

DIE PIROKSENE VAN DIE
WESTELIKE BOSVELDKOMPLEKS

deur

J. MARKGRAAFF, Honns. B.Sc.

Verhandeling ter gedeeltelike voldoening
aan die vereistes vir die graad

MAGISTER SCIENTIAE

aan die

POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT VIR
CHRISTELIKE HOËR ONDERWYS

Desember 1973

ABSTRACT

The compositional trends of ten Ca-rich and eight Ca-poor pyroxenes from the western Bushveld complex were determined by x-ray fluorescence spectrometry. The Ca-rich pyroxene trend is from $\text{Wo}_{42,0}:\text{En}_{49,4}:\text{Fs}_{8,6}$ to $\text{Wo}_{38,1}:\text{En}_{25,0}:\text{Fs}_{36,8}$, whereas the coexisting Ca-poor pyroxenes trend from bronzite ($\text{Wo}_{3,1}:\text{En}_{78,9}:\text{Fs}_{18,0}$) to pigeonite and ferropigeonite with a composition of $\text{Wo}_{8,6}:\text{En}_{49,7}:\text{Fs}_{41,7}$. All the pigeonitic pyroxenes analysed and studied have inverted to orthopyroxene.

On the basis of the compositional trends found, and the general petrography of the succession studied, two successive phases of emplacement are distinguished. These phases which are represented by the Norite-Gabbro Unit and the Upper Gabbro Unit correspond roughly to the Main and Upper Zones of the eastern Bushveld complex. Each of the two phases have differentiated *in situ* under approximately the same pressure and temperature conditions.

The Ca-poor pyroxenes of the Norite-Gabbro Unit range from Mg-rich bronzite to pigeonite, whereas in the Upper Gabbro Unit the range is from hypersthene to ferro-pigeonite. In both units the phase-change from orthopyroxene to pigeonite took place over a transitional zone in which both Ca-poor pyroxenes as well as augite crystallized from the magma.

Primary orthopyroxene and pigeonite coexist with augite in the transition zone of the Norite-Gabbro Unit but the pigeonite is present as fragments in augite completely enclosed by the latter. When {001}-lamellae are present in the enclosed inverted pigeonite they have the same crystallographic and optical orientation as the surrounding augite irrespective of the orientation of the hypersthene host. Apart from this, the {001}-lamellae of the enclosed pigeonite are always

parallel to the {001}-plane of the augite. In some cases, however, the {001}-augite lamellae of the enclosed inverted pigeonite share the {102}-plane of the hypersthene host as well as the {001}-plane of the enclosing augite.

The transition zone of the Upper Gabbro Unit is characterized by grains of inverted pigeonite and inclusions of inverted pigeonite in primary hypersthene. The enclosed inverted pigeonite and the surrounding primary hypersthene have a similar orientation and form large ophitic crystals containing sporadic exsolution lamellae of augite. Some pigeonites, however, are enclosed by interstitial augite in the same manner as the pigeonite-augite assemblage in the transition zone of the Norite-Gabbro Unit.

It is thought that the phase-change from orthopyroxene to pigeonite took place over a compositional range, rather than at a definite boundary, with the result that both orthopyroxene and pigeonite as well as augite crystallized from the magma within the transitional zones of both main units. It is envisaged that the non-equilibrium assemblages of augite-pigeonite and hypersthene-pigeonite in these zones, resulted from a sudden drop in temperature when the augite, orthopyroxene and pigeonite crystallized from the melt. This non-equilibrium condition periodically prevailed during the crystallization of both main units and is only reflected by the mineralogy of the transitional zones because the recurrent drop in magma temperature occurred when crystallization was beyond the compositional range of the phase-change from orthopyroxene to pigeonite.

Slight differences between the trends of the Mg-rich clinopyroxenes from the eastern and western Bushveld and the Skaergaard intrusion was found. This is seen as the result of a displacement of the liquidus and solidus surfaces relative to the solvus surface in the hypothetical system $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3 - \text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ in one intrusion as compared with

the other. The displacement was due to a higher confined pressure in the eastern Bushveld relative to the pressure in western Bushveld and in both cases as compared with the Skaergaard intrusion.

There is also a significant difference between the ferro-augite trends of the western and eastern Bushveld which is far from clear. The explanation of this important difference is complicated by the fact that the composition of one ferro-augite from the eastern Bushveld plots on ferro-augite trend of the western Bushveld. Apart from the influence of pressure it is, however, also possible that a difference between the magma compositions of the western and eastern Bushveld existed and that the Si^{+4} - and Al^{+3} contents were crucial factors.

INHOUDSOPGAWE

Bladsy

I.	INLEIDING	
	A. Algemeen -----	1
	B. Doel van die ondersoek -----	3
	C. Vorige werk op die piroksene van basiese indringings -----	4
II.	METODES VAN ONDERSOEK -----	12
III.	BENAMING EN INDELING VAN DIE GESTEENTES	
	A. Benaming -----	19
	B. Indeling -----	21
IV.	PETROGRAFIE	
	A. Algemeen -----	24
	B. Die Noriet-gabbro-teenheid -----	24
	1. Subteenheid A -----	25
	2. Subteenheid B -----	26
	C. Die Boonste Gabbro-teenheid -----	29
	1. Subteenheid A -----	31
	2. Subteenheid B -----	32
	3. Subteenheid C -----	34
V.	EKSOLUSIE IN DIE PIROKSENE	
	A. Eksolusie in die kalsiumryke piroksene -	36
	B. Eksolusie in die kalsiumarm piroksene --	41
VI.	SAAMBESTAANDE PRIMÊRE ORTOPIROKSEEN, OUGIET EN GEÏNVERTEERDE PIGEONIET	
	A. Algemene verhoudings -----	48
	B. Ingeslote geïnverteerde pigeoniet in ougiet	

(vervolg)

1.	Noriet-gabbro-eenheid -----	50
2.	Boonste Gabbro-eenheid -----	53
C.	Die kristallisasie van saambestaande primêre ortopirokseene en geïnverteerde pigeoniet -----	54
1.	Noriet-gabbro-eenheid -----	61
2.	Boonste Gabbro-eenheid -----	63
VII.	DIE CHEMIE VAN DIE PIROKSENE	
A.	Algemeen -----	66
B.	Die variasie van aluminium en silikon in die piroksene en die moontlike in= vloed van druk en magmasamestelling op die verspreiding daarvan in die klino= pirokseenstruktuur	
1.	Aluminium (Al^{+3}) -----	68
2.	Silikon (Si^{+4}) -----	77
C.	Die distribusie van Fe^{+2} en Mg^{+2} in die pirokseenpare -----	80
D.	Die variasie van die ondergeskikte elemente Fe^{+3} , Mn^{+2} en Ti^{+4} in die piroksene -----	87
VIII.	KRISTALLISASIEVERLOOP VAN DIE PIROKSENE	
A.	Kristallasiasieverloop van die piroksene in die westelike Bosveldkompleks -----	89
B.	Vergelyking tussen die kristallasiasiever= lope van die piroksene in die westelike en oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing -----	94

(vervolg)

	1. Noriet-gabbro-eenheid -----	94
	2. Boonste Gabbro-eenheid -----	98
IX.	SAMEVATTING -----	108
X.	BEDANKINGS -----	115
XI.	VERWYSINGS -----	116

BYLAES

BYLAE A -----	1
BYLAE B -----	11
BYLAE C -----	1v
BYLAE D -----	v11
BYLAE E -----	1x
BYLAE F -----	xv

PLATE

DIE PIROKSENE VAN DIE WESTELIKE BOSVELDKOMPLEKS

I. INLEIDING

A. Algemeen

Uit eksperimente wat onder verskillende druk- en temperatuurtoestande in die laboratorium uitgevoer is, asook uit chemiese analises van natuurlike piroksene, blyk dit dat basaltiese piroksene hoofsaaklik uit vaste oplossings van wollastoniet (Wo), enstatiet (En) en ferrosiliet (Fs) bestaan. Dit is ook duidelik dat hierdie vaste oplossings onder magmatiese toestande beperk is, so= dat twee pirokseenefases naamlik, 'n kalsiumarm en 'n kalsiumryke fase in ewewig met mekaar, uit basaltiese magmas kristalliseer. Met die oog op die verklaring van die afkoelingsgeskiedenis van gelaagde basiese indringings is gedurende die afgelope jare heelwat aandag aan hierdie saambestaande kalsiumarm en kalsiumryke piroksene geskenk. Daar is by uitstek gekonsentreer op die samestellingsvariasies van die piroksene van veral die Stillwaterkompleks in Montana (Hess, 1960) en die Skaergaardindringing in Oos-Groenland (Muir, 1951; Brown, 1957 en Brown and Vincent, 1963).

In die verlede was die meeste van die werk op die piroksene van die Bosveldkompleks, anders as in die ander

indringings, beperk tot beskrywings van teksturele en petrogenetiese verwantskappe wat deel gevorm het van meer algemene studies van regionale of plaaslike omvang. Redelik onlangs eers het Atkins (1969) die eerste uitvoerige sistematiese studie van die piroksene in die Bosveldkompleks, wat met ondersoeke van 'n soortgelyke aard in die Stillwaterkompleks en die Skaergaardindringing vergelyk kan word, gemaak.

Die vernaamste blootgestelde gesteentes van die Bosveldkompleks vorm twee lobvormige segmente in die oostelike en die westelike Transvaal. Die basiese gedeelte van die westelike segment van die Bosveldkompleks, wat die basis van die onderwerp van hierdie verhandeling vorm, is 'n half-ringvormige liggaam wat vanaf die Krokodilrivier in die noordooste, suid van Thabazimbi, in 'n suidwestelike rigting tot by Pilanesberg in die weste strek. Vanaf Pilanesberg swaai dit boogvormig ooswaarts en word geleidelik dunner in die rigting van Pretoria waar dit uiteindelik net noord van die stad uitknyp (Plate IA en IB). Wes van Pilanesberg kom 'n verdere verlenging van basiese gesteentes voor, maar dit is gedeeltelik deur 'n reeks sedimente (Coertze, 1971, p. 1) van die res van die westelike segment afgesny.

B. Doel van die ondersoek

Uit 'n ondersoek van die saambestaande kalsiumarme en kalsiumryke piroksene van die Bosveldkompleks, verkry Atkins (1969) 'n pirokseensamestellingsverloop wat uniek aan hierdie indringing is. Om die samestellingsverloop van hierdie piroksene te kon vasstel het Atkins 17 piroksene geanaliseer. Hy het ook gebruik gemaak van 6 beskikbare analyses wat vroeër deur Hess (1949) gemaak is. Hierdie geanaliseerde piroksene is almal uit monsters van die oostelike Bosveldkompleks afkomstig behalwe Atkins se nr. 5 en die paar 9-9a wat deur Hess (1949) ontleed en uit monsters van die westelike Bosveld verkry is. Wat egter van belang is, is dat die samestellings van die ougiet (nrs. 5 en 9; Atkins, 1969, p. 232) in hierdie monsters, in terme van die Ca:Mg:ΣFe-proporsies, nie met die samestellingsverloop van die oostelike Bosveld saamval nie. (Atkins, 1969, Fig. 3). Na aanleiding hiervan meen Atkins (1969) dat daar 'n klein maar tog belangrike verskil tussen die kristallasiasieverlope van die oostelike en westelike Bosveldkompleks bestaan. Om meer lig hierop te werp, is besluit om die piroksene van die westelike Bosveldkompleks in meer besonderhede te ondersoek en met analyses van saambestaande pirokseenpare te probeer vasstel of daar wel 'n verskil tussen die kristallasiasieverlope van die oostelike en die westelike Bosveldkompleks bestaan.

Omdat die piroksene wat ondersoek en geanaliseer is nie onafhanklik van die gesteente-opeenvolging as geheel, en ook nie sonder inagneming van die gesteentes waarin hul voorkom, bevredigend beskou kan word nie, is ook aandag aan die benaming, petrografie en algemene opeenvolging van die gesteentes wat in hierdie ondersoek aangetref is, geskenk.

C. Vorige werk op die piroksene van basiese indringings

Plutoniese tholeiïtiese rotse, wat onder ewewigstoestand gekristalliseer het, bevat gewoonlik twee piroksene in die vorm van ougiet en òf ortopirokseen, òf pigeoniet ($2V < 30^\circ$). Hierdie twee piroksene bestaan gewoonlik saam in dieselfde rots en beide fases word met differensiasie meer ysterryk totdat 'n samestelling bereik word waarby, in die geval van die kalsiumarmfase, 'n pigeoniet in die plek van ortopirokseen saam met die kalsiumryke klinopiroksene kristalliseer. Met voortgesette differensiasie kristalliseer die pare pigeoniet-ougiet en ferropigeoniet-ougiet opeenvolgend. Onder uiterste deurlopende toestande van differensiasie en fraksionering verdwyn die kalsiumarmfase en ontstaan 'n ysterryke olivien en hedenbergiet. Hierdie verhoudings is die eerste deur Hess (1941, p. 515-535) ingesien na aanleiding van werk wat deur Asklund, Barth, Tsuboi, Kuno, en Wager en Deer gedoen is, maar dit is eers later in fyner besonderhede deur Poldervaart en Hess (1951, p. 472-489) uiteengesit.

Slegs die piroksene van die Skaergaardindringing was tot onlangs toe in besonderhede bestudeer. Volgens Brown en Vincent (1963, p. 175) het Wager en Deer, met die chemiese analyses van vyf kalsiumryke piroksene van die Skaergaardindringing, getoon dat 'n verloop van progressiewe ysterverryking met magmadifferensiasie in hierdie klinopiroksene voorkom. Muir (1951, p. 690-714) het egter hierna 15 nuwe analyses van kalsiumryke klinopiroksene uit die gelaagde reeks van Skaergaard gemaak en deur 'n kombinasie van sy analyses met dié van Wager en Deer te maak, 'n pirokseenkristallasieverloop gevind wat uniek aan die Skaergaardindringing is. Aangesien ses van hierdie analyses deur herberekening van gekontamineerde materiaal verkry is (Muir, 1951, p. 696), het Brown (1957, p. 511-543) later 'n verdere uitvoerige ondersoek van die Skaergaardpiroksene, wat 13 nuwe analyses van suiwer materiaal ingesluit het, gedoen. Uit die werk van Brown is 'n betroubare verloop vir die vroeë en middel stadiums van pirokseenkristallasie in die Skaergaardindringing verkry.

Brown en Vincent (1963, p. 175-197) het die laat differensiate van Skaergaard bestudeer en het met nege analyses van ysterryke piroksene die kristallasieverloop van ferro-ougiet na ferrohedenbergiet, en ferrohedenbergiet wat uit 'n ysterryke β -wollastoniet geïnverteer het (Brown en Vincent, 1963, Fig. 2, p. 193), bepaal. Die saamgestelde verloop van Brown (1957) en die verloop van Brown en Vincent (1963),

vir die laat stadiums van kristallisasie van die Skaergaardindringing, was beskou as kenmerkend van piroksene wat uit 'n stadig afgekoelde tholeiïtiese magma gekristalliseer het.

Op grond van die analyses van vyf klino- en ortopiroksene het Hess (1960, p. 25-32) ook vir die Stillwaterkompleks 'n pirokseenkristallasieverloop vasgestel wat op 'n soortgelyke algemene patroon as dié van Skaergaard dui, hoewel met klein dog moontlik belangrike verskille. Die laat differensiate van hierdie indringing is egter swak blootgestel (Hess, 1960, p. 88) met die gevolg dat die vasgestelde kristallasieverloop vir die Stillwaterkompleks tot die meer magnesiumryke piroksene beperk is.

Atkins (1969) het 'n uitvoerige studie van die piroksene in die oostelike Bosveldkompleks gemaak en kon net soos in die gevalle van Skaergaard en Stillwater 'n unieke kristallasieverloop vir die saambestaande piroksene verkry. Die pirokseenkristallasieverloop van die oostelike Bosveldkompleks kom, wat die magnesiumryke ougiet betref, min of meer met dié van Skaergaard ooreen. Sover dit die ferro-ougiet betref is daar egter 'n aansienlike verskil tussen die verloop van die Bosveldkompleks en dié van Skaergaard. Atkins (1969, p. 222) skryf die verskille tussen die kristallasieverlope van die piroksene in hierdie twee indringings aan hoër druk en/of laer temperatuur van

kristallisasie in die oostelike Bosveldkompleks toe. Volgens hom is die verloop van die Bosveldkompleks die volledigste vir 'n enkele gefraksioneerde indringing.

Konda (1970) het deur 'n studie van die Beaver Bay-gabbrokompleks ook vir hierdie relatiewe klein indringing 'n pirokseenkristallasieverloop vasgestel.

Uit die werk op die Skaergaardindringing, die Stillwaterkompleks, die oostelike Bosveldkompleks asook die Beaver Bay-gabbrokompleks blyk dit dus dat daar nie 'n unieke kristallasieverloop vir piroksene wat uit tholeiïtiese magmas kristalliseer, bestaan nie, maar dat elke indringing 'n eie kenmerkende verloop vertoon.

Afgesien van die samestellingsvariasies met ysterverryking, besit piroksene wat uit tholeiïtiese magmas kristalliseer 'n verskeidenheid eksolusieteksture. Hierdie subsolidusontmenging van kalsiumryke uit kalsiumarm piroksene en omgekeerd is die eerste duidelik uiteengesit en verklaar deur Hess en Phillips (1938, p. 450-456), Hess (1941, p. 580-582) en Poldervaart en Hess (1951, p. 481-485).

Hess en Phillips (1938, p. 454) en Poldervaart en Hess (1951, p. 481-485) koppel die eksolusieverskynsels aan die kristallasie- en afkoelingsgeskiedenis van die magma. Op hierdie wyse kan verklaar word hoe ougiet uit ortopirokseen en pigeoniet, en selfs pigeoniet uit ougiet, in die vaste toestand ontmeng.

Die inversieverhoudings van hipersteen en pigeoniet is deur Hess (1941, p. 580) ingesien. Hierdie inversie, wat by 'n En:Fs-verhouding van 70:30 in die ortopirokseen plaasvind, skryf Hess (1941, p. 583, Fig. 9) toe aan die moontlike kruising van die pirokseeninversiekromme met die afkoelingstemperatuurkurwe van die magma. Pigeoniet kristalliseer dus volgens die idee van Hess by hierdie samestelling ($\text{En}_{70}:\text{Fs}_{30}$) en samestellings met 'n groter Fs-inhoud omdat die temperatuur van die magma bokant die inversietemperatuur van die ortopirokseen is. By verdere afkoeling inverteer die gekristalliseerde pigeoniet in die vaste toestand in hipersteen nadat die oormaat kalsium, wat by die kristallisasietemperatuur in die pirokseenstruktuur opgeneem is, ontmeng het. Na inversie ontmeng die geïnverteerde pigeoniet verdere kalsiumryke klinopiroksene. Daar word ook gemeen (Hess en Phillips, 1938, p. 450 en Poldervaart en Hess, 1951, p. 484, Fig. 7) dat die ontmenging van die een fase uit die ander in 'n bepaalde kristallografiese rigting, wat gewoonlik 'n gemeenskaplike vlak is, plaasvind.

Kuno en Nagashima (1952, p. 1000-1005) het die inversieverhoudings in hipersteen en pigeoniet, wat uit die grondmassa van 'n hipersteen-olivien-andesiet van die Hakone-vulkaan in Japan afkomstig is, bestudeer. Hulle stel 'n inversie-interval eerder as 'n inversiepunt voor en meen dat dit 'n relatiewe wye bereik het.

Brown (1957, p. 527-543) het 'n semikwantitatiewe fasesdiagram (p. 530, Fig. 5), wat die moontlike verwantskappe tussen die kristallisasiekurwe vir die kalsiumarm piroksene en die inversiekurwe vir die monokliniese en ortorombiese kalsiumarm piroksene aandui, gekonstrueer. Hy (p. 541) bevraagteken die gepostuleerde inversie-interval van Kuno en Nagashima op grond van Bowen en Schairer se verklaring dat die temperatuurinterval van inversie baie gering is, asook op grond van Kuno en Nagashima (1952, Fig. 2) se aanduiding dat die interval as 'n funksie van die En:Fs-verhouding klein is. Deer en andere (1963, p. 149) meen egter dat die oorspronklike eksperimentele inversiekurwe wat deur Bowen en Schairer bepaal is, en wat op 'n suiwer (Mg,Fe) SiO₃-reeks gegrond is, nie die effekte van aanmerklike hoeveelhede kalsium op die inversietemperature van hierdie piroksene weerspieël nie.

Daar is waargeneem dat pigeoniet net saam met ougiet kristalliseer totdat die Mg:Fe-verhouding in pigeoniet 'n waarde van ongeveer 35:65 bereik. Volgens Brown (1957, p. 524) word die term "twee-pirokseengrens" deur Hess gebruik om dié limiet te definieer. Volgens hom gebruik Tsuboi egter hierdie term om die limiet van 'n binêre kotek-tiek in die kristallisasie van die piroksene aan te dui. Brown (1957) meen dat die term "die limiet van die twee-pirokseenveld" eerder gebruik behoort te word om die beëindiging van die pigeonietkristallisasie aan te dui.

Hy wys daarop (p. 527) dat die verhoudings van die piroksene in Skaergaard die idee van Muir (1954, p. 385, Fig. 4) steun, dat die liquidusminimum in die hipotetiese sisteem $(\text{Mg,Fe}) \text{SiO}_3\text{-Ca} (\text{Mg,Fe}) \text{SiO}_3$ na die kalsiumryke kant van die solvus beweeg namate die piroksene meer ysterryk word, en dat die liquidusminimum uiteindelik oor die rand van die solvus gaan, waarna net die kalsiumryke piroksene kristalliseer.

Hess (1960, p. 25-32) wys daarop dat die eksolusie- en inversieverhoudings in die piroksene groot waarde as 'n geologiese termometer het en dat dit as goeie aanduidings van die temperatuurtoestande, gedurende en na kristallisasie, kan dien.

Van den Berg (1946, p. 178) het uit 'n maakselanalise van die piroksene van die Bosveldkompleks gevind dat die kristallografiese c -as van die ortorombiese kalsiumarm piroksene sonder voorkeur-oriëntasie in die vlak van die stollingsgelaagdheid lê. Afgesien hiervan vind Von Gruenewaldt (1970, p. 70-72) later dat die geïnverteerde pigeoniet in die Bosveldkompleks dieselfde optiese oriëntasie oor relatief groot gebiede besit en sodoende groot opties kontinue kristalle gevorm word. Hy vind verder dat die $\{001\}$ -ougietlamelle in 'n opties kontinue groep sonder enige voorkeur-oriëntasie is en dat die na-inversielamelle parallel aan die $\{100\}$ -vlak van die optiese eenheid lê.

Alhoewel Von Gruenewaldt se waarnemings hoofsaaklik gebaseer is op monsters wat uit die oostelike gedeelte van die Bosveldkompleks afkomstig is, vind Meyer (1969, p. 63) 'n soortgelyke situasie in monsters van die westelike Bosveldkompleks. Hy vind verder (p. 66-68) dat inversie sodanig geskied het dat in die oorwegende gevalle geeneen van die kristallografiese asse van die oorspronklike pigeoniet behou is nie aangesien die oriëntasie van stelle {001}-ougietslamelle in die hipersteen sonder voorkeur is.

II. METODES VAN ONDERSOEK

Die noriete en gabbro's van die Noriet-gabbro-eenheid (Bylae A) is relatief goed blootgestel in die westelike Bosveldkompleks en rotsmonsters van die eenheid is langs 'n roete oor die opeenvolging van gesteentes in 'n rigting noord van R^sutenburg en in die omgewing van Marikana en Brits geneem (Plate IA en IB).

Die gesteentes van die Boonste Gabbro-eenheid (Bylae A) dagsoom egter baie swak en monsters kon net sporadies in verskillende omgewings gevind word (Plate IA en IB). Alhoewel monsters van subeenheid A en subeenheid D van die Boonste Gabbro-eenheid op hierdie wyse verkry is, is van boorgatkern gebruik gemaak vir die verkryging van monsters van subeenheid B bokant die Hoofmagnetietband.

Van elk van die rotsmonsters is slypplaatjies gemaak wat met 'n petrografiese mikroskoop ondersoek is.

Die optiese ashoeke van die kalsiumarm piroksene in die versamelde monsters is met behulp van die draaitafel bepaal deur van georiënteerde slypplaatjies gebruik te maak waarin albei optiese asse (Hess, 1949, p. 629) van die pirokseen in die veld van die mikroskoop gebring kon word. Hierdie metode is gevolg om monsters vir analise te vind waarin die En:Fs-verhouding van die kalsiumarm piroksene genoegsaam verskil om die opeenvolging met betekenisvolle

intervalle te dek en duplikasie van analises te vermy. In monsters waarin geïnverteerde pigeoniet die kalsiumarm pirokseen is, is die optiese ashoek asook n_{β} van prismatiese splytingskorrels gebruik om die En:Fs-verhouding te bepaal. Op hierdie wyse is 12 monsters vir die analise van beide kalsiumarm en kalsiumryke piroksene uitgesoek.

Ongeveer 250 g van elke rotsmonster is in 'n kakebeen=vergruiser gebreek tot stukke van ongeveer 5 mm in deursnee. Die poeier en fyner fraksies wat in die breekproses ontstaan, is van die growwe fraksie met behulp van 'n 10-maas Endecott-sif geskei. Die growwe fraksie is hierna in 'n ystervysel gestamp en gesif om fraksies tussen 120- en 140-maas te lewer. Alhoewel 'n gedeelte van die breë {001}-ou-gietlamelle van die geïnverteerde pigeoniet met die stamp=proses losgebreek en gedurende die latere skeiding van die pirokseenfases in die kalsiumryke fraksie beland het, is die genoemde fraksie, en nie 'n growwer een nie, ook gebruik waar geïnverteerde pigeoniet die kalsiumarm pirokseenfase is. (Die redes hiervoor word by die behandeling van die Fe^{+2} -bepaling gegee). Die korrels is op 'n 140-maas-sif met gedistilleerde water gewas om enige stof en fyner korrels te verwyder. Magnetiet en moontlike ystervysels van die stampproses is met 'n handmagneet onttrek.

Die piroksene is met die isodinamiese magnetiese skeier van Frantz van die plagioklaas, en van mekaar, geskei. Metileenjodied en bromoform is gebruik om die monsters

verder te suiwer. Ougiet is minder magneties as bronsiet en hipersteen sodat die skeiding hiervan geen probleme opgelewer het nie. Die skeiding van geïnverteerde pigeoniet en ougiet is egter baie bemoeilik deurdat die magnetiese vatbaarheidskurwes (Hess, 1960, p. 21) vir hierdie twee minerale nie dieselfde helling het nie maar oor 'n interval kruis.

Die skeiding van ougiet en geïnverteerde pigeoniet is uitgevoer deur eers 'n ruwe skeiding van die minerale te maak om sodoende die growwe sywaartse kanteling van die magneet vas te stel. Daarna is die kantelingshoek saam met die magneetstroom, wat die veldsterkte bepaal, geleidelik verstel totdat geïnverteerde pigeoniet aan die meer magnetiese kant van die skeierkanale net onttrek is. Deur die magneetstroom met 5 persent bokant hierdie waarde te verhoog, is die geïnverteerde pigeoniet van die minder magnetiese fraksie en van sommige geïnverteerde pigeoniet=korrels, wat in die minder magnetiese fraksie agterbly, geskei. Die ougiet is uit die minder magnetiese fraksie onttrek deur die magneetstroom sō te kies, dat 'n verlaging daarvan die eerste ougiet aan die minder magnetiese kant van die skeierkanale lewer.

Vir elke finale stand is die skeidings, slegs met die fraksie van belang, herhaal totdat 'n suiwer konsentraat verkry is. Deur 'n korreltelling van die geskeide fases

van elke monster met die meganiese tafel te maak en die skeidings te herhaal, is verseker dat 'n suiwerheid van 98 persent vir elke monster verkry is.

Alle skeidings is met behulp van die magnetiese skeier gemaak, behalwe in die geval van monsters 7, 12 en 13. Geen skeiding kon op die bogenoemde wyse vir monster 7 verkry word nie, afgesien daarvan dat hipersteen en ougiet die twee pirokseenfases is. Monsters 12 en 13 het geen kalsium-arm pirokseenfase bevat nie, maar in die plek van geïnveterde pigeoniet was olivien aanwesig. Die skeiding van die piroksene in hierdie monsters is gemaak deur van Clerici'se oplossing gebruik te maak en is tot 10 keer met sentrifugering herhaal om suiwer pirokseenkonsentrate te verkry.

Biotiet kleef in die algemeen vanweë die elektrostatiese lading op die vlokkes aan die pirokseekorrels vas, maar dit is volgens 'n metode wat deur Hess (1960, p. 21) voorgestel is, verwyder. Dit is gedoen deur die pirokseenkonsentraat herhaaldelik oor 'n vel skoon papier te strooi waarna die korrels normaalweg van die papier in skoon monsterbottels oorgedra is. Die meeste van die biotiet kleef aan die papier vas of dit gly stadiger as die ander korrels met die oordragproses van die papier af. 'n Groot persentasie biotiet, indien dit aanwesig is, word ook met die suiweringsproses in metileenjodied verwyder omdat die biotiet relatief stadiger in die swaervloeistof sink en die swaarfaksie relatief vinnig onttrek is.

Brekingsindeksbepalings (Bylae B) is gedoen volgens die metode van Slawson en Peck (1936, p. 527). 'n Abbe-refraktometer is gebruik om die brekingsindeksmetings teenoor die D-lyn van natriumlig te standaardiseer. Die noukeurigheid van die brekingsindeksbepalings word weens 'n gebrek aan ligtemperatuur- en golflengtekontrole en weens redes soos uiteengesit deur Hess (1960, p. 7-8) op $\pm 0,001$ gestel.

'n Gedeelte van die minus 120-maas-konsentraat van elke mineraal is gedroog en gebruik vir die bepaling van die persentasie FeO volgens die gewysigde koue-suur-oplossingsmetode van Wilson (Maxwell, 1968, p. 419).

Die minus 120-maas-fraksie, in plaas van fyn poeier, is gebruik omdat volgens Maxwell (1968, p. 50), Mauzelius en ook Hillebrand daarop wys dat verpoeiering, oksidasie van 'n groot persentasie van die ferro-yster veroorsaak. Afgesien hiervan kan die geïnverteerde pigeonietkorrels ook nie te fyn wees nie, omdat soveel as moontlik van die {001}-ougietslamelle, wat met die stampproses losbreek, saam met die hipersteengasheer behoue moet bly. Maxwell beveel verder aan (p. 50) dat die grofste poeier toelaatbaar gebruik behoort te word. Indien die monster egter te grof is, los dit nie volledig binne die beskikbare tyd in die HF op nie omdat stadig-oplosbare kalsiumfluoriedskille om die korrels gevorm word. Dit het veral geblyk

uit eksperimentele bepalings op suiwer konsentrate van bronsiet en geïnverteerde pigeoniet tussen minus 45- en plus 50-maas en tussen minus 120- en plus 140-maas. Die minus 45-maas-konsentraat was selfs na 100 uur nie volledig opgelos nie. Volgens Maxwell (1968, p. 207) het Langmyhr en Graff gevind dat sekere presipitate wat op hierdie wyse gevorm word nog Fe^{+2} bevat. Daar is gevind dat dit veral vir die minus 45-maas-fraksie geld en dat die growwe presipitaat baie stadig oplos met die toevoeging van die swaelsuur-fosforsuur-mengsel. In die geval van die minus 120-maas-fraksie los die presipitaat egter binne 5 minute na die byvoeging van die swaelsuur-fosforsuur-mengsel op, indien met gereelde tussenposes geroer word.

Die persentasie FeO van 'n kalsiumarm pirokseen wat in alkohol verpoeier is om oksidasie te vermy, soos voorgestel deur Hillebrand (Maxwell, 1968, p. 50), en wat vir 2 uur by 50°C gedroog is, is vergelyk met die persentasie FeO van 'n minus 120-maas-konsentraat van dieselfde monster. Binne eksperimentele grense is geen afwyking gevind nie alhoewel in laasgenoemde geval oplossing vir 'n monster van 20 mg eers na 36 uur volledig was. Omdat die invloed van 'n groter persentasie kalsium in die pirokseen op die oplosbaarheid daarvan in die HF nie ondersoek is nie, is die kalsiumryke piroksene vir 48 uur in die ammoniumvanadaat en HF gelaat voordat die titrasies gedoen is. Dieselfde tydperk is ook toegelaat vir die kalsiumarm piroksene.

Fraksies van 1-2 g van elke mineraalkonsentraat is in 'n balmeule van Fritsch vir 15 minute verpoeier. Daar is met 'n afsonderlike konsentraat van tussen 120- en 140-maas gevind dat hierdie tydsverloop genoegsaam is om 'n poeier te lewer waarin 100 persent van die korrels kleiner as 300-maas en 90 persent kleiner as 325-maas is. Die verpoeierde monsters is in 'n droogoond by 110°C vir 2 uur gedroog en in bottels met digsluitende plastiese proppe oorgeplaas.

