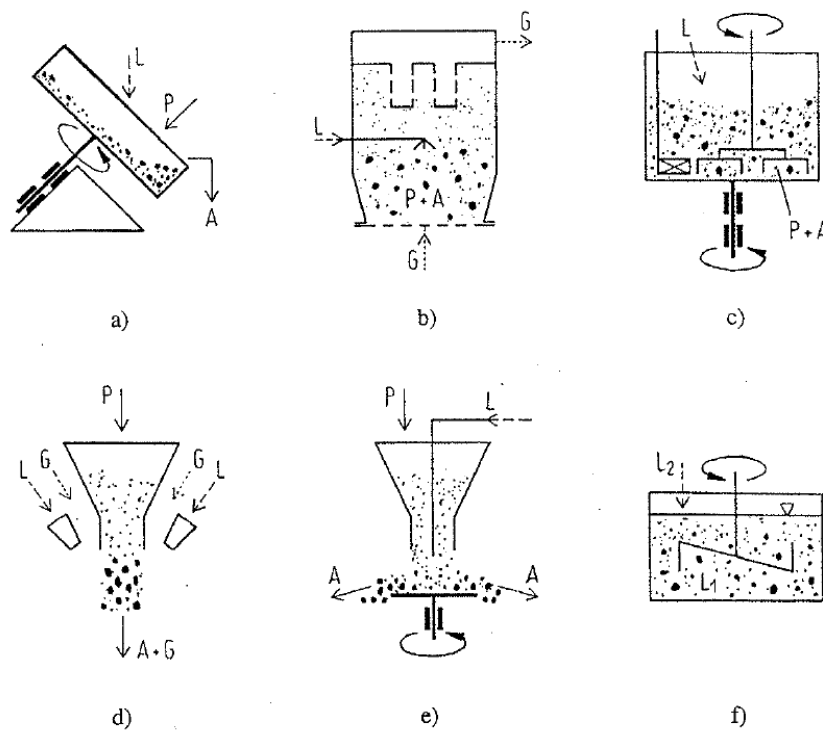


Abbildung 2-10: Apparate für die Aufbauagglomeration [12]

Pressagglomeration

Bei der Pressagglomeration wird von außen Druck aufgebracht, um die Schüttung der Partikel zu verdichten. Dadurch erfolgt eine Erhöhung der Kontaktstellenzahl zwischen den Partikeln. Eine zusätzliche Haftung wird durch Zugabe von Bindemitteln erreicht. In **Abbildung 2-11** sind die Vorgänge beim Pressverdichten dargestellt. Dabei kann die Verdichtung durch Füllen großer Poren durch Umordnen der Körner (a), Füllen kleiner Poren durch Bruchvorgänge (b) oder Füllen kleiner Poren durch plastisches Verformen (c) erreicht werden. Zur Durchführung der Verdichtung werden Stempel- oder Tablettenpressen, Walzenpressen, Strang- und Lochpressen verwendet [11,12].

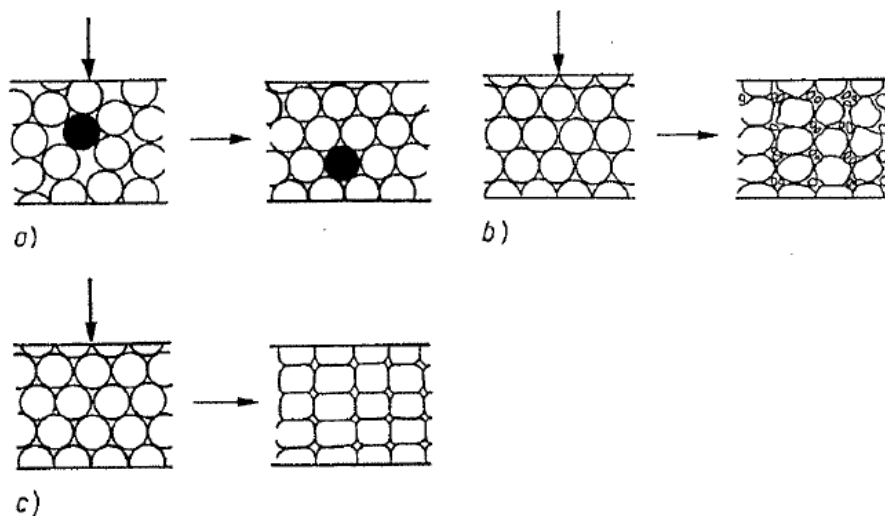


Abbildung 2-11: Verdichtungsvorgänge beim Pressagglomerieren [12]

2.3 Grundlagen der Reduktion von Eisenerz

Die wichtigste Grundlage zur Herstellung von Stahl bzw. Roheisen ist die Reduktion des Erzes. Die am häufigsten vorkommenden Eisenerze sind Hämatit (**Abbildung 2-12**), Magnetit (**Abbildung 2-14**), Siderit (**Abbildung 2-15**) und Limonit (**Abbildung 2-13**). Da Eisen nicht gediegen, sondern als eisenhaltiges Mineral mit Gangart vorkommt, dient als Ausgangsmaterial für die Reduktion ein aufbereitetes Eisenerz. Durch die Reduktion wird der Sauerstoff stufenweise bis zum reinen Eisen entfernt. Dies erfolgt allgemein nach folgender Gleichung [13]:



Die Reduktion ist auch vom Sauerstoffpotential nach nachstehender Gleichung abhängig [13]:

$$\Delta G^0 = RT \ln p_{\text{O}_2} \quad 2-2$$

Die wichtigsten Erztypen mit ihren Eisenmineralien sind:

- Oxidische Erze: Hämatiterz (Fe_2O_3)
Magnetiterz (Fe_3O_4)
- Hydroxidische Erze: Limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
oolithische Erze ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
- Sulfidische Erze: Pyrit (FeS_2)
Magnetkies ($\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$)
- Karbonatische Erze: Siderit (FeCO_3)



Abbildung 2-12: Hämatit [14]



Abbildung 2-13: Limonit [14]



Abbildung 2-14: Magnetit [14]

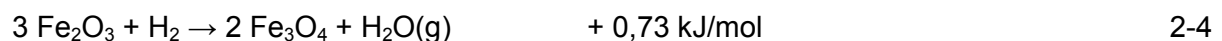


Abbildung 2-15: Siderit [14]

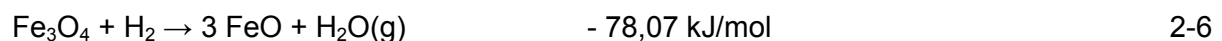
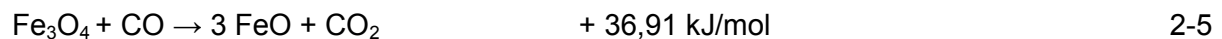
Oxidische und hydroxidische Erze können direkt dem Reduktionsprozess zugeführt werden, hingegen müssen sulfidische Erze zuerst durch Röstung in die Oxidform überführt werden. Der Abbau des Sauerstoffs bei der Reduktion erfolgt von Hämatit (Fe_2O_3 , $\text{Fe}_{\text{th}} = 69,9 \%$) über Magnetit (Fe_3O_4 , $\text{Fe}_{\text{th}} = 72,4 \%$) und Wüstit (FeO , $\text{Fe}_{\text{th}} = 77,7 \%$) zu Eisen. Auch die Gittertypen der Eisenerze haben einen Einfluss auf die Reduzierbarkeit. Eine Reduktion kann nur erfolgen wenn das Sauerstoffpotential des Metalloxides größer als jenes des Reduktionsmittels ist. Sind die beiden Potentiale gleich, herrscht Gleichgewicht und ist das Potential des Reduktionsmittels größer, ist keine Reduktion möglich. Die Reduktion kann direkt oder indirekt stattfinden. Bei der indirekten Reduktion dient CO bzw. H_2 als Reduktionsmittel. Die direkte Reduktion erfolgt mit festem C und es entsteht CO als Oxidationsprodukt [13].

Die Gleichungen für die indirekte Reduktion sind [13,15]:

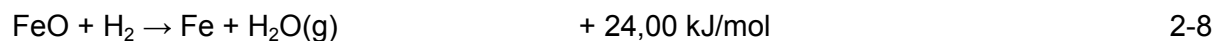
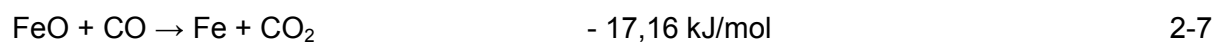
Hämatit zu Magnetit:



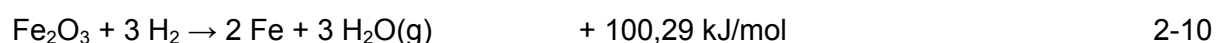
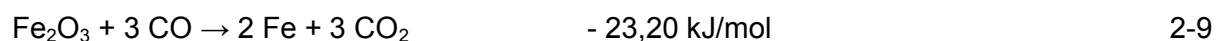
Magnetit zu Wüstit (FeO)



Wüstit (FeO) zu Eisen



Bruttoreaktion der indirekten Reduktion von Hämatit zu Eisen nach dem Hess'schen Satz



Der Beständigkeitsbereich der verschiedenen Phasen ist im Baur Glässner Diagramm in **Abbildung 2-16** dargestellt. Dieses Diagramm zeigt die Stabilitätsbereiche der verschiedenen Oxidphasen für die Gasmischungen $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ und CO/CO_2 . Dabei ist in der Mitte der Wüstitbereich, welcher an der linken Seite an Eisen und an der rechten Seite an den Magnetit angrenzt. Unterhalb einer Temperatur von $571 \text{ }^\circ\text{C}$ ist eine direkte Reduktion vom Magnetit zum Eisen möglich ohne über den Wüstit zu gehen. Diese

thermodynamischen Beständigkeitsbereiche werden über die Mittelwerte von ΔS und ΔH aus den thermodynamischen Tabellen berechnet [13,15,16].

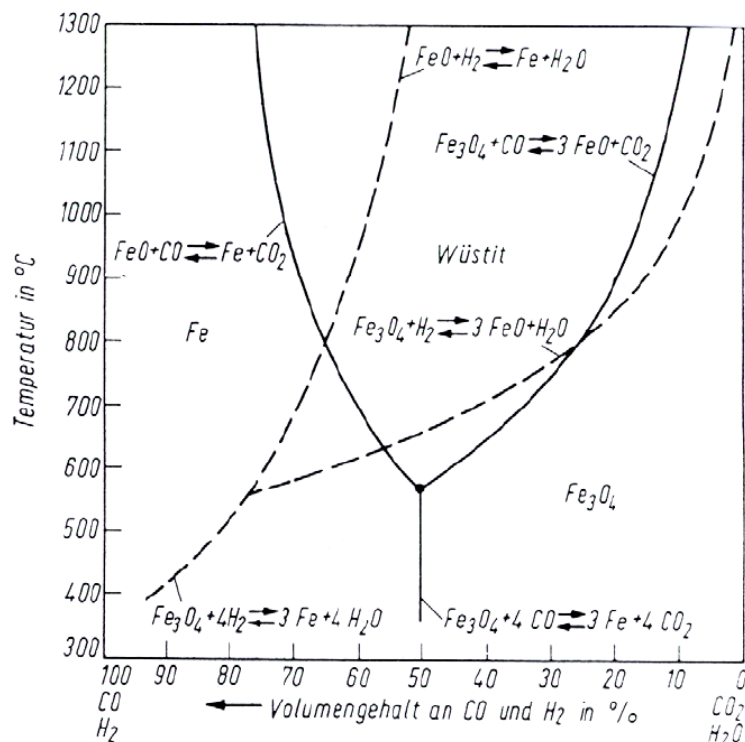


Abbildung 2-16: Baur Glässner Diagramm [17]

In **Abbildung 2-17** ist das Baur Glässner Diagramm mit der Boudouard Linie dargestellt. Diese Linie gibt den Bereich an, in dem die Reduktion abläuft. Befindet sich eine Gasmischung unterhalb der Linie, also bei tiefen Temperaturen, wird aus CO Kohlenstoff und CO_2 gebildet, dadurch wird die Reduktion behindert. Eine Zusammensetzung und Temperatur des Gasmisches über der Gleichgewichtslinie begünstigt die CO-Bildung und somit einen ungehinderten Ablauf der Reduktion. Weiters sind im Wüstitbereich zusätzliche Unterteilungen ersichtlich. Da der Wüstit Eisenleerstellen aufweist, geben diese Linien in Abhängigkeit der Gaszusammensetzung die stöchiometrische Zusammensetzung des Wüstits an. Die allgemeine Formel für den Zustand im Wüstitfeld lautet Fe_{1-y}O . Die senkrechten Linien geben den Wert für y an, und somit die exakte Zusammensetzung [16].

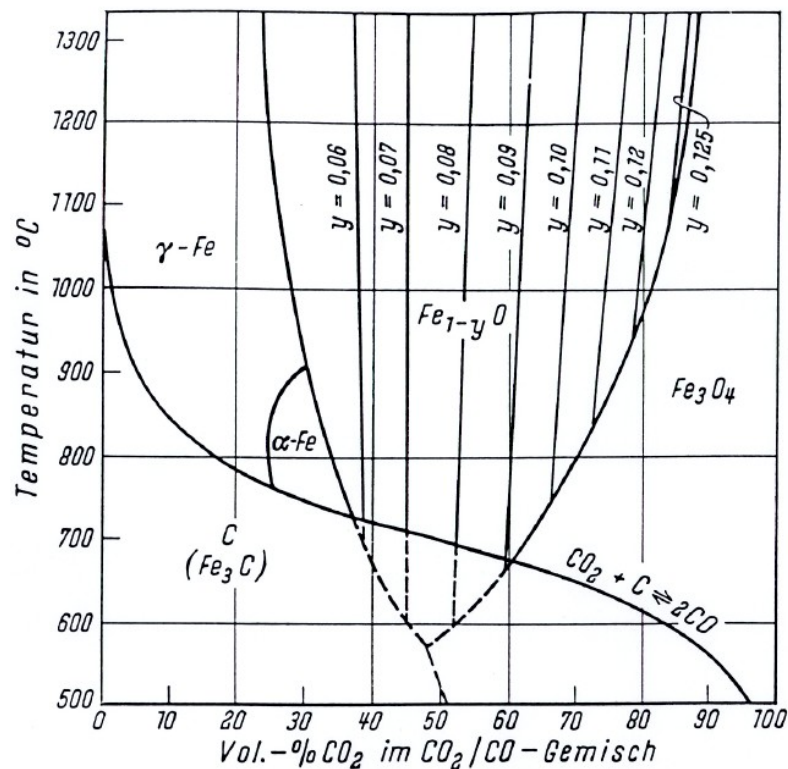


Abbildung 2-17: Baur Glässner Diagramm mit Boudouard Gleichgewicht [17]

Der Mechanismus der Reduktion eines Erzteilchens ist in **Abbildung 2-18** schematisch dargestellt. Zuerst diffundiert das Reduktionsmittel durch die Strömungsschicht (a) und anschließend durch die Makroporen (b) und Mikroporen (c) zum Reaktionsort. Dort findet die Phasengrenzreaktion (d) statt. Danach erfolgt die Rückdiffusion vom Reaktionsort weg in den Gasstrom (e, f, g). Die Phasengrenzreaktion umfasst die eigentliche chemische Reaktion, die sich aus der Adsorption des Reduktionsgases, den Ausbau des Sauerstoffs aus dem Gitter, dem Keimwachstum der Reaktionsprodukte und der Desorption von der Festkörperoberfläche zusammensetzt [13,15-19].

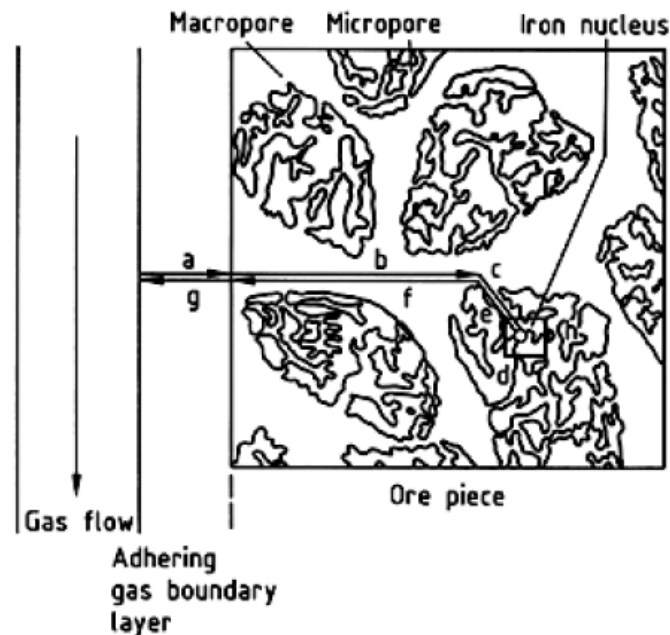


Abbildung 2-18: Schema der Reduktion eines porösen Gasteilchens [13]

2.4 Grundlagen des Wirbelschichtverfahrens

Der Zustand einer Wirbelschicht (oder auch eines Fließbettes) ist durch das Fluidisieren eines Feststoffes durch eine vertikale nach oben gerichtete Gasströmung mit einer Geschwindigkeit, die oberhalb der charakteristischen Lockerungsgeschwindigkeit liegt, gekennzeichnet. Der Kontakt zwischen Gas und den Feststoffpartikeln ist dabei stark turbulent. Dies ermöglicht einen verbesserten Wärmeübergang und eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit. Bei weiterer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit über die charakteristische Austragsgeschwindigkeit hinaus spricht man von pneumatischer Förderung. **Abbildung 2-19** zeigt die unterschiedlichen Zustände einer Wirbelschicht durch Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (bzw. Re- Zahl). Die Grundlage dazu liefert das Verhalten von Partikelkollektiven im Strömungsfeld [12].

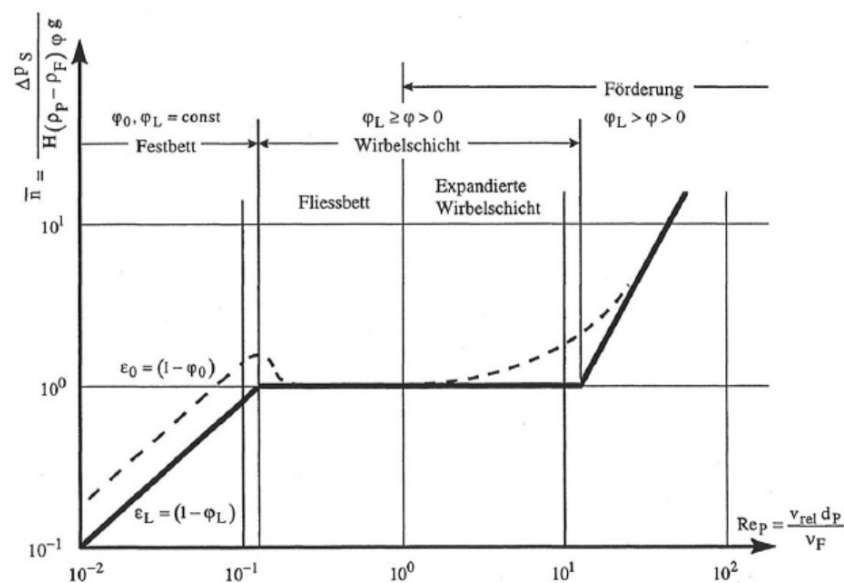


Abbildung 2-19: Zustände der Wirbelschicht [12]

2.4.1 Partikelkollektive im Strömungsfeld

Die kinetische Gastheorie bietet eine erste Orientierung über Größenordnungen in Gas-Feststoff- Systemen. Die Partikelvolumenkonzentration φ von Kugeln gleichen Durchmessers setzt sich aus dem Partikelvolumen und dem Gesamtvolumen des Reaktors zusammen [12].

$$\varphi = \frac{\text{Partikelvolumen}}{\text{Gesamtvolumen}} = 1 - \frac{\text{Hohlraumvolumen}}{\text{Gesamtvolumen}} = 1 - \epsilon = \frac{Z \cdot \frac{\pi}{6} d_p^3}{\frac{\pi}{4} D^2 H} = Z \cdot \frac{2 \cdot d_p^3}{3 \cdot D^2 H} \quad 2-11$$

In **Abbildung 2-20** ist die Abhängigkeit unterschiedlicher Partikeldurchmesser für verschiedene Gas-Feststoff- Reaktoren dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die meisten Reaktoren eine sehr hohe Konzentration an Partikeln aufweisen. Dadurch ist eine Beschreibung des Reaktors über das Verhalten von Einzelpartikel nur schwer möglich. Die Einteilung von Partikelkollektiven im Strömungsfeld erfolgt nach ihrem Bewegungszustand. **Tabelle 2-4** zeigt die unterschiedlichen Zustände und die dazugehörigen Merkmale. Durch die unterschiedlichen Belastungen wirken in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit andere Kräfte auf die Partikel. Während bei einer ruhenden Schütttschicht hauptsächlich Druck-, Schwere-, und Trägheitskräfte wirken, sind bei der Wirbelschicht und der Förderung auch noch Reibungs-, Haft-, und Stoßkräfte zu berücksichtigen [12].

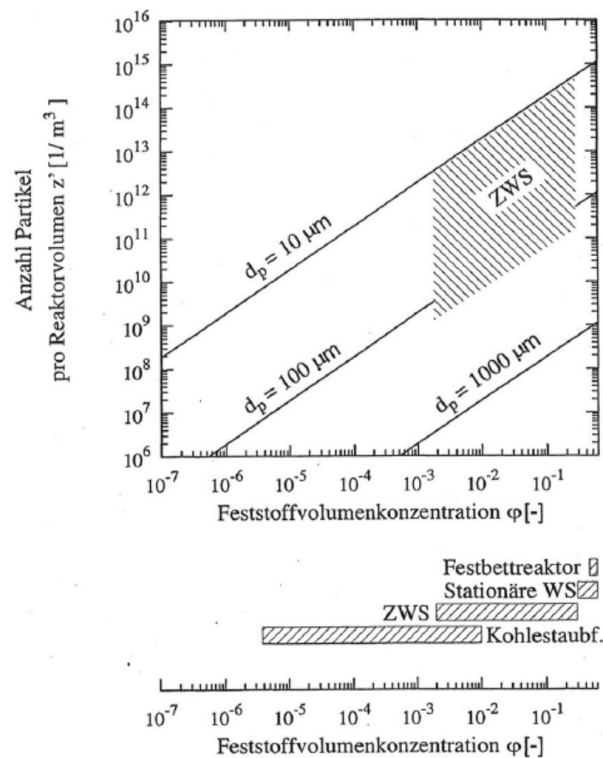


Abbildung 2-20: Konzentration an Partikeln in Gas- Feststoff- Reaktoren [12]

Tabelle 2-4: Einteilung der Partikelkollektive nach dem Bewegungszustand [12]

Bewegungszustand	Beschreibung
Ruhende Schüttschicht	Keine Bewegung der Partikel. Porosität des Partikelkollektivs hängt von der Verteilung der Partikelgröße- und Partikelform ab.
Bewegte Schüttschicht	Partikel haben Kontakt analog zur ruhenden Schüttschicht. Die Schicht bewegt sich als Ganzes durch den Prozessraum.
Wirbelschicht	Strömungswiderstand und Erdanziehungskraft sind im Mittel gleich groß. Partikel werden in Schwebelage gehalten. Die Bewegung ist relativ zueinander. Eine Erhöhung der Fluidgeschwindigkeit dehnt die Schicht bei gleichbleibendem Druckverlust aus.
Förderung	Bei hohen Fluidgeschwindigkeiten werden die Partikel mit dem Fluidstrom ausgetragen.

2.4.2 Durchströmen von Wirbelschichten

Durch Steigerung der Anströmgeschwindigkeit einer Schüttung entsteht eine Wirbelschicht. **Abbildung 2-19** zeigt das Entstehen einer Wirbelschicht mit den Größen Druckverlust und der dimensionslosen Anströmgeschwindigkeit, der Reynolds- Zahl. Es ist zu erkennen, dass durch Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit der Druckverlust über die Schüttung steigt und nach Überwinden eines Maximums leicht sinkt und anschließend konstant bleibt. Dieses Maximum wird durch das Überwinden von Reibungs- und Haftkräften zwischen den einzelnen Partikeln charakterisiert. Nach Überwinden dieser Kräfte bildet sich ein konstanter Druckverlust aus. Durch Erhöhung der Geschwindigkeit steigt nur die Ausdehnung der Wirbelschicht, bevor sich bei hoher Geschwindigkeit die Förderung einstellt. Folgende Gleichung gibt den Druckverlust der Wirbelschicht an [12]:

$$\Delta p_s = \varphi H(\rho_p - \rho_f)g \quad 2-12$$

Beim Absenken der Strömungsgeschwindigkeit bildet sich wieder eine Schüttung. Bei diesem Vorgang ist keine Überhöhung des Lastvielfachen zu erkennen, da keine Haft- und Reibungskräfte vorhanden sind. Die Leerrohrgeschwindigkeit am Lockerungspunkt ist die Lockerungsgeschwindigkeit der Schüttung und eine charakteristische Größe für das Material. Die Partikel beeinflussen sich gegenseitig in unterschiedlicher Weise. Bei inhomogenen Gas-Feststoff-Systemen ist dieser Unterschied zwischen feinen und groben Partikeln zu erkennen. Der Übergang von der Wirbelschicht zur Förderung ist bei feinen Partikeln oberhalb der Sinkgeschwindigkeit der Einzelpartikel und bei groben unterhalb. In **Abbildung 2-21** ist der Unterschied für die Anströmung von Einzelpartikeln und Partikelagglomeraten dargestellt [12].

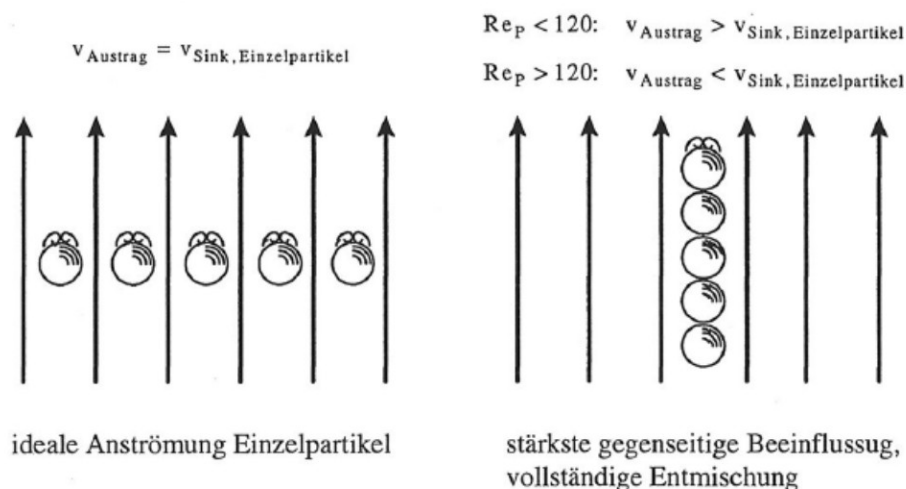


Abbildung 2-21: Gegenseitige Beeinflussung der Partikel in der Wirbelschicht [12]

2.4.3 Darstellung der Bewegungszustände im Zustandsdiagramm

Die Widerstandsgleichung von Ergun kann nicht im Bereich der Wirbelschicht angewendet werden. Für homogene Wirbelschichten wurde von Lewis, Gilliland und Bauer experimentell folgende Widerstandsfunktion ermittelt:

$$\xi(\varphi, Re_p) = \frac{\alpha(Re_p)}{\varepsilon^{4,65}} = \frac{\alpha(Re_p)}{(1 - \varphi)^{4,65}} \quad 2-13$$

Diese Funktion erlaubt die Beschreibung vom Lockerungspunkt einer Schüttung bis zum Schweben der Einzelpartikel. Weiters erlaubt sie das Erstellen eines Zustandsdiagramms, in dem die Linien von konstanten Lastvielfachen $\bar{n} = 1$ und konstanter Partikelvolumenkonzentration $\varphi = \text{const}$ zur Beschreibung des Bewegungszustandes dienen. Die Einschränkung für dieses Diagramm ist die homogene Fluidisierung. Um auch das System Gas/Feststoff betrachten zu können, wird eine modifizierte verallgemeinerte Form des Zustandsdiagramms verwendet. Dabei wird auch der Bereich der inhomogenen Fluidisierung betrachtet. Durch die modifizierte Froude-Zahl Fr^* lassen sich die Grenzen der inhomogenen Wirbelschicht beschreiben [12].

$$Fr_p^* = \frac{3}{4} Fr_p^2 \frac{\rho_F}{(\rho_P - \rho_F)} = \frac{n}{\alpha(Re_p)} = \frac{1}{\alpha(Re_p)} \quad 2-14$$

Abbildung 2-22 zeigt das allgemeine Zustandsdiagramm durchströmter Partikel das durch folgende Formeln beschrieben wird [20].

$$Re = \frac{w \cdot d_p}{\nu} \quad 2-15$$

$$\frac{1}{c_D} = \frac{3}{4} * \frac{w^2}{g * d_p} * \frac{\rho_G}{\rho_S - \rho_G} \quad 2-16$$

$$Ar = \frac{g * d_p^3}{\nu^2} * \frac{\rho_G}{\rho_S - \rho_G} \quad 2-17$$

$$M = \frac{w^3}{g * \nu} * \frac{\rho_G}{\rho_S - \rho_G} \quad 2-18$$

Weiters sind im Diagramm die Bereiche der unterschiedlichen Festbettreaktoren eingetragen.

- | | | | |
|---|------------------------|---|-----------------------------|
| a | Schachtofen | b | Wanderbett |
| c | homogene Wirbelschicht | d | Zirkulierende Wirbelschicht |
| e | Transportreaktor | | |

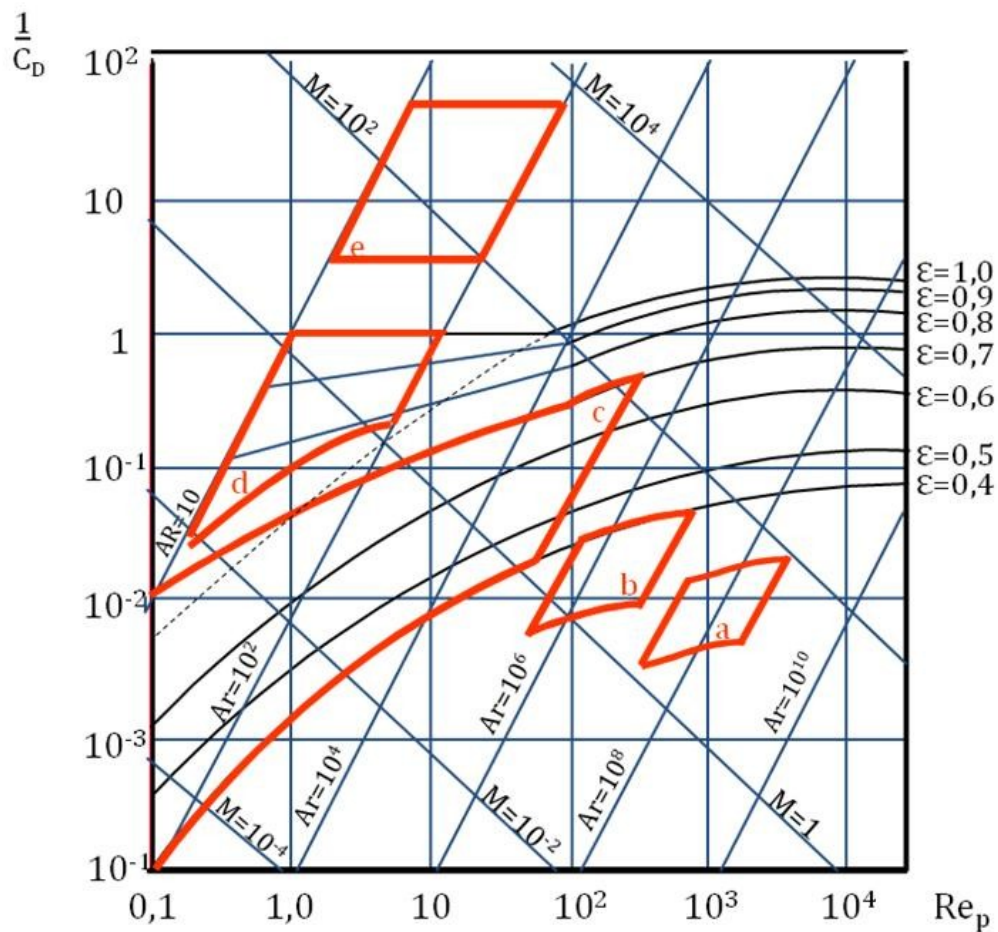


Abbildung 2-22: Allgemeines Zustandsdiagramm durchströmter Partikel nach Reh [20]

2.4.4 Wärme und Stoffaustausch

Damit eine Reaktion stattfinden kann, sind sowohl Wärme- als auch Stoffaustausch notwendig. **Abbildung 2-23** zeigt die Vorgänge bei Gas-Feststoff-Reaktionen am Partikel. Weiteren Einfluss auf die Reaktion hat der Partikeldurchmesser. Ein kleinerer Durchmesser verkürzt die Transportwege zur Oberfläche, daher werden die Temperatur- und Konzentrationsunterschiede schneller abgebaut. Weiters bewirkt eine Verkleinerung des Partikeldurchmessers eine Vergrößerung der verfügbaren äußeren Oberfläche. Dadurch werden der Wärme- und Stoffübergang zwischen Partikel und Fluid verbessert. [12,19]

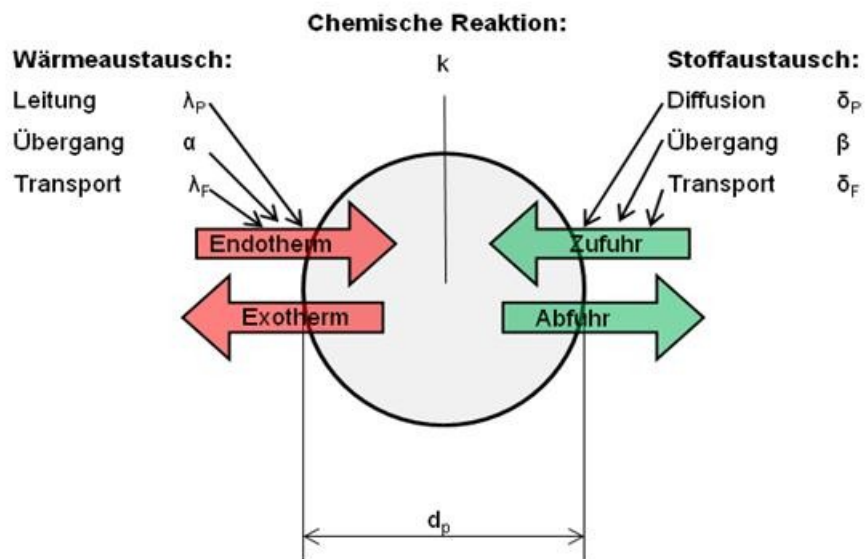


Abbildung 2-23: Kinetische Vorgänge bei Gas-Feststoff- Reaktionen [12]

3 Praktische Durchführung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der praktischen Durchführung der Arbeit, wobei die Herstellung der Granulate, die durchgeführten Tests und die Auswertung der Ergebnisse beschrieben werden.

