

Pelletierung von Magnetkonzentraten aus der mineralselektiven
magnetisierenden Blitzröstung

Diplomarbeit eingereicht am Institut für Aufbereitung und Veredlung



von Thomas Plochberger

Leoben, 13. September 2007

Betreuer Institut für Aufbereitung
und Veredlung:

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Andreas Böhm

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, die vorliegende Arbeit selbst, und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel, durchgeführt zu haben.

Thomas Plochberger
Leoben, September 2007

Danksagung

Zu Beginn bedanke ich mich bei meiner Familie nicht nur für die finanzielle, sondern vor allem auch für die moralische Unterstützung während der letzten Jahre. Ich möchte die Gelegenheit nutzen, um auch meiner Freundin Christine zu danken, die mein Studium mit großer Geduld ertragen hat. Des Weiteren gilt mein Dank Hrn. DI Dr. mont. Andreas Böhm für die geduldige Betreuung meiner Diplomarbeit, die stets interessanten, fachlichen Gespräche sowie die wertvollen Hinweise zur Arbeit, die letztendlich zu den vorliegenden Ergebnissen führten.

Bedanken möchte ich mich auch bei den restlichen Mitarbeitern des Institutes für Aufbereitung und Veredlung für die stets hilfreichen Hinweise zur Handhabung der Labor- und Technikumseinrichtungen.



Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	7
2 Zusammenfassung	8
3 Grundlagen der Pelletierung	11
3.1 Vergleich mit anderen Möglichkeiten der Agglomeration	11
3.2 Herstellung von Grünpellets	12
3.2.1 Physikalische Haftkräfte	13
Adhäsionskräfte	13
Kapillarkräfte	13
Viskosität	15
3.2.2 Aufgabedispersität	17
3.2.3 Bindemittleinsatz	17
Bentonit	18
Calciumhydroxid	22
Organische Bindemittel	23
3.2.4 Pelletieraggregate	25
Pelletiertrommel	25
Pelletierteller	26
Vergleich von Pelletiertrommel und -teller	30
3.3 Trocknung und Sinterung der Pellets	32
3.3.1 Trocknung	32
3.3.2 Sinterung der Pellets	34
3.3.3 Aggregate	36
Schachtofen	36
Wanderrost - Drehrohrföfen	38
Wanderrost	40
Steel Belt Sintering	41
3.4 Qualitätsmerkmale	42
3.4.1 Grünpellets	42
3.4.2 Getrocknete Pellets	43



3.4.3	Gebrannte Pellets	43
4	Aufgabematerialien	44
4.1	Merkmalsklassenanalyse der Magnetprodukte	44
4.1.1	Magnetprodukt MP 01-02	46
4.1.2	Magnetprodukt MP 18-19	51
4.1.3	Magnetprodukt MP 06-07	56
4.1.4	Aufgabe Pelletierung Nisna Slana	61
4.1.5	Zusammenfassung und Vergleich der Merkmalsklassenanalysen	66
4.2	Mineralogische Untersuchung der Magnetprodukte	70
4.3	Mahlung der Magnetprodukte	77
4.3.1	Magnetprodukt MP 01-02	78
4.3.2	Magnetprodukt MP 18-19	79
4.3.3	Magnetprodukt MP 06-07	82
4.3.4	Zusammenfassung der Mahlbarkeitsuntersuchungen	84
4.4	Zuschläge	86
4.5	Zusammenfassung Einsatzstoffe	86
4.6	Bindemittel	88
4.6.1	Calciumhydroxid	89
4.6.2	Bentonite	89
4.6.3	Metylan	90
4.6.4	Carboxymethylcellulose	91
5	Durchführung der Pelletiersuche	93
5.1	Herstellung von Grünpellets	95
5.1.1	Kleinversuche	95
5.1.2	Kontinuierliche Versuche	97
5.2	Qualitätskontrolle der Grünpellets	101
5.3	Trocknung der Pellets	102
5.4	Brennen der Pellets	102
5.5	Druckfestigkeit der gebrannten Pellets	103



6	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	105
6.1	Magnetprodukt MP 01-02	107
6.1.1	Versuche ohne Bindemittel	108
6.1.2	Versuche mit Calciumhydroxid als Bindemittel	111
6.1.3	Versuche mit Bentonit als Bindemittel	111
6.1.4	Versuche mit organischen Bindemitteln	112
6.1.5	Ferromagnetischer Einfluss	114
6.2	Magnetprodukt MP 18-19	116
6.2.1	Versuche mit sardischem Bentonit	117
6.2.2	Versuche mit organischen Bindemitteln	118
6.3	Magnetprodukt MP 06-07	120
6.3.1	Chargenversuche	121
6.3.2	Einsatz des Pflugscharmischers	122
6.3.3	Kontinuierliche Versuche	123
6.4	Resümee	125
7	Anlagenauslegung	127
7.1	Berechnung des spezifischen Energieeintrages Δe	127
7.2	Auslegung eines Pelletiertellers	128
7.3	Diskussion	130
A	Arbeitsanleitung für Pelletierkleinversuche	139
B	Arbeitsanleitung für hydraulische Stempelpresse	142
C	Schüttgewicht	144
D	Pelletiererergebnisse	145
E	Reisebericht Sardinien	146



1 Aufgabenstellung

Am steirischen Erzberg wird derzeit Spateisenstein als Wertmineral und Ankerit als Begleitmineral abgebaut. Durch selektive Röstung gelingt es den Spateisenstein in ferromagnetische Eisenoxyde umzuwandeln. Diese magnetisierende Röstung erlaubt eine Abtrennung vom Ankerit durch Schwachfeldmagnetscheidung. Zur weiteren Verwendung im Hochofen muss das feinkörnige Magnetprodukt agglomeriert werden.

In der Arbeit soll das Pelletierverhalten des teilentsäuerten Magnetproduktes beschrieben, und eine erste Rezeptur für hochofentaugliche Pellets erarbeitet werden. Orientierende Untersuchungen zeigten, dass Erfahrungswerte aus Magnetit, Hämatit und Limonit für diesen Erztypus nicht aussagekräftig sind.

Besonderes Augenmerk ist dem Rest - CO_2 - Anteil und der Rissstruktur der Erzkörner zu schenken. Für die Erfüllung der Aufgabenstellung sind folgende Punkte notwendig:

1. Inbetriebnahme eines Pelletierversuchsaufbaus, der zu reproduzierbaren Pelletierergebnissen führen soll.
2. Beschreibung der pelletierungsrelevanten Eigenschaften der Magnetprodukte durch Merkmalsklassenanalysen.
3. Variation der Parameter: Art der Aufgabeprobe, Dispersität, Wassergehalt und Bindemittelinsatz in Chargenversuchen, um Pellets von ausreichender Qualität zu erzeugen.
4. Mit den als optimal erachteten Parametern sind energiekontrollierte kontinuierliche Versuche durchzuführen. Die erhaltenen Werte werden für eine erste Abschätzung der Größe einer großtechnischen Anlage herangezogen.



2 Zusammenfassung

Die Merkmalsklassenanalyse der drei eingesetzten Stundenproben ergab, als Abbild der Verfahrenseinstellungen des Röstprozesses, unterschiedliche physikalische Eigenschaften. Die Mittelwerte über die untersuchten Kornklassen sind zusammengefasst in nachstehender Tabelle angeführt:

Merkmal	MP 01-02	MP 18-19	MP 06-07	
Dichte:	4,185	4,223	4,123	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$
Äquivalenter Magnetitgehalt:	33,24	40,88	28,30	[%]
Restglühverlust bei 900°C:	6,622	4,236	9,297	[%]
Kornformfaktor:	22,66	18,23	22,02	[–]
innere Oberfläche:	27,35	13,99	33,80	$\left[\frac{m^2}{g}\right]$

Ein hoher Anteil an ferromagnetischen Bestandteilen hatte einen geringen Glühverlust, sowie eine ebensolche innere Oberfläche zur Folge. Der Zusammenhang zwischen geringer innerer Oberfläche und hohem Durchröstungsgrad konnte mit Hilfe einer mineralogischen Untersuchung im Auflichtmikroskop erklärt werden (siehe Kapitel 4.2). Je höher die Temperatur im Röstaggregat ist, desto größer sind die Risse innerhalb der Erzkörner, feine verzweigten Risse treten in den Hintergrund. Des Weiteren kommt es bei höheren Temperaturen zu einem teilweisen *Zuschmelzen* der Risse. Die grobe, teilweise zugeschmolzene, Rissstruktur führt zu einer geringeren inneren Oberfläche. Den mikroskopischen Befund und die Messungen der inneren Oberfläche stützt auch die verringerte Mahlbarkeit bei geringerer innerer Oberfläche der Ausgangsprodukte (siehe Tabelle 39).

Folgende Parameter wurden zur Beschreibung der Pelletqualität herangezogen:

- Dropfestigkeit (DF)
- Schockfestigkeit (HRST; 10 Minuten bei 700°C)
- Druckfestigkeit σ_D der gebrannten Pellets (1200°C, 1 Stunde)
- Qualität der Pelletoberfläche

Eine genaue Beschreibung der Qualitätsmerkmale erfolgt in Kapitel 3.9.

Die Chargenversuche ergaben, dass bei hohen Glühverlusten ein bindemittelloser Betrieb, zur Erzielung ausreichender Grünfestigkeiten, nicht möglich ist. Es besteht ein direkter Zusammenhang



zwischen den physikalischen Eigenschaften des Röstproduktes und den erreichbaren Pelletqualitäten. Die Vollständigkeit der Röstung hat dabei insbesondere großen Einfluss auf die thermische Beständigkeit der Grünpellets.

Die zu berücksichtigenden Faktoren sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst:

Einflussfaktor	DF	HRST	σ_D	Pelletoberfläche
große Aufgabefeinheit:	↗	↘	↗	↗
breite Korngrößenverteilung:	↘	↗	↘	↘
hoher Restglühverlust:		↘	↘	
Organische Bindemittel:	↗			↗
Bentonit:	↗	↗		

Die entscheidende Eigenheit des behandelten Erztypus ist der Zusammenhang zwischen Aufgabefeinheit und Restglühverlust. Eine Kombination aus hohem Restglühverlust sowie feiner Aufgabedispersität führt zu geringer thermischer Beständigkeit. Die logische Reaktion auf diese Problematik wäre eine gröbere Aufgabedispersität. Diese führt jedoch zu schlechten Grünfestigkeiten. Hier kann jedoch der Einsatz von organischen bzw. anorganischen Bindemitteln Abhilfe schaffen. Es zeigte sich, dass die Kombination aus organischem Bindemittel in Form von Carboxymethylcellulose (CMC) und geeigneter Aufgabedispersität zu guten Qualitäten führt (siehe Kapitel 6.3).

Die bei den Chargenversuchen erlangten Erkenntnisse wurden, zur Erzielung größerer Pelletmengen, in kontinuierlichen Versuchen eingesetzt. Dabei ergab sich die große Bedeutung einer guten Homogenisierung von Wasser, Bindemittel und Feststoff. Bei kontinuierlichen Versuchen kann eine bessere Homogenisierung erzielt werden als bei den Kleinversuchen.

Die im kontinuierlich Versuch erarbeiteten Pelletqualitäten ohne Einsatz von Bindemitteln ergaben bei einer Dispersität von $3319 \frac{cm^2}{g}$ und einem Wasserverbrauch von 14,81%, eine Dropfestigkeit von 4,8, eine Schockfestigkeit von 100% und eine Druckfestigkeit der gebrannten Pellets von 1789N.

Bei den kontinuierlichen Versuchen wurde die Leistungsaufnahme gemessen und mit dieser der notwendige Energieeintrag bestimmt. Dieser stimmte mit Angaben aus der Literatur überein (siehe Kapitel 7.2). Mit den erlangten Werten erfolgte eine Abschätzung einer großindustriellen Pelletieranlage. Hierbei handelt es sich ausdrücklich um eine Vorauslegung, die teilweise auf Schätzwerten beruht. Bei einer Anlagenauslastung von 90% und einer Geamtanlagengrate an Trockenerz



von $192,6 \frac{t_o}{h}$, sind drei Pelletierteller mit nachfolgenden technischen Daten notwendig.

Durchmesser:	6	m
Randhöhe:	1,32	m
Neigungswinkel:	55	$^{\circ}$
kritische Drehzahl:	15,62	$\frac{U}{min}$
relative Drehzahl:	0,7	
betriebene Drehzahl:	10,94	$\frac{U}{min}$

3 Grundlagen der Pelletierung

In diesem Kapitel sollen einige theoretische Grundlagen des Pelletierprozesses erläutert werden. Dabei soll vorab ein allgemeiner Überblick über wirkende Kräfte, Bindemittelseinsatz, notwendige Ausrüstung und Qualitätsmerkmale gegeben werden. Auf die Eigenheiten des im weiteren Verlauf untersuchten Erztypes wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

3.1 Vergleich mit anderen Möglichkeiten der Agglomeration

Die Verfahren der Agglomeration werden in die drei folgenden Gruppen eingeteilt [1]:

- Pelletieren: Dabei wird feinstdisperses Aufgabegut in Trommeln oder Tellern unter Zugabe von Wasser sowie gegebenenfalls Bindemitteln zu Agglomeraten aufgebaut (Aufbauagglomeration).
- Brikettieren: Die Haftung der Ausgangskörnung wird durch Druck, Temperatur und Bindemittelseinsatz hervorgerufen. Hierbei handelt es sich um die s.g. Pressagglomeration.
- Sinterung: Durch Wärmezufuhr von außen wird ausreichend Energie zugeführt um die Einsatzstoffe an der Oberfläche aufzuschmelzen. Dadurch kommt es zur Ausbildung von Feststoffbrücken. Bei der Sinterung handelt es sich somit um eine thermische Agglomeration.

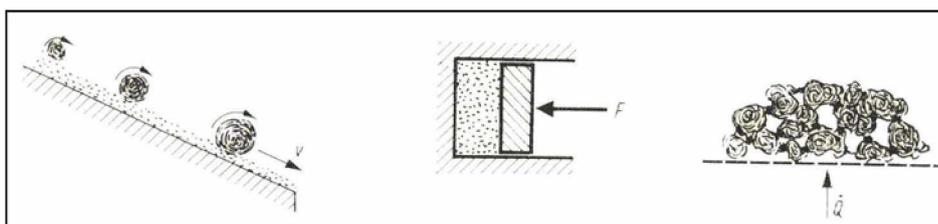


Abbildung 1: links: Aufbauagglomeration, Mitte: Pressagglomeration, rechts: thermische Agglomeration

Eisenerz - Pellets:

Als Einsatzstoffe im Hochofen sind neben Stückerzen vor allem Sinter und Pellets in Verwendung. Während Pelletieranlagen meist am Abbauort anzutreffen sind, befinden sich Sinteranlagen am Ort der Hütte. Der Grund dafür liegt in der Vorgeschichte des Aufgabegutes. Bei der Pelletierung kommen vor allem fein verwachsene Erztypen zur Anwendung. Diese müssen je nach Verwachsung



bis zu feinsten Korngrößen zerkleinert werden. Typisch dafür sind zum Beispiel itabiritische Eisenerze aus Brasilien, welche durch Flotation von Quarz abgeschieden werden. Flotationsprodukte weisen Korngrößen von $< 200 \mu\text{m}$ auf. Feine Schüttgüter führen zu unwirtschaftlichen Transportbedingungen und müssen deshalb agglomeriert werden.

Beim Sinterprozess hingegen kommen Feinerze, welche aufgrund der natürlichen Bruchcharakteristik anfallen, zum Einsatz. Diese sind am Markt billig verfügbar und werden mit weiteren Einsatzstoffen (Schlackenbildnern und Kreislaufstoffen) gemischt. Somit sind im Sinterprodukt bereits weitere Hochofenzuschlagsstoffe beinhaltet, während Pellets normalerweise nur die Funktion des Eisenträgers übernehmen.

Im Vergleich zu Sinter handelt es sich bei Pellets um einen fertigen Hochofeneinsatzstoff. Die Nachteile von Pellets gegenüber Sinter sind die höheren Kosten und die schlechtere Reduzierbarkeit. Bei Vorhandensein einer Sinteranlage besteht die Möglichkeit Hüttenkreislaufstoffe wieder dem Hochofen rückzuführen.

Alternativ zur Pelletierung besteht die Möglichkeit Feinsterze zu brikettieren. Aufgrund des hohen Energieaufwandes bzw. der geringen Durchsatzraten ist dies jedoch nur bedingt wirtschaftlich möglich.

3.2 Herstellung von Grünpellets

Um hochofentaugliche Pellets zu erzeugen sind die Prozessschritte Gutvorbereitung - Pelletieren - Trocknen und Brennen notwendig. Unter Gutvorbereitung ist vor allem die Gewährleistung einer ausreichend hohen Aufgabedispersität gemeint. Ist diese nicht von vornherein gegeben, muss sie durch Mahlung vor der Pelletierung erzeugt werden.

Im folgenden sollen die Faktoren erläutert werden, die zu Grünpellets von ausreichender Festigkeit führen:

- Physikalische Haftkräfte
- Aufgabedispersität
- Bindemittleinsatz

Diese Faktoren können in materialabhängige und -unabhängige eingeteilt werden. Die Intensität von physikalischen Haftkräften hängt hauptsächlich vom eingesetzten Material ab und kann in den meisten Fällen nicht beeinflusst werden. Die Herstellung einer bestimmten Aufgabedispersität



sowie der Einsatz von Bindemitteln ist materialunabhängig. Die drei Faktoren müssen aufeinander abgestimmt werden, um Produkte von hoher Qualität und Wirtschaftlichkeit zu erzeugen. So kann z.B. ein höherer Bindemittleinsatz gröbere Aufgabedispersitäten möglich machen. Wirtschaftlich sinnvoll ist dies jedoch erst, wenn die geringeren Mahlkosten nicht durch höhere Bindemittelkosten aufgewogen werden.

3.2.1 Physikalische Haftkräfte

Bei der Pelletierung bildet sich ein 3 - Phasensystem bestehend aus der aufgegebenen Flüssigkeit (normalerweise Wasser), dem Aufgabematerial und Luft. In diesem System wirken verschiedene physikalische Haftkräfte.

Adhäsionskräfte Unter Adhäsion ist die Wechselwirkungskraft zwischen zwei unterschiedlichen Stoffen gemeint. Zustande kommt diese vor allem aufgrund von Van-der-Waals - Kräften, elektrostatischen sowie magnetischen Kräften. Aufgrund des ferromagnetischen Charakters der untersuchten Erzproben könnte die Remanenz einen Einfluss auf die Bildung und Festigkeit von Grünpellets haben. Dahingehende Versuche werden in einem der folgenden Kapitel beschrieben. Van-der-Waals- bzw. elektrostatische Kräfte dürften eine untergeordnete Rolle spielen, da vor allem erstere mit dem Quadrat des Abstandes der betrachteten Partikel abnehmen.

Kapillarkräfte Kapillarkräfte entstehen nur bei Vorhandensein eines drei - Phasenkontaktes. Nur bei Vorhandensein der Phasen Luft, Flüssigkeit und Feststoff kommt es zur Entstehung von Kapillarkräften. Die Feuchtigkeit der Feststoffaufgabe hängt von der Vorgeschichte des Gutes ab. Beim untersuchten Erztyp handelt es sich um einen trockenen Prozess. In den meisten Fällen besitzt das Aufgabegut jedoch bereits eine gewisse Feuchte, die von vorgelagerten Prozessen herrührt. Unabhängig von der Anfangsfeuchte verläuft die Pelletbildung in folgenden Schritten (siehe Abb. 2):

Das Aufgabegut wird Pelletiertellern oder -trommeln aufgeben und je nach Aufgabefeuchte ist dieses bereits mit Wasser benetzt, bzw. geschieht dies durch die Zugabe von Frischwasser. Kapillarkräfte sind verantwortlich, dass diese benetzten Partikel sich miteinander vereinigen (Zustand B). Nach [4] kommt es zur Ausbildung einer Wasserbrücke. Die in diesem Bereich übertragbare Haftkraft ist von folgenden Parametern abhängig:

- Geometrischen Gegebenheiten wie der Korngröße und dem Partikelabstand a

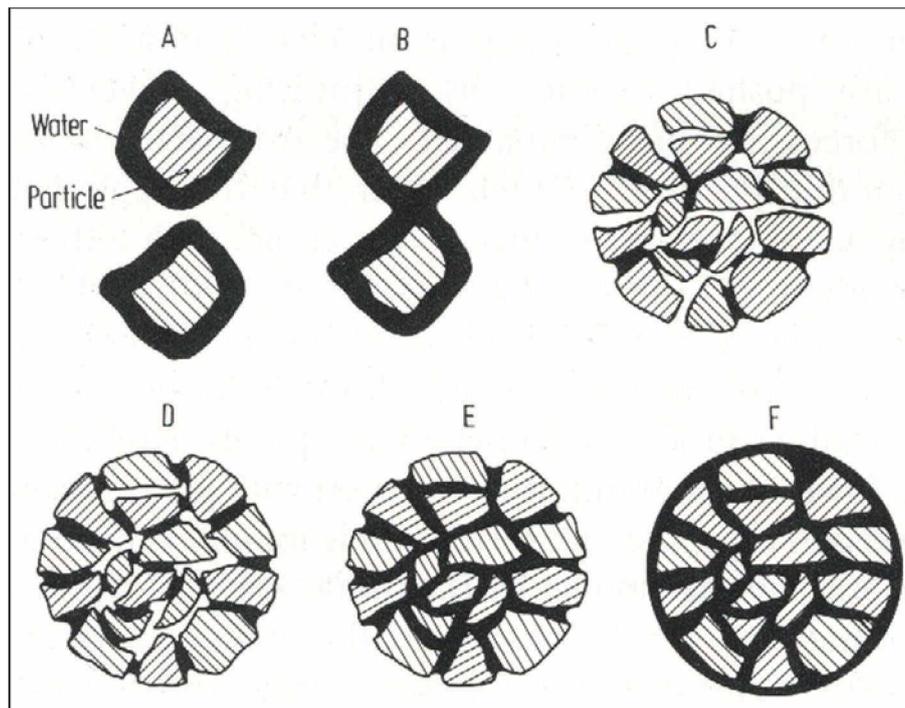


Abbildung 2: Entstehungsstadien bei der Herstellung von Grünpellets [3]

- Oberflächenspannung γ der Flüssigkeit
- Oberflächeneigenschaften der Körner. Damit ist vor allem die Benetzbarkeit des betreffenden Minerals gemeint. Bei hydrophoben Mineralen kann der Grenzwinkel δ zu groß werden um tragfähige Brücken zu bilden. Bei den noch zu beschreibenden Pelletierversuchen wurde Koks als Zuschlag dem Aufgabegut hinzugemischt. Da dieser eine gewisse Neigung zur Hydrophobie hat, bestand zunächst die Sorge, dass sich dies festigkeitsmindernd auswirken könnte.
- Viskosität der Flüssigkeit: Auf diese und damit verbundenen Kräften wird noch in diesem Kapitel eingegangen.

Durch Abrollen der benetzten Partikel kommt es zu Keimen, welche noch relativ lose durch Wasserbrücken zusammengehalten werden (Zustand C). Durch die äußere mechanische Belastung, welche durch das Abrollen auf diese Keime wirkt, werden diese nach und nach komprimiert. Weitere Wasserzugabe führt zu einem gewissen Sättigungsgrad S der freien Poren. Unter diesem versteht man

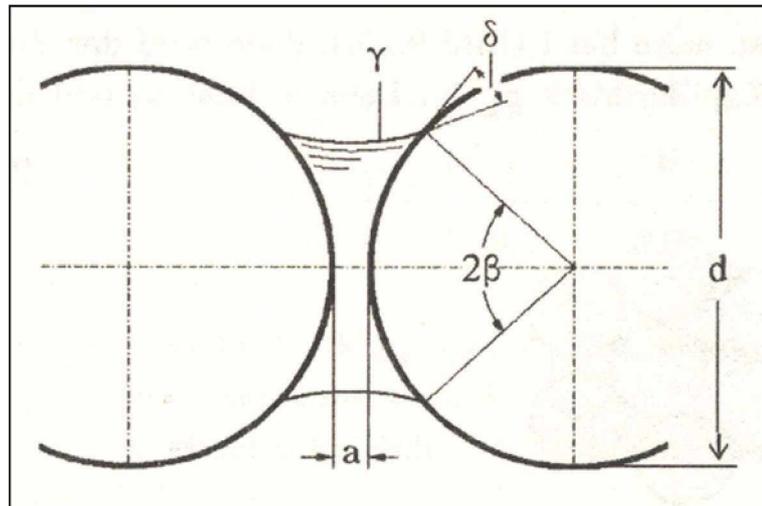


Abbildung 3: Flüssigkeitsbrücke zwischen 2 Partikeln [4]

das Verhältnis von Flüssigkeitsvolumen V_{H_2O} zu Hohlraumvolumen V_L :

$$S = \frac{V_{H_2O}}{V_L} \quad (1)$$

Die Bedeutung dieses Sättigungsgrades ist in Abbildung 4 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Festigkeit der Pellets bis zu einem gewissen Maximum ansteigt. Bei diesem sind sämtliche Poren mit Wasser gefüllt. Wie bereits erwähnt ist für das Entstehen von Kapillarkräften jedoch ein 3 - Stoffsystem notwendig. Wird zuviel Wasser zugegeben können keine Kapillarkräfte mehr wirken und es kommt zu einem raschen Absinken der Festigkeit. Wieviel Wasser anteilmäßig notwendig ist, um dieses Maximum zu erreichen, kann nur durch Versuche für jeden einzelnen Erztyp, ermittelt werden.

In Abbildung 5 sind verschiedene Aufgaberohstoffe angeführt. Magnetit benötigt demnach die geringsten Mengen an Wasser, um ausreichende Festigkeiten zu erreichen. Bei Nummer 4 handelt es sich um künstlich, durch Röstung von Pyrit, gewonnen Magnetit. Bei diesem beträgt der notwendige Wassergehalt mehr als das Doppelte als bei natürlichen Magnetit. Dies liegt vermutlich an der porösen Struktur dieses Röstproduktes.

Viskosität Die Viskosität der Flüssigkeit, welche sich in den Poren befindet, hat ebenfalls Einfluss auf die Festigkeit der Grünpellets. Es wurden zahlreiche Versuche mit organischen Lösungen durchgeführt. Neben der bindenden Wirkung der enthaltenen Makromoleküle, auf welche noch später eingegangen wird, kommt es durch eine höhere Viskosität zu einer größeren notwendigen

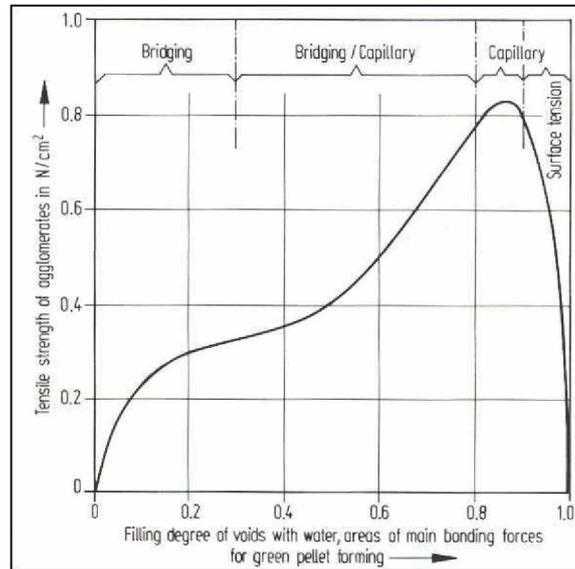


Abbildung 4: Einfluss des Sättigungsgrades S auf die Zugfestigkeit der Agglomerate [3]

No.	Type of ore	% Fe about	Degree of grinding		% H ₂ O	Crushing strength pellet		Pellet ϕ
			% -0.045 mm	spec. surface area/cm ² /g		wet	dry	
1	Magnetite	68.3	70	2000	7.1	11	7	12 – 15
2	Hematite	66	90	1900	9.0	13	3	12 – 15
3	Earthy Hematite	65	74	2050	10.5	14	30	12 – 15
4	Artificial Magnetite from Pyrite-cinders	69	90	1900	15.0	11	4	abt. 20
5	Flotation Pyrite-cinders	61	60	2800	14.2	23	45	18 – 20

Abbildung 5: Angaben zu Dispersität, Wassergehalt und Pelleteigenschaften für unterschiedliche Eisenerztypen [3]



Kraft um die Körner voneinander abzuscheren. Die dynamische Viskosität η ist direkt proportional zur dafür notwendigen Kraft. Wasser hat bei 25°C eine dynamische Viskosität von 0,891 *mPas*. Bei den organischen Lösungen wurden bei geringem Schergefälle Viskositäten von bis zu 200 *mPas* erreicht.

3.2.2 Aufgabedispersität

Korngrößenverteilung sowie spezifische Oberfläche sind mit Sicherheit Parameter, die großen Einfluss auf Pelletbildung und deren Festigkeit haben. Eine größere Kornoberfläche führt zu mehr Kontaktstellen an denen sich Flüssigkeitsbrücken bilden können. Dies hat nicht nur Auswirkungen auf die Endfestigkeit sondern auch auf die Geschwindigkeit mit der sich Pellets bilden. Je schneller diese sich bilden desto länger ist die Verweilzeit im betreffenden Aggregat. Aufgrund von zusätzlicher Kompaktierung wirkt sich eine längere Verweilzeit positiv auf die Gründruckfestigkeit aus. Jedoch ist nicht nur die spezifische Oberfläche von Bedeutung, sondern auch die Korngrößenverteilung. In den Versuchsergebnissen zeigte sich, dass das Ausmaß der Oberfläche direkt proportional zur Festigkeit der Pellets ist. Eine zu feine Aufgabe führt nach [5] jedoch zu Problemen bei nachgelagerten Prozessen. Bei der Trocknung *verlassen* bis zu 18 % der Gesamtmasse das Pellet in Form von Wasserdampf. Bei zu dichter Packung der Körner innerhalb des Pellets fehlt es an Wegen in die Umgebung für den gebildeten Wasserdampf. Somit ist ein gewisser Anteil grober Körner notwendig.

Die ideale Korngrößenverteilung einer Pelletieraufgabe folgt der Funktion:

$$100 = D \cdot \left(\frac{k_{max}}{k} \right)^{0,5} \quad (2)$$

Dabei handelt es sich um die s.g. Fullerkurve, welche Bedeutung in der Betonzuschlagsstoffindustrie hat. Folgt eine Korngrößenverteilung der Fullerkurve erreicht man die maximale Packungsdichte.

Die Maximalkorngröße k_{max} sollte bei Pelletieraufgaben in einem Bereich $<315\mu m$ liegen. Über den GGS - Exponenten $n = 0,5$ wird gewährleistet, dass die Kornverteilung ausreichend breit getreut ist und es somit zu keinen zu dichten Körnerpackungen kommt.

3.2.3 Bindemittleinsatz

Auch wenn es bei bestimmten Erztypen nicht notwendig ist, müssen in den meisten Fällen Bindemittel eingesetzt werden, um ausreichend große Festigkeiten der Grünpellets zu erreichen. In



dieser Arbeit wird zwischen Bindemittel und Zuschlag unterschieden. Unter Bindemittel werden all jene Stoffe verstanden, die zu einer Erhöhung der Festigkeitswerte führen. Zuschläge haben viel mehr die Aufgabe Eigenschaften des Pellets für den nachfolgenden Prozess günstig zu beeinflussen. Bei den durchgeführten Versuchen diente Koks als Zuschlag, um die Energiekosten beim Brennvorgang gering zu halten. Es wird jedoch in manchen Fällen auch Kalk und Dolomit hinzugegeben, welche im Hochofen als Schlackenbildner dienen.

Im Folgenden soll nur auf die in den Versuchen verwendeten Bindemittel näher eingegangen werden. Dabei wird zwischen zwei Gruppen unterschieden:

- Anorganische Binder: Bentonit und Kalkhydrat
- Organische Binder: Carboxymethylcellulose und Metylan

Bentonit Bei Bentonit handelt es sich um jenes Bindemittel, welches am häufigsten eingesetzt wird.

Mineralogie

Bentonite sind unverfestigte Sedimentgesteine [7]. Es handelt sich um silikatische Tonminerale, welche in der Gruppe der Schichtsilikate zu finden sind. In Abbildung 6 ist die Kristallstruktur von Montmorillonit dargestellt, welcher das Hauptmineral des Gesteins Bentonit ist. Montmorillonit besteht aus 2 SiO_4 Tetraedern, die in 6-er Ringen angeordnet sind, und dazwischen liegenden Oktaedern. Die Oktaeder haben den Aufbau $[M(O,OH)_6]$ und teilen sich Sauerstoffionen mit den Tetraederspitzen. M steht hier für das Metallkation, welches zunächst meist 3-wertig ist. Montmorillonite entstehen durch Austausch des 3-wertigen Kations durch zweiwertiges Magnesium. Durch das frei werdende Elektron gelangen die Schichtpakete zunächst in einen geladenen Zustand. Um diese Polarität auszugleichen, wirken Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} oder H^+ als Kationen zwischen den Schichten. Welches dieser Kationen zwischen den Schichten eingelagert wird, hängt von der Genese ab. Bentonite werden unter anderem danach eingeteilt. Na - Bentonite kommen in Nordamerika vor und werden als *Wyoming - Typ* bezeichnet, während in unseren Breiten eher Ca - Bentonite zu finden sind.

Durch das zweiwertige Ca bzw. Mg werden die Schichten stärker zusammengehalten als durch das einwertige Na. Die Grundlage für die industrielle Anwendung von Bentonit ist sein Quellvermögen. Durch das Einlagern von Wassermolekülen zwischen den Schichten breiten sich diese auf ein Vielfaches aus. Bei Ca und Mg - Bentoniten ist dieses Quellvermögen um einiges geringer als bei Na - Bentoniten. Nach [6] nimmt die Quellfähigkeit nach folgender Reihe zu: Mg - Ca - K - Na

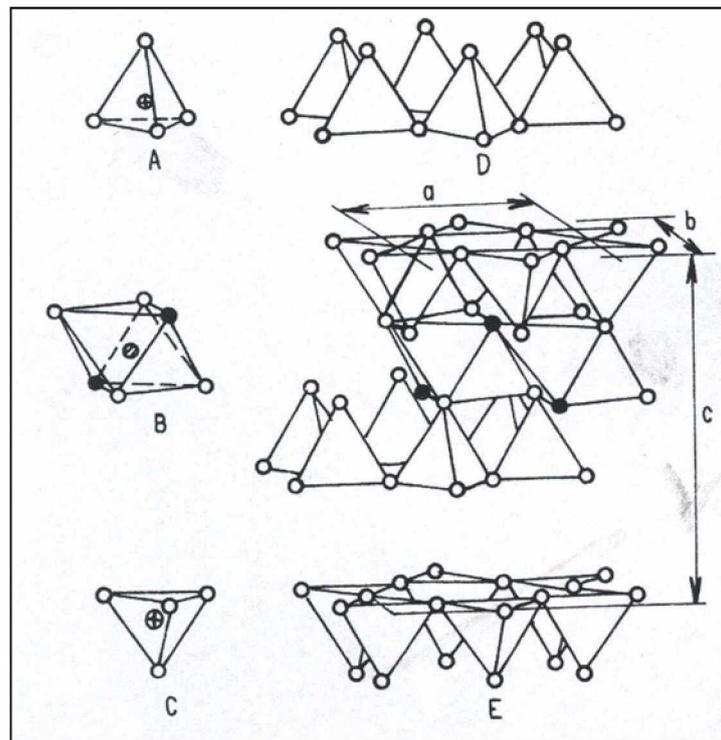
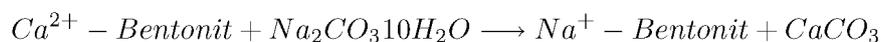


Abbildung 6: Mineralogischer Aufbau von Montmorillonit; A - Tetraeder, B - Oktaeder [6]

Aufbereitung

Die wichtigste Eigenschaft von allen Bentoniten ist die Fähigkeit Kationen auszutauschen. Den künstlichen Austausch bezeichnet man als Aktivierung. Im folgenden soll nur die hier bedeutendere alkalische Aktivierung erläutert werden, bei der Ca bzw. Mg - Bentonite in quellfähige Na - Bentonite umgewandelt werden.



Ca - Bentonit wird mit Soda zur Reaktion gebracht. Die Na - Atome verdrängen die Ca - Atome, lagern sich in das Montmorillonitgitter ein und es entsteht Na - Bentonit. Als Nebenprodukt fällt amorpher Kalk aus.

Technisch geschieht die Aktivierung mit Soda auf verschiedene Art und Weise:

- *Feldaktivierung:* Dabei wird nach [7] eine notwendige Menge an Soda über den in Shreddern vorzerkleinerten Bentonit geschüttet und durch Umschütten vermischt. Die 30 - 50cm starken Schichten werden einige Male durchmischt und danach in Trommel- oder Fließbettrocknern getrocknet.



- Standardverfahren: Dabei wird der auf eine Korngröße von 3 - 5 cm vorzerkleinerte Rohbentonit Doppelwellenmischern aufgegeben und intensiv mit Soda vermischt. Die Verweilzeit beträgt ca. 10 Minuten und der aktivierte Bentonit wird über Lochbleche ausgetragen.
- In Brasilien findet die alkalische Aktivierung teilweise während der Mahlung, direkt vor der Pelletierung statt. Der Rohbentonit wird dabei dem zu pelletierenden Erz zusammen mit der notwendigen Sodamenge zugegeben. Während des Mahlprozesses kommt es zur Aktivierung. Diese Methode hat den Vorteil einer intensiven Durchmischung, wie er bei Mahlvorgängen zustande kommt, und desweiteren kommt es zu Ersparnissen bei Anlageninvestitionen.

Einfluss des Bentonits auf das Pelletierergebnis

Der aktivierte Bentonit ist feinstdispers im Aufgabegut vermischt und kommt im Pelletieraggregat in Kontakt mit Wasser. Dieses lagert sich in das Bentonitkristallgitter ein und es bildet sich eine schmierige bzw. klebrige Suspension. Zudem kommt es zu einer Erhöhung der Viskosität und dadurch zu einer größeren Kohäsion zwischen den Erzkörnern.

Bentonit hat jedoch nicht nur Einfluss auf die Grün- sondern auch auf die Trockenfestigkeit. Durch die Einlagerung der Wassermoleküle in das Bentonitgitter verdampfen diese erst bei höheren Temperaturen [6]. Ist das Wasser ausgetrieben, bilden sich zwischen den Körnern tragfähige Feststoffbrücken, die die Trockenfestigkeit erhöhen. Die Menge an eingesetzten Bentonit beträgt je nach Festigkeitsanforderung bis zu zwei Masseprozent.

Bentonitanalyse

Bentonit besitzt im bergfeuchten Zustand eine Feuchte von ca. 30%. Somit ist eine Abgrenzung gegenüber anderen Tonmineralien, die eine Bergfeuchte von ca. 15% besitzen, möglich.

Eine weitere Analysenmöglichkeit beschränkt sich auf die Bestimmung des Montmorillonitgehaltes im Bentonit. Durch Titration einer Bentonitsuspension mit Methylenblau wird das Kationenaustauschvermögen bestimmt. Bei Sättigung der untersuchten Trübe sind demnach alle austauschbaren Kationen durch Methylenblaukationen ersetzt worden. Der genaue Versuchsablauf ist in [7] beschrieben. Bei der Methylenblau - Methode handelt es sich um eine indirekte Methode, deren Genauigkeit stark vom verwendeten Bentonit abhängt. Direkte Verfahren zur Bestimmung des Montmorillonitgehaltes sind nicht möglich.

Die chemischen Analysenergebnisse verschiedener Bentonite sind in Abbildung 7 dargestellt. Neben der Feuchtebestimmung gibt es ein weiteres Schnellverfahren, um die Qualität des Bentonites zu bestimmen. Dabei handelt es sich um das s.g. Sofortquellvolumen. Dabei werden 2 g Trockensubstanz des trockenen Bentonits eingewogen. Beinhaltet der Bentonit noch Restfeuchte muss diese



Typische Chemische Analyse von Bentoniten aus Industriell bedeutenden Abbaugeländen				
	Wyoming (USA)	Milos (Griechenland)	Bayern (Deutschland)	Sardinien (Italien)
SiO ₂	63,1	58,4	59,3	62,1
Al ₂ O ₃	21,1	19,7	18,9	21,4
Fe ₂ O ₃	3,65	5,3	5,5	4,6
CaO	0,65	4,5	4,9	2,6
MgO	2,67	3,9	5,9	4,3
Na ₂ O	2,2	3,2	2,5	3,1
K ₂ O	0,37	0,7	1,4	0,5

Angabe in Masse - % nach Herstellerangaben

Abbildung 7: Chemische Analyse verschiedener Bentonite [7]

in die Aufgabemenge eingerechnet werden. Desweiteren wird ein Standzylinder mit 100 ml Fassungsvermögen benötigt. Dieser wird bis zur oberen Messmarke aufgefüllt, um danach den Bentonit in Kleistmengen mit einer Spatel dem Standzylinder aufzugeben. Bei Wasserkontakt lagern sich sofort Wassermoleküle in das Bentonitgitter ein und es kommt zur Flockenbildung. Die Flocken sinken im Standzylinder ab und lagern sich am Boden an. Zu große Flocken sollen vermieden werden, was Einfluss auf die Einstreumenge hat. Es soll darauf geachtet werden, dass jeweils nur kleine Mengen (ca. 50 mg) zentrisch dem Standzylinder aufgegeben werden.

Nachdem 2 g aufgegeben wurden, bildet sich ein Flockengerüst am Boden des Standzylinders. Je höher dieses ist, desto größer ist das Einlagerungsvermögen von Wasser in das Bentonitgitter. Das Sofortquellvolumen ist somit ein Qualitätskriterium für Bentonite. In Abbildung 8 sind die Ergebnisse mehrerer Versuche mit unterschiedlichen Bentoniten dargestellt. Bei natürlichen Bentoniten, wie er in unseren Breiten vorkommt ist das Sofortquellvolumen relativ gering. Dies liegt an den Ca-Kationen, welche die Schichten stark zusammenhalten und das Einlagerungsvermögen für H₂O-Moleküle herabsetzen. Durch alkalische Aktivierung wird dieses erhöht. Die besten Werte ergeben natürliche Na-Bentonite.

Ein weitere Bentonitanalysemöglichkeit, die die Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens zum Ziel hat, ist der genormte Enslin-Test (DIN 18132). Dabei wird jene Wassermenge bestimmt, die während 24 Stunden von einer trockenen Bentonitprobe aufgenommen wird.

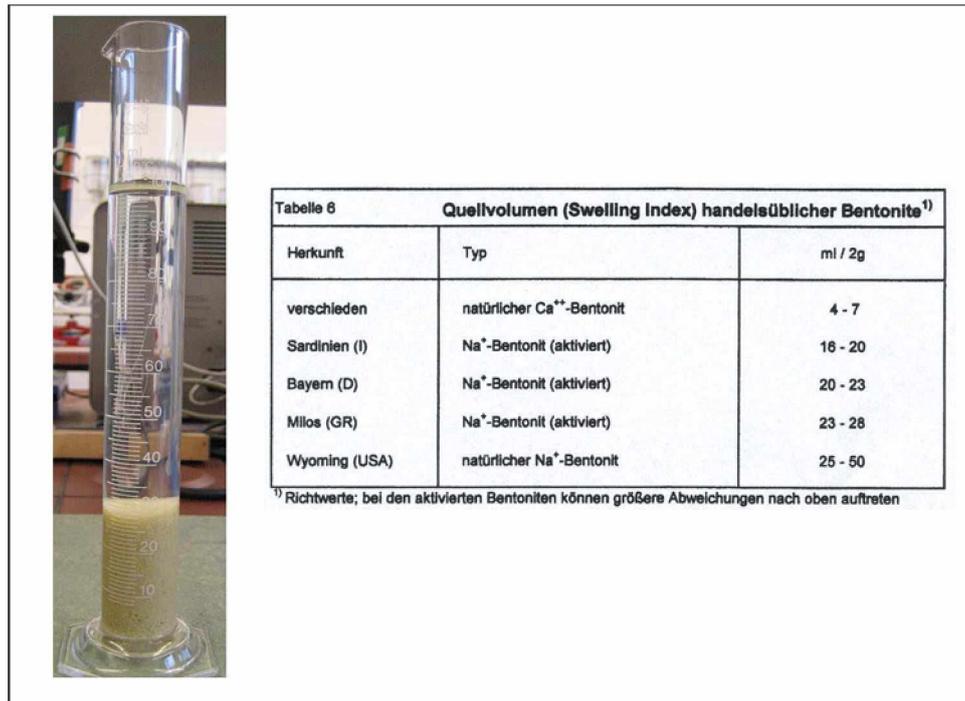
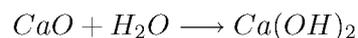


Abbildung 8: Sofortquellvolumen verschiedener Bentonite mit Versuchsaufbau [7]

Calciumhydroxid Calciumhydroxid entsteht bei der Löschung des gebrannten Kalkes nach folgender Reaktion:



Die Reaktion ist exotherm und es kommt daher zu Wärmeentwicklung. Weiters kommt es bei der Reaktion zu einer starken Volumsvergrößerung, welche zu großen spezifischen Oberflächen führt. Gegenüber Bentonit hat Calciumhydroxid zwei Vorteile:

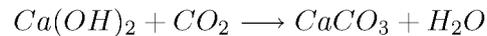
- Calciumhydroxid ist auf der ganzen Welt verfügbar und kostet im Vergleich zu Bentonit ca. 1,5 mal weniger [10].
- Calciumhydroxid dient nicht nur als Bindemittel, sondern gleichzeitig auch als Zuschlagstoff. Unabhängig vom verwendeten Bindemittel muss Calciumhydroxid als Schlackenbildner dem Hochofen aufgegeben werden. Wie Abbildung 7 zu entnehmen ist, beinhalten Bentonite durchschnittlich ca. 60% SiO_2 . Dieses ist im Hochofenprozess jedoch unerwünscht.

Wirkungsweise

Calciumhydroxid wird intensiv mit dem Aufgabegut, in einer Menge von bis zu 5%, intensiv ver-



mischt. Durch Reaktion mit in der Umgebungsluft enthaltenem CO_2 kommt es zu folgender Reaktion:



Diese Reaktion wird Carbonatisierung genannt [11] und kann nur bei der Anwesenheit von Feuchte stattfinden. Obige Reaktion ist jedoch nicht allein für die Festigkeitsentwicklung verantwortlich. Das dem Pelletieraggregat aufgebene Wasser wird durch das feinstdisperse Kalkhydrat gebunden. Es kommt zu einer plastischen Konsistenz, die die Erzkörner aneinander bindet.

Einfluss von Calciumhydroxid auf das Pelletierergebnis

Die Zugabe von Calciumhydroxid hat positiven Einfluss auf die Festigkeiten im grünen, trockenen und gebrannten Zustand. Bei der Pelletbrennung bei Temperaturen von $1200^\circ C$ kommt es zur Bildung von Calciumferriten, welche sich festigkeitssteigernd auswirken [3].

Organische Bindemittel Im Vergleich zu den beschriebenen, anorganischen Bindemittel kommt es bei organischen zu keiner chemischen Veränderung der Endprodukte. Dies liegt an der Verflüchtigung organischer Bestandteile während des Brennprozesses. Die Anforderungen an organische Binder lassen sich in folgenden 4 Punkten zusammenfassen:

- **Festigkeit:** Der Einsatz von organischen Bindern soll zu einer Erhöhung der Festigkeitswerte von grünen und getrockneten Pellets führen.
- **Chemische Eigenschaften:** Durch den Bindemittleinsatz soll es zu keinen Umweltproblemen kommen.
- **Verarbeitung:** Die Dosierung des Binders soll im Prozess zu keinen Problemen führen.
- **Kosten:** Organische Bindemittel sind in der Regel teurer als anorganische. Eine geringere Dosierung kann die Kosten meist nicht aufheben. Für den Einsatz sprechen die geringeren Transportkosten (geringere notwendige Mengen) sowie die bessere Verfügbarkeit.

Chemische Struktur

Um oben genannte Anforderungen zu erfüllen, besitzen organische Binder meist die in Abbildung 9 abgebildete Struktur. Mit P ist eine funktionelle Gruppe gemeint, deren Länge vom Polymerisationsgrad abhängt. Diese Gruppen sind mit hydrophilen X bzw. polaren Gruppen Y verbunden.