Die oksiedanalises van die piroksene wat in Bylae B aangedui word, is met 'n Philips PW 1410 semi-outomatiese spektrometer uitgevoer deur van smeltseltablette van die pirokseenmonsters gebruik te maak. Die tablette is volgens die smeltselmetode van Norrish en Hutton (1969, p. 431-453) gemaak sodat korreksies vir massa-absorpsie- en interelement-effekte aangebring kon word. Saamgepersde poeiertablette soos beskryf deur Volborth (1969, p. 251) is gebruik vir die bepaling van natrium. 'n Fortran-IV-rekenaarprogram is geskryf om die kalibrasie en korreksies vir die genoemde massa-absorpsie- en interelement-effekte uit te voer.

Die lokaliteite van die geanaliseerde piroksene word in Bylae C asook Plate IA en IB aangedui en in Bylae E word die eksperimentele X-straalfluoressensiekondisies, die keuse van standarde, kalibrering en korreksies asook akkuraatheid verder bespreek en aangetoon.

III. BENAMING EN INDELING VAN DIE GESTEENTES

A. Benaming

Die gesteentes van die Bosveldkompleks wat ondersoek is, kan op grond van hul mineraalsamestelling in agt tipes ingedeel word, naamlik: anortosiet, pirokseniet, noriet, gabbro, hiperiet, troktolet, sodagabbro en dioriet. Die voorvoegsels leuko-, meso- en mela- word volgens die kleur= indeks (Shand, 1950, p. 235) vir noriete, hiperiete en gabbro's gebruik wat 10 tot 30, 30 tot 60 en 60 tot 90 persent donker minerale respektiewelik bevat.

Die rotstipes word soos volg gedefinieer (Van Zyl, 1960 Fig. 5):

anortosiet: 90 persent plagioklaas en nie meer as 10 persent pirokseen en ander bykomstige minerale nie;

pirokseniet: 90 persent pirokseen en tot 10 persent plagioklaas en ander bykomstige minerale. (Al= hoewel hierdie rotstipe nie ondersoek is nie, word die definisie nogtans gegee omdat dit in die indeling ter sprake kom);

noriet: 10 tot 90 persent plagioklaas en 90 tot 10 persent ortopirokseen en bykomstige ougiet;

gabbro: 10 tot 90 persent plagioklaas en 90 tot 10 persent klinopirokseen en bykomstige ortopirokseen;

hiperiet: intermediêr tussen noriet en gabbro met
tussen 10 en 90 persent plagioklaas en 90 tot
10 persent klino- en ortopirokseen;

troktoliet: 'n rots wat uit meer as 10 persent plagioklaas bestaan, met tussen 10 en 90 persent olivien.

Die benamings sodagabbro en dioriet verdien, om verwarring te voorkom, bespreking. Volgens Bisschoff (1969, p. 32-33) is die benaming gabbro in die oorspronklike sin vir 'n fanerokristallyne rots bestaande uit klinopirokseen en plagioklaas (An-inhoud meer as 50 persent) gebruik en die benaming dioriet vir 'n rots met horingblende en plagioklaas (An-inhoud minder as 50 persent). Bisschoff (1969, p. 33) wys daarop dat in die oorspronklike definisie geen voorsiening gemaak is vir rotse bestaande uit amfibool + plagioklaas (An>50) en klinopirokseen + plagioklaas (An<50) nie en stel die volgende skema voor:

Amfibool + plagioklaas		Klinopirokseen + plagioklaas
An<50	dioriet	sodagabbro
An>50	kalsiese dioriet	gabbro

Hierdie voorgestelde skema en benamings is deurgaans gevolg.

B. Indeling

Talle werkers, waaronder Hall (1932, p. 271), Lombaard (1934, p. 23), Schwellnus (1956, p. 85), Van Zyl (1960, p. 6), Willemse (1964, p. 101), Coertze (1971, p. 17) en Von Gruenewaldt (1971, p. 62), het bydraes tot die indeling van die Bosveldkompleks in sones en eenhede op grond van die aard en gelaagdheid van die gesteentes gemaak. Hierdie indelings kom baie ooreen en verskil slegs wat die posisies van die grense van die opeenvolgende sones of eenhede betref.

Die onderverdeling van Willemse (1964, p. 101) is gebaseer op die voorkoms van ekonomies belangrike merkerhorisone, naamlik: die Hoofchromitietband, die Merenskyrif en die Hoofmagnetietband. Coertze (1971, p. 17) gebruik hoofsaaklik die indeling van Van Zyl (1960, p. 6) maar beskou die noritiese gesteentes aan die basis van die gabbro as deel van die gabbro-eenheid omdat geen intrusiewe verhoudings volgens hom tussen die twee gesteentetipes aanwesig is nie.

In Bylae A word die indeling wat hier gevolg is, aangedui en vergelyk met die indelings van Coertze (1971) en Willemse (1964). Hierdie indeling is gemaak omdat dit (1) die bespreking van die piroksene vergemaklik en (2) beter aanpas by die voorgestelde verklaring van die pirokseenkristallasieverloop van die westelike Bosveldkompleks. Die vernaamste chronologiese fases van die opeenvolging word

in Bylae A aangedui deur die afbakening van die hoofeenhede deur sekere gekose merkerhorisonne en die voorkoms van gapings in die mineraalsamestellings. Die onderverdeling van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid in subeenhede is egter gebaseer op die eerste voorkoms van bepaalde mineraalfases, naamlik geïnverteerde pigeoniet en olivien. Alhoewel daar in hierdie studie geen werk op die onderliggende eenhede gedoen is nie, is 'n herindeling sowel as 'n onderverdeling in eenhede nogtans, terwille van die volledigheid en eenvormigheid van benaming, gemaak. Hierdie onderliggende eenhede, verteenwoordig deur die Pirokseniet-norieteenheid, die Basale Norieteenheid en die Kileenheid is o.a. deur Van Zyl (1960) en Coertze (1971) mineralogies sowel as petrografies in besonderhede vir die westelike Bosveldkompleks ondersoek. Die onderverdeling van die Pirokseniet-norieteenheid en die onderliggende Basale Norieteenheid is gedoen na die keuse van die onderste grens van die Noriet-gabbro-eenheid en op grond van inligting wat verkry is uit boorgat ZK9 soos deur Van Zyl (1960, Fig. 6) aangedui. Die grense tussen die subeenhede word geneem as die skeidingsvlak tussen leukokratiese en melanokratiese of hipermelaniese gesteentetipes en word in beide die Basale Norieteenheid en die Pirokseniet-norieteenheid deur die bokant van 'n anortosiet gevorm. Die grense tussen hierdie eenhede asook die onderliggende Kileenheid sal verder omlyn word in terme van die indelings van Coertze (1971) en Willemse (1964). Dit word aangedui omdat geen verdere bespreking van hierdie eenhede volg nie.

Die Pirokseniet-norieteenheid is onderverdeel in twee subeenhede, naamlik subeenheid A en subeenheid B. Subeenheid A bestaan hoofsaaklik uit bronsitiet wat die Hoofchromitietband, min of meer in die middel daarvan, bevat. Die grens tussen subeenheid A en subeenheid B word gevorm deur die kontak van 'n gevlekte anortosit aan die bokant van subeenheid A en die oorliggende Merenskyrif van subeenheid B. Subeenheid B lê tussen die onderste kontak van die Merenskyrif en die onderste kontak van die oorliggende Basterrif wat direk op 'n gevlekte anortosit volg. Subeenheid A en subeenheid B kom respektiewelik met die Piroksenieteenheid en 'n samevoeging van die Porfiritiese Pirokseniet-, die Noriet- en die Anortosieteenhede van Coertze (1971) ooreen, terwyl die Kileenheid, wat volgens Coertze (1971) 'n kwartsnoriet is, ooreenkom met die Kilsone van Willemse (1964) asook die Kwartsnorietsubeenheid van Coertze (1971) en die Randnoriet van Van Zyl (1960, Fig. 6).

IV. PETROGRAFIE

A. Algemeen

In hierdie afdeling word slegs 'n kort opsommende beskrywing van die gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks, soos dit voorkom in die gebied wat ondersoek is (Plate IA en IB), gegee. Die doel daarvan is om die grense van hierdie eenhede en die onderverdeling daarvan, soos dit in Bylae A aangedui word, verder te omlyn asook om as agtergrond te dien vir die bespreking van die piroksene. Die teksture en verwante eienskappe van die piroksene word afsonderlik in hoofstuk V behandel.

Geen besondere aandag is aan die teksturele verhoudings van die piroksene geskenk nie aangesien Meyer (1969) 'n uitvoerige beskrywing hiervan vir die piroksene van die oostelike en westelike Bosveldkompleks gee.

B. Die Noriet-gabbro-eenheid

Die Noriet-gabbro-eenheid is goed blootgestel in die westelike Bosveldkompleks en vorm die belangrikste gedeelte van die opeenvolging. Dit strek vanaf die plaas Kameeldrift 298 JR, net noord van Pretoria, boogvormig weswaarts tot by Pilanesberg vanwaar dit noordooswaarts voortgesit word. Die noordoostelike grens word gevorm deur die Krokodilrivier in die omgewing van Thabazimbi.

Min of meer halfpad tussen Pilanesberg en die Krokodilrivier word die Noriet-gabbro-eenheid deur 'n insnyding van die oorliggende Boonste Gabbro-eenheid onderbreek. Die Noriet-gabbro-eenheid is veral goed ontwikkel in die omgewing van Rustenburg. In hierdie gebied en verder ooswaarts vorm die onderste gesteentes van die eenheid 'n plat landskap waarop dit sporadies as plat rotsplate blootgestel is. Die boonste gedeelte van die eenheid staan egter prominent, as min of meer deurlopende piramiedkoppies en randjies, bokant die omgewing uit.

Die Noriet-gabbro-eenheid word onderverdeel in sub-eenheid A en subeenheid B. Die grens tussen subeenheid A en subeenheid B is op 'n mineralogiese oorweging gegrond en word gevorm deur die eerste voorkoms van geïnverteerde pigeoniet as kalsiumarm pirokseenefase, stratigrafies sowat 1 200 meter bokant die Merenskyrif (bereken op 'n horisontale afstand van 6 500 meter en 'n gemiddelde helling van 10° in die Rustenburgomgewing).

1. Subeenheid A

Die onderste grens van subeenheid A word gevorm deur die Basterrif, ongeveer 33 meter bokant die Merenskyrif en dit volg direk op die gevlekte anortosiet van die Pirokseniet-norieteenheid.

Die gesteentes van subeenheid A het 'n mediumkorrelrige hipidiomorfe tekstuur en bestaan hoofsaaklik uit drie mineraalfases, naamlik ortopirokseen (En_{15-30}), klinopirokseen (Wo_{42-40} En_{49-44} Fs_{7-16}) en plagioklaas (An_{78-75}). Bronsiet en bytowniet vorm die belangrikste primêre minerale, terwyl die ougiet van tussenliggend bykomstig in die onderste rotse tot primêr, hoër op in die subeenheid wissel.

Alhoewel die verhouding van ortopirokseen tot klinopirokseen min varieer en die gesteentes in die algemeen as noriet beskryf kan word, gee die variasie in die persentasie plagioklaas aanleiding tot die klassifikasie van sekere van hierdie gesteentes as leuko- en mesotipe noriet.

Mediumkorrelrige mesotipe noriet met groot (4mm x 5mm) oneievormige kristalle van hipersteen (Fs_{31}), wat halfeievormige kristalle van plagioklaas geheel of gedeeltelik insluit, vorm die boonste gesteente van die subeenheid. Die bokant daarvan verteenwoordig min of meer die onderste grens van subeenheid B.

2. Subeenheid B

Die onderste gesteentes van subeenheid B word gevorm deur mesotipe gabbroïese gesteentes wat 'n totale maksimum dikte van ongeveer 1 000 meter bereik en waarin beide

primêre hipersteen en geïnveteerde pigeoniet as kalsium=arm pirokseenfases aanwesig is. Hierdie rotse is veral goed ontwikkel in die omgewing van Brits. Dit is nie bekend of hierdie sone ~~lateraal~~ deurlopend konstant voorkom nie, dog soortgelyke voorkomste is in die omgewing noord van Rustenburg aangetref. Hier is dit moontlik ingelaag met die gesteentes van die oorliggende tipe en nie so prominent ontwikkel nie. Blootstelling van die onderste gesteentes van hierdie subeenheid is egter baie beperk in Rustenburg en die omliggende gebiede.

Die onderste gesteentes van subeenheid B word oorlê deur afwisselende lae van mesotipe gabbro en hiperiet met 'n mediumkorrelrige hipidiomorfe tekstuur. In hierdie rotse is die primêre ortopirokseen afwesig en word die plek daarvan ingeneem deur geïnveteerde pigeoniet wat 'n maksimum Fs-gehalte in die boonste hiperiete het. Omdat die geïnveteerde pigeoniet oor relatief groot areas in die rots dieselfde oriëntasie het, reflekteer die sply=tingsvlakke daarvan sonlig oor groot oppervlaktes in die handmonster. Dit vorm 'n kenmerkende fisiese eienskap van die gesteentes in hierdie subeenheid.

Vir die grootste gedeelte van die subeenheid is die verskil tussen die een handmonster en die ander beperk tot klein variasies in korrelgrootte. Afgesien hiervan gee variasies in die persentasies geïnveteerde pigeoniet en ougiet asook

plagioklaas, aanleiding tot ritmiese gelaagdheid.

Stollingsgelaagdheid is goed ontwikkel.

Die kalsiumarm piroksene van die subeenheid verander in samestelling van $\text{Wo}_8\text{En}_{62}\text{Fs}_{30}$ aan die basis van die subeenheid tot ongeveer $\text{Wo}_8\text{En}_{55}\text{Fs}_{36}$ aan die bokant daarvan, sowat 2 800 meter bokant die Merenskyrif, terwyl die kalsiumryke piroksene 'n gelyktydige samestellingverandering van $\text{Wo}_{40}\text{En}_{44}\text{Fs}_{16}$ tot $\text{Wo}_{38}\text{En}_{41}\text{Fs}_{21}$ oor dieselfde bereik vertoon. Gepaardgaande met die ysterverryking en toename in hoogte is daar veral in die onderste gesteentes, waarin beide primêre hipersteen en geïnverteerde pigeoniet aanwesig is, 'n neiging vir die kalsiumarm piroksene om minder belangrik as primêre fase te wees.

Die samestelling van die plagioklaas verander met toename in hoogte van An_{75} met die eerste intrede van geïnverteerde pigeoniet tot An_{70} aan die bokant van die subeenheid. Dit is 'n totale kriptiese variasie van ongeveer 5 persent An. Afgesien hiervan is daar ondergeskikte ossilasies in die natriumverryking van die plagioklaas aanwesig.

Fynkorrelrige noriet ongeveer 3 100 meter bokant die Merenskyrif vorm die boonste gesteente van hierdie subeenheid. Dit is goed blootgestel in 'n stroomloop op die plaas Tweedepoort 283 JQ in die Rustenburgdistrik maar kon lateraal nie oor 'n groot afstand (>100 meter) gevolg

word nie, moontlik omdat dit bedek is deur 'n dik verweringslaag wat kenmerkend van die heel boonste gesteentes van die subeenheid is. Die geïnverteerde pigeoniet in hierdie noriet het 'n Fs-gehalte (Fs_{32} ; $2V_x = 62^\circ$) wat sowat 5 persent laer is as die maksimum Fs-gehalte van die geïnverteerde pigeoniet in die onderliggende hiperiet.

Die maksimum dikte van hierdie subeenheid word op ongeveer 2 900 meter bereken. Hierdie berekening is op blootstellings in die Rustenburg-Britsgebied van die westelike Bosveldkompleks gebaseer.

C. Die Boonste Gabbro-eenheid

Die Boonste Gabbro-eenheid vertoon 'n wye bereik van rotstipes in teenstelling met die gesteentes van die onderliggende Noriet-gabbro-eenheid. Dit is egter baie swak blootgestel en vorm net soos die gesteentes van subeenheid A van die Noriet-gabbro-eenheid 'n plat landskap waarop, veral in die omgewing van Brits en net noord van Bon Accord, landbou-aktiwiteite gekonsentreer is. Sekere horisone kan egter lateraal oor kort afstande in die veld gevolg word maar die dagsome, wat net soos dié van subeenheid A in die Noriet-gabbro-eenheid as plat rotsplate voorkom, is oor groot gebiede versprei.

Noord van Pilanesberg in die omgewing van Northam vertoon die Boonste Gabbro-eenheid 'n buitengewone strukturele ^{verhouding tot} ~~verwantskap~~ met die onderliggende Noriet-gabbro-eenheid. Net noord van die noordoostelike gedeelte van Pilanesberg en in die omgewing van ^{die} Krokodilrivier lê die Boonste Gabbro-eenheid met die normale konkordante verhouding bo-op die Noriet-gabbro-eenheid. In die tussenliggende gebied sny die Boonste gabbro-eenheid as twee lobvormige stroke, met 'n noordwestelike strekking, deur die gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid tot teen die Pirokseniet-norieteenheid (Coertze, 1971, Geologiese kaart). Volgens Coertze (1971, p. 37) bevat gesteentes van die Boonste Gabbro-eenheid noord van Pilanesberg, in die Bierspruit op Moddergat 389 KQ, Oskuil 390 KQ, Vlakpoort 388 KQ, en in die boorgatkern van 'n boorgat op Zwartklip 405 KQ, talryke fragmente van ouer basiese gesteentes soos dié van die boonste gesteentes van subeenheid A van die Pirokseniet-norieteenheid. Volgens hom is insluitels van die Noriet-gabbro-eenheid nie gevind nie.

Die Boonste Gabbro-eenheid word onderverdeel in subeenhede A, B en C. As geheel vertoon hierdie eenheid, met in agneming van die dikte daarvan, 'n groter mate van differensiasie as wat in die Noriet-gabbro-eenheid die geval is. Die totale dikte van die eenheid word op ongeveer 1 700 meter bereken, terwyl die Noriet-gabbro-eenheid 'n totale dikte van tussen 2 700 meter tot 4 400 meter het (Coertze, 1971, p. 19).

1. Subeenheid A

Hierdie subeenheid word gevorm deur 'n relatief dun opeenvolging van melanokratiese hiperiet bokant die fynkorrelrige noriet wat die bokant van die Noriet-gabbro-eenheid vorm. Dit het 'n kenmerkende ofitiese tekstuur (Meyer, 1969, p. 6) en is in dié opsig maklik onderskeibaar van die gabbro en hiperiet van die onderliggende eenheid.

Die gesteentes van hierdie subeenheid is o.a. blootgestel op die plase Hartebeestpoort 419 JQ en Krokodilkraal 436 JQ noord van Brits asook op die plaas Doornpoort 295 JR noord van Pretoria.

Die onderste gesteentes van die subeenheid word gevorm deur 'n porfiritiese melanoriet waarin die ortopirokseen 'n gemiddelde deursnee van nagenoeg 25 mm het en half-ele- tot eievormige kristalle van plagioklaas en halfeievormige ougiet geheel of gedeeltelik insluit. Hierdie teksturele eienskappe is veral opvallend wanneer 'n slypplaatjie parallel aan {100} van die ortopirokseen gemaak is.

Opvallend van die gesteentes is dat, alhoewel die ortopirokseen 'n gemiddelde samestelling (Ca-vry uitgedruk) van Fs_{36} ($2V_x = 55^\circ$) het en die Fs-gehalte ongeveer 6 persent hoër is as die Fs-inhoud by die faseverandering van hipersteen in pigeoniet, hipersteen nog primêr is. Dit het dus

direk as hipersteen gekristalliseer en nie eers as pigeoniet wat by 'n laer temperatuur geïnverteer het nie. Die feit dat die kalsiumarm pirokseen hipersteen is, en nie geïnverteerde pigeoniet nie, is deur die analitiese werk bevestig (Bylae B, analise 7 a).

Von Gruenewaldt (1971, p. 35) beskryf 'n pirokseniet-merkerhorison in die oostelike Bosveldkompleks direk bo 'n fynkorrelrige noriet. Hierdie noriet is moontlik korreleerbaar met die fynkorrelrige noriet wat die bokant van subeenheid B in die Noriet-gabbro-eenheid uitmaak. Dit is nie bekend of die piroksenietmerker wat deur Von Gruenewaldt beskryf word in die westelike Bosveldkompleks voorkom nie maar, indien dit aanwesig is, sal dit die basis van hierdie subeenheid vorm. Die boonste grens van die subeenheid word geneem op die eerste voorkoms van geïnverteerde pigeoniet nagenoeg 200-300 meter bokant die fynkorrelrige noriet aan die bokant van die Noriet-gabbro-eenheid.

2. Subeenheid B

In ooreenstemming met subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid bestaan die onderkant van die subeenheid uit mesotipe tot melanokratiese gabbroïese gesteentes waarin beide primêre hipersteen en geïnverteerde pigeoniet aanwesig is. Die geïnverteerde pigeoniet is gewoonlik, net soos in sommige van die onderste gesteentes van subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid, omring deur ougiet en lê

totaal ingesluit in, ^{of} halfeievormige hipersteen of plagioklaas. Die omvang van hierdie gesteentes, soos dit aangetref is op die plaas Doornlaagte 295 JR noord van Pretoria en waarin beide kalsiumarm pirokseenfases aanwezig is, is egter nie vergelykbaar met dié van die Norietgabbro-eenheid nie. Dit is ook nie bekend of hierdie rotse lateraal oor groot afstande strek nie aangesien die Boonste Gabbro-eenheid in die gebied noord van Rustenburg en Brits baie swak blootgestel is. Sommige van hierdie gesteentes vertoon, afgesien van primêre hipersteen, twee generasies van geïnverteerde pigeoniet. Die een generasie kom saam met ougiet en primêre hipersteen voor, terwyl die tweede in ougiet ingesluit is. Hierdie rotse vertoon ofitiese tot subofitiese teksture (Meyer, 1969, p. 16) waarin groot opties kontinue halfeievormige primêre hipersteenkristalle kleiner eievormige tot halfeievormige plagioklaas en geïnverteerde pigeoniet geheel of gedeeltelik insluit.

Min of meer gelyktydig met die intrede van geïnverteerde pigeoniet hoër op in die subeenheid, kom die eerste tussenliggende magnetiet voor. Dit is egter baie ondergeskik in sommige gabbro's van die onderste gesteentes van die subeenheid.

Die oorliggende opeenvolging van die subeenheid met geïnverteerde pigeoniet as die enigste kalsiumarm fase bestaan uit melanoriet, magnetiet-melagabbro's en melahiperiet met ingelaagde magnetiet-anortosietbande, die

Hoofmagnetietband en ondergeskikte magnetietbande hoër op in die subeenheid.

Die Fs-inhoud van die kalsiumarm piroksene verander van ongeveer Fs_{36} ($2V_x = 56^\circ$) tot ongeveer Fs_{51} ($2V_x = 45^\circ$) hoër op in die subeenheid, terwyl die samestelling van die geassosieerde klinopirokseen van $\text{Wo}_{39}\text{En}_{41}\text{Fs}_{20}$ tot $\text{Wo}_{38}\text{En}_{33}\text{Fs}_{29}$ verander. Die persentasie kalsiumarm pirokseen neem ook geleidelik af met toename in hoogte. Primêre plagioklaas kom in al die gesteentes voor en verander in samestelling van An_{65} tot An_{55} met ondergeskikte ossilasies van natriumverryking in die verloop. Alhoewel kaliumveldspaat en kwarts ook soms aanwesig is, is dit ondergeskik. Mirmekitiese deurgroeiings van kwarts in die plagioklaas is in sommige rotse waargeneem en is gekonsentreer langs die hoeke van halfeievormige plagioklaaskristalle.

3. Subeenheid C

Op die plaas Doornpoort 295 JR noord van Pretoria kom 'n horison van magnetiet-troktoliet voor en, alhoewel die dagsoom swak blootgestel is en slegs vir minder as 10 meter lateraal gevolg kan word, maak Coertze (1971, p. 60) melding van 'n soortgelyke voorkoms van troktoliet op Krokodilkraal 436 JQ en Zoutpansdrift 415 JQ in die Britsdistrik. Hierdie "merkerlaag" verteenwoordig die eerste

belangrike voorkoms van olivien in die Boonste Gabbro-eenheid en vorm die onderste grens van die subeenheid. Van Zyl (1960, p. 62-66) beskryf egter 'n sodagabbro uit 'n boorgat op Zwartklip 988 onderkant die Hoofmagnetiet=band, wat 23 persent olivien (Fa_{60}), 22 persent klinopirokseen ($\text{Wo}_{37}\text{En}_{29}\text{Fs}_{34}$) en 48 persent plagioklaas (An_{48}) asook bykomstige minerale bevat.

In die rotse van hierdie subeenheid is kalsiumarm pirokseen afwesig. In die plek daarvan kom olivien saam met ferro-ougiet in variërende hoeveelhede voor. Die ferro-ougiet het 'n samestelling van tussen $\text{Wo}_{38}\text{En}_{27}\text{Fs}_{34}$ en $\text{Wo}_{38}\text{En}_{25}\text{Fs}_{37}$ in die monsters wat ondersoek is terwyl die plagioklaas van An_{59} tot An_{48} wissel.

As geheel bestaan die subeenheid hoofsaaklik uit olivien-gabbro en magnetiet-olivien-sodagabbro met 'n hipidiomorfe granulêre tekstuur. Die klinopirokseen en olivien is gewoonlik saam gegropeer en oneievormig tot halfeievormig terwyl biotiet om tussenliggende magnetiet en as afsonderlike tussenliggende vlokkies voorkom. Oneievormige tot eievormige bykomstige apatiet is ook teenwoordig maar in klein hoeveelhede.

V. EKSOLUSIE IN DIE PIROKSENE

Die piroksene van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid vertoon eksolusieverskynsels kenmerkend van piroksene wat uit stadig verkoelde basaltiese magma gekristalliseer het.

A. Eksolusie in die kalsiumryke piroksene

Alhoewel die tussenliggende diopsidiese ougiet van die leukonoriet net bokant die Basterrif (in die Noriet-gabbro-eenheid) vry van ontmengde fases is, word die klinopiroksene in hierdie eenheid en in die Boonste Gabbro-eenheid deur reëlmatig gespaseerde kalsiumarm pirokseenlamelle parallel aan {100} en/of {001} gekenmerk (Plate IIB, XA).

Die lamelle parallel aan {100} in die klinopiroksene van die Noriet-gabbro-eenheid is ongeveer 0,0018-0,0020 mm breed en dig gespaseer (0,016 mm). Oor die algemeen sny die lamelle deur die ougietkristalle en word slegs deur {001}-lamelle onderbreek. By hierdie onderbrekings eindig die {100}-lamelle skielik na aan die {001}-lamelle of vertoon verdikkings op die kruispunte waar hul deur {001}-lamelle gaan. Laasgenoemde gevalle is egter ondergeskik. Geassosieer met die {100}-eksolusies in die ougiet van die eenheid kom klein latjies van donkerbruin tot swart opake materiaal voor wat gewoonlik goed te sien is in

ougiet wat min of meer parallel aan {010} gesny is. Hierdie latjies is ongeveer 0,016-0,032 mm lank en 0,002-0,005 mm breed. Hulle lê min of meer parallel aan mekaar in die vlak van die {100}-eksolusies en is loodreg op die kristallografiese c -as van die ougiet georiënteer. Hierdie latjies is nie geïdentifiseer nie, maar is moontlik ilmeniet (Plaat IIB).

Eksolusies parallel aan beide {001} en {100} in ougiet, afkomstig uit 'n monster van die boonste gesteentes van subeenheid A in die Noriet-gabbro-eenheid, is van besondere belang omdat die geassosieerde kalsiumarm pirokseen primêre bronsiet is. Omdat geïnverteerde pigeoniet afwesig is, word verag dat hierdie ougiet net een stel eksolusielamelle behoort te vertoon en wel die stel parallel aan {100} (Poldervaart en Hess, 1951, p. 483). Die bronsiet het 'n samestelling (Fs_{32} ; $2V_x = 68^\circ$) wat ooreenkom met die samestelling waarby die faseverandering van ortopirokseen in pigeoniet voorkom terwyl die ougiet in die rots wat hierdie eksolusies vertoon interpresipitate is, afgesien van ander ougiet sonder {001}-lamelle wat 'n kumulusfase is. Dit is dus moontlik dat, met 'n effense daling in temperatuur en verdere lokale differensiasie en kristallisasie van ougiet uit die laaste vloeistof, die inversiekromme (Poldervaart en Hess, 1951, p. 478) vir die kalsiumarm piroksene gekruis was, met die gevolg dat die monokliniese kalsiumarm fase stabiel geraak het. Die gevolg hiervan sou dan wees dat die ougiet pigeoniet

parallel aan {001}, afgesien van latere lamelle parallel aan {100}, kon ontmeng en lamelle in beide oriëntasies ontstaan het terwyl pigeoniet nie as 'n afsonderlike fase gekristalliseer het nie.

Dat die {100}-eksolusies in die ougiet van subeenheid B in die Noriet-gabbro-eenheid jonger is as die {001}-stel word bevestig deurdat eersgenoemde stel se eindpunte in die oorwegende gevalle tot na aan die {001}-lamelle lê maar nie aan hulle raak of deur hulle sny nie. Die moontlike rede hiervoor is dat die onmiddellike omgewing van die {001}-lamelle soveel van die beskikbare oormaat kalsium verloor het dat daar in hierdie omgewing nie altyd genoeg kalsium beskikbaar was vir die vorming van die {100}-lamelle wat by laer temperature ontmeng is nie.

In die boonste gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid asook in subeenheid A en B van die Boonste Gabbro-eenheid is die {100}-lamelle ondergeskik en nie altyd in al die ougietkorrels aanwesig nie, terwyl die {001}-lamelle dunner en digter gespasieer asook meer prominent raak.

Die lamelle parallel aan {001} is gemiddeld ongeveer 0,05 mm breed en effens korter as die lamelle parallel aan {100}. Die {001}-lamelle kom in die ougiet van die boonste gesteentes van subeenheid A van die Noriet-gabbro-eenheid as kort onderbroke latjies voor, maar is minder reëlmatig gespasieer as die stel parallel aan {100}. In die onderste

gesteentes van subeenheid B en hoër op in subeenheid A is hulle net so goed soos die {100}-stel ontwikkel en selfs effens breër. In sommige gesteentes van subeenheid B vertoon sekere eksolusielamelle parallel aan {001} in die ougiet 'n verdere stel lamelle. Hierdie tweede stel in die {001}-lamelle is egter swak ontwikkel en soms kom dit voor of hierdie tweede stel lamelle 'n verlenging van die smaller lamelle parallel aan {100} is.

In subeenheid B van die Boonste Gabbro-eenheid is die {001}-lamelle so goed ontwikkel dat hul van rand tot rand op dig gespasieerde afstande dwarsdeur die ougiet=korrels sny. In hierdie gesteentes is die {001}-lamelle ongeveer 0,030 mm - 0,075 mm uitmekaar gespasieer en 0,010 mm - 0,015 mm breed.

Die ferro-ougiet van die olivien-sodagabbro van subeenheid C in die Boonste Gabbro-eenheid vertoon geen {100}- of {001}-lamelle nie maar opake eksolusiemateriaal parallel aan {010} en {101} (Plaat IVB). Hierdie lamelle is goed ontwikkel en neem die plek van die kalsiumarm pirokseen=lamelle parallel aan {100} en {001} in.

In ooreenstemming met die aannames wat deur Poldervaart en Hess (1951, p. 472-488] gemaak is, dui 'n X-straalstudie deur Brown en Gay (1960, p. 384) daarop dat eksolusielamelle in ougiet parallel aan {001}, geïnverteerde of nie-geïnverteerde pigeoniet kan wees, asook dat in teenstelling met die

aannames van Poldervaart en Hess, die {100}-lamelle soms ook nie-geïnverteerde pigeoniet is.

Volgens Boyd en Brown (1969, p. 211) het Binns en andere gevind dat monokliniese {001}-lamelle in ougiet klinohipersteen is en nie, soos vroeër gemeen is, nie-geïnverteerde pigeoniet nie. Dat daar egter nog 'n mate van onsekerheid omtrent die presiese pirokseenfases parallel aan {001} in ougiet bestaan, blyk uit Atkins (1965, p. 148) se bevinding, deur kwantitatiewe mikrosondeanalises, dat lamelle parallel aan {001} in ougiet tussen 5 en 10 persent kalsium bevat en dus volgens hom pigeoniet is. Hierdie ougiet wat deur Atkins ondersoek is, is volgens hom afkomstig uit monsters van min of meer dieselfde strukturele hoogte as die monsters wat deur Binns en andere ondersoek is.

Die bostaande teenstrydige bevindinge van Atkins en Binns en andere, kan moontlik soos volg verklaar word. Inversie van pigeoniet ⁱⁿ na ortorombiese hipersteen vind plaas na die eksolusie van ougietlamelle parallel aan die {001}-pigeonietvlak; d.w.s. na die ontstaan van klinohipersteen. Indien pigeoniet aanvanklik parallel aan die {001}-ougietvlak uitskei, kan dit as pigeoniet behoue bly (sonder inversie) of dit kan self 'n kalsiumryke fase parallel aan {001} ontmeng. Omdat pigeoniet en ougiet die {001}-vlak in gemeen het en die ontmengde pigeonietlamelle relatief smal is, sal die kalsiumryke fase in die pigeoniet, indien die

pigeonietlamelle self weer ontmeng, eerder na die kontakte tussen die ougietgasheer en pigeonietlamelle beweeg. Hierdie ougietlamelle uit pigeoniet sal kristallografies dieselfde oriëntasie as die ougietgasheer besit en daarmee 'n eenheid vorm. Die gevolg hiervan is dat klinohipersteenlamelle, wat vry van enige ontmengde materiaal is en wat na ortorombiese pirokseen kan inverteer indien die temperatuur bevorderlik vir inversie is, ontstaan. Dus is lamelle van klinohipersteen en hipersteen (indien inversie plaasvind) of pigeoniet (indien inversie nie plaasvind nie) parallel aan {001} van ougiet moontlik.