3.1 Vorgangsweise

Ein wichtiger Teil dieser Arbeit war die Vorgangsweise zur Durchführung der unterschiedlichen Versuche zu entwickeln. Die von mehreren Firmen produzierten Proben wurden als erstes einheitlich bezeichnet und tabellarisch erfasst, um einen Überblick über alle vorhandenen Proben der unterschiedlichen Hersteller zu erhalten. Zusätzlich finden sich in den Tabellen die Zusammensetzung der Proben und die von den Herstellern ermittelten Festigkeiten. Die Proben weisen unterschiedliche Behandlungszustände hinsichtlich Temperatur und Verweilzeit auf. Der Umstand, dass die Proben von unterschiedlichen Produzenten hergestellt und gemessen wurden, machte eine Nachmessung der Festigkeiten einiger Proben an der Montanuniversität Leoben notwendig. Dazu wurden jene Proben mit den höchsten, vom Hersteller angegebenen Festigkeiten, nachgemessen. Aus diesen Messungen wurden die Proben nach ihren Festigkeiten gereiht. Jene Proben mit den höchsten Festigkeiten wurden für die Tests an der PTGA ausgewählt. Es erfolgte eine weitere Bestimmung der Festigkeiten nach den PTGA-Versuchen, da eine Verminderung der Festigkeit in den Reduktionsversuchen stattfindet. Durch die erhaltenen Werte von Gewichtsverlust und Festigkeitsdifferenz vor und nach PTGA wurden nun die Proben mit den besten Festigkeiten ausgewählt und zusätzliche Versuche mit weiteren Behandlungszuständen durchgeführt. Daraus wurde die Abhängigkeit der Festigkeit von der

Behandlungstemperatur ermittelt. Die bis dahin gemessenen Festigkeiten waren nicht überragend, wodurch ein weiterer Binder getestet wurde. Aus diesen Proben wurde schlussendlich jene mit der höchsten Festigkeit nach der PTGA ausgewählt und im Wirbelschichtreaktor des Lehrstuhls für Metallurgie auf das Zerfallsverhalten getestet. Dieser Test lässt eine bessere Aussage über die Eignung für einen Einsatz in einer Großindustriellen Anlage zu.

3.2 Herstellen von Granulaten mit verschiedenen Bindertypen

Um die verschiedenen Bindertypen für die Verwendbarkeit zu charakterisieren, wurden Mikroagglomerate hergestellt. Vier verschiedene Firmen übernahmen die Herstellung der Agglomerate mit unterschiedlich vorgegebenen Bindersystemen. Für die durchgeführten Tests sind ausschließlich Proben der Siebklasse 2,8 – 4,0 mm verwendet worden. In **Tabelle 3-1** sind die verwendeten Binder und die dazugehörigen Abkürzungen angeführt. Die verwendeten Binder wurden in unterschiedlichen Konzentrationen dem Feinerz (Magnetit) zugeführt, um eventuelle Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften zu erkennen. **Tabelle 3-2** zeigt die Konzentrationen von Binder und Wassergehalt für die Herstellung der Granulate. Weiters ist in **Tabelle 3-2** die Probenbezeichnung und der verwendete Binder angegeben. In **Abbildung 3-1** ist die Probenbezeichnung schematisch erklärt.

Tabelle 3-1: Verwendete Binder

Abkürzung	Binder
BE	Bentonit
BK	Branntkalk CaO
BS	Bentonitersatzstoff C
FX	FINEX- Schlamm
HS	Hirschhornsalz
KH	Kalkhydrat Ca(OH) ₂
KM	Kalksteinmehl
LS	Ligninsulfonat
OB	Organischer Binder (Alcotac)
SA	Säureansatz
SB	Schnellbinder
W	Wasser
WG	Natriumwasserglas
ZE	Zement
ZU	Zucker

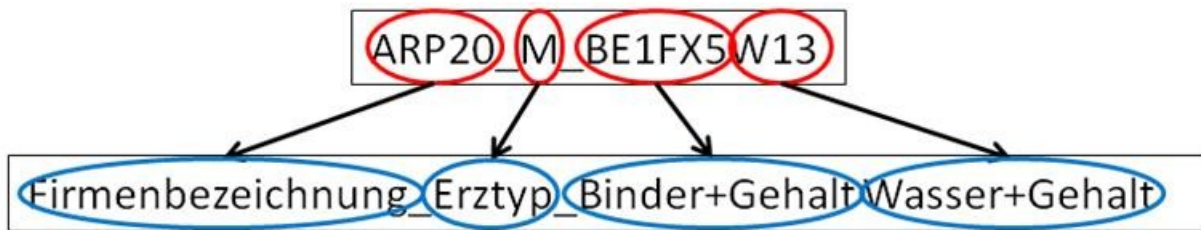


Abbildung 3-1: Charakterisierung der Probenbezeichnung

Um die unterschiedlichen Proben leicht zu identifizieren erfolgt als erster Schritt die einheitliche Nomenklatur nach **Abbildung 3-1**. Anschließend sind in einer Tabelle alle bekannten Gehalte an Binderezusätzen und Wasser zu den jeweiligen Proben erfasst worden. Um eine bessere Einteilung zu treffen dient die Trennung in die unterschiedlichen Binderklassen nach **Tabelle 3-1**. Die hergestellten Präparate wurden teilweise auch von den Herstellern selbst auf ihre Festigkeit getestet. Nach dem Herstellen und in zeitlichen Abständen danach ist die Festigkeit gemessen und notiert worden. Alle bekannten Festigkeitswerte sind ebenfalls tabellarisch erfasst.

Tabelle 3-2: Binderkonzentration und Probenbezeichnung

Probeninformationen		Bindemittel [Massen-%]															
Binder	Probenbezeichnung	Caluцем	Zement 32	Zement	CaO	Ca(OH) ₂	Kalksteinmehl	Säureansatz	Hirschhornsalz	Bentonit	FINEX®schlamm	Alcotac	WG	Lignin	Schnellbinder	Zucker	Wasser
ZE	EIRICH1/1_M_ZE3W2,4		3														2,4
ZE	EIRICH1/2_M_ZE3W2,4		3														2,4
ZE	EIRICH1/3_M_ZE3W2,4		3														2,4
ZE	EIRICH1/4_M_ZE3W2,4	3															2,4
ZE	EIRICH1/5_M_ZE6W2,4		6														2,4
ZE	EIRICH1/6_M_ZE3W1,9		3														1,9
ZE	EIRICH1/7_M_ZE3W1,9		3														1,9
ZE	EIRICH1/8_M_ZE3W2,4	3															2,4
ZE	EIRICH2/1_M_ZE3W2,4	3															2,4
ZE	EIRICH2/2_M_ZE3W2,7	3															2,7
ZE	EIRICH2/3_M_ZE3W3	3															3
ZE	EIRICH2/4_M_ZE3W3	3															3
	EIRICH2/5_M																3
BK	EIRICH2/6_M_BK3W3				3												3
ZE	EIRICH2/7_H_ZE3W22	3															22
ZE	EIRICH2/8_H_ZE3W11	3															11
ZE	EIRICH2/9_H_ZE6W11	6															11
ZE	EIRICH2/10_H_ZE6W12	6															12
ZE	EIRICH2/11_H_ZE6W12	6															12
ZE	EIRICH3/1_M_ZE3W8	3															8
ZE	EIRICH3/2_M_ZE3W6,3	3															6,3
ZE	EIRICH3/3_M_ZE3W8		3														8
ZE	EIRICH3/4_M_ZE3W7,7		3														7,7
BK	EIRICH3/5_M_BK3W6				3												6
KH	EIRICH3/6_M_KH3W7,3					3											7,3
ZE	EIRICH3/7_M_ZE3W8	3															8
BK	EIRICH3/8_M_BK3W7,3				3												7,3
KH	EIRICH3/9_M_KH3W7					3											7
BK	ARP1_M_BK3W11				3												11
KH	ARP2_M_KH3W11					3											11
KH	ARP3_M_KH3W9					3											9
KH	ARP4_M_BK1,5KH1,5W11				1,5	1,5											11
KH	ARP5_M_BK3KH3W11				3	3											11
KH	ARP6_M_KH6W11					6											11
KH	ARP7_M_KH3W12					3											12
KH	ARP8_M_KH3W11					3											11
KH	ARP9_M_KH3HS3W11					3			3								11
SA	ARP10_M_KH3SA5W9					3		5									9
SA	ARP11_M_KH3SA5W8					3		5									8
SA	ARP12_M_SA5							5									
SA	ARP13_M_KH3SA5					3		5									
KH	ARP14_M_KH3					3											
KH	ARP15_M_KH3					3											
KH	ARP16_M_KH3W11					3											11
BE	ARP17_M_BE1W11									1							11

Fortsetzung von Tabelle 3-2

Probeninformationen		Bindemittel [Massen-%]															
Binder	Probenbezeichnung	Caluцем	Zement 32	Zement	CaO	Ca(OH) ₂	Kalksteinmehl	Säureansatz	Hirschhornsalz	Bentonit	FINEX®schlamm	Alcotac	WG	Lignin	Schnellbinder	Zucker	Wasser
BE	ARP18_M_BE1W11									1							11
SA	ARP19_M_KH3SA5					3		5									
FX	ARP20_M_BE1FX5W13									1	5						13
ZE	ARP21_M_ZE3W12	3															12
ZE	ARP22_M_ZE3W13	3															13
KH	ARP23_M_KH3W12					3											12
WG	17032011_T_1_1_M_WG4LS2												4	2			
WG	18032011_T_1_2_M_WG4LS2												4	2			
WG	22032011_T_1_3_M_WG7												7				
OB	23032011_T_2_1_M_OB0,5											0,5					
OB	24032011_T_2_2_M_OB0,5											0,5					
OB	25032011_T_2_3_M_OB0,5											0,5					
ZE	28032011_T_3_1_M_ZE10SB3			10											3		
ZE	29032011_T_3_2_M_ZE10SB3			10											3		
ZE	30032011_T_3_3_M_ZE10SB3			10											3		
	31032011_T_4_1																
ZE	01042011_T_4_2_M_ZE20SB5	keine Probe vorhanden															
BE	07042011_T_4_3_M_BE5									5							
ZU	11042011_T_5_1_M_ZU4,5																4,3
ZU	12042011_T_5_2_M_ZU8																8
ZU	13042011_T_5_3_M_ZU8																8
BE	09032011_BT_1_M_BE1									1							
BE	10032011_BT_2_M_BE1									1							
BE	11032011_BT_3_M_BE1									1							
BE	15032011_BT_4_M_BE1									1							
BE	16032011_BT_5_M_BE1									1							
	Magnetit feucht																
KH	RheinkalkGSV_A025_M_KH5					5											
KM	RheinkalkGSV_A028_M_KM5						5										
KH	RheinkalkGSV_A026_M_KH5					5											
WG	ARP26_M_WG2W1												2				1
WG	ARP27_M_WG1,5W3,5												1,5				3,5

3.3 Bestimmung der Festigkeit der Granulate und statistische Auswertung

Für den Einsatz der Mikrogranulate in der Wirbelschicht ist eine Mindestfestigkeit notwendig, damit die Agglomerate nicht zerfallen. Die Tests für die Festigkeit wurden mit einer Messphysik Microstrain Apparatur und nach dem Messprinzip in **Abbildung 3-2** am Institut für Struktur und Funktionskeramik an der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

3.3.1 Versuchsapparatur und Durchführung der Messung

Abbildung 3-2 zeigt die verwendete Apparatur zur Ermittlung der Festigkeit. Die Pellets werden dabei zwischen den beiden Metallzylindern aufgelegt und anschließend bis zum Bruch belastet. **Abbildung 3-3** zeigt das hinterlegte Programm für die Festigkeitstests. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wurden von jeder Probe 20 Pellets getestet. Vortests ergaben, dass diese Anzahl ausreichend hoch ist für eine statische Korrelation. Bei der Auswahl der Pellets ist zu beachten, dass möglichst runde Pellets verwendet werden, um die Ergebnisse besser reproduzieren zu können. Da durch die Abweichung von der kugeligen Form ein Umrechnen auf $[N/mm^2]$ nicht möglich ist, wurde der erhaltene Wert in $[N]$ als Ergebnis betrachtet. Dadurch ist ein Vergleich der Proben untereinander möglich. Da der Einfluss von Reduktionsgas und Temperatur in der Druck-Thermogravimetrischen Apparatur (PTGA) ermittelt wurde, wurden die Proben vor und nach dem PTGA-Test auf die Festigkeit getestet. Bereits beim Hersteller erfolgte eine Bestimmung der Festigkeit der Proben. Für die relevanten Pellets mit den höchsten, vom Hersteller gemessenen Festigkeiten, wurde die Festigkeit am Institut für Struktur- und Funktionskeramik nachgemessen. Die ermittelten Festigkeiten sind daher in die Messungen der Hersteller und die des Instituts aufgeteilt. Die Festigkeitsbestimmung der Proben für die PTGA- Tests erfolgte ausschließlich am Institut für Struktur und Funktionskeramik, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

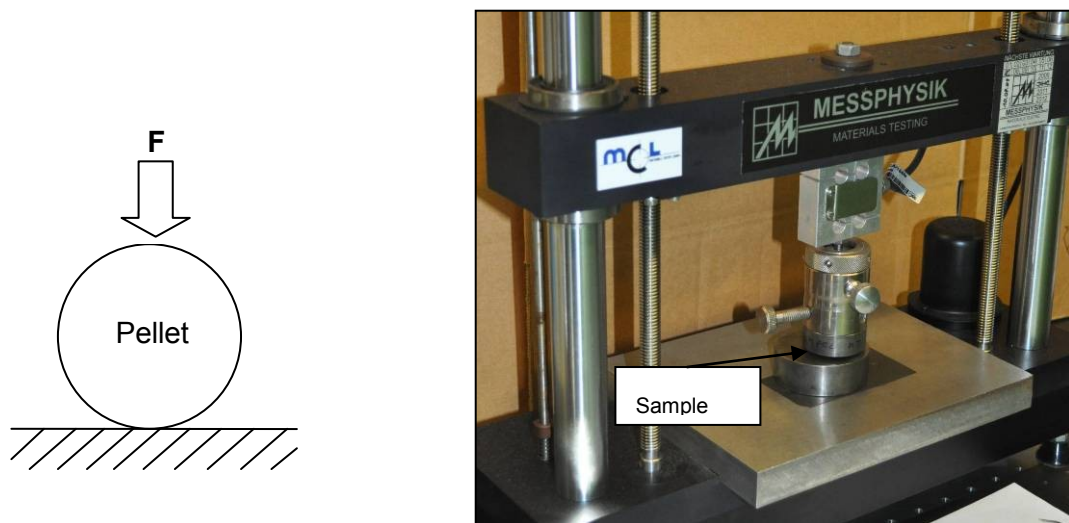


Abbildung 3-2: Messphysik Microstrain, Messprinzip und Apparatur

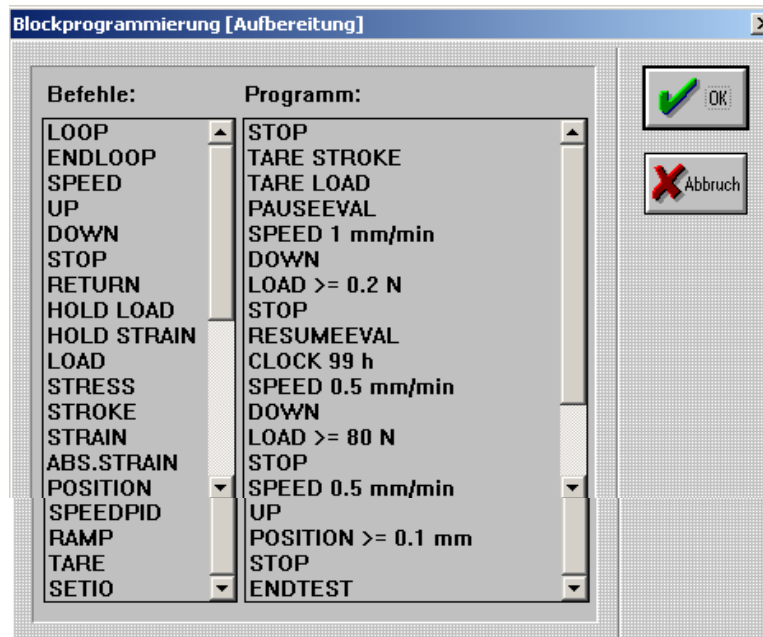


Abbildung 3-3: Testprogramm

Da nicht alle Proben in der PTGA getestet werden konnten, war es notwendig eine Vorauswahl zu treffen. Zur einfacheren Auswahl dienten die Diagramme in **Abbildung 3-5**, **Abbildung 3-6** und **Abbildung 3-7**. In diesen Diagrammen sind die Proben nach den verwendeten Bindertypen aufgeteilt. Die Diagramme stellen die Festigkeiten der einzelnen Proben in Abhängigkeit vom Behandlungszustand dar. Die Unterteilung der Proben auf der horizontalen Achse erfolgt gemäß den einzelnen Binderklassen. Die Bezeichnung für die Behandlungszustände und deren Beschreibung ist in **Tabelle 3-3** angegeben. Um das Verhalten der unterschiedlichen Binder zu ermitteln, wurden von jedem Typ die Proben mit

den jeweils höchsten Festigkeiten ausgewählt. Einen Gesamtüberblick über alle Festigkeiten, welche vom Hersteller und von der Montanuniversität gemessen wurden gibt **Abbildung 3-4**.

Tabelle 3-3: Bezeichnung der unterschiedlichen Behandlungszustände

Bezeichnung	Beschreibung
grünP	unbehandelt
4hP	4 h an Luft getrocknet
16hP	16 h an Luft getrocknet
24hP	24 h an Luft getrocknet
48hP	48 h an Luft getrocknet
3-4dP	3-4 Tage an Luft getrocknet
grün (1-2,8mm)MU	unbehandelt von Montanuniversität (MU) gemessen
grün (2,8-4mm)MU	unbehandelt von Montanuniversität (MU) gemessen
105°C P	vorbehandelt mit 105 °C unter Luft für 15 min
105°C 2MU	vorbehandelt mit 105 °C unter Luft (MU) für 15 min
300°C P	vorbehandelt mit 300 °C unter Luft für 15 min
480°C P	vorbehandelt mit 480 °C unter Luft für 15 min
480°C 2MU	vorbehandelt mit 480 °C unter Luft (MU) für 15 min
525°C P	vorbehandelt mit 525 °C unter Luft für 15 min
650°C P	vorbehandelt mit 650 °C unter Luft für 15 min
650°C (R)P	vorbehandelt mit 650 °C unter Luft für 15 min
650°C (RT,1-2,8mm)MU	Proben werden im Ofen unter Luft von Raumtemperatur auf 650 °C aufgeheizt
650°C (RT,2,8-4mm)MU	Proben werden im Ofen unter Luft von Raumtemperatur auf 650 °C aufgeheizt
750°C MU	vorbehandelt mit 750 °C unter Luft für 15 min
900°C MU	vorbehandelt mit 900 °C unter Luft für 15 min

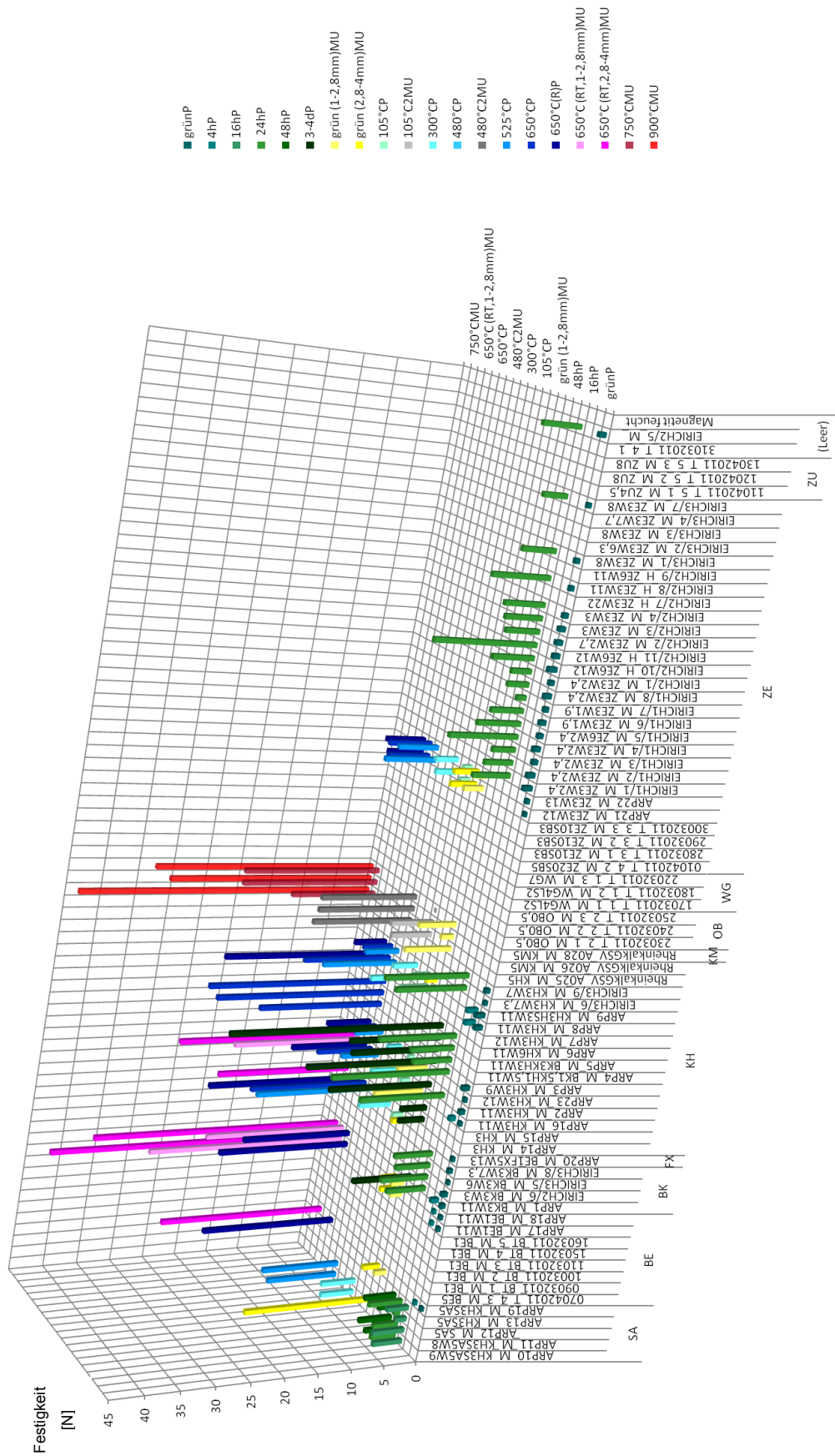


Abbildung 3-4: Festigkeiten der Proben von Hersteller und Montanuniversität gemessen

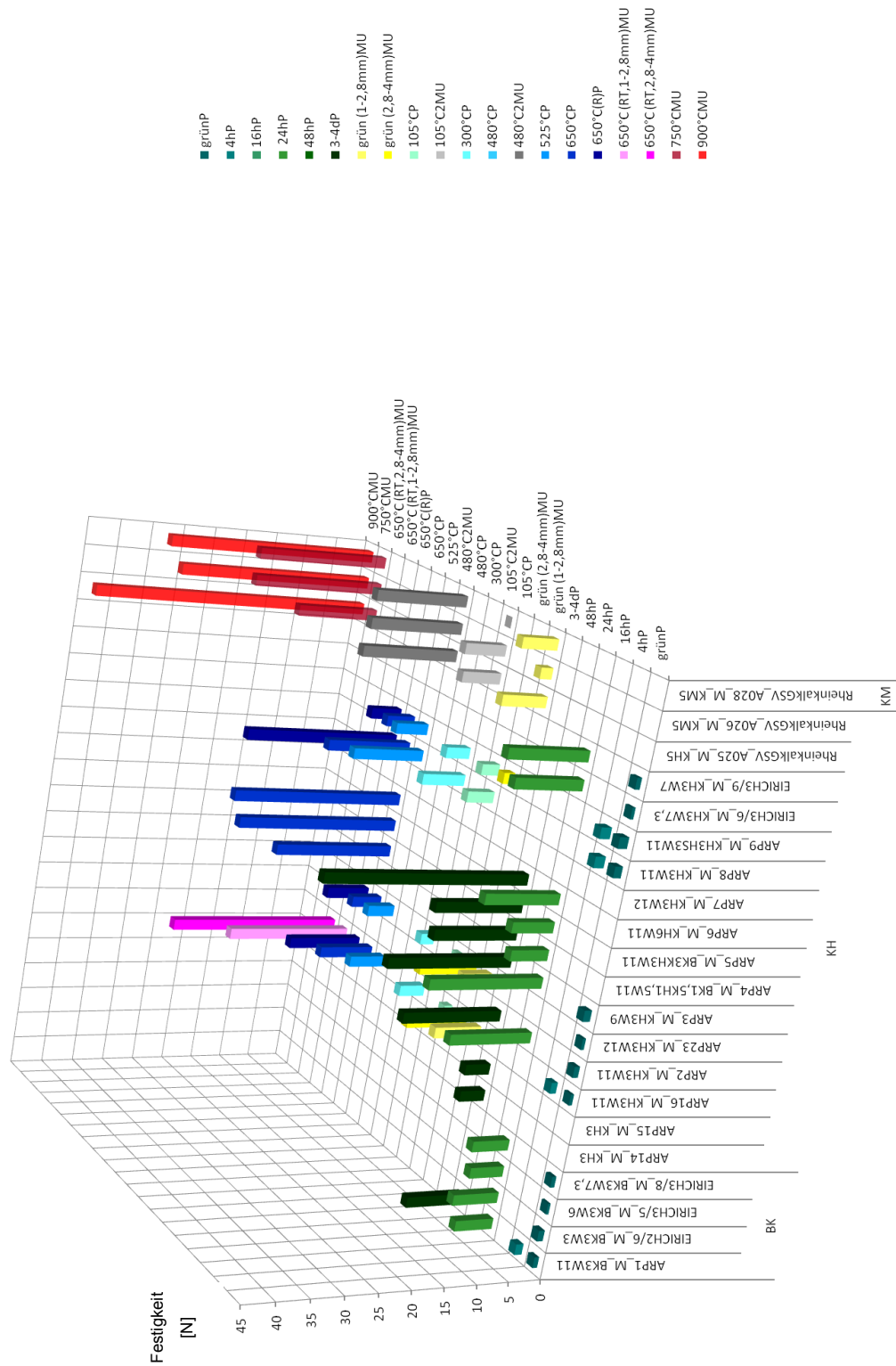


Abbildung 3-5: Festigkeiten der Kalkproben (Branntkalk, Kalkhydrat, Kalksteinmehl)

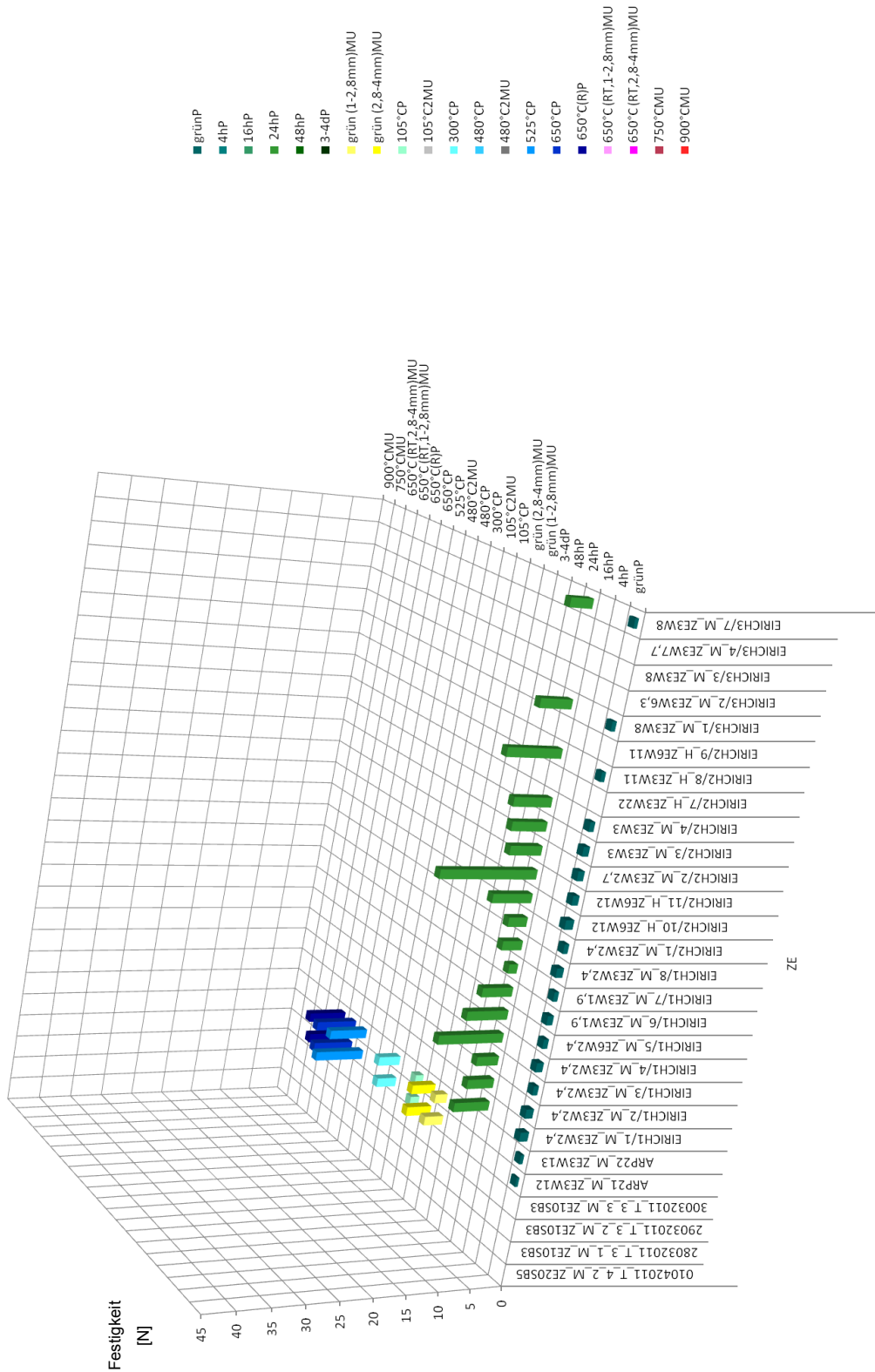


Abbildung 3-6: Festigkeiten Zementproben

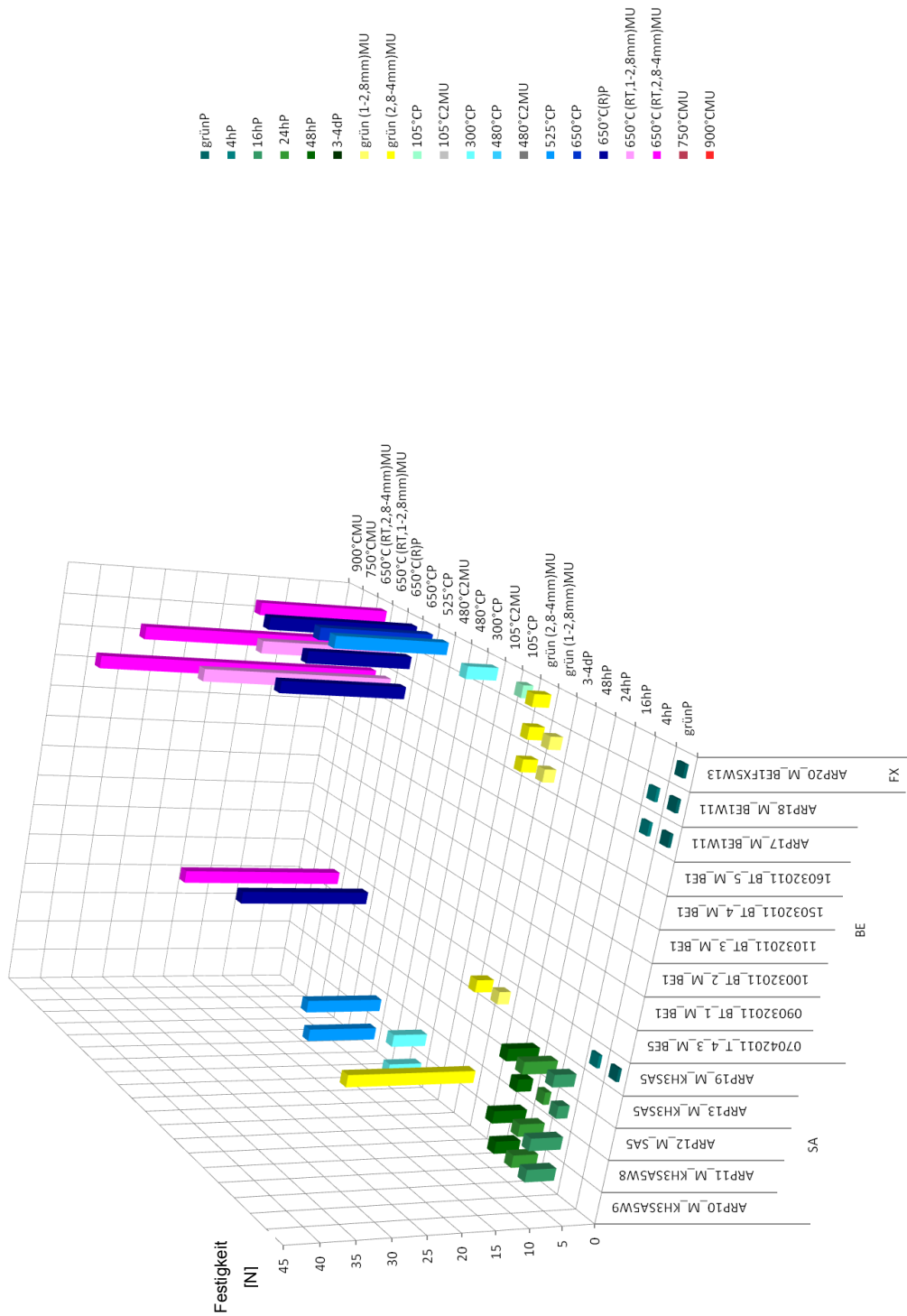


Abbildung 3-7: Festigkeiten Säureansatz, Bentonit, Finexschlamm

3.4 Erprobung des Reduktionsverhaltens der Mikrogranulate mittels Druck-Thermogravimetrischer-Apparatur

In diesem Kapitel werden die verwendete Apparatur und die Durchführung der Versuche beschrieben.