Bei der Erzpelletierung gilt es das organische Bindemittel mit Fe^{3+} bzw. Fe^{2+} Kationen zu verbinden. Diese Kationen befinden sich je nach Erztyp (Hämatit oder Magnetit) an den Kornoberflächen.

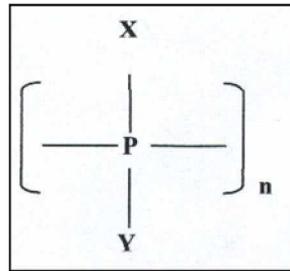


Abbildung 9: Aufbau von organischen Bindern [12]

Damit ergibt sich die Möglichkeit mit entsprechenden Gegenionen eine Ionenbindung einzugehen. Somit sollte es sich bei der polaren Gruppe Y um ein geeignetes Anion handeln. Diese Funktion übernimmt z.B. die Carboxylat - Gruppe $-CO_2^-$, welche aus der Carboxy - Gruppe $-COOH$ unter Abspaltung des Wasserstoffes entsteht.

Organische Binder werden meist in Form von Lösungen dem Pelletieraggregat aufgegeben. Wie bei den bereits erwähnten Kapillarkräften ist die Anlagerungsfähigkeit der Flüssigkeit an die Erzkörner auch Voraussetzung beim Einsatz von organischen Bindemitteln. Daher sind in der Struktur der Moleküle hydrophile Gruppen beinhaltet. Meist übernehmen Moleküle, wie jene der Carboxy-Gruppe jedoch die Funktion einer polaren wie auch einer hydrophilen Gruppe. Sie setzen die Oberflächenspannung der Flüssigkeit herab und verbessern so die Oberflächenbenetzbarkeit. Die Länge und der Aufbau des Makromoleküls P hat starken Einfluss auf die Wirkungsfähigkeit des Binders. Über die polaren Gruppen verbindet das Makromolekül Erzkörner miteinander. Je länger diese sind, desto mehr und weiter entfernte Partikel können miteinander verbunden werden. Zudem kommt es untereinander zu Verbindungen zwischen den Molekülen. Es kommt so zu einer *Verfilzung*, einem Geflecht von langkettigen Molekülen, welches sich positiv auf die Kohäsion innerhalb des Bindemittels auswirkt.

Polymerisationsgrad sowie molekularer Aufbau des Makromoleküls haben Einfluss auf die thermische Beständigkeit. Je höher das Molekulargewicht, desto höher auch die thermische Beständigkeit. Der Zeitpunkt der thermischen Zersetzung hat Einfluss auf die Trockenfestigkeit der Pellets. Laut [12] kommt es zu einer Erhöhung der thermischen Beständigkeit durch Anwendung von aromatischen Kohlenwasserstoffen. Aneinandergereihte Benzolringe (C_6H_6) haben z.B. eine Zersetzungstemperatur von $270^\circ C$ während Polyethen sich schon bei $50^\circ C$ zersetzt. Durch Verbindung der Benzolringe mit $-CH = CH-$ kann die Zersetzungstemperatur auf $420^\circ C$ erhöht werden.

Organische Bindemittel werden meist in Form von wässrigen Lösungen dem Pelletieraggregat

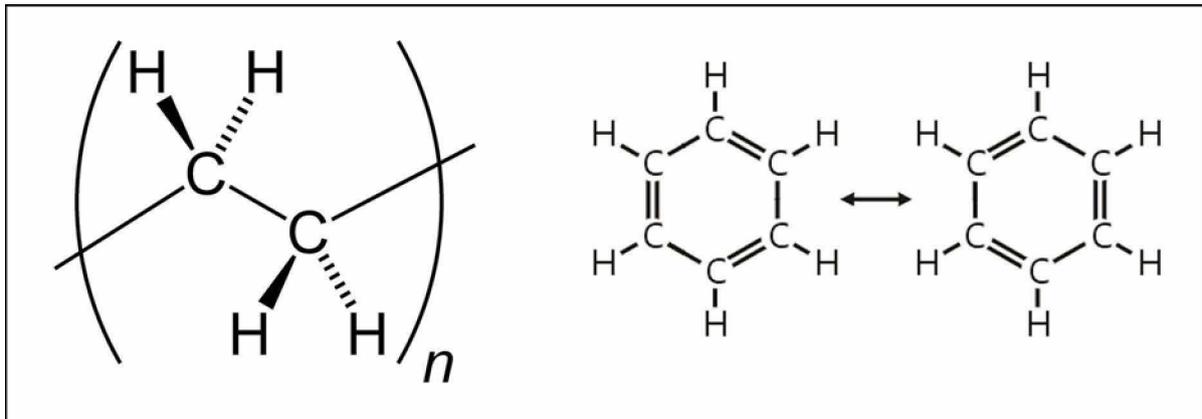


Abbildung 10: Strukturformeln von Polythen und Benzol

aufgegeben. Ein hoher Polymerisationsgrad hat eine Steigerung der Viskosität zur Folge. Bei der Feinstzerstäubung der Lösungen kann diese höhere Viskosität zu Problemen führen (siehe Kapitel 4.5.4).

3.2.4 Pelletieraggregate

Für die Herstellung von Grünpellets kommen hauptsächlich zwei Aggregate in Frage:

- Pelletiertrommel
- Pelletierteller

Pelletiertrommel [3][4][13] Pelletiertrommeln sind flach geneigte, zylindrische Trommeln mit einem Durchmesser von 3 - 3,6 m. Die Länge liegt meist zwischen 9 und 11 m. Ein- und Auslauf sind offen gestaltet, wobei sich am Einlauf meist ein Konus befindet, um ein Herausfallen des Materials zu verhindern. Rotierende Abstreifvorrichtungen verhindern zu starke Anpackungen von Aufgabematerial im Innenraum der Trommel. Bei Gummibeschichtungen kann diese auch überflüssig sein. Die relative Drehzahl $\psi = \frac{n}{n_{krit.}}$ beträgt ca. 65%. Dadurch ist eine ausreichend gute Umwälzung des Materialbettes gegeben, die einen Pelletaufbau ermöglicht. Innerhalb der Trommel befinden sich Düsen, die das Materialbett besprühen. Die Trommellänge und Neigung müssen auf eine versuchstechnisch ermittelte *Pelletbildungszeit* abgestimmt sein. Die Länge beträgt in den meisten Fällen zwischen 2,5 - 3 fachen Trommeldurchmesser.

Um Pellets von einheitlicher Größe herzustellen, wird das Austragsprodukt nach der Trommel 2-stufig gesiebt. Die mittlere Fraktion wird weitergefördert zu den Trockenaggregaten. Feine und

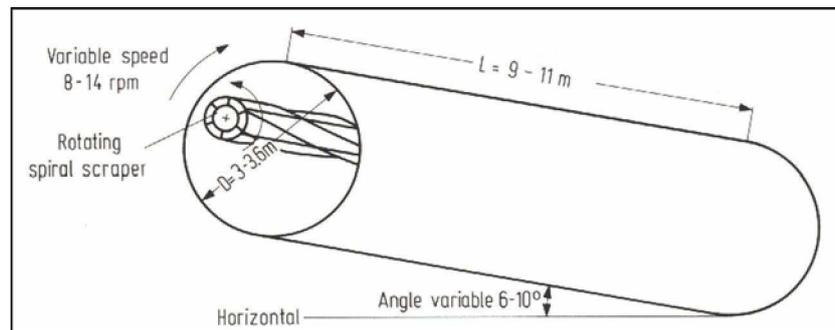


Abbildung 11: Prinzipskizze mit Abmessungen Pelletiertrummel [3]

grobe Pelletfraktionen werden der Trommel als Kreislauflast wieder aufgegeben. In Abbildung 12 ist das Ablaufschema einer Pelletieranlage dargestellt. Es werden dabei zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Klassierung aufgezeigt. Zum einen lässt sich der Kreislauf mit Vibrationssieben, zum anderen mit Rollenrosten schließen. Zweitere wirken sich positiv auf die Qualität der Grünpellets aus, da sie geringeren Beanspruchungen ausgesetzt sind als bei Vibrationssieben.

Durch die Kreislaufschaltung kommt es zu einer umlaufenden Last, welche sich in einem Bereich zwischen 100 und 400% bewegt. Neben der Drehzahl haben Trommellänge und -neigung sowie die Siebmaschenweite Einfluss auf das Ausmaß der Kreislauflast (siehe Abb 13).

Im laufenden Betrieb können Schwankungen in der Aufgabeequalität durch Anpassungen der Drehzahl sowie der Trommelneigung ausgeglichen werden. Die Kapazität von Pelletiertrummeln ist stark vom Erztyp und dessen *Pelletierbarkeit* abhängig.

Pelletierteller Beim Pelletierteller handelt es sich um einen zylindrischen, sich drehenden Behälter, der in der Neigung verstellbar ist (siehe Abb. 14). Hauptunterschied zwischen Pelletierteller und -trommel ist, dass es innerhalb des Tellers zu einer Entmischung nach der Pelletgröße kommt. Die größeren Pellets *schwimmen* auf den kleineren auf und werden über den Tellerrand ausgetragen. Dadurch kann bei richtigen Einstellungen eine Kreislaufschaltung vermieden werden [3]. Zumeist erfolgt jedoch eine Nachklassierung der Produkte.

Berechnung der kritischen Drehzahl [4]

Die Berechnung der kritischen Drehzahl erfolgt durch Gleichsetzen der auf ein Agglomerat wirkenden Zentrifugalkraft und jenem Gewichtskraftanteil, der in der Tellerebene wirkt (siehe Abb.14). Es handelt sich somit um jene Drehzahl bei der ein Pellet fliehkraftbedingt an den höchsten Punkt

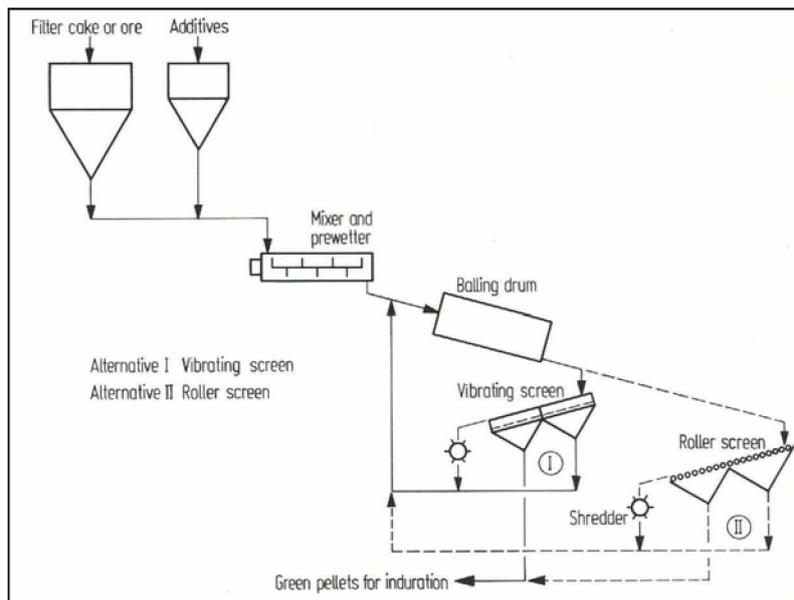


Abbildung 12: Kreislaufschaltung Pelletiertrommel [3]

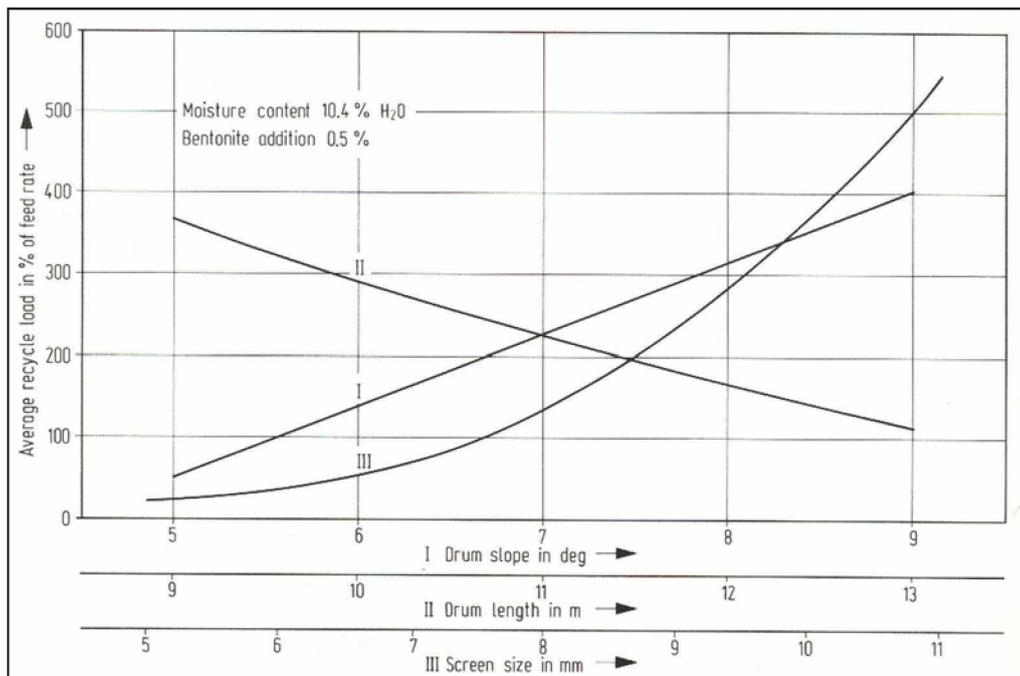


Abbildung 13: Einfluss von Trommellänge, -neigung und Siebmaschenweite auf das Ausmaß der umlaufenden Last [3]

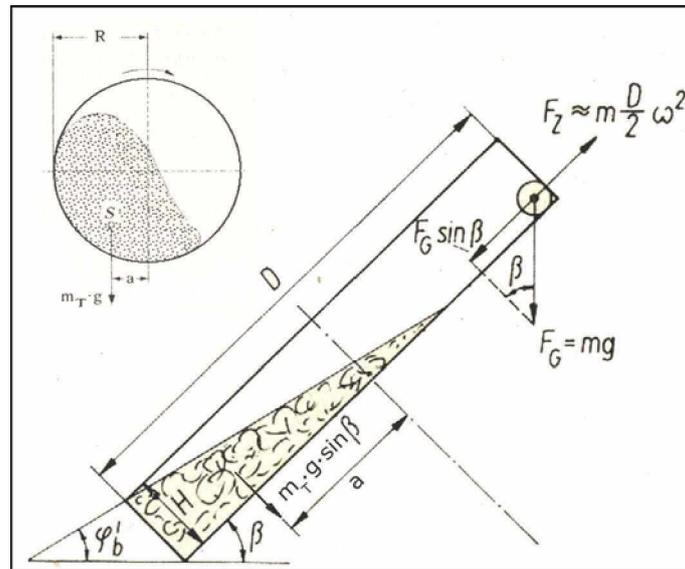


Abbildung 14: Prinzipskizze Pelletierteller [1][3]

des Tellers *gehoben* wird und es dadurch zu keinem Abrollvorgang kommt. Bei einer eingestellten Tellerneigung β erhält man folgende Gleichung:

$$m \cdot g \cdot \sin\beta = m \cdot R \cdot \omega^2 \Rightarrow g \cdot \sin\beta = \frac{D}{2} \cdot n_K^2 \cdot 4 \cdot \pi^2$$

Daraus ergibt sich die kritische Geschwindigkeit n_K :

$$n_K = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sin\beta}{2 \cdot D}} \quad (3)$$

Die relative Geschwindigkeit $\psi = \frac{n}{n_K}$ wird meist in einem Bereich zwischen 0,6 und 0,75 gewählt.

Berechnung der Leistungsaufnahme [4]

Durch die Drehung des Tellers wird dessen Füllung samt deren Schwerpunkt S um den Abstand a ausgelenkt. Um den Inhalt des Tellers in Bewegung zu halten, ist ein Moment M , welches an der Welle angreift, notwendig. Dieses Moment lässt sich auf folgende Weise berechnen (siehe Abb.14):

$$M = m_T \cdot g \cdot \sin\beta \cdot a \quad (4)$$

Mit m_T ist die Masse der Tellerfüllung, mit a der Abstand zur Tellerachse gemeint. Dieser Abstand a ist nur schwer zu ermitteln, jedoch ist er proportional zum Durchmesser D [14]. Somit gilt:

$$M \sim m_T \cdot g \cdot \sin\beta \cdot D \quad (5)$$



Die Berechnung der Masse m_T , welche sich im Teller befindet, erfolgt über den Füllungsgrad φ :

$$\varphi = \frac{4 \cdot V_E}{\pi \cdot D^2 \cdot H} \quad (6)$$

wobei

V_E Volumen des Tellerinhaltes

H Randhöhe

Mit Hilfe der Pelletschüttdichte $\rho_{S,P}$ kann die Masse m_T auf folgende Art und Weise berechnet werden:

$$m_T = \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot H \quad (7)$$

(7) in (5) eingesetzt ergibt folgende Gleichung für das Moment:

$$M \sim \frac{\pi}{4} \cdot \sin\beta \cdot D^3 \cdot H \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \quad (8)$$

Die Leistung berechnet sich aus dem Moment über den Zusammenhang $P = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$.

Es ergibt sich für die Leistung:

$$P \sim \frac{\pi^2}{2} \cdot \sin\beta \cdot D^3 \cdot H \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \cdot n \quad (9)$$

Somit ist die Leistung eine Funktion von

- dem Anstellwinkel β
- dem Tellerdurchmesser D
- der Randhöhe H
- dem Schüttgewicht des Tellerinhaltes $\rho_{S,P}$
- dem Tellerfüllungsgrad φ und
- der Drehzahl n

Unter Zuhilfenahme des Proportionalitätsfaktors f gilt folgende Gleichung:

$$P = f \cdot \sin\beta \cdot D^3 \cdot H \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \cdot n \quad (10)$$



Bei der oben angegebenen Leistung P handelt es sich um eine Nettoleistung P_N . Diese beinhaltet nur jenen Anteil, der notwendig ist, um den Tellerinhalt in Bewegung zu halten. Nicht berücksichtigt ist jener Leistungsanteil, welcher notwendig ist, um Verluste, wie jene die durch Lagerreibung entstehen, abzudecken.

Die Bestimmung der Nettoleistung P_N ist versuchstechnisch durch Ermittlung von Leerlaufleistung P_{LL} bzw. der Bruttoleistung P_B über den Zusammenhang $P_N = P_B - P_{LL}$ möglich. Kennt man die notwendige Nettoleistung, kann der Proportionalitätsfaktor f berechnet werden:

$$f = \frac{P_N}{\sin\beta \cdot D^3 \cdot H \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \cdot n} \quad (11)$$

Dividiert man die Nettoleistung durch die Aufgabemenge, erhält man den spezifischen Energieverbrauch Δe pro Tonne erzeugtem Granulat:

$$\Delta e = \frac{P_N}{\dot{m}_P} \quad (12)$$

Wie schon bei der Pelletiertrommel angeführt, muss die für ausreichende Festigkeit notwendige Verweilzeit der Agglomerate im Pelletierteller durch Versuche ermittelt werden. Einfluss auf die Verweilzeit haben folgende Größen:

- Anstellwinkel β : Je steiler dieser ist, desto kleiner ist das mögliche Schüttgewicht im Teller. Bei gleicher Aufgabemenge kommt es zu einer kürzeren Verweilzeit. Eine kürzere Verweilzeit führt neben geringeren Festigkeiten zu kleineren Pellets. Der Anstellwinkel wird meist in einem Bereich zwischen 45 und 55° gewählt.
- Die Randhöhe H ist vom Durchmesser abhängig, das Verhältnis $\frac{H}{D}$ beträgt ca. 0,2. Gleich wie der Anstellwinkel hat auch die Randhöhe Einfluss auf den Füllungsgrad.

Vergleich von Pelletiertrommel und -teller Bei LKAB sind sowohl Pelletiertrommeln als auch -teller in Verwendung. Die Trommeln befinden sich in einer Kreislaufschaltung mit Vibrationssieben, die Teller mit Rollsieben. Die beiden Systeme wurden hinsichtlich Kosten, Kapazität, Vibrationen, Flexibilität und Produktqualität miteinander verglichen [13].

Obwohl bei gleichen Aufgaberraten die aufgenommene Leistung beim Pelletierteller mehr als das Doppelte ausmacht, gibt es bei einem Vergleich der Gesamtkosten leichte Vorteile für diesen. Der geringere Platzbedarf wirkt sich in den Investitionskosten aus. Zudem ist der Aufwand für Instandhaltung, aufgrund der größeren Anzahl an Verschleißteilen, bei Pelletiertrommeln größer (siehe

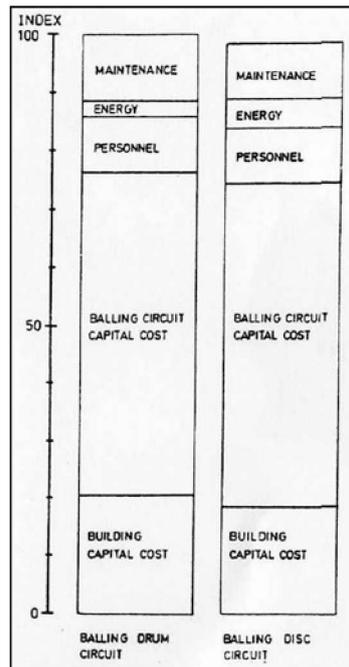


Abbildung 15: Vergleich von Pelletiertrommel und -teller hinsichtlich Kosten

Abbildung 15).

Wie bereits angesprochen wurde, kommt es in Pelletiertellern zu einer Entmischung nach der Pelletgröße. Dies führt zu einer engen Größenverteilung, die in den nachgelagerten Prozessen auch gefordert wird. Bei Pelletiertrommeln ist eine Nachklassierung obligat, um enge Größenverteilungen zu erhalten. Dies führt zu höheren Kreislaufkosten als bei Tellern.

Durch Vibrationen, die durch die rotierende Abstreifvorrichtung hervorgerufen werden, kann es bei Pelletiertrommeln zu einer stärkeren Lärmbelastung kommen. Diese betrug bei den Trommeln 90 dB, beim Teller hingegen nur 80 dB.

In punkto Flexibilität reagieren Pelletiertrommeln weniger empfindlich auf Schwankungen in der Aufgaberate als Teller. Dies liegt an der Pufferwirkung der hohen umlaufenden Last. Der Aufgabemassestrom sollte sich bei Tellern in einem Bereich $\pm 15\%$ bewegen.

Die Qualität der Grün- und Trockenpellets hinsichtlich Dropfestigkeit und Druckfestigkeit sind



gleich. Aufgrund der nur geringen Unterschiede in den Kosten und der gleichen Produktqualitäten sind die beiden Systeme gleichwertig zu betrachten. In folgender Tabelle 4 sind nochmals Pelletier-trommel und -teller gegenübergestellt:

	Pelletierteller	Pelletiertrommel
Investitionskosten:	↘	↗
Energieaufwand:	↗	↘
Personalaufwand:	●	●
Instandhaltung:	↘	↗
Kreislaufzeit:	↘	↗
Lautstärke:	↘	↗
Flexibilität:	↘	↗
Empfindlichkeit gegen Aufgabeschwankungen:	↗	↘
Produktqualität:	●	●

Tabelle 4: Gegenüberstellung Pelletierteller und -trommel

3.3 Trocknung und Sinterung der Pellets

Da die Festigkeit der Grünpellets für einen Einsatz im Hochofenprozess unzureichend ist, müssen diese getrocknet und anschließend gesintert werden. In Abbildung 16 sind typische Temperaturprofile abgebildet. In diesem Kapitel wird zum einen auf die Vorgänge bei der Trocknung und Sinterung eingegangen, zum anderen werden dafür notwendige, typische Aggregate beschrieben.

3.3.1 Trocknung

Die Trocknung dient dazu, Wasser, welches bei der Herstellung der Grünpellets eingebracht wurde, wieder auszutreiben. Das Wasser ist dabei in verschiedenen Formen im Pellet gebunden:

- Als Kapillarwasser zwischen den Erzpartikeln.
- Bei porösen Erztypen kann Wasser auch in den Poren enthalten sein.
- In tonigen Bindemitteln, wie z.B. Bentoniten, befindet sich Wasser im Kristallverband.
- Wasser ist in anderen Bindemitteln, wie $Ca(OH)_2$, oder auch im Erz (z.B. bei Limoniten) chemisch gebunden.

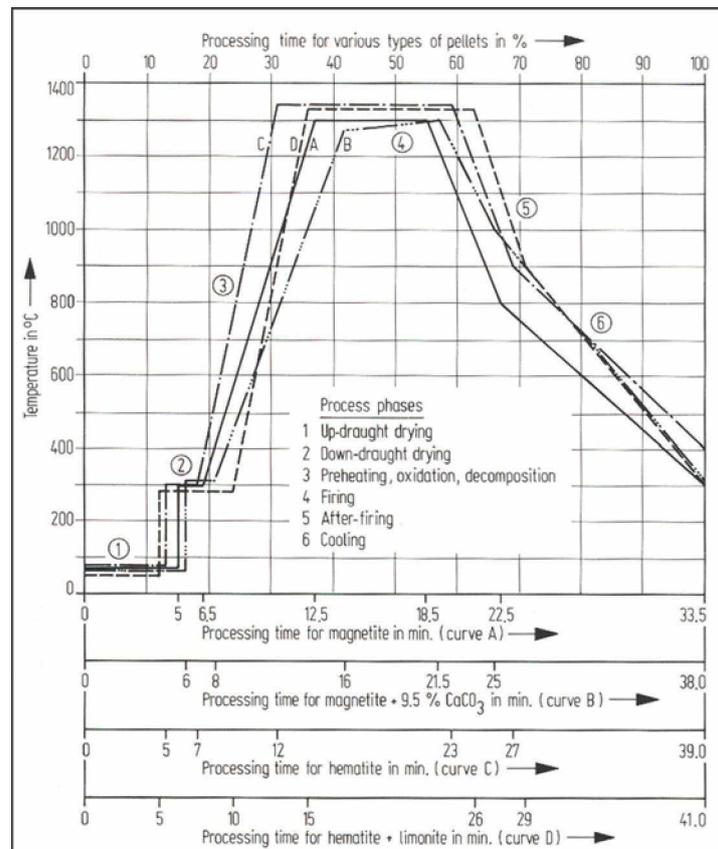


Abbildung 16: Temperaturprofile während des Trocknungs- und Sinterungsprozesses [3]

Bei der Trocknung werden die Grünpellets von einem Gasstrom mit einer Temperatur von ca. 150°C umströmt. Dadurch kommt es zu einer raschen Verdampfung des an der Oberfläche gebundenen Wassers der Pellets. In Abbildung 17 wird die Verdampfung der Oberflächenfeuchte als Phase 1 beschrieben. In dieser ist die Trocknungsgeschwindigkeit konstant. Gefolgt wird Phase 1 von jener, in der das in den Kapillaren gebundene Wasser verdampft. Kapillaren befinden sich im gesamten Pellet. Die von außen zugeführte Wärme breitet sich mit der Zeit von außen nach innen aus. Je weiter innen sich die Kapillaren befinden, desto länger wird der Weg den der Wasserdampf zurücklegen muss um an die Oberfläche zu gelangen. Dadurch nimmt die Trocknungsgeschwindigkeit zusehends ab. Sie ist somit zum einem von der Lage der Kapillaren im Pellet, zum anderen aber auch vom *Entweichungswiderstand* abhängig. Unter diesem wird jener Widerstand verstanden, den die Erzkörner dem Wasserdampf entgensetzen. Dieser ist unter anderem von der Feinheit der Erzpartikel abhängig. Sind diese zu eng aneinander gepackt, wird die Diffusion des Wasserdampfes erschwert. Dadurch entstehende Drücke können zu einer Schädigung der Ag-

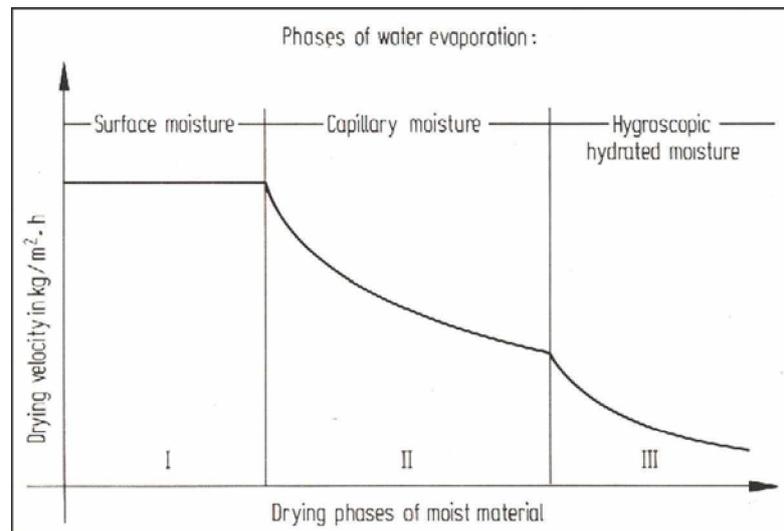


Abbildung 17: Phasen bei der Trocknung [3]

glomerate führen.

Im Bereich 3 wird hygroskopisches bzw. chemisch gebundenes Wasser ausgetrieben. Je nach Art der Bindung beginnt dieser Bereich erst bei höheren Temperaturen (siehe Bereich 2 Abbildung 16). Nach der Trocknungsphase basiert die Festigkeit der Pellets, aufgrund des fehlenden Wassers, nicht mehr auf Kapillarkräften. Eine gewisse Druckfestigkeit ist für den Transport vom Trocken- zum Brennaggregat jedoch notwendig. Die in Kapitel 3.2.1 beschriebene physikalische Haftkräfte können dieser Bedingung nicht genüge tun. Deshalb ist der Einsatz von Bindemitteln in den meisten Fällen unerlässlich.

3.3.2 Sinterung der Pellets

Nach der Trocknung werden die Agglomerate bei 1250 bis 1340°C unterhalb des Schmelzpunktes gebrannt [3]. Der optimale Temperaturbereich, um erforderliche Festigkeitswerte zu erreichen hängt vom Erztypus ab und muss in Versuchen ermittelt werden.

Beim Brennvorgang führen zwei Vorgänge zur Festigkeitssteigerung:

- **Bildung von Schlacken:** Ist beispielsweise CaO in Form von Gangart oder Bindemittel enthalten, kommt es zur Schlackenbildung bzw. Ausbildung von relativ großen Calciumferritkristallen [6]. Die gebildete Schlacke übernimmt die Funktion eines Binders zwischen den Erzpartikeln.

- Normalerweise werden nur geringe Gangartinhalt in den Pellets angestrebt. Der Zuwachs an Festigkeit wird daher durch im folgenden beschriebene Rekristallisationsvorgänge erklärt.

Rekristallisation und Kornwachstum: Zunächst befinden sich die Ionen auf stabilen Plätzen innerhalb des Kristallgitters. Die Wärmezufuhr führt zu einer Ausdehnung der Körner und einem Näherrücken dieser. Die treibende Kraft beim Sintervorgang ist das Bestreben einen möglichst geringen Oberflächenenergiezustand zu erreichen. Mit Hilfe von ausreichender Energiezufuhr versuchen die Erzkörner untereinander die Oberflächenenergie zu minimieren. Die energetisch günstigste Form ist dabei die Kugel. Zur Erreichung dieses Energieminimums ist Massetransport, welcher durch Diffusion stattfindet, notwendig. Zunächst werden Kristallbrücken zwischen den Körnern gebildet. Mit zunehmender Energiezufuhr vereinigen sich die Erzpartikel untereinander. Ab einer gewissen Temperatur nehmen die neu geschaffenen Erzpartikel eine Größe an, die sich festigkeitsmindernd auswirkt (siehe Abbildung 18).

Oxidationsvorgänge beim Pelletbrennen:

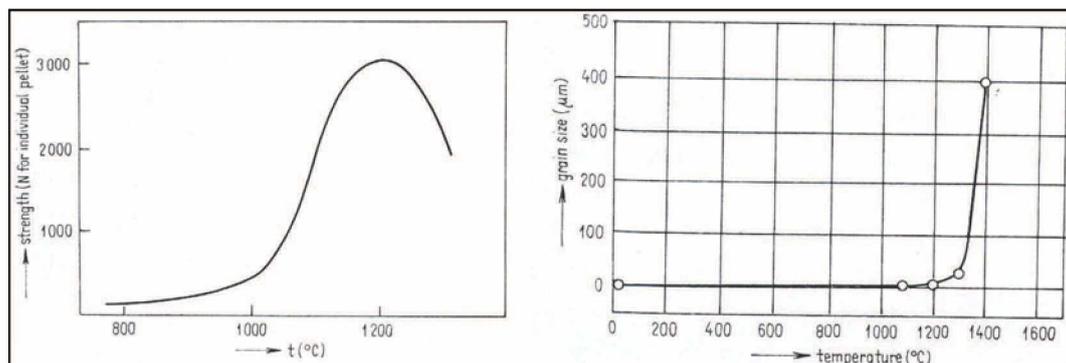
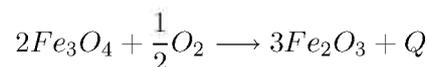


Abbildung 18: Einfluss der Temperatur auf Festigkeit bzw. Kornwachstum [6]

Befinden sich Magnetitanteile in den Pellets kommt es zu folgender Reaktion:



Demnach wird Magnetit zu Hämatit, unter frei werden der Wärme Q , oxydiert. Q beträgt $264,55 \frac{kJ}{mol}$. Diese frei werdende Wärme muss bei der Auslegung der Brennaggregate berücksichtigt werden. Bei welcher Temperatur die Oxidation des Hämatit stattfindet, hängt vom Ursprung des Erzes ab (siehe Abb. 19). Wird der Magnetit künstlich z.B. durch magnetisierende Röstung hergestellt, so ist bereits bei $400^\circ C$ über 80% des Magnetit zu Hämatit oxydiert [3]. Ab gewissen Temperaturen kann obige Reaktion jedoch auch rückwärts erfolgen, indem der Hämatit wieder zu Magnetit redu-

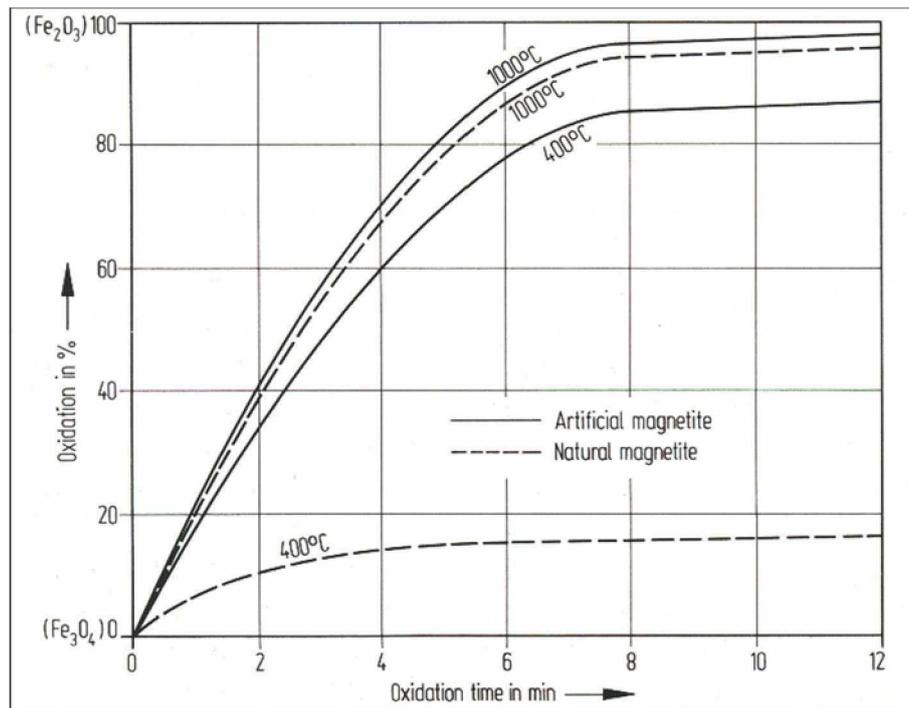


Abbildung 19: Oxidation von natürlichen und künstlich hergestellten Magnetit [3]

ziert wird. Die Temperatur bei welcher die Reduktion beginnt, ist vom CaO Gehalt abhängig (siehe Abb. 20). Dieser hat eine katalytische Wirkung: Je größer der Gehalt, desto größer ist das Ausmaß der Reduktion.

3.3.3 Aggregate

Zur Trocknung und Sinterung von Pellets kommen im wesentlichen drei Verfahren zur Anwendung:

- Schachtofen
- Wanderrost
- Wanderrost - Drehrohrofen

Schachtofen Schachtofen waren die ersten Aggregate, welche zur Trocknung und Sinterung der Pellets eingesetzt wurden. In Abbildung 21 ist ein moderner Schachtofen mit Temperaturprofil abgebildet.

Es handelt sich dabei um einen heute im Querschnitt meist rechteckigen Ofen mit einer Höhe

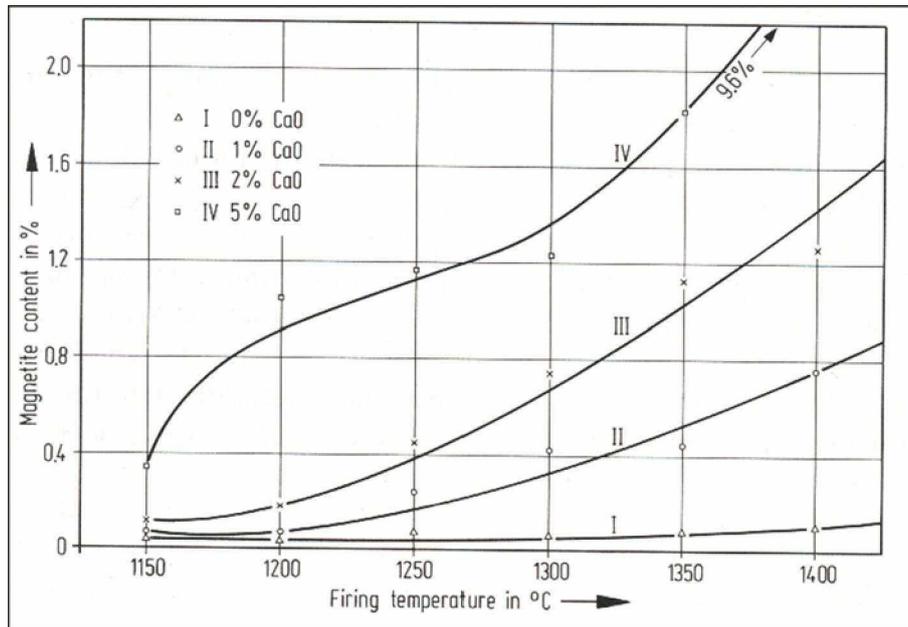


Abbildung 20: Reduktion von Hämatit in Abhängigkeit vom CaO - Gehalt [3]

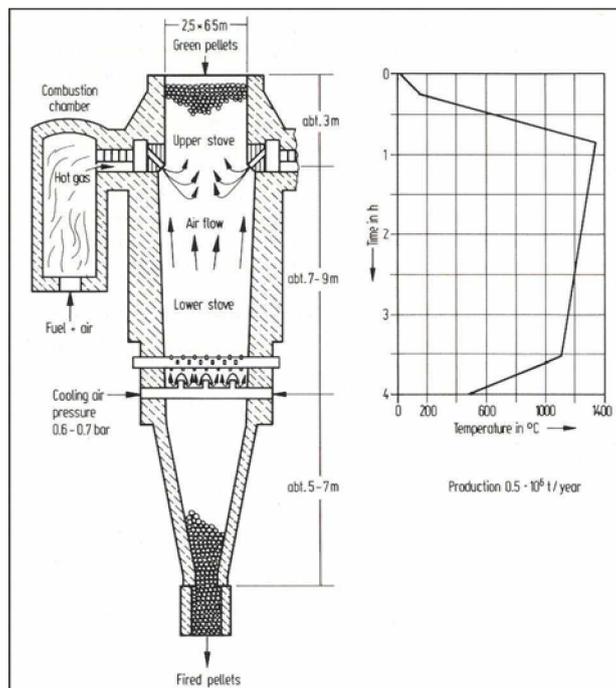


Abbildung 21: Vertikaler Schnitt durch Schachtfen mit Temperaturprofil [3]



von 15 - 20 m. Die gleichmäßige Verteilung der Pellets über den Ofenquerschnitt erfolgt über ein Förderband. Bei Temperaturen von 120 - 150°C befindet sich die Trocknungszone im oberen Bereich des Ofens. Die Verweilzeit in der Trocknungszone beträgt ca. 4-6 Minuten. Diese kurze Zeit stellt hohe Anforderungen an die Schockbeständigkeit der Pellets. Direkt unterhalb befindet sich die Brennzone. In einem Heißgaserzeuger, der sich seitlich vom oberen Bereich befindet, wird Öl bzw. Gas mit Luft vermischt und gezündet. Die dabei gebildeten heißen Gase strömen direkt in den Schachtofen und erhitzen dort die Pelletschichtungen auf eine Temperatur von ca. 1300°C. Nach ca. 1 bis 3 Stunden Verweilzeit gelangen die Agglomerate in den unteren Bereich des Schachtofens, wo dieser durch Brechwellen unterteilt ist. Diese sind notwendig, um zusammengesinterte Pellets voneinander zu trennen. Unterhalb der Brechwalzen wird Kühlluft eingeblasen, die anschließend nach oben strömt und sich mit den Heißgasen vermischt. Die Steuerung der notwendigen Brenntemperatur kann nur über die Kühlluft beeinflusst werden. Dabei muss jedoch auch die bei der Oxidation von Magnetit frei werdende Wärme berücksichtigt werden.

Die Vorteile des Schachtofens liegen, bei gegebener Permeabilität, im intensiven Wärmeaustausch zwischen Heißgas und Pellets, sowie in der einfachen Konstruktion. Gegen einen Einsatz sprechen die hohen Anforderungen, welche an die Grünpellets gestellt werden. Diese müssen auch gleichmäßig über den gesamten Ofenquerschnitt verteilt sein, um ein Überhitzen der ausgemauerten Ofenwände zu verhindern. Durch die hohen Verweilzeiten ergeben sich gute Festigkeitswerte, jedoch auch geringe Durchsätze von maximal 500.000 Tonnen pro Jahr.

Wanderrost - Drehrohrofen Dieses in der Zementindustrie entwickelte Verfahren besteht aus einem Wanderrost, in dem die Prozessschritte Trocknung und Oxidation stattfinden, einem Drehrohrofen zur Sinterung und diesem angeschlossen ein Pelletkühler (siehe Abb. 22).

Der Wanderrost besteht aus einer endlosen Kette von Rostwägen, welche mit einer ca. 20 cm starken Pelletschicht bestückt werden. Die Rostwägen bewegen sich, angetrieben von einer Kette, Richtung Drehrohrofen. Aus diesem strömt im Gegenstrom Abgas mit einer Temperatur von ca. 1100°C in den Wanderrost. Über dem Wanderrost befinden sich Hauben, die gegen den Rost abgedichtet sind, um die Abgase abzusaugen. Im Gegenstrom wird das Pelletbett immer wieder von den Abgasen durchströmt, die sich dabei zusehends abkühlen. Am Beginn des Rostes erreichen sie Temperaturen von ca. 180°C, die zur Trocknung verwendet werden. Auf dem Wanderrost werden die Pellets demnach getrocknet und bei magnetitischen Erzen am Ende geröstet.

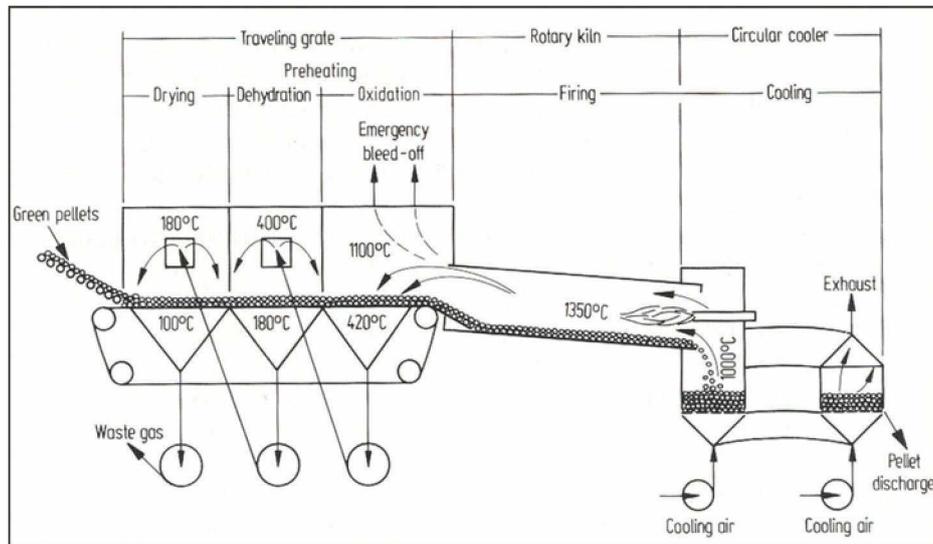


Abbildung 22: Kombination Wanderrost - Drehrohrofen - Pelletkühler [3]

Der Drehrohrofen ist direkt dem Wanderrost angeschlossen. Die Übergabestelle der Pellets in das Drehrohr stellt den kritischen Punkt des Verfahrens dar. Bei zu geringen Festigkeit kann es dort zur Zerstörung von Agglomeraten und Staubbildung führen. Staub kann in Drehrohrofen zu Anpackungen an der Ofenwand führen und soll vermieden werden. Drehrohrofen werden mit Gas, Öl oder auch Kohlenstaub befeuert. Die Wärmeübertragung erfolgt durch Strahlung zwischen der drehenden Ofenwand und den rollenden Pellets. Die Förderung zum Ofenausstrag erfolgt durch Schwerkraft, welche durch eine leichte Neigung des Drehrohres hervorgerufen wird.

Am Ofenausstrag fallen die gebrannten Pellets auf einen Rundkühler. Dieser besteht aus einem sich drehenden Rost, der von unten mit Kühlluft beaufschlagt wird. Die heißen Pellets geben ihre Wärme konvektiv an die Luft weiter, welche anschließend in das Drehrohr geleitet wird. Der sich drehende Rost wird an weiteren Stellen wiederum von Kühlluft durchströmt, welche danach im Wanderrost als Trockenmedium verwendet werden kann.

Der Vorteil der Wanderrost - Drehrohrofenkombination liegt in den guten Steuerungsmöglichkeiten. So können Verweilzeit und Temperaturprofil, z.B. bei Änderung der Aufgabegüte, verändert werden. Zudem sind die Möglichkeiten einer rekuperativen Wärmerückführung besser als bei Schachtofen. Die möglichen Durchsätze liegen zwischen 4 und 6 Millionen Tonnen pro Jahr.

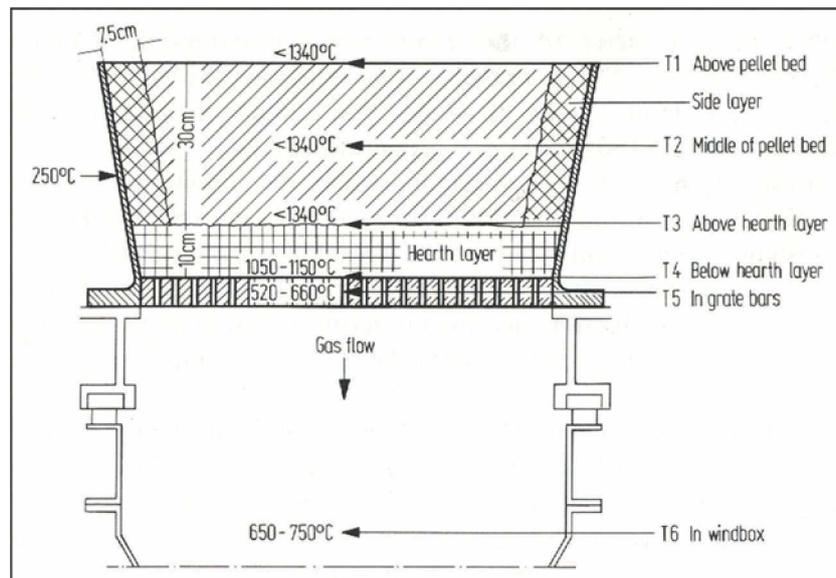


Abbildung 23: Querschnitt durch Rostwagen [3]

Wanderrost Bei diesem Verfahren ist vor allem die Bauart *Lurgi - Dravo* von Bedeutung. Wie schon im letzten Kapitel beschrieben kommen Rostwägen zum Einsatz, auf denen zunächst bereits gebrannte Pellets aufgegeben werden. In der Abbildung 23 wird diese Schicht als *side layer* bezeichnet. Da das Brennen der Pellets bei diesem Verfahren ebenfalls auf den Rostwägen erfolgt, muss deren Stahlkonstruktion von den hohen Temperaturen geschützt werden.