B. Eksolusie in die kalsiumarm piroksene

Die bronsiet ($X = b$, $Y = a$) in subeenheid A van die Noriet-gabbro-eenheid vertoon fyn lamelle (ongeveer 0,001 mm breed) parallel aan {100}. Hierdie lamelle is opvallend in die uitdowingsposisie van die ortopirokseen alhoewel geen totale parallelle uitdowing verkry word nie (Plate IIA, VA). Hierdie anomale uitdowing is volgens Hess en Phillips (1938, p. 456) die gevolg van 'n samegestelde effek van lamelle en gasheer waar die lamelle 'n klein tot matige hoek met die vlak van die slypplaatjie maak. Die gelamineerde voorkoms is volgens hulle nie die gevolg van vertweeling, soos sekere werkers gemeen het nie, maar te wyte aan dun lamelle van klinopirokseen wat parallel aan die optiese as-vlak van die ortopirokseen georiënteer is.

Mossman (1971, p. 160) het die werk van Hess en Phillips bevestig deur 'n X-straalondersoek asook 'n mikrosonde-analise van soortgelyke ortopiroksene van die Greenhills Ultramafiese Kompleks te maak. Hy vind dat in 'n bronsiet met samestelling $Wo_{2,44}En_{67,99}Fs_{29,56}$, die fyn {100}-eksolusies 'n samestelling van $Wo_{35,08}En_{51,07}Fs_{13,85}$ het en dat die kristallografiese b- en c-asse van die ortopirokseengasheer en die klinopirokseenslamelle saamval.

Volgens Atkins (1965, p. 141) het Hess 'n Bosveld-bronsiet op 'n televisiemikroskoop (vergroting x 1 000) ondersoek en gevind dat sowat 250 lamelle per mm, wat elk ongeveer 0,0018-0,0001 mm breed is, voorkom. Atkins (1965, p. 142) stel die totale volume van die lamelle op sowat 3,1 persent van die totale kristal. Volgens hom dui dit daarop dat die bronsiet omtrent vry van kalsium is. Hy het deur enkelkristal-X-straalossilasie-foto's bevestig dat hierdie lamelle die gevolg van ontmenging is.

Behalwe die fyn {100}-lamelle is 'n tweede ondergeskikte stel lamelle soms in die bronsiet aanwesig. Hierdie lamelle kom as kort onderbroke plaatjies (0,008-0,016 mm breed) parallel aan {010} van die bronsiet voor (Plaat IIA). Indien die bronsiet so georiënteer is dat die optiese asvlak van die klinopirokseenslamelles parallel aan {100}, vertikaal staan en {100} van die ortopirokseens parallel

aan die slypplaatjie is, vertoon die lamelle as kort dun latjies wat en échelon gerangskik is met hul lang dimensies in die rigting van die kristallografiese c -as van die ortopirokseen. Hierdie tweede stel lamelle gaan soms op hul punte oor in klinopirokseendruppels met 'n gemiddelde deursnee van 0,02 mm en groter.

Die hipersteen van subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid en Boonste Gabbro-eenheid vertoon die bekende eksosiusielamelle van kalsiumryke klinopirokseen. Twee stelle lamelle in die hipersteen, wat uit pigeoniet geïnverteer is (Poldervaart en Hess, 1951), word onderskei, naamlik breë lamelle parallel aan die reliek monokliniese $\{001\}$ -vlak en 'n stel parallel aan $\{100\}$ van die ortopirokseen (Plaat IIIA). Alhoewel die breë lamelle nou parallel aan $\{102\}$ van die hipersteen is, sal die term " $\{001\}$ -lamelle" of "-eksolusies" deurgaans gebruik word.

Die $\{001\}$ -lamelle is swak ontwikkel waar die hipersteen 'n samestelling na aan die samestelling waarby die faseverandering van ortopirokseen in pigeoniet voorkom (Fs_{27-32}), het. In hierdie gevalle is duidelike $\{001\}$ -lamelle afwesig en is die neiging eerder om druppels te vorm wat onreëlmatig versprei is en soms langs 'n denkbeeldige lyn parallel aan die monokliniese $\{001\}$ -reliëkvlak lê. Waar in hierdie gevalle duidelike $\{001\}$ -lamelle voorkom, gaan sommige lamelle oor in druppels met dieselfde optiese oriëntasie as die

betrokke lamelle self. Met verryking in Fe^{+2} neem die persentasie druppels af en is duidelike {001}-lamelle meer prominent. Die lamelle word ook breër en sny in groter getalle deur die hipersteen alhoewel selde tot teen die rande van die gasheerkristal. Die lamelle is tussen 0,02 mm en 0,05 mm breed en van 0,2 mm - 0,4 mm uitmekaar gespaas.

Kwantitatiewe mikrosonde-analises van gelyktydig gekristalliseerde ougiet en geïnverteerde pigeoniet (hipersteen) uit die "Bosveldgabbro" deur Boyd en Brown (1969, p. 214), dui daarop dat die ougietlamelle parallel aan {001} in hipersteen (geïnverteerde pigeoniet) 'n samestelling het wat min of meer ooreenkom met die samestelling van die gelyktydig gekristalliseerde ougiet met lamelle parallel aan {001}. Volgens hulle dui dit daarop dat die piroksene gedurende afkoeling oor 'n aansienlike temperatuurinterval onder die solidus in ewewig gebly het.

Geïnverteerde pigeoniet vorm groot opties kontinue eenhede waarin die {001}-lamelle verskeie oriëntasies aanneem en die dunner {100}-lamelle, wat tussen die {001}-lamelle voorkom, oor die hele optiese eenheid dieselfde oriëntasie het (Plaat IIIB). Die {100}-lamelle wissel in breedte maar het 'n gemiddelde waarde van 0,005 mm met wisselende tussenafstande.

In die slypplaatjies van die onderste rotse van sub-eenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid (bokant die rotse waarin beide primêre ortopirokseen en geïnverteerde pigeoniet aanwesig is) is die {100}-lamelle wat na inversie ontstaan, swak ontwikkel. Die {100}-lamelle vorm eerder onreëlmatig verspreide eksolusiekolle. In gevalle waar die {001}-lamelle duidelik prominent in hierdie rotse is, kom die onreëlmatig verspreide {100}-eksolusiekolle tussen hierdie lamelle voor (Plaat IVA). Dit is nie altyd moontlik om tussen "{001}"- of "{100}"-eksolusiekolle te onderskei nie. Hoër op in die subeenheid en ook in subeenheid B van die Boonste Gabbro-eenheid is 'n definitiewe patroon van smal onderbroke {100}-lamelle tussen willekeurig georiënteerde {001}-lamelle van 'n opties kontinue eenheid te sien (Plaat IIIA). Die {100}-lamelle is soms so dig opmekaar gepasieer dat dit breër eenhede, wat die grootste persentasie van die ontmengde materiaal verteenwoordig, vorm. Soms is die areas tussen twee {001}-lamelle vry van ontmengde materiaal parallel aan {100}.

Die {100} eksolusievrye areas tussen die {001}-lamelle dui moontlik daarop dat:

1. hierdie areas gebiede verteenwoordig waaruit al die oormaat (Wo:En:Fs)-komponente, wat nodig is vir die vorming van die kalsiumryke lamelle parallel aan {001}, onttrek is; en

2. dat by die hoër temperature van kristallisasie, waarby 'n oormaat (Wo:En:Fs)-komponente in die pigeonietstruktuur opgeneem word, die komponente nie reëlmatig deur die struktuur versprei is nie.

Die kolvorming van die {100}- en {001}-lamelle in geïnverteerde pigeoniet met 'n samestelling net meer Fe-ryk as die samestelling waarby die faseverandering van ortopirokseen in pigeoniet voorkom (Fs_{32}), is moontlik die gevolg van 'n langer afkoelingstyd na kristallisasie.

Die geïnverteerde pigeoniet waarin kolvorming prominent ontwikkel is, kom hoofsaaklik in die onderste gesteentes van subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid voor. Die kristallisasie van hierdie gesteentes is gevolg deur die opeenvolgende stolling van die oorliggende gesteentes. Hierdie gabbro's en hiperiete was dus langer aan temperature na aan die kristallisasietemperatuur as die oorliggende rotse onderwerp met 'n gevolglike verlenging in die afkoelingstydperk. Hierdie verlengde afkoelingstydperk het moontlik tot gevolg gehad dat die ontmengde lamelle tot kolle saamgetrek het in ooreenstemming met die meganisme soos aangetref by die assosiasie chalkopiriet-borniet wat volgens Tuttle en Bowen (1958, p. 318, Fig. 1 en 2) deur Schwartz ondersoek is. Volgens hulle het Schwartz twee chalkopiriet-borniet-monsters vir 41 uur by 700°C en 600°C respektiewelik verhit. Die een monster is in lug afgekoel

terwyl die tweede, wat by 600°C verhit was, stadig oor 24 uur afgekoel is. In die vinnig verkoelde monster het ontmenging van chalkopiriet uit borniet in die vorm van lamelle plaasgevind. In die tweede monster wat hierdie tekstuur voor verhitting tot 600°C vertoon het, het eksolusiekolle met die stadige afkoeling ontstaan en is die chal[↑]poritiet en die borniet geheel en al *gestei*.

VI. SAAMBESTAANDE PRIMÊRE ORTOPIROKSEEN, OUGIET

EN GEÏNVERTEERDE PIGEONIET

A. Algemene verhoudings

In die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid kom sones voor (onderste gesteentes van subeenhede B) waarin beide primêre ortopirokseen (hipersteen) en geïnverteerde pigeoniet saam met ougiet in dieselfde rotse aanwesig is. In hierdie hoofstuk word die aard en voorkoms van hierdie saambestaande piroksene beskrywe en 'n meganisme om die saambestaan daarvan te verklaar, voorgestel.

Die volgende pirokseenassosiasies word in wisselende hoeveelhede in hierdie gesteentes aangetref:

- (a) ingeslote geïnverteerde pigeoniet;
- (b) primêre hipersteen en/of;
- (c) nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet.

Die ingeslote geïnverteerde pigeoniet lê geheel of gedeeltelik ingesluit in ougiet. Waar dit net gedeeltelik deur die ougiet ingesluit is, lê die nie-ingeslote rande van die geïnverteerde pigeoniet teen halfele- tot eievormige plagioklaas of ougiet. Die {001}-lamelle van die geïnverteerde pigeoniet is soms prominent aanwesig, terwyl die lamelle parallel aan {100}, alhoewel teenwoordig, nie so 'n groot

persentasie van die ontmengde materiaal verteenwoordig soos wat in die oorliggende gesteentes die geval is nie (Plate VB, VIIA).

Die primêre hipersteen kom as groot halfeievormige tot oneievormige kristalle tussen die plagioklaas en ougiet voor en is nie in ougiet ingesluit nie. Dit besit, net soos in onderliggende rotse waarin bronsiet die enigste kalsiumarm fase is, duidelike lamelle parallel aan {100} (Plaat VA). In die Boonste Gabbro-eenheid is hierdie kenmerkende eksolusiestruktuur nie altyd in die primêre ortopiroksene van hierdie gesteentes te sien nie (Plaat VIIB).

Nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet buite ougiet is in sommige gesteentes van hierdie sones, afgesien van primêre hipersteen en geïnverteerde pigeoniet wat in ougiet ingesluit is, aanwesig. Soms is dit egter moeilik om nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet van primêre hipersteen te onderskei omdat duidelike {001}-lamelle nie altyd in die nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet aanwesig is nie. In die plek van duidelike {001}-lamelle is soms sporadiese kort klinopirokseenlatjies en/of aaneengeskakelde eksolusiekolle in groot ofitiese hipersteenkristalle aanwesig en kom dit voor of sommige geïnverteerde pigeoniet deur primêre hipersteen ingesluit word.

Omdat die primêre hipersteen en nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet verder ooreenkom met die ortopirok-sene en geïnverteerde pigeoniet wat in hoofstuk V behandel is, sal slegs die ingeslote geïnverteerde pigeoniet in ougiet verder bespreek word.

B. Ingeslote geïnverteerde pigeoniet in ougiet

1. Noriet-gabbro-eenheid

In die onderste gesteentes van subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid is die geïnverteerde pigeoniet, wat saam met primêre hipersteen as tweede kalsiumarm fase aanwesig is, in halfelevormige ougiet ingesluit. Hierdie assosiasie is goed ontwikkel tussen Brits en Pretoria. Alhoewel dit minder prominent is, is 'n soortgelyke voorkoms, waarin nie-ingeslote geïnverteerde pigeoniet meer opvallend is, ook in die Rustenburggebied aangetref.

Die insluitsels van geïnverteerde pigeoniet in die ougiet van hierdie gesteentes kan as los flenters beskrywe word. 'n Ougietkristal bevat tipies meer as een van hierdie flenters wat saam dieselfde kristallografiese oriëntasie besit (Plate VIIIB, IXA, IXB). Beide die {100}- en die {001}-lamelle is in die geïnverteerde pigeonietflenters aanwesig (Plaat VB) alhoewel 'n ingeslote flenter nie altyd beide stelle lamelle vertoon nie.

In 'n ougietkristal is die {001}- asook die {100}-lamelle van die geïnverteerde pigeonietflenters parallel aan mekaar. Die {001}-ougietlamelle het deurlopend dieselfde optiese oriëntasie as die omringende ougiet en smelt partykeer daarmee saam. Die rande tussen die omringende ougiet en die ingeslote hipersteengasheer is verder onegally en ingevreet.

Soms het 'n geïnverteerde pigeonietflenter en die ougiet wat dit omring 'n gemeenskaplike reguit kant (Plaat XB). Onder hoë vergroting blyk dit gewoonlik dat in sulke gevalle die gemeenskaplike reguit rand deur 'n {001}-lamel van ougiet, wat in die geïnverteerde pigeonietflenter voorkom, gevorm word en dat die een kant van die lamel deel vorm van die omringende ougietkristal (Plaat XIA). Aan die hipersteenkant van die ougietlamel is die hipersteen egter ingevreet en het die hipersteen en die omringende ougiet gemeenskaplike kristallografiese $\underline{c}$ - en $\underline{b}$ -asse. In so 'n flenter is die hipersteengasheer en die omringende ougiet verder opties sodanig georiënteer dat die indikatryksasse, $\underline{Y}$ en $\underline{X}$ van hipersteen, respektiewelik met $\underline{X}$ en $\underline{Y}$ van die omringende ougiet ooreenkom ($Y_{\text{Hipersteen}}//a: X_{\text{Hipersteen}}//b//Y_{\text{Ougiet}}$) (Plaat XIB). Hierdie gemeenskaplike oriëntasie kom somtyds ook voor wanneer geen reguit rande tussen die ougiet en ingeslote flenters te sien is nie (Plate XIIA en XIIB) en in beide gevalle lê die {001}-ougietlamelle van die geïnverteerde pigeonietflenters parallel aan {001} van

die omringende ougiet, asook parallel aan $\{102\}$ van die ingeslote hipersteengashere (Plaat XIB).

'n Enkele geval van hipersteen, in plaas van geïnverteerde pigeoniet in ougiet (Plaat XA), is ook waargeneem. Hierdie hipersteen besit duidelike $\{100\}$ -lamelle en dit kom duidelik ooreen met die struktuur van die Bosveldtipe-ortopirokseen. Die omringende ougiet bevat beide $\{100\}$ - en $\{001\}$ -lamelle van ortopirokseen. Ook in hierdie geval het die ougiet en hipersteen die kristallografiese b- en c-asse in gemeen en besit die hipersteen dieselfde optiese oriëntasie as die $\{001\}$ - en $\{100\}$ -lamelle in die ougiet. Dit wil voorkom asof die hipersteen van die bo- en onderkante (in die vlak van die slypplaatjie), parallel aan die $\{100\}$ -lamelle, deur die ougiet ingevreet is. Die een min of meer deurlopende reguit kant, tussen die hipersteen en ougiet, is moontlik te wyte aan 'n $\{100\}$ -klinopirokseen-lamel in die hipersteen wat 'n optiese en kristallografiese eenheid met die omringende ougiet vorm. Hierdie $\{100\}$ -lamelle in die hipersteen sal tot gevolg hê dat reaksie, indien dit plaasvind, vanaf rigtings loodreg hierop vertraag word.

Oor die algemeen is daar egter geen gemeenskaplike kristallografiese asse tussen die ingeslote hipersteen (wat saam met die $\{001\}$ -lamelle die geïnverteerde pigeoniet vorm) en die omringende ougiet nie, alhoewel die c-as van die ougiet na aan dié van die hipersteen lê en soms daarmee

saamval (Plate VIA, VIB, XIIA, XIIB en XIIC). Die optiese asvlakke van die hipersteen van die geïnverteerde pigeo-nietflenters en dié van die ougiet staan dus nie loodreg op mekaar soos verwag kan word indien die kristallografiese b- en c-asse gemeenskaplik is nie. Dit is egter opvallend dat wanneer daar geen gemeenskaplike kristallografiese asse tussen die geïnverteerde pigeonietflenters en die omringende ougiet voorkom nie, die {001}-ougietlamelle van die flenters nogtans parallel aan die {001}-vlak van die omringende ougiet lê, ongeag die relatiewe oriëntasies van die flenters en die ougiet wat dit omring (Plate VB, IIA en VIB).

2. Boonste Gabbro-eenheid

In die onderste gesteentes van subeenheid B van hier= die eenheid, is minder ingeslote geïnverteerde pigeoniet in ougiet as in dieselfde gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid teenwoordig. Die ingeslote geïnverteerde pigeoniet wat wel aanwesig is, kom in oneievormige tussenliggende ougiet voor. Die oneievormige ougiet is in sommige gevalle tussenliggend tussen die plagioklaas met mekaar verbind en sluit nie altyd die geïnverteerde pigeoniet volledig in nie (Plate VIIA en XIIIA). Hierdie assosiasies is hoofsaaklik op die plaas Doornpoort 295 JR aangetref. Dit is moontlik dat hierdie verhoudings nie tot dié omgewing beperk is nie en lateraal verder langs die strekking aanwesig is maar, weens die swak blootstellings van die Boonste Gabbro-eenheid, nie opgespoor is nie.

Alhoewel die {001}- en die {100}-lamelle in hierdie ingeslote geïnvverteerde pigeoniet aanwesig is, is hul minder prominent. Die geïnvverteerde pigeoniet is ook nie as flenters in die ougiet aanwesig nie, maar as enkele geïnvverteerde pigeonietkristalle omring deur ougiet. Afgesien hiervan is die rande tussen die omringende ougiet en die geïnvverteerde pigeoniet onegalig. Die ingeslote geïnvverteerde pigeoniet en die ougiet wat dit omring vertoon verder dieselfde kristallografiese verhoudings as soortgelyke assosiasies in die Noriet-gabbro-eenheid (Plate VIIA, XIIIA en XIIIB).

Nie alle ougiet in hierdie gesteentes vertoon dieselfde kristallografiese verhoudings teenoor die geïnvverteerde pigeonietinsluitels in ougiet as die oneievormige tussenliggende ougiet nie, selfs al lê dit teenoor die ingeslote geïnvverteerde pigeoniet (Plaat XIIIA). Waar die oneievormige ougiet gewoonlik geïnvverteerde pigeoniet insluit, kom hierdie ougiet as halfeievormige kristalle saam met die nie-ingeslote geïnvverteerde pigeoniet en die primêre hipersteen voor.

C. Die kristallisatie van saambestaande primêre ortopirokseen en geïnvverteerde pigeoniet

Daar is aangedui dat in die onderste gesteentes van subeenheid B van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste

Gabbro-eenheid geïnverteerde pigeoniet met primêre hipersteen en ougiet saam bestaan. Hierdie assosiasies kom anomaal voor omdat studies van die sisteem MgSiO_3 - FeSiO_3 deur Bowen en Schairer (1935, p. 154) en die voorkoms van natuurlike ortopirokseen en geïnverteerde pigeoniet daarop dui dat 'n inversieverhouding tussen pigeoniet en hipersteen bestaan. Die genoemde assosiasies word verder gekompliseer deur die aanwesigheid van die geïnverteerde pigeoniet in ougiet, bo en behalwe die voorkoms van die nie-ingeslote tipe.

In die oostelike Bosveldkompleks vind Von Gruenewaldt (1971, p. 85) 'n soortgelyke voorkoms van primêre hipersteen, geïnverteerde pigeoniet en ougiet. Om hierdie assosiasies te verklaar postuleer hy 'n meganisme aan die hand van werk wat deur Nakamura en Kushiro (1970) gedoen is. Alhoewel Von Gruenewaldt melding maak (p. 87) van klein buitewone geïnverteerde pigeonietinsluitels in ougiet, word geïnverteerde pigeonietoorblyfsels nie as sodanig deur hom onderskei en in meer besonderhede bespreek nie.

Die meganisme van Von Gruenewaldt maak gebruik van die idee van Nakamura en Kushiro (1970, p. 2013), dat die sogenaamde "inversie-interval" (Kuno en Nagashima, 1952, p. 1001) tussen ortopirokseen en pigeoniet eintlik 'n verbindingslyn van die drie-fase-driehoek tussen ougiet, hipersteen en pigeoniet is en dat daar tussen hipersteen en pigeoniet

eerder 'n smal pigeoniet-hipersteenveld (Nakamura en Kushiro, 1970, Fig. 11, p. 2013) langs die inversiekromme van klinopirokseen in ortorombiese pirokseen, in plaas 'n enkele inversiekromme, aanwesig is.

Fig. 1 is 'n skematiese diagram van Nakamura en Kushiro wat deur Von Gruenewaldt vir die oostelike Bosveldkompleks aangepas is. Hierdie diagram word hier aangedui ter verduideliking van 'n voorgestelde kristallisasie-meganisme vir die saambestaande hipersteen, geïnverteerde pigeoniet (beide ingeslote en nie-ingeslote tipes) en ougiet in die westelike Bosveldkompleks. Die meganisme wat voorgelê word, verskil van die meganisme van Von Gruenewaldt (1971, p. 83) in die sin dat die voorkoms van ingeslote geïnverteerde pigeoniet in ougiet nie gesien word as onvolledige oplossing van vroeër gekristalliseerde pigeoniet nie, maar as reaksie tussen vroeëre pigeoniet en die magma by 'n laer temperatuur, met die gelyktydige kristallisasie van ougiet om die pigeoniet. Volgens die meganisme van Von Gruenewaldt word die buitengewone geïnverteerde pigeonietinsluitels in ougiet toegeskryf aan onvolledige oplossing van vroeër gevormde pigeoniet deur 'n magma waaruit ortopirokseen en ougiet by 'n laer temperatuur gekristalliseer het. Volgens hom het die geïnverteerde pigeoniet volledige oplossing deur hierdie magma vrygespring omdat ougiet daarom gevorm het.

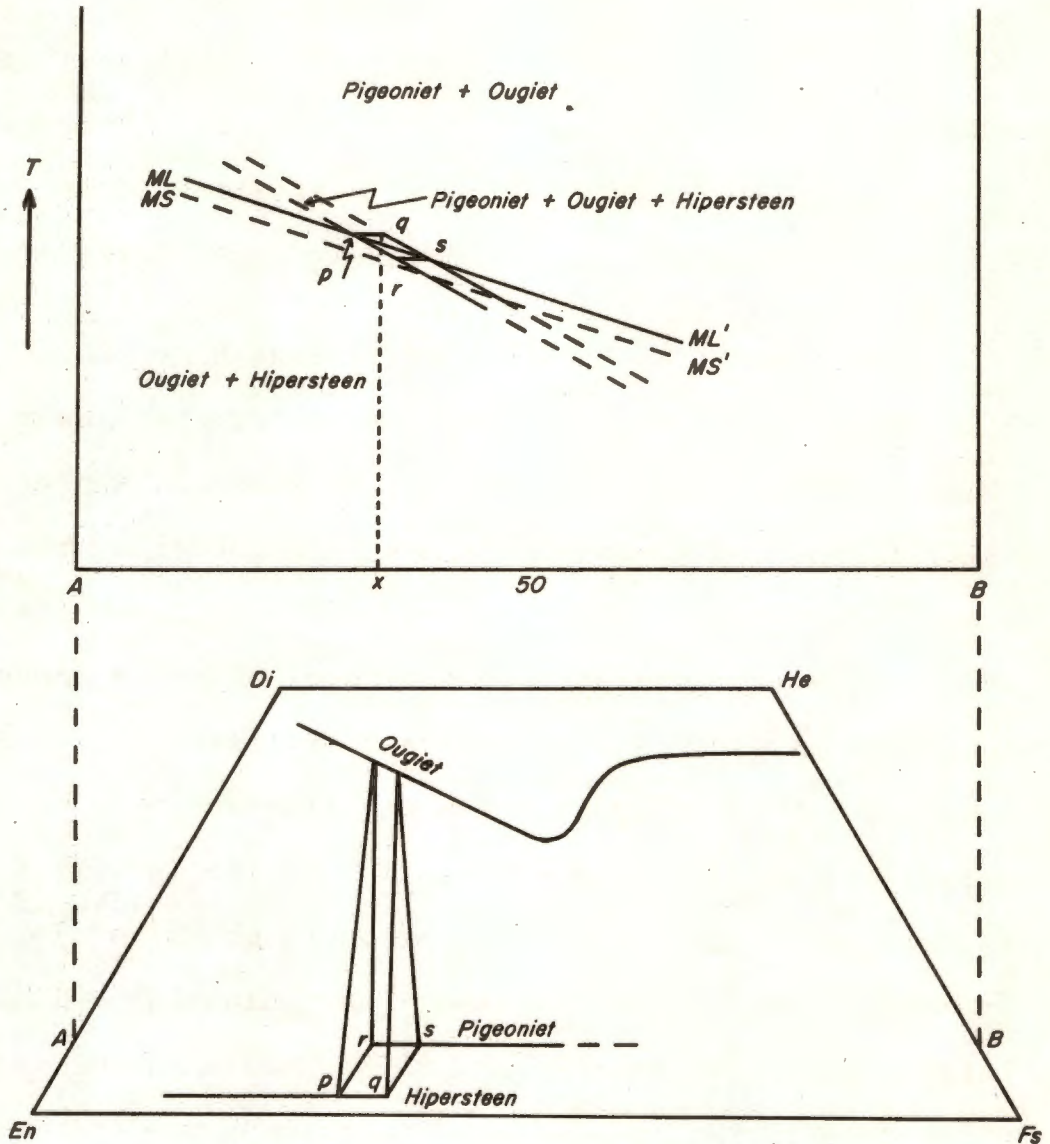


Fig. 1. Skematiese diagram wat die kristallisasie van saambestaande primêre ortopirokseen en geïnverteerde pigeoniet in die westelike Bosveldkompleks aandui. Diagram volgens Nakamura en Kushiro (1970) soos gewysig deur Von Gruenewaldt (1971, p. 86). ML-ML' en MS-MS' stel verskillende magma-temperature voor.

Twee temperatuurkurwes ML-ML' en MS-MS' word in Fig. 1 in ooreenstemming met die wysiging van Von Gruenewaldt (1970, p. 86) in plaas van net een, soos in die oorspronklike diagram van Nakamura en Kushiro, aangedui. ML en MS verwys nie noodwendig na die liquidus- en solidustemperature van die magma nie, maar eerder na 'n arbitrêre temperatuurinterval tussen die werklike liquidus- en solidustemperature (Von Gruenewaldt, 1970, p. 85). Links van punt p op ML, wat as die kristallasietemperatuur van ortorombiese kalsiumarm pirokseen geneem kan word, kristalliseer hipersteen en ougiet uit die magma. Wanneer die temperatuur langs ML punt p bereik, beweeg die magma in die stabiliteitsveld van hipersteen + ougiet + pigeoniet en kristalliseer hierdie drie fases gevolglik gelyktydig uit die magma. Hierdie kristallasie sal met ysterverryking voortgaan totdat die temperatuur s op ML bereik word, waarna slegs pigeoniet + ougiet met verdere ysterverryking kristalliseer.

Indien 'n skielike effense daling in die temperatuur van die magma na MS-MS' by p (of tussen p en s) op ML-ML' by dieselfde Fe/Mg-verhouding voorkom, veroorsaak dit dat die gekristalliseerde pigeoniet asook die kotektiese ougiet in kontak met 'n magma kom waaruit slegs hipersteen en ougiet kristalliseer.

Die daling in temperatuur kan moontlik die gevolg van 'n skielike ontsnapping van vlugtige stowwe wees, of die ontstaan van 'n kritieke H_2O -druk wat die smeltpunt en gevolglik ook die kristallisasietemperatuur van die magma sal verlaag (Hamilton en Anderson, 1967, p. 446-450). Indien die ontsnapping van vlugtige stowwe of die ontstaan van 'n kritieke H_2O -druk op enige ander stadium gedurende die differensiasie van die magma plaasvind, is dit moontlik dat, afhangende van die graad van die temperatuurverlaging, dit nie weerspieël sal word in die mineralogie van die piroksene nie. Indien die daling in temperatuur plaasvind voordat pigeoniet saam met hipersteen kristalliseer, d.w.s. met die kristallisatie van hipersteen en ougiet links van p in Fig. 1, sal steeds hipersteen en ougiet uit die magma kristalliseer.

Wanneer die daling in temperatuur by 'n Fe/Mg-verhouding groter as s plaasvind en van 'n beperkte orde is, sal steeds pigeoniet en hipersteen in ewewig met ougiet kristalliseer of slegs pigeoniet en ougiet, afhangende van die Fe/Mg-verhouding.

Met die voortsetting van gefraksioneerde kristallisatie verander die samestelling van die vloeistof langs MS. Dit het tot gevolg dat daar 'n afname in die verskil tussen die Fe/Mg-verhouding van die magma en die vroeggevormde pigeoniet ontstaan en dat die temperatuurinterval tussen MS en die stabiliteitsveld van ougiet + hipersteen +

pigeoniet geleidelik verklein. Die gevolg hiervan is dat hipersteen + ougiet + pigeoniet uiteindelik weer sal kristalliseer, gevolg deur pigeoniet + ougiet.

Die vroeër gekristalliseerde pigeoniet (q, Fig. 1) is egter, na die skielike temperatuurdaling van die magma na MS-MS', nie in ewewig met die magma nie omdat die magma in die stabiliteitsveld van hipersteen + ougiet verkeer. Afgesien hiervan het die pigeoniet 'n Fe/Mg-verhouding wat hoër is as dié van die hipersteen en ougiet wat onder die verlaagde temperatuurtoestande kristalliseer. Weens hierdie verskil in die Fe/Mg-verhoudings sal die magma geneig wees om met pigeoniet te reageer. Die presiese inwerking van die magma op die pigeoniet hang egter van die hoeveelheid af waarmee die temperatuur van die magma verlaag is en of die pigeoniet met die daling in temperatuur reeds ougietlamelle ontmeng het of nie. Daar word gemeen dat die aangetoonde assosiasies in die onderste gesteentes van subeenhede B van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid die inwerking van die magma op die pigeoniet onder verskillende moontlike toestande tipies weerspieël. Om hierdie rede sal die inwerking van die magma op die pigeoniet in terme van die assosiasies in die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid verder bespreek word.

Tot sover maak hierdie meganisme vir die saambestaan van primêre hipersteen, pigeoniet en ougiet voorsiening, alhoewel die pigeoniet nie in ewewig met die magma is nie.

1. Noriet-gabbro-eenheid

In terme van die pirokseenassosiasies in hierdie eenheid kom dit voor of die grootte van die skielike temperatuur daling sodanig moes gewees het dat die inversiekromme vir die pigeoniet nie gekruis was nie, met die gevolg dat inversie van pigeoniet slegs plaas kon vind na verdere kristallisatie van die magma. Dit kom ook voor asof die daling in temperatuur plaasgevind het nadat pigeoniet reeds begin het om {001}-ougietlamelle te ontmeng. Die pigeoniet het dus vir 'n kort tydverloop, na kristallisatie en gedurende kristallisatie van effens meer ysterryke pigeoniet + hipersteen + ougiet, by solvus-toestande net onder die kristallisasietemperatuur verkeer voordat die temperatuur gedaal het. Gedurende hierdie tydverloop was {001}-ougietlamelle ontmeng en het klinohipersteen om hierdie lamelle begin ontstaan. Met die daling van die temperatuur is ontmenging verder bevorder en het die klinohipersteen (en sommige pigeoniet wat nie reeds {001}-lamelle ontmeng het nie) met die magma gereageer met die gevolglike gelyktydige kristallisatie van ougiet daarom.

Gedurende die kristallisasie van die ougiet en die gelyktydige reaksie daarvan met klinohipersteen (of pigeoniet) het die kristalliserende ougiet die oriëntasie van die ougietlamelle in die klinohipersteen (of die pigeoniet) aangeneem. Die moontlike rede hiervoor was dat die {001}-ougietlamelle as saadkerne gedien het. Afgesien hiervan het klinohipersteen die basiese klinopirokseenstruktuur en kon slegs deur die toevoeging van kalsium (en gedeeltelike onttrekking van yster) 'n kalsiumryke klinopirokseen verkry word wat in ewewig met die magma was.

