

DIE OPTIMISERING VAN VERMALINGS- TEGNIEKE VIR ILMENIET ERTS



Deur

NATASIA NAUDÉ

Tesis ingedien vir die gedeeltelike voltooiing van die vereistes vir
die graad Magister in Ingenieurswese in die Departement Chemiese
Ingenieurswese

by die

Universiteit van Stellenbosch

Studieleier: PROF L LORENZEN

Stellenbosch / Pretoria

Desember 1999

VERKLARING

Ek, die ondergetekende, verklaar dat die werk vervat in hierdie tesis my eie oorspronklike werk is, en dat dit nog nie voorheen, hetsy volledig of gedeeltelik, vir 'n graad by enige ander universiteit ingedien is nie.

N. Naudé

1999/11/19

Datum

DANKBETUIGINGS

Dit is vir my 'n groot voorreg om die volgende persone en instansies vir hulp en bystand met die voltooiing van my verhandeling te bedank:

- Prof. Leon Lorenzen, my studieleier, vir u motivering en finansiële bystand.
- Al die mense by Iscor Itec, in besonder mnr. Gerhard Jonck, vir hulp en ondersteuning gedurende die uitvoer van my eksperimentele werk.
- Dr. M.J. van der Merwe vir haar volgehou belangstelling en motivering.
- Dr. M.D. Watson vir sy hulp en ondersteuning.
- My man, Jans Naudé, vir sy geduld en onderskraging gedurende my studies.

SYNOPSIS

The aim of this study was to minimise the production of the $-38 \mu\text{m}$ fraction during the milling process of ilmenite ore from the Rooiwater Complex and to increase the grade of the iron oxide-rich concentrate during the magnetic separation process.

An intensive investigation was done on different milling equipment and methods to minimise or prevent the fine fraction from forming. Conventional ball and rod milling methods with different size distribution of the milling media (homogeneous and heterogeneous) were used in the investigation.

From the results obtained, it was clear that it is impossible to prevent fines from being produced but it can be minimised to a certain extent.

It was concluded that a new approach in the concentration of the ilmenite ore is needed. This approach can be by screening the fines before the different magnetic separation processes, investigate new high intensity magnetic separators or design a whole new extraction route for the ilmenite ore.

OPSOMMING

Die doel van hierdie studie was om die produksie van die $-38\mu\text{m}$ fraksie tydens die vermaling van die ertse van die Rooiwater Kompleks te minimaliseer en om die graad van die ysteroksied ryke konsentraat gedurende die magnetiese skeidingsproses te verhoog.

'n Intensiewe ondersoek was gedoen op verskillende vermalings toerusting en metodes om die fyn fraksie te minimaliseer. Konvensionele bal- en staafermalingsmetodes met verskillende grootteverspreidings van die vermalingsmedia (homogeen en heterogeen) was gebruik in die ondersoek.

Vanuit die resultate verkry was dit duidelik dat dit onmoontlik is om die fyn fraksie te voorkom maar dit kan tot 'n mate geminimaliseer word.

Daar is tot die slotsom gekom dat 'n nuwe benadering nodig is om die ilmeniet erts te konsentreer. Hierdie benadering kan wees deur die fyn fraksie uit te sif voor die verskillende magnetiese prosesse, ondersoek die nuwe hoë intensiteit magnetiese skeiers of om 'n nuwe ekstraksie roete vir ilmeniet te ontwerp.

INHOUDSOPGAWE

	Bladsy
VERKLARING	i
DANKBETUIGINGS	ii
SYNOPSIS	iii
OPSOMMING	iv
LYS VAN TABELLE	ix
LYS VAN FIGURE	x
HOOFSUK 1 INLEIDING	1
1.1 PROBLEEMSTELLING EN ANALISERING VAN PROBLEEM	1
1.2 OMVANG VAN DIE STUDIE	2
HOOFSUK 2 DIE GEOLOGIE EN MINERALOGIE VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS	4
2.1 INLEIDING	4
2.2 LIGGING VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS	4
2.2.1 Lokaliteit van die Rooiwater Kompleks	4
2.2.2 Infrastruktuur	4
2.3 ILMENIET VOORKOMSTE IN SUID AFRIKA	6

2.4	DIE MINERALOGIESE- CHEMIESE- EN FISIESE KENMERKE VAN ILMENIET	6
2.4.1	Hematietgroep	6
2.4.2	Spinelgroep	12
2.5	DIE GEOLOGIE EN MINERALOGIE VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS	13
2.5.1	Oorsig	13
2.5.2	Geneses van die Rooiwater erts	14
2.5.3	Mineralogiese en Chemiese kenmerke van die magnetietbande in die Rooiwaterafsettings	17
2.6	MINERAALVERGROEIINGS	18
	HOOFSTUK 3 VEREDELING VAN ERTS	23
3.1	ALGEMENE VOORSTELLING VAN 'N VEREDELINGS- AANLEG VIR ILEMNIETERTS	23
3.2	KOMMINUSIE	25
3.3	BEGINSELS VAN KOMMINUSIE	25
3.4	VERSKILLENDE HIPOTESES OOR DIE ENERGIE BEHOEFTE TYDENS KOMMINUSIE	27
3.4.1	Rittinger se wet	29
3.4.2	Kick se wet	30
3.4.3	Bond se wet of die derde wet van Bond	30
3.4.4	Hukki	33

3.5	AFBREKING VAN MATERIAAL DEUR MIDDEL VAN PRIMÊRE EN SEKONDÊRE BREKERS	33
3.6	VERMALING VAN MATERIAAL	36
3.6.1	Tuimelmeule	36
3.6.1.1	Staafeule	41
3.6.1.2	Balmeule	42
3.6.2	Vertikale roerbalmeule	43
3.6.3	Loesche meule	44
3.7	MONSTERNEMING	44
3.8	MONSTERVERDELING	46
3.9	PARTIKELGROOTTEVERDELING	48
3.10	SKUIMFLOTTASIE	52
3.11	MAGNETIESE SKEIDING VAN MATERIAAL	53
3.12	MINERALOGIESE ONDERSOEKE	56
3.12.1	Mikroskopie	56
3.12.2	X – Straaldiffraksie	58
3.13	CHEMIESE ANALISES	59
	HOOFSTUK 4 KOMMINUSIETOETSE	61
4.1	MONSTERNEMING	61

4.2	MONSTERVERDELING	62
4.3	GRONDSTOWWE	62
4.4	HOEVEELHEID – 38 μm GESKEP TYDENS DIE VERSKILLENDE VERMALINGSPROSESSE	64
4.4.1	Heterogene balmeule	64
4.4.2	Heterogene staafmeule	69
4.4.3	Homogene staafmeule	75
	HOOFSTUK 5 SENSITIWITEITSANALISE	78
5.1	INLEIDING	78
5.2	KROMMEPASSINGS VIR DIE –38 μm MATERIAAL	79
5.2.1	Balmeule	79
5.2.2	Homogene staafmeule	82
5.2.3	Heterogene staafmeule	82
5.2.4	Vergelyking van die verskillende krommes	83
5.3	OPTIMALE BEVRYDINGSFRAKSIE	86
	HOOFSTUK 6 GEVOLGTREKKING EN AANBEVELINGS	88
6.1	GEVOLGTREKKING	88
6.2	AANBEVELINGS	88

BRONNELYS	90
AANHANGSEL A	94
AANHANGSEL B	95
AANHANGSEL C	96
AANHANGSEL D	97
AANHANGSEL E	98
AANHANGSEL F	99

LYS VAN TABELLE

	Bladsy
Tabel 2.1 Ilmenietafsettings in die Republiek van Suid Afrika (Delfstowwe in Suid Afrika, 1976)	7
Tabel 2.2 Die struktureel ekwivalente subgroepe van die hematietgroep (Klein en Hurlburt, 1993)	9
Tabel 2.3 Mineralogiese en chemiese eienskappe van die magnetiet segment 631 en 811 (Dearlove, 1996).	18
Tabel 3.1 Hukki se waardes van n.	33
Tabel 3.2 Magnetiese vatbaarheid van minerale van die Rooiwater Kompleks. (Davis, 1987).	55
Tabel 3.3 Omskakeling van die elemente na oksied.	60
Tabel 4.1 Uiteensetting van saamgestelde monsters.	61
Tabel 4.2 Massasamestelling van saamgestelde monsters van segmente 631 en 811.	62
Tabel 4.3 Hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal geskep gedurende die maalproses met heterogene balle.	65
Tabel 4.4 Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm.	67
Tabel 4.5 Hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal geskep gedurende die maalproses met heterogene stawe.	71
Tabel 4.6 Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm.	72
Tabel 4.7 Hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ geskep gedurende die maalproses met homogene stawe.	75
Tabel 4.8 Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm.	76
Tabel 5.1 Wiskundige uitdrukking vir lineêre regressies	79
Tabel 5.2 Lineêre regressie data van balmeule resultate vir segmente 631 en 811	80
Tabel 5.3 Lineêre regressie data verkry op resultate met homogene staafmeule op materiaal van segmente 631 en 811	82

Tabel 5.4	Lineêre regressie data verkry op resultate met heterogene staafmeule op materiaal van segmente 631 en 811.	83
Tabel 5.5	Persentasie optimale bevrydingsfraksies van die materiaal van segmente 631 en 811.	87

LYS VAN FIGURE

	Bladsy
Figuur 2.1	5
Verspreidig van titaan afsettings in die Republiek van Suid Afrika toon.	
Figuur 2.2	10
Die samestelling van oksiedminerale in die sisteem FeO-Fe ₂ O ₃ -TiO ₂ (Klein en Hurlburt, 1993).	
Figuur 2.3	10
Vaste oplossings en hul invloed op ander oksiede in die sisteem TiO ₂ -FeO-Fe ₂ O ₃ (Klein en Hurlburt, 1993).	
Figuur 2.4	11
Vertikale deursnit deur die hematiet kristalstruktuur (Klein en Hurlburt, 1993).	
Figuur 2.5	11
Skematiese vertikale deursnit deur ilmeniet kristalstruktuur (Klein en Hurlburt, 1993).	
Figuur 2.6	20
Verskillende tipes vergroeide kristalle (Woollacott and Eric, 1994)	
Figuur 2.7	21
Vrymalende magnetiet en ilmeniet	
Figuur 2.8	21
Fyn ilmeniet langs die korrelgrense van die magnetiet	
Figuur 3.1	24
Algemene vloeikaart vir die konsentrasieproses van ilmeniet erts vanuit die Rooiwater kompleks.	
Figuur 3.2	24
Spanning in 'n kristalstruktuur as gevolg van drukspannings en of trekspannings (Wills, 1988).	
Figuur 3.3	24
Spanningskonsentrasie op kraakpunt (Wills, 1988).	
Figuur 3.4	24
Meganismes vir partikel breking.	
Figuur 3.5	3
Diagrammatiese voorstelling van 'n Kakebreker (Woollacott et al., 1994).	
Figuur 3.6	3
'n Diagrammatiese voorstelling van 'n Koniesebreker (Wills, 1988).	
Figuur 3.7	3
Tuimelmeule (Wills, 1988),.	
Figuur 3.8	3
Staafmeule (Woollacott et al., 1994).	
Figuur 3.9	3
Balmeule (Woollacott et al., 1994).	
Figuur 3.10	4
Beweging van meullading in tuimelmeules.	
Figuur 3.11	4
Vertikale roerbalmeule.	

Figuur 3.12	Loesche meule.	45
Figuur 3.13	Diagramatiese voorstelling van die Jones gleufdeleer (Wills, 1988).	46
Figuur 3.14	Grafiese voorstelling van die stappe in die verdeling van 'n monster van 20 kg te illustreer.	47
Figuur 3.15	Grafiese voorstelling van sifanalisedata	51
Figuur 3.16	Kaskade sifting.	51
Figuur 4.1	Grafiese voorstelling van die sifanalise van grondstowwe.	63
Figuur 4.2	Persentasie – 38 μm gevorm tydens die maalproses met heterogene balle.	66
Figuur 4.3	Resultate na 8 en 30 minute vermaling van segmente 811 en 631 materiaal.	68
Figuur 4.4	Grafiese voorstelling van die persentasie –38 μm materiaal gevorm gedurende heterogene staafmeultoetse vir segmente 631 en 811.	70
Figuur 4.5	Grafiese voorstelling van die resultate verkry na 'n vermalingstyd van 4 minute vir die materiaal van segmente 631 en 811 vir die verskillende toetse gedoen.	74
Figuur 4.6	Grafiese voorstelling van resultate verkry met behulp van homogene staafmeultoetswerk.	77
Figuur 5.1	Logaritmiiese regressie van balmeule data van segment 631	81
Figuur 5.2	Logaritmiiese regressie van balmeule data van segment 811	81
Figuur 5.3	Vergelyking van krommes verkry vir segment 631	84
Figuur 5.4	Vergelyking van krommes verkry vir segment 811	85

HOOFSTUK 1 INLEIDING

1.1 PROBLEEMSTELLING EN ANALISERING VAN PROBLEEM

Die Novengilla Suite van die Rooiwater Kompleks bevat potensiële ertsafsettings van yster, titaan en vanadium. Groot gedeeltes van die gebied word deur ilmenietryke sand bedek wat die verweringsprodukt van die magnetietryke gesteentes is. Beplanning word tans gedoen om hierdie sand te herwin maar die sand reserwe sal egter oor 'n tydperk van agt jaar uitgeput wees en dan sal dit nodig wees om die magnetietryke gesteentes te myn vir yster en titaan. Hierdie gesteentes het 'n verdere lewensverwachting van ongeveer agt en vyftig miljoen ton.

Die magnetiet wat voorkom in die Rooiwater Kompleks is 'n moontlike bron van ystererts vir yster en staal vervaardiging. Die ilmeniet word hoofsaaklik gemyn vir die titaan maar ook vir die hoë kwaliteit ystererts wat daarin teenwoordig is.

Om die ilmeniet uit die magnetietryke gesteentes vry te stel is dit egter nodig om die materiaal aan komminusie te onderwerp wat gepaard gaan met die vorming van 'n $-38 \mu\text{m}$ fraksie. Jonck (1995) beweer dat daar in hierdie $-38 \mu\text{m}$ fraksie tussen 67 – 80 % van die ilmeniet in die Rooiwater Kompleks erts verlore gaan. Dit verteenwoordig 35 – 42 % van die totale beskikbare vrymalende ilmeniet. Hierdie $-38 \mu\text{m}$ fraksie het 'n negatiewe invloed op die veredelingsprosesse vir die onderskeie minerale. Tydens die magnetiese skeiding en konsentrasie van die magnetiet word die $-38 \mu\text{m}$ fraksie, wat hoofsaaklik bestaan uit magnetiet en ilmeniet, in die magnetiese fraksie vasgevang en verlaag

nie net die graad van die magnetiet nie maar verhoog ook die ilmeniet verliese. Tydens die hoë intensiteit magnetiese konsentrasie proses van die ilmeniet word die $-38 \mu\text{m}$ fraksie nie opgevang nie en gaan dus verlore.

Dit is dus van kardinale belang om die vorming van hierdie $-38 \mu\text{m}$ fraksie tot 'n minimum te beperk om sodoende die effektiwiteit van die konsentrasie proses van ilmeniet erts te maksimaliseer. Om die vorming van hierdie $-38 \mu\text{m}$ fraksie te voorkom moet daar gekyk word na alternatiewe vermalingsmetodes.

1.2 OMVANG VAN DIE STUDIE

Vir die optimale vermaling van ilmeniet vanuit die Rooiwater Kompleks was die volgende projek plan gebruik wat hieronder bespreek word.

Voordat enige vermalingsmetodes ondersoek kan word is dit belangrik om 'n intensiewe studie rondom die geologie en mineralogie van die Rooiwater Kompleks te doen. In Hoofstuk 2 word daar gekyk na die geneses van die erts en die mineralogiese en chemiese kenmerke van die magnetiet en ilmeniet van hierdie afsetting.

In Hoofstuk 3 word die verskillende komminusie postulate en beginsels ondersoek en uiteengesit.

Die komminusie toetswerk, gedoen op die erts, word weergegee in Hoofstuk 4.

'n Sensitiwiteitsanalise word gedoen in Hoofstuk 5.

Die gevolgtrekkings en aanbevelings word in Hoofstuk 6 vervat.

Die doel van hierdie studie was om die erts van die Rooiwater Kompleks so te vermaal dat slegs 'n minimale produksie van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie gelewer word.

HOOFSTUK 2 DIE GEOLOGIE EN MINERALOGIE VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS

2.1 INLEIDING

Die Rooiwater Kompleks is 'n gelaagde basiese stollingsliggaam bestaande uit gemetamorfoseerde dioritiese en gabbroïese gesteentes (SACS, 1980). Dit is omtrent 7,5 km dik en is vir ongeveer 55 km ewewydig aan die noordelike flank van die Murchison Groensteengordel blootgelê.

2.2 LIGGING VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS

2.2.1 Lokaliteit van die Rooiwater Kompleks

Die Rooiwater Kompleks, 'n gelaagde opeenvolging van mafiese gesteentes, kom in die gebied (Figuur 2.1) tussen Tzaneen en Phalaborwa, Noordelike Provinsie, Suid Afrika, voor (Wipplinger, 1998). Prominente magmatiese aktiwiteite het gelei tot die ertsafsettings wat hierdie omgewing so bekend maak.

2.2.2 Infrastruktuur

Deur die vestiging van mynbouaktiwiteite in die Murchison Opeenvolging (antimoon, goud) en die Phalaborwa Kompleks is die nodige infrastruktuur in die gebied geskep met ondermeer spoorlyn-



Figuur 2.1: Verspreiding van titaan afsettings in die Republiek van Suid Afrika.

en teerpadverbindinge met die Gauteng provinsie. Richardsbaai en Maputu is die twee hawes wat reeds beskikbaar is vir uitvoere. Relatiewe beperkte belegging in infrastruktuur en ontwikkeling is nodig indien ontginning van die erts in die Rooiwater Kompleks onderneem sal word.

2.3 ILMENIET VOORKOMSTE IN SUID AFRIKA

Van die rykste ilmeniet voorkomste word aangetref in gelaagde stollingsgesteentes, onder andere die Rooiwater Kompleks, waar die mineraal intiem geassosieer is met vanadiumdraende magnetiet (Reynolds, 1978). Die oorsprong van die verskillende ilmeniet afsettings in die Republiek van Suid Afrika word in Tabel 2.1 aangetoon (Figuur 2.1).

Die Rooiwater Kompleks is dus 'n potensiële bron vir die ekstraksie van titaanprodukte, yster en vanadiumtrioksied.

2.4 DIE MINERALOGIESE, CHEMIESE EN FISIESE KENMERKE VAN ILMENIET

2.4.1 Hematietgroep

Ilmeniet behoort tot die Hematietgroep van die oksiede familie van minerale (Klein en Hurlburt, 1993).

Die hematietgroep word chemies as M_xO_y uitgedruk, waar $0 < x \leq 2$, $0 < y \leq 3$ en $M \equiv Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}$ (Klein en Hurlburt, 1993).

**Tabel 2.1: Ilmenietafsettings in die Republiek van Suid Afrika
(Ontleen van Delfstowwe in Suid Afrika (1976)).**

Oorsprong	Afsetting	% TiO ₂	%V ₂ O ₅
Magmaties	Stollingskompleks Bosveld:		
	- Bo Sone – onderste lae	12,2 – 13,0	1,4 – 1,7
	- Bo Sone – boonste lae	18,0 – 20,0	0,30
	Kompleks Usushwane: Mpumalanga.	12,0 – 12,7	0,25 – 0,3
	Kompleks Rooiwater: Noordelike Provinsie.	18,4	0,68
	Kompleks Kafferskraal: Mpumalanga.	12,9 – 14,8	1,48
	Mambulagabbro: Kwazulu Natal	11,53	0,56
Strand- afsettings	Fossielstrandafsettings:		
	- Sisteem Waterberg	12,0 – 17,0	0,01
	- Sisteem Karoo	46,0 – 51,0	
	Kwaternêre Strandafsettings:		
	Ouer rooi en bruin kussand	28,28	

Die struktureel ekwivalente subgroepe van hematiet word in Tabel 2.2 weergegee. Tabel 2.2 verwys spesifiek na die betrokke kristalgroep, struktuur en samestelling van die verskillende subgroepe (Klein en Hurlburt, 1993).

Figuur 2.2 toon die samestelling van oksied minerale in die sisteem FeO-Fe₂O₃-TiO₂. Die invloed van 'n vaste oplossing op die ander oksiede in die sisteem TiO₂-FeO-Fe₂O₃ word in Figuur 2.3 aangetoon (Klein en Hurlburt, 1993).

Hematiet en ilmeniet is kristallografies verenigbaar. Uit stolling en kristallasie van die magma by hoë temperature vorm hematiet en ilmeniet 'n vaste oplossing. By laer temperature skei die vaste oplossing egter uit in twee vergroeide fases.

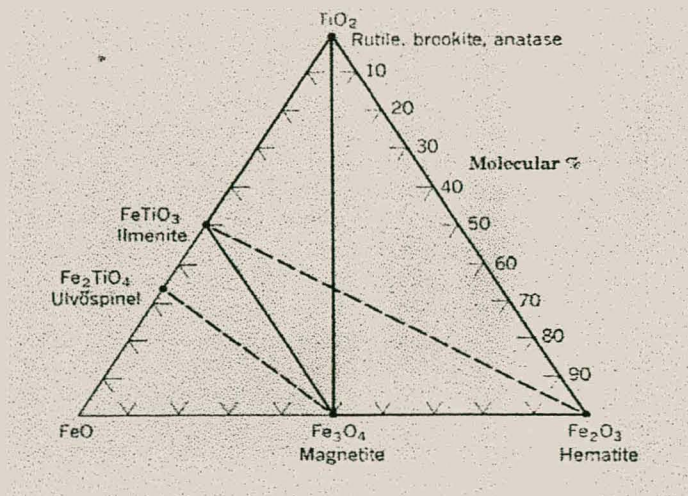
Die struktuur van hematiet en ilmeniet is dieselfde as dié van korund, naamlik kubies. In Fe₂O₃, is die voorkeur koördinasie getal van die yster ses, sodat vir 'n valensie van drie daar 'n binding sterkte van 'n half is. Daar gaan dus vier Fe³⁺ aangrensend wees aan elke O²⁻. Dit word bereik deur die heksagonale digte pakking van die suurstof ione, met die yster ione wat twee derdes van die oktaëdriese ruimtes vul (Kingery, Bowen en Uhlmann, 1976). Daaropvolgende eenderse lae word opgebou sodat maksimale spasiëring van die Fe³⁺ verkry kan word.

'n Vertikale deursnit deur die hematiet struktuur (Figuur 2.4) toon die rangskikking van die Fe³⁺ ione en die omliggende kation aan. In die vertikale pakking van oktaëders deel elke oktaëder, 'n vlak tussen twee aangrensende lae (Klein en Hurlburt, 1993). Die kation, Fe³⁺ binne die oktaëder wat 'n vlak deel is, is geneig om weg te beweeg van die

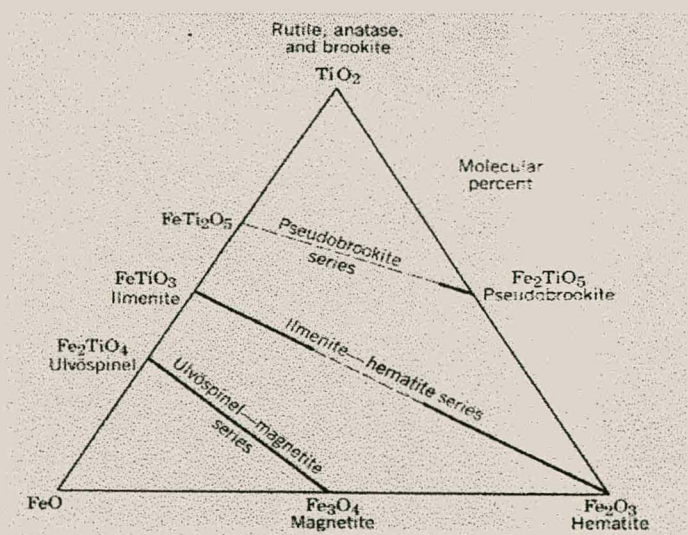
Table 2: Die struktureel ekwivalente subgroepe van die hematietgroep (Klein en Hurlburt, 1993).

Subgroep	Kristalgroep	Samestelling
Korund – Al_2O_3	Heksagonaal	Bevat spoorelemente Fe en Ti. Hierdie spoorelemente verskaf aan die saffiere hul blou kleur.
Hematiet – Fe_2O_3	Heksagonaal	Klein hoeveelhede Mn en Ti in vaste oplossing. Hematiet vorm 'n volledige vaste oplossing met ilmeniet bo 950 °C. (figure 2 en 3)
Ilmeniet – FeTiO_3	Heksagonaal	Die ideale ilmeniet bevat 52,7 % TiO_2 en 47,3 % Fe_2O_3 . Chemies kan dit meer realisties uitgedruk word as (Fe, Mg, Mn) TiO_2 met beperkte magnesium, en mangaan, vervanging. Ilmeniet kan ook beperkte hoeveelhede Fe_2O_3 bevat (< 6 ^w %) (figure 2.2 en 2.3). Geikieliet (MgTiO_3), piropfaniet (MnTiO_3) en armalkoliet ($\text{MgAlTiO}_3\text{M}_3\text{O}_5$) is verwante spesies. Laasgenoemde is afkomstig van die maan.

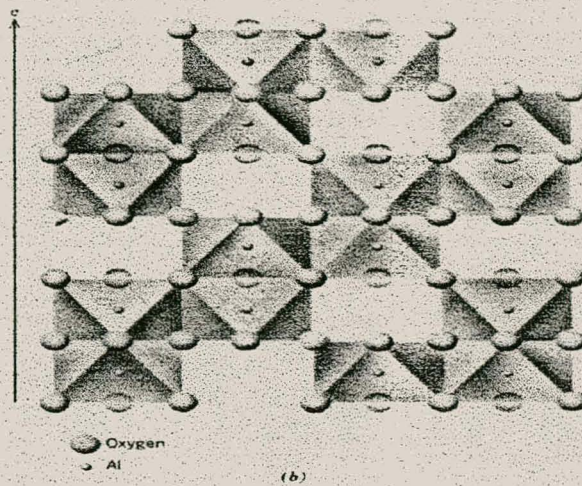




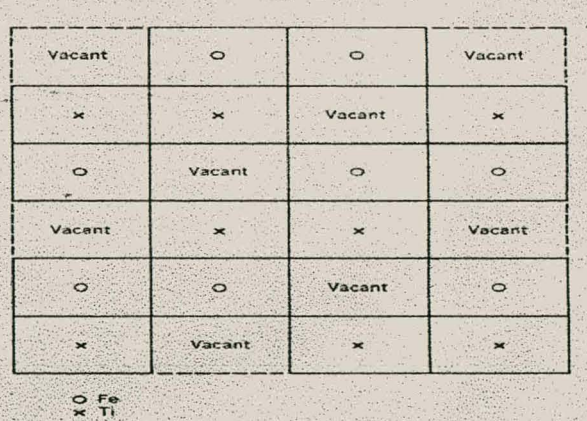
Figuur 2.2: Die samestelling van oksied minerale in die sisteem FeO-Fe₂O₃-TiO₂. Soliede lyne toon die algemene geologiese saam bestaan by relatiewe lae temperature. Stippellyne toon volledige vaste oplossings tussen endlede (Klein en Hurlburt,1993).



Figuur 2.3: Vaste oplossings en hul invloed op ander oksiede in die sisteem TiO₂-FeO-Fe₂O₃. Die mate van vaste oplossing by ongeveer 600 °C tussen endlede word aangetoon deur die soliede lyn. Die stippellyn toon die onvermoë om vaste oplossings te vorm by ongeveer 600 °C (Klein en Hurlburt, 1993).



Figuur 2.4: Vertikale deursnit deur die hematiet struktuur. Die ligging van die gevulde, sowel as die leë oktaëders, word aangetoon. Let op die ligging van die Fe³⁺ binne in die oktaëder (Klein en Hurlburt, 1993).



Figuur 2.5: Skematiese vertikale deursnit deur die ilmeniet struktuur. Hierdie voorstelling is identies aan Figuur 4a. Die suurstof posisies en die oktaëder buitelyne is uitgelaat, slegs die posisie van die kation word aangedui (Klein en Hurlburt, 1993).

gedeelde vlak as gevolg van die afstotende kragte tussen die twee katione.

Ilmeniet se struktuur is dieselfde as dié van die hematiet, behalwe dat die yster, Fe, en titaan, Ti, orden hulself in afwisselende oktaëdriese koördinasie lae (Figuur 2.5) (Klein en Hurlbult, 1993).