Durch die aufgebrachte Schicht gebrannter Pellets erhält man eine Art von autogenen Verschleißschutz. Wie schon bei der Kombination mit dem Drehrohrofen erfolgt der Betrieb im Gegenstromverfahren (siehe Abb. 24). Am Ende der Roststrecke wird das Pelletbett von Kühlluft durchströmt, welche sich dadurch aufheizt. Anschließend strömt diese in die Brennkammer, wird dort mit Öl oder Gas gezündet, und erhitzt die 30 - 40 cm starke Agglomeratschicht. Da keine Rücksicht auf eine Überhitzung der Stahlkonstruktion genommen werden muss, ist die Temperaturverteilung im Pelletbett relativ konstant. Die Abgase aus der Brennzone werden nach unten abgezogen und dem Trockenbereich zugeführt.

Die Anforderung, Pellets mit stark schwankender Qualität herzustellen, war der Ursprung zur Entwicklung dieses Verfahrens. Durch gute Steuerungsmöglichkeiten des Temperaturprofils ist eine hohe Flexibilität gegeben. Die Kapazität ist von der Rostfläche abhängig und beträgt bei magnetischen Erzen bis zu $30 \frac{t}{m^2 d}$.

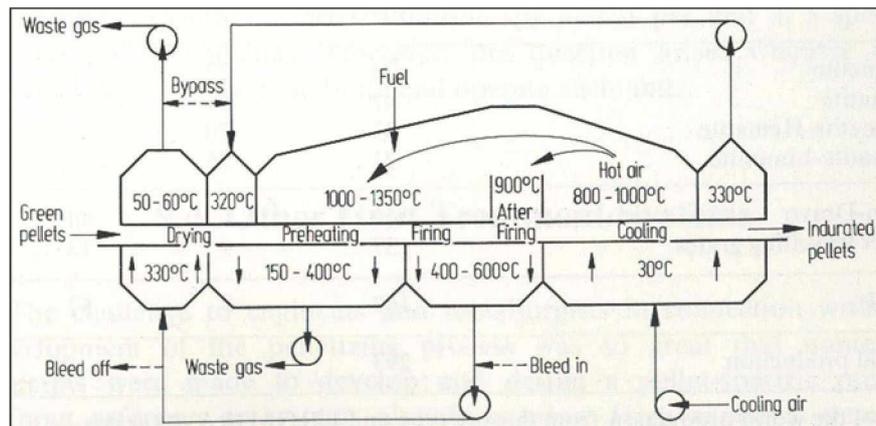


Abbildung 24: Prinzipskizze Lurgi - Dravo Verfahren [3]

Steel Belt Sintering Dabei handelt es sich um ein neues Verfahren, welches von *Outokumpu* für kleinere Massendurchsätze von 800.000 - 1.000.000 Tonnen pro Jahr entwickelt wurde. Vom Verfahrensablauf ist dieses dem Wanderrost ähnlich. Die Unterschiede liegen im leichteren Design des Brennaggregates und der Tatsache, dass keine schweren Rostwägen verwendet werden. Statt diesen werden die Pellets auf einem perforierten Endlosstahlband durch die einzelnen Temperaturzonen transportiert. In Tabelle 5 sind Schachtofen, Wanderrost - Drehrohrofen und Wanderrost

bezüglich Energiebedarf gegenübergestellt [3]. Da die zum Brennen notwendige Energie von der Art des Erzes abhängt, werden nur magnetitische Erze verglichen.

Aggregat	spezifischer Energiebedarf	
Schachtofen:	500.000	$\left[\frac{kJ}{to}\right]$
Wanderrost - Drehrohrofen:	250.000	$\left[\frac{kJ}{to}\right]$
Wanderrost:	325.000	$\left[\frac{kJ}{to}\right]$

Tabelle 5: Spezifischer Energiebedarf in Abhängigkeit vom verwendeten Aggregat

Den besten thermischen Wirkungsgrad weist die Kombination Wanderrost - Drehrohrofen auf. Dies liegt an der Tatsache, dass im Drehrohr der Wärmetransport mittels Strahlung erfolgt. Im Schachtofen bzw. Wanderrost wird die Wärme über Konvektion übertragen.



3.4 Qualitätsmerkmale

3.4.1 Grünpellets

Die Transportstrecke der Grünpellets verläuft vom Pelletieraggregat über diverse Förderbänder zu den Trockenaggregaten. Um diese Strecke ohne Schaden zu überstehen müssen die Pellets Festigkeiten hinsichtlich der Beanspruchungsarten Druck und Schlag aufweisen. Ein weiteres, bereits angesprochenes Qualitätsmerkmal, ist jenes der Schockfestigkeit.

Dropfestigkeit

Die Pellets werden aus einer Höhe von 46 cm auf eine Stahlplatte fallengelassen [3]. Die Dropfestigkeit gibt an wie oft ein Pellet fallen gelassen werden kann bis ein äußerer Schaden auftritt. Die Höhe der Dropfestigkeit ist Verfahrensabhängig und hängt z.B. von der Anzahl der Badübergabestellen zwischen Pelletier- und Trockenaggregat ab. Da teilweise beträchtliche Schwankungen der Qualitäten vorkommen, empfiehlt es sich mindestens 10 Pellets diesem Test zu unterziehen.

Druckfestigkeit

In den Trockenaggregaten werden die Pellets übereinander in Schichten gestapelt. Die entstehenden Drücke können bei zu geringer Festigkeit zu Schädigungen führen. Im einfachsten Fall können Pellets auf eine Waage gelegt werden. Die Aufbringung einer Druckbelastung auf die Pellets erfolgt mit einer Platte. Die Belastung wird so lange erhöht bis das Agglomerat bricht. Die Waagenanzeige wird über einen Schreiber verfolgt. Die angezeigte Maximallast kann in jene Druckbelastung umgerechnet werden, bei der der Schadensfall eintrat. Alternativ dazu können auch hydraulische Pressen verwendet werden. Laut [3] kommen diese zu den gleichen Ergebnissen.

Schockfestigkeit

Unter dieser wird jene maximale Temperatur verstanden, welcher die Grünpellets ausgesetzt werden können, ohne einen Schaden zu erleiden. Dabei werden diese im feuchten Zustand von Umgebungstemperatur direkt in einen vorgeheizten Muffelofen gestellt. In diesem kommt es zu einem schlagartigen Verdampfen des Wassers. Die in Abbildung 17 gezeigten Phasen treten annähernd gleichzeitig auf. Die austretenden Dämpfe führen zu großen Drücken innerhalb des Pellets. Die Intensität dieser Drücke hängt von der Temperatur im Ofen ab. Ab einer gewissen Temperatur übersteigt der Druck die Festigkeit der Pellets. Diese wird als Schockfestigkeit bezeichnet und wird durch abgestufte Versuche bei verschiedenen Temperaturen ermittelt.



3.4.2 Getrocknete Pellets

Bei den getrockneten Pellets ist alleine die Druckfestigkeit von Bedeutung. Diese ist notwendig um den Druck, welchen die Pellets in den Brennaggregaten ausgesetzt sind, standzuhalten. Die Bestimmung erfolgt auf gleiche Art wie bei den Grünpellets beschrieben.

3.4.3 Gebrannte Pellets

Hier sollen nur die physikalischen Eigenschaften der gebrannten Pellets angeführt werden. Neben diesen gibt es noch eine Reihe von metallurgischen Tests, die durchgeführt werden.

Die Druckfestigkeit gebrannter Pellets soll mindesten 2000 N betragen. Diese Festigkeit ist notwendig um den in Hochöfen herrschenden Beanspruchungen standzuhalten. Die Messung erfolgt mit hydraulischen Druckeinrichtungen zwischen 2 Stahlplatten. Um repräsentative Werte zu erhalten empfiehlt es sich wiederum den Mittelwert aus 10 geprüften Pellets anzugeben.

Eine weiteres Merkmal ist die Abrasivität der Pellets, entsprechender Test ist in ISO 3271 1975E genormt [3].



4 Aufgabematerialien

In diesem Kapitel werden die, bei den durchgeführten Versuchen, verwendeten Aufgabematerialien beschrieben. Es wird dabei zwischen Erzen, Bindemitteln und Zuschlagsstoffen unterschieden.

4.1 Merkmalsklassenanalyse der Magnetprodukte

Bei den dem Pelletierteller aufgegebenen Erz handelte es sich um gerösteten sowie magnetgeschiedenen Spateisenstein vom Erzberg. Der dort vorhandene Erztyp beinhaltet die Verwachsung Ankerit $Ca(Fe, Mg)(CO_3)_2$ und Spateisenstein $(Fe, Mg, Ca)CO_3$. Der Aufschluss von Ankerit beginnt erst unter einem Millimeter. Durch selektive Blitzröstung gelingt es den Spateisenstein zu entsäuern, während der Ankerit unverändert bleibt. Durch diese Entsäuerung bildet sich Eisenoxyd, welches unter atmosphärischem Einfluss oxydiert. Es bilden sich ferromagnetische Eisenoxyde, von Wüstit bis Magnetit/Ferrit und Hämatit (geringfügig). Durch diese Umwandlung besteht anschließend die Möglichkeit den Ankerit durch Schwachfeldmagnetscheidung abzutrennen. Deshalb wird der Röstvorgang auch als magnetisierende Röstung bezeichnet.

Die Röstung fand im Dezember 2006 bei Krupp-Polysius in einem Flugstromreaktor (Polcal) statt. Die Versuchsdauer betrug 48 h, während derer eine Erzkonzentratprobe mit drei unterschiedlichen Korngrößenverteilungen, sowie bei unterschiedlicher Durchröstungstemperatur, geröstet wurde. Die Intensität der Durchröstung ist eine Funktion der im Flugstromreaktor herrschenden Temperatur bzw. der Verweilzeit der Körner im Gasstrom. Die stundenweise anfallenden Proben wurden in Leoben einem Mörtsellmagnetscheider der Firma Metso aufgegeben und in ein Magnetprodukt, Zwischenprodukt und unmagnetisches Produkt getrennt.

Für die während der Arbeit durchgeführten Pelletierversuche wurden insgesamt vier verschiedene Magnetprodukte (unterteilt in Stundenproben) ausgewählt (MP 01-02 7.12.06, MP 18-19 7.12.06 MP 06-07 6.12.06).

Die physikalischen Eigenschaften Stoffdichte, Magnetisierbarkeit, spezifische Oberfläche und Restglühverlust wurden in Abhängigkeit von der Korngröße bestimmt. Zusätzlich zu diesen Proben heimischen Ursprungs, stand ein Vergleichsstandard aus der Slowakei, Nisna Slana, zur Verfügung. Dort wird ein ähnlicher Erztypus abgebaut, geröstet, gemahlen, magnetgeschieden und anschließend in Pelletiertrommeln agglomeriert. Die Proben werden vergleichend untersucht.

Die Analysen umfassten folgende Punkte:

- Die Ermittlung der Korngrößenverteilung erfolgte durch Handsiebung.



- Die Bestimmung der Dichte in den Korngrößenklassen erfolgte durch das Heliumgaspyknometer AkkuPyk 1330.
- Die Bestimmung des äquivalenten Magnetitgehaltes erfolgte mittels Satmagan Outoukumpu. Dabei handelt es sich um eine Magnetwaage, die den ferromagnetischen Inhalt einer Erzprobe im Vergleich zu einer Standardkalibrierreihe von Kirunamagnetit mißt. Bei den untersuchten Proben handelt es sich jedoch nicht unbedingt um Magnetit, sondern vielmehr um den Anteil an ferromagnetischen Bestandteilen. Da sich im Erz Ca, Mg und Mn befinden, bilden sich bei der Röstung Ferrite, welche wie Magnetit ferromagnetischen Charakter besitzen.
- Die Ermittlung des Glühverlustes erfolgte im Mufelofen bei 900°C, einer Verweilzeit von 45 Minuten und unter Luftatmosphäre. Bei diesen Bedingungen kommt es zu einem vollständigen Austreiben des restlichen enthaltenen CO_2 . Der Glühverlust ist somit ein Richtwert für die Vollständigkeit der Entsäuerung bei der Röstung.
- Bestimmung von äußerer und innerer Oberfläche: Erstere wurde durch Permeametrie nach Blaine und Permeran, zweitere durch Gasadsorption (BET: Micromeritics, Flowsorb, Einzelpunktverfahren) ermittelt.

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der Merkmalsklassenanalysen zu finden.

4.1.1 Magnetprodukt MP 01-02

Korngrößenverteilung

MW	m	m	m	R	D	n
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[--]
1	21,97	21,97	1,43	1,43	98,57	0,171
0,5	169,10	169,10	11,03	12,46	87,54	0,344
0,315	197,25	197,25	12,87	25,33	74,67	0,420
0,2	198,89	198,89	12,97	38,31	61,69	0,618
0,1	124,26	329,69	21,51	59,81	40,19	0,721
0,04	112,26	297,85	19,43	79,25	20,75	
0,001	119,91	318,15	20,75	100	0	
Summe		1532,90	100			

Tabelle 6: MP 01-02 | Ergebnisse der Handsiebung

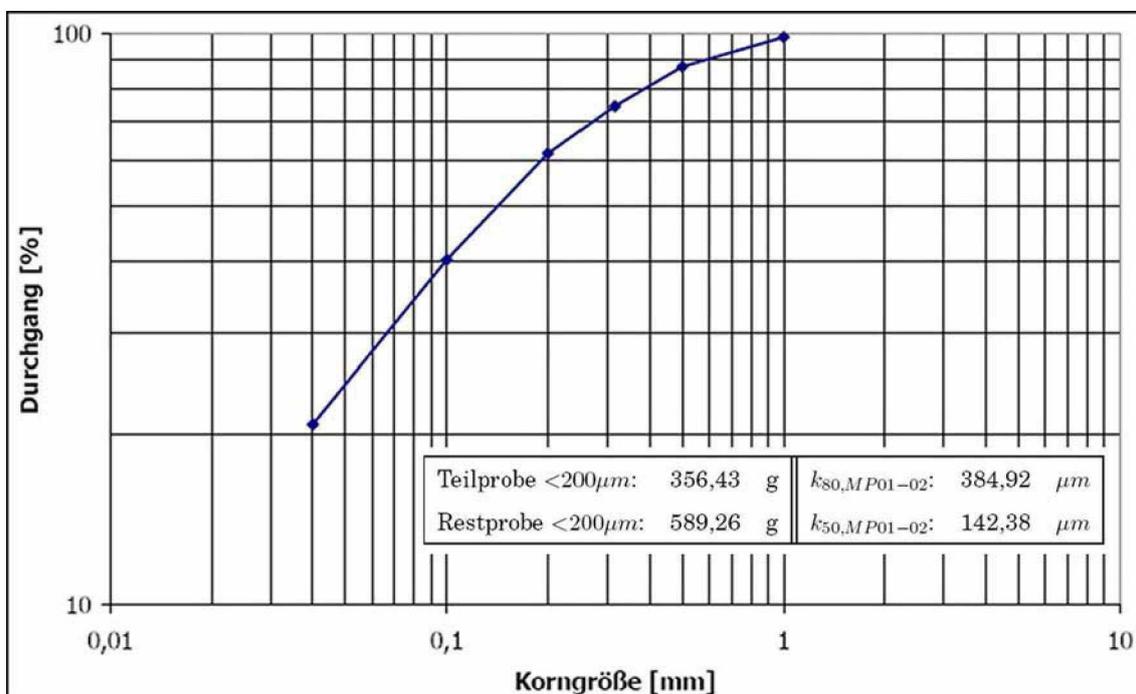


Abbildung 25: Magnetprodukt MP01-02 | Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz



Dichtewerte in den Kornklassen

MW	Einwaage Pyknometer	Volumen	Dichte	m
[mm]	[g]	[cm ³]	[$\frac{g}{cm^3}$]	[%]
1	10,83	2,8099	3,85	1,43
0,5	10,89	2,7590	3,95	11,03
0,315	10,77	2,6524	4,06	12,87
0,2	10,68	2,5474	4,19	12,97
0,1	10,20	2,3454	4,35	21,51
0,04	10,03	2,2933	4,37	19,43
<0,04	7,71	1,8862	4,09	20,75
Summe:		4,185		100,00

Tabelle 7: MP 01-02 | Dichtewerte in den Kornklassen

Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen

MW	$g_{Fe_3O_4,1}$	$g_{Fe_3O_4,2}$	$\overline{g_{Fe_3O_4,2}}$	m	I	r_i
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%%]	[%]
1	20,51	20,75	20,63	1,43	59,65	1,79
0,5	22,57	22,72	22,65	11,03	252,50	7,60
0,315	29,90	29,42	29,66	12,87	276,47	8,32
0,2	36,20	35,88	36,04	12,97	463,34	13,94
0,1	40,39	40,48	40,44	21,51	856,98	25,78
0,04	40,60	40,48	40,54	19,43	839,27	25,25
<0,04	26,24	26,37	26,31	20,75	575,67	17,32
Summe:			33,24	100,00	3323,88	100,00

Tabelle 8: MP 01-02 | Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen



Glühverlust in den Kornklassen

MW	Masse Schale	m Probe m. Schale	Masse Probe	Masse GR mit Schale	Masse GR	GV 900°C	Mittelwert GV	Masse Fraktion
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]
1	6,9294	9,0110	2,0816	8,7817	1,8523	11,0156	10,7888	1,43
1	7,2765	9,2960	2,0195	9,0827	1,8062	10,5620		
0,5	6,3045	8,3247	2,0202	8,1126	1,8081	10,4990	10,3951	11,03
0,5	8,7204	10,7176	1,9972	10,5116	1,7912	10,3144		
0,5	6,6564	8,7987	2,1423	8,5765	1,9201	10,3720		
0,315	6,8133	8,8818	2,0685	8,7177	1,9044	7,9333	7,8570	12,87
0,315	6,9163	9,0035	2,0872	8,8411	1,9248	7,7808		
0,2	7,2829	9,0191	1,7362	8,9400	1,6571	4,5559	5,2833	12,97
0,2	6,7342	8,7240	1,9898	8,6044	1,8702	6,0107		
0,1	6,9595	8,9575	1,9980	8,8698	1,9103	4,3894	4,3531	21,51
0,1	6,9450	8,9418	1,9968	8,8556	1,9106	4,3169		
0,04	7,0009	9,0191	2,0182	8,9400	1,9391	3,9193	3,9385	19,43
0,04	6,6394	8,6709	2,0315	8,5905	1,9511	3,9577		
< 0,04	7,0026	9,0477	2,0451	8,8579	1,8553	9,2807	9,2635	20,75
< 0,04	6,4524	8,5224	2,0700	8,3310	1,8786	9,2464		
Summe:							6,622	100,00

Tabelle 9: MP 01-02 | Glühverlust in den Kornklassen



Kornformfaktor

MW	m	D	n	$k_{\text{äquvi.}}$	$a_{V,S}$	$a_{M,S}$	$a_{M,S}$ gewichtet
[mm]	[%]	[%]	[--]	[mm]	$[\frac{1}{cm}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$
1,1	0	100					
1	1,43	98,57	0,15	1,0485	216,2	54,76	0,78
0,5	11,03	87,54	0,17	0,6979	324,8	82,28	9,08
0,315	12,87	74,67	0,34	0,3958	572,7	141,04	18,15
0,2	12,97	61,69	0,42	0,2507	904,2	215,68	27,98
0,1	21,51	40,19	0,62	0,1421	1595,1	366,77	78,88
0,04	19,43	20,75	0,72	0,0642	3528,8	806,85	156,77
0,001	20,75	0,00			11997,5	2935,10	609,17
Summe	100,00						900,04

Tabelle 10: MP 01-02 | Bestimmung Kornformfaktor

Kornformfaktor: 22,66

Messung der inneren Oberfläche durch Gasadsorption

MW	Masse Probe	A1	D1	A2	D2	Mittelwert spez. Oberfläche	Masse	Oberfläche gewichtet
[mm]	[g]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[$\frac{m^2}{g}$]	[%]	[$\frac{m^2}{g}$]
1	1,2516	20,25	17,50	20,20	17,44	16,159	1,433	0,23
0,5	1,1173	22,89	19,52	22,82	19,44	20,456	11,031	2,26
0,315	0,8540	21,50	18,69	21,40	18,65	25,117	12,868	3,23
0,2	0,8044	22,12	18,95	22,21	19,06	27,555	12,975	3,58
0,1	0,4387	12,58	10,99	12,49	10,98	28,573	21,508	6,15
0,04	0,3902	11,02	9,77	11,09	9,71	28,332	19,431	5,51
<0,04 mm	0,8901	27,44	22,97	27,45	23,01	30,834	20,755	6,40
Summe:							100,000	27,35

Tabelle 11: MP 01-02 | Bestimmung der inneren Oberfläche in den Korngrößenklassen

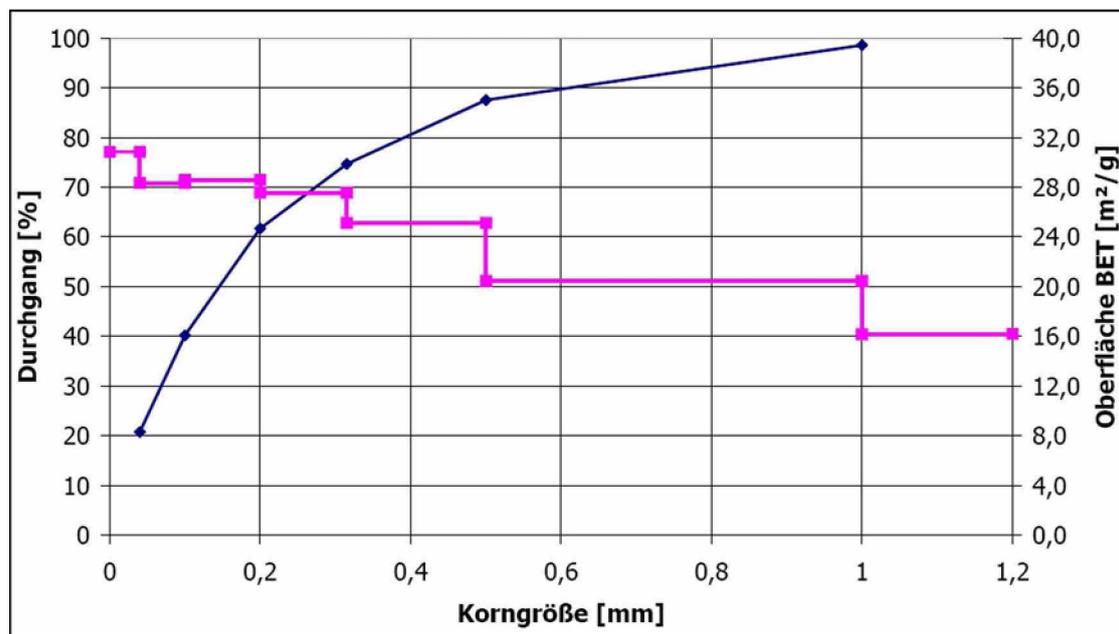


Abbildung 26: Magnetprodukt MP01-02 | Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)

4.1.2 Magnetprodukt MP 18-19

Korngrößenverteilung

MW	m	m	m	R	D	n
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[--]
1	42,13	42,13	2,89	2,89	97,11	0,176
0,5	162,47	162,47	11,15	14,04	85,96	0,248
0,315	135,82	135,82	9,32	23,36	76,64	0,404
0,2	187,33	187,33	12,86	36,22	63,78	0,583
0,1	308,82	308,82	21,19	57,41	42,59	0,727
0,04	152,89	301,66	20,70	78,12	21,88	
0,001	161,62	318,88	21,88	100	0	
Summe		1457,11	100			

Tabelle 12: MP 18-19 | Ergebnisse der Handsiebung

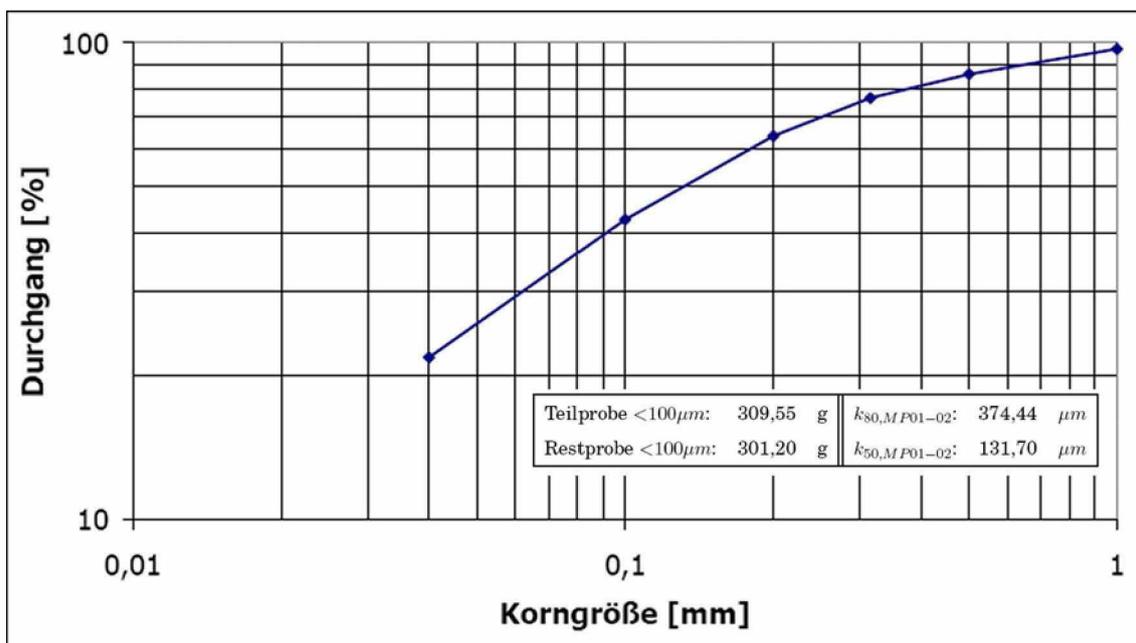


Abbildung 27: Magnetprodukt MP18-19 | Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz



Dichtewerte in den Kornklassen

MW	Einwaage Pyknometer	Volumen	Dichte	m
[mm]	[g]	[cm ³]	[$\frac{g}{cm^3}$]	[%]
1	11,51	2,9943	3,84	2,89
0,5	11,19	2,8227	3,96	11,15
0,315	10,79	2,6472	4,08	9,32
0,2	11,38	2,6686	4,26	12,86
0,1	11,97	2,7757	4,31	21,19
0,04	12,51	2,8340	4,41	20,70
<0,04	9,30	2,2137	4,20	21,88
Summe:		4,223		100,00

Tabelle 13: MP 18-19 | Dichtewerte in den Korngrößenklassen

Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen

MW	$g_{Fe_3O_4,1}$	$g_{Fe_3O_4,2}$	$\overline{g_{Fe_3O_4,2}}$	m	I	r_i
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%%]	[%]
1	25,00	25,45	25,23	2,89	72,93	1,78
0,5	32,68	32,14	32,41	11,15	361,38	8,84
0,315	39,53	39,44	39,49	9,32	368,05	9,00
0,2	45,35	45,30	45,33	12,86	582,71	14,25
0,1	47,62	47,63	47,63	21,19	1009,37	24,69
0,04	46,70	47,30	47,00	20,70	973,01	23,80
< 0,04	32,90	32,98	32,94	21,88	720,88	17,63
Summe:			40,88	100,00	4088,33	100,00

Tabelle 14: MP 18-19 | Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen



Glühverlust in den Kornklassen

MW	Masse Schale	m Probe m. Schale	Masse Probe	Masse GR mit Schale	Masse GR	GV 900°C	Mittelwert GV	Masse Fraktion
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]
1	8,9568	10,9619	2,0051	10,7558	1,7990	10,2788	10,2658	2,89
1	6,1923	8,1937	2,0014	7,9885	1,7962	10,2528		
0,5	9,0172	11,0345	2,0173	10,8908	1,8736	7,1234	7,2434	11,15
0,5	5,8323	7,8409	2,0086	7,6930	1,8607	7,3633		
0,315	8,6488	10,6416	1,9928	10,5332	1,8844	5,4396	5,4221	9,32
0,315	5,9246	7,9192	1,9946	7,8114	1,8868	5,4046		
0,2	8,9629	10,9693	2,0064	10,9012	1,9383	3,3941	3,3569	12,86
0,2	6,1157	8,1310	2,0153	8,0641	1,9484	3,3196		
0,1	8,7473	10,7745	2,0272	10,7312	1,9839	2,1360	2,1439	21,19
0,1	8,6622	10,6558	1,9936	10,6129	1,9507	2,1519		
0,04	8,7211	10,7357	2,0146	10,6977	1,9766	1,8862	1,8813	20,70
0,04	8,7629	10,7722	2,0093	10,7345	1,9716	1,8763		
< 0,04	8,8035	10,8049	2,0014	10,6814	1,8779	6,1707	6,1712	21,88
< 0,04	8,9356	10,9318	1,9962	10,8086	1,8730	6,1717		
Summe:							4,236	100,00

Tabelle 15: MP 18-19 | Glühverlust in den Korngrößenklassen



Kornformfaktor

MW	m	D	n	$k_{äquvi.}$	$a_{V,S}$	$a_{M,S}$	$a_{M,S}$ gewichtet
[mm]	[%]	[%]	[--]	[mm]	$[\frac{1}{cm}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$
1,1	0	100					
1	2,89	97,11	0,31	1,0487	173,9	43,86	1,27
0,5	11,15	85,96	0,18	0,6980	261,2	65,89	7,35
0,315	9,32	76,64	0,25	0,3951	461,5	113,22	10,55
0,2	12,86	63,78	0,40	0,2506	727,6	170,62	21,94
0,1	21,19	42,59	0,58	0,1419	1285,0	297,98	63,15
0,04	20,70	21,88	0,73	0,0643	2837,7	642,85	133,09
0,001	21,88	0,00			10257,4	2441,59	534,33
Summe	100,00						770,40

Tabelle 16: MP 18-19 | Bestimmung Kornformfaktor

Kornformfaktor: 18,23

Messung der inneren Oberfläche durch Gasadsorption

MW	Masse Probe	A1	D1	A2	D2	Mittelwert spez. Oberfläche	Masse	Oberfläche gewichtet
[mm]	[g]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[$\frac{m^2}{g}$]	[%]	[$\frac{m^2}{g}$]
1	6,7191	89,61	57,16	90,72	57,48	13,419	2,891	0,39
0,5	8,8259	153,10	77,12	154,18	77,58	17,408	11,150	1,94
0,315	3,5824	49,13	37,50	49,50	37,68	13,766	9,321	1,28
0,2	6,9865	100,38	61,95	99,77	61,86	14,324	12,856	1,84
0,1	4,4363	56,23	42,04	56,68	41,83	12,726	21,194	2,70
0,04	0,4979	5,09	4,61	5,26	4,63	10,394	20,702	2,15
<0,04 mm	0,9622	16,13	13,93	16,30	14,00	16,852	21,884	3,69
Summe:							100,000	14,00

Tabelle 17: MP 18-19 | Bestimmung der inneren Oberfläche in den Korngrößenklassen

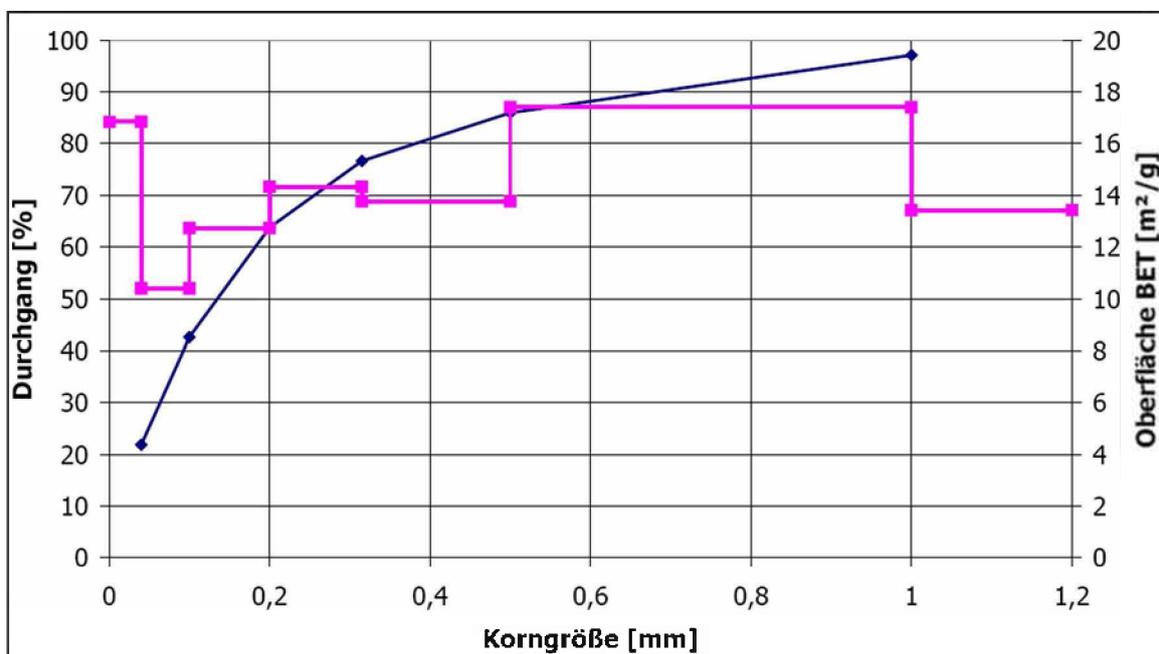


Abbildung 28: Magnetprodukt MP18-19 | Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)

4.1.3 Magnetprodukt MP 06-07

Korngrößenverteilung

MW	m	m	m	R	D	n
[mm]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[--]
1	104,15	104,15	6,85	6,85	93,15	0,262
0,5	235,61	235,61	15,49	22,33	77,67	0,305
0,315	155,48	155,48	10,22	32,55	67,45	0,407
0,2	173,09	173,09	11,38	43,93	56,07	0,575
0,1	280,29	280,29	18,42	62,35	37,65	0,680
0,04	131,85	265,54	17,45	79,80	20,20	
0,001	152,57	307,27	20,20	100	0	
Summe		1521,43	100			

Tabelle 18: MP 06-07 | Ergebnisse der Handsiebung

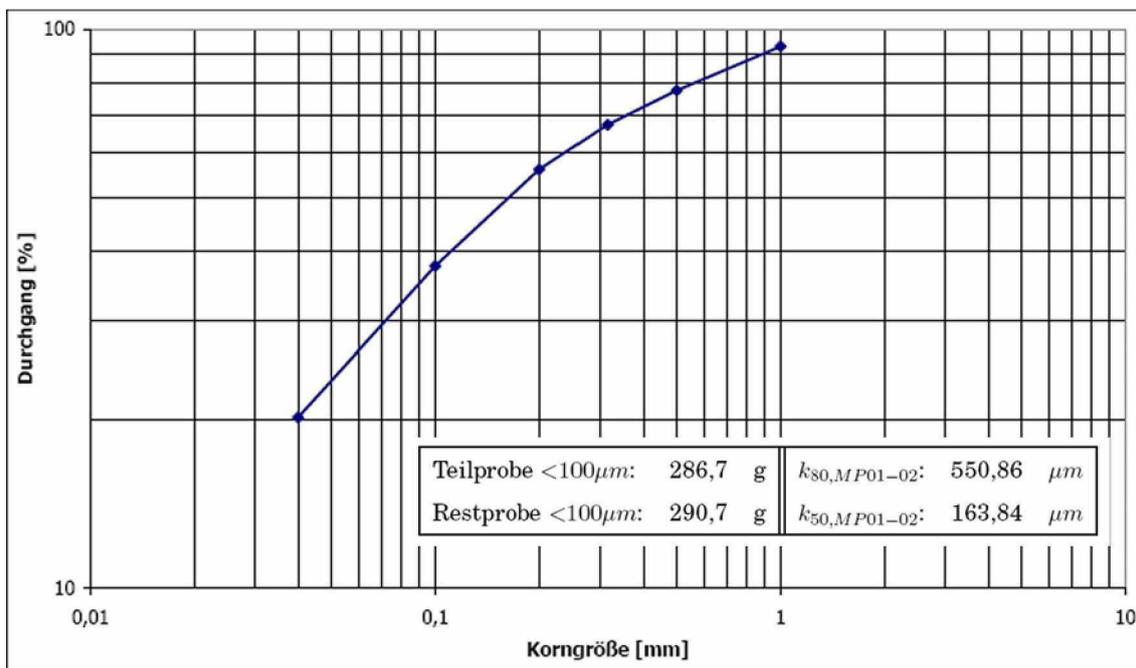


Abbildung 29: Magnetprodukt MP06-07 | Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz



Dichtewerte in den Kornklassen

MW	Einwaage Pyknometer	Volumen	Dichte	m
[mm]	[g]	[cm ³]	[$\frac{g}{cm^3}$]	[%]
1	11,48	2,9545	3,89	6,85
0,5	11,25	2,8678	3,92	15,49
0,315	11,14	2,7756	4,01	10,22
0,2	10,39	2,5220	4,12	11,38
0,1	10,15	2,3950	4,24	18,42
0,04	10,3	2,3564	4,37	17,45
<0,04	9,22	2,23443	4,13	20,20
Summe:		4,123		100,00

Tabelle 19: MP 06-07 | Dichtewerte in den Korngrößenklassen

Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen

MW	$g_{Fe_3O_4,1}$	$g_{Fe_3O_4,2}$	$\overline{g_{Fe_3O_4,2}}$	m	I	r_i
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%%]	[%]
1	18,52	17,51	18,02	6,85	123,32	4,36
0,5	18,70	18,89	18,80	15,49	291,06	10,29
0,315	24,67	24,51	24,59	10,22	251,29	8,88
0,2	30,50	30,45	30,48	11,38	346,71	12,25
0,1	35,12	34,81	34,97	18,42	644,15	22,76
0,04	35,45	35,56	35,51	17,45	619,68	21,90
<0,04	27,10	27,70	27,40	20,20	553,37	19,56
Summe:			28,30	100,00	2829,59	100,00

Tabelle 20: MP 06-07 | Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen



Glühverlust in den Kornklassen

MW	Masse Schale	m Probe m. Schale	Masse Probe	Masse GR mit Schale	Masse GR	GV 900°C	Mittelwert GV	Masse Fraktion
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]
1	8,8258	10,8411	2,0153	10,5456	1,7198	14,6628	14,2973	6,85
1	8,7074	10,7050	1,9976	10,4267	1,7193	13,9317		
0,5	8,7239	10,7348	2,0109	10,4633	1,7394	13,5014	13,5272	15,49
0,5	8,7207	10,7247	2,0040	10,4531	1,7324	13,5529		
0,315	8,7219	10,7306	2,0087	10,5106	1,7887	10,9524	10,9880	10,22
0,315	8,7940	10,7888	1,9948	10,5689	1,7749	11,0237		
0,2	8,8047	10,7895	1,9848	10,6209	1,8162	8,4946	8,4961	11,38
0,2	8,9374	10,9356	1,9982	10,7658	1,8284	8,4976		
0,1	8,9561	10,9577	2,0016	10,8242	1,8681	6,6697	6,6542	18,42
0,1	9,0169	11,0188	2,0019	10,8859	1,8690	6,6387		
0,04	8,6490	10,6635	2,0145	10,5381	1,8891	6,2249	6,2412	17,45
0,04	8,9564	10,9588	2,0024	10,8335	1,8771	6,2575		
< 0,04	8,6619	10,6504	1,9885	10,4713	1,8094	9,0068	9,0034	20,20
< 0,04	8,7209	10,7109	1,9900	10,5318	1,8109	9,0000		
Summe:							9,297	100,00

Tabelle 21: MP 06-07 | Glühverlust in den Korngrößenklassen

**Kornformfaktor**

MW	m	D	n	$k_{\text{äqwi.}}$	$a_{V,S}$	$a_{M,S}$	$a_{M,S}$ gewichtet
[mm]	[%]	[%]	[--]	[mm]	$[\frac{1}{\text{cm}}]$	$[\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}]$	$[\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}]$
1,8	0	100					
1	11,51	88,49	0,21	1,3304	165,5	42,19	4,86
0,5	14,71	73,78	0,26	0,7004	314,3	80,13	11,79
0,315	9,71	64,07	0,31	0,3955	556,7	138,71	13,46
0,2	10,81	53,26	0,41	0,2506	878,6	213,27	23,05
0,1	17,50	35,76	0,57	0,1418	1552,2	366,27	64,10
0,04	16,58	19,18	0,68	0,0640	3438,0	786,53	130,40
0,001	19,18	0,00			9012,9	2184,24	419,02
Summe	100,00						661,82

Tabelle 22: MP 06-07 | Bestimmung Kornformfaktor

Kornformfaktor: 22,02

Messung der inneren Oberfläche durch Gasadsorption

MW	Masse Probe	A1	D1	A2	D2	Mittelwert spez. Oberfläche	Masse	Oberfläche gewichtet
[mm]	[g]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[$\frac{m^2}{g}$]	[%]	[$\frac{m^2}{g}$]
1 mm	1,1652	21,30	19,18	21,30	19,25	18,280	6,846	1,25
0,5 mm	1,5452	31,30	26,84	31,25	26,85	20,240	15,486	3,13
0,315 mm	1,3249	32,54	27,29	32,80	27,32	24,658	10,219	2,52
0,2 mm	1,4265	48,53	36,24	48,47	36,26	33,999	11,377	3,87
0,1 mm	1,3906	55,05	39,25	55,14	39,19	39,620	18,423	7,30
0,04 mm	1,4236	58,79	41,39	58,77	41,16	41,290	17,453	7,21
<0,04 mm	1,4512	61,21	42,23	61,21	42,47	42,179	20,196	8,52
Summe:							100,000	33,80

Tabelle 23: MP 06-07 | Innere Oberfläche in den Korngrößenklassen

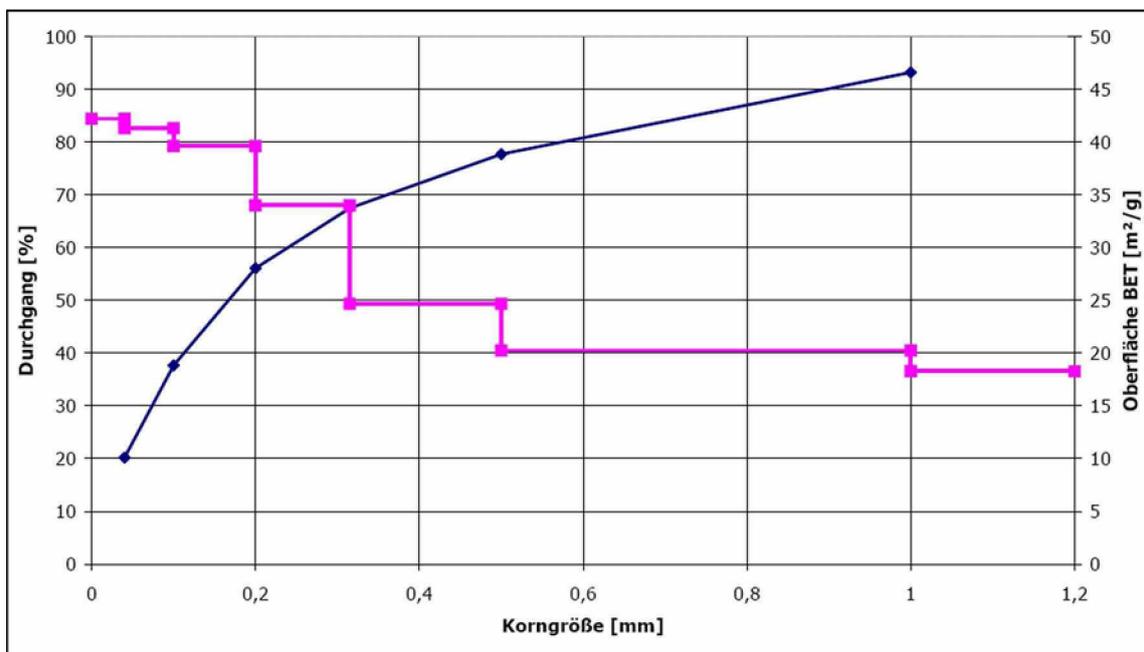


Abbildung 30: Magnetprodukt MP06-07 | Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)

4.1.4 Aufgabe Pelletierung Nisna Slana

Korngrößenverteilung

MW	m	m	D	n
[mm]	[g]	[%]	[%]	[--]
0,2	39,91	7,98	92,02	0,38033
0,1	106,62	21,32	70,69	0,65922
0,063	92,81	18,56	52,13	0,53654
0,04	56,38	11,28	40,86	0,51292
0,025	43,76	8,75	32,10	
0,001	160,52	32,10	0,00	
Summe	500	100		

Tabelle 24: Nisna Slana | Ergebnisse der Nasshand- bzw. Luftstrahlsiebung

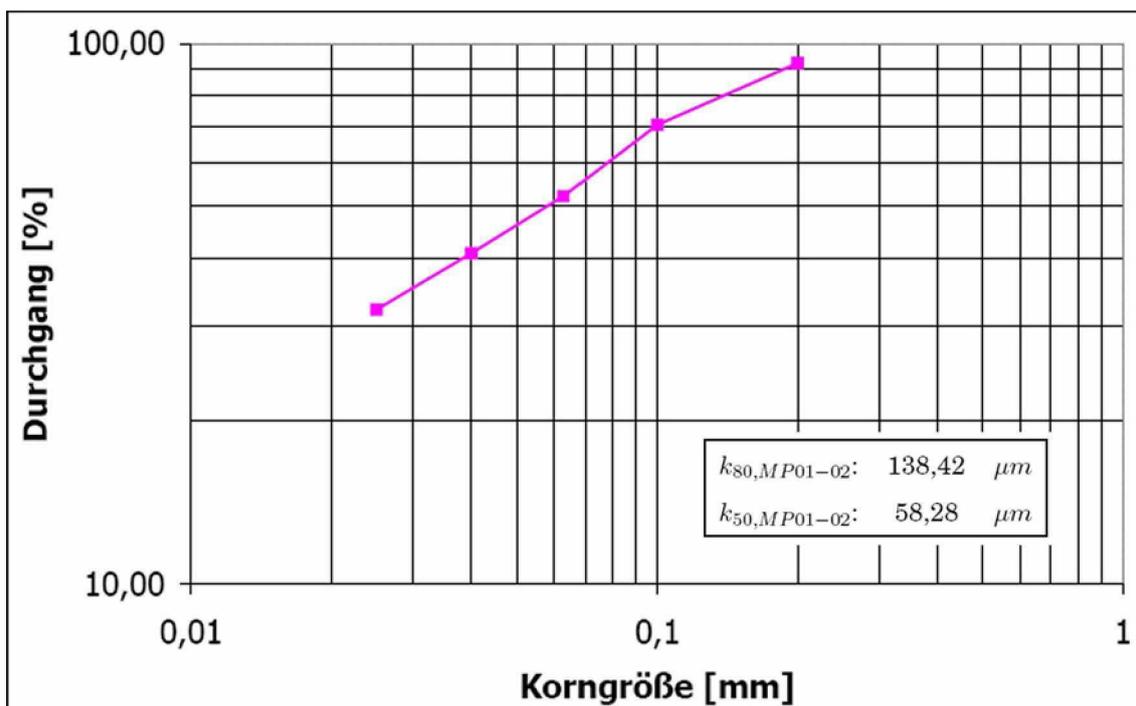


Abbildung 31: Aufgabe Pelletierung Nisna Slana | Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz



Dichtewerte in den Kornklassen

MW	Einwaage Pyknometer	Volumen	Dichte	m
[mm]	[g]	[cm^3]	[$\frac{g}{cm^3}$]	[%]
0,2	12,40	3,0235	4,101	7,98
0,1	12,07	2,7780	4,345	21,32
0,063	12,97	2,9926	4,334	18,56
0,04	10,69	2,4685	4,331	11,28
0,025	9,41	2,1641	4,348	8,75
<0,025			4,242	32,10
Summe:		4,288		100,00

Tabelle 25: Nisna Slana | Dichtewerte in den Korngrößenklassen

Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen

MW	$g_{Fe_3O_4,1}$	$g_{Fe_3O_4,2}$	$\overline{g_{Fe_3O_4,2}}$	m	I	r_i
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%%]	[%]
0,2	51,92	51,72	51,82	7,98	413,63	11,18
0,1	55,52	55,62	55,57	21,32	1184,97	32,02
0,063	55,12	54,78	54,95	18,56	1019,98	27,56
0,04	53,48	53,95	53,72	11,28	605,69	16,37
0,025	54,38	54,48	54,43	8,75	476,37	12,87
Summe:			54,50	67,90	3700,65	100,00

Tabelle 26: Nisna Slana | Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen

**Glühverlust in den Kornklassen**

MW	Masse Schale	m Probe m. Schale	Masse Probe	Masse GR mit Schale	Masse GR	GV 900°C	Mittelwert GV
[mm]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
0,2	8,9565	10,9718	2,0153	10,9072	1,9507	3,2055	3,2092
0,2	9,0168	11,0212	2,0044	10,9568	1,9400	3,2129	
0,1	8,6483	10,6644	2,0161	10,6125	1,9642	2,5743	2,5739
0,1	8,9624	10,9558	1,9934	10,9045	1,9421	2,5735	
0,063	8,6617	10,6640	2,0023	10,6016	1,9399	3,1164	3,1079
0,063	8,7466	10,7502	2,0036	10,6881	1,9415	3,0994	
0,04	8,7204	10,7233	2,0029	10,6488	1,9284	3,7196	3,7323
0,04	8,7624	10,7704	2,0080	10,6952	1,9328	3,7450	
0,025	8,8031	10,7969	1,9938	10,7304	1,9273	3,3353	3,2383
0,025	8,9352	10,9344	1,9992	10,8716	1,9364	3,1413	

Tabelle 27: Nisna Slana | Glühverlust in den Korngrößenklassen



Kornformfaktor

MW	m	D	n	$k_{\text{äqwi.}}$	$a_{V,S}$	$a_{M,S}$	$a_{M,S}$ gewichtet
[mm]	[%]	[%]	[--]	[mm]	$[\frac{1}{cm}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$	$[\frac{cm^2}{g}]$
0,315	0	100					
0,2	7,98	92,02	0,18	0,2496	1154,8	281,58	22,48
0,1	21,32	70,69	0,38	0,1407	2048,3	471,42	100,53
0,063	18,56	52,13	0,66	0,0796	3621,8	835,67	155,12
0,04	11,28	40,86	0,54	0,0502	5245,2	1211,21	136,58
0,025	8,75	32,10	0,51	0,0316	9898,8	2276,52	199,24
<0,025	32,10	0,00				7815,19	2508,99
Summe	100,00						3122,93

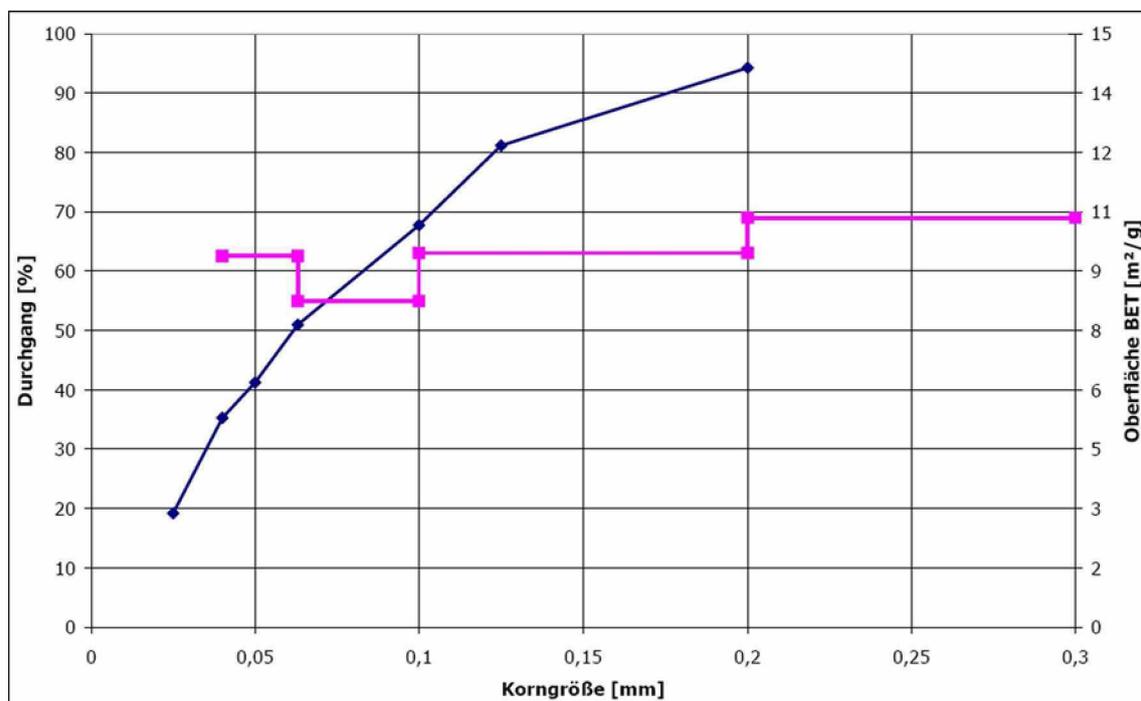
Tabelle 28: Nisna Slana | Bestimmung Kornformfaktor

Kornformfaktor 0,063/0,040: 26,35

Kornformfaktor 0,040/0,025: 31,31

Messung der inneren Oberfläche durch Gasadsorption

MW	Masse Probe	A1	D1	A2	D2	Mittelwert spez. Oberfläche	Masse	Oberfläche gewichtet
[mm]	[g]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[$\frac{m^2}{g}$]	[%]	[$\frac{m^2}{g}$]
0,2	0,6595	6,80	6,04	6,85	5,97	10,349	7,98	0,83
0,1	0,4445	4,14	3,75	4,27	3,78	9,460	21,32	2,01
0,063	1,1463	9,32	8,24	9,63	8,40	8,266	18,56	1,53
0,04	1,0764	8,87	7,81	8,87	7,81	8,240	11,28	0,93
0,025	0,8984	8,38	7,45	8,48	7,41	9,383	8,75	0,82
<0,025	0,9926	13,13	12,49	13,36	12,57	13,344	32,104	4,28
Summe:							100,000	10,41

Tabelle 29: Nisna Slana | Innere Oberfläche in den Korngrößenklassen

Abbildung 32: Aufgabe Pelletierung Nisna Slana | Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)

4.1.5 Zusammenfassung und Vergleich der Merkmalsklassenanalysen

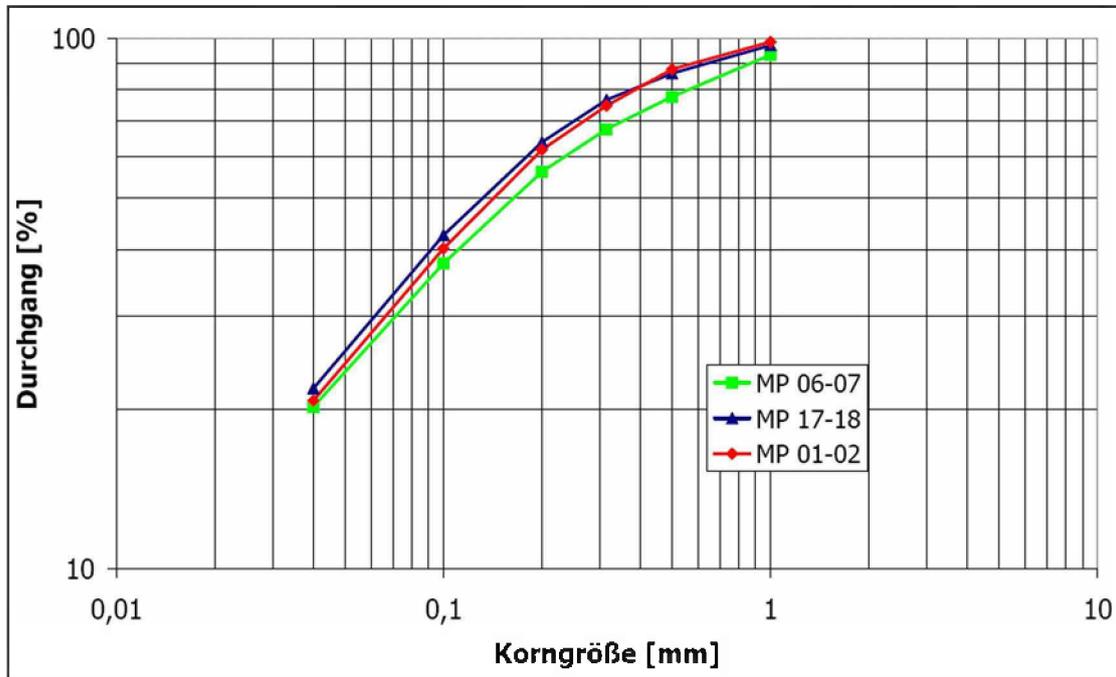


Abbildung 33: Magnetprodukte | Durchgangskurven der Stundenproben

Es fallen geringe Unterschiede in den Korngrößenverteilungen auf, wobei das Magnetprodukt der Stundenprobe 06-07 die größte Korngrößenverteilung aufweist (siehe Abb. 33).

Ein Vergleich der physikalischen Eigenschaften der untersuchten Proben ist in Tabelle 30 dargestellt.

Merkmal	MP 01-02	MP 18-19	MP 06-07	Nisna Slana	
Dichte:	4,185	4,223	4,123	4,288	$\left[\frac{g}{cm^3}\right]$
Äquivalenter Magnetitgehalt:	33,24	40,88	28,30	55,35	[%]
Glühverlust:	6,622	4,236	9,297	ca. 3,0	[%]
Kornformfaktor:	22,66	18,23	22,02	28,83	[-]
innere Oberfläche:	27,35	13,99	33,80	10,41	$\left[\frac{m^2}{g}\right]$

Tabelle 30: Vergleich physikalische Eigenschaften der untersuchten Stundenproben

Die Erzprobe aus Nisna Slana kann nicht mit jenen vom Erzberg verglichen werden. Die Röstung erfolgt dort in einem Drehrohr unter Luftabschluss. Da es in der Slowakei keine Spateisenstein -

Ankerit Verwachsung gibt, kann auf eine selektive Röstung verzichtet werden. Der Spateisenstein wird bei höheren Temperaturen sowie längerer Verweilzeit bis zur vollkommenen Calcinierung geröstet. Diese ist an den geringen Glühverlusten erkennbar (siehe Tabelle 30).

Im folgenden werden nur die Magnetprodukte 01-02, 18-19 und 06-07 miteinander verglichen.

Vergleicht man Dichte, äquivalenten Magnetitgehalt und Glühverlust der Proben miteinander so ergibt sich in Abbildung 34 gezeigter Zusammenhang. Mit steigendem Magnetitgehalt nimmt die

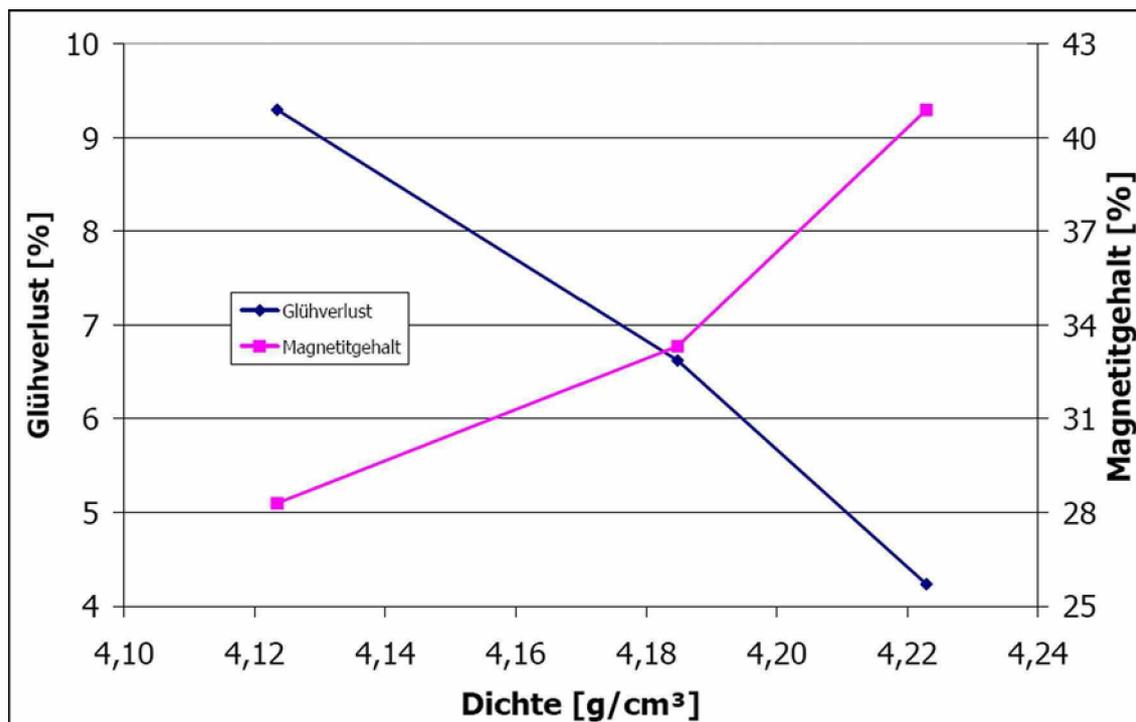


Abbildung 34: Zusammenhang zwischen Dichte und Glühverlust (blau) bzw. Dichte und Magnetitgehalt (magenta)

Dichte zu, wobei der Grund dafür in der vergleichsweise höheren Dichte des Magnetits liegt. Der Magnetitgehalt steht im Zusammenhang mit dem Durchröstungsgrad. Je geringer der Glühverlust im Muffelofen, desto vollständiger war die Röstung und desto größer ist der Magnetitgehalt und damit auch die Dichte. In Abbildung 35 ist der Zusammenhang zwischen Glühverlust und äquivalenten Magnetitgehalt dargestellt. Bei der Stundenprobe MP 18-19 lag die Rösttemperatur um etwa 90°C höher als bei den beiden anderen Proben. Die Verweilzeit im Flugstromreaktor war jedoch bei allen drei konstant.

Somit gibt es einen schlüssigen Zusammenhang zwischen Dichte, äquivalenten Magnetitgehalt und dem Glühverlust. Ein weiterer Zusammenhang besteht zwischen der inneren Oberfläche, ge-

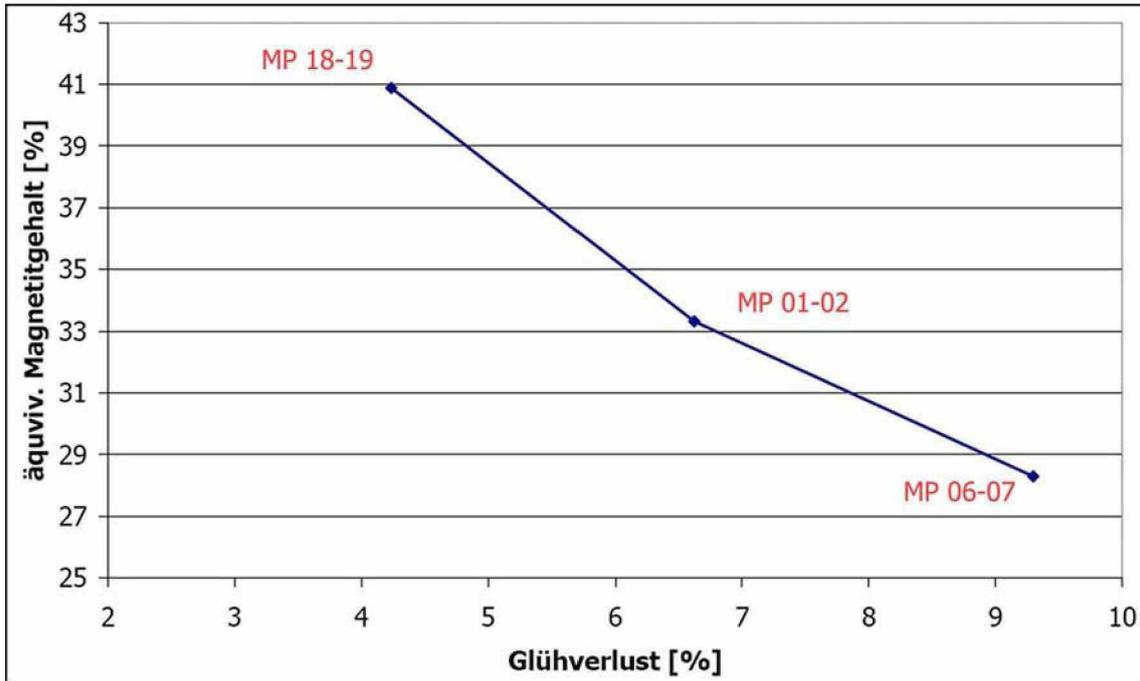


Abbildung 35: Magnetprodukte | Zusammenhang zwischen Glühverlust und äquivalenten Magnetitgehalt

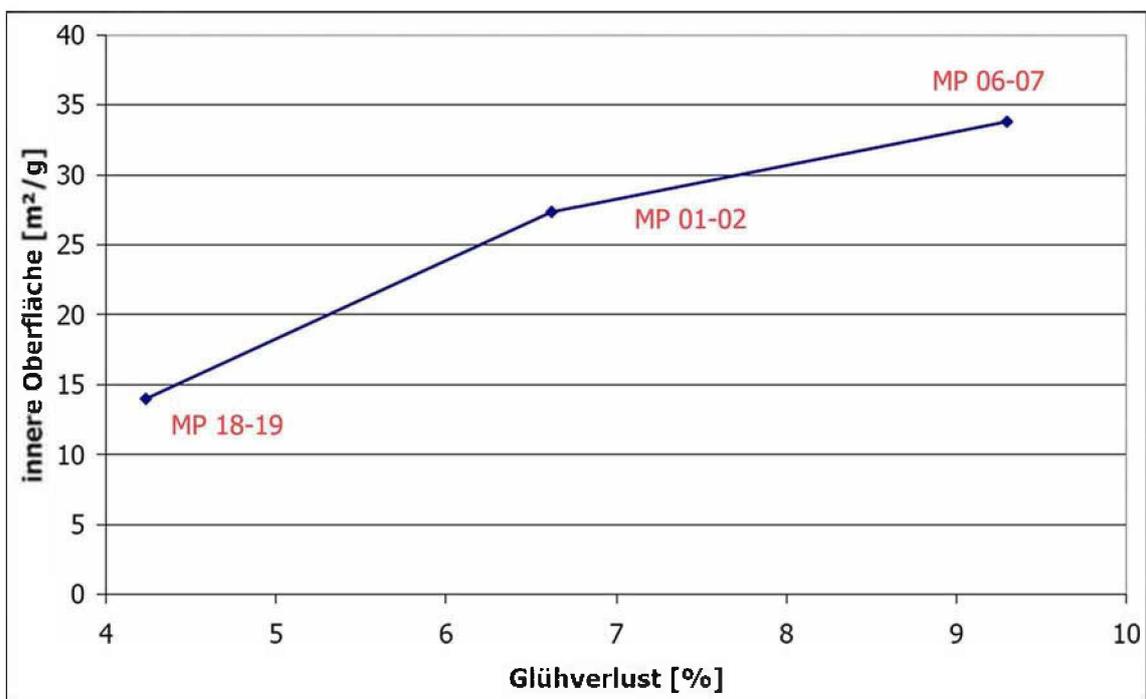


Abbildung 36: Magnetprodukte | Zusammenhang zwischen Glühverlust und innerer Oberfläche



messen durch Gasadsorption, und dem Glühverlust. Wie bereits erläutert, wird durch die selektive Röstung nur der Spateisenstein entsäuert. Innerhalb der Körner entweicht während der Röstung CO_2 , welches sich Wege zur Kornoberfläche verschafft. Dadurch kommt es zu einer ausgeprägten Rissstruktur innerhalb der Körner. Dies ist auch der Grund für die sehr hohen inneren Oberflächen bzw. für die großen Kornformfaktoren.

Unter dem Kornformfaktor f wird der Proportionalitätsfaktor zwischen volumenspezifischer Oberfläche und dem Kehrwert der oberflächenäquivalenten Korngröße verstanden ($a_v = f \cdot \frac{1}{k_{\text{äqui}}}$). Bei einem Würfel beträgt der Kornformfaktor 6, bei Quarzsand ca. 10. Durch die plättchenartige Struktur hat Glimmer Kornformfaktoren von ca. 25.

Abbildung 36 zeigt den Zusammenhang zwischen Glühverlust und innerer Oberfläche. Je höher der Glühverlust, desto höher ist auch die innere Oberfläche. Geringe Restglühverluste sollten eigentlich ein Hinweis auf einen hohen Durchröstungsgrad sein, welcher wiederum zu einer ausgeprägteren Rissstruktur führen müsste. Die Frage warum dem nicht so ist, wird bei einer noch folgenden mikroskopischen Beurteilung nachgegangen.



4.2 Mineralogische Untersuchung der Magnetprodukte

Um ein größeres Verständnis über die mineralogische Zusammensetzung zu erlangen, bzw. auch im letzten Kapitel aufgeworfene Fragen zu beantworten, wurden Anschliffe von den Stundenproben angefertigt. In folgender Tabelle sind die angeschliffenen Proben angeführt:

Schliffnummer	Probe	Schliffnummer	Probe
867/1	MP 06-07 1/0,5 mm	869/1	MP 01-02 0,315/0,2 mm
867/2	MP 06-07 0,5/0,315 mm	869/2	MP 01-02 0,2/0,1 mm
867/3	MP 06-07 0,315/0,2 mm	869/3	MP Slowakei >0,2 mm
867/4	MP 06-07 0,2/0,1 mm	869/4	MP Slowakei 0,2/0,1 mm
867/5	MP 18-19 1/0,5 mm	869/5	ZP Nisna Slana 1/0,71 mm
868/1	MP 18-19 0,5/0,315 mm	870/1	ZP Nisna Slana 0,71/0,5 mm
868/2	MP 18-19 0,315/0,2 mm	870/2	ZP Nisna Slana 0,5/0,315 mm
868/3	MP 18-19 0,2/0,1 mm	870/3	ZP Nisna Slana 0,315/0,1 mm
868/4	MP 01-02 1/0,5 mm	870/4	ZP Nisna Slana 0,315/0,1 mm
868/5	MP 01-02 0,5/0,315 mm	870/5	ZP Nisna Slana 0,5/0,315 mm

Tabelle 31: Angeschliffene Proben; Bei den Proben 870/4 und 870/5 handelt es sich um magnetgeschiedene Röstprodukte (560°C, 45 Minuten, Handmagnet 14/13mm)

Die im folgenden gezeigten Abbildungen wurden mit dem Auflichtmikroskop bei 100 bis 250 - facher Vergrößerung betrachtet und mit einer Spiegelreflexkamera fotografiert.

Das dem Drehrohfen aufgebene slowakische Erz von Nisna Slana ist in Abbildung 37 zu sehen. Wie bereits angemerkt, gibt es dort keine Verwachsung mit Ankerit. Im Bild ist jedoch fein verwachsener Pyrit zu sehen, der bei der Röstung vermutlich in Magnetit umgewandelt wird. Das Röstprodukt wird einem Nassschwachfeldmagnetscheider aufgegeben, dessen Produkt in Abbildung 38 zu sehen ist. Je nach Oxydationsgrad des Eisens sind im Anschliff verschieden hell reflektierende Mineralkörner zu sehen. Je heller diese sind, desto höher ist der Oxydationsgrad. Aufgrund der langen Verweilzeit bzw. der hohen Temperaturen im Drehrohr, ist der Umwandlungsgrad von Spateisenstein in Eisenoxyde relativ hoch.

Im Gegensatz zum slowakischen Erz bemerkt man beim heimischen eine ausgeprägtere Rissstruktur innerhalb der Mineralkörner. In Abbildung 39 ist das Magnetprodukt 01-02 in der Korngrößenklasse 0,315/0,2 mm abgebildet. Bei der Röstung frei werdendes CO_2 spaltet die Spatkörner entlang



der Rhomboederflächen auf und es kommt zu feinen Rissen, die auch die Ursache für die hohen inneren Oberflächen sind. Ausgehend von diesen Rissen findet die Oxydation des Eisens statt und es bildet sich Magnetit (dunkler im Auflicht) und Hämatit (heller im Auflicht). Bei unvollkommener Durchröstung bleiben Spateisensteinnester, von Magnetit bzw. Hämatit umgeben, zurück. Der Anteil an Eisenoxyden im Magnetprodukt MP 01-02 ist groß, was sich auch am hohen äquivalenten Magnetitgehalt von 36,04% bzw. am geringen Glühverlust von 5,28% widerspiegelt.

In der Abbildung 40 ist die Aufschlussproblematik bemerkbar. In der Kornfraktion 1/0,5 mm befinden sich noch verwachsene Anteile an Quarz, Ankerit und feinem Pyrit. Die Überführung ins Magnetprodukt liegt an der relativ guten Umwandlung des Spateisensteins in Eisenoxyde. Der geringe Anteil an ferromagnetischen Bestandteilen (22,65%) bzw. der höhere Glühverlust (10,36%) sind die Auswirkungen dieser Verwachsungen.

Die gute Durchröstung der Stundenprobe MP 18-19 ist in Abbildung 41 zu sehen. Neben Ankerit-Verwachsungen finden sich keine Spateisensteinanteile. Vergleicht man Abbildung 41 mit 39 so fallen Unterschiede in der Rissstruktur auf. Bei der Stundenprobe MP 01-02 sind diese viel feiner verzweigt als bei MP 18-19. Bei 200-facher Vergrößerung fällt diese grobe Rissstruktur noch mehr auf. Die Stundenprobe MP 18-19 wurde mit 670°C bei höheren Temperaturen geröstet als die beiden anderen Stundenproben (ca. 600°C). Bei dieser Temperatur kam es vermutlich zu einem rascheren Entweichen des CO_2 . Viele große Risse führen zu einer geringeren Oberfläche als ein fein verzweigtes Rissystem. Dieser Umstand könnte der Grund für den in Abbildung 36 gezeigten Zusammenhang sein.

Die geringste Umwandlung von Spateisenstein in Röstspat ist in Abbildung 44 zu erkennen. Die dort abgebildete Stundenprobe 06-07 zeichnet sich durch große Bereiche an Spateisenstein aus.

Die mineralogische Untersuchung des heimischen Erzes führte zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. **Röstkinetik:** Je feiner die Korngröße desto vollständiger ist die Umwandlung von Spateisenstein in Eisenoxyde. Bei allen Stundenproben ist der Restglühverlust in der Fraktion 0,315/0,2 mm geringer als jener in der Fraktion 1/0,5 mm. Die bei erhöhter Temperatur größere Durchröstungsintensität ist in den Abbildungen der Stundenprobe MP 18-19 zu erkennen. Hier fand die Umwandlung von Spateisenstein in Eisenoxyde zu beinahe 100% statt.
2. **Verwachsungen:** Der Aufschluss von Ankerit beginnt teilweise erst deutlich unter einem Millimeter. In Abbildung 41 ist in der Korngröße 0,315/0,2 mm im linken oberen Eck noch fein verwachsener Ankerit zu erkennen. Gleiches gilt für die Verwachsung mit Quarz (siehe

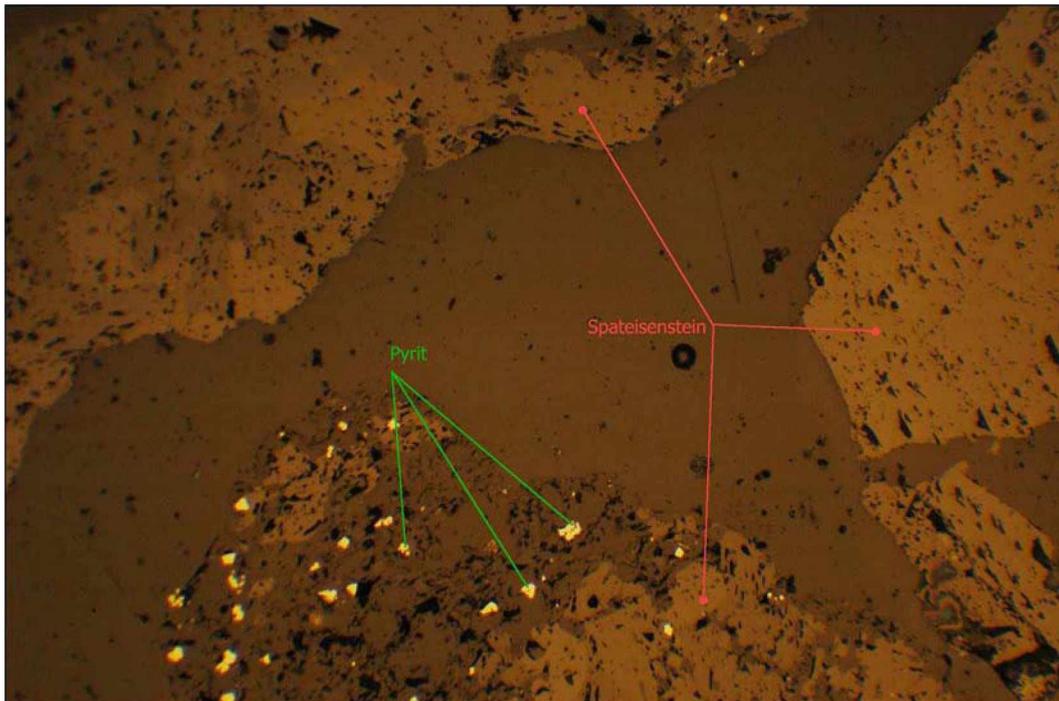


Abbildung 37: Anschliff 869/5 | ZP Nisna Slana 1/0,71 mm x 100 | Spateisenstein - Pyrit Verwachsung

Abbildung 44). Ein Aufschluss von Pyrit wird erst bei Korngrößen $<0,1\text{mm}$ möglich sein.

- Rissstruktur:** Während bei den Stundenproben MP 01-02 und MP 06-07 eine fein verzweigte Rissstruktur zu bemerken ist, trifft man bei der Stundenprobe MP 18-19 auf eher grobe Risse. Die erhöhte Temperatur führte nicht nur zu den größeren Rissen, sondern auch zu *rundlicheren* Konturen innerhalb dieser. Der Ursprung dieser runden Konturen liegt vermutlich in einem bereits eingesetzten Sinterprozess, welcher auch der Grund für den höheren Zerkleinerungswiderstand ist.

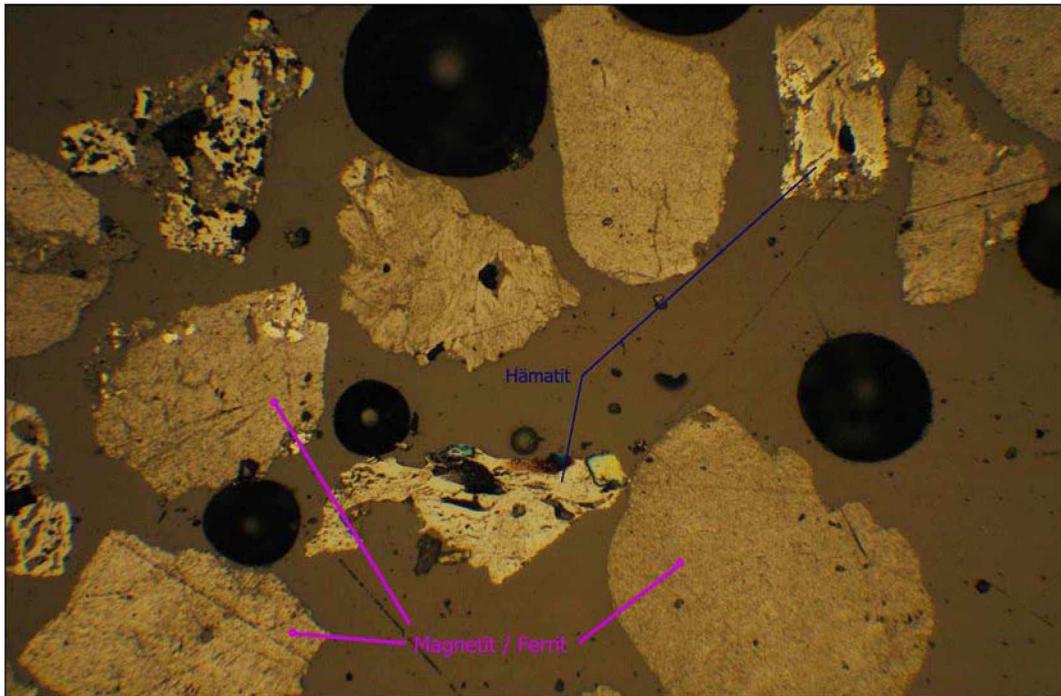


Abbildung 38: Anschliff 869/3 | MP Slowakei >0,2 mm | Magnetit und Hämatit - Körner, Verwachsung
Hämatit - Sulfide (bunte Anlauffarben) | GV = 3,21%

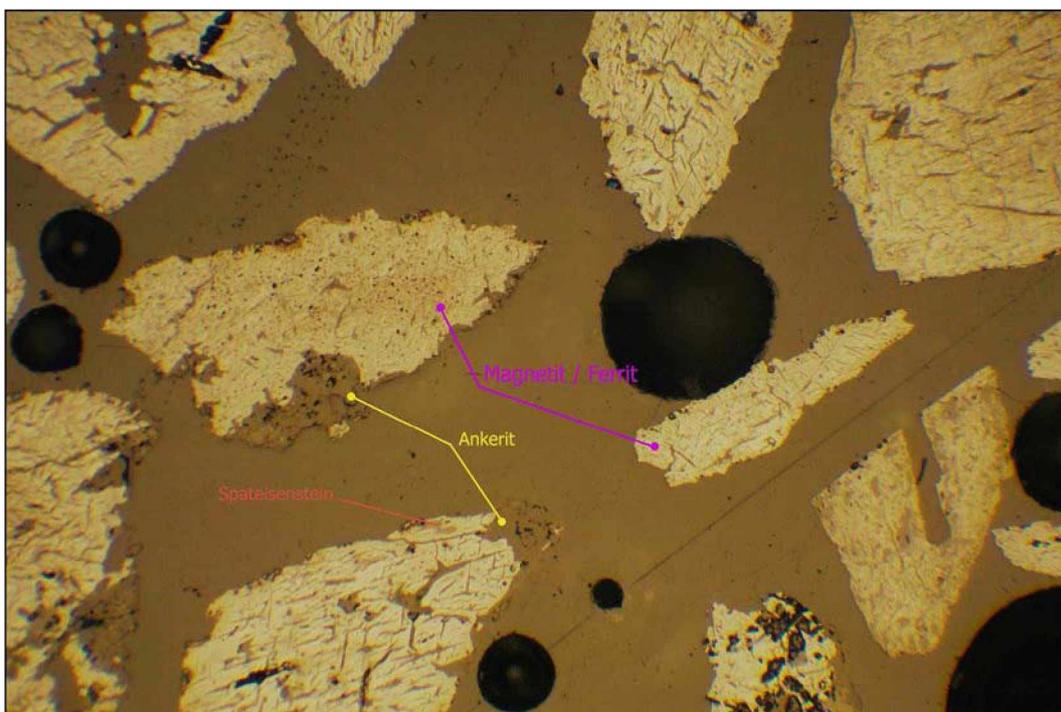


Abbildung 39: Anschliff 869/1 | MP 01-02 0,315/0,2 mm | Ankerit - Röstspat Verwachsung | GV = 5,28%

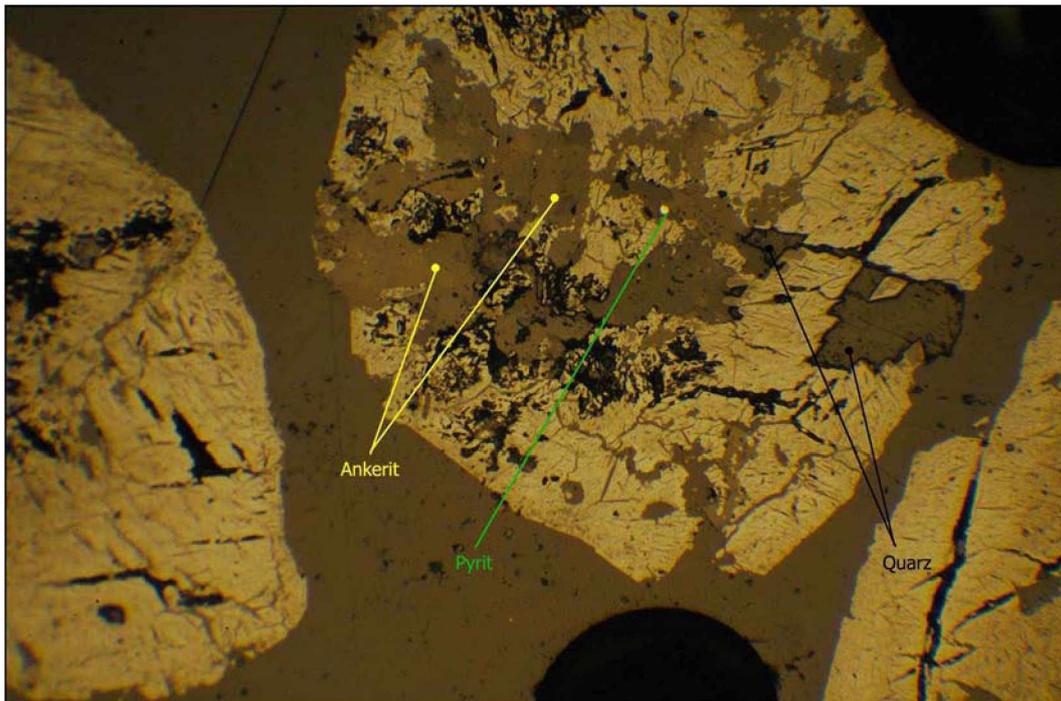


Abbildung 40: Anschliff 868/4 | MP 01-02 1/0,5 mm x 100 | Ankerit - Röstspat - Quarz - Pyrit Verwachsung | GV = 10,40%

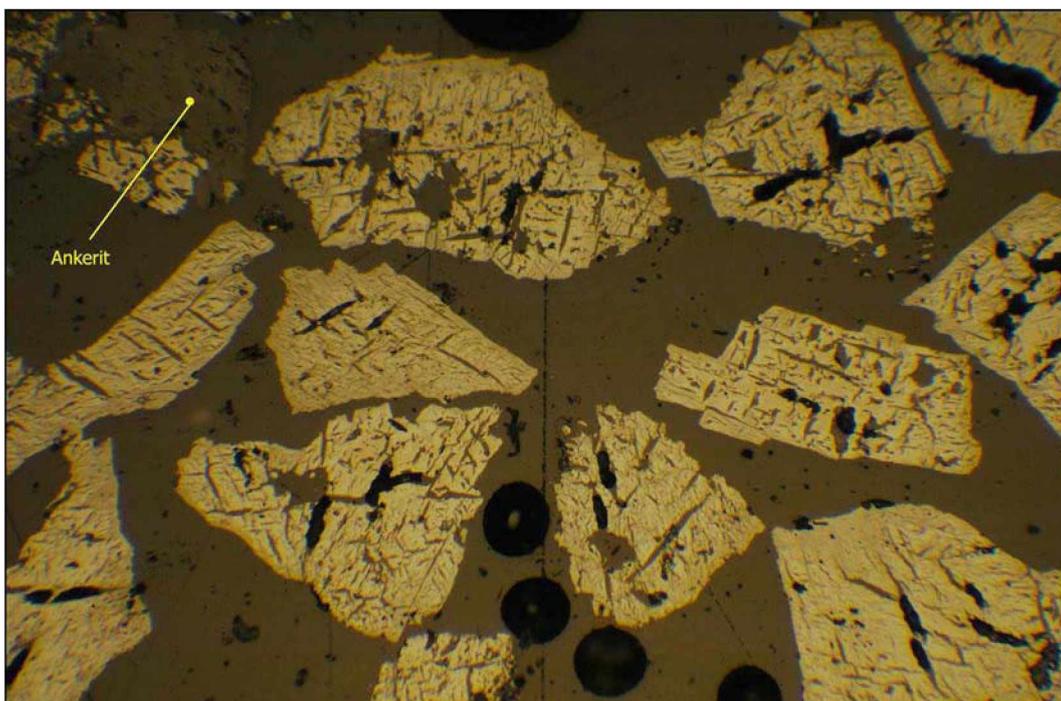


Abbildung 41: Anschliff 868/2 | MP 18-19 0,315/0,2 mm x 100 | Ankerit - Röstspat Verwachsung | GV = 5,42%

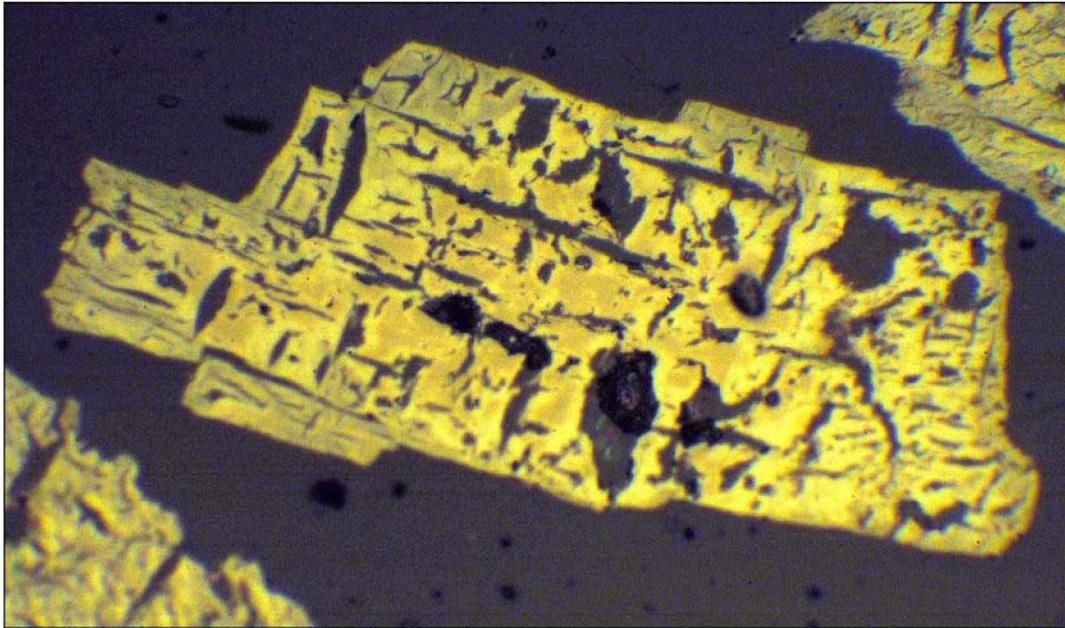


Abbildung 42: Anschliff 868/2 | MP 18-19 0,315/0,2 mm x 250 | Röstspatkorn | GV = 5,42%

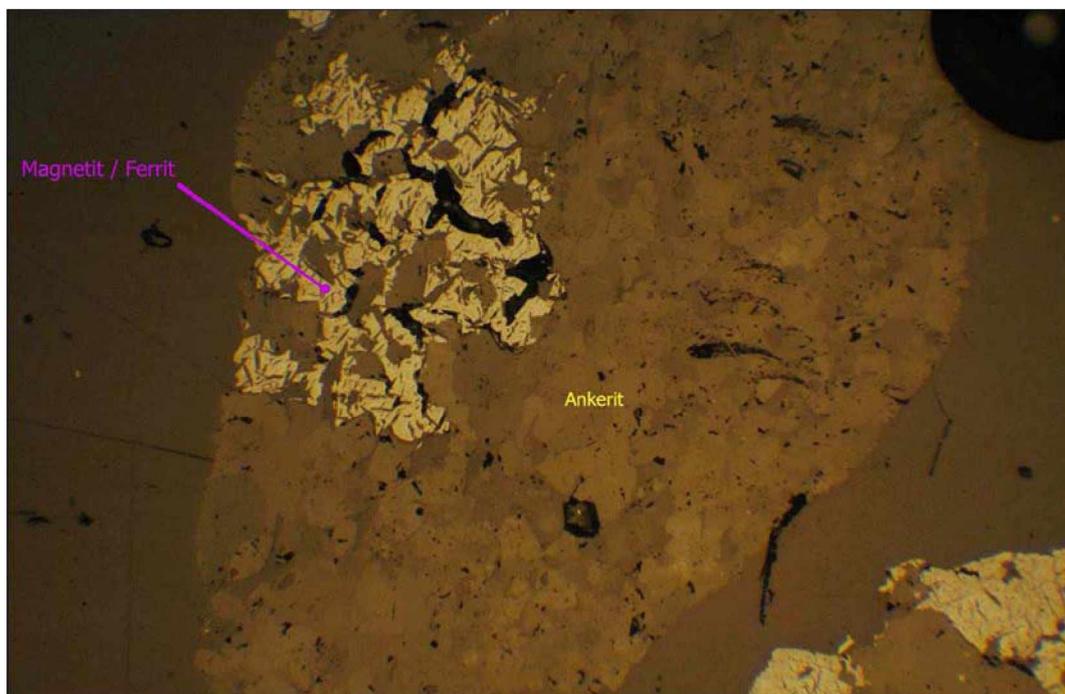


Abbildung 43: Anschliff 867/5 | MP 18-19 1/0,5 mm x 100 | Ankerit - Röstspat Verwachsung | GV = 7,24%

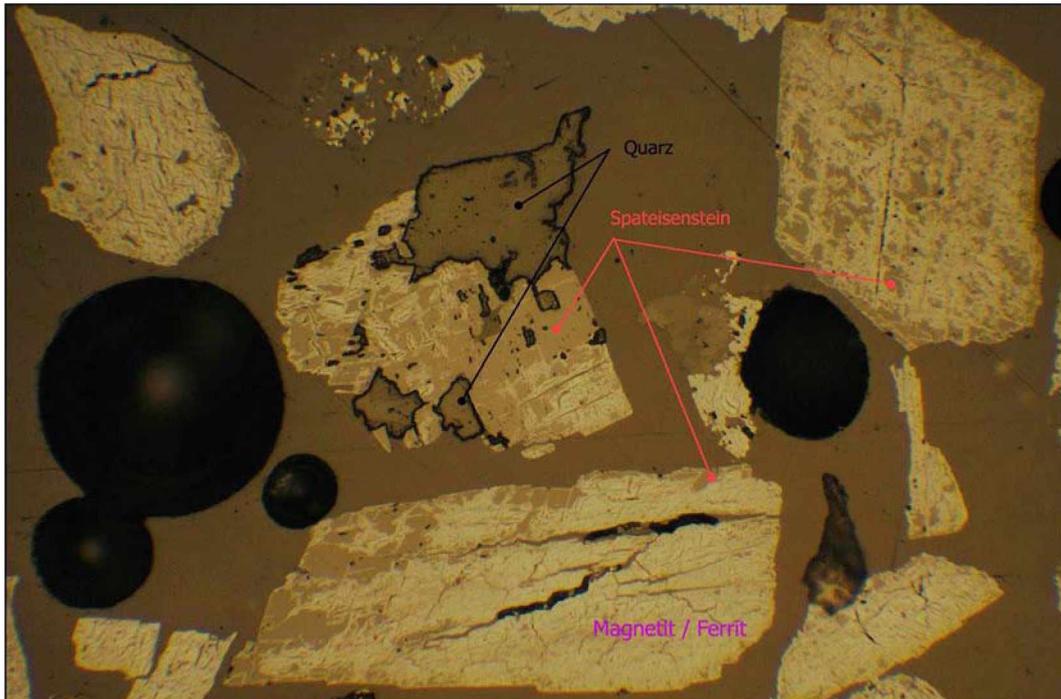


Abbildung 44: Anschliff 867/3 | MP 06-07 0,315/0,2 mm x 100 | Quarz - Spat Verwachsung | GV = 8,50%

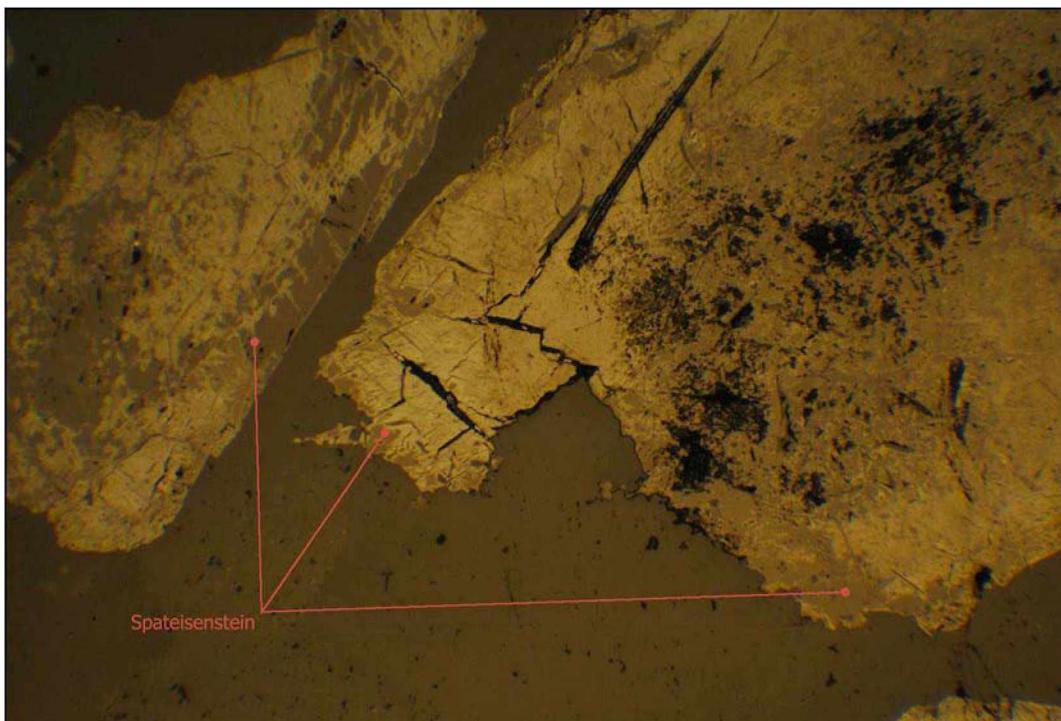


Abbildung 45: Anschliff 867/1 | MP 06-07 1/0,5 mm | Ankerit - Röstspat Verwachsung | GV = 13,53%

4.3 Mahlung der Magnetprodukte

Da die Feinheit der Magnetprodukte noch nicht den in Kapitel 3.2.2 genannten Anforderungen entsprachen, mussten diese zerkleinert werden. Zur Anwendung kam dabei der Mahlbarkeitsprüfstand nach *Wiechert* am Institut für Aufbereitung. Dieser besteht aus einer Kugelmühle, einer Drehmomentenmesswelle sowie der Auswerteeinheit (siehe Abbildung 46). Bei jeder verwendeten Stunden-

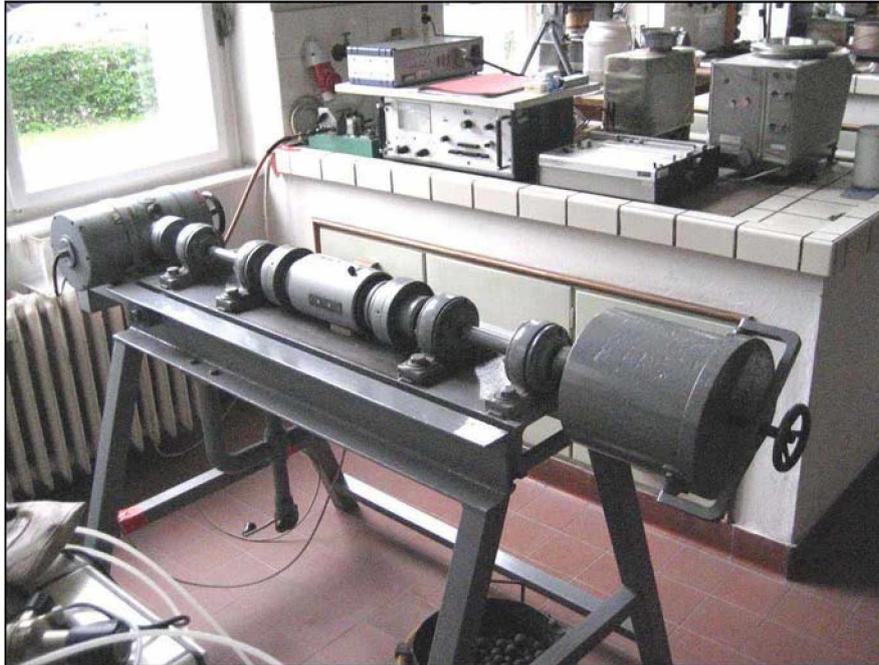


Abbildung 46: Mahlbarkeitsprüfstand nach *Wiechert*

probe wurde zunächst eine Mahlbarkeitsuntersuchung durchgeführt. Die Magnetprodukte wurden 400 bzw. 800 Umdrehungen lang in der Kugelmühle einer Durchlaufzerkleinerung unterzogen. In regelmäßigen Abständen beprobte man das Mahlprodukt, um dessen Oberfläche nach Blaine und Permeran zu bestimmen. Die ermittelte Energiecharakteristik stellt den Mittelwert der beiden gemessenen Oberflächen der aufgenommenen Energie gegenüber.