3.4.1 PTGA- Versuchsapparatur

Die Druckthermogravimetrische Versuchsapparatur (PTGA) wurde zum Ermitteln der Reduzierbarkeit von Mikroagglomeraten bei unterschiedlichen Bedingungen verwendet. Parameter wie Druck, Temperatur und Gaszusammensetzung können dabei unabhängig voneinander verändert werden und somit die Auswirkung auf die Reduzierbarkeit bestimmt werden. In **Abbildung 3-10** ist das Fließbild der verwendeten Apparatur dargestellt. Über drei unterschiedliche Gaszuleitungen wird das benötigte Gas der Anlage zugeführt. Über vier Massflow- Controller ist es möglich, die Gasströme zu regeln. Um stabilere Bedingungen zu erreichen, wird der Gasstrom vor Erreichen des Reaktors vorgeheizt. Zwei Magnetventile ermöglichen die Steuerung des Gasstroms, der entweder in den Reaktor oder direkt in die Abgasleitung geleitet werden kann. Für den Schutz der Waage vor Reaktionsgas wird diese während des Versuchs mit Stickstoff gespült. Das Einbringen der Probe erfolgt über die Probenschleuse, wobei die Pellets in einem Probenkorb aus Draht gefüllt werden. Über eine Probenwinde wird der Korb in den Reaktor herabgelassen. Die Beheizung des Reaktors wird mit einer Widerstandsheizung durchgeführt. **Abbildung 3-9** zeigt den Aufbau des Reaktors im Inneren. In den beheizbaren Reaktor wird zusätzlich ein Quarzglasrohr eingebaut, um die Entstehung von Ruß zu verhindern. Weiters wird das Thermoelement mit einem Glasrohr geschützt, da sich auch hier Kohlenstoff abscheiden würde. Zusätzlich stehen für die Anlage noch eine Gasbefeuchtung und ein nachgeschalteter Kondensator zur Verfügung, die jedoch bei den Reduktionstests nicht verwendet wurden. Die verbrauchten Gase verlassen die Apparatur über die Abgasleitung auf das Dach. Die Flaschen für die Gaszufuhr sind in einem separaten Raum in Gasschränken untergebracht. **Abbildung 3-8** zeigt den Aufbau der Apparatur am Lehrstuhl für Metallurgie. Zur Steuerung ist die gesamte Apparatur an eine Software gekoppelt, welche die Variation der unterschiedlichen Parameter zulässt. Über eine Eingabemaske können damit Temperatur, Druck und Gasfluss auf die notwendigen Testbedingungen eingestellt werden.

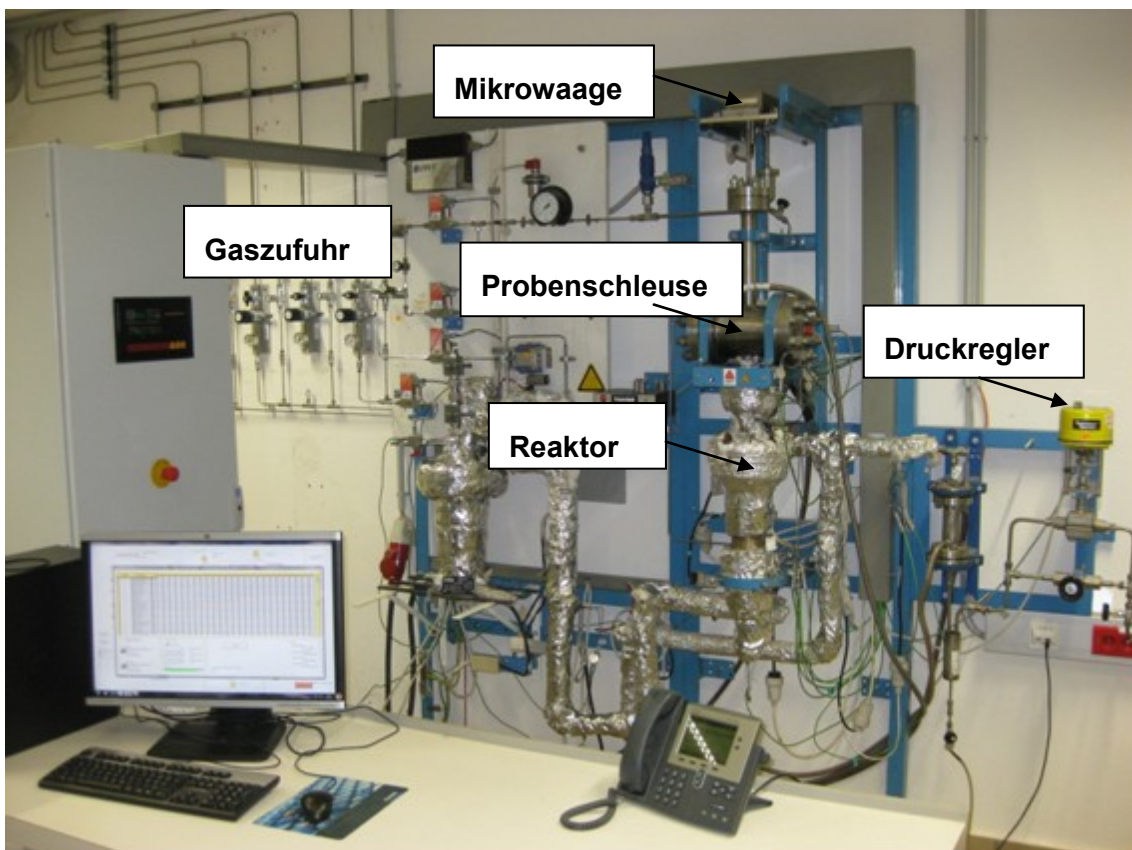


Abbildung 3-8: Aufbau der Druck- Thermogravimetrische Apparatur (PTGA)



Abbildung 3-9: Reaktor mit Glasrohr und Thermoelement

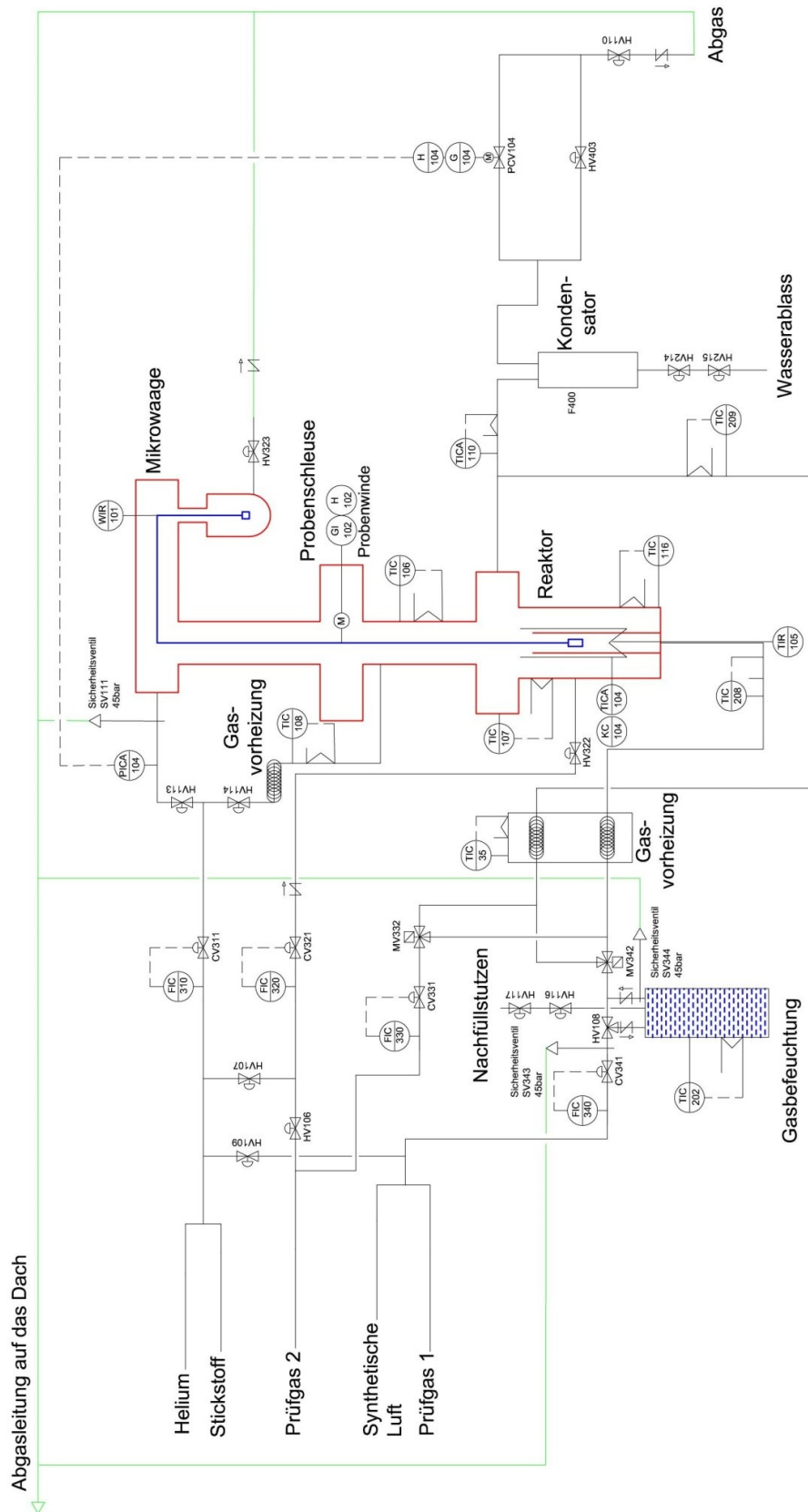


Abbildung 3-10: Anlagenfließbild PTGA

3.4.2 PTGA- Versuchsbedingungen

Wichtig für die Durchführung der Versuche sind die Versuchsbedingungen. Diese sind an die Bedingungen der 160 mm Wirbelschicht angenähert, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Dabei ist vor allem auf die Gaszusammensetzung, die Temperaturen und Haltezeiten bei den jeweiligen Reaktionsschritten zu achten. Die ermittelten Parameter beinhalten drei Reduktionsstufen, wobei die erste (R3) und zweite (R2) mit der gleichen Gaszusammensetzung, jedoch anderen Temperaturen gefahren werden. Die dritte Stufe (R1) wird unter stärkeren Reduktionsbedingungen, also höherer CO- Gehalt und höhere Temperatur durchgeführt. In **Abbildung 3-11** ist das Baur Glaessner Diagramm mit den Versuchsbedingungen für die PTGA- Versuche dargestellt. Es ist dabei die Temperatur über dem Gasoxidationsgrad (GOD), der ein Maß für das Reduktionspotential der Gasmischung ist, aufgetragen. Für die Einstellung des ermittelten GOD werden zwei unterschiedliche Prüfgase (Prüfgas 1 und Prüfgas 2) nach **Tabelle 3-4** verwendet. Die Gaszusammensetzung und Bedingungen der einzelnen Reaktionsstufen (R1, R2 und R3) gibt **Tabelle 3-5** wieder. Bei allen Versuchen wird ein konstanter Druck von 3 bar eingestellt. Um ausreichend Probenmaterial für weiterführende Versuche zur Verfügung zu haben, wird der Probenkorb maximal beladen. Dies entspricht einem Gewicht von etwa 2,6 g Material oder etwa 40 Pellets der Korngröße 2,4 – 4 mm. Die Mikrowaage arbeitet bis zu einer Genauigkeit von 1 µg und im Bereich von 0–1 g. Da nur der Gewichtsverlust von Bedeutung ist, und dieser im Bereich von 400 mg liegt, wird mit Gegengewichten die Waage kalibriert und somit die Abnahme des Gewichts quantitativ erfasst. Die Umrechnung in Prozent erfolgt durch die Einwaage. Die wichtigsten Parameter während des Versuchs sind in **Abbildung 3-12** dargestellt. Darin sind die Heizperioden unter Stickstoff sowie die Reduktionsphasen R3, R2 und R1 eingetragen. Das Aufheizen unter Stickstoff ist erforderlich, da durch die inerten Bedingungen keine Reaktionen im Einsatzgut ablaufen. Da nur die Reduktion in den unterschiedlichen Reduktionsphasen ermittelt wird ist somit ein Aufheizen in Inertgasatmosphäre notwendig. Weiters sind die Sollwerte für Temperatur, Druck, Prüfgasmenge und Stickstoffmenge grafisch dargestellt. Da es während des Versuchs leichte Abweichungen von den angeführten Sollwerten geben kann, ist eine genaue Überwachung und gegebenenfalls eine manuelle Korrektur notwendig. Für die Reproduzierbarkeit der Versuche sind konstante Reaktionsbedingungen erforderlich, daher ist vor allem auf die Druckänderung beim Umschalten von Stickstoff auf Prüfgas zu achten. Während der Reduktionsstufen muss hingegen die Temperatur manuell nach geregelt werden, um einen konstanten Istwert zu erhalten.

Tabelle 3-4: Gaszusammensetzung der Prüfgase

Gaskomponente		Prüfgas 1	Prüfgas 2
CH ₄	[Vol.%]	1,0	1,1
H ₂	[Vol.%]	18,4	17,9
CO	[Vol.%]	34,5	77,0
CO ₂	[Vol.%]	39,1	0,0
N ₂	[Vol.%]	7,0	4,0

Tabelle 3-5: Gaszusammensetzung der einzelnen Reduktionsstufen der PTGA- Versuche

	Einheit	PG 1	PG 2	R3	R2	R1
Temperatur	[°C]			480	750	760
Verweilzeit	[min]			30	30	40
Druck	[bar]			3	3	3
CH ₄	[Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0
H ₂	[Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4
CO	[Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6
CO ₂	[Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9
N ₂	[Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1

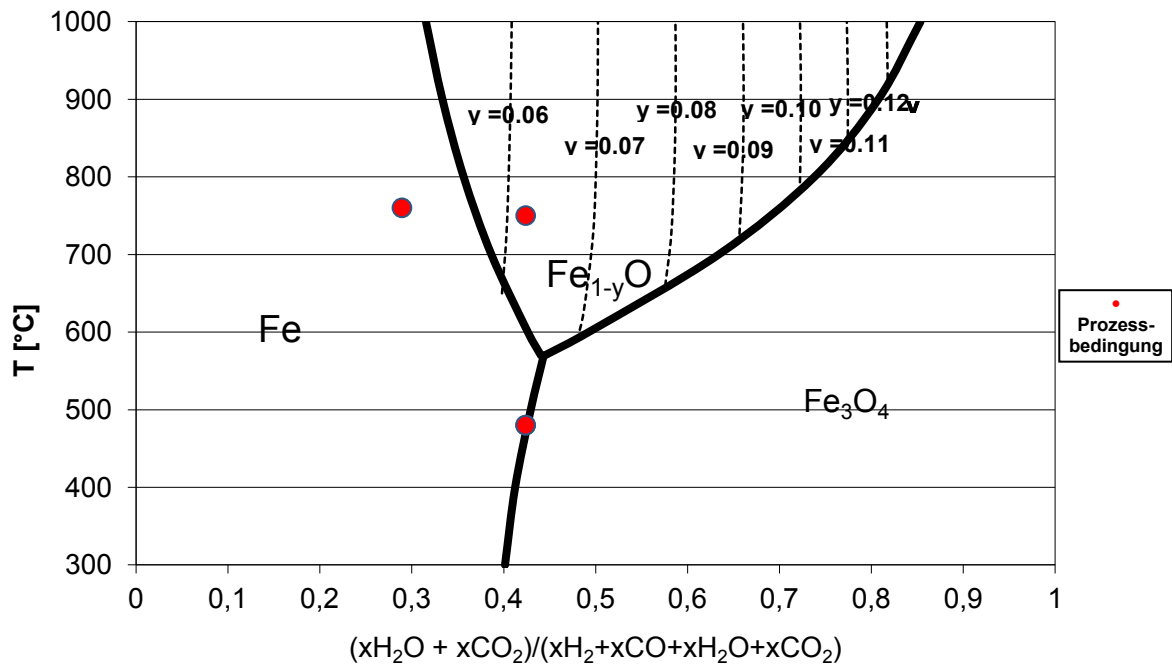


Abbildung 3-11: Baur Glaessner Diagramm für die PTGA- Versuche

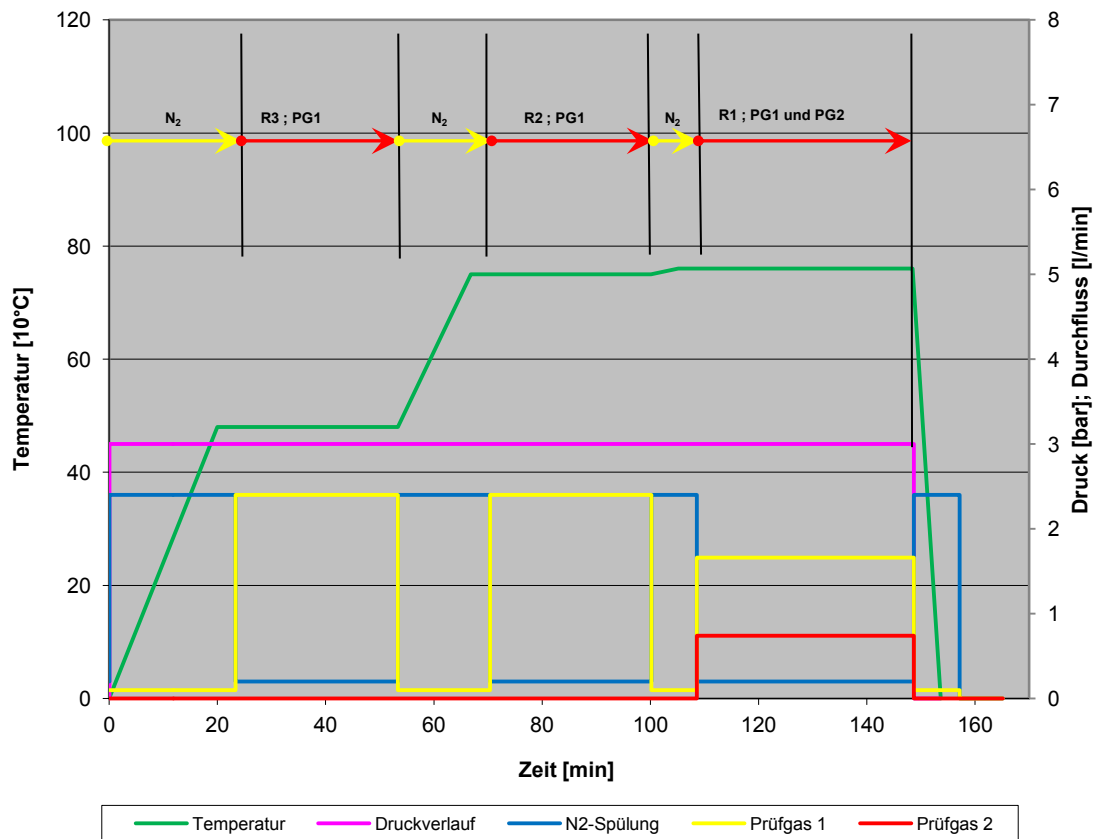


Abbildung 3-12: Versuchsbedingungen für die PTGA- Versuche

3.4.3 Versuchsdurchführung der PTGA- Tests

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, ist die Einhaltung einer genauen Versuchsdurchführung von großer Bedeutung. Dabei sind folgende Punkte unbedingt zu beachten:

- Sicherstellen der Gasversorgung für den kompletten Versuch: es muss ausreichend Druck in den Gasflaschen sein, um einen erfolgreichen Versuch durchzuführen.
- Es ist eine exakte Einwaage der Pellets und ein Einbringen in den Probenkorb ohne Verluste notwendig. Danach erfolgt das Einsetzen des Probenkorbes in den Reaktor und das Verschließen der Probenschleuse.
- Vor Versuchsstart ist eine ausreichende Spülung mit Stickstoff notwendig, um die Luft aus dem Reaktor zu entfernen. Des Weiteren wird durch dreimaliges Aufdrücken unter Stickstoff auf etwa 7 bar die Dichtheit des Systems überprüft. Dies ist besonders wichtig, da mit CO gearbeitet wird.
- Kontrolle aller Ventile und Überprüfung des Softwareprogramms
- Starten des Versuchs
- Überprüfen der zu variierenden Parameter wie Druck und Temperatur während des Versuchs und gegebenenfalls manuelle Regelung über die Eingabesoftware.
- Nach dem Versuch ist sicherzustellen, dass alle gefährlichen Gase aus der Anlage entfernt werden. Durch dreimaliges Spülen mit Stickstoff und Aufbau eines Drucks von etwa 7 bar und nachfolgendem Entspannen auf Umgebungsdruck wird dies gewährleistet.
- Nach Öffnen des Reaktors ist die abgekühlte Probe abzuwiegen.
- Durchführen der Auswertungen des Versuchs.

In **Abbildung 3-13** ist der Ablauf eines Versuchs in einem Flussdiagramm dargestellt.

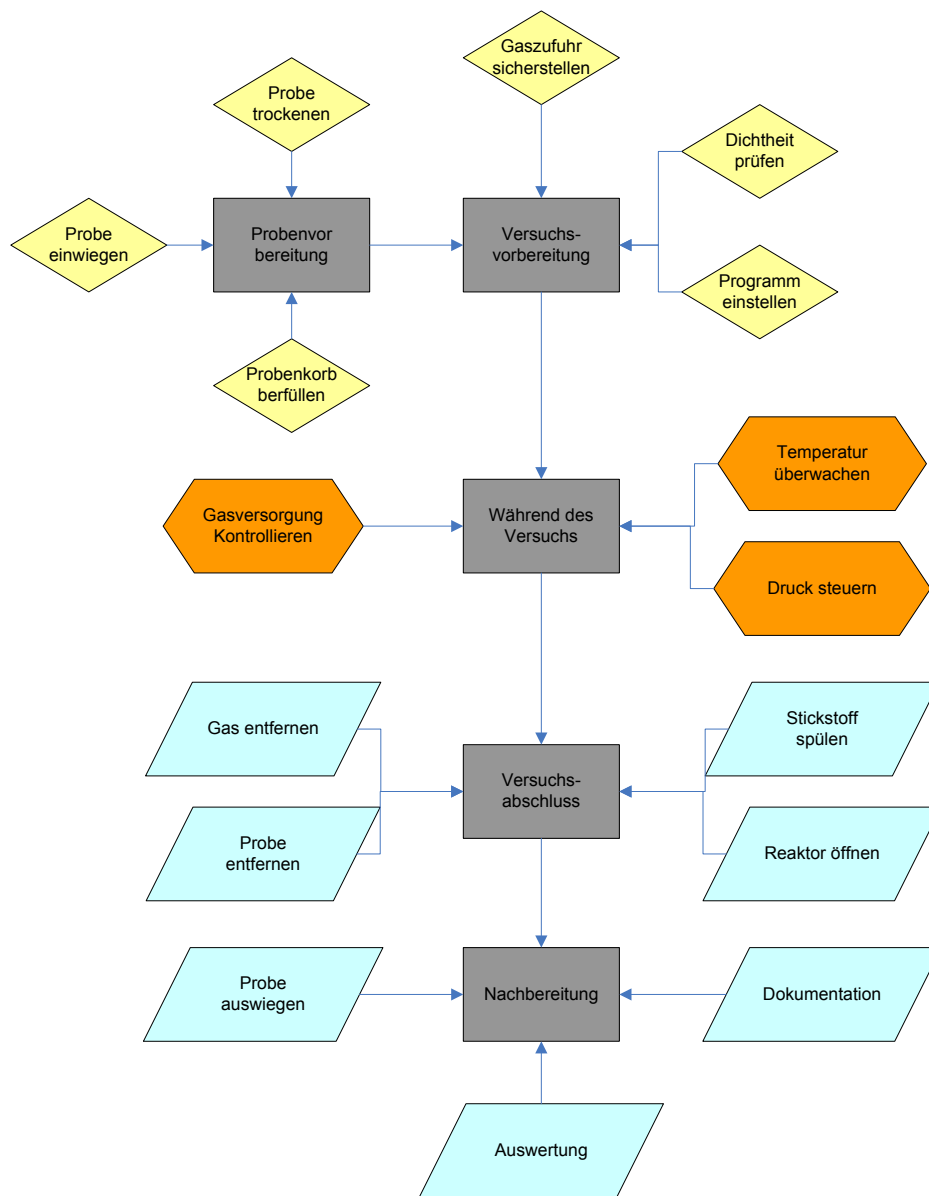


Abbildung 3-13: Flussdiagramm für einen PTGA- Versuch

3.4.4 Versuchsauswertung

Die Auswertung der Versuche beinhaltet die Massenbilanz des PTGA- Versuchs und im Zuge dessen die Gewichtsabbaukurve, die Festigkeiten der Mikroagglomerate vor und nach dem Versuch und eine zusätzliche optische Betrachtung der getesteten Mikroagglomerate. Da das Gewicht der Probe über die Anlage nur qualitativ erfasst wird, jedoch ein quantitatives Ergebnis notwendig ist, wird die Probe vor und nach dem Versuch exakt abgewogen. Über die Einwaage kann dann das Waagensignal auf den prozentuellen Gewichtsabbau umgerechnet werden. Weiters wird noch die Zusammensetzung der Pellets und etwaige Auffälligkeiten in die Versuchsauswertung eingetragen. Auch die zu regelnden

Parameter wie Druck und Temperatur werden in der Auswertung berücksichtigt. Um eine Nachvollziehbarkeit der Tests zu ermöglichen, werden die Tests inkl. Programm nummeriert und dadurch genau definiert. **Abbildung 3-14** zeigt schematisch die Vorlage zur Auswertung der Proben. Über die Festigkeit und den Gewichtsabbau ist eine Charakterisierung der unterschiedlichen Binder möglich. Je nach Festigkeitsniveau wird die Beständigkeit des Binders festgestellt und gewichtet. Die Proben mit den höchsten Festigkeiten werden weiter analysiert. Dazu erfolgt eine Behandlung der Pellets bei unterschiedlichen Temperaturen, um so die Veränderung der Festigkeit zu ermitteln. Zur Auswertung werden Diagramme erstellt, welche eine Abschätzung der Festigkeitsniveaus der einzelnen Proben untereinander ermöglicht. Eine weitere Auswertung ist für den Gewichtsabbau notwendig. Da der Binder auch eine Reaktion mit dem Erz eingehen kann und somit die Reduktion behindert, sind die Auswertung und der Vergleich der Gewichtsverluste eine wichtige Kenngröße. Die Auswertung über den Gewichtsabbau beinhaltet einerseits die Abbaukurve, als Ergebnis der PTGA- Versuche und andererseits die Massenbilanz, welche über eine externe Waage ermittelt wird. Der Gewichtsverlust wird in Prozent angegeben und die verschiedenen Proben untereinander verglichen. Da auch das Reduktionsverhalten des Erzes von wesentlicher Bedeutung ist, wird bei der Auswahl der Proben für die weiteren Tests auch der Gewichtsabbau berücksichtigt. Über die Auswertungen werden die Pellets mit den unterschiedlichen Bindern und Behandlungszuständen nach der Beständigkeit gewichtet und bewertet. Wichtig sind auch die unterschiedlichen Behandlungszustände der Proben, da auch die wirtschaftliche Sichtweise für die Herstellung der Pellets betrachtet wird. Durch die Tests werden die besten Pellets unter den bestimmten Bedingungen ermittelt und für weitere Versuche an der WS 160 mm ausgewählt.

Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:							Auswertung					
Date:							comments test progress: <div style="background-color: yellow; height: 150px; width: 100%;"></div>					
Kind of test: 3-stage 480/750/760°C FINEX												
Target of the test: Reduction behaviour of Magnetite												
Projekt leader:												
Test executed by:												
E-Mail:												
Phone:												
Customer:												
Raw material input:												
Ore type 1:												
MUL Sample number:												
VASL Sample number:												
Ore designation: nn.												
Grain size: 2.8-4mm												
Binder:												
Binder:												
Pre-Treatment: 6h 105°C												
Test information						Test parameters						
		PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88				
CH4	[Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00				
H2	[Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1				
CO	[Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1				
CO2	[Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program					
N2	[Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1						
							Weight					
Temperature [°Cel]							480	750	760	Input (ext. balance) [mg]		Δ
Pressure [bar]							3	3	3			[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]							2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]		
Residence time [min]							30	30	40			
Before reduction						Schematische Auswertung						
Picture of sample with scale												
After reduction												
Picture of sample with scale												

Abbildung 3-14: Vorlage für die Auswertung der PTGA- Versuche

3.5 Erprobung des Reduktions- und Zerfallsverhalten der Mikrogranulate im Fluidatbett

Um das Verhalten der Pellets unter realen Bedingungen zu ermitteln, wurden potentielle Kandidaten im Wirbelschichtaggregat beprobt. Jene Pellets, die in den Festigkeits- und PTGA- Tests die besten Werte erzielten, wurden weiter im Wirbelschichtreaktor auf ihre Prozesstauglichkeit getestet.

3.5.1 Testbedingungen und Auswertung

Die Bedingungen für den Test sind ähnlich denen der PTGA-Versuche. Es werden Pellets der Korngrößen 1 – 4 mm verwendet. Die restlichen Anteile für die notwendige Korngrößenverteilung werden mit einem bereits getesteten Erz aufgebracht. In **Abbildung 3-15** sind die Prozessbedingungen für den Versuch im Baur-Glaessner-Diagramm dargestellt. **Tabelle 3-6** zeigt die Zusammensetzung der Prozessgase in den einzelnen Stufen R3, R2 und R1. Die Tests im Wirbelschichtreaktor dienen primär zur Bewertung der Stabilität bzw. des Zerfallverhaltens. Für die Auswertung ist daher in erster Linie die Siebkurve relevant, da durch das Mischen von Pellets und Erz keine exakte quantitative Aussage über das Reduktionsverhalten der Mikroagglomerate getroffen werden kann.

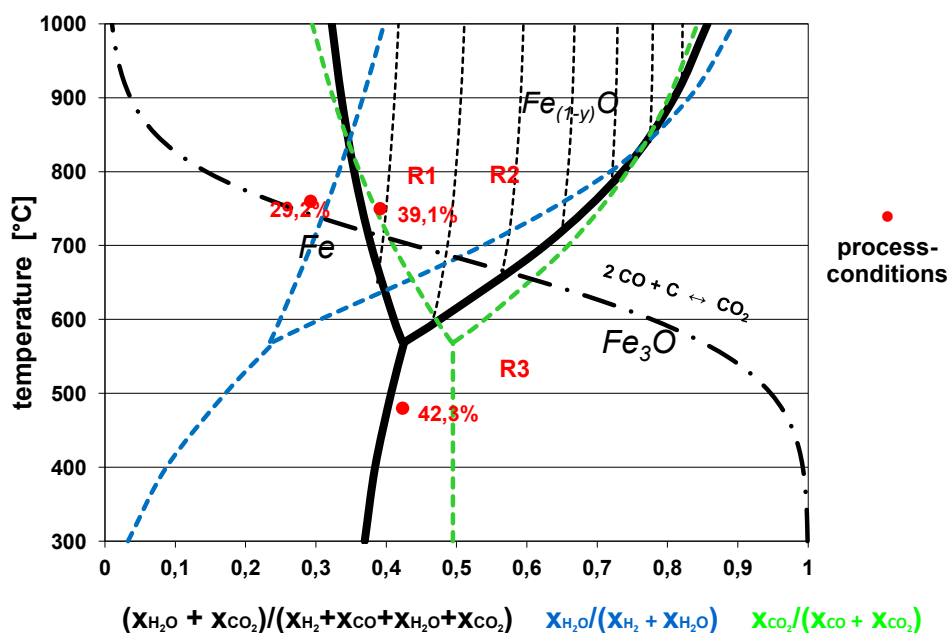


Abbildung 3-15: Baur-Glaessner-Diagramm für Prozessbedingungen WS 160 mm

Tabelle 3-6: Gaszusammensetzung der einzelnen Reduktionsstufen für die WS 160 mm

	Einheit	R3	R2	R1
Temperatur	[°C]	480	750	760
Verweilzeit	[min]	30	30	40
Druck	[bar]	1,4	1,4	1,4
CH ₄	[Vol.%]	16,0	16,5	17,7
H ₂	[Vol.%]	8,7	7,1	5,6
CO	[Vol.%]	36,5	38,9	46,7
CO ₂	[Vol.%]	29,8	28,5	21,0
N ₂	[Vol.%]	1,6	1,6	1,5

3.6 Auswertung der Ergebnisse

Dieses Kapitel beinhaltet die Auswertung und Analyse der Festigkeits-, PTGA-, und WS 160mm-Tests. Die ermittelten Ergebnisse werden dabei in Gruppen ausgewertet und dargestellt. Die PTGA- Versuche lassen eine Aussage über den Gewichtsabbau in den unterschiedlichen Reduktionsstufen zu, sowie einen Vergleich der unterschiedlichen Proben. Durch die Abbaukurven kann eine Aussage der unterschiedlichen Behandlungszustände getroffen werden. Da die Mikroagglomerate bei gleichen Verhältnissen behandelt wurden, ist durch die erhaltenen Kurven auch eine Differenzierung des Verhaltens der einzelnen Binder möglich. Um auch Rückschlüsse auf das mögliche Verhalten in der Wirbelschicht zu ziehen, sind die ermittelten Festigkeiten eine relevante Größe. Der Zusammenhang zwischen Gewichtsabbau und Festigkeit lässt dadurch auf die Qualität des Binders schließen. Da ein einheitliches Erz verwendet wurde, ist ein unterschiedliches Verhalten auf den Binder zurückzuführen.

3.6.1 Probenvorauswahl

Die erste Probenauswahl für die PTGA- Versuche diente zur Ermittlung der für die weitere Beprobung relevanten Pellets. Aus dieser Auswahl wurden dann weitere PTGA- Tests mit unterschiedlichen Behandlungszuständen durchgeführt, um jene mit den besten Beständigkeiten zu ermitteln. **Abbildung 3-16** gibt einen Überblick über die Festigkeiten

jener Proben, welche für die Tests in der thermogravimetrischen Apparatur ausgewählt wurden. Die Festigkeitswerte in den einzelnen Binderklassen sind die jeweils höchsten ihrer Klasse nach der Herstellung und Wärmebehandlung. Als Maß für die Auswahl ist in diesem Fall die Festigkeit verwendet worden. Zu Beginn standen die Proben mit Wasserglas als Binder noch nicht zur Verfügung, daher galten Säureansatz und Bentonit als die besseren Binder im Vergleich zu Kalkhydrat, Kalksteinmehl oder Zement. Daher konzentrierte sich die Testreihe auf jene Proben mit Bentonit und Säureansatz als Binder. Die Festigkeitswerte der später noch eingebrachten Wasserglasproben übertrafen schlussendlich die Erwartungen, womit diese Pellets anschließend auch genau getestet wurden. Die Grafik zeigt gut die unterschiedlichen Festigkeitswerte der verschiedenen Binderklassen als auch der differenzierten Behandlungszustände. Die mögliche Belastung steigt durch eine Behandlung mit höherer Temperatur. Die Werte für Pellets mit Wasserglas als Binder sind um ein Vielfaches höher als die der anderen Binder.