Ilmeniet het 'n swak metaalglans tot 'n metaalglans. Die hardheid van ilmeniet is vyf en 'n half tot ses op die Moh skaal vir hardheid. Dit het 'n swart kleur en die strepe is rooibruin tot swart. Ilmeniet kan magneties wees sonder verhitting (Klein en Hurlbult, 1993).

2.4.2 Spinelgroep

Magnetiet, 'n lid van die oksied minerale, behoort tot die spinelgroep wat chemies as $M^{II}M_2^{III}O_4$ voorgestel word, met $M^{II} \equiv Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}$ en $M^{III} \equiv Fe^{3+}, Cr^{3+}, Al^{3+}$ (Klein en Hurlbult, 1993).

Die lede van die spinelgroep toon uitgebreide vaste oplossings tussen verskillende endlede. Daar is byvoorbeeld uitgebreide vaste oplossings tussen magnetiet (Fe_3O_4) en ulvöspinel (Fe_2TiO_4) (Klein en Hurlbult, 1993).

Omdat magnetiet (Fe_3O_4), en ulvöspinel dus kristallografies verenigbaar is, word vaste oplossings by hoër temperature gevorm en skei die twee fases in vergroeide vorm by lae temperature uit.

Magnetiet se kristalgroep is isometries. Fe^{3+} gee maklik sy oktahedriese posisie af as gevolg van die lae osselasie posisie stabilliserings energie daarvan. Die helfte van die Fe^{3+} word dus vervang met Ti^{4+} (Klein en

Hurlburt, 1993). Bo 600 °C is 'n volledige vaste oplossing tussen magnetiet en ulvöspinel (Fe_2TiO_4) moontlik (figuur 2.2 en 2.3).

Magnetiet kom algemeen as oktaëdriese kristalle voor. Dit kan egter ook beperk voorkom as dodekaëder kristalle. Die dodekaëder kan parallel georiënteer wees met die interseksie van die oktaëder (Klein en Hurlburt, 1993).

Magnetiet toon frakture wat nie geassosieer is met glyvlakke in die kristal nie (Klein en Hurlburt, 1993). Dit wil sê magnetiet het nie prominente glyvlakke nie

Die hardheid van magnetiet is ses op die Moh skaal vir hardheid (Klein en Hurlburt, 1993). Magnetiet is sterk magneties en glansend swart.

2.5 DIE GEOLOGIE EN MINERALOGIE VAN DIE ROOIWATER KOMPLEKS

2.5.1 Oorsig

Tydens Van Eeden, Partridge, Kent en Brand, (1939) se studie oor die gesteentes van die Murchison Gordel het hulle 'n massiewe basiese opeenvolging onderskei van die Murchisonkiste, wat hulle die Rooiwater Kompleks genoem het. Hierdie Rooiwatergesteentes is deur Hall (1912) as deel van die Murchisonkiste beskryf.

Volgens Mienie (1995) word die Rooiwater kompleks in die Novengilla en Freestate Suites onderverdeel. Die titaanryke magnetiet sones van die Novengilla Suite bevat wisselende hoeveelhede yster(II,III)oksied en word op grond van ysteroksiedinhoud, asook Fe/TiO_2 - en $\text{Fe}/\text{V}_2\text{O}_5$ -

verhoudings in sones sowel as segmente ingedeel (Mienie en Graham, 1991; Mienie, 1995). 'n Segment is dus 'n deel van die afsetting wat soortgelyke chemiese eienskappe besit. Twee spesifieke segmente naamlik, 631 en 811 is uitgesonder as die segmente met die grootste mynbare potensiaal.

Iscor (Bpk) Beperk van Suid-Afrika het vanaf 1986 eksplorasië werk op die yster- en titaandraende gesteentes van die Novengilla Suite van die Rooiwater Kompleks onderneem.

Volgens Reynolds (1986) en Mienie (1995) word die Rooiwater Kompleks gekenmerk deur aansienlike hoeveelhede grofkorrelrige vrymalende ilmeniet, in assosiasie met magnetiet. Hierdie vrymalende ilmeniet word toegeskryf aan rekristallasie deur termiese metamorfose, as gevolg van granitiese indringings. Dearlove (1996) toon egter aan dat daar, buiten die vrymalende ilmeniet, ook fyn vergroeiings tussen die ilmeniet en magnetiet in die erts voorkom, wat volkome vrystelling van die ertse benadeel.

Tydens afkoeling het ontmenging van die titaanryke fases uit magnetiet plaasgevind. Hierdie ontmenging het die vorming van ilmenietlammelle en korrels in magnetiet veroorsaak wat aanleiding gegee het tot die vergroeiing daarvan.

2.5.2 Geneses van die Rooiwater erts

Die samestelling van 'n magma, wat die Rooiwater Kompleks gevorm het, kan deur faktore soos magmatiese differensiasie en konveksie drukfiltering gedifferensieër word om gesteentes met verskillende samestellings te lewer. Die term "magnetiet" is voorgestel om die

gesteentes van die magnetietryke sones te beskryf en word gedefinieer as 'n gesteente met magnetiet-, ilmeniet- en hematietinhoud $> 90\%$. In die geval van magnetiet word daar aanvaar dat dit in groot hoeveelhede op spesifieke stadiums tydens afkoeling gekristalliseer en in lae afgesak het.

Die titaanryke magnetietbande in gelaagde komplekse het volgens Reynolds (1978) as gevolg van ysterverryking in die residuele magma deur fraksionele kristallasie ontstaan. Waar mineraalkonsentrasies hoog genoeg was, het gedurende die laat kristallasie stadium van die magma, bande van oksied minerale gevorm.

Reynolds (1978) het sewe stadiums vir die vorming van magnetietbande in die Rooiwater Kompleks voorgestel. Met inagneming van tekstuur verskille in die magnetiet van verskillende subsones, word die aangepaste vorming as volg voorgestel:

Stadium 1: Die hoof magnetietbande asook ander dunner bande is gevorm deur normale differensiasieprosesse en kristallasie tydens afkoeling van die oorspronklike smeltsel. Die metale vanadium en chroom is verryk in die vroeg gevormde magnetiet-bande, relatief tot die jonger magnetiet-bande wat verryk is in mangaan en titaan.

Stadium 2: Die titanatomagnetietbande is gevorm deur die akkumulاسie van 'n aanvanklik homogene spinelfase ryk aan yster, titaan, vanadium, mangaan, aluminium, chroom en magnesium tesame met reeds afgesette silikaatminerale en moontlik ook ilmeniet. Faktore soos na-kumulاسie groei, die verwydering van tussenkorrelvloeistof deur druk

filtrering en metamorfose, het ook 'n rol in die vorming van hierdie bande gespeel.

Stadium 3: Verdere afkoeling van die smeltsel het gelei tot die ontmenging van titaanryke fases soos pleonas, waarvan die aard afhang van die heersende suurstof fugasiteit. Onder toestande van hoë fugasiteit sou lamelle van ilmeniet, parallel aan (111) kristallografiese rigting van magnetiet, of ulvöspinel, tydens toestande van lae fugasiteit parallel aan (100) kristallografiese rigting van magnetiet, ontmeng. Onder toestande van medium suurstof fugasiteit sal verskeie kombinasies van bogenoemde ontstaan. Verdere ontmenging het die vorming van growwe tussenkorrelrige ilmeniet tot gevolg gehad. Volledige herkristallasie en korrelgroei het in die gebiede met hoër metamorfose plaasgevind.

Stadium 4 Ontmenging het tot stilstand gekom toe temperature so laag gedaal het dat ioondiffusie onmoontlik geraak het. Die titanomagnetiet toon op hierdie stadium mikrostrukture, wat dieselfde is as die van soortgelyke onveranderde gesteentes.

Stadium 5: Metamorfose het as gevolg van die indringing van granitiese gesteentes in die Rooiwater kompleks plaasgevind. Die verhoogde temperatuur het gelei tot 'n verandering van die oorspronklike mikrostrukture. Hierdie veranderings weerspieël die variasies in die graad van metamorfe. Die magnetiet toon die afbreking en opeenvolgende stappe van verkorreling van die oorspronklike mikrostrukture, asook die ontstaan van 'n

poligonale titaanomagnetiet grondmassa deur termiese rekristallisering en korrelgroei.

Stadium 6: Kleinskaalse veranderings en ontmenging van die mikrostrukture het nog plaasgevind gedurende na-metamorfe afkoeling.

Stadium 7: Oksidasie en hidratering van die magnetiet op die oppervlak, het gelei tot gedeeltelike martinsiasie (hematietvorming) en die ontwikkeling van sekondêre goethiet.

2.5.3 Mineralogiese en chemiese kenmerke van die magnetietbande in die Rooiwaterafsetting

Tydens die aanvanklike eksplorاسie is vasgestel dat groot gedeeltes van die gebied deur mynbare potensieel ilmenietryke sand bedek word. Hierdie sand is 'n verweringsprodukt van die magnetietryke gesteentes. Die magnetietinhoud van die sand is slegs noemenswaardig in die omgewing van die magnetietdagsome (Mienie, 1995).

Die ilmenietryke sand bestaan dus hoofsaaklik uit vrymalende ilmeniet (Jonck, 1995). Hierdie ilmenietryke sand is vergelykbaar met ander afsettings van ilmenietsand.

Die magnetietryke magnetiet gesteente daarenteen bestaan uit vrymalende en vergroeide ilmeniet wat die konsentrasieproses daarvan bemoeilik. Vir die doel van hierdie studie word daar uitsluitlik gekyk na die vermaling van die magnetietryke gesteentes.

Die mineralogiese en chemiese eienskappe van twee sones, naamlik segment 631 en segment 811, van die Rooiwater Kompleks word in Tabel 2.3 kortliks opgesom.

Volgens Dearlove (1996) bevat Segment 631, in vergelyking met Segment 811, meer ilmeniet en meer vrymalende ilmeniet as vergroeide ilmeniet per volume.

Tabel 2.3: Mineralogiese en chemiese eienskappe van die magnetiet segment 631 en 811 (Dearlove, 1996)

Segment	Sone	Beskrywing van erts	Chemiese eienskappe
631	Middelste	Gedissemineer	HT* ¹ , Fe > 30%, HP* ² aan bokant
811	Noordelike	Massief	HV* ³ , HCr* ⁴ , Fe > 40%

Verklaring van simbole gebruik in Tabel 3:

- *¹ (HT) Hoë titaan, Fe/TiO₂ < 3 %
- *² (HP) Hoë P₂O₅, P₂O₅ 0 – 3 %
- *³ (HV) Hoë vanadium, Fe/V₂O₅ < 80 %
- *⁴ (HCr) Hoë Cr₂O₃, Cr₂O₃ ≅ 1 %

2.6 MINERAALVERGROEIINGS

Onderlinge vergroeiing van individuele minerale in ertspartikels is 'n verskynsel wat doelmatige veredeling negatief beïnvloed. Verskillende tipes vergroeiing kom in 'n mindere tot meerdere mate in alle ertse wat gemyn word voor, en kan nie volledig uitgeskakel word nie, maar wel verminder en beheer word. Vergroeide partikels bepaal tot 'n groot

mate ook die ontwikkeling en optimisering van die konsentrasieprosesse. Deur die vergroeiing van partikels te ontleed en verstaan, bied dit die geleentheid vir die optimisering van die prosesse en tegnieke nodig vir die konsentrasie van die mineraalpartikels na óf die produk- óf die uitskotstroom.

Mineraalpartikels kan op verskillende wyses vergroei wees, (Figuur 2.6). Die algemene gevalle is as volg:

VOLLEDIG VRYGESTEL:

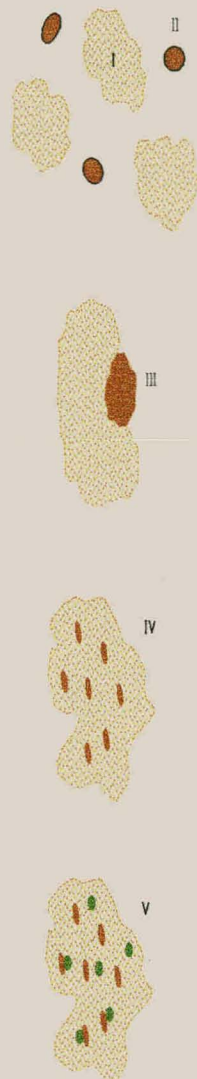
- Suiwer rifsteen minerale.
- Suiwer ertsmineraal.

VERGROEI:

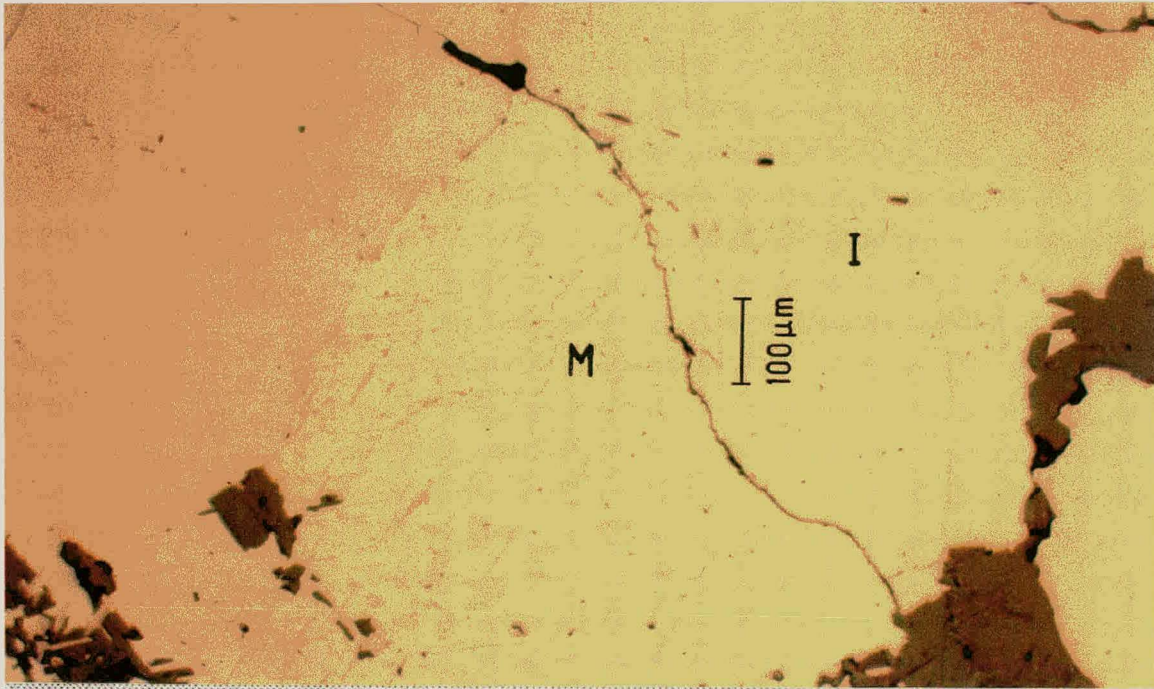
- Gedeeltelik rifsteenmineraal en gedeeltelik ertsmineraal (binêr).
- 'n Rifsteenmatriks met ingeslote erts mineraal korrels.

Met die term rifsteenminerale as die waardelose materiaal en die term ertsmineraal as die waardevolle mineraal.

Dearlove (1996) het getoon dat daar benewens die vrymalende ilmeniet ook fyn vergroeiings tussen die ilmeniet en magnetiet in die erts van segmente 631 en 811 voorkom wat volkome vrystelling van die ilmeniet bemoeilik. Figuur 2.7 toon die vrymalende ilmeniet terwyl die vergroeiings tussen die ilmeniet en die magnetiet in Figuur 2.8 gesien kan word. Optimale vrystelling van die belangrikste ertsminerale in die erts kan verkry word deur afbreking tot 100 persent minus 150 μm of 80 persent minus 106 μm (Dearlove, 1996).

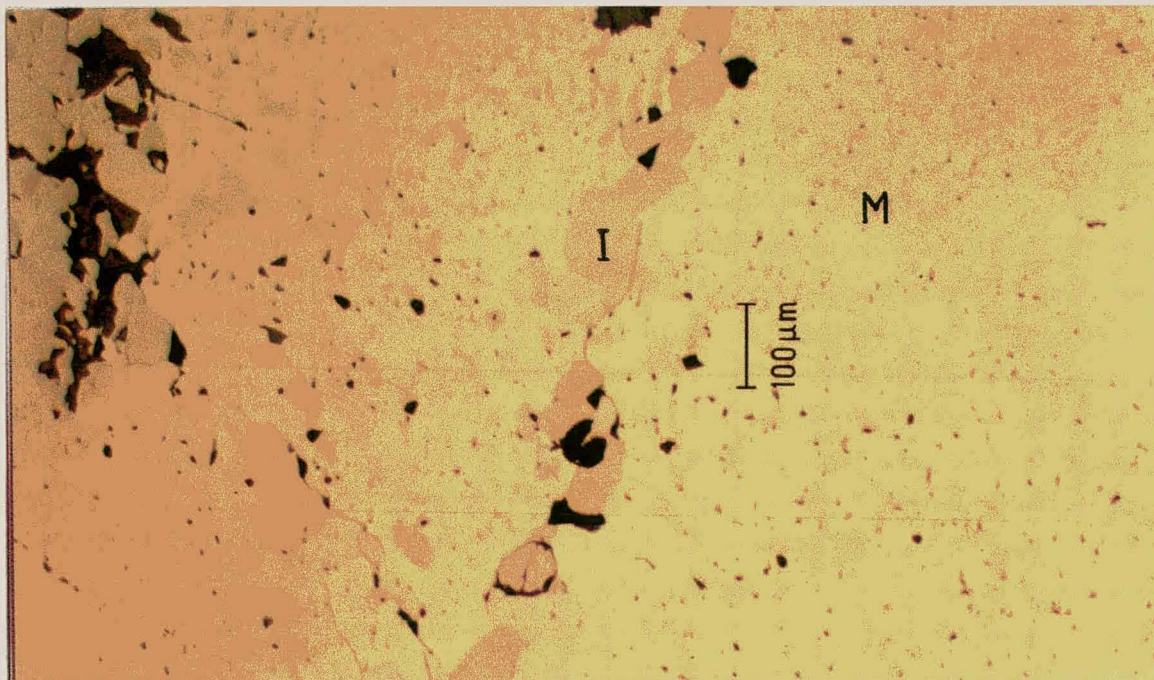


Figuur 2.6: Verskillende tipes vergroeide partikels: I - vrygestelde rifsteen minerale; II - vrygestelde ertsmineraal; III - eenvoudige binêre vergroeide partikels; IV - kompleks vergroeide partikels; V - buitengewone vergroeide partikels met twee erts mineraal/rifsteen skeidingsvlakke (Woollacott and Eric, 1994).



Figuur 2.7: Vrymalende magnetiet en ilemniet.

I = Ilmeniet, M = Magnetiet



Figuur 2.8: Fyn ilmeniet langs die korrelgrense van die magnetiet.

I = Ilmeniet. M = Magnetiet

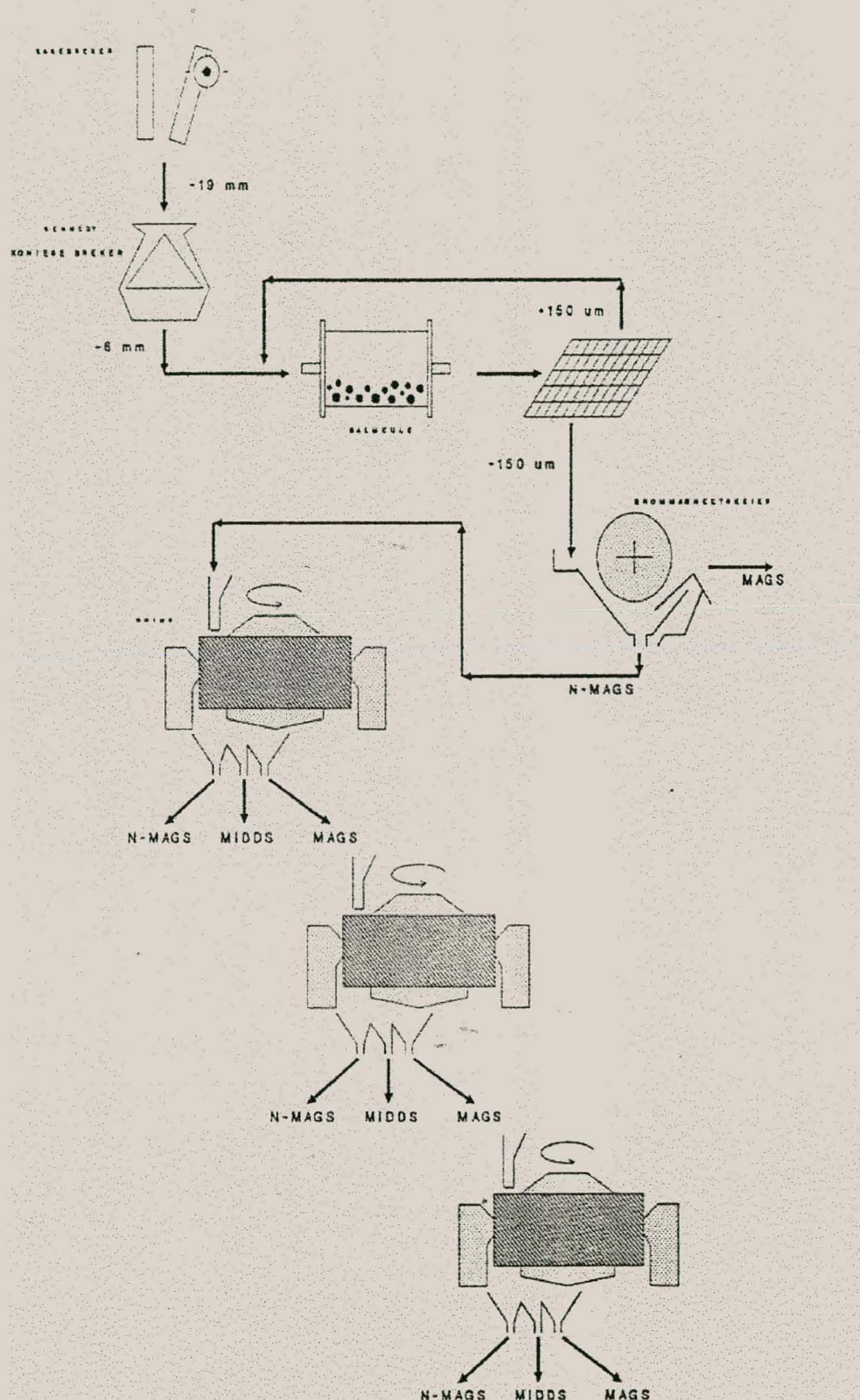
Segmentt 631 en 811 van die Novengilla Suite is uitgesonder as dié segmente met die grootste mynbare potensiaal. Hierdie twee segmente se maalbaarheid, met die doel tot konsentrasie, gaan in hierdie studie verder ondersoek word.

HOOFSTUK 3 VEREDELING VAN ERTS

3.1 ALGEMENE VOORSTELLING VAN 'N VEREDELINGS AANLEG VIR ILMENIETERTS

'n Aanlegvloeikaart is 'n diagram wat verduidelik hoe die aanleg-eenheidswerkinge geïntegreerd is (Woollacott, et al., 1994). Die doel van die diagram is om aan te dui watter eenheidswerkinge word gebruik vir 'n gegewe aanleg proses, hoe dit verbind word en dui ook die rigting van vloei van die materiaal wat verwerk word vanaf een eenheidswerking na 'n volgende aan. Die eenheidswerking word aangedui met behulp van 'n beskrywende simbool en die rigting van vloei van die materiaal met behulp van 'n pyl.

'n Tipiese veredelingsaanleg vir erts word in Figuur 3.1 weergegee. Dit is nodig om die verskillende werkingsstappe te bestudeer om die ideale veredelingsroete vir die Rooiwater Kompleks erts te kan voorstel.



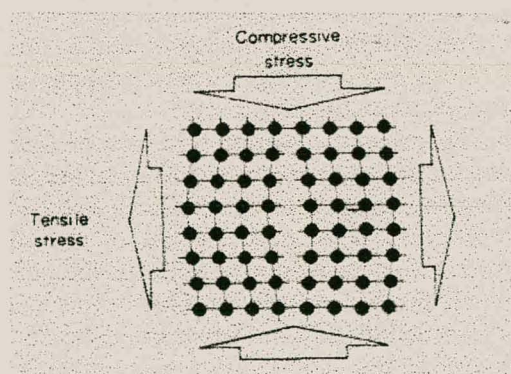
Figuur 3.1: Algemene vloeikaart van ilmeniet erts vanuit die Rooiwater kompleks.

3.2 KOMMINUSIE

Die meeste ertsminerale kom fyn verspreid en intiem verbind met rifsteen in die natuur voor (Wills, 1988). Hierdie ertsminerale moet eerstens “onsluit” of bevry word voordat dit gekonsentreer kan word. Die bevryding van die ertsmineraal word bereik deur die erts aan komminusie te onderwerp. Komminusie is die stelselmatige afbreek van die partikelgrootte totdat “skoon” partikels of minerale gevorm word wat dan gekonsentreer of geekstraheer kan word.

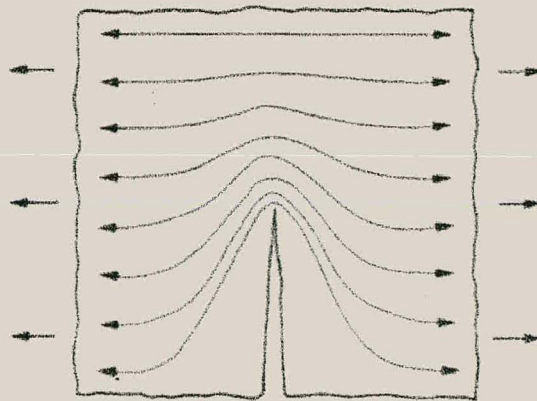
3.3 BEGINSELS VAN KOMMINUSIE

Soos reeds bespreek in hoofstuk 2 is ilmeniet ’n kristalagtige materiaal met atome gerangskik in drie dimensies (Figuur 2.5). Die konfigurasie van die atome word bepaal deur die grootte en die tipe van fisiese en chemiese bindings wat dit aanmekaar hou (Wills, 1988). In die kristalstruktuur van minerale is hierdie interatoom afstande slegs effektief oor kort afstande en kan dus relatief maklik gebreek word indien dit onderwerp word aan spannings. Hierdie spannings kan drukspannings of trekspannings wees (Figuur 3.2).



Figuur 3.2: Spanning in ’n kristalstruktuur as gevolg van drukspannings en of trekspannings (Wills, 1988).

Selfs al word erts onderwerp aan gelykmatige spannings, is die verspreiding van die interne spannings nie gelykmatig nie as gevolg van die verskillende kristalgroottes van die materiale teenwoordig. Die verspreiding van die spanning hang van die meganiese eienskappe van die individuele minerale af (Wills, 1988). 'n Meer belangrike faktor is egter die teenwoordigheid van kraake of defekte in die matrys wat as posisies vir spanningskonsentrasie optree (Figuur 3.3).



Figuur 3.3: Spanningskonsentrasie op kraakpunt (Wills, 1988)

Die toename in spanning by die kraakpunt is direk eweredig aan die vierkantswortel van die kraaklengte loodreg op die rigting van die spanning. Daar is egter 'n kritiese waarde vir die kraaklengte vir enige spanningsvlak waar die toename in spanningsvlak by die kraakpunt voldoende is om om die atoombinding te breek. Hierdie breking van die atoombinding vergroot die kraaklengte, dus verhoog dit die spanningskonsentrasie op die kraakpunt, met die eindresultaat dat die kraak vinnig gaan voortplant deur die matrys wat breking tot gevolg het.

Die Griffith kriterium stel dit dat 'n kraak in 'n materiaal sal voortplant mits die afname in die elastiese vervormingsenergie gelyk of groter is as die energie nodig vir die skep van die kraak oppervlakte en mits daar 'n meganisme vir kraakvoortplanting bestaan (Haveman, 1991).

In die algemeen word breking tydens komminusie verkry deur impakbreking, afskuring, afsplintering en drukbreking. Figuur 3.4 verduidelik die verskillende brekings meganismes (Woollacott et al., 1994). Vanuit hierdie brekings meganismes is dit duidelik dat fyn materiaal altyd gevorm sal word.