Die gevolg van die gemeenskaplike oriëntasie van die omringende ougiet en die ougietlamelle was dat die {001}-ougietlamelle in die klinohipersteen parallel aan {001} van die omringende ougiet gelê het. Met verdere daling in temperatuur waartydens reaksie plaasgevind het, het die klinohipersteen wat behoue gebly het, deurdat 'n ougietmantel daarom gevorm het, na ortorombiese hipersteen geïnverteer. Die kristallografiese oriëntasie van die klinohipersteen was in sommige gevalle deur die ortorombiese hipersteen met inversie behou, sodat die {001}-ougietlamelle na inversie nou parallel aan {001} van die omringende ougiet asook parallel aan {102} van die ortorombiese hipersteen lê. Die meeste hipersteengashere het egter nie die kristallografiese oriëntasies van die klinohipersteen met inversie behou nie, sodat die {001}-ougietlamelle in die ingeslote geïnverteerde pigeoniet nou parallel aan die {001}-vlak van die

omringende ougiet lê. Hierdie oriëntasie val egter nie meer saam met {102} van die ortorombiese hipersteengashere nie. (Hierdie oriëntasies is in ooreenstemming met die oriëntasies soos dit in die pirokseen-assosiasies waargeneem is).

Die uiteindelijke gevolg van die temperatuurdaling was dat primêre hipersteen, ougiet en geïnverteerde pigeoniet wat in ougiet ingesluit is, saam in dieselfde rots saambestaan het. Na die temperatuurdaling was die magma net genoegsaam in yster verryk en was die stabiliteitsveld van hipersteen + pigeoniet + ougiet weer bereik sodat pigeoniet weer begin kristalliseer het.

2. Boonste Gabbro-eenheid

Om die pirokseenassosiasies in die onderste gesteentes van subeenheid B van hierdie eenheid in terme van die basiese meganisme te kan verklaar, word aanvaar dat die temperatuurdaling sodanig was dat die inversietemperatuur vir pigeoniet gekruis was. Dit kom verder voor asof die magma voor die temperatuurdaling in die stabiliteitsveld van pigeoniet + ougiet verkeer het alhoewel dit, wat ysterverryking betref, net oor die stabiliteitsveld van hipersteen + pigeoniet + ougiet beweeg het. Daar word gemeen dat 'n aansienlike hoeveelheid pigeoniet reeds genoegsame {001}-lamelle ontmeng het, sodat inversie met die temperatuurdaling onmiddellik kon plaasvind. In die gevalle waar nog nie genoegsame {001}-lamelle ontmeng was nie, het die pigeoniet

vinniger as onder ewewigstoestande ontmeng en het dun {001}-lamelle in sommige pigeoniete ontstaan. Inversie in laasgenoemde pigeoniete het plaasgevind op die eerste stadium wat die struktuur dit toegelaat het.

Met die temperatuurdaling het die magma in die stabiliteitsveld van hipersteen + ougiet, onderkant die inversietemperatuur van pigeoniet, beland. Die gevolg hiervan was dat die geïnverteerde pigeoniet in kontak met 'n magma gekom het waaruit primêre hipersteen en ougiet gekristalliseer het. Die hipersteengashere van die geïnverteerde pigeoniet het egter dieselfde Fe:Mg-verhouding as die primêre hipersteen gehad en primêre hipersteen het direk om die geïnverteerde pigeoniet volgens die deurlopende reaksie= beginsel gekristalliseer.

Die moontlike rede vir die kristallisasie van die primêre hipersteen om die geïnverteerde pigeoniet was dat die hipersteengashere as ideale saadkerne gedien het. Waar {001}-ougietlamelle met die vloeistof in kontak was, sou dit ook as saadkerne vir die kristallisasie van ougiet kon dien. Die aantal lamelle in die hipersteengashere wat in direkte kontak met die vloeistof was, was egter beperk. Afgesien hiervan behoort die primêre hipersteen ook in 'n groter mate as ougiet om die geïnverteerde pigeoniet te groei omdat die oppervlak van die hipersteengashere wat aan die vloeistof blootgestel was baie groter was as dié van die enkele ougietlamelle in die geïnverteerde pigeoniet.

Die gevolg hiervan was dat groot hipersteen kristalle weens die aaneenskakeling van die primêre hipersteen en die hipersteengashere van die geïnverteerde pigeoniet, ontstaan het. (Dit verklaar die aanwesigheid van die groot hipersteen kristalle wat in hierdie gesteentes buite ougiet aanwesig is en sporadies {001}-klinopirokseenlamelle en eksolusiekolle bevat).

Die pigeoniet wat nie by die skielike temperatuur=daling kon inverteer nie, moes eers ougietlamelle ontmeng. Gedurende hierdie tydsverloop was die magma in die stabiliteits=veld van hipersteen en ougiet en was die pigeoniet as fase dus nie in ewewig met die magma nie. Die gevolg hiervan was dat die pigeoniet op dieselfde wyse met die magma gereageer het as die klinohipersteen (en pigeoniet) in die onderste gesteentes van subeenheid B van die Noriet-gabbro=eenheid sodat ougiet, om en ten koste van die pigeoniet, gekristalliseer het. Die meeste van hierdie pigeoniet is egter op hierdie wyse deur die magma opgeneem. Die enkele kristalle wat nie in direkte kontak met die vloeistof was nie, weens 'n digter aaneengeskakelde kristalmoes, het egter behoue gebly en is tussenliggend tussen plagioklaas deur die omringende ougiet verbind.

VII. DIE CHEMIE VAN DIE PIROKSENE

A. Algemeen

Die algemene formule vir die pirokseengroep wat oorspronklik deur Berman (1937) voorgestel en later deur Hess (1949) gewysig is, kan uitgedruk word as



waar $W = Ca^{+2}, Na^{+};$

$X = Mg^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2}, Ni^{+2}, Li^{+};$

$Y = Al^{+3}, Fe^{+3}, Cr^{+3}, Ti^{+4}$ en

$Z = Si^{+4}, Al^{+3}.$

In die ortopiroksene is $p=1$ en die inhoud van die Y-ione klein, terwyl p in die monokliniese piroksene tussen 0 en 1 varieer (Deer en andere, 1963, p. 6). Alhoewel 'n wye bereik van vervanging kan voorkom moet dit sodanig geskied dat die som van die ladings in die (W)-, (X)-, (Y)- en (Z)-groepe die lading van die ses O^{-2} -ione balanseer.

Die analyses in Bylae B is volgens die metode van Hess (1949, p. 625) tot struktuurformules bereken. Met hierdie metode word die ladings van die ione in die (W,X,Y)- en (Z)-groepe volgens 'n bepaalde prosedure gebalanseer. Die berekende struktuurformule dui 'n bevredigende analise aan as die aantal katione tot die basis van ses suurstofione

in die (W,X,Y)-groep, binne twee persent van die totale ione in die (Z)-groep is en binne hierdie bereik in die verhouding 2:2:6 tot mekaar staan.

Die berekende struktuurformules word in Bylae D aangedui en is sodanig genormaliseer dat deur optelling die som van die katione in die (W,X,Y)- en (Z)-groepe verkry word. Al die analyses voldoen aan die vereistes vir 'n bevredigende analise. Die berekening van struktuurformules is in ooreenstemming met die gebruik vir ander silikaatminerale en is gemaak om die akkuraatheid van die analyses te toets, asook om hul op vergelykbare basis met soortgelyke pirokseenanalises van dieselfde en ander indringings te bring.

Die variasie in samestelling van die geanaliseerde pirokseenpare in terme van die Ca:Mg: Σ Fe-atoomproporsies (Σ Fe=Fe⁺² + Fe⁺³ + Mn⁺²), word deur Plaat XV aangedui en word in hoofstuk VIII bespreek.

Verskeie ander ondergeskikte elemente toon min of meer konstante variasie met magmadifferensiasie. Plaat XIV dui die variasie van die oksiede van hierdie elemente (SiO₂, Al₂O₃, MnO, TiO₂ en Fe₂O₃) met ysterverryking aan.

B. Die variasie van aluminium en silikon in die piroksene en die moontlike invloed van druk en magmasamestelling op die verspreiding daarvan in die klinopirokseenstruktuur

1. Aluminium (Al^{+3})

Die hoeveelheid van die oksied (Al_2O_3) van hierdie element is deurlopend minder as 3,0 persent in beide die kalsiumarm en kalsiumryke piroksene terwyl laasgenoemde gemiddeld 'n halwe persent meer Al_2O_3 as die kalsiumarm piroksene bevat (Plaat XIV). As geheel is daar in beide minerale 'n duidelike afname in die persentasie van hierdie oksied en in die Al^{+3} -proporsie met ysterverryking. 'n Opvallende afwyking in hierdie algemene afname kom voor by die kalsiumryke piroksene. Die totale persentasie Al_2O_3 daal van ongeveer drie ^{tot} ~~na~~ net meer as twee persent waarna dit weer toeneem. Indien die aluminiumproporsie in die tetraëdriese posisie, d.w.s. die aluminiumproporsie in die (Z)-groep van die klinopiroksene, teenoor $100Fe^{+2} / (Fe^{+2} + Mg^{+2})$ uitgesit word, is hierdie afwyking meer opvallend en kan dit min of meer gekorreleer word met die kristallisatie van pigeoniet as tweede pirokseenfase in plek van die kalsiumarm ortopirokseen by 'n verhouding van ongeveer 25 persent $100Fe^{+2} / (Fe^{+2} + Mg^{+2})$. Fig. 2 dui hierdie variasie van die Al_z^{+3} -proporsie met ysterverryking aan. Met die kristallisatie van ougiet en pigeoniet in

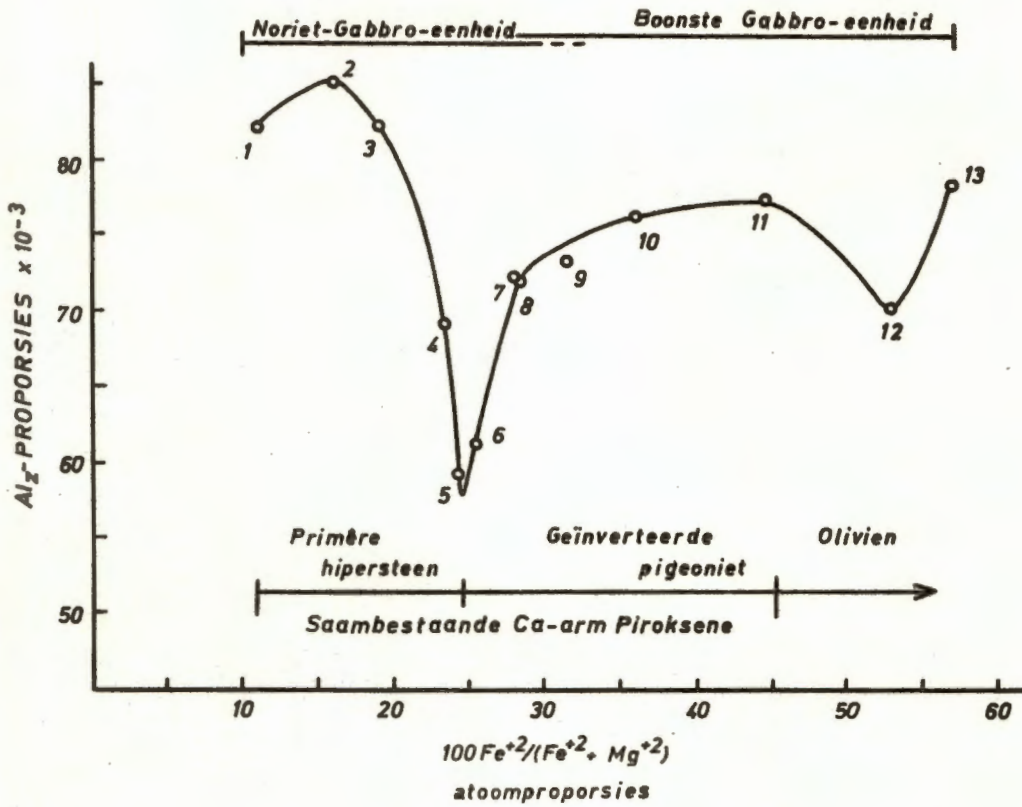


Fig. 2. Variasie van die Al-proporsies in die (Z)-groep van die kalsiumryke piroksene van die westelike Bosveldkompleks. Gebaseer op die herberekening van die chemiese analises soos voorgestel deur Hess (1949, p. 625). Kyk Bylae B.

die plek van primêre hipersteen en ougiet, neem die Al_Z^{+3} -proporsie egter weer vinnig toe. Hierdie toename word meer geleidelik namate meer ysterryke klinopiroksene saam met pigeoniet kristalliseer waarna dit, met die beëindiging van pigeonietkristallisasie as tweede pirokseenfase en die intrede van olivien, skerp afneem en 'n onbepaalde patroon volg.

Le Bas (1962, p. 76) vind in die verband dat, in enige nie-alkaliese basaltiese gesteentetipe, Al_Z^{+3} in die kalsiumryke klinopiroksene met fraksionering afneem en dat hierdie afname slegs geld vir $\Sigma Fe / (Ca + Mg + \Sigma Fe) < 18$. Die variasie in die proporsie Al_Z^{+3} van kalsiumryke klinopiroksene in die westelike Bosveldkompleks bevestig hierdie bevinding en dui daarop dat indien pigeoniet as tweede pirokseenfase in die plek van ortopirokseen kristalliseer, die afname in die proporsie Al_Z^{+3} nie meer geld solank as wat pigeoniet saam met ougiet kristalliseer nie.

Die persentasie Al^{+3} in die (Z)-groep van die pirokseenpare word in tabel I aangedui. Alhoewel die persentasie aluminium in die (Z)-groep van die klinopiroksene meer is as in die ortopiroksene en daar by die ortopiroksene 'n klein variasie is, is die verhouding van Al_Z^{+3} in die klinopiroksene en in die ortopiroksene min of meer konstant.

TABEL I

Persentasie Al^{+3} in die (Z)-groep van saambestaande
Ca-ryke klinopiroksene (Cpx) en Ca-arm ortopiroksene
(Opx) in die westelike Bosveldkompleks
(Kyk Bylae D)

Persentasie Al^{+3} in die (Z)-groep van die piroksene			
Monster= nommer	Pirokseene		Cpx/ Opx
	Cpx	Opx	
1	4,1	3,2	1,3
2	4,2	-	-
3	4,1	3,2	1,3
4	3,4	3,0	1,1
5	3,0	3,1	1,0
6	3,1	2,6	1,2
7	3,6	2,9	1,2
8	3,6	3,2	1,1
9	3,7	3,2	1,2
10	3,8	3,1	1,2

Volgens Le Bas (1962, p. 282) kan die effek van oorliggende druk op die Al-verspreiding in klinopiroksene voorgestel word volgens die onderstaande vergelyking waarby 'n volumevermindering van 3 persent sal plaasvind:



Druk toename
 $\xrightarrow{\hspace{1cm}}$

Afname



In hierdie verband is die verspreiding van aluminium tussen die tetraëdriese posisie (Al_Z) en die oktaëdriese posisie (Al_{WXY}) van belang en 'n direkte gevolg van Le Chatelier se beginsel. Relatief hoë drukke sal dus aanleiding gee tot pakings met klein Al_Z -waardes en relatief groot Al_{WXY} -waardes, terwyl lae drukke die teenoorgestelde bevorder. Dit is volgens Le Bas (1962, p. 282) die verspreiding van Al in eklogitiese piroksene en in fassaïet. Albei het 'n vergelykbare aluminiumhoud maar eersgenoemde is die produk van kristallasie onder hoë druk, terwyl fassaïet in kontakmetamorfiese kalkstene, wat produkte van 'n lae-druk-omgewing is, aangetref word.

Met toename in druk neem die verskil tussen die proporsie Al_Z (Al^{IV}) en Al_{WXY} (Al^{VI}) volgens dié verband af en behoort verskille in die druktoestande met die kristallasie van piroksene in magmas van min of meer dieselfde samestelling, maar van verskillende omgewings, kwalitatief op hierdie wyse vergelyk te kan word. Die verskille in die proporsies Al_Z en Al_{WXY} is vir die klinopiroksene van die Skaergaard- en Stillwaterindringings asook vir die oostelike- en westelike Bosveldkompleks vir vergelykbare ^{gesteente-} eenhede bereken (Tabel II).

Alhoewel daar in die piroksene van dieselfde indringing klein ondergeskikte variasies in die distribusieverskille voorkom, vertoon elke indringing 'n unieke verspreiding (Fig. 3). Indien die verskille tussen die Al_Z - en Al_{WXY} -proporsies wel kleiner word met toename in druk, soos in

TABEL II

Al-distribusieverskille (Al_z minus Al_{WXY}) vir die Ca-ryke
piroksene van die Skaergaard- en Stillwaterindringings
en die Bosveldkompleks

Skaergaard ^a	Stillwater ^b	Wes-Bosveld ^c	Oos-Bosveld ^d
1. 0,059	1. 0,064	1. 0,043	1. 0,029
3. 0,067	2. 0,057	2. 0,052	2. 0,028
4. 0,079	3. 0,042	3. 0,039	3. 0,033
5. 0,068		4. 0,053	4. 0,033
6. 0,062		5. 0,037	6. 0,033
7. 0,068		6. 0,035	7. 0,049
		8. 0,038	8. 0,036
		9. 0,038	
* 0,067	0,054	0,041	0,034

- a. Monsternommers van klinopiroksene soos aangedui deur Brown (1957, p. 517).
- b. Monsternommers 1, 2 en 3 (Hess, 1960, p. 36, MVL 101/2 I 52 en EB 175 respektiewelik).
- c. Monsternommers soos in Bylae B. (Noriet-gabbro-eenheid).
- d. Monsternommers volgens Atkins (1969, p. 230).

* Rekenkundige gemiddeldes.

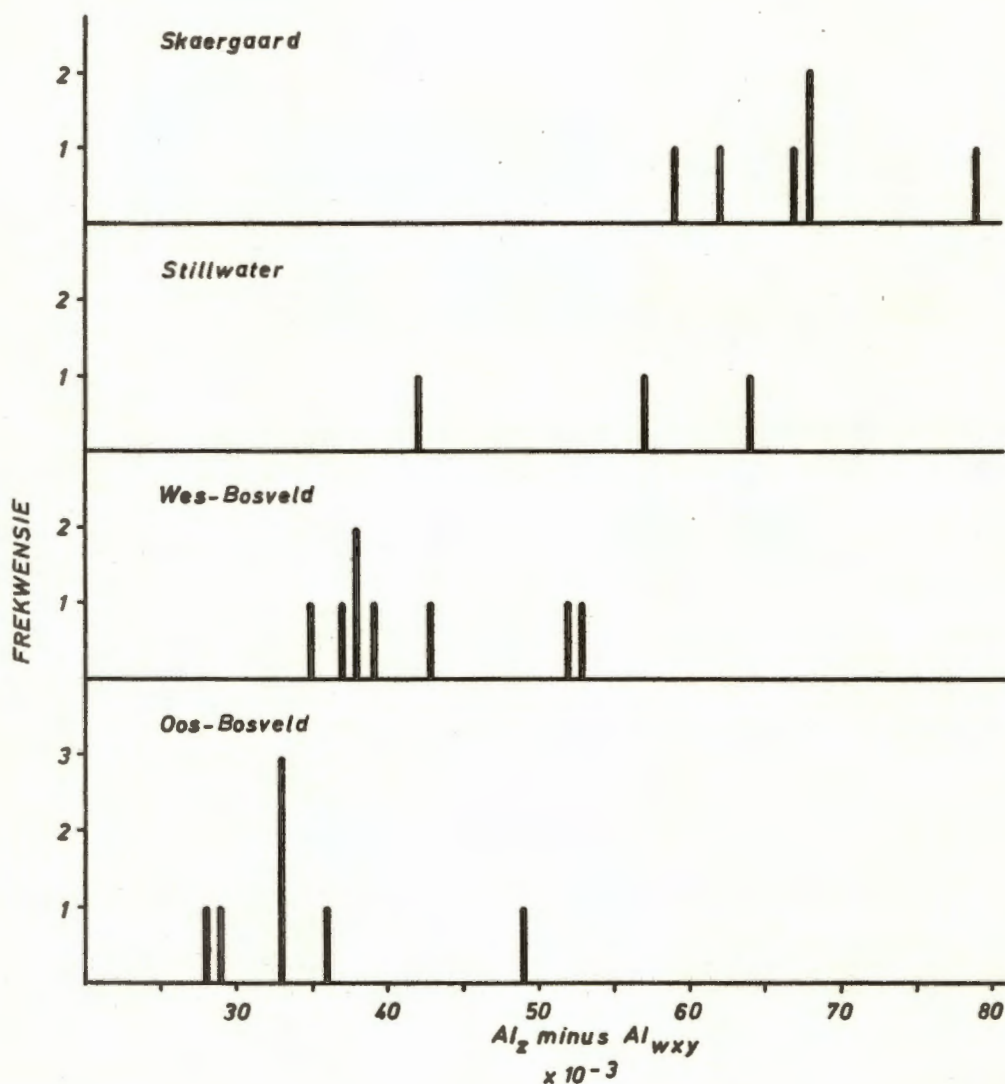


Fig. 3. Lynhistogram van die Al-distribusieverskille ($Al_Z \text{ minus } Al_{WXY}$) vir die kalsiumryke piroksene van die Skaergaard- en Stillwaterindringings en die oostelike en westelike Bosveldkompleks.

vergelyking (2) aangedui is, wil dit voorkom of kristallisasie in die oostelike Bosveld, sonder inagneming van ander faktore, by relatief hoër drukke as in die geval van die westelike Bosveldkompleks plaasgevind het, terwyl die druk in die Skaergaard- en Stillwaterindringings nog laer moes gewees het. Ten opsigte van die Bosveldkompleks as geheel wil dit in elk geval voorkom asof die druk hoër was as in die ander indringings. Volgens Morse (1969, p. 115) dui die tektoniese omgewing van die Skaergaardindringing daarop dat dit onder relatief lae druk gekristalliseer het. Op grond hiervan is dit dus redelik aanneembaar dat die gemiddelde Al-distribusieverskille in Tabel II en Fig. 3 as beduidend in die verband beskou kan word, alhoewel 'n afleiding t.o.v. die mate waarin druk hierdie verspreiding beïnvloed, nie gemaak kan word nie.

Die ougiet en enstatiet van insluitels in basalt bevat tot 5,5 en 6,5 persent Al_2O_3 (Ross en andere, 1954, p. 693) wat waarskynlik 'n aanduiding van kristallisasie by hoë druk is. Volgens Brown (1967, p. 123) het Boyd en England gevind dat die oplosbaarheid van Al_2O_3 in MgSiO_3 toeneem van 2,5 persent by atmosferiese druk tot 14-19 persent by 20 kb, waarna die oplosbaarheid weer afneem. Volgens Morse (1969, p. 116) het Hytönen en Schairer egter gevind dat diopsied 12-15 persent Al_2O_3 by atmosferiese druk kan bevat sodat 'n relatief groot persentasie Al_2O_3 nie noodwendig 'n aanduiding van hoë druk is nie.

Indien die persentasie Al_2O_3 in piroksene as 'n aanduiding van druk beskou wil word, is 'n belangrike vereiste dat die kristalliserende piroksene onder toestande van versadiging t.o.v. hierdie komponent by kristallisasie= drukke moet wees. Die groot oplosbaarheid van Al_2O_3 in enstatiet volgens Boyd en England en die sintese van diopsied met tot 15 persent Al_2O_3 by 1 atm. deur Hytönen en Schairer, maak dit duidelik dat slegs 'n klein persentasie natuurlike piroksene na aan versadiging t.o.v. Al_2O_3 is (Morse, 1969, p. 116). Volgens Boyd en England (Morse, 1969, p. 116) dui getuienis van granuliete, waarvan die ortopiroksene tot 9,5 persent Al_2O_3 bevat, op 'n aluminiumryke omgewing vir die versadiging t.o.v. Al_2O_3 . Dit geld egter nie vir die tholeiïtiese magmas waaruit die piroksene van die Bosveld, Stillwater en Skaergaard gekristalliseer het nie.

Fig. 4 dui die variasie van die persentasie Al_2O_3 met ysterverryking in die klinopiroksene van die Skaergaard-, Stillwater- en Bosveldindringings aan. Dit is duidelik dat die persentasie Al_2O_3 nie 'n duidelik gedefinieerde verloop vir elke indringing volg nie, maar vir die verskillende indringings ongeorden binne 'n relatief wye sone voorkom, ongeag aanduidings (Morse, 1969, p. 115 en Atkins, 1969, p. 238) dat die indringings wel onder verskillende toestande van druk en temperatuur gekristalliseer het. Dit is verder ook 'n aanduiding dat relatief

klein drukverskille nie deur die persentasie Al_2O_3 aangedui sal word nie. Hierdie sone (Fig. 4) toon egter 'n duidelike afname in Al_2O_3 met toename in yster ($100\text{Fe}^{+2}/(\text{Fe}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$) en dit geld ook vir die piroksene van die westelike Bosveldkompleks.

'n Sone soos aangedui in Fig. 4, in plaas van 'n duidelike verloop, is 'n aanduiding van die onderversadiging t.o.v. Al_2O_3 in die piroksene en word moontlik beheer deur die silika-inhoud van die magma.

2. Silikon (Si^{+4})

Die persentasie SiO_2 (en Si^{+4}) toon 'n duidelike afname met ysterverryking en is hoër in die kalsiumarm-piroksene as in die kalsiumryke piroksene (Plaat XIV).

Die daling in die persentasie SiO_2 is egter meer geleidelik in die kalsiumryke as in die kalsiumarm piroksene en gevolglik het die ferro-ougiete 'n effens hoër persentasie SiO_2 as die geïnverteerde ferropigeoniete.

Kushiro (1960, p. 553) is van mening dat die konsentrasie van SiO_2 in die magma, die proporsie Si^{+4} in die tetraëdriese posisie van die klinopirokseen bepaal. Indien die persentasie Si^{+4} beskikbaar vir die kristallisatie van klinopirokseen onvoldoende is om die tetraëdriese posisie in die pirokseen te vul, word die res van die posisie deur Al^{+3} gevul.

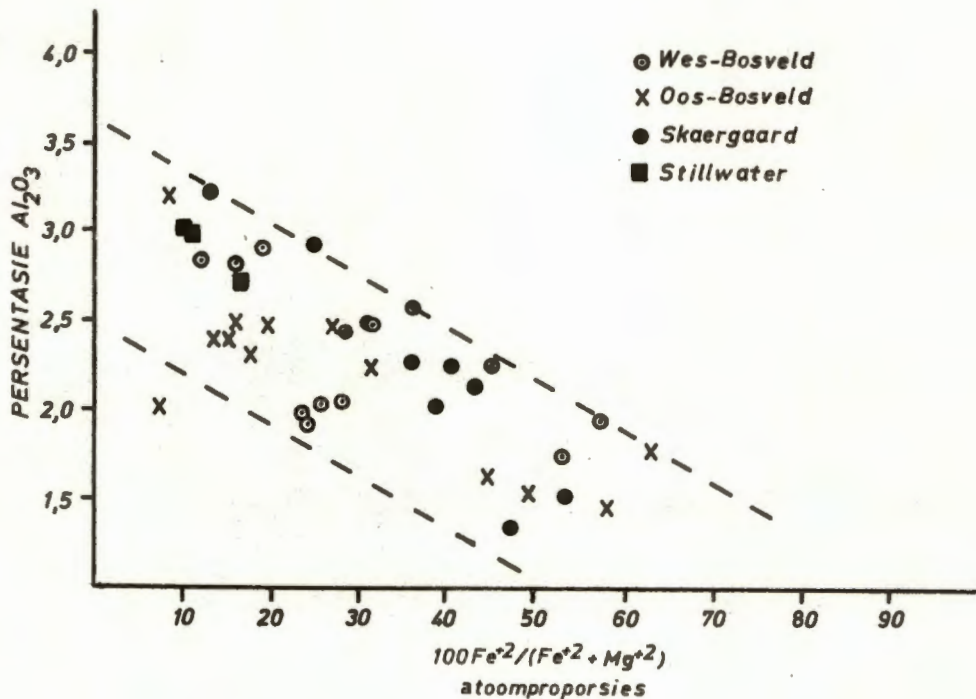


Fig. 4. Variasie van Al_2O_3 met ysterverryking in die kalsiumryke piroksene van die Skaergaard- en Stillwaterindringings en die oostelike en westelike Bosveldkompleks.

Brown (1967, p. 123) meen dat 'n progressiewe verlaging in die silika-inhoud toenemende hoeveelhede Ca-Tschermak-molekule ($\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$) in piroksene, in plaas van anortiet, bevorder. Dit is moontlik dat die rede vir die toenemende Ca-Tschermak-molekule die toename in Al^{+3} in die tetraëdriese posisies van die klinopiroksene vanweë die lae SiO_2 -inhoud van die magma is. Indien die idee van Brown (1967, p. 173) aanvaar word, behoort die kristallisasieverloop van die kalsiumryke piroksene dus beïnvloed te word deur die ooreenstemmende toename in die Wo-komponent van die piroksene, afhangende van die relatiewe silika-inhoud van die magma.

Wat die klinopiroksene van die Noriet-gabbro-eenheid betref, is daar 'n geleidelike toename van 1,928 tot 1,937 in die proporsie Si^{+4} van monster 1 tot 6. Hierdie toename gaan gepaard met 'n afname in die proporsie Al_Z^{+3} van 0,082 tot 0,061. Die genoemde progressiewe toename in die proporsie Si^{+4} en die daarmee/gepaardgaande afname van die proporsie Al_Z^{+3} dui dus op 'n silikaverryking met fraksionering. Volgens Kushiro (1960, p. 553) word hierdie idee gesteun deur die fraksionering van die Stillwater-, Black- en Izu-Hakone-indringings, waarin die molekulêre SiO_2 in die magma toeneem. Die Si^{+4} -proporsie in die kalsiumryke piroksene van die Boonste Gabbro-eenheid neem in teenstelling hiermee van 1,933 in monster 10 af tot 1,923 in monster 13, terwyl die Al_Z^{+3} -proporsie (alhoewel die onderlinge verskille klein is) geleidelik toeneem. Dit wil dus voorkom asof die magma van die Boonste Gabbro-eenheid aanvanklik relatief onderversadig t.o.v. SiO_2 was. Dit is in ooreenstemming met die uiteindelijke kristallisasie van olivien in die plek van pigeoniet in die laat stadiums van fraksionering en bied 'n moontlike verklaring vir die kristallisasieverloop van die klinopiroksene in die Boonste Gabbro-eenheid deurdat die vorming van 'n groter persentasie Ca-Tschermak-molekuul (asook die Wo-komponent) in die klinopirokseenstruktuur, deur die lae SiO_2 -inhoud van die magma bevorder was.

C. Die distribusie van Fe^{+2} en Mg^{+2}
in die pirokseenpare

Volgens Brown (1961, p. 432), Kretz (1961b, p. 345) en Bartholomé (1961, p. 348) bestaan daar geen verband tussen die verspreiding van Fe^{+2} en Mg^{+2} in saambestaande piroksene en die snypunt van hul samestellingsverbindingslyne op die kalsium-magnesium-kant van die konvensionele pirokseensamestellingsdiagram nie.

Kretz (1961a, p. 373) vind egter dat vir geassosieerde kalsiumryke en kalsiumarm fases die distribusiekoëffisiënt K_D , waar

$$K_D = X_{\text{Mg}}^{\text{O}} (1 - X_{\text{Mg}}^{\text{C}}) / (1 - X_{\text{Mg}}^{\text{O}}) X_{\text{Mg}}^{\text{C}} \dots\dots\dots (3),$$

met $X_{\text{Mg}}^{\text{O}} = \text{Mg}^{+2} / (\text{Mg}^{+2} + \text{Fe}^{+2})$ vir die kalsiumarm

en $X_{\text{Mg}}^{\text{C}} = \text{Mg}^{+2} / (\text{Mg}^{+2} + \text{Fe}^{+2})$ vir die kalsiumryke piroksene, vir piroksene van stollings- en metamorfe gesteentes aansienlik verskil en waardes van 0,73 en 0,54 respektiewelik lewer.

Tabel III toon die K_D -waardes vir die geanaliseerde piroksene van die westelike Bosveldkompleks, bereken volgens vergelyking (3). Indien vergelyking (3) egter herrangskik word na

$$X_{\text{Mg}}^{\text{O}} (1 - X_{\text{Mg}}^{\text{C}}) = K_D (1 - X_{\text{Mg}}^{\text{O}}) X_{\text{Mg}}^{\text{C}}$$

verkry dit die vorm $Y = MX$, sodat $K_D = M$, waar M die helling

van 'n reguitlyn van die vorm $Y = MX$ is. Hierdie verband is gebruik om K_D grafies te bereken deur $X_{Mg}^O \cdot (1 - X_{Mg}^C)$ teenoor $X_{Mg}^C \cdot (1 - X_{Mg}^O)$ uit te sit (Fig. 5). 'n K_D -waarde van 0,71 vir die piroksene van die westelike Bosveldkompleks is hieruit verkry wat weinig van die gemiddelde K_D -waarde in Tabel III verskil. In teenstelling hiermee vind Atkins (1969, p. 236) 'n gemiddelde waarde van 0,67 vir die piroksene van die oostelike Bosveld, terwyl die Skaergaard- en Stillwaterindringings gemiddelde waardes van 0,73 en 0,71 respektiewelik lewer.