4.3.1 Magnetprodukt MP 01-02

Zyklus- Nummer	Umdrehungen		Schreiber		Netto- dreh- moment [Nm]	Nettoenergie- verbrauch		spez. Energie- aufwand [$\frac{J}{g}$]	Summe spez. Energie- aufwand [$\frac{J}{g}$]
	U [--]	$\sum U$ [--]	IE [--]	IE/t [$\frac{1}{s}$]		E [J]	$\sum E$ [J]		
Leerlauf			3100	14,42	0,9670				
1	100	100	6600	70,21	3,74	2351,2	2351,2	2,41	2,41
2	100	200	6600	69,47	3,69	2320,1	4671,3	2,38	4,79
3	100	300	6600	69,47	3,69	2320,1	6991,3	2,51	7,30
4	100	400	6400	67,37	3,55	2231,3	9222,7	2,41	9,72
Mahlgutmasse: 974,38 g									
Mahlkörpermasse: 8828 g									

Tabelle 32: MP 01-02 | Ermittlung des spezifischen Energieeintrages

Zyklus	Summe spez.	Oberfläche	Oberfläche	mittlere
-Nummer	Energieaufwand	Blaine	Permeran	Oberfläche
	Δe [$\frac{J}{g}$]	$a_{M,S}$ [$\frac{cm^2}{g}$]	$a_{M,S}$ [$\frac{cm^2}{g}$]	$\overline{a_{M,S}}$ [$\frac{cm^2}{g}$]
0	0			900,0
1	2,41	1447	1507	1476,6
2	4,79	2035	1933	1983,9
3	7,30	2457	2572	2514,2
4	9,72	2806	2966	2885,8

Tabelle 33: MP 01-02 | Ermittlung der Energiecharakteristik

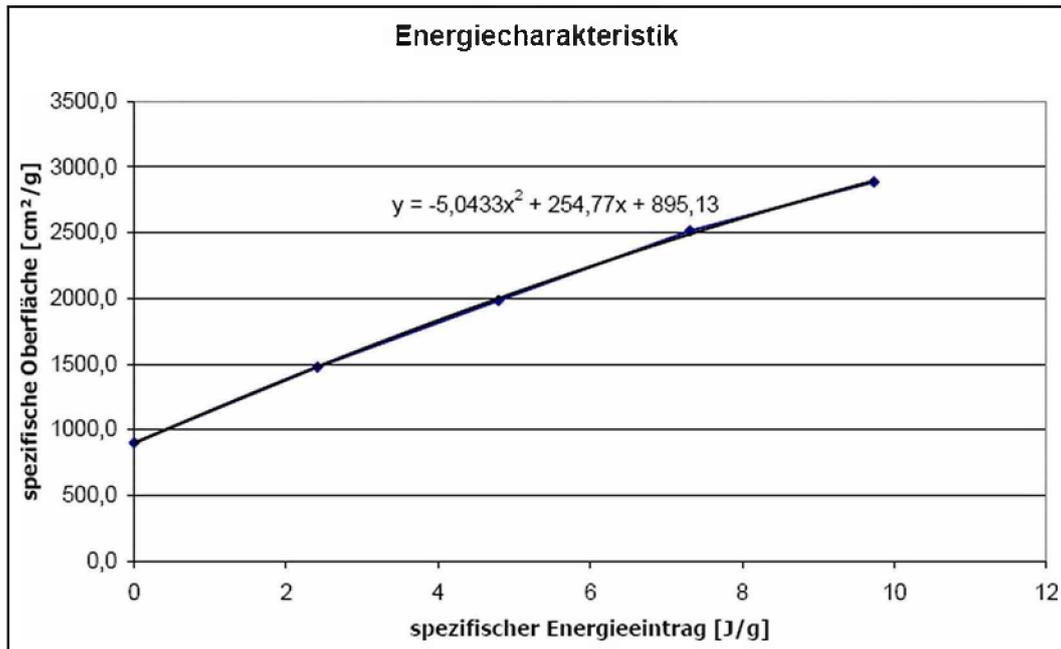


Abbildung 47: Magnetprodukt MP01-02 | Energiecharakteristik

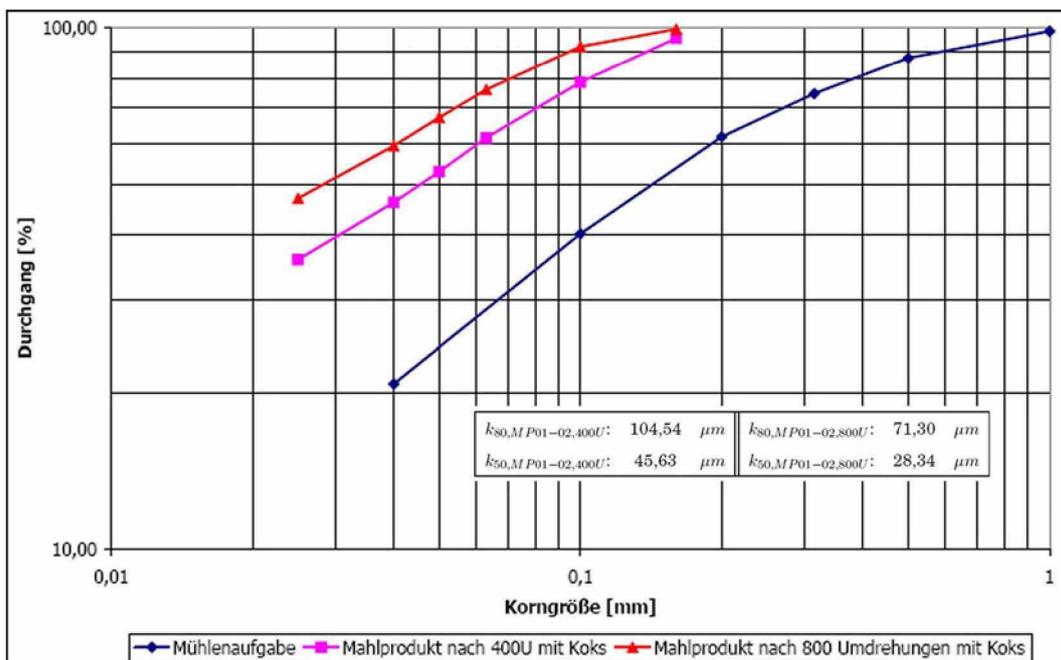


Abbildung 48: Zerkleinerungsprodukte MP01-02 | Durchgangsverteilungen

4.3.2 Magnetprodukt MP 18-19



	Umdrehungen		Schreiber		Netto- dreh- moment	Nettoenergie- verbrauch		spez. Energie- aufwand	Summe spez. Energie- aufwand
	U	$\sum U$	IE	IE/t		E	$\sum E$		
Zyklus- Nummer	[--]	[--]	[--]	$[\frac{1}{s}]$	ΔM_N [Nm]	[J]	[J]	Δe $[\frac{J}{g}]$	$\sum \Delta e$ $[\frac{J}{g}]$
Leerlauf			4600	16,37	1,0862				
1	100	100	1200	70,59	3,5976	2260,4	2260,4	2,34	2,34
2	100	200	7000	69,31	3,5126	2207,0	4467,4	2,31	4,65
3	100	300	4400	69,84	3,5481	2229,3	6696,8	2,35	7,01
4	100	400	6200	69,27	3,5104	2205,6	8902,4	2,35	9,37
5	200	600	12800	68,45	3,4557	4342,5	13245,0	4,69	14,06
6	200	800	12800	68,09	3,4315	4312,1	17557,2	4,71	18,78
Mahlgutmasse: 965,00 g									
Mahlkörpermasse: 8828 g									

Tabelle 34: MP 18-19 | Ermittlung des spezifischen Energieeintrages

Zyklus	Summe spez.	Oberfläche	Oberfläche	mittlere
-Nummer	Energieaufwand	Blaine	Permeran	Oberfläche
	Δe $[\frac{J}{g}]$	$a_{M,S}$ $[\frac{cm^2}{g}]$	$a_{M,S}$ $[\frac{cm^2}{g}]$	$\overline{a_{M,S}}$ $[\frac{cm^2}{g}]$
0	0			770,4
1	2,34244	1288	1351	1319,4
2	4,65347	1587	1693	1640,0
3	7,01254	1895	2028	1961,5
4	9,37152	2178	2328	2253,2
5	14,06617	2600	2761	2680,4
6	18,77895	3047	3259	3152,9

Tabelle 35: MP 18-19 | Ermittlung der Energiecharakteristik

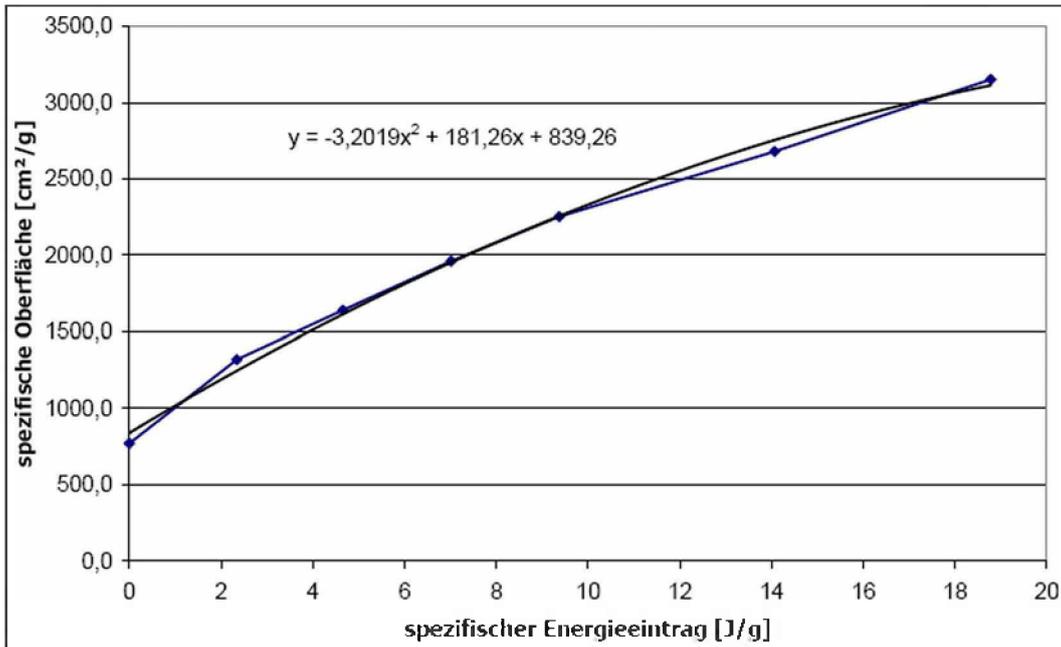


Abbildung 49: Magnetprodukt MP18-19 | Energiecharakteristik

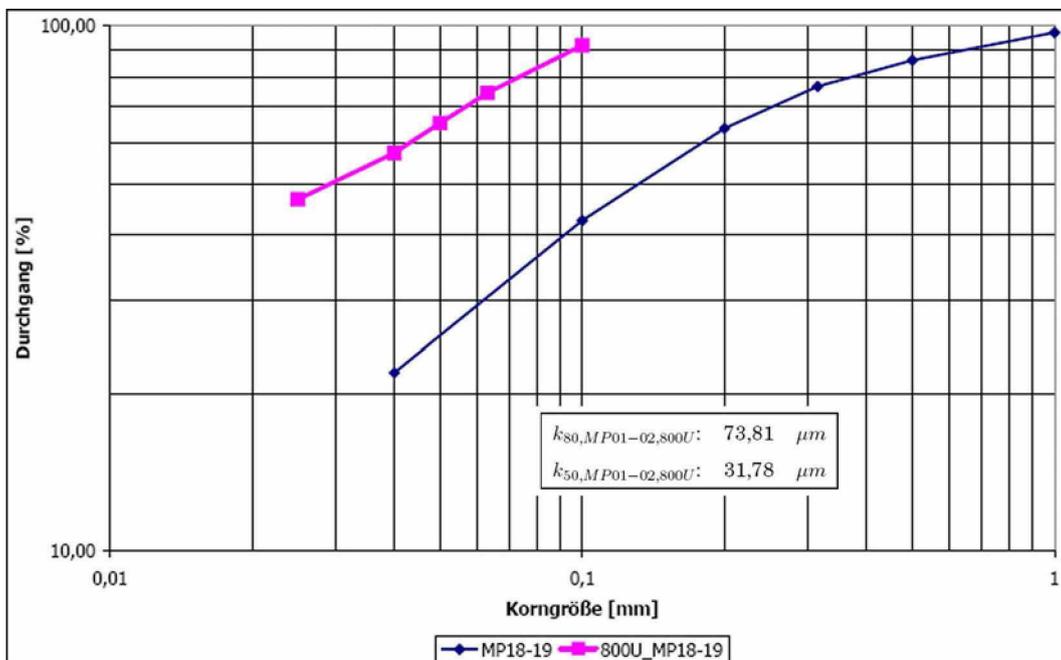


Abbildung 50: Zerkleinerungsprodukte MP18-19 | Durchgangsverteilungen



4.3.3 Magnetprodukt MP 06-07

	Umdrehungen		Schreiber		Netto- dreh- moment	Nettoenergie- verbrauch		spez. Energie- aufwand	Summe spez. Energie- aufwand
	U	$\sum U$	IE	IE/t		E	$\sum E$		
Zyklus- Nummer	[--]	[--]	[--]	$[\frac{1}{s}]$	ΔM_N [Nm]	[J]	[J]	Δe $[\frac{J}{g}]$	$\sum \Delta e$ $[\frac{J}{g}]$
Leerlauf			4600	16,37	1,0862				
1	100	100	5600	72,73	3,57	2247,6	2247,6	2,17	2,17
2	100	200	6400	73,99	3,65	2299,1	4546,8	2,23	4,40
3	100	300	6000	70,18	3,41	2143,3	6690,1	2,09	6,50
4	100	400	5400	70,13	3,40	2141,4	8831,5	2,10	8,61
5	200	600	12000	68,57	3,30	4155,4	12987,0	4,11	12,72
6	200	800	11800	68,60	3,30	4158,2	17145,2	4,14	16,86
Mahlgutmasse: 1030,00 g									
Mahlkörpermasse: 8838 g									

Tabelle 36: MP 06-07 | Ermittlung des spezifischen Energieeintrages

Zyklus	Summe spez.	Oberfläche	Oberfläche	mittlere
-Nummer	Energieaufwand	Blaine	Permeran	Oberfläche
	Δe $[\frac{J}{g}]$	$a_{M,S}$ $[\frac{cm^2}{g}]$	$a_{M,S}$ $[\frac{cm^2}{g}]$	$\overline{a_{M,S}}$ $[\frac{cm^2}{g}]$
0	0			696,7
1	2,17	1071	1231	1150,8
2	4,40	1603	1810	1706,6
3	6,50	2158	2318	2237,9
4	8,61	2528	2697	2612,7
5	12,72	3266	3497	3381,1
6	16,86	3841	4132	3986,5

Tabelle 37: MP 06-07 | Ermittlung der Energiecharakteristik

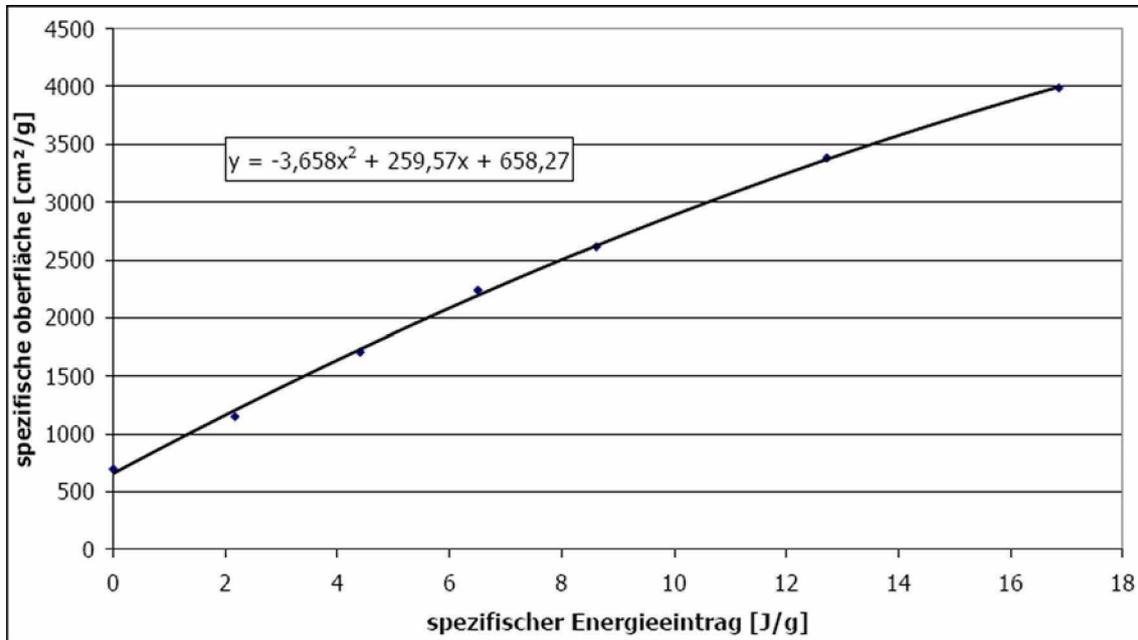


Abbildung 51: Magnetprodukt MP06-07 | Energiecharakteristik

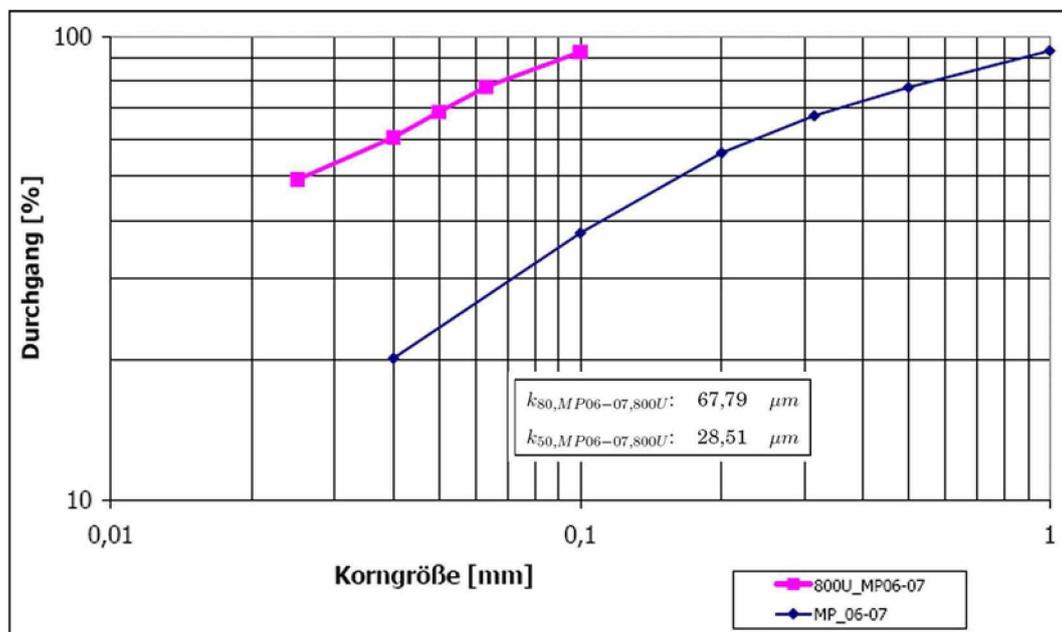


Abbildung 52: Zerkleinerungsprodukte MP06-07 | Durchgangsverteilungen

4.3.4 Zusammenfassung der Mahlbarkeitsuntersuchungen

Ein Vergleich der Energiecharakteristika ist in Abbildung 53 dargestellt. Zum Vergleich der Kur-

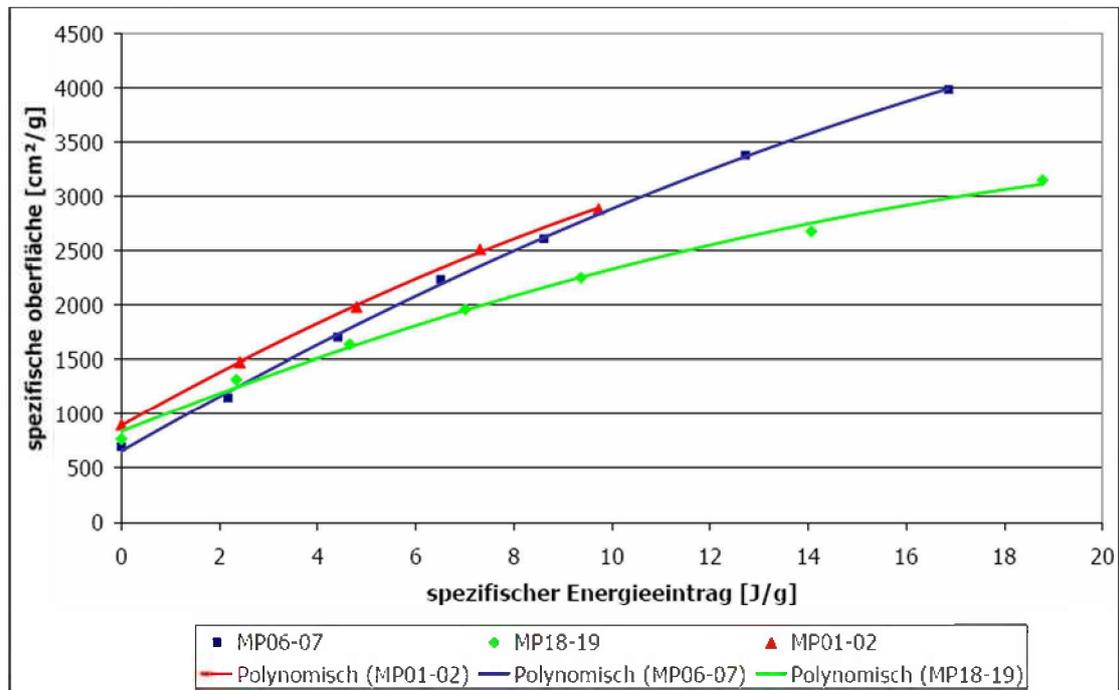


Abbildung 53: Vergleich der Energiecharakteristika | rot: MP01-02, grün: MP18-19, blau: MP06-07

ven empfiehlt sich eine Berechnung des Rittingerkoeffizienten. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen Oberflächenzuwachs und dafür notwendigen spezifischen Energieeintrag. Somit handelt es sich um die Steigung der Kurven im Diagramm 53. Bei Durchlaufzerkleinerung handelt es sich im Gegensatz zu Kreislaufzerkleinerungen um Kurvenzüge, bei denen der Rittingerkoeffizient mit Mahlfortschritt immer kleiner wird. Um die Magnetprodukte hinsichtlich Mahlbarkeit miteinander zu vergleichen, werden die Anfangssteigungen herangezogen:

Stundenprobe	Anfangssteigung	
MP 01-02:	254,77	$\left[\frac{\text{cm}^2}{\text{J}} \right]$
MP 18-19:	181,26	$\left[\frac{\text{cm}^2}{\text{J}} \right]$
MP 06-07:	259,57	$\left[\frac{\text{cm}^2}{\text{J}} \right]$

Tabelle 38: Vergleich der Anfangssteigungen der drei Stundenproben in der Energiecharakteristik

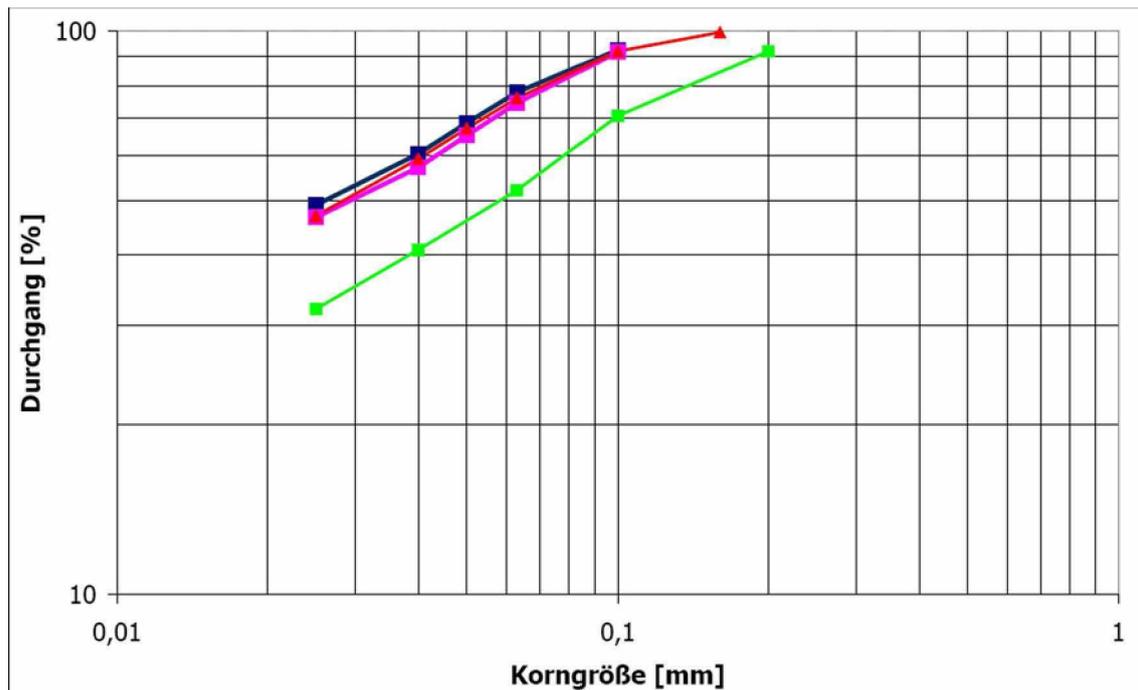


Abbildung 54: Vergleich Durchgangskennlinien der Zerkleinerungsprodukte nach 800 Umdrehungen in der Kugelmühle | rot: MP01-02, magenta: MP18-19, blau: MP06-07, grün: Nisna Slana

Wie ebenfalls aus Abb. 53 ersichtlich ist, weist die Stundenprobe MP18-19 den geringsten Rittingerkoeffizienten auf. Gründe dafür könnten in der *geringeren* inneren Oberfläche von $13,99 \frac{m^2}{g}$ liegen. Betreffende Stundenprobe dürfte eine vergleichsweise geringere innere Porosität aufweisen.

Trotzdem liegen alle drei Rittingerkoeffizienten relativ hoch. Bei natürlichen Gesteinen bewegt sich dieser in einem Bereich zwischen 10 und 100 [14]. Die hohen Rittingerkoeffizienten der Magnetprodukte führen zu sehr geringen Mahlkosten.

In Abbildung 54 sind die Durchgangskennlinien der drei Zerkleinerungsprodukte nach 800 Umdrehungen, sowie jene des Magnetproduktes aus Nisna Slana, miteinander verglichen.

Probe:		MP 01-02	MP 18-19	MP 06-07
spezifischer Energieeintrag bei 800 U:	$\left[\frac{J}{g}\right]$	17,9	18,8	16,9
Oberflächen zugewinn bei 800 U:	$\left[\frac{cm^2}{g}\right]$	3644,7	2382,5	3289,8
$k_{80,A}$ Aufgabe:	$[\mu m]$	384,9	374,4	550,9
$k_{80,P}$ nach 800 U:	$[\mu m]$	71,3	73,8	67,8
Restglühverlust:	$[\%]$	6,62	4,24	9,30

Tabelle 39: Zusammenhang Energieeintrag und Dispersitätsänderung der drei Stundenproben



Die Steigung der Zerkleinerungsprodukte im GGS - Netz liegt bei allen drei Stundenproben bei ca. 0,5. In Kapitel 3.2.2 wurde bereits erwähnt, dass sich diese Steigung günstig auf das Pelletierergebnis auswirkt.

Nach 800 Umdrehungen in der Kugelmühle sind die Korngrößenverteilungen der drei Proben nahezu ident. Bei den massespezifischen Oberflächen ist dies nicht der Fall. Besonders bei der Stundenprobe MP 18-19 erreicht man mit dem vergleichsweise höchsten spezifischen Energieeintrag von $18,8 \frac{J}{g}$ nur eine Oberfläche von 2383 Blaine.

4.4 Zuschläge

Bei allen Versuchen wurde 1% Hüttenkoks dem Aufgabegut zugegeben. Die bei der Koksverbrennung frei werdende, vergleichsweise billige Wärme, soll zu Einsparungen bei den Brennstoffkosten im Brennaggregat führen. In Zusammenhang mit dem Koks Zusatz galt es zwei Fragen nachzugehen:

- Da der Koks zusammen mit dem Erz gemahlen wird, galt es zu überprüfen ob dies Auswirkungen auf die Mahlbarkeit hat.
- Koks besitzt eine gewisse Neigung zur Hydrophobie. Dieser Umstand könnte eine Abschwächung der Kapilarkräfte zur Folge haben.

Die Gesamtfeuchte des überstellten Koks betrug 22%.

4.5 Zusammenfassung Einsatzstoffe

Unter Einsatzstoffen ist hier die Kombination aus Magnetprodukten und Zuschlagsstoff (Koks) gemeint. Die Einsatzstoffe wurden mit einer Indizierung versehen, die aus zwei Zahlen besteht. Die Erste steht im Zusammenhang mit der verwendeten Stundenprobe:

0	MP 01-02
1	MP 18-19
2	MP 06-07
3	MP 19-20

Die Zweite gibt einen Hinweis auf die Mahlfineinheit bzw. auf den Einsatz des Zuschlagstoffes Koks:



01	Dispersität des Magnetproduktes
02	Mahlung des Magnetproduktes 400 Umdrehungen lang in der Kugelmühle ohne Zuschlag
03	Mahlung des Magnetproduktes 400 Umdrehungen lang in der Kugelmühle mit 1% Koks
04	Mahlung des Magnetproduktes 800 Umdrehungen lang in der Kugelmühle mit 1% Koks
05	Mahlung des Magnetproduktes 800 Umdrehungen lang in der Kugelmühle ohne Zuschlag
06	Dispersitätsmischung 01:04 = 40:60, 1% Koks
07	Mahlung des Magnetproduktes 1200 Umdrehungen lang in der Kugelmühle mit 1% Koks

Die bei diesen Kombinationen entstandenen Dispersitäten sind in untenstehender Tabelle aufgelistet:

lfd. Nu.	Beschreibung	Dichte [$\frac{g}{cm^3}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]
001	Magnetprodukt 01-02	4,185	384,92	142,38	900,04
002	Mahlprodukt von Magnetprodukt 01-02 400 Umdrehungen ohne Zuschlag	4,185	103,03	45,60	2885,77
003	Mahlprodukt von Magnetprodukt 01-02 400 Umdrehungen mit 1 % Koks	4,105	104,54	45,63	2735,89
004	Mahlprodukt von Magnetprodukt 01-02 800 Umdrehungen mit 1 % Koks	4,105	71,30	28,34	4155,09
005	Mahlprodukt von Magnetprodukt 01-02 800 Umdrehungen ohne Zuschlag	4,185	k.M.	k.M.	k.M.
006	Dispersitätsmischung 001:004=40:60	4,105	151,82	49,93	2853,07
101	Magnetprodukt 18-19	4,223	374,44	131,70	770,40
104	Mahlprodukt von Magnetprodukt 18-19 800 Umdrehungen ohne Zuschlag	4,223	73,81	31,78	3152,91
106	Dispersitätsmischung 101:104=40:60 mit 1 % Koks	4,223	152,57	50,93	1723,4
107	Mahlprodukt von Magnetprodukt 18-19 1200 Umdrehungen mit 1 % Koks	4,223	k.M.	k.M.	3934,18
201	Magnetprodukt 06-07	4,123	550,86	163,84	696,73

204	Mahlprodukt von Magnetprodukt 06-07 800 Umdrehungen mit 1 % Koks	4,123	67,79	28,51	3986,50
206/208	Dispersitätsmischung 201:204=40:60 mit 1 % Koks	4,123	185,77	51,55	2012,64
304	Mahlprodukt von Magnetprodukt 19-20 400 Umdrehungen mit 1 % Koks	4,205	k.M.	k.M.	3319,32
S	Slowakisches Magnetprodukt aus Nassmagnetscheidung	4,288	138,42	58,28	3122,93

Tabelle 40: Bei den Pelletierversuchen eingesetzte Aufgabedispersitäten

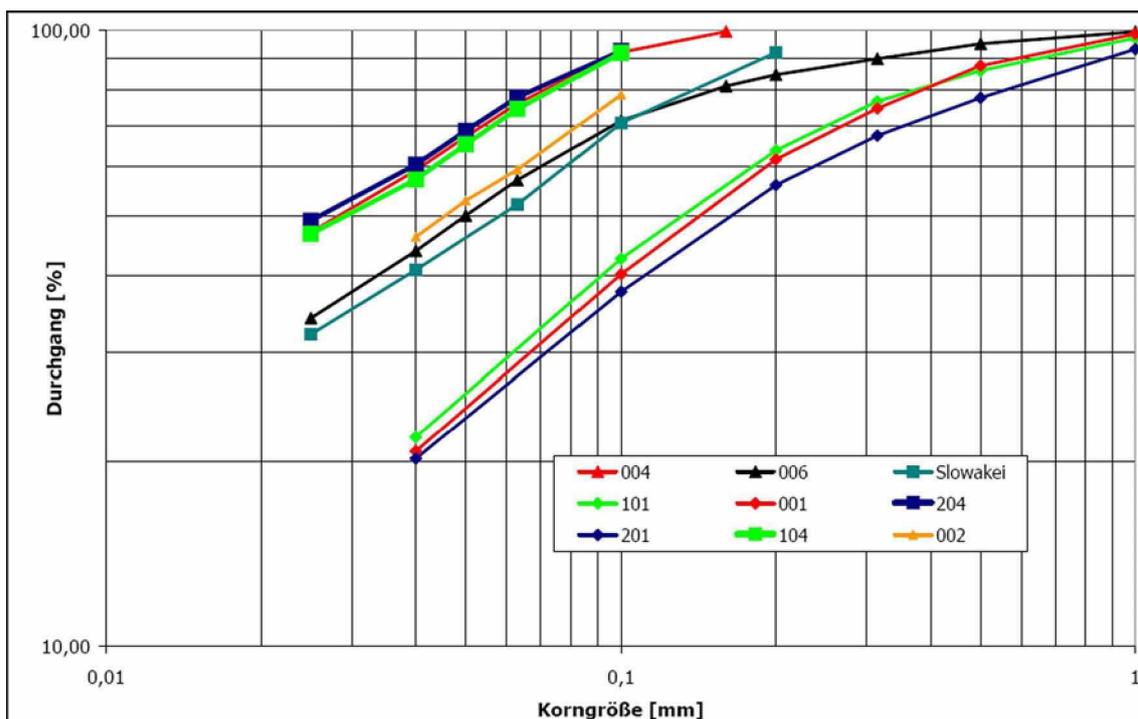


Abbildung 55: Einsatzstoffe | Durchgangsverteilungen

4.6 Bindemittel

Es wurde bereits erwähnt, dass ein zufriedenstellendes Pelletierergebnis nur durch eine Abstimmung von ausreichend feiner Aufgabedispersität und Bindemittelleinsatz, erreichbar ist. In Kapitel



3.2.3 wurden die Bindemechanismen bereits beschrieben. In diesem Kapitel soll auf die bei den Versuchen eingesetzten Bindemittel eingegangen werden.

4.6.1 Calciumhydroxid

Calciumhydroxid wurde in Mengen bis zu 5% als Bindemittel eingesetzt. Zur Anwendung kam dabei das am Lehrstuhl vorhandene Analysenmaterial der Fa. *Merck*. Die Anwendung von Calciumhydrat hätte den Vorteil der billigen Verfügbarkeit im Vergleich zu Bentonit.

4.6.2 Bentonite

Da Bentonite am Häufigsten in der Erzpelletierung eingesetzt werden, wurden diese ebenfalls als Bindemittel verwendet. Im Zuge dessen fand auch eine dreitägige Reise nach Sardinien statt, um dortige potentielle Lagerstätten zu besuchen und Proben zu entnehmen. Ein diesbezüglicher Reisebericht befindet sich im Anhang E.

Erste Versuche mit Bentonit wurden mit von Hrn. Ohrdorf bereitgestellten Proben durchgeführt (Probenbezeichnung: V2/171, V2/21 und V2/31). Dabei handelte es sich um Ca - Bentonit, welcher mit einer von Hrn. Ohrdorf entwickelten Methode aktiviert wurde (siehe Kap. 3.2.3). Bei der Verwendung von Bentonit ist eine intensive Durchmischung des Binders mit dem Erz Voraussetzung. Um dies zu gewährleisten wurde der Bentonit zusammen mit dem Magnetprodukt, sowie dem Koks, der Kugelmühle aufgegeben. Die bei den Pelletierversuchen verwendete Menge betrug immer 1,5% und hatte keinen messbaren Einfluss auf die Endfeinheit des Zerkleinerungsproduktes. Aufbauend auf ersten zufriedenstellenden Ergebnissen, fand die erwähnte Reise statt. Die dort erhaltenen Proben wurden wiederum von Hrn. Ohrdorf alkalisch, in verschiedenen Intensitätsstufen, aktiviert. Jene Proben mit denen Pelletierversuche unternommen wurden, stammten aus der Grube Monte Is Casteddu. Der Rohbentonit hatte eine Grubenfeuchte von 31,6%. Die drei Aktivierungsstufen hatten die Bezeichnung VS1, VS2 und VS3. Da eine Dosierung von 1,5 % VS1 die besten Ergebnisse lieferte wurde diese Aktivierungsstufe gewählt, um größere Mengen zu produzieren. Die Aktivierung wurde von Hrn. Ohrdorf durch eine Zugabe von 3,88% Soda vorgenommen. Dadurch ergab sich eine Methylenblauadsorption von 350 mg/g sowie ein Quellvolumen von 16/17 ml/2g (siehe dazu Kapitel 1.2.3).

Prinzipiell galt es den Einsatz von Bentonit als Bindemittel, aufgrund der hohen Silikatanteile (siehe Abbildung 7), zu vermeiden. Diese befinden sich in Form von Quarz (siehe mineralogische

Untersuchung Kapitel 4.2) bereits im Erz und gelten im Hochofen als unerwünscht.

4.6.3 Metylan

Metylan ist ein im Handel erhältlicher Kleister, der von der Firma *Henkel* hergestellt wird. Zur Anwendung kommt dieser im Normalfall als Tapetenkleister. Einziger Inhaltsstoff von Metylan ist Methylcellulose. Hergestellt wird Methylcellulose aus Cellulose, wobei die OH^- - Gruppen durch OCH^3 - Gruppen ersetzt werden. Unter Abspaltung des Wasserstoffes entsteht ein Anion, welches

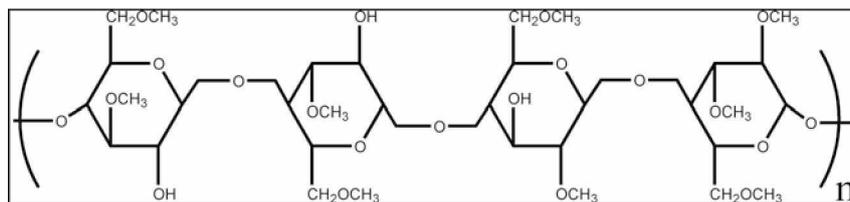


Abbildung 56: Strukturformel Methylcellulose

mit der Erzoberfläche in Kontakt tritt (siehe Kapitel 3.2.3). Bei Metylan handelt es sich um ein weißes Granulat, welches in kaltem Wasser löslich ist. Die Schüttdichte beträgt 310 bis 360 $\frac{g}{cm^3}$ [15].

Das Metylangranulat wurde vor den Versuchen mit unterschiedlichen Gehalten in Wasser aufgelöst. Die bei den Pelletierversuchen eingesetzten Gehalte bewegten sich in einem Bereich zwischen 0,05 und 0,1%. Dieser Gehalt ist auf die Gesamtmasse der Grünpellets bezogen. Somit war es notwendig den erforderlichen Wasseranteil zu kennen.

$$g_{Metylan} = \frac{m_{Metylan}}{m_{Metylan} + m_{Feststoff} + m_{H_2O}}$$

Die zur Erreichung eines gewissen Bindemittelgehaltes notwendige Menge musste vorab in Wasser aufgelöst werden. Soll der Metylangehalt 0,1%, bei einem Wassergehalt von 16%, betragen, so müssen 0,62% Metylan im Wasser aufgelöst werden. Diese Konzentration führt zu einer Erhöhung der Viskosität. In Kapitel 3.2.1 wurde auf die festigkeitssteigernde Wirkung der Viskosität bereits eingegangen. Der Nachteil hoher Viskositäten besteht jedoch in der schwereren Handhabung. Die organische Lösung wird durch Sprühdüsen in das Pelletieraggregat eingebracht. Durch höhere Viskositäten muss auch der Druck erhöht werden, um die Lösung an der Düse zu zerstäuben.

Eine 0,62% Lösung wurde im Rotationsviskosimeter einem Rampenversuch (Stufenweise Erhöhung des Schergefälles) unterzogen (siehe Abb. 57). Anhand der Scherkurve ist ein leicht strukturvisko-

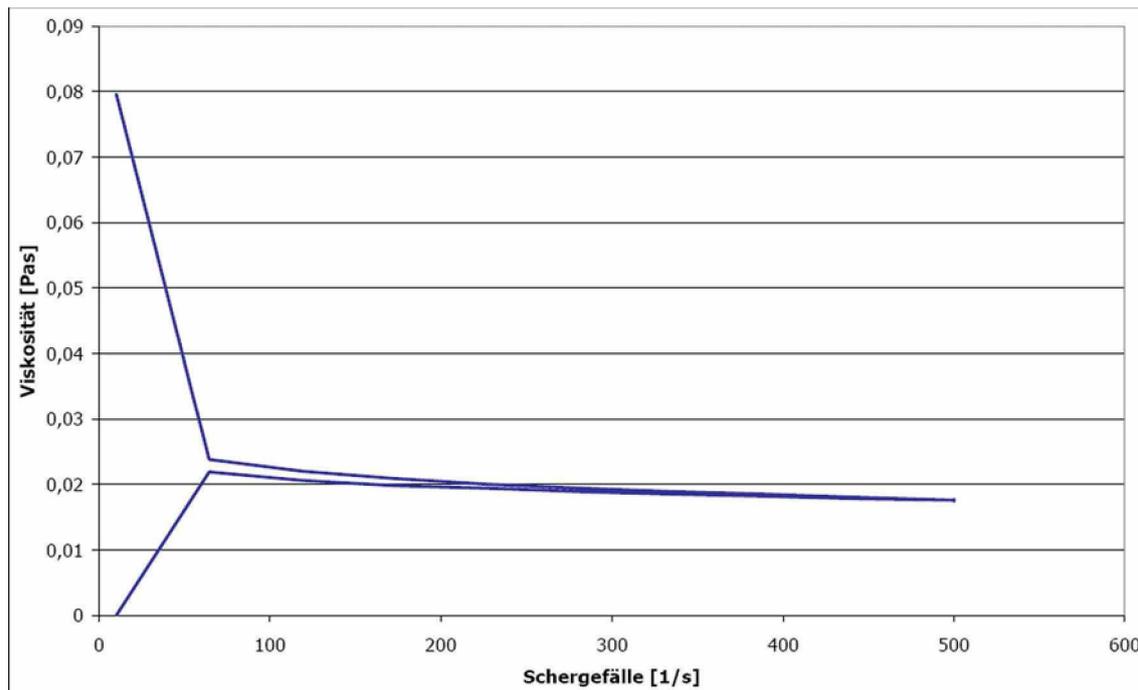


Abbildung 57: Scherkurve einer 0,62% - Metylan Lösung

ses Verhalten erkennbar. Der Grund dafür liegt in einer zunehmenden Ausrichtung der Makromoleküle (Textur) bei steigendem Schergefälle. Die Viskosität bei geringem Schergefälle war jedoch zu hoch um die Lösung durch die verwendete Sprühdüse einzubringen.