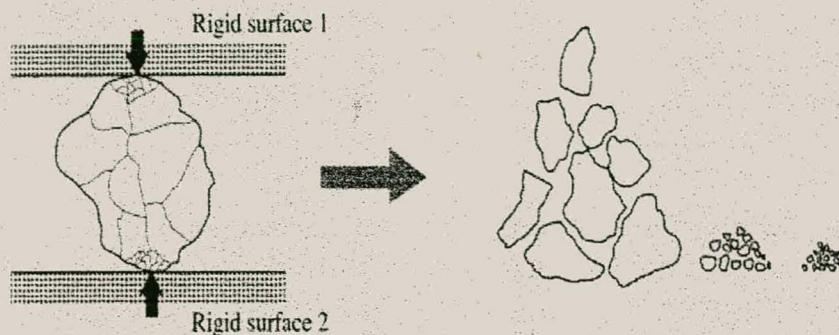
3.4 VERSKILLENDE HIPOTESES OOR DIE ENERGIE BEHOEFTE TYDENS KOMMINUSIE

Komminusie deur afbreking en vermaling behels die deurlopende skep van nuwe partikeloppervlaktes en benodig dus 'n effektiewe benutting van energie om hierdie doel te bereik. Die totale energie benodig word aansienlik verhoog deur verliese soos meegebring deur verskille in die elastisiteit en plastisiteit van die materiaal, asook deur wrywing, afskuring van oppervlakke en die ontwikkeling van klank en hitte.

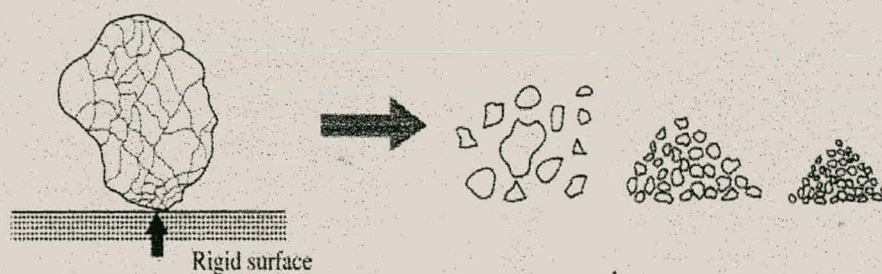
Aangesien die energiebehoefte vir die afbreking, en veral vir vermaling van die erts, die grootste finansiële uitgawe van 'n veredelingsproses is, is dit baie belangrik om presies te bepaal hoeveel energie benodig word vir die onderskeie vergruisingsstadiums sodat energie nie vermors word nie (Mining Magazine, 1982).

Verskeie pogings (Haveman, 1991) is alreeds aangewend om 'n verband te probeer kry tussen die energie verbruik tydens komminusie en die mate van breking. Uit sodanige navorsing is 'n aantal "Wette", wat in

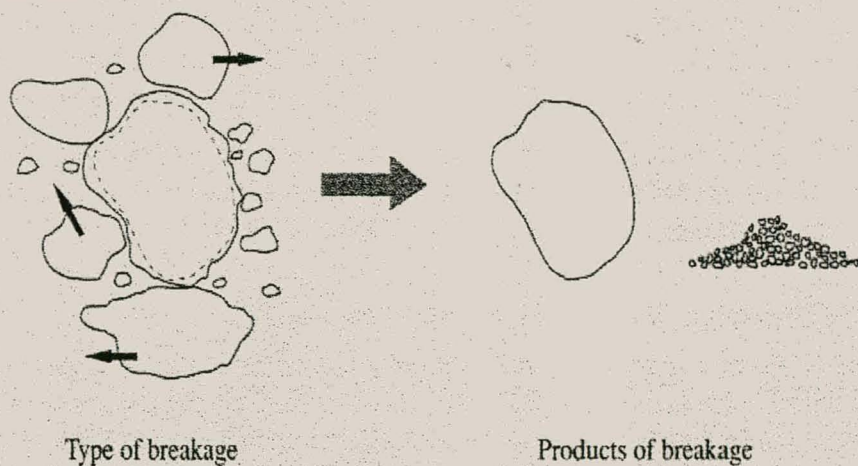
(a) Fracture by compression



(b) Fracture by impact



(c) Abrasion



Figuur 3.4: Meganismes vir partikel breking (Woollacott et al., 1994)

werklikheid hipotesisse is, empiries geformuleer. Die meer bekendes hiervan is as volg:

3.4.1 Rittinger se wet (1867)

Rittinger se wet (1867) stel dit dat die hoeveelheid energie wat vir komminusie gebruik word proporsioneel is aan die hoeveelheid nuwe oppervlakte geskep. Wiskundig kan Rittinger se wet deur vergelykings (1) en/of (2) voorgestel word.

$$E = (C_R) \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right) \quad (1)$$

$$E = (C_R) [(S_2) - (S_1)] \quad (2)$$

E is die energie inset per massa eenheid. X_1 en X_2 stel onderskeidelik die oorspronklike partikel diameter en die gebreekte partikel diameter voor. S_1 en S_2 stel onderskeidelik die oorspronklike partikel spesifieke oppervlakte en die gebreekte partikel spesifieke oppervlakte voor. C_R is Rittinger se dimensionele konstante.

In die algemeen word Rittinger se wet gekritiseer op grond daarvan dat, die energie geabsorbeer deur 'n partikel soveel hoër is ('n faktor van 100 – 200 keer groter) as die energie nodig om 'n nuwe oppervlak te skep. Dit is dus duidelik dat die energie inset nie vergelyk kan word met die energie nodig om 'n nuwe oppervlak te skep nie. Rittinger se wet is dus nie akkuraat nie.

3.4.2 Kick se wet (1885)

Kick se wet (1885) lui dat gelyke relatiewe verandering in partikelgrootte vereis gelyke hoeveelheid energie. Vergelyking (3) verskaf 'n wiskundige uitdrukking vir Kick se wet.

$$\frac{dE}{dX} = - (C_K) \frac{1}{X} \quad (3)$$

Waar C_K , Kick se konstante en X die partikelgrootte voorstel.

Hierdie uitdrukking beteken dat om 'n kubus met sylengte van sê 1 000 mm te breek tot 'n kubus van 100 mm sylengte dieselfde hoeveelheid energie gebruik sal word om 'n kubus met sylengte 10 mm af te breek na een met 1 mm sylengte (Haveman, 1991).

Dit word algemeen aanvaar dat komminusie progressief moeiliker word soos die materiaal fyner en fyner word. Elke reduksie stap benodig meer en meer energie. Dit is dus in direkte kontras met Kick se wet en daarom word Kick se wet as nie akkuraat aanvaar nie.

3.4.3 Bond se wet (1952) of die derde wet van Bond

Vanuit 'n ontleding van 'n magdom van data postuleer Bond (1952) dat die energie inset nodig vir komminusie eweredig is aan die lengte van die nuwe krake wat gedurende komminusie gevorm word. Hierdie wet word beskou as 'n kombinasie van Rittinger en Kick se wette en word empiries in vergelyking (4) wiskundig gedefinieer (Woollacott et al., 1994).

$$E = W_i \left[\frac{10}{\sqrt{P_{80\%}}} + \frac{10}{\sqrt{F_{80\%}}} \right] \quad (4)$$

Waar E die energie benodig vir komminusie per ton gebreekte materiaal weergee. $P_{80\%}$ en $F_{80\%}$ verteenwoordig onderskeidelik die sifgroottes waardeur 80 % van die materiaal in die produkte (P) en toevoer (F) sal gaan. W_i is die Bond Werkindeks (Woollacott et al., 1994).

Die Bond Werkindeks is 'n eienskap van 'n spesifieke materiaal wat afgebreek word. Die grootte van hierdie indeks gee 'n aanduiding van die weerstand van die materiaal teen grootte-reduksie. Hierdie Bond Werkindeks word eksperimenteel bepaal (vergelyking (5)) vir 'n spesifieke materiaal deur die meting van die omvang van die grootte-reduksie en die energie geabsorbeer tydens partikelafbreking onder goed beheerde toestande (Woollacott et al., 1994). Die Bond Werkindeks kan ook gevind word in gepubliseerde literatuur vir verskeie materiaal.

$$(W_i) = \frac{16}{G^{0,82}} \sqrt{\frac{\gamma}{100}} \quad (5)$$

Waar W_i die Bond werksindeks is, G die maalbaarheid van die materiaal en γ die sifgrootte van die kontrole sif in μm is.

Bond se wet verskaf die bruikbaarste aanduiding van die benodigde energie inset om die verlangde grootte-reduksie te verkry. Hieruit kan die energieverbruik van 'n spesifieke komminusie-apparaat bepaal word. Die Bond-formule het egter 'n paar tekortkominge waarvoor

gekompenseer moet word deur die sogenaamde doeltreffendheidsfaktore. Hierdie doeltreffendheidsfaktore word bekom deur ondervinding en daar bestaan geen getabuleerde waardes vir die doeltreffendheidsfaktore nie. Die tekortkominge van die Bond Werkindeks is as volg (Woollacot et al., 1994):

- Die indeks is 'n empiriese formule, gevolglik kom die eksperimenteelbepaalde energiebehoefte nie altyd ooreen met die werklike energiebehoefte soos benodig in die aanleg nie.
- Die benadering wat gevolg word vir die bepaling van die Bond Werkindeks is grootliks afhanklik van die partikelgrootte- verspreiding. (Die Bond Werkindeks is slegs geldig vir 'n helling van 0,5 op die grootteverspreidingsgrafiek - die hellings op die grafiek is nie altyd 0,5 nie.)
- Die Bond Werkindeks metode is slegs akkuraat waar 'n relatiewe lae persentasie van die toegevoegde energie vir komminusie gebruik word.
- Vir die Bond Werkindeks word die volgende faktore ook nie in ag geneem nie:
 - 'n Hersirkuleerstroom
 - Klassifikasiedoeltreffendheid
 - Samestelling en volume van die maalmedium
 - Partikelretensietyd
 - Meulvoeringontwerp

3.4.4 Hukki (1961)

Uit ondersoek op al bogenoemde komminusie wette het Hukki (1961) gevind dat 'n algemene uitdrukking (vergelyking (6)) daargestel kan word wat al die wette beskryf.

$$\frac{dE}{dX} = - \frac{C}{X^n} \quad (6)$$

Waar C 'n konstante waarde is en X die partikelgrootte. Die waardes van n word in Tabel 4 opgesom.

Tabel 3.1: Hukki se waardes van n (Haveman, 1991).

Wet	n
Kick	1
Rittinger	2
Bond	1,5

3.5 AFBREKING VAN MATERIAAL DEUR MIDDEL VAN PRIMÊRE EN SEKONDÊRE BREKERS

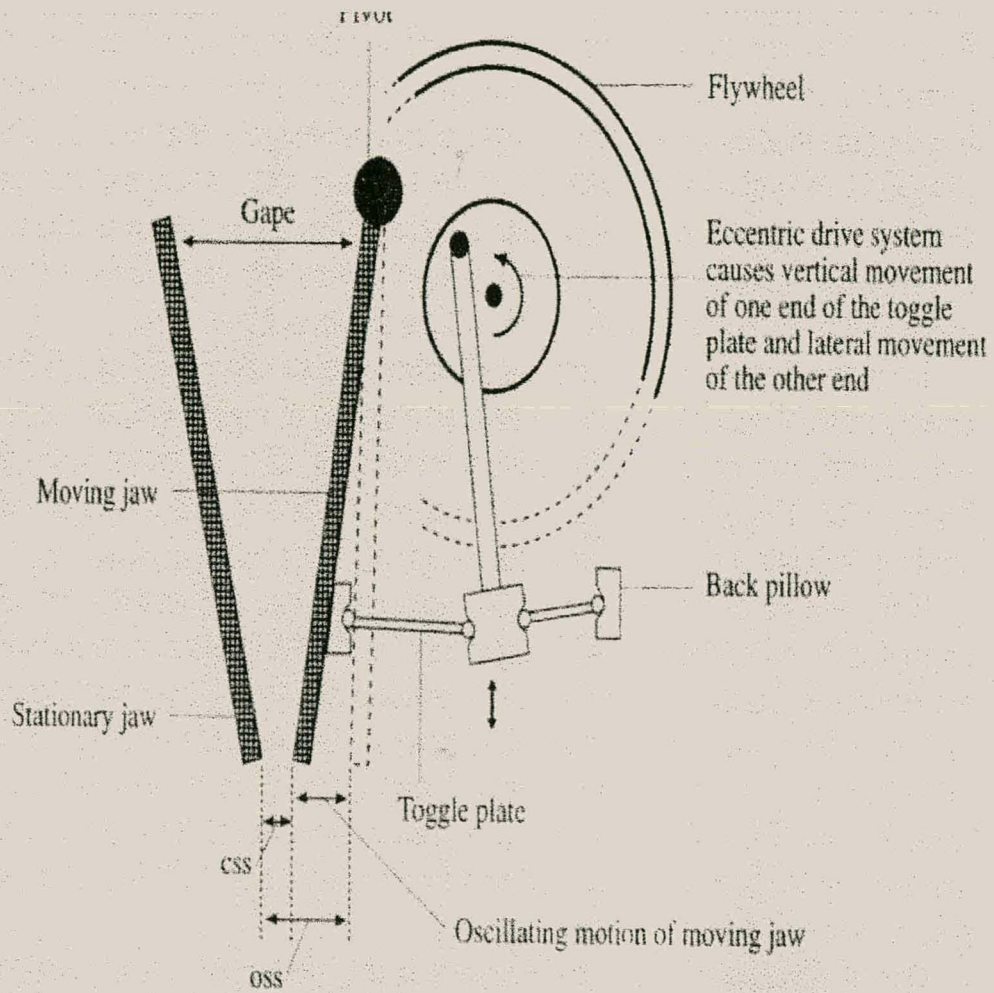
Groot kragte word benodig om massiewe rotsmateriaal af te breek en hierdie kragte moet toegepas word deur die bewegende dele van die breker. Die omgewing van afbreking is uit 'n meganiese oogpunt dus baie ru. Die toerusting moet dus struktureel groot en versterk wees, asook toegerus met slytasiebestande wande om slytasie te verminder. Meganiese falings kom algemeen voor en instandhouding van die

toerusting moet op 'n gereelde en intensiewe basis plaasvind (Woollacott et al., 1994).

In die algemeen bestaan 'n breker uit 'n afbrekingskamer waarin drukkrigte of impakkrigte op die materiaal, wat gebreek moet word, inwerk. Hierdie materiaal, wat droog moet wees of 'n lae voginhoud moet hê, word met behulp van 'n voeropening in die breker ingevoer waarna dit in die afbrekingskamer, waar dit gebreek word, val en uiteindelik deur die aftrekopening aan die onderkant van die breker deurval. Die afbrekingskrigte word toegepas deur die brekingsoppervlakke wat of vas of stilstaande kan wees (Woollacott et al., 1994).

In drukkbrekers (kake-, wentel- en koniesebrekers) word drukkrigte op die materiaal toegepas as die materiaal vasgevang word tussen twee oppervlakke wat na mekaar toe beweeg (Woollacott et al., 1994). In kakebrekers is een van die oppervlakke vas, terwyl die tweede oppervlak ossilleer tussen twee uiterste posisies (Figuur 3.5). Soos die ossilerende oppervlak nader beweeg aan die vasste oppervlak word oorgrootpartikels vasgevang en gebreek. Brokstukke van die afgebreekte partikels bly in die afbrekingskamer agter totdat hul klein genoeg is om deur die afvoeropening tussen die twee oppervlakke te val.

Die vermoë wat 'n enkele brekerapparaat met partikelreduksie kan bereik is beperk. Gevolglik word reduksie van die partikels in stadiums gedoen. Die eerste reduksiestadium staan bekend as primêre afbreking wat hoofsaaklik met behulp van wentel- of kakebrekers gedoen word.



Figuur 3.5: Diagrammatiese voorstelling van 'n Kakebreker (Woollacott et al., 1994).

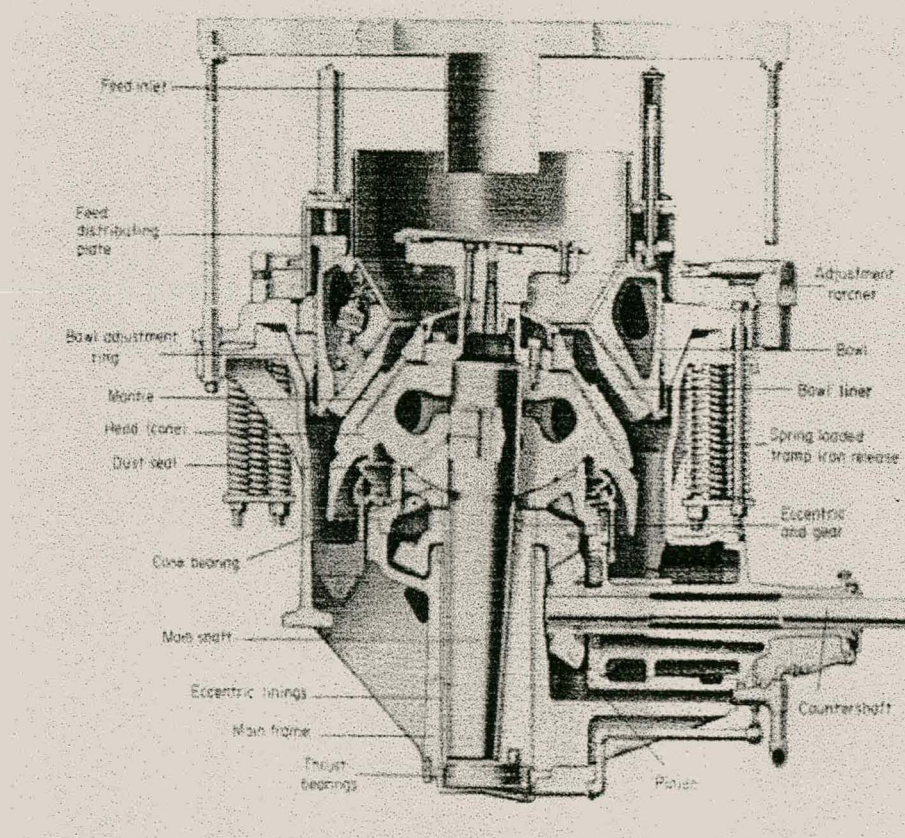
Sekondêre afbreking word gedoen met behulp van 'n Symons koniesebreker (Figuur 3.6). Die Symons koniesebreker werk teen 'n hoër spoed as die kakebreker (Wills, 1988). Die materiaal wat deur die koniesebreker beweeg word onderwerp aan 'n reeks hammeragtige slae in teenstelling met die groot enkele drukkrag van die kakebreker. Die mantel beweeg in die rondte en die materiaal word vasgedruk tussen die mantel en die vasstaande plaat en sodoende afgebreek. Die hoër spoed waarteen die koniesebreker werk veroorsaak dat die partiekels vry vloei deur die breker. In een beweging word breking sowel as afvoer van die erts verkry. Tersiêre afbreking kan ook plaasvind.

3.6 VERMALING VAN MATERIAAL

Vermaling is die algemene wyse waarvolgens die grootte van die partikels na kleiner as 1 mm verminder kan word (Woollacott et al., 1994). Die verskillende soorte vermalingsstoerusting word verder meer volledig bespreek.

3.6.1 Tuimel meule

Tuimel meules is die bekendste en beproefde metode van vermaling. Hierdie wyse van partikelafbreking word bewerkstellig deur tuimeling van materiaal saam met vrybewegende vermalingsmedia (byvoorbeeld staalballe, staalstawe, erts, ens.) binne in 'n meule.



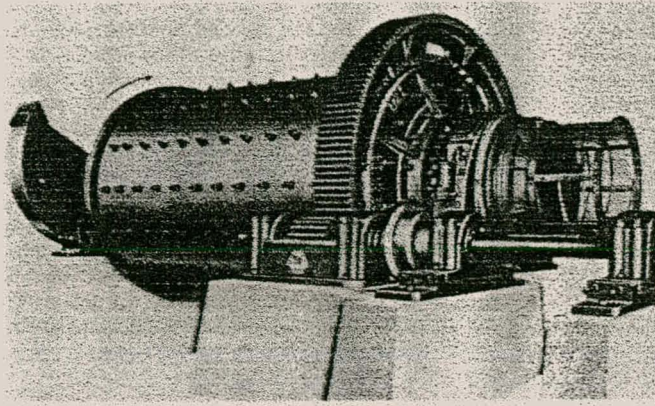
Figuur 3.6: 'n Diagrammatiese voorstelling van 'n Koniesebreker (Wills, 1988).

Die meule is gewoonlik silindries in vorm. Die meullading bestaan uit 'n los mengsel van vermalingsmedia, water en die materiaal wat vermaal moet word. Afhangende van die tipe maalmedium gebruik (Haveman, 1991), beslaan die meullading ongeveer 30 – 50 % van die meulvolume (Figuur 3.7). Die volume van die vermalingsmedia is groot, hard en swaar in vergelyking met die van die erts wat vermaal moet word, maar klein in vergelyking met die meulvolume (Wills, 1988).

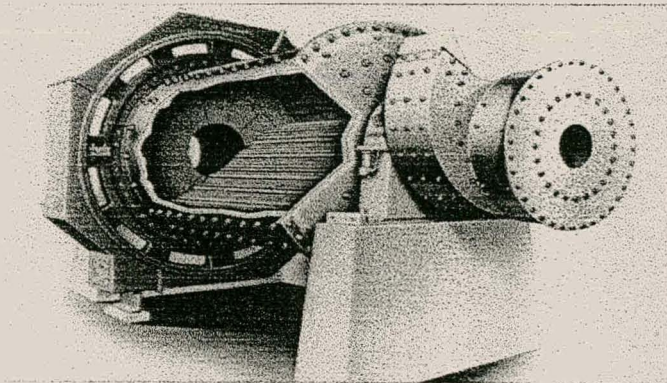
Vermaling geskied in die algemeen in die nattoestand. Water word toegevoeg in die toevoer om 'n pulp met 'n vastestofinhoud van ongeveer 60 persent (volume) te vorm (Haveman, 1991). Water verlaag die oppervlak energie van partikels en daarom word nat partikels makliker gebreek. Droë vermaling word minder algemeen gebruik en slegs indien die konsentrasieprosesse verder stroomaf op droë materiaal uitgevoer moet word (Woollecott et al., 1994).

As gevolg van die rotasie en wrywing wat die meulwand ondervind, word die meullading saam met die stygende meulwand opgelig tot op 'n posisie waar dinamiese ewewig bereik word (Wills, 1988). Die posisie van dinamiese ewewig is ook die posisie waar die meullading maksimum potensiële energie besit (Figuur 3.10). Die meullading breek weg van die meulwand en vorm 'n kaskade of paraboliese beweging na die oorspronklike posisie (impakgebied) vanwaar die meullading begin styg het. Impakgebied is die posisie waar die meullading maksimum kinetiese energie besit en dus al die erts in die pad verpoeier.

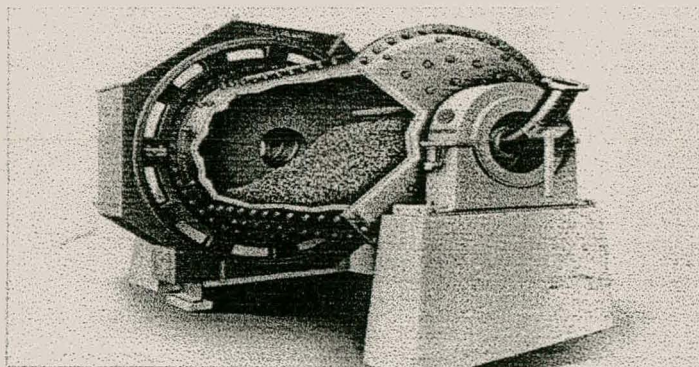
Die meullading digtheid is 'n funksie van die pakkingsdigtheid van die maalmedium. Die erts beweeg deur die tussenruimtes van die maalmedium deur die meule. Homogene maalmedium samestelling het



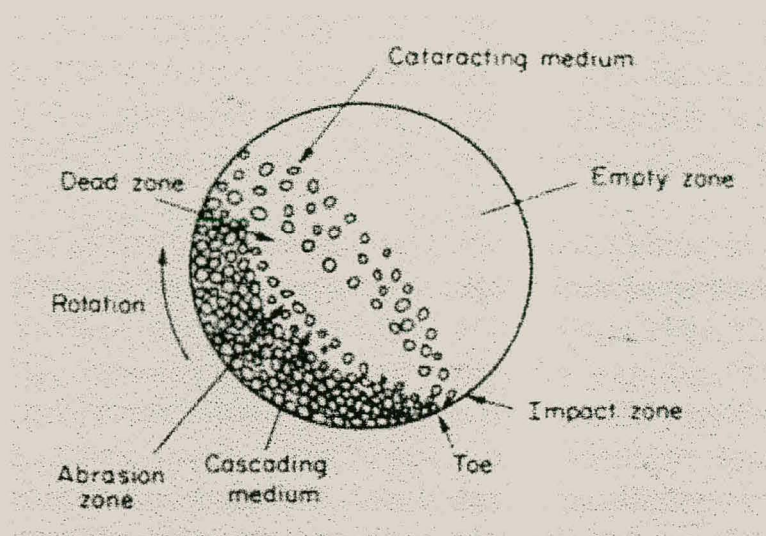
Figuur 3.7: Tuimel Meule (Wills, 1988).



Figuur 3.8: Staafmeule (Woollacott et al., 1994).



Figuur 3.9: Balmeule (Woollacott et al., 1994).



Figuur 3.10: Beweging van meullading in tuimel meulens (Wills, 1988).

meer tussenruimtes as heterogene maalmedium samestelling. Die retensietyd (sien vergelyking 7) van 'n partikel deur 'n meule met 'n homogene maalmedium samestelling is langer as die retensietyd van 'n partikel deur 'n meule met 'n heterogene maalmedium samestelling. Indien die retensietyd van 'n heterogene maalmedium meule aangepas word na dieselfde as vir 'n homogene meulmedium sal dit fyner maal as 'n homogene maalmedium meule. Die pakingsdigtheid is dus nie afhanklik van die top grootte van die maalmedium nie, maar wel die grootte distribusie daarvan.

$$\text{Retensietyd} = \frac{\text{Volume van tussenruimtes}}{\text{Volume vloeitempo}} \quad (7)$$

Die verskillende meules word van mekaar onderskei rondom die spesifieke maalmedium wat gebruik word. Byvoorbeeld vir 'n balmeule word daar dus staalballe of keramiekballe gebruik.

3.6.1.1 Staafmeule

Staafmeules is in staat om toevoergroottes van ongeveer 50 mm, afhange van die hardheid van die materiaal, te ontvang en af te breek tot groottes van 420µm vanaf 4mm (Anon).

Die stawe in 'n staafmeule (Figuur 3.8) is in lynkontak met mekaar. Die groot partikels van die toevoermateriaal sprei die stawe weg van mekaar. 'n Skêr beweging word veroorsaak wat lei dat groot partikels eerste gebreek word. Hierdie skêr beweging minimiseer die produksie van fyn materiaal wat tot gevolg het dat 'n baie nouer grootte-distribusie verkry kan word (Anon).

In die praktyk is gevind dat staafmeule-ontwerp aan sekere beperkinge moet voldoen. Die verhouding van die meule lengte tot meule diameter moet nie minder wees as 1.2 : 1 nie. Die spoed waarteen die meule bedryf word moet beperk word tot maksimum 70 % van die kritieke meulespoed (Anon).

Die kritieke meulespoed van 'n meule is die laagste omwenteling per minuut (opm) wat sal veroorsaak dat 'n oneindige klein partikel op die meulewand sentrifugeer. Die kritieke meulespoed word deur vergelyking (8) uitgedruk (Anon).

$$\text{Kritieke Meulespoed (in opm)} = \frac{42,3}{\sqrt{D - d}} \quad (8)$$

Waar D die interne diameter van die meule in meter en d die voorwerp diameter in meter is.

Vir 'n staafmeule moet die meulladingsvolume tussen 30 % - 40 % (Haveman, 1991) wees in vergelyking met die meulladingsvolume vir die balmeule wat tussen 40 % - 50 % moet wees. Die rede hiervoor kan toegeskryf word aan die digter pakkingsfaktor van stawe in vergelyking met die van balle.

3.6.1.2 Balmeule

Om 'n meule te identifiseer as 'n balmeule moet meer as 10% van die lading staal balle wees (Haveman, 1991).

Balmeule word normaalweg gebruik om fyn materiaal, tot so fyn as 10 μm , te produseer. Die algemene reël vir toevoergrootte van erts tot 'n balmeule is dat vir harde materiaal, ongeveer 80 % van die toevoer moet kleiner wees as 6,7 mm en vir sagte materiaal moet 80 % van die toevoer kleiner wees as 26,7 mm (Anon).

Vermaling in die balmeule berus op die beginsel van punt tot punt kontak tussen die balle en die toevoermateriaal (Anon). Dit wil sê dat die balmeule nie eerste die groot partikels afbreek nie omdat dit nie kan onderskei tussen groot en klein partikels nie (Figuur 3.9). Die partikel waarop die bal en/of ander groot ertspartikel inval, word gebreek.

Die spoed waarteen 'n balmeule bedryf moet word is tussen 65 % en 75 % van die kritieke meulespoed (Anon).