Volgens Kretz (1961a, p. 376 en 1961b, p. 345) is die K_D -waarde van temperatuur en druk en variërende konsentrasies van 'n derde element afhanklik. Die feit dat een groep mineraalpare 'n ander K_D -waarde as 'n ander groep het, kan volgens Kretz (1961a, p. 376) net toegeskryf word aan samestellingsvariasies (behalwe vir Fe^{+2} en Mg^{+2}) as daar 'n verskil in die samestelling van een of beide minerale van een groep t.o.v. die samestelling van die minerale in die ander groep bestaan. Die pirokseensamestellings van die genoemde indringings, asook die ~~verskille~~ tussen metamorfe en stollingsversamelings, toon geen aansienlike afwykings nie en ten opsigte hiervan meen Kretz (1961a, p. 376) dat, alhoewel klein afwykings soos dié in die Al_2O_3 -inhoud mag voorkom, hierdie variasies te klein is om die distribusiekoëffisiënt veel te beïnvloed.

Volgens Kretz (1963, p. 781-783) weerspieël 'n toename in die distribusiekoëffisiënt 'n toename in temperatuur en 'n afname in druk. Kretz (1961a, p. 377-379; 1961b, p. 345 en 1963, p. 780) meen egter dat, alhoewel druk 'n invloed op die distribusiekoëffisiënt het, hierdie invloed klein is en dat relatief groot verskille tussen die K_D -waardes, soos dié tussen stollings- en metamorfe pare, eerder die gevolg van verskille in die temperatuur van kristallisatie onder ewewigstoestande is, alhoewel klein verskille in die K_D -waardes (soos dié in tabel III) vir dieselfde en ander indringings (soos dié tussen die oostelike Bosveld en westelike Bosveldkompleks en die Skaergaard- en Stillwaterindringings) nie toegeskryf kan word aan temperatuurafhanklikheid alleen nie.

Atkins (1969, p. 237) koppel die verskil in die K_D -waardes van die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing aan 'n laer temperatuur en/of hoër druk in die oostelike Bosveldkompleks. Hy bereken, deur van vergelykings gebruik te maak wat volgens hom deur Ramberg en De Vore asook Kretz afgelei is, dat 'n drukverskil van 5 750 atmosfeer tussen die Skaergaardindringing en oostelike Bosveldkompleks nodig is om die verskil in die gemiddelde K_D -waardes van die twee indringings te lewer.

TABEL III

Kretz-distribusiekoëffisiënte vir die piroksene
van die westelike Bosveldkompleks

Monster = nommer	X_{Mg}^O	X_{Mg}^C	K_D
1	0,8385	0,8797	0,710
3	0,7514	0,8082	0,717
4	0,7026	0,7649	0,726
5	0,6924	0,7580	0,718
6	0,6645	0,7432	0,684
7	0,6472	0,7197	0,684
8	0,6428	0,7170	0,710
9	0,6249	0,6848	0,766
10	0,5578	0,6362	0,721
Gemiddeld			0,715

Die piroksene van die westelike Bosveldkompleks lewer egter 'n gemiddelde K_D -waarde van 0,71 wat met slegs 0,02 van die waarde vir die Skaergaardindringing verskil, maar presies ooreenkom met die K_D -waarde vir die Stillwaterindringing. Omdat die Skaergaardindringing en die westelike Bosveldkompleks K_D -waardes lewer wat weinig verskil en Atkins 'n drukverskil van 5 750 atmosfeer tussen Skaergaard en die oostelike Bosveldkompleks op grond van die gemiddelde K_D -waardes van hierdie twee indringings bereken het, kom dit voor of 'n drukverskil van dieselfde orde tussen die oostelike en westelike

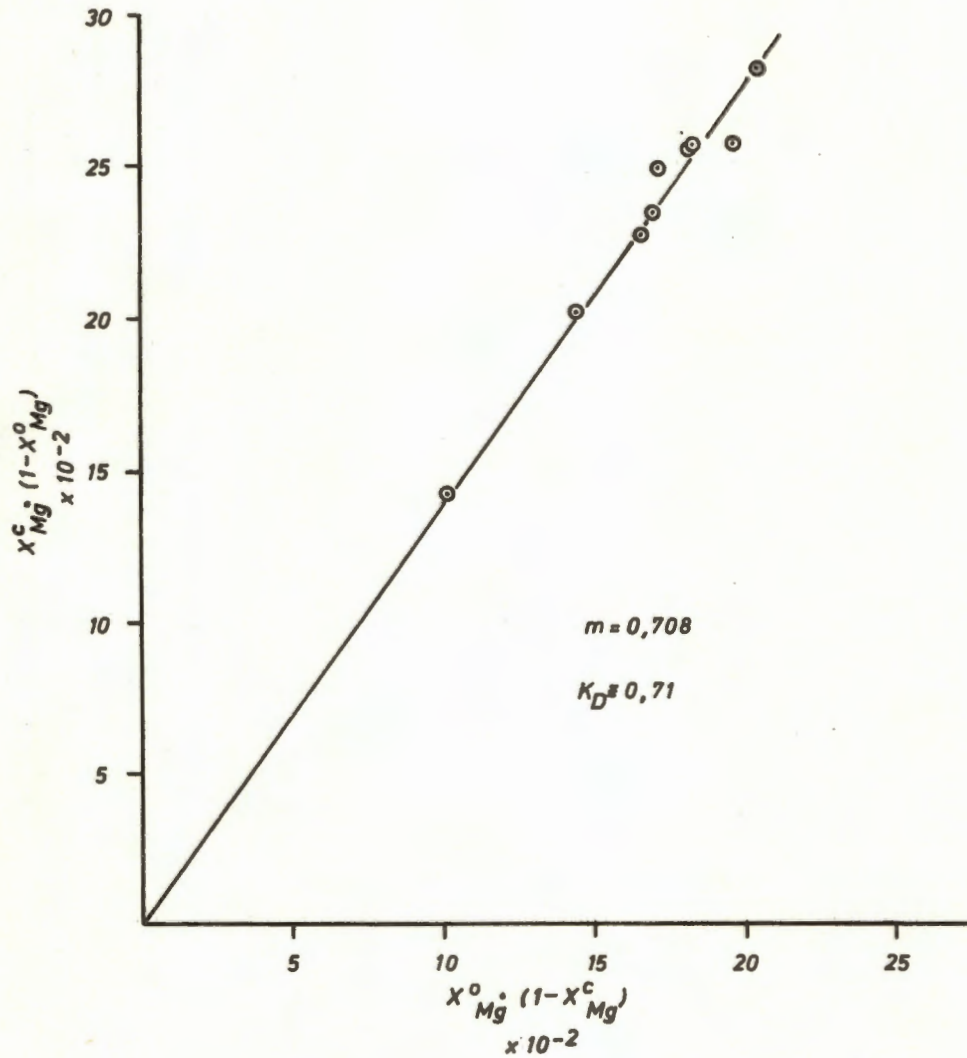


Fig. 5. Fe^{+2}/Mg^{+2} -distribusie van nege pirokseenpare van die westelike Bosveldkompleks.

segmente van die Bosveldkompleks bestaan. 'n Drukverskil van 5 750 atmosfeer tussen die westelike en die oostelike Bosveldkompleks is egter op stratigrafiese gronde nie moontlik nie en dus sonder betekenis.

Die rede vir die aansienlike verskil tussen die K_D -waardes van die oostelike en westelike Bosveldkompleks word egter daaraan toegeskryf dat drie saambestaande pirokseenpare uit die oostelike Bosveld (Atkins, 1969, p. 232 en p. 236 nrs. 1-1a, 2-2a en 3-3a), met K_D -waardes in die orde van 0,65, die gemiddelde K_D -waarde vir die oostelike Bosveld verlaag het. Die klinopiroksene van twee van hierdie saambestaande pare is tussenliggend (Atkins, 1969, p. 232) en verteenwoordig dus nie kotektiese kristallisasie nie. Die drie pirokseenpare is verder afkomstig uit gesteentes onderkant die Noriet-gabbro-eenheid wat nie in hierdie studie ondersoek is nie, maar as afsonderlike eenhede beskou word (die gemiddelde K_D -waarde van die westelike Bosveldkompleks is bereken uit pirokseenpare van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid). Wanneer die bydrae van hierdie drie saambestaande pare van die gemiddelde K_D -waarde van die oostelike Bosveld afgetrek word, word 'n gemiddelde K_D -waarde van 0,68 vir die oostelike Bosveld verkry. Dit dui nog op 'n drukverskil tussen die oostelike en westelike segmente van die Bosveldkompleks, maar is nie meer van dieselfde orde as dié tussen die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing nie.

Na aanleiding van die moontlike drukverskil tussen die Skaergaardindringing en die oostelike Bosveldkompleks (Atkins, 1969, p. 237), verteenwoordig deur 'n K_D -waarde=verskil van 0,05 ($0,73 - 0,68 = 0,05$) vir hierdie twee indringings, kom dit voor of die drukverskil tussen die oostelike en die westelike Bosveldkompleks in die orde van 2 800 atmosfeer (ongeveer die helfte van 5 750 atmosfeer) of laer was. Dit word aangedui deur 'n K_D -waarde=verskil van 0,03 ($0,71 - 0,68 = 0,03$), wat net meer as die helfte van die verskil tussen die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing is. Hierdie druk kom ooreen met 'n diepte van ongeveer 8-10 km. Alhoewel dit op stratigrafiese gronde onwaarskynlik is dat die westelike Bosveldkompleks onder 'n dak van sedimente van hierdie dikte (8-10 km) gekristalliseer het, dui die Kretz-distribusiekoëffisiënte nogtans op 'n moontlike verskil in die druktoestande gedurende die kristallisasie van die westelike en oostelike Bosveldkompleks.

'n Berekening deur Atkins (1969, p. 238) vir die temperatuurverskil tussen die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing (op grond van die K_D -waardes) lewer volgens hom "betekenislose resultate" en gee 'n kristallisasietemperatuur vir die oostelike Bosveldkompleks wat 200°C laer is as vir die Skaergaardindringing. Volgens Atkins (1969, p. 238) is hierdie verskil op grond van die noue ooreenkoms tussen die magmasamestellings en

die mineralogie van Skaergaard en die oostelike Bosveld=kompleks te groot, alhoewel daar volgens hom ander aanduidings (afwesigheid van β -wollastoniet) van laer kristallisasietemperatuur in die oostelike Bosveld is. Dit kom dus voor asof die verskille tussen die K_D -waardes vir stollingspiroksene van afsonderlike indringings nie in dieselfde mate as aanduidings van die temperatuur van kristallasie kan dien soos wanneer piroksene van metamorfe en stollingsgesteentes vergelyk word nie.

D. Die variasie van die ondergeskikte elemente
 Fe^{+3} , Mn^{+2} en Ti^{+4} in die piroksene

Die Fe^{+3} -proporsie is deurlopend laag maar vertoon as geheel in die kalsiumryke piroksene 'n effense toename met differensiasie. Dit bly egter, in ooreenstemming met die Skaergaardindringing, min of meer konstant in die kalsiumarm piroksene.

Wat die Mn^{+2} -proporsie betref, is daar 'n duidelike toename by die kalsiumarm piroksene en hoewel dit laag is het dit deurlopend 'n hoër waarde as in die kalsiumryke piroksene.

Die Ti^{+4} -inhoud is laag in beide die kalsiumarm en kalsiumryke piroksene. Dit bly min of meer konstant in die kalsiumryke piroksene, behalwe vir die mees ysterryke

geval maar word toegeskryf aan fyn eksolusies wat moontlik ilmeniet of hematiet is. In die kalsiumarm piroksene is daar egter 'n duidelik volgehoue toename in die Ti^{+4} -proporsie.

Volgens Atkins (1969, p. 234) het verskeie werkers, veral Cartens en De Vore, die verspreiding van bykomstige elemente in geassosieerde pirokseenpare bestudeer. Volgens Atkins het hierdie werkers gevind dat die kalsiumryke piroksene oor die algemeen 'n hoër inhoud van Fe^{+3} , Ti^{+4} , Al_z , Al_{wxy} , Cr en V en 'n laer Mn^{+2} - en Cu^{+4} -inhoud as die saambestaande kalsiumarm piroksene het. Soos in die oostelike Bosveld (Atkins, 1969, p. 234) vertoon die piroksene van die westelike Bosveld dieselfde variasie van hierdie ondergeskikte elemente, behalwe wat die Fe^{+3} betref wat, in ooreenstemming met Fe^{+2} , hoër in die kalsiumarm piroksene is.

VIII. KRISTALLISASIEVERLOOP VAN DIE PIROKSENE

A. Kristallasiasieverloop van die piroksene in die westelike Bosveldkompleks

Plaat XV toon die samestellingsvariasie van die piroksene in die westelike Bosveldkompleks. Dit is gegrond op die Ca:Mg:ΣFe-proporsies wat bereken is uit die pirokseenanalises in Bylae B. Die verbindingslyne in die diagram dui die geanaliseerde saambestaande pirokseenpare aan en die lyn (A-B) verbind 'n pirokseenpaar waarvan die samestelling uit optiese bepalings verkry is.

Ferro-ougiet 11 en saambestaande geïnverteerde ferro-pigeoniet 11a is uit die oostelike Bosveldkompleks afkomstig en is uit die literatuur ontleen (Atkins, 1969, p. 239, nr. 10). Atkins (1969, p. 240) wys daarop dat die posisie van 11, (sy nr. 10) op drie onafhanklike analises gegrond is en dat die posisie daarvan geheel en al van die verloop, wat deur hom vir die oostelike Bosveldkompleks bepaal is, afwyk. Hy kon geen verklaring vir hierdie afwyking bied nie. Dit blyk egter dat die posisie daarvan ooreenkom met die kristallasiasieverloop van die westelike Bosveldkompleks.

Die kalsiumarm pirokseen 7a, wat in duplikaat geanaliseer is, kom anomaal voor. Dit vertoon geen ougietlamelle parallel aan {001} nie en is ongetwyfeld 'n primêre

hipersteen (Plaat VIIB). Wat egter van belang is, is dat hierdie hipersteen uit subeenheid A van die Boonste Gabbro-eenheid afkomstig is en dat dit stratigrafies bokant die gesteentes waaruit die paar 9-9a verkry is, lê. Atkins (1969, p. 240) beskryf 'n soortgelyke geval vir die oos-telike Bosveld maar volgens hom is dit, te oordeel aan eksolusieteksture, 'n geïnverteerde pigeoniet. Volgens hom toon 'n optiese ondersoek van die mineraalpoeler daarvan dat die {001}-ougietlamelle met die vergruisingsproses losgebreek het en dat hul met die daaropvolgende skeiding in die kalsiumryke fraksie beland het. Hy meen dat dit die rede vir die lae kalsiuminhoud van hierdie geïnverteerde pigeoniet is. In 'n poging om die samestellings van die hipersteengashere van die geanaliseerde geïnverteerde pigeoniete te bepaal, is egter by die keuse van geskikte korrelgroottes deur analise vasgestel dat geïnverteerde pigeonietfraksies, met korrelgroottes kleiner as 200 maas waaruit {001}-lamelle verwyder is, nog steeds 'n CaO-persentasie van 2,4-2,7 lewer (kyk Bylae F). Hierdie persentasie CaO is egter nog 1,0-1,5 persent hoër as die normale CaO-persentasie van primêre hipersteen en bronsiet.

Na aanleiding van die kristallisasieverloop van die piroksene in die westelike Bosveldkompleks (Plaat XV) kom dit voor asof twee belangrike fases in die kristallisasiegeskiedenis van die westelike Bosveldkompleks onderskei kan word, nl.

1. die indringing en kristallisasie van die Noriet-gabbro-eenheid, aangedui deur die verloop tussen die pirokseenpare 1 en 9 (afgesien van die paar 7-7a); en
2. die indringing en kristallisasie van die Boonste Gabbro-eenheid, aangedui deur die verloop van die pirokseenpare tussen 7 en 13 (afgesien van 8-8a en 9-9a wat tot die Noriet-gabbro-eenheid behoort).

Die kristallisasieverloop soos in Plaat XV aangedui, word dus as 'n saamgestelde verloop beskou en verteenwoordig dus nie die kristallisasie van 'n enkele gefraksioneerde indringing nie.

Mineralogies word die idee van twee hoof fases in die kristallisasiegeskiedenis van die westelike Bosveldkompleks gesteun deur die aanwesigheid van ortorombiese kalsiumarm en monokliniese kalsiumryke piroksene in die onderste gesteentes (subeenhede A) van die hoofeenhede. In beide die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid word hierdie gesteentes deur 'n sone oorlê waarin hipersteen en geïnverteerde pigeoniet saam met ougiet aanwesig is. Hierdie sones word in albei die eenhede gevolg deur 'n sone waarin slegs geïnverteerde pigeoniet en ougiet, saam met ander minerale, in die gesteentes voorkom. In die Boonste Gabbro-eenheid kom 'n verdere groep gesteentes voor waarin olivien saam met ougiet as die enigste pirokseenfase aanwesig is. Die gesteentes van die Boonste Gabbro-eenheid

bevat verder ook magnetiet in wisselende hoeveelhede wat nie in die gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid aangestref is nie.

Uit die pirokseenkristallasieverloop van die Noriet-gabbro-eenheid kom dit voor of die kristallasie van die piroksene begin het deur die opeenvolgende kristallasie van magnesiumryke monokliniese en ortorombiese kalsiumarm pirokseenpare (1-1a, 2, 3-3a, 4-4a) wat met fraksionering geleidelik aan yster verryk was totdat monokliniese pigeoniet in die plek van die ortorombiese kalsiumarm pirokseen saam met ougiet gekristalliseer het. In die Noriet-gabbro-eenheid kom hierdie fasegrens by ongeveer $\text{Fs}_{31}\text{En}_{69}$ voor en word vermoedelik deur bronsiet 4a en geïnverteerde pigeoniet 5a (Plaat XV) verteenwoordig. Hierna het pigeoniet saam met ougiet, met daling in temperatuur en toename in yster, gekristalliseer totdat die samestelling van die paar 9-9a bereik was.

Ooreenstemmend met die Noriet-gabbro-eenheid word gemeen dat die pirokseenkristallasie van die Boonste Gabbro-eenheid deur die kristallasie van ysterryke klinopiroksene en ortorombiese hipersteen begin het, moontlik omdat die magma aanvanklik meer ysterryk was. Met slegs effense fraksionering is die fasegrens, waarby pigeoniet in die plek van hipersteen saam ougiet kristalliseer, bereik waarna die verloop langs 10 na 13 gevolg is. In die geval van die Boonste Gabbro-eenheid word die fasegrens

tussen hipersteen en pigeoniet op $\text{Fs}_{37}\text{En}_{63}$ gestel en lê hipersteen 7a vermoedelik net langs hierdie grens (Plaat XV). Die saambestaande paar (A-B) verteenwoordig die mees ysterryke pirokseenpaar wat in die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks aangetref is. In hierdie rots is die pigeoniet ondergeskik en kom as tussenliggende korrels tussen ougiet en plagioklaas voor. Weens die swak blootstellings van die Boonste Gabbro-eenheid kon geen monster gevind word waarin beide ferro-ougiet en geïnverteerde pigeoniet aanwesig is en die ougiet meer ysterryk as Fs_{27} is nie. Dit is egter moontlik dat gesteentes hoër op in die Boonste Gabbro-eenheid aanwesig is waarin beide piroksene voorkom en dat hierdie piroksene samestellings besit met 'n groter Fs-inhoud. Coertze (1971, p. 70) maak melding van 'n pirokseenpaar in die westelike Bosveldkompleks wat min of meer in samestelling met die paar 11-11a (Plaat XV) van die oostelike Bosveldkompleks ooreenkom. Alhoewel Coertze die samestellings van sy genoemde paar uit optiese gegewens afgelei het, is dit 'n onafhanklike bevestiging vir die verloop tussen 10, 12 en 13, afgesien van die paar 11-11a wat deur Atkins (1969) geanaliseer is. Dit is dus moontlik dat die twee-pirokseengrens in die westelike Bosveldkompleks, na aanleiding van die paar wat deur Coertze vermeld word, effens later bereik is.

Ferro-ougiet 12 en ferro-ougiet 13 kom saam met olivien voor en geen saambestaande ferropigeoniet is in die gesteentes waaruit hierdie monsters verkry is, aangetref nie.

B. Vergelyking tussen die kristallisasieverlope van die piroksene in die westelike en oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing

Fig. 6 toon die kristallisasieverlope van kalsiumryke piroksene in die westelike en oostelike Bosveldkompleks asook die Skaergaardindringing. Geen vergelyking is tussen die kristallisasieverlope van die kalsiumarm piroksene van hierdie indringings getref nie omdat geen duidelike verskille vasgestel kan word nie. Die kristallisasieverloop van die kalsiumarm piroksene in die westelike Bosveld word egter aangedui as verwysingsverloop omdat daar in die bespreking wat volg na bepaalde pirokseene pare verwys word. Die kristallisasieverloop van die piroksene in die westelike Bosveldkompleks ^{word} is as 'n saamgestelde verloop van die verlope van die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid beskou. Om hierdie rede sal die verloop van die Noriet-gabbro-eenheid en die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid elkeen afsonderlik met betrekking tot die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing bespreek word.

1. Noriet-gabbro-eenheid

Aan die magnesiumryke kant van die konvensionele pirokseenvierhoek (Fig. 6) volg die kristallisasie van klinopiroksene in die Noriet-gabbro-eenheid 'n verloop

intermediêr tussen dié van die oostelike Bosveld en dié van die Skaergaardindringing. Die mees magnesiumryke piroksene in die Noriet-gabbro-eenheid bevat egter net minder kalsium as soortgelyke piroksene in die Skaergaardindringing, gevolglik kruis die kristallisasieverloop van die Noriet-gabbro-eenheid dié van Skaergaard.

Daar word gemeen dat die intermediêre verloop van die Noriet-gabbro-eenheid tussen dié van die oostelike Bosveld en Skaergaard daarop dui dat daar 'n hoër druk gedurende die kristallisatie van die piroksene in die Noriet-gabbro-eenheid aanwesig was as gedurende die kristallisatie van soortgelyke piroksene in die Skaergaardindringing en 'n effens laer druk as gedurende die kristallisatie van die ooreenstemmende eenheid in die oostelike Bosveldkompleks.

Alhoewel die aanvaarding van 'n drukverskil spekulatief is, het Lindsley, Brown en Muir volgens Atkins (1969, p. 238) getoon dat die rotse in die Boonste Sone van Skaergaard, wat β -wollastoniet bevat, oor 'n temperatuurinterval van $990-950^{\circ}\text{C}$ by 600 ± 100 bar gekristalliseer het. Hierdie afleiding is volgens Atkins (1969, p. 243) deur Lindsley en andere gemaak nadat hulle 'n druk- en temperatuurdiagram vir die inversie van wollastoniet in hedenbergiet uit eksperimentele werk opgestel het. Volgens Atkins dui hierdie inligting daarop dat by laer temperature en/of hoër druk die voorkoms van ysterryke

β -wollastoniet onderdruk sal word en dat ferrohedenbergiet direk sal kristalliseer. Geen β -wollastoniet is volgens Atkins (1969, p. 245) in die oostelike Bosveldkompleks gevind nie gevolglik bestaan daar dus aanduidings dat die Bosveldkompleks as geheel onder hoër druktoestande as die Skaergaardindringing ingeplaas is.

Die verloop van die Noriet-gabbro-eenheid dui ook op hoër druk as in die Skaergaardindringing omdat dit veral vir die mees magnesiumryke klinopiroksene in ooreenstemming met die bevindings van Davis en Boyd (1966, p. 3567) vir die sisteem MgSiO_3 - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ is. Volgens hulle word die mengbaarheidsgaping tussen enstatiet en diopsied in die suiwer sisteem verklein en vergroot die vaste-oplossingsbereik tussen hierdie twee minerale by hoër druk. Die gevolg hiervan is dat diopsied met 'n hoër En-inhoud as onder laer druk sal kristalliseer. Dit is nie bekend wat die invloed van FeSiO_3 op die sisteem MgSiO_3 - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ sal wees nie, alhoewel die verloop van die Noriet-gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks daarop dui dat hierdie solvus-solidus-verhoudings by relatief groter persentasies FeSiO_3 verander en dat by 'n Fs-inhoud groter as Fs_{10} in die klinopiroksene, die mengbaarheidsgaping by hoër druk vergroot word. Indien dit die geval is dat by 'n Fs-inhoud van sê groter as Fs_{10} , die solvus-solidus-verhoudings in die sisteem MgSiO_3 - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, soos dit deur Davis en Boyd (1966, p. 3567) bepaal is,

verander en die mengbaarheidsgaping tussen enstatiet en diopsied by hoër druk eerder vergroot, dui die verloop van die magnesiumryke klinopiroksene in die oostelike Bosveld op effens hoër druk as in die Noriet-gabbro-eenheid van die westelike Bosveldkompleks. 'n Klein drukverskil tussen die oostelike en westelike segmente van die Bosveldkompleks word ook deur die K_D -waardes (p. 84] en deur die Al-distribusieverskille (p. 73] aangedui.

Afgesien van die moontlike drukinvloed word daar na aanleiding van die noue ooreenkoms tussen die westelike en die oostelike Bosveldkompleks verwag dat die verloop van die oostelike Bosveldkompleks vir die mees magnesiumryke klinopiroksene (ougiete 1, 2 en 3, Fig. 6] 'n soortgelyke kromming as dié van die Noriet-gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks behoort te vertoon. Dit blyk egter dat die kalsiumryke piroksene 1, 2 en 3, wat die magnesiumryke kant van die verloop van die oostelike Bosveldkompleks definieer, afkomstig is uit rotse van die Basale en die Kritieke *Sones* van die oostelike Bosveldkompleks (Atkins, 1969, p. 227 en 232). In die westelike Bosveldkompleks kom die Basale *Sone* en die Kritieke *Sone* volgens die indeling wat gebruik is met die Basale Noriet-eenheid en die Pirokseniet-norieteenheid ooreen. Hierdie eenhede lê aan die onderkant van die Noriet-gabbro-eenheid en is nie ondersoek nie, alhoewel gemeen word dat hierdie eenhede afsonderlik ingedring is en dus nie direk met die verloop van die Noriet-gabbro-eenheid in verband gebring kan word nie.

Alhoewel die mees ysterryke ougiet in die Noriet-gabbro-eenheid waarskynlik deur ougiet 9 (Fig. 6) verteenwoordig word, word voorgestel dat verloop van die kalsiumryke piroksene in die Noriet-gabbro-eenheid met verdere ysterverryking min of meer met die verloop van die kalsiumryke piroksene in die Skaergaardindringing ooreen sou gekom het indien die oorspronklike magma genoegsaam vir verdere kristallisasie en fraksionering was.

2. Boonste Gabbro-eenheid

Die verloop van die kalsiumryke piroksene in die Boonste Gabbro-eenheid wyk geheel en al van die verloop in die oostelike Bosveldkompleks en dié van die Skaergaardindringing af, alhoewel dit in die een-pirokseenveld weer by beide aansluit (Fig. 6). In die westelike Bosveldkompleks neem die Ca-inhoud van die klinopiroksene tot ongeveer 38 persent (in terme van Wo:En:Fs) af, terwyl dit in die oostelike Bosveldkompleks 'n minimum van nagenoeg 32 persent bereik (Atkins, 1969, p. 230 nr. 11). Alhoewel daar 'n effense verskil tussen die verlope van die meer magnesiumryke ougiet in die westelike en oostelike Bosveldkompleks voorkom, is dit ondergeskik aan die verskil in die ferro-ougietgebied. Die verklaring vir hierdie verskil tussen die verlope van die oostelike en westelike Bosveldkompleks is alles behalwe in die ooglopend. Daar kan egter twee moontlike verklarings aangevoer word. Die eerste is

dat daar 'n verskil in die magmasamestellings van die Boonste Gabbro-eenheid van die westelike Bosveldkompleks en dié van die Bo-sone van die oostelike Bosveld bestaan het. Hierdie moontlikheid bestaan wel as aanvaar word dat verskeie voerkanale vir die Bosveldkompleks aanwesig was (Willemse, 1964, p. 112-114). Daar moet egter in gedagte gehou word dat ougiet 11 wat deur Atkins (1969) geanaliseer is (sy nr. 10) en wat uit die oostelike Bosveldkompleks afkomstig is, saamval met die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid en nie met die verloop van die oostelike Bosveldkompleks nie (Fig. 6). Die afwykende samestelling van hierdie ougiet (t.o.v. die verloop van die oostelike Bosveld) is dan alleenlik verklaarbaar indien dit afkomstig is uit 'n ingelaagde plaat van die Boonste Gabbro-eenheid in die Bo-sone van die oostelike Bosveldkompleks. Die meganisme vir die inlaging van so 'n plaat is egter moeilik om presies te visualiseer alhoewel die moontlikheid daarvan derhalwe nie totaal verwerp kan word nie.

Die tweede moontlike verklaring vir die verskil tussen die kristallisasieverlope van die westelike en oostelike Bosveldkompleks in die ferro-ougietgebied (Fig. 6) is, dat daar moontlik 'n mate van pigeonietkontaminasie en selfs olivien- en amfiboolkontaminasie in Atkins se geanaliseerde monsters 11 en 12 (Fig. 6, kristallisasie verloop van die oostelike Bosveld) sonder sy wete aanwesig was. Deur hierdie moontlikheid aan te voer wil die werk van Atkins in geen

opsig te na gekom word nie, maar word slegs die moontlikheid as sodanig bespreek.

Die saambestaande geïnverteerde pigeoniet D (Fig. 6) van Atkins (1969) se geanaliseerde ougiet 11, (C in Fig. 6) was nie deur hom geanaliseer nie, maar die samestelling daarvan (in terme van $Wo:En:Fs$) is uit optiese en X-straal gegewens afgelei (Atkins, 1965, p. 240). Op grond hiervan het dit 'n samestelling van ongeveer $Wo_8 En_{37} Fs_{55}$ (Atkins, 1969, p. 239, Fig. 3). Indien 15 persent geïnverteerde pigeoniet D van die samestelling van die saambestaande ougiet 11 afgetrek word, word 'n gekorrigeerde samestelling van ongeveer $Wo_{37} En_{31} Fs_{32}$ daarvoor verkry wat binne die grafiese en analitiese onsekerheidsbereik (Bylae E; p. xiii en Tabel VI) van die lyn wat die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks aandui, is. Hierdie aanvaarde kontaminasie is slegs 5 persent hoër as die maksimumgrens vir kontaminasie wat deur Atkins gestel is (Atkins, 1965, p. 110).

Die rots waarin ougiet 11 en saambestaande geïnverteerde pigeoniet D (Fig. 6) voorkom en waaruit ougiet 11 verkry is, bevat verder ook olivien omdat dit uit Subsone C van die Bo-sone van die oostelike Bosveldkompleks afkomstig is (Atkins, 1969, p. 227, Fig. 1). Dit het uit hierdie studie geblyk dat dit moeilik is om olivien en ferro-ougiet met die oplossing van Clerici te skei, selfs

al word van sentrifugering gebruik gemaak. Die rede hiervoor is dat die olivien gewoonlik 'n digtheidsbereik besit. Ferro-ougiet en ferropigeoniet skei ook nie suiwer van mekaar in die magnetiese skeier nie. Dieselfde skeidingsprobleme is deur Atkins (1965, p. 110-111) ondervind. Die graad van suiwerheid waartoe hierdie ougiet 11 geskei is, word nie deur Atkins gemeld nie en dit word aanvaar dat dit dieselfde as vir die meer magnesiumryke piroksene, naamlik >90 persent (Atkins, 1965, p. 110) was. Deur gebruik te maak van vloeistofskeidings by die onttrekking van olivien sal ferropigeoniet en die veranderingsprodukte daarvan, naamlik amfibool, wat ook kalsiumarm is, saam met die ferro-ougiet met sentrifugering behoue bly. Geen skeiding met 'n magnetiese skeier sal die ferro-ougiet se suiwerheid verder verhoog nie en dus sal dit met hierdie minerale gekontamineer bly. Slegs 'n verdere skeiding van die konsentraat in Clerici se oplossing by 'n verstelde digtheid kan die suiwerheidsgraad van die ferro-ougiet effens verhoog, maar dit is baie moeilik omdat die digthede van ferropigeoniet, amfibool en ferro-ougiet mekaar oorvleuel (pigeoniet: 3,30-3,46; ougiet: 3,35-3,45; amfibool: 3,30-3,45; olivien: $3,21_{\text{Fo}}-4,34_{\text{Fa}}$). Verder het die groottes van die fraksies wat deur Atkins vir analise gebruik is tussen 40 en 160 mg gewissel (Atkins, 1965, p. 111) en slegs 'n enkele korreltjie onsuiverheid in so 'n fraksie sal die analise aansienlik kan beïnvloed.