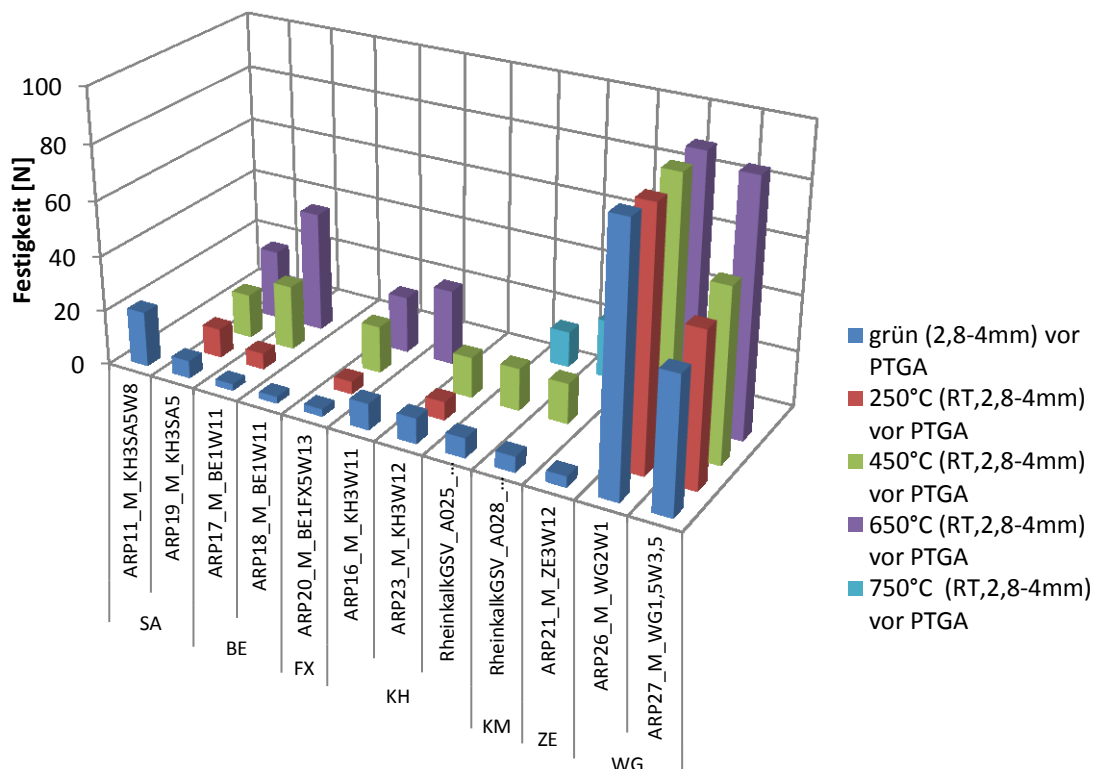


Abbildung 3-16: Festigkeiten der ausgewählten Proben vor den PTGA- Versuchen

3.6.2 Auswertungen der PTGA- Versuche

Die direkte Auswertung der PTGA- Versuche wurde über Gewichtsabbaukurven grafisch dargestellt. Zuerst erfolgte die Auswertung der Vorversuche, wodurch die besten Proben

ermittelt wurden. Diese Proben sind weiteren Behandlungsschritten unterzogen worden, um den bestmöglichen Zustand zu identifizieren. Schlussendlich wurden noch die Wasserglasproben mittels PTGA- Anlage getestet. Zusätzlich zu den Abbaukurven wurden auch die Festigkeitswerte vor und nach den PTGA- Versuchen für die Auswahl herangezogen.

PTGA- Versuche der ausgewählten Proben

Die Unterteilung der Vorversuche erfolgt in die unterschiedlichen Bindergruppen Kalkhydrat, Bentonit, Säureansatz und Finexschlamm. Die Auswertung der Vorversuche ist in **Abbildung 3-17**, **Abbildung 3-18**, **Abbildung 3-19** und **Abbildung 3-20** dargestellt. Manche Gewichtsabbaukurven zeigen sehr starke Schwankungen oder auch Sprünge. Dies ist auf einen Fehler im Waagensignal zurückzuführen, welcher sich jedoch nicht auf das Ergebnis auswirkt. Der richtige Wert des Gewichtsabbaus wird aus der Messung mit der externen Waage bestimmt. Die ausgewerteten Kurven lassen folgende Aussagen zu:

- Die unterschiedlichen Proben zeigen ähnliche Verläufe in allen drei Reduktionsstufen. Da ein einheitliches Erz verwendet wird, ist dies zu erwarten. Ein stärkerer Unterscheid zeigt sich zur behandelten Säureansatzprobe, welche im zweiten Reduktionsschritt (R2) stärker reduziert.
- Proben, die über 600 °C vorbehandelt wurden, zeigen am Beginn der ersten Reduktionsstufe (R3) einen stärkeren Abfall und stagnieren anschließend. Dies ist auf die Rückoxidation durch Wärmebehandlung zurückzuführen. Diese erfolgt nicht unter inerten Bedingungen sondern in Luftatmosphäre.
- Geringsten Gewichtsverlust weisen die Bentonitproben auf. Hingegen besitzen Kalkhydrat- und Säureansatzproben die höchsten Gewichtsverluste.

Kalkhydratproben

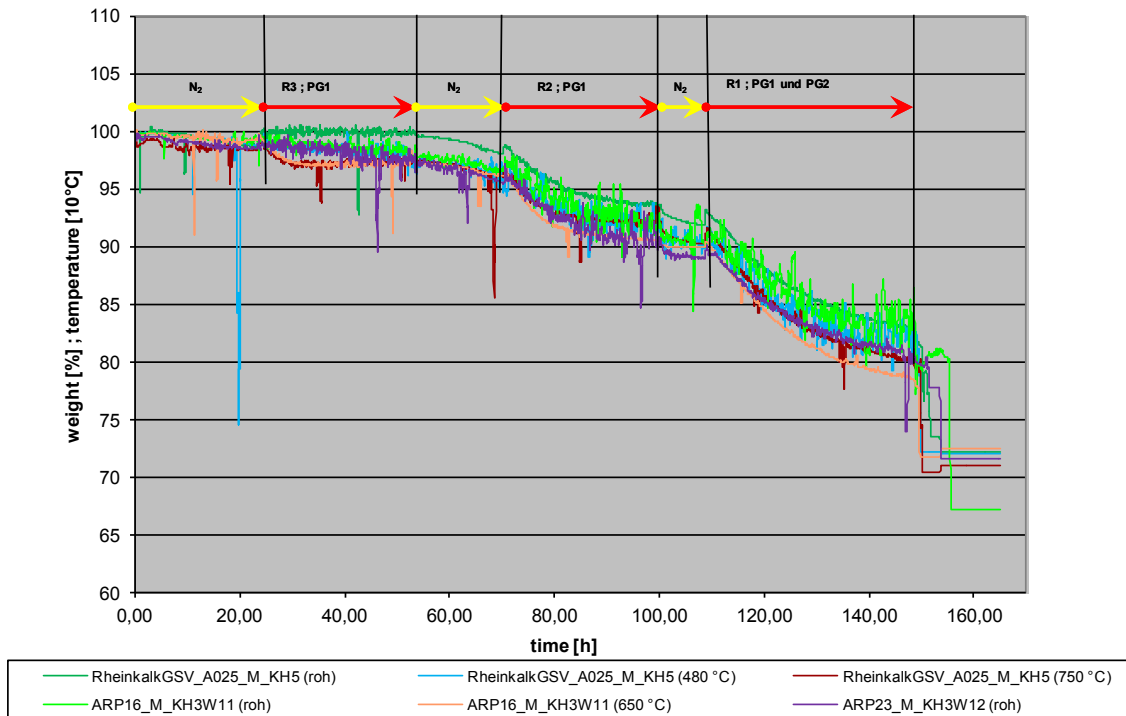


Abbildung 3-17: Auswertung PTGA- Versuche, Kalkhydrat

Bentonitproben ARP

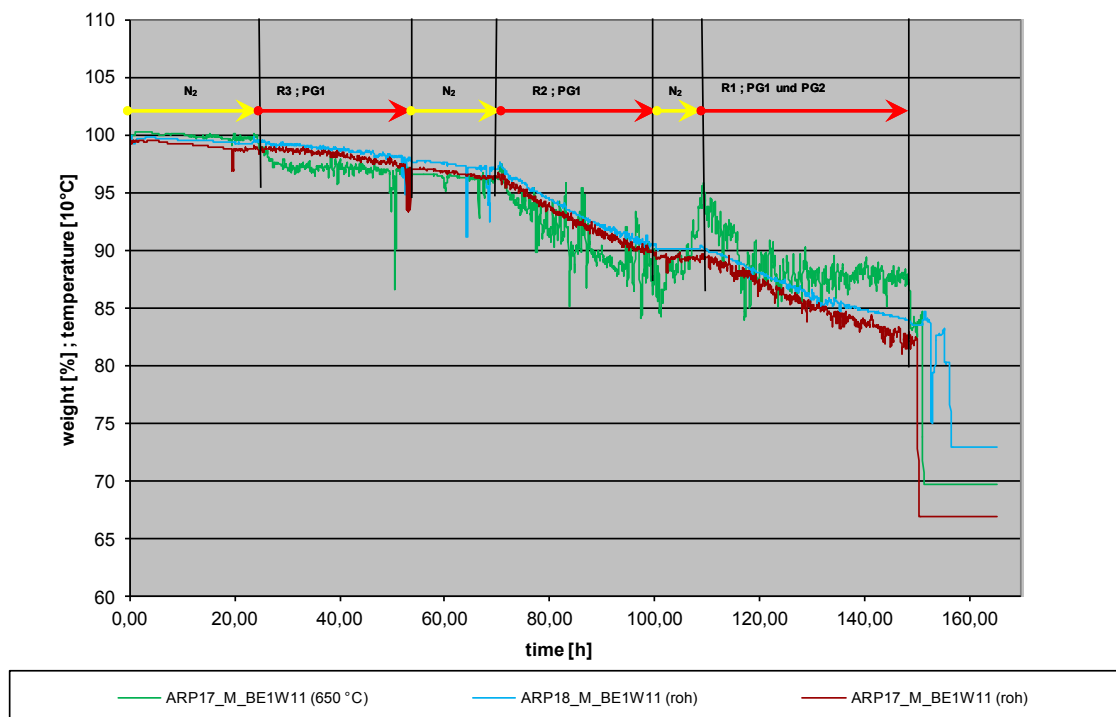


Abbildung 3-18: Auswertung PTGA- Versuche, Bentonit

Kalkhydrat, Säureansatz

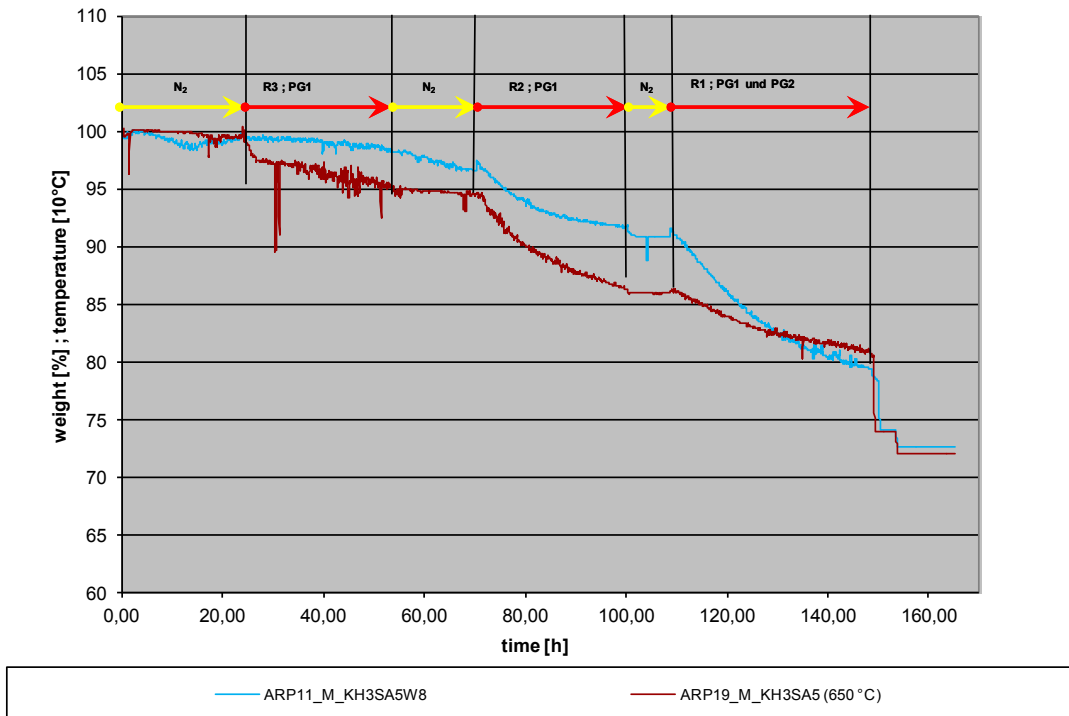


Abbildung 3-19: Auswertung PTGA- Versuch, Säureansatz, Kalkhydrat

Bentonit, Finexschlamm ARP20

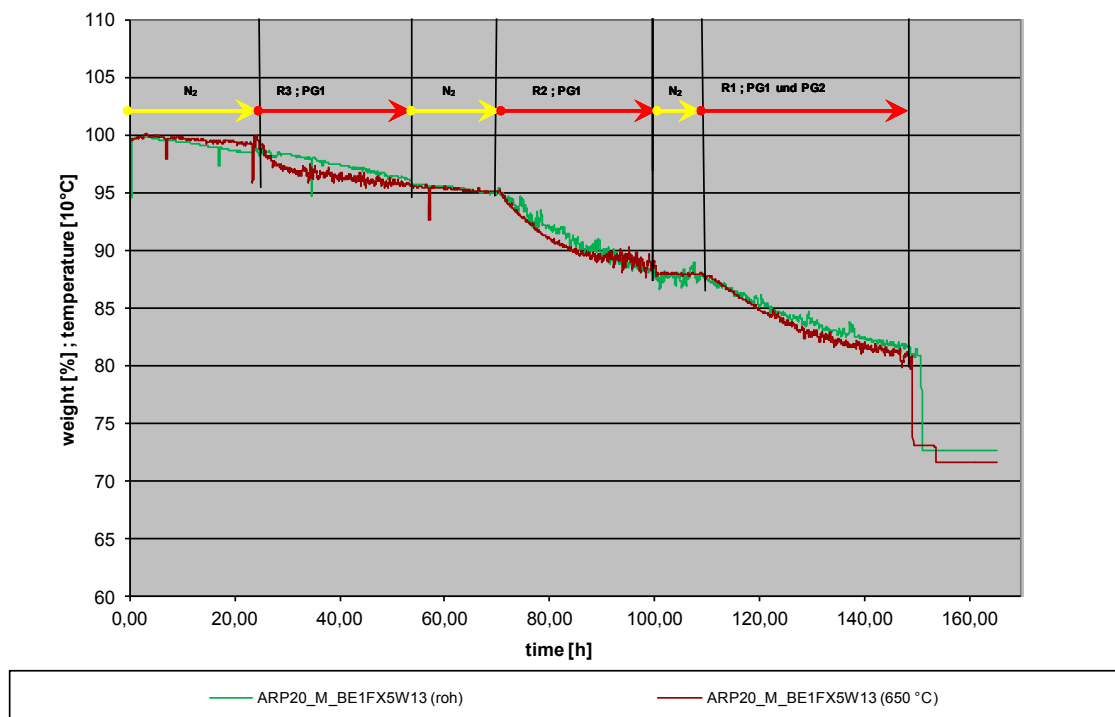


Abbildung 3-20: Auswertung PTGA- Versuch, Finexschlamm, Bentonit

Tabelle 3-7: Festigkeitswerte vor und nach den PTGA- Versuchen und Gewichtsverlust

Probeninformationen				Festigkeiten [N] vor PTGA				Festigkeiten [N] nach PTGA				Gewichtsverlust PTGA [%]			
Binder	Probenbezeichnung	CODE VAI	Lfd. Nr.	grün (2,8-4mm)	480°C	650°C (RT, 2,8-4mm)	750°C	grün (2,8-4mm)	480°C	650°C (RT, 2,8-4mm)	750°C	grün (2,8-4mm)	480°C	650°C (RT, 2,8-4mm)	750°C
				SA	ARP11_M_KH3SA5W8	ARP11	39	20,00				0,94			
KH	ARP16_M_KH3W11	ARP16	44	9,51		27,02		1,60		9,20		16,3		20,1	
BE	ARP17_M_BE1W11	ARP17	45	2,39		43,51		3,28		9,72		15,9		18,4	
BE	ARP18_M_BE1W11	ARP18	46	2,41				3,18				16,4			
SA	ARP19_M_KH3SA5	ARP19	48			25,29				7,60				17,6	
FX	ARP20_M_BE1FX5W13	ARP20	49	2,67		20,35		3,10		6,72		17,2		17,6	
ZE	ARP21_M_ZE3W12	ARP21	50	3,93				1,40				15,9			
KH	ARP23_M_KH3W12	ARP23	52	9,11				1,14				19,2			
KH	RheinkalkGSV_A025_M_KH5	GSV A025	74	7,05	15,16		12,91	2,11	2,69		3,53	17,1	18,3		18,5
KM	RheinkalkGSV_A028_M_KM5	GSV A028	75	5,65	14,50		20,65	4,61	2,70		5,22	17,9	17,0		18,0

Für eine genauere Auswahl der Proben für die weiteren Versuche sind die Festigkeitswerte aus **Tabelle 3-7** heranzuziehen.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine höhere Festigkeit der Rohpellets ergibt eine höhere Festigkeit der Pellets nach den PTGA- Versuchen.
- Es ist eine tendenziell höhere Reduzierbarkeit bei Pellets mit höherer Grundfestigkeit zu erkennen.
- Höchste Festigkeiten wurden bei Bentonit- und Kalkhydrat-Säureansatz- Proben erreicht.
- Proben, die mit hoher Temperatur vorbehandelt wurden, zeigen eine deutlich höhere Festigkeit als die unbehandelten Proben.

Durch diese Schlüsse wurden die Proben ARP16, ARP17, ARP19 und ARP20 für weitere PTGA- Tests mit unterschiedlichen Behandlungszuständen ausgewählt.

Weitere PTGA- Versuche mit Variation der Behandlungszustände

Zu diesen Versuchen zählen die ausgewählten Proben aus den Vorversuchen sowie zwei weitere Proben, welche mit Wasserglas gebunden sind. Die ausgewählten Proben wurden einer weiteren Wärmebehandlung (mit 250 und 450 °C) unterzogen, um den bestmöglichen Zustand für einen industriellen Einsatz zu ermitteln. In **Abbildung 3-21** bis **Abbildung 3-26** sind die Gewichtsabbaukurven für die jeweiligen PTGA- Versuche der einzelnen Proben und unterschiedlichen Behandlungszuständen dargestellt. Zusätzlich wird zur Bewertung **Tabelle 3-8**, welche die Festigkeitswerte vor und nach dem Versuch enthält, herangezogen.

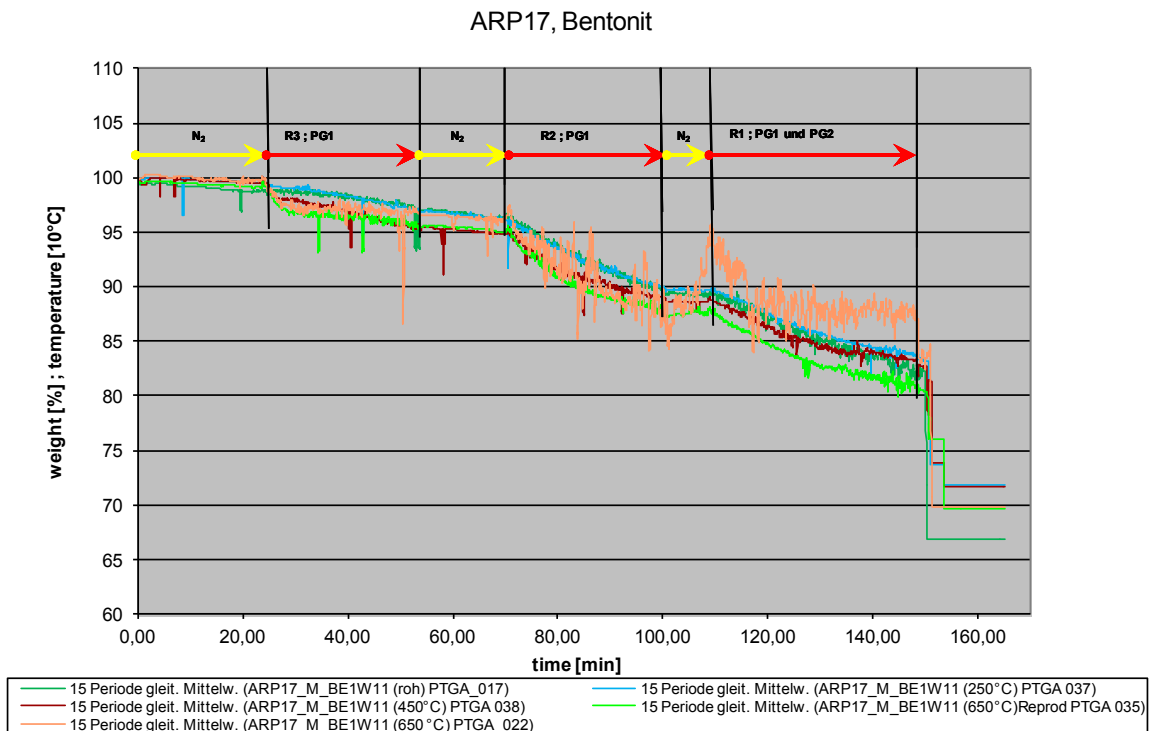


Abbildung 3-21: Auswertung PTGA- Versuche ARP17

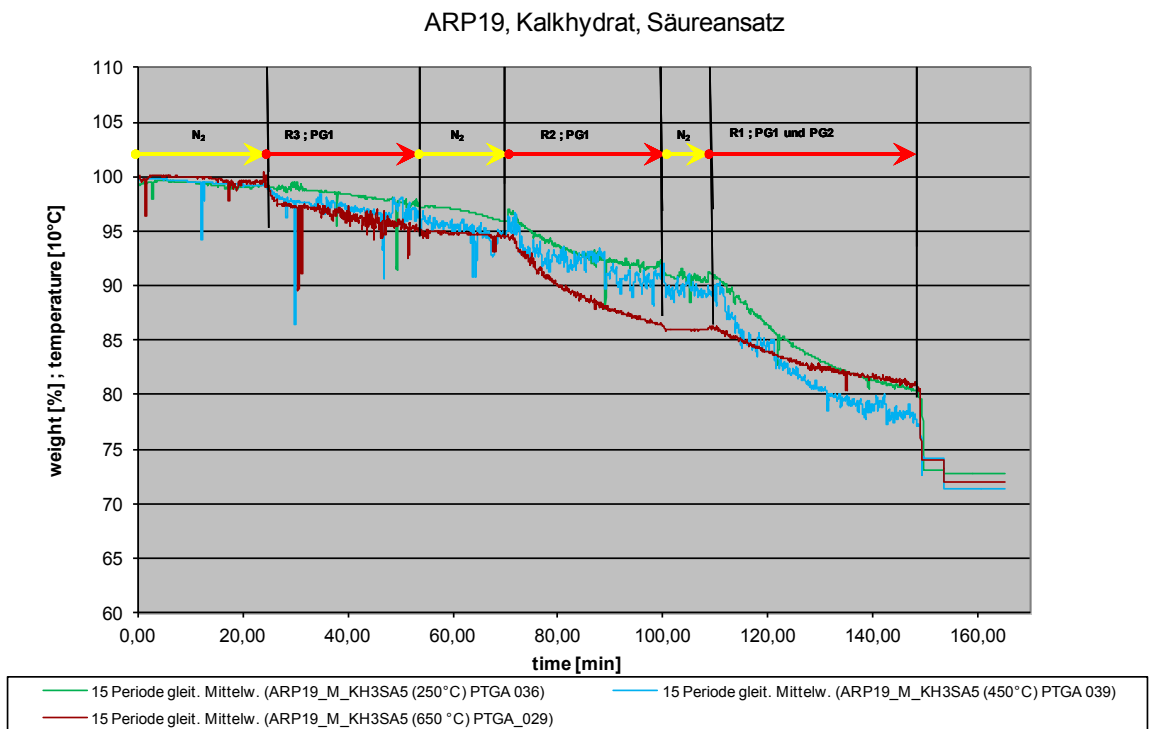


Abbildung 3-22: Auswertung PTGA- Versuche ARP19

ARP20, Bentonit, Finexschlamm

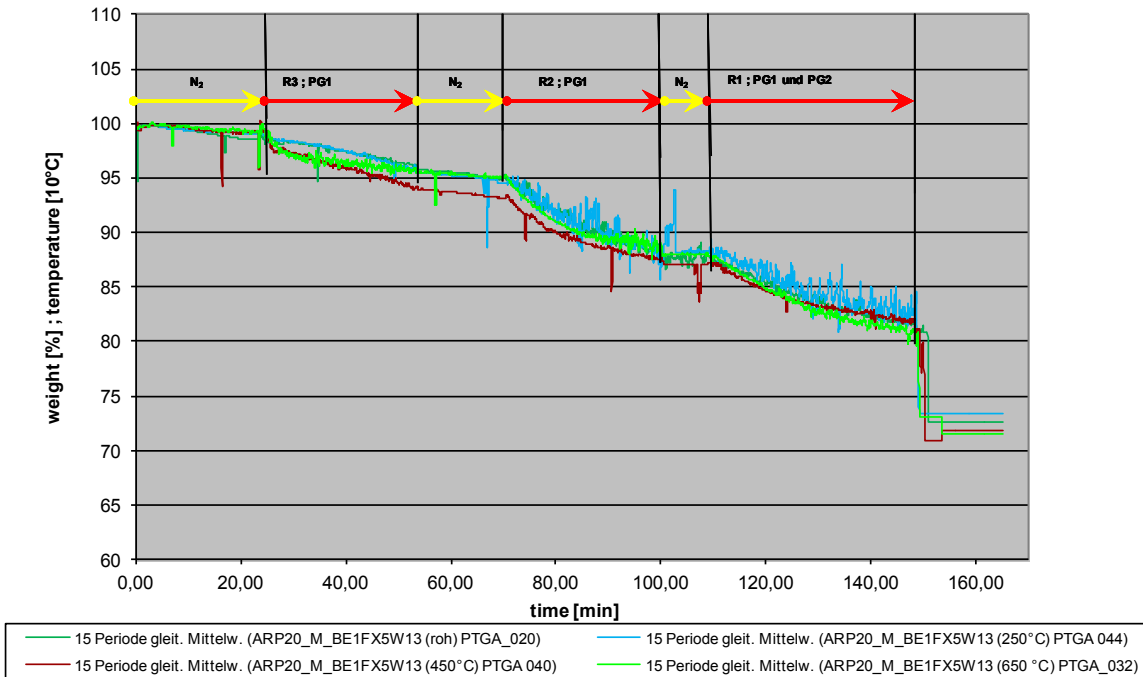


Abbildung 3-23: Auswertung PTGA- Versuche ARP20

ARP23 und ARP16, Kalkhydrat

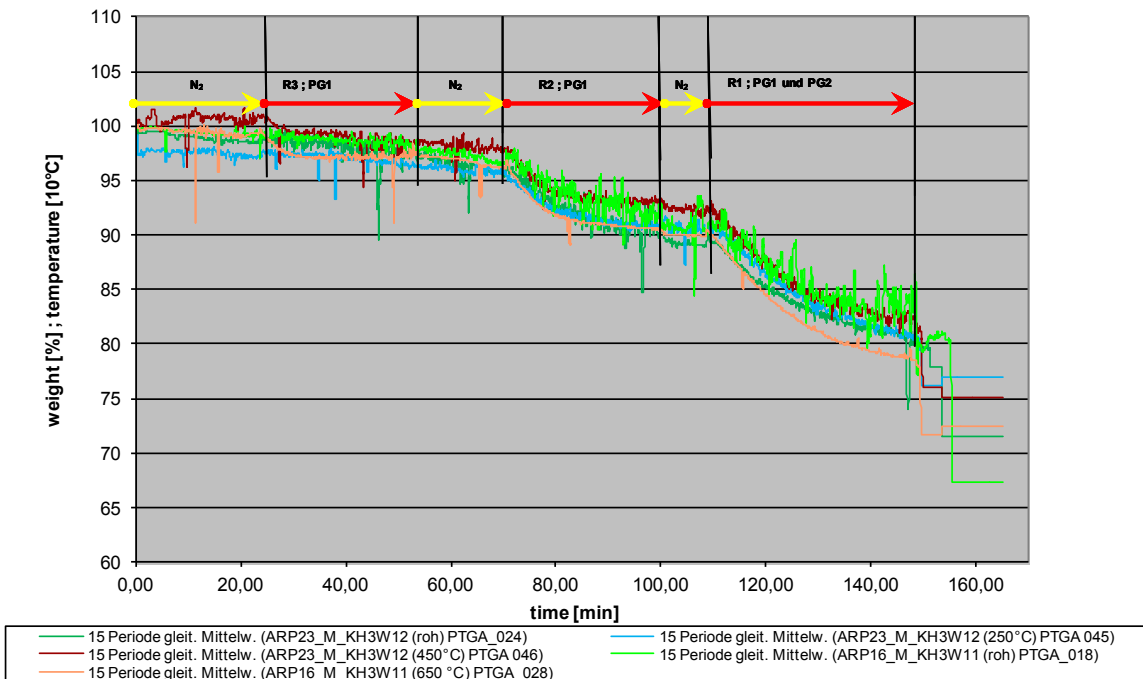


Abbildung 3-24: Auswertung PTGA- Versuche ARP16 und ARP23

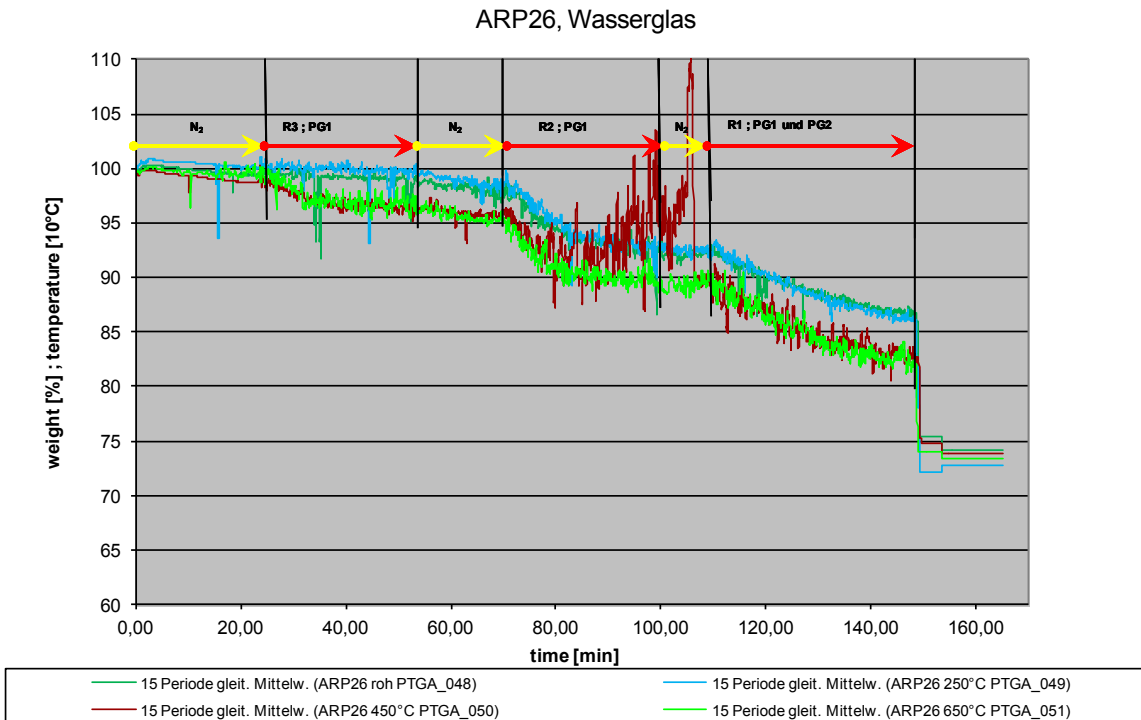


Abbildung 3-25: Auswertung der PTGA- Versuche für ARP26 (Wasserglasprobe)

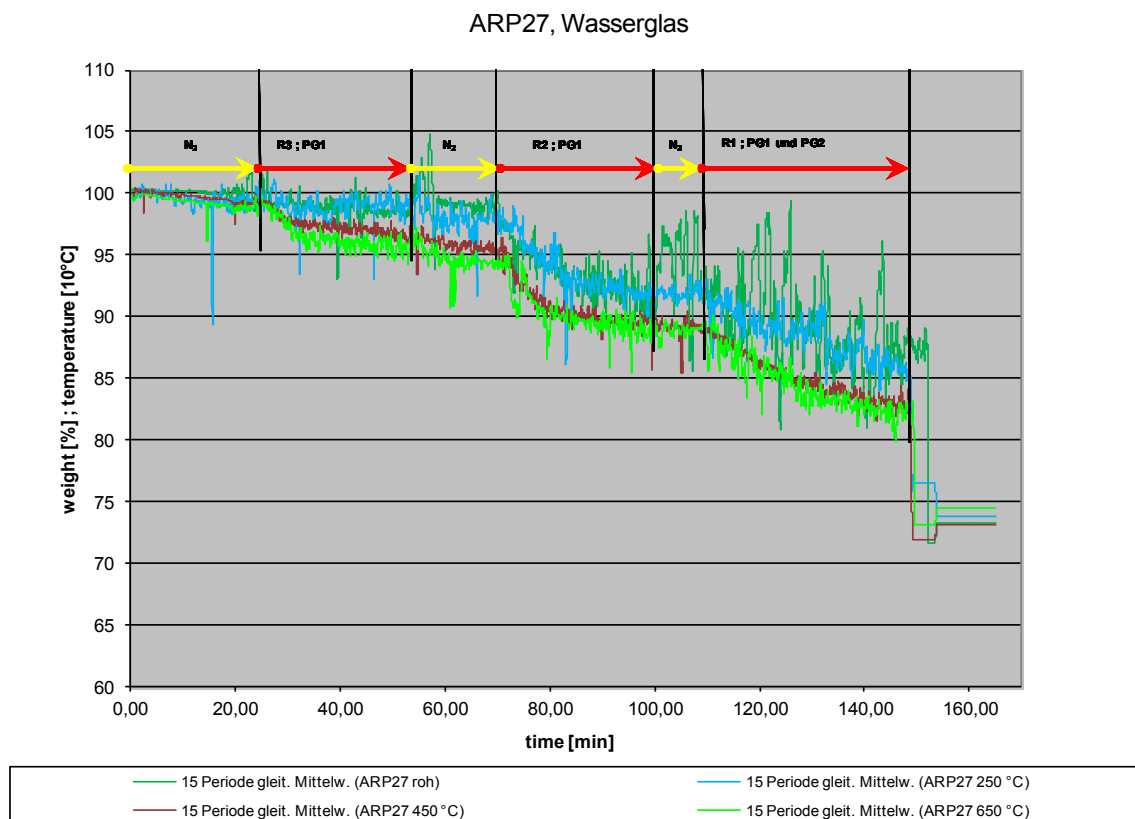


Abbildung 3-26: Auswertung der PTGA- Versuche für ARP27 (Wasserglasprobe)

Diese Diagramme in Zusammenhang mit den ermittelten Festigkeiten in **Tabelle 3-8** ermöglichen nun, eine Aussage über die Beständigkeit der Pellets mit den unterschiedlichen Bindern zu treffen.

Tabelle 3-8: Festigkeiten und Gewichtsverlust der weiteren PTGA- Versuche

Probeninformationen				Festigkeiten [N] vor PTGA				Festigkeiten [N] nach PTGA				Gewichtsverlust PTGA [%]			
Binder	Probenbezeichnung	CODE VAI	Lfd. Nr.	grün (2,8-4mm)	250°C (RT,2,8-4mm)	450°C (RT,2,8-4mm)	650°C (RT,2,8-4mm)	grün (2,8-4mm)	250°C (RT,2,8-4mm)	450°C (RT,2,8-4mm)	650°C (RT,2,8-4mm)	grün (2,8-4mm)	250°C (RT,2,8-4mm)	450°C (RT,2,8-4mm)	650°C (RT,2,8-4mm)
SA	ARP19_M_KH3SA5	ARP19	48	6,34	10,45	15,95	25,29		1,42	2,85	7,60		20,10	20,50	17,60
FX	ARP20_M_BE1FX5W13	ARP20	49	2,67	4,57	16,93	20,35	3,10	2,05	1,88	6,72	17,20	17,30	17,00	17,60
KH	ARP23_M_KH3W12	ARP23	52	9,11	6,57	14,60		1,14	2,26	3,65		19,20	20,10	20,20	
WG	ARP26_M_WG2W1	ARP26	77	93,51	91,49	94,56	95,3	36,95	34,74	39,52	47,28	12,00	12,00	15,00	15,00
WG	ARP27_M_WG1,5W3,5	ARP27	78	48,47	54,94	61,65	90,94	16,57	16,08	18,61	27,65	12,00	12,00	15,00	15,00

Eine grafische Veranschaulichung der Festigkeitswerte sind in **Abbildung 3-27** und **Abbildung 3-28** dargestellt.