3.6.2 Vertikale roerbalmeule

Die vertikale roerbalmeule (Figuur 3.11) is 'n ongewone vermalingsstelsel wat spesifiek vir fyn vermalings toepassings geskik is (Engineering and Mining Journal, 1991).

Die materiaal word afgebreek deurdat dit afgeskuur word in 'n vasstaande vertikale silindriese vermalingskamer wat opgevul is met 'n kolom vermalingsballe. Die roterende beweging van die skroef roer die balle binne die meule. Die meule word van bo af gevoer en die partikels beweeg af tussen die ballading deur en teen die opwaartse vloei van die water. Die groter diepte van die ballading, wat verkry word met die spesifieke meule in vergelyking met die ekwivalente balmeule, gee aanleiding tot groter bal tot bal drukking (Engineering and Mining Journal, 1991).

In die algemeen het die vertikale roerbal meule die volgende voordele bo die konvensionele tuimelmeule:

- Laer installeringskoste;
- Laer bedryfskoste;
- Hoër energie effektiwiteit;
- Minder vloerspasie;
- Minder oorvermaling.

Die vertikale roerbal meule kan slegs as sekondêre vermalings stadia toepassing vind, soos in die geval by Foskor, Phalaborwa (Privaat kommunikasie). Hierdie tipe vermalingsstelsel is egter nie geskik vir die doel van hierdie verhandeling, wat spesifiek die vorming van die fyn fraksie wil uitskakel, nie.

3.6.3 Loesche meule

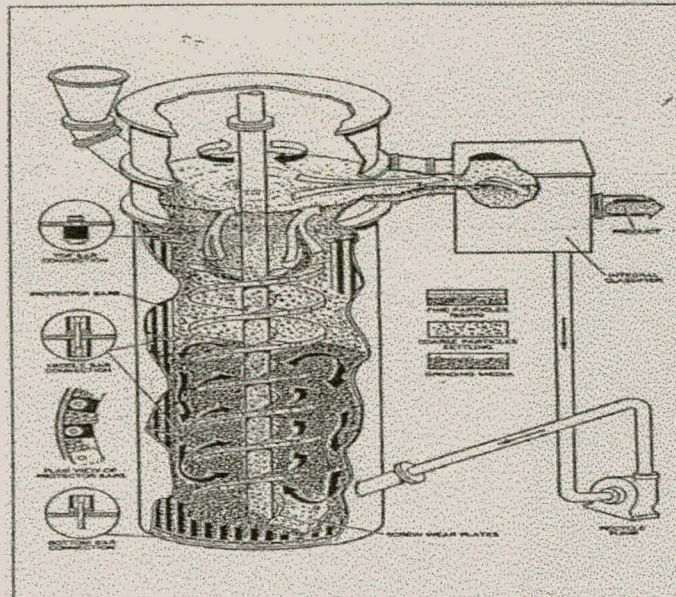
Hierdie meule is al vanaf 1981 in die mark beskikbaar. Die ontwerp kan gesien word in Figuur 3.12 (Loesche, 1994).

Die meule bestaan uit 'n roterende tafel en die materiaal word toegevoer op die middel van die tafel. Sentrifugalekragte veroorsaak dat die materiaal na die rand van die tafel vloei waar dit deur 'n stel rollers gaan. Druk word op die roller veroorsaak deur 'n hidroliese sisteem. Die rollers druk die materiaal in 'n kompakte bed materiaal. Nadat die materiaal onderdeur die rollers beweeg het val dit in 'n lugstroom en word deur hierdie lugstroom gedra na 'n interne klassifiseerder. Die growwe partikels word teruggevoer na die roterende tafel en die fyn materiaal word onttrek (Loesche, 1994).

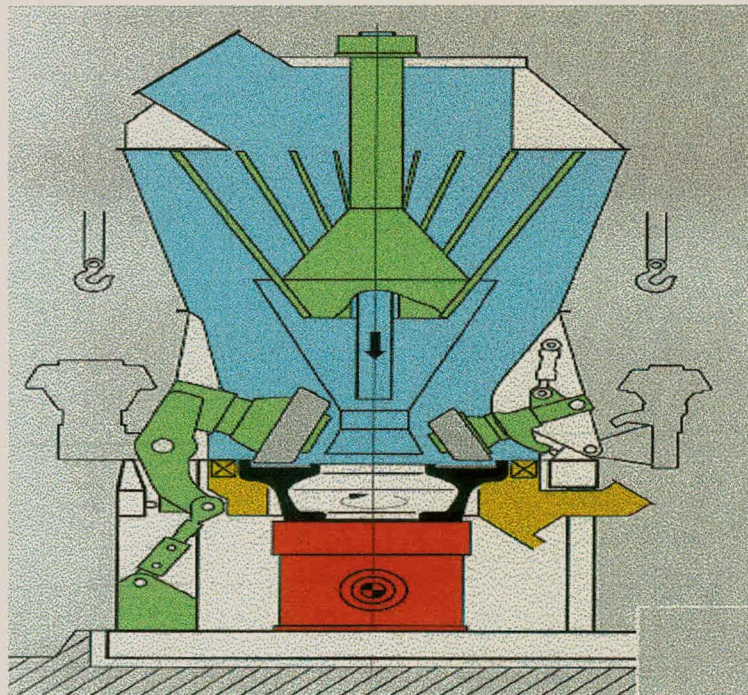
Die Loesche meule lewer 'n baie nou grootteverspreiding in vergelyking met van die ander tipes meules. Tot op datum het hierdie tipe van meule hoofsaaklik toepassing gevind in die vermaling van sagte materiale soos byvoorbeeld sement en steenkool. Foskor, Phalaborwa, is besig met toetswerk op hul piroxeniet-erts met die betrokke meule.

3.7 MONSTERNEMING

Monsterneming is van kardinale belang in alle effektiewe aanlegte of prosesse. Die essensiële vereiste vir goeie beheer van 'n sisteem word toegeskryf aan effektiewe en verteenwoordigende monsterneming (Wills, 1988).



Figuur 3.11: Vertikale roerbal meule



Figuur 3.12: Loesche meule

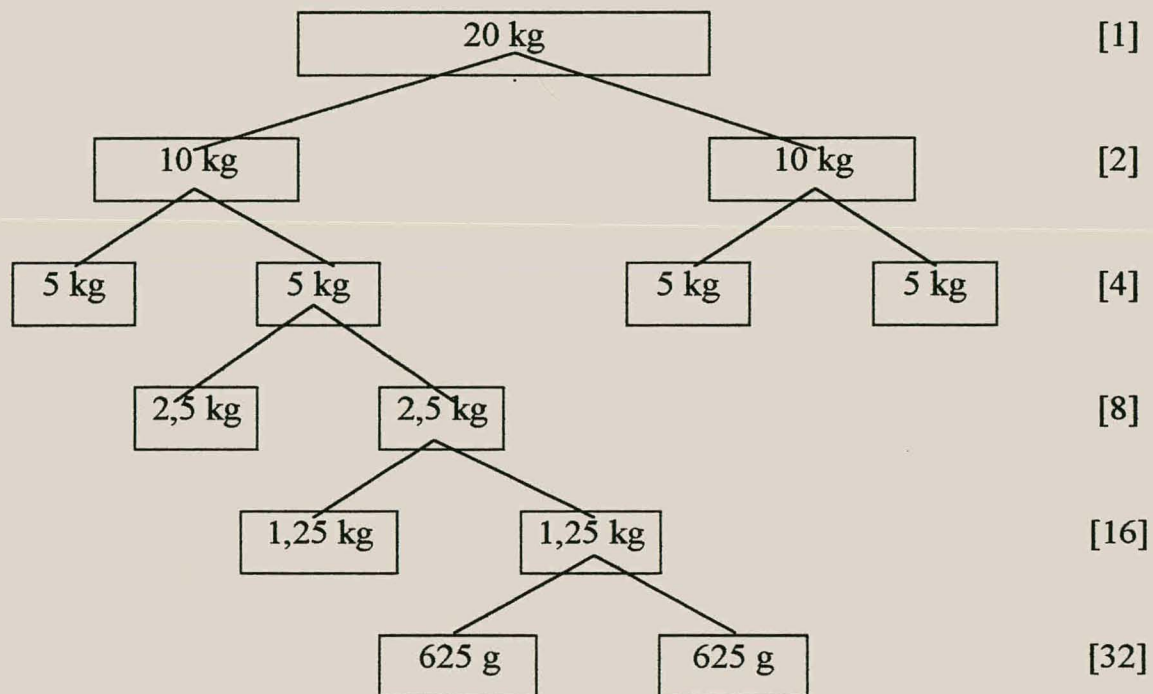
'n Verskeidenheid metodes vir monsterneming is beskikbaar soos beskryf in Gy se riglyne oor monsterneming (Gy, 1979).

3.8 MONSTERVERDELING

Monsterverdeling kan met behulp van 'n Jones Gleufdeler gedoen word. 'n Jones Gleufdeler is 'n nie-meganiese monsterverdeler (Figuur 3.13). Die Jones gleufverdeler is 'n oop V-vormige raamwerktrug waarin 'n reeks glygleuwe, reghoekig tot die langas en teen 'n hoek van maksimum 30° tot die kortas vasgeheg is, om 'n reeks gleuwe met dieselfde oppervlakte te gee. Hierdie gleuwe voer alternatiewelik twee bakke aan weerskante van die trog (Wills, 1988). 'n Laboratoriummonster word oor die trog gestrooi en word deur die gleuwe in twee identiese monsters verdeel. Hierdie metode van verdeling word herhaal totdat 'n verlangde monsterhoeveelheid verkry word. Figuur 3.14 is 'n vloiediagram om die stappe in die verdeling van 'n monster van byvoorbeeld 20 kg te illustreer.



Figuur 3.13: Diagrammatiese voorstelling van die Jones Gleufdeler (Wills, 1988)



Figuur 3.14: 'n Vloedidiagram om die stappe in die verdeling van 'n monster van 20 kg te illustreer.

3.9 PARTIKELGROOTTEVERDELING

Sifanalises (Wills, 1988) word deurlopend in die mineraalnywerheid uitgevoer met die doel om beheer uit te oefen oor die afbrekingsproses sodat:

- ondergrootte partikels wat na die brekertoerusting gevoer word moet beperk word om sodoende die kapasiteit en effektiwiteit van die toerusting te verhoog;
- oorgrootte partikels wat na die volgende stadium van 'n geslote sisteem van fyn afbreking of vermalingsproses gevoer word, moet beperk word;
- 'n beheerde toevoergrootte na sekere gravitasie konsentrasieprosesse gelei kan word;
- 'n beheerde finale produk-grootte gelewer kan word.

Laboratoriumskaal grootteverdelingstoetse daarenteen word onderneem om:

- komminusietoerusting te spesifiseer;
- te bepaal of 'n spesifieke grootteverspreiding bereik kan word deur middel van 'n spesifieke komminusieproses;
- te bepaal in welke fraksies vrystelling van die ertsmineraal bereik word, om sodoende die partikel oorgrootte tot sekere konsentrasieprosesse te bepaal.

Die reeks standaard laboratoriumsiwwe wat vir 'n sifanalise aangewend word beslaan 'n reeks siwwe ($D = 200\text{mm}$) met 'n vierkantsopening verskil van $\sqrt{2}$ (Taylor - reeks), met die basissif gebaseer op die 200 maas openingsgrootte ($74,2 \mu\text{m} \cong 75 \mu\text{m}$).

'n Sifanalise, wat byvoorbeeld die grootteverspreiding van 'n afgebreekte of vermaalde produk weergee, bestaan uit 'n lys van materiaal massapersentasies deur elke sif of materiaal massapersentasies wat agtergebly het op elke sif in die reeks.

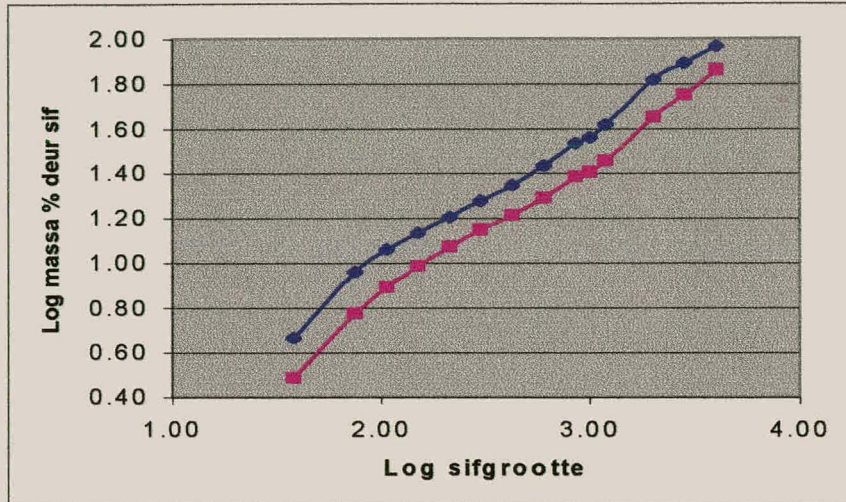
'n Grootteverspreidingsanalise van afgebreekte of vermaalde produkte word algemeen gestip op log-log grafiekpapier (Figuur 3.15) met die y-rigting as die massapersentasie materiaal wat deur 'n sif beweeg het en die x-rigting as die partikeldiameter (sifgrootte) in mikrometer (Woollacott et al., 1994).

Aan die begin en einde van 'n verbrekings- of vermalingsiklus word 'n verteenwoordigende monster van die materiaal, wat getoets word, met die spesifieke sifreeks gesif (Wills, 1988). Die massa van die materiaal wat agterbly op elke sif word bepaal en verwerk sodat dit op die log-log grafiek gestip kan word.

Tydens laboratoriumtoetswerk word daar oor die algemeen hoofsaaklik droog gesif, afhangende van die resultate wat verlang word. Die nadeel van droogsifting is dat baie van die fyn partikels om die growwe partikels saamkoek (agglomerer) en dus verhinder dat die fyn materiaal deurgelaat word na die fyner fraksie. Droogsifanalises gee dus net 'n algemene aanduiding van die grootteverspreiding en nie 'n eksakte grootteverspreiding nie.

Vir die doel van hierdie navorsingsprojek word daar hoofsaaklik klem gelê op die fyn fraksie ($-38\mu\text{m}$) van die ilmenieterts en gevolglik is dit noodsaaklik dat alle partikels in hul werklike groottefraksie moet rapporteer. Deur van natsifsanalise gebruik te maak, word die fyn partikels wat aan die groter partikels agglomereer afgewas en deurgedra na hul werklike groottefraksie. Natsifanalise lewer dus 'n meer eksakte grootteverspreiding as droogsifanalise.

Daar was die afgelope dekade weinige ontwikkeling op die gebied van nat-sifanalise tegnieke in vergelyking met droogsifanalise tegnieke. Die enigste effektiewe natsiftegniek wat algemeen in gebruik geneem is, is die sogenaamde kaskadesiftegniek (Figuur 3.16). Hierdie tegniek maak ook gebruik van standaard 200 mm deursneë laboratoriumsiwwe, soos algemeen in gebruik vir droogsifting. Die effektiwiteit van die kaskadesiftegniek berus op die feit, dat water differensiëel tot elke sif toegevoer kan word. Die differensiële voer van water tot 'n spesifieke sif is baie belangrik omrede die spesifieke oppervlakte van partikels toeneem met 'n afname in partikelgrootte. Dit wil sê dat die spesifieke oppervlakte van 'n partikel toeneem, terwyl die oppervlakte van die sifopening konstant bly. Dit het tot gevolg dat die waarskynlikheid van deurval van die klein partikels by hul spesifieke fraksiegrootte (bv. $75\mu\text{m}$) laer is as die waarskynlikheid van deurval van die groter partikels by hul fraksiegrootte. Om die waarskynlikheid van deurval van die klein partikels te verhoog moet daar meer water tot 'n spesifieke siffraksie gevoer word. Met die kaskadesiftegniek is so 'n differensiële voer van water moontlik wat dit tans die effektiefste natsiftingstegniek maak.



Figuur 3.15: Grafiese voorstelling van sifanalisedata



Figuur 3.16: Kaskade sifing

3.10 SKUIMFLOTTASIE

In skuimflottasie word die konsentrasie van 'n mineraal bewerkstellig deur gebruik te maak van die verskil in oppervlakeienskappe van die mineraal wat geskei moet word (Woollacott et al., 1994). Die oppervlakeienskappe van partikels is eie aan 'n spesifieke mineraal, aangesien dit bepaal word deur die chemiese samestelling en tipes chemiese bindings van die spesifieke mineraal. Hierdie eienskappe is uniek vir elke mineraal en daarom kan 'n baie selektiewe konsentrasie van minerale met behulp van skuimflottasie verkry word.

Konsentrasie van 'n mineraal deur middel van skuimflottasie word bewerkstellig in 'n geroerde bad pulp, waartoe lugborrels en 'n verskeidenheid chemikalieë toegevoeg word. Hierdie tegniek word so opgestel met die doel om vashegting van 'n spesifieke mineraalpartikel aan 'n lugborrel te bewerkstellig (Woollacott et al., 1994). Hierdie vashegting geskied deur die byvoeging van chemikalieë wat 'n versamelings- en aktiveringsoppervlakeienskap aan die spesifieke mineraalpartikel, wat gekonsentreer moet word, toevoeg. Die partikeloppervlak word dus hidrofobies gemaak, wat beteken dat dit eerder met lug sal bind as met die water. Hierdie partikel sal gevolglik aan 'n lugborrel adsorbeer en na die oppervlak van die pulp sweef, waardeur skeiding tussen die partikels wat adsorbeer en dié wat nie vasgeheg het aan 'n lugborrel nie kan plaasvind. Die proses is voltooi wanneer die lugborrels 'n stabiele skuim, op die oppervlak van die pulp, vorm. Hierdie stabiele skuim word bewerkstellig deur die byvoeging van 'n skuummiddel aan die begin van die proses. Die skuim word deurlopend afgeskraap wat dan die flottasiekonsentraat vorm. Partikels wat nie vasgeheg het aan die lugborrels nie vloei uit die flottasiesel uit en vorm die flottasieuitskot.

Uit die skeidingsmeganisme van flottasie is dit duidelik dat die partikelgrootte 'n baie belangrike invloed op hierdie konsentrasieproses het. 'n Partikel moet voldoende klein wees sodat die oppervlakspanningskragte wat die partikel vasheg aan die lugborrel groter is as gravitasiekrag wat afwaarts op die partikel inwerk (Woollacott et al., 1994). Indien die gravitasiekrag groter is as die oppervlakspanningskrag sal die partikel losbreek van die lugborrel en dus nie in die skuim produk rapporteer nie. Die maksimum toelaatbare partikelgrootte vir effektiewe skuimflottasie is ongeveer 500 μm (0,5 mm).

3.11 MAGNETIESE SKEIDING VAN MATERIAAL

Magnetiese skeiding berus op die relatiewe verskille in magnetiese vatbaarheid van die minerale in 'n erts (Woollacott et al. 1994),

Die totale elektriese lading asook die magnetiese moment (of spin) van die elektrone in 'n kristal is verantwoordelik vir die magnetiese eienskappe van materiale. In die meeste materiale is die interaksie tussen die magnetiese moment van die elektrone van so 'n aard dat die netto magnetisme in die afwesigheid van 'n eksterne magneetveld nul is. 'n Uitsondering hierop is egter materiale soos veral yster, nikkell en kobalt en hul verbindings. In hierdie materiale kom daar 'n parallelle oriëntasie van momente voor sodat daar 'n permanente magneetveld ontstaan, selfs in die afwesigheid van 'n eksterne magneetveld. Hierdie verskynsel word ferromagnetisme genoem (Woollacott et al., 1994).

Die magnetiese vatbaarheid (χ) van minerale is die eienskap wat ter sprake is by mineraalskeidingsprosesse. Dit word gegee deur vergelyking (9) (Hopstock, 1985).

$$\chi = M / H \quad (9)$$

M is die geïnduseerde magnetisme en H is die magnetiese veld.

Magnetisme is omtrent altyd 'n anisotropiese eienskap sodat die magnetiese vatbaarheid van 'n kristal afhanklik is van sy oriëntasie ten opsigte van die magnetiese veld. Yster in viervoudige en sesvoudige koördinasie in die spinelstruktuur (magnetiet, ïlvospinel) besit teenoorgestelde spin. Magnetiet, wat hoogs magneties is omrede daar dubbel soveel yster atome in sesvoudige koördinasie as in die viervoudige koördinasie is, kan deur 'n swak magneet aangetrek word. Suiwer ilmeniet, daarenteen, is diamagneties by kamertemperatuur, maar natuurlike ilmeniet toon 'n wye variasie in magnetiese eienskappe, as gevolg van 'n variasie in samestellings. Hematiet besit paramagnetiese eienskappe, maar die magnetiese vatbaarheid van natuurlike hematiet, wat insluitsels van magnetiet of ilmeniet bevat, verskil beduidend van dié van vry hematiet.

In die geval van die titaanhoudende magnetieterts van die Rooiwater Kompleks wissel die relatiewe magnetiese vatbaarheid van die betrokke minerale (met gedeë yster as 100 geneem) soos in Tabel 3.2 uiteengesit:

In die praktyk blyk dit ook dat die magnetiese aantrekkingskrag van magnetiet relatief tot dié van yster (40,2 %) amper dubbel so hoog is as dié van ilmeniet relatief tot dié van yster (24,7 %). Dit is dus voordelig om twee stadiums van magnetiese skeiding te gebruik vir veredeling van titaanhoudende magnetieterts, naamlik:

- Nat lae-intensiteitmagneetskeiding (NLIMS) om magnetiet apart te konsentreer. Indien die magnetiet nie vooraf uit die proses onttrek

Tabel 3.2: Magnetiese susseptibiliteite van minerale van die Rooiwater Kompleks. (Davis, 1987)

Mineraal	Relatiewe susseptibiliteit
Gedeë yster	100
Magnetiet	40
Ilmeniet	25
Hematiet	1
Kwarts en andere	< 1

word nie, sal dit die matrys van die daaropvolgende hoë-intensiteit magnetiese skeier verstop.

- Nat hoë-intensiteitmagneetskeiding (NHIMS) om ilmeniet te konsentreer.

Partikelgrootte speel geen rol tydens die droë lae-intensiteitmagneetskeiding-proses nie en daarom kan 'n toevoer met 'n wye grootteverspreiding hanteer word (Kelly and Spottiswood, 1982). In nat hoë-intensiteitmagneetskeiers speel die grootteverspreiding van partikels egter 'n belangrike rol. Indien die partikel te groot is, is die gravitasiekrag op die partikel groter as die magnetiese-aanterkkingskrag en daarom word die partikel nie aangetrek nie. Fyn partikels ondervind 'n groter hidrodinamiese weerstandskrag as magnetiese-aantrekkingskrag en daarom word die fyn partikels nie aangetrek tydens nat hoë-intensiteitmagneetskeidingsprosesse nie (Kelly and Spottiswood, 1982).

3.12 MINERALOGIESE ONDERSOEKE

3.12.1 Mikroskopie

Die sukses van betrokke vermalingsstoerusting in die veredelingsproses word bepaal deur die konsentring van die verlangde mineraal in 'n spesifieke fraksie.

Die mikroskopiese analises is op veredeling produkte deur die mineralogiese groep, Itec, van Iscor onder leiding van L. Dearlove gedoen, waardeur die doeltreffendheid van skeiding gekwantifiseer is.

Invallende-ligmikroskopie is gebruik om die onderlinge verhouding van die ertsminerale en aarsteen te ondersoek. Punttellings op poleerstukke van monsters, verteenwoordigend van elke stadium in die veredeling is gedoen om prosesdoeltreffendheid kwantitatief te analiseer. Vrstellingseienskappe, dit is die wyse van voorkoms van ertsminerale ten opsigte van mekaar en rifsteenminerale, is ook ondersoek (Dearlove, 1996).

Omdat dit nie moontlik is om die hele area van 'n monster met punttelling te meet nie, beteken dit dat die monsteroppervlak op sy beurt weer statisties geëvalueer word. Volgens hierdie tegniek word slegs die mineraalkorrels getel wat by die interseksies van 'n toepaslike roosterpatroon voorkom. Die interseksie met die mikroskoop se kruishare kan as so 'n punt dien. 'n Patroon vir die telling word verkry deur die monsterplatform deur vaste afstande in die x-rigting te beweeg sodat 'n volle lyn op die monster so gedek is, en dan deur eweredige afstande in die y-rigting te beweeg. Die roosterpatroon moet oor die hele oppervlak van die monster versprei wees, sodat die

puntwaarnemings as verteenwoordigend van die monster beskou kan word. 'n Elektromeganiese puntteller word gebruik om die waarnemings te stoor (Dearlove, 1996).

Die resultate is uitgedruk as persentasie per volume van 'n spesifieke partikel verteenwoordig, dus:

$$V_A = P_A / P_T \times 100 \quad (10)$$

V_A is die persentasie per volume van partikel A, P_A is die hoeveelheid gemete punte van partikel A en P_T is die totale gemete punte (Jones, 1987).

Die aanvaarbare statistiese fout tydens die punttelling is as die 95% vertrouensinterval geneem. Die aantal punte (N) wat getel moet word om 'n statistiese betroubare antwoord te verkry is deur die volgende formule bepaal:

$$N = 4q / pE^2 \quad (11)$$

met $q = (1 - p)$

Waar p die proporsie van die geselekteerde mineraal en E die gespesifiseerde relatiewe fout op p is (Jones, 1987).

Hierdie wyse, en met inagnome van die tydfaktor, is 500 punte as eksperimenteel aanvaarbare aantal punte wat getel moet word bepaal om 'n statistiese betroubare resultaat teen realistiese koste te verkry.

3.12.1 X - STRAALDIFFRAKSIE

Die X-straaldiffraksie analyses is as geheel deur die geologiese groep van Iscor onder leiding van L. Dearlove gedoen.

Die mineralogiese samestellings van die monsters is ook met behulp van X-straaldiffraksie-analises bepaal. Die analyses is met 'n SIEMENS KRISTALLOFLEX 810 apparaat gedoen (Dearlove, 1996).

Diffraksie AT-programmatuur, wat op die INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA (ICDD) diffraksiedatalêer gebaseer is, is gebruik vir interpretasie van die diffraksiepatrone. Die lêer bevat vir elke patroon die d-spasiërings van die diffraksielyne en die relatiewe intensiteite van elke lyn, met die sterkste lyn se intensiteit as 100 geneem. 'n Onbekende patroon word geïdentifiseer deur die diffraksielyne in die patroon sistematies te vergelyk met die van 'n samestelling in die datalêer. Die lyne moet dan in spasiëring en relatiewe intensiteite ooreenstem vir positiewe identifikasie. Wanneer 'n heterogene monster geanaliseer word, produseer alle minerale gelyktydig hul individuele patrone. Verskeie faktore kan die intensiteit van 'n diffraksielyn beïnvloed, soos die oriëntasie en grootte van 'n kristal en oorvleueling van lyne. Die voorkeurorientasie van byvoorbeeld chloriet (laagstruktuur) veroorsaak dat die twee sterkste diffraksielyne willekeurig as die sterkste en tweede sterkste lyne kan voorkom, beperk dit die waarskynlikheid dat daardie mineraal waargeneem sal word. Vir die minerale wat as mengreekse voorkom, soos amfibole, piroksene en veldspate, is slegs die mineraalgroepe deur X-straaldiffraksie-analises geïdentifiseer aangesien die wye variasies in chemiese samestelling veroorsaak dat die diffraksiepatroon nie presies gepas kan word nie (Dearlove, 1996).

'n Fluoresensie-effek is ondervind tydens analisering van ysterdraende minerale met die koperbuis. Aangesien koper 'n korter golflengte en dus hoë energie besit, is dit in staat om die elektrone van die ysterminerale wat bestraal word uit hulle orbitale te verplaas. As 'n resultaat van die energiewisseling wat hiermee gepaard gaan en die uitstraal van 'n gedeelte van die X-strale, word die bestraalde materiaal self 'n bron van X-strale. Hierdie neiging word X-straalfluoresensie genoem en veroorsaak 'n bron van X-strale. Hierdie neiging word X-straalfluoresensie genoem en veroorsaak 'n toename in agtergrond van die diffraksiepatroon en die gevolglike onderdrukking van sekere pieke. Gevolglik is dit nie moontlik om kwantitatiewe interpretasies van die diffraksiepatrone te maak nie. Teoreties sou die gebruik van byvoorbeeld 'n kobaltbuis as anode meer wenslik wees. Onderzoek is ingestel na die omvang van die fluoresensie-effek deur 'n aantal monsters alternatiewelik met koper- en kobaltanodes te analiseer. Daar is gevind dat die fluoresensie-effek vir die doel van kwalitatiewe analises weglaatbaar is (Dearlove, 1996).