Eine weitere Möglichkeit die Viskosität abzusenken ist die Temperatur zu erhöhen. Mit steigender Temperatur der Lösung sinkt die Viskosität exponentiell.

Ohne Pelletierversuchsergebnisse vorwegzunehmen, zeigte sich, dass der Einsatz von Metylan zu guten Festigkeitswerten führte. Jedoch ist ein industrieller Einsatz dieses organischen Binders wirtschaftlich, aufgrund der hohen Kosten, nicht möglich. Es wurde in der Folge versucht Binder zu finden, die Metylan ersetzen und deren Einsatz in einem zukünftigen Prozess möglich sind.

4.6.4 Carboxymethylcellulose

Aufgrund der im letzten Kapitel genannten Nachteile von *Henkel* Metylan galt es einen neuen organischen Binder zu suchen. Dieser wurde in Form der Produktpalette der Firma *Mare* gefunden. Diese stellt Carboxymethylcellulose (CMC) her und modifiziert diese chemisch. Aus diesen Modifikationen gehen mehrere Produkte hervor, die bei Pelletierversuchen eingesetzt wurden.

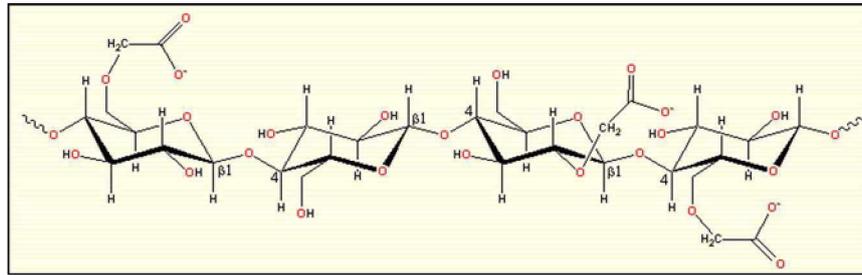


Abbildung 58: Chemischer Aufbau Carboxymethylcellulose

CMC wird aus Cellulose unter Zugabe von Natronlauge hergestellt. Je nach Polymerisationsgrad entstehen Makromoleküle mit Molekulargewichten von bis zu $1.000.000 \frac{\text{mol}}{\text{g}}$. Das wirksame Anion ist die Carboxylat - Gruppe $-\text{CO}_2^-$, welche zudem hydrophilen Charakter besitzt (siehe auch Kapitel 3.2.3). Bei den Pelletierversuchen wurden folgende CMC - Produkte getestet [16]:

- Niklacell HVS: Dabei handelt es sich um nicht modifiziertes CMC, welches noch 20% *NaCl* enthält. Vorteil dieses Produktes ist der günstige Preis.
- Niklacell T 100G: Diese hoch reine CMC wird durch einen Waschprozess aus HVS gewonnen. Dadurch beträgt der *NaCl* - Gehalt nur mehr ca. 1%.
- Niklacell Kleister PG: Dieses Produkt wird aus T 100G hergestellt und ist mit zusätzlichen Quervernetzern, die die hydrophile Bindekraft erhöhen, ausgestattet.

Bei den Pelletierversuchen stellte sich rasch heraus, dass Niklacell T 100G die besten Ergebnisse lieferte. Problematisch war jedoch die bereits bei geringen Dosierungen auftretenden hohen Viskositäten. Zur Anwendung kamen wiederum die Gehalte 0,1, 0,075 und 0,05% (Gehalte im Grünpellet - siehe letztes Kapitel). Die Scherkurven bei diesen Gehalten sind in Abbildung 59 dargestellt. Bei 0,1% CMC beträgt die dynamische Viskosität im Ruhezustand ca. 0.15 Pas . Um ausreichende Zerstäubung zu erreichen, wurde die Lösung im Wasserbad auf ca. 65°C erhitzt.

Wie bei Metylan handelt es sich bei den CMC - Produkten um ein weißes Granulat. Die Schüttdichten betragen ca. $600 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Die Zersetzungstemperatur liegt bei 200°C . Oberhalb dieser Temperatur hat CMC somit keinen Einfluss auf die Festigkeit der Agglomerate. Der Preis von T 100G liegt bei 3 Euro pro kg. Jener von HVS beträgt die Hälfte.

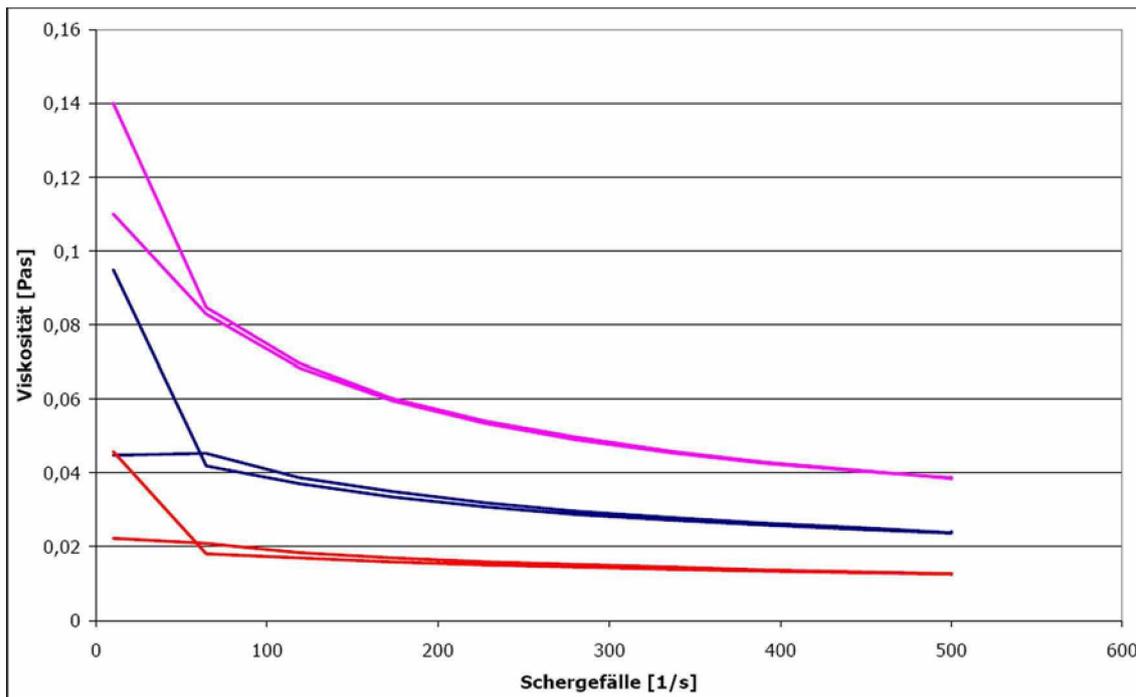


Abbildung 59: Rampenversuch mit verschiedenen CMC - Gehalten; magenta: 0,1%, blau: 0,075%, rot 0,05%

5 Durchführung der Pelletierversuche

Es wurden insgesamt 65 Pelletierversuche mit den im letzten Kapitel beschriebenen Magnetprodukten durchgeführt. Da zunächst kein praktischer Erfahrungsschatz vorhanden war, musste dieser erst aufgebaut werden. Das für Pelletierversuche zur Verfügung stehende Material war nur begrenzt. Daher galt es die richtige Mischung aus Aufgabedispersität und Bindemittel in s.g. Kleinversuchen zu finden. In diesen diskontinuierlichen Chargenversuchen waren Mengen in einem Ausmaß von ca. 1 kg notwendig.

Neben den beiden genannten materialunabhängigen Faktoren spielten materialabhängige eine große Rolle. Die vier verwendeten Magnetprodukte unterscheiden sich teilweise stark in den Eigenschaften (siehe Kapitel 4.1 und 4.2). Nachdem die Einflüsse dieser Faktoren auf das Pelletierergebnis ebenfalls in Kleinversuchen festgestellt wurden, ging man über zu kontinuierlichen Versuchen. Diese waren aus drei Gründen notwendig:

- Überprüfung ob es Unterschiede im Pelletierergebnis bei gleichen Parametern im Vergleich zu den Kleinversuchen gibt.



- Herstellung größerer Mengen an Pellets für metallurgische Untersuchungen.
- Bestimmung der Leistungsaufnahme, welche für die Auslegungsrechnung notwendig war.

Die Systematik aller Pelletierversuche folgte nachstehendem Schema:

- Herstellung der Grünpellets (Kleinversuche oder kontinuierliche Versuche)
- Qualitätskontrolle des Pelletierergebnisses (siehe Kapitel 5.2)
- Trocknen der Pellets
- Brennen der Pellets
- Qualitätskontrolle der gebrannten Pellets (siehe Kapitel 5.5)

Hauptkritikpunkt an den durchgeführten Versuchen war die Frage, ob diese reproduzierbar sind. Die Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen ist Voraussetzung für die Ableitung von Erkenntnissen, die sich aus den Parametervariationen ergaben.

Bei den hier durchgeführten Pelletierversuchen hat eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf das jeweilige Ergebnis. Darunter befinden sich neben den bereits genannten auch subjektive Einflüsse. Es liegt in der Natur der manuell geführten Versuche, dass das Ergebnis zu einem Teil von der Art der Handhabung abhängt. Es wurde versucht durch eine gewisse Systematik bei der Herstellung von Grünpellets diese *persönlichen* Einflüsse so gering wie möglich zu halten.



5.1 Herstellung von Grünpellets

Klein- und kontinuierliche Versuche wurden in einem Pelletierteller am Institut für Aufbereitung und Veredlung durchgeführt.

5.1.1 Kleinversuche

Eine genaue Beschreibung, wie bei den Kleinversuchen vorgegangen wurde (Arbeitsanleitung), befindet sich im Anhang A.

Die technischen Daten des Tellers, bzw. die gewählten Einstellungen sind in Tabelle 41 angeführt.

Durchmesser:	620	mm
Randhöhe Chargenversuche:	120	mm
Randhöhe kontinuierliche Versuche:	140	mm
Neigungswinkel:	55	°
kritische Drehzahl:	48,2	$\frac{U}{min}$
relative Drehzahl:	0,7	%

Tabelle 41: Technische Daten Pelletierteller

Die Kleinversuche waren in zwei Arbeitsschritte unterteilt. Zunächst galt es s.g. seed - Pellets herzustellen. Dazu wurde eine Menge von ca. 150g trockener Frischaufgabe verwendet. Durch kontinuierliche Besprühung dieser Menge mit einer gewöhnlichen Sprühflasche bildeten sich nach kurzer Zeit (ca. 2 bis 5 Minuten) kleine Keime. Diese wurden anschließend 15 Minuten im Teller ohne zusätzliche Wasseraufgabe durch die Rollbewegung kompaktiert.

Nach Verstreichen dieser Zeit wurden die seed - Pellets durch Siebklassierung in Größenklassen geteilt. Eine typische Größenverteilung ist in Abbildung 61 abgebildet. Zum weiteren Aufbau von Pellets wurde in der Folge nur die Größenfraktion 2/4 mm verwendet. In der Regel hatte diese Fraktion eine Masse von 20 bis 60g. Nach Einbringen dieser Menge in den Teller wurde Frischaufgabe und -wasser möglichst gleichzeitig und kontinuierlich aufgegeben. Dieser Vorgang wurde fortgeführt bis die gewünschte Pelletgröße erreicht wurde. Nach Erreichen dieser Größenverteilung ließ man die Pellets wiederum 15 Minuten im Teller *nachrollen*. Durch Absieben der gebildeten Agglomerate wurde anschließend wiederum die Größenverteilung aufgenommen (siehe Abb. 61).



Abbildung 60: Seed - Pellets 2/4 mm

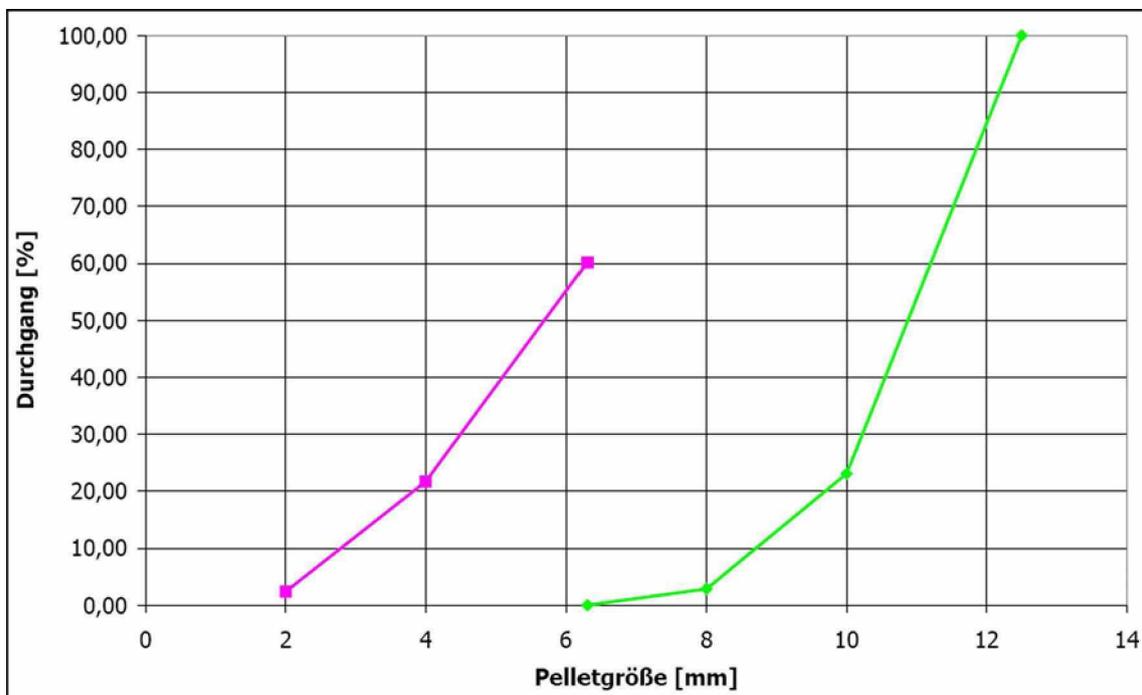


Abbildung 61: Vergleich Größenverteilung seed- mit fertigen Pellets

5.1.2 Kontinuierliche Versuche

Kontinuierliche Versuche wurden erst am Ende des Versuchsprogrammes durchgeführt. Die dafür notwendige Feststoffmenge liegt bei mindestens 8 kg.

Im Zuge der Kleinversuche stellte sich heraus, dass eine gute Homogenisierung von Flüssigkeit, Feststoff und Bindemittel Voraussetzung für gute Ergebnisse ist. Da die Durchmischung von Feststoff und Flüssigkeit von Bedeutung ist, versuchte man diese in einem Mischer herzustellen.

Dabei handelte es sich um einen diskontinuierlich arbeitenden Pflugscharmischer der Firma *Lödi-ge*. Das aufgegebene Material wird in diesem zwangsläufig durch eine horizontale Mischwelle bewegt. Das Fassungsvermögen des Mixers betrug ca. 4,5 Liter. Aus den bisherigen Versuchen war bereits bekannt, dass die für den Erztyp notwendige Wassermenge 16 % beträgt. Bei den Versuchen wurden 10 dieser 16% in den Mischer aufgegeben und ca. 10 Minuten homogenisiert. Die aufgegebene Feststoffmenge betrug jeweils 3,5 kg.

Im kontinuierlichen Versuch wurde das homogenisierte Mischprodukt über eine Vibrorinne, die restliche notwendige Flüssigkeit über eine Sprühdüse aufgegeben. Die Vibrorinne konnte über einen Potentiometer gesteuert werden. Wie bereits erwähnt, muss der Flüssigkeitsanteil während der Pelletierung nur um 6% - Punkte erhöht werden. Dieser Umstand stellt hohe Anforderungen an die Sprühdüse. Diese muss in der Lage sein geringe Flüssigkeitsmengen fein zu zerstäuben. Zur Anwendung kam eine Sprühdüse der Firma *Rauch* (siehe Abb. 62). Die Qualität der Zerstäubung

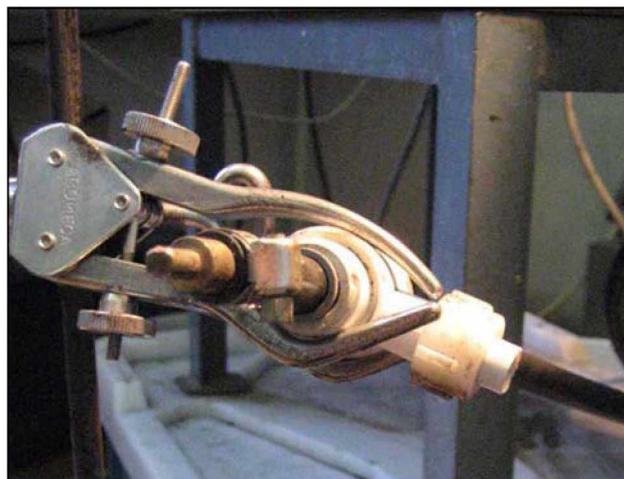


Abbildung 62: Verwendete Sprühdüse für kontinuierliche Pelletierversuche

hängt neben der Düsenart vor allem vom Leitungsdruck und der Viskosität der verwendeten Flüssigkeit ab. Neben Wasser wurde auch versucht gelöste Carboxymethylcellulose über die Sprühdüse

aufzugeben. Mit der gewählten Düse konnten nicht weniger als $0,5 \frac{g}{s}$ Wasser aufgegeben werden. Für den Pelletierteller gilt folgender Stoffstromknoten (siehe Abb. 63):

Unter Anwendung von Massen- sowie Inhaltsbilanz der verwendeten Flüssigkeit, bzw. bei vor-

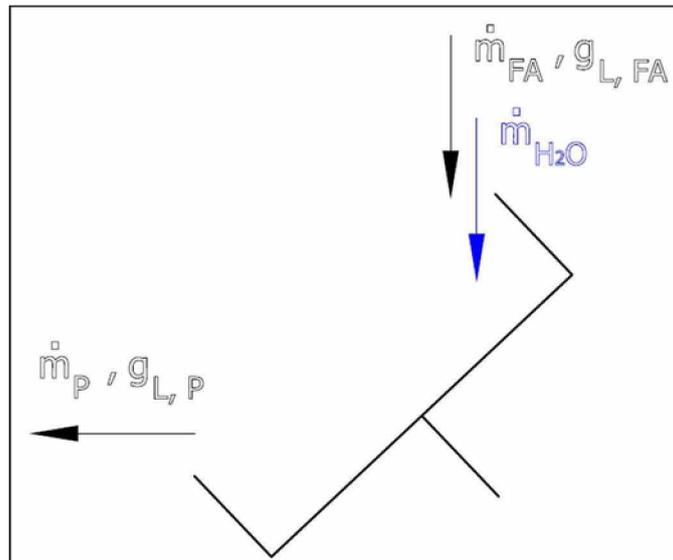


Abbildung 63: Stoffstromknoten Pelletierteller

gegebenen Gehalten und dem möglichen Massenstrom durch die Düse, kann die Frischaufgaberate berechnet werden:

$$\dot{m}_{FA} = \dot{m}_L \cdot \frac{g_{L,P} - 1}{g_{L,FA} - g_{L,P}}$$

wobei

\dot{m}_{FA}	Frischaufgaberate
\dot{m}_L	Massestrom Flüssigkeitsmenge
$g_{L,P}$	Flüssigkeitsgehalt im Produkt
$g_{L,FA}$	Flüssigkeitsgehalt in der Frischaufgabe

Bei Flüssigkeitsgehalten von 10% in der Aufgabe, sowie angestrebten 16 im Produkt bzw. dem genannten Massestrom von $0,5 \frac{g}{s}$, ergibt sich demnach ein Frischaufgabemassestrom von $420 \frac{g}{s}$.

Die Beaufschlagung der Sprühdüse erfolgte auf zwei verschiedene Arten. Zunächst wurde sie direkt über die Wasserleitung beaufschlagt. Bei dieser Variante konnten jedoch keine Lösungen verwendet werden. In der Folge kam es zur Anwendung einer Kreiselpumpe, deren Saugleitung mit einem

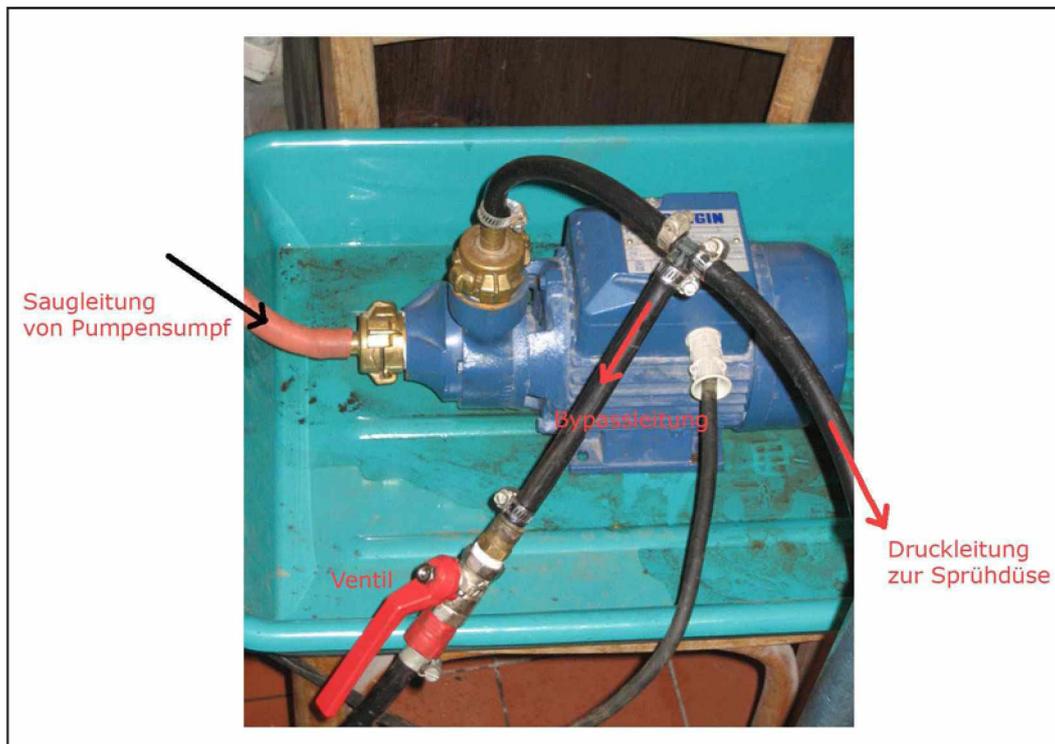


Abbildung 64: Pumpenschaltung

Pumpensumpf verbunden war. Die verwendeten Schläuche konnten einen Betriebsdruck von 20 bar standhalten. Aufgrund der geringen Volumenströme durch die Düse, baute sich dieser Druck relativ schnell auf. Als provisorische Abhilfe wurde ein Bypass gelegt, der von der Druckleitung zurück in den Pumpensumpf führte (siehe Abb.64). In dieser Bypassleitung wurde ein Absperrhahn installiert. Da die Kreiselpumpe bei Nenndrehzahl betrieben wurde, konnte so der Volumenstrom manuell verstellt werden.

Im Betrieb stellte sich jedoch heraus, dass die Beaufschlagung der Düse mit CMC - Lösungen zu Problemen führte. Diese hatte bereits bei 0,075 % eine zu hohe Viskosität um zerstäubt zu werden. In der Folge versuchte man die Lösung im Pumpensumpf auf eine Temperatur von 65°C zu erhitzen und dadurch die Viskosität zu senken. Aufgrund der geringen Durchsätze, der Schlauchlänge, bzw. den Umstand das die meiste Flüssigkeitsmenge im Kreislauf geführt wird, kühlte die Lösung jedoch ab und erreichte bei der Düse wieder Raumtemperatur. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln war es demnach nicht möglich CMC - Lösungen kontinuierlich mit der Düse zu zerstäuben. Um trotzdem CMC als Bindemittel im kontinuierlichen Versuch zu verwenden, wurde im Mischer die CMC - Dosierung erhöht und bei der Pelletierung nur Wasser aufgegeben. Der Versuchsaufbau

für die kontinuierlichen Pelletierung ist in Abbildung 65 dargestellt. Wie schon bei den Kleinversu-

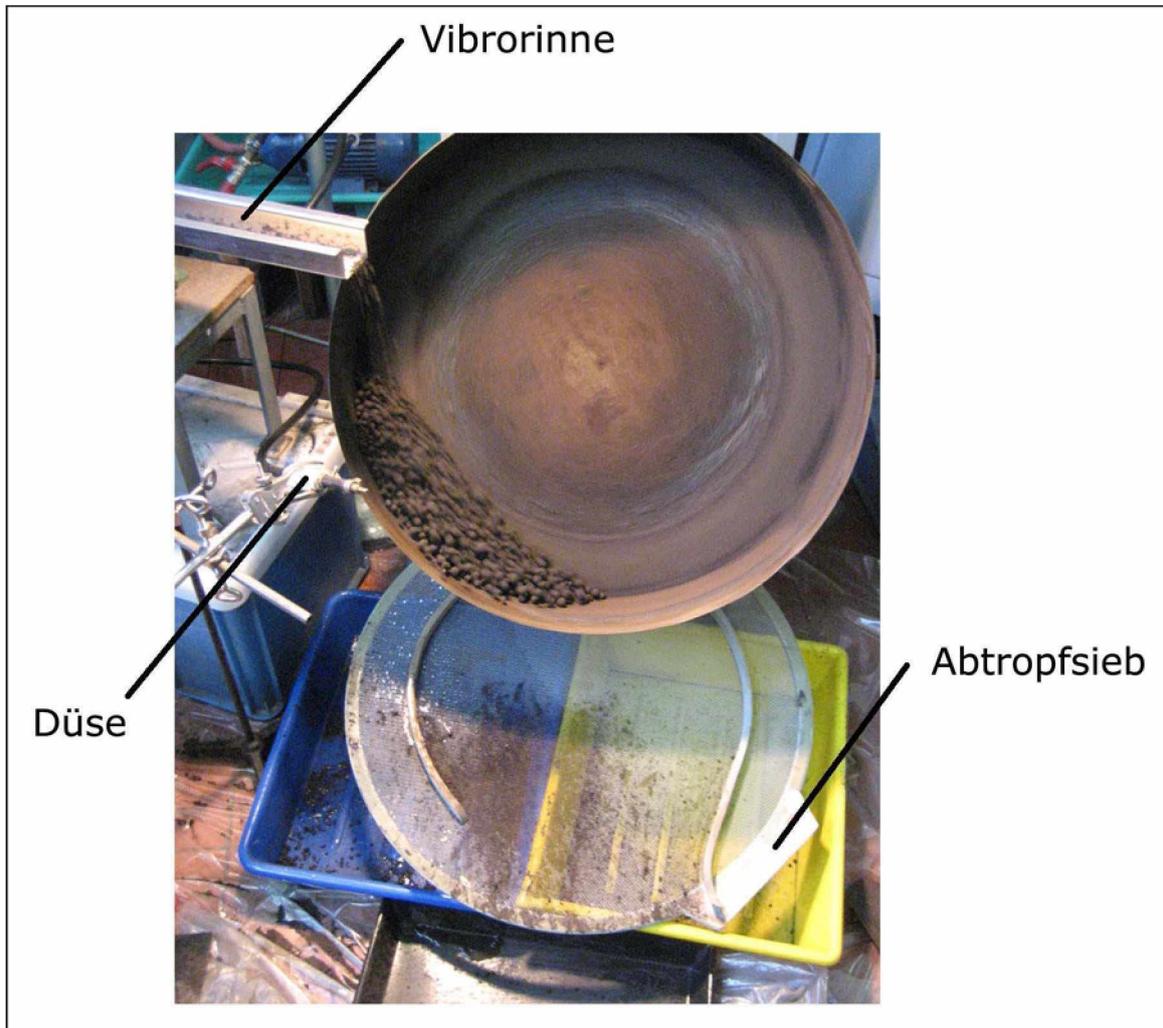


Abbildung 65: Versuchsaufbau kontinuierliche Pelletierung

chen wurden zunächst seed - Pellets mit einer Größe zwischen 2 und 4 mm hergestellt. Der Aufbau dieser zur Endgröße erfolgte anschließend kontinuierlich. Schwachpunkt der Versuchsanordnung war die Frischaufgabemenge über die Vibrorinne. Da das feuchte Aufgabegut zu starken Anpflackungen im Aufgabetrichter neigte, kam es immer wieder zu Verstopfungen. Dadurch konnte kein gleichmäßiger Aufgabestrom eingestellt werden. Ähnlich wie bei den Kleinversuchen musste somit das Verhältnis von Frischaufgabe zu Frischwasser, je nach Erscheinungsbild der Pellets (zu feucht - zu trocken), eingestellt werden.

5.2 Qualitätskontrolle der Grünpellets

Mangels geeigneter Druckprüfeinrichtungen ging nur die Dropfestigkeit (siehe Kapitel 3.4.1) in die Qualität der Grünpellets ein. Da die Schwankungsbreite der Festigkeit von Pellets relativ hoch war, wurden von jeder Pelletgröße 10 Pellets dem Droptest unterzogen. In die Auswertung ging der jeweilige Mittelwert ein. In Abbildung 66 ist die Einrichtung zur Messung der Dropfestigkeit abgebildet. Die erforderliche Mindestschockfestigkeit wurde vorgegeben und lag bei 700°C. Da die



Abbildung 66: Einrichtung zur Bestimmung der Dropfestigkeit

Streuung im Gegensatz zur Dropfestigkeit geringer war, wurden nur vier Grünpellets in den vorgeheizten Muffelofen gelegt. Zudem führten Pellets, die dieser Temperatur nicht standhielten, zu starken Verunreinigungen des Ofens.

Ein weiteres Qualitätskriterium betraf die Oberflächeneigenschaften der grünen Pellets. Zu grobe Aufgabedispersität bzw. der Einsatz bestimmter Bindemittel führten zu einer *pelzigen* Pelletoberfläche. Diese Oberflächenbeschaffenheit führt zu Auftreten von Staubbelastung bei getrockneten und gebrannten Pellets.

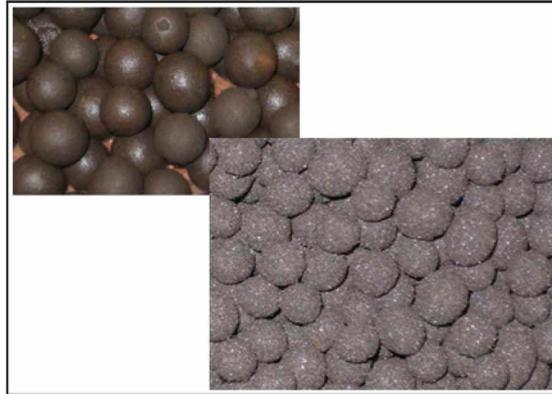


Abbildung 67: Glatte und *pelzige* Pelletoberfläche

5.3 Trocknung der Pellets

Um den Wassergehalt der Pellets zu bestimmen, wurden diese mindesten 12 Stunden im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Eine Bestimmung der Druckfestigkeit wurde nicht vorgenommen.

5.4 Brennen der Pellets

Das Brennen der Pellets erfolgte im Muffelofen bei 1200°C mit einer Verweilzeit von einer Stunde. Die getrockneten Pellets wurden bei Raumtemperatur in den Ofen gestellt. Danach dauerte es ca. 4,5 Stunden um den Ofen auf die oben genannte maximal mögliche Temperatur zu erhitzen. In Kapitel 3.3.2 wurde angeführt, dass das Brennen der Pellets bei teilweise höheren Temperaturen erfolgt. Daher wurden Pellets auch bei 1300°C am Institut für Gesteinshüttenwesen gebrannt. Diese führten jedoch nicht zu besseren Festigkeitswerten.

Die Problematik beim Brennen von Pellets im Muffelofen ist der dort herrschende Temperaturgradient. Um diesen zu bestimmen, wurde ein Brennversuch mit 15 Pellets, die gleichmäßig im Ofen verteilt wurden, durchgeführt (siehe Abbildung 68 links). Besonders im Bereich der Ofentür ergaben sich deutlich schlechtere Druckfestigkeiten der gebrannten Pellets. Auf der rechten Seite der Abbildung 68 ist ein weiterer derartiger Versuch dargestellt. Hier wurde der Ofenraum mittels Schamottstein in zwei Hälften geteilt. Während im hinteren Bereich der Druckfestigkeitsmittelwert bei 1646 N liegt, beträgt jener im Türbereich nur ca. ein Drittel davon.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Pellets durchwegs in Schamottbehältern im hinteren Teil des Ofens positioniert.

Ofentür			Ofentür	
568	1063	539	524 N	
801	1922	757	1646 N	
1354	>2000	>2000		
1893	>2000	1966		
990	1922	976		

Abbildung 68: Festigkeitswerte (Druckfestigkeit in N) in Abhängigkeit von der Lage der Pellets im Muffelofen

5.5 Druckfestigkeit der gebrannten Pellets

Die Druckfestigkeit der gebrannten Pellets wurde mit Hilfe einer hydraulischen Stempelpresse gemessen (siehe Abbildung 69). Der Druck wurde über eine Handkurbel so lange aufgebaut, bis der



Abbildung 69: Hydraulische Stempelpresse

Druck auf der Anzeige nachgab und es demnach zu einem Schaden des Pellets kam (Arbeitsanleitung siehe Anhang B). Die Druckfestigkeit von Pellets wird über jene Kraft angegeben, welche notwendig ist, um einen äußeren Schaden hervorzurufen. Das verwendete Gerät konnte jedoch nur Drücke anzeigen. Somit musste der Druck über die wirksame Kolbenfläche (gemessene $14,85 \text{ cm}^2$) in eine Kraft umgerechnet werden. Um sicher zu gehen, dass es sich bei dieser Fläche um die tatsächlich wirksame handelt, wurden Vergleichsmessungen am Institut für Gesteinshüttenkunde durchgeführt. Am dortigen Prüfstand (siehe Abbildung 70) ist eine Kraftanzeige möglich. Zudem

kann die Geschwindigkeit des Druckstempels eingestellt werden. Diese hat Einfluss auf die Druck-

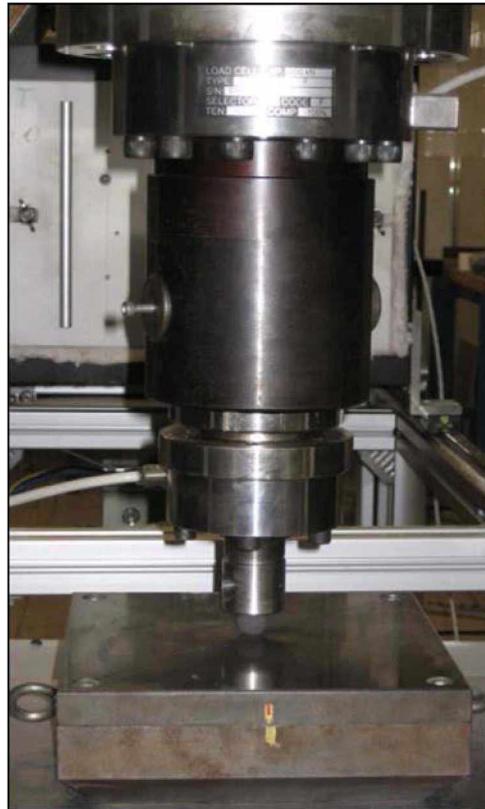


Abbildung 70: Prüfstand zur Messung der Druckfestigkeit am Institut für Gesteinshüttenwesen

festigkeit und war bei der händisch bedienten Stempelpresse nicht definiert. Für die Vergleichsmessung wurden 30 Pellets bei gleicher Temperatur gebrannt. 15 dieser 30 wurden am Institut für Gesteinshüttenwesen, die Restlichen mit der Stempelpresse abgedrückt. Es ergaben sich folgende Druckfestigkeitswerte:

Druckmessung σ_d :	1,98	$\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$
Kraftmessung F_d :	279,51	[N]
Fläche:	$A = \frac{F_d}{\sigma_d \cdot 9,81} = 14,36$	$[cm^2]$

Tabelle 42: Bestimmung der wirksamen Kolbenfläche über Vergleichsmessung

Die geringe Abweichung zum gemessenen Wert von $14,85 \text{ cm}^2$ ergibt sich vermutlich aus der Schwankungsbreite bei den Druckfestigkeitswerten. Bei den restlichen gebrannten Pellets wurde die Druckfestigkeit mit der Stempelpresse bestimmt. Für die Umrechnung in eine Kraft wurde die gemessene Fläche herangezogen.



6 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Innerhalb des Versuchsprogrammes fanden 62 Klein- und drei kontinuierliche Versuche statt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird an dieser Stelle von einer detaillierten Beschreibung aller Einzelversuche abgesehen. Eine Gegenüberstellung der Einzelparameter und Ergebniswerte aller Versuche findet sich im Anhang D.

Eine systematische Vorgehensweise im Sinne einer definiert abgestuften Parametervariation war aufgrund der begrenzten Probenmenge je Stundenprobe nicht möglich. Ein Vergleich der Stundenproben untereinander wurde über Standardversuche mit gleichen definierten Bindemittelzusatz und Dispersität unternommen. Eine Korrelation zwischen den Qualitätsmerkmalen der einzelnen Stundenproben ergab sich jedoch nicht. Dies ist ein Hinweis, dass nicht nur Aufgabedispersität und Bindemittelzusatz von Bedeutung sind, sondern vielmehr auch materialabhängige Faktoren, wie der Mineralbestand und insbesondere der Restglühverlust. Andererseits geben die ausgesuchten Proben einen Überblick über die zu erwartende Bandbreite der Variation der Aufgabe. Ein Rezept zur Herstellung zufriedenstellender Pelletqualitäten muss auf die möglichen Schwankungen anwendbar sein.

Im folgenden Kapitel werden nur jene Versuche beschrieben, die zu guten Qualitäten, hinsichtlich der bereits genannten Kriterien, bzw. zu neuen Erkenntnissen führten. Die Ergebnisse der beschriebenen Versuche werden tabellarisch dargestellt (siehe z.B. Tabelle 43). Inhalt dieser Tabellen sind der Dispersitätszustand, die Dosierung des Bindemittels, die Pelletgröße mit dem größten Massenanteil, der Feuchtegehalt g_F , die Dropfestigkeit DF sowie die Schockfestigkeit HRST. Merkmale, welche nicht gemessen wurden, sind mit der Abkürzung k.M. versehen. In diesem Kapitel werden somit nur gewisse Details der Ergebnisse eines Versuches einer Interpretation zugeführt. Die gesammelten restlichen Ergebnisse finden sich im Anhang.

Aufgrund der großen Materialabhängigkeit werden die Stundenproben im folgenden getrennt voneinander betrachtet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind zu Beginn jedes Kapitels nochmals die Aufgabematerialien hinsichtlich Dispersität (k_{80} , k_{50} , A_m), Restglühverlust bei 900°C und notwendigen Energieeintrag (Δe) angeführt.

Aus Vergleichsgründen wurde ein Pelletiersversuch mit dem slowakischen Erz aus Nisna Slana durchgeführt. Dieser wurde ohne Bindemittelleinsatz durchgeführt und führte zu den besten Grünfestigkeiten, welche während des Versuchsprogrammes erreicht wurden. Die Ergebnisse dieses Ver-



suches sind in Tabelle 43 angeführt.

Vers.Nr.	Dispersität	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	Druckfestigkeit gebrannt
		[mm]	[%]		[%]	[N]
39	S	> 8	12,32	> 40	50	1969

Tabelle 43: Ergebnisse Pelletiersuch mit slowakischem Eisenerz

Eingesetzte Dispersität

Dispersitäts- codierung	Δe [$\frac{kWh}{to}$]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	GV 900°C [%]
S		3122,93	138,42	58,28	ca. 3,0

Tabelle 44: Aufgabedispersität des slowakischen Erzes aus Nisna Slana

6.1 Magnetprodukt MP 01-02

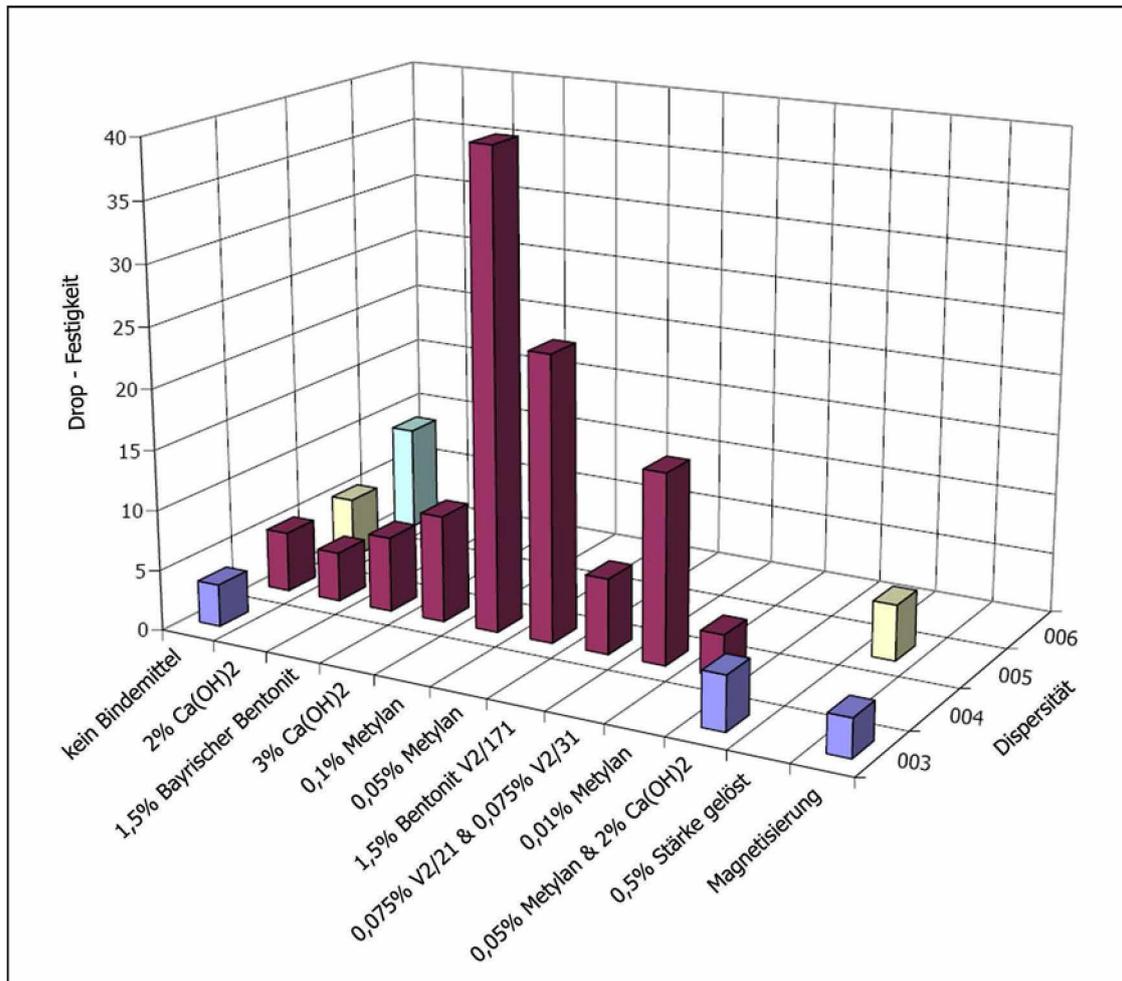


Abbildung 71: Magnetprodukt MP 01-02 | Dropfestigkeiten in Abhängigkeit von Dispersität und Bindemittelsatz

Eingesetzte Dispersitäten

Dispersitäts-codierung	Δe [$\frac{kWh}{to}$]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	GV 900°C [%]
003	35,00	2735,89	104,54	45,63	6,62
004	64,32	4155,09	71,30	28,34	6,62
006	38,59	2853,07	151,82	49,93	6,62

Tabelle 45: Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 01-02



Bei den ersten Versuchen galt es zunächst, unter Einsatz verschiedener Bindemittel sowie Dispersitätszustände, Pellets mit einigermaßen zufriedenstellender Grünfestigkeit, in Form von Drop - Festigkeit, herzustellen. Erst wenn diese erreicht war, wurden weitere Tests, wie z.B. jener auf Schockfestigkeit, durchgeführt.

Die Pelletiersversuche mit dem Magnetprodukt MP 01-02 führten zur Beantwortung folgender Fragen:

- Erreichbare Grünfestigkeiten ohne Bindemittel in Abhängigkeit von der Dispersität
- Auswirkung des Einsatzes von Calciumhydroxid
- Auswirkung des Einsatzes von Bentonit
- Auswirkung des Einsatzes von organischen Bindemitteln
- Einfluss von magnetischen Kräften

In Diagramm 71 sind die ermittelten Dropfestigkeiten in Abhängigkeit von Bindemittel und Dispersität (siehe Tabelle 40) im Überblick dargestellt.

Die Bindemittelachse kann chronologisch von links nach rechts betrachtet werden. Im folgenden wird auf die Ergebnisse in Abhängigkeit vom Bindemittelleinsatz eingegangen.

6.1.1 Versuche ohne Bindemittel

Bei den ersten Versuchen wurde auf den Einsatz von Bindemitteln verzichtet. Dabei ergaben sich die ersten Erkenntnisse bezüglich des Zuschlages Koks. Während bei Versuch 16 kein Koks zugesetzt wurde, war dieser bei Versuch 13 Bestandteil der Aufgabe. Bezüglich Drop - Festigkeit ergaben sich jedoch mit Werten von jeweils 5,13 (Größe 12,5/10 mm) keine Unterschiede (siehe Tabelle 46).

In Kapitel 3.2.1 wurde die Frage aufgeworfen, ob der hydrophobe Koks die Wirkung von Kapillarkräften herabsetzten wird. Da der Koks weder eine Auswirkung auf die Mahlbarkeit noch auf die Gründruckfestigkeit hatte, wurde er bei den restlichen Versuchen zugegeben.

Innerhalb Versuch 36 wurde noch einmal auf die Zugabe von Bindemitteln verzichtet. Dabei kam die Dispersitätsmischung 006 zum Einsatz. Bei dieser wurden 40% ungemahlene mit 60% gemahlene Magnetprodukt gemischt. Die Durchführung dieser Versuche hatte zwei Hintergründe:

- Zum einem wurde bereits im Kapitel 3.2.2 erläutert, dass ein gewisser Anteil grober Körnung einen positiven Einfluss auf die Festigkeitswerte haben kann.

- Zum anderen können durch diese Mischung Mahlkosten gespart werden.