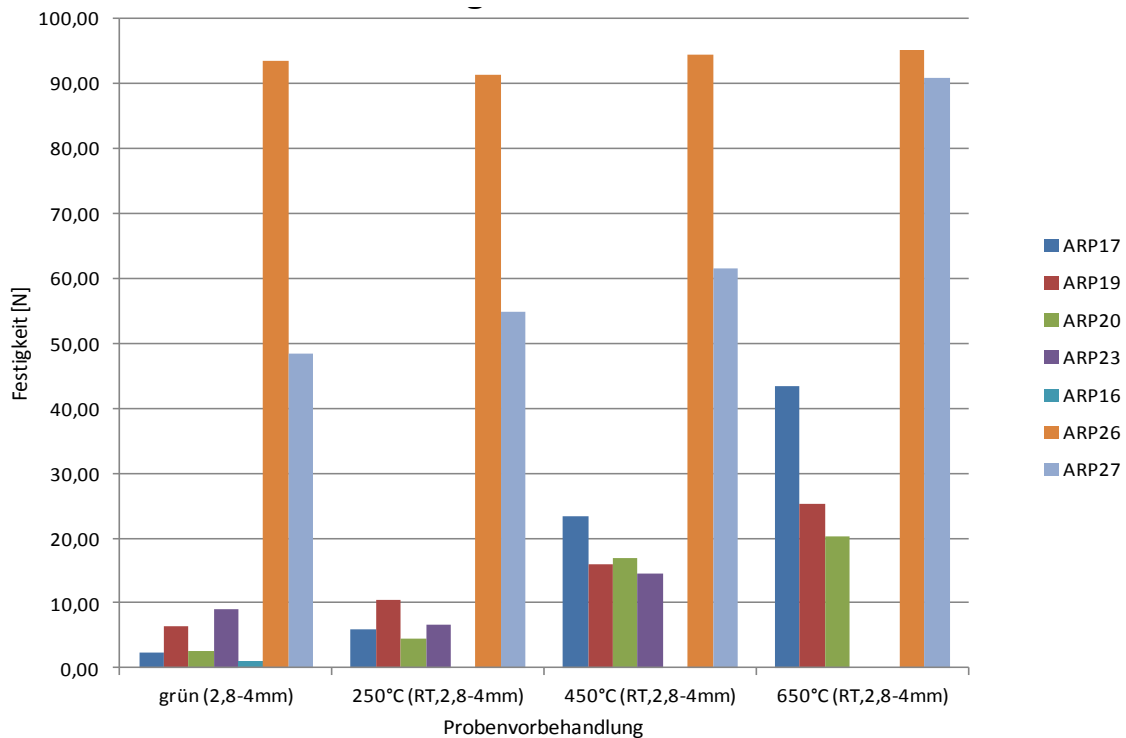


Abbildung 3-27: Auswertung der Festigkeiten vor den PTGA- Versuchen der ausgewählten Proben

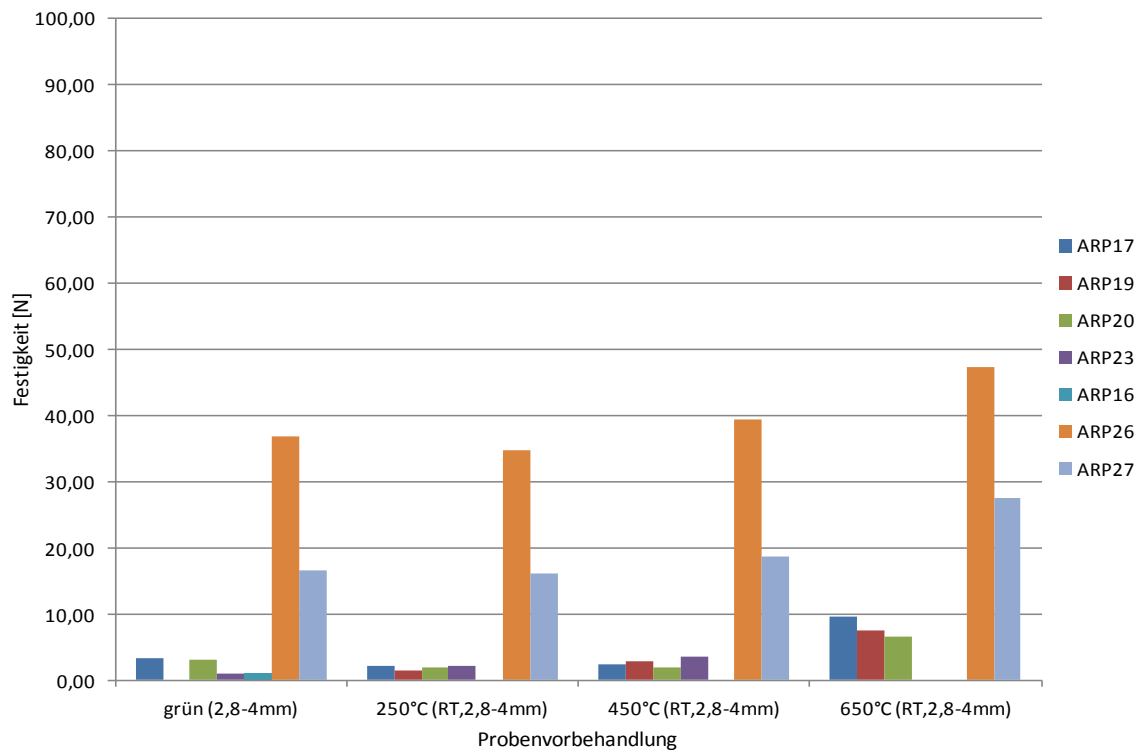


Abbildung 3-28: Auswertung der Festigkeiten nach den PTGA- Versuchen der ausgewählten Proben

Aus den Auswertungen der PTGA- und Festigkeitsversuchen der ausgewählten Proben mit den Behandlungszuständen grün, 250, 450 und 650 °C können nun folgende Aussagen getroffen werden:

- Die PTGA- Auswertungen der Kurven zeigen bei den ab 450 °C behandelten Proben einen Abfall des Gewichtes zu Beginn von R3. Dies ist auf die Rückoxidation bei der Wärmebehandlung zurückzuführen.
- Die Wasserglasproben zeigen den niedrigsten Gewichtsverlust, die Kalkhydrat- und Säureansatzproben jene mit den höchsten.
- Proben die mit 650 °C vorbehandelt sind, weisen die höchsten Festigkeitswerte des jeweiligen Bindertyps auf.
- Zwischen einer Behandlung mit 250 bzw. 450 °C sind keine nennenswerten Unterschiede in den Festigkeiten zu erkennen. Die unbehandelten Proben weisen einen kontinuierlichen Anstieg der Festigkeit mit zunehmender Temperaturbehandlung auf, auch zwischen 250 und 450 °C ist ein Anstieg zu erkennen. Nach den PTGA- Versuchen sind die Festigkeiten dieser beiden Behandlungszustände nur zum Teil besser als jene der Grünpellets.

- Die Proben mit den höchsten Festigkeiten sind die Wasserglaspellets. Diese weisen eine um den Faktor 5 – 10 höhere Festigkeit im Vergleich zu den anderen Bindern auf.
- Die Festigkeiten der Wasserglaspellets sind sowohl vor als auch nach den PTGA-Versuchen deutlich höher als jene der restlichen Pellets.
- Weiters folgen die Binder Bentonit, Kalkhydrat und Säureansatz mit jedoch ersichtlich niedrigeren Werten der Festigkeit.

Aus diesen Punkten und den vorangegangenen Auswertungen zeigen Pellets mit Wasserglas als Binder die beste Beständigkeit. Ob diese Pellets auch unter Wirbelschichtbedingungen beständig sind zeigte der Test in der WS 160 mm Retorte. Dieser Test wurde als letztes Kriterium für die mögliche industrielle Anwendung der Mikroagglomerate herangezogen.

3.6.3 Test am 160 mm Wirbelschicht-Aggregat

Im Wirbelschichtreaktor erfolgte ein Test mit jener Probe, die den höchsten Festigkeiten sowohl vor als auch nach den PTGA-Versuchen aufwies. In diesem Fall wurde die wasserglasgebundene ARP26 Probe verwendet. Die Einwaage der unterschiedlichen Korngrößenklassen ist in **Tabelle 3-9** dargestellt. Die erforderlichen Testparameter sind bereits in Kapitel 3.5 erwähnt worden. Für die Auswertung wird nun die Gewichtsabbaukurve aus **Abbildung 3-29** für die einzelnen Reduktionsstufen bzw. die Korngrößenanalyse vor und nach dem Versuch herangezogen. Da ein Gemisch aus Erz und Pellets verwendet wurde, ist zum Vergleich auch jener Versuch mit dem reinen Erz erforderlich.

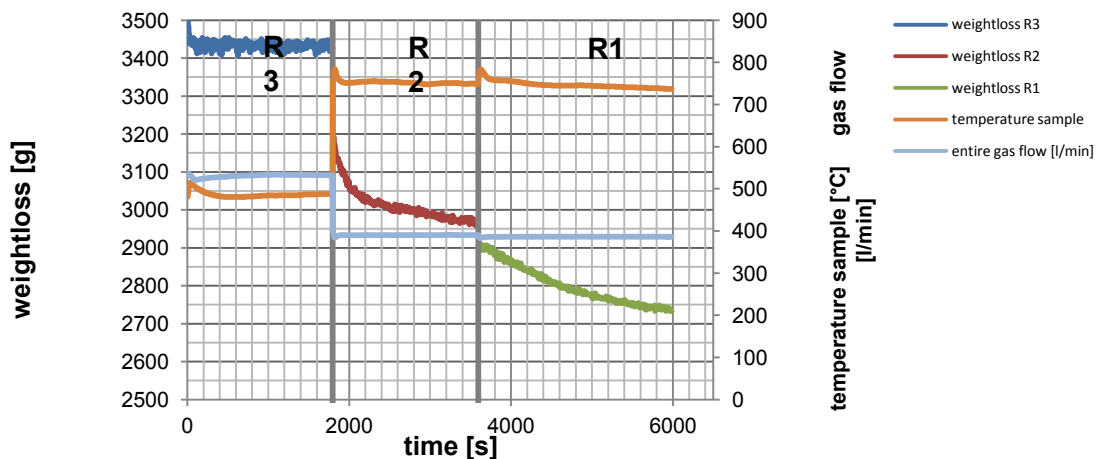


Abbildung 3-29: Auswertung der einzelnen Reduktionsstufen der WS 160 mm

Tabelle 3-9: Korngrößenverteilung Einsatzmaterial WS 160 mm- Versuch

Korngröße [mm]	Gewicht [g]	Anteil [%]	Erztyp
4-6,3	0,0	0	
2,8-4	406,7	11,6	Mikropellets ARP V10 (Versuch26) Wasserglas
1,0-2,8	522,6	14,9	
0,5-1,0	560,4	16,0	Erzberg Erz
0,25-0,5	609,4	17,5	
0,125-0,25	514,8	14,7	
0,063-0,125	886,1	25,3	
0-0,063	0,0	0	
Summe	3500,0	100	

In **Tabelle 3-10** ist die Auswaage der einzelnen Fraktionen nach dem Versuch angegeben. Aus der Differenz zwischen Einwaage und Auswaage ergibt sich der Betrag an Mikroagglomerate, welche den Versuch unbeschadet überstanden haben.

Tabelle 3-10: Korngrößenverteilung nach der Auswaage des WS 160 mm- Versuch

Fraktion [mm]	Gewicht [g]	Anteil [%]
4-6,3	0,0	0
2,8-4	335,2	12,7
1,0-2,8	451,6	17,1
0,5-1,0	383,9	14,5
0,25-0,5	379,5	14,4
0,125-0,25	302,3	11,4
0,063-0,125	334,2	12,7
0-0,063	454,2	17,2
Summe	2641	100

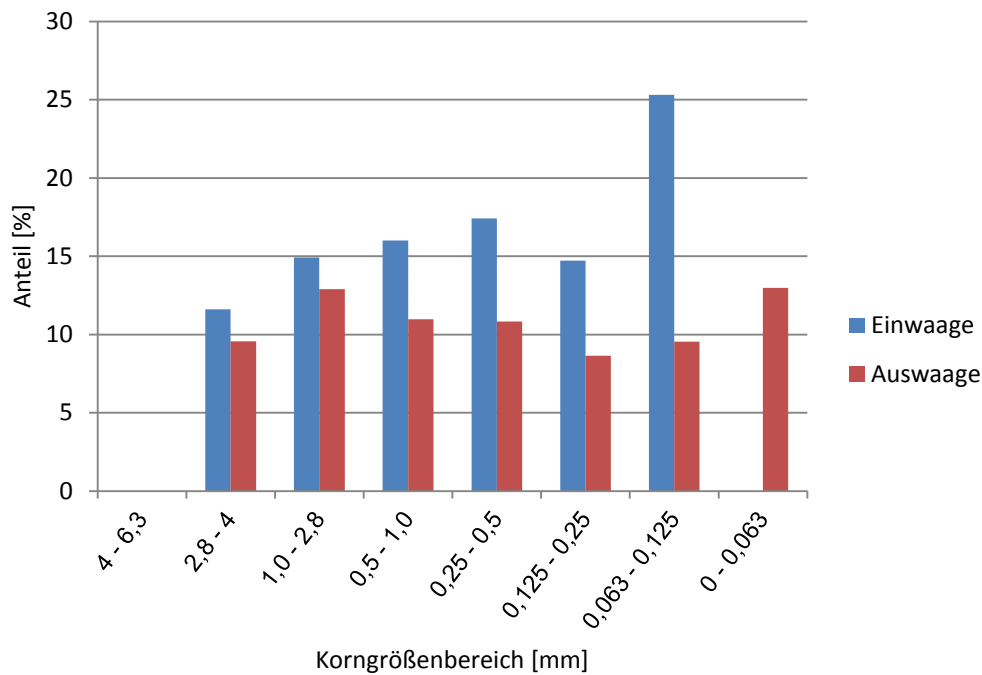


Abbildung 3-30: Klassenhäufigkeit vor und nach dem WS 160mm Versuch

Der Gesamteinsatz an Pellets beträgt 929,3 g wobei davon 406,7 g auf 2,8 – 4 mm und 522,6 g auf 1 – 2,8 mm entfallen. Die Rückwaage ergibt 786,8 g Pellets im Korngrößenbereich 1 – 2,8 mm. Die Klassenhäufigkeit vor und nach dem Versuch für die gesamte Einwaage ist in **Abbildung 3-30** dargestellt. Die Klassen 1,0 bis 2,8 und 2,8 bis 4 mm enthalten ausschließlich Mikroagglomerate. Da 84,66 % der zu Beginn eingesetzten Pellets den Versuch unbeschadet überstanden, kann auf eine sehr gute Stabilität während des Versuchs geschlossen werden. In den feineren Fraktionen sind keine zerfallenen Pellets gefunden worden. Der Gewichtsverlust von etwa 15 % in den Kornklassen 1,0 bis 2,8 und 2,8 bis 4 mm ist auf die Reduktion und möglicherweise einen Glühverlust zurückzuführen. In den PTGA-Versuchen lag der Gewichtsverlust der Mikroagglomerate bei etwa 12 %. Ein Aufheizversuch unter Stickstoff in der PTGA ergab einen Glühverlust von 3 %. Im Vergleich zur reinen Eisenerzprobe sind bezüglich Reduzierbarkeit bei der mit Mikroagglomeraten vermengten Eisenerzprobe keine Unterschiede erkennbar.

4 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigte sich mit unterschiedlichen Bindersystemen für die Agglomeration von Feinsteisenerzen, um die hergestellten Mikroagglomerate in einer Wirbelschicht einsetzen zu können. Zu Beginn wurden die theoretischen Grundlagen der Aufbereitung sowie die Grundlagen der Reduktion von Eisenerz erläutert. Weiters wurde auf die unterschiedlichen Agglomerationsverfahren sowie das Verfahren der Wirbelschicht eingegangen.

Im praktischen Teil wurden die Herstellung der Pellets und die anschließend durchgeführten Versuche zur Ermittlung ihrer Beständigkeit ermittelt. Dabei wurden Druck-Thermogravimetrische Versuche und Festigkeitstests angewandt. Die PTGA-Versuche erlaubten es, so eine Aussage über die Reduzierbarkeit der Proben zu treffen und durch die Ermittlung der Festigkeit einen möglichen Einsatz in einer Wirbelschicht zu eruieren. In der WS 160 mm erfolgte schlussendlich der Einsatz der besten Pellet-Sorte, damit eine Aussage über die Beständigkeit der Pellets unter realen Bedingungen möglich ist. Aus diesen Darstellungen konnten somit die Ergebnisse für die unterschiedlichen Bindersysteme ermittelt werden.

Aus den Gewichtsabbaukurven und den Festigkeitswerten konnten somit jene Binder mit dem besten Verhalten ermittelt werden. Weiters wurde auch innerhalb einer einheitlichen Probe der Behandlungszustand ermittelt, welcher die besten Eigenschaften aufweist. In diesem Fall waren die Pellets in den Zuständen grün, 250, 450 und 650 °C genau zu testen. Diese Versuche bestimmen den vielversprechendsten Binder, welcher in Mikroagglomeraten in der WS 160 mm getestet wurde.

Aus den Auswertungen sind folgende Ergebnisse abzuleiten:

- Ganz allgemein ist zu erkennen, dass eine höhere Festigkeit vor dem Versuch auch zu einer höheren Festigkeit nach dem Versuch führt, egal welcher Bindertyp oder Behandlungszustand vorliegt.
- Mit Vorbehandlung bei höheren Temperaturen steigt auch die Festigkeit der Mikroagglomerate.
- Durch eine Temperaturbehandlung ab 450 °C erfolgt durch die atmosphärischen Bedingungen eine Oxidation des Erzes. Diese wird jedoch in der ersten Reduktionsstufe (R3) der PTGA- Versuche wieder umgekehrt, dies zeigt sich in den Gewichtsabbaukurven durch einen zu Beginn starken Abfall der Kurve.
- Der mögliche Gewichtsabbau ist nicht unbedingt von der Festigkeit abhängig, sondern liegt vor allem am Binder. Dabei weisen Bentonit und Wasserglas die niedrigsten und Kalkhydrat und Säureansatz die höchsten Reduktionsgrade auf.
- Die Temperaturbehandlungen mit 250 und 450 °C tragen nicht merklich viel zur Steigerung der Festigkeit bei. Eine Behandlung mit 650 °C schlägt sich in einer deutlich höheren Anfangsfestigkeit nieder. Tendenziell nimmt mit zunehmendem Behandlungszustand jedoch auch die Festigkeit zu.
- Die höchsten Festigkeiten sowohl vor als auch nach den PTGA-Versuchen weisen die Wasserglaspellets auf. Diese sind um ein Vielfaches höher als jene der anderen Binder. Gefolgt wird Wasserglas als Binder von Bentonit, Kalkhydrat- Säureansatz, Finexschlamm und Kalkhydrat in absteigender Reihenfolge.
- Jene Wasserglasprobe mit der höchsten Festigkeit ist in der WS 160 mm getestet worden und auch hier war der Zerfall von Pellets mit nur wenigen Prozent minimal.

Somit ist zu erkennen, dass Wasserglas als Binder die besten Eigenschaften in Bezug auf die Festigkeit besitzt. Kein anderer Binder erreicht diese Festigkeitswerte. Für einen Einsatz in der Wirbelschicht sind jedoch ausreichend hohe Festigkeiten erforderlich, damit die Pellets nicht zerfallen. Vorversuche von Mikroagglomeraten mit verschiedenen Bindertypen in der Wirbelschicht zeigten einen fast vollständigen Zerfall. Bei den Wasserglaspellets war der Zerfall jedoch nur minimal. Es kann die Aussage getroffen werden, dass von den getesteten Pellets nur jene Proben mit Wasserglas als Binder für die Anwendung in der Wirbelschicht in Frage kommen.

Dabei ist jedoch der Alkaliengehalt im Binder zu beachten, wodurch bei industriellem Einsatz dieser Pellets eine Anreicherung der Alkalien ähnlich dem Alkalienkreislauf im Hochofen entstehen könnte. Um die vielversprechenden Wasserglaspellets in der Wirbelschicht einsetzen zu können, sind noch einige weiterführende Experimente durchzuführen, um eine

gewisse Sicherheit zu gewährleisten. Die grundlegende Arbeit, die Eingrenzung der möglichen Binder, ist jedoch abgeschlossen und ermöglicht eine weiterführende Forschung im Bereich der Wasserglaspellets. Dazu zählen vor allem das Verhalten der Alkalien und die mögliche großindustrielle Umsetzung.

5 Ausblick

Da den Einsatzstoffen bei der Verhüttung von Eisenerz immer mehr Bedeutung zukommt, ist es wichtig Alternativen und Möglichkeiten zu erarbeiten. Der Direkteinsatz von Feinsteisenerzen ist mit einigen Problemen behaftet, wodurch eine Agglomeration eine Möglichkeit bietet dieses feinste Erz zu verhütten. Aus dieser Arbeit geht hervor, dass die Herstellung von Mikroagglomeraten mit Wasserglas als Binder die beste Möglichkeit bietet. Aus diesen Erkenntnissen kann weiterführende Forschung betrieben werden. Es ist geklärt, dass diese Pellets ausreichend im Bezug auf die Festigkeit und auch auf das Reduktionsverhalten geeignet sind. Um die wirtschaftlichen Vorteile durch Einsatz von Feinsteisenerz nutzen zu können, sind daher auch Überlegungen hinsichtlich Beschaffung und Herstellung notwendig. Die günstigere Beschaffung ermöglicht jedoch auch einen Agglomerationsschritt, wodurch die Aufwendungen noch wirtschaftlich bleiben. Einen weiteren zu bedenkenden Einfluss betrifft den Binder Wasserglas. Da durch den Binder auch Alkalien und Silizium eingebracht werden, soll der genaue Anteil in den Mikroagglomeraten und deren Auswirkung auf den Prozess noch ermittelt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Schubert H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Bd.I. 4th ed. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; 1989.
- [2] Degner M, Stahl-Institut VDEh. Stahlfibel. Verl. Stahleisen; 2007.
- [3] Internet:
[abgerufen am 20.08.2012]. Internetadresse: <http://pdf.directindustry.de/pdf/metso-s-mining-and-construction-technology/kegelbrecher-nordberg-baureihe-hp/9344-128410-6.html>.
- [4] Internet:
[abgerufen am 20.08.2012]. Internetadresse: http://prof.beuth-hochschule.de/uploads/media/Zerkleinerung_R02_01.pdf.
- [5] Schubert H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Bd.II. 3rd ed. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; 1989.
- [6] Schubert H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Bd.III. 2nd ed. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; 1984.
- [7] Eisele T, Kawatra S. A review of binders in iron ore pelletization. Miner Process Extr Metal Rev. 2003;24(1):1-90.
- [8] Sivrikaya O, Arol AI. Use of boron compounds as binders in iron ore pelletization. Open Mineral Processing Journal. 2010;3(1):25-35.
- [9] Forsmo S, Apelqvist A, Björkman B, Samskog PO. Binding mechanisms in wet iron ore green pellets with a bentonite binder. Powder Technol. 2006;169(3):147-58.
- [10] Ripke SJ, Kawatra SK. Can fly-ash extend bentonite binder for iron ore agglomeration? Int J Miner Process. 2000;60(3):181-98.
- [11] Schubert H. Grundlagen des Agglomerierens. Chemie Ingenieur Technik. 1979;51(4):266-77.

- [12] Reh L. Mechanische Verfahrenstechnik I. Skriptum zur Vorlesung "Mechanische Verfahrenstechnik I". Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich; Institut für Verfahrenstechnik; 1998.
- [13] Gudenau HW. Eishüttenmännische Verfahrenstechnik - vom Erz zum stahl. Aachen, Germany: Druck- & Verlagshaus MAINZ GmbH; 1989.
- [14] Internet:
[abgerufen am 26.08.2012]. Internetadresse: www.mineralienatlas.de.
- [15] Gudenau HW. Direktreduktion. Aachen: Institut für Eisenhüttenkunde, Metallurgie von Eisen und Stahl der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; 1997.
- [16] Gudenau HW, Mavrommatis K, Babich A. Blastfurnaceprocess [dissertation]. Aachen, Germany: RWTH Aachen; 2002.
- [17] von Bogdandy L, Engell H-. The reduction of iron ores. Düsseldorf: Stahleisen; 1971.
- [18] Eisenhüttenleute VD. Stahlfibel. Stahleisen; 2002.
- [19] Schuster S, Winter F, Mali H, Kühas T, Schenk J. Die Direktreduktion von Feineisenerzen in Druckwirbelschichtreaktoren: Experimentelle Untersuchungen und morphologische Betrachtung zur Übertragung auf industrielle Prozesse. BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte. 2006;151(11):462-8.
- [20] Schenk J. Vorlesungsskriptum zu spezieller metallurgischer Prozesstechnik. Leoben, 2011.

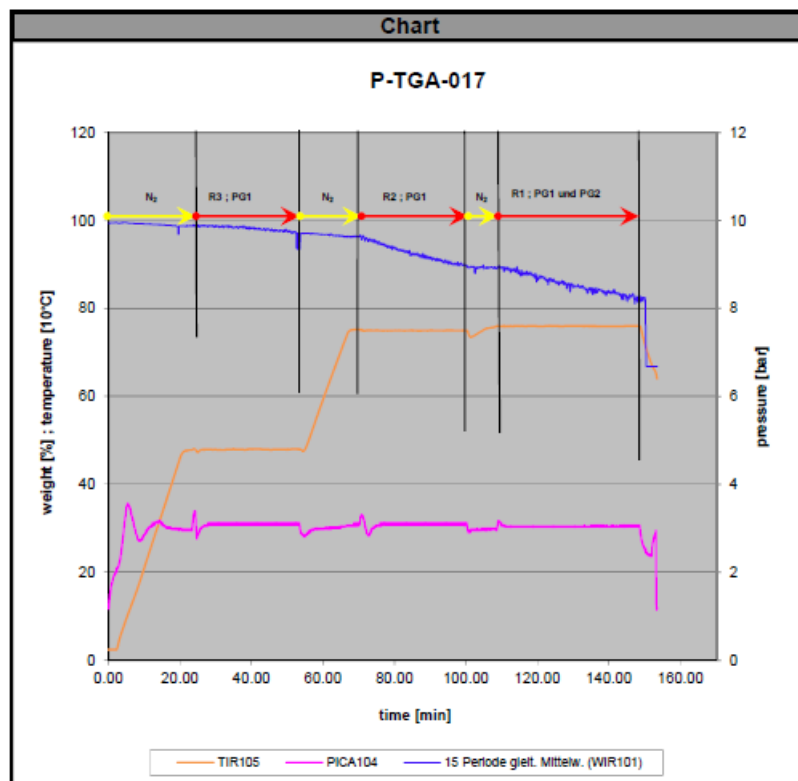
A Auswertungen Anhang A

A.1 PTGA Auswertungen

Die folgenden Abbildungen auf den Seiten A-1 – A-35 stellen die Auswertungen aller durchgeführten thermogravimetrischen Versuche dar. Es sind dabei die Probenbezeichnung und die Versuchsbedingungen eingetragen. Die für die Auswertung relevanten Gewichtsabbaukurven und die dazugehörigen abgewogenen Gewichtsverluste sind ebenfalls ersichtlich. Weiters sind Bilder der getesteten Proben vor und nach dem Versuch dargestellt.

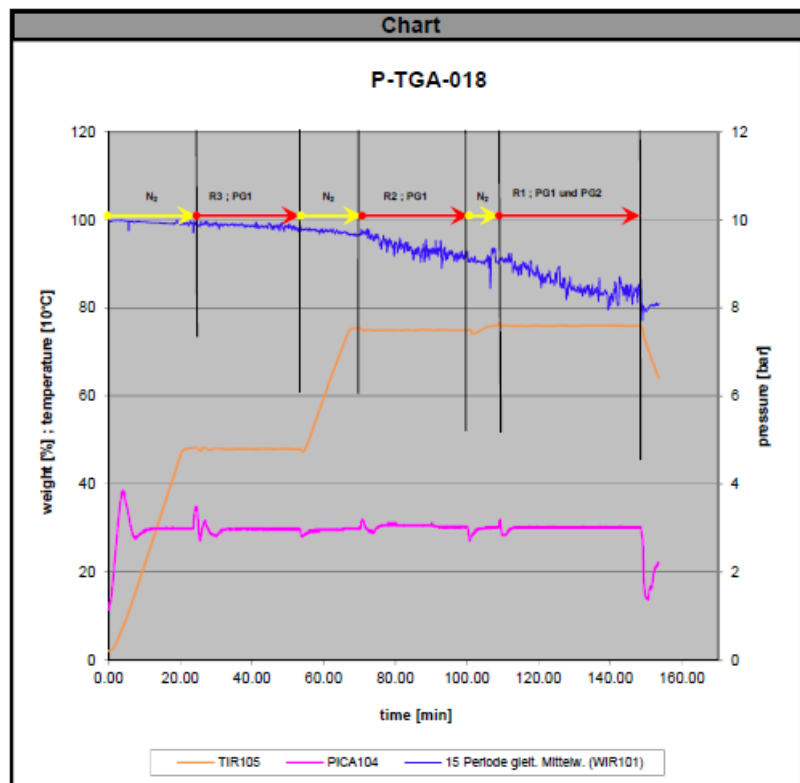
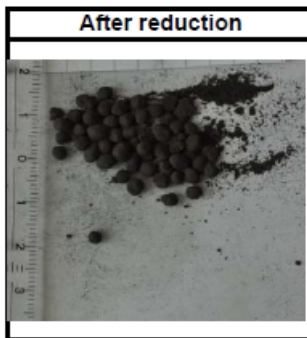
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-017
Date:	28.03.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP17_M_BE1W11_roh	
MUL Sample number:	MUL2011/078	
VASL Sample number:	ARP17	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	none	
<p>comments test progress:</p> <p>pressure at 3 bar , sample weight increase to 3 gramm , longer glasstube is placed into the reactor to prevent reaction of the gas with the reactor, only slightly carbon was produced during all three stages, this caused no problems.</p>		

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0.88	
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG2	1.00	
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Valve position	according to V1	
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Controller setting	according to R1	
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Program	P_TGA_017	
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2677.0	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Input (P-TGA balance) [mg]		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2252.2	-424.8 -15.87
Residence time [min]			30	30	40	Output (P-TGA balance) [mg]		0 #####



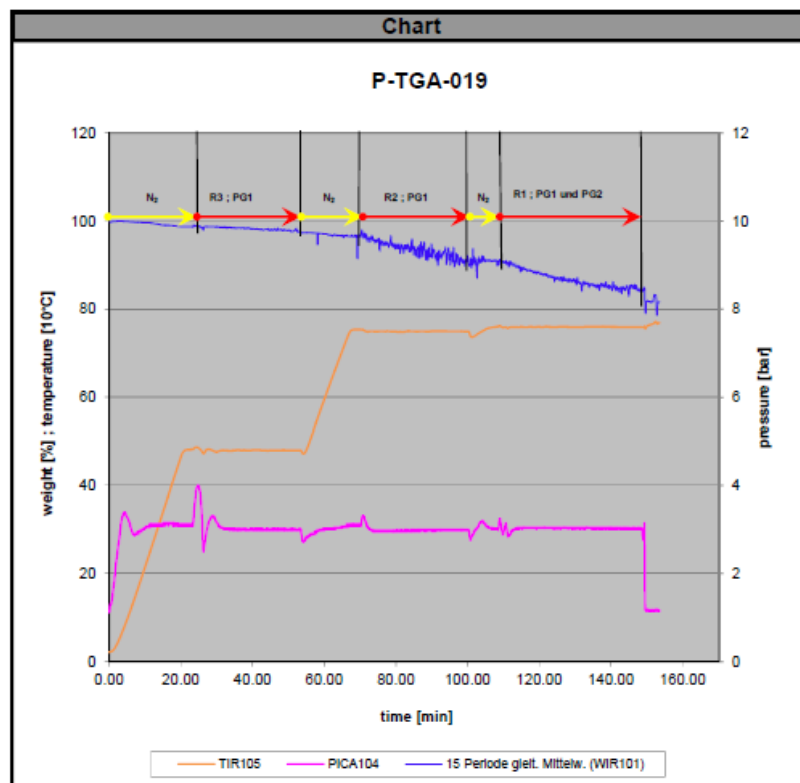
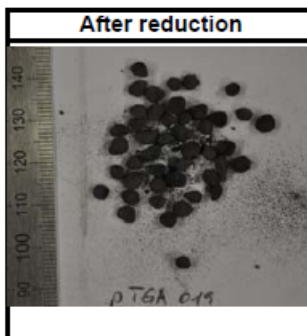
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-018
Date:	29.03.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@uni-leoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP16_M_KH3W11_roh	
MUL Sample number:	MUL2011/063	
VASL Sample number:	ARP16	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	none	
<p>comments test progress:</p> <p>pressure at 3 bar , sample weight increase to 3 gramm , longer glasstube is placed into the reactor to prevent reaction of the gas with the reactor, no carbon produced during test, a few pellets were crushed.</p>		

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG1	0.88	
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Flowfactor PG2	1.00	
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Program	P_TGA_018	
						Weight		
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2716.5	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Input (P-TGA balance) [mg]		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2273.5	-443 -16.31
Residence time [min]			30	30	40	Output (P-TGA balance) [mg]	0	#####



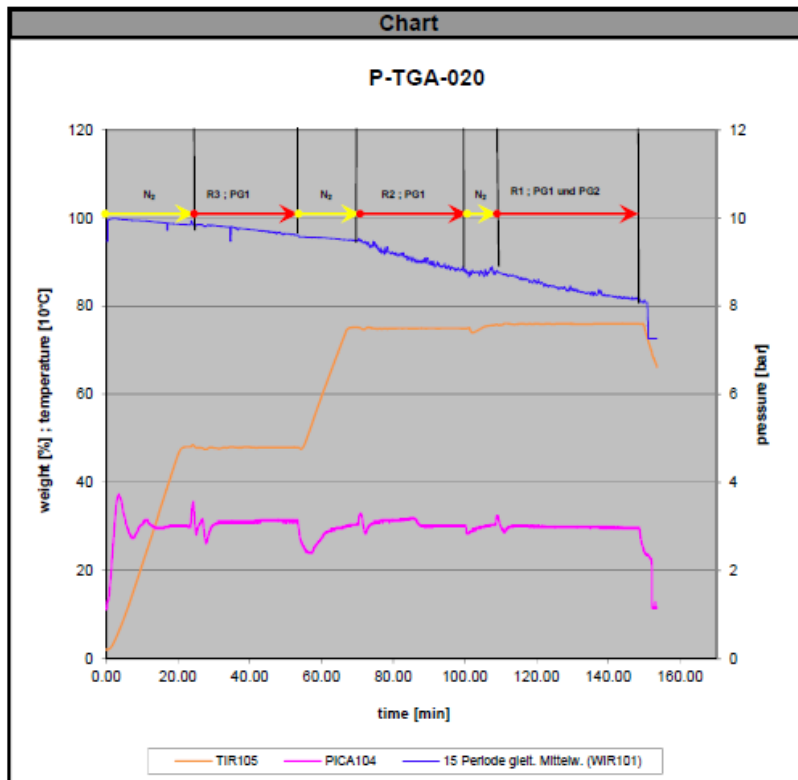
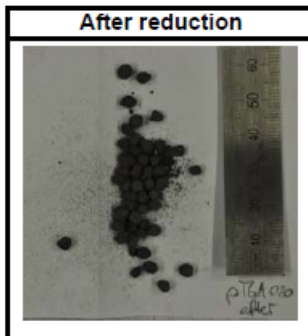
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-019
Date:	02.04.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP21_M_ZE3W12	
MUL Sample number:	MUL2011/115	
VASL Sample number:	ARP21	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Zement	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG1	0.88	
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Flowfactor PG2	1.00	
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Program	P_TGA_019	
						Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2514.5	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2114.5	[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2.4	2.4	2.4		-400	-15.91
Residence time [min]			30	30	40			