3.13 CHEMIESE ANALISES

Chemiese analises van die monsters as geheel is met X-straalfluoresensie-spektrometrie deur die analitiese chemiegroep van Iscor onder leiding van Dr. F.M.M. O'Neill uitgevoer. Gelyktydige multi-elementanalises word met hierdie metode gedoen en het die voordeel dat 'n groot aantal monsters aaneenlopend hanteer kan word. Die toegepaste spanning tussen die anode en wolframgloeddraad is 50 kV en die wolfram word verhit deur 'n stroom van 40 mA. Rodium is as anode gebruik om die primêre X-straalpektrum op te wek. 'n Bepaalde golflengte, wat kenmerkend is vir elke element, word deur middel van analiseringskristalle uitgesonder vir kwantitatiewe bepaling van die element. Die instrument is gekalibreer deur 'n kromme vir elke

element saam te stel met behulp van standaardmateriale. Daar is vir die volgende geanaliseer:

Fe, SiO₂, Al₂O₃, K₂O, P, Mn, TiO₂, CaO, MgO, Cr₂O₃, V₂O₅.

Vir die doel van hierdie studie is die Fe en TiO₂ inhoud in elke fraksie van besondere belang.

Fe, Mn en P word, deur die programmatuur wat gebruik word, as elemente uitgedruk en nie as oksiede nie. Die waardes kan deur die faktore in Tabel 3.3 in oksiedfases omgeskakel word:

Tabel 3.3: Omskakeling van elemente na oksied

Element	Faktor	Oksied
Fe	1,2865	FeO
Fe	1,4297	Fe ₂ O ₃
Fe	1,383	Fe ₃ O ₄
Mn	1,29123	MnO
P	2,2913	P ₂ O ₅

HOOFSTUK 4 KOMMINUSIETOETSE

4.1 MONSTERNEMING

Boorkernmonsters (ontleen van geologiese eksplorasieboorkernlys) afkomstig vanaf dieselfde dieptes van segmente 631 en 811 was beskikbaar. Hierdie boorkernmonsters was reeds deur middel van kake- en koniese-brekers afgebreek na 'n partikelgrootte van ongeveer 4 mm.

'n Saamgestelde monster is vir elke segment opgemaak, deur min of meer dieselfde hoeveelheid materiaal vanaf elke diepte saam te voeg tot een groot monster. Die saamgestelde monsters, vir die toepaslike dieptes van die twee segmente word soos volg in Tabel 4.1 uiteengesit.

Tabel 4.1: Saamgestelde monsters.

Segment	Boorgat	Diepte(m)
631	FS21	67.00 - 75.00
811	FS3	69.00 - 75.40 m

Die massasamestelling van die saamgestelde monsters van segmente 631 en segment 811 word in Tabel 4.2 opgesom.

Tabel 4.2: Massasamestelling van saamgestelde monster van segmente 631 en 811.

Boorgatdiepte in meter	Segment 631 Materiaal Massa (g)	Segment 811 Materiaal Massa (g)
67,00	4 317	
69,00	4 333	6 546
71,00	3 929	6 147
73,00	4 985	4 536
75,00	4 196	
75,40		6 841
Totaal	21 760	24 070

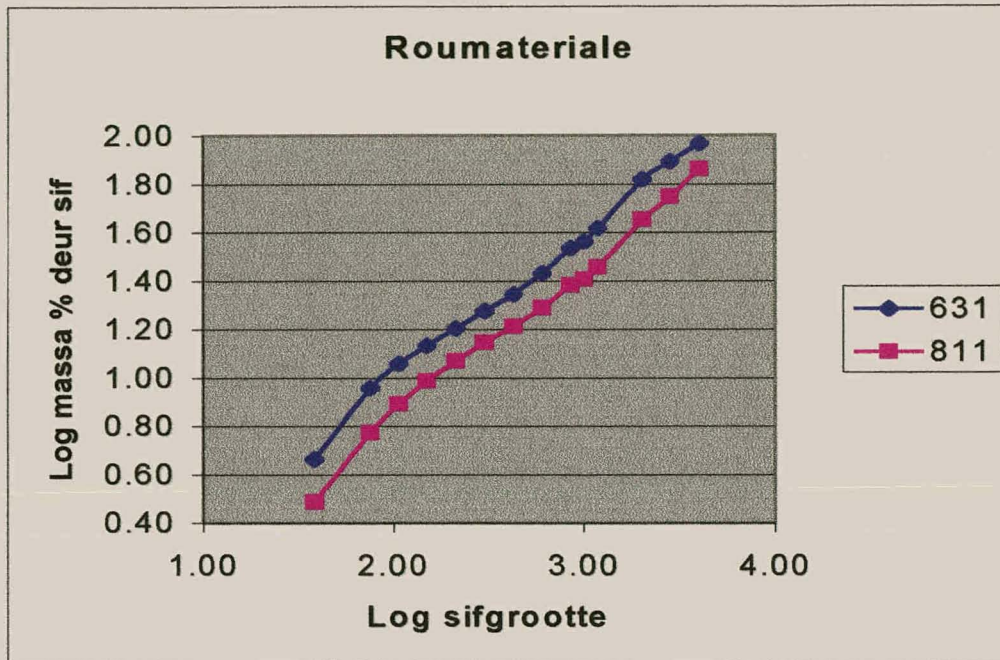
4.2 MONSTERVERDELING

Die saamgestelde monsters se totale massas is deur middel van 'n Jones Gleufdeler verminder tot ongeveer 20 kg elk. Die 20 kg monsters is verder verdeel met behulp van die Jones Gleufdeler in 32 monsters van ongeveer 600g elk (Figuur 3.14). Hierdie verteenwoordigende monsters is vir verdere ondersoek gebruik.

4.3 GRONDSTOWWE

'n Nat-sifanalise is met behulp van die kaskade-sifingstegniek op die verkrygte monsters uitgevoer. Die resultate word in Aanhangsel A

opgesom. In figuur 4.1 word 'n grafiese voorstelling van die data getoon.



Figuur 4.1: Grafiese voorstelling van die sifanalise van grondstowwe.

Vanuit Figuur 4.1 is dit duidelik dat die materiaal van segment 631 fyner is as dié van segment 811. Dit kan toegeskryf word daaraan dat die materiaal in segment 811 'n laer krummelbaarheid het as die materiaal in segment 631. Jonck (1994) toon dat die maalbaarheid van segment 811 materiaal 'n energieindeks van 12,11 kilo watt uur per ton, (kWh/t), en vir segment 631 'n energie-indeks van 10,76 (kWh/t) benodig. Hierdie verskil in maalbaarheid kan toegeskryf word daaraan dat segment 811 materiaal 'n hoër magnetietinhoud het as dié van segment 631 bevat en dus "harder" is as dié van segment 631. Dit is dus belangrik om daarop te let dat die materiaal van die twee segmente nie saam vermaal kan word nie, en dus elk afsonderlik gehanteer moet word.

Die grondstowwe het reeds voor enige verdere behandeling alreeds beduidende hoeveelhede van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie bevat, naamlik 4,6 % in segment 631 materiaal en 3,1 % in dié van segment 811 (Aanhangsel A). Gedurende die primêre en sekondêre brekingsprosesse word daar dus reeds van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie gevorm.

In Aanhangsel B word die chemiese analyses, vir elk van die fraksies, van die monsters uiteengesit. Materiaal van segment 811 toon 'n ysterinhoud van 40 % en titaaninhoud van 12 % in die $-38 \mu\text{m}$ fraksie. Materiaal van segment 631 toon 'n ysterinhoud van 24,4 % en 'n titaaninhoud van 13,5 % in die $-38 \mu\text{m}$. Die belangrikheid hiervan is dat hierdie fyn titaanhoudende (ilmenietryke) materiaal vasgevang word gedurende die magnetiese skeidingsproses.

4.4 HOEVEELHEID $-38 \mu\text{M}$ GESKEP TYDENS DIE VERSKILLENDE VERMALINGSPROSESSE

Die monsters is aan 'n verskeidenheid vermalingsprosesse onderwerp. Daar is spesifiek gekyk na die heterogene balmeule, heterogene staafmeule en die homogene staafmeule.

4.4.1 Heterogene balmeule

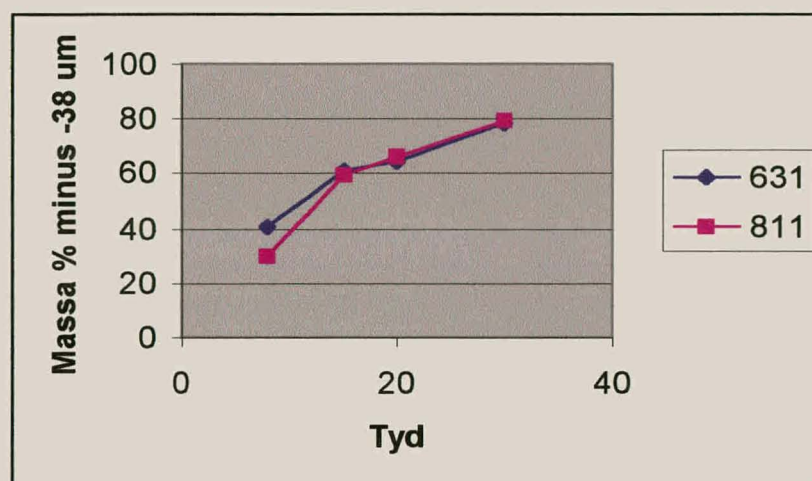
Heterogene balmeultoetswerk is slegs gedoen om as verwysingsraamwerk vir die res van die toetswerk te dien. Die vermalingsberekening wat gedoen is, word in Aanhangsel C uiteengesit.

Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal wat gedurende die maalproses met heterogene balle geskep word, word opgesom in Tabel 4.3 en in Figuur 4.2 word 'n grafiese voorstelling daarvan gegee. Die volledige resultate word in Aanhangsel E uiteengesit.

Tabel 4.3: Hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal geskep gedurende die maalproses met heterogene balle.

Maaltyd in minute	Persentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie in segment 631 materiaal (%)	Persentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie in segment 811 materiaal (%)
8	40,8	29,9
15	61,2	59,2
20	64,4	66,0
30	78,7	79,0

Dit is duidelik uit Tabel 4.3 dat 'n toename in vermalingstyd veroorsaak 'n toename in die $-38 \mu\text{m}$ fraksie. Hierdie toename kan toegeskryf word aan die groter retensietyd van die materiaal in die meule wat daartoe lei dat die materiaal vir 'n langer tyd aan verpoeiëring blootgestel word. 'n Vermalingsstyd van slegs 8 minute verhoog egter die aanvanklike hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ fraksie vanaf 4,6 % na 40,8 % (Tabel 4.3) vir segment 631 materiaal. Die fraksie in segment 811 materiaal verhoog vanaf 3,1 % na 29,8 % (Tabel 4.3) na slegs 8 minute.



Figuur 4.2: Persentasie minus 38 μm gevorm tydens die maalproses met heterogene balle.

Dit is belangrik om voldoende vrystelling van die ertsmateriale te verkry, dit wil sê 100 % minus 150 μm of 80 % minus 106 μm , sodat dit gekonsentreer kan word. Die stelling, 100 % kleiner as 150 μm , is egter nie duidelik gedefinieer nie en daarom word die vrystelling van die materiaal eerder beskou as gelyk aan 80 % kleiner as 106 μm . In Tabel 4.4 word die vrystelling wat verkry is met die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ wat geskep is, vergelyk. Beide 100 % kleiner as 150 μm en 80 % kleiner as 106 μm is ondersoek vir verwysingsdoeleindes.

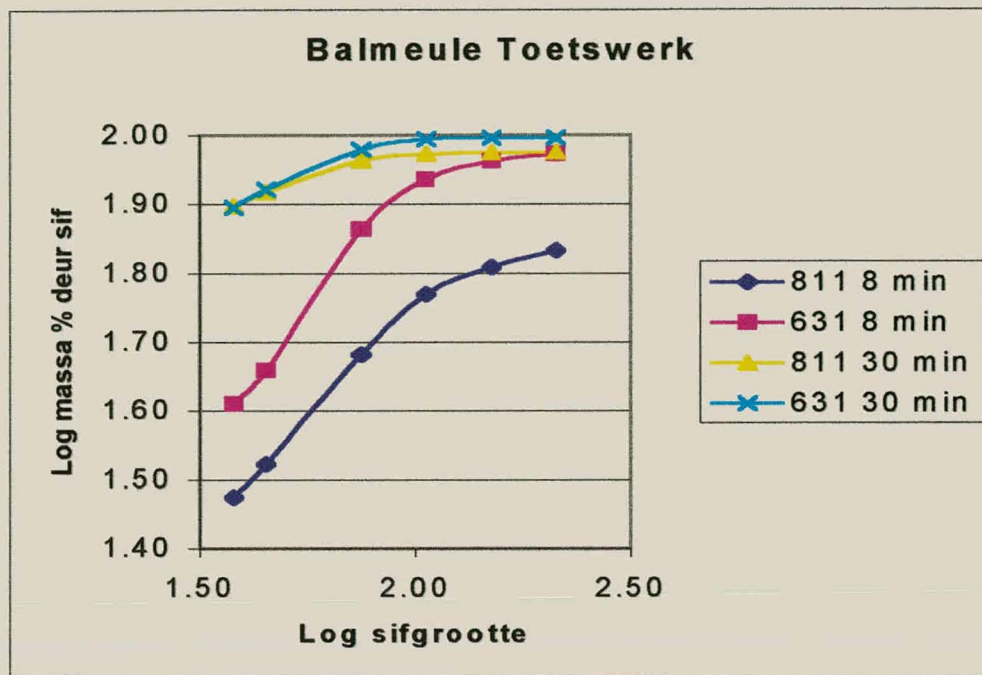
Vanuit Tabel 4.4 en Figuur 4.3 word die verskil in krummelbaarheid tussen die materiale van segmente 811 en 631 duidelik aangetoon. Dit is veral duidelik dat vir 'n vermaling van 8 minute is die materiaal van segment 631 baie fyner is as dié van segment 811. By 'n vermalingstyd van 30 minute is segment 631 materiaal steeds fyner as segment 811 materiaal maar die verskil in fynheid is nie meer so groot nie.

Tabel 4.4 : Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid –38 μm gevorm.

Tyd vermaal in minute	Massa % groter as 150 μm		Massa % groter as 106 μm		Persentasie –38 μm gevorm	
	631	811	631	811	631	811
8	8,2	35,5	5,7	5,6	40,8	29,9
15	1,7	15,0	1,2	2,5	61,2	59,1
20	1,2	9,2	1,6	1,4	64,4	66,0
30	1,0	5,5	0,4	0,6	78,7	79,0

Na 'n vermalings tyd van 8 minute is 80 % van die materiaal van segment 631 kleiner as 106 μm . Die hoeveelheid –38 μm materiaal gevorm tydens 'n vermalings tyd van 8 minute is 40,8 %. Materiaal van segment 811 is egter eers 80 % kleiner as 106 μm na 15 minute se vermaling met 'n –38 μm fraksie produksie van 59,1 %. Dit is belangrik om daarop te let dat tydens vrystelling segment 811 materiaal dus 'n groter persentasie –38 μm fraksie lewer as segment 631 materiaal. Hierdie verskynsel kan toegeskryf word daaraan dat materiaal van segment 811 'n hoër retensie tyd nodig het vir bevryding as dié van segment 631. Materiaal van segment 811 word dus langer aan verpoeiëring onderwerp as dié van segment 631.

Om 100 % kleiner as 150 μm te verkry is 'n vermalings tyd van 30 minute nodig vir segment 631 materiaal. Segment 811 materiaal is egter



Figuur 4.3: Resultate na 8 en 30 minute vermalings van segmente 811 en 631 materiaal.

steeds nie 100 % kleiner as $150\ \mu\text{m}$ tydens 'n vermalingsyd van 30 minute nie. Die hoeveelheid $-38\ \mu\text{m}$ geskep na 30 minute se vermalings van die materiaal van beide segmente is ongeveer 79 %.

Vanuit hierdie data is dit dus duidelik dat dit nie raadsaam is om met 'n heterogene balmeule die materiaal te vermaal tot 100 % kleiner as $150\ \mu\text{m}$ nie. Die grootste persentasie van die materiaal gevorm (ongeveer 79 %) is in die $-38\ \mu\text{m}$ fraksie geleë wat dus duidelik nie 'n oplossing vir die probleem bied nie.

Vanaf tabel 4.4 is dit duidelik dat gedurende die afbreek van segment 631 materiaal die massapersentasie growwe fraksie ($150\ \mu\text{m}$) gevorm na 15 minute min of meer konstant bly. Na 15 minute se vermalings is daar

1,6 % van die materiaal in die 150 μm fraksie maar na 30 minute se vermaling is 1,0 % van die materiaal nog steeds in hierdie fraksie. Hierdie verskynsel kan toegeskryf word daaraan dat die balmeule nie selektief afbreek nie. Dit wil voorkom dat indien die materiaal reeds vrygestel is die topgrootte van die materiaal onveranderd bly.

Die 80 % kleiner as 106 μm resultate is meer aanvaarbaar as die resultate verkry vir 100 % kleiner as 150 μm . Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm vir materiaal van beide segmente is egter nog baie hoog.

4.4.2 HETEROGENE STAAFMEULE

Die vermalingsberekeninge wat gedoen is, word in Aanhangsel C uiteengesit.

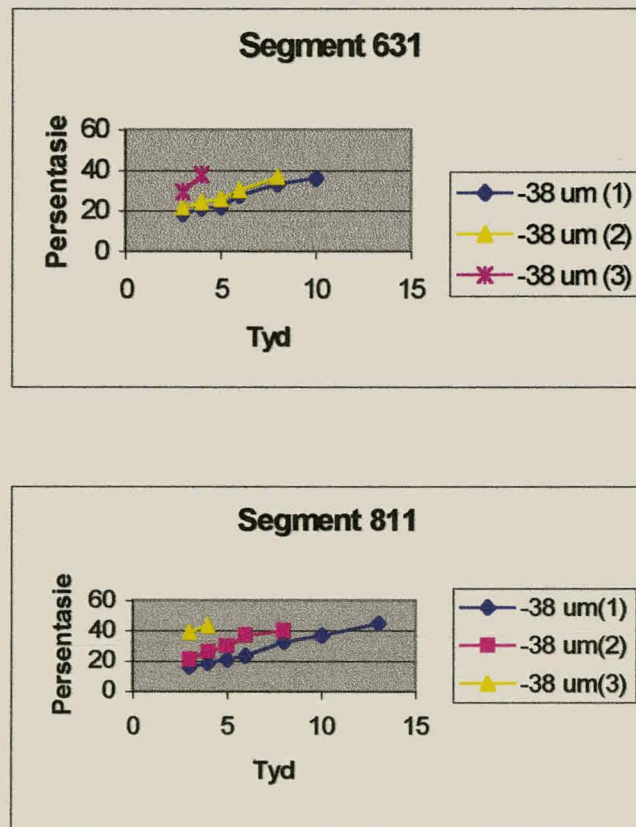
Drie verskillende toetse is vir verskillende vermalingsomstandighede uitgevoer. Toets 1 is uitgevoer met behulp van 'n groot meule by 322 omwenteling per minuut (opm). Toets 2 is uitgevoer met 'n groot meule by 'n opm van 400 en toets 3 is uitgevoer met 'n klein meule maar by 'n opm van 467. Die rede vir die toetse was om die effek van die meulvolume en opm op die vorming van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie te ondersoek.

Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal wat geskep is gedurende die verskillende maalprosesse met heterogene stawe word opgesom in Tabel 4.5. Volledige resultate van die toetse is saamgevat in Aanhangsel F.

Uit die gegewens in tabel 4.5 is dit duidelik dat die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ fraksie wat geskep is gedurende die vermalingstoetse op die materiaal

van segment 811 hoër is as dié vir segment 631. Hierdie verskynsel kan toegeskryf word daaraan dat materiaal van segment 811 'n hoër retensietyd nodig het vir bevryding as dié van segment 631. Segment 811 materiaal word dus langer aan verpoeiering onderwerp as segment 631 materiaal.

In tabel 4.6 word die bevryding wat verkry is met die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal wat geskep is vir die onderskeie toetse vergelyk. In Figuur 4.4 word die resultate, van beide segmente, grafies met mekaar vergelyk. Beide 100 % kleiner as $150 \mu\text{m}$ materiaal en 80 % kleiner as $106 \mu\text{m}$ materiaal is ondersoek vir verwysingsdoeleindes.



Figuur 4.4: Grafiese voorstelling van die persentasie $-38 \mu\text{m}$ materiaal gevorm gedurende heterogene staafmeultoetse vir segmente 631 en 811

Tydens toets 1 is gevind dat die materiaal in segment 631 na 'n vermalingstyd van 8 minute 80 % kleiner as $106\ \mu\text{m}$ is. Die hoeveelheid $-38\ \mu\text{m}$ gevorm is 33,3 %. Segment 811 benodig egter 'n vermalingstyd van 10 minute om 80 % kleiner as $106\ \mu\text{m}$ te wees met 36,8 % van die materiaal in die $-38\ \mu\text{m}$ fraksie.

Tabel 4.5: Hoeveelheid $-38\ \mu\text{m}$ materiaal geskep gedurende die maalproses met heterogene stawe.

Toets nommer	Maaltyd (minute)	Persentasie $-38\ \mu\text{m}$ fraksie in segment 631	Persentasie $-38\ \mu\text{m}$ fraksie in segment 811
1	3	18,3	16,2
1	4	21,1	18,6
1	5	22,0	20,7
1	6	27,6	23,3
1	8	33,3	32,5
1	10	36,0	36,8
1	13		44,7
2	3	21,4	21,1
2	4	23,9	26,0
2	5	25,9	29,9
2	6	29,9	36,9
2	8	36,8	40,1
2	10		45,8
3	3	29,5	
3	4	37,6	39,0
3	6		43,5

Toets 2 toon dat daar na 6 minute se vermalings 80 % van die materiaal in segment 631 kleiner as 106 μm is. Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ wat geskep is tydens die vermalings is 29,9 %. Materiaal van segment 811 is egter eers vrygestel na 8 minute se vermalings met 'n $-38 \mu\text{m}$

Tabel 4.6 : Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm.

Toets no.	Maaltyd (minute)	Massa % groter as 150 μm		Massa % groter as 106 μm		Persentasie $-38 \mu\text{m}$ gevorm	
		631	811	631	811	631	811
1	3	46,2	54,1	17,0	8,1	18,3	16,2
1	4	33,5	45,1	11,9	8,2	21,1	18,6
1	5	29,6	42,5	10,0	7,8	22,0	20,7
1	6	18,4	34,7	12,3	8,2	27,6	23,3
1	8	4,3	26,7	13,3	8,1	33,3	32,5
1	10	0,3	12,5	13,6	7,3	36,0	36,8
1	13		0,9		10,4		44,7
2	3	32,6	32,1	13,9	15,3	21,4	21,1
2	4	19,8	15,7	19,5	16,0	23,9	26,0
2	5	11,6	7,7	21,8	16,5	25,9	24,9
2	6	4,3	14,9	12,9	14,4	29,9	36,9
2	8	0,1	5,8	13,3	13,6	36,8	40,1
2	10		0,5		16,5		45,8
3	3	5,5		14,5		29,7	
3	4	0,2	1,0	4,0	6,7	37,6	39,0
3	6		0,4		3,4		43,5

produksie van 40,1 %. Uit die data van toets 2 is dit duidelik dat na 'n vermalings tyd van 6 minute of meer die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ wat geskep is vir segment 811 materiaal meer is as vir dié van segment 631 vir dieselfde vermalings tyd. Hierdie verskynsel kan toegeskryf word aan die magnetiet wat nie prominente splytvlakke het nie en onbeheerd afbreek. Segment 811 materiaal bevat meer magnetiet as dié van segment 631, wat die hoër fyn fraksie kan verklaar (Aanhangsel B).

Toets 3 se resultate toon dat vrystelling van die materiaal vir beide segmente verkry word na 'n vermalings tyd van slegs 4 minute. Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ geskep vir materiaal van segmente 631 en 811 is onderskeidelik 37,6 % en 39,0 %. Weereens word gemerk dat segment 811 materiaal meer $-38 \mu\text{m}$ fraksie as dié van segment 631 bevat.

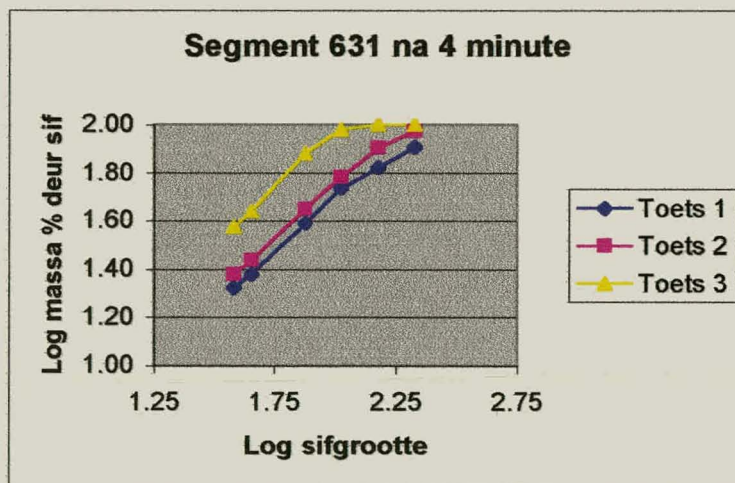
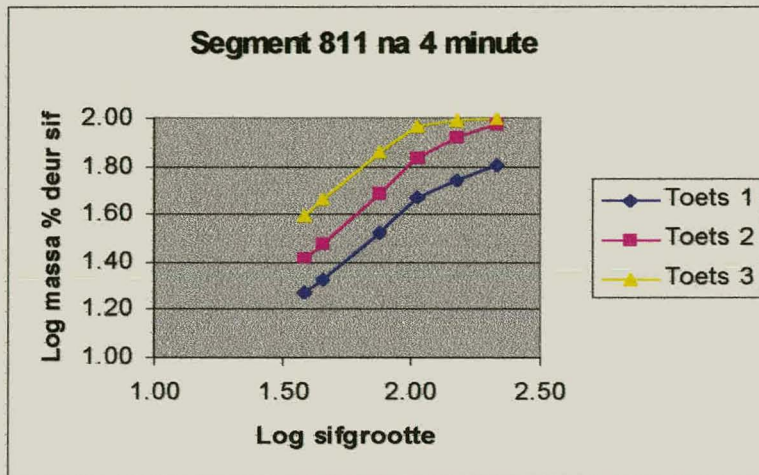
Vanuit die resultate in tabel 4.6 is dit duidelik dat toets 3 die kortste vrystellingstyd vir materiaal van beide segmente lewer. Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ geskep vir segment 631 materiaal tydens die verskillende toetse wissel tussen 36,0 % en 37,6 %. Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ geskep vir segment 811 materiaal wissel tussen 43,5 % en 45,8%.

Hierdie resultate wat verkry is met die heterogene staafmeule is duidelik 'n verbetering op die resultate wat verkry is met die balmeultoetswerk. Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ materiaal in segment 631 materiaal word verminder vanaf 40,8 % tot ongeveer 31,0 % vir 'n vrystelling van 80 % kleiner as $106 \mu\text{m}$. Materiaal van segment 811 se $-38 \mu\text{m}$ fraksie word verminder vanaf 59,1 % tot ongeveer 38,6 % vir 'n vrystelling van 80 % kleiner as $38 \mu\text{m}$.

Hierdie verbetering kan toegeskryf word aan die feit dat die staafmeule meer selektief as die balmeule afbreek. By staafmeulvermaling word die partikels progressief afgebreek van groot na klein. In die balmeule

word geen onderskeid getref tussen groot en klein partikels nie, maar enige partikel wat in die weg van die bal kom word afgebreek.

Figuur 4.5 toon 'n grafiese voorstelling van die resultate verkry na 'n vermalingstyd van 4 minute vir die drie verskillende toetse. Uit die resultate is dit duidelik dat die materiaal al fyner word met 'n toename in die kritiese meulspoed.



Figuur 4.5: Grafiese voorstelling van die resultate verkry na 'n vermalingstyd van 4 minute vir die materiaal van segmente 631 en 811 vir die verskillende toetse gedoen.

4.4.3 HOMOGENE STAAFMEULE

Die vermalingsberekeninge wat gedoen is, word in Aanhangsel C uiteengesit.

Die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ wat geskep is gedurende die maalproses met heterogene stawe word opgesom in Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ geskep gedurende die maalproses met homogene stawe.

Maaltyd (minute)	Persentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie in segment 631	Persentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie in segment 811
3	19,5	19,1
4	23,7	22,4
5	26,4	26,3
6	31,2	31,4
8	37,2	37,5
10		44,6

Dit is weereens duidelik dat daar gedurende die afbreekproses van materiaal in segment 811 daar 'n hoër $-38 \mu\text{m}$ fraksie geskep word as wat verkry word wanneer segment 631 materiaal afgebreek word. Hierdie verskynsel kom voor vir lang vermalingstye.