Laut Tabelle 6 befindet sich jedoch im Magnetprodukt 01-02 ein Anteil von ca. 25% > 315 μm . Bei den Versuchen mit Dispersitätsmischungen fiel auf, dass grobe Körner nur schwer von den abrollenden Pellets aufgenommen werden. Meist haften diese nur kurz an der Oberfläche der Agglomerate und werden danach wieder abgestreift (siehe Abbildung 72). Somit findet eine Anreicherung an groben Körnern im Teller statt. Der Grund für bereits erwähnte *pelzige* Pellets (siehe Abbildung



Abbildung 72: MP 01-02 | Grobe Körner an Pelletoberfläche

67) liegt unter anderem in einer zu groben Aufgabekörnung. Neben dieser Problematik muss der wirtschaftliche Sinn dieser Dispersitätsmischung hinterfragt werden. Die Einsparung von laufenden Mahlkosten müsste die zusätzlichen Investitionskosten für notwendige Mischaggregate ausgleichen.

Bei Versuch 36 ergaben sich durchaus gute Dropfestigkeitswerte von durchschnittlich 8,75. Eine Schockfestigkeit bei 700°C bestand jedoch nicht.

Vers.Nr.	Dispersität	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
		[mm]	[%]		[%]
13	004	10/8	16,47	5,00	k.M.
16	005	12,5/10	16,23	5,13	k.M.
36	006	8/6,3	16,80	8,75	0

Tabelle 46: MP 01-02 | Ausgewählte Versuchsergebnisse ohne Bindemittel

6.1.2 Versuche mit Calciumhydroxid als Bindemittel

Pelletversuche mit Calciumhydroxid wurden mit Gehalten von 2% (Versuch 18) und 3% (Versuch 22) durchgeführt. Bei Versuch 22 ergaben sich sehr gute Dropfestigkeiten von 8,9, jedoch bestand keine Schockfestigkeit. Der Grund dafür könnte im zusätzlichen frei werdenden Wasserdampf liegen, der bei diesen Temperaturen von Calciumhydroxid frei gegeben wird.

Die bei diesem Versuch erzeugten Pellets machten einen subjektiv festeren und härteren Eindruck als die bisherigen, welche ohne Bindemittel hergestellt wurden. Zudem war die Pelletoberfläche, vermutlich auch aufgrund der feinen Dispersität 004, relativ glatt (siehe Abbildung 74).



Abbildung 74: MP 01-02 | Versuch 22 | Pellets der Fraktion 10/8 mm

Vers.Nr.	Dispersität	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
		[%]	[mm]	[%]		[%]
18	004	2	12,5/10	15,56	4,13	k.M.
22	004	3	10/8	14,22	8,88	0

Tabelle 47: MP 01-02 | Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Calciumhydroxid

6.1.3 Versuche mit Bentonit als Bindemittel

Der erste mit Bentonit durchgeführte Versuch, war jener mit der laufenden Nummer 19 bzw. 20. Der Bentonit wurde von der Voest zugestellt und hatte eine undefinierte Herkunft. Die erreichten Werte des Versuches 20 lagen in Bereichen, die auch ohne Bindemittel bzw. mit Calciumhydroxid



erreicht wurden.

Die Versuche 28 und 30 fanden mit definierten Bentonitproben statt. Diese waren in unterschiedlichen Ausmaß aktiviert und insbesondere der Versuch 30 führte zu ausgezeichneten Ergebnissen hinsichtlich Drop- und Schockfestigkeit (siehe Tabelle 48). Zudem wurde zum damaligen Zeitpunkt der Test auf Schockfestigkeit nicht bei 700 sondern bei 900°C durchgeführt.

Vers.Nr.	Dispersität	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
		[%]	[mm]	[%]		[%]
28	004	1,5	10/8	16,47	6,25	k.M.
30	004	1,5	8/6,3	16,32	16	100

Tabelle 48: MP 01-02 | Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Bentoniten

6.1.4 Versuche mit organischen Bindemitteln

Von Beginn an war es Ziel bei den Pelletversuchen organische Bindemittel in Form von Lösungen einzusetzen. Der Grund dafür lag in einer Verminderung von Alkalien und SiO_2 . Zur Anwendung kam zunächst der von *Henkel* hergestellte Tapetenkleister Metylan (siehe Kapitel 4.6.3). Versuch 24 wurde mit einer Dosierung von 0,1 % Metylan, sowie der Dispersität 004 durchgeführt. Die Ergebnisse übertrafen sowohl alle bisherigen als auch die noch folgenden Festigkeitswerte (siehe Tabelle 49). Besonders auffallend bei den erzeugten Pellets war deren Oberfläche bzw. das Verhalten unter Beanspruchung. Der eingesetzte Kleister *versiegelte* die Pelletoberfläche und führte zu einem plastischen Verhalten. Bei der Ermittlung der Dropfestigkeit verformten sich die Pellets (ähnlich Plastilin), es kam jedoch zu keinem äußeren Schaden. In Abbildung 75 sind links Pellets vom Versuch 24 und rechts jene von Versuch 20 (004, 1,5% Benonit - Voest) abgebildet. Die Aufgabe hatte bei beiden denselben Dispersitätszustand 004. Durch Einsatz von Metylan bekamen die Agglomerate eine glänzende sowie klebrige Oberfläche.

In der Folge wurde der Metylgehalt im Pellet auf 0,05% herabgesetzt (Versuch 26). Nachdem die Qualität auch bei dieser Konzentration hoch war, wurde ein weiterer Versuch mit 0,01 % durchgeführt. Dieser führte jedoch zu deutlich schlechteren Ergebnissen.

Vers.Nr.	Dispersität	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
		[%]	[mm]	[%]		[%]
24	004	0,1	8/6,3	15,88	39,5	100
26	004	0,05	12,5/10	15,72	23,67	100



32	004	0,01	10/8	16,44	3,5	0
----	-----	------	------	-------	-----	---

Tabelle 49: MP 01-02 | Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Metylan als Bindemittel

Kernaussage obiger Tabelle ist, dass ausreichend hohe Gehalte an Metylan sowohl zu hohen Grünfestigkeiten führen, als auch die erforderliche Schockfestigkeit gewährleisten. Da bei allen drei Versuchen dieselbe Aufgabedispersität verwendet wurde, gilt der in Abbildung 76 gezeigte Zusammenhang.

Es stellt sich die Frage, ob es zulässig ist, Festigkeitswerte von unterschiedlichen Pelletgrößen zu vergleichen. In [3] wird darauf verwiesen, dass bei Druckfestigkeiten die Größe von Pellets eine Rolle spielt. Je größer diese sind, desto größer ist auch die beanspruchte Fläche im Pellet bzw. teilt sich somit die gleiche Kraft auf eine größere Fläche auf (geringere Spannung). Bei der Dropfestigkeit gilt dies nur bedingt. Der Grund für das Versagen ist die dem Pellet durch das Fallenlassen zugeführte Energie. Diese ist jedoch vom Gewicht abhängig ($E = m \cdot g \cdot H$). Bei den Versuchsauswertungen stellte sich heraus, dass jeweils eine dominante Pelletgröße mit einem Massenanteil >50% vorhanden war. Deren Qualitätsmerkmale wurden herangezogen um einen Vergleich zu anderen Versuchen anzustellen. Als Beispiel werden hier die Versuche 24 und 26 angeführt. In Abbildung 77 sind die Durchgangsverteilungen dieser beiden Versuche abgebildet. Der Grund für den Unterschied dieser beiden liegt nicht in der Menge des frisch aufgegebenen Erzes, sondern in der Tatsache, dass bei Versuch 24 seed - Pellets der Fraktion 2/4 mm und bei Versuch 26 Pellets der Fraktion <6 mm aufgegeben wurden. Durch diesen Umstand kommt auch der Unterschied in den Größenverteilungen zu Stande. Auffallend ist die Parallelität der beiden Durchgangsverteilungen. Die Dropfestigkeitswerte der Größenfraktion 8/6,3 mm bei Versuch 26 waren unbedeutend größer als jene der Fraktion 12,5/10 mm.

Somit spielt nicht nur die Größe der Pellets eine Rolle bei der Dropfestigkeit, sondern eher das *Entwicklungsstadium*, welches in der Größenverteilung zum Ausdruck kommt.

Wie bereits unter Kapitel 4.6.3 erläutert, kommt Metylan aus Kostengründen nicht für einen großindustriellen Einsatz in Frage. Aufgrund der guten Ergebnisse galt es einen Ersatzstoff für Metylan zu finden. In Versuch 37 wurden 0,5 % Stärke gelöst. Stärke ist vom molekularen Aufbau der Cellulose relativ ähnlich. Jedoch führte dieser Versuch zu nicht ausreichenden Festigkeitswerten.



Abbildung 75: MP 01-02 | Versuch 24 und 20 | Verschiedene Oberflächenzustände

6.1.5 Ferromagnetischer Einfluss

Bereits unter Kapitel 3.2.1 wurde der mögliche Einfluss von magnetischen Kräften auf die Festigkeit von Pellets erwähnt. Die hervorragenden Ergebnisse, welche die Pelletiersuche mit dem slowakischen Erz ergaben, waren Anlass dahingehende Versuche durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde Mahlprodukt der Dispersität 003 herangezogen und in einer Gleichstromspule bei 4 A Erregerstrom magnetisiert (siehe Versuch 40/41). Der Anteil ferromagnetischer Bestandteile in der Stundenprobe MP 01-02 beträgt 33,24%, jener im slowakischen Erz, aufgrund der reduzierenden Röstung, 55,35%. Die Hoffnung bestand, dass die bei ferromagnetischen Mineralen auftretende Remanenz Haftkräfte hervorrufen würde, die einen bindemittelfreien Betrieb ermöglicht. Der Versuch ergab jedoch nur Dropfestigkeiten, welche im Durchschnitt bei 3,16 lagen.

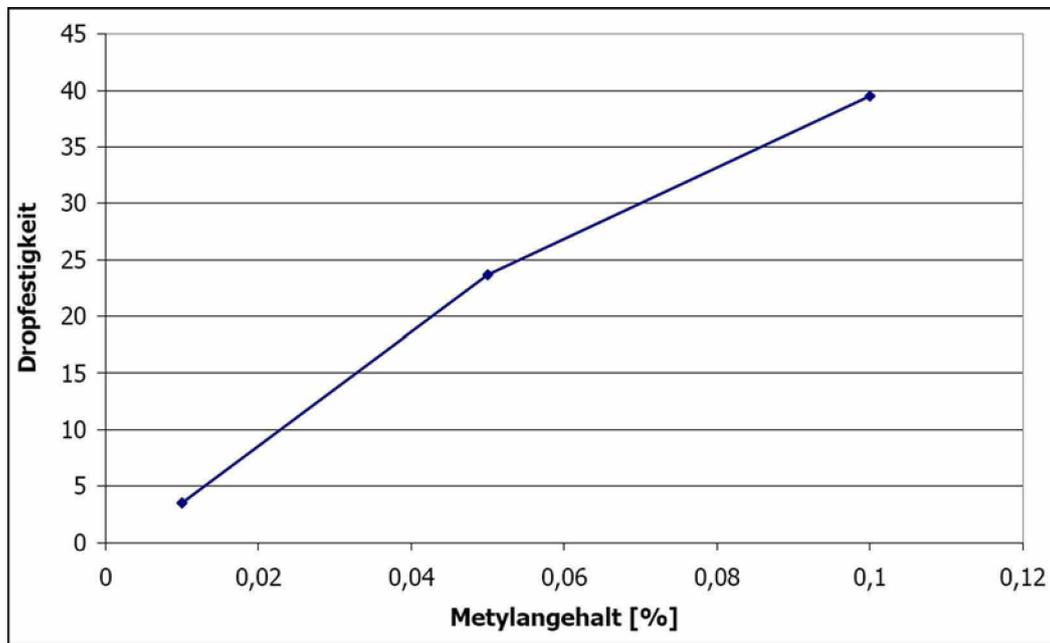


Abbildung 76: MP 01-02 | Zusammenhang zwischen Methylangehalt und Dropfestigkeit

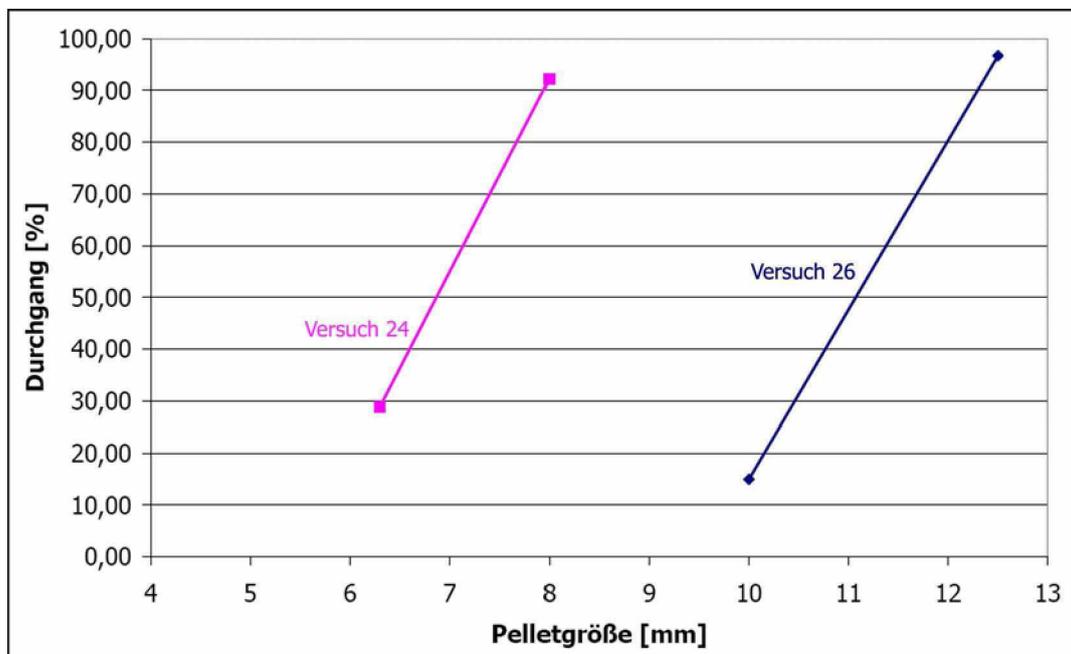


Abbildung 77: MP 01-02 | Versuche 24 und 26 | Durchgangverteilungen der Produkte



6.2 Magnetprodukt MP 18-19

Das Magnetprodukt MP 18-19 war die zweite bei Pelletierversuchen eingesetzte Stundenprobe. Diese unterschied sich von der Stundenprobe MP 01-02 durch einen höheren Anteil an ferromagnetischen Bestandteilen, einer geringeren inneren Oberfläche sowie einem niedrigeren Glühverlust (siehe Kapitel 4.1.5). Jene Eigenschaft, die jedoch den größten Einfluss auf die Pelletierversuche hatte, war der größere Zerkleinerungswiderstand. Bei einer Mahlung des Magnetproduktes mit 800 Umdrehungen in der Kugelmühle ergab sich eine um ca. 1000 Blaine geringere Oberfläche als bei der Stundenprobe MP 01-02.

Die Versuche mit der Stundenprobe 01-02 hatten Tastversuchscharakter. Die im folgenden beschriebenen Versuche folgten bereits konkreteren Zielen:

- Ersatz des Tapetenkleisters Metylan durch billigere Industrieprodukte
- Ermittlung einer geeigneten Aktivierungsstufe des sardischen Bentonites

Ein Vergleich zu den im letzten Kapitel beschriebenen Versuchen ist nur bedingt möglich. Zum einen kamen andere Bindemittel zum Einsatz, zum anderen änderte sich der Dispersitätszustand. In Abbildung 78 sind die bei dieser Stundenprobe erreichten Dropfestigkeiten graphisch in Abhängigkeit von Dispersität und Bindemittel dargestellt.

Eingesetzte Dispersitäten

Dispersitäts- codierung	Δe [$\frac{kWh}{to}$]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	GV 900°C [%]
104	67,60	3152,91	73,81	31,78	4,24
106	40,56	1723,4	152,57	50,93	4,24
107	k.M.	3934,18	k.M	k.M.	4,24

Tabelle 50: Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 18-19

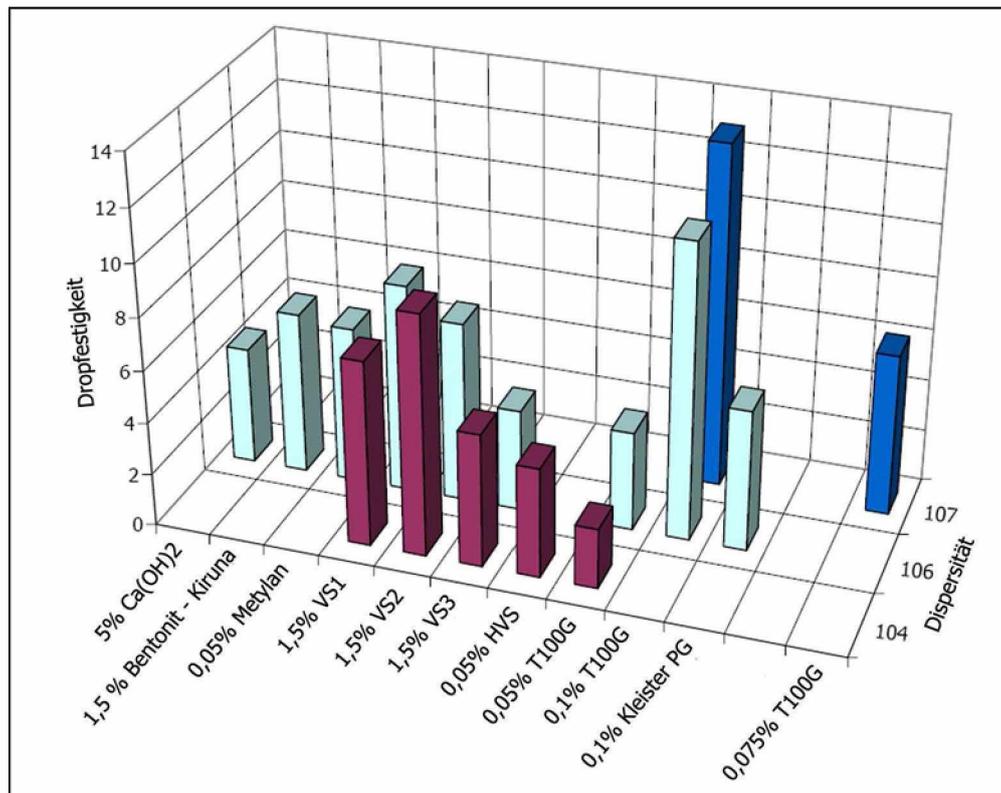


Abbildung 78: MP 18-19 | Dropfestigkeiten in Abhängigkeit von Dispersität und Bindemittelseinsatz

6.2.1 Versuche mit sardischem Bentonit

In Kapitel 4.6.2 wurden die drei Aktivierungsstufen VS1, VS2 und VS3 aus der sardischen Grube Monte Is Casteddu bereits beschrieben. Es wurden insgesamt fünf Pelletversuche durchgeführt um die geeignetste Stufe zu finden. Diese Versuche fanden bei den Dispersitäten 104 und 106 statt. Es bestand zunächst die Hoffnung, dass sich ähnlich gute Ergebnisse wie in Versuch 30 ergeben. Diese konnten jedoch nicht erreicht werden.

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
			[%]	[mm]	[%]		[%]
45	106	VS1	1,5	10/8	15,94	8	100
46	106	VS2	1,5	12,5/10	15,65	6,9	100
47	106	VS3	1,5	10/8	15,96	3,9	100

Tabelle 51: MP 18-19 | Versuchsergebnisse mit sardischem Bentonit



Die Aktivierungsstufen VS1 und VS2 brachten gute Ergebnisse, die jedoch weit hinter jenen von Versuch 30 zurückblieben. Der Grund dafür liegt vermutlich im hohen Dispersitätsunterschied von immerhin 2432 Blaine. Versuche bei einem Dispersitätsunterschied von 1000 Blaine lieferten jedoch auch keine besseren Ergebnisse (siehe Versuche 48 und 49). Der Test auf Schockfestigkeit wurde bei 700°C durchgeführt.

Auf Grundlage obiger Tabelle wurde die Aktivierungsstufe VS1 ausgewählt um größere Mengen an aktiviertem Bentonit herzustellen. Im hier beschriebenen Versuchsprogramm wurden jedoch keine weiteren Pelletierversuche mit Bentonit durchgeführt.

6.2.2 Versuche mit organischen Bindemitteln

Um Metylan zu ersetzen standen drei Produkte der Fa. *Mare* zur Verfügung (siehe Kapitel 4.6.4). Die Produkte HVS und Kleister PG lieferten keine zufriedenstellenden Ergebnisse hinsichtlich Dropfestigkeit (siehe Versuche 51 und 54). Eine Dosierung von 0,05 % T100G führte ebenfalls nur zu geringen Grünfestigkeiten (siehe Versuche 52 und 53). Bei diesen beiden Versuchen sind die geringen Unterschiede der Festigkeiten bei verschiedenen Dispersitäten auffallend:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST
			[%]	[mm]	[%]		[%]
52	104	T100G	0,05	10/8	16,11	3,1	k.M.
53	106	T100G	0,05	10/8	16,22	3,4	k.M.

Tabelle 52: MP 18-19 | Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Metylan als Bindemittel

Trotz eines Unterschiedes von 1429 Blaine in den Aufgabedispersitäten ergab sich kein Unterschied in den Dropfestigkeiten. Bei einer Betrachtung der Pelletoberfläche sind ebenfalls keine Unterschiede bemerkbar (siehe Abbildung 79). Vergleicht man jedoch dazu Bild 75, wo Pellets aus dem Versuch 24 abgebildet sind, so kommt man zum Schluss, dass die Wirkung von 0,05% T100G eine andere ist als jene von 0,1 % Metylan. Eine Erhöhung des Gehaltes von T100G auf 0,1 % führte jedoch zu besseren Festigkeitswerten:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	σ_D
			[%]	[mm]	[%]		[%]	[N]
55	107	T100G	0,1	12,5/10	16,14	13,1	0	1646
56	106	T100G	0,1	12,5/10	16,63	10,0	100	737



57	107	T100G	0,075	>12,5	17,01	4,9	0	1676
----	-----	-------	-------	-------	-------	-----	---	------

Tabelle 53: MP 18-19 | Versuchsergebnisse mit gelöstem T100G bei unterschiedlichen Gehalten und Dispersitäten

Der Unterschied in der Dropfestigkeit zwischen den verwendeten Dispersitäten ist wiederum nur gering. Bei den hier angeführten Versuchen wurden zum ersten Mal Brennversuche unter definierten Bedingungen durchgeführt. In Kapitel 5.4 wurde bereits auf die Problematik des Temperaturgradienten im Muffelofen eingegangen. Bei der feinen Dispersität 107 ergab sich bei 10 abgedrückten Pellets eine mittlere Druckfestigkeit von 1646 bzw. 1676 N (Versuch 55 und 57). Bei beiden bestand jedoch keine Schockfestigkeit bei 700°C. Bei der sehr groben Dispersität 106 bestand die Schockfestigkeit zu 100%, jedoch war die Druckfestigkeit der gebrannten Pellets mit 737 N zu gering. Dieser geringe Wert ist vermutlich auf die zu grobe Körnung zurückzuführen. Eine grobe Körnung hat jedoch einen positiven Einfluss auf die Schockfestigkeit. Das verdampfende Wasser, bzw. frei werdendes restliches CO_2 können leichter entweichen. Bei einer zu feinen Korngrößenverteilung ist dies nicht der Fall (wie bei Versuchen 55 und 57). Während des Tests auf Schockfestigkeit laufen vermutlich drei Vorgänge parallel zueinander ab:

- Relativ schnelles Verdampfen des Wassers im Pellets
- Calcinierung des restlichen Spateisensteins
- Oxydation von Magnetit zu Hämatit

Es kommt zu einem gleichzeitigen Austreten von Wasserdampf und CO_2 , sowie zu einem Eintreten von Sauerstoff. Die Menge an CO_2 ist vom Glühverlust abhängig, die Sauerstoffmenge vom Magnetitgehalt. Somit gilt es ein aufgabegutabhängiges Optimum bezüglich Pelletierfeinheit zu finden. Der Einfluss des Dispersitätszustandes auf die Dropfestigkeit kann durch Bindemiteleinsatz ausgeglichen werden. Organische Bindemittel haben jedoch nur geringen Einfluss auf die Schock- und Druckfestigkeit. Diese werden vielmehr durch die Dispersität bzw. den Restglühverlust beeinflusst. Bei einer Dosierung von 0,1% T100G hatte die Pelletoberfläche eine Ähnlichkeit zu jenen Pellets, welche mit Metylan hergestellt wurden (siehe Abbildung 85). Versuch 56 führte somit zu einer ausreichenden Grün- und Schockfestigkeit und auch zu einer besseren Einbindung von groben Körnern in den Agglomeratverband.



Abbildung 79: MP 18-19 | Pellets aus den Versuchen 52 und 53 in der Größe 12,5/10 mm



Abbildung 80: MP 18-19 | Pellets aus dem Versuch 56

6.3 Magnetprodukt MP 06-07

Die Stundenprobe 06-07 war jene mit dem höchsten Glühverlust sowie dem geringsten Anteil an ferromagnetischen Bestandteilen. Die Versuche im letzten Kapitel zeigten, dass ein Einsatz von vergleichsweise billiger Carboxymethylcellulose zu guten Ergebnissen führt. Neben einem Vergleichsversuch mit Metylan wurde bei den restlichen Versuchen T100G eingesetzt. Die Hauptmenge der Stundenprobe wurde in zwei kontinuierlichen Versuchen verbraucht. Die beschriebenen Versuche hatten folgenden Zweck:

- Einsatz eines Mixers zur Homogenisierung von Flüssigkeit und Feststoff
- Durchführung von kontinuierlichen Versuchen



Eingesetzte Dispersitäten

Dispersitäts- codierung	Δe [$\frac{kWh}{to}$]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	GV 900°C [%]
204	60,71	3986,50	67,79	28,51	9,30
206/208	36,43	2012,64	185,77	51,55	9,30

Tabelle 54: Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 06-07

6.3.1 Chargenversuche

Zu Beginn wurden noch einmal drei Kleinversuche durchgeführt, um einen Zusammenhang zu den bereits bearbeiteten Stundenproben herzustellen:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	σ_D
			[%]	[mm]	[%]		[%]	[N]
58	206	Metylan	0,05	10/8	19,5	12,3	100	k.M.
59	206	T100G	0,1	10/8	16,71	17,2	100	k.M.
60	208	T100G	0,075	10/8	16,91	11,8	100	504,05

Tabelle 55: MP 06-07 | Durchgeführte Chargenversuche mit organischen Bindemitteln

Eine Dosierung von 0,05% Metylan wurde bisher bei allen Stundenproben als Bindemittel verwendet. In Diagramm 81 ist der Zusammenhang zwischen Dropfestigkeit und Aufgabedispersität dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der Oberfläche des Aufgabegutes und der Dropfestigkeit ist wahrscheinlich auch vom verwendeten Bindemittel abhängig. In Tabelle 52 hat der hohe Unterschied in der Aufgabedispersität keinen Einfluss auf die Dropfestigkeit.

Bei den Versuchen 56 und 57 vom letzten Kapitel wurde die Lösung aus T100G bei Raumtemperatur in den Teller eingebracht. Aufgrund der hohen Viskosität (siehe Abbildung 59) war die Qualität der Zerstäubung nicht optimal. Dies hatte vermutlich Auswirkungen auf die Homogenität aus Flüssigkeit und Feststoff. Bei den Versuchen 59 und 60 wurde die Lösung auf 65°C erhitzt. Die dadurch erlangte geringere Viskosität führte zu einer besseren Zerstäubung mit der Spritzflasche. Die vergleichsweise guten Ergebnisse der beiden Versuche sind vermutlich auf einen homogenen Aufbau des Pellets zurückzuführen.

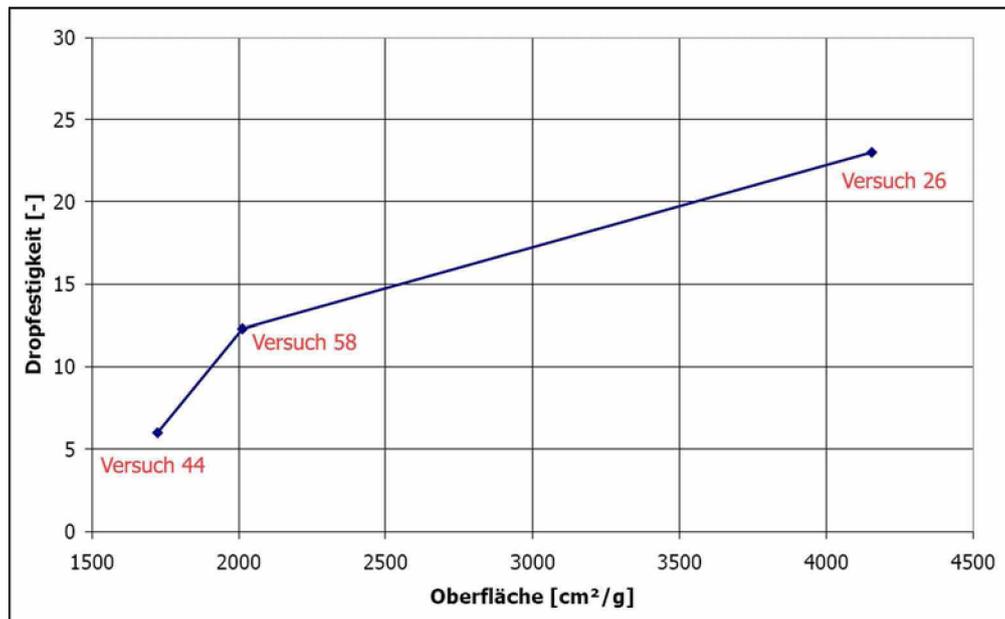


Abbildung 81: Zusammenhang Dropfestigkeit und Aufgabedispersität bei 0,05% Metylan

Die Pellets aus Versuch 60 wurden gebrannt und ergaben sehr schlechte Ergebnisse bezüglich Druckfestigkeit. Der Grund dafür liegt vermutlich wiederum in der zu groben Aufgabedispersität.

6.3.2 Einsatz des Pflugscharmischers

Wie bereits angemerkt hat eine gute Homogenisierung aller Aufgabebestandteile gute Qualitätsmerkmale zu Folge. Bei festen Bindemitteln (Bentonite, Calciumhydroxyd) erfolgte die Durchmischung in der Kugelmühle. Organische Bindemittel können nicht im festen Zustand eingebracht werden. Die Qualität der Homogenisierung hängt weitgehend von der Güte der Zerstäubung ab. Um den Einfluss der Zerstäubung gering zu halten, wurde ein Pflugscharmischer der Fa. *Lödige* verwendet (siehe Kapitel 5.1.2). Versuch 61 hatte den Zweck feuchtes Aufgabegut in den Pelletiersteller einzubringen. Um dieses herzustellen wurden 14% Lösung und 86% Mahlgut im Mischer homogenisiert. Es ergab sich folgendes Ergebnis:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	σ_D
			[%]	[mm]	[%]		[%]	[N]
61	208	T100G	0,075	10/8	16,49	12,0	k.M.	920,69

Tabelle 56: MP 06-07 | Durchgeführte Chargenversuche mit organischen Bindemitteln

Vergleicht man die Ergebnisse mit Versuch 60, so bemerkt man einen deutlichen Anstieg der Druckfestigkeit im gebrannten Zustand. Bei der Versuchsdurchführung wurde auf die Herstellung von seed - Pellets verzichtet. Die Auswirkung dieser geänderten Vorgehensweise ist anhand der Größenverteilungen zu sehen (siehe Abbildung 82). Bei den bisherigen Chargeversuchen entstand

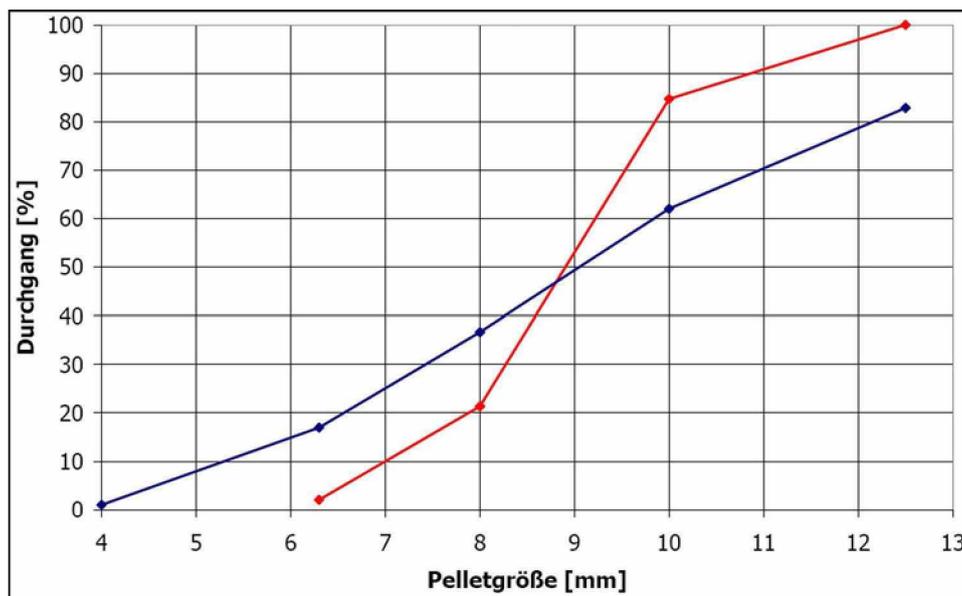


Abbildung 82: MP 06-07 | Pelletgrößenverteilung von Versuchen 60 (rot) und 61 (blau)

aufgrund der Aufgabe einer seed - Pelletgröße zwischen 2 und 4 mm immer eine herausragende Pelletfraktion mit ca. 50% Massenanteil. Verzichtet man auf den separaten Schritt der seed - Herstellung, so ist die Größenverteilung wesentlich breiter verteilt. Diese breite Verteilung entmischt sich während des Abrollvorganges im Teller (siehe Abbildung 83).

6.3.3 Kontinuierliche Versuche

Nach bisherigen Erkenntnisstand führte der Einsatz von T100G zu zufriedenstellenden Grünfestigkeiten. Das Ausmaß der Schockfestigkeit ist eine Funktion der Korngrößenverteilung im Pellets, sowie des Restglühverlustes. Die Festigkeit im gebrannten Zustand ist neben der Dispersität und dem Glühverlust auch von der Homogenität abhängig. Ziel der kontinuierlichen Versuche war es Pellets herzustellen, die alle Qualitätsmerkmale erfüllen.

Im ersten Versuch wurde auf die Zugabe von Bindemitteln verzichtet. Bei beiden wurden 10% des Flüssigkeitsanteiles im *Lödige* Mischer aufgegeben. Die Aufgabe der Restmenge an Wasser erfolgte über die neu angeschaffte Sprühdüse (siehe Abbildung 62).

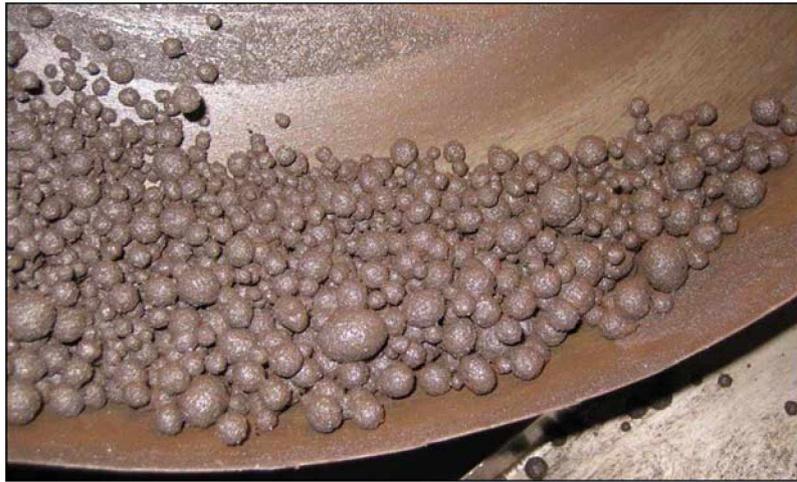


Abbildung 83: MP 06-07 | Versuch 61 | Entmischung nach der Pelletgröße

Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	σ_D
			[%]	[mm]	[%]		[%]	[N]
63	204			12,5/10	15,1	8,4	20	1663
64	204	T100G	0,075	16/14	9,3	8,4	12,5	1281,97

Tabelle 57: MP 06-07 | Ergebnisse kontinuierliche Versuche

Sieht man von der Schockfestigkeit ab, wurden gute Qualitäten erreicht. Die schlechten Werte für die Schockfestigkeit liegen vermutlich in einer Kombination aus hohem Restglühverlust von 9,3% sowie zu feiner Dispersität. Die hohe erreichte Dropfestigkeit bei Versuch 63 ist bemerkenswert. Bei Versuch 64 wurde die Mischung Lösung - Feststoff relativ lange in einem Behälter aufbewahrt. Es kam dadurch zu einer leichten Aushärtung der Frischaufgabe. Der Aufbau der Agglomerate wurde dadurch erschwert.



Abbildung 84: MP 06-07 | Versuch 64

6.4 Resümee

Es folgt eine zusammenfassende Erläuterung der Faktoren, welche Einfluss auf die Qualitätsmerkmale der Pellets haben:

Einflussfaktor	DF	HRST	σ_D	Pelletoberfläche
große Aufgabefeinheit:	↗	↘	↗	↗
breite Korngrößenverteilung:	↘	↗	↘	↘
hoher Restglühverlust:		↘	↘	
Organische Bindemittel:	↗			↗
Bentonit:	↗	↗		

Tabelle 58: Einfluss von Dispersität und Glühverlust auf die Qualitätsmerkmale



Um Pelletierergebnisse zu prognostizieren sind alle oben genannten Faktoren einzubeziehen. Die Besonderheit des behandelten Erztypes ist der große Einfluss von physikalischen Eigenschaften wie dem Durchröstungsgrad.

Ein hoher Durchröstungsgrad könnte unter Umständen einen bindemittellosen Betrieb möglich machen. Während die Grünfestigkeit über eine ausreichende Aufgabefeinheit erreicht wird, dürfte bei geringem Restglühverlust die Schockfestigkeit kein Problem sein. Steigt der Gehalt an CO_2 im Aufgabegut, muss den austretenden Gasen die Möglichkeit gegeben werden, das Agglomerat während des Brennvorganges auf schonende Weise zu verlassen. Dies ist über eine breite und gröbere Aufgabedispersität möglich, welche jedoch auf der anderen Seite zu geringen Dropfestigkeiten führt. An dieser Stelle kann durch den Einsatz von Bindemitteln gegengesteuert werden.

Es wurde ein letzter kontinuierlicher Pelletierversuch durchgeführt, in dem versucht wurde das Pelletierergebnis auf Basis oben genannter Faktoren zu prognostizieren. Es handelte sich dabei um die Stundenprobe MP 19-20, welche der analysierten Probe MP 18-19 ähnlich war. Laut Röstprotokoll sollten beide Proben einen ähnlichen Durchröstungsgrad aufweisen. Aus Zeitgründen war die Durchführung einer Merkmalsklassenanalyse nicht mehr möglich. Die nach 800 Umdrehungen in der Kugelmühle erreichte Mahlfeinheit lag bei 3123 Blaine. Jene bei der Stundenprobe MP 18-19 lag bei 3153 Blaine. Bei diesem Versuch ergaben sich folgende Qualitätsmerkmale:

Vers.Nr.	Dispersität	Bindemittel	Dosierung	Pelletgröße	g_F	DF	HRST	σ_D
			[%]	[mm]	[%]		[%]	[N]
65	304			12,5/10	14,81	4,8	100	1788,93

Tabelle 59: MP 19-20 | Ergebnisse Versuch 65

Eingesetzte Dispersität

Dispersitäts- codierung	Δe [$\frac{kWh}{to}$]	A_m [$\frac{cm^2}{g}$]	k_{80} [μm]	k_{50} [μm]	GV 900°C [%]
304	k.M.	3319,32	k.M.	k.M.	k.M.

Tabelle 60: Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 06-07

Die Dropfestigkeit ist mit der geringen Aufgabedispersität und dem Verzicht auf ein Bindemittel begründet. Schockfestigkeit sowie Druckfestigkeit sind ausreichend gegeben.



Abbildung 85: MP 19-20 | Pelletierversuch 65

7 Anlagenauslegung

Am Steirischen Erzberg ist der Bau einer Pelletieranlage mit einer Aufgabekapazität von 1.275.200 Tonnen geplant. Innerhalb von Versuch 63 und 64 wurden die Leistungsaufnahmen des im Labormaßstab betriebenen Tellers gemessen. In diesem Kapitel wird versucht auf Basis dieser Daten, sowie der in Kapitel 3.2.4 hergeleiteten Formeln, einen Pelletierteller industriellen Maßstabes auszulegen.

7.1 Berechnung des spezifischen Energieeintrages Δe

Die Leerlaufleistung wurde über eine Stunde lang gemessen, um den Einfluss der Lagerreibung klein zu halten. Die Messung der Bruttoleistung gestaltete sich etwas komplizierter. Diese hängt neben geometrischen Abmessungen, wie dem Durchmesser, der Höhe und dem Anstellwinkel auch vom Füllungsgrad φ ab (siehe Formel 10). Da die Leistung nicht aufgezeichnet wurde, war immer nur ein Momentanwert zugänglich. Die Bestimmung des momentanen Füllungsgrades während



der kontinuierlichen Versuche war nicht möglich.

Bei den Chargenversuchen wurde oft die Schüttdichte der Grünpellets bestimmt. Da die Masse an Pellets im Teller nach Versuchsende gemessen wurde, konnte das Volumen berechnet werden.

Unter der Annahme, dass der Tellerfüllungsgrad bei Chargen- und kontinuierlichen Versuchen derselbe war, wird mit einem Füllungsgrad von 10% gerechnet. Die Leistungsaufnahmen erfolgten über ein Multimeter und ergaben folgende Werte:

Leerlaufleistung P_{LL} :	40W
Bruttoleistung P_N :	61W

Es handelt sich dabei um Durchschnittswerte, die aus während des Versuchablaufes notierten Einzelwerten, gebildet wurden. Die in den Tellerinhalt eingetragene Nettoleistung wird aus der Differenz von Leerlauf- und Bruttoleistung berechnet und beträgt demnach 21W. Die gemessene Schüttdichte der Pellets beträgt ca. $1600 \frac{kg}{m^3}$ (siehe Anhang C). Mit diesen Werte sowie den technischen Daten von Tabelle 41 kann der Proportionalitätsfaktor f nach Gleichung 11 berechnet werden:

$$f = \frac{P_N}{\sin\beta \cdot D^3 \cdot H \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \cdot n} \quad (13)$$

$$\Rightarrow f = \frac{21}{\sin 55 \cdot 0,62^3 \cdot 0,14 \cdot 1600 \cdot 0,1 \cdot 9,81 \cdot \frac{34}{60}} = 0,863 \quad (14)$$

Die Frischaufgaberate während der Versuche betrug $25,2 \frac{kg}{h}$. Die Berechnung des spezifischen Energieeintrages erfolgt nach Formel 11:

$$\Delta e = \frac{P_N}{\dot{m}_P} = \frac{21}{25,2} = 0,833 \frac{kWh}{to} \quad (15)$$

Dieser spezifische Energieeintrag ist mit Werten aus der Literatur [4] vergleichbar.

7.2 Auslegung eines Pelletiertellers

Wie bereits erwähnt sollen im Jahr 1.275.200 Tonnen trockenes Erz dem Pelletierteller aufgegeben werden. Im Pelletieraggregat werden dem Erz ca. 16% Wasser hinzugegeben. Daraus ergibt sich eine Grünpelletmenge von 1.518.057 Tonnen pro Jahr.

Die Anlagenauslastung wird mit 90% angenommen. Daraus ergeben sich 7884 Stunden pro Jahr.

Die insgesamt Aufgaberate in die Pelletieranlage beträgt somit $192,6 \frac{to}{h}$.

Es sollen 3 Pelletierteller bei einer Aufgaberate von 64,2 Tonnen pro Stunde parallel betrieben werden. Für die Auslegung eines industriellen Tellers müssen 2 Voraussetzungen gelten:



- Geometrische Ähnlichkeit zwischen Modellausführung und Hauptausführung: Gleiche relative Drehzahl ψ , gleiches Verhältnis zwischen Durchmesser und Randhöhe, sowie derselbe Anstellwinkel β .
- Gleiche Materialeigenschaften: Damit ist vor allem das Schüttgewicht der Pellets gemeint.

Werden obige Voraussetzungen eingehalten, so kann die Auslegung mit dem berechneten spezifischen Energieeintrag sowie dem Proportionalitätsfaktor f erfolgen. Mit Formel 12 wird die erforderliche Nettoleistung berechnet:

$$P_N = \Delta e \cdot \dot{m}_P = 0,833 \cdot 64,2 = 53,46 \text{ kW} \quad (16)$$

Diese Leistung muss nun in den industriellen Pelletierteller eingetragen werden. Die Berechnung der geometrischen Daten erfolgt nach Formel 10. In dieser ist jedoch die Randhöhe H und die Drehzahl n vom Durchmesser abhängig. Das Verhältnis von Randhöhe zu Durchmesser beträgt 0,22. Der Zusammenhang zwischen Drehzahl und Durchmesser wurde in Formel 3 hergeleitet. Die relative Drehzahl beträgt 0,7.

Setzt man diese Zusammenhänge in Formel 10 ein ergibt sich:

$$P = f \cdot \sin\beta \cdot D^3 \cdot D \cdot 0,22 \cdot \rho_{S,P} \cdot \varphi \cdot g \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sin\beta}{2 \cdot D}} \quad (17)$$

Obige Formel nach D umgeformt lautet:

$$D = \sqrt[7]{\frac{P_N^2 \cdot \pi^2 \cdot 2}{f^2 \cdot (\sin\beta)^3 \cdot 0,22^2 \cdot \rho_{S,P}^2 \cdot \varphi^2 \cdot g^3 \cdot 0,7^2}} \quad (18)$$

$$D = \sqrt[7]{\frac{53,464^2 \cdot \pi^2 \cdot 2}{0,863^2 \cdot (\sin 55)^3 \cdot 0,22^2 \cdot 1600^2 \cdot 0,1^2 \cdot 9,81^3 \cdot 0,7^2}} = 5,871 \text{ m} \quad (19)$$

Um höhere Aufgaberraten möglich zu machen wird es sinnvoll sein 3 Pelletierteller mit einem Durchmesser von je 6 m zu installieren.



Zusammengefasst ergeben sich folgende technische Daten:

Durchmesser:	6	<i>m</i>
Randhöhe:	1,32	<i>m</i>
Neigungswinkel:	55	°
kritische Drehzahl:	15,62	$\frac{U}{min}$
relative Drehzahl:	0,7	%
betriebene Drehzahl:	10,94	$\frac{U}{min}$

Tabelle 62: Technische Daten industrieller Pelletierteller

7.3 Diskussion

Die Größe des ausgelegten Tellers ist mit Werten aus der Literatur vergleichbar (siehe [4], [5] und [13]). Trotzdem handelt es sich hier nur um eine überschlägige Auslegung. Der nur geringe Füllungsgrad von 10% kam aufgrund der geringen Materialmengen zustande. In der Literatur [5] sind im Betrieb stehende Pelletierteller zu finden, die mit Füllungsgraden zwischen 10 und 30% betrieben werden. Ein höherer Füllungsgrad könnte kleinere bzw. möglicherweise auch nur zwei Teller möglich machen.