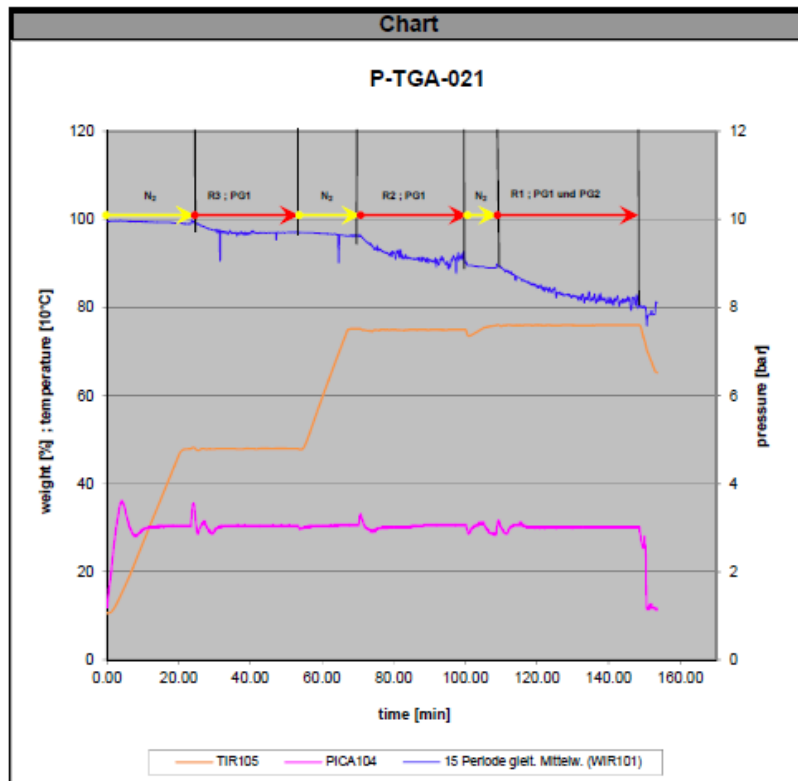
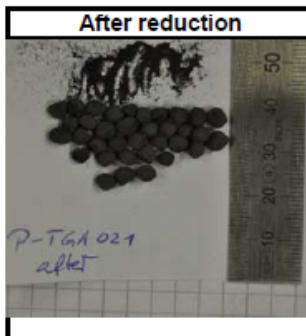
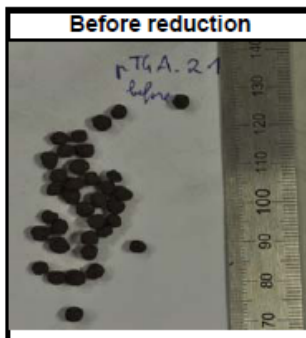
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-020
Date:	25.04.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP20_M_BE1FX5W13 (roh)	
MUL Sample number:	MUL2011/095	
VASL Sample number:	ARP20	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit, Finexschlamm	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
comments test progress:		

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG1	0.88	
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Flowfactor PG2	1.00	
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Program	P_TGA_020	
						Weight		
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2583.9	Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg]	[%]
Gas flow [NI/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2140.6	-443.3 -17.16
Residence time [min]			30	30	40			



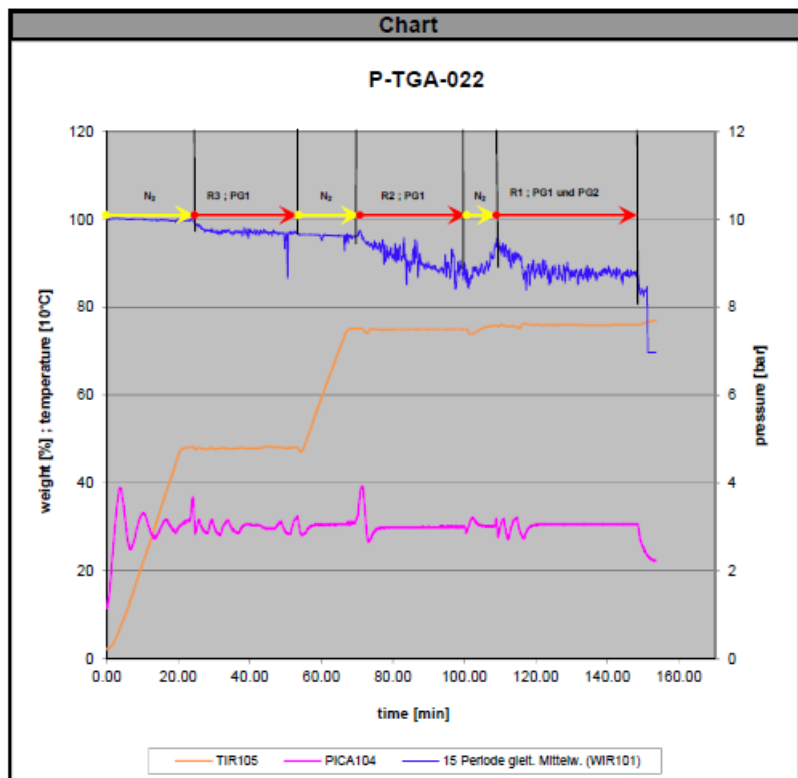
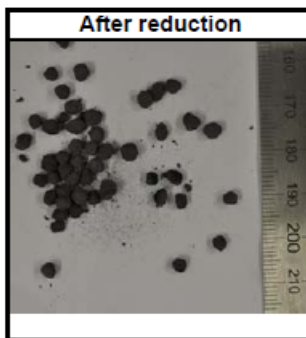
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-021
Date:	25.04.2012	comments test progress: assumption: magnetite
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A028_M_KM5 (grün)	
MUL Sample number:	MUL2011/039	
VASL Sample number:	GSV_A028 Greenpellet	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkmehl	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0.88
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG2	1.00
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Program	P_TGA_021
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2627.6 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2158.7 -468.9 -17.85
Residence time [min]			30	30	40		



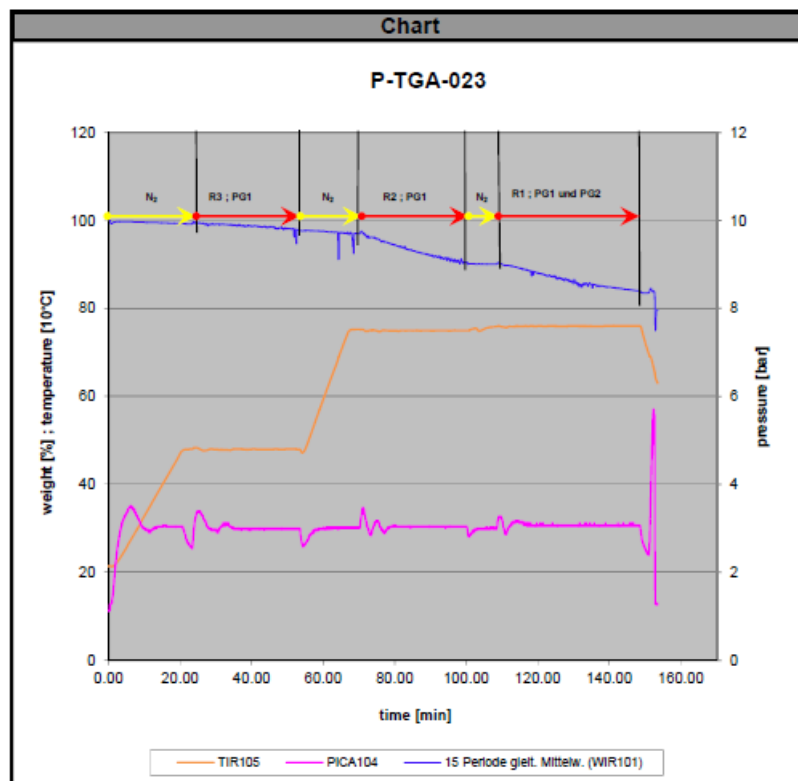
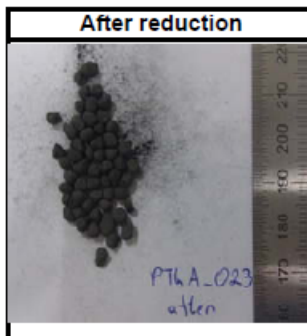
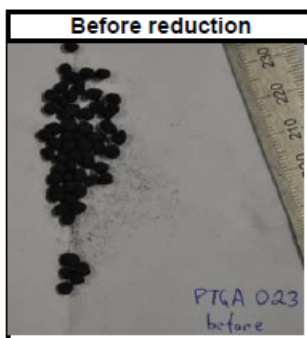
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-022
Date:	26.04.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP17_M_BE1W11 (650 °C)	
MUL Sample number:	MUL2011/080	
VASL Sample number:	ARP17	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
<p>comments test progress:</p> <p>There was some noise of the balance-signal especially in the third step. The output (extern balance) of the test is ok. Eventually test will be repeated.</p>		

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG1	0.88
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Flowfactor PG2	1.00
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1	Program	P_TGA_022
						Weight	
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2668.2 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [NI/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2177.7 -490.5 -18.38
Residence time [min]			30	30	40		



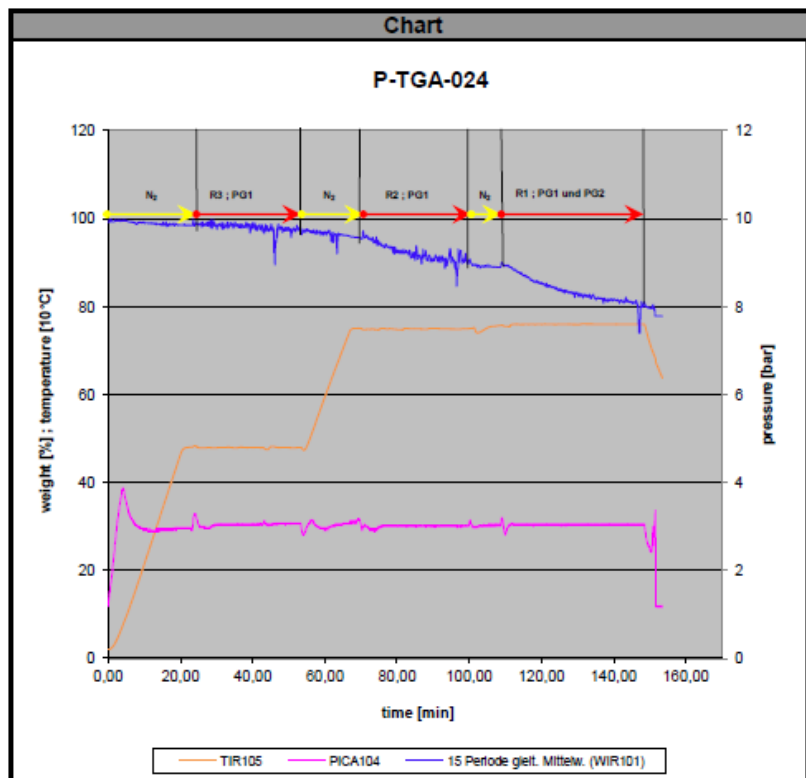
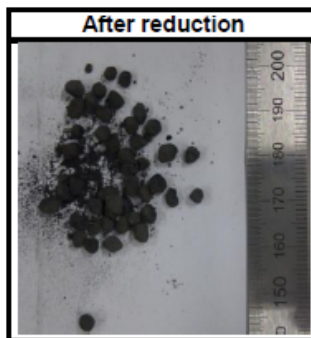
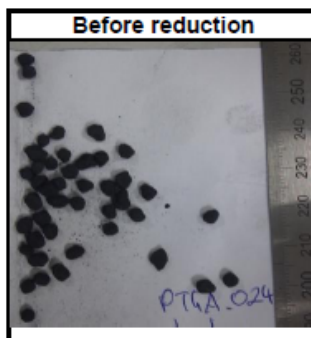
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-023
Date:	26.04.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP18_M_BE1W11 (roh)	
MUL Sample number:	MUL2011/082	
VASL Sample number:	ARP_18	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0.88
CH4 [Vol.%]	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	Flowfactor PG2	1.00
H2 [Vol.%]	18.4	17.9	18.6	18.6	18.4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34.5	77.0	34.4	34.4	47.6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39.1	0.0	39.0	39.0	26.9	Program	P_TGA_023
N2 [Vol.%]	7.0	4.0	7.0	7.0	6.1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2639.7 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2.4	2.4	2.4	Output (ext. balance) [mg]	2205.9 -433.8 -16.43
Residence time [min]			30	30	40		



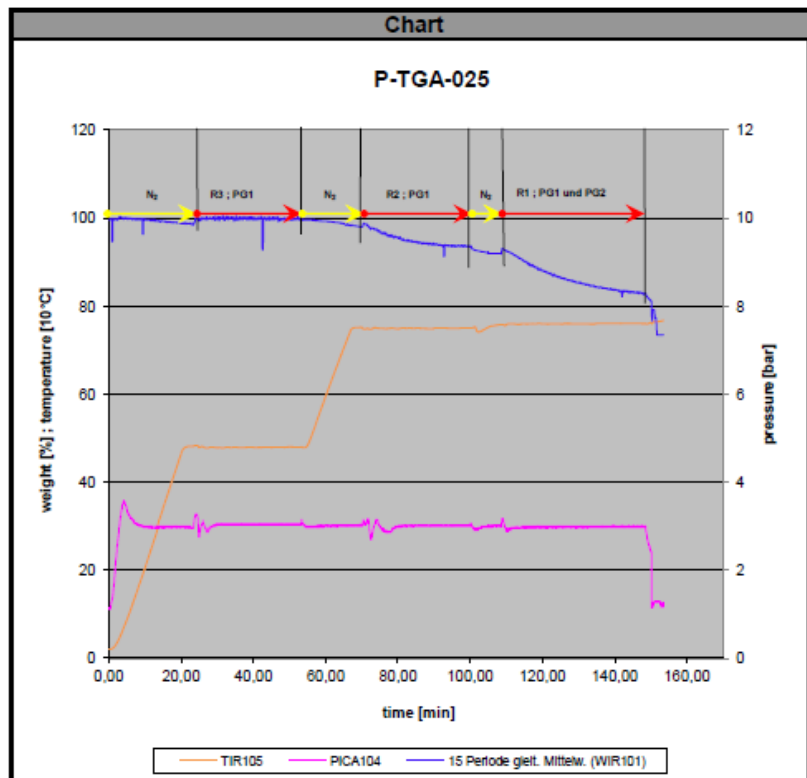
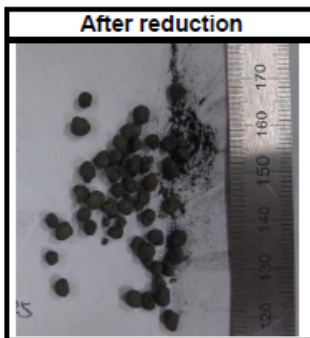
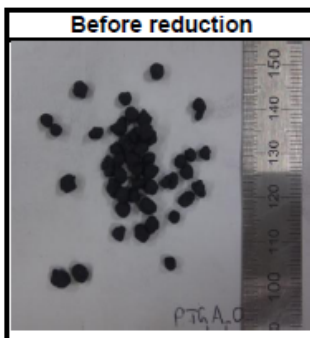
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-024
Date:	27.04.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP23_M_KH3W12 (roh)	
MUL Sample number:	MUL2011/148	
VASL Sample number:	ARP23	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_024
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2643,2 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2136,0 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-507,2 -19,19
Residence time [min]			30	30	40		



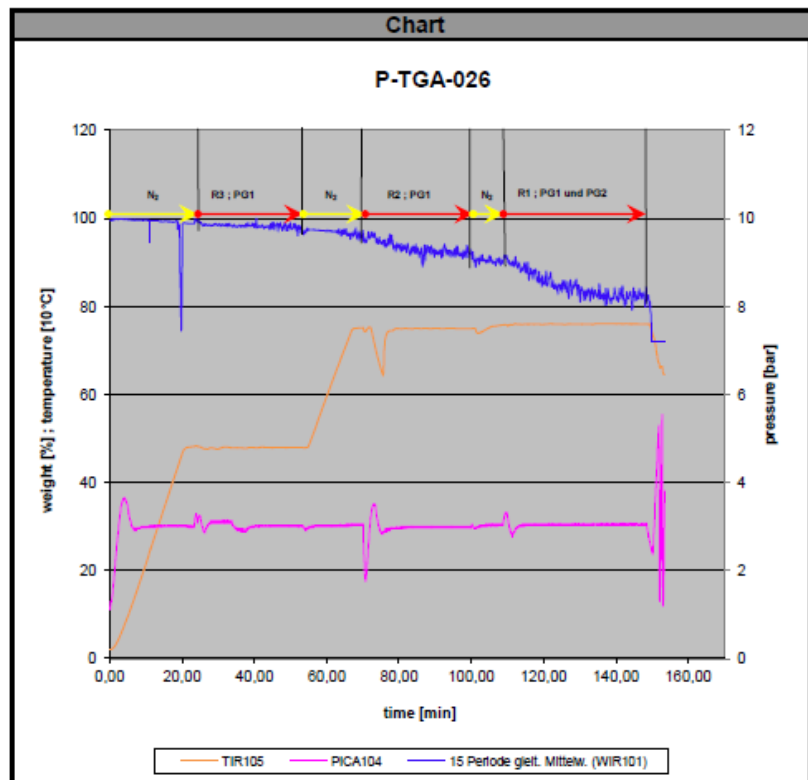
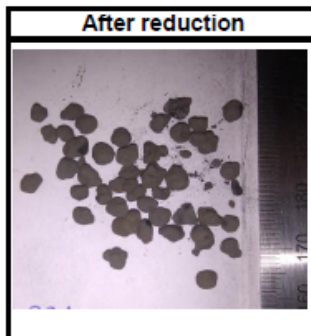
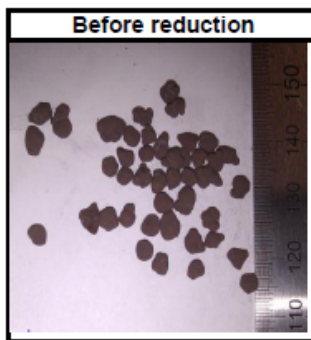
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-025
Date:	30.04.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A025_M_KH5 (roh)	
MUL Sample number:	MUL2011/034	
VASL Sample number:	GSV A025 greenpellet	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
<p>comments test progress:</p>		

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88	
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00	
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_025	
						Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2594,0	Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg]	[%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2150,4	-443,6
Residence time [min]			30	30	40			-17,1



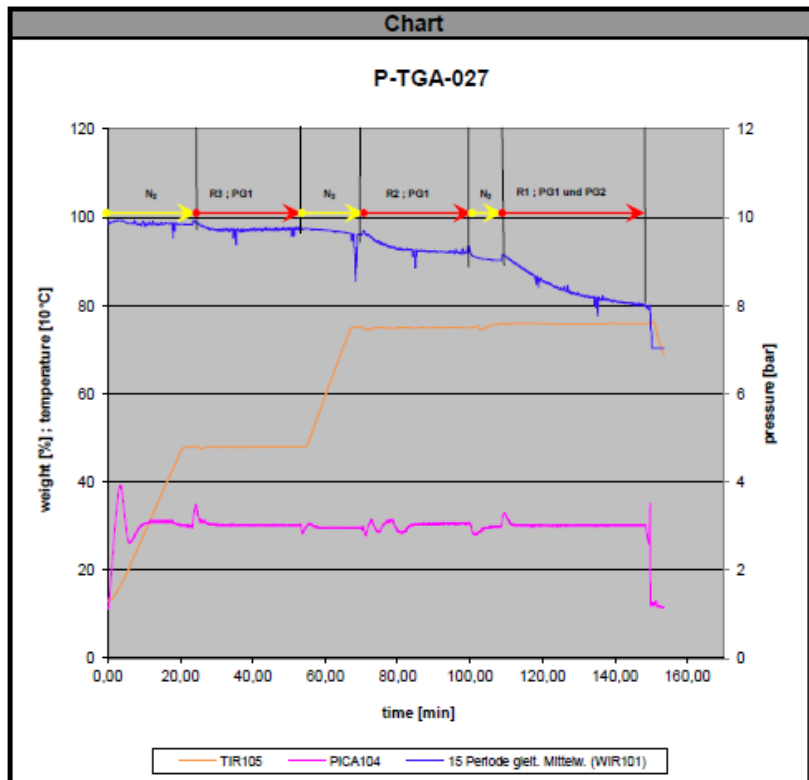
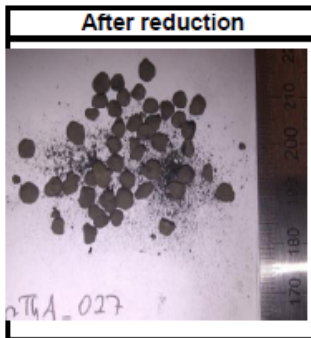
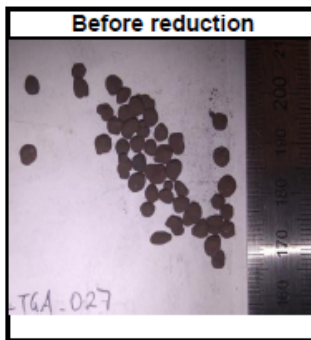
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-026
Date:	02.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A025_M_KH5 (480°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/038	
VASL Sample number:	GSV A025 480°C	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_026
						Weight	
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2601,9 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2125,7 -476,2 -18,3
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		
Residence time [min]			30	30	40		



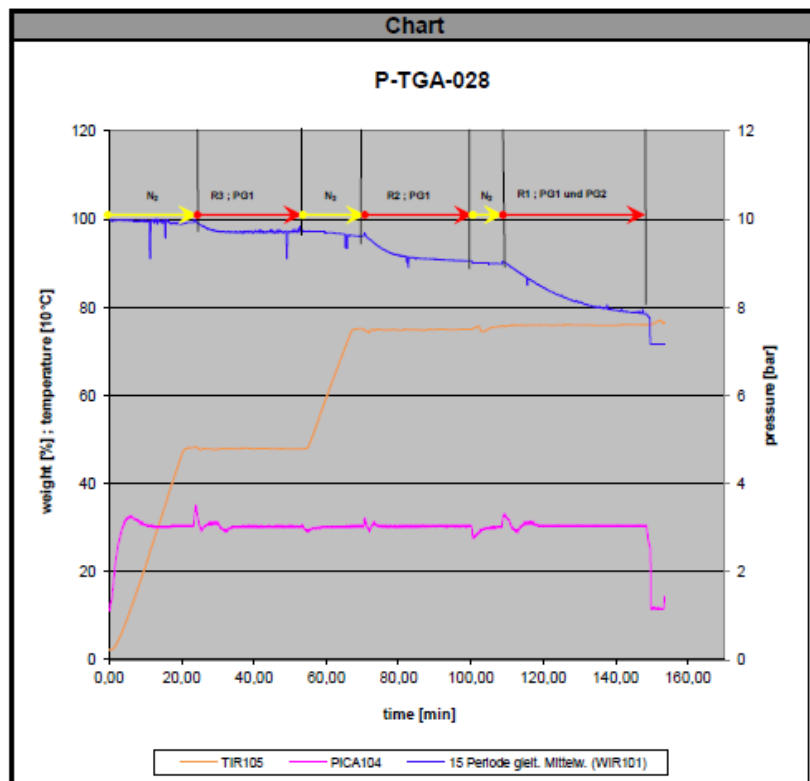
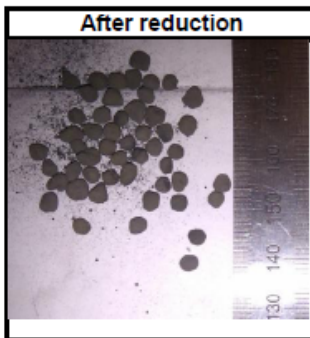
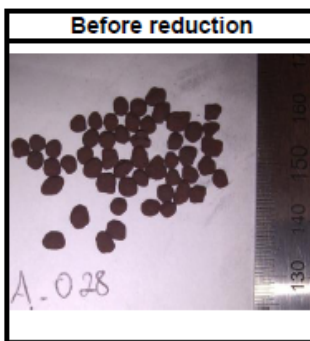
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-027
Date:	02.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A025_M_KH5 (750°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/035	
VASL Sample number:	GSV A025 750°C	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2,8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_027
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2609,0 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2126,7 -482,3 -18,49
Residence time [min]			30	30	40		



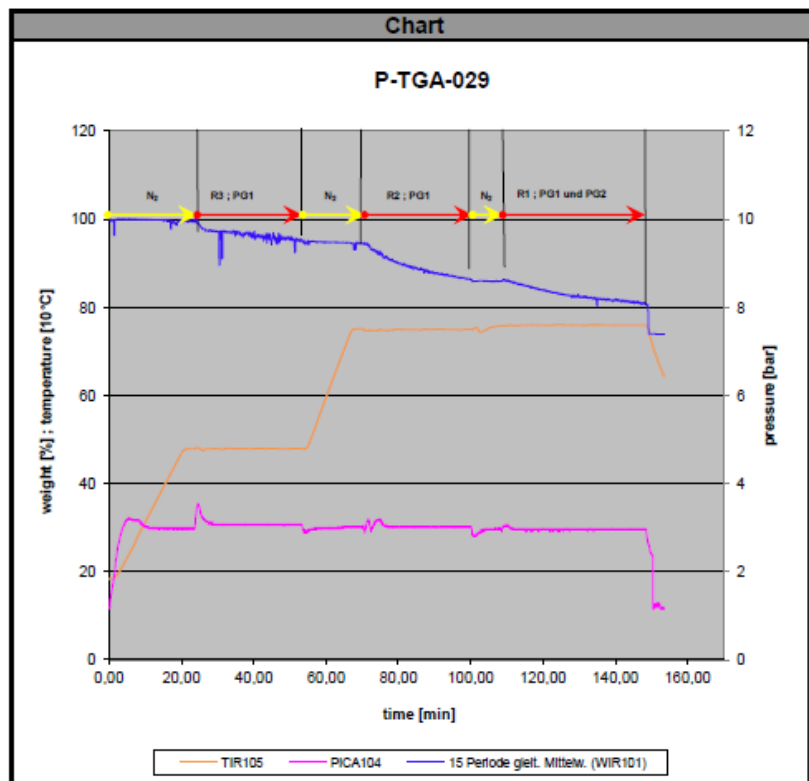
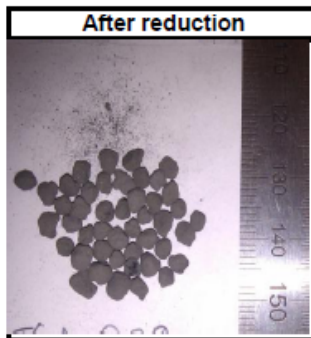
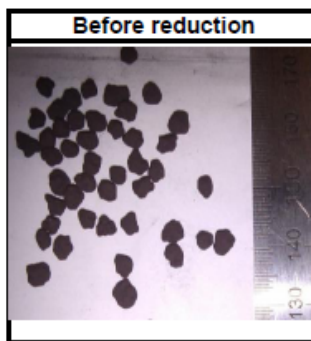
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-028
Date:	03.05.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP16_M_KH3W11 (650 °C)	
MUL Sample number:	MUL2011/067	
VASL Sample number:	ARP16 (650 °C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88	
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00	
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_028	
						Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2579,6	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2061,6	[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4			-518 -20,08
Residence time [min]			30	30	40			



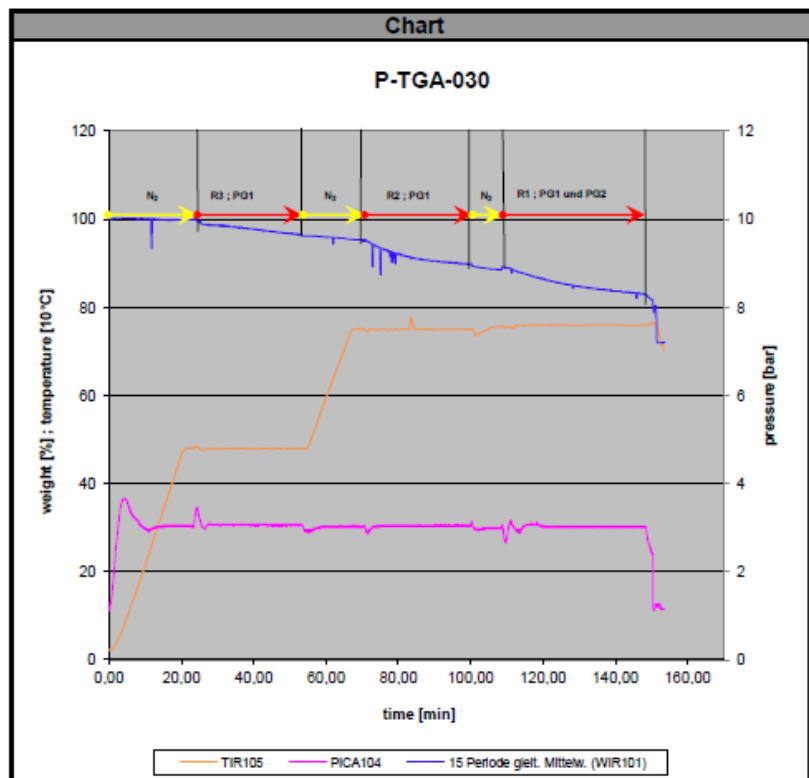
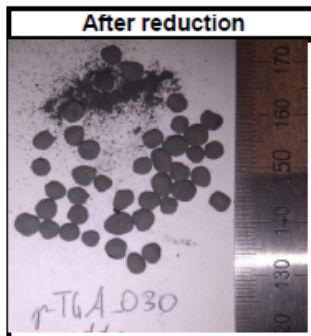
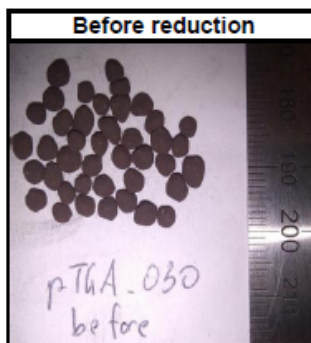
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-029
Date:	03.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP19_M_KH3SA5 (650°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/088	
VASL Sample number:	ARP19 (650 °C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat, Säureansatz	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_029
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2602,6 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2144,5 -458,1 -17,6
Residence time [min]			30	30	40		



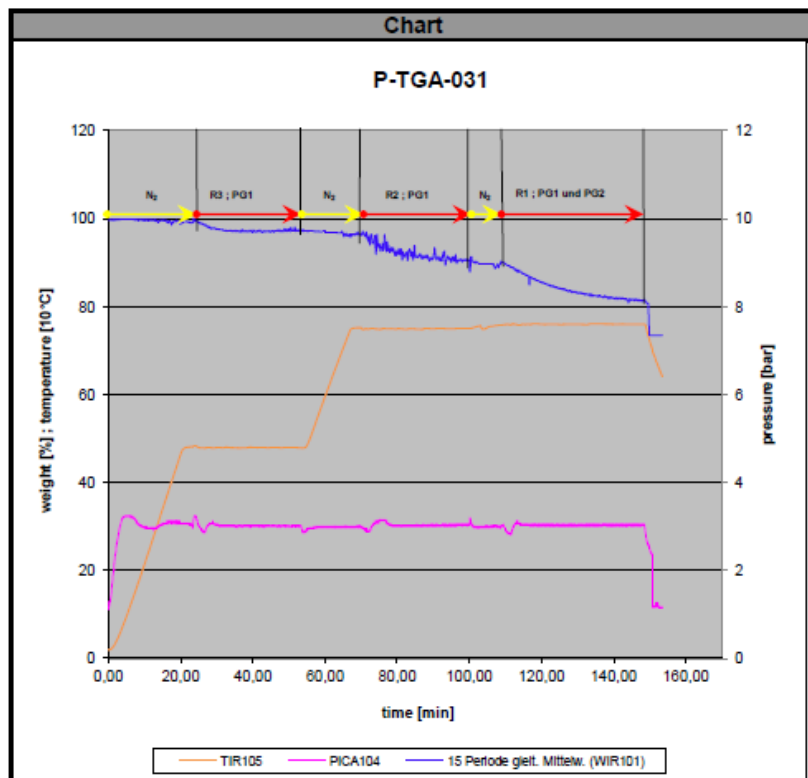
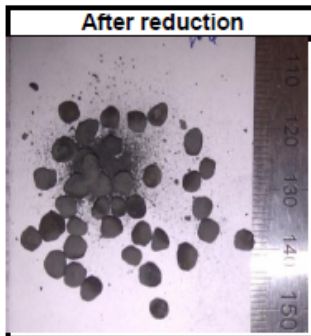
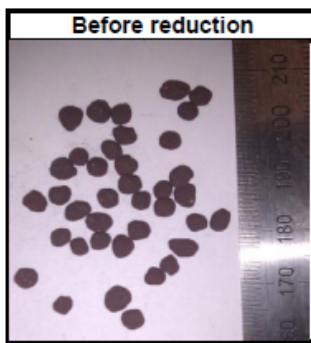
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-030
Date:	04.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A028_M_KM5 (480°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/043	
VASL Sample number:	GSV_A028 480°C	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalksteinmehl	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_030
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2590,4 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2150,0 -440,4 -17
Residence time [min]			30	30	40		