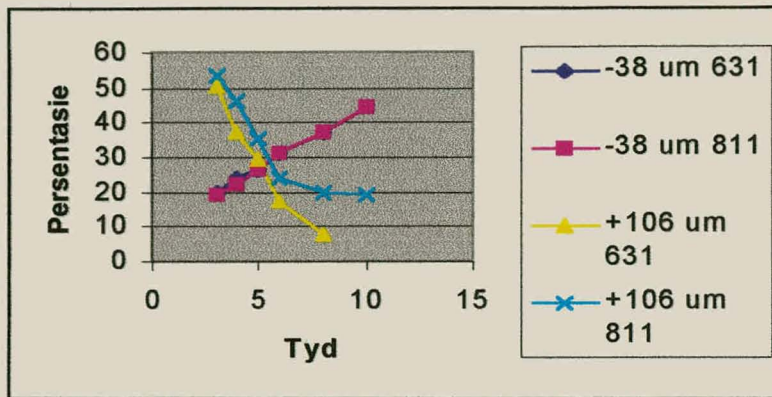
Die mate van bevryding wat verkry word, word in tabel 4.8 vergelyk met die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ fraksie wat gevorm word en in Figuur 4.6 word dit grafies vergelyk.

Vanaf Tabel 4.8 is dit duidelik dat vir 'n vermalings tyd van 6 minute vrystelling van die materiaal in segment 631 verkry word met 'n 31,2 % produksie van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie. Die materiaal in segment 811 word vrygestel na 8 minute se vermaling en vorm daar 37,5 % van die $-38 \mu\text{m}$ fraksie.

Tabel 4.8 : Optimale bevryding teenoor die hoeveelheid $-38 \mu\text{m}$ gevorm.

Maaltyd (minute)	Massa % groter as $150 \mu\text{m}$		Massa % groter as $106 \mu\text{m}$		Persentasie -38 μm gevorm	
	631	811	631	811	631	811
	3	36,8	35,1	13,5	18,1	19,5
4	20,0	29,3	17,4	17,1	23,7	22,4
5	7,2	14,8	22,3	20,7	26,4	26,3
6	3,4	7,3	14,1	16,7	31,2	31,4
8	0,4	3,8	7,6	16,1	37,2	37,5
10		0,4		18,8		44,6

Die persentasie materiaal in die $-38 \mu\text{m}$ fraksie wat gevorm word tydens die vrystelling van die materiaal met behulp van 'n homogene staafmeule is 'n direkte korrelasie met die resultate soos verkry vir 'n heterogene staafmeule. Tydens vrystelling van die segment 631 materiaal in die homogene staafmeule is 31,2 % van die materiaal in die $-38 \mu\text{m}$ fraksie gevorm in vergelyking met die 31,0 % vir die



Figuur 4.6: Grafiese voorstelling van resultate verkry met behulp van homogene staafmeultoetswerk.

heterogene staafmeule. Die massapersentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie in materiaal van segment 811 toon dieselfde korrelasie met 37,2 % vir die homogene staafmeule en 38,6 % vir die heterogene staafmeule.

HOOFSTUK 5 SENSITIWITEITSANALISE

5.1 INLEIDING

Om die produksie van 'n minimum persentasie minus 38 μm materiaal te verwesenlik is dit nodig om die data verkry deur eksperimentele werk so te simuleer dat sinvolle afleidings en aanbevelings daaruit gemaak kan word. Vir die daarstel van optimale vermalingsomstandighede van die erts van die Rooiwater Kompleks is dit belangrik dat al die faktore, wat gedurende hierdie studie gevarieer is te bestudeer. Dit kan slegs bereik word deur die resultate te onderwerp aan statistiese verwerking.

Verskillende wiskundige modelle is saamgestel om die vermalingspatrone binne in 'n meule te beskryf. Austin het die brekingstempo van antrasiet in 'n droë balmeule beskryf. Kelsall et al., Shoji et al. en Klimpel en Manfroy het weer die effek van verskillende veranderlikes op die brekingstempo in balmeules beskryf (Kelly and Spottiswood, 1982). Die effek van die brekingstempo in staafmeules is deur Heyens et al. bestudeer.

Verskeie faktore en hul invloed op die vermalingsproses is deur middel van sensitiwiteitsanalises ondersoek. Daar is veral gekonsentreer op die verskillende tipes meule met verskillende maalmediumverspreidings (heterogeen en homogeen). Die invloed van die vermalingstyd is ook ondersoek omrede dit nie net die grootste ekonomiese implikasie het nie, maar ook omdat dit tot 'n groot mate die hoeveelheid fyn fraksie wat vorm beheer.

Daar is met die simulاسie gevind dat daar 'n lineêre verband is tussen die persentasie minus 38 μm materiaal gevorm en die vermalingstyd

tydens vermalingsstoetse by heterogene en homogene staafmeule se resultate. Die balmeultoetsresultate toon egter 'n logaritmiëse verband.

5.2 KROMMEPASSINGS VIR DIE $-38 \mu\text{m}$ MATERIAAL

Vir elke veranderlike faktor is die persentasie minus $38 \mu\text{m}$ fraksie (Y) gevorm teen 'n spesifieke vermalingstyd (X) geplot. Regressielyne is deur die punte gepas en die korrelasiekoeffisiënte is bereken vir al die moontlike kombinasies.

5.2.1 Balmeule

Indien 'n lineêre regressie op die resultate van die balmeule uitgevoer word is dit op grond van die korrelasiekoeffisiënt van die materiaal (Tabel 5.2) duidelik dat daar nie 'n lineêre verband tussen die fynstof geproduseer en die tyd vermaal bestaan nie. 'n Wiskundig uitdrukking vir die massa persentasie $-38 \mu\text{m}$ gevorm teenoor die tyd vermaal word in Tabel 5.1 uiteengesit.

Tabel 5.1 Wiskundige uitdrukking vir lineêre regressies

Segment	Formule
631	$M = 1,654 N + 31,007$
811	$M = 2,124 N + 19,743$

Waar

M gelyk is aan die massa persentasie $-38 \mu\text{m}$ materiaal gevorm.

N gelyk is aan die tyd vermaal.

Tabel 5.2 Lineêre regressie data van balmeule resultate vir segmente 631 en 811.

	631 Materiaal	811 Materiaal
R^2	0,937	0,893
R	0,967	9,450
K	1,654	2,124

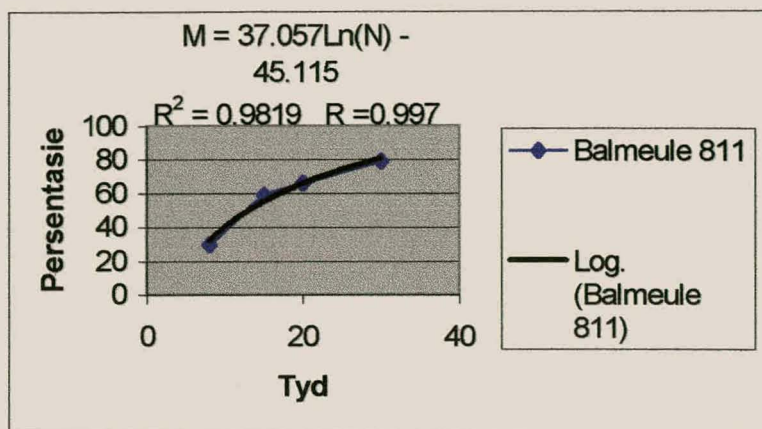
Waar

R^2 gelyk is aan die bepaaldheidskoeffisiënt

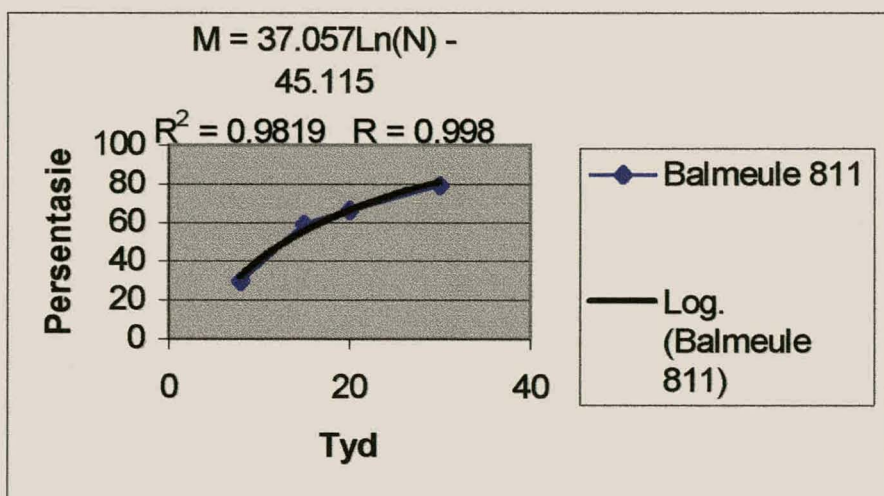
R gelyk is aan die korrelasiekoeffisiënt

K gelyk is aan die helling van die kromme

Indien 'n logaritmiëse passing op die data gedoen word verbeter die korrelasiekoeffisiënt aansienlik soos gesien kan word in Figure 5.1 en 5.2. Die korrelasiekoeffisiënte van beide segmente verhoog tot 0,99. Daar bestaan dus eerder 'n logaritmiëse korrelasie tussen die persentasie minus 38 μm materiaal gevorm en die vermaalingstyd tydens balmeulvermaling. Geen interne klassifikasie vind plaas binne in 'n balmeule nie en daarom het dit onbeheerde afbreking tot gevolg.



Figuur 5.1 Logaritmiëse regressie van balmeule data van segment 631.



Figuur 5.2 Logaritmiëse regressie van balmeule data van segment 811.

5.2.2 Homogene staafmeule

'n Baie duidelike lineêre verband tussen die persentasie minus 38 μm materiaal gevorm en die vermalings tyd kom na vore tydens vermalings toetse met 'n homogene staafmeul (Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Lineêre regressie data verkry op resultate met homogene staafmeule op materiaal van segmente 631 en 811.

	631	811
R^2	0,994	0,996
R	0,997	0,998
K	3,531	3,672

Dit wil voorkom asof die korrelasiekoeffisiënte sowel as die hellings van die lyne van die segmente min of meer dieselfde is. Hieruit kan afgelei word dat die materiaal van die twee segmente min of meer dieselfde vermalingspatroon in homogene staafmeule openbaar.

5.2.3 Heterogene staafmeule

Dit wil weereens voorkom asof daar 'n lineêre verband bestaan tussen die hoeveelheid minus 38 μm materiaal gevorm en die vermalings tyd (Tabel 5.4).

5.2.4 Vergelyking van die verskillende krommes

Vanaf Figure 5.3 en 5.4 is dit duidelik dat die twee segmente se materiaal dieselfde vermalingspatroon toon.

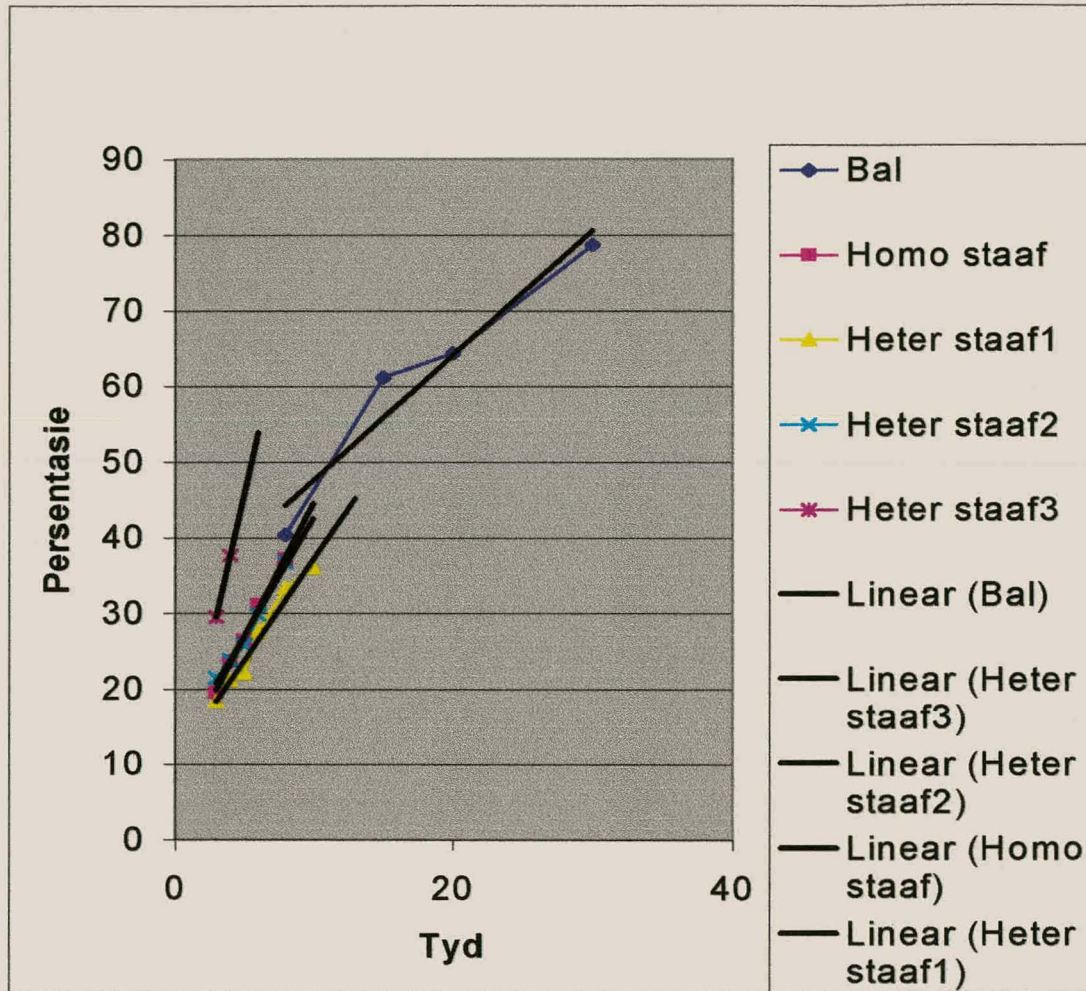
Tabel 5.4 Lineêre regressie data verkry op resultate met heterogene staafmeule op materiaal van segmente 631 en 811.

Toets	631 Materiaal			811 Materiaal		
	R ²	R	K	R ²	R	K
1	0,969	0,984	2,690	0,989	0,994	2,966
2	0,988	0,994	3,101	0,947	0,973	3,942
3	1,000	1	8,160	1,000	1	4,530

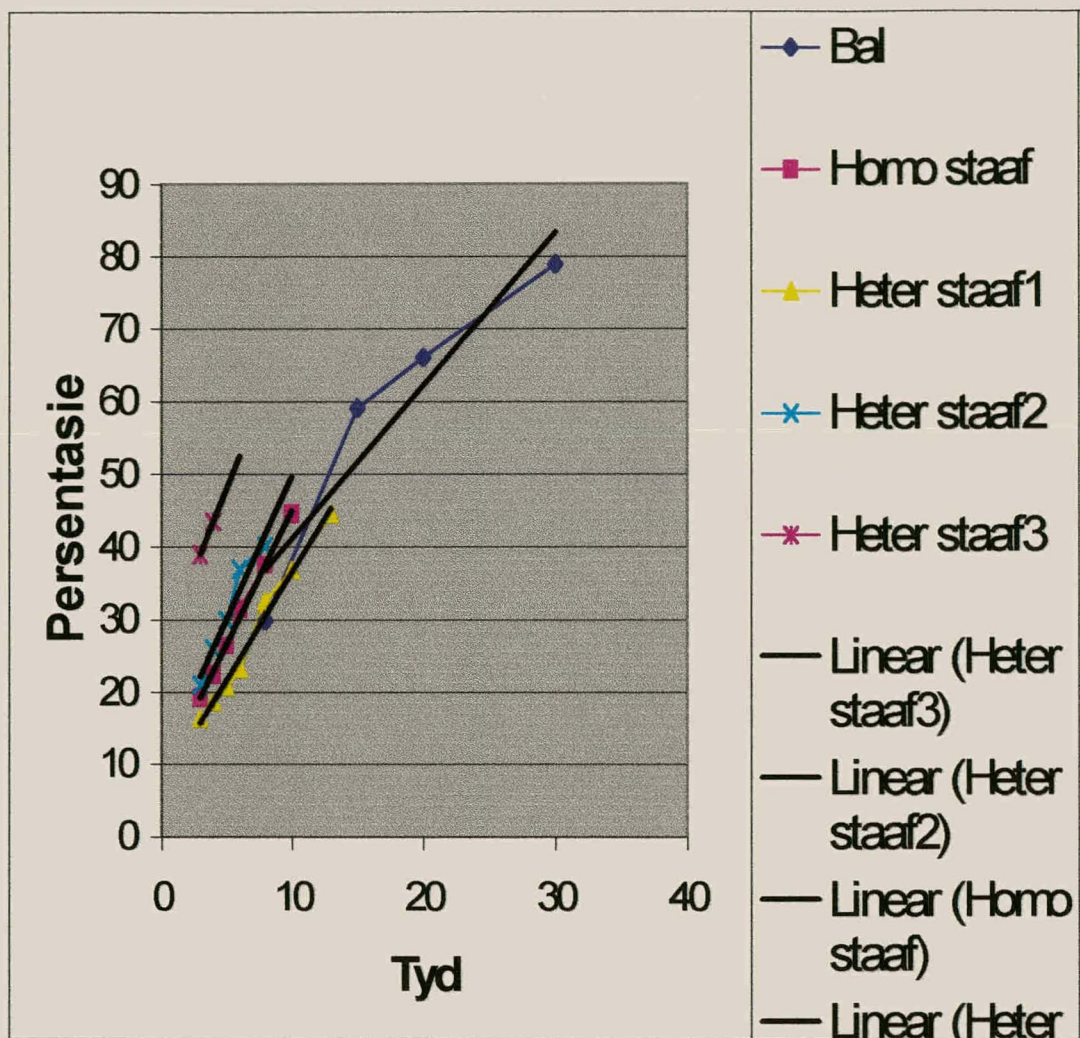
Die breedte van die grootteverspreiding van die materiaal van die bal- en staafmeul verskil aansienlik. Die balmeul het 'n grootteverspreiding van 40 persent teenoor die staafmeule se 20 persent weens die interne klassifikasie wat plaasvind binne in 'n staafmeule. Dit wil sê die staafmeule het dus 'n nouer grootteverspreiding as die balmeule.

Uit die resultate is dit duidelik dat die vermalingsmeganisme in die bal- en staafmeule verskil. Die balmeuldata toon 'n logaritmiëse verwantskap terwyl die staafmeuldata 'n lineêre verband toon.

Vir 'n minimum opbrengs van die minus 38 μm materiaal toon die heterogene meul, wat teen 'n lae spoed en teen 'n kortvermalings tyd bedryf word, die beste resultate.



Figuur 5.3 Vergelyking van krommes verkry vir segment 631 materiaal



Figuur 5.4 Vergelyking van krommes verkry vir segment 811 materiaal

5.3 OPTIMALE BEVRYDINGSFRAKSIE

Vir optimale konsentrasie doeleindes is dit belangrik dat so veel as moontlik van die materiaal in die fraksie kleiner as $106\ \mu\text{m}$ en groter as $38\ \mu\text{m}$ moet rapporteer.

Tabel 5.5 toon die persentasie van die optimale bevrydingsfraksies verkry deur die verskillende vermalingsstoetse.

Vanuit die data in Tabel 5.4 is dit duidelik dat die optimale bevrydingsfraksie vir beide segmente gedurende toets 3 met behulp van heterogene staafmeule verkry is.

Dit kom ook na vore dat die balmeule nie net meer minus $38\ \mu\text{m}$ materiaal produseer nie, maar ook 'n baie laer optimale bevrydingsfraksie lewer as die staafmeule.

Alhoewel die bedryfsparameters van toets 1 'n minimum van minus $38\ \mu\text{m}$ fraksie gelever het (paragraaf 5.2.4) is dit egter duidelik dat vir die skep van 'n optimale bevrydingsfraksie daar eerder gekyk moet word na bedryfsparameters gelykstaande aan dié van toets 3.

Optimale bevryding is egter vir die doel van hierdie studie van minder belang omrede die ilmeniet in die minus $38\ \mu\text{m}$ fraksie konsentreer en verlore gaan. Dit is dus eerder van belang om 'n minimum persentasie minus $38\ \mu\text{m}$ materiaal te skep en dus word die bedryfsparameters soortgelyk aan toets 1 aanbeveel vir die optimale vermaling van die erts in die Rooiwater Kompleks.

Tabel 5.5 Persentasie optimale bevrydingsfraksies van die materiaal van segmente 631 en 811

Toets	Tyd	Persentasie		Persentasie		Optimale	
		-106 μm		- 38 μm		bevryde	
		631	811	631	811	631	811
Balmeule	8	13,9		40,4		45,8	
	15	2,9	17,5	61,2	59,2	35,9	23,3
	20	2,8	10,6	64,4	66,0	32,8	23,4
	30	1,3	6,1	78,7	79,0	20,0	19,7
Homogene staafmeule	6	17,5		31,2		51,3	
	8	8,0	20,0	37,2	37,5	54,85	42,5
	10		19,2		44,63		36,2
Heterogene staafmeule 1	8	17,5		33,3		49,2	
	10	13,9	19,8	36,0	36,8	50,1	49,3
	13		11,3		44,7		44,0
Heterogene staafmeule 2	6	16,3		29,9		53,8	
	8	12,4	19,4	36,8	36,9	50,8	43,7
	10		17,1		40,1		42,8
Heterogene staafmeule 3	3	20,0		29,5		50,5	
	4	4,2	7,7	37,6	39,0	58,2	53,3
	6		3,8		43,5		52,7

HOOFSTUK 6 GEVOLGTREKKING EN

AANBEVELINGS

6.1 GEVOLGTREKKING

Die primêre doel van die projek was om die $-38 \mu\text{m}$ fraksie materiaal te voorkom tydens die vermaling van die Rooiwater Kompleks erts.

Deur middel van 'n mineralogiese studie, literatuurstudie en eksperimentele werk is daar getoon dat die persentasie $-38 \mu\text{m}$ fraksie materiaal gevorm slegs in 'n geringe mate beperk kan word deur gebruik te maak van 'n staafmeule.

Dit het egter duidelik na vore gekom uit die "brekings" eienskappe van ilmeniet en magnetiet dat die probleem van die fyn fraksie wat gevorm word nie uitgeskakel kan word nie. Magnetiet toon fraktuur eienskappe wat nie geassosieer kan word met die glyvlakke in 'n kristal nie en dus veroorsaak dit onbeheerde afbreking van die magnetiet.

Bogenoemde resultate het meegebring dat daar gekyk sal moet word na alternatiewe metodes om die ilmeniet vanuit die erts ekonomies te kan ontgin.

6.2 AANBEVELINGS

Daar is tot die slotsom gekom dat alternatiewe konsentrasie prosesse oorweeg moet word vir 'n meer ekonomiese en omgewingsvriendelike proses.

- Indien al die materiaal kleiner as $45\ \mu\text{m}$ verwyder word voor die magnetiese skeidingsprosesse sal die probleem van fynstof wat vasgevang word in die magnetiese konsentraat en verlore gaan verhinder word. Die ysteroksiedes en ilmeniet in die fyn fraksie kan dan met behulp van skuimflottasieprosesse gekonsentreer word.
- Indien die magnetiese skeidingsproses vir die magnetiet gedoen word en daarna inverse flottasie op die magnetiese konsentraat toegepas word om die ilmeniet in die konsentraat te konsentreer kan die ilmeniet uit die magnetiet fraksie herwin word.
- Die nuwe ontwikkelinge rondom hoë intensiteit magneetskeiers wat nou die mark betree, wat wel instaat is om die fyn fraksies ook op te vang, gaan definitief die fyn ilmeniet opvang tydens die hoë intensiteit magnetiese skeidings proses van ilmeniet.
- 'n Nuwe aanslag in die konsentrasie proses van ilmeniet kan dalk 'n geskikte alternatief vir die probleem bied.

Oor die algemeen kom dit voor asof die probleem met die $-38\ \mu\text{m}$ fraksie materiaal wat gevorm word deur bogenoemde alternatiewe oorkom sal kan word. Deur die suksesvolle afhandeling van die projek sal dit die ontwikkeling van aanverwante bedrywe stimuleer, en dit sal slegs tot voordeel van die Suid-Afrikaanse ekonomie wees.

BRONNELYS

Anon. Uit verskeidenheid van artikels ontvang van Iscor.

Bond, F.C. (1961), "Crushing & Grinding Calculations Part 1", "British Chemical Engineering", Vol. 6, No 6, June 1961, P378 – 385.

BS 1017: Part 1: 1989, "Section five. Preparation of test samples", P29.

Davis, E.W. (1987), "Fraction of mineral particles", 44-68, "In: Jones, M.P., Ed., Applied mineralogy: A quantitative approach", "Mineral Resources Engineering Department Imperial College", London. Graham and Trotman. P259.

Dearlove, L. (1995), Die invloed van die ertspetrografie van die Rooiwater Kompleks op die veredeling van ilmeniet, Universiteit van Pretoria, Pretoria. P1 – 35.

"Engineering and Mining Journal (1991)", "Grinding – Bigger mills smarter controls", P38.

Gy, P.M. (1979), "Sampling of particulate materials – Theory and practice", Elsevier. Amsterdam. P432.

Hall, A.L. (1912), "The geology of the Murchison Range and district", Mim. Geol. Surv. S. Afr., 6, P186.

Hammerbeck, E.C.I. (1976), Delfstowwe van die Republiek van Suid Afrika, Handboek 7, Vyfde uitgawe, Departement Mynwese, P513.

Haveman, P. (1991), Klasaantekeninge, Universiteit van Pretoria, Pretoria, P60.

Hopstock, D.M. (1985), "Electrostatic and Magnetic Separation", 1-48. In: Weiss. N.L., Ed., SME "Mineral Processing Handbook", 1, Sec 6. J.E. Lawver & D.M. Hopstock, Tweede uitgawers, "Society of Mining Engineers, New York, P910.

Jonck, G.J. (1995), Interne navorsings verslae, Itec NNO, Iscor Beperk, Pretoria, P30.

Jones, D.A. (1985), "Corrosive wear in wet ore grinding systems", "Journal of metals" June 1985, P20.

Kelly, E.G., Spottiswood, D.J., "Introduction to Mineral Processing", New York, John Wiley & sons, P146-285.

Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R. 1976, "Introduction to ceramics", New York: John Wiley & sons, P66.

Klein, C. & Hurlbut, C.H. 1993, "Manual of mineralogy", New York: John Wiley and sons, Inc, P372 – 388.

Loesche, G.M.B.H. (1994), "Leosche roller mill for cement and blast furnace slag", ZKG international, P250.

Mienie, P.J. (1995), Titaan- en vanadiumhoudende magnetiet in die Rooiwater Kompleks, noordoos van Rubbervale, Universiteit van Pretoria, Pretoria, P101.

Meloy, T.P. (1984), "Liberation theory – eight, modern, usable theorems", Int. J. Miner. Process, 13, P313 – 315.

Mining Magazine (1982), "Crushing and grinding", P205.

Ratcliffe, A. (1972), "Trends in Size Reduction of Solids.....Crushing and Grinding", "Chemical Engineering", June 10, 1972, P62.

Reynolds, I.M. (1978), "Mineralogical studies of South African titaniferous iron ores: Their application to extractive metallurgy", Trans. Geol. Soc. S. Afr., 81, P233 – 240.

Reynolds I.M. (1986), "Vanadium-bearing titaniferous iron ores of the Rooiwater Complex, north-eastern Transvaal", 451 – 460. In: Anhaeusser, C.R. and Maske, S., Eds., "Mineral Deposits of Southern Africa", I. Geol. Soc. S. Afr., P1022.

Rolfsson, R. (1983), "Selecting crushing and grinding equipment", "World mining", October 1983, P45 – 47.

"South African Committee for Stratigraphy (SACS) (1980)", "Stratigraphy of South Africa", "Part 1 (Comp. L.E. Kent). Litostratigraphy of the Republic of South Africa, South West Africa/Namibia, and the Republics of Bophuthatswana, Transkei and Venda", Handbk. Geol. Surv. S. Africa, 8, 690pp.

Van Eeden. O.R., Partridge, F.C., Kent, L.E. and Brandt, J.W. (1939),
“The mineral deposits of the Murchison Range, east of Leydsdorp”,
Mem. Geol. Surv. Afr., 36, P30 – 35.