Abbildungsverzeichnis

1	links: Aufbauagglomeration, Mitte: Pressagglomeration, rechts: thermische Agglomeration	11
2	Entstehungsstadien bei der Herstellung von Grünpellets [3]	14
3	Flüssigkeitsbrücke zwischen 2 Partikeln [4]	15
4	Einfluss des Sättigungsgrades S auf die Zugfestigkeit der Agglomerate [3]	16
5	Angaben zu Dispersität, Wassergehalt und Pelleteigenschaften für unterschiedliche Eisenerztypen [3]	16
6	Mineralogischer Aufbau von Montmorillonit; A - Tetraeder, B - Oktaeder [6]	19
7	Chemische Analyse verschiedener Bentonite [7]	21
8	Sofortquellvolumen verschiedener Bentonite mit Versuchsaufbau [7]	22
9	Aufbau von organischen Bindern [12]	24
10	Strukturformeln von Polythen und Benzol	25
11	Prinzipskizze mit Abmessungen Pelletiertrommel [3]	26
12	Kreislaufschaltung Pelletiertrommel [3]	27
13	Einfluss von Trommellänge, -neigung und Siebmaschenweite auf das Ausmaß der umlaufenden Last [3]	27
14	Prinzipskizze Pelletierteller [1][3]	28
15	Vergleich von Pelletiertrommel und -teller hinsichtlich Kosten	31
16	Temperaturprofile während des Trocknungs- und Sinterungsprozesses [3]	33
17	Phasen bei der Trocknung [3]	34
18	Einfluss der Temperatur auf Festigkeit bzw. Kornwachstum [6]	35
19	Oxidation von natürlichen und künstlich hergestellten Magnetit [3]	36
20	Reduktion von Hämatit in Abhängigkeit vom CaO - Gehalt [3]	37
21	Vertikaler Schnitt durch Schachtfen mit Temperaturprofil [3]	37
22	Kombination Wanderrost - Drehrohrofen - Pelletkühler [3]	39
23	Querschnitt durch Rostwagen [3]	40
24	Prinzipskizze Lurgi - Dravo Verfahren [3]	41
25	Magnetprodukt MP01-02 Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz	46
26	Magnetprodukt MP01-02 Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)	50



27	Magnetprodukt MP18-19 Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz . .	51
28	Magnetprodukt MP18-19 Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)	55
29	Magnetprodukt MP06-07 Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz . .	56
30	Magnetprodukt MP06-07 Verteilung der inneren Oberfläche in den Kornklassen (nach Böhm)	60
31	Aufgabe Pelletierung Nisna Slana Darstellung der Korngrößenverteilung im GGS - Netz	61
32	Aufgabe Pelletierung Nisna Slana Verteilung der inneren Oberfläche in den Korn- klassen (nach Böhm)	65
33	Magnetprodukte Durchgangsverteilungen der Stundenproben	66
34	Zusammenhang zwischen Dichte und Glühverlust (blau) bzw. Dichte und Magnetit- gehalt (magenta)	67
35	Magnetprodukte Zusammenhang zwischen Glühverlust und äquivalenten Magnetit- gehalt	68
36	Magnetprodukte Zusammenhang zwischen Glühverlust und innerer Oberfläche . . .	68
37	Anschliff 869/5 ZP Nisna Slana 1/0,71 mm x 100 Spateisenstein - Pyrit Verwachsung	72
38	Anschliff 869/3 MP Slowakei >0,2 mm Magnetit und Hämatit - Körner, Verwach- sung Hämatit - Sulfide (bunte Anlauffarben) GV = 3,21%	73
39	Anschliff 869/1 MP 01-02 0,315/0,2 mm Ankerit - Röstspat Verwachsung GV = 5,28%	73
40	Anschliff 868/4 MP 01-02 1/0,5 mm x 100 Ankerit - Röstspat - Quarz - Pyrit Ver- wachsung GV = 10,40%	74
41	Anschliff 868/2 MP 18-19 0,315/0,2 mm x 100 Ankerit - Röstspat Verwachsung GV = 5,42%	74
42	Anschliff 868/2 MP 18-19 0,315/0,2 mm x 250 Röstspatkorn GV = 5,42%	75
43	Anschliff 867/5 MP 18-19 1/0,5 mm x 100 Ankerit - Röstspat Verwachsung GV = 7,24%	75
44	Anschliff 867/3 MP 06-07 0,315/0,2 mm x 100 Quarz - Spat Verwachsung GV = 8,50%	76
45	Anschliff 867/1 MP 06-07 1/0,5 mm Ankerit - Röstspat Verwachsung GV = 13,53%	76
46	Mahlbarkeitsprüfstand nach <i>Wiechert</i>	77



47	Magnetprodukt MP01-02 Energiecharakteristik	79
48	Zerkleinerungsprodukte MP01-02 Durchgangsverteilungen	79
49	Magnetprodukt MP18-19 Energiecharakteristik	81
50	Zerkleinerungsprodukte MP18-19 Durchgangsverteilungen	81
51	Magnetprodukt MP06-07 Energiecharakteristik	83
52	Zerkleinerungsprodukte MP06-07 Durchgangsverteilungen	83
53	Vergleich der Energiecharakteristika rot: MP01-02, grün: MP18-19, blau: MP06-07 .	84
54	Vergleich Durchgangsverteilungen der Zerkleinerungsprodukte nach 800 Umdrehungen in der Kugelmühle rot: MP01-02, magenta: MP18-19, blau: MP06-07, grün: Nisna Slana	85
55	Einsatzstoffe Durchgangsverteilungen	88
56	Strukturformel Methylcellulose	90
57	Scherkurve einer 0,62% - Metylan Lösung	91
58	Chemischer Aufbau Carboxymethylcellulose	92
59	Rampenversuch mit verschiedenen CMC - Gehalten; magenta: 0,1%, blau: 0,075%, rot 0,05%	93
60	Seed - Pellets 2/4 mm	96
61	Vergleich Größenverteilung seed- mit fertigen Pellets	96
62	Verwendete Sprühdüse für kontinuierliche Pelletierversuche	97
63	Stoffstromknoten Pelletierteller	98
64	Pumpenschaltung	99
65	Versuchsaufbau kontinuierliche Pelletierung	100
66	Einrichtung zur Bestimmung der Dropfestigkeit	101
67	Glatte und <i>pelzige</i> Pelletoberfläche	102
68	Festigkeitswerte (Druckfestigkeit in N) in Abhängigkeit von der Lage der Pellets im Muffelofen	103
69	Hydraulische Stempelpresse	103
70	Prüfstand zur Messung der Druckfestigkeit am Institut für Gesteinshüttenwesen . .	104
71	Magnetprodukt MP 01-02 Dropfestigkeiten in Abhängigkeit von Dispersität und Bindemittleinsatz	107
72	MP 01-02 Grobe Körner an Pelletoberfläche	109
73	Wassergehalte der durchgeführten Versuche (auf x-Achse aufgetragen)	110



74	MP 01-02 Versuch 22 Pellets der Fraktion 10/8 mm	111
75	MP 01-02 Versuch 24 und 20 Verschiedene Oberflächenzustände	114
76	MP 01-02 Zusammenhang zwischen Metylangehalt und Dropfestigkeit	115
77	MP 01-02 Versuche 24 und 26 Durchgangsverteilungen der Produkte	115
78	MP 18-19 Dropfestigkeiten in Abhängigkeit von Dispersität und Bindemittleinsatz	117
79	MP 18-19 Pellets aus den Versuchen 52 und 53 in der Größe 12,5/10 mm	120
80	MP 18-19 Pellets aus dem Versuch 56	120
81	Zusammenhang Dropfestigkeit und Aufgabedispersität bei 0,05% Metylan	122
82	MP 06-07 Pelletgrößenverteilung von Versuchen 60 (rot) und 61 (blau)	123
83	MP 06-07 Versuch 61 Entmischung nach der Pelletgröße	124
84	MP 06-07 Versuch 64	125
85	MP 19-20 Pelletiersversuch 65	127
86	Seed - Pellets	141
87	Fertige Pellets	141
88	Hydraulische Stempelpresse	142



Tabellenverzeichnis

4	Gegenüberstellung Pelletierteller und -trommel	32
5	Spezifischer Energiebedarf in Abhängigkeit vom verwendeten Aggregat	41
6	MP 01-02 Ergebnisse der Handsiebung	46
7	MP 01-02 Dichtewerte in den Kornklassen	47
8	MP 01-02 Äquivalenter Magnetitgehalt in den Kornklassen	47
9	MP 01-02 Glühverlust in den Kornklassen	48
10	MP 01-02 Bestimmung Kornformfaktor	49
11	MP 01-02 Bestimmung der inneren Oberfläche in den Korngrößenklassen	50
12	MP 18-19 Ergebnisse der Handsiebung	51
13	MP 18-19 Dichtewerte in den Korngrößenklassen	52
14	MP 18-19 Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen	52
15	MP 18-19 Glühverlust in den Korngrößenklassen	53
16	MP 18-19 Bestimmung Kornformfaktor	54
17	MP 18-19 Bestimmung der inneren Oberfläche in den Korngrößenklassen	55
18	MP 06-07 Ergebnisse der Handsiebung	56
19	MP 06-07 Dichtewerte in den Korngrößenklassen	57
20	MP 06-07 Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen	57
21	MP 06-07 Glühverlust in den Korngrößenklassen	58
22	MP 06-07 Bestimmung Kornformfaktor	59
23	MP 06-07 Innere Oberfläche in den Korngrößenklassen	60
24	Nisna Slana Ergebnisse der Nasshand- bzw. Luftstrahlsiebung	61
25	Nisna Slana Dichtewerte in den Korngrößenklassen	62
26	Nisna Slana Äquivalenter Magnetitgehalt in den Korngrößenklassen	62
27	Nisna Slana Glühverlust in den Korngrößenklassen	63
28	Nisna Slana Bestimmung Kornformfaktor	64
29	Nisna Slana Innere Oberfläche in den Korngrößenklassen	65
30	Vergleich physikalische Eigenschaften der untersuchten Stundenproben	66
31	Angeschliffene Proben; Bei den Proben 870/4 und 870/5 handelt es sich um magnet- geschiedene Röstprodukte (560°C, 45 Minuten, Handmagnet 14/13mm)	70
32	MP 01-02 Ermittlung des spezifischen Energieeintrages	78



33	MP 01-02 Ermittlung der Energiecharakteristik	78
34	MP 18-19 Ermittlung des spezifischen Energieeintrages	80
35	MP 18-19 Ermittlung der Energiecharakteristik	80
36	MP 06-07 Ermittlung des spezifischen Energieeintrages	82
37	MP 06-07 Ermittlung der Energiecharakteristik	82
38	Vergleich der Anfangssteigungen der drei Stundenproben in der Energiecharakteristik	84
39	Zusammenhang Energieeintrag und Dispersitätsänderung der drei Stundenproben .	85
40	Bei den Pelletierversuchen eingesetzte Aufgabedispersitäten	88
41	Technische Daten Pelletierteller	95
42	Bestimmung der wirksamen Kolbenfläche über Vergleichsmessung	104
43	Ergebnisse Pelletierversuch mit slowakischem Eisenerz	106
44	Aufgabedispersität des slowakischen Erzes aus Nisna Slana	106
45	Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 01-02	107
46	MP 01-02 Ausgewählte Versuchsergebnisse ohne Bindemittel	109
47	MP 01-02 Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Calciumhydroxid	111
48	MP 01-02 Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Bentoniten	112
49	MP 01-02 Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Metylan als Bindemittel	113
50	Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 18-19	116
51	MP 18-19 Versuchsergebnisse mit sardischem Bentonit	117
52	MP 18-19 Ausgewählte Versuchsergebnisse mit Metylan als Bindemittel	118
53	MP 18-19 Versuchsergebnisse mit gelöstem T100G bei unterschiedlichen Gehalten und Dispersitäten	119
54	Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 06-07	121
55	MP 06-07 Durchgeführte Chargenversuche mit organischen Bindemitteln	121
56	MP 06-07 Durchgeführte Chargenversuche mit organischen Bindemitteln	122
57	MP 06-07 Ergebnisse kontinuierliche Versuche	124
58	Einfluss von Dispersität und Glühverlust auf die Qualitätsmerkmale	125
59	MP 19-20 Ergebnisse Versuch 65	126
60	Auswahl an Aufgabedispersitäten der Stundenprobe MP 06-07	126
62	Technische Daten industrieller Pelletierteller	130
63	Aufgenommene Schüttdichten	144



Literaturverzeichnis

- 1 Schubert: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band 3
- 2 Dipl.Ing. Dr.mont. Herbert Schmid: Eisenerze - Einsatzstoffe im Hochofen; Gastvorlesung an der Montanuniversität Leoben am 23.5.2006
- 3 Kurt Meyer: Pelletizing of Iron Ores
- 4 Matthias Stieß: Mechanische Verfahrenstechnik 2
- 5 SME: Agglomeration, Section 11
- 6 J. Srb, Z.Ruzickova: Pelletization of Fines
- 7 K.H. Ohrdorf: Moderne Verfahren der Aufbereitung und deren Anwendung bei der Aufbereitung von Bentoniten
- 8 K.H. Ohrdorf: Gastvorlesung an der Montanuniversität Leoben am 6.3.2007
- 9 R.E. Grim, N. Güven: Developments in Sedimentology; Bentonites
- 10 S.G. Savel'ev, V.N. Solomakha and G.V. Gubin: Production of green pellets with lime
- 11 H.Harmuth: Bindemittel 1, Vorlesungsunterlagen aus dem Jahr 2004
- 12 Guanzhou Qiu, Tao Jiang, Hongxu Li, Dianzuo Wang: Function and molecular structure of organic binders for iron ore pelletization
- 12 Erzberg Versuchsbericht VIII/62: Pelletiersversuche mit Schlammabgängen aus den Aufbereitungsanlagen
- 13 Olof Löfgren, Claes-Göran Nilsson, Rolf Ödman: Operational experiences on balling circuits with drums, discs and roller seed screens
- 14 Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Andreas Böhm: Vorlesung Grundzüge der Aufbereitung SS05
- 15 Henkel KGaA: Sicherheitsdatenblatt Metylan Kleister
- 16 MARE Austria GmbH: Sicherheitsdatenblätter CMC
- 17 Outokumou: Pelletizing Technology for iron ore

Pelletierung von Magnetkonzentraten aus der mineralselektiven
magnetisierenden Blitzröstung

Anhänge zur Diplomarbeit





A Arbeitsanleitung für Pelletierkleinversuche

Um möglichst reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten entwickelte sich mit der Zeit folgendes Arbeitsschema:

1. Bereitstellen einer Feststoffmenge von ca. 1,5 kg sowie einer mit Wasser bzw. Bindemittelösung gefüllten Sprühflasche.
2. Einwaage von ca. 150 g Feststoff.
3. Massebestimmung Wasserflasche.
4. Einschalten des Pelletiertellers bei zunächst noch geringerer Drehzahl (z.B. Stufe 7; ansonsten kommt es zu starker Staubentwicklung).
5. Kontinuierliche Aufgabe dieser Feststoffmenge in den Pelletierteller. Die Drehzahl sollte vorerst so gewählt werden, dass es zu einer guten Umwälzung des Materialbettes kommt.
6. Besprühung des Materialbettes mit der Sprühflasche. Die Schraube bei der Düse sollte so weit wie möglich geschlossen werden, damit es zu einer guten Zerstäubung kommt. Wird bei der Besprühung der Teller zuviel befeuchtet, kommt es zu Materialanpackungen. In Anbetracht der Größe des Tellers sowie der kleinen Materialmenge kann dies zu großen Verlusten führen. Deshalb sollte darauf geachtet werden nur das Materialbett zu besprühen. Die Art und Weise wie diese Besprühung erfolgt, hat vermutlich den größten Einfluss auf den Erfolg des Versuches. Eine zu starke Befeuchtung bei geringer Umwälzung des Materialbettes kann zur Ausbildung von *Keilen* führen. Dabei bewegen sich die Erzkörner nicht mehr relativ zueinander, sondern formen einen Körper der im Teller auf und ab rutscht. In diesem Fall ist es am besten den Keil mit einer Schaufel aufzulockern, um so wieder ein Umwälzen zu erreichen. Vermieden kann dieser Zustand werden, indem die Wasseraufgabe möglichst zu einer homogenen Durchmischung von Feststoff und Wasser erfolgt. Dieser Mischprozess erfolgt zum einem durch eine langsame Wasseraufgabe und der Umwälzung des Materialbettes. Somit richtet sich die Intensität der Wasseraufgabe nach der Geschwindigkeit der Umwälzung.
7. Nach Aufgabe einer ausreichenden Wassermenge kommt es zur Bildung erster Keime. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Drehzahl auf $34 \frac{U}{min}$ erhöht.
8. Weitere Wasserzugabe bis sämtliches Feingut agglomeriert ist. Wird dabei zu viel Wasser aufgegeben, können sich entweder seed - Pellets schlagartig zu größeren vereinigen, bzw. sie



bleiben am Tellerrand haften. In Abbildung 86 sieht man viele *eiförmige* seed - Pellets, die sich aus kleineren gebildet haben.

9. Erreicht man einen Zustand bei dem sich kein loser Feststoff mehr im Teller befindet, wird die Wasserflasche gewogen um die egetragene Wassermenge zu berechnen.
10. 15 Minuten *nachrollen* der Pellets im Teller.
11. Entnahme der seed - Pellets aus dem Teller und Siebung dieser in Größenfraktionen.
12. Bestimmung der Größenverteilung.
13. Aufgabe der Fraktion 2/4 mm in den Pelletierteller.
14. Massebestimmung der restlichen Feststoffmenge
15. Gleichmäßiges Aufgeben von Feststoff und Wasser. Die Pellets sollten an der Oberfläche immer ausreichend feucht sein, um den aufgegebenen Feststoff durch die Abrollbewegung aufzunehmen. Zuviel Wasser führt wiederum zu einem Anhaften der Pellets am Teller.
16. Nach Aufgabe des gesamten Feststoffes, diese 15 Minuten im Teller nachrollen lassen.
17. Bestimmung der eingebrachten Festoff- und Wassermenge.
18. Siebung der entnommenen Pellets und Massebestimmung derer.



Abbildung 86: Seed - Pellets



Abbildung 87: Fertige Pellets

B Arbeitsanleitung für hydraulische Stempelpresse

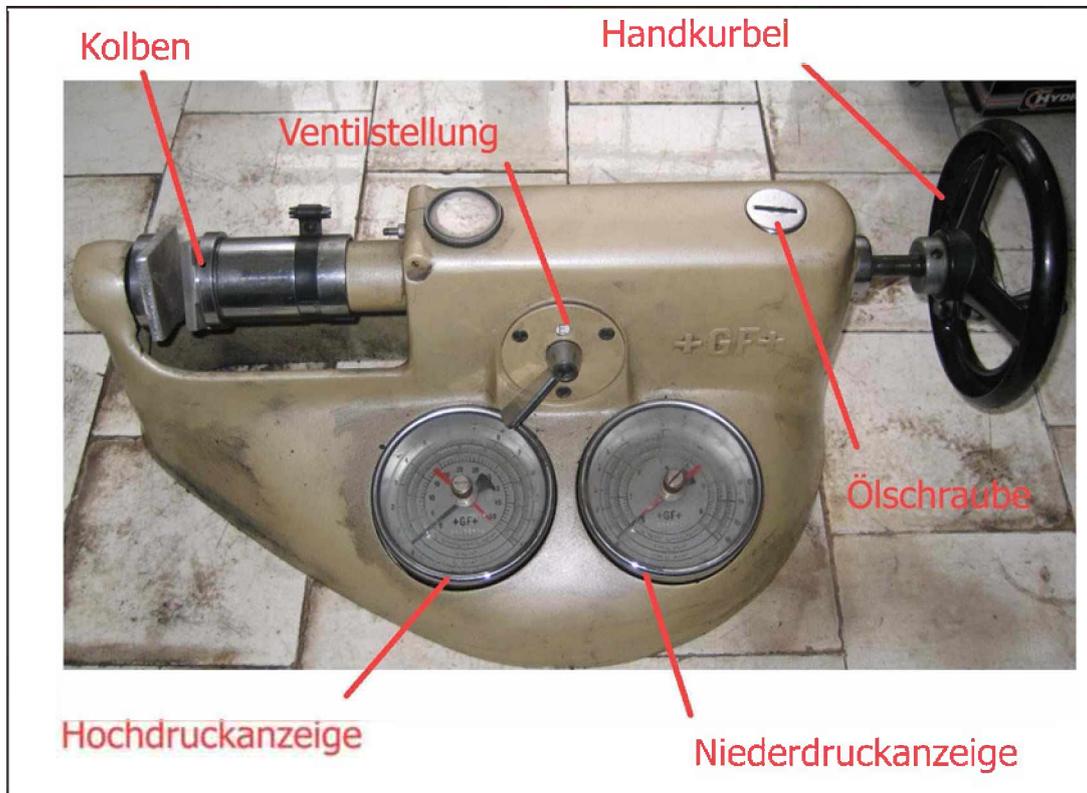


Abbildung 88: Hydraulische Stempelpresse

In Abbildung 88 ist die hydraulische Stempelpresse abgebildet, welche zur Bestimmung der Druckfestigkeit von gebrannten Pellets herangezogen wurde. Folgende Schritte sind notwendig um diese zu bestimmen:

1. Das Ventil muss in die Lage *E* mit dem Hebel unter der Anzeigen gestellt werden. Dadurch ist ein Verschieben des Kolbens möglich.
2. Den Kolben auf Anschlag nach links verschieben.
3. Anschließend wird die Handkurbel so lange gegen den Uhrzeigersinn gedreht bis ein Widerstand bemerkbar ist.
4. Ventilhebel auf die Stellung *H* drehen.
5. Abzudrückendes Pellet mit einer Pinzette nehmen, den Kolben nach rechts verschieben und das Pellet möglichst zentrisch zwischen den beiden Backen einklemmen.



6. Schleppzeiger bei der Hochdruckanzeige auf null stellen.
7. Die Handkurbel gleichmäßig mit dem Uhrzeigersinn bis zum Versagen des Pellets drehen.
8. Der Druck, bei welchem der Schadensfall eintritt, kann über den Schleppzeiger abgelesen werden. In Kapitel 5.5 wurde ein Umrechnungsfaktor zur Berechnung einer Druckkraft hergeleitet.
9. Die maximal zu messende Kraft liegt bei ca. 1700 N. Diese sollte nicht überschritten werden.



C Schüttgewicht

Bei folgenden Versuchen wurde das Schüttgewicht der Grünpellets, mit Hilfe eines Standzylinders, bestimmt:

Versuch	Masse [g]	Volumen [cm ³]	Dichte [$\frac{g}{cm^3}$]
52	902,6	590	1,53
53	853,6	560	1,52
54	911,4	580	1,57
55	885,3	575	1,54
56	1204,8	735	1,64
65	1287,6	800	1,61

Tabelle 63: Aufgenommene Schüttdichten

Bei den Versuchen 52 bis 56 wurde jeweils die Schüttdichte der gesamten Größenverteilung bestimmt. Beim letzten durchgeführten Pelletierversuche wurde die Schüttdichte der Größenfraktion 12,5/10 mm ermittelt.



D Pelletierergebnisse

Im folgenden sind die gesammelten Ergebnisse aller Pelletierversuche ab Versuch 12 angeführt. Die ersten 11 Versuche führten zu keinen relevanten Ergebnissen. Gelb hinterlegte Versuche wurden in Kapitel 6, aufgrund ihrer Relevanz, näher erläutert. Versuche in roter Schrift dienten ausschließlich zur Herstellung von seed - Pellets.

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
12	22.2	004		1% Koks	7	6,3	34,30	16,96	2,13	k.M.	k.M.	
						4,0	40,08	16,78	2,88			
						2,0	25,32	16,85	k.M.			
13	22.2	004		1% Koks	7,5	10,0	20,55	16,76	5,13	k.M.	k.M.	
						8,0	59,65	16,47	5,00			
						6,3	17,62	16,45	6,375			
						4,0	2,19	k.M.	k.M.			
14	22.2	003	1% Bentonit	1% Koks	10,25	12,5	49,05	17,69	1,88	k.M.	k.M.	Manuelles Mischen
						10,0	27,93	17,58	2,38			
						8,0	16,18	17,66	3			
						6,3	6,27	17,36	3			
						4,0	0,58	k.M.	k.M.			
15	23.2	005			6	12,5	47,25	18,78	2,75	k.M.	k.M.	
						10,0	18,97	16,59	2,25			
						8,0	16,52	16,47	2,625			
						6,3	9,73	k.M.	2,875			
						4,0	7,54	k.M.	3,25			
16	23.2	005			k.M.	12,5	2,59	15,60	4,60	k.M.	k.M.	
						10,0	63,28	16,23	5,13			
						8,0	30,12	16,25	4,25			
						6,3	3,83	k.M.	4,875			
						4,0	0,18	k.M.	k.M.			
17	23.2	003		1% Koks	26	10,0	16,70	k.M.	2,75	k.M.	k.M.	
						8,0	52,41	16,85	3,50			
						6,3	23,48	16,62	4,25			
						4,0	7,08	16,21	k.M.			
18	26.2	004	2% Ca(OH) ₂	1% Koks	k.M.	12,5	28,29	15,42	3,63	k.M.	k.M.	Manuelles Mischen
						10	59,88	15,56	4,13			
						8	9,73	15,36	4,25			
						6,3	2,10	k.M.	k.M.			
19	27.2	004	1,5% Bentonit (Voest)	1% Koks	8,42	8,0	47,31	19,23	2,75	k.M.	k.M.	
						6,3	18,18	15,65	3,00			
						4,0	26,27	15,73	4,5			
						< 4	8,24	k.M.	k.M.			
20	27.2	004	1,5% Bentonit (Voest)	1% Koks	k.M.	10,0	22,23	15,44	5,75	25%	k.M.	
						8,0	71,35	15,61	6,25	75%	k.M.	
						6,3	6,43	14,81	8,375	k.M.	k.M.	

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
21	27.2	004	3% Ca(OH) ₂	1% Koks	5,00	8,0	45,50	15,12	3,63	k.M.	k.M.	
						6,3	27,70	15,17	4,38			
						4,0	24,68	k.M.	k.M.			
						< 4	2,12	k.M.	k.M.			
22	27.2	004	3% Ca(OH) ₂	1% Koks	9,00	10,0	37,51	14,46	8,38	0,00	k.M.	
						8,0	50,90	14,22	8,88	0,00	933,96	
						6,3	9,50	13,74	k.M.	k.M.	k.M.	
						< 6,3	2,09	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
23	28.2	004	0,1 % Kleister	1% Koks	4,00	6,3	12,37	16,28	15,00	k.M.	k.M.	Bezug 16% Wasser
						4,0	51,31	17,56	k.M.			
						2,0	35,44	k.M.	k.M.			
						< 2	0,88	k.M.	k.M.			
24	28.2	004	0,1 % Kleister	1% Koks	k.M.	8,0	7,81	16,23	20,75	100%	k.M.	Bezug 16% Wasser
						6,3	63,36	15,88	39,50	100%	k.M.	
						4,0	28,83	15,60		k.M.	k.M.	
25	1.3	004	0,05 % Kleister	1% Koks	k.M.	8,0	21,93	18,18	> 20	k.M.	k.M.	Bezug 16% Wasser
						6,3	35,56	17,49	> 20	k.M.	k.M.	
						4,0	42,51	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
26	1.3	004	0,05 % Kleister	1% Koks	50,00	12,5	3,30	16,00	20,00	k.M.	k.M.	
						10,0	81,72	15,72	23,67	100%	k.M.	
						8,0	14,39	15,00	24,3	100%	782,29	
						< 8	0,60	13,04	k.M.	k.M.	k.M.	
27	6.3	004	1,5 % V2/171	1% Koks	k.M.	6,3	k.M.	16,64	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	k.M.	16,43	k.M.	k.M.	k.M.	
28	6.3	004	1,5 % V2/171	1% Koks	k.M.	10,0	30,29	16,48	5,00	k.M.	k.M.	
						8,0	61,77	16,47	6,25	k.M.	k.M.	
						6,3	7,20	15,96	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	0,75	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
29	6.3	004	0,75% V2/21 & 0,75% V2/31	1% Koks	k.M.	6,3	34,21	16,04	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	34,41		k.M.	k.M.	k.M.	
						< 4	31,38		k.M.	k.M.	k.M.	
30	6.3	004	0,75% V2/21 & 0,75% V2/31	1% Koks	k.M.	8/6,3	49,89	16,32	15,67	100%	k.M.	
						6,3/4	50,11	15,99	k.M.	k.M.	k.M.	
31	7.3	004	0,01% Kleister	1% Koks	14	8,0	13,84	16,63	2,00	k.M.	k.M.	Bezug 16% Wasser
						6,3	43,12	16,63	2,40	k.M.	k.M.	
						4,0	34,92	16,69	k.M.	k.M.	k.M.	
						2,0	8,12	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
32	7.3	004	0,01% Kleister	1% Koks	19	10,0	32,52	16,41	3,25	0%	k.M.	Bezug 16% Wasser
						8,0	63,61	16,44	3,50	0%	k.M.	
						6,3	3,87	16,03	k.M.	k.M.	k.M.	
33	8.3	003	0,05% Kleister, 2% Ca(OH) ₂	1% Koks	16	8,0	11,52	17,71	2,13	k.M.	k.M.	
						6,3	23,32	17,60	3,63	k.M.	k.M.	
						4,0	49,28	17,93	k.M.	k.M.	k.M.	
						< 4	15,88	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
34	8.3	003	0,05% Kleister, 2% Ca(OH) ₂	1% Koks	35,00	10,0	4,30	17,09	3,40	k.M.	k.M.	Bezug 16% Wasser
						8,0	51,43	17,39	4,50	k.M.	k.M.	
						6,3	40,58	17,13	5,75	k.M.	k.M.	
						4,0	3,69	16,67	k.M.	k.M.	k.M.	
35	8.3	006		0,6% Koks	19	6,3	22,63	16,24	1,75	k.M.	k.M.	Dispersitätsmischung
						4,0	55,73	16,48	k.M.	k.M.	k.M.	
						< 4	21,64	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
36	0.1	006		0,6% Koks	0	8,0	24,03	16,60	5,88	0%	k.M.	Dispersitätsmischung
						6,3	70,43	16,80	8,75	0%	k.M.	
						4,0	5,54	16,44	k.M.	k.M.	k.M.	
37	9.3	005	0,5% Stärke		54	10,0	35,45	14,78	3,88	k.M.	k.M.	
						8,0	60,55	14,75	4,63	k.M.	1343,16	
						6,3	4,01	14,22	k.M.	k.M.	k.M.	
38	14.3	Slowakei		???	19	6,3	15,80	12,22	7,00	k.M.	k.M.	
						4,0	22,70	11,99	k.M.	k.M.	k.M.	
						2,0	47,48	11,51	k.M.	k.M.	k.M.	
						<2	44,3	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
39	14.3	Slowakei		???	36	8,0	45,51	12,61	> 40	50%	782,29	
						6,3	45,37	12,32	> 40	50%	k.M.	
						<6,3	9,12	13,65	k.M.	k.M.	k.M.	
40	14.3	003	Magnetisierung in Spule 2 bei ca. 7 A	1% Koks	22	6,3	48,68	15,13	1,00	k.M.	k.M.	
						4,0	38,49	15,06	k.M.	k.M.	k.M.	
						2,0	12,82	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
41	14.3	003	Magnetisierung in Spule 2 bei ca. 7 A	1% Koks	28	10,0	8,85	15,24	2,16	k.M.	k.M.	
						8,0	70,25	15,52	3,16	k.M.	k.M.	
						6,3	20,90	15,46	k.M.	k.M.	k.M.	
42	27.3	106	5% Ca(OH) ₂	1% Koks	8 17	12,5	8,89	14,63	3,50	0% 3	k.M.	Bindemittel 4 Tage Umge- bung ausgesetzt
						10,0	72,82	14,39	4,50	0% 3	k.M.	
						8,0	122,90	14,12	4,70	0% 3	k.M.	

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
43	27.3	106	1,5% Kiruna Bentonit	1% Koks	12 15	10,0	10,89	15,72	5,42 7	k.M.	k.M.	Bindemittel 4 Tage Umge- bung ausgesetzt
							39,66	15,37	6,22 9	100%		
						6,3	39,27	15,49	k.M.	k.M.	k.M.	
						< 6,3	10,19	15,88	k.M.	k.M.	k.M.	
44	27.3	106	0,05% Metylan	1% Koks	10 15	10,0	3,93	16,33	4,75 4	k.M.	k.M.	
						8,0	68,01	16,30	6 10	100% 4	816,53	
						6,3	28,06	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
45	11.4	106	1,5% VS1	1% Koks	11 17	10,0	16,14	15,78	5,4 10	2 4		
						8,0	47,26	15,94	8 10	4 4		
						6,3	31,97	15,86	k.M.	k.M.		
						4,0	4,63	15,46	k.M.	k.M.		
46	11.4	106	1,5% VS2	1% Koks	10 15	12,5	4,46	15,27	4 3	k.M.		
						10,0	19,24	15,54	5,7 10	0 4		
						8,0	47,70	15,65	6,9 10	4 4		
						6,3	24,03	15,65	k.M.	k.M.		
47	11.4	106	1,5% VS3	1% Koks	10 15	10,0	19,29	100,00	4 10	3 4		
						8,0	45,66	15,96	3,9 11	4 4		
						6,3	28,33	100,00	k.M.	k.M.		
						4,0	6,72	100,00	k.M.	k.M.		
48	11.4	104	1,5% VS1	1% Koks	12 15	10,0	13,50	100,00	5,7 10	k.M.		
						8,0	51,76	15,28	7,1 10	k.M.		
						6,3	30,57	100,00	k.M.	k.M.		
						4,0	4,17	100,00	k.M.	k.M.		
49	12.4	104	1,5% VS3	1% Koks	10 15	10,0	58,51	14,76	5,1 10	k.M.		
						8,0	40,25	14,76	5,2 10	k.M.		
						6,3	1,24	16,84	k.M.	k.M.		
50	23.4	104	0,05% Metylan	1% Koks	7'45" 15'	10,0	3,05	16,87	k.M.	k.M.		
						8,0	58,73	16,14	9,2 10	100%		
						6,3	37,61	16,54	k.M.	k.M.		
51	23.4	104	0,05% HVS	1% Koks	7'15" 15'	10,0	54,01	16,06	k.M.	k.M.		
						8,0	42,85	16,06	4,20	0%		
						6,3	1,64	16,01	k.M.	k.M.		
						4,0	0,00	16,12	k.M.	k.M.		
52	24.4	104	0,05% T 100G	1% Koks	7' 15'	10,0	63,55	16,36	2,30	k.M.		
						8,0	34,04	16,11	3,10	k.M.		
						6,3	2,41	15,81	k.M.	k.M.		

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
53	24.4	106	0,05% T 100G	1% Koks	4'30" 15'	10,0	76,93	15,90	3,80	k.M.		
						8,0	20,23	16,22	3,40	k.M.		
						6,3	2,84	15,42	k.M.	k.M.		
54	24.4	106	0,1% Kleister PG	1% Koks	7'15" 15'	12,5	1,50	16,91	k.M.	k.M.		
						10,0	54,01	16,21	5,40	k.M.		
						8,0	42,85	16,08	5,90	k.M.		
						6,3	1,64	16,78	k.M.	k.M.		
55	25.5	107	0,1% T 100G	1% Koks	11' 15'	12,5	15,39	15,99	12,00	k.M.	k.M.	
						10,0	66,32	16,14	13,10	0%	1646,00	
						8,0	12,57	15,66	k.M.	k.M.	k.M.	
						6,3	4,12	16,35	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	1,61	16,20	k.M.	k.M.	k.M.	
56	26.5	106	0,1% T 100G	1% Koks	k.M.	12,5	0,52	18,03	k.M.	k.M.	k.M.	
						10,0	61,37	16,63	10,00	100%	737,13	
						8,0	32,68	16,20	11,30	k.M.	k.M.	
						6,3	5,43	16,67	k.M.	k.M.	k.M.	
57	7.5	107	0,075% T 100G	1% Koks	k.M.	12,5	60,17	17,01	4,90	k.M.	1676,76	
						10,0	2,19	16,81	6,20	k.M.	k.M.	
						8,0	19,74	16,56	k.M.	k.M.	k.M.	
						6,3	2,36	16,38	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	2,36	15,98	k.M.	k.M.	k.M.	
58	16.5	206	0,05% Metylan	1% Koks	10'30" 15'	12,5	1,78	18,67	k.M.	k.M.	k.M.	
						10,0	30,18	19,50	12,30	100%	k.M.	
						8,0	65,89	16,59	9,10	k.M.	k.M.	
						6,3	2,14	15,92	k.M.	k.M.	k.M.	
59	18.5	206	0,1% T100 G	1% Koks	17' 15'	10,0	8,18	16,79	k.M.	k.M.	k.M.	Lösung auf ca. 65°C erhitzt
						8,0	62,45	16,71	17,20	100%	k.M.	
						6,3	25,76	16,62	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	3,60	16,91	k.M.	k.M.	k.M.	
60	21.5	208	0,075% T100 G	1% Koks	13' 15'	10,0	15,31	16,85	9,50	k.M.	k.M.	Lösung auf ca. 65°C erhitzt
						8,0	63,35	16,91	11,80	100%	504,05	
						6,3	19,31	16,83	k.M.	k.M.	k.M.	
						4,0	2,03	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	
61	24.5	208	0,075% T100 G	1% Koks	k.M.	12,5	17,16	15,66	5,10		k.M.	Dispersitätsmischung in Lödigemischer hergestellt; 14% Wasserzugabe in Mischer
						10,0	20,81	15,62	7,90		k.M.	
						8,0	25,37	16,49	12,00		920,69	
						6,3	19,69	k.M.	k.M.		k.M.	
						4,0	15,98	k.M.	k.M.		k.M.	
						2,0	1,00	k.M.	k.M.		k.M.	

Vers.Nr	Datum:	Aufgabe:	Binder:	Zuschlag:	Vers. Zeit	KGK	m	g _f	DT	HRST	Druckfestigkeit	Anmerkungen
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[min]	[mm]	[%]	[%]	[-]	[%]	[N]	[-]
62	30.5	204	0,075% T100 G	1% Koks	k.M.	12,5	5,42	16,97	k.M.	k.M.	k.M.	Lösung auf ca. 65°C erhitzt
						10,0	6,09	16,10	k.M.	k.M.	k.M.	
						8,0	25,67	16,07	8,90	1 4	691,97	
						6,3	58,10	16,87	11,60	k.M.	690,52	
						4,0	4,72	16,88	k.M.	k.M.	k.M.	
63	6.6	204		1% Koks	k.M.	14,0	39,21	15,2	6,80	k.M.		Hinzumischen von 10% Wasser in Lödigemischer; Kontinuierlicher Versuch
						12,5	26,13	15,2	7,10	1 5		
						10,0	24,90	15,1	8,40	1 5	1663	
						8,0	7,42	15,0	11,60	k.M.		
						6,3	2,34	14,9	k.M.	k.M.		
64	15.6	204	0,075% T100 G	1% Koks	k.M.	20,0	29,57	14,04	3,40	k.M.		Mischen von 10% - T100G - Lösung in Lödigemischer; kontinuierlicher Versuch
						18,0	15,83	13,86	7,20	k.M.		
						16,0	11,28	13,87	8,10	1 8		
						14,0	14,91	14,57	9,30	1 8	1281,97	
						12,5	12,48	13,10	5,20	k.M.		
						10,0	12,58	13,95	5,00	k.M.		
						8,0	3,35	14,03	k.M.	k.M.		
65	20.6	304		1% Koks	k.M.	20,0	13,99	14,93	< 3	k.M.		Mischen von 10% - Wasser in Lödigemischer; kontinuierlicher Versuch
						18,0	11,52	14,64	< 3	k.M.		
						16,0	7,86	14,68	< 3	k.M.		
						14,0	29,66	14,86	5,10	50%		
						12,5	15,19	14,87	4,40	75%		
						10,0	17,21	14,81	4,80	100%	1788,93	
						8,0	4,58	k.M.	k.M.	k.M.		

Legende:

Versuche zur Herstellung von seed - Pellets
Versuche, welche in Kapitel 6 erläutert werden



E Reisebericht Sardinien

Reisebericht Sardinien

von Thomas PLOCHBERGER

Leoben, am 2.April 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	2
2	Übersichtskarte	2
3	Bentonitlagerstätte Serra Narbonis.....	3
3.1	Aufgenommene Daten	3
3.2	Bildmaterial	4
4	Bentonitlagerstätte in Monte Is Casteddu.....	8
4.1	Aufgenommene Daten	8
4.2	Bildmaterial	9
5	Hafen Oristano	13

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht behandelt eine Reise zu Bentonitlagerstätten in Sardinien vom Verfasser und Hrn. DI Ohrdorf am Wochenende vom 24.03 bis 25.03.2007. Es wurden sowohl 2 stillgelegte obertägige Tagbaue als auch ein in Frage kommender Hafen besucht.

Das Wertmineral von bei den Lagerstätten weist einen hohen Montmorillonitgehalt auf. Beim ersten besuchten Abbau, Serra Narbonis, ist vermutlich aufgrund der schlechteren Zugänglichkeit zur Abbaustätte, sowie einer ausgeprägteren Überlagerung, mit höheren Abbaukosten zu rechnen. Am zweiten Standort, Monte Is Casteddu, sind die Verhältnisse besser. Das abbaubare Lagerstättenvolumen beläuft sich bei beiden auf ca. 2 Millionen Tonnen.

Ziel der Reise war Proben in den Lagerstätten zu ziehen, diese im Anschluss zu aktivieren und damit Pelletversuche durchzuführen. In beiden Lagerstätten wurden einige Einzelproben gezogen, um diese daraufhin zu Gesamtproben zu vereinigen.

2 Übersichtskarte



Abbildung 2-1: Übersichtskarte Sardinien

Im obigen Kartenausschnitt sind die beiden Standorte der beprobten Bentonitlagerstätten ersichtlich. Sie befinden sich im Landesinneren nahe der Stadt Isili. Der in Frage kommende Hafen

zur Verschiffung des Rohbentonites liegt östlich der Lagerstätten in einer Entfernung von 74 km in Oristano.

3 Bentonitlagerstätte Serra Narbonis

3.1 Aufgenommene Daten

Eigentumsverhältnisse:	Deutscher Besitzer, welcher beabsichtigt die Lagerstätte zu verkaufen.
Vorräte:	2 Millionen Tonnen, welche durch ein umfangreiches Kernbohrungsprogramm, durchgeführt von Hrn. Ohrdorf, festgestellt wurden (siehe Abb. 3-1).
Lagerstätte:	In Serra Narbonis handelt es sich um eine primäre Bentonitlagerstätte, welche aus vulkanischen Aschen entstanden ist. Der Lagerstättenkörper liegt unter einer ca. 3 bis 6m starken Schicht aus sedimentären Konglomeraten, welche die Überlagerung bilden. Aufgrund der einzelnen Erupti onszeiten ist der Bentonitkörper schic htenförmig aufgebaut. Der gesamte Bentonitführende Horizont hat eine Stär ke von ca. 5 bis 6m. Die Schichten haben durch variierende Oxidation sstufen des Ei sens verschiedene Färbungen. Der Montmorillonitgehalt wurde durch die Methylenblaumethode durch Hrn. Ohrdorf zu 96% bestimmt.
Abbauart:	Seit 2002 wird in Serra Narbonis nicht mehr abgebaut. Die Überlagerung wurde früher mit S chubraupen zu Halden aufgeschichtet. Der Abbau des Bentonits erfolgte mit Tieflöffelbaggern. Die Zugänglichkeit zum Abbauort ist zurzeit durch eine ca. 2 km lange Schotterstraße gewährleistet.
Probenahmestellen:	1. Probenahme (siehe Abb. 3-2 bis 3-5): N 39° 45,432' E 009° 11,322' 488 hmt Es wurden an 3 verschiedenen Stellen Proben gezogen, welche man im Anschluss zu einer Probe vereinigte. Um an anstehenden unverwitterten Bentonit zu gelangen wurde ein Schlitz mit dem Geologenhammer angefertigt. Der Bentonit an dieser er sten Stelle zeichnete sich durch seine dunklgraue Färbung mit schwarzen Biotiteinschlüssen aus. 2. Probenahme (siehe Abb. 3-6 bis 3-7): N 39° 45,406' E 009° 11,300' 450 hmt Die zweite Stelle befand sich am östlichen Rand der Lagerstätte. Die gezogenen Proben bestan den aus grün em Bentonit. Wiederum zog man Ein zelproben, die zu einer Gesamprobe vereinigt wurden.

3.2 Bildmaterial



Abbildung 3-1: Blick auf die Lagerstätte Serra Narbonis von Süden. Roter Bereich = ungefähres erbohrtes Gelände.



Abbildung 3-2: 1. Probenahmestelle; schwarzer Bentonit



Abbildung 3-3: 1. Probennahmestelle; darüber angehäufte Halde der abgetragenen Überlagerung.



Abbildung 3-4: Grenzschicht Überlagerung aus Konglomerat und Bentonit. Oberste Schicht grauer Bentonit durchzogen mit Klüften. Unterhalb der grauen Schicht befindet sich der beprobte schwarze Bentonit.



Abbildung 3-5: 1. Probenahestelle



Abbildung 3-6: 2. Probenahestelle; Durch Oberflächenwässer eingedrungenes gelöstes CO_2 verband sich mit im Bentonit enthaltenen Ca. Die Kluftfüllung besteht demnach aus gefällttem amorphem CaCO_3 .



Abbildung 3-7: Grüner über schwarzem Bentonit am Ort der 2. Probenahme.



Abbildung 3-8: Schichtenförmiger Aufbau des Bentonits



Abbildung 3-9: Zugang zur Lagerstätte Serra Narbonis

4 Bentonitlagerstätte in Monte Is Casteddu

4.1 Aufgenommene Daten

Eigentumsverhältnisse:	Abbaulizenz im Besitz eines Sarden (Pramaor Carlo). Dokumente bezüglich der Lizenz sind verfügbar.
Vorräte:	Ca. 2 Millionen Tonnen Reserven. Abbaulizenz erstreckt sich über eine Fläche von ca. 120 ha. Die Reserven wurden durch Schlitzproben mittels Tieflöffelbagger ermittelt.
Lagerstätte:	<p>In Monte Is Casteddu handelt es sich um eine Lagerstätte mit nur geringer Überlagerung aus sedimentären Konglomeraten. Die Stärke dieser Überlagerung beträgt ca. 1 bis 2m. Von geologischer Seite betrachtet hatte der Bentonit hier eine andere Erscheinungsform. Unterhalb der Überlagerung fand sich blockig – schichtiger Bentonit, der laut Auskunft von Hr. Ohrdorf von minderer Qualität ist (siehe Abb. 4-1). Unterhalb dieser Zone befindet sich Bentonit viel besserer Qualität, welcher aufgrund seines Bruchverhaltens als so genannter <i>Muschelbruch</i> bezeichnet wird (siehe Abb. 4-2). Bei der Lagerstätte handelt es sich wiederum um eine primäre, welche aus vulkanischen Aschen entstanden ist. Durch Sedimentationsvorgänge reicherte sich im oberen Horizont grobe Asche an, welche der Ursprung des <i>Muschelbruchs</i> ist.</p> <p>Unterhalb dieser <i>grobblockigen</i> Zone trifft man auf feinkörnigeren Bentonit, welcher an jenen grünen aus Serra Narbonis erinnert (siehe Abb. 4-3).</p> <p>Die Zugänglichkeit bei diesem Vorkommen ist als besser zu bewerten als in Serra Narbonis. Eine asphaltierte Landstraße befindet sich direkt neben der Lagerstätte.</p>
Abbauart:	Der Bentonit wurde früher zur Produktion von Katzenstreu

	verwendet. Jedoch wurde der Abbau vor einigen Jahren eingestellt. Sowohl Abtragung der Überlagerung als auch Hereingewinnung des Bentonits erfolgte mit Tieflöffelbagger auf innerhalb einer Abbauscheibe (siehe Abb. 4-4)
Probenahmestellen:	N 39° 47,105' E 009° 07,542' 550 hmt Es wurden mehrere Teilproben entlang der alten Abbaufont gezogen, die anschließend zu einer Gesamprobe vereinigt wurden.

4.2 Bildmaterial



Abbildung 4-1: Blockig – schichtiger Bentonit unterhalb der Überlagerung



Abbildung 4-2: Muschelbruch



Abbildung 4-3: Feiner Bentonit



Abbildung 4-4: Abbau mittels Tieflöffelbagger



Abbildung 4-5: Probenahme in Monte Is Casteddu



Abbildung 4-6: Probenahme



Abbildung 4-7



Abbildung 4-8: Probenahme *Muschelbruch*

5 Hafen Oristano

Wie bereits erwähnt befindet sich der Hafen von Oristano westlich der genannten Lagerstätten in einer Entfernung von ca. 74 km. Bei einem notwendigen LKW – Transport könnte man die Höhendifferenz zwischen Abbauort und Hafen als Vorteil betrachten.

Im Hafengelände sind geeignete Umschlagplätze vorhanden. Die Maximalkapazität der Schiffe dürfte bei ca. 50000 Tonnen liegen.



Abbildung 5-1: Umschlag von chinesischen Klinker im Hafen von Oristano