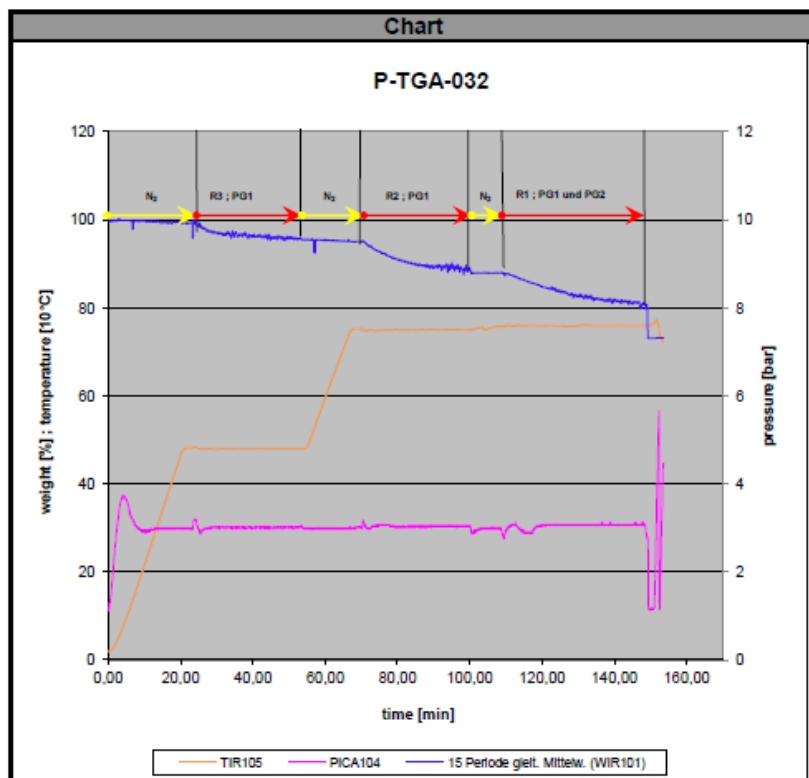
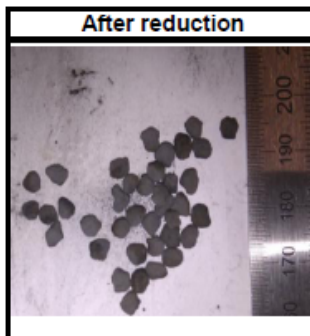
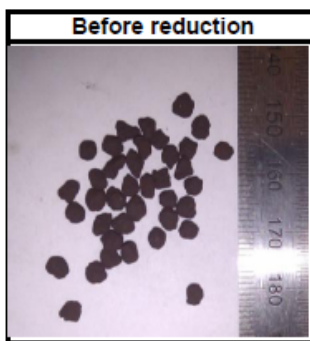
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-031
Date:	07.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unieleoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	RheinkalkGSV_A028_M_KM5 (750°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/040	
VASL Sample number:	GSV_A028 750°C	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalksteinmehl	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_031
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2607,9 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2139,9 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-468 -17,95
Residence time [min]			30	30	40		



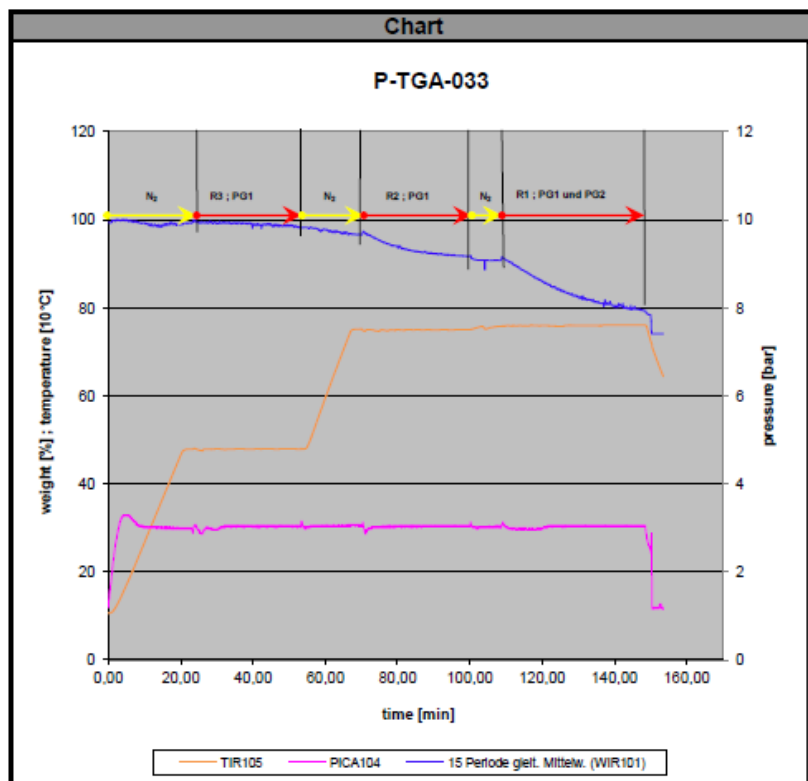
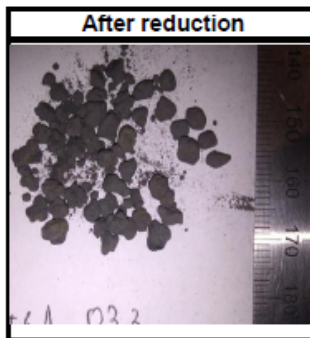
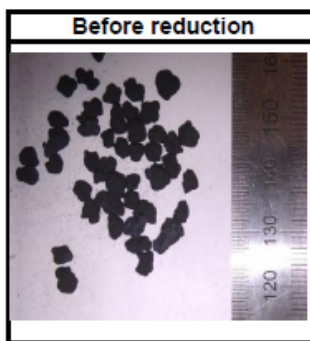
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-032
Date:	08.05.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP20_M_BE1FX5W13	
MUL Sample number:	MUL2011/097	
VASL Sample number:	ARP20 (650 °C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit, Finexschlamm	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_032
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2608,0 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2148,1 -459,9 -17,63
Residence time [min]			30	30	40		



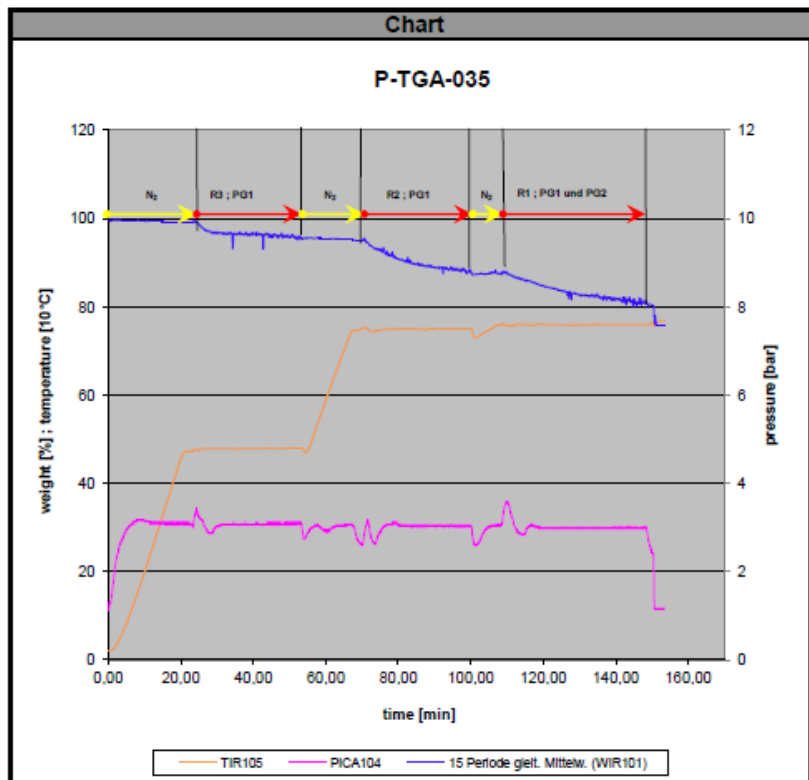
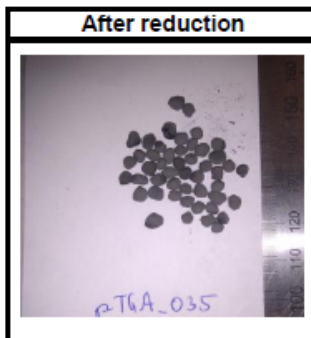
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-033
Date:	08.05.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP11_M_KH3SA5W8	
MUL Sample number:	MUL2011/058	
VASL Sample number:	ARP11 roh	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat, Säureansatz	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
<p>comments test progress:</p>		

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_033
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2603,3 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2071,9 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-531,4 -20,41
Residence time [min]			30	30	40		



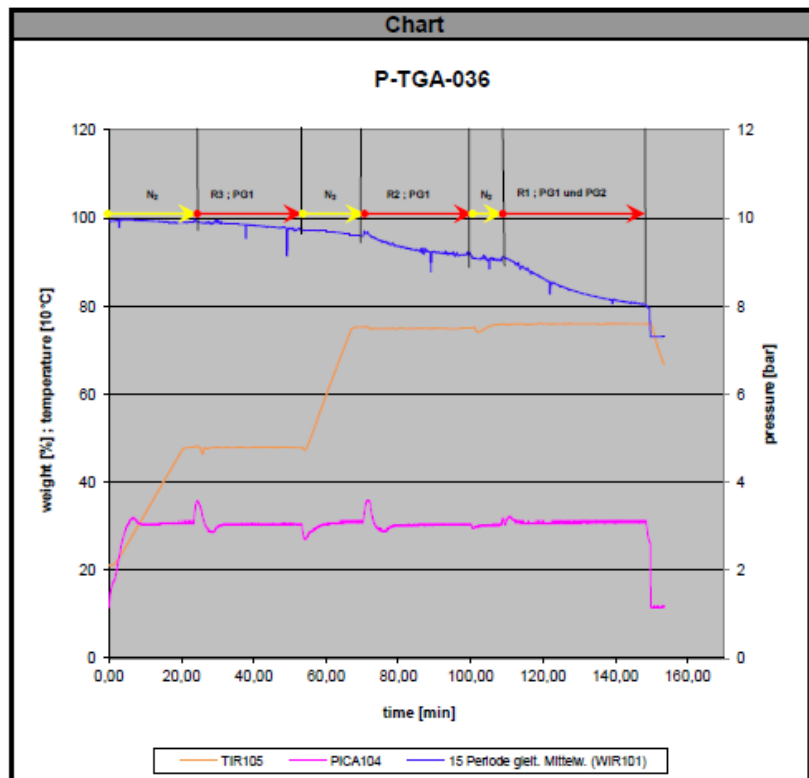
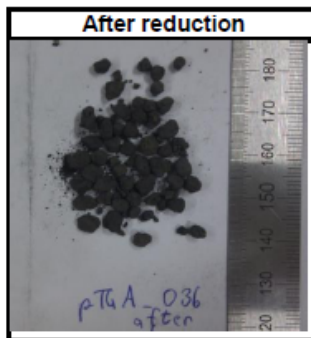
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-035
Date:	04.06.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unieleoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP17_M_BE1W11 (650°C)	
MUL Sample number:	MUL2011/080	
VASL Sample number:	ARP17	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonite	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
comments test progress: <div style="background-color: yellow; height: 100px; width: 100%;"></div>		

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_035
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2634,7 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2185,4 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-449,3 -17,05
Residence time [min]			30	30	40		



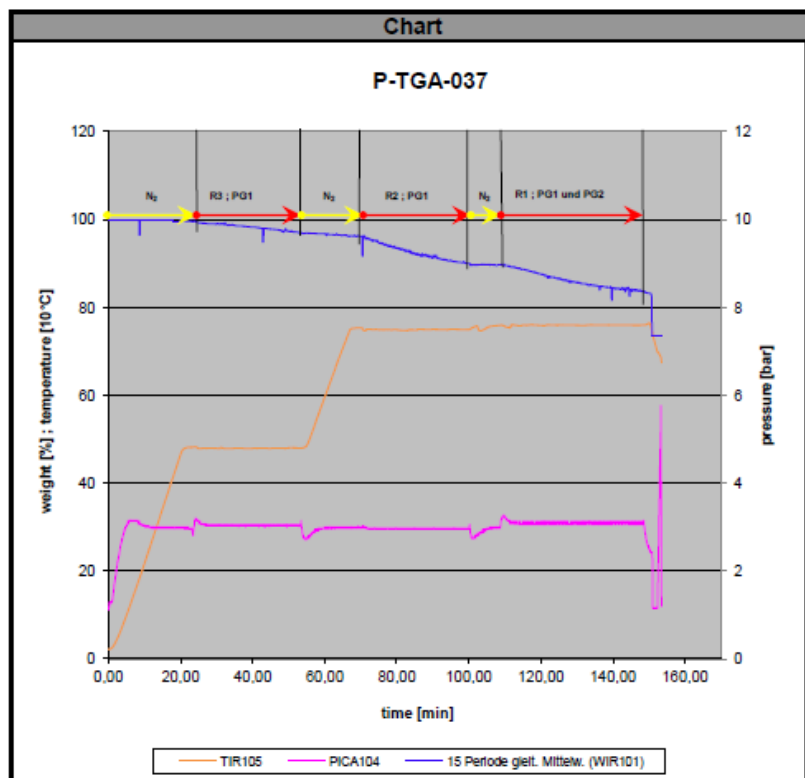
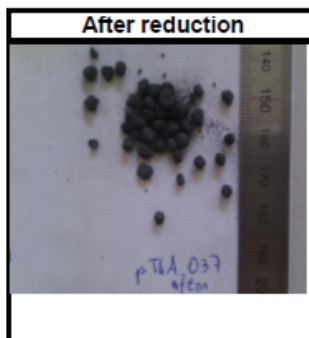
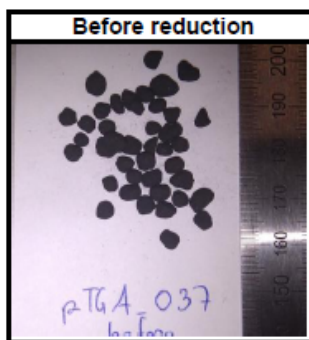
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-036
Date:	04.06.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP19_M_KH3SA5 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP19	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat, Säureansatz	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_036
Temperature [°C]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2609,0 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2085,7 -523,3 -20,06
Residence time [min]			30	30	40		



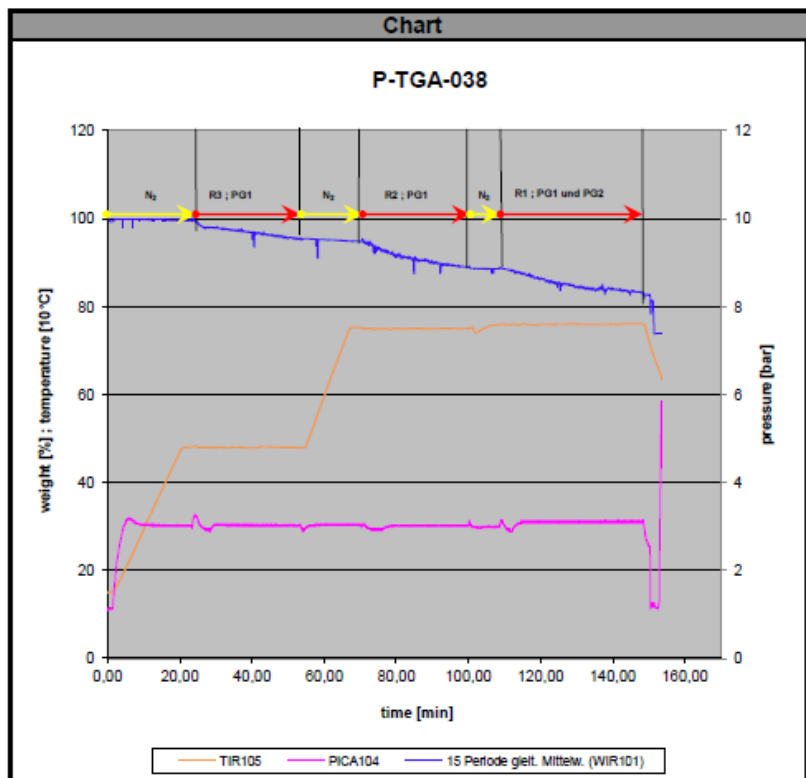
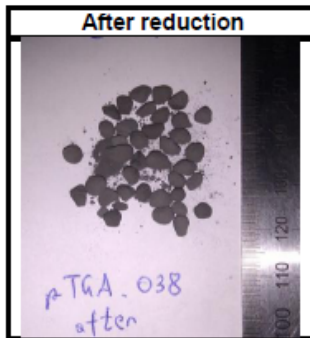
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-037
Date:	05.06.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unieleoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP17_M_BE1W11 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP17	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonite	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_037
Temperature [°Cel]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2663,1 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2198,4 -464,7 -17,45
Residence time [min]			30	30	40		



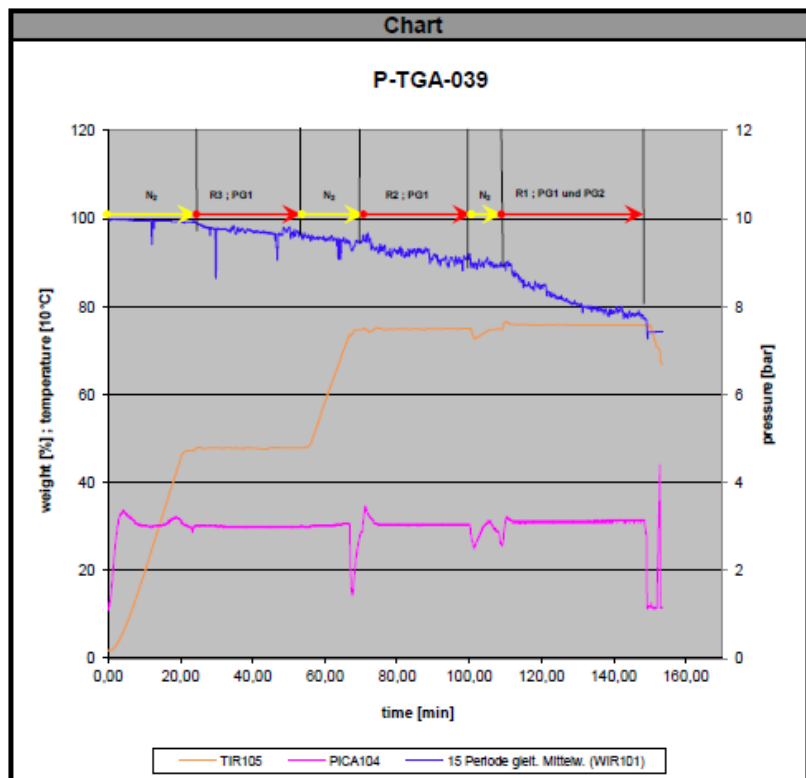
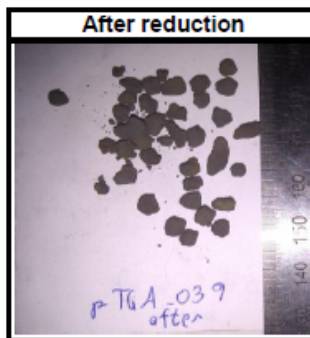
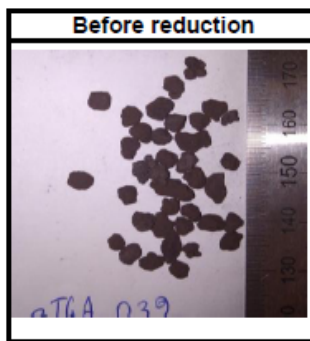
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-038
Date:	05.06.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP17_M_BE1W11 (450°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP17	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonite	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
comments test progress: <div style="background-color: yellow; height: 100px; width: 100%;"></div>		

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_038
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2610,5 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2190,3 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-420,2 -16,1
Residence time [min]			30	30	40		



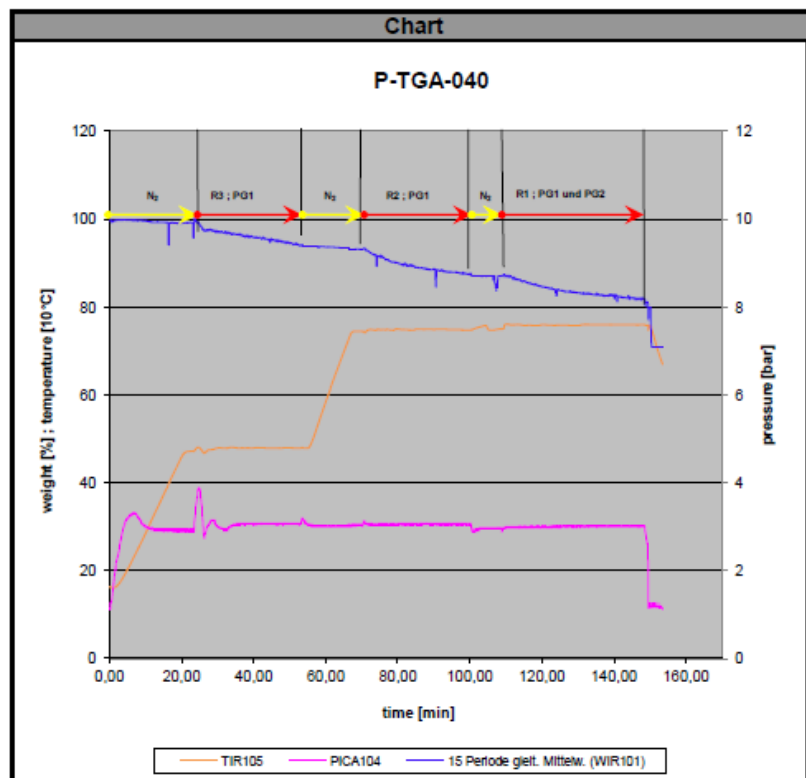
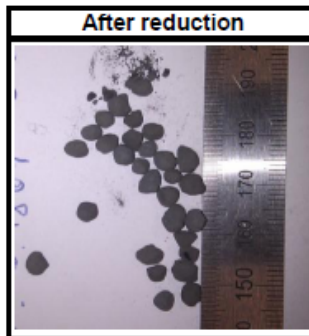
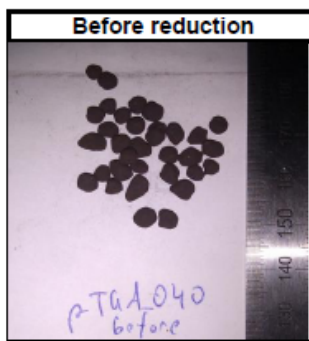
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-039
Date:	06.06.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP19_M_KH3SA5 (450°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP19	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat, Säureansatz	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_039
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2592,1 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2061,6 -530,5 -20,47
Residence time [min]			30	30	40		



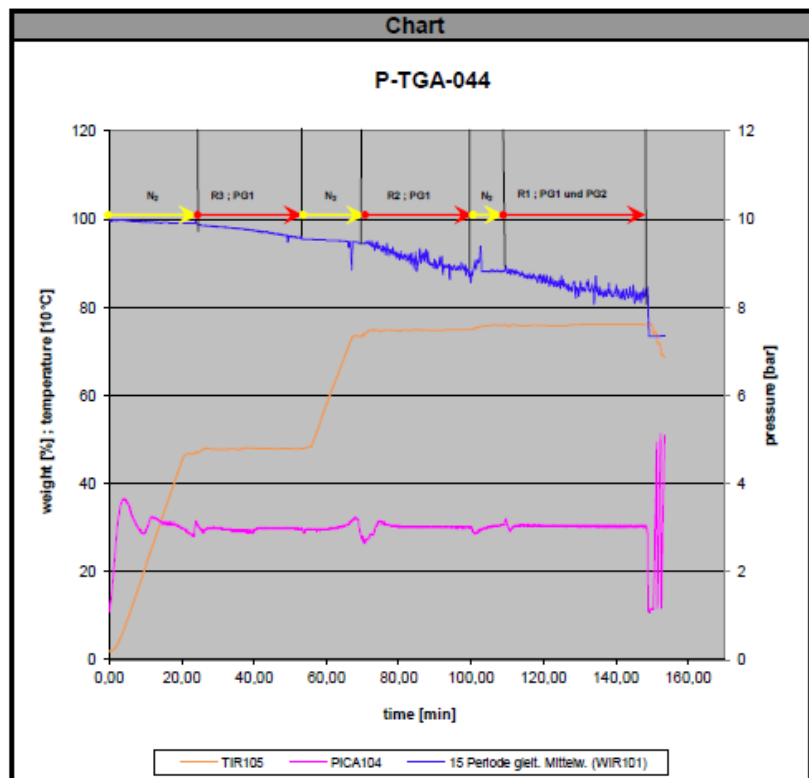
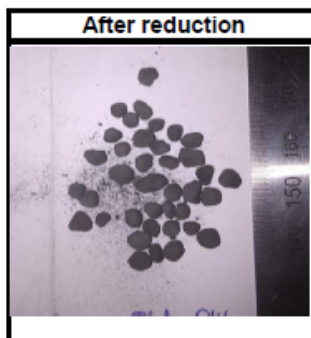
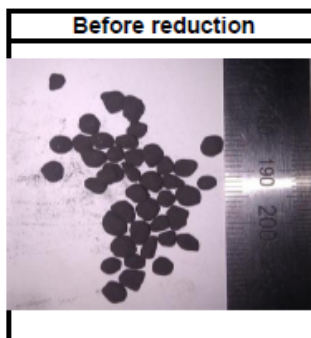
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-040
Date:	06.06.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP20_M_BE1FX5W13 (450°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP20	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit, Finexschlamm	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_040
						Weight	
Temperature [°Cel]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2603,2 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2159,6 -443,6 -17,04
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		
Residence time [min]			30	30	40		



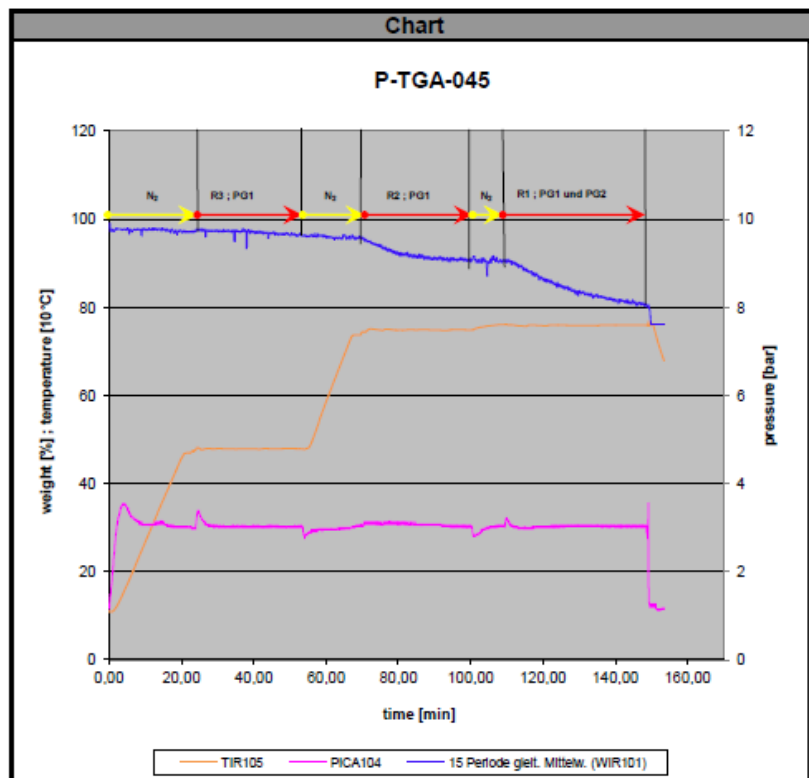
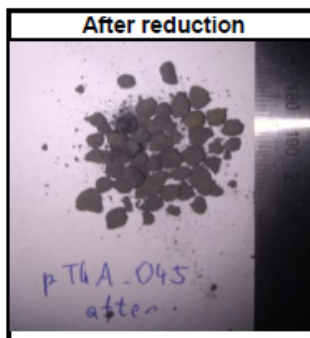
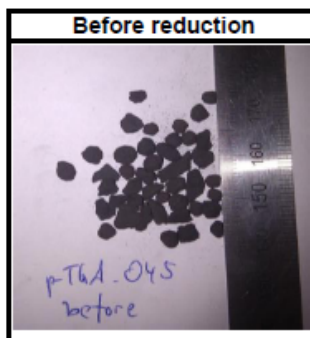
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-044
Date:	13.06.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unitecobn.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP20_M_BE1FX5W13 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP20	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Bentonit, Finexschlamm	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_044
Temperature [°C]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2646,0 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2188,5 -457,5 -17,29
Residence time [min]			30	30	40		



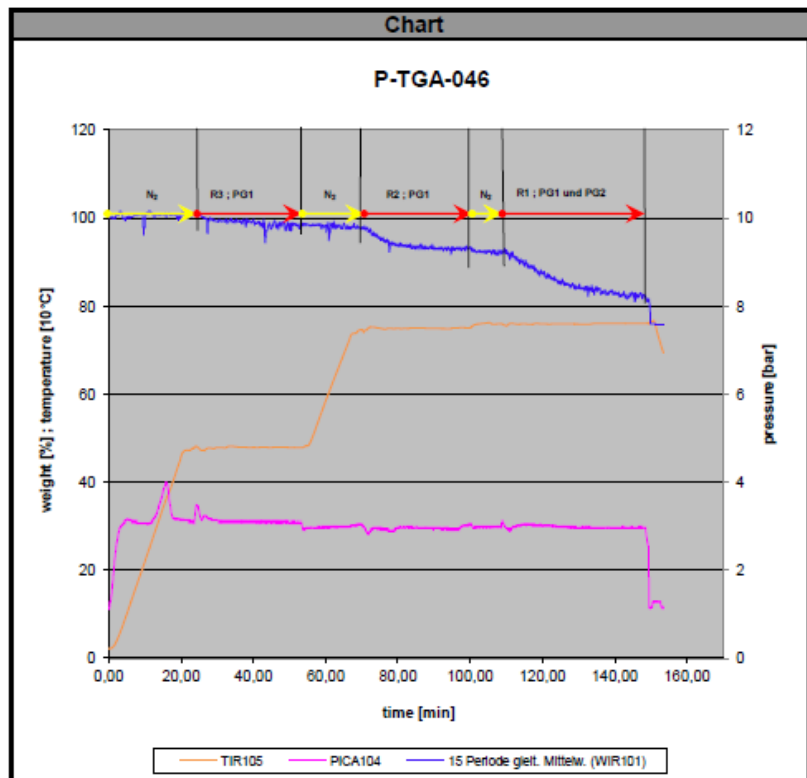
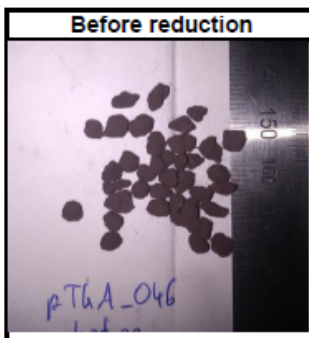
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-045
Date:	13.06.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP23_M_KH3W12 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP23	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88	
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00	
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_045	
						Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2529,3	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2019,8	[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4			-509,5 -20,14
Residence time [min]			30	30	40			



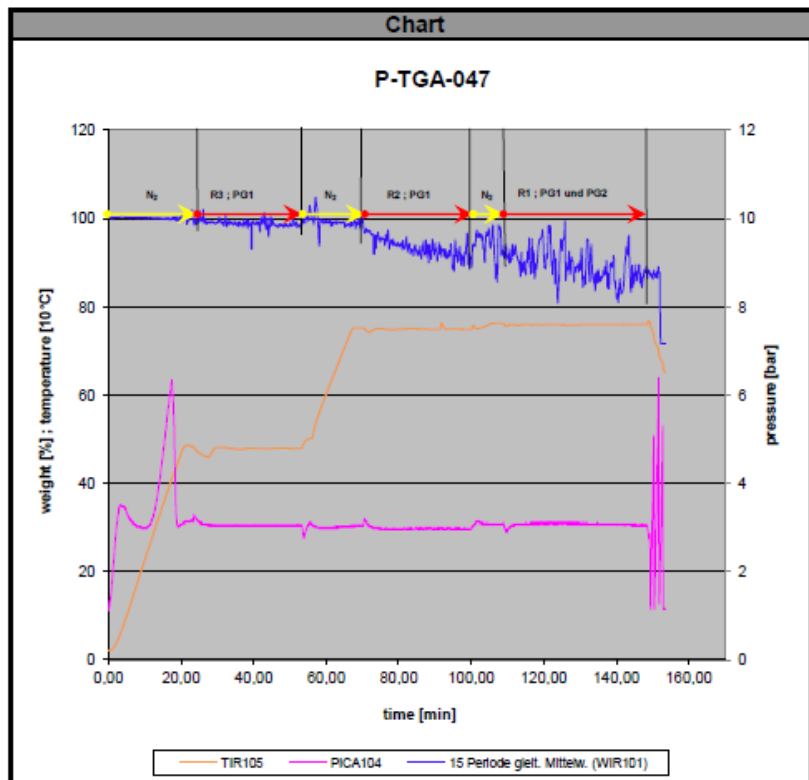
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-046
Date:	14.06.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP23_M_KH3W12 (450°C)	
MUL Sample number:	ARP23	
VASL Sample number:	ARP23	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Kalkhydrat	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)			
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88	
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00	
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1	
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1	
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_046	
						Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2615,9	Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg]	[%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2087,1	-528,8 -20,21
Residence time [min]			30	30	40			



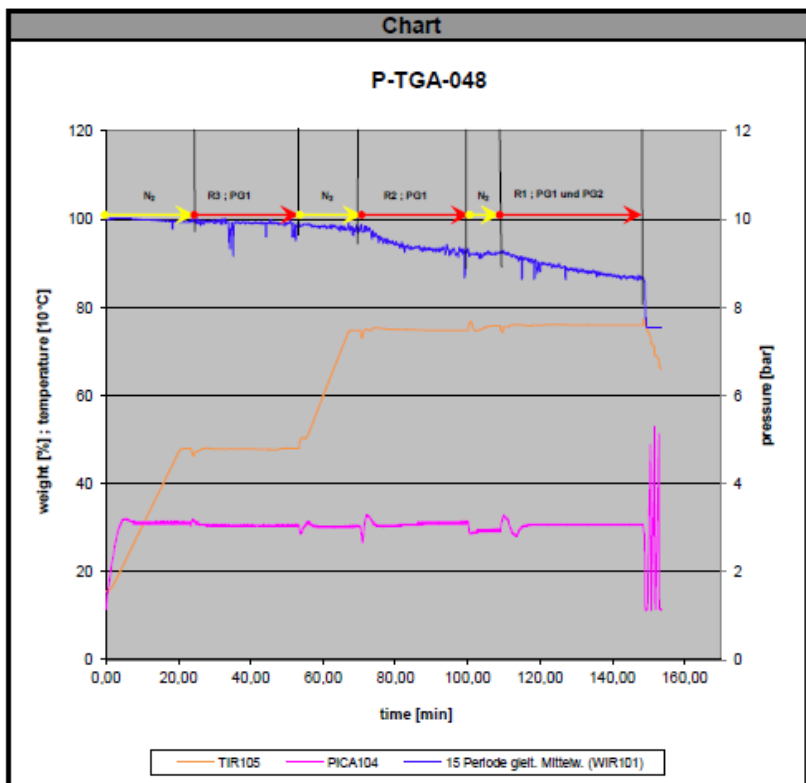
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-047
Date:	12.07.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP27 (roh)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP27 (roh)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters		
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88	
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00	
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1	
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1	
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_047	
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Weight		
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2598,7	Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2281,5	-317,2 -12,21
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4			
Residence time [min]			30	30	40			