Wills, B.A. (1988), “Mineral Processing Technology”, “4th edition”,
“Pergamon Press”, P784

Wipplinger, P.E. (1998), “Titanium”, In: Wilson, M.G.C. and
Anhaeusser, C.R., Eds., “The mineral resources of South Africa”, Geol.
Soc. S. Afr., P621.

Woollacott L.C. and Eric R.H, “Mineral en Metal Extraction an
overview”, “The South African Institute of Mining and Metallurgy”,
Johannesburg 1994. P412

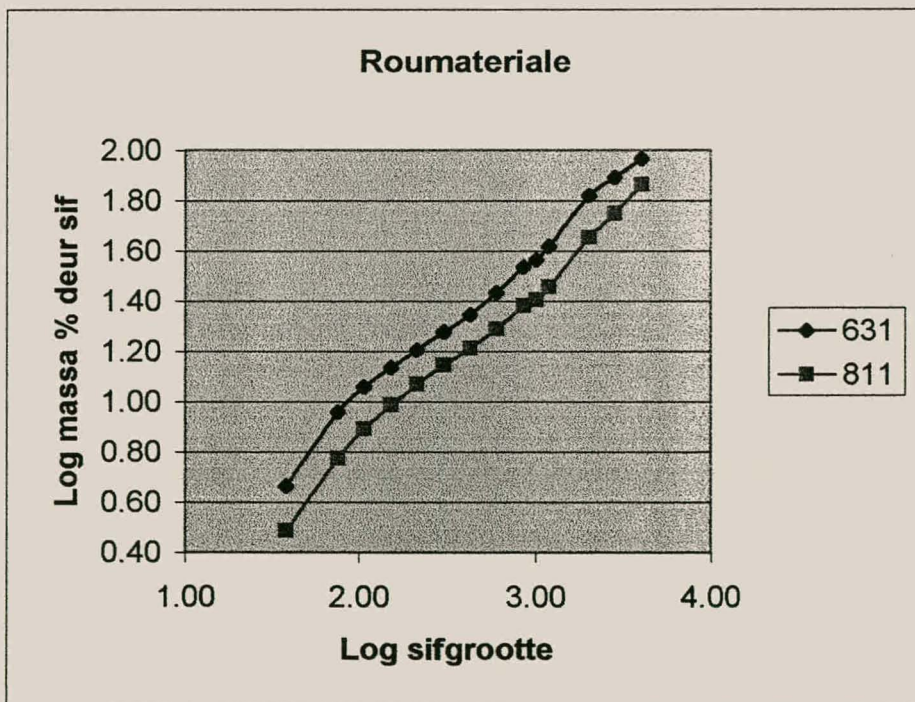
AANHANGSEL A

ROU MONSTER (811)

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
4000	3.60	142.1	27.00	73.00	1.86
2800	3.45	89.4	16.99	56.01	1.75
2000	3.30	58.3	11.08	44.94	1.65
1180	3.07	86.2	16.38	28.56	1.46
1000	3.00	16.3	3.10	25.46	1.41
850	2.93	7.1	1.35	24.11	1.38
600	2.78	24.3	4.62	19.49	1.29
425	2.63	16.6	3.15	16.34	1.21
300	2.48	12.2	2.32	14.02	1.15
212	2.33	11.9	2.26	11.76	1.07
150	2.18	10.8	2.05	9.71	0.99
106	2.03	10	1.90	7.81	0.89
75	1.88	9.8	1.86	5.95	0.77
38	1.58	15.1	2.87	3.08	0.49
-38		16.2	3.08	0.00	
	TOTAAL	526.3			

ROU MONSTER (631)

Sif grootte (μm)	Log Sif grootte(μm)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
4000	3.60	44.7	7.16	92.84	1.97
2800	3.45	91.4	14.63	78.21	1.89
2000	3.30	76.4	12.23	65.98	1.82
1180	3.07	152.6	24.43	41.56	1.62
1000	3.00	31.3	5.01	36.55	1.56
850	2.93	13.9	2.23	34.32	1.54
600	2.78	45.4	7.27	27.05	1.43
425	2.63	30.3	4.85	22.20	1.35
300	2.48	20.5	3.28	18.92	1.28
212	2.33	18.2	2.91	16.01	1.20
150	2.18	14.8	2.37	13.64	1.13
106	2.03	13.5	2.16	11.48	1.06
75	1.88	14.8	2.37	9.11	0.96
38	1.58	28	4.48	4.63	0.67
-38		28.9	4.63	0.00	
TOTAAL		624.7			



AANHANGSEL B

CHEMIESE ANALISES

***Total expressed as sum of all oxides le Fe as Fe2O3

Sample Identity		AL2O3	CAO	CR2O3	FE	K2O	MGO	MNO	NA2O	P2O5	SIO2	TIO2	V2O5	ZRO2	LOI	TOTAL
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
811/S	-38mm	6.52	1.81	0.33	40.31	0.04	5.50	0.26	0.23	0.01	10.95	12.15	0.73	ND	3.94	99.73
811/S	38mm	6.28	1.34	0.33	42.05	0.02	5.07	0.26	0.19	0.03	9.82	12.52	0.77	ND	3.34	99.71
811/S	75mm	5.82	1.57	0.35	42.64	0.02	4.73	0.26	0.14	0.01	8.94	12.61	0.81	ND	3.68	99.49
811/S	106mm	5.15	1.49	0.39	44.38	0.02	4.10	0.26	0.15	0.00	8.03	13.14	0.85	ND	2.98	99.63
811/S	150mm	5.56	1.41	0.38	43.86	0.02	4.39	0.25	0.07	0.00	8.44	12.49	0.85	ND	3.05	99.24
811/S	212mm	4.33	1.17	0.43	46.93	0.03	3.20	0.25	0.16	0.00	7.72	13.04	0.93	ND	1.77	99.72
811/S	300mm	4.40	1.01	0.42	46.97	0.02	3.32	0.24	0.27	0.01	7.11	12.97	0.96	ND	1.83	99.33
811/S	425mm	4.33	0.98	0.41	47.87	0.02	3.29	0.24	0.16	0.00	6.59	13.41	0.99	ND	1.07	99.51
811/S	600mm	4.29	0.90	0.42	48.33	0.01	3.24	0.24	0.06	0.00	6.46	13.50	0.99	ND	0.57	99.35
811/S	850mm	4.14	1.00	0.43	47.85	0.02	3.13	0.24	0.06	0.00	6.41	13.48	1.01	ND	1.47	99.39
811/S	1000mm	4.44	0.98	0.41	47.61	0.02	3.37	0.24	0.09	0.00	6.65	13.25	0.98	ND	1.06	99.15
811/S	1180mm	4.73	1.04	0.40	47.55	0.02	3.67	0.24	0.10	0.00	7.11	13.40	0.98	ND	0.35	99.62
811/S	2000mm	5.07	1.16	0.40	46.35	0.02	3.88	0.24	0.18	0.00	7.63	13.27	0.94	ND	1.11	99.76
811/S	2800mm	5.19	1.08	0.36	45.98	0.02	4.13	0.24	0.11	0.00	8.15	13.12	0.92	ND	0.68	99.32
811/S	4000mm	5.65	1.11	0.36	44.07	0.02	4.50	0.24	0.12	0.01	9.19	12.57	0.88	ND	1.82	99.10
811/3min	-38mm	6.90	1.52	0.31	41.24	0.02	5.57	0.25	0.19	0.01	10.84	12.22	0.73	ND	2.49	99.66
811/3min	38mm	7.28	1.18	0.32	41.30	0.02	5.79	0.23	0.20	0.00	10.77	11.30	0.76	ND	2.90	99.45
811/3min	45mm	6.76	1.13	0.34	42.77	0.01	5.37	0.24	0.13	0.00	10.11	12.04	0.82	ND	1.76	99.47
811/3min	75mm	6.11	1.29	0.34	44.18	0.02	4.81	0.24	0.15	0.00	9.11	12.45	0.87	ND	1.52	99.68
811/3min	106mm	4.46	1.31	0.38	47.57	0.02	3.52	0.25	0.20	0.00	6.82	13.46	0.98	ND	0.61	99.60
811/3min	150mm	3.05	1.06	0.43	50.88	0.02	2.23	0.24	0.17	0.00	4.85	14.48	1.08	ND	-0.80	99.10
811/3min	212mm	3.25	0.83	0.43	50.84	0.02	2.30	0.25	0.14	0.00	5.23	14.85	1.05	ND	-1.16	99.43
631/5t	-38mm	9.01	6.88	0.02	24.35	0.05	4.37	0.21	1.04	0.03	24.08	13.50	0.20	ND	5.27	99.20
631/5t	38mm	8.73	5.60	0.01	27.18	0.03	4.87	0.23	0.67	0.02	21.41	15.24	0.22	ND	4.25	99.83
631/5t	75mm	8.20	5.27	0.11	28.68	0.04	4.52	0.23	0.63	0.01	20.03	15.51	0.24	ND	4.22	99.73

Sample Identity		AL2O3	CAO	CR2O3	FE	K2O	MGO	MNO	NA2O	P2O5	SIO2	TIO2	V2O5	ZRO2	LOI	TOTAL
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
631/5t	106mm	8.05	5.10	0.09	28.84	0.03	4.44	0.22	0.67	0.01	19.63	15.13	0.25	ND	4.75	99.32
631/5t	150mm	7.89	5.03	0.04	30.08	0.04	4.08	0.23	0.71	0.01	19.23	15.80	0.25	ND	4.22	100.23
631/5t	212mm	7.48	4.82	0.10	30.23	0.03	3.61	0.23	0.79	0.01	18.72	16.42	0.24	ND	4.13	99.48
631/5t	300mm	7.46	4.69	0.03	30.25	0.02	3.47	0.24	0.83	0.01	18.73	17.48	0.26	ND	3.69	99.86
631/5t	425mm	7.69	4.63	0.01	29.60	0.02	3.49	0.24	0.88	0.01	18.98	17.98	0.26	ND	3.65	99.83
631/5t	600mm	8.12	4.87	0.00	29.04	0.03	3.67	0.23	0.91	0.01	20.28	17.56	0.25	ND	2.69	99.82
631/5t	850mm	7.91	5.03	0.11	28.50	0.02	3.63	0.23	0.82	0.01	20.85	15.65	0.25	ND	4.16	99.11
631/5t	1000mm	8.04	4.82	0.00	28.73	0.03	3.61	0.24	0.91	0.01	20.48	17.52	0.24	ND	2.95	99.61
631/5t	1180mm	8.62	5.11	ND	28.25	0.02	3.72	0.23	1.06	0.01	21.86	17.02	0.24	ND	1.93	99.88
631/5t	2000mm	8.74	5.22	0.01	28.35	0.02	3.65	0.23	1.18	0.01	21.73	17.26	0.25	ND	1.79	100.32
631/5t	2800mm	9.15	5.49	ND	27.19	0.03	3.80	0.22	1.38	0.01	22.86	16.57	0.23	ND	1.74	100.05
631/5t	4000mm	8.96	5.41	0.00	28.33	0.02	3.78	0.23	1.14	0.01	21.41	17.70	0.25	ND	1.33	100.43
631/3min	-38mm	10.03	6.56	0.01	24.46	0.03	4.21	0.20	1.71	0.03	26.56	13.07	0.21	ND	2.81	100.12
631/3min	38mm	9.62	5.89	0.05	26.22	0.03	4.71	0.21	1.05	0.02	23.27	14.02	0.23	ND	3.58	99.95
631/3min	45mm	9.49	5.76	0.02	26.96	0.03	4.71	0.21	1.03	0.02	23.13	14.39	0.24	ND	2.72	99.99
631/3min	75mm	9.12	5.52	0.01	28.19	0.03	4.42	0.21	1.03	0.01	22.22	15.32	0.26	ND	2.15	100.31
631/3min	106mm	8.24	5.10	0.01	29.67	0.03	3.75	0.23	1.00	0.00	20.81	17.03	0.28	ND	1.35	99.94
631/3min	150mm	7.68	4.67	0.04	30.37	0.02	3.18	0.25	1.03	0.00	19.51	19.24	0.28	ND	0.87	99.86
631/3min	212mm	8.30	4.40	0.01	29.08	0.02	3.34	0.26	1.12	0.00	19.86	20.80	0.24	ND	0.57	100.20

Quality Checks (QC)

Sample Identity		AL2O3	CAO	CR2O3	FE	K2O	MGO	MNO	NA2O	P2O5	SIO2	TIO2	V2O5	ZRO2	LOI	TOTAL
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
811/S	1180mmQC	4.68	1.05	0.41	47.71	0.02	3.57	0.24	0.25	0.00	7.10	13.46	0.98	ND	0.27	99.84
811/3min	-38mmQC	6.85	1.53	0.34	41.51	0.02	5.56	0.26	0.29	0.01	10.82	12.22	0.77	ND	2.48	100.13
811/3min	212mmQC	3.21	0.83	0.45	51.50	0.02	2.28	0.25	0.27	0.00	5.19	14.87	1.11	ND	-1.19	100.48
631/3min	-38mmQC	10.04	6.61	0.02	24.60	0.03	4.30	0.19	1.66	0.02	26.57	13.10	0.21	ND	2.36	100.02
631/3min	212mmQC	8.30	4.40	0.01	29.25	0.02	3.32	0.27	1.11	0.00	19.89	20.91	0.23	ND	0.48	100.45
631/5t	1180mmQC	8.67	5.12	0.01	28.50	0.02	3.70	0.23	1.18	0.01	21.98	17.08	0.28	ND	1.90	100.63
631/5t	4000mmQC	8.88	5.40	0.00	28.36	0.02	3.82	0.23	1.15	0.01	21.39	17.76	0.24	ND	1.22	100.35

Analyst :

E Maema

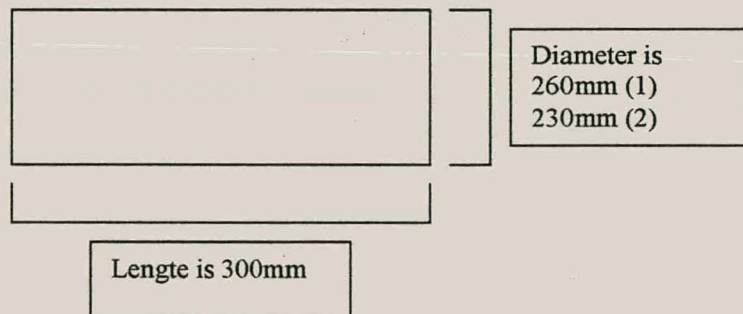
AANHANGSEL C

AANHANGSEL C

C. VERMALINGSBEREKENINGE

C1 MEULLADINGSBEREKENINGE VIR 'n BALMEULE

Dit is belangrik om die meulvolume van die beskikbare meules te bepaal voordat enige berekeninge gedoen kan word. Daar is twee verskillende grootte meules beskikbaar. Die dimensies van beide die meules word verskaf en 'n volume berekening aangetoon.



$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \pi r^2 L \\
 &= \pi (0,13)^2 (0,3) \\
 &= 0,016 \text{ m}^3 \quad \text{maar } 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter} \\
 &= 16 \text{ liter } (\ell)
 \end{aligned}$$

Om 'n meule te identifiseer as 'n balmeule moet meer as 10% van die lading balle wees. Vir 'n balmeule moet die meulladingsvolume tussen 40 % en 50 % van die totale meulvolume beslaan. Die meulladingsvolume word as volg bereken en saamgestel.

Meullading (40 % van totale meulvolume) = erts + water +
maalmedium.

Hoeveelheid erts = 748g

Hoeveelheid water = $\frac{100}{60} \times 748 = 1247 - 748 = 500\text{g}$

Tabel I: Berekening van volumes (digtheid = massa x volume)

	Digtheid	Massa (g)	Volume (ml)
Fe ₃ O ₄ / FeTiO ₃	4,4	748	170
H ₂ O	1	500	500
Pulp			670

Hoeveelheid maalmedium = $(46 \% \times 16) - 0,670$
= 6,69 ℓ

Totale volume gevul deur balle = 0,0069 ℓ

Om die meule met 0,0069 ℓ balle te vul is dit nodig om die diameters van die staal balle wat gebruik gaan word te bepaal. Die spesifieke grootte verspreiding van die balle is so gekies dat dit ooreenstem met die Bond reeks balle wat gebruik was om die Bond werksindeks van die erts te bepaal. Tabel II toon die grootteverspreiding van die balle asook die aantal balle in elke grootteinval.

Die formule vir die berekening van die balvolume word gegee deur vergelyking I

$$Volume\ bal = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (I)$$

Tabel II : ± Balsamestelling

Diameter (mm)	Hoeveelheid	Volume
38	15	0,0227
32	21	0,0225
25	4	0,0026
19	27	0,0102
16	33	0,0088
Totale volume balle		0,0668

C2 ENERGIE INSET IN MEULE

Die aantal omwentelinge per minuut (opm) van die meule is met behulp van 'n tachometer bepaal. Twee verskillend aandrywingsmeganismes vir die meules bestaan vir toetswerk. Die opm van beide die aandrywingsmeganismes is bepaal. Die aandrywingsmeganismes word van mekaar ondersky byvoorbeeld vir meule 1 (sien meulvolume bepaling) staan dit bekend as 1 links en 1 regs.

Die omskakeling van die tachometer lesing se opm na die meule se opm is op grond van die beginsel gedoen dat daar geen glib plaasvind tussen die meulwand en die tachometer nie. Die lesings van die tachometer is opgesom in tabel III. Die berekening is as volg gedoen.

Table 3: Technometer lesing:

Meule	Diameter van meule op posisie waar lesing geneem is in mm.	Diameter techometer wiel in lesing mm	van Techometer in lesing
1 Links	273,5	32	322
1 Regs	273,5	32	400
2 Links	260,9	32	373
2 Regs	260,9	32	467

$$V_{\text{techometer}} = V_{\text{meule}}$$

$$(\omega_t)(r_t) = (\omega_m)(r_m)$$

$$(373)(0,016) = \omega_m(0,173)$$

$$\omega_m = 34,50 \text{ opm}$$

Met V die raaklynige snelheid, ω die aantal opm en r die radius.

Die raaklynige snelheid van die meule is dus 5,97 meter per sekende

AANHANGSEL D

HETEROGENE BALMEULTOETSE (361)

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	35.3	6.10	93.90	1.97
150	2.18	12.1	2.09	91.81	1.96
106	2.03	32.8	5.66	86.15	1.94
75	1.88	75.9	13.11	73.04	1.86
45	1.65	158.8	27.42	45.62	1.66
38	1.58	28.2	4.87	40.75	1.61
-38		236	40.75	0.00	
TOTAAL		579.1			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 20 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	5.1	0.89	99.11	2.00
150	2.18	1.5	0.26	98.85	1.99
106	2.03	9.2	1.61	97.24	1.99
75	1.88	32.8	5.73	91.51	1.96
45	1.65	117.9	20.60	70.91	1.85
38	1.58	37.2	6.50	64.41	1.81
-38		368.7	64.41	0.00	
TOTAAL		572.4			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (631)

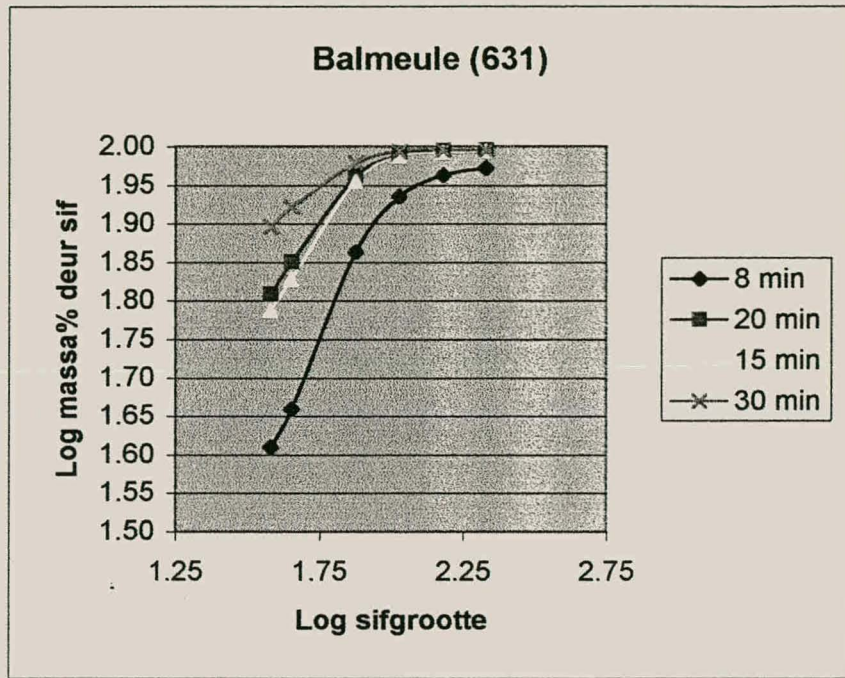
RESULTATE NA 15 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	9.4	1.42	98.58	1.99
150	2.18	1.5	0.23	98.35	1.99
106	2.03	8	1.21	97.14	1.99
75	1.88	47	7.12	90.02	1.95
45	1.65	150.8	22.83	67.19	1.83
38	1.58	39.5	5.98	61.21	1.79
-38		404.2	61.21	0.00	
TOTAAL		660.4			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 30 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	5.9	0.91	99.09	2.00
150	2.18	0.3	0.05	99.04	2.00
106	2.03	2.3	0.35	98.69	1.99
75	1.88	21.9	3.38	95.31	1.98
45	1.65	76.3	11.76	83.55	1.92
38	1.58	31.4	4.84	78.71	1.90
-38		510.7	78.71	0.00	
TOTAAL		648.8			



HETEROGENE BALMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	195.9	31.88	68.12	1.83
150	2.18	22.5	3.66	64.45	1.81
106	2.03	34.4	5.60	58.85	1.77
75	1.88	65.9	10.73	48.13	1.68
45	1.65	91	14.81	33.32	1.52
38	1.58	21.3	3.47	29.85	1.47
-38		183.4	29.85	0.00	
TOTAAL		614.4			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 15 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	72.4	14.37	85.63	1.93
150	2.18	3.4	0.67	84.96	1.93
106	2.03	12.4	2.46	82.50	1.92
75	1.88	19.5	3.87	78.63	1.90
45	1.65	74.9	14.86	63.77	1.80
38	1.58	23.3	4.62	59.15	1.77
-38		298.1	59.15	0.00	
TOTAAL		504			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (811)

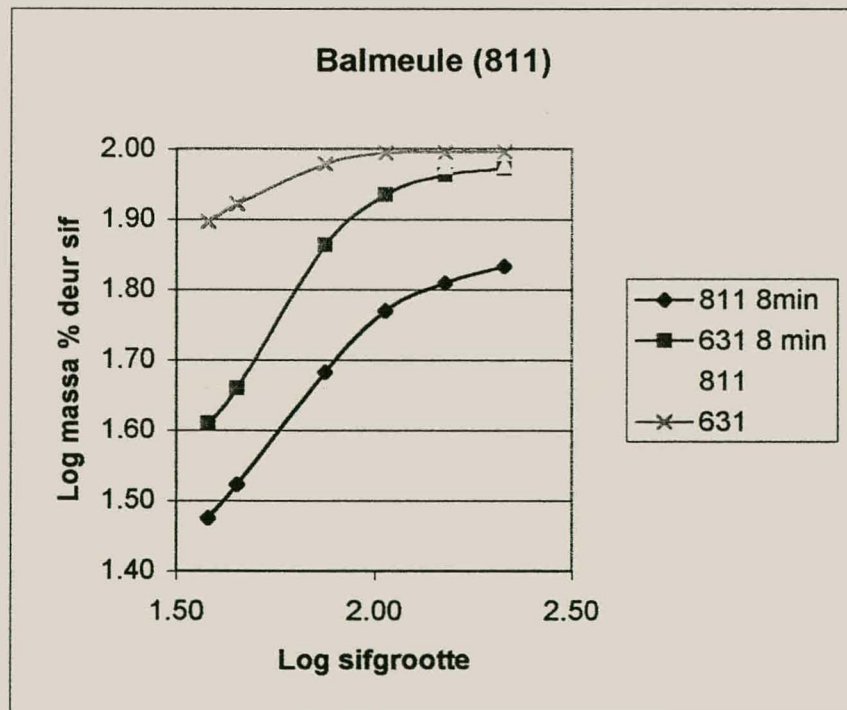
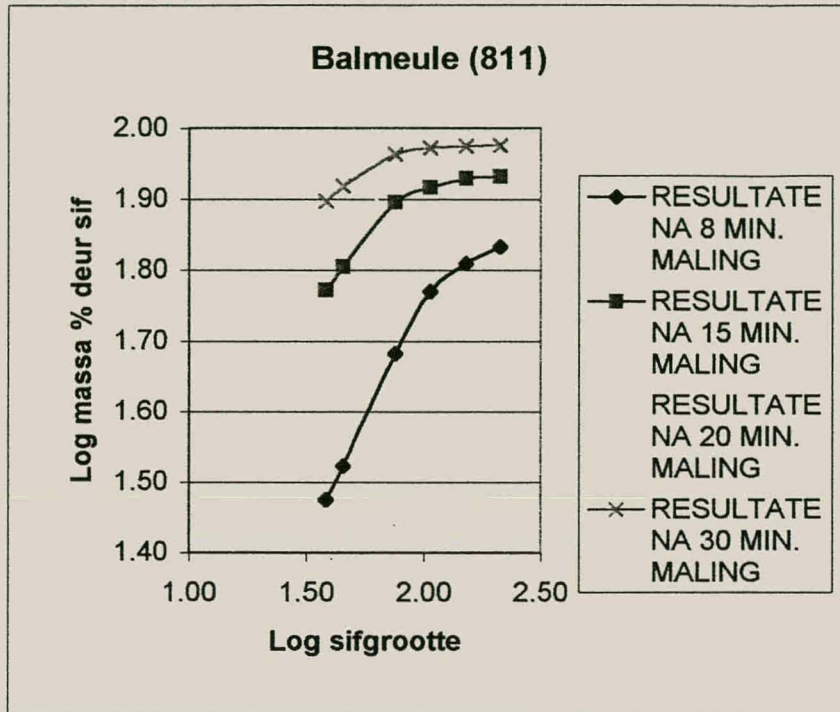
RESULTATE NA 20 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	58.9	8.86	91.14	1.96
150	2.18	2.4	0.36	90.78	1.96
106	2.03	9.2	1.38	89.40	1.95
75	1.88	32.5	4.89	84.51	1.93
45	1.65	94	14.14	70.38	1.85
38	1.58	28.9	4.35	66.03	1.82
-38		439.1	66.03	0.00	
TOTAAL		665			

HETEROGENE BALMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 30 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	39.2	5.39	94.61	1.98
150	2.18	1	0.14	94.47	1.98
106	2.03	4.1	0.56	93.91	1.97
75	1.88	14.6	2.01	91.90	1.96
45	1.65	66.1	9.09	82.81	1.92
38	1.58	27.9	3.84	78.97	1.90
-38		574.3	78.97	0.00	
TOTAAL		727.2			



AANHANGSEL E

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	140.6	30.94	69.06	1.84
150	2.18	69.5	15.29	53.77	1.73
106	2.03	77.4	17.03	36.74	1.57
75	1.88	56.2	12.37	24.38	1.39
45	1.65	11.6	2.55	21.83	1.34
38	1.58	16	3.52	18.31	1.26
-38		83.2	18.31	0.00	
	TOTAAL	454.5			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	121.1	19.20	80.80	1.91
150	2.18	91.7	14.54	66.27	1.82
106	2.03	75	11.89	54.38	1.74
75	1.88	96.7	15.33	39.05	1.59
45	1.65	95.4	15.12	23.92	1.38
38	1.58	17.8	2.82	21.10	1.32
-38		133.1	21.10	0.00	
	TOTAAL	630.8			

HETEROGENE STAAGMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	133.6	20.63	79.37	1.90
150	2.18	55.5	8.57	70.80	1.85
106	2.03	64.5	9.96	60.84	1.78
75	1.88	130.3	20.12	40.72	1.61
45	1.65	100.6	15.53	25.19	1.40
38	1.58	20.5	3.17	22.02	1.34
-38		142.6	22.02	0.00	
	TOTAAL	647.6			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[1]

RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	64.9	11.70	88.30	1.95
150	2.18	37.2	6.70	81.60	1.91
106	2.03	68.1	12.27	69.33	1.84
75	1.88	84.9	15.30	54.03	1.73
45	1.65	123.8	22.31	31.72	1.50
38	1.58	23.1	4.16	27.55	1.44
-38		152.9	27.55	0.00	
	TOTAAL	554.9			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[1]