Afgesien hiervan is dit uit Fig. 6 duidelik dat geen monster deur Atkins tussen ougiet 9 en ougiet 11, (C in Fig. 6) op die verloop van die oostelike Bosveld ontleed is nie ('n bereik van 15 mol persent Fs), behalwe die paar 10-10a wat op die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid van die westelike Bosveldkompleks val en ook deur 11, volgens die numering wat vir die westelike Bosveldkompleks gebruik is, aangedui word. Tussen ougiet 11 en ougiet 13 (Fig. 6) op die verloop van die oostelike Bosveld (laasgenoemde kom weer ooreen met die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks) is een punt (nr. 12 Atkins, 1969, Fig. 3) wat op analise gebaseer is. Atkins (1969, p. 239) dui geen saambestaande ferropigeoniet vir hierdie ferro-ougiet aan nie alhoewel sy monster 14, wat meer ysterryk is, ook nog ferropigeoniet (E in Fig. 6) bevat. Die moontlike rede hiervoor is dat die ferropigeoniet tussenliggend is en as reaksierande om ferrohortonoliet aanwesig is (Atkins, 1965, p. 102). Dit is dus baie moontlik dat ook hier 'n persentasie onsuiverheid (5-7 persent) van ferropigeoniet in die fraksie vir analise aanwesig was maar nie opgemerk of geen aandag daaraan geskenk is nie omdat dit in baie klein hoeveelhede aanwesig was. 'n Korreksie van 5-7 persent ferropigeoniet en amfibool verskuif 12 binne die grafiese en analitiese onsekerheid (Bylae E; p. xiii en Tabel VI) van die verloop van die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks. Alhoewel die verloop van kristallisasie van

die kalsiumryke piroksene in die oostelike en die westelike Bosveldkompleks deur hierdie aanpassings in die ferro-ou-gietgebied saamval, wil daar nie voorgegee word dat dit presies ooreen behoort te kom nie.

Na aanleiding van die verskuiwing in die samestelling waarby die faseverandering van ortorombiese na monokliniese kalsiumarm piroksene in die Noriet-gabbro-eenheid (4a-5a, Plaat XV) en die Boonste Gabbro-eenheid (verteenwoordig deur 7a, Plaat XV) van die westelike Bosveldkompleks voorkom, word gemeen dat die Boonste Gabbro-eenheid by 'n relatief laer temperatuur (25° - 30°C) as die Noriet-gabbro-eenheid ingedring is en dat die inversiekromme (Hess, 1941, p. 583, Fig. 4) van klinopirokseen in ortopirokseen dus by 'n hoër Fe/Mg-verhouding gekruis is. Volgens Hess (1941, p. 583) word 'n ruwe aanduiding van die temperatuur van kristallisasie ook deur die samestellings van kalsiumryke piroksene gegee. Volgens hom lê die samestellings van die klinopiroksene in kontakmetamorfe gesteentes na aan $\text{Wo}_{50}(\text{En:Fes})_{50}$ en is dit bekend dat kristallisasie van hierdie gesteentes by laer temperature as wat in basaltiese magmas heers, plaasgevind het. Hy wys verder daarop dat die kalsiumryke piroksene in ultramafiese stelle ook samestellings na aan $\text{Wo}_{50}(\text{En:Fes})_{50}$ besit en dat dit ook relatief laer temperatuur van kristallisasie verteenwoordig. Na aanleiding hiervan dui die kristallisasieverloop van die kalsiumryke piroksene, wanneer dit met die Skaergaardverloop (Fig. 6)

vergelyk word, op laer temperature van kristallisasie omdat dit hoër Wo-komponente as die ooreenstemmende klinopiroksene van Skaergaard besit. Daar word voorgestel dat die laer temperature in die Boonste Gabbro-eenheid die gevolg was van relatief hoër druk as wat in die Skaergaardindringing geheers het. Hoër druk het moontlik tot gevolg dat die pirokseensolidus beide sye van die solvus (Boyd & Schairer, 1964, p. 280, Fig. 1) by laer temperature gesny het en as gevolg van die vorm van die solvus, wat ook nog met hoër drukke effens breër word (Davis & Boyd, 1966, p. 3567), het kalsiumryke piroksene met 'n hoër Wo-inhoud gekristalliseer. Die gevolg hiervan is dat met latere daling in temperatuur en ontmenging van die kalsium-arm fases 'n kleiner persentasie eksolusiemateriaal aanwesig behoort te wees.

Die verandering in die rigting van die ougietverloop na meer kalsiumryke piroksene en die beëindiging van pigeonietkristallisasie is deur Muir (1954, p. 385) toegeskryf aan die migrasie (met ysterverryking) van die liquidus-minimum na die kalsiumsy van die solvus, totdat dit die solvus nie meer sny nie. As hierdie idee korrek is, sal 'n verlaging van die temperatuur waarby die solvus deur die solidus gesny word 'n vergroting van die twee-pirokseenveld na die ysterryke kant van die pirokseenvierhoek bevorder, afhangende van die vorm van die solvus by verskillende magmasamestellings. Na aanleiding van die vergrote twee-pirokseenveld

in die oostelike en die westelike Bosveldkompleks t.o.v. die twee-pirokseenveld in die Skaergaardindringing word hierdie idee van Muir (1954, p. 385) versterk en hang dit nou saam met die voorgestelde laer temperature en hoër druk.

Afgesien van die moontlike invloed van druk en temperatuur op die kristallisasieverloop van die kalsiumryke piroksene in die Boonste Gabbro-eenheid, bestaan daar aanduidings (Hoofstuk VII, p. 79) dat die aanvanklike samestelling van die magma 'n invloed het op die rigting van die verloop namate die piroksene in yster verryk word. Volgens Boyd en Schairer (1964, p. 304) is dit moontlik dat ione soos Al^{+3} en Fe^{+3} 'n invloed het op die vaste oplossing tussen piroksene. Volgens hulle het O'Hara en Schairer bewyse gevind wat daarop dui dat aluminium die onderlinge vaste oplossing tussen piroksene verlaag. Hierdie bevindinge van O'Hara en Schairer hang in 'n mate saam met die idee dat die vorming van 'n groter persentasie Ca-Tschemak-molekuul ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) in die klinopirokseensstruktuur deur 'n lae SiO_2 -inhoud in die magma bevorder word. Indien die magma relatief onderversadig aan SiO_2 is, sal met fraksionering al meer Al^{+3} in die struktuur van piroksene opgeneem word met die gevolg dat die Wo-inhoud weens die ooreenkomstige toename van die Ca-Tschemak-molekuul sal verhoog.

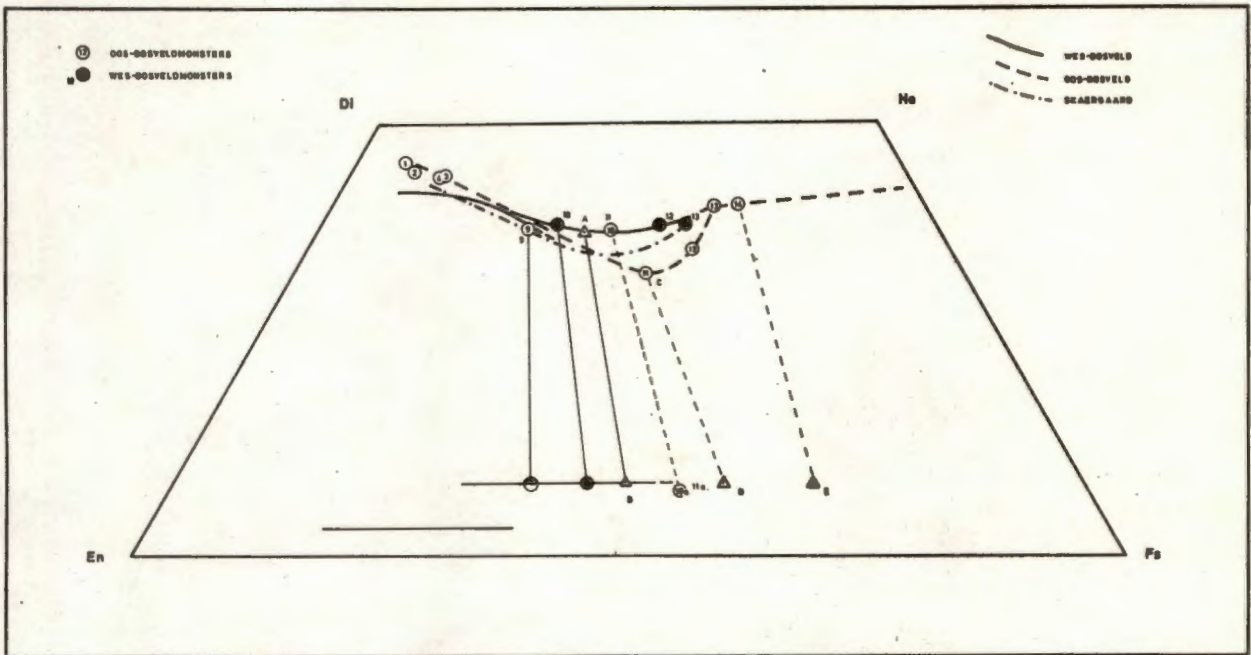


Fig. 6. Vergelyking tussen die kristallisasieverlope van die piroksene in die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid van die westelike Bosveldkompleks en die kristallisasieverlope van die kalsiumryke piroksene in die oostelike Bosveldkompleks (Atkins, 1969, p. 239, Fig. 3) en die Skaergaardindringing (Brown and Vincent, 1963, p. 181, Fig. 3). A-B dui die twee-piroprokseengrens in die westelike Bosveldkompleks aan en C-D, die twee-piroprokseengrens in die oostelike Bosveldkompleks. Nrs. 1-4, 9, 11, 12, 13 en 14 op die piroprokseenvverloop van die oostelike Bosveldkompleks volgens Atkins (1969, p. 239).

- A. Ougiet in 'n magnetiet-anortosiet. Boonste Gabbro-eenheid van die westelike Bosveldkompleks.
- B. Geïnverteerde ferropigeoniet in dieselfde rots as A.
- D. Geïnverteerde ferropigeoniet in 'n "ferrodioriet". "Boonste Sone" van die oostelike Bosveldkompleks (Atkins, 1969, p. 232).
- E. Geïnverteerde ferropigeoniet in 'n "ferrodioriet". "Boonste Sone" van die oostelike Bosveldkompleks (Atkins, 1969, p. 232).

Dit is dus moontlik dat daar tog 'n aansienlike
verskil tussen die kristallasieverlope van die oostelike
en westelike Bosveldkompleks (in die ferro-ougiet^{-gebied}) bestaan
en dat dit die gevolg van 'n lokale variasie in die magma=
samestelling van die Bosveldkompleks is.

IX. SAMEVATTING

Op grond van die verloop van kristallisasie van die piroksene en die algemene opeenvolging van gesteentes wat ondersoek is, word twee hoof fases in die kristallisasiegeskiedenis van die westelike Bosveldkompleks onderskei. Hierdie fases word verteenwoordig deur die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid wat elk afsonderlik gedifferensieer het en kort na mekaar onder min of meer dieselfde druk- en temperatuurtoestande ingeplaas is. Uit die kristallisasieverloop van die piroksene in die Boonste Gabbro-eenheid kom dit voor of die magma van die Boonste Gabbro-eenheid aanvanklik meer ysterryk was en dat dit by 'n effens laer temperatuur as die Noriet-gabbro-eenheid ingeplaas is sodat ysterryke hipersteen in plaas van bronsiet met die kristallisasie van die eerste vloeistof gevorm het.

In beide die Noriet-gabbro-eenheid en die Boonste Gabbro-eenheid is 'n mineralogiese oorgangsones onderskei waarin beide primêre hipersteen en geïnverteerde pigeoniet saam met ougiet aanwesig is. In hierdie gesteentes van die Noriet-gabbro-eenheid is die geïnverteerde pigeoniet hoofsaaklik as flenters in ougiet aanwesig terwyl dit in dié sone van die Boonste Gabbro-eenheid, afgesien van die ingeslote tipe, buite ougiet saam met hipersteen en ook in hipersteen voorkom. Waar die geïnverteerde pigeoniet

deur ougiet ingesluit is, besit die ougiet rondom die pigeonietflenters dieselfde oriëntasie as die {001}-ougiet=lamelle in die pigeonietflenters. Waar die kristallografiese oriëntasie met inversie van die pigeoniet behou is, lê die {001}-lamelle ook parallel aan {102} van die hipersteengashere maar dan het die ougiet en die hipersteen die kristallografiese b- en c-asse in gemeen.

Die voorkoms van geïnverteerde pigeoniet in ougiet word toegeskryf aan die kristallisasie van ougiet en die gelyktydige reaksie daarvan met vroeër gekristalliseerde pigeoniet. Hierdie reaksie word gekoppel aan 'n skielike daling in temperatuur op 'n stadium van differensiasie binne die onmiddellike bereik van 'n interval waarin hipersteen en pigeoniet kristalliseer. Dit word gesien as 'n manifestasie van nie-ewewigstoestande wat periodiek in die Bosveldkompleks gedurende die kristallisasie van elk van die onderskeie hoof fases geheers het en nie as sulks meer periodiek in die mineralogie van die gesteentes weerspieël is nie omdat dit voorgekom het op stadiums waarby kristallisasie van ortopirokseen nog nie binne kritieke bereik van die ortopirokseen-pigeoniet-interval was nie, of dit reeds bereik het.

Die klein, maar moontlik belangrike verskil tussen die kristallisasieverlope van die magnesiumryke klinopiroksene in die westelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing, word in terme van hoër druk en laer

temperatuur in die westelike Bosveldkompleks verklaar. Hierdie hoër druk het moontlik tot gevolg gehad dat die solidus en liquidus ten opsigte van die solvus verplaas was en dat die mengbaarheidsgaping vergroot was sodat klinopiroksene met 'n hoër Wo-inhoud, as wat in Skaergaard die geval was, kon kristalliseer. Die verloop van die klinopiroksene van die Noriet-gabbro-eenheid dui egter daarop dat die vorm van die solvus met afname in FeSiO_3 verander en dat die mengbaarheidsgaping vir die mees Fe-arme klinopiroksene met druktoename verklein. Hierdie verkleining van die mengbaarheidsgaping vir die mees magnesiumryke klinopiroksene by 'n hoër druk is in ooreenstemming met eksperimentele resultate van die sisteem En-Di.

Die verloop van kristallisasie van die magnesiumryke klinopiroksene in die oostelike Bosveldkompleks is in ooreenstemming met die idee van hoër druk vergeleke met Skaergaard maar dui verder daarop dat daar ook 'n drukverskil tussen die oostelike en westelike Bosveldkompleks gedurende die kristallisasie van hierdie piroksene bestaan het. 'n Aanduiding van hoër druk in die oostelike Bosveldkompleks vergeleke met die westelike Bosveldkompleks en Skaergaard word ook gegee deur die verspreiding van die Al-distribusieverskille (Al_Z minus Al_{WXY}) in die magnesiumryke klinopiroksene van hierdie twee indringings, alhoewel 'n afleiding t.o.v. die mate waartoe druktoestande hierdie verspreiding beïnvloed, nie gemaak kon word nie. Afgesien

van hierdie aanduidings is die verskille tussen die Fe/Mg-verhoudings van saambestaande pirokseenpare in die oostelike en westelike Bosveldkompleks asook in die Skaergaardindringing, soos aangedui deur die Kretz-distribusiekoëffisiënte (K_D), in ooreenstemming met die voorgestelde hoër druk en/of laer temperature in die oostelike Bosveldkompleks relatief tot die westelike Bosveld en Skaergaard.

Volgens Atkins (1969) dui die verskil tussen die K_D -waardes van die oostelike Bosveldkompleks ($K_D=0,67$) en Skaergaard ($K_D=0,73$) op 'n drukverskil in die orde van 5 750 atmosfeer. Omdat die K_D -waardes van die westelike Bosveld ($K_D=0,71$) en Skaergaard ($K_D=0,73$) egter met slegs 0,02 verskil, wil dit voorkom of dieselfde drukverskil tussen die oostelike en die westelike Bosveldkompleks as tussen die oostelike Bosveldkompleks en die Skaergaardindringing bestaan het. Hierdie drukverskil tussen die oostelike en westelike segmente van die Bosveldkompleks is egter op stratigrafiese gronde onwaarskynlik en word in die orde van 2 800 atmosfeer of laer gestel omdat daar gemeen word dat drie saambestaande pirokseenpare (Atkins, 1969, p. 232 nrs. 1-1a, 2-2a, 3-3a) van die oostelike Bosveldkompleks, elk met K_D -waardes in die orde van 0,65, die gemiddelde K_D -waarde vir die oostelike Bosveldkompleks (wat uit 7 pirokseenpare bereken is) verlaag het. Die lae K_D -waardes van twee van hierdie drie

pirokseenpare (1-1a en 2-2a) word toegeskryf aan die feit dat die klinopiroksene van hierdie saambestaande pare tussenliggend is en nie kotektiese kristallisasie verteenwoordig nie. Verder is hierdie piroksene uit gesteentes van die oostelike Bosveldkompleks verkry wat met die gesteentes aan die onderkant van die Noriet-gabbro-eenheid in die westelike Bosveldkompleks ooreenkom en wat nie in hierdie studie ondersoek^{is} nie.

Die kristallisasieverloop van die klinopiroksene in die Boonste Gabbro-eenheid is ook in ooreenstemming met die idee van hoër druk in die Bosveldkompleks vergeleke met Skaergaard aangesien die kalsiumryke piroksene in die westelike Bosveld deurlopend 'n hoër Wo-inhoud as soortgelyke piroksene van die Skaergaardindringing het (weens die vergroting van die mengbaarheidsgaping by hoër druk). Omdat die Si^{+4} -proporsie in die klinopiroksene van die Boonste Gabbro-eenheid in teenstelling met die klinopiroksene van die Noriet-gabbro-eenheid 'n progressiewe afname in die opeenvolgend gekristalliseerde klinopiroksene vertoon en die mening (Kushiro, 1960) bestaan dat Al^{+3} in die piroksene deur die SiO_2 -konsentrasie in die magma bepaal word, word voorgestel dat die magma van die Boonste Gabbro-eenheid 'n kritieke versadiging ten opsigte van SiO_2 gehad het. Daar is gevind dat 'n progressiewe toename in die Si^{+4} -proporsie van die klinopiroksene gepaard gaan met 'n afname in die proporsie Al^{+3} in die tetraëdriese posisie

van die klinopirokseenstruktuur, en omgekeerd. Die SiO_2 -inhoud van die magma is gevolglik in verband gebring met die vorming van toenemende of afnemende hoeveelhede Ca-Tschermak-molekuul omdat dit op sigself 'n invloed behoort te hê op die kristallasieverloop van die klinopiroksene weens die ooreenstemmende toename of afname in die Wo-inhoud. Dit is dus moontlik dat die verskil tussen die kristallasieverloop van die klinopiroksene in die Boonste Gabbro-eenheid en dié van Skaergaard nie net aan druk alleen toegeskryf kan word nie, maar dat solidus-solvus-verhoudings en dus ook die verloop van kristallasie van die betrokke magmasamestelling afhanklik was.

Die verskil tussen die verloop van kristallasie van klinopiroksene in die Boonste Gabbro-eenheid (westelike Bosveld) en dié van die ferro-ougiet in die oostelike Bosveldkompleks word toegeskryf aan die moontlikheid dat daar klein persentasies (15 persent) onsuiverheid van geïnverteerde pigeóniet in twee geanaliseerde ferro-ougietmonsters (nrs. 11 en 12, Atkins, 1969, p. 239) van die oostelike Bosveld aanwesig was. Daar word egter hierdeur nie voorgegee dat die verlope van die Boonste Gabbro-eenheid en dié van die oostelike Bosveldkompleks saam behoort te val nie. Na aanleiding van hierdie verskil bestaan daar dus nog, afgesien van die moontlike verklarings wat daarvoor gelewer is, 'n mate van onsekerheid oor die presiese

kristallisasieverloop van die Bosveldkompleks in die ferro-ougietgebied. Om meer lig hierop te werp word 'n noukeurige ondersoek van die Boonste Gabbro-eenheid in die westelike Bosveld voorgestel. Hierdie ondersoek sal egter alleenlik noukeurig gedoen kan word indien volledige boorgatgegevens van die opeenvolging in beide die oostelike en die westelike segment beskikbaar word. 'n Mikrosonde-ondersoek van die ferro-ougiet en geïnverteerde pigeoniet behoort ook meer lig te werp op die kalsiuminhoud van beide fases omdat die analise van hierdie saambestaande minerale, wat met meganiese metodes geskei word, nie noodwendig akkuraat is nie. In dié verband is 'n studie van die persentasie ontmengde fases in beide die ferro-ougiet en geïnverteerde ferro-pigeoniet ook belangrik omdat dit 'n aanduiding van die solidus-solvus-verhoudings by verskillende druktoestande in die hipotetiese sisteem van Muir (1954, p. 385) kan gee. Afleidings ten opsigte hiervan is egter net moontlik as soortgelyke piroksene van die Skaergaardindringing ondersoek en 'n drukverskil aanvaar word.

Dit is egter nogtans moontlik om die verskille tussen die verlope van Skaergaard en die westelike en oostelike Bosveldkompleks in terme van 'n enkele hipotese van hoër druk en daarmee gepaardgaande laer temperature te verklaar, wat veral in die magnesiumryke gebied van die klinopirokseenvoerloop, in ooreenstemming met eksperimentele gegevens van die sisteem MgSiO_3 - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (Boyd & Schairer, 1964, p. 280; Davis & Boyd, 1966, p. 3567) is.

X. BEDANKINGS

Hiermee wil ek graag my waardering betuig teenoor proff. P.B. Ackermann en A.A. Bisschoff van die Departement Geologie, Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O., vir leiding en advies gedurende die ondersoek.

Aan mej. M.M. du Plessis en mnr. E. Schulze my dank vir die hulp verleen tydens die maak van illustrasies. Erkentlikheid en dank word ook teenoor Union Carbide Ltd. uitgespreek vir die beskikbaarstelling van monsters.

XI. VERWYSINGS

- ATKINS, F.B. (1965) The pyroxenes of the Bushveld Igneous Complex, Central Transvaal. D. Phil. thesis (unpublished), Oxford University, 190 p.
- ATKINS, F.B. (1969) Pyroxenes of the Bushveld Intrusion, South Africa. J. Pet., 10, 222-249.
- BARTHOLOMÉ, P. (1961) Co-existing pyroxenes in igneous and metamorphic rocks. Geol. Mag., 98, 346-348.
- BERMAN, H. (1937) Constitution and classification of the natural silicates. Amer. Miner., 22, 342-408.
- BISSCHOFF, A.A. (1969) The petrology of the igneous and the metamorphic rocks in the Vredefort Dome and the adjoining parts of the Potchefstroom Syncline. D.Sc. thesis (unpublished), Pretoria University, 243 p.

BOWEN, N.L. & SCHAIRER, J.F.

- (1935) The system MgO-FeO-SiO_2 .
Amer. J. Sci., 29, 151-217.

BOYD, F. & BROWN, G.M. (1969)

- Electron-probe study of
pyroxene exsolution. Miner.
Soc. Amer. Spec. Pap., 2,
211-216.

BOYD, F.R. & SCHAIRER, J.F.

- (1964) The system $\text{MgSiO}_3 - \text{CaMgSi}_2\text{O}_6$.
J. Pet., 5, 275-309.

BROWN, G.M.

- (1957) Pyroxenes from the early and
middle stages of fractiona=
tion of the Skaergaard intru=
sion, East Greenland. Miner.
Mag., 31, 511-543.

BROWN, G.M.

- (1961) Co-existing pyroxenes in
igneous assemblages: a re=
evaluation of existing data
on tie-line orientations.
Geol. Mag., 98, 333-343.

BROWN, G.M.

- (1967) Mineralogy of basaltic rocks,
103-162 in Hess, H.H. and
Poldervaart, A., ed., Basalts:
The Poldervaart treatise on
rocks of basaltic composition,
1. Interscience Publishers,
John Wiley and Sons, New York,
482 p.

- BROWN, G.M. & GAY, P. (1960) An X-ray study of exsolution phenomena in the Skaergaard pyroxenes. Miner. Mag., 32, 379-388.
- BROWN, G.M. & VINCENT, E.A. (1963) Pyroxenes from the late stages of fractionation of the Skaergaard intrusion, East Greenland, J. Pet., 4, 175-197.
- COERTZE, F.J. (1971) The geology of the basic portion of the western Bushveld Igneous Complex. D.Sc. thesis (unpublished), Potchefstroom University for C.H.E., 114 p.
- DAVIS, B.T. & BOYD, F.R. (1966) The join $Mg_2Si_2O_6 - CaMgSi_2O_6$ at 30 kilobars pressure and its application to pyroxenes from kimberlites. J. geophys. Res., 71, 3567-3576.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1963) Rock-forming minerals, II. Chain silicates. Longmans, London, 379 p.

- HALL, A.L. (1932) The Bushveld Igneous Complex of the Central Transvaal. Mem. geol. Surv. S. Afr., No. 28. Govt. Printer, Pretoria, 560 p.
- HAMILTON, D.L. & ANDERSON, G.M. (1967) Effects of water, and oxygen pressure on the crystallization of basaltic magmas, 445-482 in Hess, H.H. and Poldervaart, A., ed., Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition, 1. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York, 482 p.
- HESS, H.H. (1941) Pyroxenes of common mafic magmas. Part 2. Amer. Miner., 26, 573-594.
- HESS, H.H. (1949) Chemical composition and optical properties of the common clinopyroxenes. Part I. Amer. Miner., 34, 621-666.
- HESS, H.H. (1960) Stillwater igneous complex, Montana. Mem. geol. Soc. Amer., 80, 225 p.

HESS, H.H. & PHILLIPS, A.H.

- (1938) Orthopyroxenes of the Bush=
veld type Amer. Miner., 23,
450-456.

JOHANNSEN, A.

- (1937) A descriptive petrography of
the igneous rocks, vol. III.
Chicago Press, Chicago, 360 p.

KONDA, T.

- (1970) Pyroxenes from the Beaver Bay
Gabbro Complex of Minnesota.
Contr. Miner. Pet., 29.
388-344.

KRETZ, R.

- (1961a) Applications of ^tThermodynamics
to co-existing minerals.
J. Geol., 69, 361-387.

KRETZ, R.

- (1961b) Co-existing pyroxenes. Geol.
Mag., 98, 344-345.

KRETZ, R.

- (1963) Distribution of magnesium and
iron between orthopyroxene and
calcic pyroxene in natural
mineral assemblages. J. Geol.,
71, 773-784.

KUNO, H. & NAGASHIMA, K.

- (1952) Chemical compositions of hy=
persthene and pigeonite in
equilibruim with magma. Amer.
Miner., 37, 1000-1006.

- KUSHIRO, I. (1960) Si - Al relations in clino= pyroxenes from igneous rocks. Amer. J. Sci., 258, 548-554.
- LE BAS, M.J. (1962) The role of aluminum in ig= neous clinopyroxenes with relation to their parentage. Amer. J. Sci., 260, 267-288.
- LOMBAARD, B.V. (1934) On the differentiation and relationships of the rocks of the Bushveld complex. Trans. geol. Soc. S. Afr., 37, 5-52.
- MAXWELL, J.A. (1968) Rock and mineral analysis. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, Inc., New York, 584 p.
- MEYER, G. (1969) Some petrological aspects of mafic rocks from four borehole sections between the Merensky Reef and the Main-Zone Gabbro in the Western and Eastern Bushveld Complex. M.Sc. thesis (unpublished), Potchefstroom University for C.H.E., 91 p.
- MORSE, S.A. (1969) The Kiglapait layered intru= sion, Labrador, Mem. geol. Soc. Amer., 112, 146 p.

- MOSSMAN, D.J. (1971) Composition and orientation of clinopyroxene lamellae in Bushveldtype orthopyroxenes from the Greenhills ultramafic complex, Bluff Peninsula, Southland, New Zealand. Miner. Mag., 38, 160-164.
- MUIR, I.D. (1951) The clinopyroxenes of Skaergaard intrusion, eastern Greenland. Miner. Mag., 29, 690-714.
- MUIR, I.D. (1954) Crystallization of pyroxenes in an iron-rich diabase from Minnesota. Miner. Mag., 30, 376-387.
- NAKAMURA, Y. & KUSHIRO, I. (1970) Equilibrium relations of hypersthene, pigeonite and augite in crystallizing magmas: Microprobe study of a pigeonite andesite from Weis selberg, Germany. Amer. Miner., 55, 1999-2015.
- NORRISH, K. & HUTTON, J.T. (1969) An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. Geochim. et cosmo ch. Acta, 33, 431-453.

POLDERVAART, A. & HESS, H.H.

- (1951) Pyroxenes in the crystalli-
zation of basaltic magma.
J. Geol., 59, 472-489.

REINHARD, M.

- (1931) Universal Drehtischmethoden.
Verlag von B.Wepf & Cie,
Basel, 119 p.

ROSS, C.S., FOSTER, M.D. &

MYERS, A.T.

- (1954) Origin of dunites and of
olivine-rich inclusions in
basaltic rocks. Amer. Miner.,
39, 693-737.

SCHWELLNUS, J.S.I.

- (1956) The basal portion of the
Bushveld Igneous complex and
the adjoining metamorphosed
sediments in the Northeastern
Transvaal. D.Sc. thesis (un=
published), Pretoria Univer=
sity, 207 p.

SHAND, S.J.

- (1950) Eruptive rocks. Thomas Murby
& Co., London, 488 p.

SHAND, S.J.

- (1952) Rocks for chemists. Thomas
Murby & Co., London, 146 p.

SLAWSON, C.B. & PECK, A.B.

- (1936) The determination of the re=
fractive indices of minerals
by the immersion method.
Amer. Miner., 21, 523-528.

TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L.

- (1958) Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. Mem. geol. Soc. Amer., 74, 153 p.

VAN DEN BERG, J.J.

- (1946) Petrofabric analysis of the Bushveld gabbro from Bonn Accord. Trans. geol. Soc. S. Afr., 49, 156-203.

VAN ZYL, J.P.

- (1960) Die petrologie van die Merenskyrif en geassosieerde gesteentes in 'n aantal boorgat- en mynprofiele op Swartklip 988, Rustenburg. M.Sc. thesis (ongepubliseer), Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O., 120 p.

VOLBORTH, A.

- (1969) Elemental analysis in geochemistry. Part. A. Major elements. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 373 p.

VON GRUENEWALDT, G.

- (1970) On the phase-change orthopyroxene-pigeonite and the resulting textures in the Main and Upper Zones of the Bushveld Complex in the Eastern

- Transvaal, 67-73 in Visser, D.J.L. and Von Gruenewaldt, G., ed., Symposium on the Bushveld Igneous Complex and other Layered Intrusions. Spec. Publ. 1, Geological Society of South Africa, Johannesburg, 763 p.
- VON GRUENEWALDT, G. (1971) A petrographical and mineralogical investigation of the rocks of the Bushveld Igneous Complex in the Taute= hoogte-Roossenekal area of the Eastern Transvaal. D.Sc. thesis (unpublished), Pretoria University, 228 p.
- WAGER, L.R., BROWN, G.M. & WADSWORTH, W.J. (1960) Types of igneous cumulates. J. Pet., 1. 73-85.
- WILLEMSE, J. (1964) A brief outline of the geology of the Bushveld Igneous Complex, 91-128 in Haughton, S.H., ed., The geology of some ore-deposits of Southern Africa, II. Spec. Publ., Geological Society of South Africa, Johannesburg, 739 p.