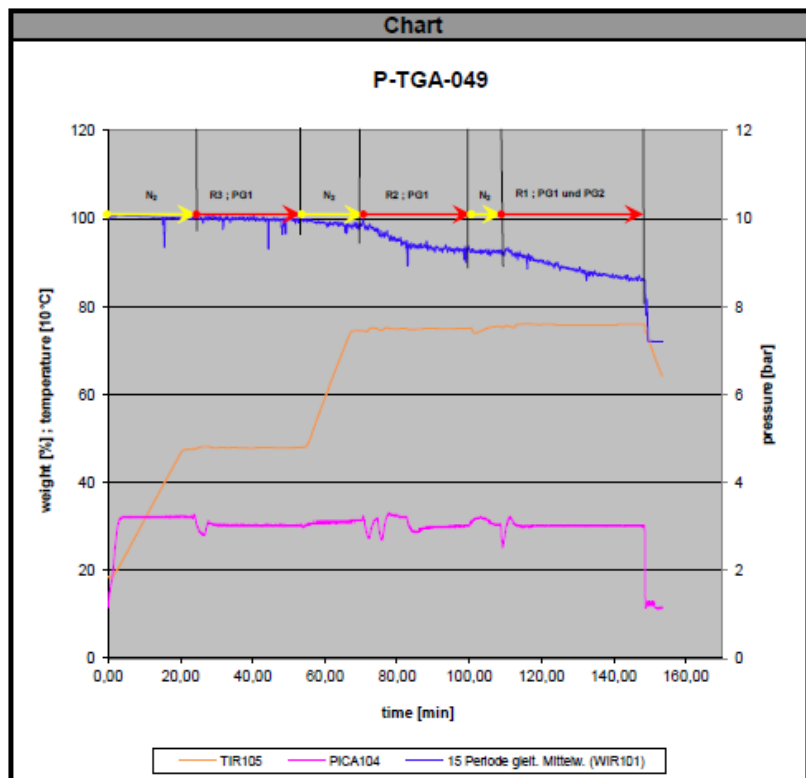
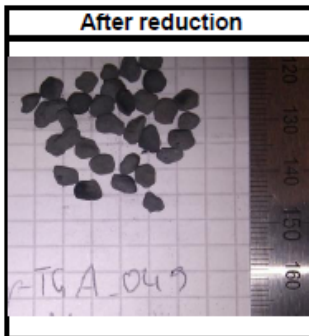
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-048
Date:	12.07.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP26 (roh)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP26 (roh)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_048
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2593,6 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2283,3 -310,3 -12
Residence time [min]			30	30	40		



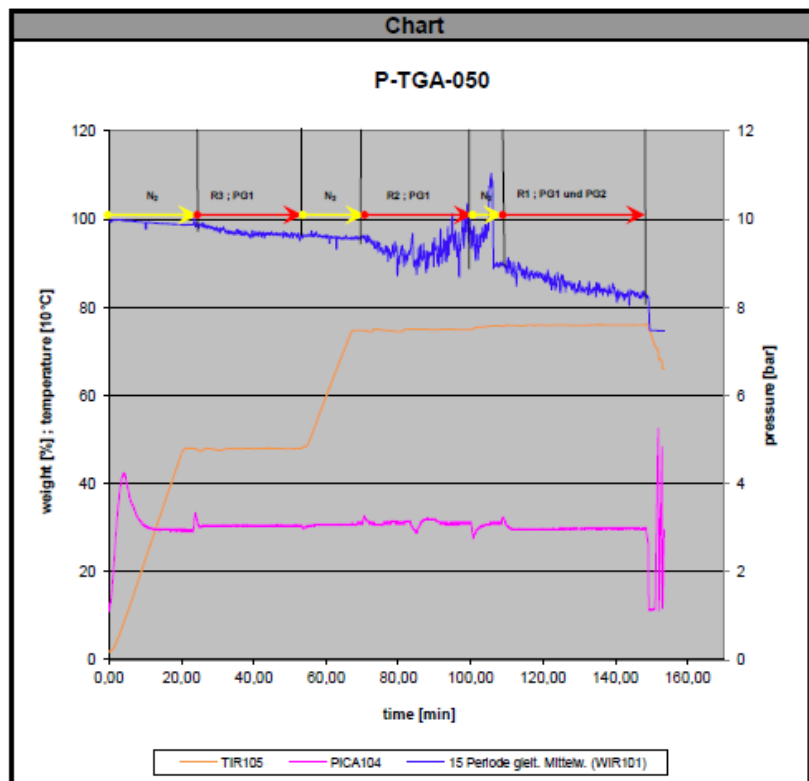
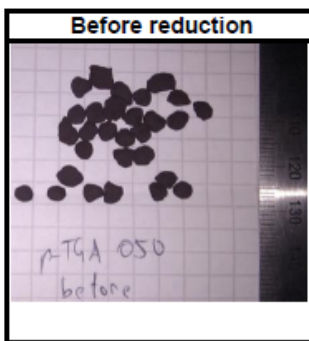
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-049
Date:	12.07.2012	
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP26 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP26 (250°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	
		comments test progress:

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_049
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2641,0 Δ
Pressure [bar]			3	3	3	Output (ext. balance) [mg]	2317,7 [mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4		-323,3 -12
Residence time [min]			30	30	40		



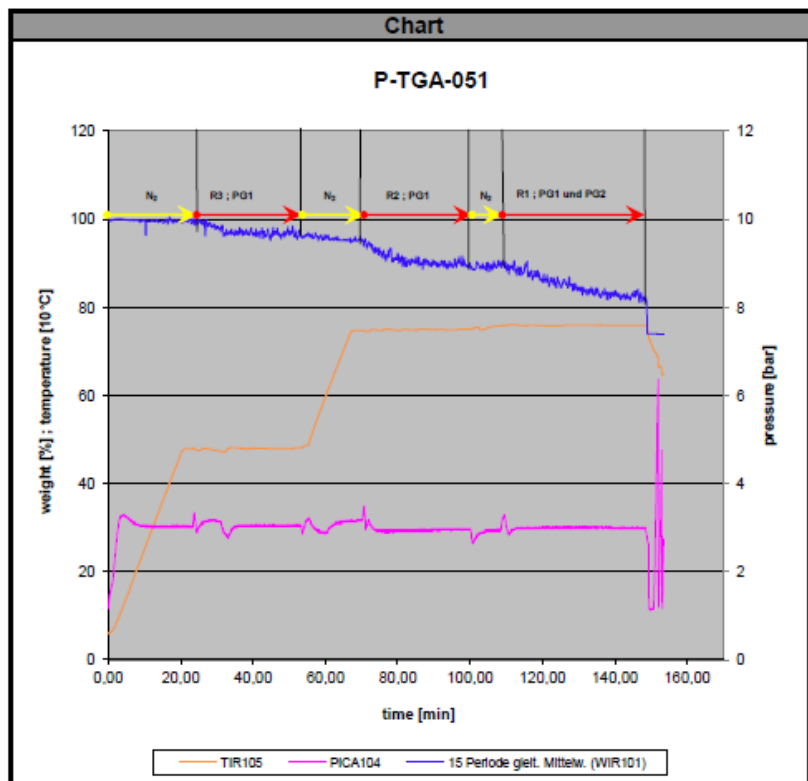
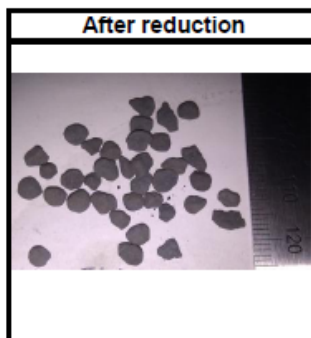
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-050
Date:	16.07.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP26 (450°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP26 (450°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_050
Temperature [°C]						Weight	
						Input (ext. balance) [mg]	2580,4 Δ
Pressure [bar]							[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]						Output (ext. balance) [mg]	2205,4 -375 -15
Residence time [min]							



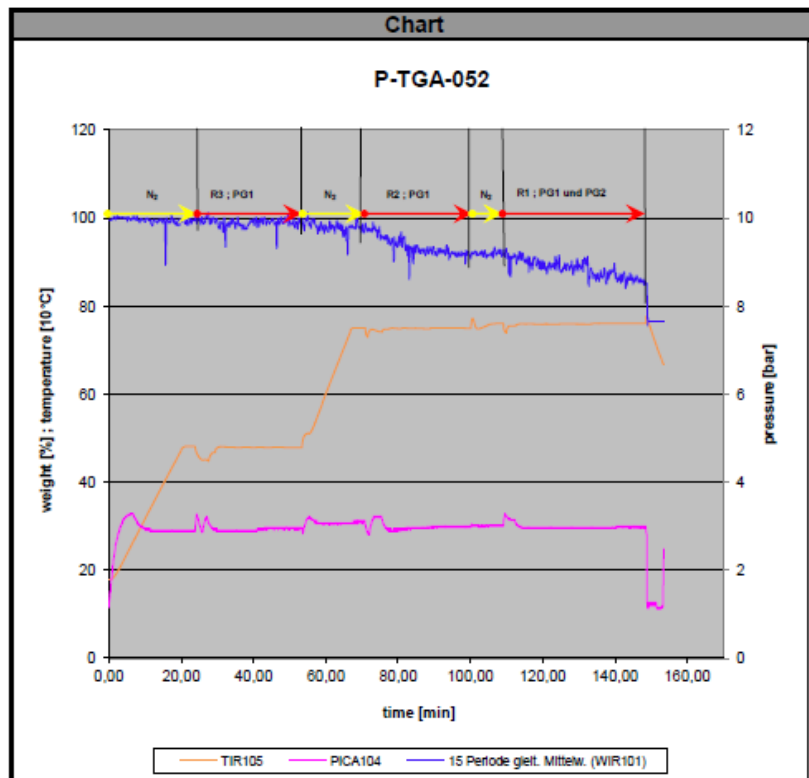
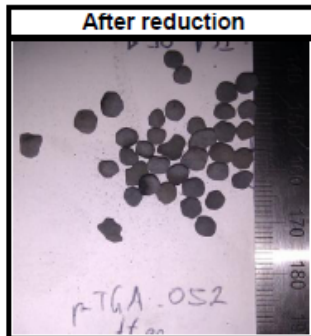
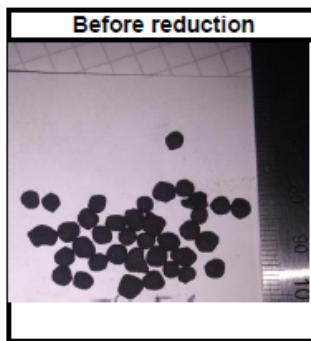
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-051
Date:	16.07.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@uniteobenz.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP26 (650°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP26 (650°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_051
Temperature [°C]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2602,2 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2200,6 -401,6 -15
Residence time [min]			30	30	40		



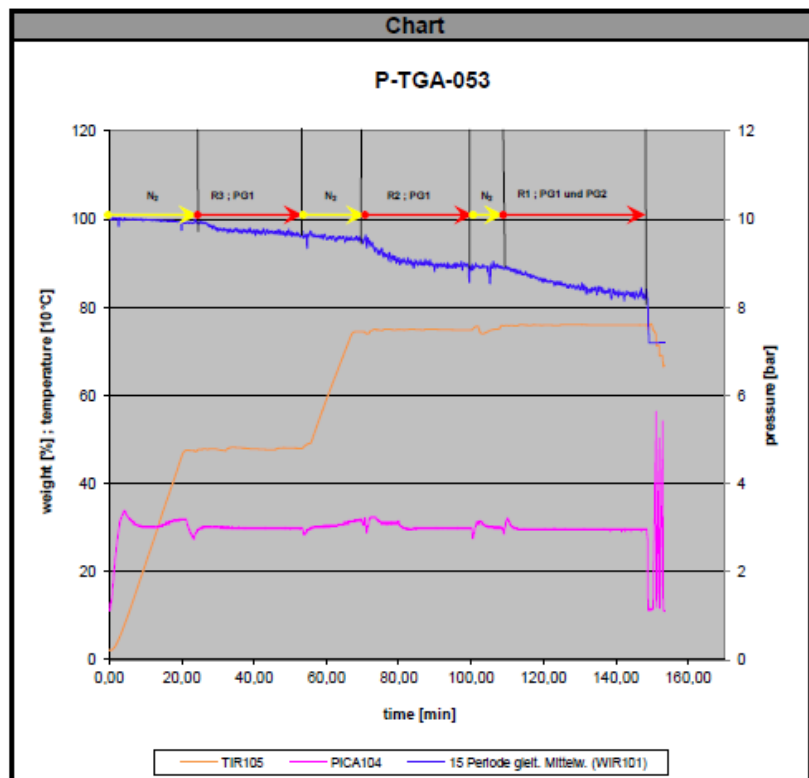
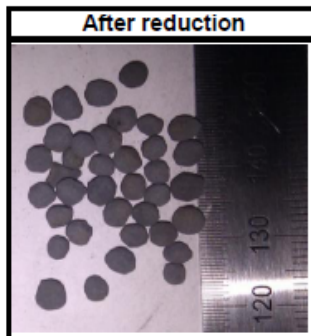
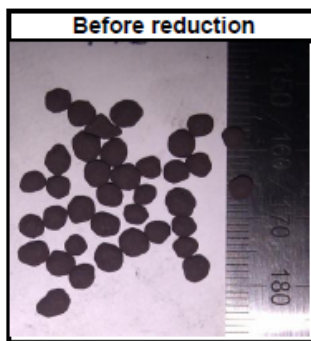
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-052
Date:	16.07.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnette	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@unileoben.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP27 (250°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP27 (250°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_052
Temperature [°C]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2595,6 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2277,8 [mg] [%]
Residence time [min]			30	30	40		-317,8 -12



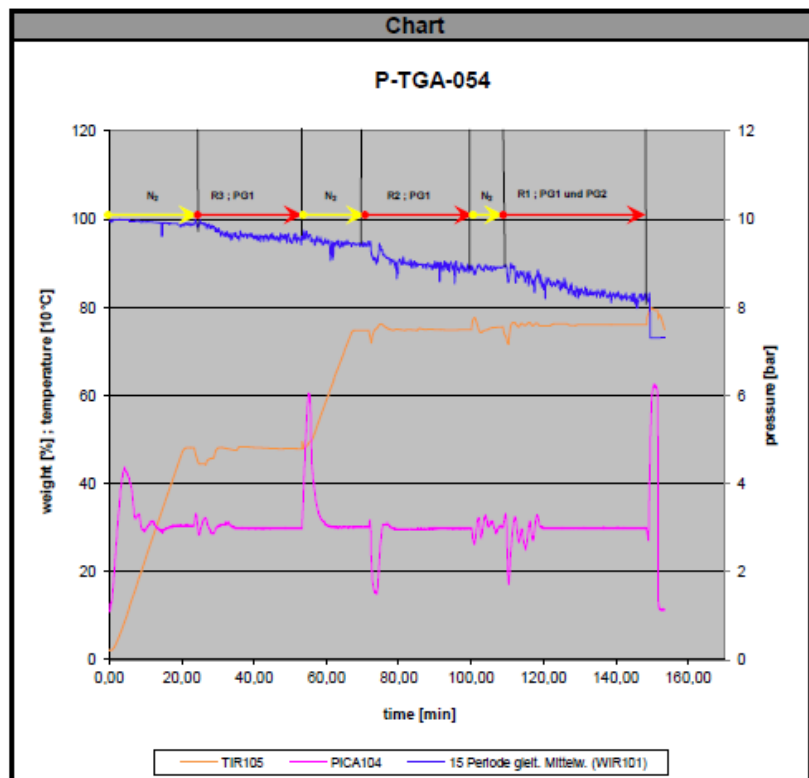
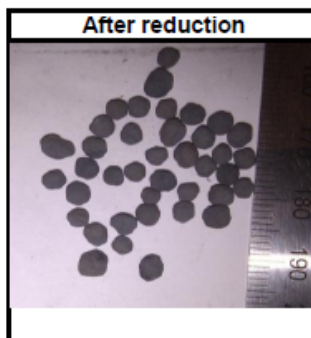
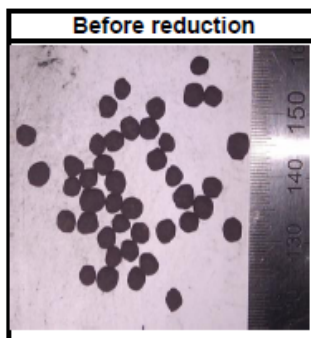
Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-053
Date:	17.07.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@uniteobcn.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP27 (450°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP27 (450°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)	Flowfactor PG1	0,88
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG2	1,00
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Valve position	according to V1
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Controller setting	according to R1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Program	P_TGA_053
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1		
						Weight	
Temperature [°C]			480	750	760	Input (ext. balance) [mg]	2631,2 Δ
Pressure [bar]			3	3	3		[mg] [%]
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2243,9 -387,3 -15
Residence time [min]			30	30	40		




Pressure-Thermogravimetric Analyzer Test No.:		P-TGA-054
Date:	18.07.2012	comments test progress:
Kind of test:	3-stage 480/750/760°C FINEX	
Target of the test:	Reduction behaviour of Magnetite	
Projekt leader:	Lukas Schmidt	
Test executed by:	Daniel Köpplmayr	
E-Mail:	lukas.schmidt@uniteobcn.ac.at	
Phone:	+43 3842 402 2250	
Customer:	Siemens VAI	
Raw material input:		
Ore type 1:	ARP27 (650°C)	
MUL Sample number:		
VASL Sample number:	ARP27 (650°C)	
Ore designation:	nn.	
Grain size:	2.8-4mm	
Binder:	Wasserglas	
Binder:	none	
Pre-Treatment:	6h 105°C	

Test information						Test parameters	
	PG1	PG2	Step 1 (R3)	Step 2 (R2)	Step 3 (R1)		
CH4 [Vol.%]	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	Flowfactor PG1	0,88
H2 [Vol.%]	18,4	17,9	18,6	18,6	18,4	Flowfactor PG2	1,00
CO [Vol.%]	34,5	77,0	34,4	34,4	47,6	Valve position	according to V1
CO2 [Vol.%]	39,1	0,0	39,0	39,0	26,9	Controller setting	according to R1
N2 [Vol.%]	7,0	4,0	7,0	7,0	6,1	Program	P_TGA_054
Temperature [°C]			480	750	760	Weight	
Pressure [bar]			3	3	3	Input (ext. balance) [mg]	2579,8 Δ
Gas flow [Nl/min]			2,4	2,4	2,4	Output (ext. balance) [mg]	2190,8 [mg] [%]
Residence time [min]			30	30	40		-389 -15



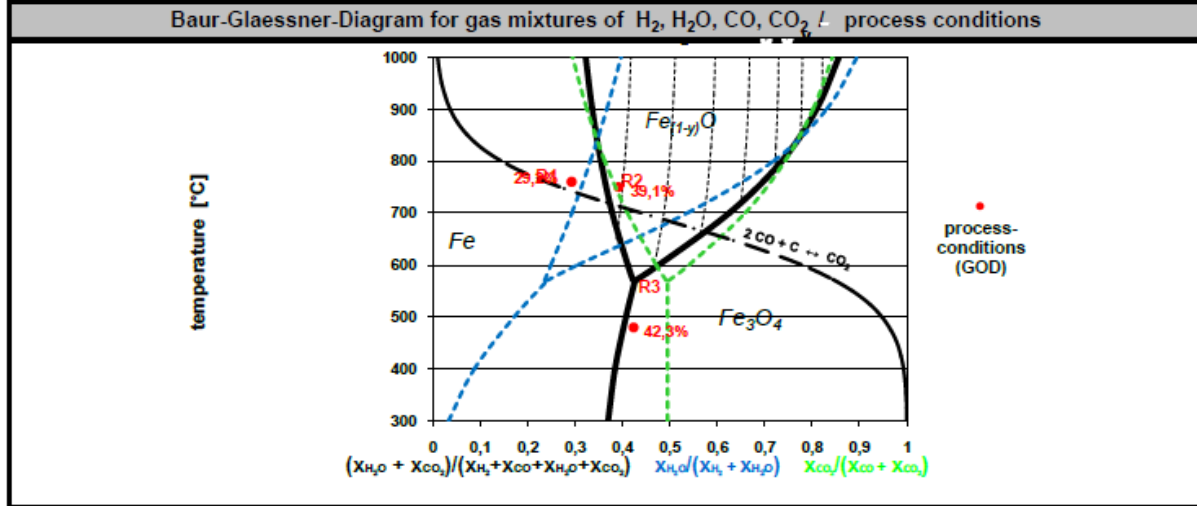
A.2 Auswertungen zum Versuch an der WS 160 mm


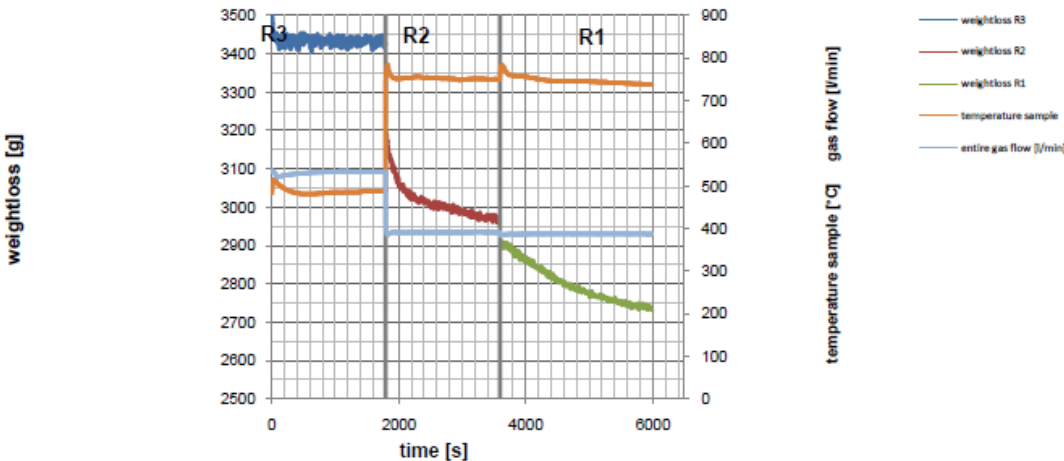
Auf den Abbildungen der Seiten A-37 – A-39 sind die Auswertungen des Versuchs am Wirbelschichtreaktor dargestellt. Dabei sind die Einwaagen des Erzes und der Mikropellets, sowie die Versuchsbedingungen angegeben. Die Auswertungen beinhalten einerseits die Gewichtsabbaukurve und andererseits die Siebanalyse nach dem Versuch.


 <p>CHAIR OF METALLURGY MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN</p> <p>PRIMARY METALLURGY METALLURGICAL PROCESSES</p> <p>Web: http://www.metallurgy.ac.at</p>	<p>160 mm Fluidized Bed Reactor test Process conditions and test parameter</p> <p>Test number: WS279 Date: 23.08.2012 Customer: Siemens VAI</p> <p>Kind of test: 3-stage 480/750/760°C FINEX Target of the test: reduction behaviour of micropellets Test carried out by: Michael Skorianz</p>
--	---

Raw material input				chemical analyses												
sieves		sieve analysis		input	raw material				reduced material							
mesh size [mm]	fraction [%]	cum. [%]	mass [g]	erzberg fine ore MUL2010/0009				species	bed Ø [%]	R4 [%]	R3 [%]	R2 [%]	Int.cyc. [%]	ex.cyc. [%]		
				species	[%]	species	[%]	species								
4-6,3	0		0,0	Fe(tot)	49,40	Na2O	0,00	Fe tot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
2,8-4	11,6186	100	406,7	FeO	0,28	Mn	2,80	Fe met	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1,0-2,8	14,9325	88,3814	522,6	Al2O3	0,52	NI	0,00	FeO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,5-1,0	16,0106	73,4488	560,4	SiO2	2,88	Cu	0,00	C tot	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
0,25-0,5	17,4116	57,4382	609,4	CaO	4,74	Cr	0,00	MD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,125-0,25	14,7098	40,0266	514,8	MgO	2,39	S	0,01	RD (CA)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,063-0,125	25,3168	25,3168	886,1	TiO2	0,03	P	0,04	RD (cal)	48,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0-0,063	0	0	0,0	K2O	0,18	Zn	0,00	FeOx	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
sum	100,0		3500,0	V2O5	0,00	LOI (900°)	14,39	Fe bal.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

calculation of test parameter: 3-stage 480/750/760°C FINEX																	
gas composition		concentration, temp. plant				concentration test rig				gas flow test rig							
		R1 [%]	R2 [%]	R3 [%]	R4 [%]	R1 [%]	R2 [%]	R3 [%]	R4 [%]	R1 [Nm/min]	heating [Nm/min]	R2 [Nm/min]	heating [Nm/min]	R3 [Nm/min]	heating [Nm/min]	R4 [Nm/min]	
species	H2	17,7%	16,5%	16,0%	0,00%	17,6%	17,3%	14,7%	0,0%	68,1		67,7		77,9		0,0	
	H2O	5,6%	7,1%	8,7%	0,00%	5,6%	7,5%	8,0%	0,0%	21,5		29,1		42,4		0,0	
	CO	46,7%	38,9%	36,5%	0,00%	46,4%	40,9%	33,5%	0,0%	179,6		159,6		177,8		0,0	
	CO2	21,0%	28,5%	29,8%	0,00%	20,9%	29,9%	27,4%	0,0%	80,8		116,9		145,2		0,0	
	CH4	1,5%	1,6%	1,6%	0,00%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0		0,0		0,0		0,0	
	N2	7,5%	7,4%	7,4%	0,00%	9,5%	4,4%	16,4%	0,0%	36,7		17,2		87,2		0,0	
	total dry	94,4%	92,9%	91,3%	0,0%	94,4%	92,5%	92,0%	0,0%	365,2		361,4		488,1		0,0	
	total wet	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	386,7		390,5		530,5		0,0	
	GOD	29,2%	39,1%	42,3%	0,0%	29,2%	39,1%	42,3%	0,0%	29,2%		39,1%		42,3%		0,0%	
	H2/H2O	3,16	2,32	1,84	0,00	3,16	2,32	1,84	0,00								
	CO/CO2	2,22	1,36	1,22	0,00	2,22	1,36	1,22	0,00								
temperature [°C]		760	750	480	0						760	760	750	750	480	480	0
residence time [min]		40	30	30	0						40	0	30	0	30	0	0
spec. gas rate plant [Nm³/t]		810	810	810	0						diameter retort [m]					0,158	
supposed gas rate red. [Nm³/t]		4000	3200	3800	0						cross section retort [m²]					0,020	
defined uL retort [m/s]		0,9	0,9	0,9	0						absolute pressure [bar]					1,4	
flow rate red. comp. [Ndm³/h]		21000	22400	26600	0						atmospherical pressure [bar]					1,013	

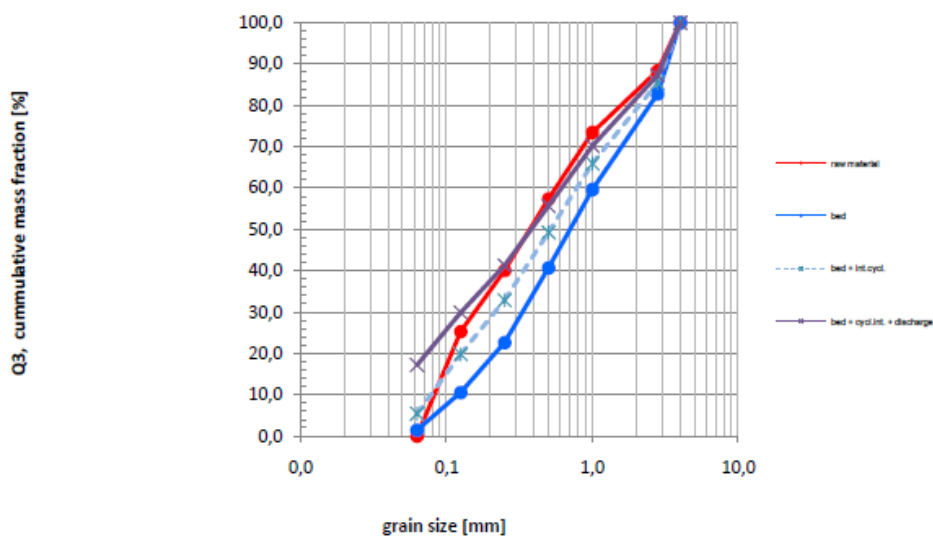


 CHAIR OF METALLURGY MONTANUNIVERSITAET LEOBEN PRIMARY METALLURGY METALLURGICAL PROCESSES Web: http://www.metallurgy.ac.at				160 mm Fluidized Bed Reactor test Test information Test number: WS279 Date: 23.08.2012 Customer: Siemens VAI Kind of test: 3-stage 480/750/760°C FINEX Target of the test: reduction behaviour of micropellets Test carried out by: Michael Skorianz				
Test information and results								
Gas supply (reduction phases)				Pressure test at 550 °C			Re-weight of input	
species	gas flow [Ndm ³]	content/unit [Ndm ³]	unit [pcs]	position	200 Ni/min [mbar]	400 Ni/min [mbar]	position	[g]
H2	7092,3	8900,0	0,80	Δp internal cyclone	2,3	5	bed	1947
H2O	3006,9	0,0	0,00	p retort outlet	973	1325	Int. cycl.	364
CO	17306,9	5900,0	2,93	Δp grid	9,4	25	ext. cycl. vor Start	38
CO2	11093,8	20300,0	0,55	p before grid	984	1355	ext. cycl. R3	7
CH4	0,0	12600,0	0,00	2 filter		1 filter	ext. cycl. R2	152
N2	4597,6	10700,0	0,43	Cleaning of grid before test		-	ext. cycl. R1	84
				Temperature sample after test		28 °C	sum ext. cycl.	281
sum	43097,6		4,7				Filter	12
							Rest	37
							sum re-weight	2641
Test progress: 3-stage 480/750/760°C FINEX								
								
comments								
<p>Ore drying 5 h at 105 °C. Micropellets in raw condition (green pellets). In R3 hardly any pellet disintegration. In R2 high discharge but hardly any pellet disintegration. In R1 discharge, but not identifiable, if pellets or ore. test ok</p> <p>The green pellets had a weak stability before the test and a very good stability after the test (factor > 10). 85 mass% of the initial weight of the pellets was found after the test. Including reduction and LOI, hardly any pellets disintegrated during the process. The grain size distribution is similar to the grain size distribution of a test with only the used ore.</p> <p>Illustration of RD-curve not possible, because of different chemical compositions and different LOI of the materials. Also the calculated RD by mass balance is wrong.</p>								
Copyright Chair of Metallurgy								

 <p>CHAIR OF METALLURGY MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN</p> <p>PRIMARY METALLURGY METALLURGICAL PROCESSES</p> <p>Web: http://www.metallurgy.ac.at</p>	<p>160 mm Fluidized Bed Reactor test Determination of grain size distribution</p>	
	<p>Test carried out by: Michael Skorianz</p> <p>Date: 23.08.2012 Customer: Siemens VAI</p>	<p>kind of sieving: wet dry x sieving method: three dimensional standard: apparatus: RETSCH AS 200 sieves size: 200 x 50 mm sieving time: 10 min. interval time: 10 sec. amplitude: 1,5 mm</p>
<p>Test number: WS279</p> <p>Kind of test: 3-stage 480/750/760°C FINEX</p> <p>Target of the test: reduction behaviour of micropellets</p> <p>Ore type 1: erzberg fine ore MUL2010/0009</p> <p>Ore type 2: micropellets ARP V10 (Versuch26) waterglass</p> <p>MUL sample number: MUL2010/0009</p> <p>VASL sample number: 0</p>		

sieve analysis - results

sieves	raw material		bed			Internal cyclone			bed + Internal cyclone			bed + Internal cyclone + discharge			summary	
	fraction	fraction	cum.	weight	fraction	cum.	weight	fraction	cum.	weight	fraction	cum.	weight	fraction	cum.	fraction change
[mm]	p3 [%]	Q3 [%]	m [g]	p3 [%]	Q3 [%]	m [g]	p3 [%]	Q3 [%]	m [g]	p3 [%]	Q3 [%]	m [g]	p3 [%]	Q3 [%]	Δp3 [%]	
4-6,3	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0
2,8-4	11,6	100,0	335,2	17,2	100,0	0,0	0,0	100,0	335,2	14,5	100,0	335,2	12,7	100,0	1,1	0
1,0-2,8	14,9	88,4	450,2	23,1	82,8	1,4	0,4	100,0	451,6	19,5	85,5	451,6	17,1	87,3	2,2	0
0,5-1,0	16,0	73,4	368,4	18,9	59,7	15,5	4,3	99,6	383,9	16,6	66,0	383,9	14,5	70,2	-1,5	0
0,25-0,5	17,4	57,4	352,5	18,1	40,7	27,1	7,4	95,4	379,5	16,4	49,3	379,5	14,4	55,7	-3,0	0
0,125-0,25	14,7	40,0	234,9	12,1	22,6	67,5	18,5	87,9	302,3	13,1	32,9	302,3	11,4	41,3	-3,3	0
0,063-0,125	25,3	25,3	177,6	9,1	10,6	156,5	43,0	69,4	334,2	14,5	19,8	334,2	12,7	29,9	-12,7	0
0-0,063	0,0	0,0	28,2	1,4	1,4	96,0	26,4	26,4	124,2	5,4	5,4	454,2	17,2	17,2	17,2	0
sum	100		1947	100		364	100		2311	100		2641	100		0	



Lebenslauf

Vorname: Daniel
Nachname: Köpplmayr

Heimatadresse: Forststrasse 21
4181 Oberneukirchen
Austria

Telefon: 0043 664 2107997
Email: daniel.koepplmayr@stud.unileoben.ac.at

Nationalität: Österreich
Geburtsdatum: 25.05.1986
Geschlecht: männlich

Schullaufbahn:

Seit Oktober 2006: Studium der Metallurgie an der Montanuniversität Leoben
14.06.2005 Reife und Diplomprüfung der Höheren Technischen Lehranstalt für chemische Betriebstechnik in Wels

2000 – 2005: Höhere Technische Lehranstalt für chemische Betriebstechnik in Wels

1996 – 2000: Hauptschule in Oberneukirchen
1992 – 1996: Volksschule in Oberneukirchen

Arbeitserfahrungen:

07/2011 – 09/2011 Ferialarbeit bei **ThyssenKrupp Steel Europe** in Duisburg
01/2011 – 06/2011 Studentischer Mitarbeiter am **Institut für Korrosion** an der Montanuniversität Leoben

04/2010: Werkstudent im Bereich Strangguss **voestalpine** Linz
07/2009 – 09/2009: Ferialarbeit **AUSTREX** (Oberneukirchen)
04/2008: Werkstudent im Bereich Strangguss **voestalpine** Linz
10/2008 – 6/2009: Tutor am **Institut für physikalische Chemie** an der Montanuniversität Leoben

07/2007 – 09/2007: Praktikum in Schweden bei **LKAB** (Malmberget)
05/2006 – 10/2006: Projektabwicklung in Rumänien (Cluj) für **AUSTREX**
09/2005 – 05/2006: Präsenzdienst beim Österreichischen Bundesheer

07/2005 – 09/2005: Ferialarbeit **AUSTREX**
07/2004 – 08/2004 Ferialarbeit in Birmingham bei **Triplefast International Limited**
07/2003: Ferialarbeit **Agrolinz**

Zusätzliche Anerkennungen:

Regionaler Gewinner der **Steeluniversity Challenge 2011/12** der Region Europa- GUS und Teilnahme am Finale in Brüssel, veranstaltet durch die Worldsteel Association

Veröffentlichungen:

- Köpplmayr, D. (Masterarbeit):
Untersuchung von Bindersystemen zur Agglomeration von Feinsteisenerzen
- Köpplmayr, D.; Riedler, M. (Bachelorarbeit):
Die Gewinnung von Cobalt aus Erzen und NiMH-Batterien
- Köpplmayr, D. (Bachelorarbeit):
H₂S- Beständigkeit von C- Stählen unterschiedlicher Festigkeiten

Zusätzliche Fähigkeiten und Kompetenzen:

Englisch in Wort und Schrift

Kenntnisse in Spanisch

EDV-Kenntnisse (Word, Excel, Power Point, Access, Zeichenprogramme z.B. CAD 3D)

Führerschein der Klasse B

Hobbies und Interessen:

Sport (Skifahren, Fußball, Mountainbiken, Schwimmen, Laufen, Volleyball)

Lesen

Charaktereigenschaften und soziale Kompetenzen:

pünktlich, verlässlich, teamfähig, zielstrebig, belastbar, sehr flexibel, geduldig,
ich übernehme gerne Verantwortung für mich und andere, ich teile eine Vorliebe für
herausfordernde und abwechslungsreiche Tätigkeiten