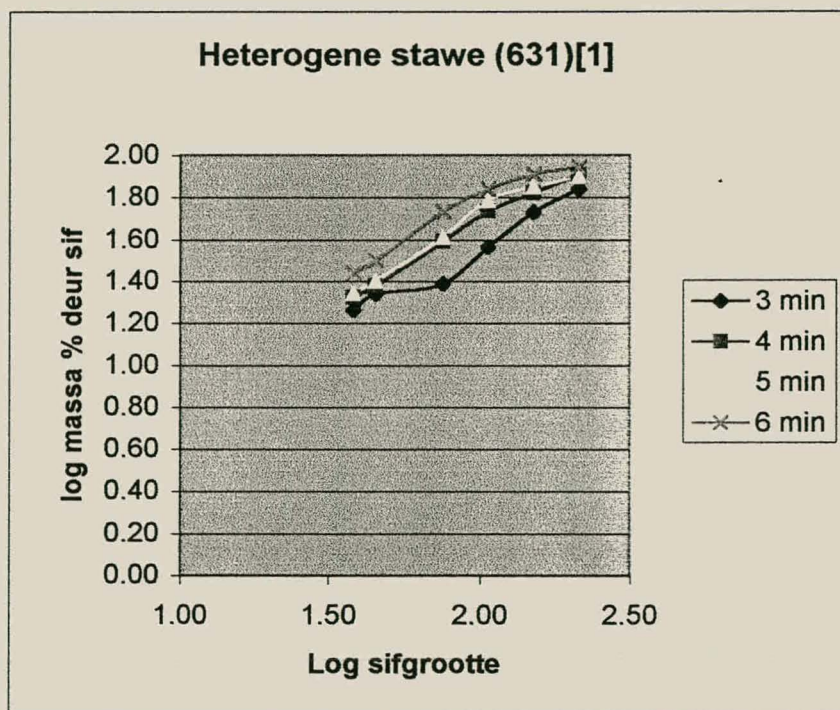
RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	2.3	0.43	99.57	2.00
150	2.18	20.25	3.82	95.75	1.98
106	2.03	70.34	13.26	82.49	1.92
75	1.88	95	17.91	64.58	1.81
45	1.65	141.4	26.65	37.93	1.58
38	1.58	24.55	4.63	33.30	1.52
-38		176.66	33.30	0.00	
	TOTAAL	530.5			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[1]

RESULTATE NA 10 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	1.84	0.32	99.68	2.00
106	2.03	78.37	13.61	86.07	1.93
75	1.88	146.11	25.38	60.69	1.78
45	1.65	116.45	20.22	40.47	1.61
38	1.58	25.74	4.47	36.00	1.56
-38		207.29	36.00	0.00	
	TOTAAL	575.8			



HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	252.8	47.80	52.20	1.72
150	2.18	33.4	6.31	45.89	1.66
106	2.03	42.6	8.05	37.83	1.58
75	1.88	41.4	7.83	30.01	1.48
45	1.65	60.1	11.36	18.64	1.27
38	1.58	13	2.46	16.18	1.21
-38		85.6	16.18	0.00	
	TOTAAL	528.9			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	239	36.28	63.72	1.80
150	2.18	57.9	8.79	54.93	1.74
106	2.03	53.9	8.18	46.74	1.67
75	1.88	88.2	13.39	33.35	1.52
45	1.65	78.4	11.90	21.45	1.33
38	1.58	18.6	2.82	18.63	1.27
-38		122.7	18.63	0.00	
	TOTAAL	658.7			

HETEROGENE STAAGMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	233.9	33.81	66.19	1.82
150	2.18	56.7	8.19	58.00	1.76
106	2.03	53.9	7.79	50.21	1.70
75	1.88	97	14.02	36.19	1.56
45	1.65	86.2	12.46	23.73	1.38
38	1.58	20.7	2.99	20.74	1.32
-38		143.5	20.74	0.00	
	TOTAAL	691.9			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	206.9	28.27	71.73	1.86
150	2.18	47.3	6.46	65.27	1.81
106	2.03	60.1	8.21	57.06	1.76
75	1.88	103	14.07	42.98	1.63
45	1.65	123.1	16.82	26.16	1.42
38	1.58	21.2	2.90	23.27	1.37
-38		170.3	23.27	0.00	
	TOTAAL	731.9			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	96.2	14.67	85.33	1.93
150	2.18	78.9	12.03	73.30	1.87
106	2.03	53.19	8.11	65.19	1.81
75	1.88	50.29	7.67	57.52	1.76
45	1.65	134.57	20.52	37.00	1.57
38	1.58	29.84	4.55	32.45	1.51
-38		212.81	32.45	0.00	
	TOTAAL	655.8			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

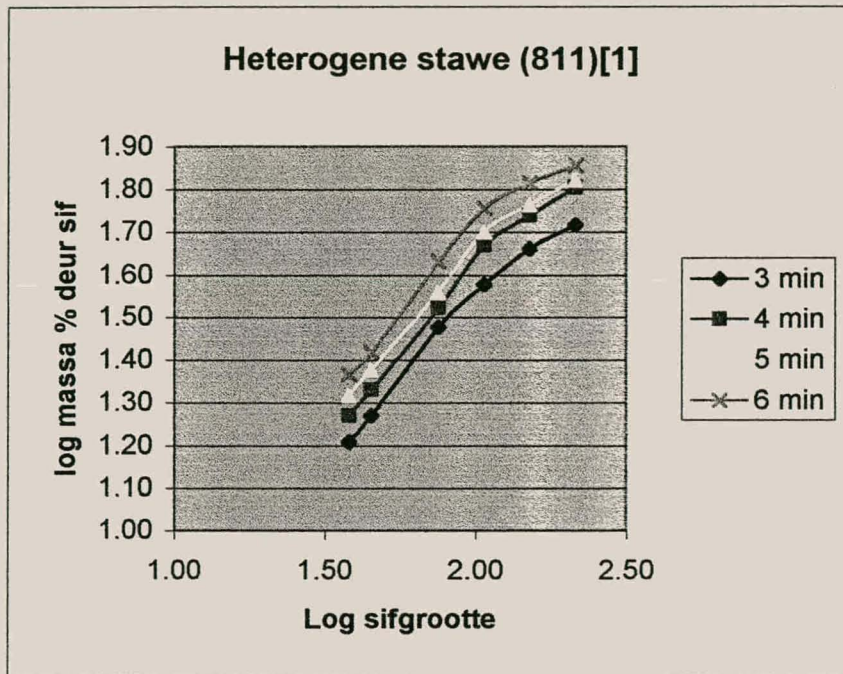
RESULTATE NA 10 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	23.74	4.06	95.94	1.98
150	2.18	49.41	8.46	87.48	1.94
106	2.03	42.65	7.30	80.18	1.90
75	1.88	56.53	9.67	70.51	1.85
45	1.65	165.43	28.31	42.19	1.63
38	1.58	31.52	5.39	36.80	1.57
-38		215.02	36.80	0.00	
	TOTAAL	584.3			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[1]

RESULTATE NA 13 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	5.28	0.87	99.13	2.00
106	2.03	63.07	10.40	88.73	1.95
75	1.88	114.09	18.81	69.91	1.84
45	1.65	120.84	19.93	49.99	1.70
38	1.58	32.36	5.34	44.65	1.65
-38		270.76	44.65	0.00	
	TOTAAL	606.4			



HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[2]

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	73.2	13.28	86.72	1.94
150	2.18	106.3	19.29	67.42	1.83
106	2.03	76.8	13.94	53.48	1.73
75	1.88	70	12.70	40.78	1.61
45	1.65	89.9	16.32	24.46	1.39
38	1.58	16.8	3.05	21.42	1.33
-38		118	21.42	0.00	
TOTAAL		551			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[2]

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	34.7	5.71	94.29	1.97
150	2.18	85.7	14.10	80.20	1.90
106	2.03	118.6	19.51	60.69	1.78
75	1.88	96.6	15.89	44.80	1.65
45	1.65	106	17.43	27.37	1.44
38	1.58	21.1	3.47	23.90	1.38
-38		145.3	23.90	0.00	
TOTAAL		608			

HETEROGENE STAAGMEULTOETSE (631)[2]

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	13.6	2.08	97.92	1.99
150	2.18	62.5	9.55	88.37	1.95
106	2.03	142.4	21.75	66.62	1.82
75	1.88	129.6	19.80	46.82	1.67
45	1.65	113.5	17.34	29.48	1.47
38	1.58	23.2	3.54	25.94	1.41
-38		169.8	25.94	0.00	
	TOTAAL	654.6			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[2]

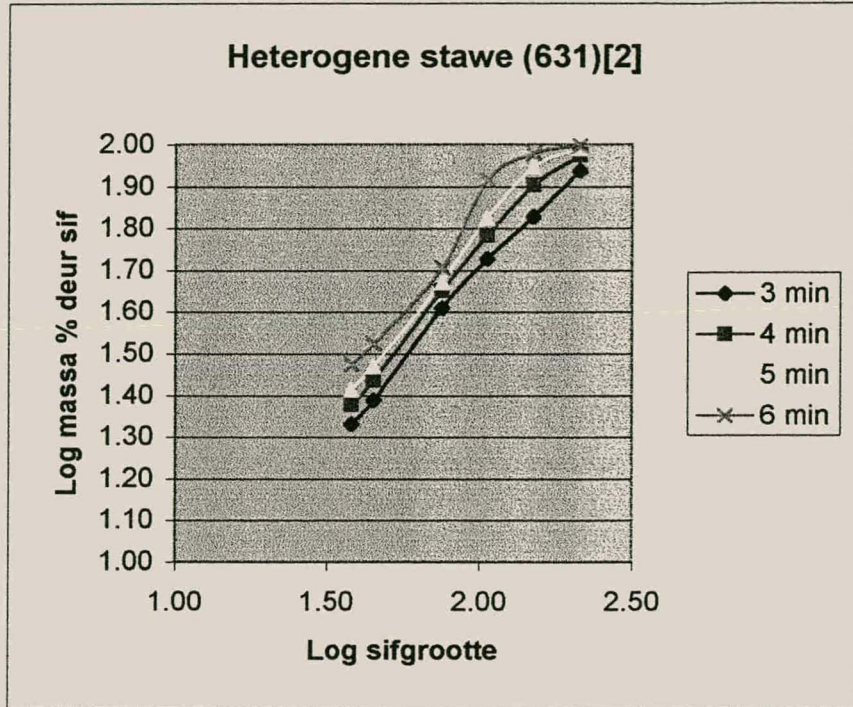
RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	1.4	0.22	99.78	2.00
150	2.18	27.2	4.31	95.46	1.98
106	2.03	81.5	12.93	82.54	1.92
75	1.88	200.1	31.74	50.80	1.71
45	1.65	109.4	17.35	33.45	1.52
38	1.58	22.6	3.58	29.87	1.48
-38		188.3	29.87	0.00	
	TOTAAL	630.5			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[2]

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	0.73	0.12	99.88	2.00
106	2.03	80.2	13.26	86.62	1.94
75	1.88	190.93	31.57	55.05	1.74
45	1.65	85.15	14.08	40.97	1.61
38	1.58	25.34	4.19	36.78	1.57
-38		222.45	36.78	0.00	
	TOTAAL	604.8			



HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[2]

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	98.7	20.15	79.85	1.90
150	2.18	58.6	11.96	67.88	1.83
106	2.03	75.1	15.33	52.55	1.72
75	1.88	75.3	15.37	37.18	1.57
45	1.65	67.5	13.78	23.40	1.37
38	1.58	11.5	2.35	21.05	1.32
-38		103.1	21.05	0.00	
TOTAAL		489.8			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[2]

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	30.7	5.96	94.04	1.97
150	2.18	50.2	9.75	84.28	1.93
106	2.03	82.4	16.01	68.27	1.83
75	1.88	101.2	19.66	48.61	1.69
45	1.65	97.3	18.90	29.71	1.47
38	1.58	19.2	3.73	25.98	1.41
-38		133.7	25.98	0.00	
TOTAAL		514.7			

HETEROGENE STAAGMEULTOETSE (811)[2]

RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	4.6	1.09	98.91	2.00
150	2.18	27.6	6.56	92.34	1.97
106	2.03	69.5	16.53	75.81	1.88
75	1.88	118.4	28.16	47.66	1.68
45	1.65	24.7	5.87	41.78	1.62
38	1.58	20.5	4.88	36.91	1.57
-38		155.2	36.91	0.00	
TOTAAL		420.5			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[2]

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	26.4	3.34	96.66	1.99
150	2.18	91.2	11.53	85.13	1.93
106	2.03	113.9	14.40	70.73	1.85
75	1.88	132.9	16.81	53.92	1.73
45	1.65	119.6	15.12	38.80	1.59
38	1.58	70.35	8.90	29.90	1.48
-38		236.45	29.90	0.00	
TOTAAL		790.8			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[2]

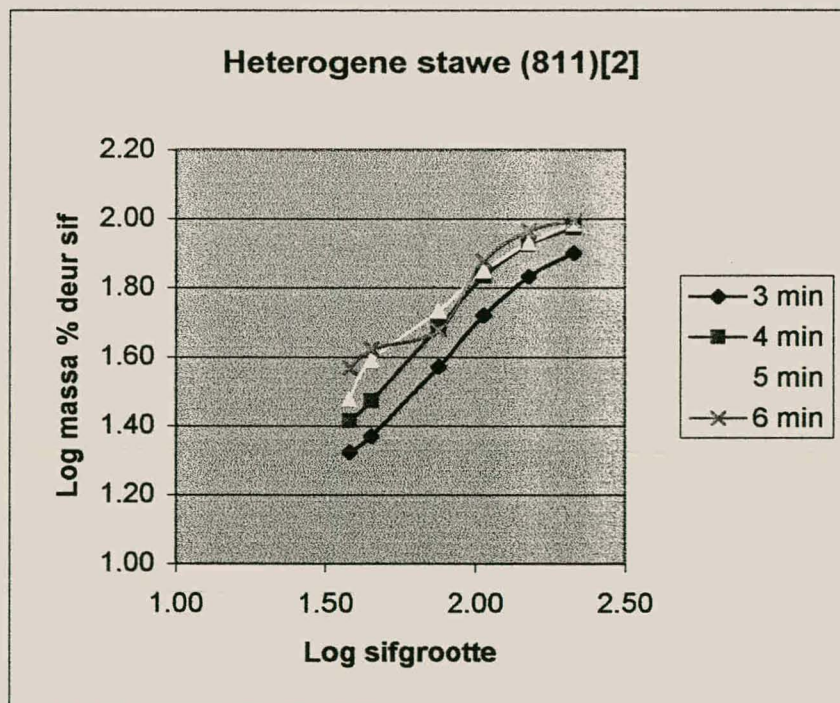
RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	15.55	2.85	97.15	1.99
150	2.18	15.88	2.91	94.24	1.97
106	2.03	74.37	13.63	80.61	1.91
75	1.88	122	22.36	58.25	1.77
45	1.65	63.56	11.65	46.60	1.67
38	1.58	35.45	6.50	40.10	1.60
-38		218.79	40.10	0.00	
TOTAAL		545.6			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[2]

RESULTATE NA 10 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	3.41	0.54	99.46	2.00
106	2.03	104.55	16.54	82.92	1.92
75	1.88	105.87	16.75	66.17	1.82
45	1.65	84.43	13.36	52.81	1.72
38	1.58	44.63	7.06	45.75	1.66
-38		289.19	45.75	0.00	
TOTAAL		632.1			



HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[3]

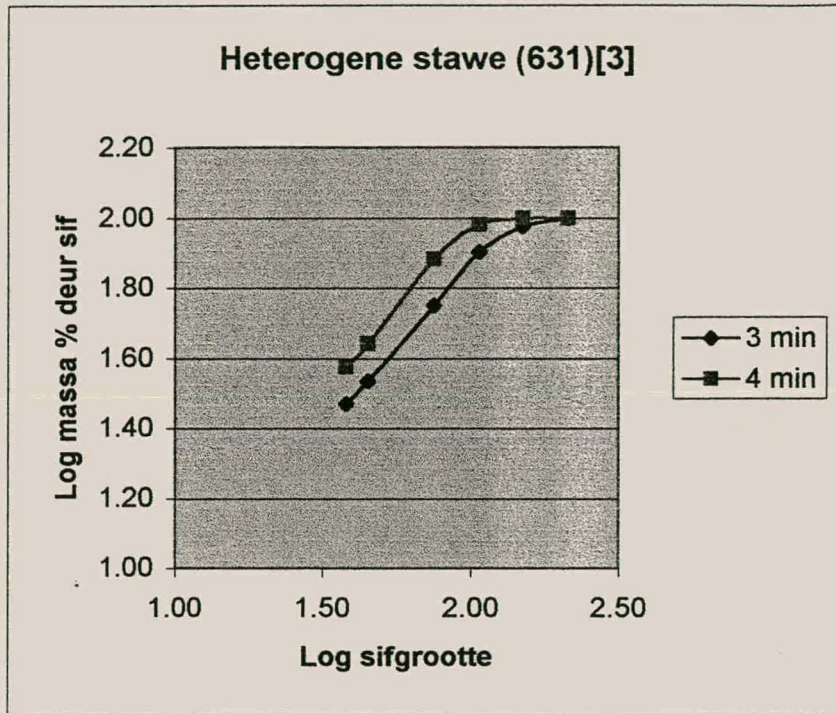
RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	1.9	0.34	99.66	2.00
150	2.18	29.2	5.16	94.50	1.98
106	2.03	81.8	14.45	80.05	1.90
75	1.88	134.4	23.75	56.30	1.75
45	1.65	125.2	22.12	34.18	1.53
38	1.58	26.7	4.72	29.46	1.47
-38		166.7	29.46	0.00	
TOTAAL		565.9			

HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (631)[3]

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0.2	0.04	99.96	2.00
150	2.18	1.1	0.20	99.76	2.00
106	2.03	22.1	4.03	95.73	1.98
75	1.88	106.5	19.44	76.29	1.88
45	1.65	178.5	32.58	43.71	1.64
38	1.58	33.4	6.10	37.62	1.58
-38		206.1	37.62	0.00	
TOTAAL		547.9			



HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[3]

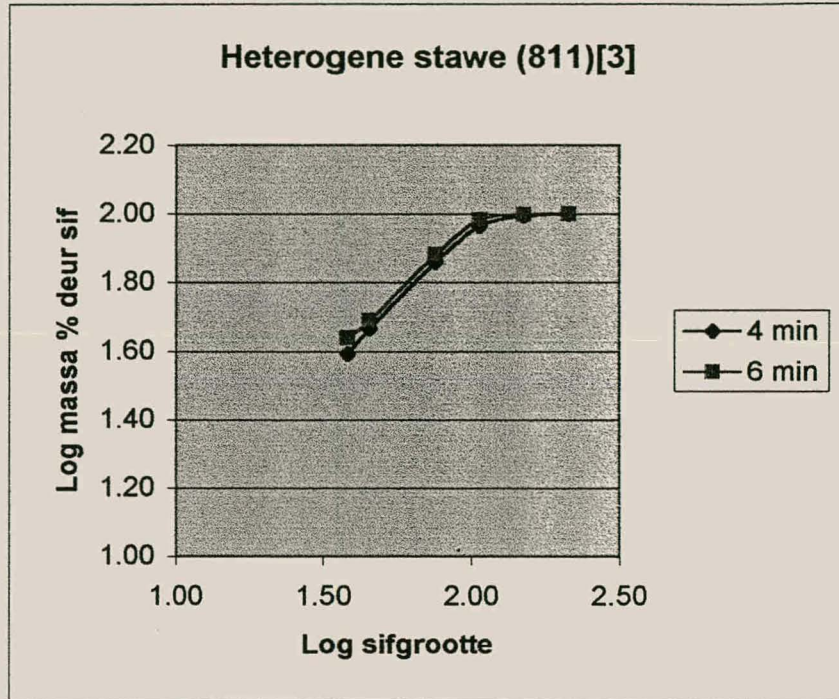
RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0.8	0.17	99.83	2.00
150	2.18	4.1	0.86	98.97	2.00
106	2.03	31.9	6.70	92.27	1.97
75	1.88	94.4	19.84	72.43	1.86
45	1.65	125	26.27	46.15	1.66
38	1.58	34.2	7.19	38.97	1.59
-38		185.4	38.97	0.00	
TOTAAL		475.8			

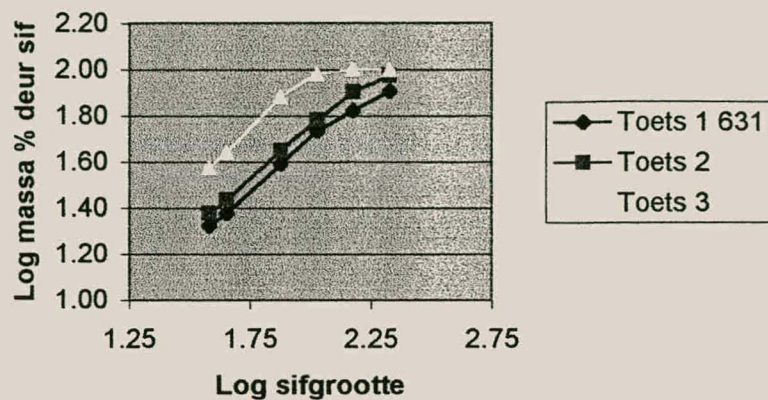
HETEROGENE STAAFMEULTOETSE (811)[3]

RESULTATE NA 6 MIN. MALING

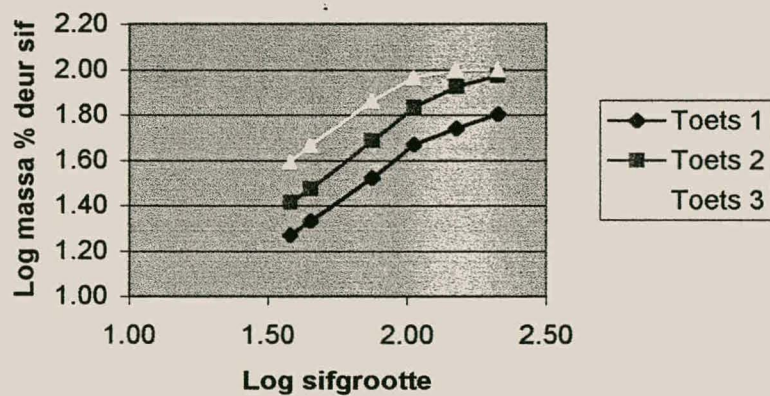
Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0.1	0.02	99.98	2.00
150	2.18	2.3	0.37	99.62	2.00
106	2.03	21.6	3.43	96.19	1.98
75	1.88	126.2	20.03	76.15	1.88
45	1.65	171.2	27.18	48.98	1.69
38	1.58	34.5	5.48	43.50	1.64
-38		274	43.50	0.00	
TOTAAL		629.9			



Segment 631 na 4 minute



Segment 811 na 4 minute



AANHANGSEL F

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	109.4	18.86	81.14	1.91
150	2.18	103.8	17.89	63.25	1.80
106	2.03	78.5	13.53	49.72	1.70
75	1.88	78.9	13.60	36.13	1.56
45	1.65	77	13.27	22.85	1.36
38	1.58	19.3	3.33	19.53	1.29
-38		113.3	19.53	0.00	
TOTAAL		580.2			

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	19.9	3.49	96.51	1.98
150	2.18	94.3	16.54	79.98	1.90
106	2.03	99.2	17.39	62.58	1.80
75	1.88	87.7	15.38	47.20	1.67
45	1.65	110.7	19.41	27.79	1.44
38	1.58	23.3	4.09	23.71	1.37
-38		135.2	23.71	0.00	
TOTAAL		570.3			

HOMOGENE STAAGMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	5.3	0.88	99.12	2.00
150	2.18	38.3	6.35	92.77	1.97
106	2.03	134.3	22.26	70.51	1.85
75	1.88	129.6	21.49	49.02	1.69
45	1.65	118.7	19.68	29.34	1.47
38	1.58	18	2.98	26.36	1.42
-38		159	26.36	0.00	
TOTAAL		603.2			

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (631)

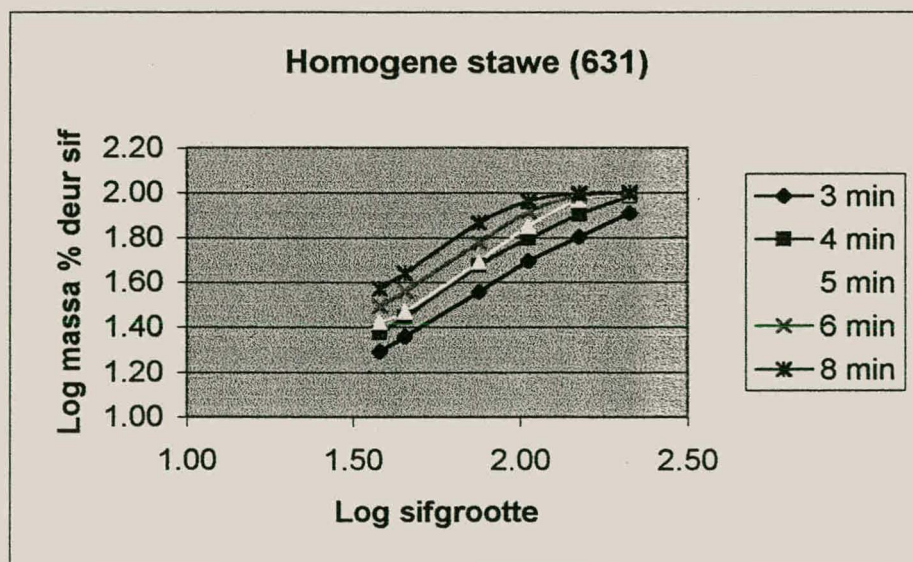
RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	1.4	0.23	99.77	2.00
150	2.18	19.4	3.14	96.63	1.99
106	2.03	87.1	14.11	82.51	1.92
75	1.88	140	22.69	59.83	1.78
45	1.65	145.6	23.59	36.23	1.56
38	1.58	31.4	5.09	31.15	1.49
-38		192.2	31.15	0.00	
TOTAAL		617.1			

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (631)

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	2.2	0.36	99.64	2.00
106	2.03	46.4	7.64	91.99	1.96
75	1.88	114.4	18.85	73.15	1.86
45	1.65	178.3	29.37	43.77	1.64
38	1.58	40.2	6.62	37.15	1.57
-38		225.5	37.15	0.00	
TOTAAL		607			



HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 3 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	94.8	18.91	81.09	1.91
150	2.18	81	16.16	64.92	1.81
106	2.03	90.5	18.06	46.87	1.67
75	1.88	59.3	11.83	35.04	1.54
45	1.65	66.4	13.25	21.79	1.34
38	1.58	13.3	2.65	19.13	1.28
-38		95.9	19.13	0.00	
TOTAAL		501.2			

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 4 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	41.6	7.35	92.65	1.97
150	2.18	124.2	21.95	70.70	1.85
106	2.03	96.9	17.12	53.58	1.73
75	1.88	78.1	13.80	39.78	1.60
45	1.65	81.2	14.35	25.43	1.41
38	1.58	16.9	2.99	22.44	1.35
-38		127	22.44	0.00	
TOTAAL		565.9			

HOMOGENE STAAGMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 5 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	7.8	1.36	98.64	1.99
150	2.18	76.9	13.44	85.19	1.93
106	2.03	118.6	20.73	64.46	1.81
75	1.88	99	17.31	47.15	1.67
45	1.65	97.5	17.05	30.10	1.48
38	1.58	21.7	3.79	26.31	1.42
-38		150.5	26.31	0.00	
TOTAAL		572			

HOMOGENE STAAFMEULTOETSE (811)

RESULTATE NA 6 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	1.5	0.27	99.73	2.00
150	2.18	39.20	7.05	92.68	1.97
106	2.03	75.9	13.65	79.04	1.90
75	1.88	130.6	23.48	55.56	1.74
45	1.65	112.7	20.26	35.29	1.55
38	1.58	21.7	3.90	31.39	1.50
-38		174.6	31.39	0.00	
TOTAAL		517			

RESULTATE NA 8 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	1.4	0.27	99.73	2.00
150	2.18	18.56	3.57	96.16	1.98
106	2.03	83.98	16.15	80.01	1.90
75	1.88	121.32	23.33	56.68	1.75
45	1.65	75.55	14.53	42.15	1.62
38	1.58	24.45	4.70	37.45	1.57
-38		194.74	37.45	0.00	
TOTAAL		520			

RESULTATE NA 10 MIN. MALING

Sif grootte (um)	Log Sif grootte(um)	Massa op sif (g)	Massa % op sif	Massa % deur sif	Log Massa % deur sif
212	2.33	0	0.00	100.00	2.00
150	2.18	2.3	0.43	99.57	2.00
106	2.03	100.37	18.76	80.81	1.91
75	1.88	80.34	15.02	65.79	1.82
45	1.65	88.44	16.53	49.26	1.69
38	1.58	24.78	4.63	44.63	1.65
-38		238.77	44.63	0.00	
TOTAAL		535			