BYLAE A

GEWYSIGDE INDELING VAN DIE FASES VAN DIE
WESTELIKE BOSVELDKOMPLEKS

Gewysigde indeling			Kalsiumarm piroksene	Kalsiumryke piroksene	Plagio- klaas	Olivien	Magne- tiet	Coertze (1971) se indeling (totale maksimum dikte in meter)	Willemsse (1964) se indeling
Boonste Gabbro-eenheid	Subeenheid C	Dioriet (hoogs verander) Olivien-sodagabbro Magnetiet-troktolietmerker		Ca:Mg:Fe 38:25:37 [▲] 38:27:34 [▲]	An [▲] 48! 50! 55!			Ferrogabbro-eenheid 1 700 m Basis van die Ferrogabbro	Bo-sone Hoofmagnetietband
	Subeenheid B	Magnetiet-hiperiet Magnetiet-anortosit Magnetiet-hipersteen-gabbro Magnetiet-anortosit Hoofmagnetietband	GeInverteerde Pigeoniet	8:41:51 [▲]	38:33:29 [▲]				
		Hipersteen-gabbro	GeInverteerde Pigeoniet + Primêre Ortopyroksene	9:49:42 [▲] 8:60:32! 3:61:36!	38:38:24 [▲]				
	Subeenheid A	Hipersteen-melagabbro Porfiritiese melanoriet Piroksenietmerker?	Primêre Ortopiroksene	3:60:37 [▲]	40:42:18 [▲]				
Noriet- Gabbro-eenheid	Subeenheid B	Fynkorrelrige noriet Mesotipe hipersteen-gabbro en hiperiet Mesotipe hiperiet en gabbro met ingelaagde anortosit	GeInverteerde Pigeoniet GeInverteerde Pigeoniet + Primêre Ortopyroksene	8:55:36 [▲] 8:57:35 [▲] 8:59:33 [▲] 8:62:30 [▲] 3:66:31	38:41:21 [▲] 39:42:19 [▲] 40:43:17 [▲] 40:44:16 [▲] 40:44:16			Gabbro-eenheid 2 700 - 4 400 m Basis van die Noritiese fase van die Gabbro-eenheid	Hoofsone
	Subeenheid A	Mesotipe gabbro Mesotipe hiperiet Leukonoriet Baster-rif	Primêre Ortopiroksene	3:71:26 [▲] 3:79:18 [▲]	41:46:13 [▲] 42:49:7 [▲]	75! 78!			
Pirokseniet- Norieteenheid	Subeenheid B	Anortosit Leukonoriet Noriet Melanoriet (Merenskyrif)		3:71:26! 3:80:17!	80!			Porfiritiese Piroksenieteenheid Norieteenheid 600 m Anortositteenheid 300 m Piroksenieteenheid 600 m Basis van die Pirokseniet	Merenskyrif Kritiese sone Hoofchromitietband
	Subeenheid A	Anortosit Leukonoriet Bronstiet Chromitiet Bronstiet Chromitiet Bronstiet	(VAN ZYL 1960)	3:72:25 [°] 3:82:15 [°]	76!				
Basale Noriet- eenheid		Anortosit Leukonoriet Noriet	(VAN ZYL 1960)	3:72:25 [°] 3:80:17 [°]				Basale No- riet- eenheid Randnoriet- subeenheid 450 m Kwartsnoriet- subeenheid 700 m	Basale sone Kilsone
Kileenheid		Kwartsnoriet (Coertze, 1971)							

- ▲ Samestellings gebaseer op chemiese analise
• Van Zyl (1960, Fig. 6)
! Optiese bepalings

BYLAE B

CHEMIESE ANALISES VAN DIE PIROKSENE

Klinopiroksene

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	52,97	52,92	52,47	52,48	52,17	52,12	51,62	51,57	51,39	51,23	50,35	49,67	48,87
Al ₂ O ₃	2,81	2,80	2,87	1,95	1,87	2,00	2,01	2,42	2,45	2,53	2,21	1,69	1,78
Fe ₂ O ₃	1,07	0,85	1,14	1,35	1,10	1,13	1,26	1,41	1,26	1,20	1,69	1,71	1,41
FeO	4,20	5,57	6,72	8,44	8,91	9,24	10,23	10,21	11,63	13,10	16,18	18,68	20,03
MnO	0,15	0,15	0,18	0,24	0,23	0,26	0,27	0,27	0,32	0,28	0,37	0,43	0,39
MgO	17,25	16,40	15,89	15,41	15,66	15,01	14,74	14,52	14,21	12,86	11,15	9,25	8,37
CaO	20,36	19,97	20,16	19,74	19,76	18,89	19,41	18,76	18,12	18,14	17,93	17,94	17,73
Na ₂ O	0,27	0,35	0,26	0,13	0,18	0,16	0,20	0,36	0,27	0,28	0,23	0,16	0,22
K ₂ O	<0,01	0,01	0,00	<0,01	0,00	0,02	<0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	<0,01	0,00
H ₂ ⁺ O	n.b.	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
H ₂ ⁻ O	-	0,07	-	-	-	-	-	-	0,07	-	0,02	-	-
TiO ₂	0,39	0,50	0,46	0,45	0,36	0,40	0,62	0,43	0,41	0,46	0,36	0,42	0,84
Cr ₂ O ₃	0,37	0,88	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NiO	n.b.	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Totaal	99,66	100,67	100,15	100,19	100,24	100,23	100,36	99,95	100,18	100,08	100,52	99,95	99,64

Atoomproporsies

ΣFe	8,6	10,1	12,9	15,8	16,0	16,9	18,5	19,0	21,3	23,9	29,6	34,3	36,8
Mg	49,4	47,7	45,6	43,8	44,0	42,5	41,8	42,0	41,0	37,8	32,7	27,4	25,0
Ca	42,0	41,7	41,6	40,4	40,0	40,5	39,6	39,0	37,7	38,3	37,7	38,3	38,1

ΣFe = Fe⁺² + Fe⁺³ + Mn

n.b. = nie bepaal nie.

Optiese gegewens (n_{α,β,γ}, ± 0,001, 2V ± 1°)

n _α	1,681	1,682	1,683	1,688	1,688	1,689	1,692	1,689	1,691	1,700	-	1,703	1,708
n _β	1,686	1,687	1,688	1,694	1,694	1,695	1,697	1,695	1,695	1,701	1,704	1,707	1,711
n _γ	1,709	1,709	1,712	1,713	1,714	1,715	1,715	1,715	1,719	1,720	-	1,729	1,734
2V _Z	49°	49°	50°	49°	48°-50°	50°	45°	50°	47½°	46°-48°	45°	47°-50°	50°

CHEMIESE ANALISES VAN DIE PIROKSENE

Ortopiroksene

Nr.	1a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a
SiO ₂	54,52	53,32	52,61	52,27	52,01	51,97	51,53	51,40	50,44	48,90
Al ₂ O ₃	1,76	1,69	1,61	1,69	1,52	1,51	1,92	1,80	1,83	1,50
Fe ₂ O ₃	1,85	1,48	1,41	1,60	1,21	1,09	1,57	1,40	1,03	2,10
FeO	10,25	15,23	17,80	17,50	19,10	21,62	19,92	20,70	24,20	28,70
MnO	0,25	0,36	0,38	0,36	0,40	0,44	0,41	0,50	0,44	0,60
MgO	29,89	25,85	23,60	22,11	21,23	21,32	20,12	19,40	17,14	13,80
CaO	1,60	1,66	1,68	4,10	4,08	1,56	4,23	4,10	4,12	3,60
Na ₂ O	0,02	0,07	0,08	0,13	0,17	0,05	0,18	0,10	0,21	0,20
K ₂ O	<0,01	0,03	0,02	0,00	<0,01	<0,01	<0,01	n.b.	0,00	0,04
H ₂ ⁺ O	n.b.	n.b.	0,23	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,40	n.b.	n.b.
H ₂ ⁻ O	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	0,01
TiO ₂	0,23	0,43	0,31	0,25	0,26	0,37	0,26	0,30	0,42	0,50
Cr ₂ O ₃	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NiO	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Totaal	100,37	100,12	99,73	100,01	99,99	99,94	100,14	100,14	99,83	99,97

Atoomproporsies

ΣFe	18,0	26,2	30,6	30,2	32,6	36,6	34,5	36,2	41,7	51,7
Mg	78,9	70,5	66,0	61,6	59,2	60,3	56,9	55,4	49,7	40,7
Ca	3,1	3,2	3,4	8,2	8,2	3,2	8,6	8,4	8,6	7,6

$$\Sigma\text{Fe} = \text{Fe}^{+3} + \text{Fe}^{+2} + \text{Mn}$$

n.b. = nie bepaal nie.

Optiese gegewens ($n_{\alpha, \beta, \gamma}, \pm 0,001, 2V \pm 1^\circ$)

n_α	1,679	1,686	1,693	1,694	1,696	1,697	1,698	-	1,706	-
n_β	1,687	1,697	1,704	1,705	1,707	1,708	1,709	-	1,717	1,731
n_γ	1,692	1,695	1,708	1,709	1,710	1,710	1,711	-	1,721	-
$2V_X$	80°	68°	62°	58°	57°	55°	50°	-	46°-49°	47°

BYLAE C

LOKALITEITE VAN DIE GEANALISEERDE PIROKSENE

(Alle monsters is uit die westelike Bosveld= kompleks, behalwe nr. 11).

1. Tussenliggende endiopsied in 'n leukonoriet net bokant die Merenskyrif. Stroombedding van die Hexrivier buite Rustenburg. Plaas Waterval 307^J₁Q. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid A. JM/222.
- 1a. Primêre bronsiet in dieselfde rots as nr. 1.
2. Primêre ougiet in 'n noriet. "Bokant die Merenskyrif, Rustenburg Platina-myn" (Hess, 1949, p. 647). (Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid A).
3. Primêre ougiet in 'n leukonoriet. Uitgraving langs die Rustenburg-Thabazimbi-pad net buite Rustenburg. Rustenburg 272 JQ. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid A. JM/220.
- 3a. Primêre bronsiet in dieselfde monster as nr. 3.
4. Primêre ougiet in 'n mesotipe hiperiet. Boorgatkern, diepte 19 m. Wonderkop 400 JQ, distrik Marikana. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid A. JM/2.
- 4a. Primêre hipersteen in dieselfde monster as nr. 2.
5. Primêre ougiet in 'n mesotipe hiperiet. Noordoostelike grens van Reinkoyalskraal 278 JQ, Rustenburg= distrik. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/206.

BYLAE C (vervolg)

- 5a. Primêre geïnverteerde pigeoniet in dieselfde monster as nr. 5.
6. Primêre ougiet in 'n mesotipe hipersteengabbro. Langs die Rustenburg-Thabazimbi-pad. Plaas Elandsheuvel 283 JQ, Rustenburgdistrik. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/210.
- 6a. Primêre geïnverteerde pigeoniet in dieselfde monster as nr. 6.
7. Primêre ougiet in 'n melanoriet onder die Hoofmagnetietband. Mamagoleskraal 377JQ, Britsdistrik. Boonste Gabbro-eenheid, subeenheid A. JM/226.
- 7a. Primêre hipersteen in dieselfde monster as nr. 7.
8. Primêre ougiet in 'n hipersteen-gabbro. Langs die Rustenburg-Thabazimbi-teerpad in 'n stroombedding 800 m noord van die laaste steengroef. Tweede Poort 283 JQ, Rustenburgdistrik. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/199.
- 8a. Primêre geïnverteerde pigeoniet in dieselfde monster as nr. 8.
9. Primêre ougiet in die gabbro van die "Hoofsone". Hoogte onbekend. Pretoria-distrik (Hess, 1949, p. 650). (Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B).
- 9a. Primêre geïnverteerde pigeoniet in dieselfde monster as nr. 9. "Analise verkry deur 2,5% van die

BYLAE C (vervolg)

- geanaliseerde ougiet nr. 9 van die analise van die gekontamineerde monster af te trek en na 100% te herbereken" (Hess, 1941, p. 579).
10. Primêre ougiet in hipersteen-melagabbro bokant die Hoofmagnetietband. Boorgatkernmonster, UI-6, {Y -290 773,94; X +9 279 352,60}, diepte 20 m, Britsdistrik. Boonste Gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/335.
 - 10a. Primêre geïnverteerde pigeoniet in dieselfde monster as nr. 10.
 11. Primêre ougiet in die "ferrogabbro van die Bo-sone 6 070 m. Naby Magneethoogte, Oos-Bosveldkompleks" (Atkins, 1969, p. 232).
 - 11a. Primêre geïnverteerde ferropigeoniet in dieselfde monster as nr. 11.
 12. Primêre ferro-ougiet in 'n olivien-sodagabbro. Boorgatkern, diepte onbekend. Noordelike grens van die plaas Zwartklip 405 KQ, Northam. Boonste Gabbro-eenheid, subeenheid C. AAB 265 A.
 13. Primêre ferro-ougiet in 'n olivien-sodagabbro. Stroombedding van die Bierspruit. Suidelike grens van die plaas Moddergat 389 KQ, Northam. Boonste Gabbro-eenheid, subeenheid C. P.A. 720.

FORMULES VAN DIE GEANALISEERDE PIROKSENE

(tot die basis van 6 suurstofatome)

Klinopiroksene

Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Z {	Si	1,928	1,916	1,928	1,941	1,935	1,937	1,925	1,924	1,927	1,933	1,925	1,932	1,923
	Al	0,082	0,085	0,082	0,069	0,059	0,061	0,072	0,072	0,073	0,076	0,077	0,070	0,078
WXY {	Al	0,039	0,033	0,043	0,016	0,022	0,026	0,016	0,034	0,035	0,036	0,022	0,008	0,004
	Fe ⁺³	0,029	0,024	0,032	0,038	0,031	0,032	0,035	0,039	0,036	0,034	0,048	0,050	0,042
	Fe ⁺²	0,129	0,170	0,206	0,262	0,275	0,287	0,318	0,319	0,365	0,413	0,517	0,608	0,659
	Mn	0,005	0,004	0,006	0,008	0,007	0,008	0,009	0,009	0,011	0,009	0,011	0,014	0,013
	Mg	0,940	0,885	0,869	0,851	0,861	0,831	0,817	0,809	0,793	0,730	0,636	0,539	0,491
	Ca	0,798	0,774	0,793	0,784	0,781	0,792	0,773	0,751	0,728	0,733	0,735	0,749	0,747
	Na	0,019	0,024	0,019	0,009	0,012	0,012	0,014	0,026	0,020	0,020	0,016	0,012	0,017
	K	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	0,002	-	-
	Ti	0,011	0,013	0,013	0,012	0,010	0,011	0,017	0,012	0,011	0,013	0,011	0,012	0,025
	Cr	0,011	0,026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ni	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z		2,010	2,001	2,010	2,010	1,994	1,998	1,997	1,996	2,000	2,009	2,002	2,002	2,001
WXY		1,981	1,995	1,981	1,980	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	1,982	1,988	1,990	1,996
% Al in (Z)		4,1	4,2	4,1	3,4	3,0	3,1	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,5	3,9

FORMULES VAN DIE GEANALISEERDE PIROKSENE

(tot die basis van 6 suurstofatome)

Ortopiroksene

Nr.	1a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	
Z {	Si	1,926	1,934	1,944	1,935	1,940	1,945	1,929	1,938	1,933	1,923
	Al	0,064	0,065	0,060	0,061	0,052	0,057	0,065	0,065	0,061	0,069
WXY {	Al	0,003	0,008	0,010	0,013	0,015	0,010	0,019	0,015	0,022	-
	Fe ⁺³	0,049	0,040	0,039	0,045	0,034	0,031	0,044	0,041	0,030	0,061
	Fe ⁺²	0,303	0,462	0,550	0,541	0,595	0,674	0,623	0,653	0,775	0,945
	Mn	0,007	0,011	0,012	0,011	0,013	0,014	0,013	0,016	0,014	0,021
	Mg	1,574	1,397	1,299	1,219	1,179	1,188	1,122	1,088	0,978	0,810
	Ca	0,061	0,065	0,066	0,163	0,163	0,065	0,169	0,165	0,169	0,151
	Na	0,001	0,005	0,006	0,009	0,012	0,004	0,013	0,009	0,016	0,014
	K	-	0,001	0,001	-	0,001	-	-	-	-	0,002
	Ti	0,006	0,012	0,009	0,007	0,007	0,010	0,007	0,009	0,012	0,012
	Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z	1,990	1,999	2,004	1,996	1,992	2,002	1,994	2,003	1,994	1,992	
WXY	2,004	2,000	1,992	2,007	2,019	1,996	2,012	1,996	2,015	2,016	
% Al in (Z)	3,2	3,2	3,0	3,1	2,6	2,9	3,2	3,2	3,1	3,5	

BYLAE E

EKSPERIMENTELE X-STRAALKONDISIES, KEUSE VAN STANDAARDE,
AKKURAAATHEID EN KALIBRERINGSPROSEDURE

Eksperimentele kondisies

Die instrumentele kondisies waarby analyses met die Philips PW 1410 semi-outomatiese spektrometer uitgevoer is, word in Tabel IV aangedui. Die elementanalise is uitgevoer op die intensiteite van die K_{α} -lyne. As detektor is die proporsionele vloeiteller met 'n 6 μ m polipro=pileenvenster vir die bepaling van alle elemente van belang, behalwe natrium, gebruik. Die bepaling van natrium is uitgevoer met 'n 1 μ m-venster voor die vloeiteller. Outomatiese pulshoogte-diskriminasie is van toepassing op alle elemente, behalwe Al, Mg en Na. Vir hierdie elemente is die drumpel- en vensterspannings afsonderlik bepaal.

Kalibrering en keuse van standaarde

Die metode van analise, te wete prosedure, kalibrering en die bepaling van agtergrondkonsentrasie, is uitgevoer volgens 'n metode wat ooreenkom met 'n metode wat deur Harvey en andere (1973) ⁽¹⁾ in volle besonderhede beskrywe is. Die metode van Harvey en andere (1973), en die metode wat in hierdie studie gebruik is, is gebaseer op die

TABEL IV
EKSPERIMENTELE X-STRAALKONDISIES

Element	Fe	Mn	Ti	Ca	K	P	Si	Al	Mg	Na
Monster	Smeltselttablet									Saamgepersde poeiertablet
Anode	Cr	W	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr
kV	50	50	50	50	40	50	50	50	50	50
mA	20	20	20	20	20	45	20	40	40	40
Kristal	LIF (200)	LIF (200)	LIF (200)	LIF (200)	PET (002)	GE (111)	PET (002)	PET (002)	ADP (101)	Gips (020)
Intree- kollimator	Fyn	Grof	Grof	Fyn	Grof	Grof	Grof	Grof	Grof	Grof
Fyn = 150 μ m Grof = 550 μ m										
Analitiese hoek $\theta_{2\theta}$	57,52	62,97	86,14	113,13	50,69	141,03	109,21	145,12	136,72	103,27
Agtergrond % (benader)	0,30	0,06	0,15	0,15	0,08	0,05	2,60	1,03	0,80	0,60
t.p.s./% (benader)	150	8 000	10 000	23 000	4 200	16 000	51	88	5	24
VAKUUM <0,5 mm Hg	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

smeltmengselmetode van Norrish en Hutton (1969) ⁽²⁾ vir die korreksie van interelement- en absorpsie-effekte.

Anders as Harvey en andere (1973) is die agtergrondbepalings op afsonderlike smeltseltablette, waarin die element van belang nie voorkom nie, uitgevoer. Die agtergrondbepalings is gemaak by dieselfde analitiese hoeke as die elemente van belang.

Alhoewel geen kalibrasiekrommes vir die verskillende oksiede opgestel is nie, is van kalibrasievergelykings gebruik gemaak. Die kalibrasievergelykings vir die betrokke elemente is bereken nadat 'n regressie-analise op die oksiedstandaarde met behulp van 'n Fortran-IV-rekenaarprogram uitgevoer is. Die standaard wat vir kalibrering gebruik is, word in Tabel V getoon.

-
- (1) Harvey, P.R., Taylor, D.M., Hendry, R.D. & Bancroff, F. (1973). An accurate fusion method for the analysis of rocks and chemically related materials by X-ray Fluorescence Spectrometry. X-ray Spectrometry, 2, 33-44.
- (2) Norrish, K. & Hutton, J.T. (1969). An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. Geochim. et cosmoch. Acta, 33, 431-453.

TABEL VKalibrerings-standaarde

"U.S. Geological Survey"	"Centre de Recherches Pétrographiques et Geochimiques"
Graniet G-2	Dioriet DR-N
Granodioriet GSP-1	Serpentyn UB-N
Andesiet AGV-1	Graniet GA
Peridotiet PCC-1	Graniet GH
Duniet DTS-1	Basalt BR
Basalt BRC-1	Biotiet Miksa-Fe

Die oksiedpersentasies van al die standaarde is negatief vir absorpsie- en interelement-effekte gekorrigeer om ongekorrigeerde nominale oksiedpersentasies te verkry. Op hierdie nominale oksiedpersentasies en die ongekorrigeerde tellings daarvan, is die regressie-analise vir 'n betrokke oksied uitgevoer en die kalibrasievergelyking bereken.

Die berekende kalibrasievergelyking^g is deur die rekenaar gebruik om die nominale oksiedpersentasies vir 'n betrokke monster uit ongekorrigeerde tellings te bepaal, waarna korreksiefaktore vir absorpsie- en interelement-effekte uit die nominale oksiedpersentasies bereken is. Hierdie korreksies is op die nominale oksiedpersentasies van die monster aangebring om die gekorrigeerde persentasie van elke oksied in die monster te lewer.

In Tabel VI word 'n aanduiding gegee van die X-straal=analitiese fout in terme van die standaardafwyking, ϵ_N . Hierdie statistiese analise het op monster 10 (Bylae B) betrekking en lewer 'n analitiese onsekerheidsbereik van $W_{0 \pm 0,5} : E_{n \pm 1,0} : F_{s \pm 0,5}$. Alle tellings wat vir kalibrering en konsentrasiebepalings gebruik is, is vir dooie-tyd gekorrigeer.

TABEL VI

Relatiewe fraksionele telfout en standaardafwyking $2\epsilon_N$ (Monster 10, Bylae B)

Oksied	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
Samestelling: (a)	15,75	0,28	0,46	18,14	0,01	51,23	2,53	12,86	0,28
Piektellings: N _p	45 597	49 114	115 392	837 595	10 584	55 835	15 888	3 755	1 260
Agtergrondtellings: N _b	230	9 600	27 380	6 900	6 720	2 640	5 438	231	840
ϵ_N (telfout %) (b)	0,48	0,61	0,42	0,11	3,40	1,45	1,40	1,80	10,90
$2\epsilon_N$ (as % van die oksied) (c)	0,140	0,003	0,004	0,040	-	0,460	0,070	0,460	0,060

- (a) Gemiddelde samestelling soos bepaal uit twee afsonderlike analyses. Analise is gekorrigeer vir absorpsie- en interelement-effekte.
- (b) Relatiewe fraksionele telfout in terme van die versamelde tellings. ($\epsilon_N\% = 100 \sqrt{\frac{N_p + N_b}{N_p - N_b}}$)
- (c) Relatiewe standaardafwyking $2\epsilon_N$ (in terme van die 95,4% betroubaarheidsinterval), uitgedruk as 'n persentasie van die oksied.

BYLAE F

Die effek van korrelgrootte op die chemiese analise van twee geïnverteerde pigeonietmonsters (1)

Geïnverteerde Pigeoniet JM/210												
Maas	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Totaal	Atoomproporsies Wo : En : Fs
-35 +40	52,86	1,87	1,22	18,32	20,76	4,45	0,21	0,01	0,28	0,43	100,40	
-45 +50	52,45	1,56	1,16	18,63	20,43	4,30	0,24	0,00	0,26	0,40	99,22	
-120 +140	52,01	1,52	1,21	19,10	21,23	4,08	0,17	0,01	0,26	0,40	99,99	8,2 : 59,2:32,6
-200 +230	52,62	1,72	1,10	20,48	20,87	2,37	0,20	0,00	0,25	0,45	100,06	4,8 : 61,0:34,5

- (1) Die pigeonietmonsters wat vir hierdie analises gebruik is, is verkry uit geïnverteerde pigeonietkonsentrate (-120-maas) met 'n suiwerheid van meer as 90 persent. Deur geleidelike vergruising (-140; -170; -200) en afsonderlike skeidings van elke opeenvolgende fraksie is gepoog om die {001}-ougietslamelle uit die geïnverteerde pigeoniet so goed as moontlik te verwyder sodat slegs die hipersteengasheer vir analise behou kon word.

BYLAE F (vervolg)

Geïnvetteerde Pigeoniet JM/199												
Maas	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Totaal	Atoomproporsies Wo : En : Fs
-35 +40	51,85	2,28	1,57	19,28	19,24	4,60	0,17	0,00	0,31	0,44	99,74	
-45 +50	52,03	1,87	1,47	18,87	19,08	5,13	0,18	0,00	0,27	0,45	99,35	
-120 +140	51,53	1,92	1,57	19,92	20,12	4,23	0,18	0,00	0,26	0,41	100,14	8,6 : 56,9:34,5
-200 +230	51,32	1,84	1,30	20,85	20,96	2,90	0,21	0,00	0,30	0,44	100,12	6,0 : 59,0:35,0

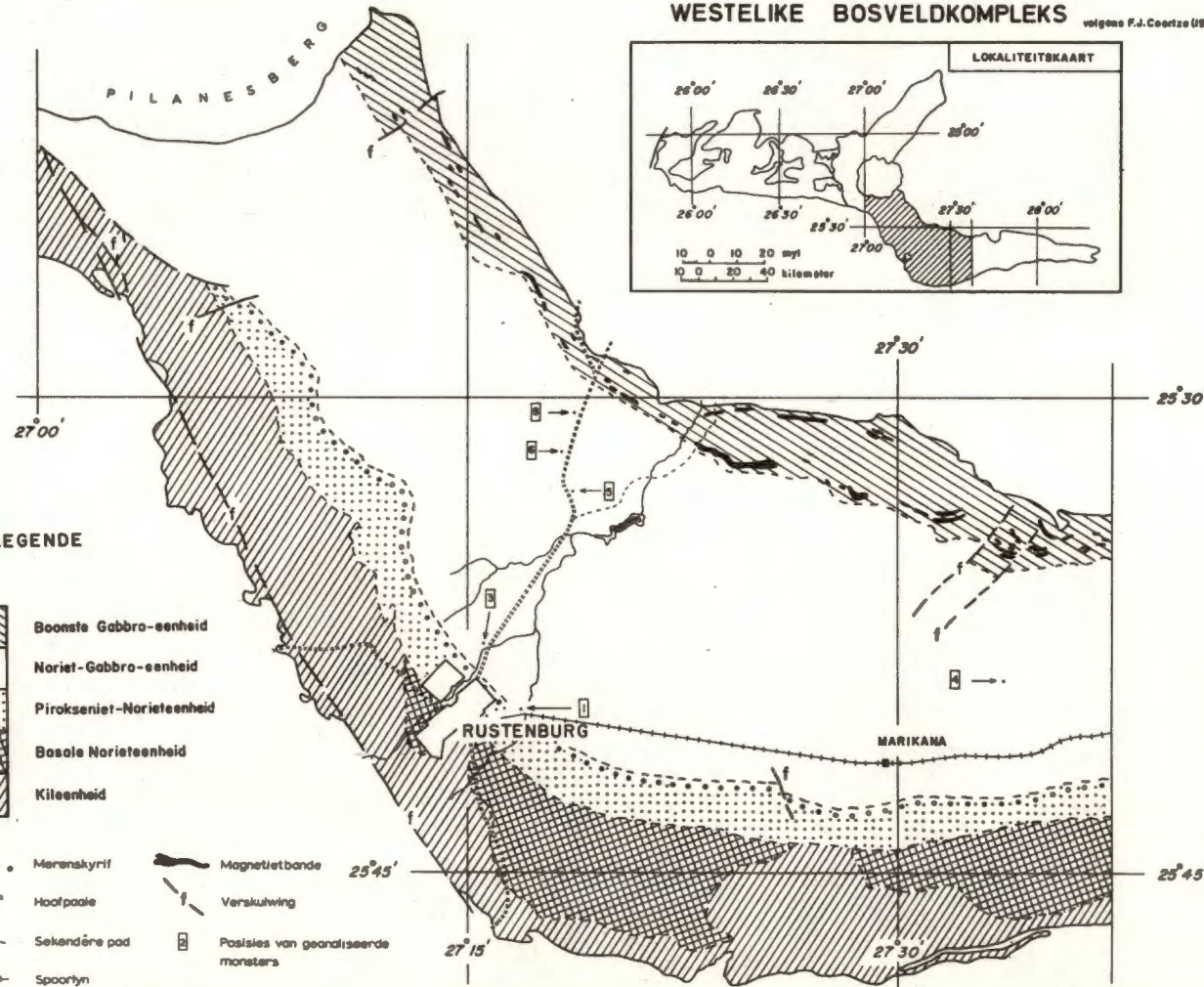
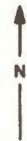
VEREENVOUDIGDE GEOLOGIESE KAART

VAN 'N GEDEELTE VAN DIE

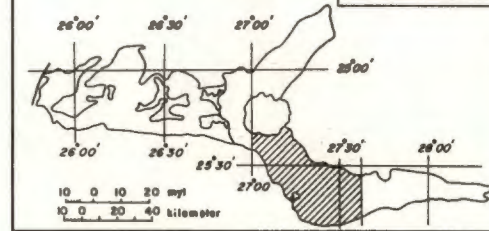
WESTELIKE BOSVELDKOMPLEKS

volgens F.J. Coetzee (1971).

1 0 1 2 3 4 5 10 20 kilometer



LOKALITEITSKAART



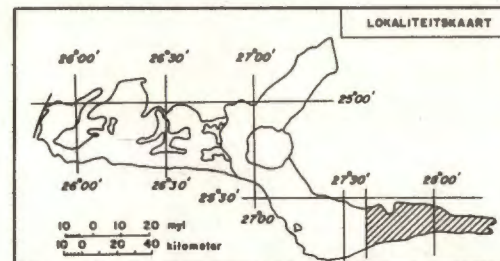
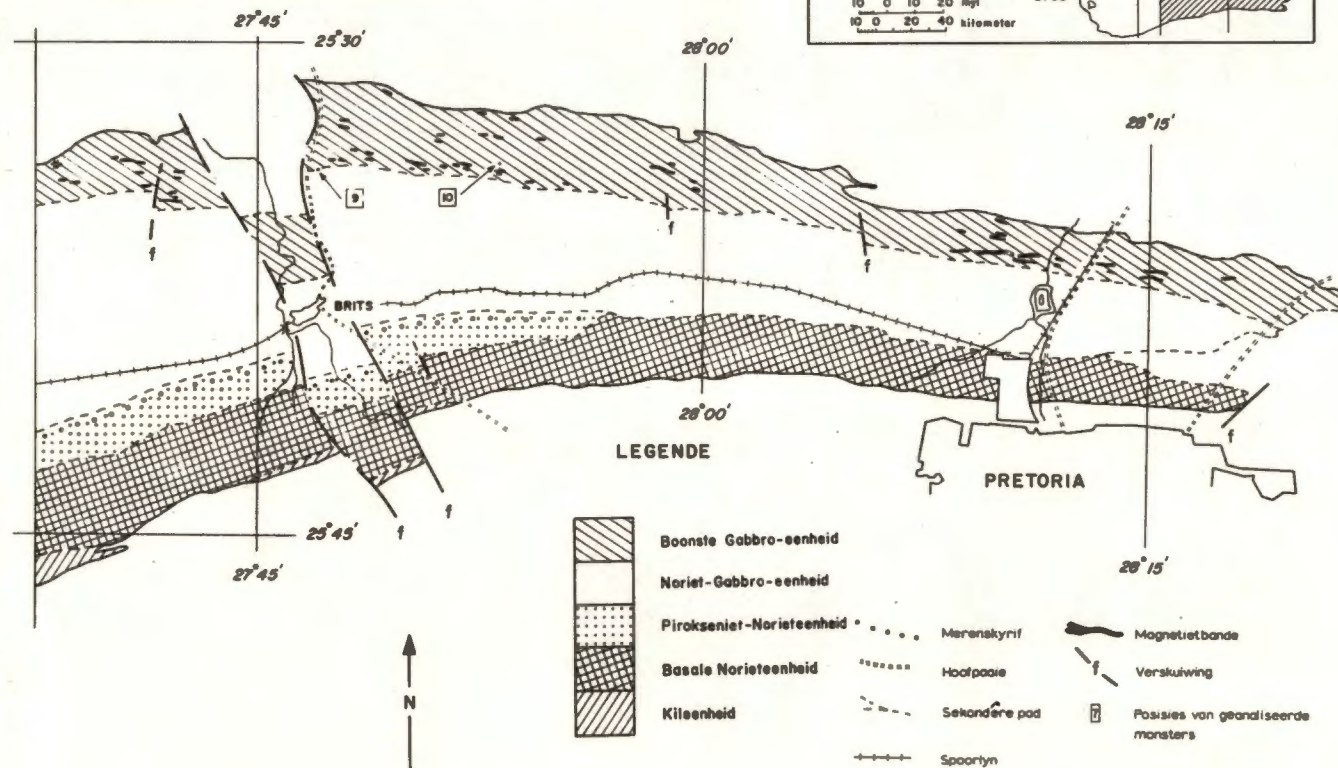
VEREENVOUDIGDE GEOLOGIESE KAART

VAN 'N GEDEELTE VAN DIE

WESTELIKE BOSVELDKOMPLEKS

volgens F.J. Coertze (1971).

1 0 1 2 3 4 5 10 20 kilometer



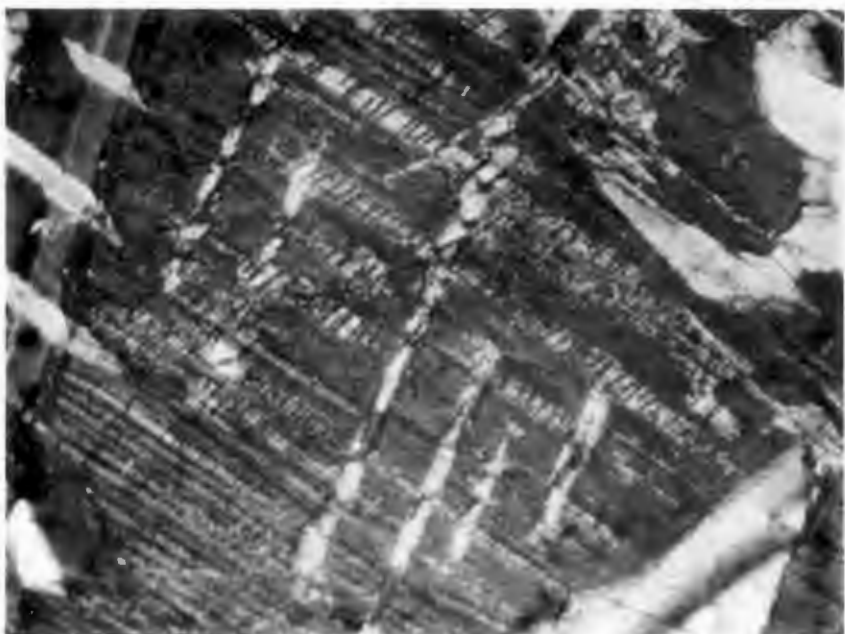
PLAAT II A. Bronsiet met kort afgebroke lamelle
van klinopirokseen parallel aan {010}.
Omdat [010] nie presies regop staan nie is die lamelle
parallel aan {100} nie duidelik sigbaar nie. Noriet-
gabbro-eenheid, subeenheid A. JM/222. (Gekruisde
nicols, X 50)

PLAAT II B. Ougiet met kalsiumarm pirokseenlamelle
parallel aan {001} en parallel aan {100}.
Die breë lamelle (sonder verdere lamelle) is parallel
aan {001}. Die nouer gespaseerde {100}-lamelle bevat
kort latjies van swart opake materiaal wat min of meer
parallel langs mekaar in die vlak van die {100}-lamelle
lê. Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/220.
(Gekruisde nicols, X 160)

A



B



PLAAT III A. Geïnverteerde pigeoniet met eksolusie=
lamelle van ougiet. Die breë lamelle
is parallel aan {001}, terwyl die dig opmekaar gespa=
sieerde na-inversielamelle parallel aan {100} is.
Noriet-gabbro-eenheid, subeenheid B. 1/17/N6.
(Gekruisde nicols, X 50)

PLAAT III B. Geïnverteerde pigeonietkorrels met
verskeie stelle voor-inversielamelle
van ougiet en een stel na-inversielamelle van dieselfde
mineraal parallel aan {100} van die optiese eenheid.
Boonste Gabbro-eenheid, subeenheid B. JM/344.
(Gekruisde nicols, X 20)

A



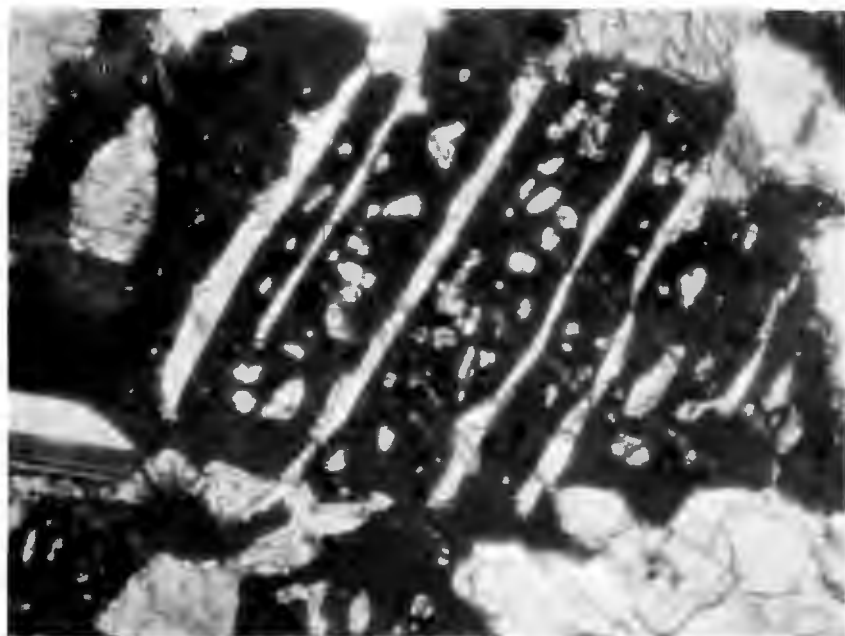
B



PLAAT IV A. Halfeievormige geïnverteerde pigeoniet
met breë voor-inversielamelle parallel
aan {001}. Die na-inversielamelle parallel aan {100}
is nie kenmerkend ontwikkel nie, maar is tot druppels
tussen die {001}-lamelle saamgetrek. Noriet-gabbro-
eenheid, subeenheid B. JM/210. (Gekruisde nicols,
X 40)

PLAAT IV B. Ferro-ougiet met opake eksolusie=
materiaal parallel aan {101} en {010}
van die ougiet. Olivien-sodagabbro. Boonste Gabbro-
eenheid, subeenheid C. P.A. 720. (Gekruisde nicols,
X 40)

A



B



PLAAT V A. Primêre hipersteen met fyn lamelle
parallel aan {100}. Noriet-gabbro-
eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B.

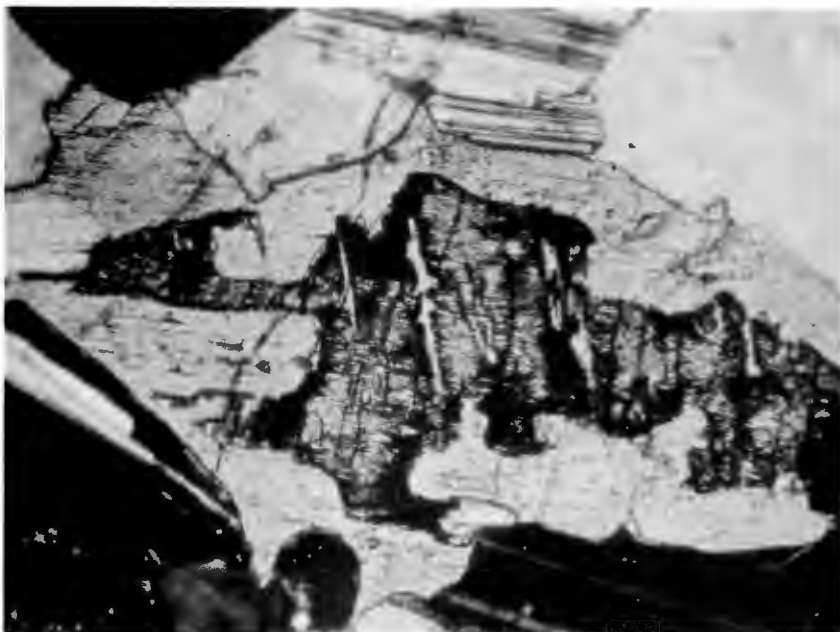
1/17/Nl. (Gekruisde nicols, X 55) Plaat V B dui
die wyse aan waarop geïnverteerde pigeonietflenters
in ougiet, saam met primêre hipersteen soos hier
aangedui, in dieselfde rots voorkom.

PLAAT V B. Geïnverteerde pigeonietflenter in
ougiet. Die ougiet het dieselfde
oriëntasie as die breë {001}-lamelle van die inge-
slote geïnverteerde pigeoniet. Die na-inversie=
lamelle parallel aan {100} in die geïnverteerde
pigeonietflenter is duidelik aanwesig. Noriet-
gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B.
1/17/Nl. (Gekruisde nicols, X 60)

A



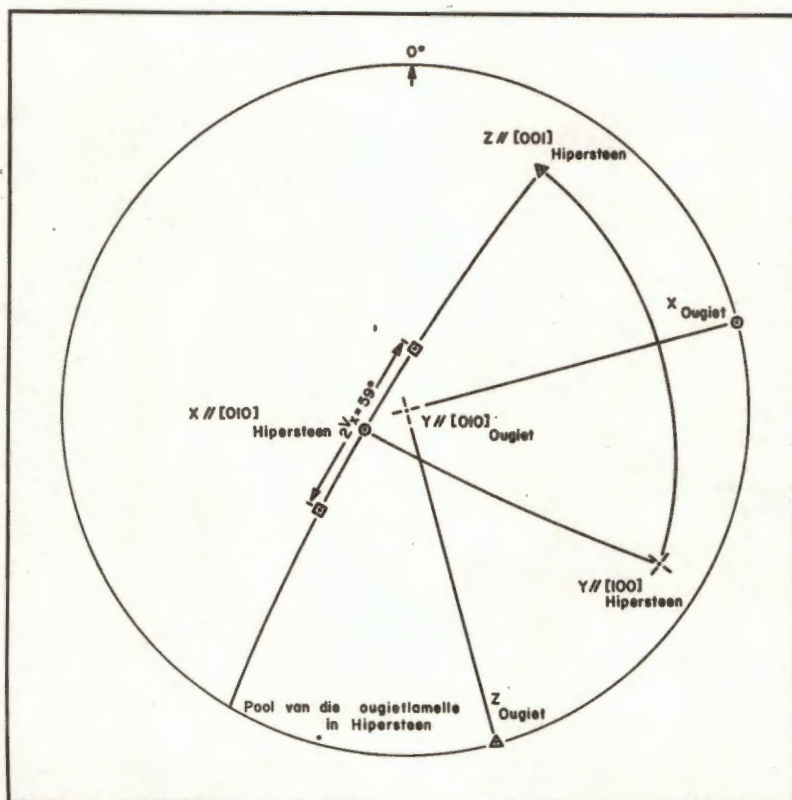
B



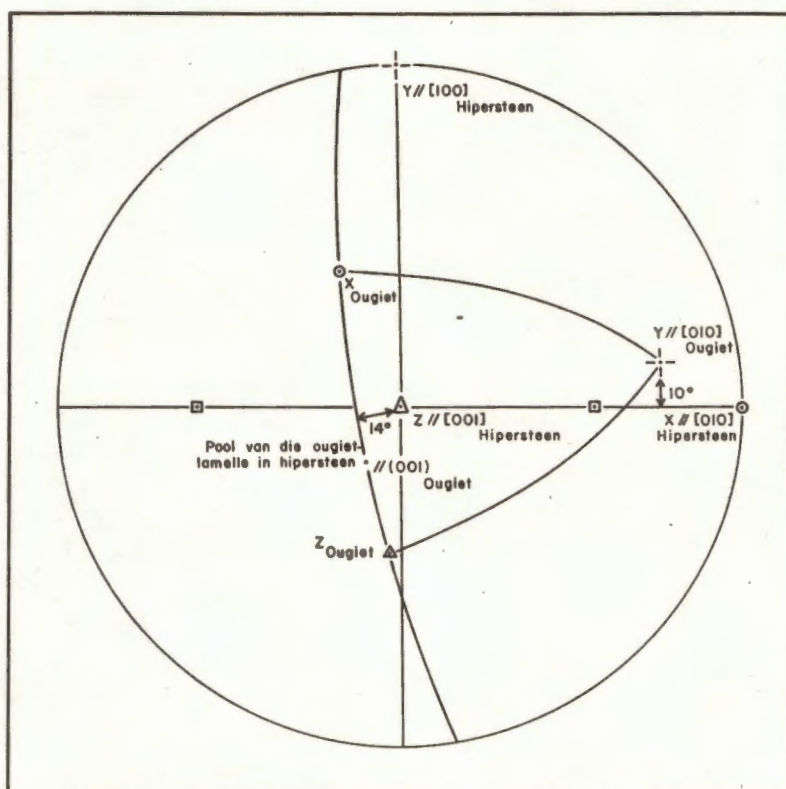
PLAAT VI A. Stereogram van die geïnverteerde
pigeonietflenter in ougiet soos
aangedui in Plaat V B. (Notasie Reinhard, 1931,
p. 55).

PLAAT VI B. Georiënteerde stereogram van Plaat VI A
wat die oriëntasie van die ougiet met
betrekking tot die oriëntasie van die omringde geïnver=
teerde pigeoniet aandui (notasie Reinhard, 1931, p. 55).
Die pool van die ougietlamelle in die geïnverteerde
pigeonietflenter is parallel aan {001} van die omringen=
de ougiet. (Oriëntasie van die hipersteengasheer:
X//b; Y//a; Z//c, en van die ougiet: Y//b_{ougiet}).

A



B



PLAAT VII A. Geïnverteerde pigeonietflenter omring
 deur ougiet. Die ougiet het dieselfde
oriëntasie as die {001}-lamelle van die ingeslote
geïnverteerde pigeoniet. Die na-inversielamelle is
parallel aan {100} en swak ontwikkel. Boonste Gabbro-
eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B. JM/385.
(Gekruisde nicols, X 60)

PLAAT VII B. Primêre hipersteen wat saam met
 geïnverteerde pigeoniet (soos aangedui
in Plaat VII A) in dieselfde rots voorkom. Boonste
Gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B.
JM/385. (Gekruisde nicols, X 55)

A



B



PLAAT VIII A. Geïnverteerde pigeoniet-tweelĳing
omring deur ougiet en plagioklaas.

Al drie geïnverteerde pigeoniet kristalle het dieselfde optiese oriëntasie. Die ingeslote ougiet in die geïnverteerde pigeoniet het dieselfde oriëntasie as die omringende ougiet en die {001}-ougiet=lamelle in die pigeoniet. Die na-inversielamelle parallel aan {100} is goed ontwikkel. Boonste Gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B. JM/387. (Gekruisde nicols, X 50)

PLAAT VIII B. Geïnverteerde pigeonietflenters in ougiet. Noriet-gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B. 1/17/N1. (Gekruisde nicols, X 12)

A



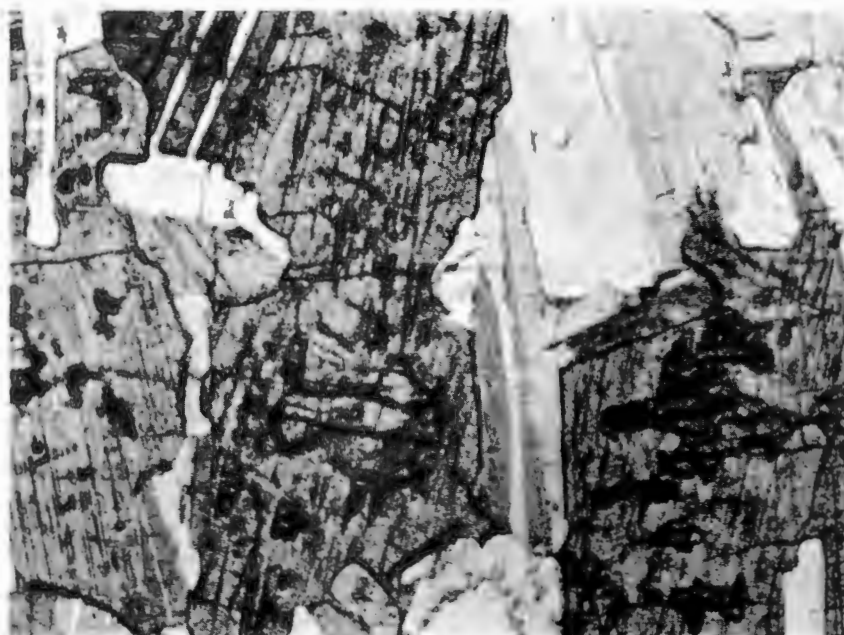
B



PLAAT IX A. Geïnverteerde pigeonietflenters in
 ougiet. In dieselvfde ougietkristal
is meer as een flenter aanwezig met dieselvfde optiese
en kristallografiese oriëntasie t.o.v. die omringende
ougiet. Noriet-gabbro-eenheid, onderste gesteentes
subeenheid B. 1/17/Nl. (Gekruisde nicols, X 45)

PLAAT IX B. Die verspreiding van geïnverteerde
 pigeonietflenters in ougiet. Afgesien
daarvan dat daar in 'n enkele ougietkristal meer as
een flenter met dieselvfde oriëntasie voorkom, besit
die flenters in nabyliggende ougietkristalle party=
keer dieselvfde oriëntasie. Noriet-gabbro-eenheid,
onderste gesteentes subeenheid B. 1/17/Nl.
(Gekruisde nicols, X 14)

A



B



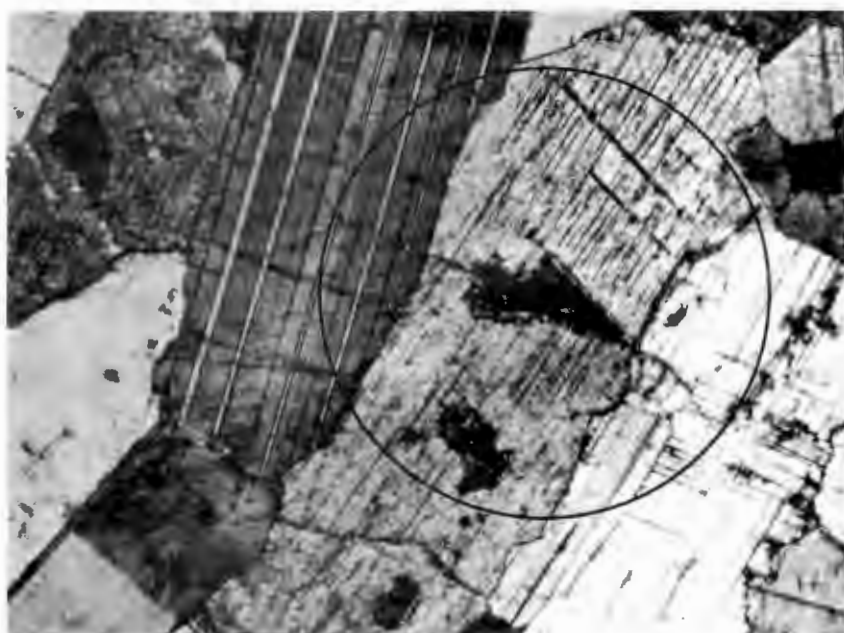
PLAAT X A. Primêre hipersteen in ougiet. Die
hipersteen besit dieselfde oriëntasie
as die breë {001}- en die fyn {100}-lamelle in die
ougiet. Die ougiet en hipersteen het die kristallo=
grafiese b- en c-asse in gemeen. Noriet-gabbro-
eenheid, subeenheid A. JM/227. (Gekruisde nicols,
X 50)

PLAAT X B. Geïnverteerde pigeonietflenters in
ougiet. Afgesien daarvan dat die
groter flenter (binne die omringde gedeelte)'n ge=
meenskaplike reguitkant met ougiet het, het die ge=
ïnverteerde pigeoniet en die omringende ougiet gemeen=
skaplike kristallografiese c- en b-asse en is opties
sodanig georiënteer dat die indikatriks-asse Y en X
van die hipersteen respektiewelik met X en Y van die
ougiet ooreenkom. Kyk Plate XI A en XI B. Noriet-
gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B.
1/17/N1. (Gekruisde nicols, X 40)

A



B



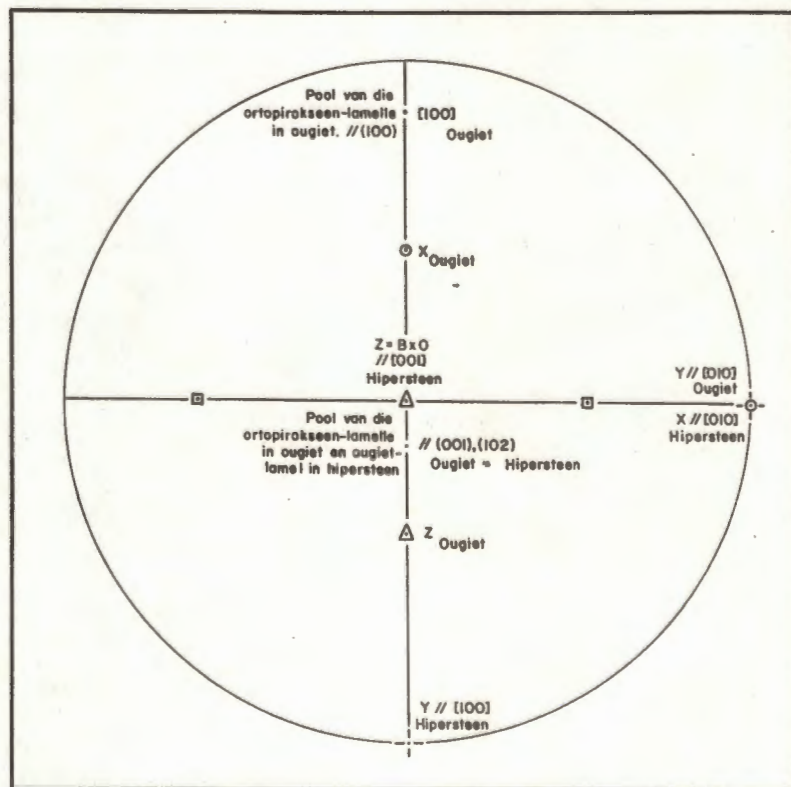
PLAAT XI A. Vergrote mikrografie van die omringde gedeelte van Plaat X B. Die gemeenskaplike reguit kant tussen die omringende ougiet (Oug) en die groter geïnverteerde pigeonietflenter (Hip) word gevorm deur 'n ougietlamel (oug) van die geïnverteerde pigeonietflenter. Die ougietlamel het dieselfde optiese en kristallografiese oriëntasie as die omringende ougiet. In die ougietkristal (Oug) is die ortopirokseenlamelle (opx) parallel aan {001} van die ougiet.

PLAAT XI B. Georiënteerde stereogram van Plaat XI A wat die oriëntasie van die geïnverteerde pigeonietflenter en die omringende ougiet aandui. (Notasie, Reinhard, 1931, p. 55). Die pool van die ougietlamel in die hipersteen is parallel aan {001} van die ougiet asook parallel aan {102} van die hipersteen. Die breë ortopirokseenlamelle in die ougiet is parallel aan {001} van die ougiet en die kristallografiese b- en c-asse van die hipersteen en ougiet is gemeenskaplik.

A



B



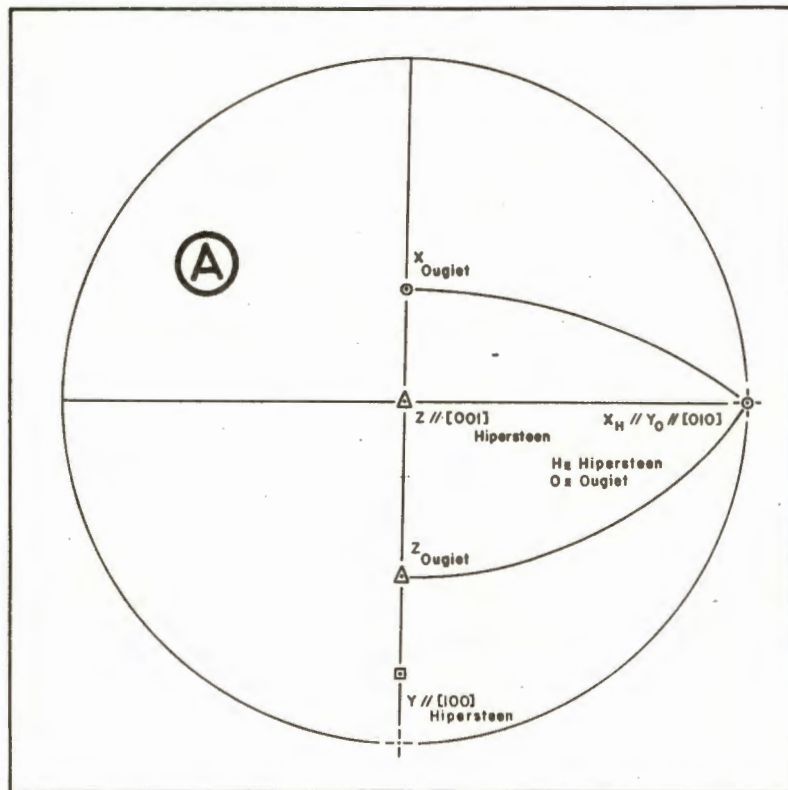
PLAAT XII A. Mikrografie van twee geïnverteerde
pigeonietflenters (Hip) wat deur
twee afsonderlike ougietskristalle (Oug A en Oug B)
omring word. Kyk Plate XII B en XII C. Noriet-
gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B.
H/11. (Gekruisde nicols, X 30).



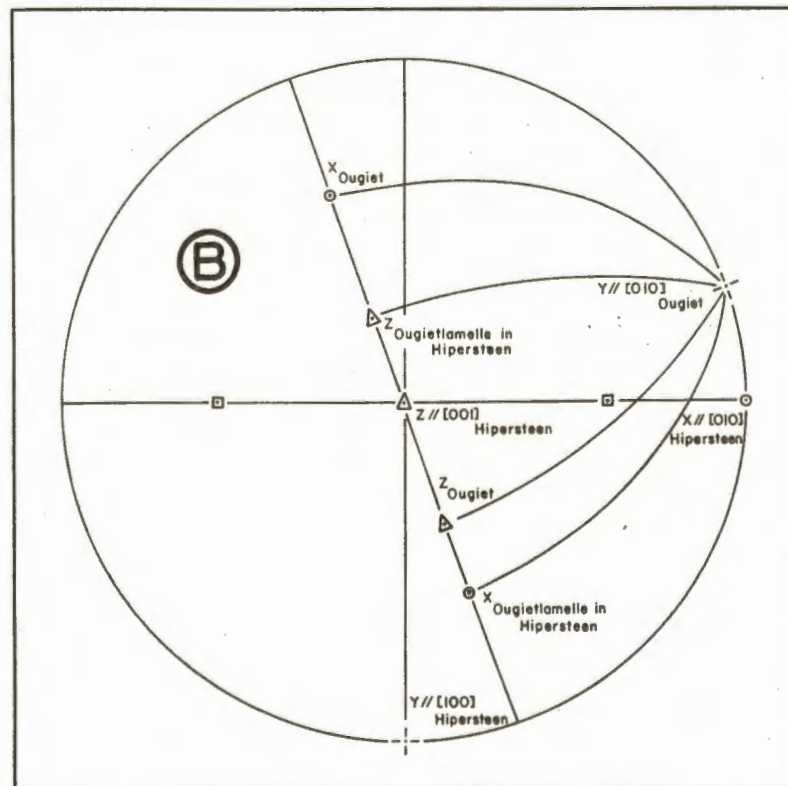
PLAAT XII B. Georiënteerde stereogram van die
geïnverteerde pigeonietflenter en
die omringende ougiet A, soos in Plaat XII A aange=
dui. In hierdie geval is die b- en c-asse van die
geïnverteerde pigeoniet en ougiet gemeenskaplik.
Notasie volgens Reinhard (1931, p. 55).

PLAAT XII C. Georiënteerde stereogram van die
geïnverteerde pigeonietflenter en
die omringende ougiet B, soos in Plaat XII A aange=
dui. Slegs die kristallografiese c-asse van ougiet
en geïnverteerde pigeoniet is gemeenskaplik. Notasie
volgens Reinhard (1931, p. 55).

B



C



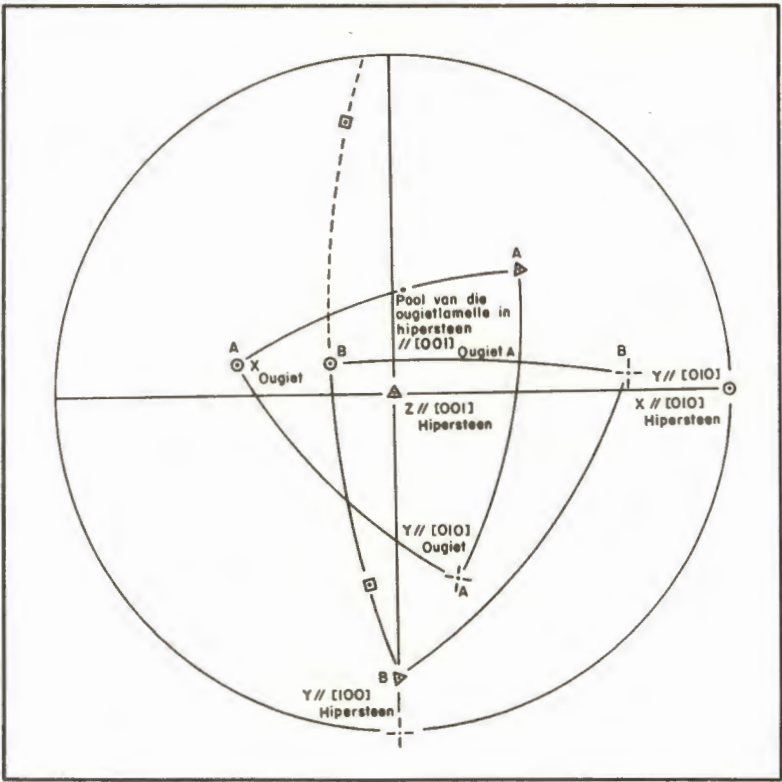
PLAAT XIII A. Mikrografie van geïnverteerde pigeoniet (Hip) in ougiet. Twee generasies ougiet (A en B) is aanwesig. Die een geïnverteerde pigeonietflenter word deur ougiet A omring en vertoon reaksie daarmee. Die geïnverteerde pigeonietlamelle in hierdie flenter besit dieselfde optiese oriëntasie as ougiet A en lê parallel aan {001} daarvan. Ougiet B vertoon geen kristallografiese verband met die geïnverteerde pigeonietflenter in ougiet A nie. Boonste Gabbro-eenheid, onderste gesteentes van subeenheid B. JM/387. (Gekruisde nicols, X 20)

PLAAT XIII B. Georiënteerde stereogram van Plaat XIII A wat die optiese en kristallografiese verhoudings van ougiet A en ougiet B t.o.v. die hipersteengasheer van die geïnverteerde pigeonietflenter, wat deur ougiet A omring word, aandui. Die pool van die ougietlamelle in die geïnverteerde pigeonietflenter is parallel aan {001} van die omringende ougiet A. Notasie volgens Reinhard (1931, p. 55).

A

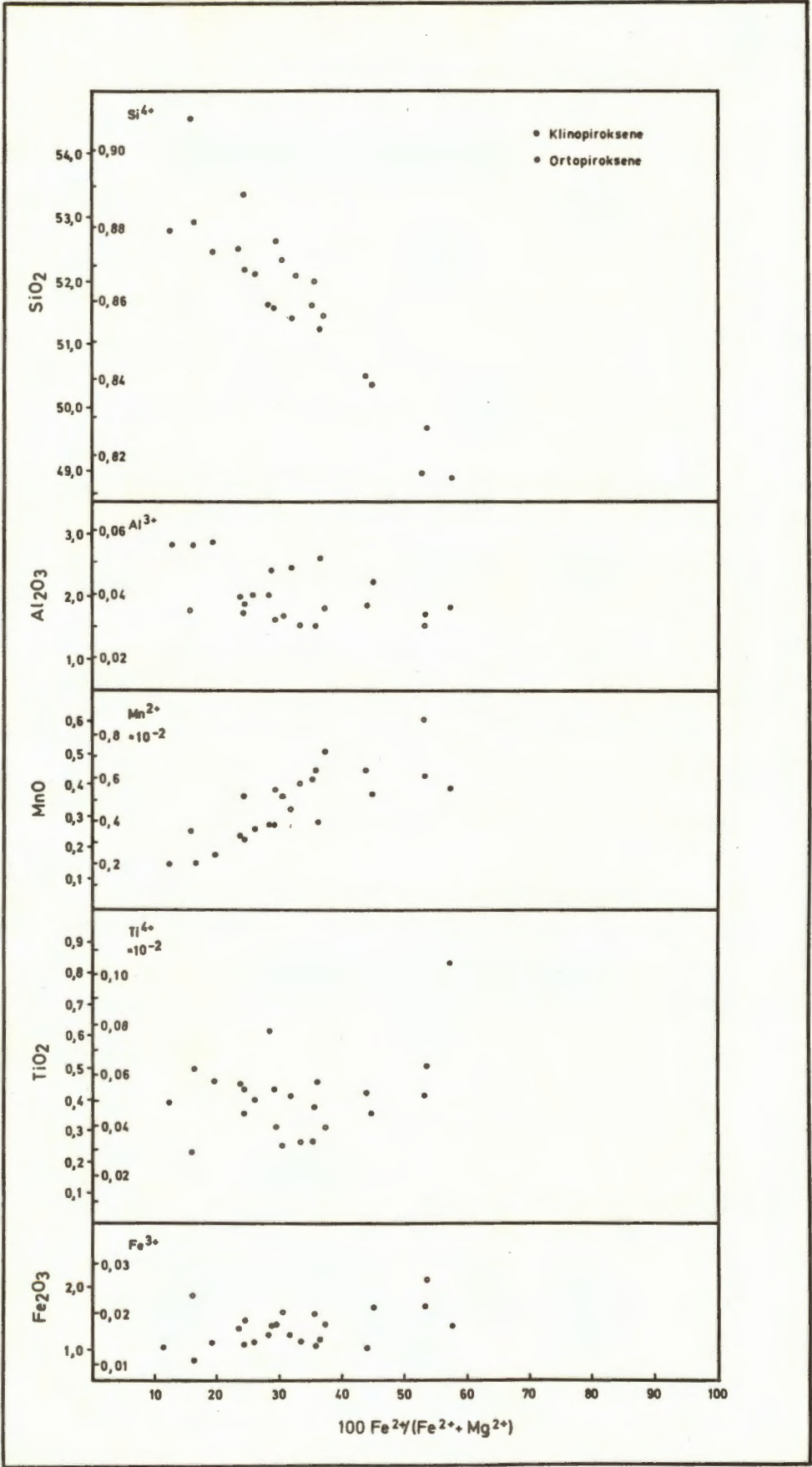


B



PLAAT XIV.

Variasiediagram van die oksied- en
atoomproporsies (SiO_2 , Al_2O_3 , MnO ,
 TiO_2 en Fe_2O_3) van die geanaliseerde piroksene.



PLAAT XV.

Samestellingsverloop van die kalsium=
ryke en kalsiumarm piroksene in die
westelike Bosveldkompleks. Nommers verwys na geana=
liseerde piroksene in Bylae B. Die samestellings van
monsters (A-B) is uit optiese bepalings afgelei.

A. Primêre ougiet van 'n magnetiet-anortosiet.

Noordwestelike gedeelte van die plaas Zeekoeigat
296 JR, noord van Pretoria. Boonste Gabbro-een=
heid, subeenheid B. JM/X.

B. Geïnverteerde pigeoniet van dieselfde rots as A.

